



PROF. DR. ING. MIROSLAV HAJN

ZÁKLADY JEMNÉ MECHANIKY A HODINÁŘSTVÍ

*Přehled přesné mechaniky v celém rozsahu
s podrobným pojednáním o hodinářské technice*

1033 OBRÁZKŮ

PRAHA 1953

PRÁCE - VYDAVATELSTVO - ROH

DT 681 11

OKRES LIBOVÁ KNIHOVNA
MĚSTSKÝCH KNIHOVNICÍ

11194

67/62

8. V. 1953.

Datum zařazení: 8. V. 1953.

P

219

B = 1989

Tato kniha podává ucelený přehled jemné (přesné) mechaniky v celém rozsahu (materiály, části přístrojů, mechanismy zařízení, z nichž se přístroje skládají). Podrobně pak probírá hodinářství, na němž ukazuje využití stavebních i theoretických prvků jemné mechaniky. Názorný výklad, zabíhající i do teorie tam, kde toho je třeba, je doplněn velkým množstvím obrázků, schemat i konstrukčních náčrtů.

Kniha je určena pro praxi i jako pomůcka k odbornému školení a učebnice pro odborné školy.



OBSAH

	Str.		Str.
DÍL I. ZÁKLADY JEMNÉ MECHANIKY		Otočná uložení plochá	89
Úvod	9	Britvá uložení	91
1. Materiál	12	Ozubená kola	95
Kovy	16	Mechanismy západkové	98
Materiály nekovové	23	Zařízení indexovací, zajišťovací	101
Různé materiály	29	Převody třecí	102
2. Konstrukční prvky	31	Mechanismy integrační	104
Spojovací metody	31	Vačky a drážkové kotouče	110
Nýtování	31	Zarážky a hodinové kroky	112
Spojení přehybem	33	Regulátory otáčivě rychlosti	115
Spojení nalisováním	34	Zařízení tlumící	117
Spojení zalitím	34	Zařízení rektifikační	119
Sváření	34	Ustanovky	123
Spájení	35	Pružiny	127
Spojování skla a kovů	36	Hodinové pružiny	128
Lepení, tmelení	37	Měřicí pružiny	131
Klíny a kolíky	39	Tlakoměrné pružiny	134
Závlačky	39	Pružné vlásky a vlákna	136
Upevňovací šrouby a matky	39	Pružinové klouby	137
Spojní šrouby	44	Namáhání pružin	139
Závitová spojení (šroubení)	47	Bimetalické pásy	140
Bajonetové spojení	49	Kompensace	141
Šrouby dorazné, regulační, kon- taktní	49	Optické pomůcky	144
Šrouby mikrometrické	50	Rovinné zrcadlo	145
Zařízení svěrací	54	Hranoly	146
Přímá vedení	56	Čočky	149
Přímá vedení přibližná	63	Dalekohled	151
Otočná uložení	64	Kolimátor	154
Uložení čípková	66	Mikroskop	155
Uložení hrotová	68	Stanovení svislé a vodorovné polohy	156
Valivá ložiska	72	Olovnice	157
Různá užití ložiskových kuliček	76	Libela	158
Kulové klouby	82	Dělení	163
Otočná uložení úhloměrných strojů	83	Dělicí stroje	166
Letmá uložení kuželová	84	Dělkové stroje dělicí	170
Letmá uložení cylindrická	84	Dělicí stroje kruhové	173
Přesná uložení horizontální	87	Odečítací prostředky	178
	88	Zvětšování malých pohybů	
		Methody zapisovací čili regis- trační	182

DÍL II.			
HODINÁŘSKÁ TECHNIKA			
I. O času a jeho určování	187		
Zjišťování času	189		
Časová služba	190		
II. Od prvních počátků k Huygensovi	191		
Vodní hodiny	192		
Hodiny kolečkové	193		
Hodiny Huygensovy	197		
III. Úvod k teorii	200		
Použití matematiky	201		
Užívané značky	202		
Momenty setrvačnosti	203		
Setrvačné síly	204		
Několik číselných příkladů	205		
Důležité číselné hodnoty	207		
IV. O mechanických kmitcích	208		
Pohyb harmonický	211		
Doba kyvu	213		
Frekvence	214		
Harmonický pohyb kruhový	215		
Energie oscilátoru	216		
Kmitý tlumené	216		
Vliv viskosního tření	217		
Vliv konst. tření	218		
Skutečné poměry	219		
Vliv krátkodobého impulsu a odporu	219		
Příklady mechan. oscilátorů	221		
V. Teorie kyvadla	223		
Kyvadlo fyzické	224		
Vliv malých změn délky	226		
Vliv rozdělení hmoty v kyvadle	226		
Reversní kyvadlo	227		
Minimální kyvadlo	228		
Vliv amplitudy	229		
Náhradní kyvadlo	230		
Vliv přidaného závaží	231		
Ovlivněné kyvadlo	233		
Jak velkou práci spotřebuje kyvadlo	234		
Kyvadlo jako absorpční regulátor	237		
Vnější rušivé vlivy	237		
Vliv změny teploty	239		
Vliv tlaku vzduchu	240		
VI. Konstrukce kyvadla	242		
Výpočet kyvadla	242		
Kyvadlová tyč a čočka	244		
Závěs kyvadla	245		
Pružinový závěs	246		
Kompensace kyvadla teplotní	249		
Kompensace roštové a pákové	250		
Rtuťová kompensace	251		
Kyvadlo invarové	253		
Kyvadlo křemenné	254		
Výpočet kompensace	255		
Oprava barometrické chyby	255		
Přídavná závažitka	256		
VII. Setrvačka	257		
Vlásek	259		
Výpočet setrvačky	261		
Rušivé vlivy	261		
Teplotní kompensace	262		
Starší teplotní kompensace	263		
Dnešní compensační setrvačky	264		
Druhohné kompensace	266		
Setrvačka Guillaumeova	267		
Vlásky elimvarové	267		
VIII. Kroky pro kyvadlové hodiny	269		
Krok Galileův	270		
Krok kotvový	271		
Krok Grahamův	273		
Kroky kolečkové	276		
Krok Brocotův	278		
Vidlice	278		
Jiné kroky klidové	281		
Kroky zarážkové	282		
Zarážkové kroky nepřímou působení	284		
Kroky diferenciální	285		
Krok Leroy	288		
Krok Grangerův a Strasserův	290		
Krok Rieflerův	292		
Kuriosní kroky	294		
IX. Kroky pro setrvačku	295		
Krok váleový (cylindrový)	296		
Krok duplexní (dvoukolý)	298		
Kroky chronometrové (zarážkové)	299		
Kroky s konstantní silou	303		
Volný krok kotvový	304		
Některé zajímavé kroky	310		
X. O převodech a pohonu hodin	312		
Pohon závažím	312		
Natahování věžních hodin	313		
Remontoir	315		
Elektrický remontoir	317		
Poháněcí pružiny	318		
Vlastnosti hmačích pružin	319		
Stavítka	321		
Šnek	322		
Ozubená kola	323		
Čepy a ložiska	323		
Účinnost ozubených soukolí	325		
XI. Mechanické hodiny	325		
Námořní chronometry	329		
Kapesní hodinky	332		
Jiné přesné hodiny	336		
XII. Elektrické hodiny	336		
První elektrické hodiny	336		
Systemy s kyvadlovým kontaktem	337		
Hippův kontakt	341		
Hodiny Ato a Favre-Bulle	343		
Elektrický impuls konstantní	345		
Elektrický impuls diferenciální	347		
XIII. Elektrický přenos času	348		
Sympathetická vazba	349		
Krok duplexní (dvoukolý)	298		
Kroky chronometrové (zarážkové)	299		
Kroky s konstantní silou	303		
Volný krok kotvový	304		
Některé zajímavé kroky	310		
X. O převodech a pohonu hodin	312		
Pohon závažím	312		
Natahování věžních hodin	313		
Remontoir	315		
Elektrický remontoir	317		
Poháněcí pružiny	318		
Vlastnosti hmačích pružin	319		
Stavítka	321		
Šnek	322		
Ozubená kola	323		
Čepy a ložiska	323		
Účinnost ozubených soukolí	325		
XI. Mechanické hodiny	325		
Námořní chronometry	329		
Kapesní hodinky	332		
Jiné přesné hodiny	336		
XII. Elektrické hodiny	336		
První elektrické hodiny	336		
Systemy s kyvadlovým kontaktem	337		
Hippův kontakt	341		
Hodiny Ato a Favre-Bulle	343		
Elektrický impuls konstantní	345		
Elektrický impuls diferenciální	347		
XIII. Elektrický přenos času	348		
Sympathetická vazba	349		
Synchronisace periodickou opravou	350		
Minutová počítadla	351		
Nepolarisovaná počítadla	352		
Polarisovaná počítadla	353		
Elektrisované věžní hodiny	355		
XIV. Přesnost hodin	356		
Jak se posuzuje přesnost hodin	357		
Výkony hodin	360		
Jak se zjišťuje chod hodin	363		
XV. Přesné hodiny astronomů	364		
Volné kyvadlo	366		
Volné kyvadlo O'Learyho	367		
Hodiny Shorttovy	368		
Volné kyvadlo Tomlinsonovo	371		
Vysokofrekventní oscilátory	373		
Ladička	373		
Kmitající tyč	374		
Křemenné hodiny	375		
Hranice přesnosti	378		
XVI. Měření časových intervalů	379		
Stopy	379		
„Chronografy“	381		
Chronograf	383		
Sekundové kontakty v hodinách	384		
Různé aparatury	386		
XVII. Otázky isochronismu	387		
Vliv kroku na kyvadlo	389		
Isochronismus hodin setrvačnickových	390		
Regláž	395		
Literatura	397		
Rejstřík	398		

ÚVOD

Jemná (říká se také: přesná) *mechanika* se zabývá teorií, konstrukcí a stavbou jemných a přesných přístrojů, zejména a převážnou většinou nástrojů, přístrojů a strojů *měřicích a regulačních*, jakých je třeba při vědecké a výzkumné práci ve výrobě a v provozu všech druhů, při práci inženýrů všech odvětví a namnoze i v denním životě. Je tedy jemná mechanika odvětvím strojnictví, s nímž se často prolíná, takže nelze mluvit o přesných hranicích. Jsou stroje, které rozměry, přesností a pečlivostí provedení jsou nesporně výtvořeny jemné mechaniky (na příklad integrátory), jsou však také velké stroje (na př. souřadnicové vrtačky), které rozměry a celkovým typem odpovídají strojům obráběcím, avšak do jemné mechaniky patří, protože jsou provedeny mimořádně přesně a je při nich použito měřicích zařízení typicky jemně mechanických nebo optických.

Ještě neurčitější jsou hranice mezi jemnou mechanikou a optikou. Je mnoho přístrojů v podstatě mechanických, u nichž byla přesnost měření a odečítání podstatně zvýšena užitím prvků optických (příklady: theodolit, komparátor, přesný tovární měřicí stroj), na druhé straně pak přístroje k účelům zřejmě optickým (příklady: fotografický přístroj, mikroskop, spektrometr), jejichž praktická realisace však vyžaduje konstrukčních prvků jemné mechaniky. Mikroskop je původně přístroj ryze optický, ale je také důležitou součástí četných přístrojů a strojů, kterými měříme různé veličiny; totéž platí o dalekohledu. Proto jemná mechanika a optika bývají někdy považovány za jediná odvětví techniky. To se často odraží ve výrobním programu velkých továren (příkladem mohou být světelné závody Zeissovy).

Konečně jsou i neurčité hranice mezi jemnou mechanikou a *elektrotechnikou*. Někdy je účel elektricky pomocný (na př. elektrický pohon přesných kyvadlových hodin, užití elektrických motorků k různým pohybům), jindy jde o přístroj měřící nějakou elektrickou veličinu (na příklad zrcadlový galvanometr). Pro vývoj měřicí techniky je charakteristické, že měření různých veličin mechanických, teploty, času nebo i veličin chemických provádíme často elektricky, t. j. převádíme měřenou veličinu na vhodnou veličinu elektrickou. Takové měřicí aparatury jsou konstruovány s hlediska mechanického i elektro-technického; podle povahy aparatury může jedno nebo druhé hledisko převládnout, aparatura má pak charakter výtvaru jemné mechaniky (na př. onen galvanometr) nebo zařízení spíše elektrotechnického (na př. potenciometr, křemenné hodiny).

Hodinářství, velmi staré a důležité odvětví jemné mechaniky, vytvořilo si vlastní typické konstrukční formy, tak typické, že hodinářství bývá někdy považováno za zvláštní odvětví techniky. Vývoj — stejně jako často i v jiných oborech — smazal zčásti tyto rozdíly. Tak kapesní hodinky si podřely osobitou hodinářskou konstrukci, kdežto nepřesnější kyvadlové hodiny jsou již spíše výtvořeny jemné mechaniky, velké věžní stroje pak výtvořeny téměř strojnicky (o hodinách křemenných již bylo psáno). Naopak hodinářských prvků užíváme často k jiným účelům.

Rozsah jemné mechaniky. Z řečeného vyplývá veliký rozsah a velká rozmanitost jemné mechaniky; to vedlo již v minulém století k specialisaci továren. Vedle staré výroby hodinářské vznikaly továrny vyrábějící stroje geodetické, astronomické, čisté mechanické, přístroje optické, fotografické přístroje, měřidla technická pro výrobu, nejpřesnější měřidla normální a kontrolní, různá měřidla elektrická atd. Vidíme bohaté a rozmanité výrobní programy velikých továren i úzkou specialisaci továren menších. K tomu nyní přistupuje vývoj aparatur *regulačních*. Ve výrobě a v provozu se dnes nespokojíme vždy jen měřením veličin a zařizujeme často věci tak, že měřicí aparatura s pomocí různých servomotorů sama obstarává nutnou regulaci, aby byly udrženy potřebné nebo optimální provozní podmínky. Toto odvětví měřicí techniky, dnes již vyvinuté a úspěšně aplikované, má velikou budoucnost, neboť směřuje a podstatně přispěje k automatizaci provozu jako k nejvyšší formě racionalisace.

Rozmanitost se jeví též v obrovských rozdílech velikosti a složitosti výtvo-
rů jemné mechaniky. Na jedné straně jednoduchá koncová měřka, na druhé straně velký komparátor cejchovního úřadu; malé náramkové hodinky a ohromné věžní hodiny; prostý dílenský mikrometr a veliký souřadnicový vrtací a frézovací stroj o váze 15 tun; na jedné straně kapesní strojek nivelační, na druhé straně gigantický, pětmetrový hvězďácký reflektor na Mount Palomaru, jehož pohyblivá část váží několik set tun; strojek měřicí pevnost vláken a nití a naopak veliký stroj k pevnostním zkouškám letadlových konstrukcí nebo ještě mohutnější stroj ke zkouškám konstrukcí stavebních, atd.

Táž rozmanitost je patrná ve fyzikálních základech jednotlivých výtvo-
rů jemné mechaniky. Jsou přístroje složitě konstruktivně, jejichž teorie je jednoduchá, jsou naopak přístroje jednoduché, které mají teorii složitou. Existují stroje řešící rychle i velmi složitá a pracně problémy matematické. Výpočty optických systémů jsou často nesnadné, složitá a neobyčejně pracná. Zevrubné studium přístroje znamená proto někdy aplikaci matematiky v rozsahu, na který nestačí matematická průprava inženýrova (a vyžaduje tedy spolupráce profesionálního matematika); jindy, je-li rozhodující jak se materiál chová za různých vlivů fyzikálních (nebo jak se mění s časem), je třeba hlubších úvah fyzikálních, které mohou zaběhnout až do fyziky molekulární.

Rozmanitost je patrná konečně i na různorodosti užívaných materiálů. V jemné mechanice užíváme takřka všech materiálů: nejrůznějších kovů a slitin, dřeva, skel nejrůznějšího složení, hmot přírodních i umělých, hmot keramičských, různých nerostů i chemikálií, rozmanitých tmelů, lepidel, nátěrů a mazadel.

Význam jemné mechaniky. Bez výtvo-
rů jemné mechaniky nebyla by možná dnešní věda ani dnešní technický výzkum, dnešní výroba, jakékoliv budování — možno říci — celý dnešní život. Začíná to prvovýrobou: promě-
řováním v dole, měřením (a regulací) u hutnických pecí. Měřidla jsou nutná

v továrně u pracovních strojů i v kontrolním oddělení. Pouhá empirie ve vý-
robě ustupuje přesnému číselnému předpisu, jenž může být dodržen jen zástuhou měřicích přístrojů. Jak již bylo řečeno, postupujeme od pouhého měření ve výrobních strojích, v energetice a v chemické výrobě k automatické re-
gulaci provozu. Vývoj vědy byl úzce spojen a namnoze přímo podmíněn vy-
tvorením přístrojů k pozorování a měření (dalekohled, mikroskop, váhy, hodiny, elektrické přístroje atd.); to platí o všech vědách přírodních, o všech jejich aplikacích, o lékařství, které by bylo bezmocné bez mikroskopu. Tech-
nický výzkum, podmínka dalšího vývoje výroby, je z valné části práce s nej-
různějšími měřicími aparaturami. S výtvo-
ry jemné mechaniky pracuje inže-
nér ve své kanceláři (rysovací, počítací pravítko, planimetr), ale najdeme je i v domácnosti (hodiny, teploměr, aneroid, elektroměr).

Jemná mechanika představuje proto rozsáhlý, specialisovaný a přirozeně velmi kvalitní průmysl. Odhaluje se, že v Německu, které zejména v optice mělo před první světovou válkou postavení takřka monopolní, jemná mecha-
nika zaměstnávala před rokem 1939 asi 40 000 až 50 000 osob. Obě světové války způsobily, že i jiné země si vybudovaly tento průmysl. *Sovětskéj svaz*, budující energetiky svůj průmysl strojnický, buduje logicky i vlastní průmysl jemné mechaniky a optický; měli jsme již příležitost shlédnout výrobky tohoto mladého ruského průmyslu: leicy, stroje na zkoušení materiálu, geodetické přístroje moderní koncepce, dílenské mikroskopy a měřicí přístroje pro výrobu.

Je stejně logické, že i naše republika, budující těžký i lehký průmysl stroj-
nický, buduje zároveň i tomu odpovídající průmysl jemné mechaniky a optiky. Nejsme v tomto oboru bez tradice. Vzpomeňme Josefa Božka, hodiná-
ře Koska a našeho klasika přesné mechaniky, Dr. Friče, zejména jeho polari-
metrů, které chodily do celého světa. Ve světových laboratořích najdeme u nás vytvořený a vyrobený polarograf Heyrovského. Před válkou Srb a Štys exportovali ve velkém počtu optické přístroje a založili i českou výrobu mikroskopů. Navázali jsme na tuto dobrou tradici a budujeme dále. Vyrábí-
me četné různé přístroje pro výrobu, výzkum a vědu, budujeme vlastní výrobu hodinářskou. Bude třeba dalších dělníků a techniků pro vývoj i pro výrobu, v jemné mechanice i v optice, inženýrů, kteří jsou již obeznámeni se základními konstrukčními principy jemné mechaniky a kteří se ovšem pak v praxi musí podrobnějším studiem seznámit se svým oborem speciálně.

Úkol následujícího textu. Úkolem tohoto textu není popsat jednotlivé přístroje a stroje. Seriosní studium by vyžadovalo díla o mnoha svazcích, stručný popis by dal jen povrchní, nic nevsvětlující encyklopedii, ne o mnoho více než pouhý výčet nesčíslných výtvo-
rů jemné mechaniky.

Proto byla celá rozsáhlá látka vědomě omezena. Předně byly vypuštěny konstrukce, často zejména německými autory do jemné mechaniky počítané, ač jde spíše o hromadné výrobky, někdy přesnější, často nevalně přesné a namnoze vyrobené ražením z plechu: stroje psací, počítací, telegrafní a tele-
fonní přístroje, gramofony a pod. Ostatně, pokud je třeba jisté vyšší přes-

nosti, platí též pro tyto výrobky zásady jemné mechaniky, i když se zde především přihlíží k laciné a zmechanisované výrobě. Za druhé technická optika byla omezena jen na ty optické přístroje, které jsou součástí (často podstatnou a vždy znamenající stupňování přesnosti) moderních měřicích přístrojů různého druhu.

Za třetí se předpokládá základní znalost strojních součástí a vědomosti o materiálu. Proto se v kapitole o materiálu a v oddílu o spojovacích metodách neopakuje to, co můžeme nastudovat v příslušné literatuře, nýbrž jsou uvedeny jen věci nové, pro jemnou mechaniku potřebné a charakteristické. Dále jsou probírány strojní součásti speciální, které jsou stavebními kameny většiny konstrukcí v tomto našem oboru; jejich užití je často vysvětleno na konkrétních případech. Péče byla věnována i kapitolám o děleních a odečítacích prostředcích, dále kapitolám o zásadách, jimiž se řídí konstrukce (rektifikace, kompensace, otázka deformací, zneškodňování výrobních nepřesností a pod.) a které v odborné literatuře — až na hodinářství ku podivu nečetné — nebývají soustavně probírány. Zde byly sneseny různé poznatky detailní, zčásti z vlastní zkušenosti vytěžené, zčásti sebrané z literatury mnoha desetiletí a různých oborů. Naproti tomu popisy přístrojů byly omezeny na některé základní, zejména na ty, na nichž lze demonstrovat ony všeobecné principy.

Především již bylo řečeno, že tento text nemůže studujícího podrobně seznámit s určitým oborem jemné mechaniky. Jeho úkolem je seznámit s tím, co je celé jemné mechanice společné; se základními součástmi, z nichž se skládají přístroje, a se základními myšlenkami, na nichž tyto přístroje spočívají. Vše další je úkolem dalšího studia a praxe. Inženýr a lékař se musí učít do smrti.

V druhé části spisu jsou stavební kameny jemné mechaniky a její theoretické základy aplikovány na hodinářskou techniku, která byla první a je do dnes nejpokročilejší částí jemné mechaniky.

I. ČÁST - JEMNÁ MECHANIKA

1. MATERIÁL

V jemné mechanice jsou požadavky na vhodnost materiálu poněkud jiné, než je tomu v běžném strojírenství. Strojář kladé hlavní důraz na pevnost materiálu, které však v jemné mechanice (až na výjimky) nebývá obvykle využito. Hlavním znakem jemné mechaniky je přesnost. Tak na příklad přesnost časoměrných zařízení je asi $1,2 \times 10^{-7}$, jako příklad přesnosti délkových měření stačí uvést, že „Mikrokator“ pro měřicí rozsah $\pm 0,01$ mm udává délkovou změnu 0,05 mikronu; to ještě nejsou hodnoty extrémní, neboť interferenční metody umožňují měřit délkové odchylky ve zlomcích vlnové délky světla. Je přirozené, že přístroje takto přesné jsou samy zhotoveny s přesností, která často převyšuje přesnost běžnou a postačující ve strojírenství. Pro porovnání je uvedena nejvyšší přesnost strojnická, plynoucí z toleranci ISA pro hřídel $\varnothing 100$ mm:

Stupeň lícování	H6	H7	H8	H11
Tolerance μ $\begin{matrix} + \\ - \end{matrix}$	$\begin{matrix} 22 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 35 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 54 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 220 \\ 0 \end{matrix}$
Relat. přesnost	$2,2 \times 10^{-4}$	$3,5 \times 10^{-4}$	$5,4 \times 10^{-4}$	22×10^{-4}

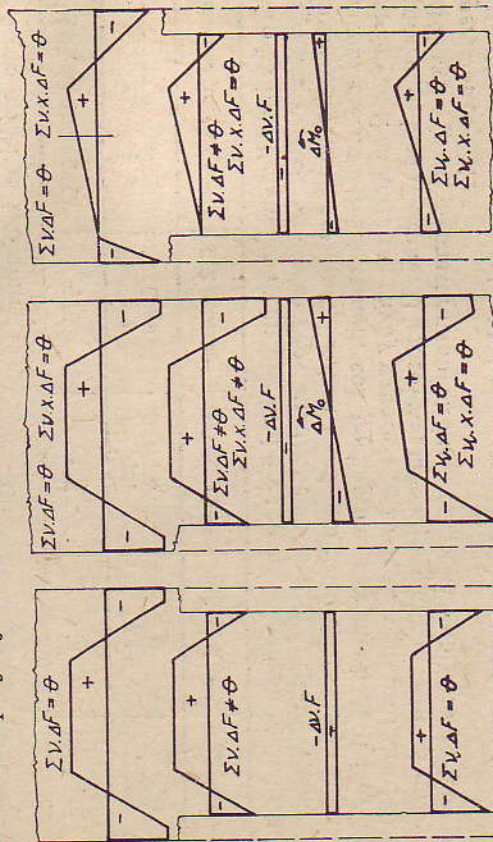
To by bylo lícování nepřipustně hrubé v mnoha případech přesné mechaniky. Na příklad válcovité čepy moderních theodolitů (Wild, Zeiss) jsou v ložisku lícovány s přesností kolem 1 mikronu; u dělicích strojů se jde na lícování možno-li ještě těsněji, což pochopíme, uvážíme-li že děšený kruh zmíněných theodolitů má chyby v mezích ± 1 sec, tedy při průměru 140 mm v mezích $\pm 0,34$ mikronu. U koncových měrek jde o chybu řádu 0,1 mikronu, stejné velká je asi přesnost rovinných desek (\varnothing až 250 mm) pro potřeby průmyslu optického.

Proto v jemné mechanice klademe zvláštní důraz na přesnou obrábělnost materiálu a na jeho rozměrovou a tvarovou stálost. Poněvadž pružné deformace součástí snižují přesnost přístroje, zajímá nás modul pružnosti často více než pevnost. Pro některé účely je důležitá tvrdost materiálu, jindy jeho vlastnosti „ložiskové“; u materiálů speciálních pak rozhodují zvláštní vlastnosti fyzikální, optické nebo chemické, pro něž materiál právě volíme.

Otázka obrábělnosti zní jinak než ve strojírenství. V jemné mechanice obvyčejně nelze dosáhnout vysokých třískových výkonů; veliký rezný výkon znamená velký pracovní tlak a tedy značné deformace obráběného kusu a vznikající oteplení vede k dalším deformacím a k rozměrovým změnám. Tam, kde jde o nejvyšší přesnost, je třeba obrábět často naopak velmi pomalu. Důležité je, aby se materiál dal odebírat i v nejtěsnějších třískách. Soustružili-li se čipek

o průměru 0,1 mm, je třeba odebrat doslova po mikronech, tříska od nože (samozřejmě jemně nabroušeného a vyleštěného) odletuje jako prach a je jasné, že se zde nehodí každá ocel. Z běžných materiálů dobře vyhovuje ocel „stříbrná“ a tvrdá mosaz, kterých se také podnes hojně užívá.

Ještě důležitější je otázka *rozměrové stálosti*. U materiálu, který se špatně obrábí břitem, lze si konečně často pomoci broušením; nelze však vyrobit trvale přesnou součást z materiálu, který mění — po případě ještě celé roky — rozměry. Tyto rozměrové změny jsou dvojího druhu. Jednak „*creep*“, změny rozměrů vznikající trvalým působením vnějších sil. Ve strojnictví činí obtížé creep u součástí namáhaných za vysokých teplot (vysokotlaké kotle, turbínové lopatky). V jemné mechanice jsou teploty nízké, creep tedy velmi malý, ale mnohdy přece ještě citelný. Zvláště nepřijemné je chování pružin trvale zatížených (na příklad u aneroidů); pružina se poddává, posunuje se tím nulová zatížených (na příklad u přístroj je třeba častěji srovnat s normálem a chybu opravit. Creep je u různých materiálů různý; veliký je na příklad u zinku; nejmenší creep byl zjištěn u taveného křemene.



Obr. 1. Symetrické rozdělení vnitřních pnutí a symetrické vnitřní pnutí a nesymetrické obrábění. (Rozdělení vnitřních pnutí po průřezu je zde značně zjednodušeno.)

Druhý druh jsou samovolné rozměrové změny součástí nenamáhaných, tedy změny způsobené na rozdíl od předešlých *vnitřními napětími* přímo v materiálu. Taková napětí mohou vzniknout kalením. Známé jsou deformace, (v nepřiznivých případech i trhliny) po zakalení ocelových nástrojů. Popouštěním se tato napětí uvolňují, ne však úplně. K dalšímu uvolňování dochází postupně následkem creepu, kus ještě po léta mění své rozměry. Toto byl hlavní problém pro Johanssona, když hotovil své první koncové měrky.

U duralu, který se po zamočení nepopouští, jsou tyto změny daleko větší než u oceli; z duralu prakticky nelze vyrobit opravdu přesnou součást. Podobného druhu jsou napětí, která vznikají v odlitcích při chlazení (šedá litina).

Vnitřní napětí mohou v materiálu vzniknout také *studeným zpracováním* (válcování a tažení za studena). Tak tažená tyč může mít v povrchové vrstvě tlakové napětí; aby byla rovnováha, bude vnitřek tyče v napětí tahovém. Zmenšime-li průměr tyčky osoustružením, odstraníme část tlakové napjaté vrstvy; dostaví se nový rovnovážný stav tím, že se zmenší tahové napětí uvnitř a zvětší tlakové napětí, čili že se tyč zkrátí (obr. 1). Byl-li materiál odebrán nesymetricky (obr. 2), bude i zkrácení nesymetrické, tyč se prohne. To se stává na příklad u tažených transmisních hřídelů, vyfrézuje-li se drážka pro klin. Stejně nevyhnutelně se prohne tyč po osoustružení, byl-li původní obraz napjatosti nesouměrný (obr. 3). Tyto délkové změny nejsou definitivní. Následkem creepu dochází obecně ještě k dodatečným dlouhodobým změnám rozměrů, které jsou někdy nepatrné, někdy citelné, ale vždy nevypočítatelné.

V přesné mechanice má dále význam *délková změna teplotou*, udávaná obvykle přibližnou rovnicí

$$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \theta \quad (1)$$

Součinitel α pro teploty kolem 20° C je u kovů řádu 1×10^{-6} (invar) až 29×10^{-6} (zinek), u některých látek ještě daleko vyšší (celuloid, ebonit, ple-xiglas); nejmenší ($0,4 \times 10^{-6}$) je u taveného křemene. Při vyšších teplotách se součinitel mění, jinak řečeno, změna délky s teplotou není lineární, nýbrž spíše parabolická, lépe definovaná rovnicí

$$\Delta l = l \cdot (\alpha \cdot \theta + \beta \cdot \theta^2) \quad (2)$$

S rovnicí (1) vystačíme ve většině případů, v hodinářství se však setkáme s případem, kde právě kvadratické členy rovnice (2) jsou rozhodující. Rozta-hování teplem je nám málokdy k užítku (teploměry), obyčejně poměry kom-plikuje; tu je třeba sáhnout k různým metodám kompenzacím, nerozhodne-me-li se ovšem pro řešení nejradiálněji — thermostat. Dlužno podotknout, že tepelná dilatace činí starosti nejen při konstrukci měřících přístrojů, nýbrž i v praxi, při všech přesných měřeních a při přesné výrobě.

Změnou teploty se však mění též *modul pružnosti* (v tahu i kroucení). To má význam u pružinových přístrojů měřících a zejména v hodinářství (viz stať o pružinách). U měřících přístrojů elektrických se uplatňuje konečně (a zase většinou nepřijemně) změna vodivosti a magnetické indukce s teplotou (viz Trnka: Elektrické měřící přístroje).

Samovolné změny délkové se často snažíme zamezit nebo aspoň omezit tím, že součásti podrobujeme různým procesům tepelným, po případě i jiným vli-vům fyzikálním („umělé stárnutí“), po nichž teprve následuje definitivní opracování na přesnou míru. Umělým stárnutím („stabilisováním“) často zmiňujeme také jiné nežádoucí dlouhodobé změny a nepravidelné chování materiálu, na příklad nepravidelnou roztažnost invaru při změnách teploty,

hysteresní jevy u pružin, nepravdivou změnu vodivosti u odporových teplo-
měřů. Stářím se všechny podobné nepravdivosti obecně mírní, materiál se
uklidňuje. Není proto divu, že se vysokou stálostí vyznačují nerosty, které byly
vytvořeny před miliony lety. Avšak i křemenná tyčka v křemenných hodinách
stárne, to ovšem jsou samovolné změny frekvence řádu 10⁻⁷. Problém samo-
volných změn materiálu není kvalitativní, nýbrž kvantitativní. Přesně vzato,
dokonale neproměnný není žádný materiál.

Celkem lze říci, že neexistuje žádný materiál ideální nebo univerzální. Voli-
me materiály podle požadovaného účelu, často se spokojíme řešením kompro-
misním, nevýhodné vlastnosti materiálu se pak snažíme zneškodnit vhodnou
konstrukcí nebo je kompenzovat nějakým vlivem opačným. Vydátně vy-
užíváme *speciálních vlastností* některých látek, na př. piezoelektrického zjevu,
dvojloemu, vysoké tvrdosti. Mnoho konstrukcí v měřicí technice je možných
jen zásluhou těchto speciálních látek; pro dnešní vývoj veškeré techniky
strojí a elektrotechniky je ostatně charakteristické, že se užívá materiálů
výsoce specializovaných.

Kovy

Mosaz

Klasickým a podnes hojně užívaným materiálem přesné mechaniky je
mosaz. Její poměrně vysoká hustota (8,4) ani poměrně malá tvrdost většinou
nevadí. Je však taktika ideálně opracovatelná (při tom málo otupuje nástroje),
dostatečně pevná, dá se dobře tvářet lisováním, výborně spájet měkkou
i tvrdou pájkou, galvanicky pokovovat, za normálních poměrů málo koroduje.
Tvrdá mosaz má výborné ložiskové vlastnosti, zejména byla-li ještě utvřena
tepáním. V hodinářství běhají hřídele v mosazi, pokud nejsou uloženy v ka-
menech; rovněž hodinová ozubená kola jsou vždy mosazná, stejné stoupační
kola chronometrů a kyvadlových hodin, po připadě málo namáhané pastorky.
Nejružnější drobné součásti a asi polovina šroubků jsou z mosazi.

Mosaz užíváme jak na odlitky (zejména drobné), tak i tvářené ve formě
tyčí kulatých i tvarových, trubek, plechů a drátů. Důležitá je tvrdá mosaz
tyčová a tvrdé, silné a dokonale rovné plechy (hodinářské). Ve velkovýrobě
lze i složitější součásti vyrábět pouhým nařezáváním z vhodně profilovaných
tlačených tyčí. Měkčí druhy se hodí výborně pro lisování a pro hluboké tažení.
Pro nemagnetičnost se hodí pro pouzdra busol a kompasů; zde ovšem mohou
vadit docela malé stopy železa, ba i nepatrné stopy vzniklé otěrem řezných
nástrojů. Mosaz lze chemicky černit a barvit.

Železná litina

Hojně se jí používá na součásti větších rozměrů (zejména narámy a na součásti
větších strojů a aparatur), ale také — někdy legované chromem a niklem —
pro součásti nejvyšší přesnosti (ozubená kola kruhových dělicích strojů). Má
výborné ložiskové vlastnosti (vlivem volného grafitu), proto se z ní vesměs
dělají lože a vedení strojů obráběcích, strojů souřadnicových i strojů nej-
přesnějších (dělicích, měřicích). Pro tyto účely se litina často různě leguje a

volbou materiálu lze dosáhnouti toho, že se opotřebí hlavně součásti, u kte-
rých to méně vadí (příklad: lože soustruhu má zůstat rovné, opotřebení su-
portu mnoho nevadí). Litinu lze dobře opracovat břitem, broušením a lapo-
váním. Poněvadž odlitky mají značnou vnitřní pnutí, obrábíme je až po
sesárnutí přirozeném nebo umělém, eventuálně po ohrubování se litina
podrobí stárnutí po druhé. Rozměry odlitek kolísají od drobných součástí
k velkým odlitkům pro velké měřicí stroje a k ohromným odlitkům pro
hvězďárské dalekohledy. Litina je též vhodný materiál pro lapovací desky.

Lehké slitiny

V jemné mechanice užíváme hliníkových slitin hlavně pro odlitky, u nichž
se žádá malá váha: optické a jiné přístroje, které se drží v ruce, ale také va-
hadla vah a j. Méně se užívá plechů a trubek. Slitiny hořčíkové se nehodí pro
přesné součásti pro nedostatek rozměrové stálosti; stejně je nevhodný dural.
Odolnost proti korozi nebývá nejlepší; je nutné chránit součásti lakem nebo
elektrolytickou oxidací („eloxováním“). Potíží bývá s malými šroubky, ne-
boť závit v hliníku mnoho nevydrží.

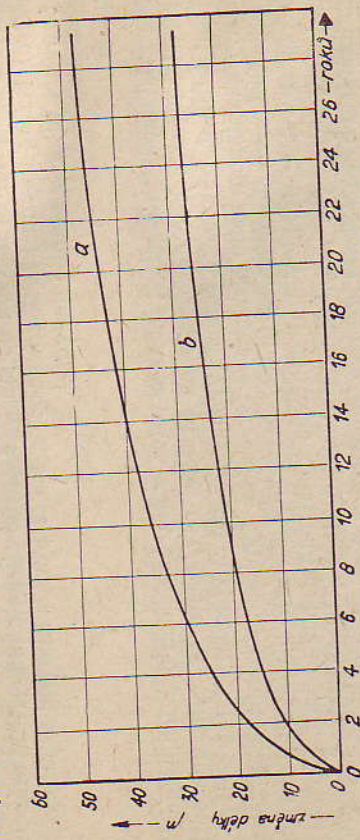
Ocel

Materiál nepostradatelný, jehož se užívá v nejružnějších druzích na nejruž-
nější součásti, hlavně ovšem na hřídele, osy, pastorky, tam, kde potře-
buje tvrdost, pevnost a tuhost (vysoký modul pružnosti). Užívá se jí často
ve stavu zakaleném nebo povrchově tvrzeném. Typickým materiálem (zejmé-
na v hodinářství) je „stříbrná“ ocel, ve tvaru kulatých, přesných a rovných
tyčí pěkně vyleštěných. Velmi dobře se soustruží a snadno kalí. Složení je
nestejného, někdy jen velmi čistý materiál uhlíkatý, jindy mírně legovaný.
V hodinářství bývá vesměs kalená a popouštěná do modra, tedy tak tvrdá, že
se právě může ještě soustružit tvrdým nožem; v tomto stavu se již dá vý-
borně leštit (tímto leštěním se v hodinářství přímo plýtvá). Stříbrná ocel je
výborný materiál pro drobné, zejména hodinářské nástroje. Jiný hojně uživa-
ný druh, sice méně kvalitní, zato obzvláště dobře opracovatelný, je *ocel*
automatová; užívá se jí na hromadně vyráběné součástky, též v laciném ho-
dinářství (budíky a pod.); obrobiteľnosti je dosaženo vysokým procentem
sírý, která pak často rychle ničí hodinářské (živočišné) mazací oleje. Pro
měřicí techniku jsou důležité různé druhy, vyznačující se rozměrovou stálostí
(měrky, kalibry), *oceli pružinové* a t. zv. ferronikly.

Ferronikly

Jsou výsledkem klasických, systematických a léta trvajících prací Guil-
laumeových. Označení není přesné, neboť původní slitiny Ni-Fe se dnes často
legují různými přísadami, jiné jsou přímo termární slitiny Ni-Fe-Cr. Všechny
se vyznačují ne právě dobrou opracovatelností a většinou vyžadují umělého
stárnutí, které nestačí vždy, aby se tyto molekulárně málo stabilních slitiny
uklidnily. Nejdůležitější jsou tyto slitiny:

Invar — slitina železa s 36% niklu má nejmenší tepelnou roztažnost ze všech kovů. Je pěkně stříbrolesklý a nekoroduje. Koeficient roztažnosti (a také jeho příští rozměry) záleží na malých přísadách a nečistotách, ale také na způsobu tepelného a mechanického zpracování. Angličani užívají tři druhů s koeficientem roztažnosti 1; 1,6, $2,5 \times 10^{-6}$. Švýcaři dvanou druhů, 0,8 a $1,6 \times 10^{-6}$. Invaru (zkráceno z „invariable“) bylo hned užito (jak zamýšlel Guillaume) na měřicí pásma a dráty v geodesii a ovšem také na kyvadlové tyče. Záhy se ukázaly nepřijemné vlastnosti invaru: nestabilitnost, jevíci se nepravidelnými změnami délky s teplotou a pak i pomalé, léta se táhnoucí změny délky. To vše zvláště jasně ukázaly — jakožto kumulující chyby — přesné astronomické hodiny. O invaru dnes máme celou literaturu — věc je pochopitelně důležitá pro metrologii a pro astronomii. Nepomohly úplně různé složité a dlouho trvající procesy umělého stárnutí, s nimiž začal Rieller pro kyvadla a kterých se užívá také pro běžná měřidla v geodesii. Malou ukázkou je



Obr. 4. Délkové změny invarových měřících délek 1m

Křivka a: přirozené stárnutí při teplotě $+6 \pm 20^\circ\text{C}$.
Křivka b: nepřímé, podrobno umělému stárnutí po 136. hod. při teplotě 10°C , pak uloženo při laboratorní teplotě.

obr. 4, více je v knížce Nussberger: Metronomie délek. Ve strojnictví, kde se invaru rovněž lecky užívá (na př. vložky v neklepajících automobilních přístrojích), ovšem tyto nepravdivosti invaru nevádí. Novější druhy (vždy trochu legované dalšími přísadami, na př. chromu) slibují chování pravidelnější. Důležitě dodat, že rozměry invaru jsou nezávažnější v geodesii (přesná měření základů), méně u hodin, u nichž teplotní podmínky jsou stálejší a které dnes ostatně dáváme do thermostátů.

Pro výrobu přesných hodinek a chronometrů je důležitá slitina s 42% niklu, která má sice roztažnost dost velkou, dává však s mosazí bimetalický věnec, který kompenzuje teplotní chybu mnohem lépe než stará kombinace mosazi s uhlíkovou ocelí (Guillaumeova setrvačka); je to výsledek šťastné kombinace kvadratických členů rovnice (2).

Pro velkovýrobu hodinek jsou důležité ternární slitiny Guillaumeovy, na příklad 50,8% Fe + 39,2% Ni + 10,0% Cr, zvané *elinvar* (zkratka „elasticité

invariable“), jejichž modul pružnosti je skoro nezávislý na teplotě. Miliony hodinek ročně jsou opatřeny elinvarovým stříbrolesklým vláskem. Teplotní chyba je malá a přijatelná pro praktickou potřebu dokonalé. Jen u hodinek nejpřesnějších a u chronometrů se ukazují nedostatky elinvaru: jistá nestabilitnost a poměrně velké molekulární tření (třítum, vlásek spotřebovuje citelně více práce než ocelový), což vedlo výrobce přesných časoměrů k tomu, aby se vrátili k starému ocelovému (modrému) vlásku, ovšem s Guillaumeovou setrvačkou. Pro jiné měřicí přístroje vyhovují elinvarové pružiny celkem dobře a hojně se jich užívá. Lepší než elinvar jsou slitiny podobného složení, ale s malou přísadou *beryllia* („Nivarox“), dnes již hojně užívané pro kvalitní hodinky.

V průměsu žárovek a elektronky jsou velmi důležité ferronikly a ternární slitiny Fe-Ni-Co (Fernico, Kovar a j.), které mají roztažnost skla a lze jich proto užívat na příklady proudů, zatavené do skla místo drahé platiny. Tato technika je dnes velmi pokročilá a Roentgenové lampy nebo krátkovlnné elektronky lze takřka libovolně sestavovat svářením (po sklársku „stavěním“) kusů skla a kovu. Zajímavá je i skleněná izolace přívodných nožek v kovových elektronkách; je třeba uvážít, že zde jde o spoje, které musí snést nejvyšší vakuum! Existuje stupnice slitin (některé jsou také bez niklu) s koeficienty roztažnosti od $3,5 \times 10^{-6}$ do 9×10^{-6} pro všechny druhy skel od pyrexu až k obyčejnému sklu.

Konečně jsou ferronikly různého složení, které se vyznačují speciálními vlastnostmi magnetickými a elektrickými a tím jsou užitečné pro konstrukci elektrických měřících přístrojů (permalloy, permalox, thermoperm a j.). Pro nejpřesnější technická měřítka (pro souřadnicové a měřicí stroje) se užívá vysokoprocenní niklové oceli, která nekoroduje, dá se dobře vyleštit a má koeficient roztažnosti $11,5 \times 10^{-6}$.

Vstříkové slitiny

Jsou to rozmanité slitiny typu Al-Cu-Si, častěji slitiny zinku. Jsou dostatečně pevné a někdy poměrně značně tvrdé. Celkem vyhovují pro méně náročné součásti, jako jsou rámy polárních planimetrů, drobné součásti leteckých měřících přístrojů neb automobilových tachometrů a pod. Výroba se podstatně zjednoduší, poněvadž odpadne téměř všechno obrábění, lze dosáhnout přesných rozměrů a povrchu hned schopného lakování. Vstříkové slitiny se však vyplácí jen pro veliké série (asi od 1000 kusů), poněvadž potřebné přesné ocelové formy jsou velmi pracné. Do odlitku lze zalít vložky z jiných materiálů.

Bronz

Málo užívaný (na odlitky), poněvadž nedává žádné zvláštní výhody proti mosazi a při tom se hůře obrábí. Důležitější je bronz fosforový, z něhož se dělají pružiny kontaktní a měřicí, tenké závesné pásky pro galvanometri, tlakoměrné krabice a j.

Niklová mosaz (pakfong, argentan, nové stříbro).

Slitina proměnlivého složení (10—30% Ni), proti mosazi hůře slévatelná a opracovatelná, dražší, ale jinak dobrých vlastností a chemicky odolnější než mosaz. Proto dosti hojně užívána na rysovadla, planimetry a ruční šrouby, tedy na věci přicházející do styku s rukou, ale také na kontaktní pružiny, na tlakoměrné membrány a krabice, pro méně náročné stupnice. Má pěkný vzhled, součástí se proto nelakují.

Rtuť

Kov výjimečný tím, že za normální teploty je tekutý. Užívá se ho k nečetným účelům v měřicí technice a elektrotechnice; lze říci, že moderní technika není bez rtuťi myslitelná. Rtuť sama málo oxypuje, zato ochotně rozpouští řadu jiných kovů; nabývá tím nežádoucích vlastností (lepí se na sklo) a nemá ovšem svou normální specifickou váhu. Kovů snadno oxypujících ji zbavíme oxydaci buď tím, že ji necháme jako jemný déšť padat vysokou vrstvou zředěné kyseliny dusičné nebo delším proháněním vzduchu. Vzácné kovy je však třeba odstranit destilací ve vakuu. Mechanické nečistoty odstraníme průtokem dirkami napichanými v papírovém kornoutku nebo filtrujeme (ev. tlakem) čistou jelenicí. Vody a vzduchu se rtuť zbaví ohřátím na 120—150° C. Rtuť je nebezpečný jed; nejen její sloučeniny, ale i páry, vyvinující se i za normální teploty, působí vlekou otravu (proto se dnes již nedělají zrcadla s cinovým amalgámem). Je upotřebitelná jako kapalina pro barometry a pro různé tlakoměry, do teplotně skleněných i kovových (dálkových), pro vzduchotěsné závěry, do termostátových regulátorů, volu-minometrů a do jiných fyzikálních přístrojů, pro kompensování kyvadel, rtuťové horizonty, Karlův tachografy, k tlumení synchronních motorů, k nadlehčování otočných částí (velké dalekohledy, majáky); ve vakuové technice jako náplň vývěv; v elektrotechnice do rtuťových usměrňovačů a pro rtuťové kontakty (pro nás mají význam skleněné spinače, t. zv. „prasátka“), do nejrůznějších výbojek, pro elektrody Heyrovského polarografů a pod.

Nikl

Důležitý pro slitiny; čistý na kontakty, pro stavbu elektronek, do odporových teplotměrů. Hojně se ho užívá ke galvanickému niklování; dnes užíváme často v přístrojích kombinace černého laku a niklování lesklého a matného (matné niklování bubínků mikrometrů). Niklována jsou závaží pro analytické váhy, často i přesná kyvadla.

Stříbro

Výborný materiál pro jemnější kontakty (těž speciální slitiny stříbra) a jako vložka, na kterou se ryje dělení. Levnější hodinové stroje se často postříbřují galvanicky, v optice se postříbřují zrcadla a některé hranoly redukci stříbra cukrem nebo Seignetteovou solí z ammoniakálního roztoku. Ze všech

kovů stříbro odráží nejdokonaleji viditelné paprsky. Lze dosáhnout i postříbřených ploch poloprůhledných pro některé účely optické a na skleněných skřínkách elektrometrů. To se dnes provádí lépe a přesněji kondensací stříbrných par ve vysokém vakuu, nebo katodickým rozprašováním v nízkém tlaku. Na tvrdé spájení, zejména mosazi, jsou výborné pájky obsahující různé množství stříbra; jsou pevné a dobře zatékají.

Zlato

Je užitečné tam, kde potřebujeme velkou specifickou hmotu a chemickou odolnost: kompenzační šroubky na setrvačkách přesných hodinek a jiné drobné součásti hodinářské. Stroje lepších hodinek i velkých hodin se galvanicky pozlacují. Nevýhodou je malá odolnost proti otěru, proto závaží a pod. raději niklujeme. Dobrý materiál pro jemné kontakty; čtrnáctikarátové zlato (58%) je dobrý materiál pro závesné pásky galvanometrů a jemné pružiny („zlaté péřko“ chronometrů). Prastarou metodu zlatotepeckou lze získat folie (pozlátko) i jen 0,1 mikronu tlusté (listky elektrometrů, převody proudů u nejjemnějších zrcadlových galvanometrů).

Platina

Přes vysokou cenu se jí hojně užívá v malých množstvích na kontakty, malá závaží analytická, na různé elektrody v elektrolyse a j. Má roztažnost obvyklých měkkých skel a před zavedením ferromiklů to byl jediný materiál pro zatavené převody proudů. Užívá se velmi tenkých drátků (0,5—2 mikrometry) Wollastonových, které se vyrobí tak, že se z tlustostěnné stříbrné trubičky obsahující platinové jádro (poměry asi jako u tužky) postupně vytáhne tenký drátek a pak se stříbro rozpustí kyselinou dusičnou. Je dobrý pro nejjemnější torsní závěsy, dnes je ovšem často nahrazován vláknem křemenným. Rozválcováním Wollastonových drátků na plocho lze získat tenké pásky, které mají ještě mnohem menší direkční moment. Tvrdé slitiny s iridiem se užívá na prototypy délkové a váhové, slitina s rhodiem dává s čistou platinou thermočlánek, jehož se hojně užívá v laboratoři i v průmyslu. K jemnému měření teplot se užívá platinových odporových teplotměrů, pro malé laboratorní pece platinových vnití.

Wolfram (dříve též tungsten)

Těžký a ze všech nepevnější (v tahu až 400 kg/mm²) a nejvýše tající (asi 3 500° C) kov. Nepostradatelný pro výrobu vláken do žárovek a elektronek, na Roentgenovy trubice a vůbec pro vakuovou techniku. Výborný materiál na měřicí pružiny (modul v tahu asi 30 000 kg/mm²) s velmi malým dopružením; gravimetr Carnegie Institution má relativní chybu v mezích 1/200 000, měří-li se podle vyzkoušeného plánu časového, jen 1 × 10⁻⁶. Karbid wolframu, slitinový (sintrovaný) s přísadou nějakého kovu, tvoří t. zv. tvrdé kovy (Widia, Diadur), důležité pro rychlé obrábění, ale také vhodné pro dotykové plochy kvalitních měřidel. Wolfram lze zatavit ve formě folie do vhodných druhů skel, jde-li o převod proudů. Wolframan vápenatý je vhodný jako fluorescenční stínítko pro Roentgenovo záření.

Molybden

Rovněž těžko tavitelný kov, důležitý ve vakuové technice (elektrody v různých elektronkách); též ve formě slitiny Ni-Fe-Mo. Vhodný na topné odpory v elektrických pecích. Přísada do konstrukčních ocelí (chrommolybdenová ocel).

Chrom

Důležitá přísada legovaných ocelí. V průmyslu se hojně chromuje místo obvyklého nikelování. Tvrdým chromováním lze výborně opravit opotřebená měřidla. Je-li práce provedena, jsou tato měřidla aspoň rovnocenná původním.

Berylliové slitiny

Beryllium je kov spojující malou měrnou hmotu ($1,7 \text{ g/cm}^3$) s vysokou pevností a s vysokým modulem pružnosti (asi 30.000 kg/mm^2). Dosud je velmi drahý, dražší stříbra, ale i v malých přísadách propůjčuje jiným kovům výborné vlastnosti, a proto má nepochybně velkou budoucnost. Berylliový nikl, berylliová měď a již zmíněný „Nivarox“ jsou znamenité materiály, které se vyznačují malým creepem a malým dopružováním; hnačí pružiny v hodinách, vyrobené z některého z těchto materiálů, praskají nesrovnatelně řídkěji než „péra“ ocelová a s časem méně ochabují. Pro hodiny byla dopřena kombinace: čep z berylliového niklu, ložiska z berylliové mědi.

Jiné kovy

Příležitostně užíváme i jiných kovů: *tantalu* na různé elektrody; *olova* (ev. tvrdého s přísadou antimonu) na kyvadlové čočky a jako výplň závaží, spolu s *cínem* do měkké pájky. *Mědi* se užívá samozřejmě pro všechna elektrická vedení, jako konstrukčního materiálu zřídka (špatně opracovatelná, „maže se“), na příklad na stěny thermostatů pro křemenné oscilátory a pouzdra vzduchotěsně uzavřených hodin. Málo vhodný je čistý *zinek*, který by se pro snadnou slévatelnost a opracovatelnost dobře hodil pro experimentální improvisace, má však značný creep, což se velmi zřetelně ukázalo na zinkových kompensacích kyvadel. Málo se užívá i čistého *hliníku*, na příklad ve stavbě leteckých měřicích přístrojů, na desky otočných kondensátorů a na kotouče pro Ferrarisovy motorky a pro tlumení (elektroměry). Zrcadla, která mají dobře odrážet krátkovlnné (ultrafialové) paprsky, na př. hvězdářské reflektory (užívané dnes skoro výhradně k fotografii oblohy), dnes se již nestříbrí, nýbrž opatřují se vrstvičkou hliníku, vzniklou ve vysokém vakuu kondensací hliníkových par (hliník se odpaří ve wolframových spirálách nebo na foliích, zahřátých el. proudem).

Ve stavbě elektrických měřicích strojů se užívá četných *speciálních slitin* různého složení a různých odporových a magnetických vlastností; bližší v knihách:

Trnka: Elektrické měřicí přístroje,

Jareš: Metalografie neželezných kovů,

Korecký—Pospíšil: Vzácné kovy v technice.

Zajímavé je užití jedné z odporových slitin — manganinu — k měření vysokých tlaků v kapalinách (tisců atmosféry), neboť odpor vzrůstá o 0,2—0,25 procent na každých 1000 kg/cm^2 ; měření je snadné (místkem), nesnadné je zato utěsnit přívody proudu.

Materiály nekovové

Umělé látky

Počet umělých látek jde dnes do set, jsou předmětem rozsáhlého a specializovaného oboru chemie a jejich výroba představuje již silný průmysl. Jsou dvojího druhu: hmoty *thermoplastické*, které ohřátím měknou a ochlazením opět tvrdnou (zjev je tedy vratný) a hmoty *polymerisující (tvrditelné, thermosety)*, u nichž se vlivem zvýšené teploty tvoří veliké prostorové molekuly, ale chemické složení se při tom nemění a hmoty nabývají natrvalo nových vlastností (zjev je tedy nevratný). Chemické složení umělých hmot je velmi různé. Jejich význam je jednak v tom, že nahrazují hmoty přírodní, jednak — a snad hlavně — v tom, že mají namnoze vlastnosti od přírodních hmot odlišné a nové a rozšiřují tedy naše technické možnosti. Není tedy div, že umělých hmot užíváme i v jemné mechanice.

Celuloid

Vyrábí se z nitrocelulosity a z kafru rozpouštěním, vysušením a pak válcováním. Hmotu je za normální teploty dosti měkká a (nedokonale) pružná, teplem měkne, při 70°C je tvárnivá, při vyšších teplotách se rozkládá; je horlavá a nebezpečná snadnou zápalností (při hoření vydává jedovaté plyny, ve větším množství a v omezeném prostoru je dokonce výbušná), je však výborně opracovatelná.

Celuloid je tvarově málo stálý: po výrobě se smrštuje a deformuje vypařováním zbytků rozpustidel, později pomalým vypařováním kafru (při tom křehne). Pro nás je zajímavý jako podklad fotografických filmů, bíle zbarvený je pěkným materiálem na stupnice méně přesné (hubinky planimetrů, nalepený na dřevo pro počítací pravítka a měřítka). Z celuloidu jsou nerozbitná skla na hodinkách a na dílenských měřicích přístrojích.

Galalit

Galalit — umělá rohovina — vzniká pomalým působením slabého roztoku formaldehydu na kasein. Je silně hygroskopický a tedy rozměrově málo stálý. Silně otupuje nástroje. Bíle zbarveného galalitu lze někdy užít jako náhražky celuloidu na stupnice, jinak je vhodný na různé rukojeti a pod., pokud ovšem nedáme přednost umělým plastickým hmotám.

Kaučuk přirozený

Užitečný jako materiál na trubky a hadice, na různá těsnění, pružná uložení přístrojů, na výrobu klinových temníků. Je velmi pružný (snese až šestinásobné protažení), ale má velikou elastickou hysterese. Pro vakuovou techniku ne-

bývá dostatečně těsný. Dnes je často nahrazován kaučukem (gumou) umělým, který je odolnější proti mnohým chemickým činidlům (na př. benzínu, oleji).

Ebonit

Je to kaučuk vulkanisovaný s velkým přídavkem síry. Je to černá hmota, křehká, hořlavá, dobře se leští, ale rychle otupuje řezné nástroje, je dobrým izolátorem. Tvarově je málo stálý, účinkem světla se mění — vylučuje se kyselina sírová a povrch se pomalu stává vodivým. Dříve se ho často užívalo ve stavbě elektrických měřicích přístrojů a na izolace všech druhů, dnes je nahrazován stálejšími umělými pryskyřicemi. Dá se lisovat za tepla; jeví značný creep.

Bakelit

Působením formaldehydu na fenol (nebo kresol) vzniká umělá hmota, nazvaná po svém vynálezci H. L. Baekelandovi. Bakelit polymerisuje při teplotách nad 150° C a stává se nerozpustným a netavitelným; je tedy „thermoset“. Nehoří, nýbrž pouze uheľnati nad 250° C. Je netečný k mnohým chemikáliím a je dobrým elektrickým izolátorem. Bakelitu se používá samotného jako lepidla a laku (impregnace vinuti elektr. strojů a přístrojů), většinou jako pojidla: práškový bakelit se smíchá s moučkou dřevěnou, minerální, po příp. s nějakým pigmentem. Z této směsi se ve vytápěných kovových formách lisují nejružnější součásti pro všechny možné potřeby průmyslu i denního života; výlisky jsou přesné, lze lisovat i útlé a tenkostěnné součásti, závitů a drobné nadpisy, finiš je pak tak dobrý, jak dobrý je finiš lisovací formy. Výhodné je, že lze zaformovat též různé vložky z mosazi nebo z jiného kovu. Takto lze zhotovit i celé složité části různých aparatur (na příklad celý galvanometr pro regulátor elektrické pece).

Jinak se běžně lisují pouzdra a kryty pro měřicí přístroje (zvláště elektrické), které byly dříve odlévány vstříkem nebo lisovány z plechu. Bakelitu se užívá i jako pojidla jiných hmot: papír impregnovaný bakelitem (tvrzený papír, pertinax), bakelit + textil (texgummoid, micarta). Těchto hmot se užívá jako izolálního materiálu a na ozubená kolečka. Pertinaxu nebo texgumoidu lze lecky užít jako základních desek pro drobnější aparatury a pro různé improvisace v laboratoři. Rozměrová stálost bakelitu a hmot z něho odvozených je dobrá (jsou jen málo hygroskopické). V poslední době se začíná užívat také fenol-formaldehydových pryskyřic litých, s kterými lze dosáhnout ještě lepších výsledků než s lisovanými.

Plexiglas

Průhledná hmota (derivát kyseliny metakrylové), termoplastická, tvrdší celuloidu a stejně dobře opracovatelná (rovněž neotupuje řezné nástroje), dobře leštitelná a za tepla formovatelná. Dá se snadno lepit (chloroformem, spec. lepidlem, kanadským balsámem), opticky brousit a leštit. Strídává namáhání a vibrace snadno způsobí nesčetné, většinou povrchové trhlinky. Dodává se v tabulích od 0,5 do 12 mm i více. Jeho fyzikální vlastnosti jsou tyto:

měrná váha	1,18	g/cm ³
Brinellova tvrdost 5(250)3	17,8	kg/mm ²
modul pružnosti E	280	kg/mm ²
pevnost v ohybu	1 100	kg/cm ²
pevnost v tahu při -40° C	680	kg/cm ²
+20° C	750	kg/cm ²
+70° C	640	kg/cm ²
příjem vody při 30° za 24 hod	0,17	%
96 hod	0,41	%
součinitel tepelné roztažnosti	1,30	× 10 ⁻⁵
světelná propustnost	99	— 90 %
index lomu	1,49	

Plexiglasu se užívá často místo skla (na př. pro letadlové kabiny — je lehčí skla); ohřát v horkém vzduchu (podle tloušťky na 90—125°) dá se tvářet lisováním ve formě, foukáním jako sklo nebo v rotaci odstředivou silou. Lze z něho vylisovat a vybrousit čočky, které stačí na příklad na bezpečnostní brýle, ale jsou ovšem méně odolné proti poškrábání než brýle ze skla. Plexiglas je daleko průhlednější než sklo; ohnutou tyčkou lze vésti světlo jako potrubím a osvětlit těžko přístupná místa (na př. v zubním lékařství). Nevýhodou je malá odolnost chemická.

Dřevo

Dřevo je materiál lehký, snadno zpracovatelný, v poměru k měrné váze velmi pevný, dá se (tvrdší druhy) dobře leštit a snadno spojovat klížením. Naproti tomu se snadno štípe a následkem hygroskopičnosti je tvarově málo stálé; tuto závadu neodstraní úplně ani nátěr, ani impregnace fermeží nebo parafinem. Ze dřeva se hotoví pouzdra měřicích přístrojů (ve velkých sericích se ovšem pouzdra lisují z plechu nebo z umělých hmot), skřínky pro úschovu a ochranu přístrojů, dřevěné stavitby přístrojů fotografických a geodetických, kyvadlové tyče pro lepší hodiny („pendlovky“). Pro snadnou zpracovatelnost se dřevo hodí pro různé laboratorní improvisace, s jistým rozmyslem ho lze lecky použít i pro sestavu měřicích (zejména provisorních, dočasných) aparatur. Staré námořnické sextanty byly hotoveny ze vzácných dřev, dělení bylo vyryto na vložce ze slonoviny. Vhodné jsou tvrdší druhy, pro skřínky zvláště ořech a mahagon; velmi příhodným materiálem (ušetří mnoho práce) je letecká překližka (3—5 vrstviček dřeva slepených bakelitem) a ji podobně tlustší, bakelitem do značné míry již impregnované desky, zvané tvrzené dřevo.

Nerosty

Příležitostně se užívá měkkých kamenů (vápenců) pro jejich stálost, na příklad na civky etalonů indukce, jako základních desek; lze užít také břidlice. Islandského vápence (dvojlomného) se užívá v optice. Důležitější jsou tvrdší kameny:

Křemeny

Křemenité nerosty jako achát, chalcodon (zvláště červený karneol) jsou materiál na pánve lepších vah (u vah analytických obyčejně i na brýty), lo-

žíska kompasů a busol, na kotvové zuby přesných kyvadlových hodin. Granát se bere na levnější ložiska hodinek a na ložiska elektroměrů. Zajímavý je čistý krystalický křemen, křišťál, tvořící velké, dobře vyvinuté krystaly. Kusy určitým způsobem z krystalu vyřiznuté význačně jeví piezoelektrický zjev, kterého dnes užíváme k různým účelům: na vysokofrekvenční resonátory, k přesné regulaci frekvence vysílačích stanic, k nejpřesnějšímu měření času, k buzení ultrazvuku, k měření rychle se měnících sil, k měření otřesů, na piezoelektrické mikrofony. Blíží v knize: Petržílka—Slavík, Piezoelektrika a její použití v technické praxi. Křišťálu se užívá též v optice, zejména na čočky pro fotografování ultrafialovými paprsky (které optická skla téměř nepropouštějí). Velmi zajímavým materiálem je tavený křemen (o něm viz dále).

Korundy

Čistý korund, červený rubín a modrý až bezbarvý safír jsou nejlepšími materiálem na ložiska a součásti kroku hodinek a chronometrů, na ložiska různých měřicích přístrojů (zejména elektrických), na dotykové plošky jemných délkových měřidel. Vrtá se, soustruží se, brousí se a leští se diamantem, což je známé již od XVII. století. Za nejlepší se považuje bezbarvý safír, obecnostvo však chce mít hodinky s červenými rubíny. Dnes se užívá nejvíce kamenů umělých, vyráběných metodou Verneuilovou tavením práškového kyslíčnicku hlinitého; nepatrnými přísadami kyslíčnicků různých kovů lze dosáhnout libovolné barvy. Tyto umělé kameny jsou považovány technicky za lepší, neboť jsou rovnoměrnější než přirozené. Zajímavé je, že umělé korundy obsahují často spousty mikroskopických bublinek, které však nevadí, neboť se při leštění „zatáhnou“. Blíží údaje o výrobě a užití ve spise J. Kašpar, Syntetické korundy. V technice a v optice je korund (též umělý) důležitým brusným materiálem.

Diamant

Čistý krystalický uhlík má ze všech hmot největší tvrdost a nejvyšší index lomu. Veliká lámavost se uplatňuje v klenotnictví (výbrusy brilliantové), vysoká tvrdost činí z diamantu materiál v technice nepostradatelný. Předně je vhodný jako nástroj pro mnohé účely, od velkých černých (brasílských „carbonados“) diamantů k vrtání v tvrdých horninách přes diamantové nože a na nejpřesnější soustružení až k diamantovému prášku na lapování nástrojů a na broušení a hlazení jiných tvrdých kamenů. Sám se dá brousit jen vlastním práškem (velmi pomalu) a při tom se zároveň dosahuje již lesku. Z diamantu se hotoví průvlaky k tažení jemných wolframových drátků do žárovek; vrtá se pomalým vybrušováním ocelovou jehlou, na niž se nanáší diamantový prášek s olejem, podobně provlečeným drátkem se vývrt vyhladí a „olivuje“. Z diamantu jsou hroty některých strojů k stanovení tvrdosti kovů: kužel (Rockwell) nebo pyramida (Vickers). Setrvačka chronometrů spočívá na diamantu. Nejjemnější dělení a difrakční mřížky se ryjí diamantem. Sklenář řeže tabulové sklo tak, že poruší diamantem povrchovou vrstvu skla. V optické výrobě se desky z optického skla rychle přezávají železným kofoučem,

na jehož obvodě je do záseků zatemňována diamantová drť; zde se uplatňuje — stejně jako u soustružení — trvanlivost řezných hran diamantových ulomků.

Jiné nerosty

V optice se užívá *kazivce* (fluoritu) na čočky silných objektivů mikroskopických, *turmalinu* pro polarisaci (je také silně piezoelektrický), někdy též čistých krystalů *kuchynské soli*. *Mastek*, zejména vyžiháný (steatit), je vysoce ohnivzdorným materiálem, jehož se užívá v technice i v laboratorii.

Hmoty keramické

V technice a v laboratorní praxi se užívá různých ohnivzdorných hmot, na příklad *šamotu*, *steatitu*, *karborunda*, *taveného křemene*, různých druhů porcelánu (z něhož se dělají také ochranné kryty termočlánků).

Sklo

Z nesečtných druhů skla užítkového a ozdobného jsou pro naše účely důležité zvláště tyto druhy: měkká i tvrdá skla optická a skla speciální.

a) *Skla měkká i tvrdá* (t. j. měknoucí při nízké i vyšší teplotě) k zpracování na *sklářském kahanu* (plyn a vzduch, ev. kyslík), foukáním, ohýbáním, vytahováním, svářením; tak hotoví foukač skla skleněné části různých fyzikálních a měřicích přístrojů (na př. barometrů, tlakoměrů), přístroje a nářadí pro chemické laboratoře. Ve velkovýrobě se vyfukují (většinou strojně) baňky pro žárovky, elektronky a rozmanité výbojky. Výchozím polotovarem jsou větší — trubky různých průměrů; ze silnostěnných trubek, které mají malou světlost („lumen“) čili kapilar, hotoví se teplotoměry.

b) *Skla optická*. Původně jen tvrdá skla korunová (crown) a měkká těžká skla olovnatá (flint), která umožnila první achromatické čočky. Dnes je celá řada skel s různými indexy lomu a s různě velikou disperzí (šíří spektra), různého složení, některá i bez kyslíčnicku křemičitého. Tato skla dala optikům nové možnosti a umožnila dnešní dokonalé fotografické objektivy a silné objektivy mikroskopové. Hotoví se z nich broušením a leštěním — ve velkovýrobě třebas i z kusů již předlisovaných — hranoly a čočky všech tvarů a průměrů (od 2 mm pro mikroskopy do 1. metru pro hvězdářské dalekohledy), planparalelní desky a zrcadla.

c) *Skla speciální* pro zvláštní potřebu, na příklad skla, která propouštějí ultrafialové paprsky, a naopak skla, která je dokonale pohlcují; skla pohlcující dlouhovlnné (infračervené) paprsky; skla různě zbarvená (barevné filtry pro fotografii a pro jiné účely), skla se speciální odolností chemickou (chemické nářadí, ampulky na injekce), skla na teplotoměry. Důležitá jsou skla s určitými koeficienty tepelné roztažnosti: borosilikátové sklo („pyrex“) má roztažnost jen 4×10^{-6} , používá se ho ve vakuové technice a pro zatavené proudy. Bylo z něho též odlito obrovské zrcadlo pro dalekohled na

Mt. Palomaru. Určitou roztažnost potřebujeme tehdy, má-li se svařit sklo s kovem (viz ferronikly).

Důležitá kapitola jsou zatavené přívody proudu, *průchody*. Pro skla „obyčejná“, měkká se dříve užívalo platiny. Dnes užíváme speciálních slitin s podobnou roztažností: Ferroniklů, ferrochromů a slitin ternárních i složitějších. Některých užíváme holých, jiných (ferroniklu) ve formě povlakových drátů s vrstvou mědi. Jde o to, aby se kov se sklem spojil; to předpokládá, že kyslíčnický průchodového materiálu mají být ve skle rozpustné.

Ve vakuové technice jsou dnes běžná skla *tvrdá*, u nichž bývá $\alpha = 4 \cdot 10^{-6}$. Zde se na průchody berou materiály typu Fe-Ni-Co, nebo slitiny ještě složitější, jejich roztažnost odpovídá použitým sklům. Jinak je možné nebo nutné (na př. pro křemeninu) užít skel *přechodových*: Průchod se obalí několika vrstvami skla, jehož roztažnost postupně klesá ve stupních $0,5 - 1,0 \cdot 10^{-6}$.

Zvláštní a fyzikálně zajímavý druh průchodů jsou *folie*, pásy asi $15 - 20 \mu$ tlusté a několik milimetrů široké, které se za tepla zamačkou do skla (ve vakuu nebo ve vodíkové atmosféře); na konce folie se navazují přírodní dráty. Pro měkké sklo lze užít folie měděné, pro tvrdé sklo a zvláště pro tavený křemen folii z wolframu, molybdenu i tantalu. Zde veliké rozdíly v roztažnosti nevedí a folie i při značném proudovém zatížení těsní velmi spolehlivě. Hotoví se tak zvláště vysokotlaké rtuťové výbojky z křemeniny.

Někdy je sklo vhodné i jako materiál *konstrukční* (základní desky analytických vah), často jako *isolant* u přístrojů elektrických, v nové době se hojně bere jako materiál na stupnici. Výhodou skla je jeho dokonalé přesná opracovatelnost broušením. Naproti tomu stálost tvarová není vždy vyhovující, neboť sklo se v podstatě chová jako nesmírně viskosní kapalina (skleněná tyčinka položená na dvě podpěry se za několik měsíců plasticky prohne) a u velikých čoček může po letech dojít až k optickému znehodnocení těmito deformacemi. Sklo se dá vyfouknout do velmi tenké stěny (krycí sklička pro mikroskopii tloušťky kolem $0,17 \text{ mm}$) a vytáhnout v jemná vlákna, která dávají výbornou tepelnou izolaci a dají se dokonce sprádat (sklem opředené dráty pro elektromotory). Chemicky je značně odolné, dá se však snadno leptat kyselinou fluorovodíkovou (matné sklo, nadpisy, dělení).

Tavený křemen (křemenina)

Materiál pozoruhodný po mnoha stránkách. Má tepelnou roztažnost ze všech látek nejmenší, kolem normální teploty $0,4 \times 10^{-6}$. Hodí se tedy na tyče přesných kyvadel, jako srovnávací tyčka dilatometrů, do teplotních regulátorů pecí, všude tam, kde potřebujeme malou roztažnost. Při změnách teploty se chová pravidelněji než invar, byl-li stabilisován žíháním. Protože má vysokou teplotu měknutí a poněvadž propouští ultrafialové paprsky, hodí se pro rtuťové a jiné výbojky. Další jeho vlastností je tvarová stálost, creep je řádově stokrát menší než u kovů. Konečné měřky ani rovinné desky neukazaly po letech žádné změny. Křemen se dá snadno vytáhnout v nejjemnější vlákna ($1 - 2 \text{ mikrony}$), která překvapují obrovskou pevností. Podle ruských měření

\varnothing	1μ dal pevnost	800 kg/mm ² , absolutní pevnost	0,6 g
2	510		1,6
3	410		2,7
5	210		4,3
10	130		10
20	100		30
50	45		94
90	32		200

Zcela čistá vlákna, vyžíhaná ve vakuu, mohou mít pevnost až dvojnásobnou; největší zjištěná pevnost byla řádu 1800 kg/mm^2 . Naproti tomu každé znečištění a každý dotyk (jen pouhé zaprášení) pevnost značně snižují; pevnost klesá též stářím vlákna. To jsou pevnosti zjištěné při krátkodobých zkouškách; při trvalém zatížení je pevnost taveného křemene — právě tak jako skla — mnohem menší (řádově poloviční). Dodáme-li, že všechna uvedená měření mají velký rozptyl, vidíme, že pevnost křemene je fyzikální otázkou, jejíž objasnění by jistě podstatně zvětšilo naše znalosti o fyzikálních podkladech pevnosti materiálu. Modul pružnosti závisí rovněž na tloušťce vlákna: tak při tloušťce 2 mikrony byl zjištěn modul v tahu 10900 kg/mm^2 , v kroucení 6750 kg/mm^2 , kdežto u vláken 60 mikronů byly moduly 5030 a 2980 kg/mm^2 . Vlákna lze silně namáhat, neboť mez pružnosti je tožná s mezí pevnosti; vlákno 5 mikronů lze zkroutit o úhel $20 \times 360^\circ$ na každý centimetr délky. Dopružování je nepatrné, daleko menší než u kovů. Molekulární tření (útlum) je řádově tisíckrát menší než u kovů; setrvačka o době kyvu 2 sek, zavěšená na křemenném vlákně ve vakuu, ztrácí za 24 hod. jen 20% energie. Křemenné vlákno je proto ideálním materiálem pro torsní závěsy nejspitlivějších měřicích přístrojů, jemných galvanometrů, gravimetrů a torsních vah. Také místo břitů lze užít křemenných vláken u nejjemnějších mikrovah, jejichž vahadlo lze zhotovit z tlustších (asi $0,3 \text{ mm}$) vláken.

Ve fyzikální laboratoři má tavený křemen dále význam tím, že dobře propouští ultrafialové paprsky (skoro jako křišťál) a že je znamenitý, ne-li vůbec nejlepší isolant. Dá se opticky brousit na hranoly a čočky. Zpracovatelnost — v plameni třaskavého plynu — je horší než u skla, výrobky nejsou tak hladké a pěkné, nicméně lze hotovit i rtuťové teploměry pro teploty 600° C . Podle čistoty suroviny (nejlepší je brasilský křišťál) je křemenina dobře průhledná až mléčně zakalená s hedvábným povrchem (chemické nářadí, kyvadlové tyče). Podle nové terminologie lze tavený křemen nazývat *křementinou*, kdežto *křemenné sklo* je tavený křemen, který obsahuje malé přísady kyslíčnické (na př. B_2O_3); tyto přísady usnadňují tavení, ovšem zvětšují tepelnou roztažnost.

Různé materiály

Isolanty

Kromě ebonitu, hmot vázáných bakelitem a taveného křemene jest výborný jantar (fosilní pryskyřice, dává i výborný lak) a síra, výborně izoluje i parafin a ceresin, dobře izoluje sklo a porcelán, mikarta a perlinax; k improvacím lepkdy vyhoví dřevu napuštěné za horňka parafinem.

Mazadla

Kromě olejů obvyklých ve strojnictví užíváme pro jemné přístroje a hlavně v hodinářství olejů *živočišných* (u nás z paznehtů, v Americe z ryb nebo kytovců), které mají výbornou mazavost („olejovitost“), nejsou však chemicky valně stálé ani tehdy, obsahují-li přísadu nějakého antioxydačního prostředku a dokonce barviva (na ochranu před účinky světla). Minerální oleje, daleko méně mazavé, ale stálé, mají nepřijemnou vlastnost rozlézat se do okolí až do vysušení ložiska; proti tomu často pomáhá podle Woogova způsobu neviditelná vrstvička („epilamen“) stearové kyseliny, které často užívají švýcarské hodinářské továrny. Pro velké specifické tlaky a pro pomalý pohyb lze užít mazadel tuhých, minerálních i živočišných. Celkem lze říci, že otázka mazání není — zejména u hodinek — dosud uspokojivě rozřešena; stav mazadla má velký vliv na chod chronometru a hodinky je třeba každé tři roky demontovat, vyčistit a namazat (malé náramkové i každý rok). Pro vakuovou techniku jsou důležitá tuhá mazadla k těsnění zábrusů a kohoutů, od nichž se žádá malé napětí par (na př. vazelina + surový kaučuk).

Šelak

Výpotek samiček některých červeň, pokrývající vrstvou větve mnohých druhů keřů a stromů, jež rostou v horkých krajinách. Je to látka pryskyřičné povahy, v praktickém upotřebení termoplastická, ale při vyšší teplotě pěníci ztrátou vody a částečně polymerisující. Šelak je rozpustný v lihu, roztok je truhlářskou politurou a dobrým izolačním lakem, hustým roztokem šelaku se ucpávají netěsnosti ve vakuové technice. Pevnost v tahu a smyku je řádu 2,5 kg/mm², je-li šelak čistý; přísada kalafuny (obvyklá) pevnost snižuje. Z toho důvodu a také proto, že dobře lpe na kov i na kameni, je vhodný k zalpování drobných skleněných a kamenných součástek do kovů; na příklad v hodinkách jsou rubinové zuby kotvy vždy zašlakovány. Neocenitelný je též při soustružení k nalepení předmětů tak útlých, že žádné jiné upnutí nesnesou; po práci se šelak odstraní horkým lihem. Šelak je součástí mnohých tmelů.

Laky a nátěry

Vždy se lakuji — stříkáním nebo namáčením — součásti lité nebo hrubě opracované plochy, a to laky různého složení, nejčastěji černými; zvláště dobře drží laky sušené při vyšší teplotě, pro menší přístroje jsou oblíbené laky, které při schnutí krystalují. Čistě opracované plochy, po nichž se nic nepohybují, lakujeme laky bezbarvými nebo slabě přibarvenými; starší laky mechanické obsahovaly přirozené pryskyřice (sandarak a j.), dnes často užíváme laků *zaponových*, méně tvrdých i trvanlivých, které však lze snáze natírat (na př. roztok celuloidu ve směsi acetonu a amyacetátu). Součástí ocelové často vůbec nelakujeme a chráníme je event. naolejováním nebo zředěným bezvodým lanolinem. V optice černíme vnitřek přístrojů černými laky matnými. Na číselníky hodin a jiných přístrojů bereme někdy nátěry svítící. Pro elektrické přístroje se užívá ohebných laků *isolatních*. Nejednodušší povrch dávají *emaily* (nizko tající skloviny).

Tmely a lepidla

Kromě šelaku je velké množství tmelů různého složení. Návody stále opakované v literatuře nebývají spolehlivé; mnohé výborné recepty zůstávají továrním tajemstvím. Tmely jsou buď termoplastické (šelak, pečetní vosk, speciální tmely pro vakuum), nebo tuhnou chemickými procesy nebo polymerisací, jsou tedy nevratné, irreversibilní; na příklad tmel glycerinový (glycerin + klejt), Sorelův cement, sádra, cement, tmel zinkový (ZnO + ZnCl₂), různé tmely fermezové a s vodním sklem a mnoho jiné.

Od tmelu se zásadně neliší lepidlo. Uživáme opět mnoho druhů lepidel: klišu, kaseinu, roztoku kaučuku, všelijakých lepících laků. Synthetická chemie vytvořila lepidla polymerisující vyšší teplotou, jimiž lze slepit i látky tak nesusoudé jako kov a sklo. Důkazem pevnosti a spolehlivosti je, že těmito lepidly dnes bez obav lepíme kovová letadla místo nýtování. Tato technika je ve vývoji a průmysl se snaží o podobná lepidla polymerisující za studena. Opatrnosti vyžaduje příprava ploch před lepením; nestejna roztažnost tepelná může spolehlivost lepení ohrozit. Čochy slepujeme *kanadským balsámem*, což je terpentýn z některých jehličnatých stromů.

Kromě dosud uvedených materiálů se setkáme v měřící technice příležitostně ještě s jinými materiály pro speciální účely. S některými se setkáme v dalších kapitolách.

2. KONSTRUKČNÍ PRVKY

Zde nebudeme opakovat to, co bylo vyloženo v knihách o *součástech strojů* a co je obsaženo v Technickém průvodci. Je jasné — vždyť jemná mechanika je odvětvím strojnictví —, že těchto strojnických prvků vydatně používáme, zejména u měřících strojů větších rozměrů, přihlížeje při tom více ke kvalitě a přesnosti, méně k nízké výrobní ceně. A však jemná mechanika a ještě více hodinářská technika si vytvořily vlastní konstrukční styl a své konstrukční prvky a o těch bude dále pojednáno.

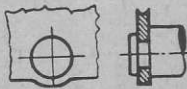
Spojovací metody

V přesné mechanice jsou působící síly obvyčejně malé, ne-li zanedbatelné, proto často vystačíme se spojením, které by neobstálo ve strojnictví. Často jde spíše o to, aby se spojení neuvolnilo malými silami střídavými nebo ořesý, nebo je důležitá tvarová stálost spojovaného celku. Jako ve strojnictví i zde rozeznáváme spoje rozebratelné a nerozebratelné.

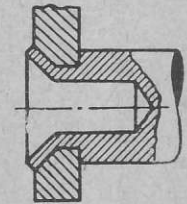
Nýtování

Obvyklého strojnického nýtování se užívá málo, hlavně proto, že snadno vede k deformaci přesných součástí; nýt za studena roznytovaný je ve vývrtnu

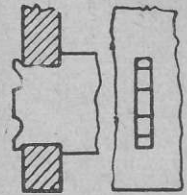
napěchován a snaží se vývrt roztáhnout. I když zrovna nedojde k drastické deformaci podle obr. 5, zůstanou v součásti napětí, která stačí vyvolat citelné, eventuálně i nestálé deformace. S nýtováním podle obr. 5 se setkáváme na příklad v hrubém hodinářství. Často saháme k mírnějším, i když méně pevným způsobům, k nýtování trubkovému a částicovému. Při způsobu prvním (obr. 6) se okraj rozežene nástrojem kulečkovým, po případě, jde-li o větší pevnost nýtování v kroucení, nástrojem ve tvaru 4–6-boké pyramidy. U nekulaté součásti provedeme rozehnání podle obr. 7 dvěma záseky sekáčem nebo rozeženeme plochým nástrojem rýhovacím. Použijeme-li obyčejných nýtů, je lépe vzít malé a z měkkého materiálu (vyhráté), hlavu pak vytvořit jen plochou podle obr. 8 plochým (a vyšetřeným) nástrojem (takto se nýtuje obyčejně v letectví); nebo se užije nýtování zapuštěného, lehece se nýtuje a nýt se zarovná do plochy.



Obr. 5.

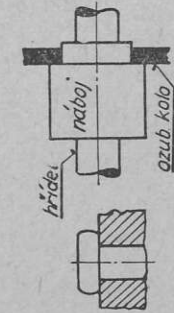


Obr. 6.

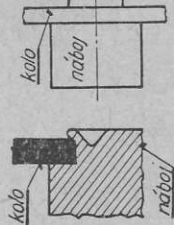


Obr. 7.

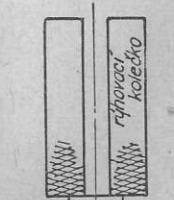
nekulaté součásti provedeme rozehnání podle obr. 7 dvěma záseky sekáčem nebo rozeženeme plochým nástrojem rýhovacím. Použijeme-li obyčejných nýtů, je lépe vzít malé a z měkkého materiálu (vyhráté), hlavu pak vytvořit jen plochou podle obr. 8 plochým (a vyšetřeným) nástrojem (takto se nýtuje obyčejně v letectví); nebo se užije nýtování zapuštěného, lehece se nýtuje a nýt se zarovná do plochy.



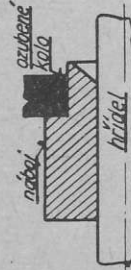
Obr. 8.



Obr. 9.



Obr. 10.



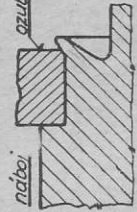
Obr. 11.



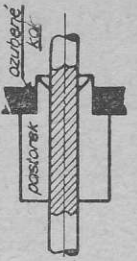
Obr. 12.

Způsoby podle obr. 9, 10 a 11 jsou obvyklé u laciných výrobků jako na příklad u budíků. Lepší způsob je ten, kde je přesahující náboj „podřiznut“ podle obr. 12; nýtovacím nástrojem podle obr. 13 se přesahující materiál zmačkne, a tím se zároveň trochu rozežene ven podle obr. 14. Tohoto způsobu se zvlášť používá v jemném hodinářství, kde se konstruktér snaží nanytovat ozubená kola pokud lze na pastorky. Ozubení pastorku se osadí a podřízne podle obr. 15, kolečko se mírně na osazení narazí a přesahující zbytky zubů

se lehece zanýtují podle obr. 15 (silnější roznytování by tvrdý, kalený ocelový pastorek ostatně nesnesl). Spojení drží pevně, protože zbytky zubů (zubní mezery jsou profézovány až k hřídeli, s nimiž je pastorek v celku) se při narážení trochu zařiznou do ozubeného kola a vždy mosazného kola a při pečlivém provedení kolečko nehází. I provedení podle obr. 12 může být přesné, jestliže mosazný náboj, nalisovaný předem na hřídel, na tomto hřídeli definitivně osoustružíme. Popsaných způsobů se pro malá kolečka užívá všeobecně, v kapesních hodinkách najdeme vždy několik nýtování podle obr. 15.



Obr. 14.



Obr. 15.

Spojení přehybem

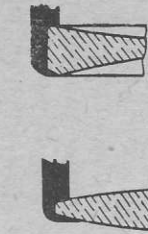
Přehyby různého druhu spojujeme často kusy plechové. Pro nás je tento způsob důležitý ve dvou případech. Předně jsou takto upevňovány ložiskové kameny. Kámen sedí v lůžku, kolem jehož okraje se udělá špičatým nožem ostrá rýha, takže vznikne tenký okraj trojúhelníkového profilu (obr. 16a);

a



Obr. 16.

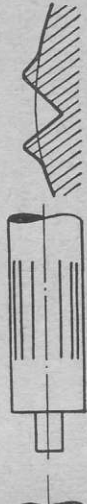
b



Obr. 17.



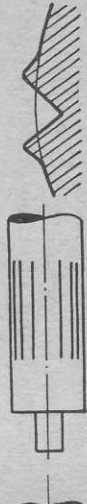
Obr. 18.



Obr. 19.



Obr. 20.



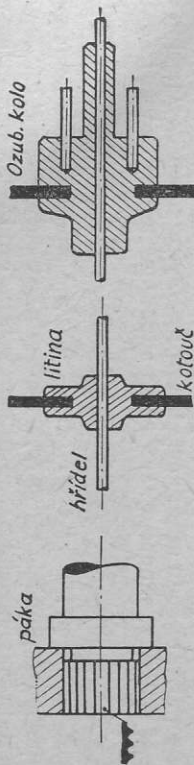
Obr. 21.

tento okraj se nástrojem tvaru tupé jehly přhne na kámen (obr. 16b). Práci lze vykonat dobře na soustruhu, mnohem rychleji — ač méně pěkně — ručními speciálními nástroji; švýcarský průmysl si vytvořil pro tuto práci („sertisage“) speciální strojký, které ji provedou ve zlomku minuty. Zeela podobně se upevňují malé čocky v optice podle obr. 17. Přehyb má být méně než o 90°; proto čocka konkávní (obr. 18) dostává při obrušování obvodu malou šilkou facettu. Materiál (obvyčejně je to mosaz) nesmí být přimáčknut příliš důkladně, jinak v čocke vzniknou napětí vedoucí k deformacím a tím k zhoršení optické kvality. U čocke větších (tekněme přes 50 mm) se uplatňují v témže nepřiznivém smyslu rozdíly tepebné roztažnosti kovu a skla; potom volíme upevnění

šroubením a pod. Jiný příklad je upevnění kotvy budíku, pohybující paličku zvonku (obr. 19). Kotva je vyrobena z pouhého proužku ocelového plechu, je vsazena do vyfrézování v hřídeli a upevněna dvěma záseky, jimiž je utěsněna a nadto držena materiálem částečně přehnutým.

Spojení nalisováním, naražením

Je to spojení hojně užívané, zejména ovšem v hromadné laciné výrobě. Na příklad náboje ozubených koleček (nebo páček) na obr. 9 a 11 jsou mosazné a jsou nalisovány na ocelový hřídelík. Má-li být spojení spolehlivé, musí být přesně dodrženy průměry hřídele a náboje. To může činit obtížně, je-li hřídel udělán z pouhého drátu; tu se někdy do hřídele nadělají podélné záseky



Obr. 22.

(obr. 20). Okraje těchto záseků jsou vyvstalé a zamáčknu se při nalisování do náboje; spojení je tedy bezpečné, i když náboj jde na hladkou část hřídele volně. Je to něco podobného jako známé *rýhované kotlíky* užívané ve strojnictví a leckdy použitelné i v jemné mechanice. Větší páky, přenášející značný moment a zhotovené z měkkého materiálu, lze spolehlivě spojit na příklad s torsní měřicí pružinou naražením na konec pružiny, do něhož bylo vyfrézováno ostrohanné drážkování (obr. 22).

Spojení zalitím

Vstříkové liti umožňuje spojit dohromady součásti vložené do lici formy. Na obr. 23 je spojen hliníkový kotouč s hřídelem (brzdící kotouč elektroměru, vyražený z plechu). Na obr. 24 bylo do formy vloženo mosazné ozubené kolečko, kousek ocelového drátu na čípky a šest kratších kousků drátu, tvořících pastorek (americké laciné hodinky). Spojení je pevné, pro podobné účely dostatečně přesné a ve výrobě velmi laciné. Podobně lze vylisovat složitý kus z bakelitového prášku a do něho zalit různé kovové součásti; příkladem je závažný galvanometr známých regulátorů teploty (pro elektrické pece) fy Leeds & Northrup. Stejně lze zalit vložky při odlévání z různých kovů: háky do závaží, ocelové vložky s matečným závitem do permanentních magnetů z velmi tvrdých slitin typu Al-Ni-Fe atd.

Sváření

Nejdůležitější je bodové sváření elektrické. Je to výhradně užívané spojení drátků a plíšků ve výrobě elektronek, výbojek a pod. Je zde též výhoda, že — poněvadž vznik tepla je čistě lokální — lze svářet tenké plíšky s masivnější

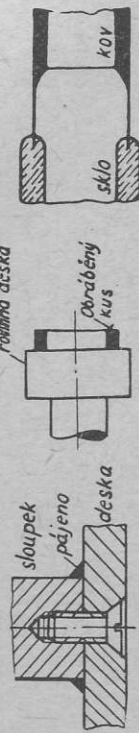
součásti. Jinak je použitelné pro různé součásti lisované z tenčího plechu, pro součásti těžší a přesné se ovšem nehodí. Z hrubších způsobů lze sem tam užít sváření autogenním, lépe elektrického obloukového, na příklad pro rámy aparatur; žádá-li se tvarová stálost, je třeba hotový kus vyžítat, neboť sváření zanechává po sobě vždy značná pnutí. V některých případech jedinou možností je užít sváření vysokofrekvenčního (banky kovových elektronek).

Spojení spájením tvrdým a měkkým

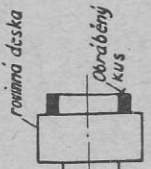
Tvrdé spájení — pájku mosaznou nebo „stříbrnou“ mnoho neužíváme, poněvadž teploty jsou značné (řádů 800° C) a kus je tedy vyžítán. Jinak je spojení velmi pevné, vnitřních pnutí se pak nemusíme obávat, necháme-li součást po spájení zvolna vychladnout. Jako desoxydačního prostředku užíváme nejčastěji práškového boraxu, který však zanechává vrstvu boraxového skla, někdy dost těžko odstranitelnou; tuto nevýhodu nemá a rovněž dobře desoxyduje kyselina fosforečná. Je nutné tvrdě spájet některé materiály odporové, kterých se měkká pájka nechytá. Nejlepší je pájka stříbrná, houževnatá a velmi lehce tekutá; pracuje se tak, že se obě části, dobře slícované, přitáhnou k sobě drátem, pájka pak ochotně zateče do kapilární mezery. Užívá se však též naopak slitin (na př. speciálních bronzů), které do tekutého stavu přecházejí poneáhlu; nezatekají tedy jako pravé pájky, dají se však na součást nanášet jako „houseska“, zcela tak, jako nanášíme z drátu materiál při sváření autogenním nebo obloukovém. Technickou práce je to tedy sváření, fyzikálně však spájení, poněvadž spojení je provedeno materiálem zcela jiného druhu. Teplota je nevelká (900—1000° C), deformace a pnutí proto menší; pevnost a spolehlivost je taková, že se této metody užívá i pro odpovědné součásti letadel. Tvrdé spájení bylo považováno za metodu málo vhodnou pro seriovou výrobu, avšak v poslední době byly sestrojeny vhodné pece a pomůcky, jimiž se práce podstatně zrychlila a zlevnila, a tvrdého spájení se dnes hojně užívá v různých oborech výroby. Spájet na tvrdo lze většinu kovů a slitin. Často spájíme ocel s mosazí nebo pakfongem (rýsovací pera „Diamon“); ocelovou část můžeme při tom zakalit. Součásti ohřejeme sirkou, dmuchavkou, kahanem plynovým nebo lihovým, benzinovou lampou, kovářskou výhni — podle jejich velikosti.

Pro jemnou mechaniku je důležitější *spájení měkké*. Obyčejně užíváme slitiny cínu a olova v poměru 1 : 1, tedy skoro eutektické, s bodem tání 185° C. Potíž je s desoxydačními prostředky: jsou-li účinné, mají také silný účinek korozivní a naopak. Neškodná je kalafuna, ale vystačíme s ní jen pro spájení mědi, nejvýše mosazi, plocha musí být dokonale čistá. Snad nejužitečnější je stará „letovací vodička“ klemptírů (roztok chloridu zinečnatého); vyhoví i pro spájení oceli, plochy není třeba tak úzkostlivě čistit, zato její korozivní účinky jsou nejsilnější. O mnoho mírnější nejsou spájecí tuky obsahující chlorid amonný (salmiak), stejně jako „Tinol“ a jiné podobné spájecí pasty v praxi, jinak velmi pohodlné, které kromě salmiaku obsahují též práškovou pájku. Jestliže jsme užili těchto prostředků, musíme součásti pečlivě očistit a omýt v alkalickém roztoku (soda, čpavek). Bezpečný postup je ten, že součásti nej-

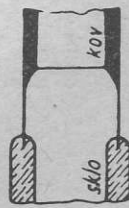
prve „pocínujeme“ (na př. Tinolem), přebytečnou pájku setřeme kartáčem, potom součásti k sobě přiložíme, event. svážeme drátem nebo jinak upevníme a spájíme již jen pouhou pájkou. Málo hmotné součásti (dráty, plechy) spájíme měděným pájedlem („kulnou“), dnes ohřivaným plynem nebo elektricky, při montáži venku benzínem. Hmotnější kusy a tam, kde jsou spájeny velké plochy, vyžadují ohřevu plamenem jako spájení na tvrdo. Na měkko lze opět spájet většinu materiálů. Měkké pájení má pevnost nevelkou — řádu 3 kg/mm², ale postačuje pro většinu našich účelů. Je-li správně provedeno, je spolehlivé a skoro neviditelné, nelze je tedy považovat za „fúserinu“. V elektrotechnice, pokud nejsou svářena, všechna nerozbitelná elektrická spojení, spájíme címem (radioaparát a pod.). Poněvadž teplota je nízká, součásti se nevyhřejí a s trochou opatrnosti lze spájet kalenou ocel. Neocenitelné je toto spojení zhotovují-li se složité části, které by se jinak daly vyrobit jen odlitím. Na příklad tělesa (tubusy) záměrných dalekohledů, mikroskopů a jiných optických přístrojů lze spájet z kousků mosazných trubek a z různých mosazných točících částí. Pro unikáty, věci pokusné a pro laboratorní improvisace nic lepšího neznáme. Důležitá je i dokonalá těsnost měkkého spájení (tlakoměrné bubínky aneroidů a pod.). Tam, kde pevnost spájení nestačí, lze spojení provést mechanicky (šrouby, přehyby a j.) a pak utěsnit a zajistit západem. Tak na obr. 25 (detail měřícího přístroje leteckého) je spojení provedeno nejprve šroubkem a potom je vše „proletováno“. Měkkého spájení užíváme často (nestačí-li nalepení šelakem) při soustružení součástí tak utýlých, že každé upínací zařízení by je deformovalo; obráběný kus připájíme na rovnou desku, upnutou ve vřeteně soustruhu.



Obr. 25.



Obr. 26.



Obr. 27.

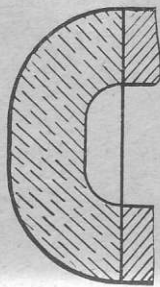
Spájení hliníku není dosud uspokojivě rozřešeno. „Těžká“ pájka na hliník obsahuje jen 4—5% Al, zbytek je cín a zinek; tavi se poměrně snadno, pevnost je řádu 5 kg/mm², ale spoje propadají rychlé korosi. „Lehká“ pájka (asi 70% Al, dále Zn, Cu, Mg, Sn) taje teprve při 540° C, je asi dvakrát pevnější než těžká, sklou ke korosi je menší. Největší potíže činí tvrdá vrstva kyslíčnicku, kterou se hliník a jeho slitiny takřka okamžitě pokrývají. Pokusně byla tato vrstvička odstraněna ultrazvukem a pak bylo možné spájet hliník címem i jinými pájkami.

Otázky spájení jsou shrnuty v monografii: Espe-Reinbach, Pájky a pájení.

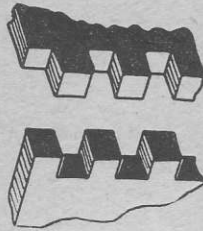
Spojování kovů a skla

Ve stavbě různých přístrojů elektrických je často třeba zatavovat do skla (nebo do taveného křemene) přívody elektrického proudu. Výborné se k tomu

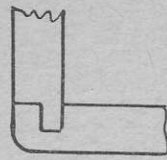
hodí platina, jež má roztažnost stejnou jako obyčejné sklo. Pro drahotu byla platina ve velkovýrobě (žárovky, elektronky) nahrazena zmíněnými ferromagnety a jinými slitinami podobných vlastností. Požadavek je, aby slitina měla přibližně stejnou roztažnost jako sklo a aby se její kyslíčnicku ve skle rozpuštěly; jen tak vznikne intimní a hermeticky těsné spojení (jde obvykle o vzduchoprázdne skleněné banky!). Dnes je k dispozici více slitin s různou roztažností a více speciálních skel tvořících celou stupnici roztažností. Nejjednodušší je zatavení platiny do obyčejného skla: drátek se ovine v plameni nitkou speciálního zatavovacího skla, toto ovinutí se stává do souvislého povlaku a pak se zataví do dírkou profouknuté ve skleněné stěně. Je-li velký rozdíl roztažností, užije se několika vrstev skla různé roztažnosti. Takto se zatavují přívody do taveného křemene; je třeba příznat, že se práce někdy nepovede a pak výrobka předčasné vezme za své vniknutím vzduchu.



Obr. 28.



Obr. 29.

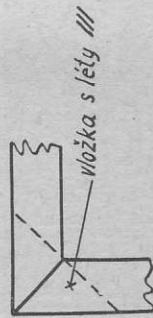


Obr. 30.

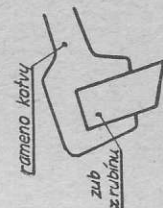
Také větší kovové kusy lze svařit nebo stavět se sklem. Mají-li ovšem oba materiály značně různou roztažnost, sklo obvykle praskne. Tomu lze zabránit tím, že se okraj kovové součásti vytáhne v ostří a to se zataví do skla (obr. 27); pak lze říci, že sklo jako součást masivní nabude vrchů, poněvadž tenký kovový okraj nemůže působit na sklo nebezpečně velikými silami. Radikálnější a lepší řešení je ovšem užít uvedených speciálních slitin. Pak lze bezpečně a pro nejvyšší vakuum těsně spojit i masivní kusy proporcí jako na obr. 28.

Spojení lepením a tmelem

Dřevěné součásti lepíme křídlem truhlářským, který po důkladném rozmocnění ve studené vodě roztavíme nejlépe ve vodní lázni. Pevnost spojení je značná, ovšem vlhkost tuto pevnost snižuje. Dobré klížení vyžaduje jisté



Obr. 31.



Obr. 33.

zkoušenosti; sevřením obou půlek se vytlačí přebytek křihy a tlak se nesmí zmenšit, dokud křih neuschl. Skřinky se nejlépe spojují cinkováním podle obr. 29. Částé, ale méně solidní je sklizení podle obr. 30. Pouhé sklizení na tupo (obr. 31) je málo pevné; pěkné spojení vznikne natežením pravidelných kolmých zářezů, do nichž se vkládí tenké plátky dřeva nebo letecké překližky. Vlhku lépe vzdoruje *křih kascinový*, v podstatě prastarý recept — tvaroh + + vápno. V letectví opanovaly pole křihy syntetické, jejichž prototypem byl „*Katřiv*“ a které vyrábíme také u nás; práce je odlišná potud, že jedna strana se natře kyselým „tužidlem“, po uschnutí se natře druhá strana lepidlem a součástí se slisují. Pevnost je značná, odolnost proti vlhkosti velmi dobrá. Tenké vrstvy dřeva se lepí výborně *bakelitem* (letecké překližky).

V kapitole o materiálech bylo pojednáno o *novodobých syntetických lepidlech*, jimiž lze lepit kovy, sklo, kov ke sklu a mnoho jiných látek. Potřize čini pracovní postup: je třeba velmi pečlivě očistit plochy, působit velkým tlakem, když lepidlo tuhne, a ovšem je třeba teploty kolem 150° C. Lepidlem „*Reduz*“ se dnes již slepují v Anglii letadla ve velkých seritech, stejně dobře lze lepit dural s duralem jako dřevo s duralem. Universální je švýcarský „*Araldit*“, jímž lze lepit i při mírném lisování. Lze čekat, že tato nová technika se rozšíří do jiných oborů výroby, zejména přinesou-li úspěch pokusy o lepidla polymerisující za studena.

Důležitě jsou tmely *thermoplastické*; nesnesou sice vyšší teploty, zato práce s nimi je rychlá a snadná; v laboratorní praxi a ve vakuové technice jsou nepostradatelné. *Šelakem*, jak bylo již řečeno, zalepují se kameny v konstrukci kroužků. Na obr. 32 je znázorněn zub kotvy kapsních hodinek. Na obr. 33 je vidět upevnění safiru (polokruhového profilu) v zářezce kroku chronometrového; vývrt v ocelové zářezce je asi 0,7 mm. Zalepení šelakem má tu výhodu, že nahřátím (horkými klíšťkami) lze šelak změkčit a polohu kamene podle potřeby opravit — běžná operace při seřizování (regláži) hodin. Šelakem si můžeme vypomoci v četných případech (podobně i *pečetím voskem*, jehož dobré druhy obsahují šelak), k lepení tenkých závěsných pásků a křemenných vláken, k lepení malíčkových magnetů pro magnetické galvanometry a pod. Je ovšem množství tmelů podobných a tmelů vysoce specializovaných, na příklad pro techniku vakuovou. Tmel tající při vysoké teplotě (450° C), velmi pevný a dobře lnoucí ke kovům a sklům je *chlorid stříbrný*. Jím lze z tlustších křemenných vláken (kol 0,3 mm) slepit vahadélko pro mikrováhy, ke sklu přilepit planoparalelní desky z materiálů propouštějících určitý druh záření; sklo je ovšem třeba opatrně chladit, nemá-li součást prasknout, s křemem lze zacházet bezstarostněji.

Jak již bylo řečeno, je nepřehledné množství tmelů tuhnuvších za studena, *neuratních*, sádrou počínaje a speciálními, tajenými tmely konče. Mnohé z nich mají dobrou pevnost mechanickou, po případě i žádanou odolnost chemickou, žádný však není dokonale těsný pro delší dobu; nestačí trvale utěsnit tekavou kapalinu, tím méně vakuu. Proto se snažíme nahradit tmelení pokud možno zatavením a stavením skla s kovem.

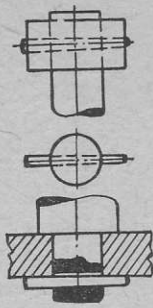
Klíny a kolkíky

S podélnými klíny se setkáváme vzácně; hodí se jen pro tlustší hřídele a nesymetrickým tlakem snadno způsobí malé deformace hřídele a vyosování kola. Zato se častěji setkáváme s klímem příčným ve formě kuželového kolkíku. Ve starých hodinách — z časů, kdy zhořovení šroubu byla věc nesnadná — rozpárné sloupky byly upevňovány kuželovým kolkíkem podle obr. 34. Dnes najdeme toto spo-

jení v laciných hodinách a budících. Páčky a kolkíka se dost často upevňují na hřidel příčným kolkíkem, který ani nebývá vždy kuželový (obr. 35). Příčných klínů se dříve hojně užívalo ke spojení kostry na příklad věžních hodin; dnes ho užijeme spíše proto, abychom vyvodili jemný pohyb tam, kde nestačí jemnost šroubu (na př. některé mikrotomy). Důležité jsou kolkíky centrovací neboli posiční, jimiž fixujeme vzájemnou polohu dvou součástí (viz dále).

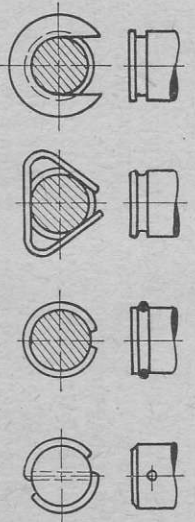
Závlačky

Strojnických závlaček se mnoho nepoužívá, spíše (zejména v hodinových strojích) různých kroužků z drátu, jak ukazují příklady na obr. 36, 37, 38. Závlačka podle obr. 36 je z měkkého drátu; kroužek na obr. 38 je z drátu



Obr. 34.

Obr. 35.



Obr. 36.

Obr. 37.

Obr. 38.

Obr. 39.

Obr. 40.

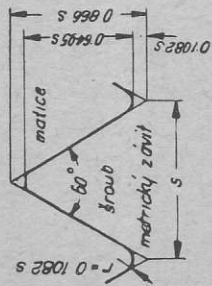
tvrdého (strunového), kdežto kroužek na obr. 37 může být z drátu tvrdého, na hřidel „nacvaknutý“, nebo z měkkého, předem ohnutý do U a pak na hřidel kleštěmi přihnuty. Rozříznutý kroužek podle obr. 39 je v dobrém provedení ocelový a kalený, přesně (a stejně drážka v hřídeli) provedený. Často se též setkáváme se zástrčkou obr. 40, ocelovou nebo mosaznou, držanou šroubkem.

Pro větší průměry jsou vhodné známé *kroužky Seegerovy*, schopné přenést značné síly axiální, při tom snadno odstranitelné speciálními kleštěmi.

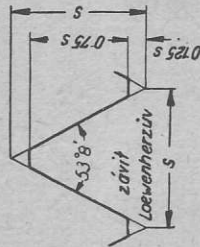
Upevňovací šrouby a matky

Spojování šrouby provádíme v přesné mechanice nejčastěji, často i tehdy, nejde-li nám o spojení rozebratelné. Příčina je v tom, že provedení je snadné a šroub tak snadno nevnesou do součástí nevitáná napětí. Pozornému pozorova-

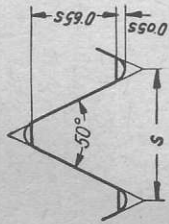
vateli neujde, že často šrouby jsou v poměru k součástem slabší, než jak je obvyklé ve strojnictví; to proto, že v jemné mechanice máme obvyklejší co činit se silami docela malými, nejde nám tedy o pevnost, nýbrž o tvarovou stálost a tuhost.



Obr. 41.



Obr. 42.



Obr. 43.

Dnes užíváme skoro výhradně normálního závitu metrického, počínaje průměrem 1 mm (obr. 41). Dříve se běžně užívalo závitu Löwenherzova, který má trochu odlišný profil (obr. 42), ale jinak tutéž řadu průměrů a stoupání až do průměru 6 mm. Užívalo se ještě jiných závitů, dosti rozšířených (u patronových soustruhů) byl závit Hamannův. Pro malé šroubky zavrtané v hliníku je metrický závit trochu jemný, snadno se „strhne“. Proto některé německé továrny fotografických přístrojů užívají závitů speciálních, s velkým stoupáním a hloubkou; je to skoro stejně dobré a levnější než užívat mosazných vložek. Příležitostně se hodí metrický závit jemný, u nás rovněž normovaný.

V průměrech pod 1 mm, tak důležitých zejména v hodinářství, je chaos; zdá se, že každá továrna měla své normy, nebylo lze zjistit žádnou souvislost mezi průměry a stoupáním. Teprve v posledních letech navrhli Švýcaři normu pro závity průměrů 0,3—0,9 mm; pro větší průměry akceptovali rozumně závit metrický. Viz obr. 43.

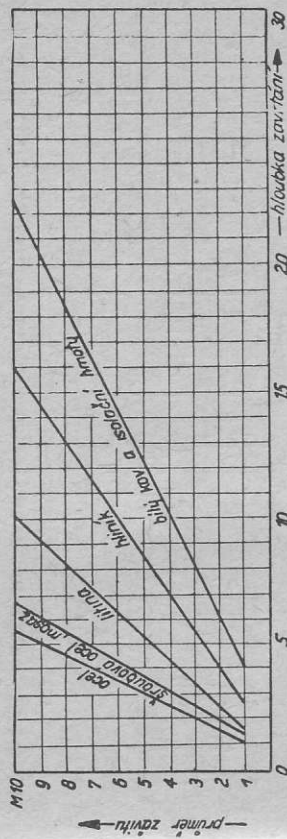
Průměr mm 0,3 0,35 0,4 0,45 0,5 (0,55) 0,6 0,7 0,8 0,9
Stoupání 0,075 0,075 0,100 0,100 0,125 0,125 0,150 0,175 0,200 0,225

Jak je vidět, stoupání se v zásadě rovná čtvrtině průměru jako u závitu M1; tento trochu hrubší závit je na místě z důvodů výrobních, nebezpečí uvolnění podle zkušenosti není, třebaže se šroubky nikdy nezajišťují. V měkkých hliníkových slitinách nebo v bakelitu by tyto šroubky ovšem dlouho nedržely.

V jemné mechanice užíváme většinou šroubků zavrtaných; hloubka zavrtání se řídí přirozeně druhem materiálu, v němž je vyříznut matečný závit; vodítkem může být následující graf (obr. 44):

Ve tvarech šroubů je rozmanitost: u velkých šroubů se řídíme zásadami dobré konstrukce strojnické; provedení může být velmi pečlivé (stroj to cenově snese), na př. matky nebo hlavy se kalí — podle správné zásady, že je lépe, omačká-li se raději klíč než šroub. Dobře jsou lisované a tepelně zušlechťené šrouby podle obr. 45, které se utahují šestihlanným trnem. Pro menší šrouby — průměrů většinou do 6 mm — volíme nejčastěji hlavu válcovou

podle obr. 46 nebo 47 s drážkou pro šroubovák nebo, mají-li být zapuštěny, s kuželovou hlavou podle obr. 48 a 49. Hlava půlkulová (obr. 50) není výhodná, neboť drážka je nejmělejší právě tam, kde se okraje šroubováku nejvíce



Obr. 44.



Obr. 45.



Obr. 46.



Obr. 47.



Obr. 48.



Obr. 49.



Obr. 50.



Obr. 51.



Obr. 52.



Obr. 53.



Obr. 54.



Obr. 55.



Obr. 56.



Obr. 57.



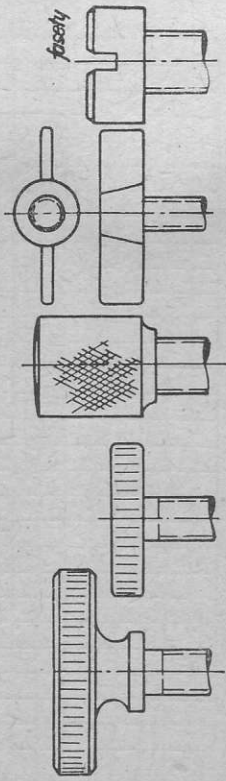
Obr. 58.



Obr. 59.

o stěny drážky opírají. Tam, kam je těžké dostat se šroubovákem, jsou vhodné hlavy křížem provrtané (obr. 51), které se strany utahujeme kolíkem. V hodinářství jsou běžné (zejména v kapesních hodinkách) těsně zapuštěné šroubky s různě dlouhou válcovou hlavou (obr. 52, 53). Zajímavé je, že tyto šroubky, zpravidla kalené a popuštěné do modra, rády praskají v místech označených šipkou. Má-li šroubek sloužit jako čep pro západku nebo páčku neb ozubené kolečko, dostane tvar podle obr. 54. Šroubky se ukončují nejčastěji podle obr. 55, 56, 57. Ve starých chronometrech se najdou šroubky

ukončené podle obr. 58, což není právě účelné, zato účelné je ukončení podle obr. 59 (pokud je na ně místo), poněvadž usnadňuje zavedení šroubku do vývrtu při montáži. Pojistné šroubky jsou někdy bez hlavy (obr. 60), což není právě výhodné, ježto krátký zářez silně trpí šroubováním. Má-li se šroub utahovat rukou, dostane velkou, různě rýhovanou hlavu, podle obr. 61,



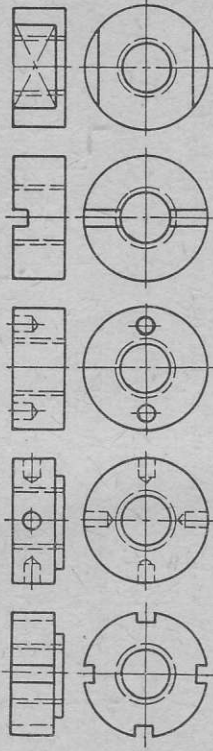
Obr. 61. Obr. 62. Obr. 63. Obr. 64. Obr. 65.

jestliže hlava dosedá, nebo jednodušší hlavu podle obr. 62, je-li to šroub zajišťovací; někdy se provede hlava menšího průměru a delší (obr. 63), nebo hlava křídlová (obr. 64) nebo se do hlavy jako na obr. 63 zarazí příčný kolík atd. Tyto hlavy mohou být se šroubem v celku; u větších šroubů bývají na šroub nalisovány, oboustranně zanýtovány, vzácněji naraženy na čtyřhran nebo zapájeny. Spojení musí být přirozeně dost pevné, aby bezpečně sneslo krouticí moment. Je-li hlava zhotovena zvlášť, může být z jiného materiálu; často je šroub z oceli, jeho hlava mosazná, z pakfongu, nebo z umělé hmoty (v tom případě je šroub rýhován nebo jinak profilován; šroub se vloží do formy v níž je lisována hlava).

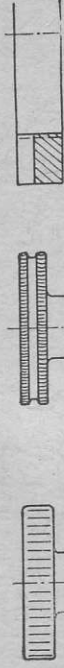
Materiál: na šrouby stačí automatová ocel, nejsou-li požadavky velké, jinak ocel kvalitnější, zejména jsou-li šrouby částečně kalené; ze zvláštních důvodů se volí materiál jiný, na př. mosaz nebo i měď, je-li o elektrickou vodivost, nerezavějící ocel, je-li obava z koroze. Malé šroubky zavrtané se dělají asi stejně často z oceli jako z mosazi, méně často z pakfongu a z jiných slitin. U drobných přístrojů v hodinářství se šroubky kalí a popouštějí do modra; lépe pak odolávají omačkání drážky šroubovákem, zato častěji praskají. Kalené hlavy lze vyleštit na zrcadlový lesk, což se dělalo dříve u drobných přístrojů a dělá se dodnes běžně v hodinářství; rovná plocha válcovité hlavy (obr. 52, 53) je dokonale vyleštěna, někdy pak zbarvena na modro obrátím, v provedení luxurním se dělá uzounká faseta u hrany hlavy (obr. 65) a podobná faseta u hrany drážky (to dává výhodu, že omačkání drážky šroubovákem není vidět na leštěné ploše hlavy). Kontaktní šroubky u elektrických přístrojů bývají z mosazi, hrot šroubku je opatřen připájenou, nalisovanou nebo zatemňovanou vložkou ze stříbrné slitiny, platiny, zlata a pod.

Matky přijdou v úvahu tam, kde nelze užít prostého šroubu zavrtaného; na příklad tam, kde by matečný závit nebyl dostatečně dlouhý nebo by byl v materiálu málo pevným; dále pro některé způsoby rektifikace a ovšem jako

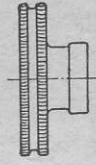
matky přítužné. O materiálu na matky platí, co bylo řečeno o šroubech; jako šrouby jsou i matky někdy poniklovány nebo chromovány. Tvary najdeme velmi různé: kromě matek šestihranných, obvyklých ve strojnictví, užívá se matek naznačených na obr. 66 až 70. Matka podle obr. 66 se utahuje klíčem kvadrantovým, což může vést k omačkání drážek — proto osazení dole, aby



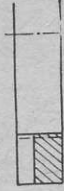
Obr. 66. Obr. 67. Obr. 68. Obr. 69. Obr. 70.



Obr. 71.

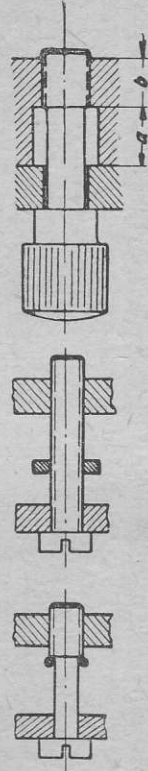


Obr. 72.



Obr. 73.

matka pak nerozdírala svůj podklad. Častěji užijeme matky podle obr. 67, jež se rovněž utahuje se strany klíčem podobným kvadrantovému nebo pouhým kolíkem (v tom případě dáme větší průměr, aby vývrt byly dostatečně hluboké). Je-li k matce přístup ve směru osy, lze užít matky s vývrti (obr. 68) nebo se zátezy (obr. 69), které ovšem vyžadují speciálních utahovacích nástrojů. Někdy volíme matky válcové se dvěma vyfrézovanými ploškami (obr. 70). Tenké matky velkého průměru (prstencové) obyčejně dostanou dvě drážky podle obr. 73. Matky, které se utahují rukou, provádíme analogicky jako hlavy šroubů (obr. 71, 72); někdy též jako matky křídlové (dvě nebo čtyři křídla). Jako šroubům dáváme někdy také matkám odchylné tvary podle speciální potřeby.



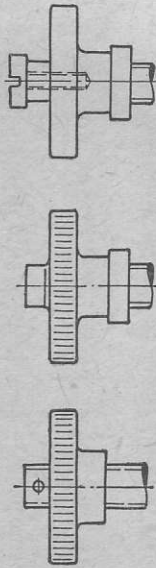
Obr. 74.

Obr. 75.

Obr. 76.

Zajišťování šroubů se provádí poměrně zřídka. Šrouby pevně dotážené zpravidla zajištění nepotřebují, jinak užijeme zajištění obvyklých ve strojnictví: pružných kroužků, matek s fibrovou vložkou, matek korunové. Drobné šroubky stačí zajistit lakem, což se dělá běžně u měřících přístrojů

leteckých; pojištění je bezpečné, ale na právé vzhledné, neboť lak je pro snadnou kontrolu obarven na černo nebo na červenou. Důležité je zajištění šroubků, které nejsou dotaženy; o tom bude pojednáno v kapitole o rektifikacích.



Obr. 77.

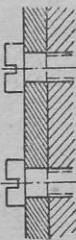
Obr. 78.

Obr. 79.

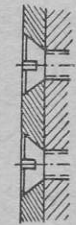
Pojištění proti ztrátě šroubků a matek je na místě tam, kde se počítá s častou demontáží. Větší šrouby lze uvázat na tenký řetízek, jinak se užívá provedení podle obr. 74 s pružným drátěným kroužkem nebo levnější podle obr. 75 s kroužkem z fibru nebo jen z tuhé lepenky. Pěkné je provedení podle obr. 76; dutina *a* (která se udělá v tlustší součásti) musí být delší než rozměr *b*. Rovněž matky bývají zajištěny proti ztracení: nejjednodušší závlačkou (obr. 77), vzhledněji tím, že závit končí nad matek (obr. 78, částe u svorek elektrických přístrojů), nejde-li to, lze užít zavrtaného přesahujícího šroubku (obr. 79).

Spojení šrouby

Zde platí zásada: Šroub sám nestačí k tomu, aby pevně a jednoznačně určil polohu přišroubované součásti. Proto připojení podle obr. 80 je přípustné jen tam, kde nejde o přesnost. O mnoho lepší nejsou šrouby s kuželovou zapuště-



Obr. 80.

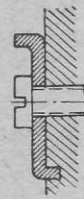


Obr. 81.



Obr. 82.

nou hlavou (obr. 81); kuželová hlava sama dobře centruje, ale dvě hlavy by mohly plně dosedat, jen kdyby přesně odpovídaly rozteče výtřtů a kdyby závit byl proti hlavám „neházely“. Totéž lze říci o spojení podle



Obr. 83.

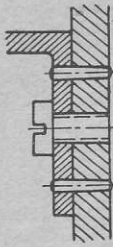


Obr. 84.

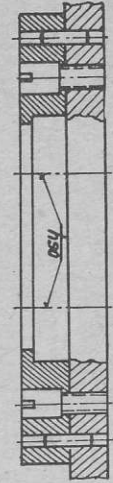
obr. 82, kde vrchní součást se opírá o výstupek součásti spodní. Vyšším požadavkům nevyhovuje ani šroub s kolíkem (obr. 83), tím méně provedení podle obr. 84, kde ohnutý jazyček horní součásti zasahuje do výtřtů v součásti spodní.

Tam, kde se vyžaduje přesné lokalizování přišroubované součásti, je nutno užít aspoň dvou *centrovacích kolíků*. Příkladem je obr. 85, kde je součást držena jedním šroubem, a obr. 86, kde je užito šroubů dvou (ložiskový můstek

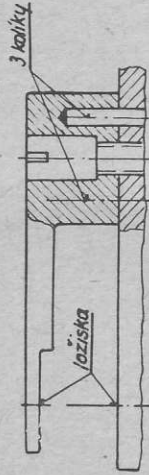
kapacních hodiněk). Na obr. 87 je ložisková konsola pro setrvačku hodiněk, u níž se užívá jednoho šroubku, ale obvyčejně tři kolíků. S jedním kolíkem vystačíme pro spojení na obr. 82, nebo tehdy, je-li součást zapuštěna do kruhové prohlubně (obr. 88), a tu stačí jediný kolík, aby se zamezilo otáčení. Kolíky se dělají ocelové i mosazné, válcovité i kuželové. Kuželové kolíky jsou vhodnější



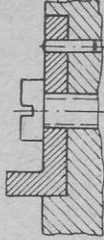
Obr. 85.



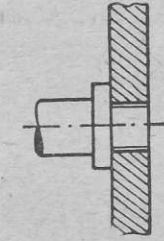
Obr. 86.



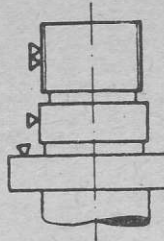
Obr. 87.



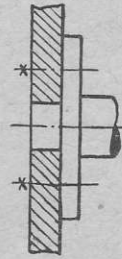
Obr. 88.



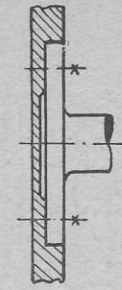
Obr. 89.



Obr. 90.



Obr. 91.



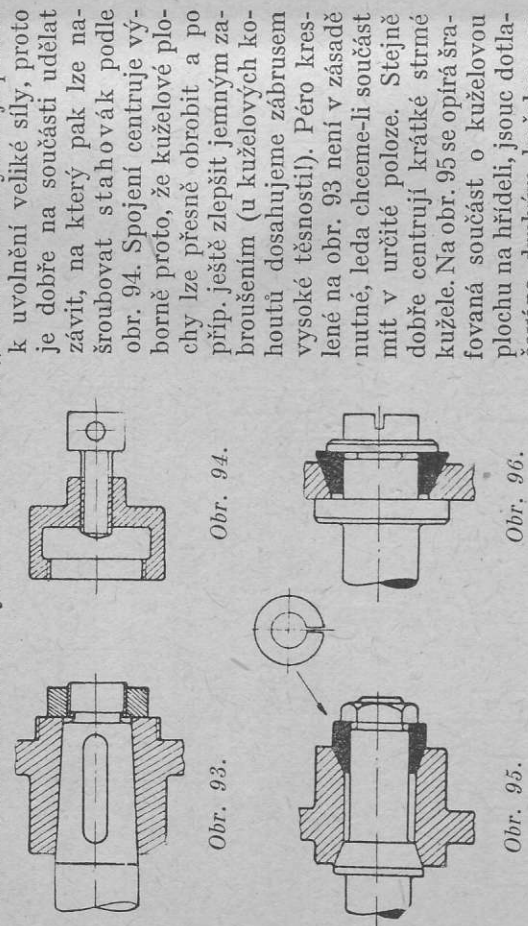
Obr. 92.

pro neseriové provedení: polohu součásti si najdeme zkusmo, šrouby utáhneme, potom vyvrtáme dírky pro kolíky, rozšíříme je kuželovým výstružníkem, kolíky zarazíme do horní součásti a výtřty v dolní součásti rozšíříme tak, aby konce kolíků právě bez násilí vnikaly; lze tak poměrně snadno dosáhnout vysoké přesnosti (provedení podle obr. 85 až 88).

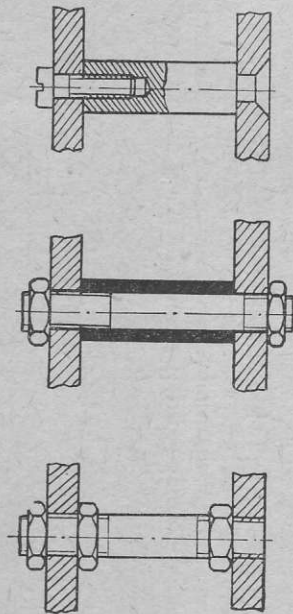
Upevňuje-li se součást (na př. silnější čep) pouhým sešroubováním, vyhoví provedení podle obr. 89 jen pro spojení, které se již nebude demontovat. Jinak je lépe řídit se příkladem každého soustruhu, kde hlava vřetena je upravena podle obr. 90. Centrování upevněné součásti obstarává rovinná a válcová plocha (označeny trojúhelníčky), závit obstarává jen přitažení součásti (na př. upínací desky). Velmi často užíváme upevnění *přírubou (flanší)* (obr. 91, 92); příruba obstará centrování, součást je pak držena nejméně třemi šrouby (na obrázku jsou šrouby označeny schematicky osou a křížkem, jak se často dělá pro úsporu práce a proto aby se výkres nepřeploval). Přesnost spojení

zde záleží jedině na zalícování příruby na obr. 92 nebo krátkého čepu na obr. 91. Působí-li ve spojení krotící moment, zachytíme jej jedním nebo více kolíky.

Výborně centruje a pevně drží spojení *kuželové* (obr. 93). S obvyklou kuželovitostí 1 : 10, a je-li pevně utaženo, je toto spojení s to, aby přeneslo velké a střídavé momenty; kužel se však rád „zakousne“ a vyžaduje potom



k uvolnění veliké síly, proto je dobře na součásti udělat závit, na který pak lze našroubovat stahovák podle obr. 94. Spojení centruje výborně proto, že kuželové plochy lze přesně obrobit a po příp. ještě zlepšit jemným zabroušením (u kuželových kolutů dosahujeme zábrusem vysoké těsnosti!). Péro kreslené na obr. 93 není v zásadě nutné, leda chceme-li součást mít v určité poloze. Stejně dobře centrují krátké strmě kužele. Na obr. 95 se opírá šrafovaná součást o kuželovou plochu na hřídeli, jsouc dotlačována druhým kuzelem, na který tlačí matka. Na obr. 96



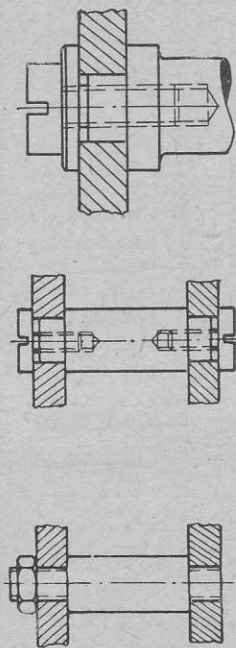
Obr. 97.

Obr. 98.

Obr. 99.

Často se vyskytnou *rozpěrné (distanční) sloupky*, jimiž jsou navzájem spojeny dvě desky, v nichž jsou na příklad uloženy hřídele nějakého hodinového stroje. Žádá se zde, aby byla zajištěna vzájemná poloha obou desek, čili aby

osy oněch hřídelů stály kolmo k deskám. Tomu nevyhovuje valně hrubé provedení na obr. 97, o něco přesnější je způsob znázorněný na obr. 98. V budíku, obvykle najdeme provedení podle obr. 99 se sloupkem zanyťovaným nebo (obr. 100) zavrtaným (matka je někdy pětáhraná). Solidní a běžně užívané



Obr. 100.

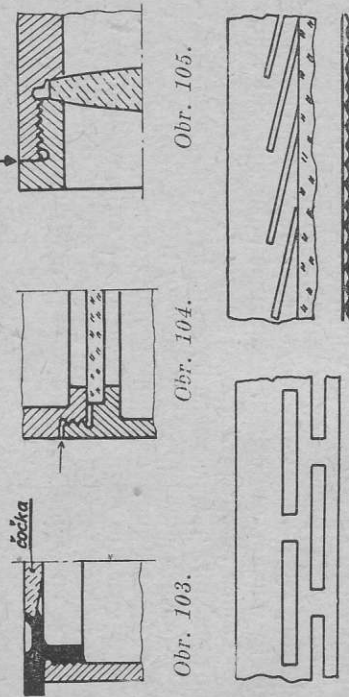
Obr. 101.

Obr. 102.

spojení je na obr. 101, ještě přesnější a elegantní je způsob na obr. 102. Ve starých strojích najdeme sloupky všelijak ozdobně soustružené, dokonce i čtyřhranné, ovšem často s příčnými kolíky (obr. 34) místo šroubků.

Závitová spojení (šroubení)

Často spojujeme součásti i větších rozměrů přímo závitem poměrně velkého průměru; toho druhu je většina montáží čoček v optických přístrojích. Jsou to vesměs závity jemné; mechanické patronové soustruhy mají normálně



Obr. 103.

Obr. 104.

Obr. 105.

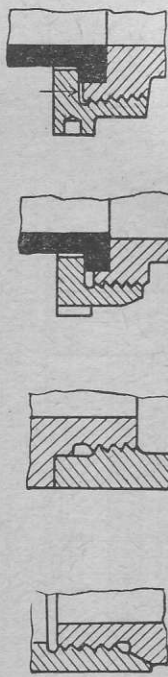
Obr. 106.

Obr. 107.

Obr. 108.

patrony a závitovou hvězdu pro stoupání 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4 mm, s nimiž se vystačí skoro pro všechny případy. Přeodem k tomuto způsobu spojení je závitové spojení na obr. 89. Čočky menších průměrů se zasazují do objímky nejčastěji přehnutím materiálu (obr. 103), objímka je pak upevněna závitem. Takové objímky mají většinou okraje rýhované, aby mohly být utahovány rukou, nanejvýše ještě dva zářezy (jako na obr. 73) pro klíč (kus

plechu). Na obr. 104 je dvoudílná trubka pro stupnicový okulár; obě části dosedají na plošce označené šipkou a přibroušením této plošky lze dosáhnout, aby skleněná stupnice byla utěsněna, ale ne stlačena. Větší čocky upevňujeme závitovými kroužky (obr. 105). Zde je jistá obtíž: dotáhneme-li kroužek na plochu označenou šipkou, může být čocka příliš volná, tlačí-li kroužek na

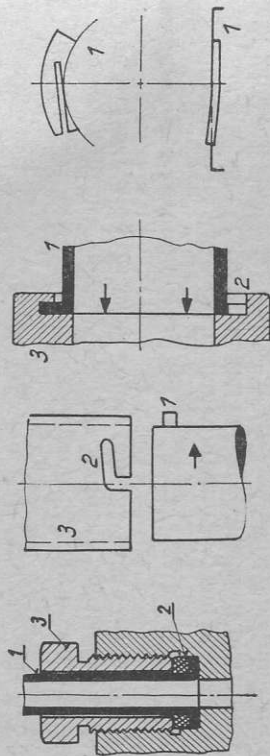


Obr. 109.

Obr. 110.

Obr. 111.

Obr. 112.



Obr. 113.

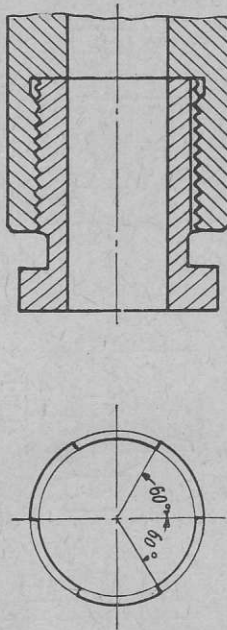
Obr. 114.

Obr. 115.

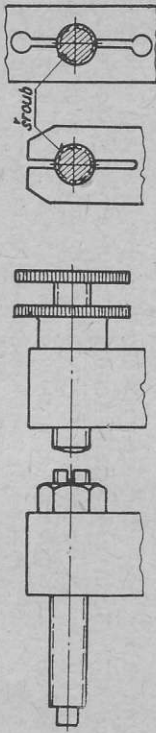
čocku, může ji nestejným tlakem pokrývit, poněvadž závit — ani na patronovém soustruhu řezaný — není dokonale přesný. Pomocí lze si tím, že okraj kroužku, doléhající na čocku, učiníme pružný prořezáním, na příklad podle obr. 106 nebo 107, nebo kroužek podložíme tenkým plechovým prstěnem zvlhčným tak, aby pružil (obr. 108). Čocku samu pak event. obložíme podobným prstěnem nebo nějakým měkčím materiálem. Žádáme-li od šroubení lepší centrování, než jaké může dát závit, centrujeme součásti kuželovou plochou, podle obr. 109, nebo centrujeme plochou rovinnou a válcovou jako u soustruhového vřetená (obr. 110, srovnaj s obr. 90). Někdy provedeme spojení zvláštní matkou („přesuvná“ matka) jako na obr. 111; výhodou zde je, že horní část může mít libovolnou polohu a dá se kdykoliv pootočit. Má-li horní součást zůstat volně otočná, necháme matku dosedat na plochu označenou šipkou (obr. 112). Pro měřicí aparatury pracující tlakovým olejem (zkoušecí stroje typu Amslerova, hydraulické dynamometry) jsou nutná šroubení pro připojení trubek vedoucích tlakový olej. V příkladě na obr. 113 (Amsler) je měděná trubka 1 rozehnuta do příruby; příruba je přitlačena vložkou 2, na niž tlačí silný provrtaný šroub 3 s jemným závitěm; ohromným specifickým tlakem se příruba plasticky deformuje a spojení těsní dokonale při tlaku 200—300 kg/cm².

Spojení bajonetové

Spojení rychle rozebratelné, vhodné tam, kde se žádá snadná vyměnitelnost — příkladem mohou být vyměnitelné objektivy u fotografických přístrojů. Princip je patrný na primitivním provedení obr. 114. Čep 1 se vsune do výřezu 2 v duté části 3 a pootočením ve směru šipky se upevní. Přesné pro-



Obr. 116.



Obr. 117.

Obr. 118.

Obr. 119.

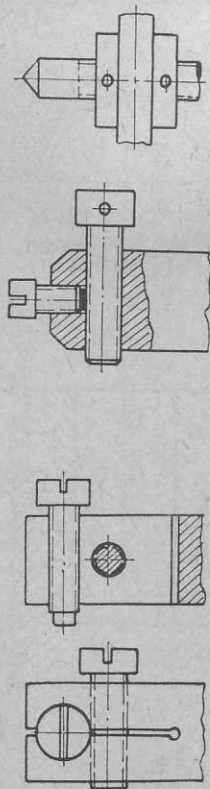
Obr. 120.

vedení je na obr. 115 (objektiv „Contax“). Tři pružící ozuby na objímce 1 se vsunou do tří výřezů 2 pevné části 3. Ozuby jsou částečně odřiznuty a vyhnuty, takže po pootočení pružně dotlačují objímku na část 3 ve směru šipek. Tento princip připouští různé konstruktivní provedení. Kombinací šroubení a bajonetového spojení je závěr na obr. 116. Závit šroubu je odebrán na třech místech v rozsahu 60°, podobně závit matečný. Šroub se vsune do matky a pootočením o 60° se pevně utáhne; pevnost je ovšem nejvýše 50% pevnosti šroubení nepřerušovaného, ale i tak dost velká, aby se podobně mohly provádět závěry děl.

Šrouby dorazné, regulační a kontaktní

Tyto šrouby trvale nedoléhají ani hlavou, ani svým koncem, nemožou být tedy utaheny a vyžadují zvláštního zajištění. Často se užívá přitlačné matky (obr. 117); není to řešení nejlepší, poněvadž přitlačení matky se změnilo axiálně položením šroubu (o jejíž regulaci nám právě jde). Šroub nemusí mít hlavu, poněvadž jim otáčíme při uvolnění matce a jeho zářez tedy valně netrpí. Někdy, zvláště u starších přístrojů, šroub se nastavuje a zajišťuje rukou (obr. 118). Jindy se matka rozřízne (obr. 119, 120), aby šroub pružně svírala (lze provést sevřením čili „napružením“ matky, nebo uděláme řez, který trochu klinkem

rozšíříme, a pak teprve vyřizneme závit). Tento způsob není vždy zcela spolehlivý, lepší řešení (a snad vůbec nejlepší) je rozříznutou matku stáhnout šroubkem (obr. 121). Regulování zde je lehčí a jemné, utažením se nastavení šroubu nezmění; proto se s tímto řešením setkáváme nejčastěji. Jiný dobrý způsob je na obr. 122; aby zajišťovací šroubek nepoškodil závit, tlačí přes vložku z mědi nebo z jiného měkkého materiálu. Někdy záleží na tom, aby se



Obr. 121.

Obr. 122.

Obr. 123.

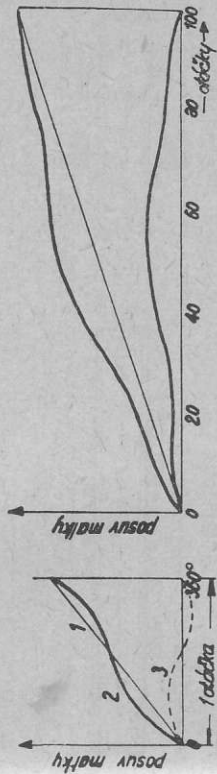
šroub při regulování neotáčel; tu šroub prochází hladkým vývrtem a dostane dvě matky (obr. 123), ovšem manipulace není tak snadná jako u konstrukce podle obr. 121 a 122. U všech těchto šroubů je důležitá, aby byly přístupné pro normální nástroje, t. j. pro šroubovák, kolík nebo kvadrantový klíček. V praxi se opětovně setkáváme se šrouby špatně přístupnými; je dobře se řídit zásadou, že špatná přístupnost znamená obvykle také špatné udržování a tedy špatný stav přístroje nebo stroje.

Šrouby mikrometrické

Tato kategorie šroubů, v přesné mechanice velmi důležitá, zahrnuje šrouby, jimiž vyvozujeme *jemné pohyby* (šrouby stavěcí, šrouby ustanovky) a šrouby, jimiž provádíme délková měření, čili šrouby ve vlastním a v plném smyslu *mikrometrické* (mikrometry všeho druhu, šrouby dělicích a souřadnicových strojů).

Požadavky na jemné pohybové šrouby nejsou zvlášť vysoké: žádáme hlavně jemný a „vláčný“ chod při malé úhlové rychlosti a nevadí, klade-li šroub větší odpor při otáčení rychlejším. Tohoto vláčného, možno říci viskosního tření dosáhneme přesným provedením a vyhlazením, avšak v neposlední řadě vhodným mazadlem. Mazadlem lze zlepšit i šrouby méně dobře provedené; mazadla jsou různá, na příklad směsi bezvodého lanolínu s olejem nebo starý Frauenhoferův recept, kalafuna zavařená v oleji, což je v podstatě — lep na ptáky. Tyto šrouby jsou někdy z mosazi, častěji z oceli, po případě tepleně zpracované. U velkých šroubů bývá někdy závit lichoběžníkový; zpravidla jde o šrouby menší, kterým dáme ostrý závit vesměs malého stoupání: 0,5; 0,3 ba i 0,2 mm. Matka je pravidelně mosazná a rozříznutá podle obr. 119, 120, lépe a častěji podle obr. 121. Tímto rozříznutím se má spíše zabránit viklání šroubu, neboť šroub skoro vždy tlačí a opačný pohyb obstarává zpětná pružina.

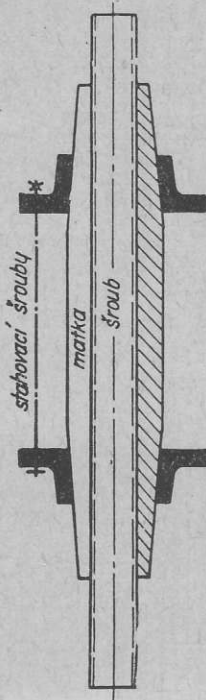
Mnohem vyšším požadavkem musí vyhovět *šroub mikrometrický*. Zde žádáme nejen jemný chod, nýbrž také přesnou úměrnost mezi úhlem pootočení a vyvozeným postupným pohybem. Šroub může vykazovat dvě chyby. Chyba *periodická* jsou odchylky, které se opakují při každé otočce. Na obr. 124 (kresleno přehnaně) přímka (1) platí pro šroub dokonalejší, (2) je skutečná čára



Obr. 124.

Obr. 125.

získaná měřením; vidíme, že k posunu přesně lineárního průběhu se přičítá chyba průběhu přibližně sinusového (čára (3)). Periodická chyba může vzniknout při řezání šroubu (na př. nedokonalým uložením včetně soustruhu), může však být zavineána chybným uložením šroubu; je zvlášť nepřijemná tím, že se nedá odstranit korekcími zařízení, na druhé straně lze ji prakticky předejít přebroušením šroubu v pevných hrotech. Druhá vada šroubu je *chyba postupná*, která se projevuje po celé délce šroubu (obr. 125). Pochází od nepřesnosti výrobních, zejména od chyb vodícího šroubu stroje, na němž byl šroub zhotoven; může v ní být i složka periodická, měl-li onen vodící šroub

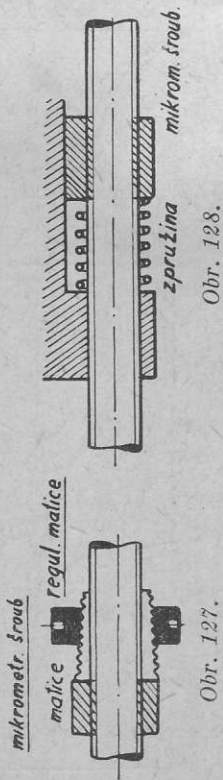


Obr. 126.

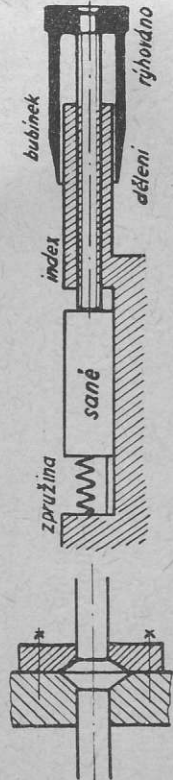
periodickou chybu — na příklad, když šroub stoupání 1 mm byl řezán nebo broušen s pomocí vodícího šroubu o stoupání 5 mm. Dále se mohou uplatnit délkové změny šroubu při řezání, event. i dodatečné. Proto se dnes takové šrouby stabilisují (t. j. podrobují úměrnému stárnutí) a přebroušují; přes všechnu péči nelze se postupně chyby vyvarovat, a žádá-li se přesnost řádu 0,01 mm (10 mikronů), je třeba chybu vyrovnat podle možnosti korekcími zařízením (o tom v kapitole o dělicích strojích).

Krátké šrouby lze — ovšem velmi pracně — přivést do stavu vysoké přesnosti, jestliže je zabrušujeme s dlouhou, na několik dílů podélně rozřezanou matkou (obr. 126). Základ metody je v tom, že dvě šroubové plochy téhož

stoupání — a tedy také plochy šroubu a matky — jsou shodné, kongruentní a zabrušování právě takové plochy produkuje. Je-li matka dost dlouhá (skoro jako sám šroub), pak s použitím malého množství nejménějšího brusidla a velkého množství času postupně zmizí úplně chyba periodická a pomalu také chyba postupná. Takovýto dokonalejší šroub byl duší malého dělicího stroje,



Obr. 127.

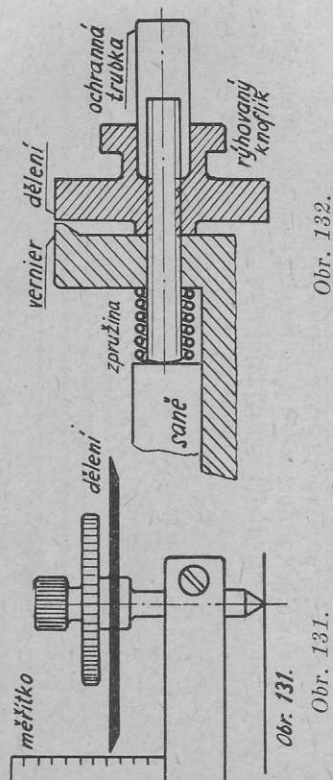


Obr. 128.

Obr. 129.

Obr. 130.

jímž Rowland vyřyl své difrakční mřížky, které měly přes tisíc pravidelně rozložených čárek na každý milimetr. Chyby byly tedy stlačeny na malé zlomky mikronu, ale zabrušovací proces trval čtyři týdny.

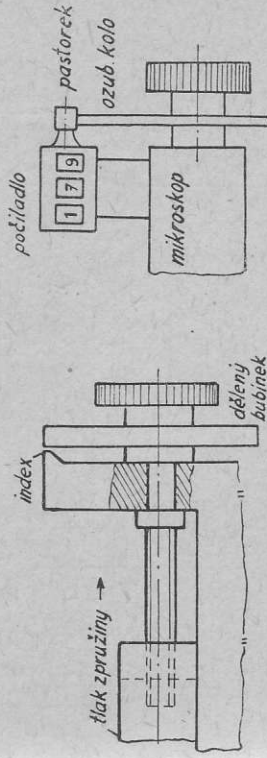


Obr. 131.

Obr. 132.

Malé šrouby pro komerční mikrometry se dnes vybrušují z plně ocelové kalené tyčky; rozsah šroubu je běžně 25 mm a renomované firmy (Zeiss a j.) se zaručují, že všechny chyby jsou v mezích 2 mikronů. Naproti tomu u nejpřesnějších dělicích strojů se šrouby 400—1200 mm dlouhými ani korekční zařízení nepřipouští záruku chyb menších než 2 mikrony. Z toho je vidět, jak je nesnadné vyrobit přesný delší šroub.

Otázka vůle (axiální) se dá řešit tím, že rozříznutou matku stáhneme šroubem (obr. 121) nebo způsobem podle obr. 127, kde matka je rozříznuta křížem a lze ji sevířít regulační matkou, pro niž je na rozříznutém konci hlavní matky kuželový závit (způsob obvyklý u dílenských mikrometrů a u stavěcích šroubů). Jiná možnost je uvedena v obr. 128, kde je matka rozdělena a volná půlka je posuvná, ale ne otáčivá a obě půlky jsou od sebe tlačeny pružinou; pružina musí mít ovšem napětí větší, než je síla, kterou šroub překonává, a může se tedy stát, že nadbytečnou silou pružiny je šroub zbytečně vybíhán. Stejně škodlivá je vůle v uložení šroubu. U starších přístrojů se ložisko šroubu dělávalo pracovním způsobem podle obr. 129; přibroušením destičky se uložení dalo utěsnit. Dnes užíváme obvyčejného uložení válcového a axiální vůli se snažíme odstranit stavěcím kroužkem nebo jinak. Žádný z uvedených způsobů není dokonale — odtud staré pravidlo: se saněmi najždět vždy v téměř směru. U šroubů krátkých se pravidelně používá pružiny, která tlačí proti šroubu. Tak na obr. 130 šroub tlačí na saně, které jsou vráceny tlakovou pružinou; další příklady uvidíme na ustanovkách. Pravá strana obr. 130 je vlastně obvyčejný mikrometr, kde zlomky otáčky čteme na okraji bubínku a celé otáčky na plášti matky; s tímto provedením se setkáváme u dílenských mikroskopů (sovětské výrobky, Zeiss a j.). Pro šroub velmi přesný nestačí stupnice na malém bubínku; lze užít (obr. 131) plochého velkého kotouče,



Obr. 133.

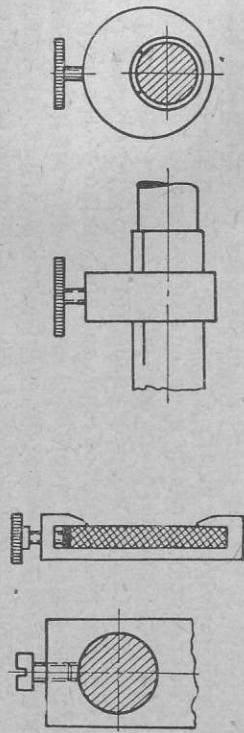
Obr. 134.

na němž odečítáme proti ostré hraně svíslého měřítka, udávajícího celé otáčky (sférometr, libeloměr). V obou uvedených příkladech je matka pevná a šroub se tedy otáčí a posouvá. Nesnáze může činit čtení celých otoček, je-li šroub jemný; v krajním případě lze užít malého počítadla otoček, jaké má na př. planimetr. U provedení podle obr. 132 je šroub pevně spojen se saněmi a matka je v otočném bubínku; šroub se tedy jen posouvá. Lepší a uživanější je způsob znázorněný na obr. 133, kde matka je v saních a šroub se v ložisku jen otáčí. To je běžné provedení u šroubových mikroskopů; protože saně nejsou záměrnou značku, kterou pozorujeme okulárem, umísťuje se do zorného pole také stupnice udávající celé otáčky (u starších přístrojů místo stupničky byl hrábínek udělaný z kousku stejného mikrometrického šroubu), nevadí tedy, má-li šroub malé stoupání. Je-li mikrometr určen pro nekvalifikovaný

personál, můžeme šroubu místo děleného bubínku dát ozubené kolo, které pohání obyčejné počítadlo se skákajícími číslicemi (obr. 134 — tvrdoměr Vickers).

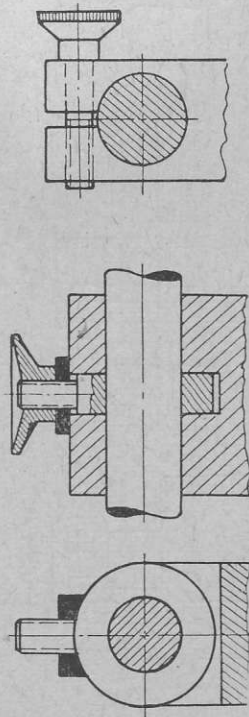
Zařízení svěrací

Stále se opakuje úloha, jak upevnit — fixovat — součást, kterou jsme nastavili do vhodné polohy, aby se dále nemohla posouvat nebo otáčet. Na to jsou různé mechanismy svěrací, rozpínací a brzdicí, ovládané nejčastěji šroubem, jindy excentrem, vzácně hydraulicky nebo jinak.



Obr. 135. Obr. 136.

Obr. 137.

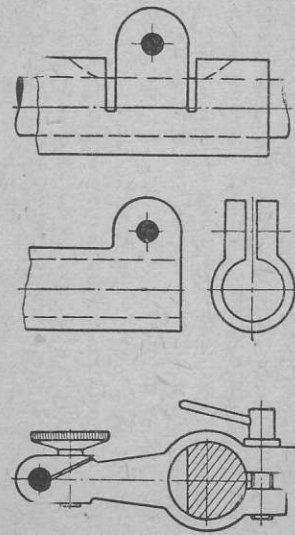


Obr. 138.

Obr. 139.

Obr. 140.

Nejjednodušší způsob je prostý tlakový šroub (obr. 135); lze ho přitvořit i pro průřezy nekruhové, jako na obr. 136 (posuvné měřítko; šroubek je položen předpjatou páskovou pružinou). Je vhodný šroubek položit kousek měkkého materiálu. V současti trubkového profilu lze udělat dva řezy (obr. 137); na vzniklý jazyk tlačí šroubek zavrtaný do výstředného kroužku, připájeného na trubku.

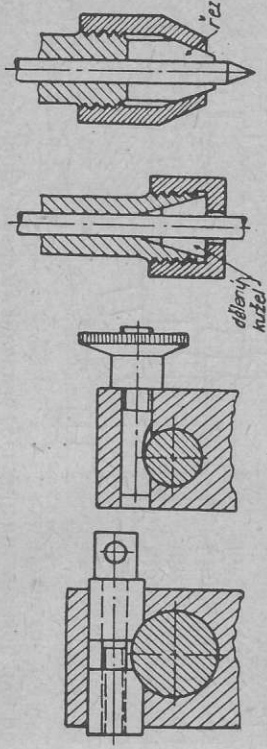


Obr. 141.

Obr. 142.

Obr. 143.

Na obr. 138 a 139 je šroubek v celku s prstencem, jenž tážen šroubkem vyvodí potřebné tření. Rozšířený je způsob na obr. 140; vedení je rozříznuto a je šroubem svíráno kolem těsně zalicované válcové části. Tohoto způsobu je dvakrát použito na koničku hodinářského soustruhu, obr. 141; horní řez je veden zespodu, aby nevnikaly piliny, těleso koniku může pěkně pružit. Je-li vedení krátké, jde řez celou jeho délkou (obr. 141), jinak je řez částečný, buď

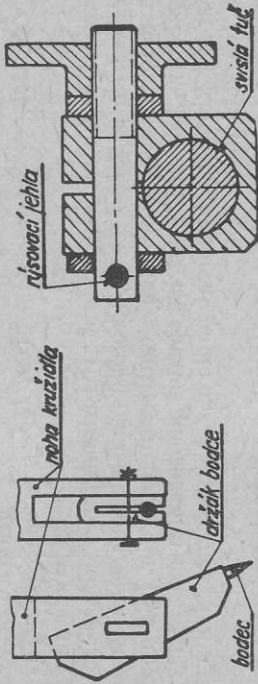


Obr. 144.

Obr. 145.

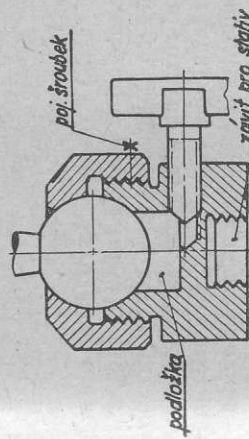
Obr. 146.

Obr. 147.



Obr. 148.

Obr. 149.



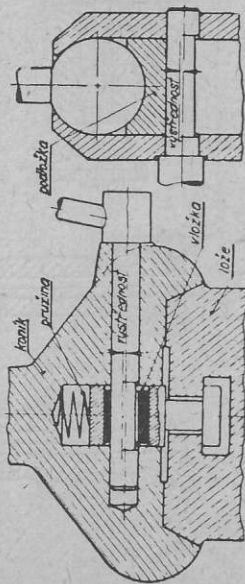
Obr. 150.

Obr. 151.

na konci a delší (obr. 142), nebo je dále od konce a zcela krátký; zato je vedení ještě dvakrát profíznuto napříč (obr. 143, časté u konlůk mechanických soustruhů).

Tlustší kulatou tyč lze sevřít dvěma válcovitými čelistmi podle obr. 144; šroub prochází volně jednou a má závít v druhé čelisti. Podobný, jednodušší

a nesymetrický způsob je znázorněn na obr. 145; není-li probrání v šroubu dobře provedeno, šroub součást neochotně uvolňuje. K sevtění lze užít také kule, jak je vidět na obr. 146; nevýhodou zde je, že přitažením se tyčka trochu posune. Proto je lepší provedení podle obr. 147, často užívané u rysovadel. Jiné sevtění, běžné u rysovadel, je znázorněno na obr. 148; bodec je posuvný a dá se sklonit, vše je blokováno jediným šroubkem. Na obr. 149 je držák rýsovací jehly, posuvný po svislé tyči nádrhu; zde jsou dva posuvy a



Obr. 152.

tri možné rotace blokovány jednou matkou. Někdy uijeme pro všestrannou pohyblivost kloubů kulových. Na obr. 150 je vidět takový kloub blokovaný podložkou, kterou šroub na jedné straně nadzdvihne (kulový kloub pro fotografický přístroj.) Ještě větší pohyblivost dává dvojitý kulový kloub, který lze sevtřit šroubem jako na obr. 151 (držák lupy, sklářského kahanu).

Obr. 153.

Upinání excentrem se často užívá u koníků menších soustruhů. Zcela malého konika lze na loži fixovat jednoduchým zařízením podle obr. 152; opotřebením přestane excentr „táhnout“, což lze spravit pootočením excentricky vrтанé vložky. Kulový kloub lze blokovat podle obr. 153; excentr zdvihá podložku, na níž spočívá koule. —

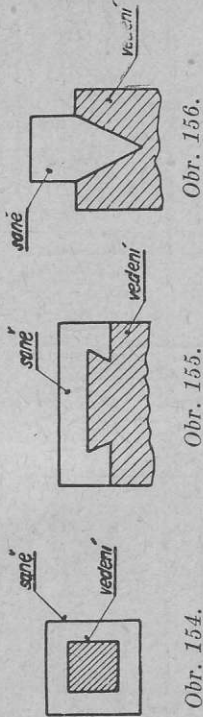
Další příklady najde čtenář v kapitolách o přímých vedeních a ustanovkách.

Přímá vedení

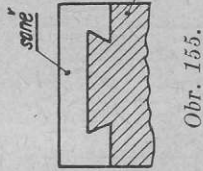
Jejich úkolem je vést určitou součást (sáně) v přímce. Na rozdíl od obráběcích strojů působící síly jsou zde malé, obvykle jen vlastní váha saní, zato se někdy žádá nejvyšší přesnost, jindy co nejmenší tření, někdy přesnost s lehkým chodem. Proto užíváme velmi různých provedení. Funkčně rozzevnáme vedení stále pracující, *pracovní* (analogie: vedení suportu soustruhu), a vedení, na nichž se součást může posouvat a je v žádané poloze fixována — vedení *staveční* (analogie: koník na soustruhu). Dále bývá zvykem mluvit o vedeních *zavřených*, která jsou s to, aby přejímaly síly jakéhokoliv směru (obr. 154 a 155), a o vedeních *otevřených*, na něž jsou sáně přitlačovány, obvykle vlastní vahou. Konečně rozeznáváme vedení *kluzná*, tedy sáně v pravém slova smyslu, a vedení *valivá*, kde je užito koleček, kulíček nebo válečků.

Vodící plochy mohou být rovinné nebo válcové; jiné plochy už z výrobních důvodů nepřicházejí v úvahu.

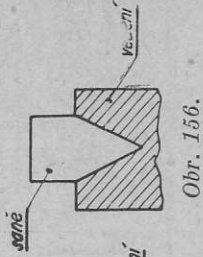
Nejjednodušším a velmi přesným vedením jsou dvě různoběžné rovinné plochy. Dvě roviny lze snadno (lapováním s rovinnými deskami) přivést na vysoký stupeň přesnosti. Není divu, že tato vedení byla dříve velmi oblíbená (lože malých soustruhů podle obr. 157, vedení tubusu mikroskopů). Dnes užíváme dvouplochého vedení podle obr. 156 k vedení břitvy u mikrotomů. Pro optické lavice užíváme běžně tříhranné tyče (158), po níž se posouvají



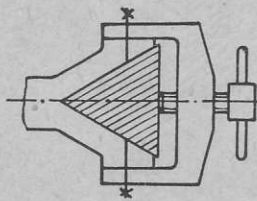
Obr. 154.



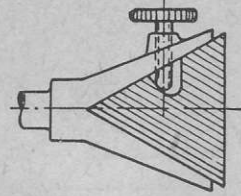
Obr. 155.



Obr. 156.



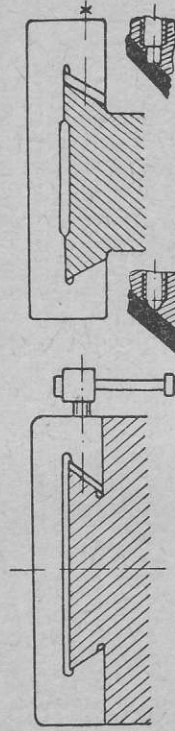
Obr. 157.



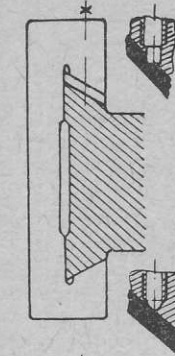
Obr. 158.



Obr. 159.



Obr. 160.

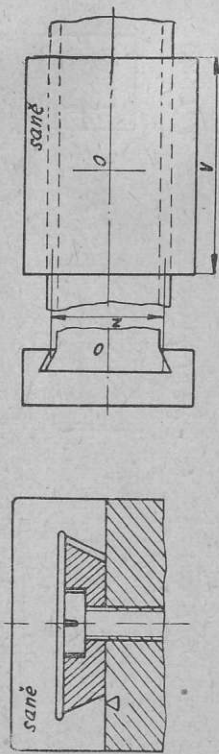


Obr. 161.

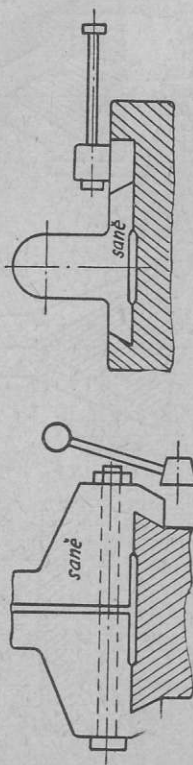
jezdci, kteří nesou čočky, filtry, lampy a pod.; jezdec se dá fixovat šroubem opírajícím se o šikmou plochu drážky. Při škrábání nebo lapování rovné plochy snadno vznikne mírná vypuklost podle obr. 159a, ale tomu se lze vyhnout tím, že plochu omezíme na dva pásy podle obr. 159b; ušetříme tím i na práci a tohoto principu vydatně užíváme i pro jiné širší vodící (a po příp. i pro do- sedací) plochy. Poměrně málo užíváme vedení čtyřhranného (obr. 154), na př. u tyčí planimetru.

U obráběcích strojů nejčastěji volíme vedení „prismatická“ podle obr. 160 a 161. První konstrukce je při stejné šířce odolnější proti příčným momentům.

V obou případech je vedení utěsněno lištou, na niž tlačí stavěcí šrouby (detaily na obr. 161); v jemné mechanice není třeba užívat lišt klinových, které jsou na místě v namáhanějších strojích obráběcích. Jsou to typická vedení pracovní, lze jich ovšem užít i jako stavěcích. Pro malé rozměry hojně volíme vedení podle obr. 162, provedené nejčastěji z mosazi. Vodicí hranol je na spodek přišroubován (s užitím kolíků) a vedení lze snadno utěsnit obrouše-



Obr. 162.

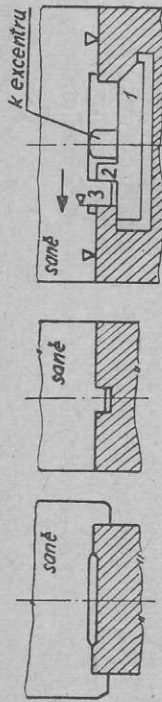


Obr. 163.

Obr. 164.

Obr. 165.

ním (nebo škrábáním) plochy označené trojúhelníčkem. U všech vedení je důležitá, aby měla náležitou délku v poměru k šířce. Poměr délky v na obr. 163) k šířce saní s má být aspoň 1, lépe 1,5; jinak se saně rychle vyběhají a vedení se pak začíná vrtět podle osy O . Je-li žádána možnost saně fixovat, dáme jednomu nebo více stavěcím šroubům rukojeti nebo posuvné tyče jako u svěráku (viz obr. 160). U vedení pouze stavěcích lze někdy užít rozříznutí a stahovacího šroubu (obr. 164), nebo užijeme příružné lišty podle obr. 165 a dvou šroubů, ovládaných rukou.



Obr. 166.

Obr. 167.

Obr. 168.

Otevřená pravoúhlá vedení podle obr. 166 („široké“ vedení) nebo podle obr. 167 („úzké“ vedení) nejsou valně v oblíbené, možnou vůli nelze u nich odstranit přeskřábáním. V tom směru je výhodnější uspořádání podle

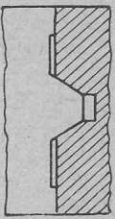
obr. 168, kde část 1, tažená excentrem, přitlačí saně na vodorovné plochy a zároveň výstupkem 2 přirazí lištu 3 na svislou plochu vedení; vůle je tedy dokonale odstraněna a přesnost vedení záleží jediné na plochách označených Δ . Místo vedení podle obr. 166 a 167 častěji najdeme vedení — jinak analogické — s vodicími ploškami skloněnými (obr. 169, 170). Výhoda zde je, že přeskřábáním nebo přebroušením lze vedení opět utěsnit (přiskřábáním vodorovné plochy se utěsní

plošky šikmé!); užívá se jich (hlavně podle obr. 169) jako loží drobných precizních soustruhů a j.

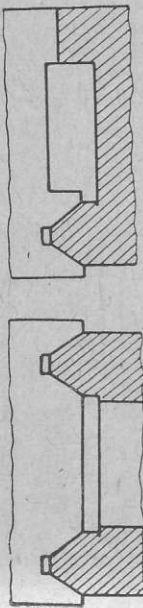
Důležitá jsou vedení střechová, běžná i u soustruhů. Vedení se dvěma stříškami (obr. 171) není výhodné, neboť je velmi nesnadné dosáhnout toho, aby obě stříšky plně dosedaly, jinak saně se mohou vrtět kolem osy rovnoběžné se směrem pohybu. Proto volíme provedení tvarově určitéjší a jednodušší: jedna stříška a jedna rovná ploška (obr. 172); to je normální vedení konika u menších a středních soustruhů a vedení běž-



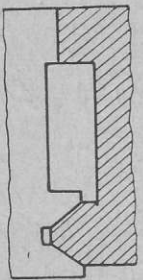
Obr. 169.



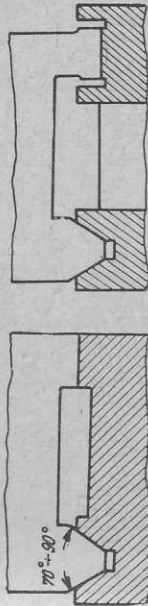
Obr. 170.



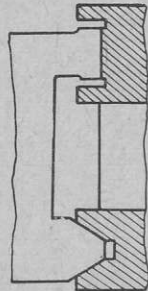
Obr. 171.



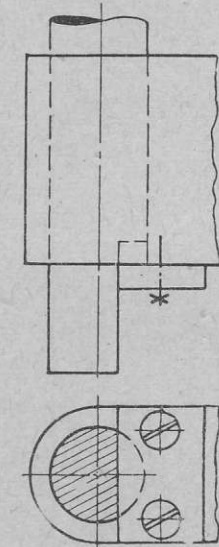
Obr. 172.



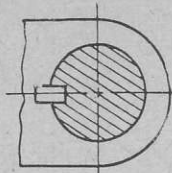
Obr. 173.



Obr. 174.



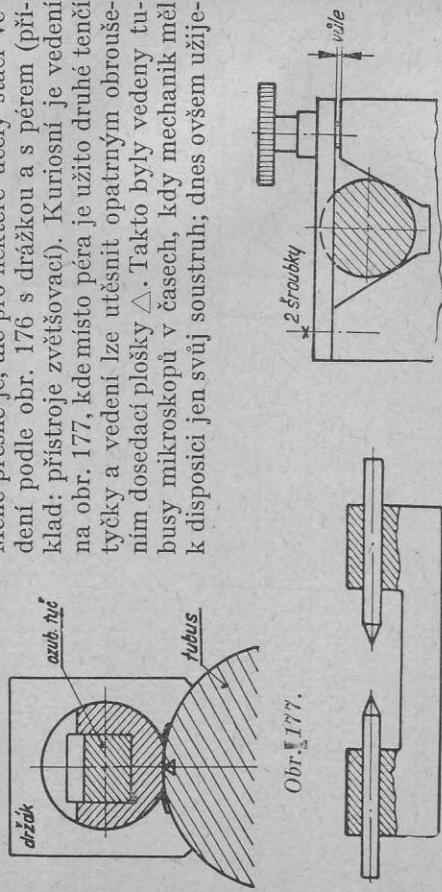
Obr. 175.



Obr. 176.

né v jemné mechanice. V zásadě je lhostejné, je-li stříška na loži (obr. 172) nebo na saních (obr. 173). U provedení podle obr. 173 je ovšem žlábek lože — pokud není překryt saněmi — lépe chráněn před poškozením než stříška znázorněná na obr. 172, ovšem ve žlábků se zase spíše může držet smeti; na obr. 174 je takto chráněna i rovná ploška.

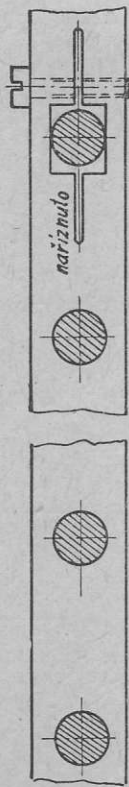
Vedení válcová jednoduchá se vyskytuje u nejmenších soustruhů hodinářských, kde je lože tvořeno válcovou tyčkou, na níž je podél vyfrézovaná ploška jež brání otáčení (obr. 141); konici jsou přesně válcově vybroušeni (materiál je jemná litina) a do otvoru je šroubky připevněna vložka profilu kruhového úseku. Je-li zdvih malý, stačí provedení podle obr. 175, kde otáčení je zabráněno přišroubovanou destičkou (držák mikroskopu dělicího stroje). Méně přesné je, ale pro některé účely stačí vedení podle obr. 176 s drážkou a s pérem (příklad: přístroje zvětšovací). Kuriosní je vedení na obr. 177, kde místo pera je užito druhé tenčí tyčky a vedení lze utěsnit opatrným obrusěním dosedací plošky Δ . Takto byly vedeny turbusy mikroskopů v časech, kdy mechanik měl k dispozici jen svůj soustruh; dnes ovšem užívají



Obr. 178.

Obr. 179.

me vedení podle obr. 162. Nesnadné je udělat přesně soustředné vývrty pro hroty znázorněné na obr. 178 (hrotové upínací zařízení dilenského měřicího stroje); tu si můžeme pomoci uložením podle obr. 179, kde hroty jsou uloženy a destičkou drženy v drážkách, které lze velmi přesně vyfrézovat a přebrousit v jednom průchodu strojem.

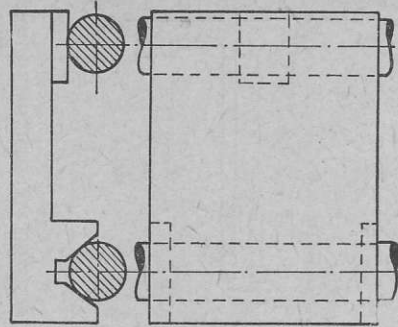


Obr. 180.

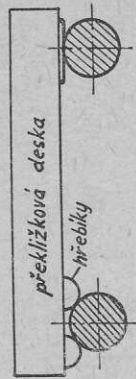
Obr. 181.

Vedení válcové může být dvojitě, t. j. sáně vedeme dvěma kulatými tyčkami. Toto vedení může dosáhnout vysoké přesnosti, neboť válce (spolu s koulí) jsou tělesa, která lze nejpřesněji zhotovit. Jednoduché vedení podle obr. 180 trpí vadou, že licování pro vodící tyče musí být nezbytně volné, poněvadž tyče nelze postavit do přesné rovnoběžné polohy. V tom je lepší způsob znázorněný na obr. 181, kde levá tyč může být licována těsně, kdežto druhá prochází obdélným otvorem a lze ji šroubem utěsnit. U válcových vedení nejpřesněj-

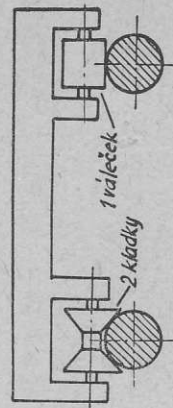
ších (na př. u strojů k proměňování souřadnic na astronomických fotografích) užíváme kalených, zrcadlově vybroušených válců, sáně pak spočívají dvěma krátkými žlábkami na jednom válci a malou ploškou na druhém, obr. 182. Pro laboratorní improvizaci lze dosáhnout přesného vedení bez vůle prostými čtyřmi hřebíky s půlkulatou hlavou, jak je znázorněno na obr. 183. U těchto vedení nevadí, jsou-li tyče trochu různoběžné, nesmějí však být mimoběžné, poněvadž pak sáně kromě posuvného pohybu konají i malý pohyb rotační; to můžeme bezpečně zjistit citlivou libelou a polohu jedné z tyčí opravíme rektifikačním zařízením. Vedení kulatými tyčkami se dříve hojně užívalo (z nedostatku hoblovacího stroje); v dílnách pražské techniky stával soustruh po Božkovi, jehož suportové sáně byly takto vedeny.



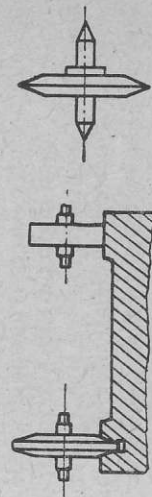
Obr. 182.



Obr. 183.



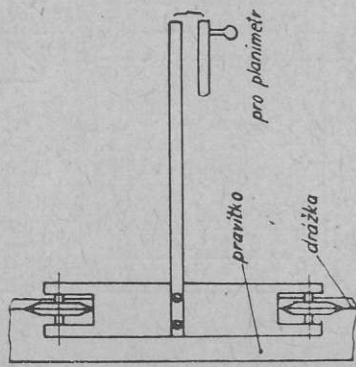
Obr. 184.



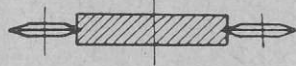
Obr. 185.

Obr. 186.

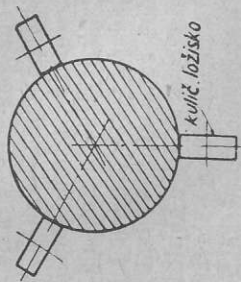
straně dvou koleček pevně uložených, na druhé straně kolečka nejlépe jediné, uložené v křivavém rámu a pružinou tlačného k pravítku. Vodicí vozíky podle obr. 187 často tvoří vedení integrovaných. Tyč kulatou nebo třemi ploškami opatřenou můžeme vést dvěma trojicemi koleček (obr. 189), jimiž mohou být kuličková ložiska (tykadlo Abbeho tloušťkoměru); podobnými kladkami, různé podle potřeby rozestavenými, jsou vedeny rámy zkouše-



Obr. 187.



Obr. 188.



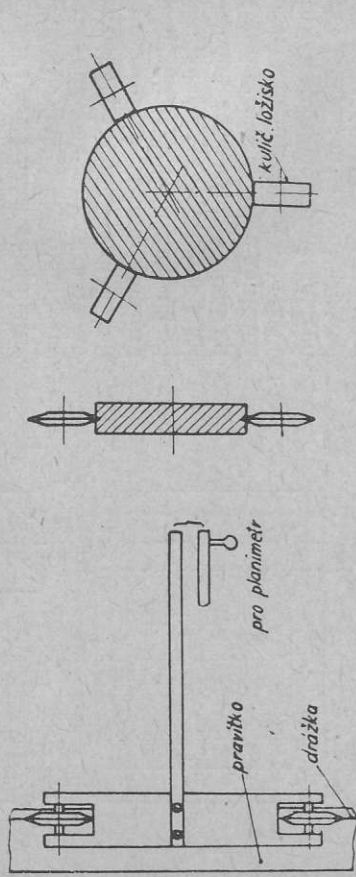
Obr. 189.

cích strojů Amslerova typu. Přesnost takových vedení záleží na přesnosti koleček a na tom, jak přesně a bez vůle je uložení koleček. Dlužno dodat, že u těžších koleček odlehčováním jsou opatřeny

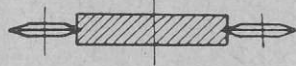
dvěma i více páry válcovitých koleček, která jsou se saněmi spojena nikoliv pevně, nýbrž pružně. Napětí pružin lze šrouby naregulovat tak, aby větší část váhy saní spočívala na kolečkách, menší částí váhy doléhají saně na vedení, obvyklejší stříškové. Dosahujeme tak plně přesnosti kluzného vedení při tření podstatně zmenšeném.

Zajímavé je vedení na obr. 190: dvě masivní rýhovaná kolečka přesně stejného průměru a nápravou spojená jedou po papíru a vedou rám stroje tak přesně, že Coradi takto provádí své známé precizní planimetry a dokonce také integrátory a integrafy.

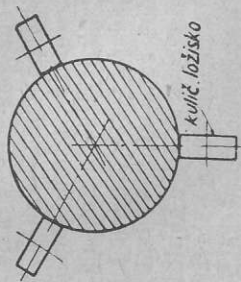
Vedení kuličková, se dělají otevřená podle obr. 191 (o určitosti kontaktu platí, co bylo řečeno při vedeních stříškových) nebo zavřená podle obr. 192, která lze stavěcími šrouby utěsnit (křížové vedení u sovětských dílenských mikroskopů). Drážky se dělají podle obr. 193 (jednodušší) nebo podle obr. 194



Obr. 187.



Obr. 188.



Obr. 189.

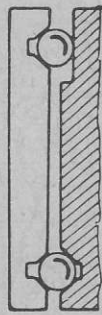
cích strojů Amslerova typu. Přesnost takových vedení záleží na přesnosti koleček a na tom, jak přesně a bez vůle je uložení koleček. Dlužno dodat, že u těžších koleček odlehčováním jsou opatřeny

dvěma i více páry válcovitých koleček, která jsou se saněmi spojena nikoliv pevně, nýbrž pružně. Napětí pružin lze šrouby naregulovat tak, aby větší část váhy saní spočívala na kolečkách, menší částí váhy doléhají saně na vedení, obvyklejší stříškové. Dosahujeme tak plně přesnosti kluzného vedení při tření podstatně zmenšeném.

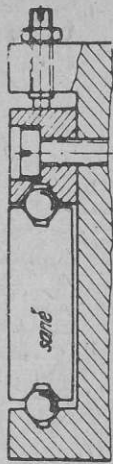
Zajímavé je vedení na obr. 190: dvě masivní rýhovaná kolečka přesně stejného průměru a nápravou spojená jedou po papíru a vedou rám stroje tak přesně, že Coradi takto provádí své známé precizní planimetry a dokonce také integrátory a integrafy.

Vedení kuličková, se dělají otevřená podle obr. 191 (o určitosti kontaktu platí, co bylo řečeno při vedeních stříškových) nebo zavřená podle obr. 192, která lze stavěcími šrouby utěsnit (křížové vedení u sovětských dílenských mikroskopů). Drážky se dělají podle obr. 193 (jednodušší) nebo podle obr. 194

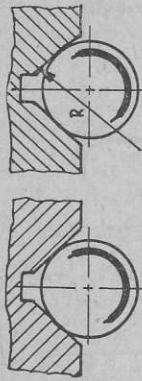
(odolávají lépe opotřebení). Kuličky jsou vedeny v otvorech vodicích pásů (analogie s vodicím košem kuličkových ložisek); to ovšem omezuje možný zdvih saní. Jde-li o pohyb na dlouhé dráze; je nutno vést kuličky v uzavřeném kanálu, jak je znázorněno na obr. 195. Příklad vedení válečkového je vidět na obr. 196; těžký stůl (souřadnicové vrtáčky) je nesen dvěma řadami válečků, uprostřed je úzké kluzné vedení jako na obr. 170; válečky běží na



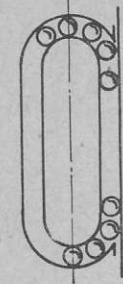
Obr. 191.



Obr. 192.

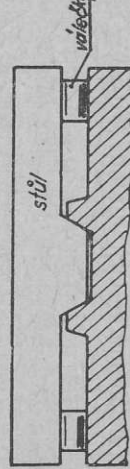


Obr. 193.

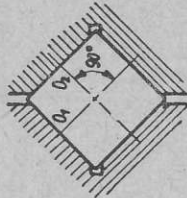


Obr. 194.

Obr. 195.



Obr. 196.



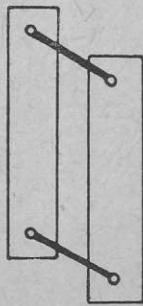
Obr. 197.

litině, lépe na vložených kalených a broušených pásech. Místo kuličkového vedení na obr. 192 lze užít robustnějšího, ovšem s větším třením spojeného vedení válečkového podle obr. 197. Rovnostranné válečky mají střídavě osu 0_1 a 0_2 , což vylučuje užítí vodicího pasu; vodicí pás (dost složitěho tvaru) je možný, je-li délka válečků menší než průměr. Snížené tření u saní posouvavých mikrometrickým šroubem nejenže snižuje opotřebení šroubu, nýbrž podle zkušenosti též zvýší přesnost měření, patrně proto, že se zmenší pružnost deformace v systému (je dobře mít na mysli, že téměř dokonale pružnost může jevit součást z jednoho kusu zhotovená, u složitějších celků se objevuje elastická hysterese tím spíše, čím větší je počet dílů a počet spojů).

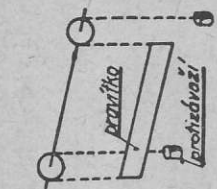
Paralelní vedení

Zde nejde o vedení v přímce, nýbrž o to, aby vedená součást konala pohyb *translační*. Pravítko šrafovacího stroje lze vést dvěma kolečky jako na př. 190. Bezpečněji a přesněji lze vést pravítko kloubovým rovnoběžníkem (paralelo-

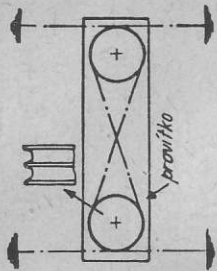
gramem) podle obr. 198. Dlouhé příložníky na rýsovacích prknech skoro svislých lze vést dvěma řetězy, jejichž řetězová kola jsou hřídelem spojena (obr. 199). Jinak lze užit vedení lany, z nichž nejjednodušší je znázorněno na obr. 200, běžné u selfaktorů, ale výborné i pro vedení příložníku; je-li



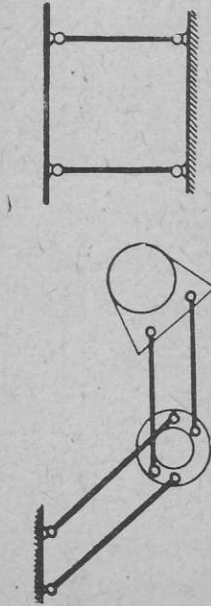
Obr. 198.



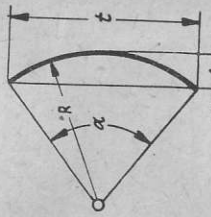
Obr. 199.



Obr. 200.



Obr. 201.



Obr. 202.

Obr. 203.

dobře uděláno, jsou odchylky třimetrového pravítka na koncích v mezích asi 0,1 mm. Kreslicí stroje „Isis“ a podobné stroje, dále přístroje vynášecí a jiné, mají paralelní vedení dvěma rovnoběžníky. Při přesném provedení (kuličková ložiska) jsou chyby v mezích 1—2' (obr. 201).

Přímá vedení přibližná

Tam, kde stačí menší přesnost, lze mnohdy užít k přibližnému vedení některého systému pákového. Výhodou tu bývá příhodnější lehčí konstrukce, menší pohyblivé hmoty a malé tření. Je-li pohyb součástí malý, stačí někdy prosté vedení rovnoběžníkem (obr. 202); pak každý bod vedené části opisuje oblouk o poloměru R (obr. 203), jehož výška pro danou tětivu t je

$$\Delta = R \cdot (1 - \cos \alpha/2).$$

Poněvadž úhel α je malý, stačí kosinus vyjádřit prvními dvěma členy kosinové řady, za α pak dosadit t/R ; dostaneme

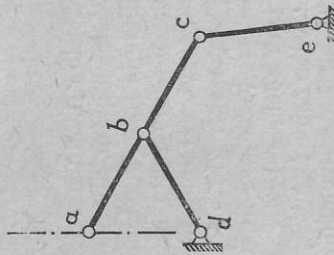
$$\Delta = R \cdot \left[1 - 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{2} \right)^2 \right] = R \cdot \frac{\alpha^2}{8} = \frac{R}{8} \cdot \frac{t^2}{R^2} = \frac{t^2}{8R}. \quad (3)$$

Je-li na příklad celý zdvih 0,2 mm, délka vodicích pák 30 mm, je

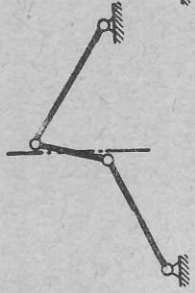
$$\Delta = \frac{0,2^2}{8 \cdot 30} = \frac{0,04}{240} = 0,000167 \text{ mm} = 0,167 \mu,$$

což je výchylna přijatelná na př. pro jemný posuv tubusu mikroskopu. Přesnost vedení bude zřejmě záviset na těsnosti všech ložisek, event. na tuhosti mechanismu.

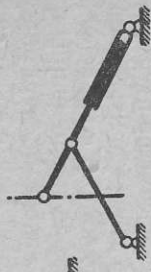
Pro delší pohyby je třeba volit pákové systémy složitější. Tak na obr. 204 je znázorněno vedení dříve užívané u indikátorů, dnes u měřících přístrojů, má-li ručka ukazovat na přímé stupnici. Jsou-li délky ab , bc , db stejné, bylo by vedení přesné, kdyby se bod c pohyboval ve vodivé rovné příince místo v oblouku kolem bodu e ; vedení bude tím přesnější, čím delší bude vodidlo ce . Na obr. 205 je příklad vedení „lemniskatového“, na obr. 206 jedno z možných vedení „konchoidních“, ovšem zde systém není čistě pákový, poněvadž jedna tyč



Obr. 204.

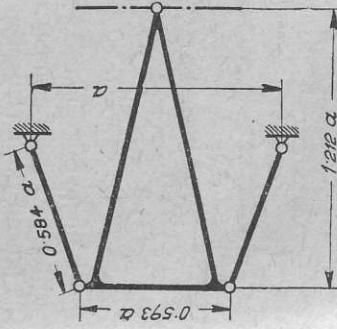


Obr. 205.

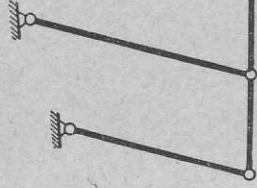


Obr. 206.

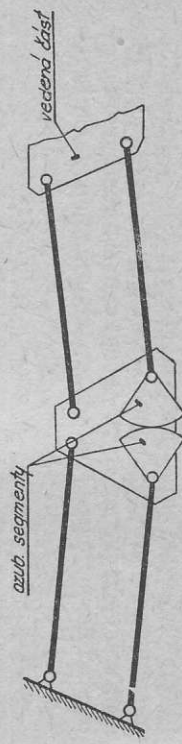
je výsuvná. Čistě pákové vedení je znázorněno na obr. 207, stejně jako vedení na obr. 208. Vedení na obr. 209 je zajímavé tím, že oba rovnoběžníky, které by samy stačily na vedení paralelní (jako obr. 201), jsou ozubenými segmenty nuceně



Obr. 207.



Obr. 208.



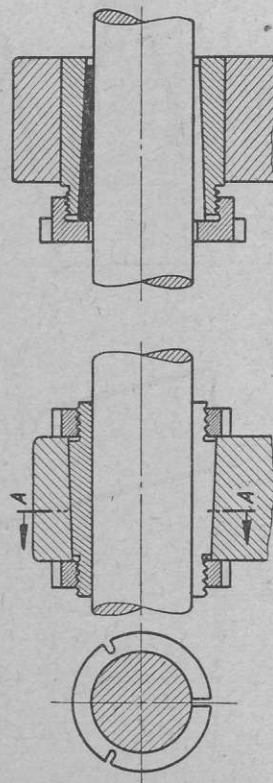
Obr. 209.

spřaženy, takže celý útvar zůstává souměrný; vedení v přímce není ovšem tuze přesné, poněvadž ozubení nelze provést bez vůle. Ve všech skizzách je přibližně přímková trajektorie znázorněna čerchovanou přímkou.

Počtení vyšetřování těchto mechanismů je pracné a vede snadno k omylům. Nejbezpečněji a rychle lze takový (a každý jiný) pákový systém vyšetřit na modelu (z pásků celuloidových a pod.); bod, jehož dráha nás zajímá, opatříme tužkou a měníme číselné poměry tak dlouho, až dráha vyhovuje. Má-li model dostatečné rozměry, stačí přesnost vyšetření úplně.

Otočná uložení

Otočná uložení v jemné mechanice jsou nejrozmanitějšího druhu a velikosti: na jedné straně jemná hrotová uložení součástí vážících gram, kde požadavkem je minimální tření, na druhé straně uložení, kde je třeba největší přesnosti a těsnosti; uložení v čepch, na kulíčkách, břitý, pružinové klouby. Málodky jde o stálý běh zatíženého uložení jako ve strojnictví, většinou jde o velmi malé obvodové rychlosti, často o pohyby malé a občasně. Proto též se jeví jinak otázka mazání: málodky se může vytvořit souvislý olejový film, obvyčejně jde o tření polosuché nebo polotekuté. Proto jsou koeficienty tření vesměs větší, než jak se často uvádí v literatuře. U ocelového čepu v mosazném ložisku dosáhneme sotva hodnoty 0,1, bezpečněji je počítat s koeficientem 0,15; ocel na oceli může mít nízký koeficient, je-li souvislý film olejový, při pomalých a občasných pohybech naměřil autor 0,16—0,18. Je-li ještě k tomu čep vysoce specificky zatížen, dochází až k tření suchému, nepoužije-li se mazadla mimořádně pevně lpicího na třecích plochách. Jinou obtíž činí mazání součástí drobných a číperně se pohybujících, mezi nimiž působí síly řádu 1/20 g. Zde olej i zcela řídký se chová jako viskosní a lepivá tekutina, velmi citelně zvětšuje odpory a adhesními zjevy („lepením“) je jednou z hra-

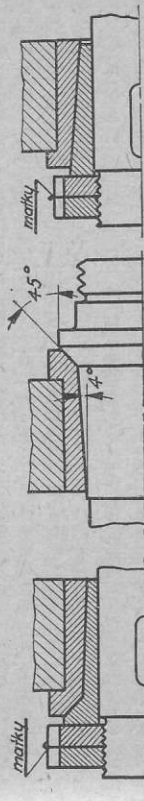


Obr. 210.

Obr. 211.

nic ve snaze zlepšovat chod chronometrů; odtud hodinářská praxe, strojaři až nepochopitelně, omezovat stykové plochy až na dotykové bodové a přímkové, event. nechat plochy běžat nemazané; problém mazání v hodinářské technice není zdaleka uspokojivě rozřešen a je ještě podstatně ztěžován nutným požadavkem veliké trvanlivosti oleje.

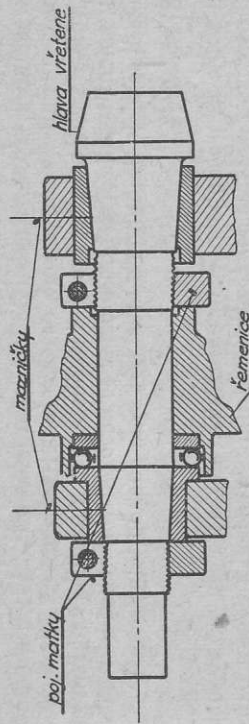
Tam, kde to provozní poměry ospravedlňují, užíváme i v jemné mechanice konstrukčních metod strojnických, obvyčejně ovšem vystačíme s jednoduchými způsoby. Vysoké požadavky klademe na vřetena miniaturních obráběcích strojků, jako jsou na př. hodinářské soustruhy. Způsob obvyklý u středně velikých soustruhů — bronzové pánve zvenčí kuželové (obr. 210) — není zde oblíbený, neboť tyto rozřezané pánve ztrácejí při posunu kulatost a hřidel je



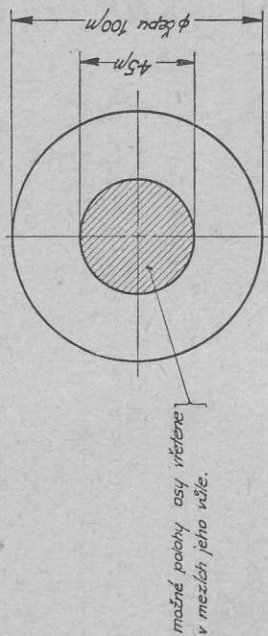
Obr. 212.

Obr. 213.

Obr. 214.



Obr. 215.



Obr. 216.

pak nesen třemi úzkými ploškami. Zlepšit poměry zeslabením pánve není dobře možné, poněvadž musí zůstat dost materiálu pro konce opatřené závitěm; někteří konstruktéři užívají (alespoň pro zadní ložisko) zcela slabostěné pánve a tlačné matky (obr. 211). Často se dělá přední čep (u hlavy) kuželový (obr. 215), někdy dokonce s kuželem dvojitým (obr. 213), aby zachytil též osový tlak. Na zadní konec vřetena je těsně nalicován posuvný vlastní čep

kuželového tvaru, buď rovněž dvojitý (obr. 212), nebo jenom jednoduchý (obr. 214). Je-li užito kuželů jednoduchých, lze pouhým seřazením uložení utěsnit, u kuželů dvojitých jsme v podstatě odkázáni na přesné provedení z továrny. Na obr. 215 je znázorněno uložení vřetena hodinářských soustruhů značky „Lorch“, u nás oblibené; kuželové čepy jsou zalicovány v továrně, aby oba současně plně dosedaly. Vůli lze vymezit zadní matkou, přední matku nastavíme tak, aby se při axiálním tlaku kuželové čepy nedřely, potom utáhneme stavěcí šroubky, jež spojují řemeníčku s vřetenem. Tlakové kuličkové ložisko je lepší řešení než pouhé prstence nebo ploché kužel na obr. 213. Ložisková pouzdra jsou většinou ocelová kalená, někdy bronzová, čepy vždy kalené. Obtížnější je a větší zkušenosti vyžaduje řešení vřeten pro malické automaty na výrobu drobných součástek k hodinám, kde otáčková rychlost je velká (až 10 000 ot/min) a provoz trvalý. Zajímavá je otázka vůle u těchto uložení. Na soustruhu značky „BOLEY“ (výška hrotů 65 mm) bylo lze bez nesnáží točit čípky o průměru 0,1 mm, ač měření ukázalo značnou vůli v uložení. Nakreslime-li věc v měřítku 330:1, dostaneme obr. 216; šrafovaný kruh jsou polohy, jež může zaujmout osa vřetena (měřeno na hlavě vřetena) v mezích vůle. Je vidět, že centrování tu obstarává mazadlo (v našem případě tuhý tuk); zmenšit vůli seřazením uložení se neosvědčilo, neboť ložiska se silně hřála. Maže-li se olejem, mohou a musí být vůle pochopitelně menší.

Uložení čípková

Uložení typické pro konstrukce hodinářské, ale časté i u různých jiných strojů. Čípky jsou vždy ocelové, při kvalitním provedení kalené a popuštěné do modra (tak, aby se právě ještě daly soustružit tvrdým ocelovým nožem), pečlivě leštěné. Méně často se užívají materiálů jiných, na př. nerezavějící oceli, v nové době berylliového niklu. Průměry čípků mohou být řádu 5 mm, kde působí poměrně velká síla (čepy pérovníků nebo bubnu u hodin), u měřicích ručkových přístrojů bývají řádu 1 mm, u rychle běžících hřídelíků v hodinách několik desetin milimetru, čípky setrvaček mají (podle velikosti a jemnosti hodiněk) průměry 0,08–0,12 mm. Délka čepu nemá být velká, rozumně maximum je trojnásobek průměru; dlouhý tenký čep se snadno zlomí, a poněvadž se prohýbá, nenese po délce stejnoměrně. Ohybové namáhání z těchto důvodů nevolíme přes 10 kg/mm². Specifický tlak v ložisku bývá velmi různý; u zatížených čepů není dobře jít přes 20 kg/cm² = 200 g/mm², jde-li se (v hodinářství) výše, je třeba počítat s větším opotřebením.

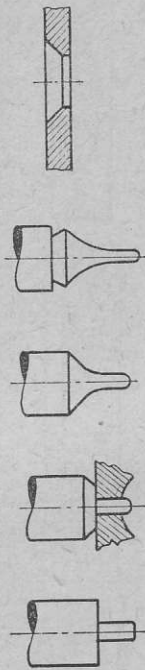
Moment tření je úměrný průměru; proto tenké čípky v hodinářství, kde se jde u setrvaček chronometru do krajnosti (\varnothing 0,18–0,20 při váze setrvačky ∞ 12 g), ovšem za cenu křehkosti. Na čep průměru d působí tření $\mu \cdot P$ (μ součinitel tření, P zatížení v gramech), které dává moment tření v g · mm)

$$M = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot P \cdot d \quad (\text{g} \cdot \text{mm}, \text{g} \cdot \text{mm}) \quad (4)$$

Podle nečetných známých měření je pro klidné tření v mosazném ložisku

$$\mu/2 = 0,06 \div 0,16, \quad (5)$$

což dává překvapivě vysokou hodnotu pro μ . V pohybu (pomalém) je μ menší, v průměru asi o 30%. Mazání nemá valný vliv na velikost tření, ovšem podstatně snižuje opotřebení. Teprve při rychlém otáčení začíná být vliv mazání znatelný a součinitel tření klesá. Čepy otáčející se v kamenech mají μ menší, v klidu snad asi o 0,1, v mírném pohybu asi 0,05 (s mazáním).



Obr. 217. Obr. 218. Obr. 219. Obr. 220.

Obr. 221.

Tvar čepu je zpravidla válcový. Pouhé osazení hřídele podle obr. 217 je provedení nejméně dokonalé. Lepší (v hodinářství standardní) je provedení na obr. 218; kuželovou plošku lze uložit v soustruhu, jehož koníček nese desku s otvory podle obr. 221, a pak čep přeleštit, po příp. místo ulomeného čepu „zavrtat“ čep nový, což je běžná práce hodinářova (a při dobrém provedení žádná „fušetina“). Toto provedení má též výhodu, že při bočním zatížení je tření menší, poněvadž hřídelík doléhá plošku menšího průměru. V tom směru je nejlepší provedení s čepem podle obr. 219, jenž osově doléhá na destičku nebo na kámen. Místo kuželového zúžení hřídele se provádějí běžně u setrvaček čepy podle obr. 220 („trumpetové“), s pěkným oblým přechodem a s drážkou, která brání (nebo má bránit), aby se olej nerozlézal z ložiska; je jasné, že zaoblený konec těchto čepů je dokonale vyteščen.



Obr. 222. Obr. 223.

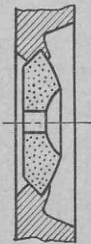
Obr. 224.

Obr. 225.

Ložiska pro čípky jsou často vyvrtána přímo v deskách (nebo můstcích) hodinového stroje. Provedení podle obr. 222 není valné, dobré a skoro standardní provedení je podle obr. 223, s jamkou (kuželovou, častěji kulovou), která je zásobárnou oleje a do níž čep trochu vyčnívá (obr. 218). Jakost ložiska závisí na tvrdosti mosazi; staří hodináři utvrzovali mosazné desky pracovním tepáním až na 60% původní tloušťky, dnes užíváme tvrdých a válcováním utvrzených mosazi. Vyběhá-li se ložiskový vývrt, nezbyvá než jej „vyfytrovat“, t. j. důkladně rozšířit a zlehka do něho zanýtvovat nebo ztuhna na závit zavrtat kousek tvrdé mosazi, do něhož se pak vyvrtá nové ložisko. Tuto práci při níž stále hrozí, že ztratíme správný střed, můžeme podstatně usnadnit, užíváme-li zvláštních, do desky zaražených ložiskových pouzder podle obr. 224 nebo 225; druhou výhodou je, že deska může být z materiálu jakéhokoliv, třeba (pro elektrickou izolaci) z pertinaxu, a tyto vložky lze ovšem snadno

vyměnit. U německých leteckých měřicích přístrojů často najdeme ložiskové vložky ztuha zavrtané jemným závitem a vrtané trochu excentricky; natočným vložky lze osu hřídelku podle potřeby posunout.

Ještě lepším materiálem pro ložiska je dobrý kámen. Měkčí kameny (granáty) nebývají lepší než dobrá mosaz. Dobře vyhovují safíry a rubíny, dnes většinou syntetické: jsou tvrdé, lze je dokonale vyleštit, šetrí čep, jsou (na



Obr. 226.



Obr. 227.

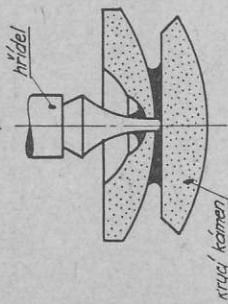


Obr. 228.

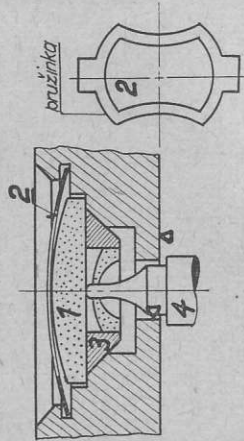


Obr. 229.

rozdílu od kovu) chemicky netečné k mazacím olejům. Do mosazné součásti je kámen různého, ale vždy rotačního tvaru vsazen jako na obr. 226 a upevněn přehnutím podle obr. 16. Nevýhodou zde je, že při výměně (obvykle prasklého) kamene se poškodí uložení. Proto se u nejlepších hodiněk a chronometrů užívá zvláštních vložek ze zlaté slitiny (šatonů), v nichž jsou kameny přehybem upevněny; vložky jsou pak prostě zalisovány, častěji jen vsazeny a drženy přesahujícími hlavami tří malých šroubků. Tovární výroba kamenů však pokročila dnes tak, že je lze vyrábět s tolerancí (na průměru) asi 1 mikron a rovnou vlisovat, jak je vidět na obr. 227; to znamená rychlou práci v továrně, ale také rychlou a bezvadnou opravu u hodináře, který ovšem musí mít normované precisi vylubňáky a příslušný miniaturní pákový lis. — Otvory kamenů mají být buď válcový jako na obr. 228, nebo jsou provedeny trochu jako průvlastky k tažení drátu (obr. 229), čili „olivovány“ (olivé), a to proto, aby se snížilo viskosní tření oleje (u čepů málo namáhaných a rychleji se pohybujících).



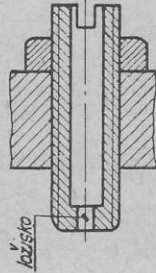
Obr. 230.



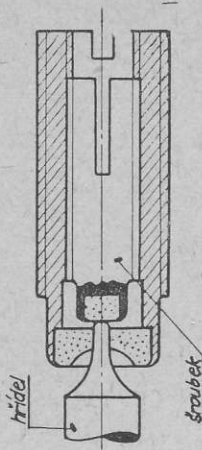
Obr. 231.

Kromě kamenů provrtaných užíváme též kamenů bez vývrtu, s jednou plochou rovinnou, zvaných kameny krycí (koncové), o něž se opírá čelo čepu ležícího ve vývrtu druhého kamene nebo jen v ložisku mosazném. Provrtaný a krycí kámen představují nejdokonalejší (a také ovšem nejnákladnější) uložení čepu. To je běžné uložení všech setrvaček slušných kapesních hodiněk

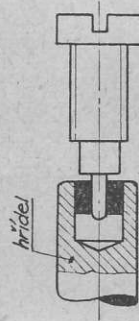
a chronometrů, uložení stoupacího kola u strojů nejjemnějších, ale také uložení hřídelků v jiných, pečlivě provedených přístrojích měřicích. Obr. 230 představuje uložení setrvačky námořního chronometru. Tvar vrtaného kamene je volen tak, aby olej (na obr. naznačený černě) byl kapilární silou přidržován k čepu; zajímavé je dvojité vybroušení vrtaného kamene, jímž je na minimum omezena styčná plocha s čepem. Krycí kámen spodního ložiska, který nese váhu setrvačky (stroj je vodorovný, montovaný v kardanu), bývá často diamantový ve formě ploché routy. Tenké čípky setrvačky se prouším ořesem lehkou lámou, proto v poslední době švýcarské továrny zavádějí ochranné uložení proti nárazu nebo pádu hodiněk (pare-choe). Jedno takové uložení je vidět na obr. 231. Krycí kámen 1, na který tlačí jemná pružinka 2, přitlačuje do kuželového lužka prsten 3, v němž je zasazen kámen vrtaný. Poněvadž pružinka má předpětí, chová se celé uložení normálně jako tuhé. Při nárazu však inerční síla setrvačky přemůže tlak pružinky, uložení čípku se poddá, poté hřídel setrvačky 4 narazí podle směru inerční síly na některou plochu označenou 1. Možných konstrukcí je více, ale všechny mají společný princip: setrvačka má jaksi dvoje uložení, jedno těsné (v kamenech), druhé s velikou vůlí, do něhož dolehne, když se těsné uložení poddalo nárazu. Účinnost je tak dobrá, že hodinčky snesou pád s výše stolu, větší výška pádu ovšem může způsobit, že se zlomí některý jiný čípek nebo že praskne jiný kámen. Jedno ložisko setrvačky je vždy v základní destičce hodiněk („platině“), druhé je v konsole podle obr. 87.



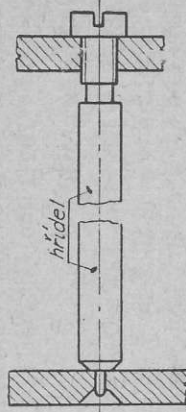
Obr. 232.



Obr. 233.



Obr. 234.

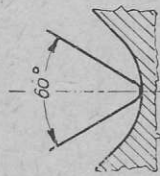


Obr. 235.

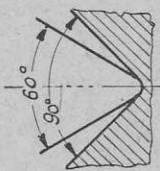
Hřídele s čípky mohou být (na př. v hodinách) uloženy ve dvou deskách, v nichž jsou ložiska vyvrtána nebo zasazena. Je však mnoho případů (u mnohých měřicích přístrojů: aneroïdů, letadlových rychloměrů a j.), kdy hřídel je uložena mezi dvěma sloupky nebo podobnými součástmi rámu. Pak lze

montáž ulehčit tím, že ložiska jsou ve šroubech, jejichž uvolněním lze hřídel vyjmout; na obr. 232 je znázorněn takový šroub tvořící přímo ložisko. Na obr. 233 je vidět šroub obsahující velmi dokonale uložení kamenové; malý krycí kámen je ve vnitřním šroubku, jímž lze vymezit axiální vůli (tento šroubek je rozříznut a napružen nebo se zajistí lakem).

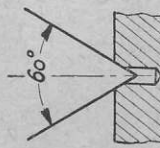
Čep je nejčastěji vytvořen z hřídele (vzácněji do čela hřídele zaražen), v zásadě však stejně dobře může být vytvořen ze šroubku jako na obr. 234; není-li hřídel z vhodného ložiskového materiálu, je do jeho konce vlisována vložka z mosazi nebo vsazen kámen. Tento způsob může být výhodný, je-li hřídel z materiálu nevhodného pro čep. Podléhá-li přístroj vibracím, může se stát, že hřídel jeví snahu se otáčet, čili že vzniká moment, který ovšem může falšovat měření. Tento moment má jiné znaménko u provedení podle obr. 232 než u provedení podle obr. 234; můžeme si tedy pomoci tak, že pro hřídel užijeme obou způsobů uložení, jak ukazuje obr. 235. Na druhé straně ovšem vibrace citelně zmenšují tření v mechanismu. Odtud stará praxe poklepat na přístroj (aneroid, tlakoměr, ale také na rtuťový barometr nebo tlakoměr) před odečtením; cejchujeme-li letecké výškoměry pod recipientem, dáme tam elektromagnetické klepátko, jež uvedeme před čtením v činnost; dokonce i Amslerův kyvadlový manometr, uložený v kuličkových ložiskách, je citlivější, je-li olejová pumpa namontována na jeho rámu.



Obr. 236.



Obr. 237.



Obr. 238.

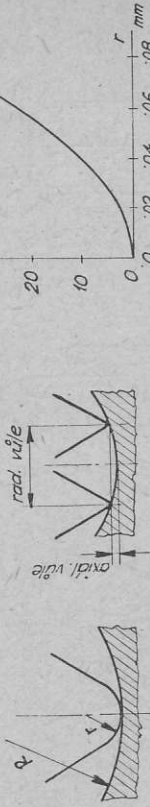
Z předešlého vyplývá, že uložení čepové je vhodné tam, kde jde o častý nebo stálý pohyb, poněvadž speciřické zatížení a tím opotřebenění lze držet na nízkých hodnotách, tedy pro všechny stroje hodinové a podobné opravdu běhající mechanismy; nevyhoví tam, kde záleží na uložení přesném a bez vůle.

Uložení hrotové

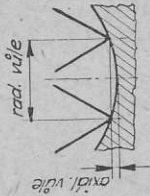
U tohoto, v jemné mechanice často užívaného uložení jsou kuželové hroty místo čepů; hroty jsou uloženy v dülcích. Jsou možné dva zásadně odlišné způsoby: buď spočívá ostrý hrot v jamce se dnem přibližně kulového tvaru (obr. 236), to je hrotové uložení (špičkové) v pravém smyslu, dávající nejmenší tření. Nebo je kuželový hrot uložěn podle obr. 238, hrot tedy funguje jako kuželový čep malého průměru a je nejdokonaleji centrován. Mezi oběma je možné uložení podle obr. 237, u něhož souhlasí poloměry křivosti hrotu a ložiska; tohoto, jinak velmi dobrého uložení se mnoho neužívá, poněvadž zaoblení jamky lze provést jedině speciřním, na příslušný poloměr pracně vyla-

povaným dülčikem, t. j. pouze v oceli; vybrousit podobné ložisko v kameni je téměř nemožné.

Hrotové uložení prvního typu má tvrdý ocelový hrot, který spočívá v tvrdém ocelovém, lépe achátovém, nejlépe v safírovém ložisku. Poloměry zakřivení (obr. 239) bývají u nejjemnějších přístrojů $r = 0,01 - 0,03$ mm, $R = 0,1 - 0,2$ mm, u otočných systémů těžších a u hrubších přístrojů $r = 0,03 - 0,10$ mm $R = 0,2 - 0,3$ mm. Speciřické tlaky mezi hrotem a ložiskem jsou těžko počítatelné, ale vždy velmi vysoké. Proto se uložení lehko



Obr. 239.



Obr. 240.



Obr. 241.

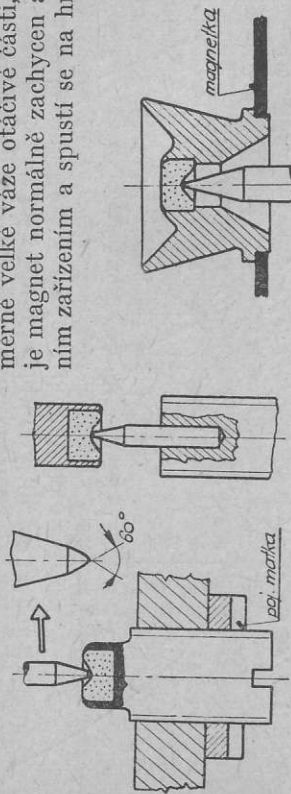
poškodí prudkým otřesem a vyžaduje jemného zacházení s přístrojem; hroty se někdy chrání pružnou konstrukcí uložení, bližší údaje o tom jsou v knize Trnka: Elektrické měřicí přístroje. Nosnost hrotu závisí zhruba na kvadrátu poloměru křivosti. Na rovném kameni má ocelový hrot podle měření Nat. Phys. Laboratory nosnost udanou v grafu obr. 241; podle toho je pro $r = 0,03$ mm nosnost 5,6 g; zakřivená jamka nosnost trochu zvýší. Toto uložení dává ze všech nejmenší tření, neboť při rotaci se hrot v ložisku vždy válí (kotálí), jak můžeme zjistit v každém budíku. Centrování není zato valné: hrotům je třeba dát jistotu axiální vůli a ta pak způsobí, jak je vidět z obr. 240, mnohokrát větší vůli radiální. To příliš nevede u elektrických a jiných jemnějších měřicích přístrojů. Tření je tak malé, že je možné hotovit voltmetry a ampérmetry přesnosti třídy 0,1, t. j. s chybou v mezích 0,1% rozsahu (0,1 V pro rozsah 100 V). Mazáním se tření nezmenší, naopak trochu se zvětší tření klidové a důkladně se zvětší tření při rychlé rotaci, jak je vidět z měření (Vieweg—Gottwald: hrot 60°, $r = 0,05$ mm; ložisko achátové, $R = 0,3$ mm, váha otočného systému 0,53 g, olej pro kyvadlové hodiny):

Otáčivá rychlost	0	500	1500 ot/min
Hřídel svislý bez oleje	0,25	0,31	0,39 mg·cm
s olejem	0,35	0,65	1,22
Hřídel vodorovný bez oleje	0,66	0,73	0,82
s olejem	0,70	0,96	1,35

Nápadné je menší tření hřídele svisle stojícího: to je také poloha všech laboratorních měřicích strojů.

Hroty jsou vždy ocelové, kalené a lapováním vyleštěné do žádaného poloměru křivosti (kontroluje se mikroskopem). Ložiska v nejhrubším provedení jsou pouhé jamky v ocelových kalených šroubech, ložiska v lepším provedení jsou vybroušena z achátu, karneolu nebo granátu, v kvalitním provedení ze

safíru. Hroty jsou nejčastěji na části otočné a ložiska jsou pak obvykle ve šroubech podle obr. 242, jimiž je umožněna demontáž a jimiž lze vymezit vůli. Safírové ložisko je trvanlivé, avšak poškozují a postupně otupují je vystavené hroty, je tedy často výhodnější ložiska dát na část otočnou. Tu je nejlépe hroty zasadit (zalisovat) do šroubů, jak je vidět na obr. 243. Obr. 244 ukazuje pečlivě provedené uložení magnetické střelky; zde se žádá lehký chod při poměrně velké váze otáčivé části, proto je magnet normálně zachycen aretačním zařízením a spustí se na hrot jen

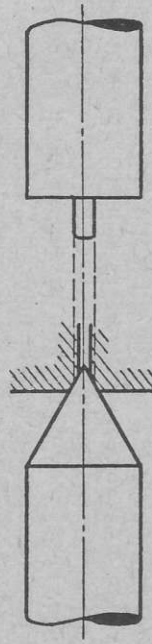


Obr. 242.

Obr. 243.

Obr. 244.

před odečítáním. — Nejhrubší provedení hrotového uložení najdeme u setrvaček budíků; není to uložení pro hodiny nikterak vynikající, má však malé tření a fabrikačně je levnější než nepřímější uložení čípkové (t. j. čípky v mosazi, často místo krycího kamene kousek ocelového plechu), ovšem trvanlivost nebývá valná.

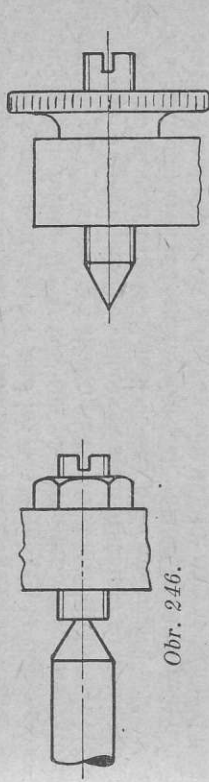


Obr. 245.

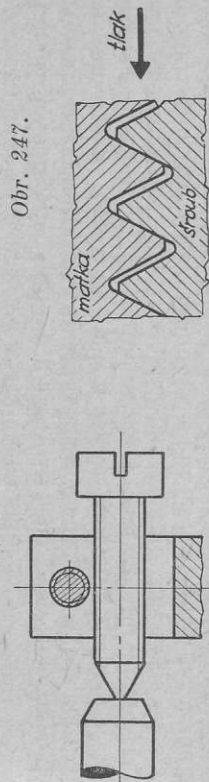
Druhý typ hrotového uložení (obr. 238) je v jemné mechanice zvláště rozšířen; je to standardní uložení pro planimetry, integrátory, precizní pantografy, barografy a jiné jemnější měřicí přístroje. Proti čípkovému uložení má dvě důležité přednosti: předně pevnost, jak je vidět z obr. 245, kde vedle hrotového uložení je nakreslen čípek o stejném středním průměru. Za druhé lze axiálním posuvem uložení libovolně utěsnit a obdržet nejdokonalejší realisaci otočného uložení, jakou dovedeme. Zde je dobře připomenout, že z tohoto fakta vydatně těžíme v obráběcí technice: soustružíme často ve hrotech a nejprůsnější soustružení a broušení vůbec je vždy v nehybných („mrtvých“) hrotech, jsou-li ovšem pečlivě provedeny důlky v opracovaném kuse. Tření není přirozeně menší než v čepch téhož středního průměru; toto tření obvykle zmenšujeme volbou malého průměru (vývrt v ložisku někdy pod 0,1 mm) a malé stykové hloubky, tedy volbou specifických zatížení daleko vyšších než u čípků

Tím je ovšem řečeno, že toto uložení se nehodí pro stálý běh (na př. pro hřídelky hodin), nýbrž spíše pro pohyby občasně a malé.

Je v podstatě lhostejné, je-li na hřideli hrot nebo ložisko; v praxi užíváme obojího způsobu. Na obr. 246 je zahrocený hřidel uložen ve vývrtu šroubu,



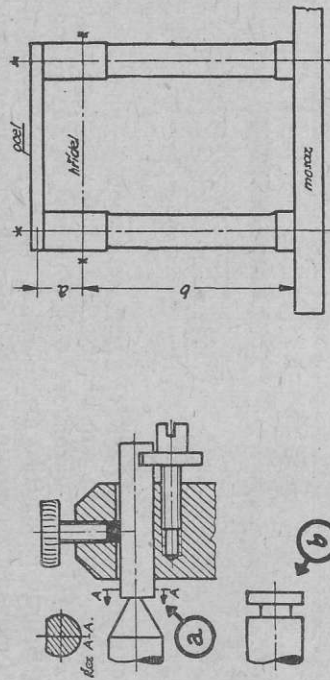
Obr. 246.



Obr. 248.

Obr. 249.

na obr. 248 je naopak šroubek zahrocen a ložisko je v hřideli. Hrot je vždy ocelový, kalený a pečlivě vyleštěný; ložisko může být mosazné, ocelové, nejlépe ocelové a kalené. U leteckých měřicích přístrojů bývají do hřídele zasazeny provrtané kameny, do nichž pak zasahují kalené šroubky podle obr. 248,



Obr. 251.

Obr. 250.

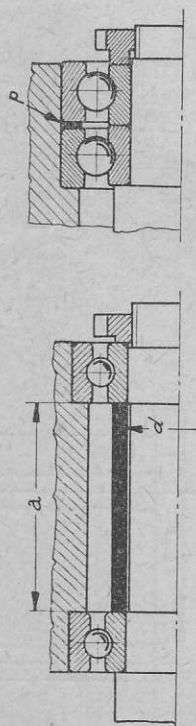
jejichž kužel bývá často štihlejší než obvyklých 60°. Ložiskové šrouby jsou vždy zajištěny, nejjednodušší přítužnou matkou (obr. 246); u starších přístrojů se užívalo přítužné matky rýhované (viz obr. 247). Toto pojištění je spolehlivé, ale seřizování není dost jemné. Šroub má vůli v závitu a tlakem

šroubováku si v matce sedne, jak ukazuje obr. 249; přitažením matky pak šroub trochu couvne. Lepší je zajištění tlakovým šroubkem (obr. 122), nejlepší je s matkou rozříznutou a staženou šroubkem (obr. 248); šroubek povolíme jen tolik, aby se ložiskovým šroubem dalo otáčet, nastavení je pak přesné a jisté. U popsáných uložení je poloha osy hřídele (zvláště krátkého) obecně trochu nejistá, poněvadž hrot (nebo jamka) nemůže být dokonale souosý se závitěm. Jsou-li požadavky přísné (na př. u planimetrů a integrátorů), uložení se hroty hřídele v posuvném válečku podle obr. 250a, do jehož výtezu zabírá hlava stavěcího šroubu; aby se váleček nemohl otáčet, je na něm rovná ploška, na níž tlačí pojistný šroubek. Žádá-li se, aby bylo možné osu hřídele v malých mezích seřídít, udělá se jeden z ložiskových válečků většího průměru, otočný a pro stavěcí šroubek se vytočí drážka (obr. 250b); na válečku je dobře udělat vývrt nebo jinou značku, která ukazuje jeho natočení.

Jak již bylo řečeno, hrotové uložení druhého typu umožňuje dokonale centrovat hřídel a odstranit vůli. Zde však mohou zasáhnout teplotní dilatace: Je-li rám stroje z materiálu teplem se více roztažujícího než ocel hřídele, můžeme vůli odstranit jen pro nejnižší provozní teplotu, kdežto při vyšších teplotách bude vůle větší. U staničních barografů, kde se počítá s velikým rozpětím teplot, užívá se způsobu podle obr. 251: sloupky, jež nesou hrotové uložení hřídelíku, jsou nahoře (co nejbliže hřídelíku) spojeny navzájem ocelovou příčkou; vliv změny teploty bude zjevně tím menší, čím menší bude poměr a/b. Hřídel ovšem lze udělat též z mosazi a do jeho konců lze event. vložit ocelové hroty nebo vložky nebo zasadit kameny.

Valivá ložiska

Kuličková ložiska, původně zavedená v konstrukci bicyklů, rozšířila se přes automobilovou konstrukci do celého strojíctví a užíváme jich s výhodou i v jemné mechanice. Montujeme takto nejruznější hřídele, kde nejsou zvláštní požadavky na těsnost a přesnost uložení, kde však je vítán lehký chod a nepatrné nároky na mazání. Samozřejmě užíváme — nejde-li o případ, kdy zcela speciální — normalisovaných ložisek, které lze snadno opatřit a

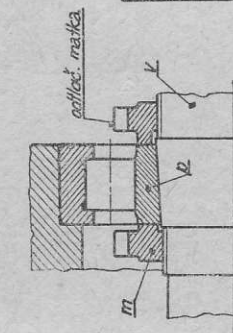


Obr. 252.

Obr. 253.

kteří jsou poměrně laciná; o jejich montáži a lícování platí vše, co najdeme v technických příručkách, a uděláme vždy dobře, řídíme-li se plně pokyny, jež jsou obsaženy v publikacích továren na tato ložiska. Otázka se stává nejnepřehlednější, jsou-li vyšší požadavky na přesnost uložení. Kuličková ložiska se

svým takřka bodovým stykem mezi kuličkami a prstěny (stejně válečkové se svým přímkovým stykem) při zatěžování jeví z počátku dost velké pružné deformace. Snažíme se tuto nežádoucí část čáry síla-deformace potlačit tím, že ložisku dáme určité předpětí. Tak na obr. 252 vyvoláme předpětí tím, že distanční trubku d uděláme o něco kratší, než je míra a . Dvě ložiska vedle sebe montovaná (obr. 253) dostanou předpětí, když vnější prstěny distancujeme tenkým plechovým prstencem p . U ložisek velikých (zejména válečkových) ve stavbě obráběcích strojů užíváme též způsobu na obr. 254: vnitřní prsten p vybroušený konicky je matkou m natlačen na kuželovou plochu vřetena v , tím je pružné roztažen a ložisko dostane předpětí. Zde je třeba dodat, že již obvyklá montáž ložiska vede k pružnému roztažení vnitřního a k stažení vnějšího prstene; bylo-li ložisko již předem těsné (a vyskytnou se ložiska více než těsná) a užíváme-li tužšího nalisování, může ložisko dostat značné, po případě nezamýšlené předpětí. Předpětí ložiska nevede vždy k žádanému výsledku. Dostaneme tak celkem vyhovující uložení pro vřetena obráběcích strojů průměrných, ne vždy uspokojivé uložení pro hřídele brusných kotoučů a většinou uložení nevyhovující pro vřetena precizních strojů obráběcích, zejména drobných soustruhů a automatů. Pro tyto vysoké požadavky raději užíváme ložisek kluzných, nejpřesnější lapovaných, dokonale leštěných a dobře mazaných. Kapitola pro sebe jsou kuličková ložiska rychle roztupující setrvačnická v gyroscopických přístrojích (letecké zatačkoměry, umělé horizonty atd.). Užívá se malíčkových ložisek normálního jednoradého typu (na př. vrtání 3, větší průměr 10, šifra ložiska 4 mm) nebo ložisek typu v podstatě „konusového“ (jehož prototypem je náboj předního kola bicyklu), montovaných v rektifikačních šroubech, takže vůli lze podle zkušenosti a citu seříditi. Na obr. 255 znázorněno je ložisko s vodicím věncem (košíkem), v němž běží kulička zasazená v konci hřídele. Ložisko na obr. 256 je kulová míska pro pět kuliček bez vodicího věnce; hřídel je ukončen jako „konus“ malého průměru.



Obr. 254.

Obr. 255.

Obr. 256.

Tato ložiska nejsou, jak je vidět, citlivá na malé montážní nepřesnosti. Jejich spolehlivost v provozu závisí především na stejnosti kuliček; proto k podobným účelům továrny dodávají (za příplatek) kuličky zvlášť přesně třídné, t. j. kuličky dodané sady se mezi sebou liší jen o zlomky mikromru.

U hřídelů, kde je žádán lehký a „jemný“ chod, pocítuje se mnohdy nepřijemně jistá drsnost chodu mnohého ložiska, zejména je-li méně dobře prove-

deno a ztuha, event. ještě nepřesně montováno. Tření je pak silně proměnlivé, dokonce místy i jaksí negativní, t. j. hřidel jakoby pružně zaskakoval do jistých úhlových poloh. Ne vždy se podaří dosáhnout měkkého, tak říkajíc viskosního tření, které často potřebujeme, a pak ovšem dáme přednost přesnému, těsnému a vhodné mazanému uložení kluznému, kuželovému nebo válcovému. Vhodnější jsou obecně ložiska volná, s trochou vůle, často se užívá jednostranných (v podstatě tedy „konusových“) ložisek podle obr. 257, rovněž normalisovaných a oblíbených pro zapalovací magnetky a pod. elektrické přístroje; vůli si zde můžeme nastavit podle libosti. Je třeba mít na



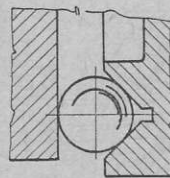
Obr. 257.

Obr. 258.

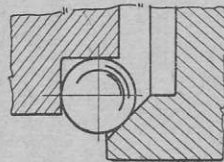
Obr. 259.

mysli, že opravdu přesnou částí ložiska jsou kuličky (tolerance 1—2 mikrony), mnohem menší je přesnost prstenu. Proto se mnohdy osvědčují kuličková uložení, kde dráhy pro kuličky jsou vytvořeny přímo na součástech stroje. Poněvadž zatížení ložiska v jemné mechanice bývá obvykle malé až nepatrné, není podmínkou, aby kuličkové dráhy byly vždy ocelové a kalené; často vyhoví pouhá mosaz (kterou lze kuličkami uválet a tím utvrdit), ba i vstříková litina. Užije-li se větších a tříděných kuliček, lze dosáhnout uložení uspokojivého i co do přesnosti.

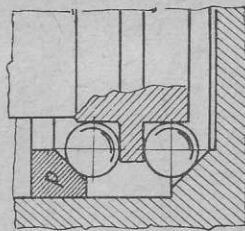
U těchto málo zatížených ložisek



Obr. 260.



Obr. 261.



Obr. 262.

nezáleží ovšem ani na profilu drážek, dbáme tedy především určitosti styku a užijeme drah válcových, rovinných a kuželových, jichž se kulička dotýká nejlépe ve třech bodech. To platí o ložiskách radiálních, axiálních i obojakých. Tak drážky podle obr. 258, obvyklé u běžných ložisek axiálních, dávají dotyk dvoubodový, který není jednoznačně definován, poněvadž kulička se udrží i ve vysunutě (čárkované) poloze, pokud tangenta tečny v dotykovém bodě nepřekročí koeficient tření — vysunutí kuličky však znamená vertikální posuv jedné půlky ložiska. Určité není ani uložení podle obr. 259, poněvadž

drážky nelze provést tak přesně, aby kuličky dosedaly ve čtyřech bodech po celé dráze. Určitá je poloha dotykových bodů podle obr. 260, styk je třibodový, stejně jako při provedení podle obr. 261; působí-li síly všech směrů, lze toto uložení provést dvojité (obr. 262) a jemným (a přesně translačním) posunem prstence p vymezit vůli v obou řadách kuliček. Tato ložiska, jež konají obvykle jen malé pohyby, lze provést bez vodíchoho věnce; chceme-li zmenšit (obvykle zbytečně veliký) počet kuliček, věnce ovšem užijeme. Za zmínku stojí, že se na věnci kuliček otáčejí cirkumzenitál Nušl—Friečuv; Dr Frieč užil kuliček, když se byl ne bez překvapení přesvědčil, že jejich nepřesnosti lze zjistit jen nejpřesnějšími známými měřidly.

Důležitá jsou kuličková ložiska pro převodové páky různých siloměrných mechanismů. Dříve se užívalo jen uložení břitvových, až A. Amsler zavedl kuličková ložiska u svých zkoušecích strojů a po jeho příkladu postupně jiné továrny. Koeficient tření u normálních jednořadových radiálních ložisek, vztažený na poloměr vývrtu ložiska, je 0,001—0,002, dvouřadá ložiska samostatná mají tření o málo vyšší. To znamená, že mohou konkurovat robustnějším (to jest méně ostrým) břitvům, nad něž vynikají schopnosti přejímat síly všech směrů, trvanlivostí a snadnou vyměnitelností. Lze jimi při přenosu síly dosáhnout značné přesnosti. Tak podle pokusů pisatelových při přenosu síly 40 kg tenkým lanem vedeným přes kladku $\varnothing 250$ mm, otáčející se na kuličkovém ložisku, činilo tření 0,5—0,7% přenášené síly; při přenosu stejné síly rovnoměrnou pákou (rameno asi 300 mm) byla ztráta jen 0,02%, čili tato páka by obstála jakožto váhadlo „precisních“ vah (cech s hvězdičkou); u sklonné váhy, měřící síly řádu 300 kg, byla chyba pod 0,1%; naproti tomu u krátké páky, uložené na pouhých čepech, činilo tření až 8%. Volba ložiska se řídí přirozeně maximální hodnotou působící síly. Poněvadž úhlové pohyby jsou obvykle nepatrné a síla může působit i dlouhou dobu, je třeba opatrnosti ve volbě ložiska. Nepřichází tu v úvahu dovolené zatížení při pomalém otáčení (10—15 ot/min), udané v katalogu, nýbrž ono zatížení, které ani po delší době nepůsobí doličkování („brinelování“) drážek. Zatížení způsobí vysoké specifické tlaky mezi kuličkou a drážkou, a tím také deformace, které zůstávají převážně pružné, pokud se ložisko i jen zvolna otáčí a body dotyku stále mění (materiál ovšem je unavován), ale stávají se plastickými, trvají dotyk na místě, t. j. je-li ložisko v klidu. Zde se uplatňuje dosud málo probádaný faktor časový; je dávno známo, že materiál vždy ukáže větší pevnost při zatěžování rychlém než při zatížení dlouhodobém, a každá deformace předpokládá nejen působící sílu, nýbrž i určitý čas, u tvrdé ložiskové oceli poměrně dlouhý. Je pochopitelné, že takto poznamenané ložisko dostává drsný chod, který se snese snad u řízení letadla, ne však u měřících systémů. Toto bezpečné zatížení je mnohem (řádově dvakrát, třikrát) menší než zatížení dovolené při malé otáčkové rychlosti a je moderními továrnami dnes v tabulkách uváděno.

Z tabulek známé firmy SKF vychází pro axiální ložisko (obr. 258) nosnost

$$F_0 = 4 n \cdot d^2 \quad (\text{mm, kg}), \quad (6)$$

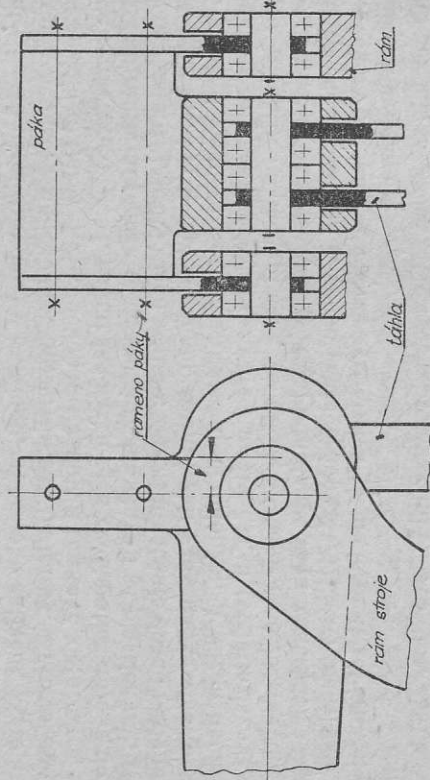
kde d je průměr, n počet kuliček. V ložisku radiálním nese jen polovina kuliček (a ještě nestejně) a jeho nosnost je tedy pouze

$$F_0 = n \cdot d^2 \quad (\text{mm, kg}) \quad (7)$$

Jednostranné (opěrné) ložisko podle obr. 257 snese asi o 12% méně, ložisko dvouradé samostatné asi o 60% méně, než dává rovnice (7). V následující tabulce jsou nosnosti pro normální ložiska radiální jednoradá (SKF):

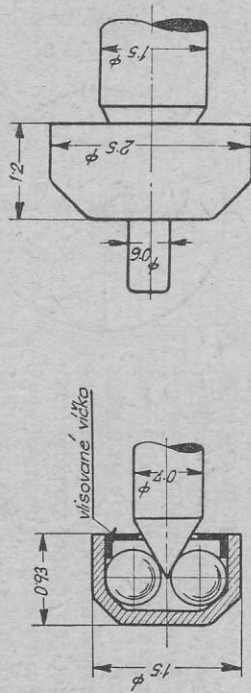
Vrtání mm	Průměr mm	Šířka mm	Nosnost kg	Vrtání mm	Průměr mm	Šířka mm	Nosnost kg
4	13	5	34	25	47	12	405
5	16	5	60	30	55	13	560
6	19	6	94	35	62	14	690
8	22	7	110	40	68	15	750
10	26	8	160	45	75	16	990
12	28	8	180	50	80	16	1060
15	32	9	200	55	90	18	1390
17	35	10	225	60	95	18	1500
20	42	12	360				

Nestojnoměrný přírůstek nosnosti se stoupajícím průměrem se vysvětluje tím, že je užito kuliček jen devíti různých průměrů.



Obr. 263.

Páky přenášející síly konstruujeme podle obvyklých zásad strojnických a stejně jejich uložení. Zvláštní péče je třeba v případech, kdy je třeba šetřit materiálem, aby byly zmenšeny setrvačné hmoty (má-li mechanismus registrovat rychle se měnící síly). Obtížně čini poměrně veliký průměr kuličkových ložisek, je-li rameno páky krátké. Tu se hodí starý konstrukční trik Amsterův, naznačený na obr. 263; je užito osmi ložisek, čepy přenášející síly jsou málo namáhány a rameno páky může být libovolně krátké.



Obr. 264.

Před válkou byla ve Švýcarsku založena výroba *miniaturních kuličkových ložisek*, kterými lze mnohdy nahradit obyčejná uložení čípková a hrotová. Ložisko na obr. 264 je určeno pro hřídel zahrocený (dostáváme tím náhradu za uložení hrotové), na obr. 265 prochází ložiskem ve formě tenkého čípku, určeného na př. k nasazení ručky. Nejmenší ložiska (vnější průměr 1 a 1,5 mm) jsou bez košíku, větší ložiska s košíkem. Nosnost v závislosti na otáčivé rychlosti udává následující tabulka (v gramech).

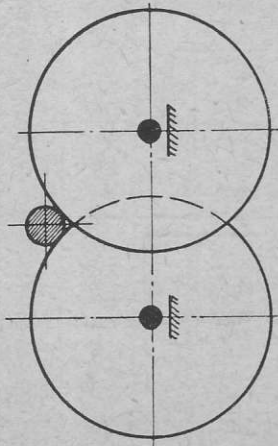
Ø	1	1,5	2,5	4	7	10 mm
15 ot/min	51	110	300	730	2100	6000 g
100 „	40	90	250	600	1800	5000
500 „	26	65	170	410	1400	3700
1 000 „	20	50	140	330	1000	3000
5 000 „	7	20	45	100	360	970
10 000 „	4	10	25	60	190	520

Dovolené zatížení trvalé není udáno, ale sotva se dopustíme chyby, vezmeme-li třetinu hodnot v prvním řádku (pro 15 ot/min). Dlužno dodat, že tato ložiska — na rozdíl od popsaných uložení hrotových — jsou schopna rychlého a trvalého běhu. Jejich zavedení dalo konstruktérovi nové možnosti a je zároveň důkazem, jak pokročila výrobní technika. Bylo jich užito úspěšně ve „větším“ hodinářství, ve stavbě elektroměrů, v konstrukci integrátorů a planimetrů.

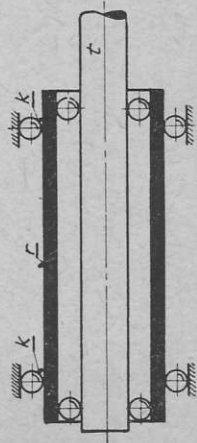
Kuličková ložiska jsou, jak je vidět, konstruktivním prvkem mnohostranně upotřebitelným pro různé účely. Jejich užití vyžaduje jisté péči ve výrobě; potřebné míry a tolerance najdeme v katalogu každého výrobce. Konstruktor učiní vždy dobře, postará-li se trochu o ochranu těchto ložisek před jejich úhlním nepřítelem — prachem, který zvyšuje tření a ještě více opotřebení.

Mazání tu nebude činit starosti. Každé mazadlo zvyšuje tření, a to tím více, čím je viskosnější. Mazat však je nutno k ochraně před rezivěním; ložiska málo se pohybující mažeme tedy řídkým olejem, jde-li však o trvalý běh (a zároveň o minimální tření), lze dobře užít mazadla tuhého (speciálního pro kuličková ložiska), které chrání ložisko, aby do něho nevnikala nečistota.

Kapitolu o valivých ložiskách uzavřeme poukazem na *ložiska jehlová* (která ovšem nejsou plně ložisky valivými), známá ve strojnictví, a zmínkou o valivém uložení snad nejstarším — o *uložení na kotoučích* (obr. 266), dříve hojně užívaném v hodinářství a v jemné mechanice, dnes snad již jen u strojů k vyvažování rotujících součástí, vrtulí a pod.; jsou-li kotouče samy uloženy na kuličkách, je tření velmi malé. Kuličková ložiska sama nejsou dost jemná pro uložení trnu, na němž se součásti vyvažují; nesnáze se odstraní tím, že trn *t* je uložen v dutém hřídeli *r*, který je spojen s vibrátorem, takže stále koná úhlové kmity (obr. 267, soustava Losenhausen).



Obr. 266.

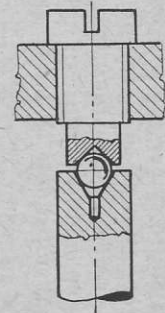


Obr. 267.

Kuličková ložiska sama nejsou dost jemná pro uložení trnu, na němž se součásti vyvažují; nesnáze se odstraní tím, že trn *t* je uložen v dutém hřídeli *r*, který je spojen s vibrátorem, takže stále koná úhlové kmity (obr. 267, soustava Losenhausen).

Různé užití ložiskových kuliček

Vysoká přesnost a dokonalá politura činí z kuliček vhodný konstruktivní prvek pro nejrůznější další účely a pro laboratorní improvisace. Uložení stejné



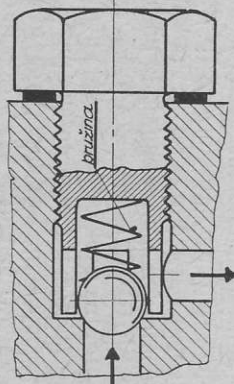
Obr. 268.



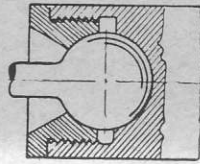
Obr. 269.

přesné (ovšem s větším třením) jako hrotové ukazuje obr. 268. Je-li třeba skloubení pro malé úhlové pohyby, dokonale těsného a spojeného s jistým třením, lze užít způsobu znázorněného na obr. 269: Obě části *a*, *b* (z téhož materiálu) se spojí, provrtají, pak se mezi ně vloží kuličky a smáčknutím celku dosáhneme toho, že si kuličky vytvoří úzké a přesné ložiskové plochy; součásti *a*, *b* musí být ovšem k sobě tlačeny vahou nebo pružinou. Je-li materiál obou součástí nestejně tepelné roztažnosti, nahradí se jeden vývrt žlábkem směřujícím k dru-

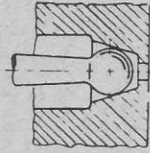
hému kuličce. Když N. Žukovskij potřeboval k svým aerodynamickým měřením desku, která by byla bez tření a všestranně ve své rovině pohyblivá, užil desky z broušeného skla, která třemi velkými kuličkami spočívala na druhé skleněné desce. Kuličky mohou fungovat též jako ventily, jak jich již dávno užívá Amsler pro vysokotlaké (asi 200 kg/cm²) olejové pumpy zkoušecích strojů. Na obr. 270 je vidět takový kuličkový ventil; kulička je přitlačována pružinkou a je vedena prořezaným prodloužením uzavíracího šroubu. Tlačí-li na kuličku rovný konec šroubu, dostaneme dobrý uzavírací ventil, atd.



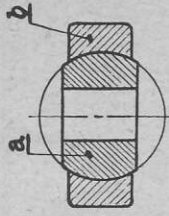
Obr. 270.



Obr. 272.



Obr. 273.



Obr. 271.

Obr. 274.

Kulové klouby

Ukázky kulových kloubů byly již znázorněny na obr. 150, 151 a 153. Jiná varianta je na obr. 271, kde kloub lze utěsnit přitážením šroubku *r*. U odstředivých tachometrů najdeme kloub podle obr. 272. Na obr. 273 je znázorněn detail compensačního planimetru; kulička na vodičím (pólovém) ramenu zapadá vahou do ložiska v pojezdné části planimetru. V letectví užívali Němci hojně kulových kloubů podle obr. 274; aby se část *a* dala vložit, jsou v části *b* dva malé protilehlé výřezy. Tyto klouby měly vnější tvar a rozměry

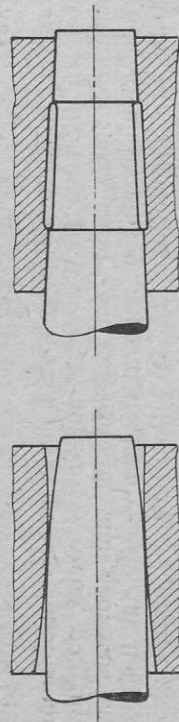
obyčejných kuličkových ložisek. Jako kulových kloubů podobně pohyblivých lze užít známých dvouradových samostavných ložisek kuličkových, event. podobných, ale větší pohyblivosti nadaných ložisek speciálních (SKF).

Otočná uložení úhlových strojů

Zde jde o velkou skupinu strojů pozorovacích a měřicích, které pracují většinou s dalekohledem, takže lze mluvit o uložení dalekohledu, otočného někdy kolem jedné, často kolem dvou os na sebe kolmých. Sem patří theodolity a stroje nivelační, různé dalekohledové stroje hvězdářů, mnoho strojů ryze optických (spektrometry, refraktometry, goniometry), ale také kruhové stroje dělicí a jiné přesné stroje pracovní. Jde tu tedy o uložení robustní (na rozdíl od hrotových), větších, někdy až obrovských rozměrů (velké stroje astronomické), od nichž vyžadujeme přesnost a těsnost, naproti tomu pohyby jsou zde pomalé, občasně a malé. Osa bývá vodorovná, svislá, u ekvatoreálů též šikmá. U svislých os je uložení zpravidla letmé, t. j. otočná část je nad ložiskovým systémem. U vodorovných os je uložení většinou takové, že otočná část (dalekohled) je mezi dvěma ložisky; je-li dalekohled montován vně ložisek, bývá vyvážen souměrně uspořádaným závažím, aby obě ložiska byla zatížena stejným způsobem. U šikmých os najdeme montáž letno i mezi ložisky. Je-li váha otočné části veliká — a u astronomických strojů to mohou být destičky tun — užíváme různých způsobů odlehčení, abychom přesné uložení chránili před rychlým opotřebením a abychom zmenšili tření.

Letmá uložení kuželová

Svislá letmá uložení se dělala dříve výhradně kuželová. K přesnému opracování kuželových ploch stačil prostý soustruh a vysoké přesnosti bylo lze dosáhnout poměrně snadno jemným zabrušením kužele s ložiskem. Poněvadž

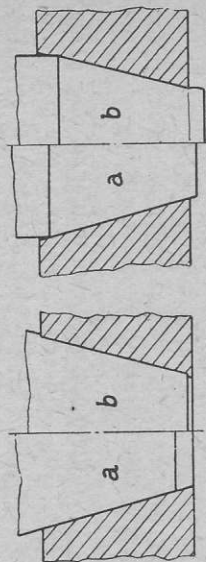


Obr. 275.

Obr. 276.

zabrušování (a každé jiné lícování) snadno vede k výsledku přehnaně znátornému na obr. 275, omezujeme styčnou plochu na dva pásy podle obr. 276; čtenář si připomene analogii rovinných vodičích ploch, obr. 159. Hlubším zabrušením kužele, jehož původní poloha v ložisku byla jako na obr. 277a, mohou vzniknout znatelné schody (obr. 277b) a dosedání kužele se stává nejistým; proto je dobře zaříditi se, jak ukazují obr. 278a, b (totéž platí o zabrušování kuželového kohoutu). Je samozřejmé, že zabrušování má být jen konečnou retuší, plochy lze dnes opracovat daleko přesněji, než mohl starý „mechanikus“.

Příklad vertikálního uložení kuželového na obr. 279 odpovídá jednoduššímu theodolitu, ale také uložení spektrometru nebo refraktometru. Ložisko je se spodkem stroje (u theodolitu je to třínožka, jež stojí na stavěcích šroubech) spojeno závitem nebo je zapuštěno a drženo několika zapuštěnými šrouby (obr. 281). K ložisku je přišroubován limbus, t. j. kotouč opatřený na obvodu úhlovým dělením. Kuželový čep má nahoře přírubu, k níž je přišroubována

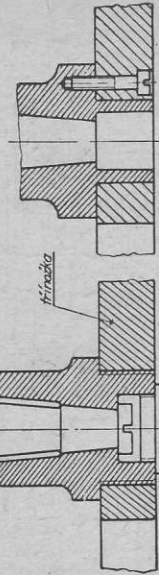


Obr. 277.

Obr. 278.

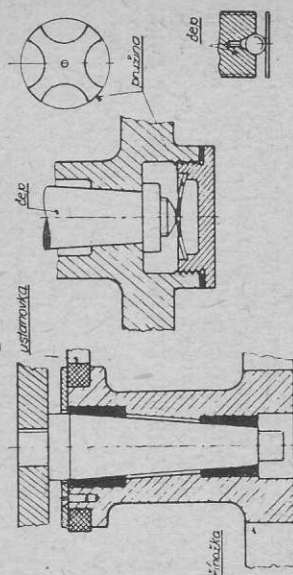


Obr. 280.



Obr. 279.

Obr. 281.

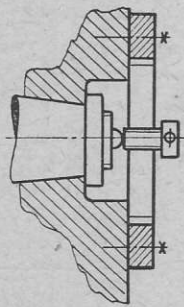


Obr. 282.

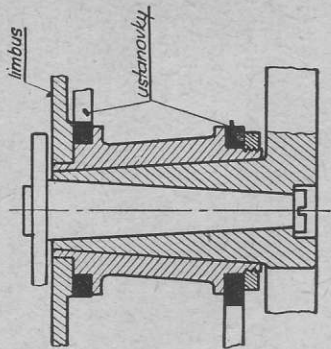
Obr. 283.

Obr. 284.

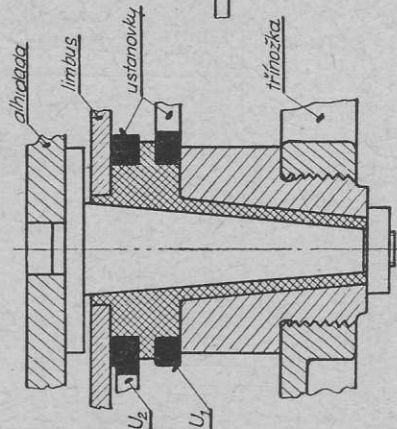
je vesměs velmi malá, obvykle 1 : 10 až 1 : 20. Přesto u menších strojů není nebezpečí, že by se kužel „zasekl“, poněvadž specifický tlak je malý, jen několik málo kg/cm², takže správně volené mazadlo obě části bezpečně odděluje. Teprve u těžších strojů je záhodno kuželové uložení odlehčit, což lze provést dvojitým způsobem. Buď spočívá čep na předpjaté pružině (obr. 283) svým zaokrouhleným koncem nebo lépe kuličkou vloženou do soustružního důlku (obr. 284); pružina nese největší část váhy, zbytek pak stačí k tomu, aby kužel dobře dosedal. Anebo je kuželový čep podepřen stavěcím šroubem,



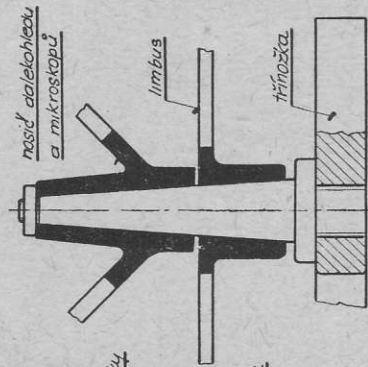
Obr. 285.



Obr. 286.



Obr. 287.



Obr. 288.

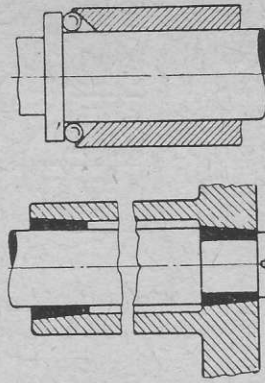
jehož hrot zapadá do soustružního důlku, nebo je do důlku vsazena kulička (obr. 285) sedící na plošce šroubu. Šroub je třeba seřadit pečlivě, jinak se uložení viklá nebo je šroub zbytečný; šroub se zajistí známým způsobem, na obr. 285 je zavrtán do rozříznuté a napružené matky (jako na obr. 119, 120). U těžkých strojů nestačí pružná destička podle obr. 283 a užívá se konstrukcí složitějších, se silnými vinitými pružinami, pák se závažími atd.

U theodolitů, které pracují starou a podnes užívanou methodou repetiční (viz dále), je otočný též limbus. Nemá-li výška stroje vyjít nepřijemně veliká, provádíme uložení pro obojí otáčení soustředně. Jedna možnost je znázorněna na obr. 287, kde se limbus otáčí kuželovým čepem v pevném ložisku a v jeho dutém čepu je pak ložisko pro kuželový čep alhidadový. Podle druhého způsobu se otáčí alhidada v pevném ložisku (obr. 286), na jehož vnější kuželové ploše se otáčí limbus. Užívá se obou způsobů, oba však mají stejnou slabinu — nelze dosáhnout dokonalé souososti. Jsou-li obě otočné osy rovnoběžné, vzniká jen malá excentricita, kterou lze zneškodnit oděcítáním dvěma verniery, jak později uvidíme. Horší je, jsou-li osy mimoběžné, neboť pak osa alhidady obecně není nikdy svislá. Z tohoto důvodu není (a ještě z jiných) repetiční metoda vhodná pro měření přesná. Přesto u precizních theodolitů se dělá limbus otočný, ale jen „na postřk“, t. j. limbus můžeme rukou pootočit, abychom při opakovaném měření četli na jiných místech dělení. Pak lze užít konstrukce podle obr. 286; velké theodolity pro přesnou triangulaci měly jednoduchou a účelnou konstrukci s „pevnou osou“ (obr. 288), na jejímž kuželi je otočná alhidada i limbus, což znamená přesnou souosost, ale také trochu velkou výšku stroje. U provedení podle obr. 287 najdeme někdy odlehčení obou čepů pružinami; pružina pro limbus má ovšem otvor, jímž prochází konec čepu alhidady.

Letná uložení cylindrická

Pokrok výrobní techniky vedl k tomu, že některé továrny (Zeiss, Wild) začaly užívat jednoduchých uložení válcových. Válcové plochy lze dnes přesně obrobit broušením a zbylé chyby ještě zmenšit lapováním čepu a ložiska. Čep je vždy ocelový a kalený, obvykle i ložisko, lapováním lze tedy dosáhnout přesnosti téměř optické a zároveň dobrého vyleštění ploch (příklad ze strojínictví: válce a písty vstříkových pumpiček pro diesely); zbylou vůli řádu 1 mikronu utěsní vhodné mazadlo, i máme uložení přesné a tak trvanlivé, že nemůžeme vadi, že nelze toto uložení třebaš později zlepšit zabroušením. Je ovšem jasné, že válcové uložení stojí a padá s kvalitou dlenského provedení.

Na obr. 289 je znázorněno uložení ve dvou vlisovaných vložkách, z nichž spodní nese také váhu otočné části; je-li váha vleká, je možné a někdy i nutné provést odlehčení popsanými způsoby. U Wildových theodolitů je uložení velmi jednoduché: válcový čep v trubkovém, rovněž ocelovém ložisku (obr. 290), váha alhidadové části je nesena prostě věncem kuliček; limbus je na postřk a otáčí se jednoduše na vnější válcové ploše trubkového ložiska. Vysoké přesnosti, jichž u nás dosahujeme těmito theodolity, jsou důkazem, že tato konstrukce je dobrá — je-li dobře provedena.

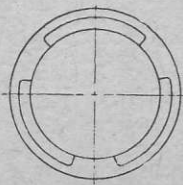


Obr. 289.

Obr. 290.

V novějším provedení je styk čepu s ložiskem omezen na úzký proužek dole, nahoře je čep veden jen kuličkami; toto uložení je určitější a méně ohrožené event. pozdějšími deformacemi nitridovaného čepu a ložiska. Nesnadné je uložit desku (platformu) kruhových strojů dělicích. Požadavky na těsnost jsou zde o to ještě vyšší, že chyby uložení nelze kompenzovat, jak je uvedeno u theodolitu (a samozřejmě i u jiných úhloměrných strojů).

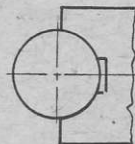
Bylo řečeno, že nutná vůle v uložení, utěsněná jen mazadlem, představuje hranice, přes něž nelze stupňovat přesnost dělicích strojů. Užívá se všech popsaných způsobů uložení a vždy je třeba velikou váhu desky nést pružinami nebo kuličkovým ložiskem. Poněvadž bočné síly jsou mírně malé, lze užít částečného (parciálního) uložení válcového jako na obr. 291, po př. uložení mezi třemi posuvnými klíny, jako byla „kuželice“ (horní ložisko běhounu) ve starých mlýnech. Parciální ložisko je celkem snadná a pohodlná cesta, jak dosáhnout těsnosti; jedinou podmínkou je dokonalá okrouhlost čepu, která však nečiní velké obtíže.



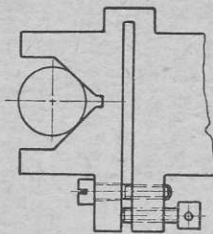
Obr. 291.

Přesná uložení horizontální

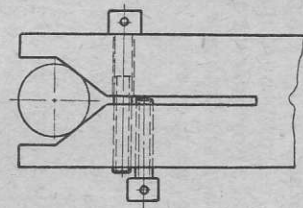
To je uložení dalekohledu na čepch každého theodolitu, uložení dalekohledu otočné kol jeho optické osy u některých typů strojů nivelačních, ve velkých rozměrech uložení velkého a těžkého dalekohledu u strojů pasážních. Zde se většinou užívá ložisek parciálních (obr. 292), velmi často dokonce lo-



Obr. 292.



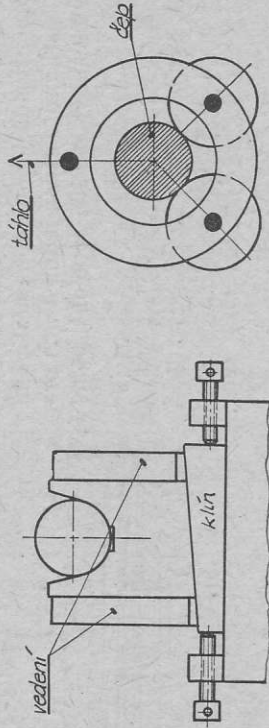
Obr. 293.



Obr. 294.

žisek, s nimiž je čep ve styku jen ve dvou místech, ne-li bodech (obr. 293, 294). Zde ovšem je zvláště veliké nebezpečí, že se opotřebením změní poloha osy, proto jen u theodolitu vystačíme bez odlehčení ložisek. Odlehčuje se obvykle tak, že největší část váhy je nesena ložisky pomocnými, jejichž přesnost nemusí být valná, nevelký zbytek váhy pak nesou přesná ložiska, obvykle parciální. Na obr. 296 je vidět provedení obvyklé u pasážních strojů; hřídel spočívá na dvou kolečkách, uložených v rámu, který je táhlem spojen s vahadlem, na jehož druhém konci je závaží složené z kotoučů (aby se stupeň

odlehčení dal měnit). Dnes lze místo koleček užít velkého ložiska kuličkového nebo válečkového. Ojediněle (reflektor \varnothing 2.5 m observatoře Mt. Wilson) bylo užito dutých železných plováků (bubnů), plovoucích na rtuti; tření je zde ovšem minimální, konstrukce však vychází trochu neohrabaná. Pro zajímavost je možno dodat, že takto na rtuti bývají uloženy otočné (ovšem kolem vertikální osy) optické systémy majáků námořních a leteckých.



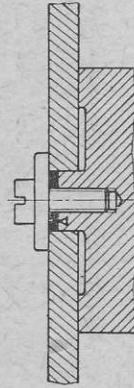
Obr. 295.

Obr. 296.

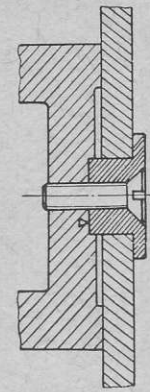
Skoro vždy se žádá, aby bylo možné postavit osu přesně horizontálně tím, že lze v malých mezích měnit výšku jednoho z ložisek. U theodolitu a podobných strojů se užívá konstrukce podle obr. 293, kde proříznutím je dosaženo pružné poddajnosti, častěji, dnes snad výhodně, provedení podle obr. 294 s ložiskem rozšířeným svíslým řezem; rektifikace se v obou případech provádí dvěma šroubky, které působí proti sobě. U pasážních strojů se žádá výšková rektifikace zvlášť jemná a proto se ložisko podpira posuvným klínem, na který tlačí šrouby podle obr. 295.

Otočná uložení plochá

Vertikální letmá uložení, ať kuželová nebo válcová, mají a musí mít jistou výšku. Chceme-li nuceně-li nucen touto výškou šetřit, užíváme uložení plochých, kde váha otočné části je nesena rovinnou ložiskovou plochou a



Obr. 297.



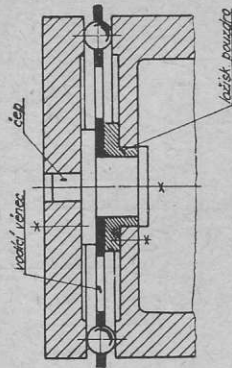
Obr. 298.

centrování obstarává zcela krátký čep poměrně malého průměru, který také brání, aby se otočná část nezdvihla. Příklady jsou znázorněny na obr. 297 a 298; axiální vůli lze vymezit přibroušením ploch označených trojúhelníčkem. Je-li čep kuželový (obr. 299), lze vymezit vůli axiální i radiální. Přesnost

těchto uložení může být velmi dobrá, tření zde však působí na velkém polo-
měru, proto chod není právě lehký, zejména ztuhne-li mazadlo chladem.
Výborně se tomu odpomůže, použije-li se tu kuliček; uložení pak dostává
charakter točnice, známé z otočných jeřábů a z otáčedel železničních:
uprostřed je vodící čep, na obvodu valivé uložení velkého průměru. Takovou
točnici je vlastně již kuličkové axiální ložisko na obr. 260 nebo 261 a 262.
Větší přesnosti se dosáhne, užije-li se středního čepu (obr. 300), pak ovšem
kuličkám připadá jenom úloha nést váhu
otočné části, proto aspoň jedna dráha pro
kuličky musí být plochá, lépe obě, poně-



Obr. 299.



Obr. 300.

vadž rovinné plochy lze vyrobit mnohem přesněji. Kuličky je pak třeba
vést, na př. deskou (pertainax, hliníkový plech) na obr. 300, která se sama
otáčí v plochém uložení mezi čepem a ložiskovým pouzdrem. Rovinné
plochy lze vybrousit a vylapovat přesně na zlomky mikronu a s tříděnými
kuličkami se dosáhne uložení, jež vyhovuje vysokým požadavkům. Při
větších zatíženích se užije drah z oceli a kalených, pro malé zatížení stačí
třebas i materiál měkký (mosaz), zejména užije-li se kuliček většího prů-
měru (8—10 mm) a ve větším počtu. Podobně točnice užil Wild u no-
vých theodolitů, které vyrábí továrna Kern ve Švýcarsku, a výšku stroje
dále zmenšil tím, že nahradil obvyklé stavěcí šrouby vačkami; přesný
theodolit se tak stal strojem velmi nízkým, drasticky kontrastujícím s vě-
žovitou stavbou mikroskopových theodolitů klasického typu. Vyskytly
se také konstrukce, kde bylo užito kuličkového ložiska jako na obr. 300,
ale vodící čep byl nahrazen cylindrickým uložením jako na obr. 289



Obr. 301.

Obr. 302.

Obr. 303.

Obr. 304.

a 290. Taková konstrukce není výhodná, poněvadž nemá zmiňenou malou
konstrukční výšku, je však i nesprávná potud, že je neurčitá, poněvadž pře-
určená: není-li rovinná dráha pro kuličky dokonale kolmá k ose válcového
ložiska, nenesou kuličky stejnoměrně a na cylindrické uložení tedy působí
bočné nežádoucí síly.

Britová uložení

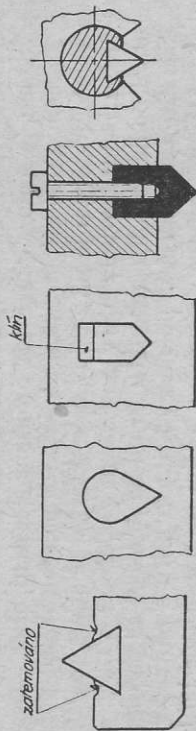
Tento způsob dává — při poměrně značné únosnosti — minimální tření,
umožňuje však úhlové pohyby jen asi do 30°. Je to typické uložení pro váhy
všech druhů, dávno již k tomuto účelu užívané, vhodné však i pro jiné účely
v jemné mechanice. Břit je vytvořen průsečíkem dvou rovin na prismatickém
tělese různého profilu (obr. 305—310). Roviny svírají nejčastěji úhel 60°,
někdy 90°, málokdy větší. Podle zatížení na centimetr délky břitu je hrana
ostrá, lehce zakulacená, u zatížení vysokých pak je poloměr křivosti 0,1 mm,
0,2 mm i více. Často, zvláště u břitů precizních, ještě se vybrousí dvě uzounké
plošky (obr. 306), takže úhel α je pak 110—120°, tím se nosnost břitu zvýší
a další výhodou je úspora práce při broušení a leštění břitu. Břit spočívá
na lůžku, zvaném pánevce (pánvička, pánev). Při pohybu se břit po pánevce
váli jako váleček, kterým je již z dílny nebo kterým se stává následkem de-
formace při zatížení; lze tedy břítu považovat za ložiska valivá. Pánvičce
dáváme profil podle obr. 302 nebo 304. Profil na obr. 301 se nedělá, nedá se
dobře realizovat, a shodují-li se poloměry křivosti břitu a pánvičky, uložení
není již valivé, nýbrž čepové s mnohem větším třením. Běžné je provedení
podle obr. 302. Zde však poloha břitu k pánvici není určita, poněvadž břit
může být vysunut o míru a na obr. 303, a nesklouzne doprostřed, pokud není
překročen třetí úhel. Z toho vyplývá zásada, že na vahadlo nebo na jiné páky
dáváme břítu, nikoliv pánvičky; jinak by byly délky ramen proměnné. Za
druhé břit takto vysunutý a spočívající tak na nakloněné rovině, vyvodí mo-
ment ve směru šípky. Proto je tafo forma pánviček možná a užívá se jí u vah
hrubších (krámských, mostních, decimalních) i jemnějších, jako na příklad
lékárnických, není však upotřebitelná pro váhy nejpřesnější: analytické, kom-
parační, mikrováhy. Tam je možná jediné pánvička rovinná (obr. 304), která
se kromě toho dá velmi přesně vyrobit. Rovinnou pánvičkou není břit nijak
centrován, to však nevadí u těchto vah, opatřených vždy zařízením aretač-
ním, kterého užíváme, kdykoliv co na mísky dáváme nebo ubíráme, a které
vždy posadí břit na pánvičku přesně na totéž místo.



Obr. 305. Obr. 306. Obr. 307. Obr. 308. Obr. 309. Obr. 310.

Je-li břit krátký, nazývá se po vahařsku „zrno“. Nejčastěji užívaný profil
zrna je trojúhelník (obr. 305, 306) a speciální profil podle obr. 308, dodávaný
jako tyčovina z hutí. Méně časté jsou profily podle obr. 309, 310; profilu na
obr. 307 se užije tam, kde je velké namáhání v ohybu. Je-li třeba břitu dlou-
hého, dosedajícího na koncích, čili „břitové osy“, užije se pro menší délku
prostě tyčky některého z uvedených profilů, pro větší délku však tyče čtyř-
hranného průřezu, jejíž konce jsou opracovány do břitu (na př. obr. 323).

Břity a pánevky jsou u méně přesných vah z dobré nástrojové oceli a kalené. Je dobře, je-li pánevka skelně tvrdá a břit o něco málo měkčí, poněvadž „zarůznutí“ břitu je větší zlo než malé otupení. U precizních vah dáváme přednost pánevčkám vybroušeným z kamenů (achátu, karneolu a pod.), což podle některých autorů je kombinace nejvýhodnější, vhodná i pro váhy nejpřesnější. Nicméně u těch jsou často břity rovněž z kamene, zejména u vah analytických, kde ocelový břit snadno rezaví v korosivní atmosféře chemické laboratoře. Veliká zrna a zejména břitové osy se dělají často z měkké oceli a pro břit se navazují proužek oceli nástrojové.

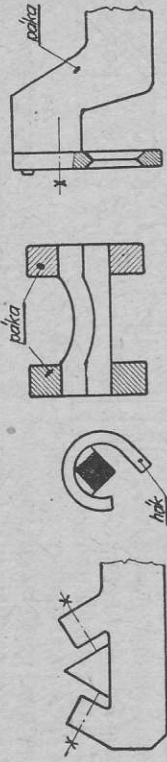


Obr. 311. Obr. 312. Obr. 313. Obr. 314. Obr. 315.

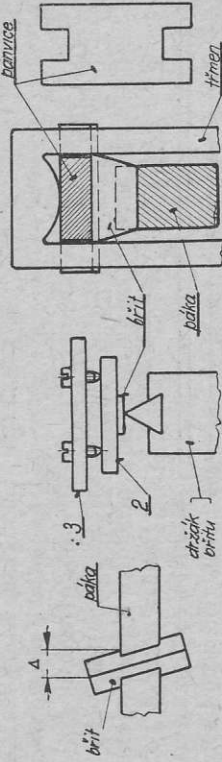
Namáhání břitu se volí podle citlivosti a velikosti vah. Váhy analytické mají zátěží 0,1 až 0,3 kg na 1 cm délky břitu. Jemnější váhy s nosností 1–5 kg mívají 1–5 kg/cm, obyčejné krámské váhy a decimálky 5–50 kg/cm, váhy největší, mostní až 1000 kg/cm. Je jasné, že veliká zátěží vyžadují ostří silně zakulacené a tím se jednak snižuje citlivost, jednak místo dotyku se stává nejistým, což může vést k citelným chybám u pak krátkých; proto neradíme volíme poměr větší než 50 : 1, a pro větší převody volíme raději páky dvě spojené za sebou. Snižování specifického zatížení volíme velké délky břitů má své meze, poněvadž dlouhé břity (a po příp. i pánevce) se ohybovým momentem prohýbají a nenesou po celé délce. U vah se proto počítá s postupným otupováním břitů, a pokud slouží veřejné potřebě, musí být periodicky cejchovány. Oprava je možná přibroušením břitů a odchylky břitů od původní společné roviny, jež vznikly broušením, lze vyrovnat opatrným malým přihnutím pák. Jak malé je tření břitového uložení, je patrné z úředních cejchovních předpisů: chyba nových vah nesmí být větší než 0,05% při plném zatížení a 0,1% při zatížení na desetinu nosnosti; u vah „precizních“ (cejch s hvězdičkou) smí být chyba nejvýše 0,02% nosnosti u vah menších do 5 kg nosnosti a 0,01% u vah větších. U vah nejdokonalejších je přesnost, vyjádřena velmi vhodně poměrem nosnosti k citlivosti, od 2×10^6 (běžné analytické váhy) do 100×10^6 , ba až 500×10^6 (nejpřesnější složité váhy pro komparaci normálů). Všechny přesné váhy jsou nejjednoduššího typu, t. j. jednoduché rovnoramenné vahadlo se třemi břity.

Krátké břity se upevňují obyčejně tím, že se zasadí nebo zalisují do rybínové drážky podle obr. 311 a zatěmují; temováním lze polohu břitu v malých mezích upravit. Delší zrna fungující jako břitové osy, pákou procházejí a jsou

u menších vah těsně zasazena nebo zaražena (obr. 312) a vždy ještě zatěmována. Méně často se použije podélného klínu (obr. 313), nejspíše ještě u břitových os dlouhých a procházejících pákami zdvojenými (obr. 323); málokdy najdeme spojení šroubem podle obr. 314. U velkých vah a u velkých zařízení siloměrných (příklad: zařízení, jež nese model ve větším aerodynamickém tunelu) se užívá podle potřeby a situace i jiných způsobů strojnických. Jistou obtíž činí upevnění břitů kamenných, které pro křehkost nelze zarazit ani pevněji zatěmovat; musíme se tu spokojit těsným zasazením a po příp. zatěmelením do kovové vložky (břitová osa na obr. 315), kterou pak můžeme

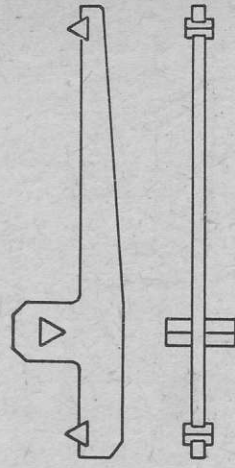


Obr. 316. Obr. 317. Obr. 318.



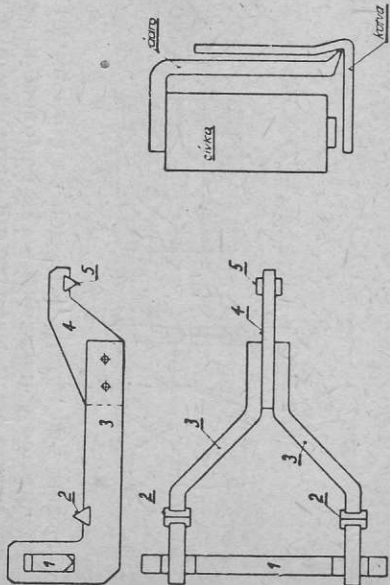
Obr. 319. Obr. 320. Obr. 321.

upevnit ve vahadle. U přesných vah se užívá upevnění, která dovolují polohu břitu při justování (seřizování) v malých mezích měnit. Jednoduché zařízení je znázorněno na obr. 316, kde s pomocí čtyř tlačných šroubků lze zrno posunovat a postavit rovnoběžně s břitovou osou. U vah analytických je kamenné zrno zasazeno do držáku spojeného s vahadlem systémem rektifikačních šroubků. (Tato zařízení nejsou u nás připuštěna pro váhy podléhající cejchovní kontrole.) Zpravidla leží břity vahadla nebo převodní páky více nebo méně přesně v jedné rovině. Důležitou podmínkou je rovnoběžnost břitů. Je-li břit zasazen šikmo, může se rameno páky měnit v mezích, označených trojúhelníčkem na obr. 319, podle toho, kde pánevka na břit doléhá. Toto „strídání“



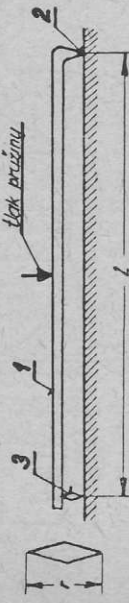
Obr. 322.

může vést až k dvojjakým údajům měřicího systému. Z tohoto důvodu a proto, aby břit byl rovnoměrně zatížen, dáváme pánvičky jistotou pohyblivost kolem osy kolmé k břítu a ke směru síly. U obyčejných vah tlačí na pánvičku vyklenutá plocha třmenu jako na obr. 321. U analytických vah (obr. 320) je kamenná pánvička 1 zasazena v destičce 2, na kterou přenáší sílu dva zahrocené šroubky zavrtané v přičce, k níž je připevněn závěs misky; šroubky sedí v kamenech podle obr. 236. U větších vah lze užít kuličkového kloubu podle obr. 269. U nej- přesnějších vah se břitová osa dělá vždy s břitovými průběžnými, poně- vadž nelze vytvořit dva přesné souosé břity na koncích osy; pánvička pak je rozdvojena, lépe však je, je-li z jednoho kusu, který lze snadno opticky přesně obrousit do rovinnosti.

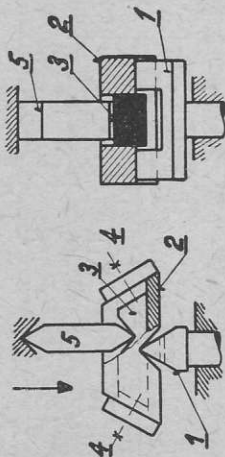


Obr. 323.

Obr. 324.



Obr. 325.



Obr. 326.

pilováním zrna, jako se to dříve dělalo všeobecně a jak se to ještě dnes dělá u malých ručních válek. Přesnější obloukovací destičky, jak je znázorněno na obr. 318. V obyčejném případě pánvičku i závěs misky zastupuje pouhý ocelový hák (obr. 317);

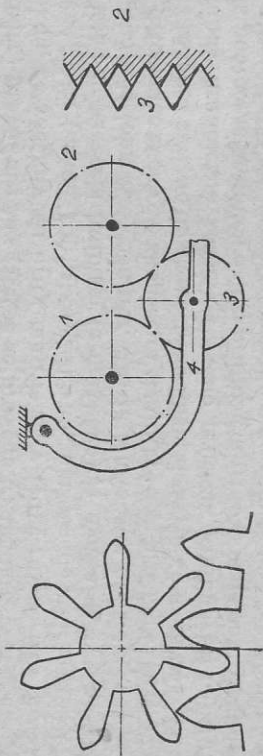
konstrukce tato je jednoduchá a laciná, odpadají starosti s rovnoběžností břitů, ale styk je skoro bodový a nosnost tedy neveliká.

Břitových uložení se užívá u vah všech druhů a velikostí, ale také u různých mechanismů jiných; dříve se takto zavěšovala kyvadla hodin, dnes jenom reversní kyvadla k absolutnímu stanovení zemského zrychlení. Několik příkladů užítí břitů je znázorněno na obr. 322—326. Na obr. 322 je vidět normální provedení převodní páky (stejně se provede i vahadlo); tvar páky je dán podmínkou, že všechny tři břity mají ležet v jedné rovině. Na obr. 323 je rozvidlená páka („sáně“) můstkových vah, uložená na uklínované břitové ose. Příklad břítu zcela hrubého (a měkkého) je uložení kotvy obyčejného telefonního relé (obr. 324). Na obr. 325 je Martensův přístroj, jímž se měří pružné deformace tyčky ve zkoušecím stroji; tyč 1 je pružinou tlačena tak, že ostrím 2 se lehce zařine do zkoušeného kusu, druhým koncem pak přitlačuje ostrohranný hranůlek 3 kosočtverečného průřezu. Prodlouží-li se zkoušený kus o dl , pootočí se hranůlek o úhel přibližně dl/r ; toto malé pootočení ukazuje lehká ručka nebo je na hranůlku zrcátko a odečítá se pak metodou zrcadlovou (viz dále) až na zlomky mikronu. Jiné použití břitů k přesnému měření je v Hirthově „Mimimetru“, kterým se stanoví malé odchylky seriově vyráběných částí. Na měřenou součást dolehne tykadlo 1 (obr. 326), jehož ostrý a rozvidlený konec sedí v drážkách korytka 2. V korytku je pánvička 3, v níž sedí ostrí vzpěrky 5, jejíž druhé ostří sedí v pánvičce pevně uložené. S korytkem 2 je spojena lehká dlouhá ručka a nezakreslená pružinka, vyvinující moment ve směru šipky, udržuje vše v záběru. Převodový poměr lze nastavit a bývá 100—200. Zde máme případ neobvyklý tím, že pánvičky jsou na páce; je však třeba uvážit, že zde nejde o minimální tření, pánvičky lze tedy provést podle obr. 301, a je dosaženo výhody, že převodový poměr lze snadno nastavit posouváním pánvičky tlakovými šroubky 4.

Ozubená kola

Jako ve strojnictví užíváme i v jemné mechanice ozubených kol všeho druhu, čelních, šroubových, kuželových a šnekových. Pro konstrukci zde platí obecné zásady strojnické: ozubení evolventní, materiál podle požadavků: ocel povrchově kalená, litina, bronz, textumoid, pro malá kola často mosaz, pro pastorky a šneky ocel. Namáhání bývá většinou malé, vysoké otáčkové rychlosti se vyskytují zřídka. Zvláštní kapitolou jsou ozubené převody v hodinových strojích, kde se setkáváme napořád s vysokými převodovými poměry, vesměs do rychla. V každých kapesních hodinkách je mezi hřídelem nesoucím sekundovou ručičku a stoupacím kolem převod 10 : 1, počet zubů 60 : 6, v kvalitnějších strojích 70 : 7. V kyvadlových hodinách první převod (od bubínku pro šňůru k minutovému hřídeli) bývá 144 : 12 až 180 : 12 = 15. Tyto malé pastorky by s evolventním ozubením nebyly možné, zuby by byly „podřiznuté“. Proto se v hodinářské technice užívá ozubení *cykloidálního*, a to s boky zubů přímými, radiálními; je to zvláštní případ hypocykloidy, vytvoře-

né odvalováním kružnice po roztečné kružnici dvojnásobného poloměru. Není to ozubení zvlášť výhodné, neboť zuby jsou v kofene zeslabeny, ale výroba je snadná. Ozubení vypadá jako na obr. 327; pastorek z pevnějšího materiálu má zuby zřetelně tenčí než kolo. Epicykloidy na ozubeném kole jsou obvykle nahrazovány kruhovými oblouky, zuby pastorku jsou někdy (je-li poháněn pastorek) proti theoretické formě na špičce zkráceny, zkomoleny; tím se sice



Obr. 327.

Obr. 328.

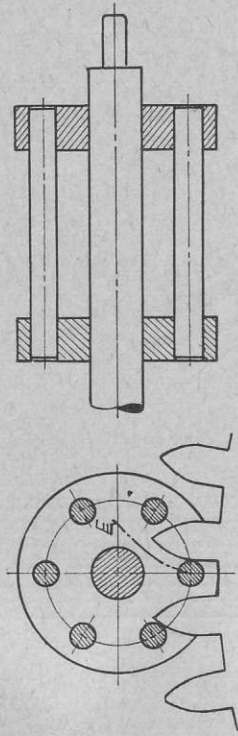
Obr. 329.

zkrátí záběrová křivka, ale zmenší se o něco ztráta třením. Pastorky jsou vždy z oceli, kalené, ozubená kola v hodinářství vždy z tvrdé mosazi. Je zajímavé, že tato soukolí v hodinách nejsou nikdy mazána, dokonce se činí různá opatření, aby se na pastorek olej nedostal. Mazání podle zkušenosti zvěšuje opotřebení; tato zkušenost není fyzikálně plně objasněna. Je známo, že kombinace mosazi s vyleštěnou ocelí je příznivá a k mazání stačí podle všeho adsorbované vrstvička vody; ve vakuu se soukolí snadno zadírá, nehledě ani k vysýchání oleje v ložiskách, proto kolečkové hodiny nemohou být v evakuovaném pouzdru. Cykloidní ozubení, jak je známo, vyžaduje, aby vzdálenosti os hřídelů byly přesně dodržovány.

Někdy užíváme o zubených kol ve funkci zubových spojek, na př. v přesných tachometrech nebo v „chronografech“ (hodinářské označení pro hodinky, které mají velkou sekundovou ručku jako stopky), jako na obr. 328. Kolečko 1, na jehož hřídeli je malá sekundová ručka, stále zabírá s kolečkem 2, uloženým v páčce 4. Stisknutím knoflíku koná páčka malé výkyvy, takže kolečko 2 je střídavě vtlačeno do záběru s kolečkem 1, stejně velkým jako 1, nebo ze záběru vysunuto; na hřídeli kolečka 2 je velká sekundová ručka. Je jasné, že zuby koleček 1 a 2 musí být zahrocené, aby okamžitě zapadly do záběru, a dále, že jejich rozteč musí být co nejmenší, aby vtlačení do záběru způsobilo jen malou chybu. Na přesné formě zubů mnoho nezáleží, poněvadž jich je v záběru velký počet a tvar zubů je proto trojúhelníkový; kolečka 1 a 2 dokonce mívají rozteč dvakrát větší než 2, takže záběr vypadá jako na obr. 329.

V hrubších strojích se často užívá ozubení *ceповého*. Pastorek je vytvořen ze dvou mosazných kotoučků naražených na hřídel (obr. 330), do jejichž vývrtů jsou vsazeny kulaté tyčinky (cévy) z oceli zajištěné rýhováním čel kotoučků (srov. obr. 11). Valením roztečné kružnice pastorku po roztečné kružnici kola vzniká epicykloida *E*. Křivka zubů by měla být ekvidistantou

této epicykloidy (vzdálenou o poloměr cévy), obvykle se však nahrazuje kruhovým obloukem. Záběrové poměry jsou dosti příznivé, i když pastorek má obvykle jen 6 cév, výroba je levnější než pastorků masivních, ovšem opotřebení je větší; u hrubších, před prachem obvykle nevalně chráněných strojů je výhodou, že nečistoty se ze záběru snadno vytlačí a mohou se hromadit v mezerách pastorku — proto se cévového ozubení (s pastorky o větším počtu cév) užívá leckdy u hodin věžních. Toto ozubení je méně citlivé na malé chyby ve vzdálenosti os hřídelů.



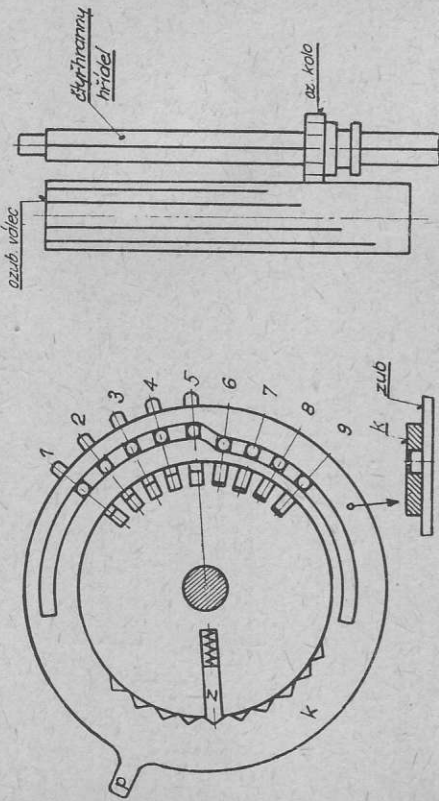
Obr. 330.

Nezbytná vůle v zubech nečiní obtíže, když se kola otáčejí stále v téměř smyslu, může však být velmi nežádoucí, jde-li o menší pohyby v obou směrech, střídavě. Pak — přenašené síly jsou obvykle malé, často nepatrné — užíváme jemného ozubení a třebas i šikmého, a ovšem kol přesně frézovaných a centrovaných. Někdy si pomáháme ještě tím, že poháněné kolo opatříme spirálnou pružinou, které dáme předpětí, takže ozubení je stále v jednostranném záběru. Vratné pružiny se užívá ve všech měřících přístrojích, kde na hřídeli ručky je pastorek, do něhož zabírá ozubený segment; pružinka je na hřídeli ručky.

Často užíváme *ozubené tyče*, s níž zabírá pastorek s malým počtem zubů, na jehož hřídeli je velký rýhovaný knoflík (točítko). Ozubení je obvykle šikmé, aby záběr byl hladký, ozubení evolventní nebo cykloidní; tyč bývá mosazná, pastorek vždy ocelový. Toho druhu je na příklad hrubý posuvný pohyb tubusu mikroskopu nebo pohyb okulárové trubice (nebo vnitřní zaostřovací čočky) dalekohledu. Ozubené tyče lze užít jen tehdy, kdy se nežadá taková jemnost nastavení, aby bylo nutno užít šroubu nebo ustanovky.

Důležitý je dále *převod šnekový*. Tímto převodem se buď silně redukuje otáčková rychlost, nebo se vyvozuji malé úhlové pohyby (analogie s pohybovým šroubem). V druhém případě lze šnek uložit tak, aby se dal vysunout ze záběru; hrubý pohyb lze provést rychle rukou, jemné nastavení pak šnekem (sextanty, theodolity pilotovací). Jsou-li šnek a ozubení přesně provedeny, může šnek dostát dělený bubinek, na němž lze odečítat zlomky otáčky; na příklad má-li šnekové kolo 360 zubů a bubinek je rozdělen na 60 dílků, lze číst úhlové minuty a odhadovat i jejich desetiny. Šnekový převod je základem kruhových dělicích strojů (viz dále).

Z neobvyklých ozubení se někdy užívají ozubených kol *neokrouhlých*, je-li třeba převodového poměru proměnného. Výpočet je vždy pracný a obtížný také realizace v dílně; užíváme takového převodu jen tehdy, nemůžeme-li pomoci jinak (vačkou a pod.). Neokrouhlých ozubených kol bylo užito na příklad v cirkumzenitálu Nušl—Fřičově. Častěji se užívá ozubených kol *částných*, *parciálních*, tedy pouhých ozubených segmentů, které během otáčky

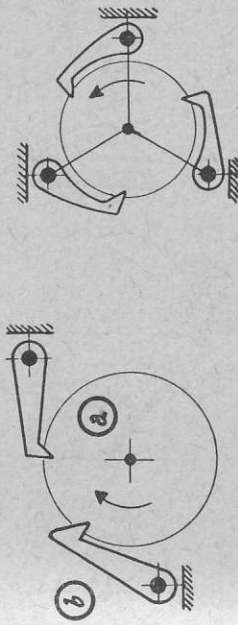


Obr. 331.

zaberou do ozubeného kola a zase ze záběru vyjdou; tím se ozubené kolo otočí o tolik zubů, kolik zubů má segment. S podobnými převody se sledáme na př. u dělicích strojů, ale nejvíce se jich užívá u strojů počítacích, kde je třeba segmentů s počtem zubů, proměnným od nuly do devíti. Tato úloha se řeší dvojným způsobem. Nejstarší řešení, Leibnizovo na obr. 332, je stupňový válec, na němž je devět zubů nestejně širokých a který pohání počítací kolo s deseti zuby; toto kolo může zaujmout deset poloh na čtyřhranném hřídelu a podle polohy se otočí o příslušný počet zubů, když válec udělá jednu otáčku. Segment s čelním ozubením a s proměnlivým počtem zubů zavedl Odhner (obr. 331); zuby jsou radiálně posuvné a potřebný počet zubů vysune prsten *k* podle toho, jak dalece otočíme (kolo stojí v základní poloze) výstupek *p*, potom otočením kola jednou dokola se nastavené číslo přeneslo na počítací kolo s deseti zuby; *z* je zajištění, aby prsten *k* zůstal stát jen v jedné z desíti poloh.

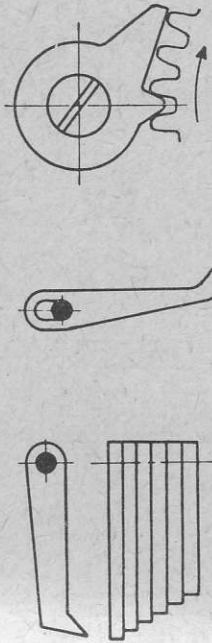
Obr. 332.

žádáno, aby rohatka byla zadržována po malých úhlových intervalech, rohatka buď musí mít veliký počet zubů, nebo se užije několika západek, které postupně do rohatky zapadávají. Západky mohou být uspořádány kolem rohatky (obr. 334) nebo — je-li dost místa ve směru osy — rohatka se volí široká, a do ní pak zapadá několik západek otočných kol společného čepu,



Obr. 333.

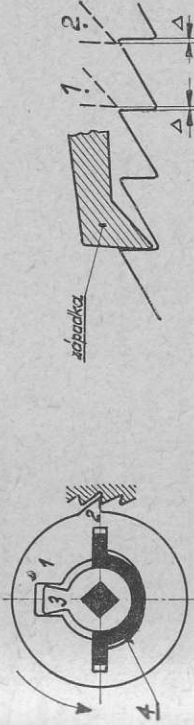
Obr. 334.



Obr. 335.

Obr. 336.

Obr. 337.



Obr. 338.

Obr. 339.

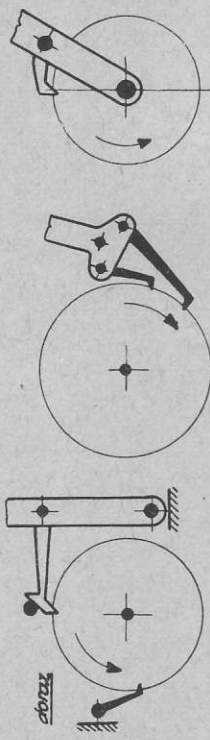
ale nestejně dlouhých (obr. 335). V obojím případě je efekt takový, jako by rohatka měla rozteč tolikrát menší, kolik je západek, a při tom ozubení rohatky zůstává robustní a odolné.

V hodinářství se naopak žádá u mechanismu natahujícího hnací pružinu („pěť“), aby západka dovolila rohatce couvnout, poněvadž se tím zmírní veliké namáhání, které může vzniknout v pružině při neopatrném natahování. Nejjednodušší řešení je podle obr. 336: západka má podlouhlý otvor pro čep (čep je obvyčejně osazený šroub podle obr. 54). V kapesních hodinkách se

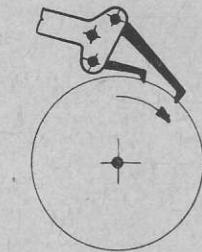
Mechanismy západkové

Západka a rohatka, prvky známé ze strojnictví, vyskytují se v jenné mechanice často; západka je většinou namáhána v tlaku (obr. 333a). Někdy se hodí háková západka, namáhána v tahu (a ovšem i v ohybu, obr. 333b). Je-li

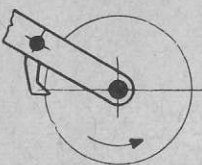
nejčastěji užívá západky podle obr. 337, která dovoluje, aby rohatka couvla (jako rohatka funguje ozubené natahovací kolo, nasazené na hřídeli pérovníku), dokud totiž ostruha nedolehne na špičky zubů; místo nakreslené ostruhy bývá též druhý zub. Na obr. 338 je příklad západkového ústrojí nehluchého (Zénith): rohatka zde je nelybná a s vnitřním ozubením, západka



Obr. 340.



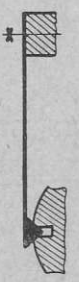
Obr. 341.



Obr. 342.



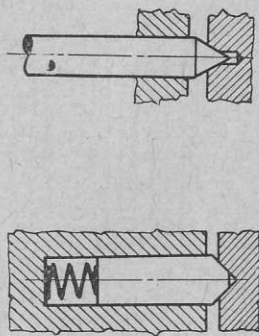
Obr. 343.



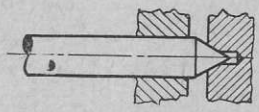
Obr. 344.



Obr. 345.



Obr. 346.



Obr. 347.

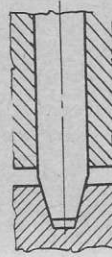
je na hřídeli ve tvaru kotoučku 1 se zubem 2 a v otvoru kotoučku sedí s vůlí unašec 3; vůle je vyplněna vyčerněnou součástí 4 potud, že kotouček 1 se může radiálně posouvat tak, jak je třeba, aby zub 2 zabral do rohatky nebo vyšel ze záběru. Pohyb zubu 2 je nucený; začneme-li otáčet natahovacím hřídelem, vysune se zub 2 ze záběru, přestaneme-li, hnací pružina snaží hřídelem točit opačně a ihned západku zasune.

Dosud se mluvilo o západce jako o součásti zádržné. Západka s rohatkou mohou také působit jako *ústrojí podávací* pro mnoho účelů. Západka opět může působit tlakem nebo tahem a může postrkovat rohatku o jednu nebo více roztečí. Na obr. 339 je západka podávající o dvě rozteče; aby západka bezpečně zaskočila, musí pohyb do pravé krajní polohy činit o hodnotu 4 více než dvě rozteče, nesmí však být větší než tři rozteče zmenšené o 4. Za těchto podmínek, a je-li levá krajní poloha vždy přesně tataž, podává rohatka s přesností, která záleží jen na jejím přesném provedení a uložení. Proto se toto ústrojí hodí tam, kde je třeba podávat o přesně stejné intervaly,

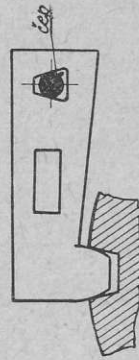
na př. pro automatické mikrotomy nebo dělicí stroje. Podávat takto lze stejně dobře i ozubenou tyč, jak je to provedeno u Amsterova stroju k rýsování centimetrových rysek na tyčích pro tahové zkoušky. Pokud se podává o malý úhel, může být páka se západkou, uložena kdekoli, obr. 340. Zpětnému otáčení rohatky brání druhá západka zádržná, která může odpadnout, má-li rohatka dostatečné tření (ev. uměle způsobené brzdící pružinou). Je-li pohyb západky rychlý (na př. u elektrických hodinových číselníků), dostávají jejích minutové impulsy, je nebezpečí, že rohatka setrvačností přeběhne; tu se konec západky nechá šikmou plochou narážet na pevný doraz (obr. 340). Na obr. 341 je užito dvou západek, podává se dvakrát častěji a zádržné západky není třeba. Konečně, má-li se podávat o velké úhly, dá se západka na páku (nebo na kotouč) soustřednou s rohatkou (obr. 342).

Zařízení indexovací, zajišťovací

Přicházejí v úvahu, mají-li být určité úhlové polohy otočné části přesně definovány a zajištěny. Někdy stačí zajištění zcela lehké a jde skoro jen o to, aby polohy bylo při ručním otáčení zřetelně cítit. Otočná část má na obvodě zářezy, je-li poloh velký počet, je to pak ozubené kolo s rovnými souměrnými zuby. Jako zajišťovacího orgánu (indexu) lze užít i ploché pružiny, na konci vhodné přisolované (obr. 343), o málo lepší je pružina podle obr. 344 s hranolem přinýtovaným, připájeným nebo přivařeným, nejsolidnější je masivní index podle obr. 345, jen u kořene zeslabený, aby pružil. Konec pružiny nesmí doléhat na dno zářezu; buď je zaoblen jako na obr. 343, nebo je dno zářezu probráno jako na obr. 344 a 345.



Obr. 343.



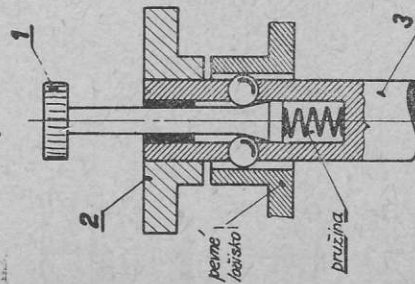
Obr. 344.

Někdy užijeme indexu posuvného a pružinou přitlačovaného (obr. 346, příklad použití je znázorněn na obr. 331), průřezu čtyřhranného nebo kruhového. V popsaných příkladech index vyskočí z drážky při určité obvodové síle, zajištění není samosvorné, ale postačí, aby na př. zajistilo objektivový revolver mikroskopu nebo revolverový doraz. Velké síle odolá kulatý posuvný kolík nebo čtyřhranná závara (jako u zámků), přesněji však zajistí polohu posuvný klín na obr. 348; je-li těsný ve svém vedení, hodí se i pro stroje obráběcí. Pro frézování malých ozubených koleček jsou vhodné kruhové dělicí desky, do nichž jsou vyvrtány v soustředných kružnicích různé počty dírek, do vyvrtů zapadá kuželový index podle obr. 347, posuvný nebo častěji upevněný na pružině podle obr. 345. Soustruhy pro mechaniky mívají tako-

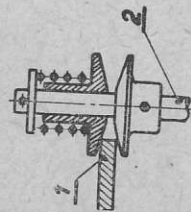
vou dělicí desku přišroubovanou na řemenici včetně, počet vývrtů na jednotlivých kružnicích je na př. (fa Kärger) 24—35—38—46—54—78—96—100—102—132—168—360; přesnost desky stačí na frézování koleček a na rytí hrubších dělení. — Jako index může fungovat též páka. Na obr. 349 je znázorněno zajištění hlavy rýsovacího přístroje „Isis“ (zajištění úhlů 0, 15, 30° ...). Záběr je zřejmě bez vůle, stejně i uložení páky, poněvadž otvor pro čep je klinový a páka je přitlačována pružinou. Potřebujeme-li zajištění energetické a přece ne samosvorné, můžeme zmenšit tření (a opotřebení) tím, že konec páky opatříme kolečkem, které zapadá do zářezů; tak je na př. zajištěna řádkovací rohatka ve všech psacích strojích.

Převody třecí

Poněvadž třecí převody probírá každá kniha o součástech strojů (na př. náš Technický průvodce, Části strojů II.), omezíme se jen na několik speciálních případů a na aplikace typické pro jemnou mechaniku. Na obr. 350 je dvojitý řízení otočného kondensátoru: jemný pohyb malým knoflíkem 1, při čemž kuličky tvoří třecí satelitový převod, a rychlý hrubý pohyb velkým knoflíkem 2, nasazeným na hřídeli kondensátoru 3; při hrubém pohybu kuličky klouzají. Kondensátor lze ovládat také převodem znázorněným na obr. 351: na hřídeli kondensátoru je plechový kotouč 1, sevřený dvěma kuželovými flanšemi, z nichž jedna je na hřídeli knoflíku 2 pevná, druhá posuvná a tlačena šroubovou pružinou (hřídel pro flanše může být čtyřhranný). Na obr. 352 je třecí převod, který nahrazuje pastorek a ozubenou tyč. Část 1 je vedena na tyči 2 a posouvá se po ní, otáčí-li se velkým knoflíkem 3. Na hřídeli knoflíku je třecí kolečko 4, otáčející se v zářezech částí 1 a tlačené do drážky v tyči 2 plochými pružinami 5. Tlak pru-

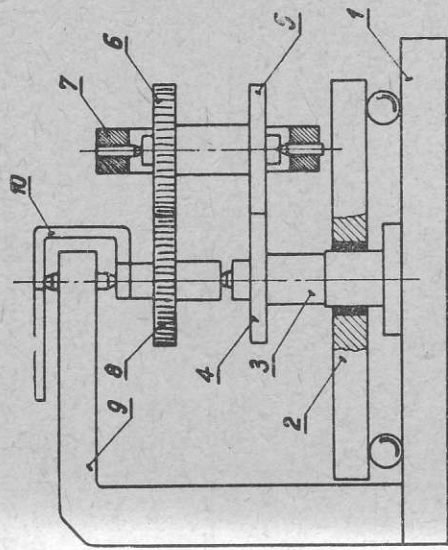


Obr. 350.

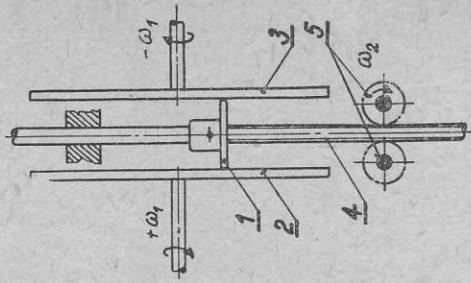


Obr. 351.

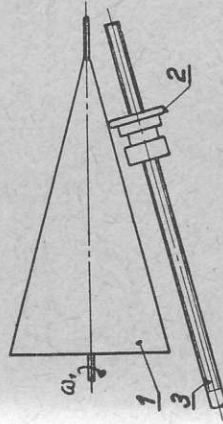
žin vyvozuje síce tření mezi částmi 1 a 2, ale třecí kolečko vyvozuje sílu větší vlivem jeho klinového profilu. — Převodů s třecími plochami rovinnými, kulovými a kulovými se užívá k řešení různých úkolů. Na obr. 353 je znázorněn stroj, jímž se zaznamenávají chyby čelního ozubeného soukolí (Phy-



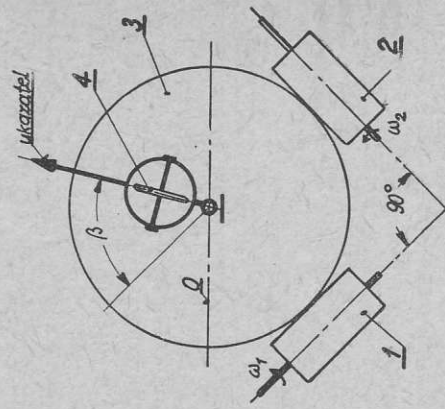
Obr. 353.



Obr. 355.



Obr. 354.



Obr. 356.

sikalisch-Technische Reichsanstalt v Berlíně); ozubený převod se srovnává s převodem třecím čelním, který je považován za správný a tvoří srovnávací standard. Na soklu 1 se otáčí točnice 2 (srov. obr. 300), vedená pevným čepem 3, na němž je nasazeno čelní třecí (ocelové, broušené) kolo 4. Druhé třecí kolo 5 je spolu s jedním ozubeným kolem 6 otáčivé ve výkvném rámu 7, který má ložiska na točnici 2; pružiny tlačí rám a tím třecí kola do záběru. Druhé ozubené kolo 8 se otáčí v konci čepu 3 a v rameni 9, spojeném

se soklem 1. Kdyby ozubená kola byla dokonala (a průměry třecích kol se rovnaly průměrům roztečných kružnic ozubených kol), kola 5 a 6 by se při otáčení točnice prostě odvalovala po kolech 4 a 8 a kolo 8 by se nepohnulo. Chyby ozubení však vyvolávají malé pohyby kola 8 a s ním spojeného ramena 10. Tofo rameno může nést dlouhého lehkého ukazatele nebo písátka. Přesnější budou záznamy, nechá-li se rameno 10 působit na otočné zrcátko a pohyby ramena 10 se tak ve velkém zvětšení zaznamenávají na pás citlivého papíru, který se odvíjí úměrně pohybu točnice.

Třecím převodem lze sledovat a měřit měnicí se poměr dvou otáčkových rychlostí. Je-li jedna z těchto rychlostí konstantní — udržovaná brzdicím regulátorem, jako na př. u gramofonových strojů —, máme tachometr (obrátkoměr). Provedení na obr. 354 užívá kužele 1, který pohání třecí, gumou obložené kolečko 2. Kolečko je nasazeno na matku, která se pohybuje na šroubu 3. Kužel i šroub jsou poháněny dvěma různými rychlostmi a kolečko 2 si automaticky vyhledá takovou polohu na kuželi, aby od kužele dostávalo stejnou otáčkovou rychlost, jakou má šroub. Jiné provedení téhož principu je na obr. 355. Zde je třecí kolečko 1 sevrteno a umáeno dvěma kulovými deskami 2 a 3, které se otáčejí stejnou rychlostí ω_1 proti sobě. Kolečko je spojeno se šroubem 5, který zabírá se dvěma šnekovými kolečky 5, z nichž jedno je poháněno rychlostí ω_2 . I zde si třecí kolečko vyhledá polohu, která záleží na poměru ω_1/ω_2 . V obou případech se poloha třecího kolečka převádí pákovým nebo ozubeným převodem na ukazatele (ručku).

Mechanismus na obr. 356 zjišťuje poměr dvou otáčkových rychlostí prostým vektorovým sčítáním. Koule 3 spočívá na dvou válcích 1 a 2, otáčejících se úhlovými rychlostmi ω_1 a ω_2 . Otáčí-li se jeden válec, otáčí se koule kolem osy rovnoběžné s osou onoho válce. Otáčeji-li se oba válce stejnou rychlostí, koule se otáčí kolem osy vodorovné 0. Při nestejně rychlosti se koule otáčí kolem obecně šikmé osy. Směr této osy zjišťuje kolečko 4, uložené v rámu otočném kolem osy 5 (kolmé k nákresné) a opatřené ukazovací ručkou; je jasné, že podobné kolečko podpirá kouli zezadu, aby správně dosedala na válec. Otáčí-li se jen válec 2, kolečko 4 a ručka se postaví rovnoběžně s osou válce 1 a naopak. Obecně výchylka β ručky je dána vztahem

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\omega_1}{\omega_2}. \quad (8)$$

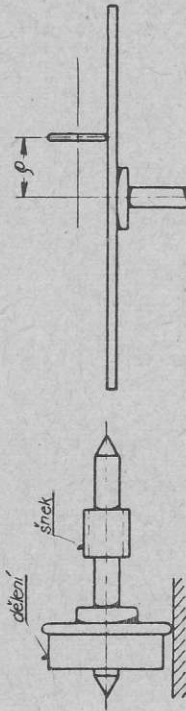
Mechanismy integrační

Úloha integrovat nějakou veličinu se vyskytuje často v technice měřicí a regulační. Někdy jde o to, integrovat věc již danou, na př. změřit plochu nějakého obrazce, určit jeho moment setrvačnosti nebo vycíslit členy Fourierovy řady pro danou periodickou křivku. Jindy jde o plynulou integraci veličiny stále mětené, na př. o integraci rychlosti podle času nebo o dvoji integraci zrychlení podle času, v obojím případě proto, abychom dostali dráhu. Z uve-

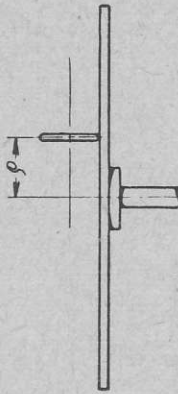
dených příkladů je vidět, že integrováním určujeme veličinu, kterou nemůžeme nebo nechceme měřit přímo. Je mnoho měřicích přístrojů, které svou podstatou jsou již přístroje integrující, na př. hodiny a všechna průtoková měřidla (vodoměry, plynoměry, elektroměry, voltametry a pod.).

Úloha není vždy jednoznačná: jsou případy, kdy máme na vybranou mezi přímým měřením a integrováním. Na příklad dráhu loďi můžeme zjistit integrací (podle času) rychlosti, měřením Pitotovou trubkou, nebo ji přímo měříme vrtulkou, poháněnou relativním proudem vody. Jindy je taková integrace jediným východiskem. Na př. dráhu dálkové rakety (jako byla za války německá V-2) neumíme měřit přímo; je však snadné zamontovat do rakety měřič zrychlení čili akcelerometr, a dvojm integrováním jeho údajů podle času dostat dráhu. Příznivou okolností zde je, že integrování je operace poměrně přesná; je dobře vzpomenout si, oč přesnější je grafická integrace než grafické derivování. Jde-li na př. o stanovení silně proměnné rychlosti, přesnější bude integrovat podle času údaje akcelerometru nežli derivovat čáru dráha-čas, získanou na př. značkovací metodou.

Strojovou integraci lze provádět metodami různými, dnes se rozmáhá upotřebení metod elektrických. Nás zde zajímají metody čisté mechanické a probereme si z nich ty, kde je využito tření. Užíváme dvou způsobů zásadně odlišných: proměnného třecího převodu a rejdovacieho kolečka (rejdovaci v tom smyslu jako přední kola vozu). Třecí převod může být druhu známého ze strojnictví, kde troucí plochy se po sobě odvalují, nebo se třecí („integrační“) kolečko relativně pohybuje po podložce různými směry, t. j. odvaluje se i smýká. Jde obecně o mechanismy jemné, a poněvadž pohyby se přenášejí třením, je třeba užít ložisek s malým třením (hrotových a kulíčkových), aby nedocházelo ke klouzání a tím k nepřesnostem v přenosu.



Obr. 357.



Obr. 358.

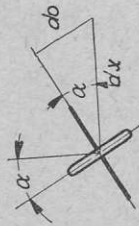
Na obr. 357 je znázorněno integrační kolečko, jakého se užívá u planimetrů a integrátorů k měření statického momentu plochy, momentu setrvačnosti, po př. momentů vyššího stupně. Je to přesně opracovaný kotouč, nejlépe z kalené nerezavějící oceli, naražený na ocelový hřídelík zakončený hroty, které se otáčejí v ložiskách podle obr. 250. Vedle kolečka je naražen bubínek z bílého celuloidu, na válcové ploše opatřený dělením zpravidla na 100 dílů; desetidílným vernierem lze odečítat tisíciny otáčky. Celé otáčky udává počítací kolečko, poháněné šnekem, který je v celku s hřídelkem. U obyčejného planimetru stačí počítat do deseti, šnek je dvouchodový a počítací kolečko má 20 zubů; u precisionsních planimetrů bývá šnek jednochodový a počítací kolečko o 50

zubech nese celuloidový kotouček rozdělený na 50 dílů. Takového integračního kolečka lze užít různým způsobem. Nejjednodušší způsob je znázorněn na obr. 358, kde kolečko je poháněno kruhovou deskou; osa kolečka protíná otočnou osu desky a kolečko se může po desce radiálně posouvat. Je-li úhlový pohyb desky φ , je jasné, že odvalení kolečka (měřené v délkových jednotkách na jeho obvodu) je dáno výrazem

$$0 = \int \varrho \cdot d\varphi \quad (9)$$

Zařídíme-li to tak, aby poloměr ϱ byl úměrný rychlosti, a poháníme-li desku hodinovým strojem, je odvalení kolečka úměrné uražené dráze. Je-li kolečko spojeno s pístem indikátoru a spočívá-li na horní základně bubínku indikátoru, integruje (sečítá) indikovanou práci, vykonanou pístovým strojem. Má-li se integrovat dvakrát (uvezený příklad rakety), je otočením prvního integračního kolečka přes vhodný převod posouváno kolečko druhé. Místo ploché desky lze užít kužele (obr. 364); theorie je stejná, nevhodnou kužele je, že nelze integrovat hodnoty záporné. Kužele a desky podle obr. 358 bylo užito u prvních planimetrů.

Pohybuje-li se integrační kolečko obecným směrem (obr. 359), integruje složky pohybu rovnoběžné s jeho rovinou. Posun kolečka lze rozložit na složku rovnoběžnou



Obr. 359.

s osou, na kterou kolečko nereaguje (smývá se), a na složku kolmou k ose kolečka; o tuto složku $d0$ se kolečko odvalí a celkové odvalení bude tedy

$$0 = \int \sin \alpha \cdot dx \quad (10)$$

U obvyčejného polárního planimetru a u jednodušších integrátorů se kolečko pohybuje přímo po výkrese; přesnost poněkud trpí růzností a nerovností papíru. Přesnější výsledky dává mechanismus, který vidíme na obr. 360; integrační kolečko je poháněno otáčející se deskou jako na obr. 358, ale není posuvné, nýbrž je uloženo ve vidlici výkyvné kolem osy p . Otočí-li se deska o $d\varphi$, odvalení kolečka bude podle předešlého $r \cdot \sin \beta \cdot d\varphi$, čili takové, jako by kolečko bylo posunuto ve směru své roviny do bodu f , a celkové odvalení bude tedy

$$0 = \int r \cdot \sin \beta \cdot d\varphi = \int \varrho \cdot d\varphi = \int a \cdot \sin \alpha \cdot d\varphi \quad (11)$$

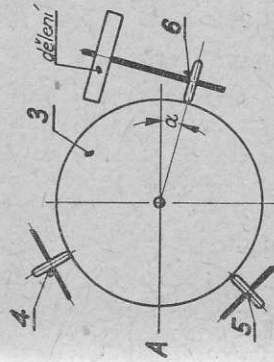
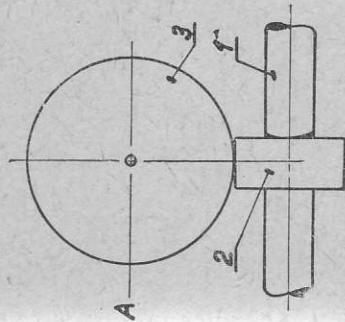
Zákonitost je tedy jako v předešlém případě. Výhodou zde je, že se kolečko pohybuje stále po stejné, papírem potažené ploše a že odvalení může být

mnohem větší, poněvadž deska je poháněna ozubeným převodem do rychla. Tento mechanismus, navržený již Ponceletem, najdeme na precizních planimetrech polárních i lineárních; další výhodou je, že deska není uložena letmo, nýbrž oboustranně na hrotcích.

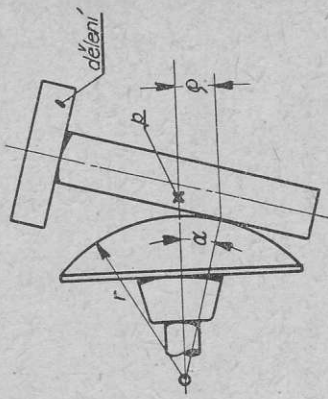
Jedna (hnací) z třech ploch může být také kulová, jako na obr. 362, ve tvaru kulového úseku, který pohání váleček opatřený děleným bubínkem. Jak je vidět z obrázku, celkové odvalení válečku bude

$$0 = \int \varrho \cdot d\varphi = \int r \cdot \sin \alpha \cdot d\varphi \quad (12)$$

Tedy opět závislost sinusová a systém vhodný pro planimetry, zejména lineární s vedením v průmce podle obr. 190 (kulový segment lze jednoduše pohánět ozubením na jednom z vodicích kol). Přesnost je značná, kovové třecí plochy jsou však trochu choulostivé a výroba ne laciná. Při změnách úhlu α je záhodno, aby se váleček po segmentu nesmykal, což by se stalo, kdyby se rám, v němž je váleček hroty uložen, natáčel kolem osy jdoucí středem koule; natáčeli se kolem osy označené křížkem (a kolmé k nákresně), váleček se po kouli prakticky jen odvaluje. Jinou formu tohoto převodu (obr. 361) navrhl Hele-Shaw a pro integrátory aplikuje Coradi. Zde je úplná,



Obr. 361.

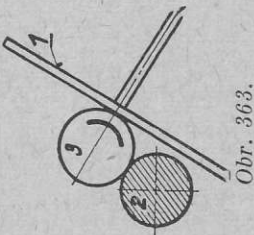


Obr. 362.

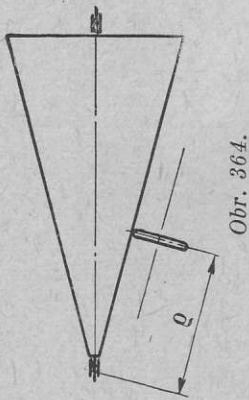
skleněná (jemně broušená, ale nevyleštěná) koule 3, spočívající na válci 2 na hřídeli 1; hřídel 1 je nápravou vozíku na obr. 190. Koule je vedena třemi kolečky 4, 5, 6; z nich jedno je na kouli pružně přitlačováno, kolečko 6 (opatřené děleným bubínkem) provádí integraci a všechna kolečka jsou uložena v rámu otáčivém kolem vodorovné osy. Poháněna válcem 2, koule se otáčí kolem osy A. Pro hodnotu odvalení platí přirozeně zase rovnice (12). Při změnách úhlu α se kolečka nesmykají, neboť berou kouli s sebou. Místo jednoho mohou být dvě kolečka integrační, jejichž roviny jsou na sebe kolmé a která pak měří hodnoty

$$\int r \cdot \sin \alpha \cdot d\varphi \quad \text{a} \quad \int r \cdot \cos \alpha \cdot d\varphi.$$

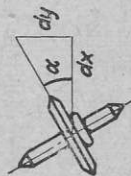
Toho je užito v harmonickém analysátoru Henricha, vyráběném Coradim. Další užití koule je znázorněno na obr. 363; kruhová deska 1 je šikmá a v úhlu t mezi ní a válečkem 2 leží koule 3, vidlici posouvavatelná; mechanismus je matematicky totožný s případem na obr. 358.



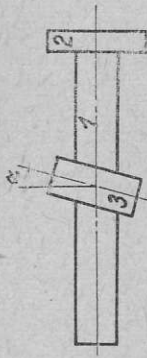
Obr. 363.



Obr. 364.



Obr. 365.



Obr. 366.

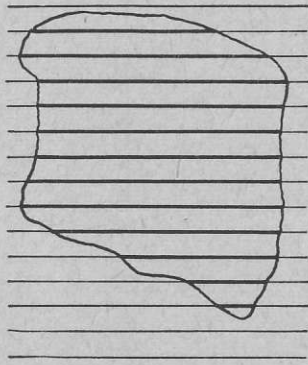
Rejdivací kolečko (obr. 365) je uloženo otáčivě v rejdivací vidlici; spočívá na výkresu, a aby se zmenšila možnost smyku, kolečko má ostrý okraj. Posune-li se vidlice ve směru osy x , kolečko ji donutí k posunu ve směru osy y o délku

$$\Delta y = \int \operatorname{tg} \alpha \cdot dx. \quad (13)$$

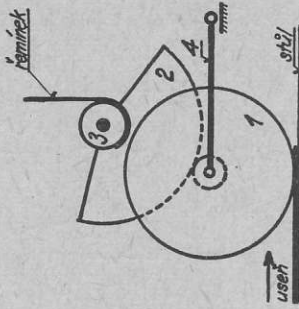
Takové kolečko umožnilo konstrukci integrací, t. j. strojů, které k dané čáře nakreslí křivku integrální. Jiné provedení téhož principu je znázorněno na obr. 366: dlouhý válec 1 se posunuje ve směru své osy; na něj je pružně přitlačován váleček 3, lehce otáčivý v rámu, který se může naklánět na obě strany kolem osy kolmé k nákresně. Nakloněný váleček 3 vynutí otáčení válce 1, které závisí na $\operatorname{tg} \alpha$ jako v předešlém případě a které se odečte na děleném bublinku 2. Tohoto systému se běžně užívá v leteckých sextantů k automatickému stanovení průměrného čtení: pohyby zrcátka, jimiž se pozorovatel snaží udržet koincidenci hvězdy s bublinou libely, způsobují naklánění válce 1 a válec 1 je posouván hodinovým strojem po určité době (na př. 40 s); číselné poměry jsou voleny tak, aby po skončení zaměření bylo možno na bublinku a na počítacím kotoučku přímo číst úhlové stupně a minuty.

Každé integrační kolečko musí být přitlačováno konstantní silou, ať již vahou nebo pružinami. Tak je tomu u obyčejného planimetru, kde integrační kolečko tvoří jednu ze tří podpor, na nichž spočívá váha pojezdné části. Oby-

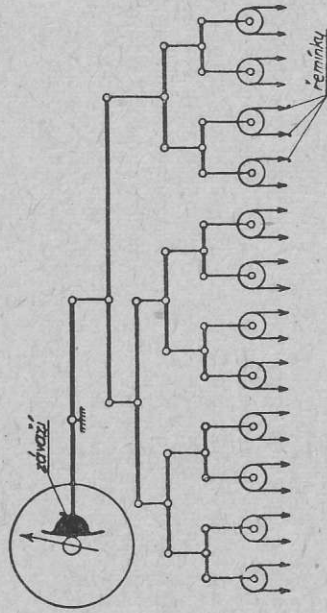
čejně však je třeba dát kolečko do rámu, která je v jistých mezích a bez vůle výkyvný. Tak na obr. 360 vidlice s kolečkem nemůže být pevně spojena s ramenem t , nýbrž musí s ním být skloubena, nejlépe podle osy rovnoběžné s tyčí t ; tato pohyblivost je ostatně nutná již proto, aby integrační kolečko mohlo sledovat nerovnosti a nepřesnosti desky.



Obr. 367.



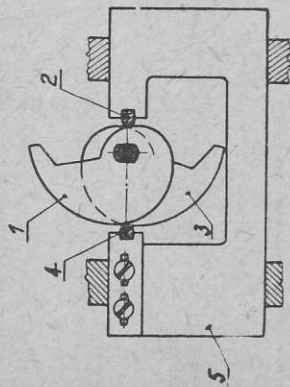
Obr. 368.



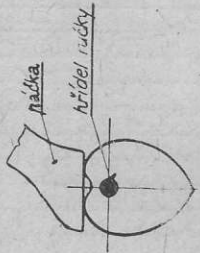
Obr. 369.

Integrační mechanismy zcela jiného druhu jsou samočinné stroje, jimiž se v koželužnách měří plocha usní. Základem je známá grafická metoda proužkování: má se stanovit součet úseček silně vytažených na obr. 367. Každou tuto úsečku měří mechanismus znázorněný na obr. 368. Třetí kolo 1 je uloženo ve výkyvném vodiči 4 a v klidu spočívá na stole stroje. Přejde-li pod kolo 1 useň (posouvána podávacími válečky jako prkno ve válcové hoblovačce), zdvihne kolo, takže jeho pastorek zabere do ozubeného segmentu 2 a kolo 1 se začne otáčet. Tím se otáčí i kladka 3, spojená se segmentem 2, a navinuje tenký kulatý řemínek. Aby se segment nevrátil, když kolo 1 odpadne, zabírá do jeho zubů zpětná západka. Dva sousední mechanismy mají řemínek spo- lečný, který je veden přes sčítací kladku. Pohyby těchto kladek jsou pak se-

čítány pákovým systémem (obr. 369), jehož poslední člen nese ozubený segment, který pohybuje ručkou na velkém číselníku. Jakmile useň projde, zůstane ručka stát, plocha se odečte, potom se pohybem páky vypnou zmíněné západky, a tím se celý mechanismus vrátí do nulové polohy. Přesnost



Obr. 370.



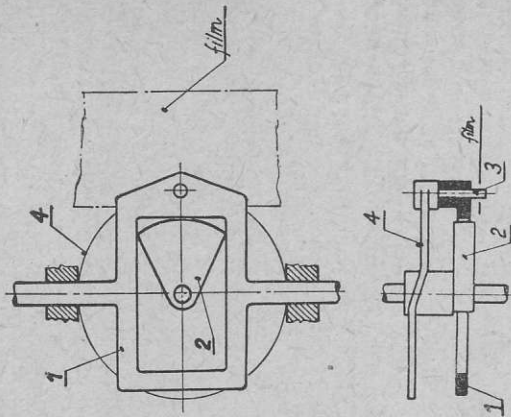
Obr. 371.

stroje záleží zřejmě na rozteči třecích kol, která však z konstrukčních důvodů nemůže být menší než asi 40 mm. To dává přesnost, která stačí v praxi, ale nedosahuje přesnosti velikých planimetrů, kterých se k měření usní rovněž užívá.

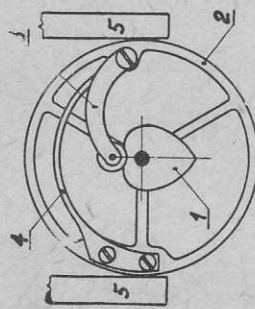
Vačky a drážkové kotouče

Užíváme jich tam, kde je třeba, aby mezi otáčivým nebo posuvným pohybem jedné a otáčivým pohybem druhé součástí byla předepsaná funkční závislost. V zásadě je lhostejné, která z obou částí je poháněna částí druhou. Má-li se otáčením hřídele nějaká součást posouvat radiálně, bude mít vačka obrys Archimedovy spirály, resp. je-li otáček více, užije se kotouče, do jehož bočné plochy je vyfrézován příslušný počet závitů spirály. Kdyby posuvný pohyb měl být rovnoběžný s otočnou osou vačky, užije se vačky bočné nebo válce, do něhož je vyfrézována šroubová drážka. Na obr. 370 je znázorněno, jak se spirálními vačkami zaostřuje u komory „Rolleikord“. Vačka 1 tlačí na špirový špalíček 2, vačka 3 na špalíček 4; jsou-li vačky stejné, dosáhne se posuvného pohybu rámečku 5 s vřítí, kterou lze vymezit posunem špalíčku 4 vzhledem rámu 5. Hřídel prochází napříč komorou, má vačky na obou koncích a oba rámečky 5 jsou spojeny s deskou, jež nese objektivy. — Všechny stopky mají zařízení podle obr. 371, jímž lze po skončeném měření vrátit ručky do nulové polohy; na hřídeli ručky je vačka tvaru srdíčka a nulovací páčka rovnou plochou tlačí na vačku a tím ji vrátí do nakreslené polohy. Ještě elegantnější je mechanismus na obr. 372, který najdeme ve stopkách, zvaných „ratrapanky“: sekundová ručka je dvojitá, druhou, pomocnou ručku lze kdykoliv zastavit, odečte se čas a po uvolnění skočí pomocná ručka zase do zákrytu s ručkou základní (franc. „aiguille ratrapante“, odtud název). Na hřídeli základní ručky, na němž je naražena srdčitá vačka, otáčí se volně dlouhý náboj lehkého ocelového kolečka 2, jež nese pomocnou ručku. Vazbu

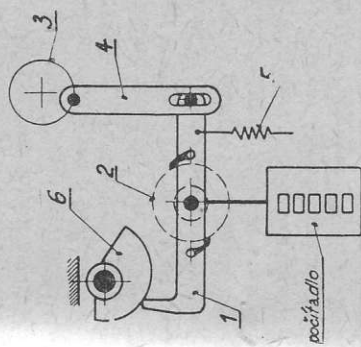
mezi ručkami obstarává páčka 3, otočná na kolečku 2 a přitlačovaná pružinou 4; ve výřezu páčky 3 je otáčivě uložena malá kladička (rubínová), jež tlačí na vačku 1. Stisknutím knoflíku kleště 5 sevrou a blokuji kolečko 2 a pomocná ručka stojí, zatím co se vačka otáčí, sledována kladičkou; druhým stisknutím se kleště uvolní a součástí skolem zaujmou zase nakreslenou vzájemnou polohu. Mechanismus je subtilní, což je vidět z toho, že kolečko 2 má průměr 7–8 mm. V tomto a v předešlém případě srdčitý tvar se skládá ze dvou spirál příbližně logaritmických (aby srdíčko bylo špičaté). — Na obr. 373 je znázorněn mechanismus na podávání filmu (v přijíma-



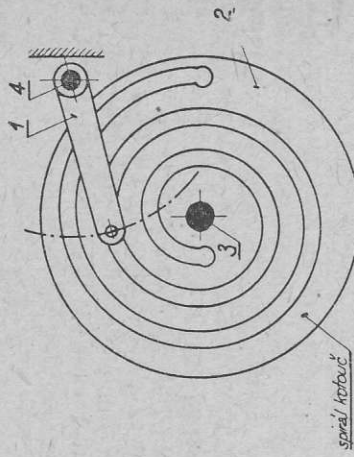
Obr. 373.



Obr. 372.



Obr. 374.

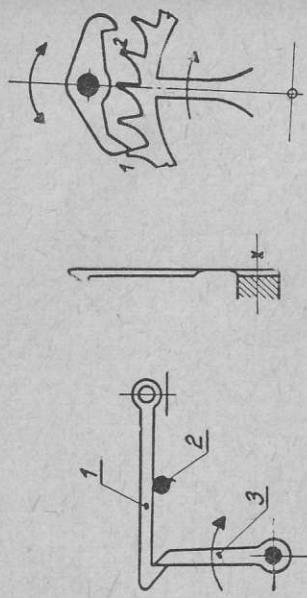


Obr. 375.

cím stroji), jak ho užili již bratři Lumiérové. Rámec 1 je veden v přímce a v něm se otáčí trojboká vačka 2, která mu dává pohyb střídavý s prodlevami v úvratích. V rámci 1 je posuvný unášecí kolík 3, ovládaný dvouratrapanou bočnou vačkou 4. Konec kolíku tedy opisuje protáhlý obdélník: vnikne do dírky ve filmu, strhne film dolů, vysune se z dírky a vrátí se nahoru.

Na obr. 375 je nakresleno, jak je nakláceno zreátko v leteckých sextantech: je upevněno na páce 1, která čípkem zasahuje do spirální drážky v kotouči 2, jímž pozorovatel pohybuje, když měří. Poněvadž se čípek nepohybuje radiálně, nýbrž po kružnici a vyžaduje se přímá úměrnost úhlových pohybů kotouče a páky, spirála nebude přesně Archimedova. Výpočet spirály by byl ovšem pracný, ale obtížnější by byla její realizace ve výrobě. V tomto případě — a v mnoha jiných podobných — lze si výpočet ušetřit a spirálu lze snadno a přesně realizovat, sestavíme-li frézovací strojek, který prostě napodobuje to, co se děje, když se užívá mechanismu. Na ose 3 si představme upínací desku, která nese kotouč, do něhož řeže drážku fréza uložená v rameni, jehož délka a vzdálenost osy 4 od osy 3 jsou přesně takové jako u sextantu. Stačí pak, budou-li na hřídelích 3 a 4 šneková kola a budou-li jejich šneky navzájem spříženy vhodným převodem: fréza automaticky vyřizne spirálu již korigovanou.

Vačky lze také použít jako plynule proměnlivého dorazu. Příkladem je integrační mechanismus na obr. 374. Kývačící páčka 1 otáčí s pomocí dvou západek (analogie s obr. 334) ro-



Obr. 376.

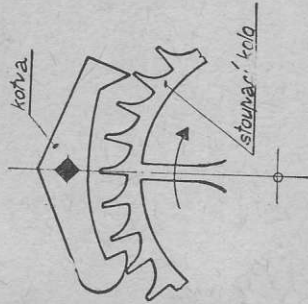
Obr. 377.

lovými kolečky otáčí obyčejným počítadlem. Páčka 1 dostává pohyb od kliky 3 přes ojníčku 4, která má pro jeden z čepů podlouhý otvor. Jedna úvrat (z níž páčka je tažena pružinou 5) je určena klikou, druhá je proměnná a je dána vačkou 6, na niž narazí nos páky 1. Takto je proveden přístroj, který integruje práci vykonanou letadlovým motorem. Klikka je poháněna od motoru, její otáčky odpovídají tedy dráze. Vačka je natáčena tlakoměrem, který měří absolutní tlak v přívodním potrubí motoru; závislost tohoto tlaku a momentu, který vyvinuje motor, je známá pro typ motoru a podle ní se formuje vačka. Podobným způsobem lze sečítat množství materiálu, jež prošlo dopravním pásem. Několik podpěrných válečků pásu je nesené pákovým systémem, který odpovídá mostním vahám. Váha se přenáší nakonec na kyvadlo (sklonnou váhu), které je spojeno s vačkou; pohyb kliky 3 je odvozen od pohybu dopravního pásu. Na rozdíl od integračních mechanismů již popsaných tento mechanismus provádí integraci nikoliv plynule, nýbrž po konečných stupních.

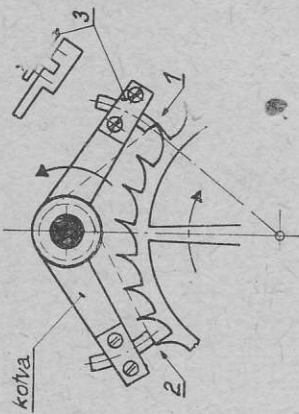
Zarážky a hodinové kroky

Zarážka je součástí, jež se tvarem podobá západce a jež má zadržovat jinou otočnou část. Na obr. 376 je znázorněna zarážka 1, otočná na čepu a v klidu spočívající na pevném dorazu 2. Otočná součást 3 pohybem ve směru šípky

zarážku zdvihne, je zachycena a může vyklouznout teprve tehdy, když byl dán povel zdvihnutí zarážky. Kromě otočné zarážky se často užívá zarážky pružinové podle obr. 377. Zarážek v různých formách se užívá hlavně v hodinářství, ale také v různých jiných mechanismech, jež pracují automaticky; pružinová zarážka je základem kroku námořních chronometrů. Na obr. 378 je znázorněna zarážka dvojí: v nakreslené poloze drží zarážka zub 1 rohatky; uvolní-li tento zub, zarážka druhým svým koncem zachytí zub 2. Výkoná-li zarážka pohyb sem a tam, pootočí se kolo o jednu rozteč. Tento mechanismus může dostat různé tvary a sloužit jako počítadlo, řídit posun vozíku psacího stroje a pod.



Obr. 379.

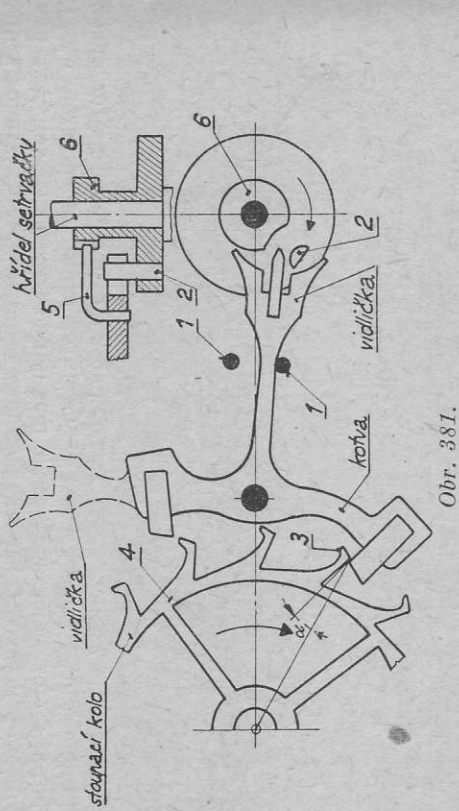


Obr. 380.

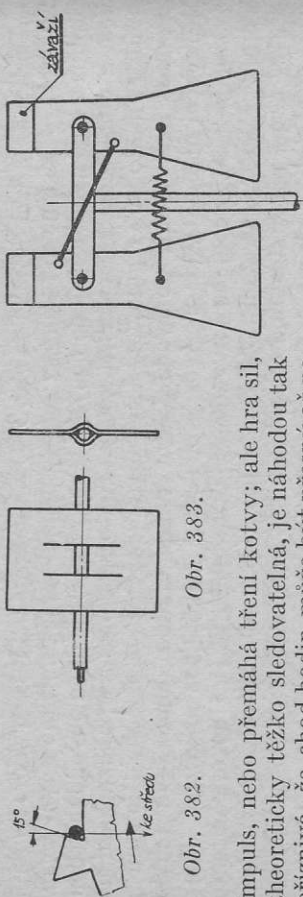
Dále se zarážce tvar jako na obr. 379, máme nejjednodušší krok pro hodiny. Zde kolo — říkáme mu *stoupací kolo* — pohání zarážku, zvanou nyní *kotva*. Stoupací kolo uvádí kotvu do pohybu, jehož rychlost je dána obvodovou silou kola a momentem setrvačnosti kotvy. Takto se pohybuje palička každého budíku a takto jsou regulovány časy fotografických závěrek typu „Compur“; přesnost není veliká, poněvadž kotva nemá určitou dobu kyvu (chybí jí direkční moment), ale u závěrky odchylky +10% jsou přijatelné. Jinak ovšem, je-li kotva spojena s kyvadlem, jak to udělal již R. Hooke; pak tento „anglický hák“, jak tomu říkali staří hodináři, umožňuje hodinám chod přesný až na několik sekund denně, je-li kyvadlo těžké, a dobře kompenzované. Z obrázků je jasné, že po vyklouznutí zubu, poněvadž kyvadlo dokončuje svůj kyv, stoupací kolo je donuceno trochu couvnout. Tento krok je tedy „vratný“ a tlak stoupacího kola ustavičně vyvozuje moment, který se přičítá k direkčnímu momentu kyvadla; doba kyvu se tím trochu zkracuje, a co je horší, toto zkrácení není konstantní, poněvadž nemožno být přesně konstantní síly ve hře (proměnlivé tření).

Graham podstatně zlepšil kotvový krok modifikací na první pohled nepatrnou, zřejmou na obr. 380. Zde špičatý zub 1 lehkého stoupacího kola právě vyklouzl a zub 2 dopadl na *válcovou* plochu levého zubu kotvy. Kyvadlo s kotvou se pohybuje dále ve směru šípky, ale stoupací kolo je v klidu, špička zubu 2 se jen tře po klidové válcové ploše kotvy — krok Grahamův je „klidný“

Při zpětném pohybu kotvy stoupací kolo setrvává v klidu, dokud zub 2 nesklouzne po šikmé ploše kotvy, dáváje tak impuls kyvadlu. Kotva může být ocelová, se zuby kalenými a dobře vyleštěnými, obvykle však je z mosazi (jak je nakresleno) a ocelové zuby jsou zasazeny a drženy destičkami 3; v nejlepší provedení jsou do konců zubů vsazeny a zaskelakovány vložky safírové. Jak je vidět, kyvadlo není ani na okamžik volné, neboť buď dostává



Obr. 381.



Obr. 382.

impuls, nebo přemáhá tření kotvy; ale hra sil, theoreticky těžko sledovatelná, je náhodou tak příznivá, že chod hodin může být přesný až na jednu desetinu sekundy za den, a při tom krok tento je jednoduchý a snadno výrobitelný nejednoduššími prostředky. Teprve kroky novější, složitější a výrobně mnohem obtížnější zřetelně předstihly výkony kroku Grahamova, dnes přes 200 roků starého; používáme ho dodnes pro všechny lepší hodiny, kdežto kotva podle obr. 379, často vyrobená z pouhého proužku plechu (upevňeného podle obr. 19), slouží v hodinách hrubších.

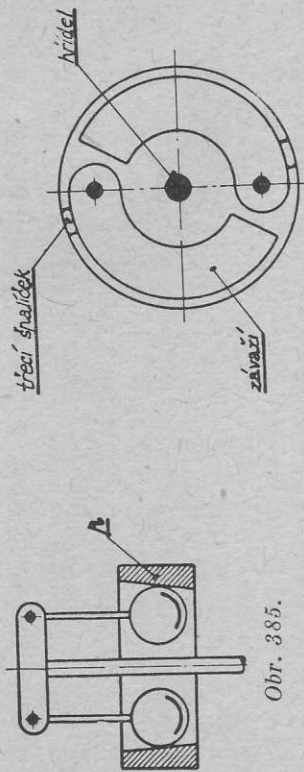
Zajímavá je aplikace kotvy pro kapesní hodinky, která byla navržena již dávno (Mudge 1765), ale všeobecně byla zavedena teprve v tomto století, když výrobní technika pokročila. Je to *volný krok kotbový*, který se vyznačuje

tím, že setrvačka je vždy jen na okamžik spojena s krokem, jinak kmitá zcela svobodně. Na obr. 381 je znázorněna t. zv. švýcarská forma kroku, které se dnes užívá ovšem v celém světě. Kotva je v celku s vidličkou, jež obstarává oběsné spojení se setrvačkou, a rubínové zuby kotvy (sr. obr. 32) hranolové formy jsou nastaveny v úhlu α (12—15°) k poloměru stoupacího kolečka; tlak stoupacího kola proto kotvu přitahuje a vidlička pružně doléhá vždy na jeden nebo druhý dorazný kolík 1. Nakreslen je okamžik, kdy impulsní kámen 2 se pohybuje ve směru šípky a blíží se k vidličce; kámen vnikne do vidličky, strhne ji s sebou, tím je vybačen zub 3 stoupacího kola a ten sklouzne po zubu kotvy, které dá hnací impuls. Jakmile zub 3 unikne, druhý zub kotvy zachytí zub 4. Současně vyběhne kámen 2 z vidličky, která setrvačností v pohybu pokračuje, až je zastavena kolíkem 1. Zajištění kotvy v krajních polohách pouhým účinkem „tažného“ úhlu α není dost bezpečné, proto je do vidličky zaražen prstík 5 a na hrádek setrvačky je pojistný kotouček 6 s výřezem. Osy stoupacího kola, kotvy a setrvačky jsou nejčastěji v jedné přímce; v náramkových hodinkách, kde je třeba šetřit místem, najdeme někdy vidličku vytvořenou prodloužením ramena kotvy, jak je čárkováně naznačeno na obr. 381. Kotva má pohyb obvykle 10°. Amplituda setrvačky u kvalitních hodiněk bývá asi $\pm 220^\circ$, tedy celý pohyb asi 440° a z toho úhel mezi vstupem a výstupem kamene 2 z vidličky činí jen 40° , někdy i jen 30° . Setrvačka je tedy asi 95% celého času volná; proto je tento krok nejlepší pro kapesní a náramkové hodinky a v kapesních chronometrech docíluje přesnosti několika málo desetin vteřiny za den. Ovšem vyžaduje výrobně dleňské provedení. Proto u hrubších strojů, jako jsou budíky, je vhodnější forma zjednodušená podle obr. 382. Kotva má místo zubů dva tenké ocelové kolíčky (rovnoběžné s hrádelem) a zuby stoupacího kola mají zjednodušený tvar; stoupací kolo zároveň omezuje pohyb kotvy, dorazné kolíky tedy odpadnou. Tento krok uspokojivě funguje i při hrubším provedení, které je ostatně v souladu s obvyklým výklavým uložením setrvačky podle obr. 236.

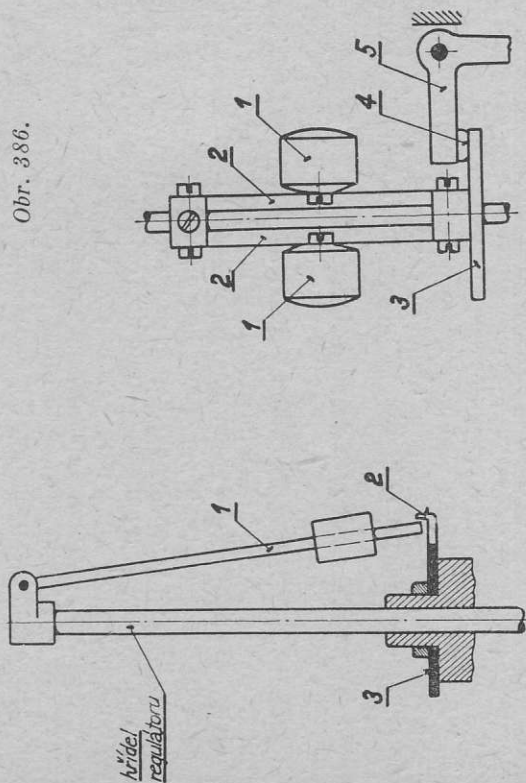
Regulátory otáčivé rychlosti

U různých „hodinových“ strojů, které nejsou určeny k měření času, je třeba poměrně stále otáčkové rychlosti. Užíváme regulátorů, které — na rozdíl od regulátorů turbin a jiných strojů — neřídí přívod energie, nýbrž prostě přebytečnou energii maří, absorbují (absorpční regulátory) a mění v teplo. Nejjednodušší je pouhý větrníček podle obr. 383, který ovšem stačí jen pro bící stroje hodin nebo pro Morseovy přístroje, kde na otáčkové rychlosti mnoho nezáleží. Mnohem lepší je regulátor znázorněný na obr. 384 (Foucaultův); větrníček je tvořen rameny pružinového regulátoru, máme tedy větrníček jaksi proměnného průměru. Často se užívá regulátorů třech, jako na obr. 385; rychlost lze regulovat axiálním posunem prstence *p*. Podobně funguje regulátor na obr. 386; i zde lze rychlost regulovat posunem pevného bubínku, v němž se otáčejí závaží, je-li bubínek uvnitř kuželový. Gramofonové stroje jsou všeobecně řízeny třecím regulátorem podle obr. 388.

Dvě nebo tři závaží 1 jsou nesena listovými pružinami 2. Průhyb pružin působí destičku 3 a přitlačuje ji k měkkému brzdícímu špalíčku 4; rychlost se reguluje natáčením páky 5, jež nese špalíček 4. Přesnost je při jednoduché a laciné konstrukci poměrně dobrá, podle zkušenosti asi $\pm 0,05\%$, což stačí nejen pro gramofony, nýbrž i pro páskový chronograf (je dobře si připomenout, že interval jednoho pultónu činí v temperovaném ladění $\frac{12}{2} = 1,06$). — Zcela jiný, a prý výborný je regulátor znázorněný na obr. 387, jehož se užívá



Obr. 385.



Obr. 387.

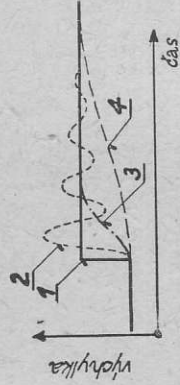
v bubnových chronografech továrny Warner & Swasey; pracuje přetřítitě tak, že stoupnutím rychlosti se více vychýlí jediné rameno 1 a zachytí za nos 2 volně otáčivého prstenu 3, čímž odpor náhle stoupne.

Je mnoho regulátorů ještě složitějších, u nás na příklad pěkná konstrukce Nušl—Frícova, ale žádný z nich nemá chybu menší než asi $\pm 0,1\%$. Řídí-li

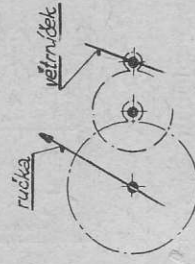
proto regulátor otáčení dalekohledu, když se fotografuje hvězdná obloha, je třeba cíl stále (po několik hodin!) sledovat hledacím dalekohledem a chyby hodinového stroje ručně opravovat („pointování“). Vysoké přesnosti lze dosáhnout jedině tím, že se užije zjevů oscilačních, kmitů. Stroj se pohání synchronním motorkem. Nezáleží-li na absolutní hodnotě otáčkové rychlosti, lze motorek napájet ze střídavé sítě. Před válkou byly chyby frekvence v pražské síti v mezích asi $\pm 0,5\%$, v Berlíně jen $\pm 0,1\%$; důležité je, že frekvence se mění velmi pomalu a že okamžitou její hodnotu lze snadno (synchronními hodinami a stopkami) zjistit. Pro vyšší požadavky je třeba zdroje s mnohem stálejší frekvencí. To může být *ladíčka*, udržovaná v kmitání elektronekami (viz Horák, Praktická fysika); je-li ladíčka udržována na stálé teplotě (v thermostatu), lze dosáhnout stálosti kmitů s chybou 10^{-6} až 10^{-7} . Ještě přesněji drží frekvenci kmitající (vlivem piezoelektrického zjevu) tělísko vybroušené z *křístálu*, obyčejně tyčinka nebo prsten. Je-li kmitající křemen uzavřen v zatavené nádobě a udržován na optimální teplotě s chybou $\pm 0,002^\circ\text{C}$, představuje normál frekvence s chybou pouze 10^{-7} až 10^{-8} . Frekvence křemene je poměrně vysoká, kolem 100 000, energie jeho kmitů malá. Proto je nutno užít okruhů zesilovacích a okruhů snižujících po stupních frekvenci na hodnotu vhodnou pro motorek a kontrolních měřících přístrojů, ale elektrická aparatura s řadou elektronek a kontrolních měřících přístrojů, ale synchronní motorek takto napájený pak představuje hodiny rovnocenné nejlepším strojům kvadrantovým, jichž sice nedosahuje spolehlivosti, které však předčí svou nezávislostí na pohybech zemské kůry. Za zmínku stojí, že v Americe byl učiněn pokus (není ovšem známo, jak prakticky úspěšný), kmitající křemen ještě řídit — synchronisovat — *kmitly atomů* v molekulách čpavku. Je tedy možné, že v budoucnosti nám budou atomární děje standardem, etalonem, nejen délkovým, nýbrž i časovým.

Zařízení tlumící

Každý ukazující (ručkový) nebo zapisující měřící přístroj představuje oscilátor, t. j. systém schopný kmitání, poněvadž má jistou hmotu a nezbytně je přítomna i direkční síla. Takový měřící systém reaguje na náhlé zvětšení



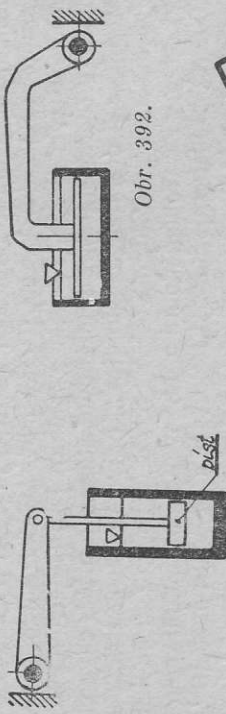
Obr. 388.



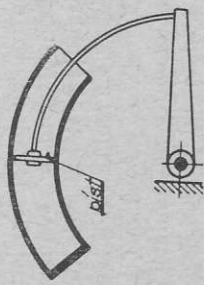
Obr. 390.

měřené hodnoty vždy zakmitáním (obr. 389). Je-li čára 1 průběh měřené veličiny, bude výchylka systému dána čarou 2, je-li útlum nevelký, čarou 3, je-li tlumení kritické — aperiodické, a čarou 4, je-li tlumení zvlášť silné. Je dále

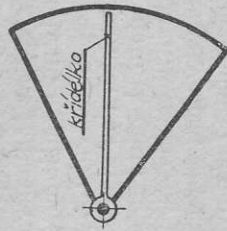
známo z teorie kmitů, že veličinu rychle se měnící může sledovat jen systém s dostatečně vysokou vlastní frekvencí. Takovéto systémy mají často útlum (odporem vzduchu a jinak) dostatečný, jindy však, a u systémů s malou vlastní frekvencí pravidelně, jsme nuceni užít vhodného tlumicího zařízení. Podmínkou však je, že tlumení musí být *progressivní*, t. j. musí být nulové při nulové rychlosti měřícího ústrojí. Naproti tomu nezáleží na tom, stoupá-li tlumení úměrně rychlosti nebo kvadrátu této rychlosti. Z předěšlého již vyplývá, že tření, jako síla zhruba konstantní, zde se nehodí.



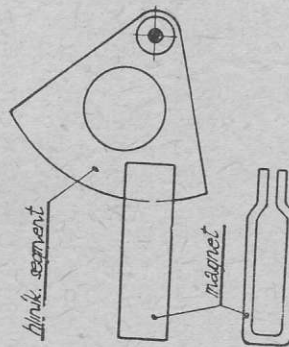
Obr. 391.



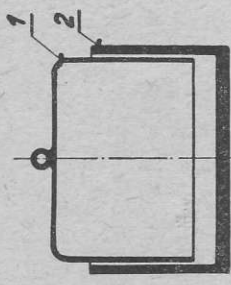
Obr. 393.



Obr. 394.



Obr. 396.



Obr. 395.

pístu. První provedení najdeme na př. u známých automatických (sklonných) vah, kterých se dnes běžně užívá v obchodech. Potiže bývají s kapalinou: voda se vypařuje a zanechává usazeniny, oleje se zase rády rozlézají po celém stroji. Stačí-li malá tlumicí síla, ujmeme čistotnějšího tlumení vzduchového, buď ve formě zahnutého „válece“ jehož se píst nedotýká (obr. 393), nebo ve formě pouzdra, v němž se s malou vůlí otáčí křídlo (obr. 394). Obou systémů lze ostatně ve vhodné úpravě užít i pro kapaliny.

Analytické váhy se opatřují tlumicími zařízeními podle obr. 395; nádoba 2 je nehybná, lehký zvon 1 (lisovaný z plechu) je zavěšen buď pod miskou vah, častěji nad miskou. Tlumení (při pomalých pohybech citlivých vah) je dáno v podstatě jen třením vzduchu proudícího mezi nádobami 1 a 2, máme zde tedy případ tření „viskosního“, t. j. úměrného rychlosti. Stejnou charakteristiku má zařízení na obr. 396, jehož se hojně užívá u elektrických měřících přístrojů. Pohybem hliníkového segmentu nebo kotouče mezi póly permanentního magnetu vznikají v hliníku vířivé proudy, jejichž intenzita je úměrná úhlové rychlosti segmentu.

Mnoho měřících přístrojů má tlumení vlastní a zvláštní tlumicí zařízení nepotřebuje. Na př. galvanometry s pohyblivou cívkou jsou tlumeny vířivými proudy, jež vznikají pohybem v magnetickém poli u hliníkovém rámečku cívky, který tvoří závit na krátko spojený. K tomu se ještě přičítá tlumení dané proudem indukovaným v cívce, jehož síla ovšem závisí na odporu vnějšího okruhu galvanometru. Hydraulické siloměrné systémy (na př. zkoušecí stroje Amslerovy) mohou dostat libovolně velké tlumení tím, že se zaskrtí (po př. regulačním ventilem) spojovací potrubí mezi pracovním válcem a tlakoměrem. — Velikost tlumení je věcí kompromisu; kmitání je nepohodlné a skresluje správné údaje. Tlumení ovšem skresluje také, a je-li přílišné, nejsme si jisti, zda ručka už ukazuje novou hodnotu. Obvykle se snažíme o tlumení skoro aperiodické, tak aby ručka jen jednou málo přeběhla.

Zařízení rektifikační

Měřicí stroje často musí vyhovět podmínkám geometrického nebo kvantitativního rázu: dvě osy mají být spolu rovnoběžné nebo na sebe kolmé, dvě součásti mají mít určitou vzdálenost; rameno páky má mít předepsanou délku nebo být v předepsaném poměru k rameni druhému; pohyblivá součást má mít určitý kmitočet, mikroskop má mít určité zvětšení; převod na ručku je třeba upravit tak, aby údaje ručky souhlasily s hotovým číselníkem, hodiny je třeba vyregulovat tak, aby ukazovaly sluneční čas, atd.

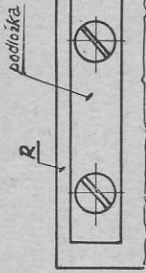
Někdy nelze tyto podmínky při výrobě stroje splnit vůbec; jindy nelze je splnit s přesností tak vysokou, jakou stroj potřebuje. Na stroji, který je v provozu, mohou časem — vlivem namáhání, otřesů, opakovaných změn teploty — nastat změny, a tím nesprávnosti a nepřesnosti. Proto se napařád setkáváme se zařízeními, která umožňují, aby stroj byl při výrobě i později ve službě seřizen, aby vyhověl podmínkám. Této práci říkáme *rektifikace*, v optických továrnách *justování* nebo *justáž* (Rusové: justirovka), v hodinářství se užívá

termínu *regláž* (kterou dělá *reglér*). Těchto zařízení je velké množství, zde budou uvedeny jen typické případy. Většinou jde o malé posuny částí proti sobě nebo o malé pohyby úhlové; proto se také užívá většinou šroubů.

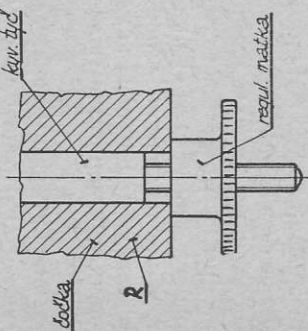
Nejjednodušší je použít velikých nebo podlouhlých otvorů pro upevňovací šrouby (obr. 397); rektifikace není přesná, ani pohodlná a je ne-



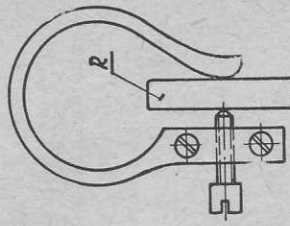
Obr. 397.



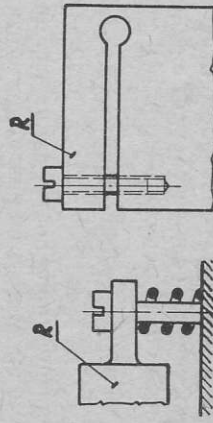
Obr. 398.



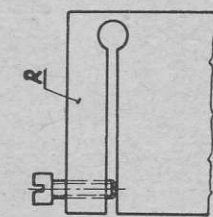
Obr. 399.



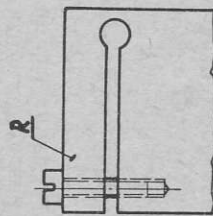
Obr. 400.



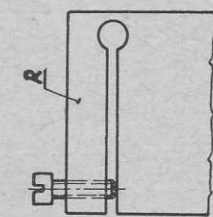
Obr. 401.



Obr. 402.



Obr. 403.

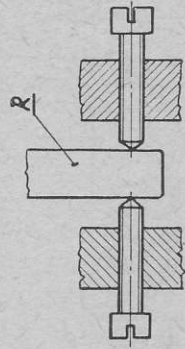


Obr. 404.

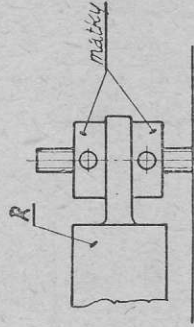
bezpečí, že utažením šroubů (které nikdy nedolehnou po celém obvodu hlavy majednou) zase se změni poloha části *R*. Toto nebezpečí je menší, je-li těchto šroubů více a utahujeme-li současně po částech všechny, a zejména tehdy, mají-li šrouby společnou podložku (obr. 398).

Rektifikuje-li se šroubem nebo matkou, je zapotřebí nějaké síly, která pohyblivou část tlačí do styku se šroubem. Může to být váha oné součásti, jak je tomu u kyvadla (obr. 399), kde těžká čepka spočívá na regulační matce. Často je to pružina, jako na obr. 400, kde šroubová pružina tlačí na

pohyblivou část, označenou (jako ve všech obrazcích) *R* proti rektifikační matce *1*; šroub *2* je zavrtán do pevné části *3*. Místo matky lze užít rektifikačního šroubku, obr. 402. Na obr. 401 je pěkné zařízení, jehož se užívá u nejjemnějších hodiněk k řízení regulační ručky. Matka pro pohybový šroubek a vratná pružina jsou z jednoho kusu oceli; zařízení funguje přesně jen za před-



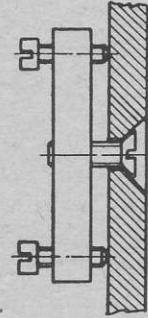
Obr. 405.



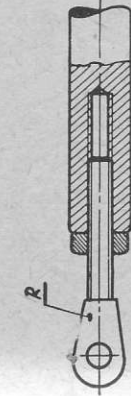
Obr. 406.



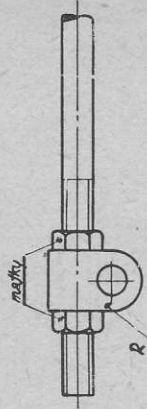
Obr. 407.



Obr. 408.



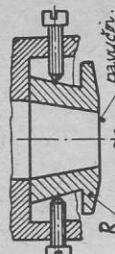
Obr. 409.



Obr. 410.



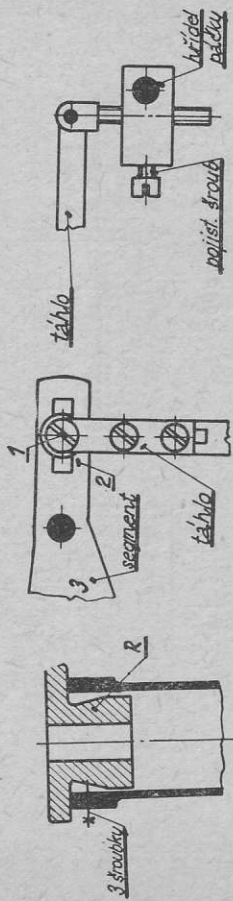
Obr. 411.



Obr. 412.

pokladu, že regulační ručka nejde ztuhla a hlavně že nepruží. Někdy lze malou pohyblivost, potřebnou k rektifikaci, zjednat tím, že součást stroje se rozřizne a řez se podle potřeby šroubkem zúží (obr. 403) nebo se tlakovým šroubkem rozšíří (obr. 404). Spolehlivost popsaných zařízení je tím větší, čím silnější je pružina a čím tíže jde šroub v závitě.

Nejbezpečnější, i když méně pohodlné, je užit dvou šroubů (obr. 405) nebo dvou matek (obr. 406), působících proti sobě; šrouby lze důkladně utáhnout, po příp. ještě nějak zajistit. Proto způsoby na obr. 293 a 294 jsou lepší než způsobu na obr. 403 a 404. Je-li žádána možnost malého pohybu rotačního i translačního, užijeme dvou šroubků tažných a jednoho tlačného (obr. 407)

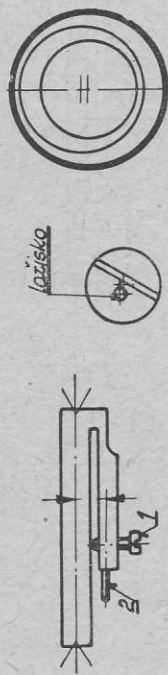


Obr. 413.

Obr. 414.

Obr. 415.

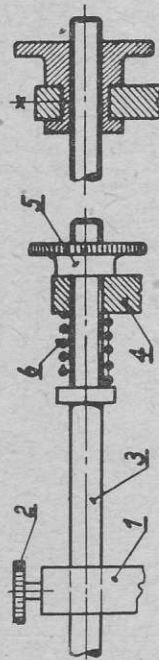
nebo naopak dvou tlačných a jednoho tažného (obr. 408). Jsou-li krajní šrouby tři, lze část *R* naklánět ve všech směrech; tak se rektifikuje na př. krabicová libela. — Jde-li o táhlo, jehož délku je třeba nastavit, lze toto táhlo složit ze dvou kusů, tyčky a trubky, a spojení provést sevřením jako na obr. 137. Bezpečnější je způsob znázorněný na obr. 409, ovšem nejmenší možná změna délky se rovná polovici stoupání závitu. Jmenné lze délku nastavit provede-



Obr. 416.

Obr. 417.

Obr. 418.



Obr. 419.

Obr. 420.

ním podle obr. 411, které odpovídá letadlovému napínáku; zajištění je zde nutné, buď přítužnými matkami, nebo ještě lépe způsobem znázorněným na obr. 127. Je-li síla táhlem přenášená malá, lze připustit excentrické její působení a užit volné hlavy sevřené mezi dvěma matkami (obr. 410).

Má-li být součást posuvná ve všech směrech po rovné ploše, užijeme tři nebo čtyři šroubků, které tlačí na šikmé plošky nebo na kuželovou plochu, čímž je

součást zároveň na onu rovinnou plochu přitlačována. Tak se rektifikuje podle obr. 412 poloha prstenu s pavučinovým křížem v záměrném dalekohledu; čtyři šroubky jsou sice nadbytečné, ale usnadňují rektifikaci jednou jen ve vodorovném, po druhé ve svislém směru. Nesnadnější a tápavější je rektifikace třemi tlačnými šrouby, jako je na obr. 413 nastavení závěsu zrcadlového galvanometru (aby visící cívka nikde neškrtila).

U měřicích ručkových přístrojů se často vyžaduje, aby bylo možno měnit převod z měřicího orgánu na ručku. To se provede změnou některé převodové páky, na př. v manometrech, je táhlo otočné na čepu *1*, který lze přestavit ve výřezu páky *2*, spojené s ozubeným segmentem *3*, a někdy i délku táhla lze seřídít způsobem zřejmým na obr. 414. V leteckých přístrojích bývá provedení podle obr. 415, ovšem nejmenší posuv je o polovinu stoupání závitu. Velmi jemnou rektifikaci dovoluje páčka na obr. 416, rozříznutá a rozevíraná šroubkem *1*, čímž se mění vzdálenost mezi čípkem *2* pro táhlo a osou páky; tento způsob najdeme v aneroidech i jinde.

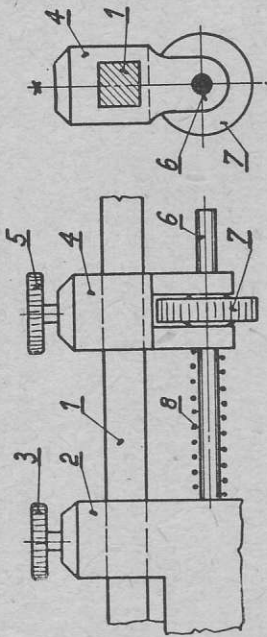
Příležitostně se užije rektifikace excentrem. Na obr. 417 je ložisko pro uložení ní hřídelku vyvrtáno excentricky v kulatém kousku mosazi, který má zářez pro šroubovák a je v rámu přístroje držén buď závitem ztuha jdoucím, nebo je lehee, t. j. ještě otočně, zanýtován. Takto se na př. seřizuje záběr mezi ozubeným segmentem a pastorkem ručky v leteckých měřicích přístrojích nebo hloubka záběru kotvy v kyvadlových hodinách. Všestranný pohyb v rovině, jehož bylo na obr. 412 dosaženo tlačnými šroubky, dá se realizovat též dvěma excentry v sobě, obr. 418; takto se někdy rektifikuje poloha dalekohledového objektivu. Příklad, jak lze excentrem vymezovat vůli, byl zházorněn na obr. 152.

Ustanovky

Ustanovky přicházejí v úvahu tam, kde při měření je třeba jemně a přesně nastavit polohu části, která má velký rozsah pohybu. Mikrometrický jemného pohybu lze snadno dosáhnout šroubem, šroub však pracuje pomalu, a je právě charakteristické pro ustanovku, že dovoluje hrubý a rychlý pohyb rukou, při čemž je z činnosti vypjata. Pak následuje jemné konečné nastavení šroubem. Na př. alhidada úhlových strojů je otočná o celých 360°, ale konečné zacílení se provede s přesností zlomků sekund. Ustanovky se užívá pro pohyby úhlové i posuvné a zde uvedeme několik typických příkladů.

Jednoduchá forma ustanovky délkové znázorněna je na obr. 419; *1* je pohyblivá část, kterou lze tlačným šroubem *2* spojit s tyčí *3*. Uvolníme-li šroub *2*, můžeme část *1* posunout rychle a zhruba do žádané polohy, potom šroub *2* utáhneme a matkou *5*, která se opírá o rám stroje *4*, provedeme přesné nastavení. Pružina *6* působí proti matce, vše je v jednostranném závěru, vůli v závěru tedy není cítit. Pružina musí být tak silná, aby bezpečně přemohla tření části *1*. Je-li toto tření veliké (na př. u velkého stroje), ustanovka jde těžce, neboť matka musí překonávat součet tření části *1* a síly vyvozené pružinou. V tom případě od pružiny upustíme a matku uložíme na př. do dvoudílného

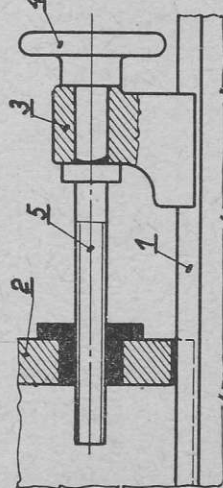
ložiska (obr. 420). Na obr. 421 je znázorněna ustanovka pro posuvnou tyč planimetru nebo integrátoru. Čtyřhranná tyč 1 je vedena v rámu stroje 2 a lze ji zhruba nastavit po uvolnění šroubů 3 a 5. Jemný pohyb obstará šroubek 6 pevně navrtaný do rámu, když utažením šroubu 5 byla fixována část 4, v jejímž vybrání leží matka 7. Vůle je odstraněna pružinou 8; nestačí-li síla pružiny, zařízení funguje dále, ovšem s vůlí. Ustanovka k pohybu těžkého



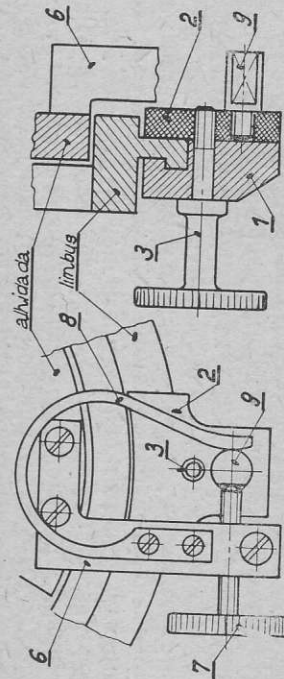
Obr. 421.

konika na měřicím stroji je znázorněna na obr. 422. Na loži (rámu) 1 je veden koník 2 a stojánek 3, který lze fixovat v každé poloze (na př. podle obr. 152 nebo 168). Jemný pohyb se provede ručním kolečkem 4 a pohybovým šroubem 5, jenž má matku v konikovi. Zde se plně uplatňuje vůle v závitu i uložení šroubu; v praxi to mnoho nevadí, poněvadž při měření je třeba koníkem pohybovat vždy tímž směrem (na obr. doleva).

Ustanovky úhломěrných strojů jsou dvojího typu. Ustanovka obvodová má tvar krátkého klouzátko, které se posunuje po okraji děleného kruhu čili

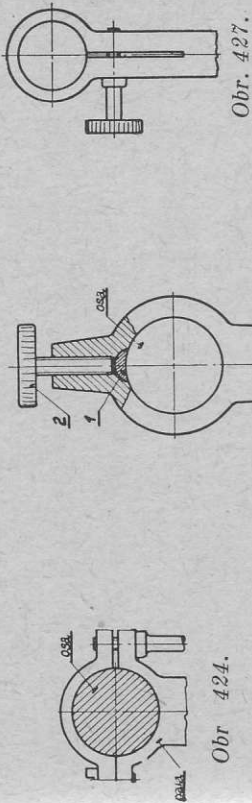


Obr. 422.



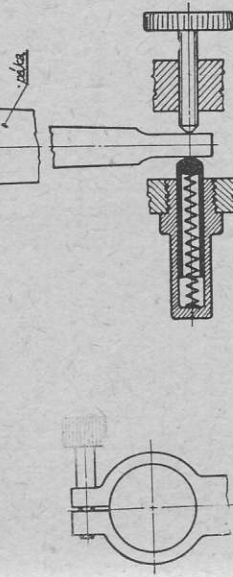
Obr. 423.

limbu. Ustanovka osová obímá otočnou osu nebo vnější válcovou plochu ložiska této osy. Příklad obvodové ustanovky je na obr. 423. Po okraji limbu se posouvá klouzátko, složené ze dvou čelistí 1 a 2, které lze šroubem 3 sevřít. Čelist 2 nese kolík 9, o nějž se s jedné strany opírá pohybový šroub 7 (který má matku v části 6 přišroubované na alhidádu), s druhé strany pružina 8 (přišroubovaná na část 6). Je-li šroub 3 uvolněn, lze alhidadou točit a při tom



Obr. 424.

Obr. 427.

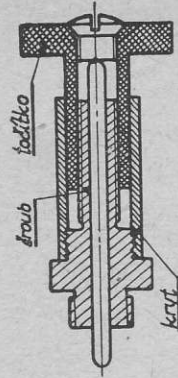


Obr. 425.

Obr. 428.

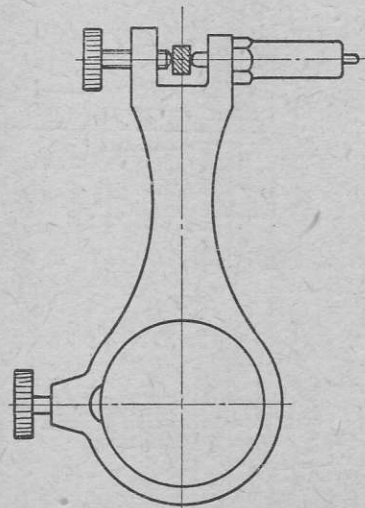
čelisti 1 a 2 klouzájí po limbu. Utažením šroubu 3 je alhidada fixována a možný je jen jemný pohyb šroubem 7. Obvodových ustanovek, dříve oblíbených, dnes užíváme jen z nouze; nevýhodné je, že klouzátko se pohybuje po plochách vystavených zaprášení a že nešetněkrát opakované svírání může vést nakonec k roztažení materiálu a tím k deformacím limbu.

Základní součásti osové ustanovky je páka otočná kolem příslušné osy. Na této ose lze páku fixovat, buď tak, že rozříznutou hlavu páky sevřeme šroubem (obr. 424, 425, 427), nebo zabrzdíme (obr. 426) špičičkem 1, na který tlačí šroub 2. Druhý způsob je dnes běžný, dobře vyhovuje, konstrukce je jednoduchá a snadná pro výrobu. Prvnímu způsobu se vytýká, že po dlouhém užívání se funkce stává nespolehlivou. Závažnější je, že sevření rozříznuté hlavy je nezbytně provázeno malými tangenciálními pohyby mezi hlavou a osou. Proto sevření může způsobit malé pootočení osy vzhledem k páce; to nevedí u strojů s jednou ustanovkou, ale způsobuje chyby u strojů repetič-

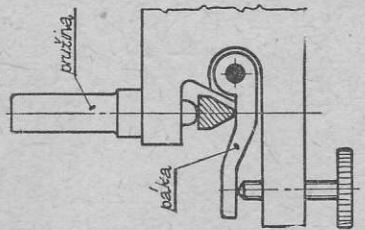


Obr. 429.

ních. Bez této vady ostatně není úplně ani ustanovka podle obr. 426 (špalíček I má vůli a o šroubu je vždy radno předpokládat, že hází), a proto repetiční metoda se nehodí a neprovádí pro precisi theodolity. Výhodou prosté brzdy na obr. 426 je i to, že šroub 2 můžeme umístit kdekoli, tak aby byl pohodlně na dosah. Pohybový šroub a proti němu tlačící pružina mohou být na rámu stroje a mohou se opírat o konec páky jako na obr. 426, nebo jsou na koncích páky a opírají se o kolík upevněný v rámu (obr. 430), nebo jsou na pohyblivé části, je-li ustanovka na pevném ložisku jako na obr. 279, 282. Kterého způsobu použijeme, záleží na poměrech. Zásada je, že práce s ustanovkou má být pohodlná a skoro bezděčná. Nejlépe je, jestliže se poloha točítka pro pozorovatele nemění; je-li jeho poloha pevná, mají i točítka zůstat na místě, pohybuje-li se pozorovatel kolem stroje (na př. u theodolitu), je lépe, pohybuje-li se točítka s ním.



Obr. 430.

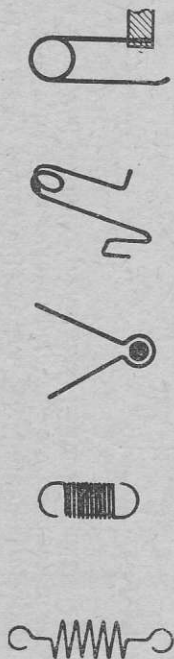


Obr. 431.

Pohybový šroub ustanovky je vždy jemný, stoupání rádu 0,3 mm; matka je obvykle rozříznutá jako na obr. 121. Jemné šrouby trpí prachem a rychlejším opotřebením; lze je zakrýt, ovšem za cenu složitější konstrukce (obr. 429). Vratná pružina je dnes vždy šroubová, z drátu vinitá a netlačí přímo, nýbrž prostřednictvím tyčinky jako na obr. 428, nebo pístku jako na obr. 426. Uložení hlavy ustanovky je vidět na příkladech obr. 279, 282, 286, 287. Není-li ustanovka axiálně držena limbem nebo jinou součástí (obr. 279, 286, 287), použijeme prstence připevněného šroubky (obr. 282) nebo prstencové matky; pro ustanovku podle obr. 424 stačí vytočit drážku. — Ustanovka pracuje tím jemněji, čím jemnější je šroub a čím delší je rameno. Moderní theodolity mají malé dělené kruhy a ustanovka vyjde krátká; nechceme-li užít šroubů příliš jemných, pomůžeme si tím, že šroub nenecháme působit přímo, nýbrž přes páku s poměrem ramen asi 3 : 1 (obr. 431). Na str. 97 bylo pojednáno o šnekovém převodu, který funguje též jako ustanovka; jeho nevýhodou je, že ozubení trpí prachem, před kterým není dokonale ochrany.

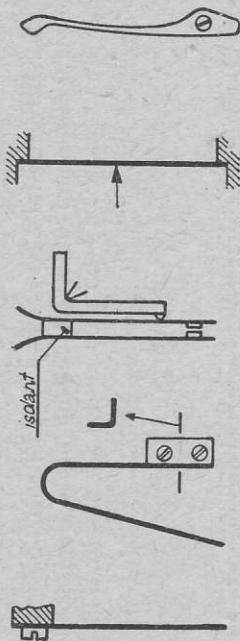
Pružiny

Pružiny užíváme, je-li třeba vyvozovat *trvalé* tah nebo tlak, na př. aby se způsobilo tření. Častěji volíme pružinu, aby nějakou součást vracela do původní polohy, na př. západku; taková *vratná* pružina akumuluje tedy práci. Plně využíváme této akumulací schopnosti u pružin *hnacích*, jako je na příklad „péro“ v hodinách. Stejně důležitá je pružina jako orgán *siloměrný*; velká většina ručičkových měřicích přístrojů neukazuje nic jiného než deformaci měřicí pružiny. Konečně pružná ohebnost pružiny dovozuje realizovat *pružinové klouby*, které jsou bez vůle a bez tření. Pro všechny tyto aplikace budou v dalším uvedeny typické příklady.



Obr. 432. Obr. 433. Obr. 434. Obr. 435. Obr. 436.

Pružiny první a druhé skupiny jsou často vinity z drátu, obvykle z ocelového nebo z mosazného nebo z bronzového. Užíváme pružin tlačných (příklad: ustanovky) a tažných, které jsou ukončeny háčky podle obr. 432, malé a jemné pružinky mívají háčky podle obr. 433. Materiál těchto šroubových pružin je namáhán kroucením. Ohybové namáhání je u pružiny na obr. 434, která je držena osazeným šroubkem (obr. 54) a opírá se svými konci o pevnou a pohyblivou část stroje. Je-li pružina navlečena na nářadí, dostane tvar jako na obr. 435 (event. s více závitů), konce se podle potřeby vyhnou nebo vytvoří jako háčky. Drátěnou pružinu lze také vetknout (obr. 436) zatěmováním, po př. zapájením.



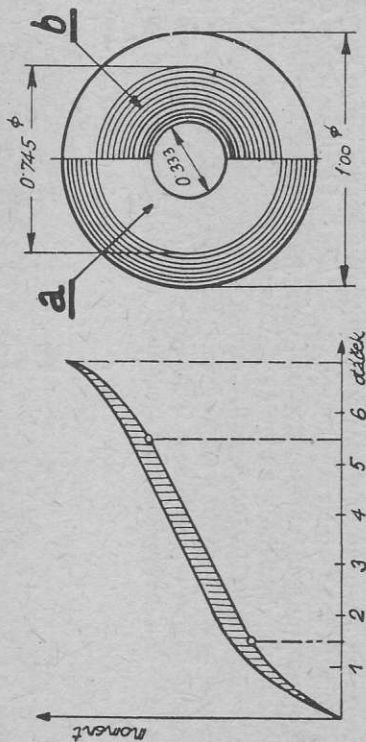
Obr. 437. Obr. 438. Obr. 439. Obr. 440. Obr. 441.

Často užíváme pružin páskových nebo listových, obvykle upevněných na jednom konci (obr. 437), málokdy opřených na koncích (obr. 440). Upevnění je možné šrouby, nýty, zasazením a zatěmováním (obr. 480), pouhým sevřením (bez vrtání pružiny) příložkou jako na obr. 484, vzácně pouhým připájením. Na obr. 438 je znázorněna pružina opatřená ohnutou upevňovací patkou,

na obr. 439 jsou kontaktní pružiny relé (obr. 324); pružiny jsou odděleny
 isolačním materiálem a je jasné, že také upevňovací šrouby nebo nýty musí
 být izolovány navlečenou trubičkou. V kvalitním hodinářství (a v puškar-
 ství) se užívá masivních pružin rozmanitých tvarů, na př. jako na obr. 441
 nebo obr. 401, připevněných dvěma šroubky nebo šroubkem a količkem; tyto
 pružiny jsou pečlivě kaleny, přesto rády praskají, a výroba je poměrně drahá.
 Drátěné pružiny jsou levné a náhradní pružina se snadno zhotoví.

Hodinové pružiny

Přenosné hodiny všech druhů a přesnosti jsou poháněny pružinou, vždy
 ve tvaru pásku, který se navinuje na trn. S výjimkou strojů nejhrušších je
 pružina uzavřena v bubínku zvaném pérovník a v rozvinutém stavu přiléhá
 s předpětím na obvod bubínku; po natažení hodin je pružina těsně navinuta



Obr. 442.

Obr. 443.

na trn (obr. 443). Aby střední část pružiny tolik netrpěla, má se průměr trnu
 rovnat třetině světlosti pérovníku. Největšího počtu obrátek dosáhneme,
 jsou-li poměry před natažením a po něm jako a a b na obr. 443. Pak počet
 otáček, který máme k dispozici, je

$$n = 0,079 \frac{D}{t} \quad (14)$$

kde D je průměr pérovníku a t tloušťka pružiny. Rozvinutá délka je přibližně

$$L \doteq 0,35 \frac{D^2}{t} + D \quad (15)$$

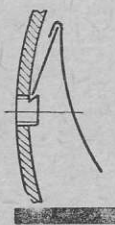
Průměrný hnací moment je podle zkušenosti přibližně (v g · cm)

$$M = K \frac{b \cdot t^3}{L} n, \quad (16)$$

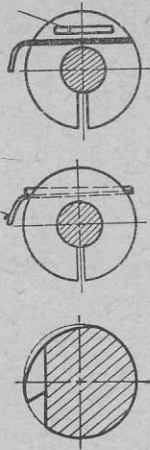
kde b je šířka pružiny v mm a $K = 10 - 14 \times 10^6$. Průběh momentu nata-
 hovacího a hnacího je znázorněn na obr. 442. Zdálnivá hysterese je způsobena
 hlavně třením závitů navzájem, které může vést až k slyšitelným skokům a
 projevit se vlnami na čáře. Proto má být pružina vyleštěna; tím se ostatně
 i oddálí vznik únavových trhlin; avšak pružiny hodiněk praskají takřka
 pravidelně, přes všechny pokroky ocelářství, neboť móda plochých strojků



Obr. 446.



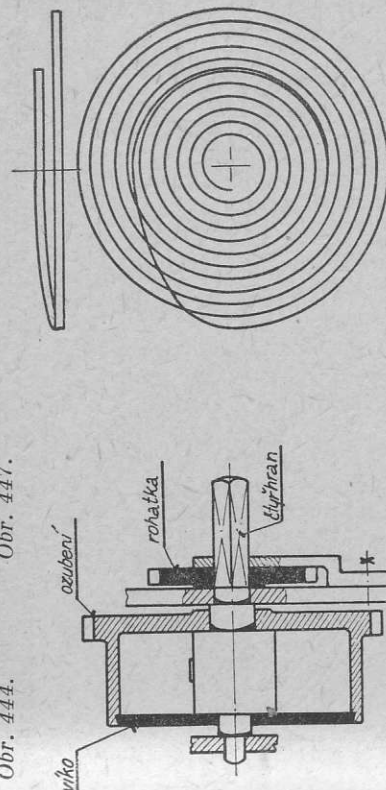
Obr. 447.



Obr. 448.

Obr. 449.

Obr. 450.

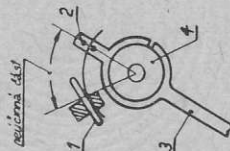


Obr. 445

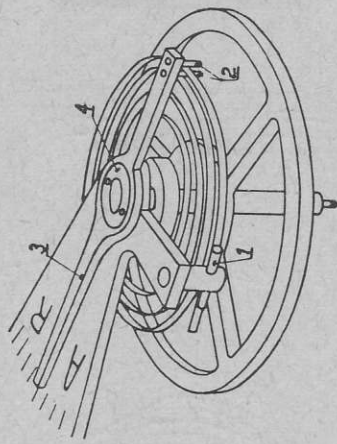
Obr. 451.

nutí konstruktéra, aby připouštěl namáhání značně přes mez pružnosti.
 Mnohem lépe se chovají pružiny z „Nivaroxu“. V nejhrušším provedení je
 pružina volná (obr. 444), klíčkou zachycená na sloupku stroje. Hnací ozubené
 kolo je na trnu otočné a s ním spojené západkou a rohátkou; to znamená, že
 při natahování nejenže stroj není poháněn, nýbrž je třením poháněn zpět.
 Proto u všech lepších strojů najdeme zavřené pérovník (obr. 445), otáčivý na
 trnu a opatřený ozubením, které pohání stroj. Při natahování nezmizí pohon
 stroje, lze tedy natahovat v libovolných intervalech, po případě i nepřetržitě,
 jako je tomu u některých hodin natahovaných Ferrarisovým motorkem nebo
 u náramkových hodiněk s natahováním samočinným. Pérovník je uzavřen
 vmačnutým víkem a vnější konec pružiny je zaklesnut dírkou, častěji zahá-
 kován přehybem (obr. 446) nebo opřen kouskem pružiny (obr. 447) o ozub do
 lubu zavrtaný nebo z mosazné stěny vyražený (obr. 446). Vnitřní konec má

vždy čtyřhranný otvor a je zachycen ozubem z trnu vyfrézovaným (obr. 448), u budíku jen vyseknutým (asi jako zub rašple). Na čtyřhranu trnu je záchytná rohátka; v hodinách zastává rohátka samo natahovací ocelové kolečko, západka je nejčastěji jako na obr. 337. Pružina je z kvalitní oceli, pečlivě zakalená a vyleštěná. Průřez může být $0,14 \times 1,0$ mm v dámských hodinkách, $0,4 \times 15$ mm v námořním chronometru, 1×30 mm i více u strojů velikých, na př. pro gramofon nebo chronograf. — Jak je vidět na obr. 442, průběh hnačícího momentu je silně proměnný a to nepřispívá k přesnosti chodu hodin. Proto se u kvalitních strojů užíválo a zčásti podnes užívá zařízení zvaného stavítko, které omezuje počet otáček trnu proti pérovniku obvyčejně na čtyři. Tím jsou z křivky vyřazeny oba konce a použije se jen její části mezi body A a B; pružina a převody se volí tak, aby hodiny šly asi 32 hod., při pravidelném natahování každých 24 hodin je kolísání momentu ještě zmenšeno. Námořní chronometry vyrovňávají moment ještě dokonaleji: na pérovník se navinuje řetizek, odvinovaný z t. zv. šneku, jehož poloměr se mění tak, aby součin z poloměru a tahu řetízku byl stálý. — Pro hodiny nepřenosné ovšem je nejlepší pohon závažím, který dává přesné konstantní hnačí moment.



Obr. 452.



Obr. 453.

Pro chronometrii stejně důležitý je vlásek, jemná spirální pružinka, která spojena s malým setrvačnickem čili setrvačkou, tvoří mechanický oscilátor, jehož kmitů počítá a jemuž energii ztracenou odpory stále dodává hodinový stroj. Spojení mezi strojem a setrvačkou obstarává krok, dnes (kromě námořních chronometrů) zpravidla kotvový podle obr. 381 a 382. Vlásek má v méně kvalitních strojích tvar Archimédových spirál, počet závitů bývá kolem 14; takový „plochý“ vlásek se rozvinuje a svinuje vždy excentricky, což není žádoucí pro přesnou regláž. Proto již v minulém století zavedl Bréguet formu lepší (obr. 451), které se pro lepší hodinky užívá všeobecně: vnější konec spirály je náhle nebo povolněji zahnut vzhůru a ke středu a přechází v kousek kružnice soustředné s osou; takový vlásek, dobře reglém upravený, pak „dýchá“ pěkně koncentricky. Námořní chronometry mají vlásek z pásku vlnutého ve šroubovici, poněvadž na axiálních rozměrech se

tam nemusí šetřit. Vnější konec vlásku je uklínován kuželovým količkem (obr. 453), vnitřní je stejným způsobem upevněn v rozříznutém prstýnku (obr. 449), nasunutém na hřídel setrvačky; velké vlásky jsou často zasazeny do výřezu v prstýnku a upevněny zásekem (obr. 450, sr. obr. 19). V jemné regláž mají velkou úlohu křivky, jimiž je vlásek k zakotvení přiveden; o těchto koncových křivkách je celá literatura theoretická a návodová, z níž se však čtenář nic nedozví, jak to vyhlášení regléri doopravdy dělají.

Materiál pro vlásky je nekalená ocel nebo bronz pro hrubší stroje, pro kvalitní stroje elinvar nebo lépe Nivarox ve spojení se setrvačkou nekompensovanou (monometalickou), pro stroje antimagnetické palladium, pro stroje nejpresnější speciální kalená ocel ve spojení se setrvačkou kompenzovanou. Vyroba vlásků (a stejné hnačích prujin) je záležitostí speciálních továren; vlásek bývá uváděn jako drastický příklad, jak lze hodnotu materiálu nesmírně zvýšit zpracováním.

Celkové uspořádání vlásku a setrvačky je naskizzováno na obr. 453. Vlások, upevněný količkem 1, prochází mezi dvěma količky 2, které jsou zasazeny v reglážní ručce 3, ta je rozříznutá a otáčí se s třením kolem kruhové destičky 4, v níž je krycí kámen ložiska podle obr. 230, 231. Količky 2 vyřazují počátek vlásku z činnosti (obr. 452), a poněvadž doba kyvu systému setrvačka-vlásek je

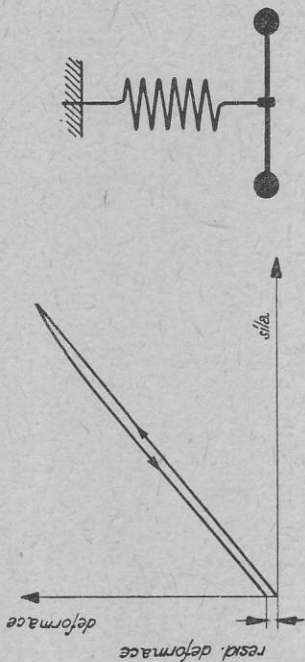
$$T = \text{konst.} \sqrt{\frac{l}{L}} \quad (17)$$

(l = rozvinutá délka vlásku), lze pootočením ručky chod hodin regulovat (polohy Avance — Retard). — Mezi vláskem a količky jsou stále relativní pohyby, a tedy i tření, což vnaší nepravidelnosti do chodu. Námořní chronometry proto nemají tuto regulaci a chod se upravuje malými změnami momentu setrvačnosti I setrvačky; ve Švýcarsku bylo provedeno vetknutí mezi dvěma válečky, jejichž pootočením lze vlásek prodloužit nebo zkrátit.

Měricí pružiny

Měricí pružiny mohou přímo měřit hledanou veličinu: jakoukoliv sílu nebo moment, (různé dynamometry neboli siloměry), odstředivou sílu (tachometry), sílu zrychlující (akcelerometry), tlak kapaliny (aneroid, tlakoměry). Často však je měření nepřímé a měricí pružina je konečným článkem řetězu přístrojů a následků. Na př. teplotu můžeme měřit termočlánkem, v němž jako funkce teploty — vzniká elektromotorická síla, budící — podle Ohmova zákona — proud v cílce galvanometru; tento proud působí na cívku momentem, jehož velikost měří jemná spirální pružina a výchylka této pružiny je pak — poněvadž řetěz se řídí přesnými zákony — měřítkem teploty. Pružina nějakého galvanometru nebo oscilografu je velmi často oním konečným článkem, poněvadž mnohé veličiny, o elektrických nemluvě, lze dnes s výhodou převést na měření napětí nebo proudu: síly, rychlost, zrychlení, tlak plynu, malé pohyby, pružné deformace zkoušených strojích součástí, teplotu, intenzitu osvětlení, velikost hluku atd.

Je jasné, že přesnost a neproměnnost měřícího přístroje závisí z velké části na vlastnostech pružiny, hlavně na zjevech *hysterese*. Jestliže zatěžujeme pružinu a pak ji odlehčujeme, dostaneme obecně křivku znázorněnou na obr. 454. Deformace při odlehčování jsou větší a po úplném odlehčení zůstane residuální deformace; tato deformace po několika hodinách nebo dnech z největší části zmizí (dopružování). Trvá-li měření delší dobu, rekneme půl



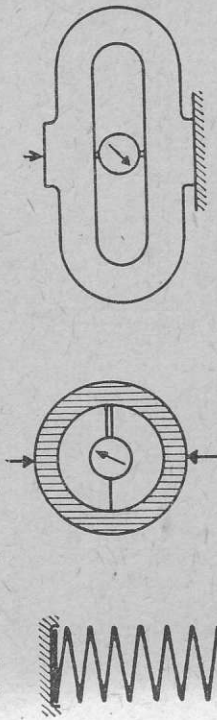
Obr. 454.

Obr. 455.

hodiny, sečítají se nám tyto residuální, číselně neznámé deformace s deformacemi novými — do měření se dostává nejistota, přesnost měření klesá. Někdy si můžeme pomoci tak, že přístroj cejchujeme, napodobujeme při tom očekávaný časový průběh zjevu. Na př. letadlový barograf cejchujeme před výškovým letem i po něm, snižujeme a zvyšujeme tlak vzduchu podle časového plánu, odpovídajícího rychlosti výstupu a sestupu letadla. Gravimetr, sestavený v Carnegie Institution dává chybu řádu 5×10^{-6} , ale chyba se dá snížit na 1×10^{-6} , provede-li se měření podle vhodného a vyzkoušeného časového plánu. Prvním požadavkem na pružinu tedy je, aby hysterese byla co nejmenší. Je-li pružina namáhána trvale (na př. v aneroиду, barografu), uplatňuje se creep, nulová poloha se mění, přístroj je třeba periodicky srovnávat s normálem. U pružin nejmenších (na př. závěsných páseků) často dochází ke změně nulové polohy spontánním (když pružina není zatížena!) a nepravidelným, způsobeným patrně molekulárními pohyby v materiálu; bývá to zejména u pružin tvářených za studena, mírným vyhrátím se věc značně zlepší. Z užívaných materiálů mívají citelnou hysterese a creep bronzy, pakfong a tvrdé zlato, mnohem lépe se chovají měď, bronz a nikl s přísadou beryllia, mnohdy dobře vyhovuje pružinová ocel tepelně zpracovaná, ještě o něco lepší a na teplotě prakticky nezávislý je Nivarox. Velmi malou hysterese i creep má tepelně zpracovaný wolfram, z něhož je měřící pružina ve zmíněném gravimetru. Rekord mezi všemi materiály má tavený křemen, u kterého splývá mez pružnosti v kroucení s mezí pevnosti; jeho creep je mnohonásobně menší než creep kteréhokoliv kovu, dopružování rovněž nejmenší.

Tvary měřících pružin jsou rozmanité, podle žádaného účelu. Síly od několika gramů nahoru lze měřit tažnou šroubovou pružinou podle obr. 432.

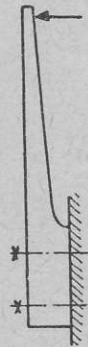
Výpočet známými metodami není právě přesný a pomáháme si buď tím, že podle potřeby změním převod na ručku, nebo tím, že pružinu zvenčí válcovitě obrusíme. Konce šroubových pružin se při deformaci vždy trochu proti sobě otáčejí, jak ukazuje zábavný pokus na obr. 455: Závaží na přičece se umístí tak, aby frekvence kmitů podélných a torsních byla stejná a pak si tyto kmity periodicky vzájemně předávají energii — vazbu zde obstarávají



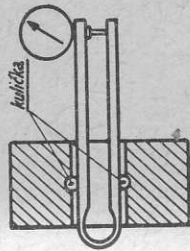
Obr. 457.

Obr. 458.

Obr. 456.



Obr. 460.

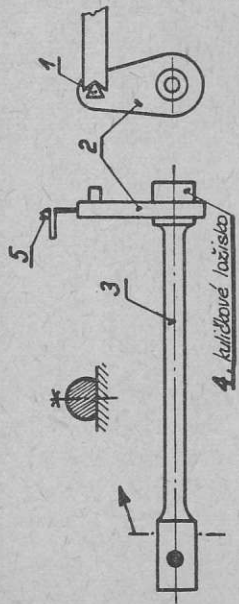


Obr. 459.

Obr. 461.

právě uvedené torsní pohyby. To nevadí u pružin tažných, poněvadž koncové háky dávají potřebnou pohyblivost. U tlačné pružiny mohou vzniknout nepravidelnosti, poněvadž dosedající konce mohou více nebo méně klouzat; neurčitost zmizí, ujmeme-li uložení na kuličce podle obr. 456 nebo ještě lépe kuličkového axiálního ložiska. Pro velké síly volíme masivní pružiny, na př. prsteny podle obr. 457; měřícími hodinkami měříme buď vodorovný, nebo svislý vnitřní průměr, sílu na prsten přenášíme nejlépe kuličkami. Na obr. 458 je znázorněna pružina pro cejchování zkoušecích strojů; deformace je měřena přímo malými hodinkami, přesněji lze ji měřit, zvětšíme-li ji kleštěmi podle obr. 459. Deformace těchto pružin je malá, několik málo milimetrů, zato vlastní kmitočet je vysoký. Jde-li nám o vysoký kmitočet (má-li pružina sledovat rychle se měnící síly), ujmeme i pro menší síly pružiny masivní, na př. na ohyb namáhané pružiny podle obr. 460, kterou najdeme v indikátorech pro rychloběžné pístové stroje. K měření malých momentů užíváme pružinek spirálních, vlásků; v galvanometrech tyto vlásky obstarávají též převod proudů do cívků, jsou tedy z bronzu a připájeny; pájení má vypadat jako na obr. 461a; steče-li pájka po pružině jako na obr. 461b, vznikne citelná elastická hysterese, poněvadž měkká pájka

je materiál takřka jen plastický. — Někdy se hodí zkrutná tyč; provedení na obr. 462 užil pisatel pro padostroj ke zkoušení podvozků v továrně „Letov“. Měření sil je hydraulické a malý měřicí píst působí krátkou vzpěrkou na brit 1, naražený do duralové páky 2, která je pak naražena na drážkovaný konec zkrutné tyče 3 (sr. obr. 22); tento konec je otočný v kuličkovém ložisku 4,



Obr. 462.

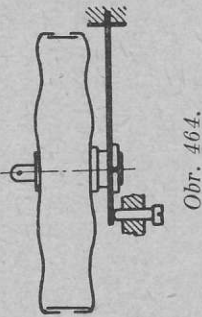
trnou vůli. Pružinou snad nejpřesnější je tyč namáhaná tahem, ovšem deformace je třeba silně zvětšovat. Jeden podobný dynamometr na 25 t, autorem navržený v „Avii“, měl citlivost 10 kg a dopružování nepozorovatelně malé.

Tlakoměrné pružiny

Tyto pružiny fungují současně jako snímač i měřič tlaku kapaliny nebo plynu. V nejjednodušší formě je to pouhá membrána, pevně a těsně šrouby přitlačena k přírubě (obr. 463). Rovná membrána jeví často nepravdělnosti („lupání“), daleko lepší je membrána soustředně zvlněná, které se již dávno užívá v provozních manometrech (obr. 463); malý průhyb se přenáší táhlem na ozubený segment otáčející ručkou. Není-li tlak veliký (ne přes 1 kg/cm²), lze dvě zvlněné membrány spojit podle obr. 464; takových bubínků, krabic, kapslí nebo „dóz“ užil Vidi pro aneroïd, dnes jich užíváme pro různé manometry, zejména pro letecké rychloměry, variometry, benzinoznaky, ukazatele kursu a j. Výhodné je, že odpadá těžké přírubové spojení a deformace je dvojnásobná. Původně byly bubinky považovány spíše za měchy a větší část tlaku byla vyvažována vnější pružinou. Dnes užijeme vhodného bronzu a silnějších stěn, a je-li bubinek dobře proveden, dává výsledky v praxi postačující i bez vnější pružiny. Původní způsob spájení, znázorněný na obr. 464, není správný, pájky je mnoho (a na namáhaných místech), což zvyšuje hysterezi. Dáváme přednost (zejména pro aneroïdy) spojení podle obr. 465. Ještě lepší výsledky slibují bubinky z oceli, tvaru na obr. 465, ne však spájené, nýbrž elektricky svařené (fa Negretti & Zambra). Je-li třeba většího zdvihu, spojí se dohromady, několik bubínků jichž prostory komunikují (obr. 466). Jsou-li bubinky evakuované (aneroïdy, absolutní tlakoměry), je připojena krátká trubička, která se pak zapájí cinem. Aby bylo možno ručku přístroje nastavit, bývají bubinky matkou připevněny na silné pružině, která s před-

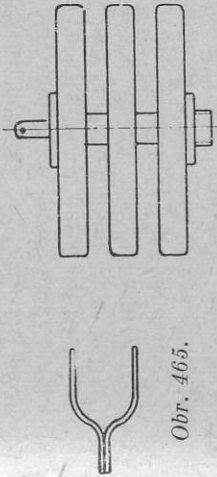
pětím tlačí na rektifikační šroubek (obr. 464); na druhé straně je připájena malá vidlička, k níž je drátěným čípkem připojeno převodní táhlo z tenkého plechu.

Místo spojených bubínků lze užít kovového měchu, znázorněného na obr. 467; takovito „sylvon“ je však handikapován tím, že musí být vyroben z materiálu spíše velmi tažného než dokonale pružného. Tyto měchy nejsou valně



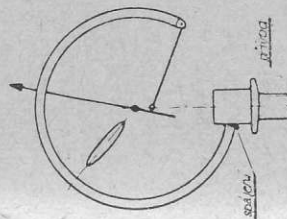
Obr. 464.

Obr. 463.



Obr. 465.

Obr. 466.



Obr. 468.

Obr. 469.

Obr. 470.

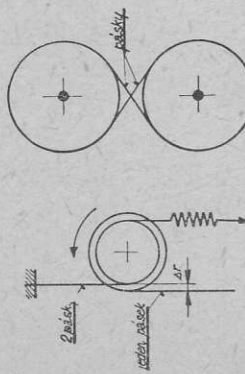
oblíbeny ani s vnější pružinou, zato se jich hojně užívá v různých servomotových a regulačních zařízeních, kde fungují jako dokonale těsný váleček s pístem. — Zato velmi důležité pro měřicí účely je Bourdonovo péro. Je to trubice oválného průřezu, tím sploštělejšího, čím menší tlak má měřit, a ohnutá do části kružnice; vnitřním přetlakem se zmenšuje toto ohnutí, konec trubice se vychýluje a výchylka přenesená na ručku je přibližně úměrná

přetlaku. Pro menší tlaky je trubice zahnutá jako na obr. 468; přímé spojení s rukou je běžné u manometrů přesných, kontrolních, u provozních dáváme přednost převodu jako na obr. 463 a kruhové stupnici. Pro vysoké tlaky je tvar jako na obr. 469. Někdy se setkáme s tubicí svinutou do spirály o několika závitách nebo naopak s pouhým krátkým segmentem. Pro tlaky asi do 70 kg/cm² se trubice dělají z měděných slitin, pro vyšší tlaky (sta atmosfer) z oceli, po příp. z plného materiálu vyvrtané, kalené. Nesnáze může činit volba materiálu, má-li se měřit tlak plynu silně korozivního. Pro laboratorní účely se též hodí forma podle obr. 470; Bourdonova trubice je šroubovitě zkroutená, vnitřním tlakem se rozkroutuje a na horním vodičím čepu lze přímo upevnit zrcátko k přesnému čtení (malých) pootočení. Výpočet Bourdonových pružin je dost nejistý, továrny, pokud je známo, pracují podle empirických dat; pokus o therii podal Lorenz v Z. d. VDI., roč. 1919.

Pružné pásky a vlákna

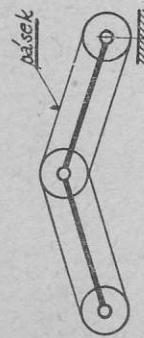
Přesné měření nepatrných momentů se řeší zavěšením měřícího orgánu na úzký kovový pásek, tenký drátek nebo na vlákno. Na obr. 471 je znázorněn závěs zrcadlového galvanometru: cívka se zrcátkem visí na pásku upevněném nahoře na otočné hlavě, aby se dala nastavit nulová poloha; pásek tvoří jeden přívod proudu, druhý tvoří jemná šroubová pružina. Pásek je z fosforového bronzu, zlaté slitiny, někdy mědi, a velmi tenký (na př. 0,02 × 0,3 mm); pro nejcitlivější galvanometry se dnes užívá křemenných vláken, přívod proudu obstarávají dva úzké proužky pozlátka. Pro přístroje je méně citlivé a zejména provozní je výhodnější závěs mezi dvěma páskými, které přirozeně fungují jako přívoody proudu, a jsou napjaty pružinkou (obr. 472);

příčinou menší citlivosti není napětí pásků (to zvětší konstantu rádové o pět procent), nýbrž to, že pásky jsou dva a krátké. Pro závěsy dlouhé lze užít tenkých drátů; takto byly zavěšeny torsní váhy, jimiž určil Cavendish gravitační konstantu a tím i hmotu země a sluneční soustavy. Pro nejjemnější závěsy se dříve užívalo Wollastonových drátků

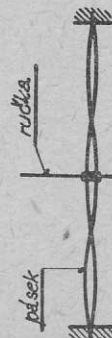


Obr. 473.

Obr. 474.



Obr. 475.



Obr. 476.

Obr. 471. Obr. 472.

nebo i hedvábných vláken, dnes převládá vlákna křemenná, která lze učinit vodivými povlakem platiny (kathodicky ve vakuu). Vlákna mohou nahradit břity pro jemné mikrováhy; vážky Petersonovy, zavěšené na křemenných vláčkách, mají síce nosnost jen 0,1 g, zato však rekordní přesnost 10⁸ až 10⁹.



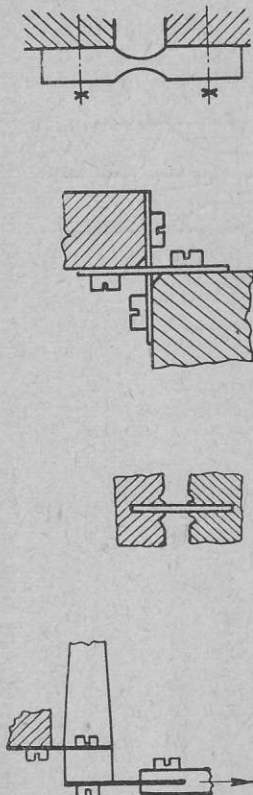
Obr. 478.

Použitelnost kovových pásků je rozmanitá. Na obr. 473 je zařízení, jímž se přesně a bez vřile zvětšují malé pohyby; zatahne-li se za spodní pásek, váleček se otočí tak, jako by to byla páčka o rameni Δr , a tak lze dosáhnout zvětšení až 350. Jméno řešení (Johansson) na obr. 476 užívá pásku zkroutěného. Pro převádění malých úhlových pohybů lze místo ozubených kol užít pásků. Na obr. 474 je převod 1 : 1, na obr. 478 převod nelineární, který lze takto snadno realizovat; vždy je třeba, aby pásky nebyly poškozené a aby kotouče nebyly znečištěny prachem a pod. Kreslicí přístroje Paulin mají místo paralelogramů (obr. 201) páskový systém, obr. 475; pásky se napínají tím, že se rozpěrné tyče prodlouží rektifikačními matkami. Elegantní aplikace pásků jsou sklonné váhy systému Toledo, i u nás vyráběné. Kyvadla jsou dvě, celý mechanismus je souměrný a tím necitlivý na malé chyby v postavení vah (obr. 477); aby svislý pohyb přčky p byl úměrný síle F , jsou větší segmenty nekruhové. Užitím pásků a malých kuličkových ložisek se tření tak zmenší, že citlivost měřícího systému je pod 0,1 % rozsahu.

Pružinové klouby

Tyto klouby jsou vhodné tam, kde úhlové pohyby jsou malé a kde nevedí direktní moment vyvolaný deformací kloubu. Tření zde přirozeně odpadá a uložení je bez vřile. Několik příkladů bylo již vlastně uvedeno: na obr. 345, 377, 459, 476 jsou součásti, které konají úhlové pohyby a jsou nesený jen pružinami. Páky v měřících přístrojích mohou být uloženy podle obr. 479; pružiny jsou zde taženy, lze však užít i pružin tlačných, zalisovaných a zatěmovaných, jako na obr. 480. Přesně osu otáčení určuje a síly (ovšem neveliké) všech směrů přenáší kloub se zkríženými pružinami na obr. 481; pružiny jsou buď tři vystřídané, nebo, je-li širka kloubu velká, dva páry zkrížených pružin. Ještě dokonalejší, ale pro výrobu mnohem pracnější je kloub se třemi

systemy pružin, ležících v rovinách, které se kříží v úhlu 60° . Jsou-li pohyby nepřetržité, stačí kloub podle obr. 482, vyřezovaný z kusu oceli a schopný přenášet veliké tahy i tlaky; často je upotřeben pro převodové páky siloměrného

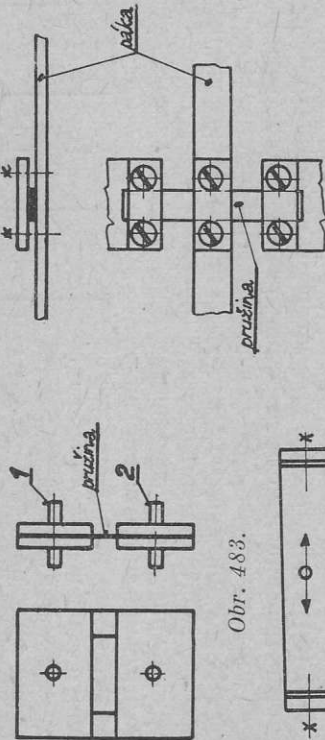


Obr. 479.

Obr. 480.

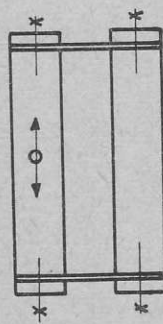
Obr. 481.

Obr. 482.

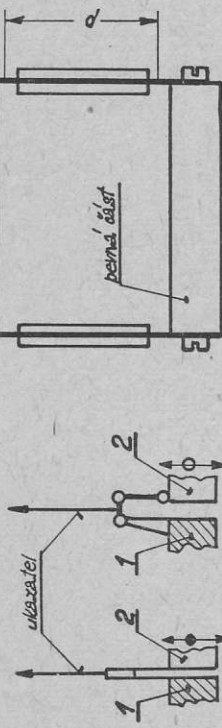


Obr. 483.

Obr. 484.



Obr. 485.



Obr. 488.

Obr. 487.

zařízení v aerodynamickém tunelu. — Kyvadla všech slušnějších hodin se pohybují v pružinovém závěsu, obr. 483; dvě slabé pružiny (0,05—0,1 mm, u věžních hodin až 0,3 mm) jsou zanýtovány mezi přesné rovnými plechy, ko-

líkem *I* závěs spočívá na pevné konzole, na kolík *2* se zavěsí rozvířilý hák na konci kyvadlové tyče. — Na obr. 484 je páka jemného relé uložena na páskové pružině torzní, držené příložkami, která zároveň funguje jako pružina vratná.

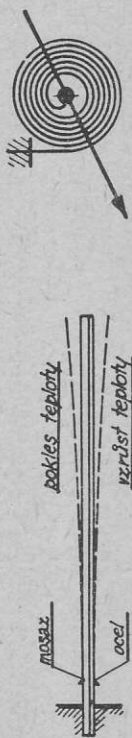
Přibližně přímé vedení na obr. 202 lze nahradit vedením dvěma pružinami, obr. 485. Pohyb je translační proto, že obě pružiny totožné a týmž způsobem upevněné mají také totožné ohybové čáry. Vedení je bez vůle, přesné a hodí se na př. pro uložení tykadla v komparátoru. Za zmínku stojí, že toto zařízení může sloužit jako dobrý pružinový dynamometr, reagující prakticky jen na síly (na obrázku) vodorovné. Je-li třeba pohybu delšího, vyšší by pružiny dlouhé a málo stabilní; pomůžeme si tím, že pružiny vyztužíme přístřobovými nebo přínýtovanými příložkami (obr. 488). Odchylku od přímky vypočítáme z rovnice (3) do níž za *R* bereme míru *p*.

Pěkné zařízení k zvětšení malých pohybů mezi součástmi *1* a *2* je na obr. 486. Na každou součást je připevněna krátká pružinka, mezi konci pružinek je upevněn ukazatel; zařízení funguje jako náhradní mechanismus, znázorněný na obr. 487. Lze tak dosáhnout zvětšení 300; pohyb ručky lze na př. projekčním mikroskopem zvětšit stokrát, takže celkové zvětšení je 30 000, t. j. pohyb 1 mikron vyvolá pohyb světelné značky o 30 mm. Aplikováno pro komparátor N. P. L. ke kontrole koncových měrek. Týž mechanismus, jak již bylo uvedeno, představuje úplný dynamometr bez pohyblivých částí, bez ložisek, dokonale spolehlivý (část 2 vedeme podle obr. 485).

Namáhání pružin

Pružiny šroubové ve strojnictví bývají namáhány na 35 kg/mm², někdy (pružiny ze speciálních ocelí) se jde výše — na 70 kg/mm², na př. u letadlových podvozků. Pro měřicí pružiny je to mnoho, není radno jít přes 15 kg/mm², podle možnosti je ještě lépe zůstat na 10 kg/mm². Pružiny vinuté ze *strunového* drátu jeví zřetelnou hysterese již při 10 kg/mm². Tytéž pružiny vyhoví zpravidla velmi dobře, necháme-li je stejnoměrným zahrátím naběhnout do barvy fialové nebo tmavě modré, což se ostatně doporučuje pro všechny pružiny vyrobené touto metodou, užitečnou i pro laboratorní improvisaci. Stejně dimenzujeme *zkrutné tyče*. Pružiny *tyčové* lze namáhat takem (po příp. tlakem) bez obav na 20 kg/mm². Stejně vysoko lze namáhat pružiny *ohýbané*. Dlužno dodat, že uvedené hodnoty jsou brány opatrně; chování pružin závisí silně na jejich zpracování a v důležitých případech je nejlépe provést soustav-
né zkoušky, zejména tehdy, jde-li o seriovou výrobu nebo jsme-li nuceni pružinu namáhat silněji. Namáhání hnací pružiny hodinové je dáno poměrem *D/d* (viz str. 128), který bývá 70—120, čím vyšší — tím lépe. Nejsme-li vázání rozměry (nejhorší případ: ploché hodinky), volíme pružinu tenkou a širokou. Výpočet namáhání je lépe neprovést, poněvadž stejně vyjdou namáhání nepřipustně vysoká. Namáhání vlásku je sice opakované a sinusové, ale vždy lekulárními změnami zřetelně zvyšuje svůj modul pružnosti a že tím vzniká *t. zv.* trvalá akcelerace.

Výpočtu jsou těžko přístupny membrány, bublinky a též Bourdonova péra. Pracuje se proto podle empirických dat. U nás se zabýval soustavnými zkouškami bublinků Ing. Dr. Duda, který používal zkoušecího zařízení své konstrukce. Namáhání pružinových kloubů vychází pravidelně malé, na př. u závěsů kyvadlových je řádu 10 kg/mm². Rovněž nízké je namáhání páskových závěsů galvanometrů. Zmíněný pásek bronzový má průřez 0,006 mm²;



Obr. 489.

připustíme-li namáhání 8 kg/mm², snese pásek 48 g a tolik neváží žádný cívkový systém. Poměrně vysoko se jde (a může jít) u tenkých křemenných vláken; tabulka jejich pevnosti byla uvedena na str. 29. Bezpečnost stačí pětinasobná, je-li přístroj opatřen aretačním zařízením a je-li vlákno zavěšeno na jemné listové pružince.

Bimetalické pásky

Spojme-li dva pásky z materiálů o nestejné tepelné roztažnosti (obr. 489), obdržíme pásek, jehož zakřivení se pochopitelně mění s teplotou. Pásek je obecně ve stavu vnitřního napětí; značné je napětí ve spojovací ploše, nestací proto snýťování, nýbrž pásky musíme na tvrdo spájet nebo svařit. Theorie učí, že tloušťky pásků mají být v převráceném poměru modulů pružnosti, v praxi se dávo pro kombinaci mosaz-ocel užívá poměru 3 : 2. Tato kombinace se udržela u kompenzačních setrvaček, jinak speciální továrny dodávají pásky z ferro-niklových slitin, svátené ve válcích a citlivější. Aplikace „bimetalů“ jsou mnohostranné. Pásek na obr. 489 může svým pohyblivým koncem působit na nějaké regulační zařízení, uzavírat topný proud, jde-li o udržování stálé teploty, nebo pohybovat ručkou, čímž máme kovový, nepřilís přesný teploměr. Citlivost pásků se udává změnou poloměru křivosti, pro praxi je pohodlnější údaj ohnutí pásku vetknutého, dlouhého 100 mm a tlustého 1 mm; hodnota bývá 0,11 až 0,13 na 1° C. Obecně pro délku L a tloušťku t mm je ohyb na konci pásku přibližně

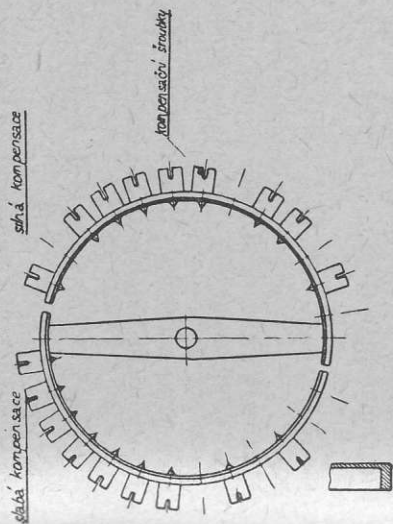
$$h = 0,000012 \cdot L^2/t \quad (\text{mm}) \quad (18)$$

Potřebujeme-li velký pohyb, dáme dlouhému pásku tvar spirály (obr. 490). Známé jsou teploměry tohoto druhu; je lhostejné, který konec spirály je zakončen a který nese ukazatele. Jako orgány měřící jeví bimetalové cítenou hysterese a změny nulové polohy; je to přirozený důsledek neustálých vnitřních napětí.

Kompensace

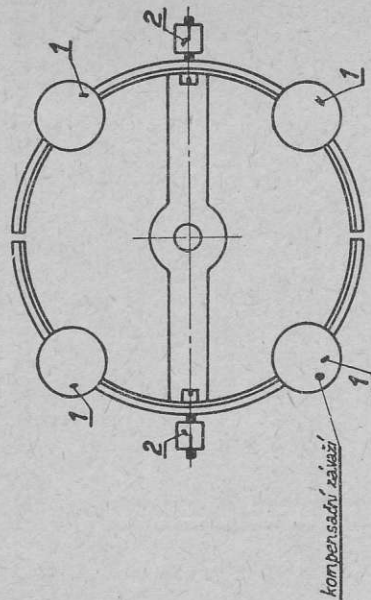
V mnohých případech je v měřicí technice třeba rušivé vnější vlivy (změna teploty, tlaku vzduchu a pod.) vhodným zařízením více nebo méně odstranit tím, že je nějakým opačným účinkem vyrovnáváme čili kompenzujeme. Nejčastěji jde o vlivy teplotní, které jsou zvláště závažné v chronometrii.

Veliký je vliv teploty na chod hodin se setrvačkou a s vláskem: 11 sekund za den na každý stupeň Celsiův. Z toho asi 10 sek je zavíněno poklesem modulu pružnosti vlásku. Jak vyplývá z rovnice (17), kompenzovat lze dvojitým způsobem: změnou účinné délky vlásku nebo změnou



Obr. 491.

momentu setrvačnosti setrvačky. Prvního způsobu — bimetalický pásek působící na regulační kuličky 2 na obr. 452 — dnes se již neuvívá, jak to zavedl před půl-druhým stoletím Earnshaw: věnec setrvačky je bimetalický, uvnitř (v celku s rameny) ocelový, vně mosazný a na dvou místech rozříznutý. Zvýšením teploty se tedy volné konce věnce ohýbají dovnitř, moment setrvačnosti se zmenšuje. Aby účinek byl větší a dal se regulovat, je větší část hmoty věnce tvořena kompenzačními závažkami. Ta mají v kapesních hodinách tvar šroubků (obr. 491), kterých je méně, než je vývrtů se závitem ve věnci. Je-li tedy kompenzace nedostatečná, stěhuje regulér šroubky k rozříznutému konci (na obr. 491 pravá strana), je-li přílišná, stěhuje je k rameni (levá strana). Veliké a těžké setrvačky námořních chronometrů mají kompenzační závaží po věnci posuvná, na obr. 492 jsou kromě těchto závaží 1 patrné matky



Obr. 492.

2, rozřezané a napružené, jimiž lze provést zmíněnou změnu momentu setrvačnosti.

Doba kyvu kyvadla (v chronometrii se z praktických důvodů udává vždy trvání poloviční periody!) je

$$T = \pi \cdot \sqrt{L/g}, \quad (19)$$

kde L je redukovaná délka, t. j. délka ekvivalentního kyvadla matematického, daná výrazem

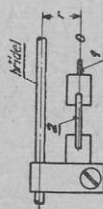
$$L = \frac{I}{D} = (\int r^2 \cdot dm) : \int r \cdot dm \quad (20)$$

kde m je hmota, r její vzdálenost od závěsu (v praxi stačí uvažovat tyč kyvadla jako hmotnou přímku a čocku jako hmotný bod; chyba bývá v mezích 0,2%).

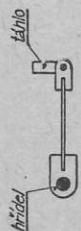
Změna doby kyvu kyvadla zhotoveného z jednoho materiálu se tedy (relativně) rovná polovině koeficientu tepelné roztažnosti; pro kyvadlo železné je změna asi $5,5 \times 10^{-6}$, což za den činí

$$86\,400 \times 5,5 \times 10^{-6} = 0,48 \text{ sec.}$$

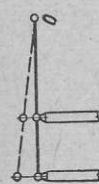
To je přípustné pro hodiny hrubé, jinak kyvadlo musí být kompenzováno. To lze provést jen tak, že kyvadlo je uděláno z materiálů různé roztažnosti. Užívalo se kombinace ocel—zinek, ale upustilo se od ní, protože konstrukce byla složitá a zinek jeví značný creep. Šťastná byla myšlenka Grahama, a



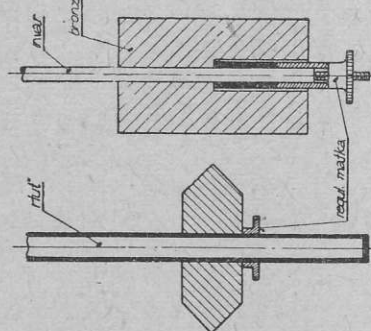
Obr. 493.



Obr. 494.



Obr. 495.



Obr. 496.

Obr. 497.

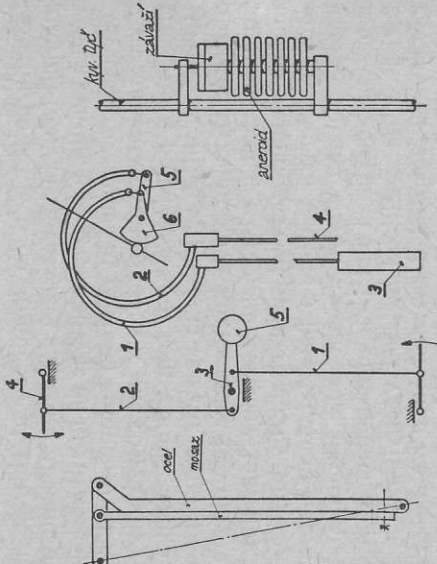
kombinace ocel—rtuť. Kyvadlo má ocelovou tenkou tyč a dole místo čocky dvě i více skleněných nádobek, lépe jedinou železnou nádobku se rtuť (váha řádu 6 kg). Ještě lepší je způsob udaný Grahamem, ale bezvadně realizovaný Rieflerem pro nejpřesnější stroje: kyvadlová tyč, delší než obvykle, je z tenkostěnné ocelové trubky a do dvou třetin naplněná rtuť (obr. 496). Zlepšení je v tom, že rušivý vliv i kompenzující vliv je rozložen po většině

délky kyvadla, kompenzace je proto dobrá, i když teplota podél kyvadla je trochu proměnná. Dnes se užívá všeobecně invaru, nejlépe v provedení známém na obr. 497. Čocka je podepřena ve svém těžišti kompenzační trubkou, sestavenou z kousku ocelového a mosazného; jejich poměrné délky se určí podle roztažnosti jednotlivé invarové tyče. To, co bylo řečeno o invaru na str. 18, uplatňuje se zvláště nepřijemně u kyvadel; nejpravdělněji se chová tyč z taveného křemene, se kterou je jiná starost — aby kyvadlo nebylo překompensováno.

Modul pružnosti měřících pružin se zmenšuje o 0,02—0,03%, stoupne-li teplota o 1° C, tedy o 0,2—0,3% při změně o 10° C. To může vadit tam, kde změny teploty jsou značné. Jako příklad uvedeme aneroidy. Pro účely meteorologické stačí kompenzovat tím, že bubínky nejsou plně evakuovány, takže zbylý plyn mění tlak s teplotou. To stačí pro přístroj podléhající malým tlakovým změnám, ale nestačí pro letecký výškoměr, měřící v rozmezí tlaku aspoň 760 a 300 mm Hg. Pak je nutno zavést kompenzaci tím, že se mění některé rameno v převodu z pružiny na ručku. Na obr. 493 je čípek 1, na nějž působí táhlo, nesen bimetalickým páskem 2 a změnami teploty se tedy mění rameno r ; stupeň kompenzace lze po příj. měnit natáčením pásku kolem osy 0. Někdy je třeba opravy additivní, t. j. přesunovat nulovou polohu, a pak můžeme páčku udělat jako na obr. 494; účinek bimetalu je takový, jako by se změnila délka táhla, rameno se nemění.

Ještě lze dvě tyče nestejně roztažené spojit pákou (obr. 495), pak — za předpokladu, že roztahování je úměrné změně teploty — existuje bod 0, který výšku nemění. Toho se dá užít pro konstrukci táhla neproměnné délky (obr. 498); podobných pákových konstrukcí se dříve užívalo též pro kompenzace kyvadel a přesných měřitek geodetických.* Konstrukce však bývá členitá, tření značné, což snadno vede ke „skokům“ (i vláknou chladnoucího rtuťového teploměru se smrštuje často viditelnými skoky!). Jiná kompenzace táhlového řízení je na obr. 499; jsou-li táhla 1 a 2 stejně dlouhá, změny teploty způsobí pootočení páky 3, ne však pohyb řízené páky 4, a dáme-li závaží 5 na druhou stranu, stačí místo táhel dráty (řízení semaforů).

* Na obr. omylem zaměněna označení mosaz—ocel!



Obr. 498. Obr. 499. Obr. 500. Obr. 501.

Na obr. 500 vidíme dálkový rtuťový teploměr. Na Bourdonovo péro 1 mají vliv nejen objemové změny rtuti v nádobce 3, nýbrž i změny ve spojovací trubici. Vzniklou chybu kompenzuje druhá kapilára 4, souběžná s prvou a působící na Bourdonovo péro 2, které natáčí pákou 5, která je otočná kolem osy ručky a nese uložení převodového segmentu 6. Takových pákových diferenciálních mechanismů užíváme v měřící technice často. — Na kyvadlo má vliv též barometrický tlak; stoupnutí o 10 mm Hg zpozdí hodiny průměrně o 0,18 sek za den. Tento vliv lze eliminovat tím, že hodiny se dají do vzduchotěsného pouzdra, nebo kompenzovat tím, že se na kyvadlovou tyč upevní aneroid (obr. 501), zatížený závažím; aneroid je nejučinnější, je-li blízko závaží kyvadla, a jeho účinnost se dá měnit změnou závaží.

V elektrotechnice bývá třeba kompenzovat změny vodivosti nebo indukce v permanentních magnetech a jiné rušivé vlivy; to se dělá metodami elektrickými a pojednává se o tom v knize Trnka, Elektrické měřící přístroje. Rovněž v optice se setkáváme se zařízeními, jimiž se kompenzují rušivé vlivy optické. Význam slova kompenzace je vůbec široký. Mluvíme o přístrojích kompenzačních, které jsou zařízení tak, aby opakovaným měřením bylo možno vykompenzovat některé chyby přístroje (příklad: kompenzační platinometr, kterým měříme s pólem jednou napravo a po druhé nalevo a tím kompenzujeme chybu způsobenou šikmou polohou integračního kolečka). Konečně mluvíme i o měřících metodách kompenzačních, zejména v elektrotechnice: na rozdíl od metod výchylkových, jsou to metody nulové, vyrovnávací. Na příklad termočlásku lze užít dvojím způsobem: buď ve spojení s galvanometrem, jehož výchylka je pak funkcí teploty, nebo elektromotorickou sílu termočlásku vyrovnáváme — kompenzujeme — silou opačného znaménka, kterou přesně nastavíme oceňovaným potenciometrem, a galvanometr pak funguje jako jazýček u vah.

Optické pomůcky

Jak již bylo řečeno, jemnou mechaniku nelze odloučit od optiky. Proto zde budou zopakovány základní věci z geometrické optiky a základní poučky o ostatních optických pomůckách, s nimiž se stále setkáváme u měřících strojů. Pro další studium možno doporučit předně příslušné kapitoly v *Nachrichtalen* Fysice, dále knihy:

Hajda — Vogel — Král: Praktická optika,

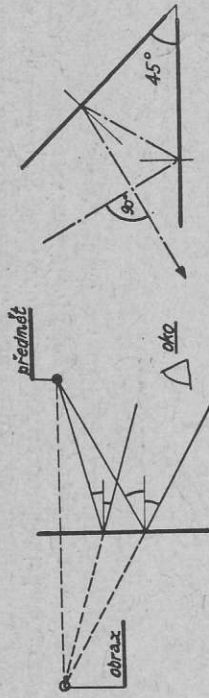
J. Hajda: Technická optika,

Mazurek: Základy praktické optiky.

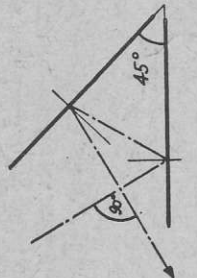
V *geometrické optice* se nestaráme o *fyzikální* podstatu světla; předpokládáme, že světlo se šíří přímočaře, a chod paprsků sledujeme metodami geometrickými, v podstatě jednoduchými, v praxi ovšem často velmi pracnými. To stačí pro optické pomůcky, jako je záměrný dalekohled nebo odcítací mikroskop, nestačí však pro mikroskopy silně zvětšující (tam je důležitý ohyb světla) nebo pro interferometr nebo polarimetr, kterážto přístroje jsou založeny právě na vlnové povaze světla.

Rovinné zrcadlo

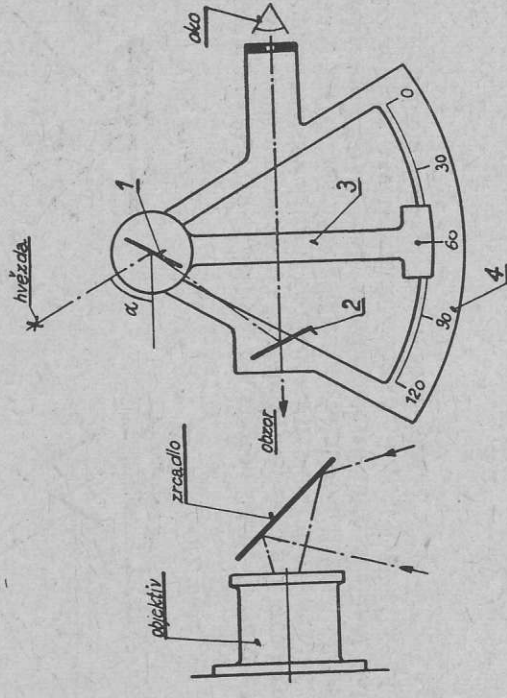
Ze známého zákona o rovnosti úhlu dopadu a úhlu odrazu vyplývá konstrukce obrazu na obr. 502. Obraz je k rovině zrcadla souměrný s předmětem, stranově převrácený („zrcadlový obraz“) a dokonale — zrcadlo je jediný optický přístroj zobrazující bez vad. Dvě zrcadla svírající úhel 45° odchylují paprsek dvojnásobkem o 90° (obr. 503); malé pootočením změní tento úhel, proto můžeme takovým úhlovým zrcadlem v geodesii vytyčovat pravé úhly. Zrcadla nakloněného v úhlu 45° se užívá ve fotografii k převrácení obrazu při reprodukci (obr. 504) a v zrcadlových komorách, ať starších „jednookých“ nebo novějších „dvooukých“, jako je naše „Flexaret“.



Obr. 502.



Obr. 503.

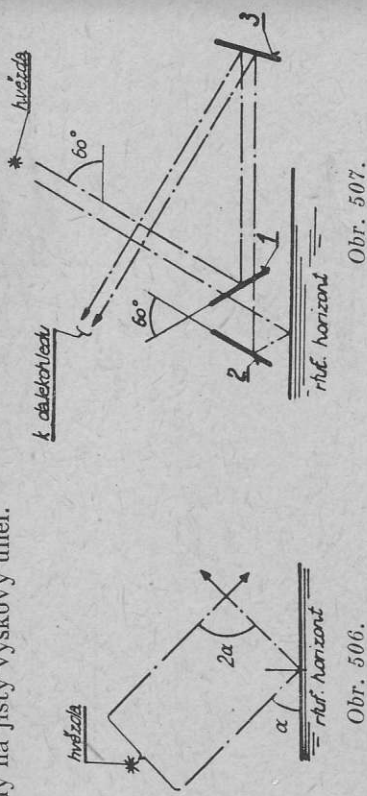


Obr. 504.

Důležitou aplikací představuje zrcadlový *seclant*, kterým námořníci měří výšku hvězd nad obzorem. Na pohyblivé palubě nelze užít úhlového stroje s pevným stativem; je třeba stroje, který se drží v ruce a kterým lze současně zacílit na hvězdu a na obzor. Paprsky hvězdy se odrazí od pohyblivého („indexového“) zrcadla 1 (obr. 505), a po druhé od pevného zrcadla 2 do oka

Obr. 505.

(ve skutečnosti se díváme slabým dalekohledem); paprsky od obzoru jdou přímo vedle zrcadla 2. Pozorovatel otáčí alhidádou 3 se zrcadlem 1 tak dlouho, až obrazy hvězdy a obzoru splynou; pak otočení alhidády je $a/2$, a vernierem se odečítá na dělení 4, které zaujímá šestinu kruhu (odtud název stroje), ale je číslováno od nuly do 120°, aby se četl přímo výškový úhel a . Je-li mlhavo a není-li obzor vidět, lze si pomoci umělým horizontem rtuťovým nebo kličejším olejovým. Začítáme na paprsky jdoucí přímo od hvězdy (obr. 506) a paprsky odražené hladinou, úhel mezi oběma směry je 2 a . Obr. 507 je princip Nušl—Fričova cirkumzenitálu, kterým lze přesně určit okamžik, kdy hvězda před kulminací a po ní dosáhla jisté výšky, na př. 60°; tímto přenosným strojem bylo u nás dosaženo výsledků stejně přesných, jako dříve velikými a pevně uloženými stroji pasážními. Jsou tu dvě pevná zrcadla 1, 2, rtuťový horizont a zrcadlo 3, odrážející obojí paprsky do dalekohledu s mikrometrem. Jak z chodu paprsků je vidět, stroj funguje v podstatě jako sextant, předem nastavený na jistý výškový úhel.



Obr. 506.

Obr. 507.

Zrcadla mohou být kovová, leštěná, častěji jsou skleněná. Odrážná vrstva (stříbrná nebo hliníková) může být na zadní straně skla, pak zrcadlo dává při šikmém dopadu nežádoucí druhý slabší odraz na skle, nebo je na přední straně a pak kovová vrstva, zejména stříbrná, trpí atmosférickými vlivů. Z toho důvodu nahrazujeme rádi malá zrcadla odraznými hranoly. V konstrukci velkých dalekohledů, osvětlovacích, zařízení a j. jsou důležitá zrcadla zakřivená, kulová, parabolická, eliptická, hyperbolická.

Hranoly

Prochází-li paprsek rozhraním mezi dvěma prostředními opticky různými, láme se podle zákona Snellova (obr. 508):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad (21)$$

kde n_1, n_2 jsou indexy lomu obou prostředí. Jednotkový index lomu má vakuum a prakticky i vzduch (1,00029), optická skla mají indexy lomu 1,46—

—1,92. Je lhostejné, kterým směrem světlo jde, a říkáme, že se světlo láme ke kolmici dopadu, vchází-li do prostředí opticky hustšího, a naopak. Je-li jedním prostředním vzduch, zákon zní:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n, \quad (22)$$

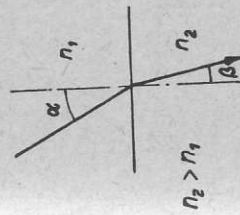
kde n je index hustšího prostředí (skla). Rovnice (21) je fundamentální a celá geometrická optika je jen její aplikace. Důležitý je úhel β , k němuž přísluší úhel $\alpha = 90^\circ$. Tento mezní úhel — je dán vztahem

$$\sin \alpha = 1 \quad \sin \beta = \frac{1}{n}. \quad (23)$$

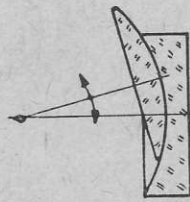
Překročí-li se tento úhel, paprsky se ze skla vůbec nedostanou ven, nýbrž se beze zbytku odrazí zpět; to je úplný odraz, totální reflexe. Mezní úhel je pro různé optické materiály různý:

korunové sklo	$n = 1,51$	$\beta = 41,5^\circ$
těžké flintové sklo	1,72	34,2°
diamant	2,4	24,5°

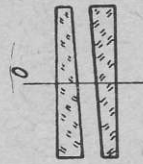
V praxi užíváme hojně hranolů. Bud jich užíváme k tomu, abychom paprsky odchýlili o žádaný úhel, pak mluvíme o kličech; potřebujeme-li klin s lá-



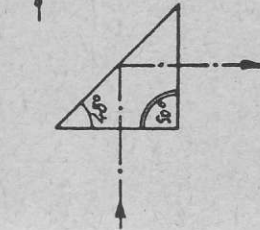
Obr. 508.



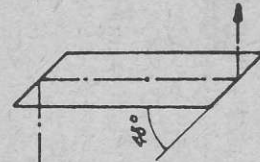
Obr. 509.



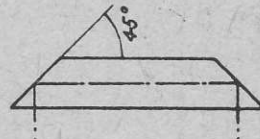
Obr. 510.



Obr. 511.

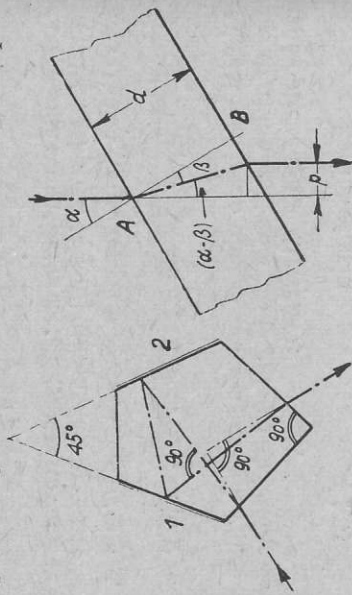


Obr. 512.



Obr. 513.

mavosti proměnnou (dálkoměry), sestavíme jej ze dvou čoček z téhož skla (obr. 509), kulových nebo válcových, nebo (obr. 510, diasporametr) ze dvou klínů, které lze kolem osy θ natáčet v opačném smyslu. Nebo využijeme totální reflexe v hranolcích odrazných. Nejjednodušší je hranol pravouhlý (obr. 511), nahrazující úplně a výhodně malé zrcadlo. Na téměř přímci je založen hranol rhombický (obr. 512), kterým paprsek posune bez další změny, nebo hranol lichoběžníkový (obr. 513), který paprsek posune, vrátí zpět a převrací obraz. Zrcátka na obr. 503 lze nahradit podle obr. 514 *pentagonálním* hranolem; zde však odraz není úplný a plochy 1 a 2 jsou proto postříbřeny.



Obr. 515.

Obr. 514.

Zvláštní případ klínu je *planoparalelní deska*, obr. 515. Obrázek 508 se při výstupu světla ze skla opakuje v opačném smyslu a výsledek je ten, že paprsek zachovává původní svůj směr, ale je posunut stranou o délku p , kterou dostaneme tím, že promítneme tloušťku desky d

$$p = \overline{AB} \sin(\alpha - \beta) = \frac{d \cdot \sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta} \quad (24)$$

nebo zavedeme-li rovnici (22)

$$p = d \cdot \sin \alpha \left[1 - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right] \quad (24a)$$

Pro malé úhly lze psát

$$p \doteq d(\alpha - \beta) \doteq d \cdot \alpha(1 - 1/n). \quad (25)$$

Posunutí je úměrné úhlu dopadu a pro obyčejné sklo ($n \doteq 1.5$) činí $\alpha d/3$. Aplikuje se všude tam, kde v měřicí technice potřebujeme záměrnou přímkou nebo obraz posunout o měřitelnou hodnotu.

Kromě uvedených jsou ještě různé složitější hranoly a hranolové systémy, jimiž vytváříme spektrum, převracíme obrazy (hranolová kukátka), odchylujeme svazky paprsků se současným převrácením obrazu atd. Materiál je vždy bezvadné optické sklo, přesně broušené a opticky dokonale vyleštěné; úhlové tolerance jsou někdy jen pouhé sekundy, a výroba je tedy nesnadná a drahá.

Čočky

Všechny optické přístroje obsahují čočky různých druhů a v různém sestavení. Pro nás má zvláštní význam *čočka spojná*, obecněji řečeno taková kombinace čoček, která se navenek chová jako spojka (více nebo méně zbavená optických vad jednoduché čočky), a tedy je schopna vytvořit reálný obraz předmětu — reálný v tom smyslu, že může být zachycen na stíntku nebo na fotografické desce a být předmětem pro další spojný systém. Pro zobrazování platí tyto předpoklady: a) paprsek rovnoběžný s osou se láme do ohniska; b) paprsek jdoucí ohniskem se láme do směru s osou čočky rovnoběžného; c) paprsek jdoucí středem čočky se neláme vůbec. Pak zobrazování tenkou spojkou vypadá jako na obr. 520; z podobnosti trojúhelníků lze odvodit známý vztah

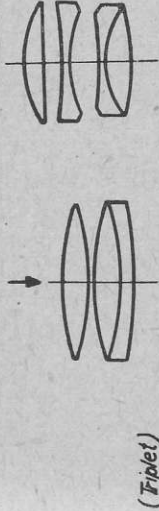
$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (26)$$

platný pro čočky tenké, přibližně i pro čočky achromatické (obr. 516), méně přesně ovšem pro tříčočkový systém podle obr. 517, tím méně pro spojné



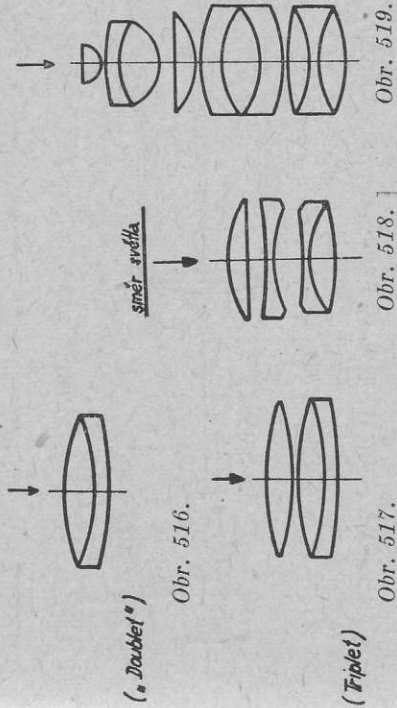
Obr. 516.

(„Doublet“)

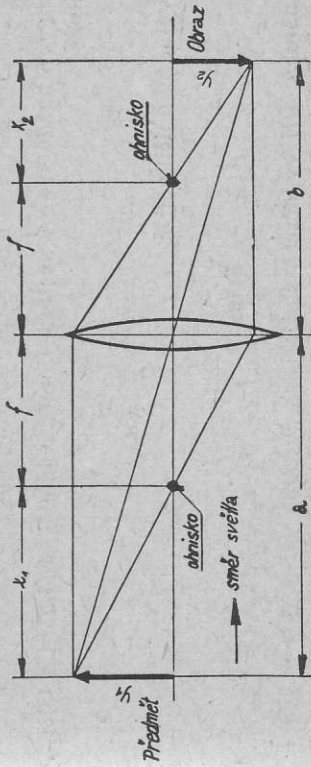


Obr. 517.

(Triplet)



Obr. 518.

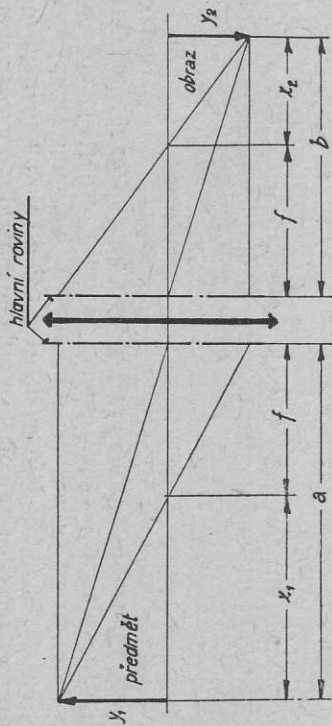


Obr. 520.

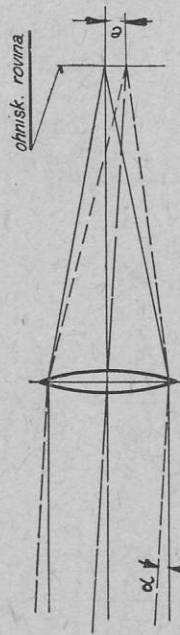
systémy podle obr. 518 (známý objektiv „Tessar“), nebo dokonce podle obr. 519 (apochromatický objektiv pro mikroskop).

Pak věc vypadá jako na obr. 520a: Rovnice (26) platí, ale vzdálenosti nutno měřit od *hlavních rovin* opt. systému. Často neznáme polohu hlavních rovin; pak měříme od rovin ohniskových, t. j. zavedeme

$$x_1 = a - f \quad a \quad x_2 = b - f.$$



Obr. 520a.



Obr. 521.

Po úpravě dostaneme Newtonovu rovnici

$$x_1 \cdot x_2 = f^2, \quad (26)$$

platnou pro každý spojný systém. Poměr velikosti předmětu a jeho obrazu je zřejmě

$$y_1/y_2 = \frac{a}{b}, \quad (28)$$

nebo vyjádřeno délkami x_1, x_2

$$y_1/y_2 = \frac{x_1}{f} = \frac{f}{x_2}. \quad (29)$$

Poznámka: Při výpočtech složitějších systémů se přihlíží k znaménkům délek; kladný je směr světla, tedy na obr. 520 přední ohnisková délka a hodnota a jsou záporné (viz citovanou knihu Mazurkovu).

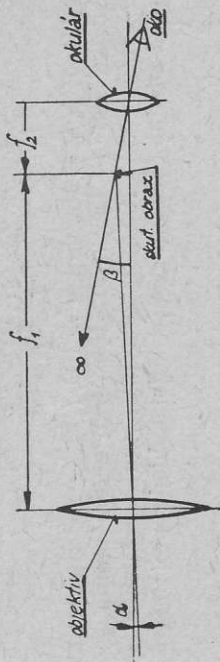
Důležitý je případ bodu vzdáleného, prakticky ležícího v nekonečnu. Je-li svazek paprsků rovnoběžný s osou, zobrazí se bod v ohnisku spojného systému; je-li svazek paprsků nakloněn k ose v malém úhlu α (obr. 521), obraz bodu vznikne opět v ohniskové rovině, ale ve vzdálenosti od osy rovné

$$e = f \cdot \operatorname{tg} \alpha \doteq f \alpha. \quad (30)$$

Dalekohled

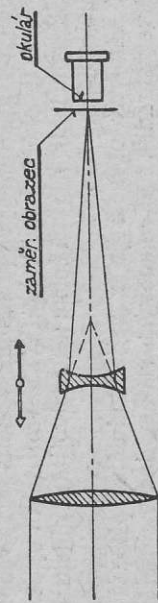
Dalekohled (teleskop) je nejen důležitý přístroj pozorovací, nýbrž také nejvyšší pomůcka k zaměření nebo k zaclení. V úvahu přichází dalekohled hvězdářský (Keplerův), obr. 522. Obraz vzdáleného předmětu vzniká (viz obr. 521) blízko ohniskové roviny objektivu a tento obraz pozorujeme a zvětšujeme si *okulárem*, fungujícím jako lupa. Zvětšení příčné nebo úhlové, které nás zde zajímá, je dáno zorným úhlem, v němž předmět vidíme prostým okem, tedy

$$Z = \frac{\beta}{\alpha} \doteq \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{f_1}{f_2}. \quad (31)$$



Obr. 522.

Dalekohled má objektiv s velkou, okulár s malou ohniskovou délkou. Předmět vidíme převrácený, což většinou nevadí; pohodlnější a někdy účelné je mít obraz vzpřímený, což se dřív dávalo dalšími čočkami (terestrický okulár), dnes pravidelně převracením systémem hranolovým. Okolnosti základně důležitou je, že obraz vytvořený objektivem je reálný; lze tedy do roviny obrazu dát vhodnou zaměřovací značku (ohniskový obrazec), kterou vidíme ostře zároveň s předmětem; střed značky a střed objektivu pak definují záměrnou osu (přímku) dalekohledu.



Obr. 523.

Je-li předmět v menší vzdálenosti, padne jeho obraz za ohniskovou rovinu, vidíme jej neostře a musíme tedy zaostřit (fokusovat) tím, že značku

i s okulárem posuneme podle potřeby k sobě. Proto je značka montována (způsobem jako na obr. 412) v okulárové trubici, přesně vedené a posouvavé točičkem a ozubenou tyčí, event. hrubým závitem; v této trubici je okulár (resp. jeho oční čočka) ještě posuvný, aby si pozorovatel zaostřil značku podle svého zraku. Toto fokusování není přesné, posuzujeme-li jen ostrost, neboť oko se do jisté míry přizpůsobí a vidí ostře předmět i značku, i když jejich roviny přesně nesplývají; chyba se však ukáže, jakmile hlavou trochu pohybuje napříč, neboť obrazy ležící v různých rovinách se proti sobě pohybují.

Vedení okulárové trubice je choulolistivé místo (prach, voda!), proto se dnes běžně užívá zaostřování vnitřního (obr. 523); objektiv má poměrně malou ohniskovou délku a za ním je posuvná rozptylka, která posune reálný obraz tím dále k okuláru, čím je sama blíže objektivu. Ekvivalentní ohnisková délka takového dvoučočkového systému je

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - d} \quad (32)$$

a sečná délka je (pro vzdálený předmět)

$$b = \frac{f_2 (f_1 - d)}{f_1 + f_2 - d} \quad (33)$$

Má-li přední čočka $f_1 = 150$ mm, $d = 100$, $f_2 = -100$ mm, je ekvivalentní ohnisková délka $150 \cdot (-100)/(150 - 100 - 100) = 300$ mm a sečná délka $-100(150 - 100)/(-50) = 100$ mm. Hlavní rovina ekvivalentní spojky leží tedy 100 před přední čočkou; zkrácení dalekohledu proti staré formě je 100 mm.



Obr. 524.

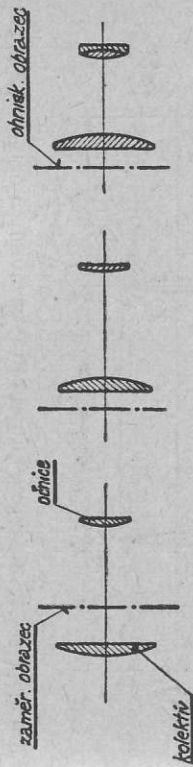
Obr. 525.

Obr. 526.

Záměrný obrazec je tedy pevný a zaostřujeme tím, že měníme ekvivalentní ohniskovou délku systému objektiv-rozptylka (analogie „frontálního“ zaostřování mnohých fotografických přístrojů). Výhoda je, že vedení zaostřovací čočky je kryté, dalekohled vyjde krátký, naproti tomu optický systém je mnohem dražší, poněvadž přibývá čočka (často dvojitá) a objektiv opticky namáhaný se provádí jako triplet.

Ohniskový záměrný obrazec je v nejjednodušším případě pouhý kříž (obr. 524), dříve výhradně z pavučinových vláken, dnes nejčastěji leptaný na skleněné destičce. Leptání dává volnost užití obrazců prakticky libovolných. V theodolitech se běžně užívá „dálkoměrného kříže“ podle obr. 525, jehož krátké vodorovné čáry definují určitý zorný úhel; začítme-li na vvislou niverlační lať, vytknou tyto čáry na tyči délku úměrnou vzdálenosti stroje od

latě. Pro metodu koincidenční (dalekohled svisle posuvný nebo před objektívem opatřený otočnou planparalelní deskou) se hodí značka podle obr. 526. Značka na skle má nevýhodu, že s ní vidíme ostře i prach na skle usazený; pomůžeme si tím, že značku přikryjeme druhou destičkou dostatečně tlustou, aby nebylo vidět ostře prach i značku zároveň (tato ochrana je ostatně nutná pro obrazec zhotovené fotograficky).



Obr. 527.

Obr. 528.

Obr. 529.

Okulár dalekohledu je vždy složený. Pro měřicí účely stačí jednodušší formy na obr. 527—529. První je okulár Huygensův, ze dvou čoček z téhož skla a nestejně silných, zvaný negativní, o němž se v literatuře někdy tvrdí, že v něm nelze užít záměrného obrazce. To není správné, neboť přední čočka (kolektiv) reálný obraz pouze o něco zmenší a posune směrem k objektivu (tím, že svazek paprsků stáhne), čili obraz — opět reálný — vzniká za kolektivem a tam se také umístí záměrný obrazec. Huygensova okularu se ostatně často užívalo pro dalekohledy theodolitů. Dnes dáváme přednost formě Ramsdenově (obr. 528, okulár pozitivní), kde záměrný obrazec je před kolektivem, zdokonalené zejména tím, že očníce je vytvořena jako dublet (obr. 529). Okulár Ramsdenův funguje jako dobrá lupa, Huygensův nikoliv, ledaže jej obrátíme. Je zajímavé, že oba byly vytvořeny již dávno a empiricky, a přesto jsou to nejlepší možné kombinace dvou prostých čoček. O tom více najde čtenář v Nachtkalově Fysice.

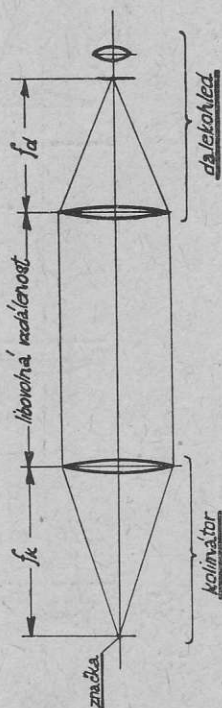
Zvětšení dalekohledu, dané rovnicí (31), má své meze dané tím, že ostrost reálného obrazu je omezená; nadbytečné („jalové“) zvětšení již neukáže více podrobnosti a světelnost obrazu se při tom zmenšuje. Rozlišovací schopnost (množství detailů) objektivu je úměrná jeho průměru, nezávisí na jeho ohniskové délce. Největší upotřebitelné zvětšení je podle různých autorů v mezích

$$Z_{\text{max}} = 1,5 - 2,5 D, \quad (34)$$

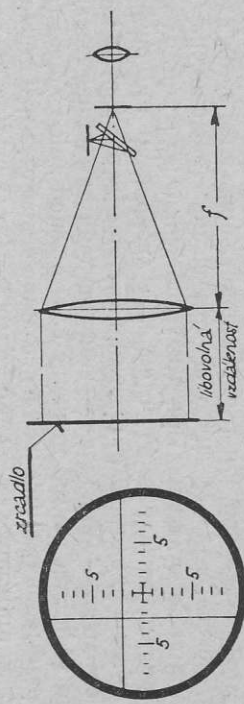
kde D je průměr objektivu v mm. Tedy pro $D = 50$ je největší rozumné zvětšení 75, dalším stupňováním se mnoho nezíská, ledaže by pozorovatel měl sníženou rozlišovací schopnost oka; obvykle se užívá zvětšení mnohem menších, než udává rovnice (34). Záměrné dalekohledy mívají zvětšení 15—40. Na průměru objektivu záleží přirozeně i světlost obrazu; to je důležité pro pozorování noční, ovšem světelný objektiv znamená optickou komplikaci, větší objem, váhu i cenu.

Kolimátor

Vhodně osvětlená značka, umístěná v ohniskové rovině objektivu, je zobrazena podle rovnice (26) v nekonečnu (obr. 530). Toto zařízení, kolimátor, promítá tedy rovnoběžným svazkem paprsků, jako by značka byla umístěna v nekonečnu. Postavíme-li paprskům do cesty dalekohled zaostřený na nekonečno, vidíme značku, nechť je mezi kolimátorem a dalekohledem vzdálenost jakákoliv. Toho využijeme, je-li proměnná vzdálenost mezi dělením a oku-



Obr. 530.



Obr. 531.

Obr. 532.

lám, na př. u některých měřicích strojů. Nakloní-li se kolimátor o malý úhel α , přicházejí paprsky k dalekohledu šikmo a obraz se posune podle obr. 521 a rovnice (30). Takto lze s velikou přesností (až na 2–3') zjišťovat souosost při montáži strojů; stejně lze tak kontrolovat přímost vedení velkých obráběcích strojů, při čemž kolimátor je na krátkých sáních, pojíždějících po zkoušeném vedení. Přesnost obvyklého stroje (s vodorovnou upínací deskou) na frézování ozubených kol můžeme zkusit tak, že do středu upínací desky postavíme přesný theodolit, a otáčejíce desku zub po zubu, pokaždé začítme na značku kolimátoru vedle stojícího; máme tak nekonečno v omezené dílně, excentrické postavení theodolitu nevedí a přesnost měření je dána hlavně jakostí theodolitu (chyba až jen 2').

Každý dalekohled obsahuje oba prvky kolimátoru: objektiv a záměrný obrazec. Proto může dalekohled sám sobě dělat kolimátor. Objektivem je záměrný obrazec promítnut z ohniskové roviny do nekonečna, ale přesné rovinné zrcadlo, postavené v libovolné vzdálenosti (obr. 532), paprsky vrátí, aby

znovu vytvořily reálný obraz; ten se kryje s původním obrazem, stojí-li zrcadlo kolmo na směr paprsků. Promítaný obraz je třeba osvětlit; v obr. 531 je značka 1 umístěna stranou, vhodně osvětlena a objektiv ji promítne pod odrazu na planparalelním, event. lehce postříbeném skle 2. Vraćené paprsky projdou destičkou 2 a vytvoří obraz v rovině 3, který okulárem vidíme. Je-li značka 1 pouhý kříž a v rovině 3 jsou zkrřížené stupnice, vypadá pole jako na obr. 531. Odchylka zrcadla způsobí posun kříže, daný rovnicí (30), který lze na stupnicích odečíst. Lze tedy zrcadlem zjišťovat přímčnost vedení jako prve kolimátorem. Upotřebitelnost takového *autokolimačního dalekohledu* je ještě větší: lze jím kontrolovat kolmost a rovinnost předmětů, mající zrcadlicí plochy (koncové měřky, destičky, hranoly, klíny); nerovinnost plochy se projeví rozmazaním obrazu. Další aplikace bude uvedena později.

Mikroskop

Objektiv opět vytvoří reálný, tentokrát zvětšený obraz předmětu, který pozorujeme okulárem jako v dalekohledu. Úhlové zvětšení je součin ze zvětšení objektivu, daného rovnicí (29), a zvětšení okuláru, definovaného rovnicí:

$$Z = \frac{250}{f_2} \quad (\text{mm}), \quad (35)$$

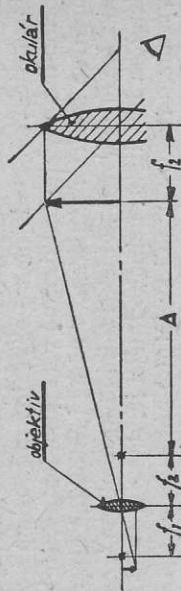
kde f_2 je ekvivalentní ohnisková délka okuláru. Je to konvenční zvětšení: předmět je v ohnisku lupy, normální oko je akomodované na nekonečno. Celkové zvětšení bude tedy

$$Z = \frac{\Delta}{f_1} \cdot \frac{250}{f_2} \quad (36)$$

Objektiv mikroskopu má malou ohniskovou délku. Δ je optická délka tubusu, dnes normalisovaná na 170 mm, takže objektivy jsou (a stejné okuláry) označeny číslem, které udává zvětšení; kombinace objektivu č. 25 s okulárem č. 6 dává tedy celkové zvětšení 150.

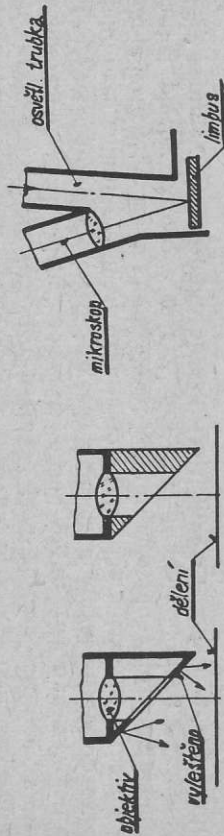
Pro naše účely stačí zvětšení 50–100, málokdy více, a optické požadavky nejsou vysoké; jako objektiv stačí mnohdy pouhý dublet (obr. 516), k němu okulár podle obr. 527–529.

Osvětlení průhledných předmětů (na př. skleněného dělení) nečiní potíže. Osvětlení předmětu neprůhledného vyžaduje někdy zvláštních opatření. Uživeme-li denního světla rozptýleného, stačí u odečítacích mikroskopů šikmá zrcadlicí plocha pod objektivem (obr. 534) nebo odrazné tělísko bílé, na př. ze sádry, obr. 535; je-li dělení zakryto, lze světlo přivést osvětlovací trubkou podle obr. 536. Moderní tendence je nespolehat na denní světlo a mnohé měřicí přístroje mají osvětlení stupnic nízkovoltovými



Obr. 533.

žárovkami. Elektrické osvětlení je ostatně nutné, má-li se se strojem pracovat v noci (triangulační měření), a výhodné pro práci na příklad v dole. Silná zvětšení (metalografické mikroskopy) vyžadují *vertikálního iluminátoru*, bud se skleněnou šikmou destičkou (obr. 537), nebo s osvětlovacím hranolem



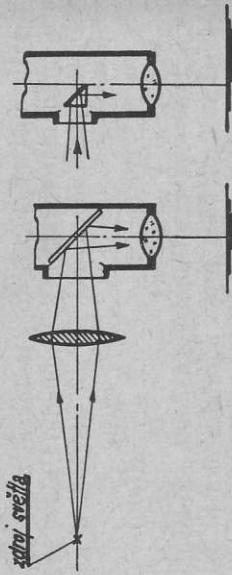
Obr. 534.

(obr. 538), který zakrývá skoro polovinu objektivu. Povyrtáme-li okulár mikroskopu, vytvoří druhý a zvětšený reálný obraz, který lze pak zachytit na stínítku nebo na fotografické desce. Takové *projekční mikroskopy* jsou důležitě

žité pro dílenskou kontrolu drobných přesných součástí v jemné mechanice a v hodinářství; fotografických mikroskopů se užívá dávno v metalografii. Veliká zvětšení ovšem přináší mnoho problémů optických, konstrukce objektivů jsou složité, výroba je nesnadná a drahá; mikroskopie se považuje za obtížné odvětví optiky, které vyžaduje značných vědomostí teoretických i praktických. Dodejme, že obyčejný mikroskop s mírným zvětšením je velmi příhodné měřidlo pro drobné věci jako drátky, čípky, malé vrtáčky atd., je-li opatřen *měřicím okulárem*, v němž je stodílná stupnice 10 mm dlouhá. Stupnici lze ocejchovat „objektivním mikrometrem“, což je jeden milimetr rozdělený na 100 dílků; nejpohodlnější je, dáme-li objektivu zvětšení přesně 10, at vytahem tubusu nebo i zvláštním nástavkem.

Prostředek nejstarší, podnes užíváný a přesnější, než se mnohdy myslí. Pokud svíslou polohu posuzujeme podle směru zvětšené šňůry, je lhostejné, co je na šňůře zavěšeno: šňůra se postaví svisle a v jejím prodloužení leží těžiště závaží (obr. 540); stačí obyčejná olovnice podle obr. 539. Máme-li však olovnici promítnat nějaký bod, způsobí hmotná nesymetrie závaží chybu patrnou na obr. 540. Proto lepší olovnice mají závaží soustružené; šňůra je uzlem zachycena jednoduše ve vývrtu, znázorněném na obr. 541, lépe v provrtaném šroubu (nebo matkou) podle obr. 542. Svislost stěn se lépe posoudí je-li šňůra provlečena kotoučem téhož průměru jako závaží (obr. 543). Bod na měřicím stole se na zemi promítá olovnici podle obr. 544. Theodolit se postaví (centruje) nad bodem rovněž olovnici, zavěšenou pod svíslou osou stroje. Spojí-li se olovnice s úhlovou stupnicí, lze odečíst sklony. Přihodná je forma na obr. 545, kde olovnici je kyvadélko, jež visí na malém kuličkovém ložisku; přístroj udá sklon podložky asi na 0,1°.

Obr. 535.

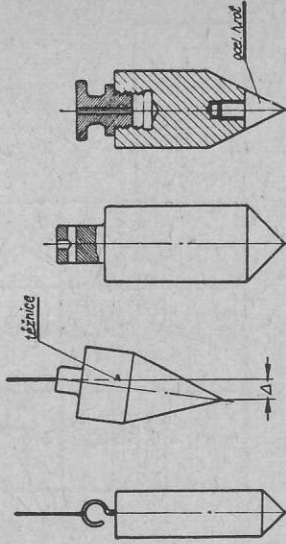


Obr. 537.

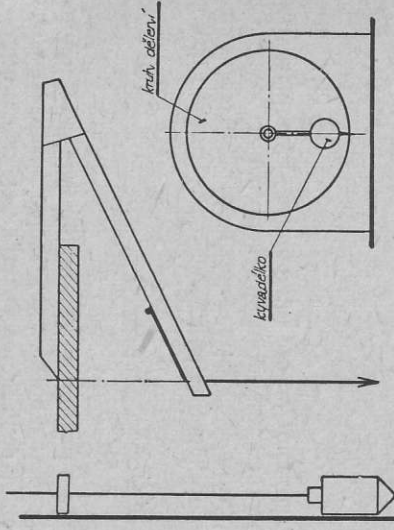
Obr. 538.

Oba prostředky, olovnice a libela, ač jsou konstruktivně odlišné, spočívají na téměř principu a oba neudávají nic jiného než směr zemského zrychlení. Proto oba selhávají na vozidle nebo na letadle, kde se k zemskému zrychlení vektorově přičítá zrychlení vodorovného pohybu.

Olovnice

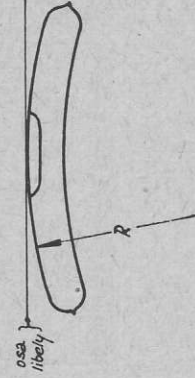


Obr. 539. Obr. 540. Obr. 541. Obr. 542.



Obr. 543. Obr. 544.

Obr. 545.



Obr. 546.

Prostředky k stanovení svislé a vodorovné polohy

Úloha postavit stroj „do vodováhy“ se vyskytuje často při montážích i při měřeních a požadovaná přesnost je někdy vysoká (zlomky úhlových sekund). Pro lepší představu je dobře si uvědomit, že

arc 1° = 0,01745	= 1/57,30	na 1 metr 17,45	mm
arc 1' = 0,000291	= 1/3438	na 1 metr 0,291	mm
arc 1" = 0,00000485	= 1/206265	na 1 metr 0,00485	mm.

Přesnost olovnice závisí hlavně na její délce. Dosáhneme přesnosti 1', jestliže polohu šňůry 1 m dlouhé určíme s chybou 0,15 mm, což s použitím lupy je snadné, je-li šňůra tenká; dosažená přesnost bývala až 20". Hlavní nedostatek olovnice je, že je to pramálo tlumené kyvadlo, jehož kyvy zneprůjemňují a zdržují práci. Proto ji rádi nahradíme libelou a pro centrování theodolitu malým lomeným dalekohledem, jehož záměrná přímka je v ose stroje.

Libela

Původně libela (Thévenot 1661) byla pouhá skleněná trubka (obr. 546), ohnutá do kruhového oblouku a ne zcela naplněná vodou nebo lihem. Jako se ustálí závaží olovnice v nejnižší možné poloze, tak zaujme plovoucí bublina libely nejvyšší možnou polohu. Výchylka bubliny při naklonění o úhel α'' je

$$\sigma = \frac{R \cdot \alpha}{206270} \quad (37)$$

Pohyb bubliny se čte na krátké stupnici, do skla vyleptané, která dříve měla interval jedné pařížské čárky (2,26 mm), dnes 2 mm. Úhel α , jenž způsobí výchylku o jeden dílek, charakterisuje *citlivost* libely. Z rovnice (37) vychází citlivost libely (v sekundách) pro poloměr křivosti R (m)

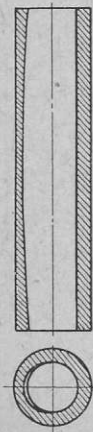
$$\beta = \frac{412}{R} \quad (38)$$

Na obr. 547 je tabulka libel různé citlivosti. Hrubé libely mívají 60–120', přesné strojnické 20" (0,1 mm na metr délky), v geodesii 20–15–10–5", na strojích astronomických až 1".

Ohnutá trubka se hodí jen pro hrubší libely. Jemnější libely jsou ze skleněné trubky vybroušený, obyčejně jednostranně, jak ukazuje přelímané kreslení obr. 548, někdy dvoustranně jako na obr. 549 (dvouosá, reversní libela nivelačního stroje). Brousí a leští se na kovových trnech. Méně citlivé libely se mohou brousit na rotujícím hřídeli, uloženém ve dvou ložiskách a zatíženém

citlivost úhl. sek.	R m	Δ pro 100 mm m
60"	6,87	182
30"	13,73	91
20"	20,6	61
10"	41,2	30
5"	82,4	15
2"	206	6
1"	412	3

Obr. 547.]

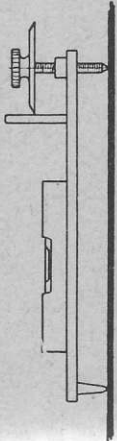


Obr. 548.

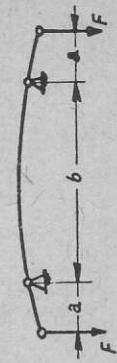


Obr. 549.

na převyšších koncích závažími; ohybový moment mezi ložisky (obr. 551) je $a \cdot F$, konstantní, hřídel se proto prohne do kruhového oblouku a na něj se navlékne několik trubek k broušení. Vnitřek musí být vyléštěn, aby tření bubliny bylo minimální. Broušení nejcitlivějších libel je individuální práce, kterou málokterý brusič ovládá. Dříve se libely uzavíraly zatmelovacími sklenými zátkami; nebyl však nalezen tmel natrvalo těsný, proto dnes oba

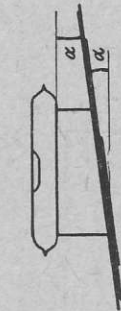


Obr. 550.

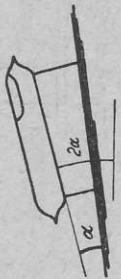


Obr. 551.

konce libely zatavujeme a smiřujeme se s tím, že konce jsou deformovány a k měření nepotřebné. Náplň libely bývá éter, sirouhlik, lehké uhlovodíky a směsi látek, které jsou továrním tajemstvím. Důležité je, aby sklo naplní odolávalo, jinak se po letech vyluhováním zdrsí povrch skla a libela se stává nepotřebnou. Je-li trubka vybroušena a vyléštěna, zataví se jeden konec, druhý se vytáhne do špičky, trubka se naplní, ohřeje, aby páry náplně vyhnaly vzduch, a zataví se; bublina je tedy vytvořena nasycenými parami náplně.

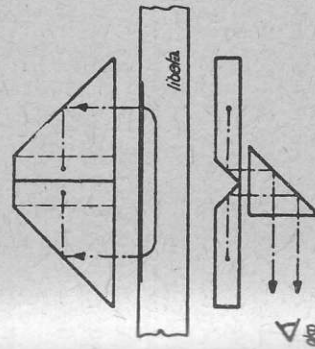


Obr. 552.

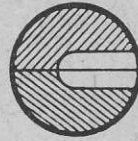


Obr. 553.

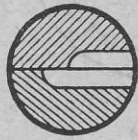
Citlivost libely se zkouší příležitostně tak, že ji dáme na pravítko, které podkládáme koncovými měrkami. O nic přesnější, ale mnohem pohodlnější je zvláštní přístroj k tomuto účelu, *libeloměr*, obr. 550. Je to pravítko nebo rám, spočívající na jednom konci na dvou nožkách a na druhém konci na mikrometrickém šroubu (jako na obr. 131). Tak lze polohu libely měnit rychle o známé hodnoty a zjistit nejen citlivost, nýbrž také libelu oceňovat jako úhloměrné zařízení (a tím zjistit pravidelnost výbrusu). Libeloměrem lze zamontovanou libelu rektifikovat.



Obr. 554.



Obr. 555.

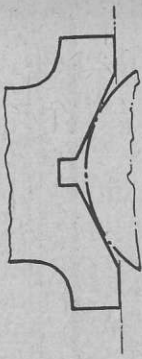


Obr. 556.

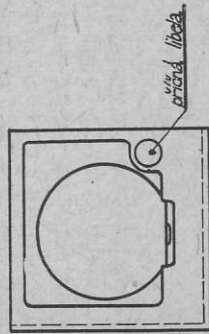
Je-li libela urovnána, je její osa vodorovná (v. obr. 546), ale spodek je nakloněn o malý úhel α (obr. 552). O tom se přesvědčíme, otočíme-li libelu o 180° (obr. 553): chyba se objeví v dvojnásobné hodnotě. Opravíme tedy polovinu výchylyky bubliny šroubkem libeloměru, druhou polovinu rektifikačním zařízením libely a postup opakujeme, až je libela urovnána v obou polohách. Tato manipulace — *otočení, přeložení, proložení o 180°* má základní význam v měřicí technice, neboť takto postupujeme při rektifikaci strojů geometrických i jiných měřidel.



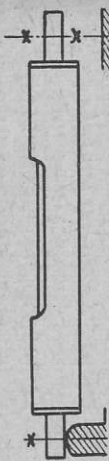
Obr. 557.



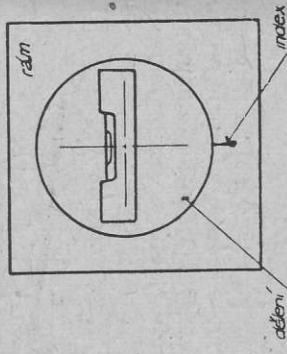
Obr. 558.



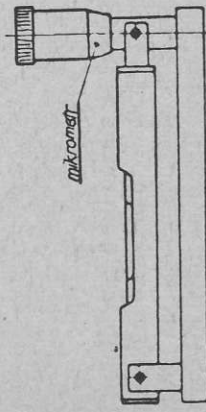
Obr. 559.



Obr. 560.



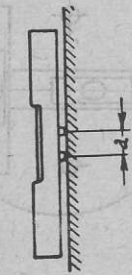
Obr. 562.



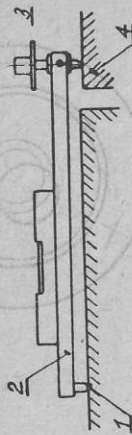
Obr. 561.

Bublina má být velká, tím větší, čím citlivější libela, neboť s rostoucí citlivostí se zmenšuje složka vztlaku, pohybující bublinou, kdežto tření bubliny o sklo se nemění. Proto rozměry libel vzrůstají s citlivostí. Hrubá libela může mít trubku $\varnothing 6$ mm při délce 50 mm, nejcitlivější trubku $\varnothing 25$ mm a délku 250 mm. Taková libela je citlivá na mechanické namáhání, které ji deformuje, i na sálavé teplo; přiblížíme-li k jejímu konci ruku, sledáme po chvíli, že bublina se posune k ruce — roztažením skla se vrchol zakřivení posune ke zdroji tepla. Odečítání polohy bubliny podle stupnice není valně přesné; je tu chyba paralaxy, způsobená tloušťkou skla, a srovnáváme dvě různorodé věci (okraj bubliny a čárky na skle). Pokrokem bylo proto zavedení hranolových

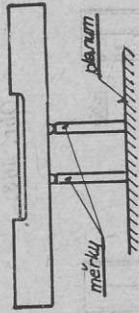
odrazných systémů, jejichž příklad je na obr. 554. Chod paprsků je na obrázku u patrný. Výsledek je ten, že vidíme oba konce bubliny jako na obr. 555, po urovnání libely jako na obr. 556. Přesnost je zdvojnásobena tím, že se konce bubliny pohybují proti sobě, a dále tím, že posuzujeme splývání — koincidenci dvou věcí stejnorodých (okrajů bubliny). Požadovanou přesnost dostaneme proto libelou asi pětkrát méně citlivou, která je mnohem menší, lacinější a méně choulostivá. Zde se po prvé setkáváme s aplikací *principu koincidencí*, v měřicí technice základně důležitého. — Délka bubliny se mění s teplotou, poněvadž kapalina se mnohem více roztahuje než sklo; má-li se tato závada zmírnit (užije-li se hranolového systému), vyplní se asi polovina obsahu libely tyčkou skleněnou, vloženou před zatavením.



Obr. 563.



Obr. 564.



Obr. 565.

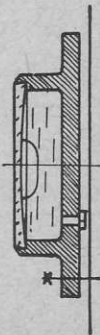
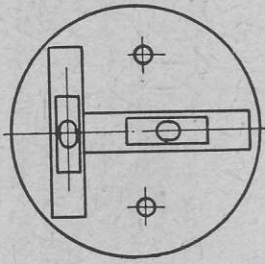
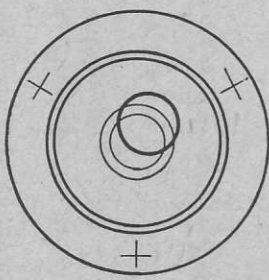


Obr. 566.

Montáž libely se řídí účelem; libela slouží jako samostatný přístroj nebo je součástí nějakého stroje. Pro hrubší účely montážní je trubka zatmelena (nejčastěji sádrou) do kovového pouzdra podle obr. 557, vespod přesně opracovaného, rektifikačního zařízení tu není. Větší strojnické libely mají spodní plochu podle obr. 558, aby se daly posadit na hřídel, pro kontrolu správné polohy mají ještě malou libelu přičnou. Universálně upotřebitelná je libela podle obr. 559, jejíž litinový rám má obrobena všechny čtyři strany. Je-li libela namontována, je její trubka uložena v ochranné trubce (obr. 560), ta pak je upevněna způsobem, který připouští rektifikaci podle obr. 400, 402, 406, nebo dvěma šroubky, jako tomu je na obr. 293, 294. Citlivější libela není pevně zatmelena, poněvadž nestejná roztažnost skla a kovů by ji deformovala, nýbrž poddajně uložena na př. v korku, a podle možnosti i ochranná trubka se dává do nějakého pouzdra (na př. u nivelačních strojů do pouzdra odlištěho v celku s trubkou dalekohledu a chránícího i hranolový systém). Tato péče o libelu je nutná — všechna měření v geodesii a v astronomii spočívají na libele!

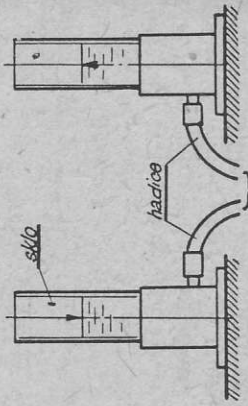
Libeloměr lze přesně měřit sklon; pohodlnější je úprava na obr. 561, kde jeden konec libely je spojen se svislým mikrometrem. Veliký rozsah má sklonoměr, znázorněný na obr. 562, kde libela je na otočném děleném kotouči. Podobný přístroj Zeissových závodů, opatřený skleněným děleným kruhem

(a přiměřeně citlivou libelou), má přesnost čtení asi 30". V obou případech libela slouží za ukazatele nulového, stejně v zařízení na obr. 564, kterým lze přesně zjistit odchylky nějaké desky od roviny. Desku ohmatáváme hrotem 1, posuvným po přesném pravítku 2, a v každém bodě urovnáme libelu svislým mikrometrickým šroubem 3, spočívajícím na pevné podložce 4; přesnost záleží na dokonalosti pravítka 2 a na citlivosti libely. Zařízením na obr. 566 lze zjistit, že tykadlo měřicího stroje zaujalo jistou polohu.

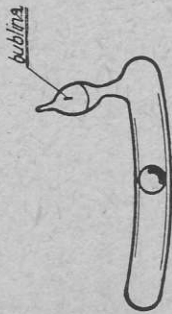


Obr. 567.

Obr. 568.



Obr. 570.



Obr. 569.

Dobře vybroušené libely můžeme užít jako úhloměru. Na obr. 563 je taková libela, spočívající na zapuštěných kuličkách. Libelu klademe na body rovinné desky, které mají rozteč a a odečítáme; ze čtení můžeme pak nakreslit vrstevkový plán oné desky (k tomuto měření můžeme také užít zrcadla a autokolimačního dalekohledu). Stejně libely lze užít k porovnávání čili komparaci koncových měrek; normální a zkoušenou měрку postavíme na dokonale rovinnou desku („planum“, jak říkají optikové) a na ně posadíme libelu (obr. 565). Přesnost je značná: pro $a = 20$ mm, odchylka libely o 1" znamená rozdíl měrek 20/206000 mm čili 0,1 mikronu.

Pro hrubé horizontování theodolity a pro stroje, kde stačí méně přesné horizontování, užívá se libely *krabicové* (obr. 567). Skleněné víko je vybroušeno do plochy kulové a střední poloha je vyznačena jedním nebo dvěma krouž-

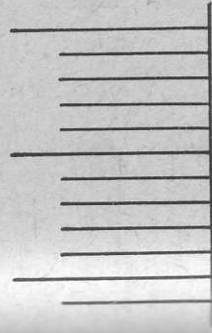
ky; citlivost bývá 1—2'. Poněvadž krabčičku nelze tmelemutěšnit dořada le, dělají se také libely celé za skla, zatavené. Rektifikuje se třemi šroubky (obr. 407, 408). Místo krabicové libely se užívá též libely *křížové*, složené ze dvou malých libel na sebe kolmých (obr. 568), která je pro práci pohodlnější, zvláště je-li jedna z libel rovnoběžná se spojnicí dvou stavěcích šroubů (horizontování je pak snazší, protože je systematické).

Pro údaj je zcela hrubé (1/4°) se užívá u leteckých zatačkoměrů skleněné ohnuté trubky, v níž se s malou vůlí pohybuje ložisková kulička (obr. 569); kapalínovou náplň je dosaženo tlumením skoro aperiodického, přívěšek na obrázku patrný pojme bublinu. Konečně slovem libela se někdy označuje přístroj, který vidíme na obr. 570, dvě spojitě nádoby spojené gumovou hadicí. Přístrojem lze zjistit, jsou-li dvě vodorovné plochy (třeba nepřístupné pro stroj nivelační) v téže výši, a přesnost lze stupňovat, posuzujeme-li výši kapaliny (vody) ne podle rysek na skle, nýbrž podle hrotů, které se hladiny dotýkají shora nebo lépe zespodu; přístroj kontrolujeme tím, že obě nádoby postavíme vedle sebe na vodorovnou plochu.

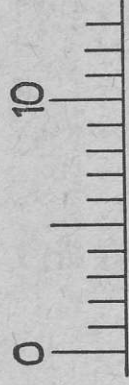
Dělení

Dělení lze podle účelu rozdělit na dvě kategorie. Předně na dělení odečítací, na nichž čteme přímo veličinu strojem měřenou nebo hodnotu, k níž hledanou veličinu najdeme výpočtem nebo odečteme z cejchovní čáry. Druhá kategorie jsou dělení pomocná, orientační nebo *posítní*, která jsou na to, abychom části stroje přivedli do předepsané nebo žádané vzájemné polohy (dělení na tyči planimetru, úhlové dělení na suportu soustruhu).

Podle vzniku rozeznáváme dělení *absolutní*, která lze strojem předmět zhotovit, a dělení *relativní, empirická*, která lze provést teprve na hotovém stroji po ocejchování. Někdy (pro stroje laboratorní) i zde užíváme dělení předmět zhotoveného, pro snazší výrobu rovnoměrného, ale jinak libovolného, a hledanou hodnotu najdeme pak v cejchovní čáře; může to znamenat velkou úsporu práce při



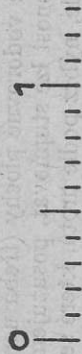
Obr. 571.



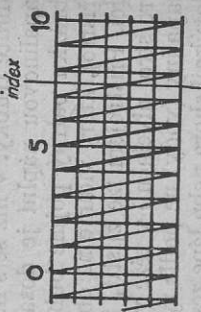
Obr. 572.

výrobě stroje, ztráta času při měření vůbec nevznikne, jde-li o stroj, který je třeba čas od času přecejchovat, a při měření pak užívat tabulky nebo grafu oprav. Od přístrojů provozních ovšem vyžadujeme, aby měřenou veličinu udávaly přímo. Ve velkovýrobě přístrojů hrubších se stupnice někdy udělají předmět a potom seřízením přístroje se snažíme dosáhnout

toho, aby čtení souhlasilo s hodnotami skutečnými. Dělení absolutní jsou zpravidla rovnoměrná (milimetry, stupně), empirická jsou mnohdy nerovnoměrná; často však konstrukcí převodového ústrojí hledíme dosáhnout stupnice aspoň zhruba rovnoměrné. Všechna tato dělení mohou být přímá, *délková* či lineární, nebo oblouková, *úhlová* či *kruhová*. Kruhových dělení užíváme samozřejmě u strojů úhlových, většinou však i pro stroje ukazující, ručkové; je konstručně snazší (a dává menší tření) udělat ukazatele otočného než posuvného a stroj s kruhovou stupnicí má nad to menší rozměry.

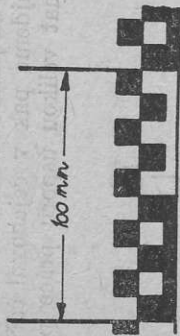


Obr. 573.



Obr. 574.

Dělení se liší vzdáleností čárek („intervalem“), jejich tloušťkou a délkou a očíslováním. Interval je dán rozměry (měřítkem) stupnice a přesností žádanou nebo od dotčeného přístroje žádatelnou. Intervalem je dána též délka čárek; dnes neděláme již dlouhé čárky, jaké najdeme často na starých strojích (obr. 571). Pokusy potvrdily, že pravděpodobnost omylu je nejmenší, nepřesahující-li délka čárek tři poloviny intervalu (obr. 572); lepší je formát čtvercový, pro volné dělení jsou nejlepší čárky ještě kratší (obr. 573, příklad na obr. 601). Rovněž zmizela měřítka transversální (obr. 574), nesnadná pro výrobu a celkem zbytečná, protože desetinu intervalu odhadne bezpečně každý, kdo je zvyklý na logaritmické pravítka, pokud ovšem čárky nejsou nesmyslně tlusté jako na obr. 576. Zato se udržela všílká podivná dělení na nivelačních laťkách (příklad na obr. 575), ale dnes přecházíme rovněž (aspoň pro přesné nivelace) k jemným dělením čárkovým.

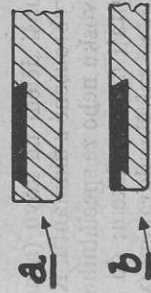


Obr. 575.

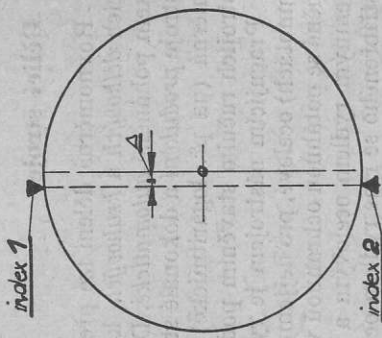
Tloušťka čárek je i několik milimetrů u strojů provozních, 0,1 až 0,2 mm na přesnějších měřidelech dílenských a výrovnacích, pouze 0,01—0,05 mm na jemnějších dělení, tím tenší čárky, i když jde o velký interval, na př. o milimetrové měřítko.

Materiál měřitek je rozmanitý; dřevo na měřítka hrubá, papír pro číselníky budíků, ale i pro měřicí přístroje elektrické. Krásně se čtou stupnice z bílého

celuloidu, který stačí na př. na bubínky integrátorů, pro délková přesnější měřítka leda nalisovaný za horka na kovový podklad, zdrsňený třeba rašplovým sekem (v. str. 23). Jinak je pro přesné účely jen kov a sklo. Kovová lesklá měřítka se nechtou dobře, daleko lepší je matný povrch stříbrným, niklovým, chromovaným, též hliník bílý po leptání. Do čárek rytých strojem se zatím barva, obvyčejně černá. Na optických strojích najdeme hrubší posílení dělení bílá na černém podkladě; není to výhodné, bílé čárky se zaspínají. Přesná úhlová dělení jsou obvyčejně jemně ryta na proužku stříbra, zatemovaném do mosazného limbu (obr. 577), jsou vyleštěna, zpuštěna černí a matně lakována.



Obr. 577.



Obr. 578.

Empirická dělení, hotovená individuálně, jsou ručně malována barvou nebo smaltem (je-li podklad smaltový, na př. číselníky hodiněk), na papíře rýsována tuší (elektrické přístroje); černé hliníkové číselníky se pokrývají černým lakem a vyrytím se obnaží hliník, často se ještě nanáší svítící barva.

Skleněné kruhy zkoušel u nás již v minulém století J. Frič a zavedl je do svých polarimetrů. Pro pozorování v průhledu jsou čárky vyleptány a zčerněny, sklo je průhledné nebo opálové. Moderní novinkou jsou zrcadlicí kruhy postříbřené, s čárkami průhlednými nebo neprůhlednými (Wild). Užívá se také dělení zhotovených fotografickou cestou na skle. Technika jemnozrných emulzí pokročila tak, že lze obdržet slušné kruhové dělení s intervalem 1° a o průměru 50 mm zvětšením z negativu průměru 1 mm. Příkladem je dílenský úhloměr Zeissových závodů, jehož skleněný kruh průměru asi 3 cm je dělený na šestiny stupně; přístrojek, jehož chyba nepřekračuje 3', je příhodný tím, že jeho hlava má tak malý průměr. Dělení se dá fotograficky provést také na hliníkovém plechu speciálně preparovaném. Konečně pro přístroje nejhrubší se užívá tištěných stupnic papírových (budíky, manometry a j.).

Přesnost děleného kruhu může být znehodnocena jeho *excentricitou*, která způsobí chybu (Δ na obr. 578) sinusového průběhu. Výstřednost 10 mikronů způsobí na kruhu \varnothing 160 mm chybu $\frac{1}{2}$ minuty. Chyba je tedy — za předpokladu přesného provedení — snesitelná, pokud čteme minuty, těžko však žádat

centrování v mezích $\pm 0,4 \mu$, nutné pro odečítání sekund. Nesnáž obejdeme tím, že odečítáme na dvou protilehlých místech; chyby čtení jsou stejné, ale opačné znaménka, proto aritmetický střed rozdílů $\alpha_1 - \beta_1$, a $\alpha_2 - \beta_2$ je správný. Staré theodolity mívaly i čtyři verniery, meridiánové kruhy astronomů mají zpravidla šest odečítacích mikroskopů. Tim se ovšem, kromě uvedené kompenzace, zmenšuje pravděpodobnost chyby způsobené postupnou chybou dělení (viz str. 172).

Dělicí stroje

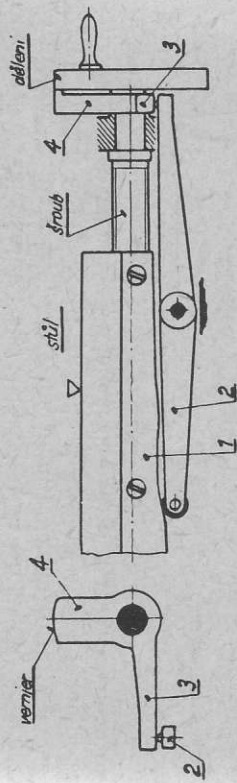
Rovnoměrná dělení lze přesně a poměrně rychle hotovit na strojích dělicích *dělkových* a *kruhových*, které mohou být jednoduché *ruční* nebo motor-*kem* poháněné *automatické*. Dále rozeznáváme méně přesné, zato výkonnější stroje *produkční* a dokonalé stroje *precisní*, pracující pomalu. Dělení nerovnoměrná (na př. logaritmické) lze provést, ovšem pomalu, na všech těchto strojích ručním stavěním podle tabulky.

Pracujícím nástrojem je rydlo, pro hrubší dělení na kovu (a na měkkých hmotách) ocelové, pro nejmenší dělení vybroušené z diamantu. Kruhy skleněné se potáhnou ochrannou vrstvičkou z vosku nebo ze speciálního laku, ryjí jemným rydlem ocelovým a pak se vyleptají fluorovodíkem; do kruhu potřibřeného se ryje rydlem ocelovým. Skleněné mřížky difrakční (viz str. 52) se ryjí diamantem. Bezvadně nabrousit a nastavit jemně rydlo dovede jen velmi zkušený specialista. Rychlost práce závisí na žádané přesnosti a na čistotě dělení. Stroje produkční dělají až 80 čárek v minutě, precisní stroje nejvýše 20, nejmenší dělení lze ryt rychlostí jen 2—3 čárek v minutě. Přesnost zaručená továrnami bývá 0,01—0,02 mm, resp. 20—30" u strojů produkčních a 0,002 mm, resp. 1" u strojů precisních. Čím přesnější má být dělení, tím menší musí být síly jež působí na rydlo, a tedy tím jemnější čárky; nejlépe se využije přesnosti dělicího stroje, ryje-li se do vosku na skle. Je méně zřejmé, ale zkušenosti je potvrzeno, že pomalá práce dává čistší a hladší čárky. Výroba přesných dělení je zdoluhavá práce. U precisního theodolitu je limbus rozdělen často na šestiny stupně; dělá-li stroj 6 čárek v minutě, bude dělení trvat $6 \times 360/6 = 360$ minut čili plyných 6 hodin! Stroje dělicí samy jsou velmi drahé, proto hledíme vystačit s dělením řídním a potřebné přesnosti čtení dosáhnout vhodným mikroskopem. Výhodou strojů automatických je, že mohou pracovat bez dohledu, tedy i přes noc; spolehlivé počítadlo zastaví stroj po vyrytí poslední čárky. Precisní dělicí stroje jsou právem považovány za vrcholné výkony přesné mechaniky; vyžadují nejpéčlivější obsluhu, ochra-
ny před otřesy a před rychlými změnami teploty.

Dělkové stroje dělicí

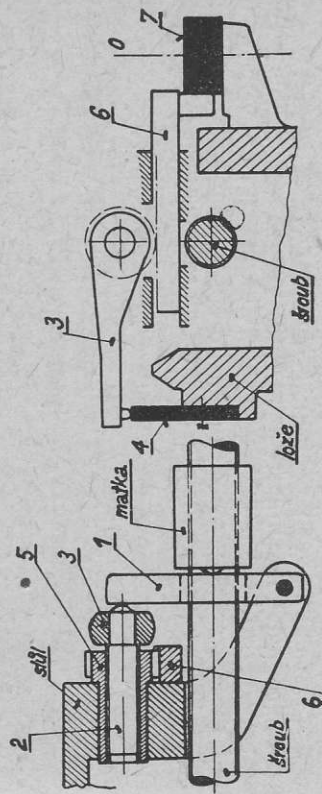
Princip je prostý: dělený předmět je upevněn na stole, který je přesně veden na loži stroje; vedení je jako na obr. 172 nebo 173, odlehčené často kolečky, viz str. 62. Stůl je posouván šroubem, který má u přesných strojů stoupání

1 mm, u strojů produkčních větší, na př. 5 mm. Je jasné, že přesnost stroje je dána hlavně dokonalostí tohoto šroubu; matka šroubu, spojená se stolem, bývá dělená a rozzevirací, aby se šroub zbytečně nevyběhával (na přesnosti matky záleží mnohem méně). Na loži je připevněn stojan, který nese rydicí mechanismus, stavitelný svise a napříč. U krátkých strojů najdeme často uspořádání opačné: stůl je nehybný a rydicí ústrojí je na saních.



Obr. 579.

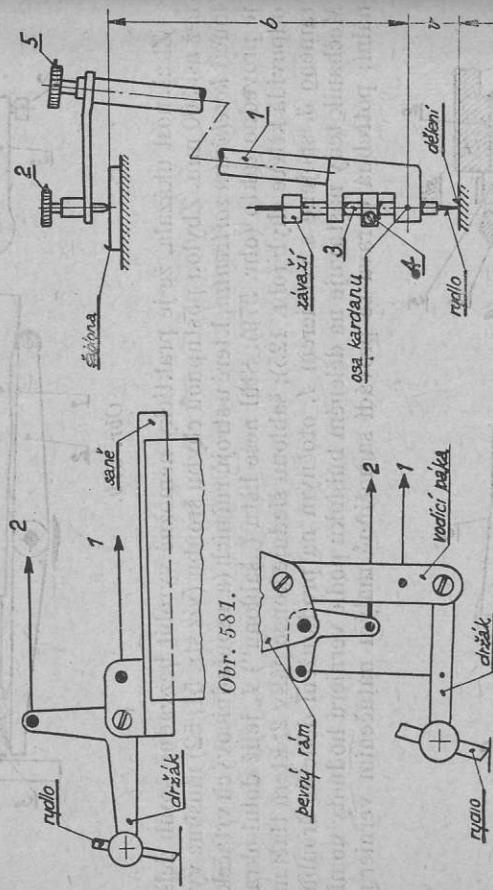
Zkušenost ukázala, že je prakticky nemožné vyrobit bezvadný šroub delší než asi 300 mm. Zbylou postupnou chybu šroubu (viz str. 51, 52) musíme vyloučit *korekčním zařízením*, které u strojů ručních (a u souřadnicových vrtaček) je provedeno takto (obr. 579): Stůl nese lištu („šablonu“) 1, jejíž dolní okraj odpovídá křivce chyb (obr. 125); šablonu sleduje konec páky 2, která tlačí na rameno 3, spojené s vernierem 4, otočným na prodloužení dělicího šroubu. Mechanik tedy nastavuje na děleném bubínku podle vernieru hodnoty nominální; potřebná oprava se provádí samočinně malým natáčením vernieru,



Obr. 580.

čili podávání šroubu není rovnoměrné. Proto se toto řešení nehodí pro stroje automatické, kde automatické podávání musí být rovnoměrné. Potřebné korekce se dosáhne malými pohyby matky vzhledem k stolu mechanismem na obr. 580. Matka dělicí netlačí na stůl, nýbrž na páku (banjo) 1, jedním koncem skloubenou se stolem, druhým opřenou o jemný korekční šroub 2. Tento šroub má rameno 3, které sleduje okraj korekční lišty 4; jeho matka 5 je ve

stole otočná a ozubením zabírá do ozubené tyče 6, která je posuvná a sleduje přesné pravítko 7. Je-li pravítko 7 rovnoběžné s vedením stolu, matka 5 se nehýbe a šroub 2 samočinně koriguje postupnou chybu dělicího šroubu. Na- točím-li pravítko o malý úhel kolem osy *O* (uprostřed pravítka), natiáčí se matka úměrně s pohybem stolu; výsledek je takový, jako by se trochu změni- lo stoupání dělicího šroubu. Tuto progresivní opravu aplikujeme, jestliže děl- me měřítko, které má být správné při teplotě jiné než teplota 20° C (při niž než správnou délku dělicí šroub); stejně tak, jestliže při teplotě jiné než 20° C dělíme předmět z materiálu, který má jinou tepelnou roztažnost než dělicí šroub (ten mívá $\alpha = 11,5 \times 10^{-6}$). Jednodušeji, ale o něco méně přesně do- sáhneme obou oprav upouhovou šablonou, dáme-li jí možnost malého náklonu kolem vodorovné osy.



Obr. 581.

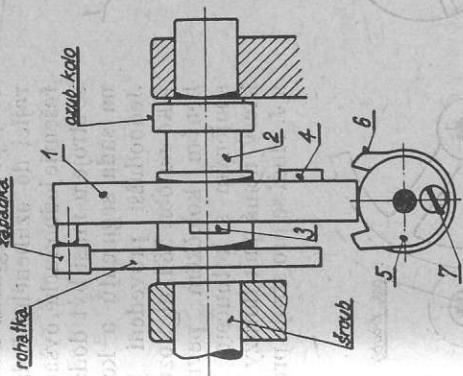
Obr. 582.

Obr. 583.

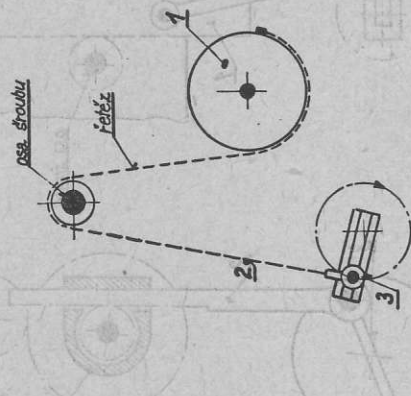
Ryčí ústrojí se provádí velmi různými způsoby, avšak všem je společné, že nástroj je upnut v držáku, který je lehce a těsně otočný v hrotech (obr. 581, 582). Nástroj je podle potřeby přitlačován výměnnou pružinou. Mě-li se rýt jemná stupnice na skle, zamontuje se zvláštní držák, velmi lehký a uložený v jenných hrotech. Pohyb „do řezu“ dostává držák buď tak, že je uložen na saních (obr. 581), nebo na konci výkyvné páky obr. 582; pohyb obstarávají táhla 1. Táhlem 2 je rydlo spuštěno, udělá čárku, je táhlem 2 zdviženo a vrátí se; rydlo tedy opisuje zhruba obdélník. Vedení sáňové je robustnější, vedení pákové jde lehčeji, avšak obou lze užít pro stroje precizní. Komplikace působí, že se v každém dělení periodicky střídají čárky delší a kratší. Proto pohyb sání nebo páky je vymezen dorazy, a to výměnnými (revolverovými). Ke stroji patří sada těchto dorazů a střídacích rohatek. U ručního stroje je pohyb táhel odvozen od ruční páky, u automatických strojů od kliky poháněné motorkem.

Hrubší dělení se číslují známým dílenským pantografem; u nás jsou roz- šířeny „gravírky“ fy Deckel v Mnichově. Jemná dělení, která se čtou mikro- skopem, mají číslované každý stupeň, aby v zorném poli byla aspoň dvě čísla. Tyto číslíce mají výšku řádu 0,2 mm a ryjí se *jednoduchým pantografem* (obr. 583). Páka 1 je dole uložena v těsném křížovém kloubu (hroty), nahotě nese posuvný kolík 2, jímž se sledují číslíce vyryté do mosazných šablonek.

Rydlo je zasazeno do těsné posuvné ty- činky 3 a doléhá svou vahou na rytý



Obr. 584.

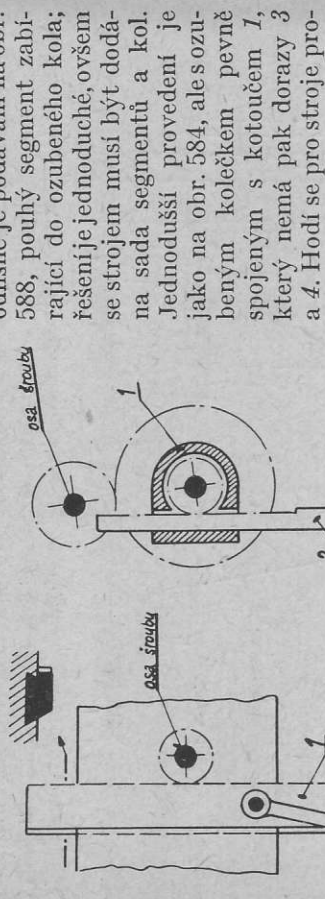


Obr. 585.

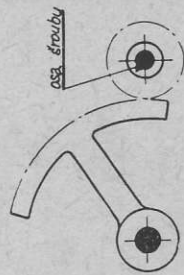
předmět; otočením knoflíku 5 se rydlo zdvihne. Zmenšení je dáno poměrem *v/b* a dá se nastavit tím, že změníme výšku tyčinky 3 (po uvolnění šroubku 4). Pantograf lze rychle namontovat na dělicí stroj. Má-li být nákladného dělicího stroje využito, je lépe provádět zdlouhavé číslování na laciném stroji zvlášť- ním; je to jakýsi hrubý stroj dělicí, ruční a opatřený jen popsáním panto- grafem.

Podávací ústrojí se provádí většinou s malými obrněmi podle obr. 584. Šroub je podáván přesnou rohátkou, do níž zapadá západka nesená kotoučem 1. Kotouč 1 je na šroubu volný a dostává střídavý pohyb kluznou spojkou od ozubeného kolečka 2, rovněž na šroubu volně otočného. Úhlový pohyb ko- lečka 2 je větší než podávání šroubu, a proto pohyb kotouče 1 je omezen nosy 3 a 4, v kruhové drážce stavitelnými. Poněvadž je třeba, aby kotouč 1 mohl vykonat celou otáčku, po př. i více otáček, jsou dorazy 5 a 6 pro oba nosy pohyblivé. Na dorazu 5 je ozubení (nezakreslené), do něhož zabírá závit na šroubu 7. Tímto nastavením a nastavením nosů 3 a 4 lze pohyb západky měnit v libovolných mezích. Má-li rohátka 100 zubů, lze rýt v intervalech 1/2, 1/4, 1/5, 1/10, 1/20, 1/25, 1/50, 1/100 mm, jiné intervaly vyžadují rohátky další. Ozubené kolo 2 může být poháněno ozubenou posuvnou tyčí 1 (obr. 586),

kteřá dostává ojníčkou 2 pohyb od kliky 3, nebo ojníčka 2 je sama ozubená (obr. 587) a je vedena otočnou objímkou. Kolečko 2 může být také řetězové (obr. 585) a klika 3 pak tahá drobný válečkový řetěz 2, který je s druhé strany tažen pětovíčkem 1. Ve všech třech případech má klika 3 poloměr proměnný (čep přestavitelný v drážce), aby se omezilo opotřebení kluzné spojky. Zeela odlišné je podávání na obr.



Obr. 586.



Obr. 588.

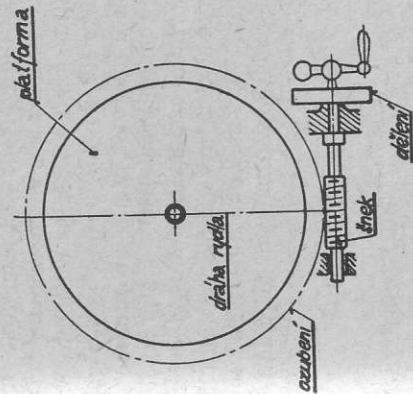
dukční, ale bylo provedeno firmou Heyde dokonce i pro stroj precizní. Ozubené kolečko se pak uvádí do střídavého pohybu přesně udělaným ústrojím jako na obr. 586, 587; firma Heyde užila ozubeného segmentu jako na obr. 588, který se však pohybuje střídavě klikou a ojníci; ve všech těchto případech je nutné, aby se klikový čep dal jenně (šroubem) nastavit na potřebný poloměr. U všech soustav je podávání přetříté a v přestávkách rydlo ryje čárky.

Dělicí stroje jsou robustně stavěny z litiny pečlivě stabilizované, nejpřesněji opracované a zvláštní péče je věnována zhotovení šroubu z vybraného materiálu, tepelně zpracovaného, event. stabilizovaného. Malé stroje pro délku 300 mm váží asi 80 kg, největší stroje pro délku 1200 mm asi 800 kg. K výstroji precizního stroje patří jeden nebo dva mikroskopy se šroubovým okulárem, takže stroj může sloužit jako komparátor ke kontrole délkových měřitek.

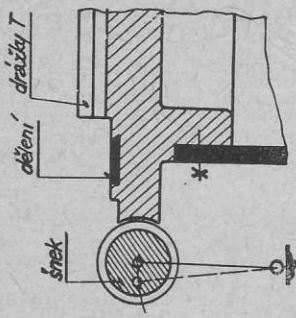
Dělicí stroje kruhové

Dělený předmět je upnut na kruhové vodorovné desce (platformě), která je na obvodu ozubená (obr. 589) a je podávána šnekem. Je jasné, že přesnost stroje závisí hlavně na dokonalosti ozubení a šneku. Platforma malých strojů

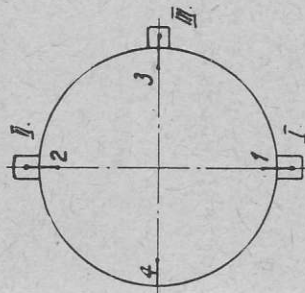
bývá mosazná, na velkých strojích bývá ze speciální litiny, podrobené umělému stárnutí. Přířez okraje platformy je znázorněn na obr. 590. K upínání tu jsou radiální drážky nebo velký počet výtvrů se závitem. Do kraje je zapuštěn stříbrný proužek s kontrolním dělením, po příp. druhý proužek, na nějž si uživatel může vyryt dělení pro vlastní potřebu, na př. proto, aby zjistil stav stroje. Pod okrajem je vidět korekční šablona. Platforma se otáčí v přesném



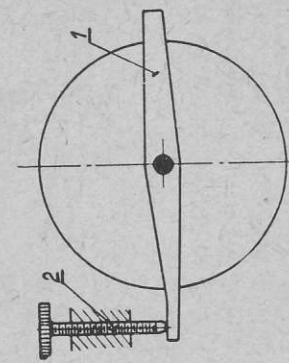
Obr. 589.



Obr. 590.



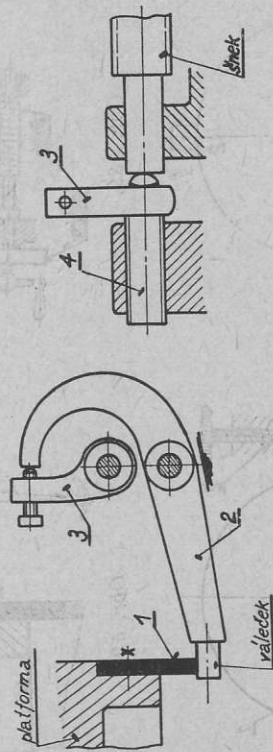
Obr. 591.



Obr. 592.

ženi platformy představuje mez, přes kterou bude těžké stupňovat přesnost kruhových dělicích strojů. Na ozubení nestačí zdaleka přesnost obvyklých frézek. Je třeba frézovat zuby individuálně a zdá se, že tovarny vyřezané ozubením ještě dále zlepšují postupy, o nichž se ovšem v tisku nerefereje. Východiskem je tedy dělení původní, *mateřské*, zhotovené rozdělením úhlu 360°. To se dříve dělalo ručně; byla to práce úmorná a přesnost nemohla být velká (Grahamův kvadrant o poloměru 2500 mm, dělený po 5', měl chyby až 8'). Moderní metoda (de Chaulnes v 17. stol.) užívá mikroskopů způsobem znázorněným

na obr. 591. Na kruh posadíme dvě značky proti sobě 1, 2 a na ně zaměříme mikroskopy I, II. Nyní kruh otočíme o 180° a bude souhlasit na př. I. s 2., ne však II. s 1. Polovinu chyby opravíme posunem jedné značky, druhou položíme posunem záměrného obrazce v jednom mikroskopu. Když bylo dosaženo koincidence v obou polohách kruhu, víme, že značky i mikroskopy svírají úhel 180°. Nyní posadíme značku 3 a analogickým postupem rozdělíme úhel 180° na dva díly. Oba mikroskopy představují přesné kružidlo, jímž kruh dělíme dále na menší díly, dokud díl není menší než nejmenší vzdálenost mikroskopů. Pak můžeme dělit jaksi na přeskáčku, na př. 90° rozdělíme na 9 a pak na 10 dílků. Máme-li násobky úhlů 9° a 10°, dostaneme jejich nanaščením nakonec stupně. Nebo se zastavíme na př. u intervalu 5° a ten rozdělíme pomocným ramenem 1 (obr. 592), na které tlačí mikrometrický šroub 2 (nebo stůl dobrého dělicího stroje délkového). Nakonec instalujeme rycí mechanismus a dělení (které existovalo jen ve značkách a v tabulce pro stavění mikrometrického šroubu) vyryjeme na připravený stříbrný pásek. To vše je práce zdlouhavá a nesnadná a nemusí se podařit; v příznivém případě jsou chyby v mezích asi $\pm 0,5''$.



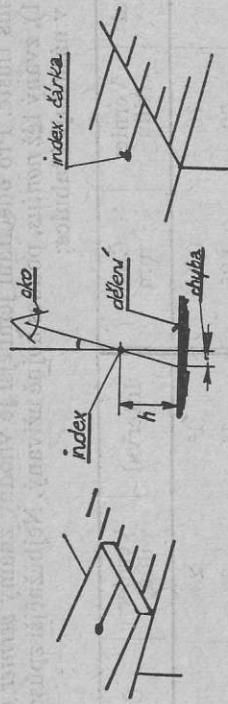
Obr. 593.

Vyfrézované ozubení bude (jako každá kopie) méně přesné než toto dělení mateřské. Lokální chyby (od zubu k zubu) lze, zdá se, opravit zmíněnými tajnými procesy, zbylou chybu postupnou je třeba opravit korekční šablonou, u stroje ručního podobně jako na obr. 579. U stroje automatického se to provádí malými axiálními pohyby šneku, převodem na obr. 593. Šablona 1 pohybuje pákou 2, ta pak ramenem 3 na jemném šroubu 4, který se opírá o šnek, tlačení pružinou. Šnek je uložen v rámu, jehož vykynutím vyjde ze záběru (obr. 590). Pak lze platformou volně otáčet, což je nutné při centrování předmětu; přesné centrování je důležité a provádí se jemnou dotykovou pákou. Ozubení a šnek je třeba všemožně šetrnit; dělí-li se pouhý kruhový segment, nechává se platforma raději oběhnout dokola, aby opotřebením zubů zůstávalo stejnoměrné. K automatickému podávání slouží opět mechanismy již popsané; známá Société Gènevoise (Sip) užívá způsobu znázorněného na obr. 586, fa Heyde v Drážďanech svého způsobu (obr. 588). Rovněž rycí ústrojí je podobné, nesené nosníkem, který přemostuje platformu, a je natačivé, aby mohlo

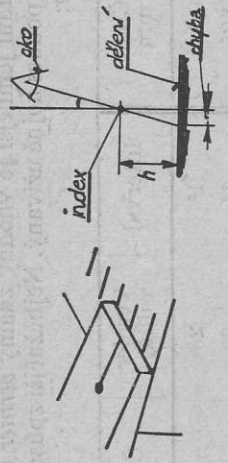
ryt na plochách rovných, kuželových a válcových. Produkční stroje pro menší předměty mají dělicí zařízení jednodušší, bez korekčního zařízení, které se podobá známé dělicí hlavě pro frézky. K výstroji kruhového dělicího stroje patří dva, po příp. čtyři šroubové mikroskopy, kterými lze kontrolovat jakékoliv dělení, buď ozubením platformy, nebo srovnáním s dělením kontrolním, event. i toto kontrolní dělení lze přezkoušet. Stavba těchto strojů je rovněž robustní, na př. stroj „Sip“ pro předměty do $\varnothing 1000$ mm váží asi 1000 kg.

Odečítací prostředky

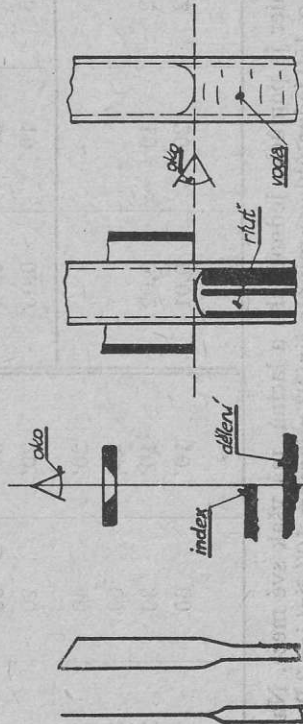
Přesnost odečítání má být taková, aby odečtení nezvýšilo chyby. Na druhé straně nemá smysl stupňovat jemnost čtení vysoko nad mez danou přesností přístroje nebo přesností délkového neb úhlového dělení. První podmiňuje lze snadno vyhovět u dělení empirických, poněvadž přesnost přístrojů vzácně bývá lepší než 0,1%, většinou považujeme za uspokojivou přesnost 1%,



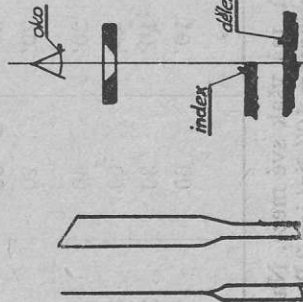
Obr. 594.



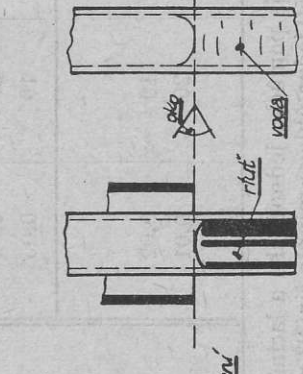
Obr. 595.



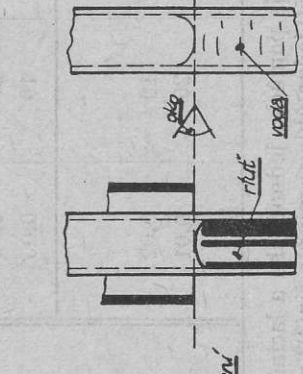
Obr. 596.



Obr. 597.



Obr. 598.



Obr. 599.



Obr. 600.

leckdy se musíme spokojit s přesností 2—5%. Naproti tomu dělení provedené přesnými dělicími stroji vyžadují odečítacích pomůcek velmi jemných — mikroskopů.

Častou příčinou chyb bývá paralaxa. Je-li odečítací hrot, značka, obecně index nad dělením, vzniká chyba paralaxní tím větší, čím je index výše položen a čím šikměji hledíme (obr. 595). Proto hledíme výšku h zmenšit, na př.

tím, že ukazatel (ručka) se pohybuje těsně nad stupnicí, nebo usnadníme porovnáni kolmo ke stupnici, na př. nožovou ručkou (obr. 597), zreadlem vedle stupnice (el. přístroje) nebo je-li index nehybný, určime oku směr clonou s otvorem nebo malou slabou lupou (obr. 598); těmito způsoby lze dosáhnout přesnosti čtení až 0,05 mm. Totéž platí pro čárkový index a ovšem i pro vernier; dáváme index na destičku skosenou skoro do ostří (obr. 594) nebo ležící v rovině dělení (obr. 596). Máme-li určit polohu něčeho s dělením nesourodého, na př. výšku kapalinového sloupce, pomáháme si nějakým zařízením záměrným („vizírem“); barometr se obvykle odečítá s pomocí posuvné trubky (obr. 599), jejíž kraje uvedeme pohledově v dotyk s vypuklým meniskem, stejně hladinu vody nebo lihu (obr. 600), a odečteme vernierem spojeným se záměrným zařízením. V laboratorii je pro podobné účely vhodný též *kathetometr*, t. j. záměrný dalekohled přesně vodorovný a posuvný podél svislého dělení (viz Horákovu Praktickou fysiku).

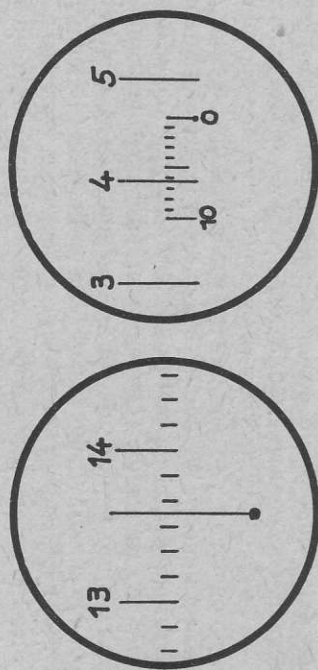
Desetiny intervalu dělení lze s trochou cviku bezpečně odhadovat, nejsou-li čárky příliš tlusté. Pro odečítání jemnější je vhodný známý *vernier* (P. Vernier, 1631), zvaný též *nonius*, podnes hojně užívaný. Nejběžnější způsob jsou uvedeny v následující tabulce:

Interval mm	Vernier dílů	Čtení mm	Interval	Vernier dílů	Čtení
1	10	0,1	1°	20	3'
1	20	0,05	1°	30	2'
1	50	0,02	30'	30	1'
0,5	10	0,05	20'	20	1'
			20'	40	30''
0,2	10	0,02	20'	60	20''
0,2	20	0,01	10'	30	20''
			10'	60	10''

Vernier je pomůcka jednoduchá a laciná, má však své meze. Na obvodu kruhu Ø 150 jedna úhlová minuta čini 23 mikrony, 10' čini jen 3,9 mikronu. Na takovém mnohadílném vernieru je posuzování koincidence již nejisté, i když užíváme lupy; na obr. 594 vadí paralaxa, na obr. 596 zase vždy viditelná spára. Zajímavé je, že zde je překročena rozlišovací schopnost oka, která je (jde-li o dva body) asi 1', kdežto koincidence dvou čárek proti sobě oko dovede posoudit s ostrostí nejméně šestkrát větší. Proto *princip koincidenční*, s nímž jsme se setkali již u libel, umožňuje nej přesnější odečítání vůbec.

Pohodlnější a nejméně dvacetkrát přesnější odečítání umožňuje *odečítací mikroskop*. Užíváme dvou způsobů zásadně odlišných: buď dělení odečteme v zorném poli mikroskopu, nebo v zorném poli provedeme jen koincidence

záměrné značky s čárkou dělení. Prvního druhu je prostý mikroskop čárkový neb indexový (obr. 601; čtení je 13°35'); odečítání je snadné, s minimální možností omylu, ale dělení musí být husté, tedy poměrně drahé. V tom směru není lepší mikroskop *vernierový* (noniový), poněvadž vernier vyžaduje určité délky; desetidílný vernier by se nevešel do zorného pole na obr. 601. Výhodný a velmi

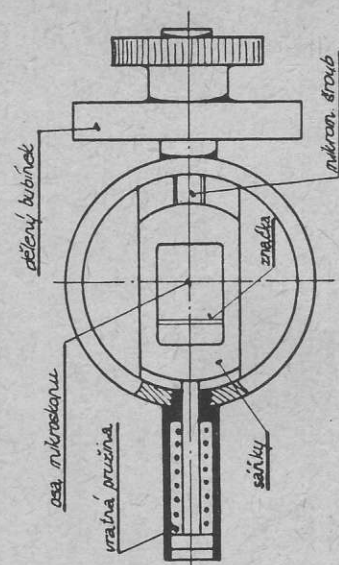


Obr. 601.

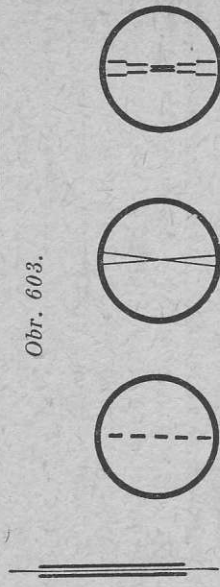
Obr. 602.

užívaný je mikroskop *stupnicový* (obr. 602; čtení je 4,62), v jehož okuláru je stupnice dlouhá jako interval dělení. Na obrázku lze dobře odhadovat setiny intervalu; šedesátidílnou stupničkou lze čist minuty (a odhadovat ještě půlky minut) na kruhu děleném na pouhé stupně. Přesnost těchto mikroskopů má svou mez v tom, že s rostoucím zvětšením se zhoršuje obraz dělení; porovnáme pak dvě věci nerovnocenné: ostrou černou stupničku se šedivým a ne dost určitým obrazem dělení.

Nejpřesnější výsledky dávají mikroskopy *koincidenční*; jsou opět dvojího druhu. Bud' jdeme s pohyblivou značkou za čárkou dělení, nebo naopak optickými prostředky posuneme čárku dělení do koincidence s pevnou znač-



Obr. 603.



Obr. 604.

Obr. 605.

Obr. 606.

Obr. 607.

kou; v obojím případě odečteme velikost potřebného pohybu. První typ, šroubový mikroskop, pochází ze 17. století, všeobecně se ho užívá a lze říci, že teprve umožnil přesná měření v geodesii, astronomii a technice. Princip je patrný na jednoduché formě na obr. 603. Trik je v tom, že oko dovede s neuvěřitelnou přesností posoudit, je-li čárka přesně mezi dvěma jinými čárkami (obr. 604). Oko ovšem neposuzuje zorný úhel obou mezer, nýbrž jako fotometr posuzuje množství světla, procházející oběma mezerami; není ani třeba, aby čárky byly tenké, stačí, jsou-li ostré a hladké a mezery co nejužší. Značka je na skleněné destičce zasazené v malých sáňkách, které jsou s jedné strany taženy mikrometrickým šroubem (viz též obr. 132), s druhé vratnou pružinou. Měření je analogické práci se stupničkou na obr. 602. Pohybujeme značkou z nulové polohy zpět, až dosáhneme koincidence, a velikost tohoto pohybu měříme mikrometrickým šroubem. Celé obrátky šroubu lze číst na malé stupnici v zorném poli, buď pevně jako na obr. 602, častěji spolu se značkou pohyblivé (a pak odečítané podle pevné značky).

Jako příklad uvedeme předběžný výpočet šroubového mikroskopu pro čtení milimetrového měřítka. Objektiv má ohniskovou délku 25 mm, pro zvětšení osminásobné bude optický interval podle rovnice $(36) 8 \times 25 = 200$ mm. Reálný obraz intervalu dělení bude tedy 8 mm a jemu bude odpovídat 10 otáček mikrometrického šroubu stoupání 0,800 mm. Celé otáčky čili deseti-ny mm se čtou na stupnici, setiny a tisíciny na bubínku šroubu, kde lze odhadovat ještě desetiny mikronu. Zvětšení okuláru bude asi osminásobné, celkové zvětšení 64. To jsou hodnoty průměrné, pro přesná měření dáváme mikroskopy rozměry větší, komparátory a meridiánové kruhy mívají mikroskopy dlouhé celkem asi 80 cm. Desetina mikronu je nejzazší mez, stěží dosažitelná opakovanými měřeními (viz Nussberger: Metronomie délek); to je vidět i na definici československého prototypového metru, jehož délka při 0° C je

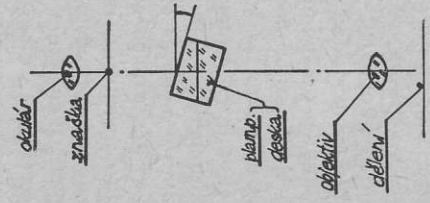
$$(1 \text{ m} + 0,1 \mu) \pm 0,1 \mu.$$

Podobné rozměry by měl mikroskop pro čtení kontrolního dělení na platformě dělicího stroje; při $\varnothing 700$ mm je interval 10' dlouhý 1 mm; na stupnici se čtou minuty a bubínek je rozdělen na 60 sek. Kruh theodolitu $\varnothing 160$ mm, rozdělený opět po 10", lze odečítat objektivem se zvětšením 8,6; reálný obraz intervalu dlouhý 2 mm činí 5 otáček šroubu o stoupání 0,400 mm a bubínek je rozdělen na 120 sekund. — Záměrnou značkou jsou nejčastěji dvě čárky (obr. 604) nebo jediná čárka přerušovaná (obr. 605). Je-li mikroskop určen ke kontrole různých dělení s různě tlustými čarami, užije se značky na obr. 606 nebo lépe značky na obr. 607.

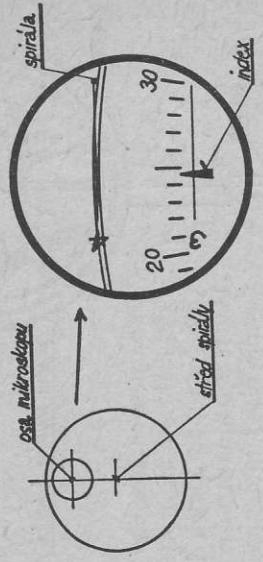
V uvedených příkladech je dobře považovat uvažovanou zvětšení objektivu za horní mez. Dnes spíše užijeme zvětšení menších a vyrovnáme to volbou silného okuláru. Tak na př. pro čtení na milimetrovém měřítku bychom volili raději optický interval = 150. To dává zvětšení šestinásobné, a délku reálného obrazu 6 mm, kterou bychom rozdělili 10 otáčkami šroubu stoupání 0,6 mm. Okulár by stačil se zvětšením 10. Velká délka intervalu připouští

objektiv ještě slabší: Na př. zvětšení 4, a stoupání šroubu 0,4 mm. Zde je dobře uvážit výrobní možnosti; mikrometrické šrouby o stoupání 0,5 mm a větším lze velmi přesně a lacině brousit na speciálních bruskách. Proto bychom mohli užít zvětšení objektivu jen 4, a délku 4 mm rozdělít 5 otáčkami šroubu; stupnička by zůstala desetidílná, ale bubínek šroubu by se rozdělil na 200 dílů, které by ovšem byly již trochu malé.

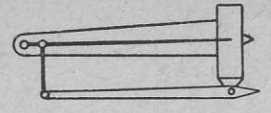
U uvedeného theodolitu, stačí-li přesnost na 1", můžeme vše zjednodušit tak, že volíme zvětšení objektivu malé, na př. 3,44, aby délka reálného obrazu byla 0,8 mm a tu rozdělíme jedinou otáčkou šroubu, jak to dělával Fennel; stupnička pak odpadne vůbec, a na bubínku, rozděleném na 60 dílů, lze snadno odhadovat sekundy.



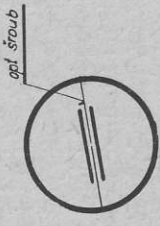
Obr. 608.



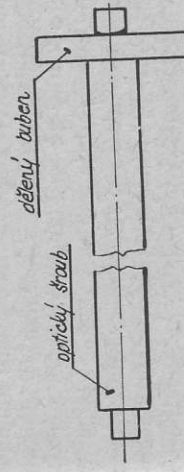
Obr. 609.



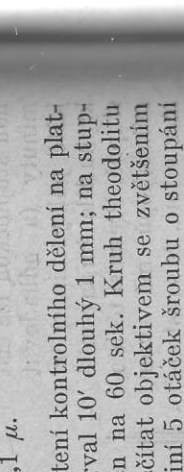
Obr. 610.



Obr. 611.



Obr. 612.

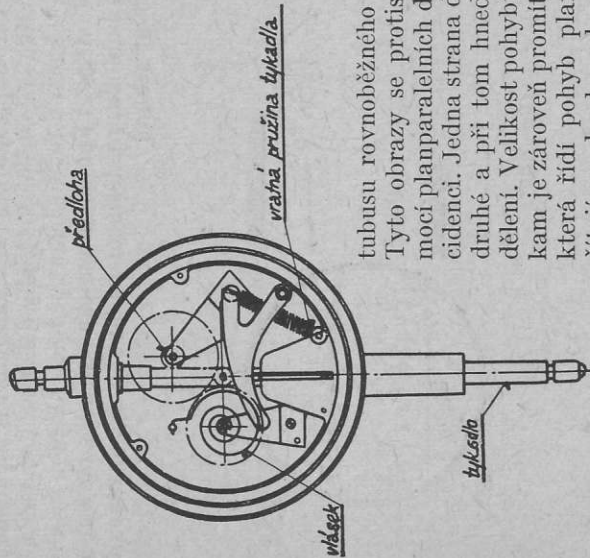


Obr. 613.

Pohyblivou značku lze také realizovat dvojitou Archimedovou spirálou na otočné skleněné desce, excentrické k ose mikroskopu (obr. 609); koincidence se zjedná otáčením desky (obr. 610), na níž je hned dělení, aby bylo lze odečíst zlomek intervalu. Skleněný kotouč má vybroušený důlek, jímž se otáčí na pevně uložené ocelové kuličce; je veden a na kuličku tlačěn třemi kolečky, z nichž jedno je pohyblivé a tlačené pružinou (Zeiss). Kotouč má kovovou obrubu jemně ozubenou, do níž zabírá pastorek s točičkem.

Úhlová dělení jsou ve všech uvedených případech hustě číslována; milimetrová dělení měřicích strojů se nečíslovají a celé milimetry se čtou na zvláštním hrubém milimetrovém měřítku.

Druhý způsob koincidenčního mikroskopu se realizuje tak, že paprskům se dá do cesty planoparalelní deska (obr. 608), jejímž nakláněním se obraz vytvořený objektivem posouvá, až se dosáhne koincidence s pevnou značkou; pohyb desky je odvozen od děleného bubínku. Pro normální mikroskop nedává tento princip výhodu, konstrukce nevyhází pěkně. Avšak elegantním způsobem užil posouvání obrazu *H. Wild* pro své theodolity se skleněnými kruhy: obrazy profílehlých míst dělení jsou dlouhým a několikrát lomeným mikroskopem přeneseny do



Obr. 614.

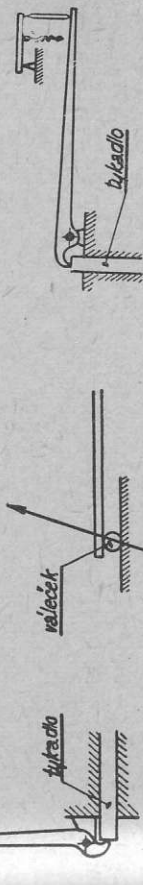
tubusu rovnoběžného s dalekohledem theodolitu. Tyto obrazy se protisměrným pohybem — s pomocí planoparalelních destiček — přivedou ke koincidence. Jedna strana dělení tedy dělá index straně druhé a při tom hned vypadne vliv excentricity dělení. Velikost pohybů se čte vedle obrazů dělení, kam je zároveň promítnuto dělení spirálové desky, která řídí pohyb planoparalelních destiček; odečítají se zlomky sekund a práce je pohodlná, poněvadž pozorovatel zůstává u okuláru dalekohledu. Dosažitelná přesnost s kruhem $\varnothing 140$ mm není ovšem jednoduchý a jeho justování vyžaduje znalosti stroje.

Berlínská firma Lindner opatřuje své souřadnicové stroje mikrometrickým šroubem optickým. Na vyleštěný válec (obr. 611) je diamantem vyryta šroubovice o stoupání 2 mm a bubínek s válcem spojený je rozdělen na 200 dílů po 10 mikronech. Sámě jsou posouvány ozubenou tyčí. Zlomky milimetru se nastaví na bubínku, sáněmi se najede zhruba podle měřítka, přesně podle koincidence v mikroskopu (obr. 612), který představuje optickou matku. Výhoda je, že se zde šroub neopotřebovává.

Zvětšování malých pohybů

Zvětšování malých pohybů potřebujeme k měření malých pohybů a malých deformací měřicích pružin nebo zkoušených konstrukcí, ale také k zjištění malých délkových rozdílů, srovnáváme-li na př. měrky mezi sebou nebo měrky s předmětem. Úlohu lze řešit použitím nejrůznějších principů.

Mechanické způsoby byly již z části uvedeny: nerovnoramenná páka „Minimetru“ (obr. 326), přístroj Martensův (obr. 325), váleček s pásky (obr. 473), rozkrucující se pásek na obr. 476, dvě pružinky na obr. 486. Lze také užít pákového převodu dvojitého; na obr. 613. je uspořádání známého tensometru Huggenbergerova, jehož zvětšení je asi 1200. V laboratoři v dílně jsou užitečné měřicí hodinky (indikátor), jejichž tykadlo, provedené jako ozubená tyč, pohybuje přes předlohu ručkou, která oběhne dokola při posuvu o 1 mm; vůle je odstraněna vláskem spojeným s ozubeným kolem zabírajícím s pastorkem na hřídeli ručky (obr. 614), neboť vlásek nesnese více než jednu otáčku, pak se zhroutí do klubička. Ozubený převod lze kombinovat s pákovým, na př. podle obr. 615 (Passametr Zeiss).



Obr. 615.

Obr. 616.

Obr. 617.



Obr. 618.

Na obr. 616 je ručka (nebo zrcátko) na malém válečku, pohybovaném třením; účel je tentýž jako u spolehlivějšího přístroje Martensova (obr. 325).

Ze způsobů optických je důležitá metoda zrcadlová (Poggendorfova), obr. 618; dalekohledem pozorujeme — odrazem od otáčivého zrcátka — milimetrovou stupnici. Je-li stupnice rovinná, je posun e

$$e = L \cdot \operatorname{tg} 2\alpha, \quad (37)$$

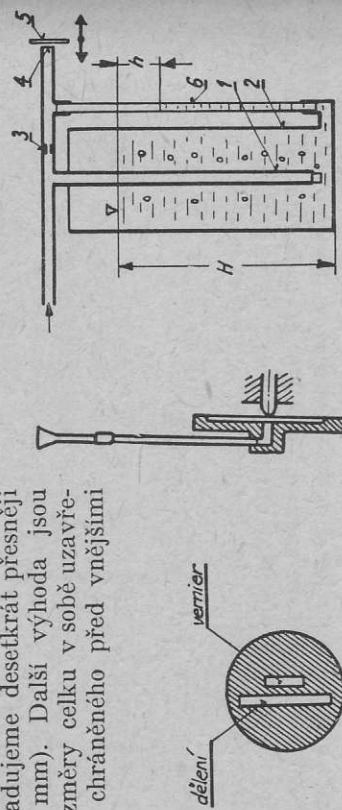
kde α je pootočení zrcátka. Pro malé α je závislost lineární, pro větší úhly lze užít oprav uvedených ve Valouchových tabulkách. Přesnost je značná, neboť zde máme jakousi nehmotnou ručku o délce $2L$ a odečítáme na desetiny milimetru. Vzdálenost L nelze příliš zvětšovat, neboť se zhoršuje obraz v dalekohledu a zejména ve výtápěné místnosti se uplatňuje neklid obrazu, způsobený pohyblivými vrstvami vzduchu nestejné teploty a tím nestejného indexu lomu; L bývá 1—2 metry. Užití u pevných instalací i jako universální

metody v laboratorii. Místo dalekohledu bývá často lampa a čočkový systém, promítající na stupnici světelnou značku, obyčejně světlý kruh přepažený stínovou čárkou. Zrcátko se upevňuje přímo na otočnou součást jako u Martinova přístroje, nebo na ně tlačí posuvné tykadlo (obr. 619) přímo, nebo ještě prostřednictvím zvětšující páky podle obr. 617 (dílenké přístroje pro měření vyrobených částí). Velmi přesné výsledky dává „Optimetr“, původně



Obr. 619.

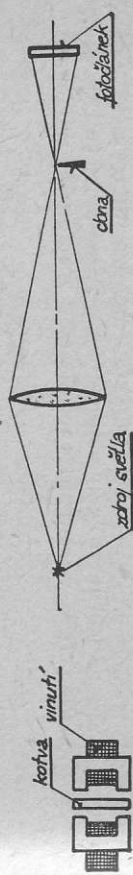
Zeissových závodů, dnes vyráběný po celém světě. Je to autokolimační dalekohled (obr. 619), v jehož ohniskové rovině je destička (obr. 620), na níž jsou jsou vedle sebe jemné dělení a vernier; rektifikací dosáhneme, aby zrcadlem vrácený obraz dělení byl v dotyku s vernierem, přímo pozorovaným okulem. Dělení je zvětšeno odrazným hranolem. Přesnost je asi 0,2-mikronu (na tykadle), větší než metody na obr. 618; zde máme sice optickou ručku dlouhou jen jako dvojnásobek ohniskové délky, která bývá 200—250 mm, ale odhadujeme desetkrát přesněji (setiny mm). Další výhoda jsou malé rozměry celku v sobě uzavřeného a chráněného před vnějšími vlivy.



Obr. 620.

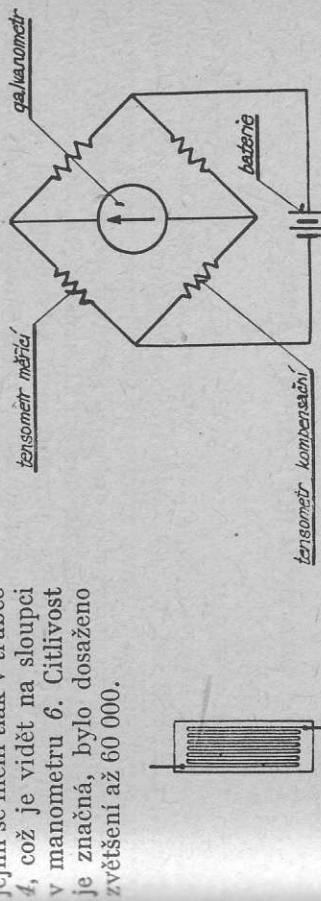
Optické metody lze kombinovat s mechanickými. Na zvětšující páku je možno dát vhodnou značku, jejíž polohu lze pak sledovat mikroskopem stupnicovým nebo koincidenčním; nebo mikroskopickou stupnicí na skle a tu pozorovat mikroskopem; na př. komparátor N. P. L. pro koncové měry má mechanické zvětšení 350 ústrojím dle obr. 486 a pohyb ručky se promítá zvětšením 50, takže rozdíl měrek 1 mikronu dává pohyb světelného indexu o 17,5 mm.

Principu hydrostatického je užito u libely a aplikací na obr. 565 a 566. Jiný způsob, užitý pro dílenské měřicí stroje jako nulový indikátor, obr. 621, je plochá krabice uzavřená membránou (jako na obr. 463), na níž tlačí tykadlo. Stoupne-li kapalina znovu ke značce, je tykadlo znovu v téže poloze — nezměnila-li se mezitím teplota, nebo zařízení funguje také jako (nežádoucí) kapalinový teploměr. Na podkladě aerodynamickým pracuje známé měřidlo



Obr. 623.

„Solex“, původně vytvořené k měření malých vyvrťů. Vzduch, priváděný v nadbytku, uniká v bublinkách trubkou 1, zasahující do vody v nádobě 2, a tím je tlak jeho udržován na hodnotě dané výškou vodního sloupce H. Vzduch proudí kalibrovaným otvorem 3 a uniká přesně opracovaným ústím trubky 4, v jehož těsné blízkosti je pohyblivá rovinná destička 5. Pohybem jejím se mění tlak v trubce



Obr. 625.

Obr. 626.

Veliké možnosti dávají metody elektrické, schopné sledovat pohyby libovolně rychlé. Velmi citlivá je „indukční váha“, na obr. 623; dvě malé stejné cívky se železnými jádry, mezi nimiž se s malou vůlí pohybuje železná kotvička; její výchylka zmenší vzduchovou mezeru jednoho a zvětší druhého jádra a tím změní i indukční odpor civek, napájených střídavým proudem. Cívky jsou v mřížkovém zapojení; měřit je možno metodou nulovou nebo výchylkovou. Použijeme-li elektronkové o nulového indikátoru, můžeme zjistit pohyby kotvičky řádu 0,02 mikronu. Kombinovaná metoda optická a elektrická je na obr. 624; proud světla žárovky je stažen spojkou a do nejužšího místa svazku paprsků zasahuje nožová clona; malý pohyb clony způsobí velké změny v množství světla dopadajícího na fotočlánek, spojený s galvanometrem.

Zvláštní význam ve výzkumu získaly elektrické odporové tensometry (strain gauges). Odporový drátek několik setin mm tlustý je na př. ve formě na obr. 625 uložen a bakelitem zalepen mezi dva listy jemného papíru. Tento odpor, dlouhý 6—25 mm, nejlepší se speciálním lakem na vyšetřovanou součást. Namáháním se součást prodloužuje nebo zkracuje a s ní i tensometr, jehož odpor se tím mění. Změna odporu R a délky L jsou u používaných odporových materiálů v poměru

$$dR/R : dL/L = 0,5 \div 3. \quad (38)$$

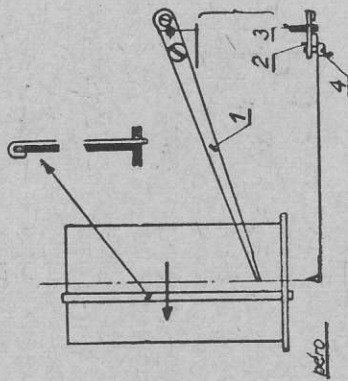
Tensometr je zapjat v můstkovém spojení (obr. 626). Poněvadž drátek a zkoušený kus nemají obecně stejnou tepelnou roztažnost, mohly by vzniknout chyby, které kompenzujeme stejným tensometrem ve vedlejší větvi můstku, umístěným vedle vyšetřované součásti a nalepeným na kus materiálu, z něhož je součást. Měřit lze metodou nulovou (nejpřesnější) nebo výchylkovou a lze voličem rychle po sobě připojovat větší počet tensometrů na společnou měřicí aparaturu; byla provedena aparatura, která zaznamená údaje 600 tensometrů během dvou minut. Citlivost je řádu 10^{-6} , což znamená namáhání v oceli řádu $0,02 \text{ kg/mm}^2$, v duralu $0,007 \text{ kg/mm}^2$. Důležité je, že připojením elektronkových okruhů a katodového oscilografu lze zaznamenávat i rychle se střídající namáhání dynamická. Létá letadlo, v jehož konstrukci je nalepeno několik tisíc tensometrů a které nese potřebnou zapisující aparaturu; po mořích pluje torpedoborec, v jehož trupu je 15 000 těchto tensometrů. Lze očekávat, že odporové tensometry nás konečně poučí, jaké je skutečné namáhání konstrukcí v trvalém a praktickém provozu. Choulostivý bod je nalepení odporů; namáhaná součást svoje deformace vnucuje násilím tensometřím a toto násilí se děje prostřednictvím smykových napětí v lepidle. Elastická hysterese lepidla způsobí proto zdánlivou hysteresei tensometru, která může podstatně snížit přesnost měření.

Methody zapisovací čili registrační

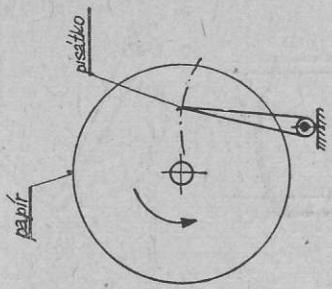
Těchto method se užívá v různých případech.

- Měříme rychlé změny: indikování pístových strojů, zkoušky dynamické, přechodné zjevy proudové, elektrické atd.
 - Měříme na mnoha místech. po příp. nedostupných: měření v letadle, v automatické kontrole, složitá měření s málo pozorovatelí.
 - Měříme nepřetržitě: záznam tlaku vzduchu, teploty, výšky hladiny; kontrolní měření v provozu.
 - Je třeba spolehlivého a trvalého dokladu: měření ve výrobě (kontrola procesů tepelných), v dopravě (rychlost lokomotivy, těžního stroje atd.).
- Nejprostší a hojně užívaný je záznam *inkoustem* na papíru, který je ovinut kolem bubnu (obr. 627), nebo je to kotouč (obr. 628; oblíbeno v Americe), nebo libovolně dlouhý pás (obr. 630). Pohybuje-li se písátko v oblouku (obr. 627, 628), je vyčíslování grafu nepohodlné a vyžaduje papíru s rastroem nebo šablon; je-li třeba hledat střední hodnoty, je nutno graf překreslit před

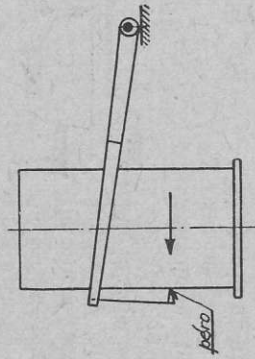
planimetrováním, není-li po ruce speciální planimetr. Přímkové vedení péra na obr. 630 nebo vedení, jehož se užívá na indikátorech, zvyšuje tření a vůle v mechanismu. Velmi dobrý je způsob na obr. 629, s pákou kolem bubínku rozvidlenou, na níž visí lehký třmen s pérem. Některé přístroje (automatické přístroje kompenzační) mají přirozeně přímý pohyb písátka. Výhodné je, je-li souřadnice grafu úměrná měřené hodnotě; tomu lze s dostatečnou přes-



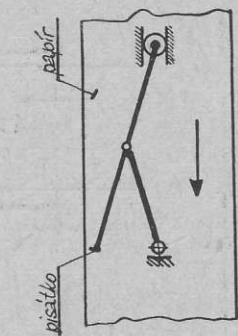
Obr. 627.



Obr. 628.



Obr. 629.



Obr. 630.

ností vyhovět, je-li úhlový pohyb písátka malý, nebo si pomáháme vhodnou konstrukcí převodu, jinak vyčíslování je nepohodlné, a přímé planimetrování nepřipustné. Způsob na obr. 631 je dokonalý, je-li úhlová výchylka páky úměrná měřené hodnotě; papírový pás, pohybující se kolmo k nákrasné, je veden přes desku zakřivenou válcovitě kolem osy páky, péro se tedy pohybuje v přímce a úměrně měřené hodnotě.

Péro může být z plechu podle obr. 633 nebo trubičkové; na obr. 634 je péro ze skleněné kapilary, které si bere inkoust z korytka zakřiveného podle dráhy péra, a používané pro systém na obr. 630. Péro má být přitlačováno lehkým a konstantním tlakem k papíru. Na obr. 627 psací páka 1 z tenkého hliníkového plechu je přišroubována na rameni 2 a tlak na péro lze regulovat šroubkem 4. Péro na obr. 634 spočívá břitem na psací páce a je lehce přitlačováno záva-

žím. Inkoust je obvykle vodní roztok vhodného barviva s trochou pojidla (cukr) a důkladnou přísadou glycerinu; čáry proto nevyschnou, nýbrž inkoust pomalu vsákne do papíru, což může vést k rozšíření čar. Pro krátkodobé záznamy lze použít obvyčejného inkoustu a obvyčejného psacího péra.

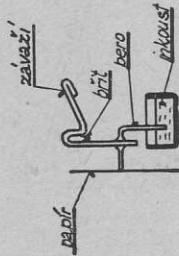
Papír se pohybuje buď plynule s časem, hodinovým strojem nebo synchronním motorkem, nebo úměrně jiné veličině měřené (typ diagramů indikátorových). Poněvadž práce s inkoustem je nečistá, užívá se jiných způsobů, které však znamenají větší tření: stříbrný hrot na speciálním papíru, tužka na papíře, hrot na tmavém papíře potaženém vrstvičkou bílého vosku; malé tření má hrot na začátek papíru (v letadlech, kde inkoust zmrzne).

Psaní na papíře způsobuje poměrně značné tření, které nemohou překonávat měřicí přístroje vyvinující jen malý moment, na př. galvanometry. Pomáháme si tím, že písát-ko necháme se pohybovat nad papírem; občas třmen, poháněný hodinovým strojem nebo motorkem, přitlačí ruku a udělá tečku (obr. 632). Místo péra může být úzká hranka, kterou třmen úderem otiskne přes barevnou pásku na papír (obr. 635); tento způsob umožňuje záznam z více míst, neboť volici mechanismus zaplná po řadě jednotlivá místa a současně podstírkuje pásky různých barev. Značky lze udělat také malým válečkem 2, který dostává barvu od malého válečku 3 z plsti (obr. 638); jindy se užije elektrické jiskry (obr. 639).

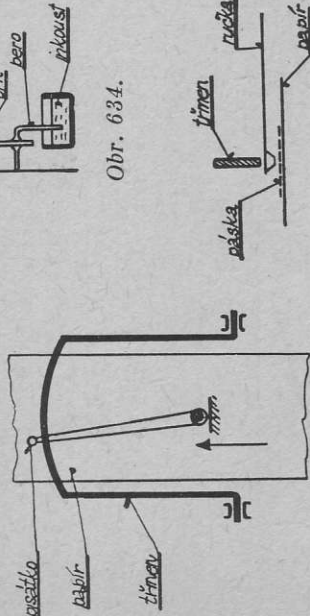
Hojně užíváme metody značkovací, je-li třeba kromě děje zaznamenat i čas. Na to jsou chronografy; papír, obvyčejně ve formě pásky, je odvinován



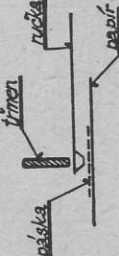
Obr. 633.



Obr. 634.



Obr. 632.



Obr. 635.



Obr. 636.

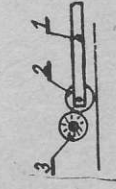
bovat nad papírem; občas třmen, poháněný hodinovým strojem nebo motorkem, přitlačí ruku a udělá tečku (obr. 632). Místo péra může být úzká hranka, kterou třmen úderem otiskne přes barevnou pásku na papír (obr. 635); tento způsob umožňuje záznam z více míst, neboť volici mechanismus zaplná po řadě jednotlivá místa a současně podstírkuje pásky různých barev. Značky lze udělat také malým válečkem 2, který dostává barvu od malého válečku 3 z plsti (obr. 638); jindy se užije elektrické jiskry (obr. 639).

Hojně užíváme metody značkovací, je-li třeba kromě děje zaznamenat i čas. Na to jsou chronografy; papír, obvyčejně ve formě pásky, je odvinován

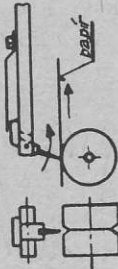
a posunován hodinovým strojem a na pásku píše dvě nebo více per, spojených s kotvami elektromagnetů. Každé pero píše nepřetržitou čáru, na níž krátký proudový impuls způsobí vlnku (obr. 636). Jeden z elektromagnetů dostává časové impulsy od kontaktních hodin. Ostatní péra zaznamenávají vyšetřované děje; na týž pás může zapisovat křivku libovolný měřicí mechanismus. Metoda je všestranná a počet per může jít do desítek. Značkováním času se



Obr. 637.



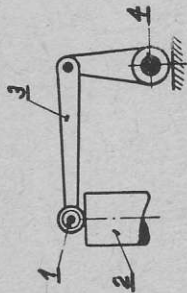
Obr. 638.



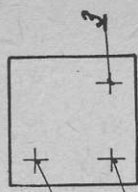
Obr. 640.



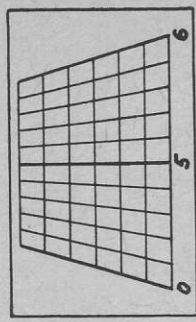
Obr. 642.



Obr. 643.



Obr. 644.



Obr. 641.

snažimě časově koordinovat údaj je několika samostatných registračních přístrojů. Značkování lze dělat také elektrickou jiskrou (obr. 639), válečkem na obr. 638, barvou dle obr. 637 (jehla položí na papír malou kapičku), nebo s vynaložením větší síly — bodlem na obr. 640, které je výkyvné ve směru šípky, aby netrhalo papír. Vzájemná poloha značek se průhledným měřítkem a trojčlenkou se doporučuje (rychlost papíru není trvale konstantní!), což odpadne, měřimeli sbíhavým měřítkem na obr. 641.

Záznam veličin rychle se měnících vyžaduje vysoký vlastní kmitočet měřicího systému. To nutí zmenšovat měřtko grafů až na několik milimetrů výšky a je třeba jemnějších čar, než píše pero. Účelné je psát na podkladě průhledném, aby bylo možno malé grafy zvětšovat promítnutím na citlivý papír. Výborné výsledky dá záznam jehlou nebo štětinkou na začátek skel; metoda vyžaduje trochu zkušenosti, lze však dosáhnout záznamů, z nichž v obyčejném zvětšovacíu dostaneme na čistém bílém podkladě při zvětšení desetinásobně ostrými černými čarami na čistém bílém podkladě při zvětšení desetinásobně i větším. Jestliže menší grafy (1—2 mm vysoké) lze psát jehlou na skličku slabě chemicky postříbeném. Jiná možnost je záznam na čistém, t. j. nepo- lévaném, celuloidovém filmu; neostrá jehla nechává vytlačenou rýhu, jejíž průřez je na obr. 642 a která po promítnutí na bromostříbrný papír se —

I. O času a jeho určování

Tato kapitola by si zasloužila celou knihu. My však se omezíme jen na nejnětější pojmy a definice, a místo, které jsme tak ušetřili, věnujeme důkladnějšímu studiu techniky měření času, studiu chronometrie.

Proto pomírně otázku jistě důležitou a zajímavou: co je to vlastně čas? Řešení její je záležitostí fyziků a filozofů a také psychologů. Nepomineme úplně, ale jen letmo uvedeme ty kapitoly z astronomie, které jsou podkladem časoměry, určování času a dnešní světové časové služby. Doporučuji čtenáři, aby si přečetl příslušné kapitoly v knize Schneiderové, a chce-li poznat více, najde to v knihách o astronomii; přijde si na své, neboť tyto věci jsou zajímavé a zajímavě zamotané.

Živým tvorem je pojem času jakoby vrozen, jejich jednáni se řídí jakými časovými plány. Vzpomeňme na přesný přilet a odlet stěhovavých ptáků, na psa, který zná čas žrádla i pánova návratu. Ještě nápadnější je to u některých druhů hmyzu; činnost směřující k zplození a zaopatření potomků je u nich řízena nepřenosnou časovou posloupností, kterou hmyz s dojemnou poslušností sleduje, i když se situace změnila a dodržování plánu ztratilo tím smysl.

U člověka první, primitivní dělení času bylo dáno jistě střídáním dne a noci; to určovalo životní rytmus, určovalo čas k činnosti a čas k odpočinku. Druhým zjevem opakujícím se, *periodickým*, byly proměny Měsíce. Zjev to krásný a tajemný, který dal vznik mnoha pověrám a bájím, který však od počátku činil nespásné tím, že doba od úplňku do úplňku není celistvým počtem dní.

Tyto věci se postupně vyjasňovaly, když se lidé před tisíciletími počali zabývat astronomií. Astronomové ovšem záhy poznali další časovou periodu pro sebe důležitou, *hvězdný den*, dobu od jednoho vrcholení určité hvězdy k vrcholení druhému. Seznali však také brzy, že tento hvězdný den nemá nic společného s dnem slunečním, ani s městem, ani s rokem. Byl to dlouhý proces spořádání, přemýšlení a počítání, než lidstvo došlo k dnešní časomíře. Nemůžeme zde tento proces sledovat, spokojíme se tedy jeho výsledky.

Základním našim časoměrem je — z nedostatku lepšího — naše Země, její otáčení kolem vlastní osy, které působí, že se nám hvězdná obloha otáčí nad hlavou směrem opačným. Hvězdný den však neodpovídá přesně době jedné otočky, nýbrž je skoro o 0,01 sek kratší následkem přecsného pohybu zemské osy (která opíše — jak osa dětského vlka — kužel za 26 tisíciletí); kromě toho nejsou ani jednotlivé pozorované hvězdné dny přesně stejné, poněvadž kromě přece zemská osa koná další pohyby nutační (pod vlivem různých se kombinující přitažlivosti Slunce a Měsíce). Ke všemu se otáčení země povolna zpomaluje následkem útumu, vznikajícího ztrátou energie prouděním mořské vody při přílivu a odlivu (další účinek přitažlivosti Měsíce a Slunce). K dovršení všeho máme velice důvodné podezření, že ani samo otáčení Země není rovnoměrné. Máme oběanském životě počítáme z pochopitelných důvodů na dny sluneční.

S těmi je to ještě horší. Den definovaný jako doba mezi dvěma po sobě následujícími kulminacemi Slunce, kolísá během roku o řadu minut. Proto bylo nutno zavést *střední den sluneční*, který je definován myšleným náhradním Sluncem, rovnoměrně obíhajícím v rovině zemského rovníku. Střední čas byl zaveden v Německu r. 1810, ve Francii 1816. Tohoto času užíváme také v technice a ve fysice. Rozdíl mezi vrcholením pravého a středního času, nazývaný starobylým názvem „časová rovnice“ (dnes bychom řekli oprava na střední čas), je ročně uveřejňován v astronomických příručkách. Jeho průběh ukazuje obr. 1.

V minulých dobách, kdy lidé měli zálibu v různých mechanických hříčkách,

následkem lomu světla — objeví jako tenká bílá čára na tmavém podkladě. Nevýhoda je, že na černém grafu je těžko psát poznámky, výhoda, že lze zaznamenávat děje rychlé a déle trvajcí. Obdobný je záznam diamantem na skle optický broušenem, vhodný pro pohyby zcela malé (několik desetin mm).

Zádné tření není spojeno se záznamem *fotografickým*. Na pás citlivého papíru lze zachytit stín kapalínového sloupce nebo pohyblivé clony, obyčejně však se zapisuje světelným bodem, vytvořeným zmíněnou již projekční lampou a odchylovaným zrcátkem jako na obr. 618. To je metoda dávno užívaná ve smyčkovém oscilografu, vhodná pro nejrůznější jemné měřicí systémy a dávající dostatečně ostré čáry. Je-li třeba zaznamenat funkční souvislost dvou měřených veličin, podepřeme zrcátko podle obr. 644, takže jedna z veličin vyvolává natáčení podle osy 12, druhá podle 23. Analogický způsob mechanický je na obr. 643, kde pišící hrot dostává pohyb od rovného konce tyče 2, po němž se posunuje účinkem ramena 4 (Maderův mikroindikátor). Současný záznam více přístroji vede při výčíslování často k omylům v časové koordinaci záznamů. Dobrá metoda je užít přístrojů ukazujících (které jsou přesnější), sestavených na nějakém panelu, a přístroje v intervalech prostě fotografovat. Máme pak údaje bezpečně synchronisované, a přidáme-li k přístrojům hodiny, též přesně časově umístěné. Interval mezi snímky mohou být (podle rychlosti děje) minuty nebo sekundy, přístroj může být automatický; takto bylo (při zkoušení letadel v letu) fotografováno 40 měřících přístrojů.

Konec prvního dílu.

byly vyráběny hodinky, jichž jediná ručka udávala pravý sluneční čas. Poněvadž hraničí na nemožnost udělat stroj, který by sledoval nepravdivý chod skutečného Slunce, dělalo se to jinak. V hodinách byla vačka, udávající časové rovnice, a pohyb od vačky odvozený se počítal (nějakým diferenciálním mechanismem) s rovnoměrným pohybem hodinového stroje; jednodušší řešení bylo to, že vačka — která se otáčela jednou za rok — natáčela číselníkem, tak že ručka rovnoměrně obíhající opět ukazovala pravý sluneční čas.

Je jasné, že slunce vrcholí na různých místech Země postupně, každý poledník má svůj sluneční čas. Za hodinu otočí se zeměkoule o $360 : 24 = 15^\circ$, za minutu o $15'$. Máme-li tedy hodiny nařízené na místní čas, na příklad Greenwichský, a zjistíme-li okamžik, kdy vyvrcholilo u nás Slunce, můžeme výpočtem (s pomocí astronomických tabulek k tomu účelu vydaných) určit rozdíl zeměpisných délek mezi našim místem a poledníkem Greenwichským. Tohle bylo známo již počátkem šestého století, ale chyběly dostatečně přesné hodiny. Snaha vytvořit takové hodiny, podporovaná cenami vypsanými v různých zemích, vedla k zajímavé, napínavé a pro vývoj mimořádně významné kapitole dějin hodinářství, která nám dala námořní chronometr.

Za starých časů nevařilo, když každé město mělo svůj vlastní, místní čas. Vedlo to však k chaosu, když vývoj techniky přinesl mezinárodní železniční dopravu, telegraf a telefon. Nepodařilo se zavést jednotný, světový čas, byl však přijat a zaveden čas pásmový. Zeměkoule je rozdělena na pásma po 15° zeměpisné délky, mezi sousedními pásmy je tedy rozdíl přesně jedné hodiny. Většina zemí má jednotný čas pásma, v němž nebo kolem něhož leží, jen velmi rozlehlá území (SSSR, USA) mají více pásmových časů. Pro zajímavost uvádím časy různých míst ve srovnání s časem světovým, Greenwichským.

Londýn, Paříž	12 hod.	Moskva	15 hod.
Madrid, Brusel	12 hod.	Bombay	17 hod.
Monako, Lisabon	12 hod.	Irkutsk	19 hod.
Praha, Berlín	13 hod.	Šanghaj	20 hod.
Stockholm, Oslo	13 hod.	Tokio	21 hod.
Ženeva, Řím	13 hod.	San Francisko	4 hod.
Kodaň, Pešť	13 hod.	Chicago	6 hod.
Kairo, Athény	14 hod.	New York	7 hod.
Helsinky	14 hod.	New Foundland	8 hod.

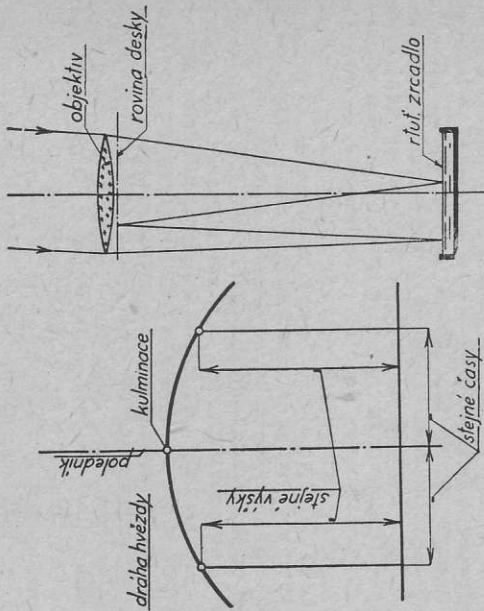
Výjimku činí Holandsko, majíc 11 hod. 20 min. (čas Amsterdamský).

Zjišťování času

Hvězdy jsou k tomuto účelu vhodnější než Slunce, jednak proto, že jejich pohyb na nebi je pravidelný, jednak proto, že i v silném dalekohledu se jeví jako ostré body. Možná jsou dvě metody pozorování, obě dobře a obě známé již přes 2000 let. Obvyklejší je metoda *pasážní*: pozorujeme průchod („pasáž“) hvězd rovinnou poledníku, t. j. svislou rovinou jdoucí osou zemskou a naším stanovištěm. Druhá je metoda *měření výšek*: měříme (v úhlech) výšky hvězdy nad obzorem a výškom odpočítáme. Zvláště výhodná je metoda *stejných (korespondujících) výšek*: Určí se okamžiky, kdy hvězda dostoupila určité výšky před průchodem poledníkem a chodem poledníkem a kdy sestoupila na tutéž výšku po průchodu; střed obou časů odpovídá okamžiku průchodu poledníkem. Metody výšek užíváme hlavně na lodích a letadlech, při čemž úhly měříme sextantem, který nepobrubuje pevně stát, nýbrž drží se v ruce. Věc objasňuje obr. 2.

Pro přesné zjišťování času bylo nutno vyvinout vhodné pomůcky. Arabové svými *astrolábi* měřili čas s chybou asi jedné minuty; zavedením průzorů (dioptrů) chyba klesla asi na 10 sekund. Rozhodný pokrok učinil ve Francii J. Picard zavedením záměrného dalekohledu, t. j. Keplerova dalekohledu opatřeného nitkovým křížem; metoda stejných výšek dávala pak čas s chybou necelé sekundy. Dán Olaf Römer (hvězdář, který po prvé, r. 1675, zjistil rychlost světla) učinil další krok, vynálezem *pasážního stroje* (1689), kterého užíváme na hvězdárnách dodnes. Je to dalekohled otáčivý přesně v rovině poledníku; dalekohled dá se sklon odpovídající výšce hvězdy a průchod hvězdy lze pak přesně sledovat. Jde nyní o to, jak srovnat tento okamžik s údajem hodin, které mají být kontrolovány. Tuto úlohu rozřešila elektřina: pozorovatel stiskne kontakt a tím zaznamená okamžik průchodu na běžící pásek *chronografu*, na kterém, rovněž elektricky, se zaznamenávají pohyby kyvadla hodin; záznam chronografu se proměří a výpočtem se určí odchylka hodin. Zůstává zde však *osobní chyba pozorovatele*; ta činí průměrně asi 0.2 sek., což by samo nevařilo, ale tato chyba není stejná u všech lidí a i u téhož jedince kolísá podle jeho nervové kondice. Tuto nesnáž odstranil německý mechanik Repsold zavedením *neosobního mikrometru*. Místo pevné svislé nitky je v okularu dalekohledu dvojité nitka vodorovně pohyblivá. Úkolem pozorovatele je pouze udržovat hvězdu stále mezi oběma nitkami, což lidské oko dovede posoudit ku podivu přesně. Kontakt je dán pak samočinně mechanismem pohybujícím nitkami; přesnost se zvýší ještě tím, že se takto zaznamená řada poloh hvězdy na její cestě zorným polem dalekohledu.

K určení času pozorujeme vždy větší počet hvězd *základních*, které vyhovují svou světelností, a jejich poloha na obloze je zvláště přesně známa. Po několika



Obr. 2.

Obr. 3.

hodinách pozorování a výpočtů dostaneme tak čas s přesností asi 0,02 sek. Podobné přesnosti lze dosáhnout také metodou stejných výšek, užije-li se našeho cirkumzenitálu konstrukce Nušl-Fritčovy. Přesnost 0,02 je jistě účynhodná a přece dnes již nepostačuje, neboť odchylky moderních hodin ze dne na den činí pouze tisícinu sekundy! Zlepšení lze očekávat od zenitteleskopu, přístroje fotografického, jímž v posledních letech dosaženo přesnosti překvapující, kolem 0,002 sek. Dlužno dodat, že na tyto přesnosti nestačí již starý páskový chronograf a že bylo proto nutno vytvořit nové, mnohem přesnější přístroje, jako jsou na př. chronografy jiskrové.

Schema zenitálního dalekohledu čili zenitteleskopu je na obr. 3. Je to svíslá trouba, která nahore nese vodorovný a otáčivý veliký objekt. Pod objektivem jsou sáně, které nesou fotografickou desku. Ve spodku stroje je plocha mísa se rtuťí položená tak hluboko, aby odražený odraz hvězdy padl právě do roviny fotografické desky. Svislý směr je dán hladinou rtuťi, a poněvadž deska je v hlavní rovině objektivu, nemá ani nepřesnost v montáži objektivu vliv na měření. To je jedna výhoda zenitteleskopu na rozdíl od stroje pasážního, který naopak musí být pevně uložen a s největší přesností rektifikován.

Měření se provádí takto: když hvězda vstoupila do zorného pole, fotografická deska začne sledovat přesně její pohyb, neboť sáně jsou posunovány šroubem, kterým otáčí synchronní motor, napájený z křemenných hodin. Proto po vyvolání se objeví obraz hvězdy jako pouhý bod. Při pohybu sáně dají kontakt pro záznam na chronografu. Ten by ovšem nebyl nic platný, poněvadž nevíme, jak byla hvězda vzdálena od zenitu. Proto asi po dvaceti sekundách celá aparatura, t. j. objektiv, sáně i motor, se otočí kolem svislé osy o 180°. Zároveň se obrátí směr otáčení motoru. Tím deska znovu sleduje hvězdu, která se zobrazí na desce jako druhý bod. Při druhém pohybu sáně v témže místě dají druhý kontakt pro chronograf. Vzdálenost obou obrazů hvězdy se změní mikroskopovým mikrometrem. Celé měření je tedy zautomatizováno a jediným lidským úkonem je proměření desky. Zenitteleskop má ovšem proti pasážnímu stroji jednu nevýhodu: je odkázán na hvězdy, které procházejí zenitem nebo v nevelké vzdálenosti od zenitu, aby ještě byly zachyceny na desku. Je jasné, že rozměry desky jsou omezené, jinak by byla sáněmi zaeloněna příliš velká část objektivu. Zdá se, že přesnost stroje je na hranici toho, co připouští neustálý neklid vzduchu.

Časová služba

Před příchodem radiotechniky neexistovala světová časová služba. Hvězdárny určovaly si čas každá pro sebe. Navigátoři na širém moři byli odkázáni pouze na své chronometry (velké lodi vozily nejméně tři chronometry), které si mohli zkontrolovat jen občás, když připluli na dohled některé z četných pobřežních časových stanic; tyto stanice, spojené drátem s nějakou hvězdárnou, oznamovaly čas optickým signálem, obyčejně pádem velké koule na sfožaru, v noci zábleskem. Pro potřebu drah a pošt byl čas denně vysílán telegraficky. V některých velkých městech měli centrály s přesnými hodinami, řízenými z hvězdárny, a časový signál si mohl kdykoli vyslechnout každý majitel telefonu. Starší Pražané si pamatují jak bylo poledne oznamováno výstřelem z děla, dle signálu připravem ze staré hvězdárny v Klementinu, a znají v této souvislosti i různé vtipy o zednicích a pod. Majitel přesných hodin stál tehdy před nerušeným problémem, jak kontrolovat hodiny, jichž přesnost je větší, než přesnost jemu dostupných pomůcek k stanovení času.

To vše změnila radiotechnika. Stanovením času zabývá se dnes jen malý počet hvězdárny po světě, na tuto práci speciálně zařízených, zato je přesný čas vysílán množstvím vysílaček ze všech zemí a na všech vlnách; lze říci, že není místa na zeměkouli, kde by nebylo možno denně zachytit aspoň jeden časový signál. Vysílání začalo v roce 1910 a v těchto počátečních chybách signálu 1 sek nebyla

vzácnosti. Přesnost se však postupně zvějšovala, přibývalo vysílajících stanic, a vznikaly tím otázky, které bylo nutno řešit mezinárodními dohodami. Dnes se těmito otázkami zabývá Mezinárodní unie astronomická a její „Bureau International de l'Heure (zkratka B. I. H.) v Paříži.

Časové signály jsou vysílány vždy automaticky, buď přímo hodinami (na př. nás a Greenwickský signál), nebo automatickou aparaturou, kterou hodiny uvedou v chod. Obyčejně *signály jednoduché* (obyčejně šest sekundových bodů) stačí dobře pro kontrolu kapesných strojů, ne však hodin přesnějších, poněvadž srovnání nelze provést dost přesně, leda že bychom signál zaznamenávali oscilografem nebo — po usměrnění a zesílení — páskovým chronografem. Přesnější srovnání umožňují signály rytmické čili *koincidenční*, a to bez jakékoli aparatury. Stačí poslouchat tiky vlastních hodin a z přijímače rázy signálu a při tom jen zjistit, kdy oboje rázy splývají. To je možné tím, že vysílané rázy jdou po sobě v intervalech 60/61 sek, tedy 61 ráz za minutu; signál není nic jiného než vernier (nonius), dobře známý z délkových a úhlových měřidel. Kdo se o věc zajímá, najde vše potřebné o signálech a jich příjmu v citované již knížce Schneiderové, kde je uvedena i praktická pomůcka k vyčištění pozorování.

Jaká je přesnost uvedených signálů? Pražský signál, třebaže jenom odvozený ze signálů cizích, má chybu v mezích $\pm 0,1$ sek. Signály, které u nás lze dobře zachytit, totiž sovětské, francouzské a anglické (s americkými jsou potíže) mají *střední* chybu prakticky stejnou, totiž asi 0,01 sek.; to znamená, že jednotlivý signál může mít chybu i několika setin vteřiny, v nejkrajnějším, výjimečném případě až 0,1 sek. Chyby dodatečně zjištěné uveřejňuje „Bulletin Horaire“, vydávaný B. I. H., který je dnes ovšem málokomu přístupný. Definitivní opravy signálů jsou uveřejňovány později, asi za rok, a na konec zbývá nejistota *menší než setina vteřiny*. Tedy přesnost obdivuhodná, a přece — regláž správně zdůlňavý. Nešťastněmu majiteli takových skvělých hodin by patrně mežbylo nic jiného než přijímat všechny dosažitelné signály a takto zjištěné opravy svých hodin zpracoávat statistickou matematikou! Konečně ještě otázka: jak velké je zdržení časových signálů cestou? Elektromagnetické vlny mají na štěstí rychlost 300 000 km/sek. Posloucháte-li řečníka na př. z Moskvy, slyšíte ho dříve než jeho přímí posluchači v předních sedadlech.

II. Od prvních počátků k Huygensovi

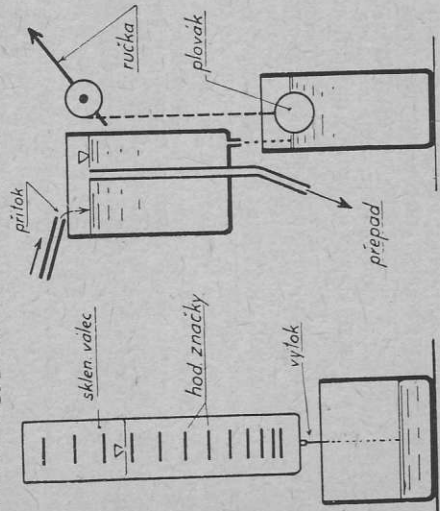
Za prastarých časů lidé netrpěli spěchem, a jistě to trvalo celé věky, než začali čas trochu přesněji odhadovat, nejprve asi dle výšky Slunce na obloze jako zjevu nejnápadnějšího, pak dle délky stínu a nakonec dle směru tohoto stínu. Tak poněmáhu vznikly *sluneční hodiny*. Nejprve jako pouhé svislé tyče a sloupky, zvané gnomony (odtud nauka o slunečních hodinách se nazývá gnomonika). Čímáné znali je pry 2000 roků př. Kr., ve Spartě byl gnomon postaven kolem r. 550 př. Kr. Čas byl měřen dle délky stínu gnomonu, což nebylo právě výhodné, poněvadž během roku se mění výška sluneční dráhy, a bylo nutno užívat korekčních tabulek. Pokrok znamenaly sluneční hodiny s děleným kruhem; byly známy již v VII. století př. Kr. Gnomon, původně snad svislý, byl později stavěn šikmo, rovnoběžně se zemskou osou; tím stal se pohyb stínu nezavislým na výšce Slunce.

Takové dokonalé hodiny sluneční sestávají z gnomonu směřujícího k světovému pólu (to jest velmi přibližně k Polárce) a z číselníku, který má nejlépe tvar půlkruhu, jehož rovina je kolmá ke gnomonu. Polední značka je pak ve svislé rovině proložena gnomonem, další hodiny jsou v intervalech 15 stupňů. Dobře postavené velké sluneční hodiny jsou lepší časoměr, než by se mohlo zdát, neboť ukazují čas — samozřejmě s užitím časové rovnice — s chybou jedné až dvou

minut. Přesnost jejich je však omezena tím, že stín gnomonu není ostrý, poněvadž Slunce není svítilný bod, nýbrž kotouč, který se nám jeví v zorném úhlu přes půl stupně.

Vodní hodiny

Sluneční hodiny mají ovšem jeden neodstranitelný nedostatek: neukazují v noci a při zamračeném počasí. Proto hledali lidé jiné časoměry, než závislé na Slunci. Zkoušeli to s různými fyzikálními ději, o nichž soudili, že probíhají rovnoměrně. Měřili noční čas dle toho, jak ubývalo svíčky, dle ubývání oleje ve speciální lampičce, a pod. Mnohem vhodnějším dějem byl však výtok kapaliny z úzkého otvoru. Toho bylo užito u *vodních hodin*, vynálezu velmi starého, známého Egyptanům a Číňanům před více než 3000 roky, později i jiným ná-



Obr. 4.

rodům — Caesar našel vodní hodiny i u divokých Britanů. Nejjednodušší tvar vodních hodin ukazuje obr. 4. Je to skleněná, válcová a značkami opatřená nádoba, postavená na stojanu. Z této nádoby vytéká voda malým otvorem do postavené nádoby. Nevýhodné je, že vzdálenosti mezi hodinovými značkami směrem dolů ubývá, tak že odečítání posledních hodin je nepřesné. Příčina se postupně zmenšuje, neboť je úměrná odmocnině výšky hladiny nad otvorem. Čtenář, který má rád matematiku, může si odvodit teorii těchto hodin. A nemusí se za takové cvičení stydět; vodními hodinami (jak před tím slunečními) zabýval se před tím slunecníkem Daniel Bernoulli, jehož rovnice dostal z matematiky a aerodynamiky, dostal

vali se mnozí vynikající matematikové a Daniel Bernoulli, jehož rovnice dostal z matematiky a aerodynamiky, dostal ještě v roce 1725 cenu za pojednání o zdokonalení vodních hodin. Uvedenou nevýhodu nemá konstrukce pozdější podle obr. 5, ovšem za cenu komplikace konstruktivní a provozní. Voda vytéká do kalibrované nádoby z nádržky, ve které je udržována stálá hladina tím, že voda stále přitéká a její přebytek odebírá přepadem. Je-li horní nádoba dost hluboká, je hydrostatický tlak velmi konstantní a tím také výtoková rychlost. Dělení na dolní nádobě je rovnoměrné, ovšem za předpokladu, že nádoba je válcová. Proto je možno na hladinu dát plovák a jeho pohyb přenést ozubenou tyčí nebo šňůrou na ručku. Takové hodiny byly stavěny často ve velkých rozměrech a v nádherném provedení, dokonce i s různými pohyblivými figurami a zvukovými efekty. Jejich stavbou byl ve starověku proslulý Ktesibios.

Vodních hodin bylo užíváno po celá staletí ještě v době, kdy již existovaly *hodiny kolečkové*. A to z důvodu docela dobrého — nebyly horší než sluneční hodiny sluneční a byly rozhodně lepší než ty hodiny kolečkové. Neboť vodní hodiny čili *klepsydry* větších rozměrů jsou sice časově trochu nepohodlné, řecké provedení, ale poměrně přesné (to platí zejména o tvaru dle obr. 5). Jejich „chod“ se mění poněkud jen korosí výtokového otvoru, nebo je-li materiál odolný, vlivem usazenin z vody. Docela dobře dá se klepsydry užít a také jí bylo tak užito — k fyzikálním pokusům, k měření kratších časových

intervallů, počítaných na minuty. Vytékající vodu jednoduše malým žlábkem odchytíme stranou, aby netekla do spodní nádoby. Odkloněním žlábků z cesty (to se může stát samočinně, na př. elektromagnetem) začíná měření času. Množství vody ve spodní nádobě dá se změřit zcela přesně vážením, a máme přístroj nejméně rovnocenný dobrým stopkám!

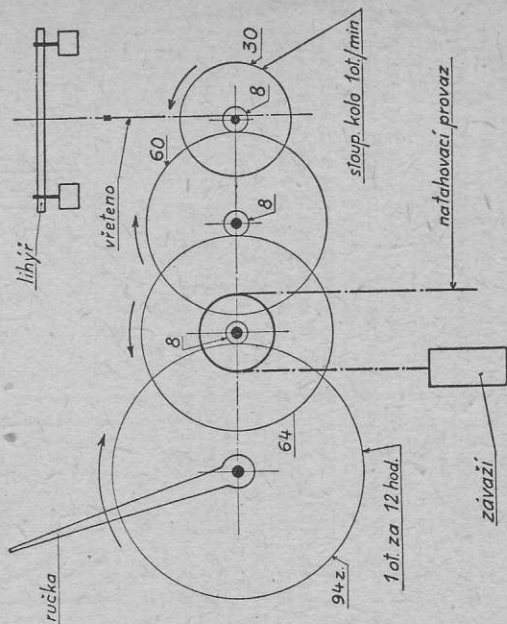
S vodními hodinami v základě souhlasi *hodiny přesípací*, které jistě nemusím popisovat. Dnes jich užíváme nanejvýš při vaření vajec, ale byly doby, kdy se jich užívalo hojně. Znali je již Babylonoané i Řekové; středověk je vynalezl znova a v Norimberku jich výrobci dokonce měli vlastní cech. Dlouho se udržely na lodích, jednak k rozdělování služby, jednak k měření rychlosti plavby podvým přístrojem, zvaným „log“. Přesípacími hodinami byl odměňován čas při rytířských turnajích, ale nejužitečnější účel našli starí Řekové — odměňovali jimi čas řečníkům.

Hodiny kolečkové

A tím se dostáváme k *hodinám kolečkovým*, abychom u nich již zůstali po mnoho kapitol. Jejich začátky nebyly slavné; byly to hrubé, neumělé, možno říci humpolácké stroje s nemožným regulátorem chodu, který vlastně ani regulátorem nebyl. Jejich chod byl podle toho: lze docela dobře věřit tvrzením, že úhybka o celou hodinu za den byla něčím skoro samožejmým. Nemohly přesností konkurovat hodinám slunečním ani vodním. Jejich jedinou výhodou bylo to, že mohly být montovány na věže a později opatřeny strojem bítím, (který byl rozhodně vtipnější konstrukce než hodinový stroj).

Nevíme bezpečně, kdy a kde vznikly. Objevily se v Evropě počátkem XIV. století a soudíme, že byly vynalezeny v Orientě. Ve starých knihách čteme o kolečkových hodinách ještě mnohem starších, ale tyto zprávy nutno brát opatrně. Ozubená kola byla známa již ve starověku a bylo jich nejednou užito v složitých vodních hodinách, o nichž jsme mluvili. Kolečkové hodiny v našem smyslu — snad by byl lepší název mechanické hodiny — vykazují dvě novinky: ozubené soukolí poháněné závažím, a čistě mechanické zatřžení, které udržuje stroj v rov-

noměrném chodu. Má se za to, že tohoto druhu byly proslulé hodiny, které r. 1232 daroval sultán Saladin císaři Jindřichu II. V letech 1340 až 1380 byla zřízena řada hodin, namnoze s bítím strojem v různých městech tehdejších kulturních zemí, většinou na kostelních věžích; byly to výrobky mnišů a jiných učených mužů. Ve XIII. století byl ve Francii vynalezen pohon pružinou; v hodinách z r. 1425 je užito dokonce již pružiny spojené se šnekem. Tím bylo možno stavět hodiny přenosné; postupným zmenšováním rozměrů dospělo se až k hodinkám kapes-

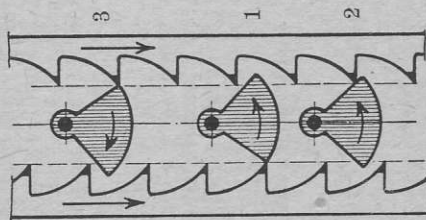


Obr. 6.

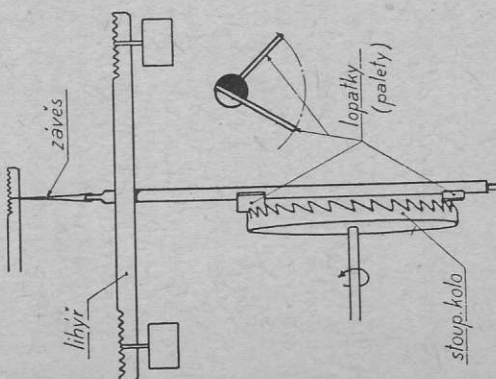
ním, ovšem ještě velmi tlustým, jichž výrobou na počátku XVI. stol. proslul Petr Henlein (Hele) v Norimberku. Zajímavé je, že všechny tehdejší hodiny, velké i kapesní, byly v podstatě téhož typu: měly též krok a stejný (a špatný) regulátor chodu.

Uspořádání takových starých hodin ukazuje obr. 6; jsou to jednoduché věžní hodiny francouzské z r. 1370. Pohaněcí závaží visí na provaze navinutém na bubnu, který prostřednictvím západky a rohátky (jak to děláme dodnes) pobíhá ozubené kolo, které se otáčí jednou za hodinu, při čemž kolík na kole upevněný způsobí jeden úder na zvon. Toho kolo pobíhá další hřídel, od něhož je pohaněno kolo stoupací. Od bubny je však také převodem 1 : 12 pohaněn hřídel nesoucí jedinou, hodinovou ručku. Jednoduché je natahování hodin, které je nutné každý den: jak se provaz se závažím z bubny odvíjí, navíjí se na buben zároveň provaz druhý, bez závaží, a taháním za tento druhý provaz lze hodiny natáhnout. Ozubená kola byla železná, průměru kolem půl metru, pastorky byly tyčinkové jako u dnešních budíků; počet zubů kol i pastorků je na obrázci udán.

Ale nejzajímavější částí hodin je ono stoupací kolo a „regulátor“ chodu. Na obr. 7 je zorněn tento mechanismus, jediný známý až do vystoupení Huygensova. Stoupací kolo je „korunové“, t. j. pilovité zuby má na straně. Tyto zuby svými špičkami působí na dvě lopatky („palety“), upevněné na svistem vřetení. Vřetení nese vodorovnou příčku se dvěma závažími, zvanou lihyt. Původně bylo vřetení uloženo dole v nožním a nahoře ve vodičím ložisku, později přišel neznámý číperana to, že se tření dá podstatně změnit, zavěsí-li se vřetení na provázek a jen dole se vede v ložisku.



Obr. 8.



Obr. 7.

ku. Provázek lze zaklesnout do některého zářezu konsoly, a tak měnit hloubku záběru lopatek; hořejšek vřetená není ovšem veden pevně, ale to celkem nevadí — ostatně někteří hodináři přidávali ještě druhé vodičí ložisko.

Stoupací kolo s oběma lopatkami tvoří dohromady mechanismus, kterému říkáme *krok* („échappement“). Funkce tohoto vřetenového kroku není z obr. 5 snad dost jasná. Můžeme ji však jasně pochopit z obr. 8, který představuje mechanismus konstruktivně odlišný, funkcí však totožný s předchozím. Stoupací kolo jsou dvě (na společném hřídeli), zuby k sobě obrácená, a mezi nimi osciluje vřetení, opatřené jedinou lopatkou, která je na výkresu svisle vyšrafována a znázorněna ve třech polohách. Zuby stoupacích kol působí jen svými špičkami, na výkresu vyčerněnými, a pohybují se shora dolů. Na obrázci můžeme sledovat, jak si obě stoupací kola lopatku podávají. V poloze I lopatka se pohybuje doprava a zub levého stoupacího kola se chystá vyklouznout. Jakmile zub vyklouzne ze záběru s lopatkou, obě stoupací kola, na okamžik volná, učiní krátký skok, a tím na pravou stranu lopatky dolehnou zub pravého stoupacího kola. Lopatka, spojená se vřetenem a s lihytem, pokračuje setrvačností ve svém

pohybu doprava, je však tlakem stoupacího kola (a třením) zastavena a uvedena do pohybu opačného, do leva (poloha 2). Pohyb lopatky doleva pokračuje, až v poloze 3 zub pravého stoupacího kola vyklouzne ze záběru s lopatkou. Následuje opět malý skok stoupacích kol, na levou stranu lopatky dolehnou zub levého kola, ten zastaví pohyb lopatky a donutí ji k pohybu doprava.

Promyslíme-li dobře funkci vřetenového kroku, přijdeme na poznatky základního rázu, které charakterizují nejen tento, nýbrž i ostatní kroky (které proběhnou později). Předně, při žádné poloze lopatky nemohou stoupací kola „proběhnout“, mohou se jen pootočit o půl rozteče zubu při každém kyvu čili o jeden zub při každé celé periodě lihyte. Krok tedy funguje jako dokonalé počítadlo kyvů; stačí volit vhodné převodové poměry ozubených kol, aby některý hřídel se otočil přesně za hodinu, jiný za 12 nebo 24 hodin, atd. U hodin na obr. 6 musí lihyt konat sekundové kyvy, aby se ručka otočila jednou za hodinu. Za druhé lopatka přijímá od stoupacích kol popudy čili impulsy, jimiž lihyt udržován v pohybu. Za třetí je tu otázka skoku, který následuje po vykouznutí zubu; ten není nutný theoreticky, je však prakticky nezbytný, aby se vyklouznuvší zub uklidil z cesty. Skok znamená ztrátu energie, je příčinou známého tikání kyvadlových hodin, ale také příčinou většího opotřebení součástí; může být tím menší, čím přesněji jsou tyto součásti provedeny, zejména ozubení stoupacího kola. Toto vše platí, jak ještě uvidíme, o každém kroku.

U vřetenového kroku lihyt není nikdy volný, je stále (mimo kratičké okamžik skoku) v záběru se stoupacím kolem — krok tento není volný. Druhoh charakteristickou vlastností je návrat, couvnutí stoupacího kola, když lihyt dokončuje výkv — máme zde případ kroku *vratného*. Krok na obr. 7 funguje stejně jako modifikace na obr. 8, a má proto také stejné vlastnosti. V této formě bylo všeobecně užíváno pro hodiny všech velikostí. Obvyčejně stoupací kolo mělo lihyt počet zubů a pak osa vřetení protínala osu stoupacího kola, byl-li počet zubů sudý, bylo nutno osu vřetení vysunout stranou o půl rozteče zubů. Vřetenový krok byl v XVII. století nahrazen kroky mnohem dokonalejšími. Uvážíme-li však jeho stáří, musíme se poklonit myšleně neznámého vynálezce. Tento krok byl ostatně dost dobrý pro počátky kyvadlových hodin a u hodiněk kapesních se udržel ještě o dvě století déle.

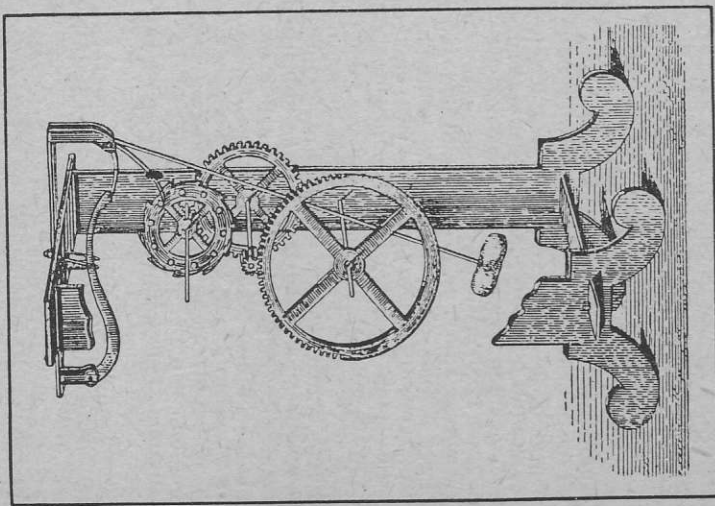
Vřetenový krok nebyl zdaleka hlavní příčinou špatného chodu starých hodin, jako jí nebylo ani tehdejší hrubé provedení. Hlavní příčinou byl lihyt, který není nic více než pouhý setrvačnick. Dostane-li lihyt impuls, bude se otáčet jedním směrem, až jej tření zastaví; nemá snahu vrátit se do střední polohy (nehledíme-li k chaběmu a proměnlivému vlivu závesného provazu na obr. 7), a proto nekoná kyvy jako na př. kyvadlo. Nemá tedy ani žádnou určitou svou vlastní dobu kyvu, není to zkrátka žádný *oscilátor*, je to jen jakási brzda. Pouchým poslechem poznáme, že intervaly mezi jednotlivými skoky nejsou stejné dlouhé, jen jejich průměrná délka je jakž takž stejná. Doba kyvu celého mechanismu je závislá stejně na momentu setrvačnosti lihyte jako na velikosti hnacího závaží. Hodiny půjdou pomaleji, zvětšíme-li moment setrvačnosti lihyte tím, že jeho závaží zavěsíme do zářezů vzdálenějších od osy (obr. 7) a naopak. Půjdou rychleji, zvětšíme-li hnačí závaží; staří hodináři měli pravídlu, které v dnešní mluvě praví, že počet kyvů za hodinu je úměrný odmocnině váhy hnačích závaží.

Z předešlého je jasné, že tento druh hodin nebyl schopen dalšího vývoje. Nepomáhalo valně ani lepší a přesnější provedení stroju, bylo třeba zlepšení zásadního a fyzikálně odlišného. A k tomu došlo skutečně zášahem vědy fyzikální, zášahem dvou vědeckých hvězd první velikosti. Byli to Itál Galileo Galilei (1564—1642) a Holanďan Christian Huygens (1629—1695), kteří přišli na jednoduchou myšlenku nahradit lihyt skutečným oscilátorem, *kyvadlem*. Je příznačné, že musily na to přijít vědecké hvězdy první velikosti. Kyvadlo bylo lidem známo od nepaměti, kyvadlem je přece každá volně zavěšená věc, kostelní lampa, oběšenec i zednická olivnice. Historie dokonce tvrdí, že kyvadla užívali

arabští hvězdáři již v XV. století, ne-li dříve, ale — bez hodinového stroje. Vysvětlení leží v tehdejší naprosté neznalosti zákonů mechaniky. Je právě zásadní Galileovou, že seznal a formuloval nejzákladnější z těchto zákonů, mezi nimi pak i základní poučky o kyvadle, zejména o jeho isochronismu čili stejnodobosti kyvů.

Není to z daleka jediná zásluha Galileova. Je o něm známo, že sestrojil dalekohled a tímto novým přístrojem spatřil na obloze mnoho nových věcí. Byly to objevy možno říci revoluční, které mu zaručily nesmrtelnost, ale přinesly také pronásledování římskou církví. Galileo unikl sice kacířské hranici, dožil však svůj život jako domácí vězeň. A na sklonku svého života, polostary starě, diktoval synovi Vincenziovi návod na kombinaci kyvadla a kolečkového stroje, návod na konstrukci kyvadlových hodin. Po otcově smrti se syn — s pomocí jednoho zámečníka — do stavby hodin pustil. Ale stavby nedokončil, neboť předčasně zemřel, a jeho hodiny se nedochovaly; pověst tvrdí, že je Vincenzio zničil v záchvatu hořké krátké před smrtí....

Popis Galileových hodin se zachoval a spolu i jich obrazy, neznámo, jak dalece přesně (obr. 9). Vidíme, že kyvadlo je uloženo v čepci a se soukolím souvisí krokem konstrukce nové, úplně odlišné od kroku vřetenového. Nevíme



Obr. 9.

přesně, byli-li tento krok vynalezen otcem nebo synem, je však tak pěkný a zajímavý, že se k němu v knize ještě vrátíme. Uložení kyvadla není ovšem nejlepší a dnes se nám nelíbí jeho veliká amplituda čili výkyv; nezapomínejme však, že Galileo neznal ještě přesné zákony kyvadla a považoval dobu kyvu za nezávislou na amplitudě. Za zmínku stojí ještě to, že Galileo užíval kyvadla k měření pulsu, a pak i to, že sestrojil počítadlo kyvů, kde kyvadlo lehkou západkou (udělanou ze štětiny) pohánělo rohatku a soukoli. Podařilo se mu tedy uskutečnit dva rozhodné kroky ze tří kroků nutných. Ale neuskutečnil již krok třetí a poslední — udržování oscilátoru v pohybu. Tento rozhodující krok uskutečnil teprve Huygens, samostatně a trochu jiným způsobem.

A jako jsme viděli u Galilea, tak také Christian Huygens (vysl. Hajchens), fyzik, astronom a matematik, současník Newtonův a starý mládenec, dokázal ve vědě více než revoluci v chronometrii. Je autorem undulační (vlnové) teorie světla, která ovšem přišla ke cti mnohem později pracemi Fresnelových. Objevil tvar prstenu Saturnova. Zabýval se optikou a dodnes užíváme v mikroskopech Huygensových okulárů. Pro nás důležité jsou jeho práce týkající se kyvadla, a to nejen použití kyvadla, nýbrž i jeho přesnější teorie. Huygens se

vůbec plně zabýval mechanickými kmity, thematem dnes velkého dosahu vědeckého i technického; vzpomeňme na „Huygensův princip“ v nauce o vlnění. Kyvadlem se začal zabývat asi v roce 1656 a r. 1658 vydal o užití kyvadla v hodinách malou knížku. V práci pokračoval a r. 1673 vychází v Paříži jeho latinsky psaná (on sám se po latinsky nazývá Hugenus) kniha „Horologium oscillatorium“, kde popisuje konstrukci svých hodin, a rozvádí teorii kyvadla a jeho isochronismu.

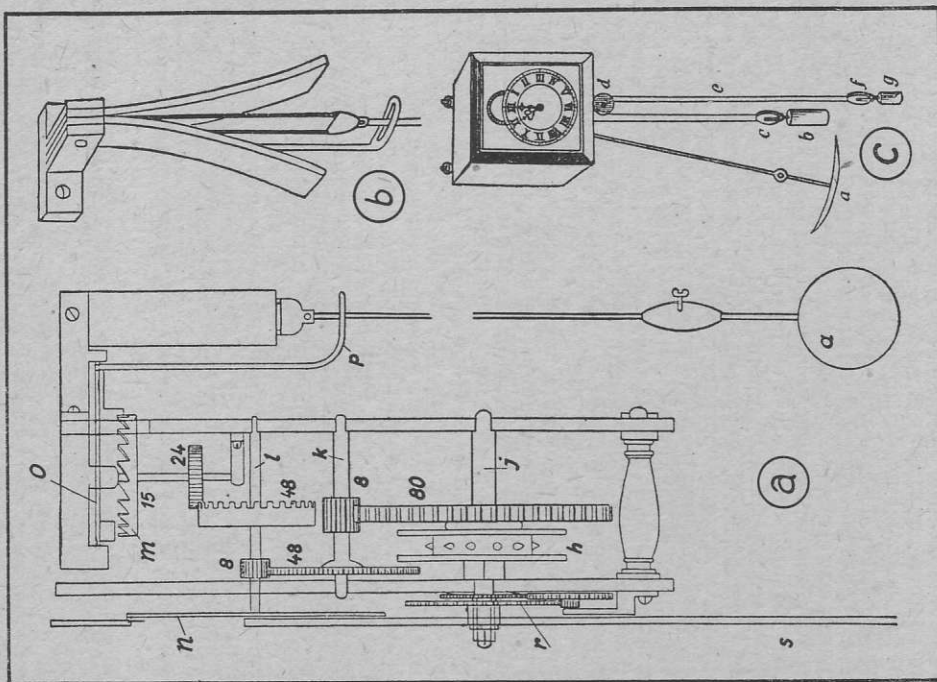
Hodiny Huygensovy

Huygensovy hodiny vidíme na obr. 10, dělaném dle jeho knihy, a to se všemi chybami (jenom větší písmena byla vynechána); i tak je to výkres na tehdejší dobu neobvykle přesný a jasný, ve shodě s velmi zevrubným Huygensovým textem. Už závažový pohon je nový; nekonečným provazem. Provaz *e* je veden přes kladku *h* pevně spojenou s hřídelem *f* a opatřenou v drážce zoubky, aby se zamezilo klouzání. Provaz je dále veden přes hladkou kladku, na níž visí hnací (větší) závaží *b* (obr. 10c), přes pevně uloženou kladku *d*, přes kladku spojenou s napínacím (malým) závažím *g* a konečně zpátky na kladku *h*. Hodiny se natáhnou zatažením za závažíčko *g*; je jasné, že kladka *d* se smí otáčet jen při tomto natahování — otáčení opačným směrem brání obyčejná rohatka a západka — a že je v drážce rovněž opatřena zoubky. Výhodou tohoto vřeteného uspořádání — se kterým se v knize ještě setkáme — je to, že při natahování pohon hodin není přerušen, a že kladka *h* zaujímá v hodinovém stroji mnohem menší šířku než bubínek k navijení provazu. Od hřídele *f* je v poměru 10 : 1 (počty zubů jsou na obrázcích zapsány) poháněn mezihřídel *k*, který pohání v poměru 6 : 1 hřídel *l*; od tohoto je úhlovým ozubením v poměru 2 : 1 poháněno stoupací kolo *m* o 15 zubech. Poněvadž kyvadlo je sekundové, stoupací kolo se otočí jednou za půl minuty a hřídel *l* jednou za minutu. Tento hřídel místo sekundové ručky nese kotouč *n* s děleními, viditelný ve výřezu číselníku, v němž je také nehybný ukazatel.

Krok je obyčejný starý vřetenový — v tom ohledu byl Galileo dale. Vřetenovo je spojeno s vidlicí *p*, která objímá tyč kyvadla. Kuriosní je záves kyvadla (obr. 10b), dva rovnoběžné provázky, které se pohybují mezi dvěma zakřivenými destičkami. Destičky jsou zakřiveny dle cykloidy, což je křivka, kterou opisuje bod kružnice valící se po přímce, tedy na př. bod na obvodě kola jedoucí lokomotivy. Čočka se proto nepohybuje v kružnici, nýbrž v evolventě cykloidy, kterou je — jak Huygens odvodil — rovněž cykloida, shodná s první. O této cykloidě dokázal Huygens, že je to „tautochrona“, křivka, která má zajímavou vlastnost: Bod, pohybující se bez tření po tautochroně účinkem tíže, koná kmítavý pohyb, jehož doba kyvu nezávisí na amplitudě. Huygens již věděl, že u jednoduchého kyvadla dlouhé kyvy jsou pomalejší než kratší; poněvadž vřetenový krok žádal velkou amplitudu, použil popsaného závesu. Tato, theoreticky zajímavá, myšlenka se však neosvědčila a byla brzy opuštěna. Textilní materiál není vhodný, poněvadž je délkově proměnný, ocelový pásek je pak příliš tuhý, než aby se přimklul k vodícím destičkám, nehledě ani na zjevy adhezní (lepení) a na vliv eventuálních vniklých nečistot, jako je na př. prach. Dnes prostě dáváme kyvadlu amplitudu docela malou a dosahujeme tak mnohem přesnější stejnodobosti kyvu, snižujeme však zároveň podstatně hnací sílu kyvadla a tím i vliv hodinového stroje na kyvadlo.

Pro zajímavost uvedu ještě některé údaje z Huygensova popisu hodin. Hnací závaží váží 6 liber a vystačí na 30 hodin; tedy spotřeba energie byla značná, nepoměrně větší než u hodin dnešních, což je snadno vysvětlitelné jednak velikou amplitudou kyvadla, jednak hrubým provedením stroje. Huygens však správně poznamenává, že jeho hodiny jdou tím lépe, čím menší závaží jim stačí k pohonu. Minutová ručka je nasazena na hřídel *l* a od ní je poháněna ručka hodinová obvyklým dnes ozubeným převodem *r*, umístěným pod číselníkem s.

Čočka kyvadla váží 3 libry, a aby odpor vzduchu byl co nejmenší, má tvar válečku na obou koncích zahroceného. Huygens dodává, že hodiny jdou tím pravidelněji, čím těžší je čočka. Nejzajímavější je však jeho údaj délky kyvadla: tři stopy. Ne však stopy pařížské či jiné, nýbrž stopy věčné, odvozené právě

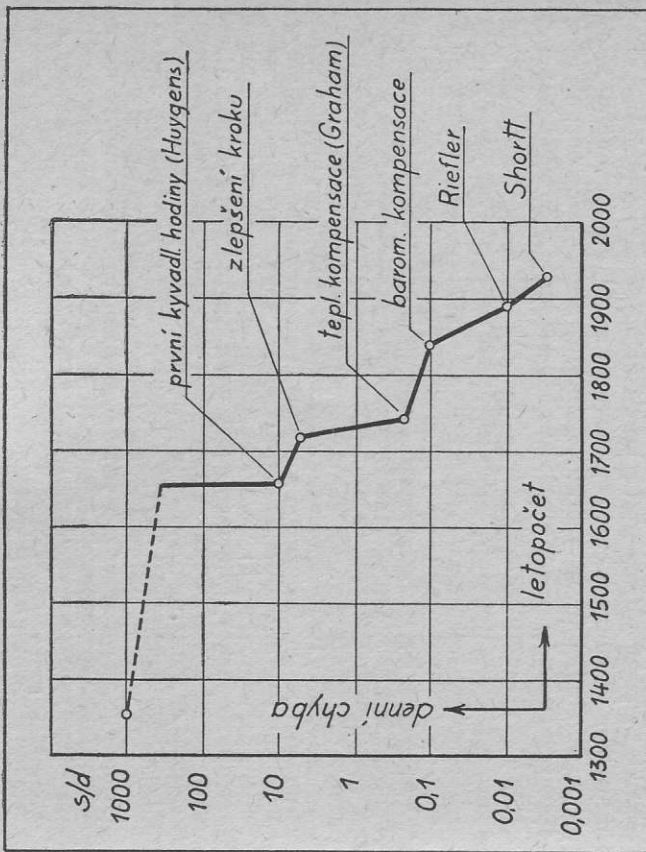


Obr. 10.

z délky sekundového kyvadla. Byl to návrh na zavedení všeobecné přirozené jednotky délky, snad první návrh svého druhu; a ne tak špatný návrh, uvážíme-li, že pozdější určení metru z délky poledníku se ukázalo potom chybnými o 0,2 mm, zatím co délka sekundového kyvadla lze i jednoduchými prostředky určit s chýbou několika málo setin milimetru!

Huygens se zabýval kyvadlem a hodinami nevěda, že ho již předešel Galileo. Temperamentně hájil prvorozenství svého duševního dítěte, ale nakonec

loyálně uznal prvenství Galileova, když byl doklady o něm přesvědčen. Takové případy se stávaly v dobách, kdy knihtisk byl ještě málo vyvinutý a kdy nebylo takřka vědeckých časopisů; tehdy se nové myšlenky rozšiřovaly neuvěřitelně pomalu, ba někdy upadaly v zapomnění, aby byly později znovu objeveny. Drastickým příkladem je první slovenský chemik M. V. Lomonosov. Tento polyhistor, chemik, fysik, astronom, filolog a básník, spoluzakladatel ruské Akademie a ruské spisovné řeči, neměl vliv na vývoj vědy, ačkoli 40 roků před Lavoisierem formuloval zákon o zachování hmoty a byl blízko formulaci zákona o zachování energie. To vše znovu musilo být objeveno, protože v zapomnění upadlo to málo, co o svých nových objevích Lomonosov publikoval.



Obr. 11.

Huygens neuvažoval jen o kyvadlových hodinách. Měl na mysli také zlepšení hodin přenosných a zlepšil je jednoúseť tím, že k lůžku přidal spirálovou pružinu vracející lůžko do střední polohy. Tím se stal z lůžka ocelátor s určitou, vlastní dobou kyvu jako kyvadlo. I zde měl Huygens předchůdce, o nichž nevěděli. V Anglii Robert Hooke uvažoval o podobné pružině (a při tom objevil „Hookeův zákon“, který je základem naší nauky o pružnosti), ve Francii byl to abbé Hautefeuille. Oba však dávali pružině nevhodné tvary, kdežto Huygens užil tvaru spirály, jak ho užíváme podnes.

Zavedení kyvadla a připojení pružiny k lůžku čili k setrvačce, jak dnes říkáme, byl pokrok základem a zásadní. Dříve stoupačkové kolo strkalo lůžkem násilně sem a tam; nyní se stává z hodin *oscilátor*, jehož pravidelné vlastní kyvy jsou pomocným zařízením počítány, a jemuž pomocné zařízení dodává tu trochu energie, kterou oscilátor ztrácí odporem vzduchu a třením. Tato definice hodin není žádná fráze, jak poznáme z prosté úvahy: Představme si

volné kyvadlo, kývající v konstantním tlaku vzduchu a při konstantní teplotě; kolem kyvadla obsluhující mužstvo, které počítá kvyv kyvadla, sleduje pokles jeho amplitudy a dle potřeby mu dá nový popud. Máme před sebou přesné hodiny! Duší každých hodin je nějaký mechanický oscilátor (kyvadlo, setrvač-ka, laďička, křemenná tyčinka) vše ostatní, co je v hodinách, slouží oscilátoru tak jako ono mužstvo kolem kyvadla.

Pozoruhodné je, jak nepatrnými prostředky, možno říci zadarmo, bylo do-saženo této zásadní změny. Vratíme se k obr. 6. Otočme celý stroj o 90°, tak aby vřeten bylo vodorovné; k vřetení připevníme svíslou tyč s jedním záva-žím — máme kyvadlový stroj, aniž jsme co přidali. Nebo na obr. 7 odstraňme provázek a zavěsíme luhýt na delší ocelový pásek — a máme hodiny se setrvač-kou, aniž jsme konstrukci čimkoli zkomplikovali. Sotva bychom v historii vědy a techniky našli druhý příklad změny tak pronikavé a tak lacině zaplacené. Bylo to vítězství myšlenky, byl to triumf rodící se moderní fyziky. Všechn další vývoj mechanických hodin je již jen stálým zdokonalováním základního principu, stálou snahou dát oscilátoru příznivé a neproměnné podmínky a dle možnosti zmenšit vliv hodinového stroje na oscilátor.

Na obr. 11 jsou ukázány v přehledu výsledky těchto snah do dnešní doby. Tento diagram ztrácí na přehlednosti tím, že bylo nutno chyby hodin vynést v logaritmičtém měřítku, jinak by se totiž diagram nevešel ani na Václavské náměstí. Kdybychom chtěli chybu jedné sekundy denně znázornit délkou jednoho metru, pak chyba moderních kyvadlových a křemenných hodin byla by dána bodem ležícím asi tři milimetry nad vodorovnou osou; ale chyba sta-rych hodin by byla znázorněna pořádní měřicí celý kilometr! Vidíme, že pokrok v přesnosti hodin byl ohromný. Bylo by zajímavé sledovat krok za krokem cestu tohoto pokroku, přesahovalo by to však program a rámeček této knihy. Ale v dalším textu bude dost příležitosti, abychom se seznámili, i když ne postupem historickým a chronologickým, s většinou zařízení, vynálezů a konstrukcí, kterými byl umožněn pokrok hodinářství k dnešnímu stupni.

III. Úvod k theorii

Bylo řečeno, že nejpraktičtější věc na světě je dobrá theorie. Bez theorie ne-bylo by možno stavět parní turbíny, elektrické stroje, letadla, lodí, jeřáby, motory, betonové a železné konstrukce. Snažíme se pracovat na jisto, proto vše předem propočítáváme, a jsme-li dnes ještě často odkázáni na pokusy a zkoušky, je to jen proto, že theorie ještě není dokonalá; tomu se nedivme, vždyť moderní fyzikální věda — na které spočívají všechny vědy technické — je stará necelá čtyři století.

Proto ani v chronometrii, nauce o měření času, neobejdeme se bez theorie. Budeme ji potřebovat jednak proto, abychom porozuměli hodinám jako fysi-kálnímu přístroji, aby nám byl jasný účel jednotlivých konstrukcí, jednak proto, abychom si dovedli vypočítat všechno, co potřebujeme při konstrukci, změnách a zkoušení časoměrů. Až na výjimky vystačíme se základními znalostmi mechaniky, tedy toho — dnes snad nejdůležitějšího — oddílu fyziky, který jedná o silách a o pohybech silami vyvolaných. Není toho tak mnoho — jen o málo více než znal Galileo Galilei. Stačí znalosti z realky, jinak doporučuji prostudovat příslušné oddíly v těchto knihách:

Nachtůkal, Technická fyzika; Zahradníček, Mechanické kmity (Cesta k věděni sv. 16).

Jisté rozpaky může každému autorovi působit volba jednotek. Ve fyzice užíváme *absolutní soustavy* měr, v níž základní jednotky jsou *cm* (délnka), *g* (hmota) a *sek* (čas). S těmi vystačíme pro celou mechaniku. V technice užíváme *soustavy technické*, v níž základní jednotky jsou metr (délnka), *kg** (síla) a sek (čas).

V zásadě jsou obě soustavy rovnocenné, ale ani v praktickém použití ne-jou rozdíly — v obou soustavách se počítá stejně dobře. Jednotky pro sílu a práci jsou v absolutní soustavě snad nepohodlně malé pro výpočty technické, to však je spíše výhoda pro nás. V chronometrii jsou totiž síly i délnky tak malé, že v technické soustavě bereme často místo kilogramů gramy, pro délnky pak centimetry nebo milimetry. Ve světové literatuře hodinářské se užívá většinou soustavy technické, gramů, centimetrů a milimetrů. Anglosasové se trápí starými uncemi, grainy a palci; v theoretických pojednáních se leckdy setkáme se soustavou absolutní. Řídíce se těmito příklady, budeme v dalších kapitolách užítvat technické soustavy, ale užijeme občas soustavy fyzikální paralelně, aby si čtenář na ni lépe zvykl.

V technické soustavě bude nám jednotkou síly 1g, t. j. síla, již je gramové závaží taženo ke středu země. V absolutní soustavě je tato síla

$$P = m g = 1 \cdot 981 = 981 \text{ dyn, a tedy}$$

$$1 \text{ dyn} = 0,001019 \text{ g}^* = 1,019 \text{ mg}^* \quad (1)$$

Analogicky jednotka práce v absolutní soustavě je

$$1 \text{ erg} = 1 \text{ dyn} \cdot \text{cm} = 0,001019 \text{ g}^* \cdot \text{cm} \quad (2)$$

Hvězdíčka připomíná, že jde o *sílu* jednoho gramu; není však nutná a obejdeme se bez ní. Počítáme-li v technické soustavě, platí pravidlo, že všude v rovnicích za hmotu dosazujeme váhu dělenou zrychlením zemské tíže, tedy

$$m = \frac{P}{g} = \frac{P}{981} \quad (3)$$

Poněvadž délnky vyjadřujeme v centimetrech, dosadíme i hodnotu *g* v centi-metrech. Hodnota $g = 981 \text{ cm/sek}^2$ platí pro naše území; správně bychom měli brát mezinárodní hodnotu normální, 980,665 cm/sek², ale rozdíl je prakticky bezvýznamný. Závislost těžné síly na zeměpisné šířce je zásadní nedostatek technické soustavy měr, ovšem spíše theoretický, neboť největší odchylka od normální hodnoty *g* činí jen 0,26%; jen málo technických měření má chybu tak malou a většinou považujeme přesnost na 1% za zcela uspokojivou.

Použití matematiky

Jak čtenář dále uvidí, vykládat theorii není možné bez matematiky. Ne-vyhňeme se matematice tím spíše, že konec konců potřebujeme vzorce, dle nichž se časoměrné stroje propočítávají. Jak je dáno účelem této knihy, bude snahou autorovou vystačit s matematikou jednoduchou, elementární. Jsou

však případy, kdy je nutno užít počtu infinitesimálního, nebo kdy tento počet vede přímo a krátce k cíli. I tehdy bude paralelně uvedeno podle možnosti odvození jednoduché; ve všech však případech budou rovnice upraveny tak, aby jich mohl prakticky použít i čtenář méně sběhlý v matematice. Kde je to vhodné, budou připojeny nomogramy, z nichž lze hodnoty přímo odečítat bez počítání; zde nás ovšem omezuje nutný ohled na přípustný rozsah knihy.

Častěji budeme počítat s čísly *relativně malými*. Jsou-li ε a ε' čísla malá proti jedné, lze užít rovnic

$$(1 \pm \varepsilon)^n \doteq 1 \pm n\varepsilon; \quad \sqrt[n]{1 \pm \varepsilon} \doteq 1 \pm \frac{\varepsilon}{n} \quad (4,5)$$

$$(1 \pm \varepsilon)(1 \pm \varepsilon') \doteq 1 \pm \varepsilon \pm \varepsilon'; \quad \frac{1}{1 \pm \varepsilon} \doteq 1 \mp \varepsilon \quad (6,7)$$

$$\varepsilon + \varepsilon^2 + \varepsilon^3 \doteq \varepsilon; \quad e^{\pm \varepsilon} \doteq 1 \pm \varepsilon \quad (8,9)$$

Značí-li ε malý úhel v obloukové míře, možno psát

$$\sin \varepsilon \doteq \varepsilon \doteq \operatorname{tg} \varepsilon \quad (10)$$

$$\cos \varepsilon \doteq 1 \quad \text{přesněji} \quad \cos \varepsilon \doteq 1 - \frac{\varepsilon^2}{2} \quad (11, 12)$$

Úhly v matematice vyjadřujeme mírou obloukovou; jednotkou je jeden radián (toto pojmenování se obvykle vypouští) který činí 57,30°, úhel tedy na obloukovou míru převedeme, dělíme-li počet stupňů tímto číslem. Míra je výhodná v matematice, nepřehodná však při praktickém počítání; proto do vzorců vždy na konec zavědeme míru stupňovou.

Užívané značky

V celém druhém díle budeme důsledně užít těchto značek:

<i>a</i>	zrychlení	<i>u</i>	dekrement
<i>b</i>	šířka	<i>v</i>	rychlost
<i>B</i>	barometrický tlak	<i>W</i>	energie, práce
<i>c</i>	koefficient tlumení	<i>y</i>	výchylka
<i>C</i>	oprava hodin (—stav)	<i>x</i>	vzdálenost
<i>d</i>	průměr	α	(alfa) koefficient tepel. roztažnosti
<i>D</i>	direkční moment jednotkový	β	(béta) různé úhly
<i>e</i>	Eulerovo číslo = 2,71828...	δ	(delta) statický průhyb
<i>E</i>	modul pružnosti	Δ	(velké delta) rozdíl, přírůstek
<i>f</i>	frekvence	η	(éta) účinnost
<i>f</i>	síla	λ	(lambda) koefficient útlumu
<i>F</i>	tíhové zrychlení	μ	(mí) koefficient tření, značka mikronu
<i>g</i>	výška	π	(pi) Ludolfovo číslo = 3,141593
<i>h</i>	poloměr setrvačnosti	Σ	(velké sigma) znamení součtu
<i>i</i>	moment setrvačnosti	φ	(fi) úhlová amplituda
<i>I</i>	(s indexy) různé koefficienty	ψ	(psi) úhlová výchylka
<i>K</i>	koefficient direkční síly	ω	(omega) úhlová rychlost
<i>L</i>	(s indexy) různé délky	Θ	(velká théta) teplota
<i>L</i>	redukovaná délka kyvadla	ε	(epsilon) malé číslo, malý úhel
<i>m</i>	hmota	γ	(gamma) váha I I vzduchu v g

- M* otáčivý moment
- n* počet kyvů, mocnitél
- P* váha
- q* (nevelká) poměrná změna (těž v ‰)
- r* poloměr, rameno páky
- R* denní chod
- S* dráha
- t* čas
- T* doba kyvu

Momenty setrvačnosti

Nyní bude dobře si připomenout některé pojmy, které budeme později potřebovat. Je to statický (hmotný) moment a moment setrvačnosti. *Moment statický* je definován rovnicí

$$M = \int x \cdot dm = m l \quad (13)$$

kde x je vzdálenost částičky hmoty dm od uvažované osy a l je vzdálenost těžiště celého tělesa od této osy. Moment k ose jdoucí těžištěm tělesa je roven nule. Moment hmotné úsečky (tenké tyče) k ose jdoucí koncem úsečky je

$$M = \frac{m}{2} l \quad (l \text{ délka úsečky v cm}) \quad (14)$$

Moment setrvačnosti je definován rovnicí

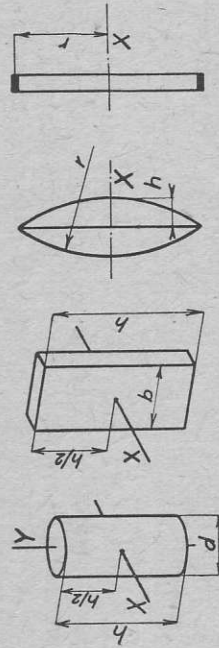
$$I = \int x^2 \cdot dm = m i^2, \quad (15)$$

kde i je poloměr setrvačnosti; těleso můžeme nahradit tenkým prstenem stejné velké hmoty a poloměru i . Pro výpočet momentů setrvačnosti kyvadel a setrvaček potřebujeme znát momenty pro některá tělesa jednoduchého tvaru, vztažené k jich těžišti.

a) *Válec* (obr. 12) o celkové hmotě m :

Pro osu rotační $I_y = \frac{1}{8} m d^2$ (16)

Pro osu kolmou k ní $I_x = \frac{1}{16} m \left(\frac{4}{3} h^2 + d^2 \right)$ (17)



Obr. 12.

Obr. 13.

Obr. 15.

b) *Válec souose proprtáný*: Počítáme moment pro válec plný a pak odečteme moment otvoru, t. j. moment odvrátaného materiálu. Je-li vývrt úzký (na př. desetina průměru), lze jej často zanedbat.

c) Koule o průměru d

$$I_x = \frac{1}{10} m d^2 \quad (18)$$

c) Hranol (obr. 13)

$$I_x = \frac{1}{12} m (h^2 + b^2) \quad (19)$$

d) Čočka podle obr. 14, celková hmota opět m

$$I_x = \frac{2}{3} m h \left(r - \frac{5}{12} h + \frac{1}{30} \cdot \frac{h^2}{3r-h} \right) \quad (20)$$

e) Tenká tyč, takže lze zanedbat d v rovnici (17); délka h , hmota m .

$$I_x = \frac{1}{12} m h^2 \quad (21)$$

f) Tenký prsten (na př. věnec setrvačky), střední poloměr (obr. 15) r

$$i = r \quad I_x = m r^2 \quad (22)$$

Máme-li počítat moment kol osy, od těžiště vzdálené o l , užijeme věty Steinerovy

$$I = m l^2 + I_x = m (l^2 + i^2) \quad (23)$$

Na př. tyč v rovnici (21) má kolem svého konce moment setrvačnosti

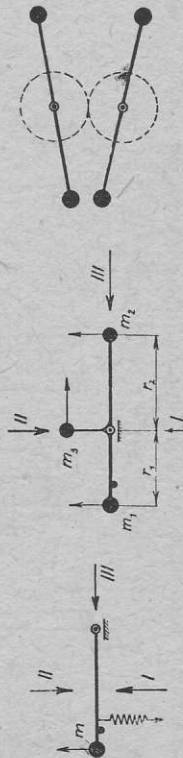
$$I = m \left(\frac{h}{2} \right)^2 + \frac{1}{12} m h^2 = \frac{1}{3} m h^2 \quad (24)$$

Jsou-li rozměry tělesa malé proti délce l , stává se druhý člen rovnice (23) prakticky zanedbatelným — těleso uvažujeme jako pouhý hmotný bod.

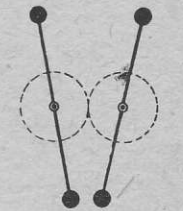
Setrvačné (inerční) síly

Tyto síly jsou pro nás důležité tím, že vyvozují momenty, které mohou ohrozit funkci hodinového mechanismu, zejména kroku. Každý otřes hodin, náraz, obecně každý pohyb předpokládá zrychlení, a toto zrychlení má obecně složku posuvnou (translační) a složku otáčivou (rotační); první složka vyvolá v pohyblivých součástech inerční síly, druhá složka inerční momenty. Vysvětlíme si to na typických příkladech.

Na obr. 16 je jednoramenná páčka, tažená pružinou k pevnému dorazu a opatřená závažím m . Dostanou-li hodiny náraz ve směru I , nestane se více,



Obr. 16.



Obr. 18.

než že páčka bude pevněji přitlačena k dorazu. Náraz ve směru III nemůže rovněž působit pohyb páčky. Zato náraz ve směru II může přemoci napětí pružiny a otočit páčku. Tomu lze zabránit vyvážením páčky druhým závažím (obr. 17); pak náraz ve směru II nevyvolá otáčivý moment, je-li splněna podmínka

$$m_1 r_1 = m_2 r_2$$

Přidáme-li třetí závaží m_3 , nezmění se nic pro náraz ve směru II , zato vznikne otáčivý moment, přijde-li náraz ve směru III . Tento moment lze zrušit opět přidáním vyvažovacího závaží. Obecně řečeno, posuvné zrychlení nevyvolá otáčivý moment, je-li páčka vyvážena, t. j. prochází-li osa otáčení těžištěm páčky.

Vyvážení však nechrání před účinkem zrychlení rotačního. Vyvážená součást má určitý moment setrvačnosti, a pohybem vzniká otáčivý moment daný součinem momentu setrvačnosti a úhlového zrychlení pohybu. Jediná možnost je pak sáhnout ke komplikaci jako na obr. 18, kde otáčivá součást je vyvážena druhou součástí podobnou; obě součásti se otáčejí v opačných směslech, spráženě navzájem na př. ozubeným převodem.

V praxi takřka neužíváme složitějšího zařízení podle obr. 18. Spokojujeme se tím, že dáme pružině dostatečné předpětí, a abychom příliš nezvětšovali odpor pružiny, zmenšíme inerční moment tím, že součásti dáme pokud jen možno malé moment setrvačnosti. — Inerční moment je užitečný, uvádíme-li hodiny v chod po natažení. Neutřepeme hodinkami jako dětským hrátkem, nýbrž pootočíme jimi kolem osy kolmé na číselník; nebývá to nutné u strojů kotvových, ale stroje s krokem chronometrovým jinak zvenčí nelze uvést v chod.

Několik číselných příkladů

Uvedené zásady si prakticky osvětlíme výpočtem některých hodnot, které budeme později potřebovat.

Příklad I. Vypočítáme energii sekundového kyvadla vychýleného o 1° ; váha kyvadla $5,030$ kg, vzdálenost těžiště od závěsu $l = 92,8$ cm. Z obr. 19a je vidět, že těžiště kyvadla se vychýlením zdvihne o výšku h , a jeho polohová energie je

$$W = P l (1 - \cos \varphi) \quad (25)$$

Kosinus nahradíme úhlem podle (12), ten vyjádříme v míře obloukové a dostaneme

$$W = P l \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\varphi}{57,3} \right)^2 = 0,0001523 P l \cdot \varphi^2 \quad (26)$$

a dosazením daných hodnot

$$W = 0,0001523 \cdot 5030 \cdot 92,8 \cdot \varphi^2 = 71,1 \varphi^2$$

Kyvadlo má tedy energii $71,1$ gcm, je-li vychýleno o 1° ; vychýleno o $1,5^\circ$ má energii $71,1 \cdot 1,5^2 = 160,0$ gcm. Je-li vypuštěno, kyvadlo podle zákona o zachování energie vykývne na opačnou stranu a o stejný úhel. Dáme-li kyvadlu za-

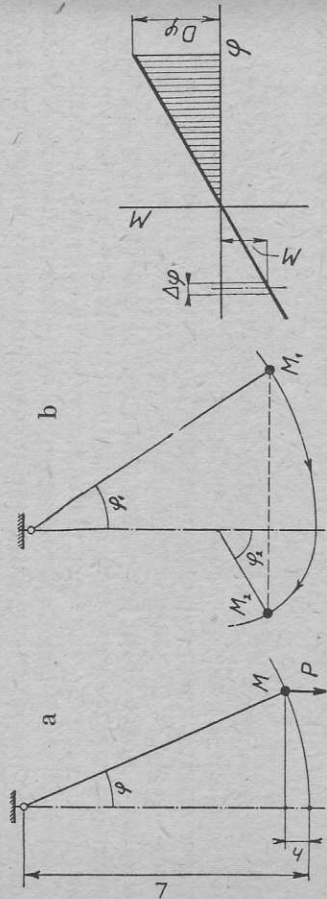
věšenému na ohebné nítky do cesty překážku (obr. 19b), vykřivně kyvadlo o úhel větší o tolik, aby zase vystoupilo do výšky h a byla tak splněna rovnice (26); tento pokus znal již Galileo.

Příklad 2. Vypočítat sílu na obvodu stoupacího kola (průměr 4 cm) přesných kyvadlových hodin, jejich závaží váží 700 g a klesne za den o 10 cm. Ke ztrátám třením nepřihlížíme.

Závaží klesne za minutu o $10/1440 = 0,00695$ cm a tím vykoná práci $0,00695 \cdot 700 = 4,86$ gcm. Obvod stoupacího kola urazí dráhu $3,142 \cdot 4,0 = 12,56$ cm a tím vykoná práci $12,56$ F, kde F je hledaná obvodová síla. Práce vykonaná stoupacím kolem rovná se práci dodané závažím a proto bude

$$12,56 F = 4,86 \text{ gcm} \quad F = \frac{4,86}{12,56} = 0,387 \text{ g}$$

Tak malá práce stačí udržet hodiny jednu minutu v běhu. Ve skutečnosti tření v soukolí spotřebuje ještě asi 25 % této práce, takže na obvodu stoupacího kola dostaneme asi $3,87 \cdot 0,75 = 2,9$ gcm. A z této malé práce zhruba třetinu se dostane kyvadlu, aby se nahradily jeho ztráty. Na tomto příkladu již vidíme, jak s malými silami a pracemi se počítá v chronometrii.



Obr. 19.

Obr. 20.

Příklad 3. Výpočet energie zkroucené spirální pružiny. Zkroucujeme-li pružinu, pružina nám odporuje momentem, který je přímo úměrný úhlu zkroucení. Vyneseme-li tento moment v závislosti na úhlu zkroucení (obr. 20) dostaneme přímku, jdoucí počátkem souřadnicové soustavy; sklón přímky odpovídá konstantě *tuhosti* pružiny, kterou označujeme D , a která je rovna momentu vzniklému zkroucením o 1 radián čili o $57,3^\circ$. Zkroucujeme-li pružinu stoupá moment lineárně od nuly až k hodnotě $D\varphi$ (φ je největší zkroucení). Práce takto do pružiny vložená, čili elastická energie pružiny, odpovídá ploše vyšrafovaného trojúhelníku, a je

$$W = \frac{1}{2} M_{\max} \varphi = \frac{1}{2} D \varphi^2 \quad (27)$$

Nyní vypočítáme energii vlásku námořního chronometru jehož $D = 3973$ dyn · cm = 4,05 gcm, je-li zkroucen o 250° čili o 4,36 (radiánů). Největší moment bude $3973 \cdot 4,36 = 17320$ dyn · cm, v technických jednotkách $4,05 \cdot 250/57,3 = 1765$ g · cm a energie pružiny

$$\frac{1}{2} \cdot 3973 \cdot 4,36^2 = 37780 \text{ erg} \text{ nebo } \frac{1}{2} \cdot 4,05 \cdot (250/57,3)^2 = 38,5 \text{ g} \cdot \text{cm}$$

Je to energie poměrně značná ve srovnání s energií kyvadla; příčina leží ovšem v značné úhlové rychlosti setrvačky.

Příklad 4. Vypočítáme pohybovou (kinetickou) energii setrvačky z téhož chromometru; setrvačka váží 11,81 g, její moment setrvačnosti je $25,11$ g · cm² a tedy poloměr setrvačnosti je $\sqrt{25,11/11,81} = 1,46$ cm, úhlová rychlost je $\omega = 3140^\circ$ čili $54,8$ rad./sek. Pohybová energie setrvačky je

$$W = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot 25,11 \cdot 54,8^2 = 37700 \text{ erg} \text{ nebo v technické soustavě měř}$$

$$W = \frac{1}{2} \frac{I}{981} \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{25,11}{981} \cdot 54,8^2 = 38,4 \text{ g} \cdot \text{cm}$$

Naši setrvačku můžeme nahradit podle (15) docela tenkým prstenem o polo-měru $r = i$. Pohybovou energii tohoto prstence vypočítáme z jeho hmoty a jeho obvodové rychlosti.

Obvodová rychlost je $v = r \omega = 1,46 \cdot 54,8 = 80,0$ cm/sek a energie $W = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{11,81}{2} \cdot 80^2 = 37800$ erg jako nahore. Tento způsob počítání je někdy výhodný a má výhodu názornosti.

Příklad 5. Jak velké odstředivé síle podléhá hmota na obvodu věnce setrvačky z předchozího příkladu?

Poloměr věnce takové setrvačky je přibližně rovný poloměru setrvačnosti (v našem příkladě $r = i = 1,46$ cm. Na závažíčko 1 g na věnci (třeba na kom-pensační závaží) působí odstředivá síla (v absolut. jednotkách)

$$F = m r \omega^2 = 1 \cdot 1,46 \cdot 54,8^2 = 4380 \text{ dyn} = 4,47 \text{ g}$$

Můžeme počítat také s rychlostí obvodovou, o níž víme, že je $v = 80,0$ cm/sek. Odstředivá síla pak bude (v technických jednotkách)

$$F = m \frac{v^2}{r} = \frac{1}{981} \cdot \frac{80^2}{1,46} = 4,47 \text{ g}$$

Můžeme konečně počítat jen odstředivé zrychlení, které je

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{80^2}{1,46} = 4380 \text{ cm/sek}^2 \text{ čili } \frac{4380}{981} = 4,47 \text{ krát větší než tíhové zrychlení.}$$

Proto na každý kousek materiálu působí odstředivá síla, 4,47krát větší než jeho váha. Tento způsob — udávat odstředivou sílu v násobcích váhy — je obvyklý v letectví. Vidíme, že namáhání věnce setrvačky je poměrně značné; v letectví by to odpovídalo odstředivým silám, jaké vznikají při ostřejších obratech nepřihlíží rychlého letadla.

Důležitá číselná hodnota

Kapitolu ukončíme několika číslicemi, které se týkají našeho oboru. Časy jsou udány ve dnech, hodinách, minutách a sekundách středního slunečního času.

1 d(en) = 1440 m(in) = 86400 s(ek)

1 rok (tropický) = 365,2422 d = 525949 min = 31556 926 sek

Poloměr zemského rovníku (dle Hayforda)

Obvod zemského rovníku

1 úhl. minuta na rovníku (námoř. míle)

6 378,388 km
40 076,594 km
1855,4 m

Z předchozího rozboru je vidět, že kmitavý pohyb předpokládá sílu direkční, která vrací kmitající hmotu do střední polohy. Energie udělená počátečním impulsem v kmitajícím systému zůstává (není-li ovšem odporů čili tlumení); odehrávají se jen stálé, periodické přeměny energie potenciální na pohybovou a naopak, které byly popsány a které jsou pro kmitavý pohyb charakteristické. Z předchozích úvah však vyplývá, že kmitání je zjev nejenom periodický, nýbrž i časově dokonale pravidelný. Vždyť jednotlivé periody jsou totožné po všech stránkách — vždy je stejný průběh sil, zrychlení a tím i rychlosti — a není proto žádný fyzikální důvod, proč by neměly také stejně dlouho trvat.

Dále je jasné, že na dobu kyvu nebude mít vliv váha kuličky. Jestliže ji zvětšíme (zmenšíme), zvětší (zmenší) se v témž poměru síce direkční síla, ta však bude nyní zrychlovat a zpomalovat hmotu rovněž v témž poměru zvětšenou (zmenšenou); proto zrychlení a tím i rychlost v průběhu kyvu budou jako před tím — na zjevu se nic nezměnilo. To platí obecně: Změní-li se velikost setrvačné hmoty a v témž poměru též velikost direkční síly (vyvozené na př. pružinou), doba kmitu zůstane nezměněná.

Důležitá otázka je vliv délky kyvadla; ze zkušenosti víme, že delší kyvadlo kývá pomaleji, pokusíme se však tento vliv vystihnout přesněji, kvantitativně. Změní-li se délka kyvadla, nezmění se na obr. 19 nic jiného než jeho rozměry; v témž poměru změni se délka kyvadla, dráha čocky mezi oběma úvratěmi, a výška h , tedy i energie kuličky. Rychlost kuličky ve střední poloze se změni s odmocninou její pohybové energie, čili s odmocninou délky kyvadla. Máme tedy tento stav: Dráha kuličky se změnila s délkou kyvadla L , její rychlosti se změnila s \sqrt{L} ; doba kyvu se změni úměrně podílu L/\sqrt{L} , čili s odmocninou délky kyvadla.

Další otázka je, jaký vliv má zrychlení tíže, o němž již víme, že není všude stejné; s ním měni se úměrně i váha kuličky, tím polohová energie vychýleného kyvadla a tedy i pohybová energie ve střední poloze. Proto rychlost kuličky ve střední poloze se změni s odmocninou zrychlení g , a poněvadž v průběhu kyvu se úměrně s g změni všechny síly i zrychlení, můžeme předpokládat, že všechny okamžité rychlosti a tím též průměrná rychlost kuličky se změni v poměru \sqrt{g} . Poněvadž dráha kuličky zůstala stejná, změni se doba kyvu v poměru $1/\sqrt{g}$.

Poslední otázka je, jaký vliv na dobu kyvu má velikost počáteční výchylky čili amplitudy. Nejprve předpokládáme, že direkční síla roste přesně úměrně s výchylkou. Pak energie do systému vložená bude úměrná druhé mocnině amplitudy dle rovnice (26) a rychlost kuličky ve střední poloze bude úměrná odmocnině této energie čili úměrná výchylce. Lze soudit, že nejen ve střední poloze, nýbrž ve všech polohách rychlosti kuličky budou úměrné amplitudě. Jest tedy amplitudě úměrná průměrná rychlost kuličky i její celá dráha, to znamená, že doba kyvu zůstane stejná. Roste-li direkční síla úměrně s výchylkou, trvají dlouhé i krátké kypy stejně dlouho, je dosaženo isochronismu.

Přesně vzato, direkční síla není přímo úměrná výchylce. Na obr. 21 vidíme,

že platí úměra $aM/L = P_2/P$, poněvadž příslušné trojúhelníky jsou podobné. Direkční síla je úměrná délce aM , nikoli oblouku oM . Zmenšujeme-li však výchylku, rozdíl tento se zmenšuje, při docela malých výchylkách oblouk oM splývá s přímkou aM . Z toho vyplývá, že při velmi malých amplitudách direkční síla roste úměrně s výchylkou, že tedy velikost amplitudy nemá vliv na dobu kyvu.

Všechny dosavadní úvahy lze shrnout do jednoduché rovnice pro dobu kyvu

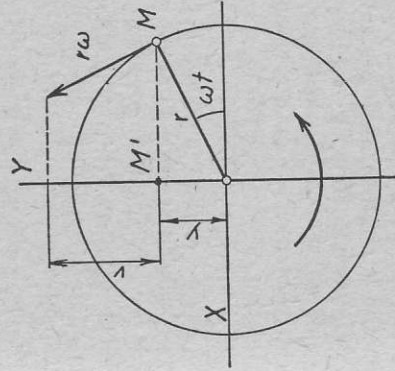
$$T = \text{const} \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (28)$$

Dle této rovnice můžeme porovnávat dobu kyvu dvou kyvadel různé dlouhých, nebo téhož kyvadla na rovníku a na točném. Nedovedeme však dle ní vypočítat dobu kyvu kyvadla dané délky. Dostali jsme se tam, kde byl Galileo kolem roku 1638, který také narazil na číselnou konstantu rovnice (28), již hodnotu nedovedl odvodit. To se podařilo teprve Huygensovi, vyzbrojenému již pokročilejšími znalostmi mechaniky a matematiky.

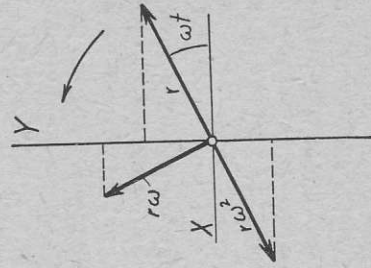
Pro zajímavost budíž připomenuto, že rovnici (28) lze odvodit snadno a rychle z podmičky, že obě strany rovnice musí mít stejný rozměr. Doba kyvu má rozměr sek, délka kyvadla rozměr cm, zrychlení tíže rozměr cm/sek^2 . Víme, že doba kyvu roste nějak s L , a klesá s g ; proto rovnice musí mít tvar (28). Ovšem číselnou konstantu takto zase neurčíme.

Pohyb harmonický

Pokročíme proto k úvahám zevrubnějším a vyšetříme pohyb zvaný harmonický, který má základní důležitost pro nás i pro celou fyziku. Tento pohyb odvodíme si nejprve tak, že rovnoměrný pohyb v kruhu rozložíme ve dva periodické pohyby v přímkách na sebe kolmých (obr. 22).



Obr. 22.



Obr. 23.

Hmotný bod M obíhá rovnoměrně ve vzdálenosti r kolem středu O úhlovou rychlostí ω . Jeho polohu stále promítáme kolmo na svislou osu Y do bodu M' . Bod M' koná tedy periodický, kmitavý pohyb kolem střední polohy a jeho okamžitá výchylka (elongace) od středu O jest

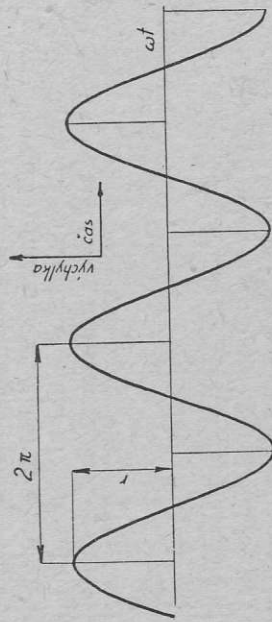
$$Y = r \cdot \sin \omega t \quad (29)$$

Projekcí bodu M na vodorovnou osu X dostaneme druhý bod, který koná rovněž kmitavý pohyb, ale časově posunutý proti pohybu bodu M' . Oba kmitavé pohyby vektorově složeny dají původní pohyb kruhový. Jako dráhu, stejně i obvodovou rychlost bodu M můžeme rozložit na dvě složky. Projektivací rychlosti na osu Y dostaneme okamžitou rychlost bodu M'

$$v = r \omega \cdot \cos \omega t \quad (30)$$

Kruhový pohyb bodu M je možný jen za předpokladu, že na bod působí dostředivé zrychlení $r\omega^2$. Toto zrychlení rovněž promítáme na osu Y a dostaneme okamžitě zrychlení bodu M' .

$$a = -r \omega^2 \cdot \sin \omega t = -\omega^2 y \quad (31)$$



Obr. 24.

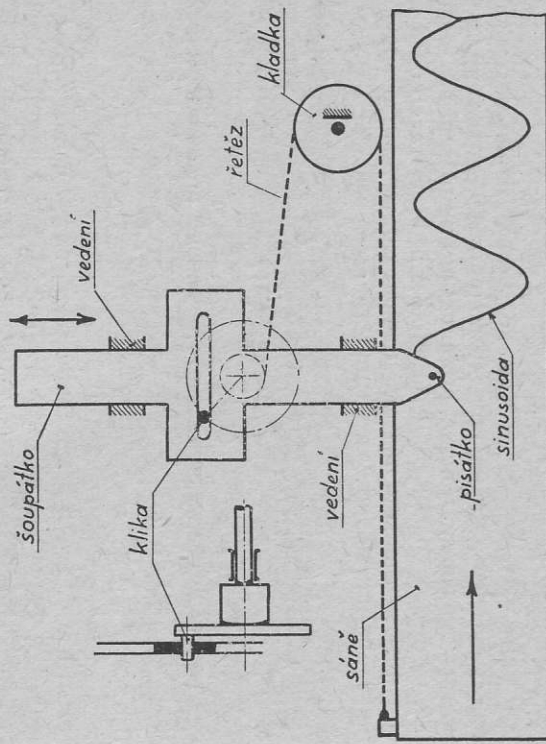
Záporné znaménko vyjadřuje, že zrychlení má směr opačný výchylce. Jak patrně, toto zrychlení je úměrné výchylce bodu. Polohu kmitajícího bodu, jeho okamžitou rychlost a zrychlení lze dle předchozího graficky odměřit jako průmět tří vektorů pohromadě rotujících dle obr. 23. První vektor je rovný r , druhý, o 90° předbíhající je rovný ωr , třetí, předbíhající o dalších 90° , se rovná $\omega^2 r$. Tento způsob znázornění je velmi užitečný v elektrotechnice.

Síla působící na bod M' , síla direkční, je (m je hmota bodu)

$$F = m a = -m \omega^2 y = -K y \quad (32)$$

Je-li tedy síla na bod působící přímo úměrná výchylce bodu, platí rovnice (29), kmitání je, jak říkáme *sinusové*. Hodnota K v rovnici (32) je konstanta úměrnosti a rovná se síle vznikající při výchylce o 1 cm. Obstává-li direkční moment pružina, pak K je měřítkem tuhosti pružiny. Sinusový pohyb můžeme graficky zobrazit tak, že výchylku bodu vyneseleme v závislosti na čase, resp. součinu ωt (obr. 24). Dostaneme známou *sinusoidu*, kterou lze automa-

tický nakreslit strojkem dle obr. 25. Šoupátko, poháněno klikovým čepem, koná pohyb harmonický, ale i čep sám ve výřezu šoupátka koná druhý pohyb sinusový, kolmý na první: vidíme zde názorně, že kruhový pohyb skutečně vzniká sečtením dvou pohybů harmonických.



Obr. 25.

Použijeme-li infinitesimálního počtu, můžeme rovnici (29) snadno odvodit z rovnováhy obou sil, které na hmotu působí v každém okamžiku:

síla setrvačná + síla direkční = ϑ

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + k y = \vartheta \quad \text{čili} \quad \frac{d^2 y}{dt^2} = -\frac{K}{m} y \quad (33)$$

Řešení této diferenciální pohybové rovnice je zřejmě

$$y = y_0 \cdot \sin \sqrt{\frac{K}{m}} t \quad (34)$$

kde hodnota $\sqrt{K/m}$ je úhlová rychlost rovnice (29). Derivujeme-li rovnici (34), dostaneme rovnici pro okamžitou rychlost (30), dalším derivováním pak rovnici (32) pro direkční sílu.

Doba kyvu

Nyní můžeme již odvodit hodnotu pro naše účely nejdůležitější, dobu kyvu. Dříve však nutno věc definovat. Ve fyzice se dobou kyvu rozumí vždy trvání celé jedné periody nebo cyklu, t. j. čas, po kterém se kmitající systém vrátí do téhož stavu; je to doba mezi dvěma úvratěmi na téže straně, nebo mezi dvěma průchody střední polohou v též směru. Naproti tomu v hodinářství —

Jednak z praktických důvodů, jednak ze zvyku — dobou kyvu se rozumí trvání pohybu z jedné úvratí do protější. Tak mluvíme o kyvadlu sekundovém, ačkoliv jedna jeho perioda, t. j. pohyb sem a tam, trvá dvě sekundy. Aby nevznikla nejasnost, budeme trvání celé periody označovat $2T$, a dobu kyvu ve smyslu hodinářském označme T .

Perioda kmitání je skončena pokaždé, když bod M na obr. 22 projde počátkem, čili když součin ωt dosáhne hodnot $2\pi, 4\pi, 6\pi, \dots$. To je vyjádřeno vztahy

$$\omega \cdot 2T = 2\pi \quad T = \frac{\pi}{\omega} \quad (35)$$

a dosazením za úhlovou rychlost dle (34) máme důležitou rovnici

$$T = \pi \sqrt{\frac{m}{K}} \quad (36)$$

Frekvence

Ve fyzice i v technice často — zejména u rychlých kmitů — neudáváme trvání jedné periody, nýbrž jeho převrácenou hodnotu, kterou nazýváme *kmitočet* nebo *frekvence*; je to tedy počet *celých* period či cyklů za sekundu a značí se c/s . Na př. ladička pro „komorní“ a má frekvenci 435, setrvačka ka-pesnická hodiněk má $2\frac{1}{2}$, sekundové kyvadlo má frekvenci $\frac{1}{2}$ atd. Vzorec pro frekvenci dostaneme z předešlé rovnice

$$f = \frac{1}{2T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (37)$$

Často je praktické místo zlomku K/m počítat se „statickým“ průhybem, t. j. průhybem pružin, způsobeným vahou kmitající hmoty. Tento statický průhyb je

$$\delta = \frac{mg}{K} \quad (\text{poněvadž } F = mg = K\delta)$$

a z toho dle rovnice (37), je-li δ a g v cm

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{9}{4\pi^2\delta}} = \sqrt{\frac{25}{\delta}} \quad (38)$$

$$\delta = \frac{25}{f^2} \quad (39)$$

Příklad 6. Jak tuhé musí být pružiny, má-li být frekvence $f = 1$ c/s ? Z rovnice (39) vychází $\delta = 25/f^2 = 25$ cm.

Pružiny musí být tedy velmi slabé, tak aby vahou kmitající hmoty se deformovaly o 25 cm. Kdybychom potřebovali frekvenci 10 c/s, bylo by třeba $\delta = 25/100 = 0,25$ mm a pro frekvenci 100 c/s dokonce jen $0,0025$ cm = 0,025 mm. Jak vidět, vysoké frekvence předpokládají velice tuhé pružiny. Ovšem tento jednoduchý výpočet předpokládá, že pružiny samy jsou bez hmoty; často není tomu tak ani přibližně a je pak nutno část hmoty pružin připočítat k setrvačné hmotě, čímž se výpočet komplikuje.

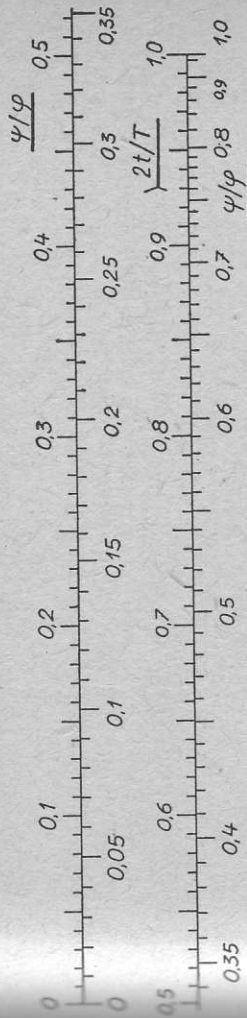
Harmonický pohyb kruhový

Dosud jsme mluvili o kmitech přímočarých. V hodinářství však máme zpravidla co činit s kmitavým pohybem *kruhovým*. Oscilátor se pohybuje kolem pevné osy, má určitý *moment setrvačnosti* a je do střední polohy vrácen nějakým *direkčním momentem*. Pokud lze oscilátor považovat za hmotný bod kmitající kolem osy (příklad: matematické kyvadlo), věc je jednoduchá. Je lhotejně, kmitá-li tento bod na dráze přímé nebo kruhové, pokud ovšem by nějak nevadila odstředivá síla. Počítáme prostě dle předešlých rovnic; víme, že y nyní znamená úhel, a direkční moment převedeme na sílu jednoduše tím, že jej dělíme poloměrem dráhy bodu. Tento způsob počítání je ostatně leckdy docela příhodný a má při tom výhodu názornosti.

Skutečně kmitající těleso je ovšem často hodně vzdáleno představy hmotného bodu (nebo hmotné kružnice). Pak místo setrvačné hmoty nastupuje moment setrvačnosti. Místo lineární výchylky máme výchylku úhlovou ψ , místo amplitudy lineární máme amplitudu úhlovou φ , podobně i okamžitou rychlost úhlovou a úhlové zrychlení. Pak rovnice (36), pro nás nejdůležitější, dostane tvar

$$T = \pi \sqrt{\frac{I}{D}} \quad (40)$$

kde I je moment setrvačnosti, D je jednotkový moment direkční, t. j. moment při výchylce jednotkové čili při $57,3^\circ$. Dlužno dodat, že i zde je možno počítat způsobem uvedeným v prvním odstavci: kmitající těleso považujeme prostě za hmotný bod (nebo hmotnou kružnici) kmitající v kruhové dráze, jejíž poloměr je rovný poloměru setrvačnosti tělesa, a direkční moment převedeme na direkční sílu působící na téměř poloměru.



Obr. 26.

V praxi nás často zajímá, jaký časový okamžik odpovídá určité poloze oscilátoru. Výpočet dle rovnice (29) je nepohodlný, grafické řešení pracné, proto uvádím nomogram, z něhož lze korespondující hodnoty odečíst (obr. 26).

Ke každé relativní hodnotě času (při čemž jednotkou je poloviční doba kyvu) lze přímo číst relativní hodnotu výchylky (jednotkou je amplituda). Užítí nomogramu si objasníme na příkladu.

Příklad 7. Setrvačka námořního chronometru má amplitudu $\pm 230^\circ$, z toho je s krokem v záběru v úhlu $\pm 20^\circ$ (t. j. celkem 40°). Jak veliké je to procento doby kyvu?

Protože děj je symetrický kolem střední polohy, stačí počítat jen polovinu záběru. Úhel 20° je $20/230 = 0,087$ celé amplitudy. Proti této hodnotě čteme přímo hodnotu $0,056$. Záběr s krokem tedy trvá $5,6\%$ celé doby kyvu, a poněvadž se děje při každém druhém kyvu, je to jen $2,8\%$ času — jinak je setrvačka volná.

Energie oscilátoru

Na počátku této kapitoly bylo řečeno, že při harmonickém pohybu se periodicky mění pohybová a polohová (obecněji potenciální) energie, ale že součet obou energií je stálý. Potenciální energie v úvratí je rovna pohybové energii tělesa v jeho střední poloze, kdy je rychlost největší. Pohybovou energii můžeme vypočítat, známe-li největší rychlost. Vratme se k rovnici (30). Ve střední poloze je $\omega t = 0$; přibereme-li ještě rovnici (35), dostaneme

$$V_{\max} = \omega r = \frac{\pi r}{T} \quad (41)$$

Průměrná rychlost bodu M' je $2 r/T$, poměr obou rychlostí je tedy

$$(\pi r/T) : (2 r/T) = \pi/2 = 1,571.$$

To platí samozřejmě i pro harmonický pohyb v oblouku: *Největší úhlová rychlost je 1,57 Ikrát větší než rychlost průměrná.* Nyní již můžeme vyjádřit pohybovou energii kmitajícího tělesa, jehož moment setrvačnosti je I , direkční moment D a úhlová amplituda φ :

$$W = \frac{1}{2} I \left(\frac{\pi \varphi}{T} \right)^2 \quad (42)$$

Je dobře si povšimnout, že energie oscilátoru je přímo úměrná druhé mocnině amplitudy, nepřímo druhé mocnině doby kyvu, čili přímo úměrná druhé mocnině frekvence.

Potenciální energie je dána rovnicí (27), a z rovnosti obou energií plyne rovnice

$$\frac{1}{2} I \frac{\pi^2 \varphi^2}{T^2} = \frac{1}{2} D \varphi^2 \quad \pi^2 I = D T^2$$

a tedy rovnice (40): Doba kyvu vyplývá tak ze zákona o zachování energie.

Kmitý tlumené

V předešlých odstavcích jsme mluvili stále o kmitech *volných*, t. j. nebrzděných, nebo jak říkáme, *netlumených*. Žádným odporem vzduchu ani třením. Za těchto podmínek oscilátor kmitá stále se stejnou amplitudou, poněvadž nemaje ztrát zachovává si energii, kterou dostal na počátku. V praxi to dove-

deme jen nedokonale. Setrvačka velkého chronometru kmitá jen několik minut, dobré kyvadlo kývá ve vzduchu dvacet hodin, totéž kyvadlo ve vzduchoprázdnu více dní, setrvačka zavěšená na křemenném vlákně kmitá ve vakuu několik týdnů. Ale všechny tyto oscilátory by se nakonec zastavily, kdybychom jim pravidelně nepřiváděli energii odpory ztracenou. Tim vystávají dvě důležité otázky: Jaký vliv má tlumení na zákony kmitání? Jaký je vliv impulsů, popudů, jimiž udržujeme oscilátor v pohybu? Nejsou to otázky fyzikálně jednoduché, ba jsou přesně vzato, řešitelné jen s velkým aparátem matematickým a to ještě jen přibližně. Spokojíme se proto rozbo-rem jednoduchým, který ostatně pro náš účel docela postačí.

Vliv „viskosního“ tření

Matematickému rozboru je přístupný případ, kdy oscilátor je tlumen silou, která je přímo úměrná jeho okamžité rychlosti (tak jako tření ve viskozní kapalině). Takovou tlumící silou je odpor a tření vzduchu (odpor vzduchu, jaký máme u letadel a rychlých vozů, úměrný druhé mocnině rychlosti, je skoro bez významu při malých rychlostech oscilátorů). Pohybová rovnice dostane nový člen, vyjadřující útlum a zní pak

$$I \frac{d^2 \psi}{dt^2} + c \frac{d\psi}{dt} + D\psi = \Phi \quad (43)$$

Řešení této rovnice (v. na př. Horák, Praktická fyzika) vede k této výsledkům: Předně pohyb zůstává harmonickým, ale amplituda klesá podle exponenciální křivky

$$\varphi = \varphi_0 e^{-ct/2I} \quad (44)$$

kde t je čas v sek. Za druhé útlum prodlouží dobu kyvu na

$$T_t = \frac{\pi I}{\sqrt{ID - c^2/4}} \quad (45)$$

Koeficient c viskosního tření předem neznáme, můžeme však snadno zjistit poměr dvou amplitud po sobě jdoucích $\lambda = \varphi_0/\varphi_1 = \varphi_1/\varphi_2 = \dots$, jestliže pozorujeme, jak amplitudy klesají s časem. Zavedeme tedy tento poměr do počtu, a po některých zjednodušeníh (možných proto, že útlum našich oscilátorů je vždy malý) z rovnice (45) dostaneme

$$T_t = T + T \frac{(\lambda - 1)^2}{2\pi^2} \quad (46)$$

V hodinářství je zvykem chod hodin udávat počtem sekund, oč se hodiny denně zpozdňují nebo předbíhají. Zpoždění hodin, zavíněné útlumem bude

$$R = 86400 \frac{T_t - T}{T} = 86400 \frac{(\lambda - 1)^2}{2\pi^2} = 4380 (\lambda - 1)^2 \quad (47)$$

Místo poměru λ můžeme zavést procentuální úbytek amplitudy (každým kyvem amplituda se zmenší o q procent) a pak

$$R = 4380 \left(\frac{q}{100} \right)^2 = 0,438 q^2 \quad (48)$$

V následující tabulce jsou uvedena denní zpoždění pro různé hodnoty λ :

λ	1,0001	1,0003	1,001	1,003	1,01	1,03
q	0,01	0,03	0,1	0,3	1	3%
R	0,00004	0,00039	0,0044	0,039	0,438	3,94s/d

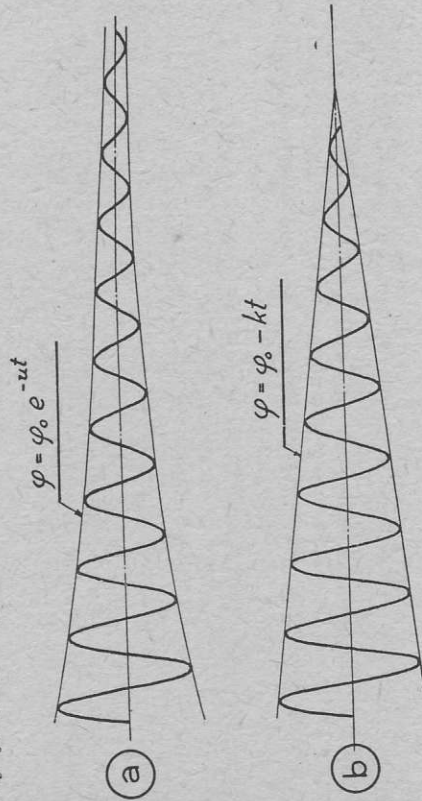
Poměr λ je u dobrého sekundového kyvadla řádu 1,0001, u setrvačky nejvýše 1,02. Zpomalení kyvů, zaviněné útlumem je proto nepatrné, jistě menší než na př. vliv kroku, a můžeme je ostatně snadno vyrovnat vyregulováním hodin. Ještě bezvýznamnější je pak ovšem vliv malých změn tlumení, způsobených změnami teploty a tlaku vzduchu.

Vliv konstantního tření

Toto „obyčejné“, t. j. na rychlosti nezávislé, tření je jaksi všudypřítomné; nejnepříjemnější se uplatňuje u setrvačky, která je uložena na čepch v ložiskách. Pohybová rovnice dostane tvar

$$I \frac{d^2\psi}{dt^2} + D\psi + F = \theta \quad (49)$$

Řešení rovnice vede k těmto výsledkům: Doba kyvu se nezmění, amplituda klesá řadou aritmetickou, a oscilátor se po nějakém čase zastaví. Tlumené kmity jsou graficky znázorněny (pro zřetelnost s přehnaným útlumem) na obr. 27. Čára a jsou kmity s viskozním tlumením; křivka dotýká se vrcholů vlnovky je čára exponenciální, blíží se asymptoticky vodorovné ose. Na



Obr. 27.

obr. 27 b jsou znázorněny kmity tlumené obyčejným třením; čára dotýkající se vrcholů vlnovky je přímka, která vodorovnou osu protíná v bodě odpovídajícím okamžiku, kdy se kmity zastaví. To je snadno pochopitelné, uvážíme-li, že s klesající amplitudou se zmenšuje zároveň direkční síla, a musí tedy přijít okamžik, kdy direkční síla, již nepřemůže tření; u tření viskozního klesá ovšem amplituda také, ale s ní i tlumící odpor. Pro úplnost ještě dodávám, že jako jsme pohyb harmonický netlumený odvodili promítáním rovnoměrného pohybu kruhového, tak i kmitání tlumené lze odvodit podobným způsobem: Kmitání s viskozním třením promítáním bodu, který se (maje konstantní úhlovou rychlost) pohybuje po spirále logaritmické, kmitání tlumené prostým třením dostaneme analogicky promítáním bodu pohybujícího se po spirále Archimedově.

Skutečné poměry

Skutečné poměry jsou u oscilátorů ještě složitější. To ukazuje prostý pokus s volným kyvadlem, které necháme kývat, až se zastaví. Úbytek amplitudy je na počátku a na konci větší, než bychom čekali podle rovnice (44). To nasvědčuje, že kromě (převládajícího) viskozního tření je tu ještě odpor nezávislý na rychlosti (patrně vnitřní, molekulární tření závesné pružiny), a dále nějaký odpor vzrůstající rychleji než z první mocninou rychlosti. Rovnice takového kmitání by pak vypadala takto:

$$I \frac{d^2\psi}{dt^2} + k \left(\frac{d\psi}{dt} \right)^n + c \frac{d\psi}{dt} + D\psi + F = 0 \quad (50)$$

Matematik dovede posoudit, co si lze počít s takovou diferenciální rovnicí, v níž ke všemu přesně známe jen hodnoty I a D !

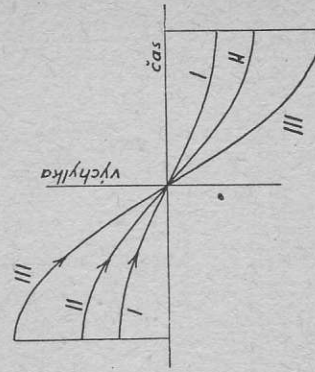
Na šesti nejde nám, jak jsme si již řekli, o vliv tlumení, nýbrž jen o změny tohoto vlivu, a ty jsou vždy malé. Závažnější může být vliv nepřímý; změna tlumení vyvolává změnu amplitudy, a ta pak může způsobit citelnou změnu chodu hodin. Tento nepřímý vliv je zvlášť nepříjemný u setrvaček, tlumených poměrně značným a k tomu proměnlivým třením.

Vliv krátkodobého impulsu a odporu na dobu kyvu

Poněvadž oscilátor ztrácí energii odporu a třením, musíme mu novou energii dodávat; u většiny časoměrů děje se to krátkodobými impulsy. Většinou však oscilátor si musí sám vybavit mechanismus (na př. krokový), od něhož pak teprve impuls dostane, čili musí přemoci krátkodobý odpor. Je tedy důležité vědět, jaký vliv na dobu kyvu lze zde očekávat. Řešení matematické je nejjisté, už proto, že nevíme, co do rovnic dosazovat. Můžeme však tyto vlivy sledovat aspoň kvalitativně dvěma názornými způsoby grafickými.

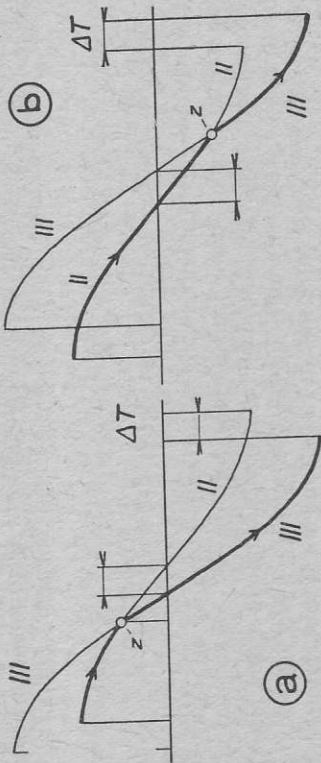
Kdyby oscilátor byl volný, obrazy jednoho kyvu by byla část sinusoidy menší po překonání odporu. Křivka II je střední; po impulsu pokračuje kyv dle křivky III, po překonání odporu dle křivky I. Předpokládáme, že impuls odpor trvají nekonečně krátce, tedy že přechod od jedné křivky do druhé je okamžitý.

Obraz kyvu skládá se tedy z části dvou křivek, které můžeme přímo vykopirovat z obr. 28 (což bylo také učiněno). Nejprve vliv impulsu. Nebýt impulsu, proběhl by kyv dle čáry II, ale před střední polohou (obr. 29a, bod z) nastane impuls a další pohyb je podle čáry III. Ta však dosáhne své krajní výchylky dříve než by byla dosáhla čára II, a to o hodnotu znázorně-

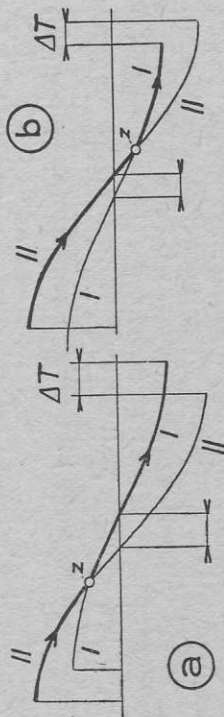


Obr. 28.

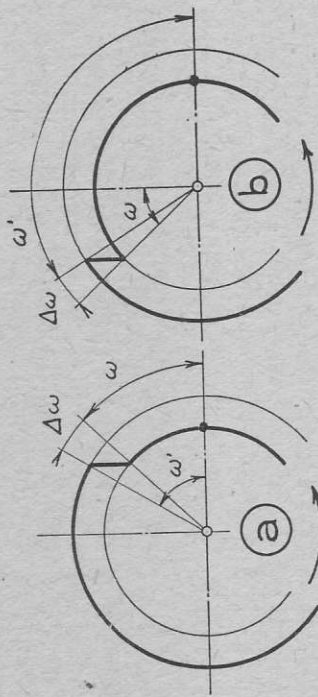
nou délkou ΔT : doba kyvu se zkrátí. Přejde-li impuls za střední polohou (bod z na obr. 29b), pokračuje pohyb opět podle čáry III, ta však dosáhne své krajní polohy tentokrát později než by byla dosáhla čára II, a to o hodnotu ΔT : doba kyvu se prodlouží. Na obr. 30 je podobně znázorněn vliv krátkodobého odporu. To znamená přechod z čáry II do čáry I; je-li tento odpor před střední



Obr. 29.



Obr. 30.



Obr. 31.

polohou (obr. 30a) vznikne zřejmě prodloužení doby kyvu o hodnotu ΔT . Je-li odpor za střední polohou, obr. 30b, vznikne naopak zkrácení doby kyvu ΔT . Co se stane, přijde-li impuls (nebo odpor) právě ve střední poloze? Nic, jak je vidět na obr. 28. Čára II přejde v čáru III, nebo I, a ty dosáhnou svých

krajních poloh v témž čase, jako by byla dosáhla čára II. *Krátkodobý impuls nebo odpor ve střední poloze nemají vliv na dobu kyvu.* To je pravidlo, které je dobře mít stále na mysli.

Věc lze vysvětlit ještě jiným způsobem, v literatuře často uváděným, a to opět známým promítáním bodu obíhajícího po kružnici. Promítáme na vodorovnou osu, vliv impulsu (odporu) je znázorněn přeskokem na kružnici o větším (menším) poloměru, a to po svislé čáře (poněvadž přeskokem se nesmí poloha průmětu změnit). Na obr. 31b vidíme vliv impulsu za střední polohou. Obíhající bod měl již úhel ω , po přeskoku má najednou jen úhel ω' , musí proto jaksi dohánět rozdíl $\Delta \omega$, který je měřítkem, oč se doba kyvu prodlouží. Analogicky na obr. 31a je znázorněn vliv impulsu před střední polohou. Vidíme, že obíhající bod, který měl za sebou teprve úhel ω , má rázem úhel ω' , čili ušetřil si jaksi úhel $\Delta \omega$, který je měřítkem, oč se doba kyvu zkrátí. Docela podobně můžeme vyšetřit vliv odporu (stačí obrátit směr pohybu na obr. 31). Snad není nutno ani připomínat, že vliv odporu a impulsu je na obrázcích znázorněn hrozně přehnaně. Ve skutečnosti jsou změny amplitudy docela malé, a tím i vliv oněch změn. A ovšem, ve skutečnosti ani ten impuls, ani odpor nejsou okamžité, nýbrž zaujmají často slušnou část celého kyvu. To však kvalitativně na věci nic nemění. Předchozí výsledky si můžeme napsat do přehledné tabulky:

	Vliv impulsu	Vliv odporu
Před střední polohou Ve střední poloze Za střední polohou	zrychlení žádný zpoždění	zpoždění žádný zrychlení

Celou tabulku lze shrnout do jediného pravidla: *Síla působící ve směru síly směru zkracuje dobu kyvu; síla působící proti síle směru prodloužuje dobu kyvu.* K tomu ještě dodejme, že změna doby kyvu je tím větší, čím dále od střední polohy vliv působí.

Vysvětlení na obr. 31 má vedle názornosti ještě výhodu, že umožňuje vypočítat změnu doby kyvu poměrně jednoduchými matematickými prostředky. Doba kyvu odpovídá v obloukové míře úhlu π , malý úhel $\Delta \omega$ představuje zkrácení nebo prodloužení doby kyvu; poměrná změna doby kyvu je zřejmě

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta \omega}{\pi} \quad (51)$$

K této věci, velmi důležité pro teorii kroků, se později ještě vrátíme.

Příklady mechanických oscilátorů

Nyní, když jsme probrali teorii mechanických kmitů, podíváme se jak vypadají různé ty oscilátory, jichž užíváme k měření času, nebo které jsou jinak zajímavé a významné.

chod. Tento „torsní“ závěs je důležitý pro konstrukci měřicích přístrojů, jak bylo vyloženo v I dílu.

Na obr. 36 je závěs zavěšen na šroubové pružině. Svého času vyráběly se hodiny s oscilátorem podobným, kde takto na pružině visela houpačka s figurkou; byly vhodné jako nápadná reklama ve výkladní skřini, ale čas měřily špatně. Horní závit pružiny se nepohybuje, dolní naopak opisuje stejnou dráhu jako závěs; při výpočtu doby kyvu je proto třeba k hmotě závěsu přičíst poloviční hmotu pružiny.

Oscilátor na obr. 37, pouhá pásová pružina, na jednom konci veškrutá, je první případ, kdy kmitající těleso představuje pružinu a zároveň setrvačnou hmotu. Podobné pružiny se užívá v Hippových chronograftech jako orgánu časoměrného (nevalně přesného) nebo k regulaci otáčivé rychlosti.

Druhý případ podobný je analogický oscilátor dvojitý a souměrný — známá *ladítka*, normál (etalon) pro ladění v hudbě, ale také časoměrný orgán schopný vysoké přesnosti, a vhodný k měření krátkých časů. K ladičce se ještě vrátíme.

Na obr. 39 je kmitající struna, která je ovšem důležitější v hudbě než v chronometrii. Na obr. 40 je znázorněna tyč, podepřená ve dvou bodech a kmitající jak ukazuje čárkovaný obrys. Takto lze (elektricky) rozkmitat křišťálovou tyčinku a měřit čas. Častěji však budíme v křišťálovém hranolku kmitý podobně jako na obr. 41, jak si později ještě povíme. Kmitající křemen je přesný oscilátor, běžně užívaný k regulaci frekvence ve vysílacích stanicích a jako nesmírně přesný normál frekvence, ale vhodný také jako regulátor „*křemenových hodin*“, které jsou jedinými konkurenty precizních strojů kyvadlových.

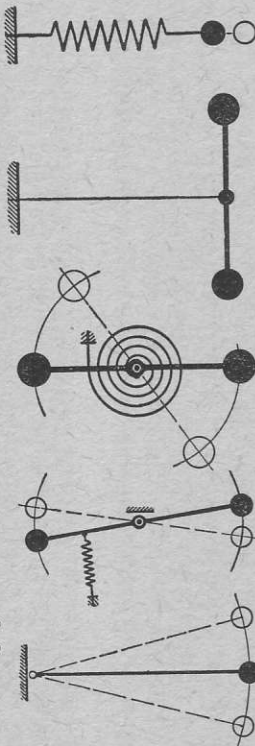
Existují ještě jiné mechanické oscilátory: kapalina ve spojitých nádobách, vzduch v píšťalách a různých dechových nástrojích, atd. A potom mnoho oscilátorů nezamýšlených a nežadoucích: součásti různých strojů a různé namáhané konstrukce, v nichž mohou vzniknout kmity až nebezpečné a vedoucí někdy k lomům. Proto teorie kmitavých pohybů je dnes pro inženýra stejně důležitá jako nauka o pružnosti a pevnosti: dimensování mnohých součástí se řídí v první řadě ohledem na to, aby v provozu takové nebezpečné kmity nemohly vzniknout, ev. užíváme k tomu i zvláštních tlumičů.

Na konec ještě uvedeme zajímavou analogii. Elektrické kmity, na nichž spočívá celá radiotechnika, řídí se zákony, o nichž jsme jednali v této kapitole. Vysokofrekvenční okruh kmitá podle rovnice (43). Stačí dosadit samoindukci okruhu místo I , převratnou hodnotu kapacity místo D a ohmický odpor místo c .

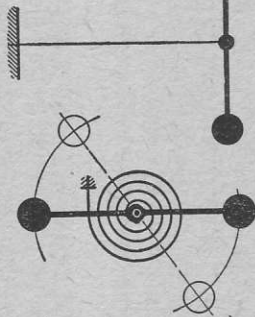
V. Theorie kyvadla

Theorie kyvadla, mechanického oscilátoru do nedávna jedině vhodného pro přesné a nejpřesnější měření času, vyplývá z rovnice, které jsme odvodili v předcházející kapitole. Začneme kyvadlem matematickým. Jestliže vyjádříme z rovnice (36), je třeba jen určit koeficient K , t. j. přírůstek direkční síly, vyvolaný vý-

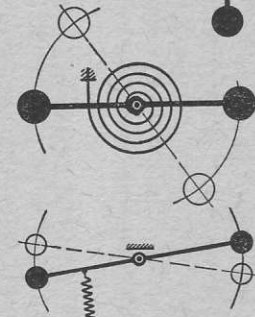
Na obr. 32 je obvyčejné, každému známé kyvadlo, oscilátor velmi jednoduchý, ale také jeden z nejpřesnějších. Direkční moment zde dodává složka váhy. Z toho již vyplývá, že doba kyvu závisí na velikosti tíhového zrychlení, proto kyvadlo kromě měření času má ještě druhý úkol ve fyzice: stanovení důležité veličiny g .



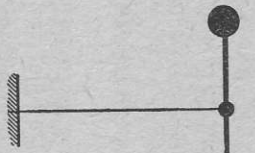
Obr. 32.



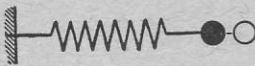
Obr. 33.



Obr. 34.



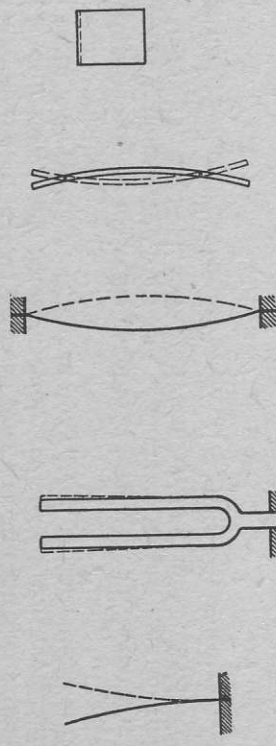
Obr. 35.



Obr. 36.

Oscilátor na obr. 33 je otočná a vyvážená páka (sr. obr. 17), spojená se šroubovou pružinou. Má svoje místo v historii, neboť řídil chod prvních dvou námořních chronometrů Harrisonových. Aby zneškodil také vliv rotačních pohybů lodi, provedl Harrison oscilátor dvojitý a obě páky spřáhl na způsob obr. 18. Bylo to řešení theoreticky správné, ale složitě a těžkopádné: tyto chronometry vážily 35 a 40 kg!

Na obr. 34 je oscilátor podobný, ale opatřený pružinou spirální, která přibírá mnoho větších amplitud. To je známá *setrvačka*, kterou najdeme ve všech přenosných hodinách, od náramkových přes budík až k přesnému chronometru. Setrvačku ovšem neděláme, jak je nakreslena, nýbrž ve tvaru kolečka, malého setrvačnicku.



Obr. 37.

Obr. 38.

Obr. 39.

Obr. 40.

Obr. 41.

Důležitý je oscilátor na obr. 35; je to zatížená příčka, kotouč nebo jiné váhově souměrné těleso, zavěšené na tenkém drátku nebo na úzkém pásku kovovém nebo z taveného křemene. Tento závěs dává velmi malý direkční moment, proto se takových oscilátorů užívá v „ročních“ hodinách, t. j. hodinách, které jdou sice 400 dní, ale které musíme často řídit pro jejich nepřesný

chylkou o 1 cm. Vychýlením kyvadla o malý úhel φ vznikne složka váhy (v. obr. 21) $mg \sin \varphi \approx mg \varphi$, a výchylka je $L\varphi$; poměr obou je

$$\frac{mg \varphi}{L \varphi} = \frac{mg}{L} = K$$

a dosazením do (36) dostaneme základní rovnici kyvadla

$$T = \pi \sqrt{\frac{m L}{m g}} = \pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (52)$$

Tím jsme určili onu konstantu, před níž se zastavil Galileo. Poněvadž jsme nahradili sinus úhlem samotným, je jasné, že rovnice (52) platí jen pro docela malé amplitudy, při nichž pohyb kyvadla lze považovat za harmonický.

Dobu kyvu můžeme odvodit také z podmínky, že pohybová energie kyvadla se ve střední poloze rovná jeho polohové energii v úvrati. Podle (41) je maximální rychlost hmotného bodu $\pi L \varphi / T$. Energie kyvadla je dána rovnicí (26), a uvedená podmínka tedy zní:

$$\frac{1}{2} m g L \varphi^2 = \frac{1}{2} \frac{m \pi^2 L^2 \varphi^2}{T^2} \quad T^2 = \pi^2 \frac{L}{g} \quad (53)$$

Konečně můžeme rovnici kyvadla odvodit krátce tak, jak jsme si odvodili zákony harmonického pohybu: promítnáme pohyb *kuželového* t. j. kroužičkého kyvadla na svislou rovinu. Hmotný bod opisuje kruhovou dráhu o poloměru $L\varphi$ a podléhá proto odstředivé síle $m L \varphi \pi^2 / T^2$. Tato síla je v rovnováze se složkou váhy, která kyvadlo táhne do střední polohy. Rovnováha je vyjádřena na rovnici

$$m g \varphi = \frac{m L \varphi \pi^2}{T^2} \quad (54)$$

z níž opět vyplývá (52). Přirozeně i toto odvození platí jen pro malé amplitudy.

Kyvadlo fyzické

Skutečné, praktické kyvadlo se může velice lišit od kyvadla matematického. Fyzické kyvadlo je definováno svým momentem hmotným a svým momentem setrvačnosti. Jeho dobu kyvu odvodíme z rovnice (40), v níž jednotkový direkční moment je

$$\frac{m g l \sin \varphi}{\varphi} \approx m g l$$

(l je vzdálenost těžiště od závěsu) a doba kyvu je pak

$$T = \pi \sqrt{\frac{I}{m g l}} \quad (55)$$

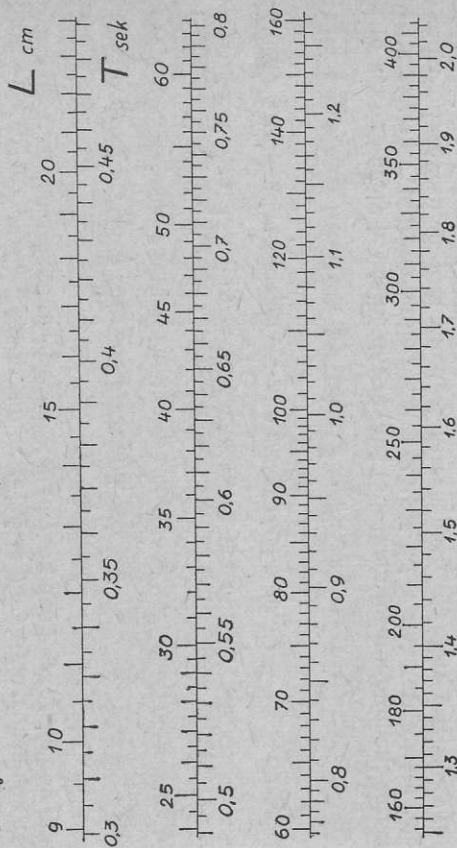
Tuto rovnici můžeme psát ve tvaru

$$T = \pi \sqrt{\frac{I m l}{g}} \quad (56)$$

Fyzické kyvadlo můžeme tedy počítat dle rovnice (52), jestliže do ní dosadíme

$$L = \frac{I}{m l} \quad (57)$$

Délka L je zde délka náhradního matematického kyvadla o téže době kyvu; říkáme jí *redukovaná*, *efektivní* (účinná) nebo ekvivalentní délka kyvadla.



Obr. 42.

Tento způsob počítání je praktický proto, že pro každé kyvadlo můžeme dobu kyvu odečíst z nomogramu na obr. 42. Nomogram je počítán pro naši zeměpisnou šířku, kde je $g = 981 \text{ cm/sek}^2$, a platí tedy rovnice

$$T = 0,10030 \sqrt{L}, \quad (\text{cm}) \quad (58)$$

Druhá výhoda je v tom, že (jak uvidíme na příkladech) lehký ani nemusíme počítat dobu kyvu, nýbrž počítáme jen změny redukované délky.

Z předchozí rovnice vyplývá pro délku kyvadla

$$L = \frac{T^2}{0,10030^2} = 99,4 T^2 \quad (59)$$

Z toho vychází délka sekundového kyvadla 99,40 cm, půlsekundového 24,9 cm, délka kyvadla 80 rázového (80 kyvů za minutu, tedy $T = 0,75 \text{ sek}$) 56,1 cm. V jiné zeměpisné šířce jsou délky jiné. Na př. na rovníku ($g = 978 \text{ cm/sek}^2$) je délka sekundového kyvadla 99,1 cm, na pólu ($g = 983,2 \text{ cm/sek}^2$) je 99,6 cm.

Přibližně je doba kyvu rovna odmocnině délky kyvadla v metrech, obráceně délka kyvadla se rovná druhé mocnině doby kyvu. Tak kyvadlo 4 m dlouhé má dobu kyvu $\sqrt{4} = 2$ sek, kyvadélko o době kyvu 0,5 sek má délku $0,5^2 = 0,25$ m. Chýba je v mezích 0,5%.

Vliv malých změn délky

V praxi je často třeba vědět, oč se změni doba kyvu, jestliže se délka kyvadla změni o malou hodnotu. To vyplývá z rovnice (58) a (5): Zkrácení (prodloužení) kyvadla o $q\%$ způsobí zkrácení (prodloužení) doby kyvu o $q/2\%$. Chceme-li změnu chodu hodin vyjádřit obvyklým způsobem, t. j. v sekundách za den, násobíme číslem 86400 (délkou dne v sekundách) a máme pravidlo:

$$\text{Změna délky o } 1\% \text{ změni chod o } 432 \text{ s/d.} \quad (60)$$

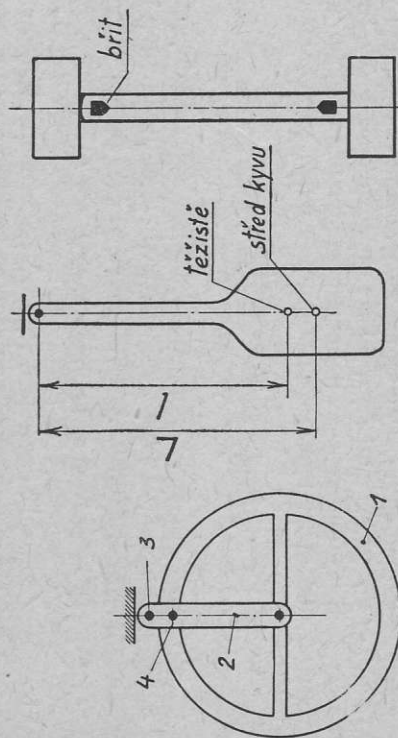
Příklad 8. Vypočítat změnu chodu pro sekundové kyvadlo, jehož délka byla změněna o 1 mm.
1 mm je 1/994 čili 0,1006% délky, doba kyvu se tedy změni o polovinu této poměrné změny, t. j. o 1/1988 čili 0,0503%. To je 0,000503 · 86400 = 43,5 s/d.

$$\text{Změna sekundového kyvadla o } 1 \text{ mm změni chod o } 43,5 \text{ s/d.} \quad (61)$$

Vliv rozdělení hmoty v kyvadle

Pro některé účely je účelné dát rovnici (57) jinou formu. Moment setrvačnosti k závěsu vyjádříme podle rovnice (23); je-li l vzdálenost těžiště celého kyvadla od závěsu, a je-li moment setrvačnosti k těžišti celého kyvadla $I_0 = mi^2$, je redukovaná délka kyvadla

$$L = \frac{m l^2 + m i^2}{m l} = l + \frac{i^2}{l} \quad (62)$$



Obr. 43.

Obr. 44.

Obr. 45.

Hmotu kyvadla z rovnice zmizela: doba kyvu nezávisí na velikosti hmoty kyvadla, nýbrž jedině na rozložení této hmoty vzhledem k závěsu. Viděli jsme již, že ani u kyvadla matematického nezáleží na velikosti hmoty, nýbrž jen na vzdálenosti hmotného bodu od závěsu.

Rovnici (62) lze demonstrovat zábavným pokusem, znázorněným na obr. (43). Přesně vyvážený setrvačnick I je otočně uložen v lehkých závěsných tyčkách 2, které jsou otočné kolem pevné osy 3. Je-li setrvačnick volný, celek se chová jako velmi přibližně matematické kyvadlo, jehož doba kyvu odpovídá délce 2. Setrvačnick uplatňuje jen svou hmotu, nikoli svůj moment setrvačnosti, neboť koná jen translační pohyb v oblouku kolem bodu 3. Situace se radikálně změni, jestliže (na př. zasunutím centrovacího kolíčku 4) spojíme setrvačnick s tyčkami 2: Setrvačnick musí nyní konat úhlové pohyby spolu s tyčkami 2, tím se uplatní jeho moment setrvačnosti a doba kyvu nápadně klesne. — Nyní si odvodíme z rovnice (62) některé zajímavé poznatky.

Reversní kyvadlo

Co se stane, když kyvadlo zavěsíme v bodě vzdáleném od původního závěsu o délku L' ?

Bod vzdálený o délku L od závěsu se nazývá *střed kyvu* (obr. 44). Jak je zřejmé z rovnice (62), tento bod je od závěsu dále než těžiště kyvadla. Je-li nyní kyvadlo v tomto bodě zavěšeno, objeví se v rovnici délka $L - l$ místo původního l a redukovaná délka bude

$$L' = (L - l) + \frac{i^2}{L - l}$$

a poněvadž $L - l = \frac{i^2}{l}$ bude

$$L' = \frac{i^2}{l} + \frac{i^2 l}{i^2} = l + \frac{i^2}{l} = L \quad (63)$$

Doba kyvu se nezmění. Na tom se zakládá konstrukce kyvadla, jímž se určuje hodnota g (obr. 45). Kyvadlo má dva břity, na nichž může kývat. Aby odpor vzduchu byl v obou polohách stejný, je vnější forma kyvadla dokonale souměrná, nikoli však rozdělení jeho hmoty — jedno závaží je duté. Kyvadlo se upraví (ubíráním materiálu), aby doba kyvu v obou polohách byla přesně stejná. Pak vzdálenost obou ostří je redukovaná délka tohoto kyvadla. Změříme-li vzdálenost ostří přesně na setinu milimetru (to je snadné s pomocí vhodného komparátoru) dostaneme z rovnice (52) hodnotu g přesně na setinu centimetru, ovšem za předpokladu, že doba kyvu určíme s přesností řekněme 0,2 s/d (to není těžké, jsou-li po ruce dobré kyvadlové hodiny). Podotýkám, že kyvadlo dokonale (t. j. i v rozdělení hmoty) souměrné, by nebylo nic platné. U takového kyvadla vzdálenost ostří neodpovídá redukované délce, na př. souměrné kyvadlo s ostřími zcela blízko sebe může mít dobu kyvu velmi dlouhou.

Minimální kyvadlo

Derivujeme-li rovnici (62) dle l , dostaneme

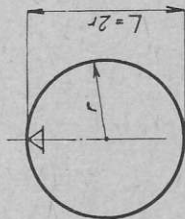
$$\frac{dL}{dl} = 1 - \frac{i^2}{l^2}$$

Pro extrémní hodnotu funkce tato derivace se rovná nule, což znamená

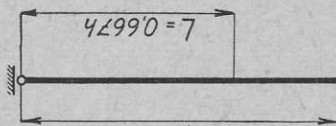
$$\frac{i^2}{l^2} = 1 \quad l = i \quad (64)$$

Poněvadž druhá derivace je kladná, podmínka (64) dává minimum redukované délky. Kyvadlo, jehož vzdálenost těžiště je rovna jeho poloměru setrvačnosti má nejmenší možnou dobu kyvu (odtud název); jeho redukovaná délka je

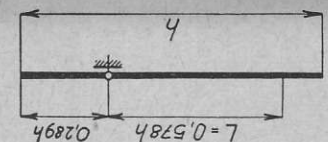
$$L = i + \frac{i^2}{i} = 2i \quad (65)$$



Obr. 46.



Obr. 47.



Obr. 48.

Je jasné, že doba kyvu podobného kyvadla se mění jen velmi málo i dost značnými posuny závěsného bodu. Minimálního kyvadla užil prof. Schuler pro své přesné hodiny.

Další aplikace rovnice (62) si ukážeme na třech příkladech.

Příklad 9. Určit dobu kyvu tenkého prstence podle obr. 46. Poněvadž tloušťka věnce je malá proti poloměru můžeme psát

$$l = r = i$$

a pak rovnice (62) zní

$$L = r + \frac{r^2}{r} = 2r \quad (66)$$

t. j. redukovaná délka je rovna průměru prstence.

Příklad 10. Tyč zavěšená na konci (obr. 47) funguje jako kyvadlo. Vypočítat délku tyče, aby kyvadlo bylo sekundové. Tyč můžeme klidně uvažovat jako hmotnou úsečku, již moment statický k závěsnému bodu dává rovnice (14), a moment setrvačnosti k těžišti rovnice (21)

Redukovaná délka tohoto kyvadla bude podle (62)

$$L = \frac{h}{2} + 12h \cdot 2 = \frac{h}{2} + \frac{2}{6}h = \frac{2}{3}h \quad (67)$$

a potřebná délka tyče $h = 1,5 L$, tedy pro kyvadlo sekundové tyč bude měřit $1,5 \cdot 99,4 = 149,1 \text{ cm}$. Taková tyč by byla kyvadlo sice velmi jednoduché, ale nepohodlně dlouhé.

Příklad 11. Vypočítat délku tyče, která by fungovala jako minimální kyvadlo s dobou kyvu 0,5 sek (obr. 48).

Redukovaná délka bude podle obr. 42 $24,9 \text{ cm}$. Podle rovnice (21) je moment setrvačnosti $mh^2/12$, tedy $i^2 = h^2/12$ a $i = h/\sqrt{12} = 0,289 h$. Užijeme dále rovnici (59,65) a můžeme psát

$$L = 99,4 T^2 = 2i = 2 \cdot 0,289 h$$

$$h = \frac{99,4}{0,578} T^2 = 172,1 T^2 \quad (68)$$

V našem případě je $h = 172,1 \cdot 0,5^2 = 43,0 \text{ cm}$. Závěs bude vzdálen od těžiště (středu) tyče o $0,289 \cdot 43 = 12,4 \text{ cm}$ nebo od konce o $21,5 - 12,4 = 8,9 \text{ cm}$.

Vliv amplitudy (cirkulární chyba)

Rovnice (55) udává jak bylo zdůrazněno, dobu kyvu pro zcela malé amplitudy. Pro větší výchylky nelze již sinus úhlu nahrazovat jeho obloukem a nutno vyjít od přesné pohybové rovnice

$$I \frac{d^2 \psi}{dt^2} + m g l \sin \psi = 0 \quad (69)$$

Řešení této rovnice je mnohem složitější, vede k eliptickým funkcím a jeho výsledek (viz na př. Vojtěch, Základy matematiky, II) je rovnice pro dobu kyvu při amplitudě φ

$$T = \pi \sqrt{\frac{I}{m g l}} \left[1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2} + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \sin^4 \frac{\varphi}{2} + \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}\right)^2 \sin^6 \frac{\varphi}{2} + \dots \right] \quad (70)$$

Tuto, pro počítání jistě nepraktickou rovnici si upravíme. Poněvadž řada v hranatých závorkách velmi rychle konverguje, omezíme se pouze na první dva její členy. Za druhé — poněvadž amplitudy kyvadla jsou v praxi vždy malé — nahradíme sinus úhlem a tento úhel vyjádříme ve stupních. Dostaneme

$$T \doteq \pi \sqrt{\frac{I}{m g l}} \left(1 + \frac{\varphi^2}{16 \cdot 57,3^2} + \dots \right) = \pi \sqrt{\frac{I}{m g l}} \left(1 + \frac{\varphi^2}{52520} \right) \quad (71)$$

Z rovnice (71) je patrné, že doba kyvu rovnice (55) je zvýšena o $\varphi^2/52520$ své hodnoty, tedy kyvadlo kývající s amplitudou φ stupňů se denně zpožďuje o $86400 \varphi^2/52520$ čili o

$$R = 1,65 \varphi^2 \text{ s/d} \quad (72)$$

To to zpoždění nám nevadí, poněvadž kyvadlo můžeme jednoduše vyregulovat na správný chod. Vadí však to, že amplituda nám kolísá, necht' jsou hodiny sebe dokonalejší. Je-li toto kolísání o $q\%$, mění se amplituda v mezích φ ($1 \pm q/100$) a podle rovnice (72) kolísá v mezích

$$\Delta R = 1,65 \varphi^2 \left(1 \pm \frac{q}{100} \right)^2 = 1,65 \varphi^2 \left(1 \pm \frac{2q}{100} + \frac{q^2}{10\,000} \right)$$

a vynecháme-li třetí člen v závorce jako malý, dostaneme změnu denního chodu zaviněnou změnou amplitudy

$$\Delta R = 0,033 q \varphi^2 \text{ s/d} \quad (73)$$

V následující tabulce jsou vypočítána zpoždění pro různé amplitudy (rovnice 72) a změny těchto zpoždění, změní-li se dotyčné amplitudy o 1, 2 a 5%:

Amplituda	±	Zpoždění s/d									
		0,5°	1	1,5	2	3	4	5	6	8	10
Zpoždění	s/d	0,41	1,65	3,70	6,6	14,8	26,3	41	59	105	165
Změna chodu s/d změnou amplitudy o	1 %	0,01	0,03	0,07	0,13	0,30	0,53	0,82	1,2	2,1	3,3
	2 %	0,02	0,07	0,15	0,26	0,59	1,05	1,6	2,4	4,2	6,6
	5 %	0,04	0,16	0,37	0,66	1,5	2,6	4,1	5,9	10,5	16,5

Z tabulky jasně vidíme, že stejné procentuální změny amplitudy způsobují odchylky tím větší, čím větší amplitudu dáme kyvadlu. To by mluvilo — aspoň u přesných hodin — pro amplitudy co nejmenší. Nutno však uvážit další otázku, a to je energie křivajícího kyvadla. Je jasné, že kyvadlo bude tím nečitlivější k vnějším vlivům, čím větší je jeho energie. Velikost této energie udává rovnice (26);

Z počátku byly kyvadlům dávány amplitudy nesmyslně veliké, v osmáctém století naopak amplitudy zase často jen $\pm 15'$. Jako všude v technice, i zde praxe a zkušenost si našly rozumnou míru. Kyvadla přesných hodin mají amplitudy v mezích 50' až 1° 40'. Hrubší hodiny mívají více, až asi 7°, hodiny nejhrubší, jako „švarcvaldky“, kukačkové a podobné, až 15°. Hrubší věžní hodiny mívají amplitudy rovněž poměrně veliké, ne však přes 5°. Veliká amplituda je nevýhodná proto, že kyvadlo spotřebovuje mnoho práce a že závěsná pružina je více namáhána. Výhodou je, že spolehlivě jde i hrubě provedený stroj a že takový stroj má značnou rezervu hnačí síly.

Náhradní kyvadlo

Fysické kyvadlo můžeme nahradit matematickým podle rovnice (57); ta však nám nic neřká o momentu hmotném a o momentu setrvačnosti. Proto je třeba určit ještě hmotu tohoto náhradního kyvadla. Zadáme-li na př. týž moment setrvačnosti, jaký mělo původní kyvadlo, musí být hmotna

$$m' = \frac{I}{L^2} = \frac{m l L}{L^2} = \frac{m l}{L} \quad (74)$$

Hmotný moment náhradního kyvadla pak bude

$$m' L = \frac{m l L}{L} = m l$$

tedy opět stejný jako u originálu. Náhradní kyvadlo má stejné oba momenty, proto též stejnou potenciální a polohovou energii.

Příklad 12. Sekundové kyvadlo autorových hodin (v. příklad 1) váží 5030 g. Zkusmo, podíráním kyvadla ve vodorovné poloze, byla nalezena vzdálenost těžiště $l = 92,8$ cm. Redukovaná délka je 99,4 cm.

Podle (74) lze toto kyvadlo nahradit matematickým, které má délku $L = 99,4$ cm a hmotu

$$m' = 5030 \frac{92,8}{99,4} = 4700 \text{ g}$$

Hmotna náhradního kyvadla je menší, poněvadž redukovaná délka je vždy větší než vzdálenost těžiště, jak je jasné vidět na rovnici (62).

Vliv přidání závaží

Prakticky důležitá je otázka, jak změní dobu kyvu malé závaží qm , které k matematickému kyvadlu přidáme ve vzdálenosti x od závěsu. Podle (55) bude nová redukovaná délka

$$L' = \frac{m L^2 + q m x^2}{m L + q m x} = L \frac{1 + q x^2/L^2}{1 + q x/L} = \left(1 + q \frac{x^2}{L^2} - q \frac{x}{L} \right) L$$

(Dělení jsme mohli provést podle (7), poněvadž hodnota qx/L je malá, v praxi obvykle jen několik promile). Hodnota výrazu v závorce je rovna na nejvýše jedné (totiž pro $x = 0$ a pro $x = L$), v praxi vždy menší než jedna. Toto poměrné zmenšení redukované délky je

$$\frac{L - L'}{L} = 1 - \frac{L'}{L} = q \left(\frac{x}{L} - \frac{x^2}{L^2} \right) \quad (75)$$

Derivováním podle x/L dostaneme

$$D \frac{L - L'}{L} = q \left(1 - \frac{2x}{L} \right) \quad (76)$$

Derivace se rovná nule, jestliže je

$$\frac{x}{L} = \frac{1}{2} \quad x = \frac{1}{2} L \quad (77)$$

Závažičko tedy působí největší zrychlení, je-li přidáno do poloviny délky kyvadla. Závislost mezi x a zrychlením je znázorněna křivkou na obr. 496;

je to parabola, jak vyplývá z (75). Zrychlení, jak je v hodinářství zvykem, vyjádříme v sekundách za den podle (60)

$$R = 43200 q \left(\frac{x}{L} - \frac{x^2}{L^2} \right) \quad (78)$$

Poněvadž přidávaných závažíček užíváme k regulaci přesnějších hodin, zajímá nás poměrná velikost závažíčka pro zrychlení o s/d , která je

$$q = \frac{1}{43200} \left(\frac{x}{L} - \frac{x^2}{L^2} \right) \quad (79)$$

Pro různé velikosti x/L jsou hodnoty jmenovatele tyto:

$\frac{x}{L}$	0,5	0,4	0,333
$\frac{x}{L} - \frac{x^2}{L^2}$ jmenovatel	0,250 10 800	0,240 10 360	0,222 9 600

V literatuře bývá uváděna rovnice (78) obvykle pro $x/L = 0,5$, s poukázáním, že výpočet je jen přibližný. To je pravda, pokud za m dosazujeme skutečnou hmotu kyvadla.

Výpočet však je správný, jestliže dosadíme hmotu kyvadla redukovanou podle (74).

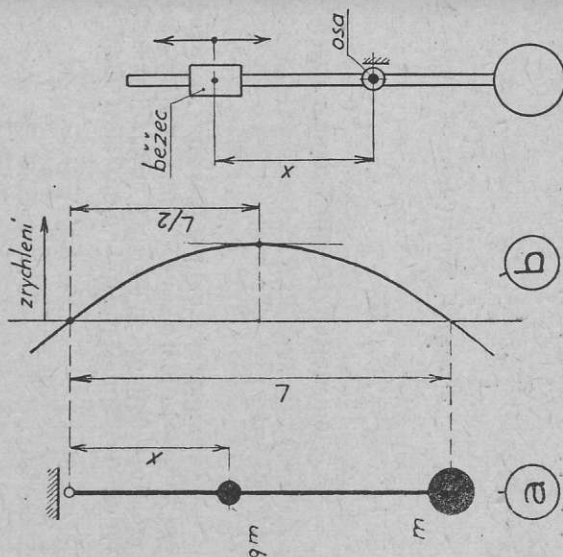
Příklad 13. Sekundové kyvadlo má hmotu 7100 g a jeho hmotný moment je 675000 gcm. Hmotu náhradního kyvadla je

$$675000 : 99,4 = 6790 \text{ g.}$$

Závažíčko, přidané ve vzdálenosti $x = 40$ cm, pro zrychlení o s/d bude mít hmotu

$$6790 : 10360 = 0,655 \text{ g}$$

Závažíčko, přidané nad otočnou osu kyvadla nad kyvu prodlouží, jak je vidět na obr. 49b, a to tím více, čím je výše nad osou; v krajním případě může být doba kyvu nekonečně



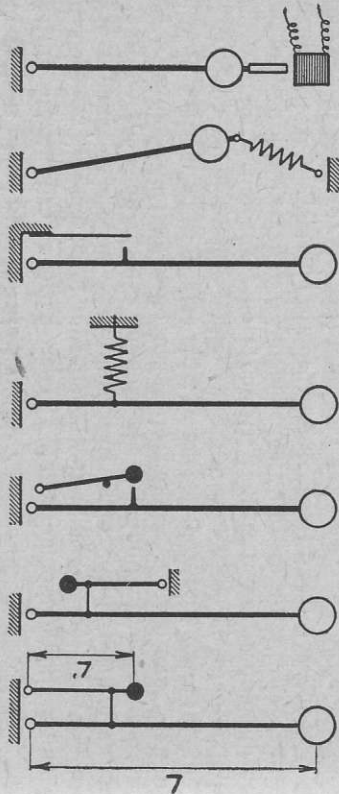
Obr. 49.

Obr. 50.

veliká, když totiž závaží staticky úplně vyváží čochu kyvadla. Podobné závaží, po tyči posuvné, má kyvadlo známého *meltronomu*, jímž se udává takt v hudbě (obr. 50); posunem závaží (běžce) lze měnit dobu kyvu, ne sice s velkou přesností, ale za to ve velmi širokých mezích.

Ovlivněná kyvadla

Dosud jsme mluvili o kyvadle volném, které se ničeho nedotýká. Působí-li na kyvadlo nějaká síla, trvalá nebo periodicky proměnná v soulase s periodou kyvadla, mění se průběh direkčního momentu, modifikuje se pohyb kyvadla a mění se doba kyvu. Jeden takový vliv působí na každé kyvadlo hodinové, a to je hodinový stroj nebo poháněcí (impulsní) mechanismus, jak jsme o tom mluvili již v předešlé kapitole a budeme mluvit v kapitolách dalších. Jsou však možné ještě jiné případy a takových je sedm vybráno na obr. 51 až 57; jsou zajímavé fyzikálně a mají i význam praktický. Taková kyvadla, která můžeme nazvat (z nedostatku lepšího termínu) *kyvadla ovlivněná*, vyskytují se v praktickém hodinářství dosti často.



Obr. 51. Obr. 52. Obr. 53. Obr. 54. Obr. 55. Obr. 56. Obr. 57.

Kyvadlo na obr. 51 je lehkou ojníčkou spráženou s malým kyvadélkem. Účinek je stejný, jako účinek přidaného závaží, t.j. zkrácení doby kyvu. Jinak je tomu, je-li kyvadélko obráceno tak říkajíc vzhůru nohama jako na obr. 52. Takové obrácené kyvadlo je v poloze vratké, labilní a na velké kyvadlo proto působí momentem namířeným proti momentu direkčnímu; výsledek je tedy prodloužení doby kyvu. Kyvadlék obojího druhu bylo dříve někdy užíváno k občasné úpravě stavu tím, že chod hodin mohl být dočasně zrychlen nebo zpomalen. Kyvadélka podle obr. 51 bylo nejednou užito k synchronisaci kyvadla.

Další případ, obr. 53, je fyzikálně složitější: velké kyvadlo pouze naráží na kyvadélko, které jinak sedí klidně na svém dorazu. Kyvadlo kývá v části své periody volně, v druhé části pod vlivem kyvadélka. Účinek je proto jako kyvadélka podle obr. 51, jenom že menší. Tento případ se vyskytuje u všech

kroků „gravitačních“ (kyvadélkových) a skutečně tyto kroky citelně zrychlují kyvvý kyvadla.

Pružina, spojená s kyvadlem jako na obr. 54, vyvozuje přidavný direkční moment a zkracuje dobu kyvu. Takto je ovlivněno kyvadlo ve všech lepších hodinách: závěsná pružina rovněž zvětšuje direkční moment kyvadla. Podobně, analogicky s případem na obr. 53 zkracuje dobu kyvu pružina (pásková), na kterou kyvadlo pouze naráží, obr. 55. Podobně pružiny lze užít k synchronisaci kyvadla; skvělý příklad uvidíme na hodinách Shorttových.

Pružina na obr. 56 působí tak, že vychýlením kyvadla vzrůstá nejen její napětí nýbrž i rameno, na kterém působí; tato pružina zkracuje dobu kyvu, je-li natahována, a prodlužuje, je-li stlačována. Obojího účinku lze dosáhnout zařízením podle obr. 57. Mezi permanentním magnetem M na kyvadle a pevně uloženým solenoidem S působí síla přitažlivá nebo odpudivá dle toho, kterým směrem protéká proud solenoidem. Takto se běžně udržují ve správném stavu hodiny, které dávají časové signály pro rozhlas; účinek lze snadno a přesně odměřit volbou trvání a intenzity proudu.

Jak velkou práci spotřebuje kyvadlo?

Na tuto otázku, pro teorii i výpočty důležitou, odpovídají knihy často velmi skoupě. Práce, kterou musíme kyvadlu pravidelně dodávat, aby se udrželo v pohybu, je číslo, které dnes ještě nedovedeme předem vypočítat. Je však poměrně snadné, tuto hodnotu zjistit jednoduchým pokusem na hotoém kyvadle. Stačí kyvadlo uvést do pohybu a pozorovat, jak ubývá amplitudy s časem. O tom jsme si již něco řekli v minulé kapitole, kde byla také uvedena rovnice (44), podle níž amplituda klesá za předpokladu, že odpor kyvadla je úměrný jeho rychlosti. I když tento předpoklad neplatí přesně pro amplitudy veliké (řekněme přes 2°) a pro amplitudy velmi malé (řekněme pod $20''$), vyhovuje rovnice dostatečně přesně pro náš účel.

Pro výpočet ztrát rovnici (44) napíšeme ve tvaru

$$\varphi = \varphi_0 e^{-u t} \quad (80)$$

kde φ_0 je amplituda počáteční, e základ přirozený logaritmu, a u je dekrement, který vyjadřuje poměrný úbytek amplitudy s časem.

Derivováním rovnice dostaneme

$$\frac{d\varphi}{dt} = -u \varphi_0 e^{-u t} = -u \varphi \quad (81)$$

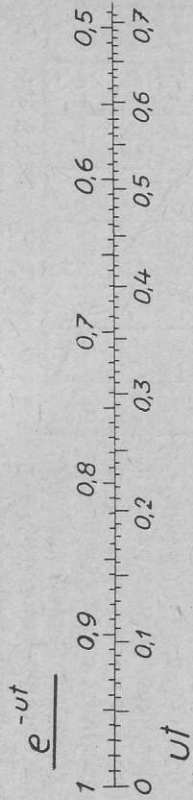
Derivováním rovnice (26) dostaneme

$$\frac{dW}{d\varphi} = P l \varphi = m g l \varphi \quad (82)$$

Spojením rovnic (81), (82) konečně dostaneme úbytek energie za jednotku času

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dW}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = -m g l u \varphi^2 = -2 W u \quad (83)$$

Tento výsledek je vlastně samozřejmý: Poněvadž energie kyvadla je úměrná druhé mocnině amplitudy, změna amplitudy o q procent změní tuto energii o $2q$ procent. K témuž výsledku dojdeme touto jednoduchou, ovšem trochu hrubou úvahou. Zvětší-li se amplituda n -krát, zvětší se v též poměru dráha kyvadla a tedy i rychlost kyvadla (doba kyvu se prakticky nemění). Při malých rychlostech je odpor vzduchu přibližně úměrný první mocnině rychlosti. Máme n -krát větší odpor působící na n -krát větší dráze, tedy energie odporem ztracená je úměrná n^2 . Shoda s rovnicí (83) nasvědčuje, že předpoklady této úvahy nejsou daleko od pravdy.



Obr. 58.

Výpočet podle (83) je snadný; k urychlení je zde připojen graf (obr. 58) z něhož lze přímo odečíst hodnotu ut , je-li znám poměr φ/φ_0 (poměr počáteční a konečné amplitudy) a čas t .

Příklad 14. Sekundové kyvadlo z příkladů 1 a 12. Počáteční amplituda $63'$ klesla během 5040 sek na $36'$.

Poměr $\varphi : \varphi_0 = 36 : 63 = 0,572$. Z grafu obr. 58 odečteme $ut = 0,559$ a tedy $u = 0,559 : 5040 = 0,000111$. Měření bylo opakováno osmkrát a výpočet dal pro u hodnoty (v miliontinách)

$$114, 101, 101, 111, 115, 117, 111, 122$$

Aritmetický průměr těchto hodnot je $u = 0,000112$. Podle příkladu 1 energie kyvadla je $71,1$ g.cm při amplitudě $\pm 1^\circ$.

Energie ztracená za 1 sekundu při amplitudě 1° je tedy

$$71,1 \cdot 2 \cdot 0,000112 = 0,0159 \text{ g.cm/sek,}$$

za 1 minutu $60 \cdot 0,0159 = 0,95$ g.cm. Kyvadlo má amplitudu $50' = 0,833^\circ$ a ztráta energie je $0,833^3$ krát větší, t. j. $0,0110$ g.cm/sek nebo $0,66$ g.cm/min. Toto kyvadlo je instalováno v elektrických hodinách a dostává impuls každou minutu páčkou, jejíž konec vykoná při impulsu pohyb asi 4 mm. Kyvadlo pohání rohatkou soukolí s ručkami, a toto počítadlo spotřebuje asi $0,95$ g.cm/min. Celková práce impulsem dodaná je tedy asi $1,6$ g.cm, a páčka musí působit silou $1,6 : 0,4 = 4$ g. Je to malá síla, ačkoliv impuls následuje každých 60 sek.

Údaje uváděné různými autory, spolu s těmi, které jsem vypočítal z různých jiných údajů, se pohybují v mezích $0,9$ až $2,0$ g.cm/min u sekundových kyvadel v atmosferickém tlaku a při amplitudě 1° . Jak si vysvětlíme tyto rozdíly? Bude nutno analyzovat podrobněji prameny ztrát.

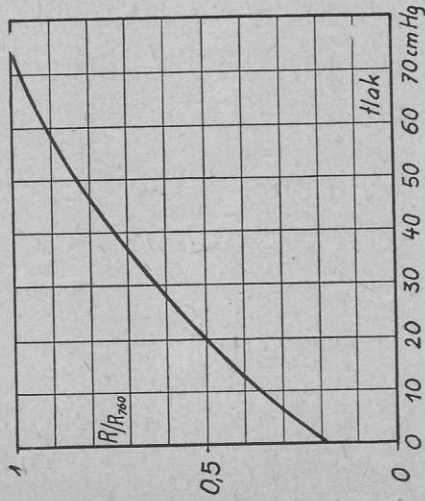
Pokusy, provedené s kyvadly kývajícími ve vzduchu silně zředěném, ukazují jasně, že nejvíce energie ztrácí kyvadlo odporem vzduchu. Zředová-

ním vzduchu tato ztráta klesá, ale ne úměrně s tlakem vzduchu, jak je vidět na grafu obr. 59 (podle Rawlingse). Těžší je říci, jakého druhu je tento odpor. Názor některých teoretiků, že je to převážně tření kyvadla o vzduch, neobstál před výsledky pokusů, které nasvědčují, že odpor vzduchu neroste s povrchovou plochou kyvadla, nýbrž spíše s jeho hranatostí a rozsochatostí. Věc ještě komplikuje to, že kyvadlo vždy kývá ve skříně nebo pouzdrů omezených rozměrů. Tím uvádí vzduch do střídavého pohybu (to lze zjistit praporky z pozlátka), který je brzděn třením o stěny skříně. Je pravděpodobné, že právě toto tření tvoří značnou část odporu. Vzduch se uvádí do pohybu tím vydatněji, čím více se kyvadlo podobá míchadlu a čím těsnější je skřín.

Před lety provedl jsem několik hrubých pokusů s lehkým modelem kyvadla v těsné skříně: čoučka byla zvenčí stejná jako u kyvadla z příkladů 1, 12, 14. Výsledek byl překvapující. Těsná skřín' zvýšila spotřebu práce o 45%, skřín' ještě těsnější o 150%, bylo-li však kyvadlo místo uprostřed skříně těsně u stěny, zvýšení činilo dokonce 260%. I když to byly pokusy hodně hrubé, přece jasně nasvědčují tomu, že ztráta zavíněná blízkostí stěn je větší než soudí na př. Rawlings, který rozdíl spotřeby práce mezi kyvadlem volným a uzavřeným odhadl na 12%.

Kromě odporu vzduchu další ztrátu působí závěsné pružiny, poněvadž nejsou dokonale pružné, mají vnitřní molekulární útlum. V údajích této ztráty se autoři rozcházejí: Shortt na př. ji odhaduje na 0,08 gcm/min, Atkinson na 0,04 gcm/min, oba pro dobré sekundové kyvadlo. Pružina přijme za minutu práci asi 6 gcm, kterou ovšem kyvadlu zase vrátí; jestliže si při tom nechá „odcesty“ 1%, je to ztráta 0,06 gcm, tedy něco mezi údajem Shorttovým a Atkinsonovým. Podotýkám, že změřit tuto ztrátu je skoro nemožné a výpočet pružiny je velmi nejistý.

Ale je tu ještě jedna ztráta energie, na kterou se rádo zapomíná: ztráta způsobená poddajností konsoly, na níž je kyvadlo zavěšeno. Vodorovnou složkou, která vzniká vychýlením kyvadla, je ohybána konsola a poddává se rámu hodin a upevnění rámu ve zdi. To má jistý malý vliv na chod hodin, ale vede též ke ztrátě energie, poněvadž pružnost těchto součástí není zdaleka dokonalá. Závěsná pružina, zhotovená z nejlepšího materiálu, ztrácí, jak jsme viděli, asi 1% přijaté energie, u konsoly lze čekat ztrátu mnohonásobně větší, snad asi 20%.



Obr. 59.

Příklad 15. Tuto ztrátu můžeme vypočítat, známe-li bočný průhyb konsoly. Předpokládejme, že průměrné sekundové kyvadlo, 7 kg těžké, má amplitudu 1°, a že konsola (s rámem atd.) se ohýbá o $1 \mu = 0,0001$ cm. Vodorovná složka váhy je $P = 7100 \cdot 0,01745 = 124$ g a práce je $\frac{1}{2} \cdot 124 \cdot 0,0001 = 0,0062$ gcm/sek = 0,372 gcm/min. Z toho se dle našeho předpokladu ztratí 20%, t. j. 0,074 gcm/min. Tedy ztráta stejná jako v závěsné pružině. Předpokládaná konsola by se celou vahou kyvadla odchytila na stranu o 57 μ , t. j. jen o 1/20 mm. Jak je vidět, že třeba provést konsolu a její zakotvení velmi důkladně.

Zhruba lze říci, že z celkové spotřeby práce u dobrého kyvadla připadá na odpor vzduchu asi 90% (z toho vliv skříně je asi 30%) a na ztráty v závěsu a jeho zakotvení asi 10%. Pro orientaci uvedu několik hodnot pro celkovou ztrátu energie za minutu pro amplitudu $\pm 1^\circ$.

Kyvadlo Shorttových hodin (čoučka 5,5 kg)	1,28 gcm/min
dtto v tlaku 25 mm Hg	0,24 gcm/min
Atkinson (kyvadlo těžké 7,2 kg)	0,91 gcm/min
2 m dlouhé kyvadlo věžních hodin (300 kg)	7,3 gcm/min

Rawlingsova pokusná dřevěná kyvadla:

Sekundové, čoučka válcová	1,38 gcm/min
Sekundové, čoučka tvaru čocky	0,75 gcm/min
půlsekundové, čoučka válcová	0,08 gcm/min

Velmi zhruba je spotřeba práce úměrná třetí mocnině doby kyvu, rozumí se, u kyvadel obvyklého provedení. Sporná do jisté míry zůstává otázka, je-li malá spotřeba práce výhodná pro přesný chod hodin.

Kyvadlo jako absorpční regulátor

Hnačí síla každého hodinového stroje kolísá, u hrubého stroje více, u přesného méně, nejvíce u hodin věžních, jichž ručky jsou vystaveny kolísajícímu tlaku větru. Stroj musí vyvinout sílu takovou, aby i za nejhroších okolností bezpečně udržela kyvadlo v pohybu. Čím se spotřebují přebytky? Zřejmě jen tím, že stoupne amplituda kyvadla, které spotřebuje více energie podle rovnice (83) — kyvadlo funguje prostě jako větrník. V prvním dílu je na obr. 383 větrník, kterým se reguluje otáčivá rychlost bicích a pod. strojů. Ale je podstatný rozdíl mezi takovým prostým větrníkem a kyvadlem. Odpor vzduchu stoupá u větrníku přibližně s druhou a absorbovaná práce s třetí mocninou otáčivé rychlosti. Stoupne-li tedy hnačí moment o 6%, stoupne rychlost větrníku o 3%, a to u hodinového stroje znamená zrychlení o 43 min za den. U kyvadla podle (83) stoupne amplituda o 3%. Byla-li amplituda před tím 1°, bude nyní 1,03°, a to podle (73) způsobí zpomalení hodin o 0,1 s/d. Chyba hodin řízených kyvadlem je dvacetpěticrát menší! Jsou lepší regulátory než větrník (v I. dílu obr. 384 až 388), ale nelze natrvalo počítat s přesností lepší než 0,1%, a to je u hodin chyba 86 s/d. Zde vidíme názorně, že opravdu jen pohyby kmitavé mohly nám dát žádanou přesnost.

Vnější rušivé vlivy

Úkolem kyvadla je přesně měřit čas. Doba kyvu je dána rozměry kyvadla, lze ji dosti přesně vyregulovat posunem čocky, a pak jemně zmíněnými při-

давными *závažičky*. Jde nyní o to, aby kyvadlo tuto přesně nařizovanou dobu kyvu také udrželo, aby se chod hodin neměnil. A to není věc jednoduchá, neboť existuje řada vnějších vlivů, které mají vliv na dobu kyvu, a které nyní probereme. Především však jsou nutné dvě poznámky.

Ani na chvíli nesmíme zapomenout, že hodiny jsou měřicí stroj mimořádně vysoké přesnosti. Co by bylo chybov naprosto zanedbatelnou v mnoha jiných oborech měřicí techniky, to zde je chybou velikou a nepřipustnou. Nejprvejší laboratorní ampérmetr má chybu 0,1%; tato chyba u hodin znamená odchylku 86 sek za den, a snese se nanejvýše u obyčejného budíku — kyvadlový stroj s chybou tak velikou je skoro nemožné udělat. V hodinářství se tedy pohybujeme stále ve vznešené oblasti vysokých přesností, a není divu, že i malé vlivy nutno respektovat a podle možnosti hodiny před nimi chránit.

Ze druhé je třeba zdůraznit, že vnější fyzikální vlivy jsou nepřítelům přesnosti hodin pouze svou *proměnlivostí*. Nevadí nám, že na př. závěsná pružina zrychluje kyvadlo — to se správně regláží; vadí nám však, že vliv pružiny se mění s teplotou a molekulárními změnami v materiálu.

Změnu chodu mohou zavinit tyto vlivy:

Změny teploty.

Změny barometrického tlaku.

Změny tíhového zrychlení.

Změny zemského magnetismu.

Změny v molekulárním stavu materiálu.

Změny v pružnosti rámu a v zakotvení hodin.

Otřesy a pohyby půdy.

Změny poháněcí síly hodin. stroje.

O vlivu impulsů jsme se zmínili v minulé kapitole; o něm a vůbec o vlivu stroje na kyvadlo bude ještě pojednáno podrobněji. Změny magnetického pole zemského mohou způsobit odchylku nejvýše 0,00007 s/d, tedy zanedbatelnou i u hodin nej přesnějších. Větší vliv mohou mít změny tíhového zrychlení, zavíněné přitažlivostí Měsíce a dosahující hodnoty až $1,2 \cdot 10^{-5}$ cm/sek². To znamená změnu chodu až o 0,005 s/d, která již může něco znamenat, kterou však lze předem vypočítat, neboť zjev je periodický (perioda je 24 hod 50 min) a předem vypočítatelný, tedy neškodný. Tato úchylnka byla bezpečně potvrzena Loomisem, srovnáváním chodu hodin Shorttových a křemenových.

Pružnost kyvadlové konsoly zvětší redukovanou délku zhruba o relativní přírůstek daný poměrem výchylky konsoly ku výchylce čočky. Pro sekundové kyvadlo s amplitudou 1° a pro výchylku konsoly 1 μ je to zvětšení délky kyvadla o 0,057 mm a podle (61) zpoždění hodin 2,5 s/d. Proto i nepatrné změny v pružnosti konsoly mohou způsobit docela citelné změny chodu. Byla vyslovena domněnka, že malé změny chodu pozorované u precisních hodin, jsou zavíněny změnami vlhkosti a tím i pružnosti půdy, na niž spočívá pilř hodin. Zkušební se Shorttovými hodinami nasvědčují, že chod je tím stálejší, čím pevnější je stanoviště hodin; nejlepší by byla masivní skála (jako je na př. v hlubokém sklepě pařížské hvězdárny), ale ta ovšem není vždy k dispozici.

Vliv prudkých otřesů půdy může vést u pružinových kroků, jako je Strasserův nebo Rieflerův, ke skokům o celé sekundy, poněvadž stoupací kolo může

vyklouznout ze záchyty. Jinak nastává často dočasné zpoždění o několik setin sekundy za den, které se vysvětluje prodloužením a zase pomalým návratem závěsné pružiny; ale obvyčejně i větší či menší změna trvalá, zavíněná snad malými vzájemnými pohyby součástí kyvadla. Pohyby zemské kůry, poměrně pomalé, vedou málokdy k zastavení hodin, ale skoro vždy ke změně údaje (stavu) hodin, poněvadž způsobí změnu fáze kyvadla; tato změna je různá i u hodin na témž místě, podle toho, ve které poloze pohyb zastihl kyvadlo. Na obr. 60 je změna stavu hodin v Paříži, způsobená menším zemětřesením ve Švýcarsku r. 1946. Nepřekvapí, že na pohyb půdy nereagovaly hodiny křemenné a ladičkové.

Horší je, že některé stroje kyvadlové změnilly trochu i svůj chod; nejslabší stránka kyvadlových hodin je jejich citlivost na pohyby půdy.

Délkové změny materiálu mohou mít znatelný vliv na chod precisních hodin s kyvadlem invarovým; o rozmarném a nepředvídatelném chování tohoto materiálu byla zmínka již v prvním dílu. Není mi známo, oč lepší jsou po této stránce invar dnes vyráběné. Dlužno dodat, že podobné chování, byť v menší míře, bylo zjištěno i u tyčí z taveného křemene (Satori); také křemenina obecně vyžaduje stabilisování, má-li si právem zasloužit titul nejstálějšího materiálu. U pružin jeví se molekulární změny obvyčejně zvýšením modulu pružnosti; je možné, a po zkoušenostech s vlásky pravděpodobné, že časem trochu vzrůstá tuhost závěsné pružiny, což ovšem o něco zrychlí chod. Pochopitelně je velmi nesnadné a snad přímo nemožné, všechny tyto uvedené vlivy na hodinách zjistit, separovat a číselně vyjádřit. Doufám však, že čtenář získal aspoň přibližnou představu o jejich možné a pravděpodobné velikosti.

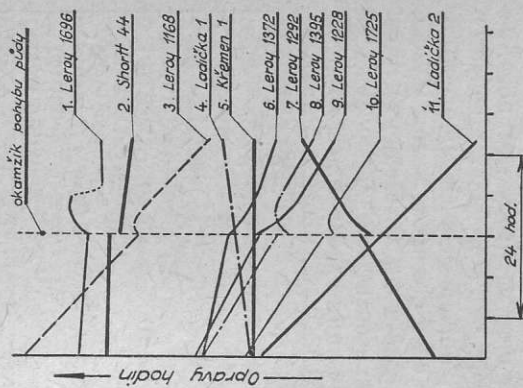
— Tim jsme probrali vlivy, které jsou citelné jen u hodin nej přesnějších a zbývají nám ještě dva, které se uplatňují již u hodin méně přesných: vliv teploty a tlaku vzduchu. O obou bylo hlavní řečeno v prvním díle (v kapitole o kompensaci), a zde to jen doplníme podrobnějším rozbořením.

Vliv změn teploty

Kdyby kyvadlo bylo zhotoveno z jediného kusu materiálu a kdyby kývalo ve vakuu, změna chodu způsobená zvýšením teploty o θ stupňů by byla

$$\Delta R = 43\,200 \alpha \theta \quad (84)$$

Hodnoty pro různé materiály, používané v hodinářství jsou sestaveny v tabulce:



Obr. 60.

Jako příklad vezmeme mosaznou čočku, která má objem 1000 cm³, tedy váhu 8,4 kg, a je zavěšena na tenké tyčce (kterou lze zanedbat). Hustota vzduchu obvykle vyjádřená v kg/m³ nebo g/dm³ je

$$\gamma = 0,464 \frac{B}{\Theta + 273} \quad (85)$$

Vztlak čočky (objem 1 dm³) bude při tlaku 740 mm Hg a teplotě 15° C.

$$\Delta P = 0,464 \frac{740}{15 + 273} \cdot 1 = 1,2 \text{ g}$$

to je 1,2/8400 = 0,000142 váhy čočky a tedy též direkčního momentu. Tím vznikne zpoždění 43200 · 0,000142 = 6,1 s/d, čili na 1 mm Hg zpoždění 6,1 : 760 = 0,0083 s/d. Pokusem bychom však zjistili zpoždění zhruba dvojnásobné. Zřejmě působí ještě další vliv.

Tento druhý vliv byl již probrán, když jsme mluvili o odporu kyvadla. Je jasné, že direkční síla uvádí do pohybu nejen hmotu kyvadla, nýbrž i jistou hmotu vzduchu: moment setrvačnosti kyvadla se tím jaksí zvětšuje. Tato hmotu se nepohybně mění s hustotou vzduchu. Věc však se ještě komplikuje tím, že se uplatňuje vnitřní tření vzduchu, proměnné s teplotou; účinkem tohoto tření kyvadlo s sebou unáší vrstvičku vzduchu, lpící na jeho povrchu. O zřetelném a nevypočitatelném vlivu stěn skříně jsme rovněž mluvili. Zvětší-li se hustota vzduchu stoupanutím tlaku, vzroste tím odpor kyvadla, a jeho amplituda se zmenší. Zmenšení amplitudy vyvolá zrychlení chodu, které z části kompenzuje barometrickou chybu. Ke všemu ještě toto zmenšení amplitudy zase zmenší obvyklé zpomalení chodu, způsobené impulsním mechanismem. Poměry jsou, jak vidět, velmi složité, a je malá naděje, že by je bylo možno vystihnout rovnicemi; jsme proto odkázáni na praktický pokus, kterým ovšem zjistíme pouze úhrnný účinek změny tlaku, nikoli jeho složky. Podle údajů, roztroušených v literatuře starší i novější, *barometrická chyba* t. j. zpoždění vyvolané stoupanutím tlaku o 1 mm Hg, u přesných hodin (se sekundovými kyvadly různé konstrukce) se pohybuje v mezích 0,01 až 0,02 s/d. Rieflerovy pokusy daly pro čočku tvaru skutečné čočky hodnotu 0,012, pro čočku kulovou 0,016 a pro nejobvyklejší čočku válcovou 0,018 s/d. Jak je vidět, barometrická chyba je zhruba úměrná odporu kyvadla.

Změna hustoty může být způsobena ovšem také změnou teploty vzduchu. Podle (85) zvýšení teploty o 1° C má na hustotu vzduchu stejný vliv jako pokles tlaku o 2,6 mm. To za předpokladu, že změna chodu je úměrná změně hustoty vzduchu, by znamenalo zrychlení hodin o 0,04 s/d pro barometrickou chybu 0,016 s/d. Různí autoři udávají tento vliv na 0,03 ÷ 0,04, průměrně na 0,036 s/d. O tuto průměrnou hodnotu byly zmenšeny teplotní chyby v hořejší tabulce. Díky tomuto vlivu je kyvadlo z invaru I skoro úplně kompensováno, kyvadlo křemenné dokonce již překompensováno.

Barometrickou chybu můžeme kompenzovat, jak bylo vysvětleno, aneroidem (obr. I-501); není to řešení bezvadné, neboť anerooid — jako všechny průžinové měřicí stroje — podléhá změnám (posunům nulové polohy) které pak vedou k nenáhlým změnám chodu. Radikální, technicky dokonalé, ale v praxi

Materiál	Hustota g/cm	Tep. roztažnost		Zpoždění s/d na 1° C	
		α (million-tiny)	po 100° C mm/m	ve vakuu	ve vzduchu
Ocel uhlíkatá	7,85	11,5	1,15	0,50	0,46
Litina	7,2	9	0,9	0,39	0,35
Mosaz (tyčová)	8,4	18,5	1,85	0,80	0,76
Bronz	8,75	17,5	1,75	0,76	0,72
Ziněk (válcovaný)	7,2	28	2,8	1,21	1,17
Litéžina	10	26	2,6	1,12	1,09
Hliník, slitiny	2,8	23,5	2,35	1,01	0,98
Invar (angl. I	8,1	1,0	0,10	0,043	0,007
II		1,6	0,16	0,069	0,033
III		2,5	0,25	0,108	0,072
Tavený křemen		0,4	0,04	0,017	0,019

Udány jsou hodnoty průměrné; číslice kolísají proto, že jde vesměs o slitiny, jejich hustota a roztažnost závisí na složení i na zpracování. Z tabulky je jasné, že teplotní chyba u oceli a mosazi je značná; změna teploty o 10° C způsobí změnu chodu o 5 nebo o 7 1/2 s/d. Teprve užitím nových speciálních materiálů, invaru a křemenu, lze chybu snížit na velikost přijatelnou aspoň u méně přesných hodin. Jinak vždy si pomáháme kombinací materiálů s různou roztažností; o tom bylo stručně pojednáno v I. dílu v kapitole o kompenzacích, a bude pojednáno podrobně v příští kapitole. Zde ještě dodáme, že žádná kompenzace nemůže pracovat dokonale. Jednak nelze s jistotou zamezit, aby se ve skříní hodin nevytvořily vrstvy vzduchu nestejné teploty, jednak účinek kompenzace vždy pokulhává za změnou teploty, nevadí součásti kyvadla, nestejně hmotné a nestejně vodivé, neprodlévají změnu teploty současně.

Proto hodiny mají být umístěny v místnosti, kde teplota se nemění příliš a zejména ne rychle. Snad není třeba odůvodňovat, že chodu nesvědčí, když na hodiny mohou působit přímé sluneční paprsky nebo sálavé teplo topičního tělesa. Ideální místo je suchý, hluboký sklep, jako na př. v Paříži, kde teplota během roku kolísá jen o málo desetín stupně. To ovšem není možné všude, a tak poslední dobou nejpřesnější hodiny udržujeme ve stálé teplotě umělé. Pouzdro hodin lze provést jako *thermostat*, nebo pouzdro uzavřeme do vhodného thermostatu, a udržujeme vyšší teplotu, než může být teplota okolí. Thermostat nemusí být zvlášť přesný, neboť s malými rozdíly teploty se vypořádá kompenzace kyvadla.

Vliv tlaku vzduchu

Tento vliv — o němž bylo již tolik napsáno — je dvojitý. Předně kyvadlo plave ve vzduchu a je nadlehčováno podle prastarého zákona Archimedova, a to poměrně tím více, čím menší je hustota kyvadla. Tím se zmenšuje direkční moment, ne však moment setrvačnosti.

trochu nesnadné řešení problému je *vzdychotěsný závěr* hodin, zpravidla ve formě skleněného nebo kovového (nejlépe měděného nebo hliníkového) válce. Ve válci se udržuje mírný podtlak (řádu 100 mm Hg), který se stále kontroluje barometrem nebo ručičkovým aneroidem. Tím kyvadlo dobře chráníme před změnami tlaku a máme ještě výhodu, že chod hodin můžeme velmi jemně regulovat malými změnami tlaku v pouzdře.

VI. Konstrukce kyvadla

Praktické, fyzické kyvadlo realizujeme tak, že na tyč nahoře otáčivě zavěšenou, dole upevníme závaží, které nazýváme čočka, ačkoliv po pravdě má tvar nejrůznější. Konstrukce kyvadla je diktována druhem teplotní kompenzace. Aby bylo možno dobu kyvu regulovat, čočka je zpravidla posazena na regulační matce, jako na obr. I, 399, I, 496 a I, 497. Jen málokdy regulujeme dobu kyvu zkracováním účinné délky závěsu.

Výpočet kyvadla

Výpočet kyvadla provedeme tak, že celé kyvadlo rozdělíme na části, jichž moment hmotný a moment setrvačnosti se dá počítat. Tyč budeme počítat jako hmotnou přímku podle rovnic (14) a (21); větší součásti jsou válce, které počítáme podle rovnice (17), a je-li náhodou čočka tvaru skutečně čokového, užijeme rovnice (20). Výpočet takový není nesnadný, je však pracný, a ve většině případů zbytný. Obvykle stačí považovat kyvadlo za hmotnou přímku a jeho čočku za hmotný bod. Pak rovnice pro redukovanou délku bude znít (obr. 61):

$$L = \frac{(1/3 P_t \cdot l_t^2) + (P_z \cdot l_z^2)}{(1/2 P_t \cdot l_t) + (P_z \cdot l_z)} \quad (86)$$

U sekundových kyvadel chyba vzniklá tímto zjednodušením nebývá větší než 1–2 mm. Větší chyba mohla by vzniknout u kyvadel (zejména pulssekundových), když čočka má velký průměr nebo velkou délku. V tom případě můžeme délku čočky přibližně zavést do počtu a rovnice bude znít:

$$L = \frac{(1/3 P_t \cdot l_t^2) + P_z (l_z^2 + h^2/11)}{(1/2 P_t \cdot l_t) + (P_z \cdot l_z)} \quad (87)$$

Chyby výpočtu prakticky nevedí z těchto důvodů:

a) bod otáčení kyvadla, je-li užito normálního pružinového závěsu, je neurčitý v mezích nejméně $1/2$ mm;

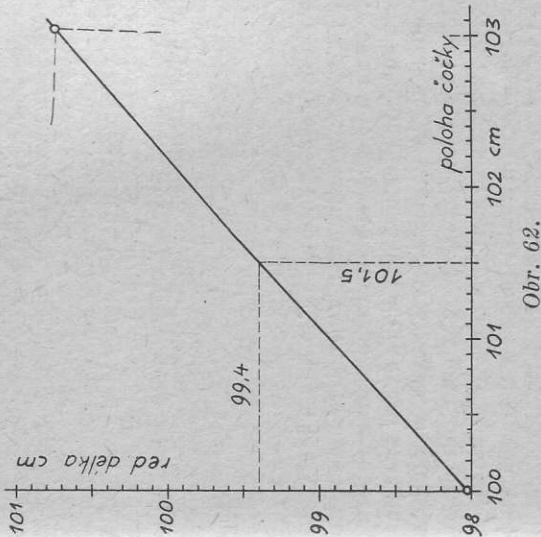
b) závěsná pružina zkracuje dobu kyvu v míře, kterou nedovedeme bezpečně vypočítat;

c) je zde, jak jsem již vyložil, nejistý vliv vzduchu;

d) na dobu kyvu může mít značný vliv impuls a tento vliv nelze bezpečně vypočítat;

e) hustoty konstrukčních materiálů mohou kolísat v dosti širokých mezích.

Všechny tyto vlivy mohou znamenat změnu chodu řádu jedné minuty denně i více, tedy změnu ekvivalentní délky kyvadla o 1–2 mm. Ostatně každé kyvadlo je opatřeno možností regulace, která přinese změnu redukované délky nejméně o ± 8 mm.



Obr. 62.

Příklad 16. Výpočet sekundového kyvadla z příkladu 13. Tyč je dlouhá 120 cm a váží 1,1 kg; čočka je válcová a váží 6,0 kg. Vzdálenost těžiště čočky volíme 103 cm. Redukovaná délka podle rovnice (86) bude

$$\frac{(1/3 \cdot 1,1 \cdot 120^2) + (6 \cdot 103^2)}{(1/2 \cdot 1,1 \cdot 120) + (6 \cdot 103)} = \frac{68934}{684} = 100,78 \text{ cm}$$

To je příliš mnoho, vzdálenost čočky je třeba zmenšit; pro jednoduchost ji zmenšíme na 100 cm a dostaneme:

$$\frac{(1/3 \cdot 1,1 \cdot 120^2) + (6 \cdot 100^2)}{(1/2 \cdot 1,1 \cdot 120) + (6 \cdot 100)} = \frac{65280}{666} = 98,02 \text{ cm}$$

To je hodnota zase příliš nízká. Místo „střetování“ najdeme správnou vzdálenost čočky interpolací podle obr. 62. Vypočítané redukované délky vyneseme v závislosti na vzdálenosti čočky a oba body spojíme přímkou. Na této přímce k redukované délce najdeme správnou vzdálenost čočky $l_z = 101,5$ cm. Nyní pro kontrolu a pro eventuelní další potřebu výpočet opakujeme a dostaneme

$$L = \frac{(1/3 \cdot 1,1 \cdot 120^2) + (6 \cdot 101,5^2)}{(1/2 \cdot 1,1 \cdot 120) + (6 \cdot 101,5)} = \frac{67093}{675} = 99,40 \text{ cm}$$

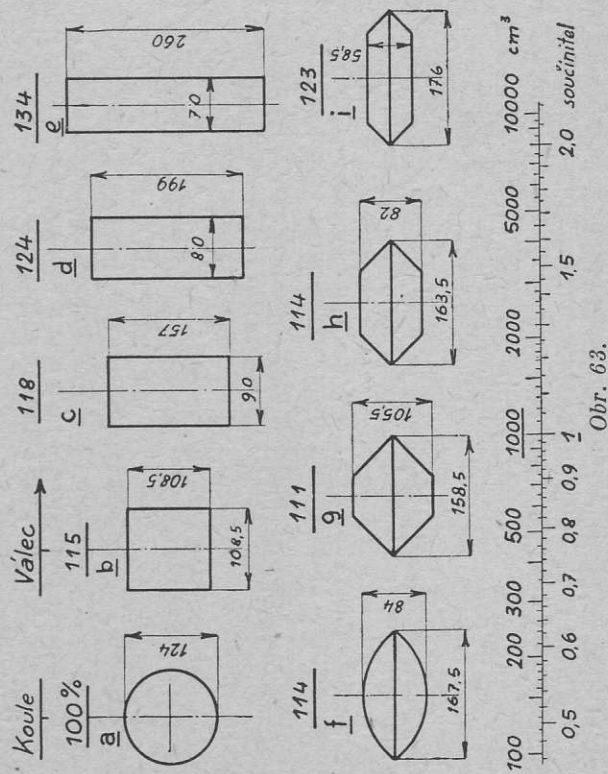
Známe-li takto hmotný moment kyvadla a jeho moment setrvačnosti, můžeme počítat energii kyvadla, vliv regulační matky, vliv přidavných závažíček, kompenzaci teplotní i barometrickou.

Příklad 17. Vypočítáme účinek regulační matky, na níž sedí čočka: závit má stoupání 1 mm.

Dle předěšlého příkladu posunutí čočky o 30 mm zmenšilo účinnou délku ze 100,78 na 98,02 cm čili o 27,6 mm. Posun čočky o 1 mm změnil tedy účinnou délku kyvadla o 27,6/30 = 0,92 mm. Dle rovnice (61) změna délky o 1 mm způsobí změnu chodu o 43,5 s/d, otočení regulační matky tedy změnil chod našich hodin o 43,5 · 0,92 = 40 s/d, jedna setina otočky o 0,40 s/d. Jak patrně, není nutno, aby regulační matka měla jemný závit — malé zbylé zpoždění se vyreguluje přidáním závažíčky; hodiny ve vzduchotěsném pouzdře lze kromě toho velmi jemně regulovat změnou tlaku. Ostatně kyvadlu je lépe bez našich zásahů, a tak nejlépe učiníme, když chod hodin zjistíme pro dvě či tři hodné rozdílné polohy matky (matka ovšem musí mít dělení aspoň na 10 nebo 20 dílků), a pak grafickou interpolací jako na obr. 62 najdeme polohu odpovídající malému zpoždění, řekněme o 2 s/d.

Kyvadlová tyč a čočka

Kyvadlové tyči dáváme zpravidla průřez kruhový, málo kdy a jen v nutných případech méně výhodný průřez čtverhranný. Tyče dřevěné mívají často průřez čokovitý, ale i zde stačí a je celkem výhodnější průřez obdélný. Čočka mívá tvary nejrůznější. Na obr. 63 je sestaveno několik tvarů s rozměry pro objem 1000 cm³, což pro mosaz dává váhu čočky 8,4 kg. Ke každému tvaru je připsána relativní povrchová plocha, vztažená na plochu koule téhož objemu. I když jsme toho názoru, že čočka má mít při dané váze plochu co nejmenší, vidíme z tabulky, že rozdílly jsou malé, pokud neužijeme válce příliš dlouhého (forma e), anebo čočky příliš ploché (forma i). Jak jsme již

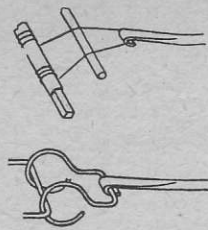


Obr. 63.

vyššeli, nejmenší odpor vzduchu má čočka tvaru f, ale má jednu nevýhodu, je-li postavena ve vstříelné poloze, to jest s osou vodorovnou: je-li čočka trochu vychýlena, vznikají při pohybu kyvadla odporem vzduchu bočné síly, které mohou způsobit nepravidelné a nežádoucí pohyby kyvadla. Tuto závadu lze odstranit tím, že čočku montujeme s osou svislou, jak to dělal Riesler, ale taková čočka ovšem vyžaduje prostornější skříň hodin a hodí se ještě nejspíše pro hodiny uzavřené ve vzduchotěsném válci. Pro přesné hodiny ze všech těchto důvodů jako dobrý kompromis volíme čočku válcovou (forma d). Materiál pro čočky bereme různý. Nejčastěji to bývá mosaz nebo bronz, které u přesných hodin pozlacujeme, dnes častěji niklujeme, abychom zabránili oxidaci, která by postupně trochu zvětšovala váhu čočky. Pro méně náročné hodiny stačí třeba zinek, a pro veliké čočky hodin věžních užijeme materiálů nejlacnějšího, obyčejně litiny. Dobře se hodí také liteřina; ve složení 98% olova, 18% cínu, 10% antimonu a eventuelně 2% mědi, tato slitina má hustotu asi 10 g/cm³ a proto odpor vzduchu a barometrická chyba jsou menší. Námítky, že tento materiál může jevit značný „creep“, praxe nepotvrdila, a čočky z liteřiny bylo užito i u hodin nejpřesnějších. (Shortt). Ještě větší hustotu (16,3—16,5 g/cm³) má práškový wolfram slinitý s přísadou mědi a niklu.

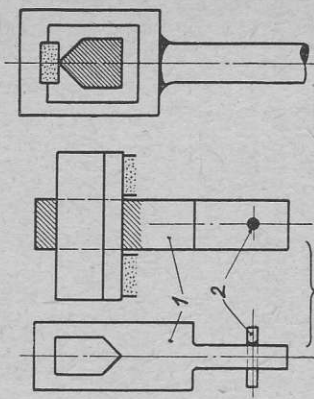
Závěs kyvadla

Závěs kyvadla, jak uvidíme, je součástí velmi důležitou pro přesný chod hodin a lze jej provést různým způsobem, podle kvality a velikosti hodin, po případě podle speciálního účelu kyvadla. Na obr. 64 je závěs dvojitým očkem drátěným, jak jej najdeme v nejlacinějších hodinách, na př. známých „švarcvaldkách“. Je to provedení nejlevnější, tření je poměrně malé, ale hodí se jenom pro velmi lehká kyvadla. Na obr. 65 je závěs kyvadla na hrdvábenní nití, kterého se dříve běžně užívalo pro malé stojací hodiny s krátkým kyvadlem. Konstrukce je laciná, vhodná zase jen pro kyvadlo lehké; dobu kyvu lze snadno regulovat navinutím nitě na horní hřídelík, který obyčejně vyčníval nahore nad číselníkem a byl opatřen čtyřhranem pro klíč. Theoreticky je zajímavé, že těžší kyvadla neopisuje dráhu kruhovou, nýbrž kruhovou evolventu. V prvních dobách užívalo se velmi často pro těžká kyvadla uložení břitového, jehož příklad je na obr. 66. Zrno sedí v kusu 1, a kyvadlo, opatřené obvyklým rozvidleným hákem, je zavěšeno na kolík 2. Břitový závěs se



Obr. 64.

Obr. 65.



Obr. 66.

Obr. 67.

v ohybu. To u malých kyvadel s poměrně velkou amplitudou často vede po několika letech k únavovému lomu pružiny, stejně jako někdy u hodin věžních, kde pružina je ke všemu ještě vystavena velikým změnám teploty.

Pružinový závěs nutí kyvadlo, aby kývalo stále v téže rovině, a to se neobejde bez jistého násilí. Vzpomejme na klasický pokus Foucaultův, kterým byla dokázána rotace země; kyvadlo, zavěšené na závěsu všestranně pohyblivém, mění vlivem rotace zemské svou rovinu kyvu, v naší zeměpisné šířce asi o 11° za hodinu (takové kyvadlo může čtenář spatřit v Národním technickém muzeu v Invalidovně). Kyvadlový závěs musí být přesně udělán a být v pořádku: okrajové hrany plechových příložek musí být rovné, navzájem rovnoběžné a zejména pružiny nesmí být zohýbány nebo pomačkány. O tom se lze přesvědčit tím, že závěs jedním koncem upneme ve svěráku a rozkmitáme: amplitudy kmitů odporem vzduchu ubývá, u poškozeného závěsu nápadně rychle; pokrivené pružiny projevují se i slabým lupavým zvukem.

Je přirozené, že má-li se kyvadlo pohybovat přesně v rovině a nemá-li konat nežádoucí pohyby jiné, závěs musí být přesně svislý. Proto byla volena konstrukce podle obr. 70 a 71, v domnění, že závěs vahou kyvadla se postaví automaticky do svislé polohy. Tomu však brání tření, které v každém kolíku vyvolává moment $P \cdot \frac{d}{2} \cdot \mu$. Vychýlíme-li kyvadlo kolem spodního kolíku, udrží se ve výchylce ψ , a rovnováha obou momentů je dána rovnicemi

$$P \mu \cdot d/2 = P L \psi \quad \psi = \frac{\mu}{2} \cdot \frac{d}{L} \quad (88)$$

Je-li průměr kolíků $d = 3$ mm, koeficient tření $\mu = 0,2$ dostaneme $\psi = 1'$. Délka kyvadla se zmenší v poměru kosinu této výchylky, to jest asi o 0,00004 mm a tím vznikne zrychlení skoro 0,002 s/d. Daleko horší však je, že celý závěs může stát šikmo jako na obr. 73. Pak váha kyvadla vyvodí moment $P x$, moment tření je proti předchozímu případu dvojnásobný (kyvadlo přemáhá tření dvou kolíků) a podmínka rovnováhy je

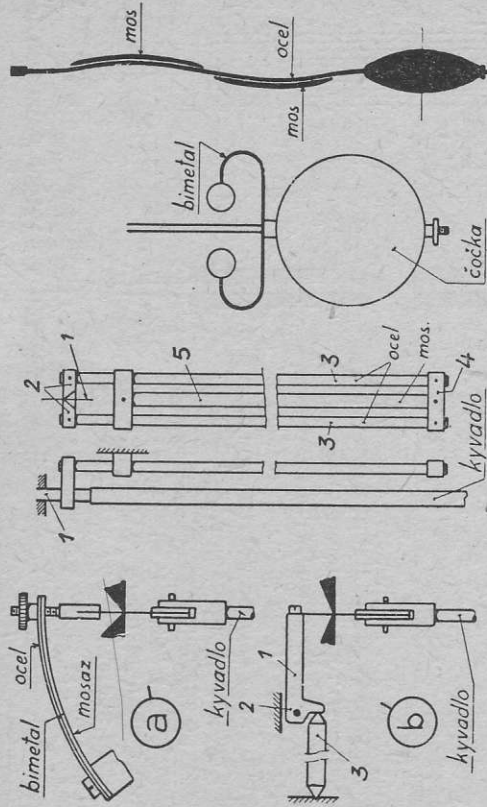
$$P x \beta = P d \mu \quad \beta = \frac{d}{x} \mu \quad (89)$$

Je-li $x = 20$ je podle (89) $\beta = 0,03$, což se rovná 1,72°. Předpokládáme-li, že vzdálenost dolního kolíku od osy otáčení je asi 11 mm, zkrátí se tím kyvadlo asi o 0,005 mm, a to způsobí zrychlení o 0,2 s/d, nehledě k tomu, že kyvadlo sotva bude správně kývat kolem závěsu takto sešikmeného. Tento stav sotva zůstane beze změny; stačí náhodný otřes, změna teploty a pod., aby se sešikmení závěsu vlivem váhy kyvadla náhle zmenšilo. Vidíme tedy, že normální provedení závěsu vnaší nejistotu a neurčitost velmi nežádoucí. V tomto ohledu je vlastně lepší primitivní závěs podle obr. 68. Pro přesné hodiny, soudím, vhodnější by byl způsob na obr. 74. Závěsné pružiny jsou obvyklým způsobem zanýťovány mezi plechovými příložkami, na nichž visí kyvadlo. Nahoře však jsou pružiny mohutnou podložkou a šrouby pevně přitlačeny

přímo ke konsole kyvadla. Provedení by nedělalo obtíže: Vzdálenost by se přesně nařídila koncovou měrkou, načež by se pružiny utážením šroubů sevřely. Tření by jistě stačilo udržet váhu kyvadla, ostatně pružiny lze zajistit zaražením kolíků do předem vyvrtaných dírek. Konsola kyvadla by se vhodnou rektifikací pak postavila (s pomocí jemné libely) do přesné vodorovné polohy.

Kompensace kyvadla teplotní

O kompensaci kyvadla bylo stručně pojednáno již v prvním díle. Je jasné, že chybu vzniklou tepelným roztahováním materiálů není možno kompenzovat ničím jiným než zase roztahováním materiálů, které mají různé koeficienty roztažnosti, jak byly uvedeny v tabulce na str. 240. Konstrukci kompensacího kyvadla existuje velký počet a zde pojednáme jenom o takových, kterých se užívalo a hlavně užívá.



Obr. 75.

Obr. 76.

Obr. 77.

Obr. 78.

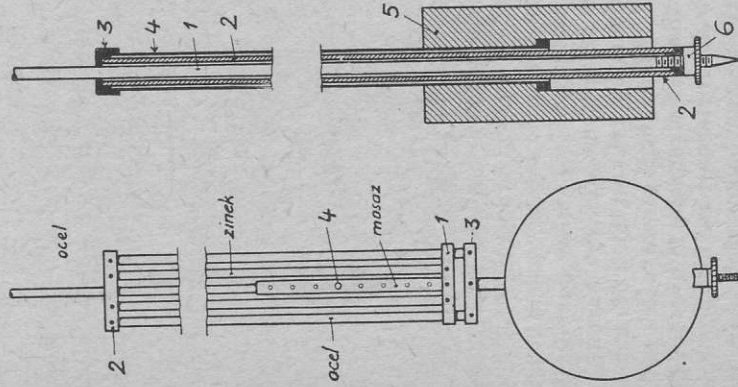
Na obr. 75a je závěsná pružina nesena bimetalickým páskem, zakotveným v rámu stroje, a prochází bez vůle mezi dvěma ostrými hranami. Zvýší-li se teplota, bimetalický pásek se ohne nahoru (proto je mosaz vespod a ocel nahore) a tím se zkrátí kyvadlo. Toto zařízení připouští i změnu doby kyvu, poněvadž pružina je s bimetalickým páskem spojená šroubem a matkou. Pevnost a tuhost bimetalického pásku nejsou ovšem veliké a tak tento způsob se hodí jen pro kyvadla malá a zcela lehká. Důkladnější je provedení podle obr. 75b. Závěsná pružina visí na páčce 1, otočné kolem čepu 2, a na krátké rameno páčky tlačí tyčinka 3, která má větší roztažnost nežli rám stroje. Účinek je podobný jako u systému předěšleho, nevýhodou však je značné tření páčky v uložení, takže zařízení sotva bude fungovat uspokojivě. V tom-

to ohledu daleko lepší a i pro těžká kyvadla vhodná je konstrukce Inwardsova na obr. 76. Závěsná pružina 1 je pevně zakotvená, ale její účinná délka se mění posouváním čelisti 2, které jsou spojeny ocelovými tyčemi 3, příčkou 4 a mosaznou tyčí 5 s rámem stroje. Stoupne-li teplota, posunou se čelisti 2 dolů, poněvadž roztažnost mosazné tyče je větší než tyči ocelových; a tím se zkrátí účinná délka pružiny.

Jiný způsob kompensace s pomocí bimetalických pásků je na obr. 77; stupeň kompensace lze měnit posouváním malých závaží po bimetalickém pásku. Kuriosní užití bimetalického pásku vidíme na obr. 78. Je to jedna z hříček, ve kterých si liboval A. L. Breguet, skvělý hodinář a mechanik, jemuž i takové kuriozity dobře fungovaly. Zde je kompensace dosaženo tím, že kyvadlová tyč mění s teplotou svoje zvlnění: stoupne-li teplota, tyč se zvlní silněji a tím se zkrátí vzdálenost mezi závěsným břítem a osou čočky. Za zmínku stojí, že stroj je umístěn v čáře a přední plocha čočky tvoří číselník.

Kompensace roštové a pákové

Princip roštové kompensace je též jako na obr. 76, rozdíl je jen v tom, že jako rošt je zde vytvořena přímo kyvadlová tyč. První takovou kompensaci provedl Harrison 1726 a na obr. 79 je kompensace zleпšená od Jürgensena. Kyvadlová tyč je spojena s příčkou 1, na níž spočívají dvě zinkové tyče, podpirající příčku 2. Na příčce 2 je dvěma tyčemi ocelovými zavěšena příčka 3, nesoucí čočku. Kompensace je možná proto, že roztažení zinkových



Obr. 79.

Obr. 80.

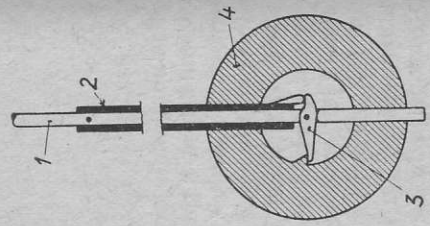
tyči je větší nežli součet roztažení tyči ocelových. Kyvadlová tyč není s příčkou 1 spojena přímo, nýbrž kolíkem 4 s trubkou, která je teprve spojena s příčkou 1; trubka je z mosazi, a tím je možno kompensaci měnit, poněvadž kolík 4 lze zastrčit do kteréhokoliv vývrtu trubky a tyče. Tým princip, ale zcela jiné konstruktivní provedení, má kyvadlo na obr. 80 (Hardy). Ocelová kyvadlová tyč je dole opatřena regulační matkou 6, na které spočívá zinková trubka 2. Trubka se opírá o matku 3, do níž je zašroubována ocelová trubka 4, a ta nese čočku 5. Účinek je stejný jako u konstrukce předchozí. Nevýhodou zde je, že součásti v sobě zasunuté se nestejně rychle oteplují a chladnou a proto se trubky 2 a 4 opatřují řadou vývrtů. V tom je lepší řešení na obr. 81, kde je použito také zinkové trubky, ta však nese příčku, v níž jsou upevněny dvě ocelové tyče, nesoucí dole čočku.

Jiný způsob kompensace zavedli Ellicot a Deparcieux, a to s převodem pákovým. Na obr. 82 je schematicky znázorněno provedení Ellicotovo. Na kyvadlové tyči je svým horním koncem upevněna mosazná tyčka 2, která se dole opírá o páčku 3, otočnou na kyvadlové tyči. Čočka 4, svisle posuvná, spočívá na druhém delším rameni páčky 3. Ve skutečnosti, aby nenastávalo přičení, je mechanismus proveden dvojmo, t. j. páčky jsou dvě a umístěné v dutině čočky. Výhodou je, že kompensaci mosazná tyčka nemusí být dlouhá a potřebného posunu čočky lze dosáhnout volbou převodového poměru páček; naproti tomu je zde veliké tření, které se Ellicot snažil zmírnit tím, že větší část váhy čočky odlehčoval pružinou.

Nevýhodou všech popsaných kompensací roštových i pákových je složitost, velký počet míst, kde dochází k vzájemným posunům součástí; to znamená tření a nepravidelnost, které tření vždy způsobí. U kompensací zinkových se nejdnou ukázal značný „creep“ zinku. Jako příklad uvedu ohromné dvousekundové kyvadlo hodin westminsterských; kompensace (podle obr. 80) byla dobrá, ale zinková trubka se po celá desetiletí zkracovala vahou čočky, která obnáší 350 kg. Creep zdaleka tolik nevedl u kyvadel sekundových, daleko lehčích; existují podnes staré hodiny se zinkovou kompensací, které jdou velmi přesně.

Rtuťová kompensace

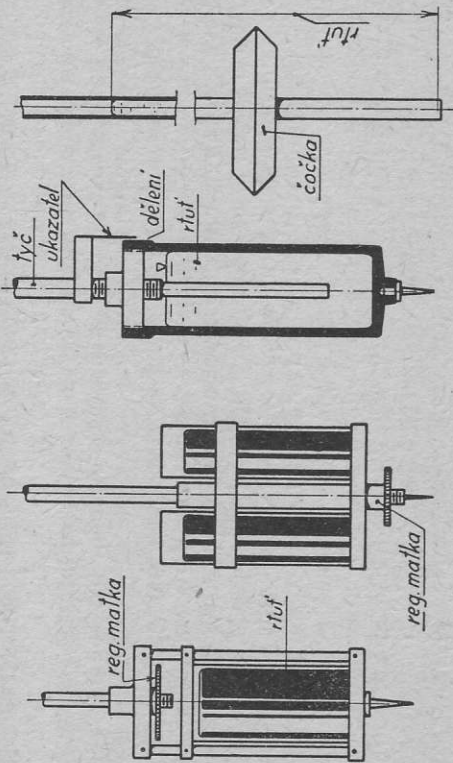
George Graham zavedl kolem roku 1720 kompensaci daleko lepší, používá jako materiál pro čočku jednoduše rtuť. Objemový součinitel roztažnosti rtuť je $3\alpha = 0,000182$. Roztahování sloupce rtuťového je ovšem menší o dvojnásobný koeficient roztažnosti materiálu, z něhož je zhotovena nádoba; je-li nádoba železná, chová se rtuťový sloupec jako tyčka, jejíž roztažnost je 0,000159. Tato velká roztažnost a velká hustota 13,6 g/cm³ čimí rtuť výborným materiálem pro čočku. Kyvadlo rtuťové je pouhá ocelová tyč, dole nesená nějakou nádobou nebo nádoby, v nichž je rtuť nalita do určité výšky. V jednoduchém provedení podle obr. 83 skleněná nádoba se rtuťí sedí v rámu, který je regulační matkou zavěšen na kyvadlové tyči. Tepelná vodivost skla a rtuťi není veliká a hmota rtuťi potřebuje proto mnoho hodin, aby přijala změněnou teplotu okolí, zatím co tenká ocelová tyč ji přijme rychle.



Obr. 81.

Obr. 82.

Proto se rtuť často rozdělovala do dvou i čtyř nádobek menšího průměru. Na obr. 84 jsou dvě skleněné nádoby, uložené v rámu, který lze regulační matkou posouvat po čtverhrané kyvadlové tyči. Tato kyvadla, často velmi ozdobně provedená, měla ovšem značný odpor vzduchu. Jednoduché a účelné řešení je jediná nádoba železná. Na obr. 85 je konstrukce, jak ji používali Kater a Dent. Železná nádoba je uzavřena zašroubovaným víkem, které je našroubováno na kyvadlovou tyč. Kyvadlo lze regulovat otáčením celé ná-



Obr. 83.

Obr. 84.

Obr. 85.

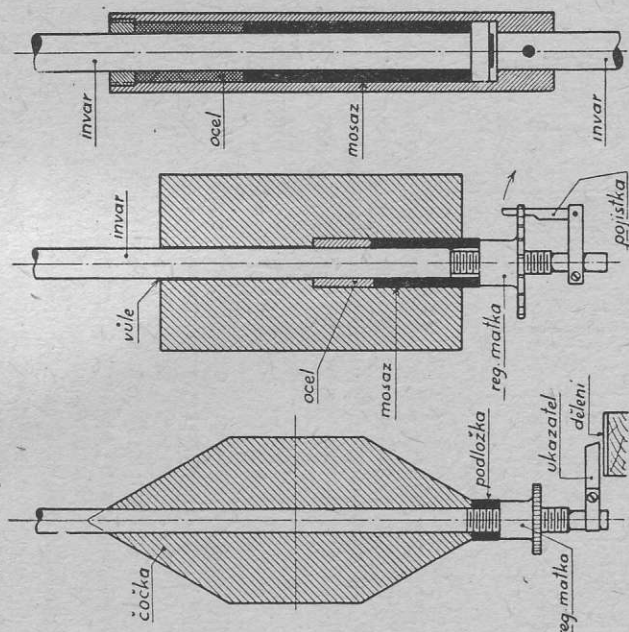
Obr. 86.

doby a to můžeme sledovat na dělení na horním okraji nádoby. Nejúčelnější provedení rtuťové kompenzace je Rietlerem zdokonalená původní myšlenka Grahama. Kyvadlo sestává z ocelové trubky o průměru asi 18 mm a tloušťce stěny 1 mm, z části vyplněné rtuť. Trubka je dlouhá asi 1,35 m a rtuť zaujímá dvě třetiny této výšky. Trubka je opatřena jemným závitem pro regulační matku, na níž spočívá čočka, jako na obr. 1, 496. Na obr. 86 je provedení ještě jednodušší, nízká čočka je opatřena přímo závitem; je to nejjednodušší možné kompenzované kyvadlo. Výhodou této kompenzace (a stejně kompenzace na obr. 76) je to, že kompenzační články zaujímají skoro celou délku kyvadla a proto pracují poměrně dobře i tehdy, když se ve skříni hodin vytvoří vrstvy vzduchu nestejné teploty.

Rtuťovými kompenzacemi bylo dosaženo výsledků výborných a jsou známé hodiny, u nichž teplotní chyba je menší než 0,001 s/d. Theoreticky je zajímavá okolnost, na kterou upozornil Guillaume. Roztahování rtuti je velmi přibližně lineární a proto rtuť užíváme jako náplně do teploměru. Naproti tomu většina oceli má zřetelný kvadratický člen rovnice (2), uvedeného v prvním díle. Chybu, která má kvadratický průběh, nelze přesně kompenzovat opravou, která má průběh lineární. To znamená, že přesně vzato, kompenzace je možná jen pro dvě teploty, na příklad pro 0° C a pro 30° C, při všech ostatních teplotách pak zůstává nevykompenzovaná malá chyba.

Kyvadlo invarové

Novou cestu v konstrukci kyvadel znamenal objev invaru. Již Guillaume navrhl invar pro kyvadlové tyče. Kyvadlo takové provedl 1897 Thury a od roku 1900 invarovými kyvadly opatroval své hodiny mnichovský Rietler. Poměr roztažnosti invaru a mosazi je zhruba stejný jako poměr roztažnosti rtuti a oceli. Již to je velká výhoda invaru, neboť čím menší chybu kompenzujeme, tím méně citelné jsou nedostatky kompenzace. Ovšem hned se ukázaly



Obr. 87.

Obr. 88.

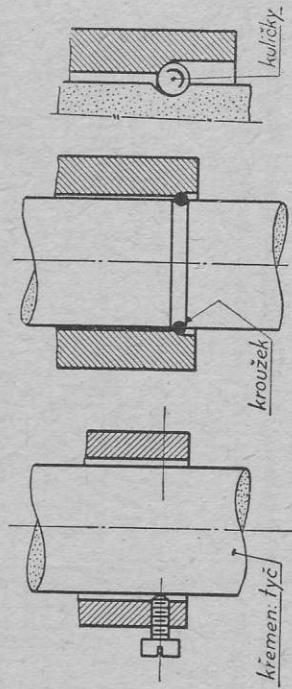
Obr. 89.

ty nedostatky invaru, o kterých bylo promluveno již v prvním díle. Rietler zavedl umělé stárnutí invarových tyčí; tyč prodlává teplotní cykly, teploty se ponechánu snižují a tyč je podrobována otřásání a nakonec i zatížení vahou čočky. Nelze říci, že by tento stabilizační proces vedl vždy ke stejným výsledkům. Jednotlivé várky invaru mohou být značně rozdílné, i je pravděpodobné, že takto si můžeme zčásti vysvětlit zjištěné rozdíly v chodu hodin téhož typu a od téhož výrobce. Invarové kyvadlo je velmi jednoduché, poněvadž ke kompenzaci teplotní chyby stačí roztahování čočky. A tak pro kyvadla méně náročná vystačíme s konstrukcí podle obr. 87, který znázorňuje kyvadlo opatřené čočkou tvaru *t* na obr. 63, ale s osou vodorovnou; zakreslená podložka je nutná jedině u tohoto tvaru čočky. Poněvadž roztažnost invaru značně kolísá, je nutné u kyvadel nepřesnějších, aby se stupeň kompenzace dal v jistých mezích měnit. Proto na obr. 88 čočka je podepřena (zhruba ve

svém těžší) dvěma trubkami, ocelovou a mosaznou. Stupeň kompenzace se řídí tím, jak velká část této kombinované kompenzační trubky je složena z mosazi. V krajním případě použije se kousku trubky invarové nebo naopak kousku trubky hliníkové. Výkres odpovídá provedení Riefsterovu; regulační matka je opatřena záteží, do kterých zapadá otočná pojistka. Riefster jeden čas užíval jiné formy; kompenzační článek nebyl v čáře, nýbrž byl přeložen do středu kyvadlové tyče, jak ukazuje obr. 89. Kyvadlová tyč je takto předělena a čárka samozřejmě není opatřena kompenzačním zatížením. Takové kyvadlo lépe působí, když vzduch v pouzdře hodin má teplotu podél kyvadla stejnou; je to však nejjednodušší komplikace a prohrěšek proti zásadě, že kyvadlo má být co nejjednodušší. Dnes taková řešení ostatně ztratila na významu tím, že nejpřesnější hodiny dáváme do thermostatů. Invarová kyvadla mají teplotní chybu sníženou na stejně nízkou hodnotu jako rtuťová. Výhod invaru lze plně využít i pro kyvadla krátká, pro hodiny stolní, různé hodiny přepínací a pod. Cena materiálu zde není závažná a lze nejjednoduššími prostředky dosáhnout kompenzace pro podobné účely dokonale vyhovující.

Kyvadlo křemenné

Tavený křemen je materiál známý již v minulém století, ale teprve v tomto století pokročila výroba tak, že bylo možno zhotovit dlouhé kyvadlové tyče, které začal vyrábět Satori ve Vídni v roce 1910. Jisté potíže dělala otáčka, jak na tvrdou, těžko opracovatelnou, křehkou, a ke všemu ještě dosti nepravidelnou a hrubolafou tyč upevnit kovové součástky, t. j. hák pro závěs a čárku.



Obr. 90.

Obr. 91.

Obr. 92.

Satori tyto součástky upevňoval pouhým třením, vždy třemi tlakovými šroubky, jak ukazuje obr. 90. Není to řešení ideální, je tu nebezpečí, že křehký materiál praskne soustředěným tlakem šroubku, a snad i jisté nebezpečí, že upevnění se pohne. Lepší řešení by byla drážka podle obr. 91, kterou lze snadno vybrousit i na obyčejném soustruhu. Kovová součást (spojení je vystaveno stále jednostranně působící síle) je držena kroužkem, který je vysoustružený a rozdělený na dvě části; stejně dobře lze použít pružného kroužku (svinutého z drátu) nebo, jak ukazuje detail na obr. 92, jednoduše malých

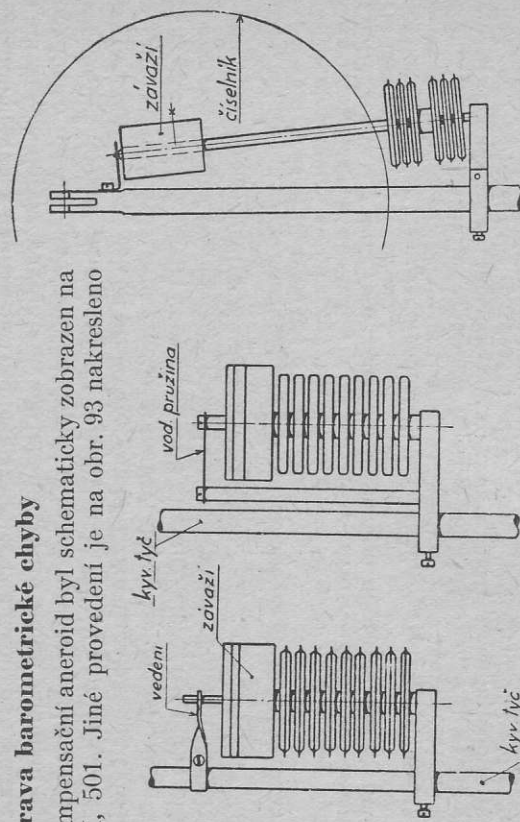
ložiskových kuliček. Ostatně dnes nedělalo by potíže do křemenné tyče vybrousit závit na speciálním stroji. Křemenná kyvadla netěší se velké oblibě, snad proto, že materiál je tak křehký, ačkoliv se v praxi dobře osvědčil. Satori seznal, že i tavený křemen může měnit trochu své rozměry v provozu, a že je dobře tyče žíháním stabilizovat. Nejsou-li invar dnes vyráběné zřetelně lepší než byly invar předválečné, lze říci, že tavený křemen je nejlepší materiál, který dnes máme k dispozici. Jisté potíže čínila i regulace křemenných kyvadel. Satori to dělal přidávanými závažíčky, ale nic nebránilo tomu, abychom kovové součásti na obrázcích šrafované, opatřili závitem a regulovali kyvadlo obvyklým způsobem.

Výpočet kompenzace

Výpočet kompenzace je zdlouhavá práce, spočívající v tom, že předpokládáme změnu teploty, nejlépe 10 nebo 20° C a nyní podle rovnice již uvedených prostě sledujeme rozměrové změny součástí, vypočítáme moment setrvačnosti a moment hmotný. Kompenzace vyhovuje, jestliže nám vyjde redukovaná délka nezměněna. Nevýjde-li, změněme něco na rozměrech součástí a výpočet opakujeme. Postup je pracný, ale v zásadě jednoduchý. Oprávněná nesnáze leží jinde: nevíme přesně jak velkou chybu máme kompenzovat, a málokdy známe dostatečně přesně koeficienty roztaživosti. Nutno mít na paměti, že naším úkolem je kompenzovat celou teplotní chybu hodin, a ta není zaviněna jen délkovými změnami kyvadla. Změnou teploty mění se také tuhost závěsné pružiny, mění se viskozita a hustota okolního vzduchu, mění se se však také hnací síla, poněvadž se mění viskozita oleju.

Oprava barometrické chyby

Kompenzační aneroid byl schematicky zobrazen na obr. I, 501. Jiné provedení je na obr. 93 nakresleno



Obr. 93.

Obr. 94.

Obr. 95.

trochu podrobněji. Rám přístrojku tvoří samotná kyvadlová tyč a sloupec tlakoměrých bubínků je dole přišroubován, nahotě zatížen závažím a posuvně veden. Toto posuvné vedení můžeme s výhodou nahradit tenkou vodící pružinou, jako na obr. 94. Aby bylo možno měnit stupeň kompensace, je závaží složeno z několika kotoučků. Aneroid, jak ukazuje obr. 49 a rovnice (75) je neúčinnější nahotě u závěsu kyvadla (druhá neúčinnější poloha, ve vyšší čočky, se z praktických důvodů nehodí). V praxi zpravidla překáží hodinový stroj a je tedy nutno aneroid umístit níže, obyčejně asi ve čtvrtině délky kyvadla; malé zhoršení účinnosti vyrovnáme zvětšením závaží. Pisatel pomohl si konstrukcí na obr. 95, kde tlakoměrné bubínky jsou umístěny pod číselníkem a závaží v blízkosti závěsu.

Výpočet aneroidu zásadně je snadný, užíváme-li rovnice (75) a její derivace. Potíž však je jako při výpočtu kompensaci tepelných; zase nevíme, co máme kompenzovat. Barometrická chyba hodin kolísá v širokých mezích a nemáme-li zkušenosti s dotyčným typem hodin, nezbyvá nic jiného než počítat s chybou průměrnou a definitivní úpravu provést změnou závaží na jdoucích hodinách. Pro zajímavost dodávám, že dříve bylo používáno k barometrické kompensaci barometrů rtuťových. Řešení byla nepřijatelná a nepraktická a bylo pokrokem, když Bröcking a Rédier použili aneroidu; Riefler aneroidů užívá od roku 1899. Aneroid působí velmi dobře a barometrická chyba je zmenšena na desetinu nebo dvacetinu původní hodnoty. Pro hodiny nejpřesnější je ovšem účelnější vzduchotěsný závěr, poněvadž každý aneroid, jakožto pružina neustále zatížená, podléhá pomalým změnám.

Přídavná závažíčka

Jemnou regulaci hodin neprovádíme již regulační matkou, poněvadž kyvadlo na každý dotyk reaguje změnou chodu. Proto dáme hodinám matkou zpoždění o několik málo sekund denně, a to vyrovnáme přídavnými závažíčky. Kyvadlo nese asi uprostřed své délky malý talířek o průměru 5–6 cm, na který můžeme závažíčka přidávat v chodu. Dříve užívalo se malé nádoby, do které se přidávaly broky nebo granátky, dnes užíváme odstupňovaných závažíček ve formě pásku (z pakfongu a z hliníku), které lze snadno pinsetou na talířek položit nebo odebrat, aniž bychom se nešetrně dotkli kyvadla. Velikost závažíček si snadno stanovíme výpočtem.

Příklad 18. Kyvadlo z příkladu 16 má talířek upevněný 40 cm pod závěsem. Vypočítáme vliv přídavných 100 g = 0,1 kg.

Přídáním závaží se moment setrvačnosti zvětší o $40^2 \cdot 0,1 = 160 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$, moment statický o $40 \cdot 0,1 = 4 \text{ kg/cm}$, tedy účinná délka se zmenší na $67254/679 = 99,05 \text{ cm}$. Toto zmenšení o 3,5 mm odpovídá dle rovnice (61) dennímu zrychlení o 152 sek.

Můžeme počítat i jinak, zavedeme-li *percentuální přírůstky momentů*. Moment setrvačnosti vzrostl o $100 \cdot 160/67094 = 0,239\%$ a v témž poměru i účinná délka. Ale zároveň statický moment vzrostl o $100 \cdot 4/675 = 0,59\%$, a tedy v témž poměru se zmenšila účinná délka. Celkem se zmenšila účinná délka o $0,592 - 0,239 = 0,353\%$, což dle rovnice (61) dává denní zrychlení 152 s/d. Počítání s *percentuálními přírůstky* je často výhodnější, neboť místo pracovního počítání na pět či šest míst pomocí logaritmní stačí počítací pravítko.

Pro zrychlení o 1 s/d je třeba závažíčka $100/152,5 = 0,655 \text{ g}$, pro 0,5 s/d 0,328, pro 0,1 s/d 0,065 g atd. Nejlépe udělat si sadu těchto závažíček:

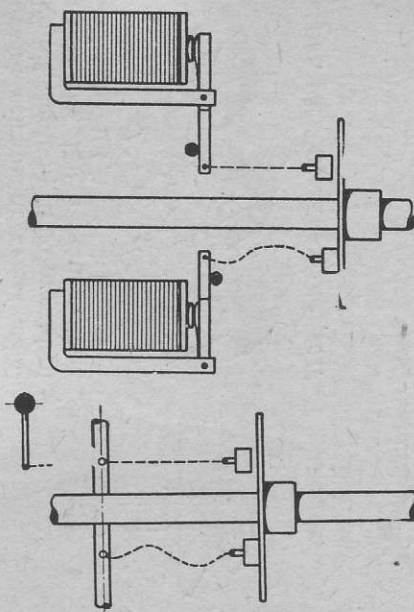
2—2—1—0,5—0,2—0,2—0,1—0,05—0,02—0,02—0,01 g.

Pro úpravu stavu potřebujeme 2 závažíčka s účinkem 2,4 nebo 4,8 s/d, tedy $0,656 \cdot 2,4 = 1,56 \text{ g}$, resp. 3,15 g, která změní stav hodin o 0,1 resp. 0,2 sek. za každou hodinu.

Daleko jednodušší provedeme výpočet podle rovnice (79). Redukovaná hmota našeho kyvadla je $675.000 : 99,4 = 6.790 \text{ g}$. A tedy závažíčko, které urychlí hodiny o 1 s/d bude $6790 : 10.360 = 0,655 \text{ g}$. Jak je vidět, počítání s náhradním kyvadlem je mnohem pohodlnější.

Jde-li o hodiny, které mají stále ukazovat správný čas, jako jsou na příklad hodiny určené k vysílání časových značek, je třeba zařízení, kterým je možno podle potřeby hodiny zrychlit nebo zpomalit. Zařízení elektrické jsme viděli na obrázku 57. Tě-

hož účelu lze dosáhnout mechanicky jednoduchým zařízením podle obr. 96. Jsou to dvě závažíčka, z nichž jedno trvale spočívá na talířku hodin, druhé normálně visí nad talířkem; jsou zavěšena na ramenech zasazených do hřídele, který se dá ovládat zvenčí knoflíkem nebo pákou. Jestliže otočným hřídele spustíme pravé závažíčko na talířek, hodiny se zrychlí; naopak, choeme-li hodiny zpomalit, zvedneme opačným pootočením hřídele levé závaží. Jsou-li hodiny uzavřeny ve vzduchotěsném pouzdře, lze závažíčka ovládat elektricky, s pomocí dvou elektromagnetů jako na obr. 97. Hodiny zrychlíme pravým, zpomalíme levým elektromagnetem; závažíčka visí na hedvábných vláknecích.



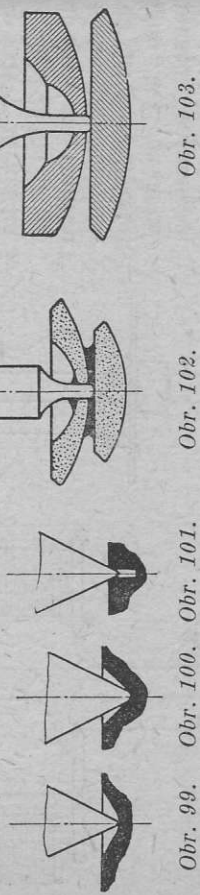
Obr. 96.

Obr. 97.

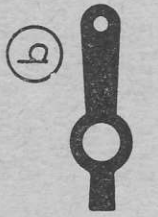
VII. Setrvačka

Setrvačka přesností nedosahuje kyvadla, ale je to jediný oscilátor vhodný pro hodiny přenosné, a tedy oscilátor pravděpodobně nejrozšířenější. Základní věci o setrvačce byly vysvětleny již v prvním díle v kapitolách o pružinách a kompensaci. Celkové uspořádání a montáž byly znázorněny na obr. I 453 a způsob uložení v kapesních hodinkách na obr. I 87. Není-li setrvačka kom-

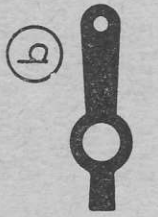
pensovaná, dáváme jí formu hladkého kolečka se dvěma nebo třemi rameny a z materiálu v zásadě libovolného; jinak ovšem bývá tvar složitější, jak vyžaduje teplotní kompensace. Důležité je, aby setrvačka byla vyvážená. Toho dosáhneme u hladké setrvačky odvrtnutím přebytkového materiálu. U setrvaček přesných najdeme často čtyři šrouby nebo maticky, kterými lze setrvačku velmi přesně vyvážit; příklad je na obr. 117. Druhým důležitým požadavkem je uložení setrvačky; je třeba aby bylo přesné a dávalo pokud možno nejmenší tření. V hodinách hrubších, jako jsou budíky, najdeme zpravidla uložení hrotové, nejčastěji podle obr. 98. Nakreslený ložiskový šroub jde v závitě ztuha; není to řešení správné, šroub se snadno uvolní a hodinář je nucen pomáhat si pak všelijak, správnější by bylo rozříznutí desky podle obr. 1120. Důlek pro hrot bývá zakulacen podle obr. 99, což není ovšem centrování zvlášť uspokojivé, lepší by bylo provedení podle obr. 100 a snad nejlepší podle obr. 101.



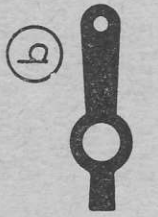
Obr. 99. Obr. 100. Obr. 101.



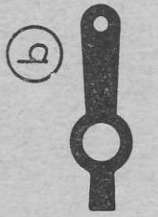
Obr. 102.



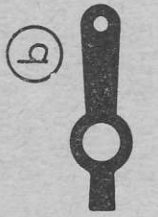
Obr. 103.



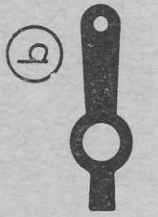
Obr. 104.



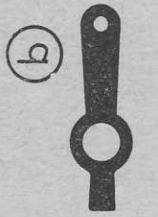
Obr. 105.



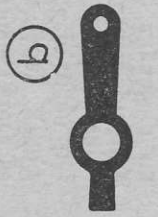
Obr. 106.



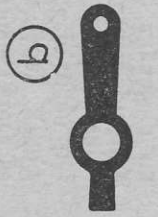
Obr. 107.



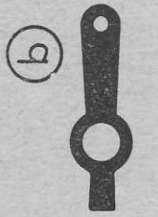
Obr. 108.



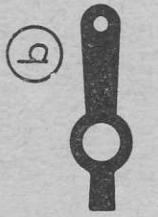
Obr. 109.



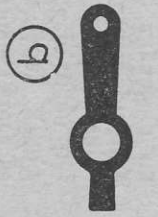
Obr. 110.



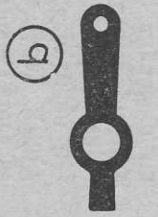
Obr. 111.



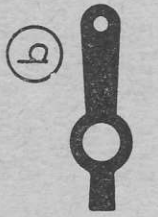
Obr. 112.



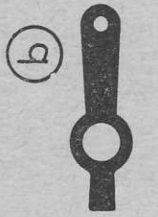
Obr. 113.



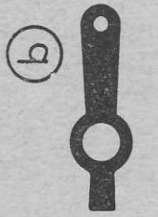
Obr. 114.



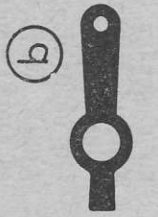
Obr. 115.



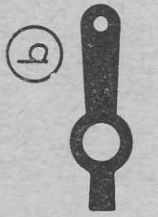
Obr. 116.



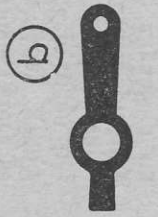
Obr. 117.



Obr. 118.



Obr. 119.



Obr. 120.

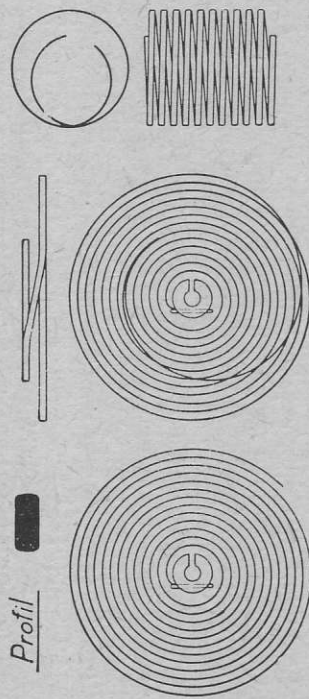
Setrvačky přesnějších hodin jsou vždy uloženy v čepích, které v provedení kvalitním běhají v ložiskách kamenných. Dva typické příklady jsou na obr. 102 a 103. Na obr. 102 je jednoduché uložení, charakteristické tím, že užito krycího kamene a že tvar kamenů je volen tak, aby olej kapilárními silami se držel v ložisku a neměl snahu se rozběhnout po okolí. Jemnější je provedení na obr. 103 pro námořní chronometr. Ložiskový kámen je vyhlouben, aby se zmenšila styčná plocha mezi čepem a ložiskem, čep je štíhlý, plynule přecházející do hřídele a opatřený zátezem, jehož účelem je nebo má být, aby olej z ložiska netekl po hřídeli. U námořních chronometrů je hřídel setrvačky svislý a na krycím kameni spočívá poměrně značná váha; bývá proto zhotoven z diamantu ve formě malé routy. Je zajímavé, že diamant musí být broušen přesně ve směru krystalické plochy, jinak poměrně měkký ocelový čep dovede diamant v krátké době zničit. Aby se zmenšilo tření, děláme čepy tenké, a to s plným vědomím, že setrvačka a její čepy budou orgány velmi zranitelné. V kapesních hodinkách, kde váha setrvačky málokdy přesahuje půl gramu, bývá tloušťka čepů kolem 0,11 mm, u hodinek náramkových kolem 0,09 mm a setrvačky chronometrů námořních o váze kolem 10 gramů mívajíc čepy 0,18—0,20 mm. Takovětto čípky se ovšem lehko zlomí při nárazu, jak ví každý z vlastní zkušenosti. Proto byly hledány konstrukce jak čípky chránit při nárazech. Tato snaha v poslední době vedla k řešením uspokojivějším, a dnes se seriově vyrábějí hodinky opatřené pružnou montáží ložisek setrvačky. Jedno řešení je schematicky znázorněno na obr. 1, 231, podrobněji na obr. 104. Na obrázku je vidět uložení profříznuté regulační ruky a zajímavě upevnění celého ložiska zasunutou závlačkou ve formě U. Druhé ložisko je připraveno zavrtaným šroubkem, který současně drží pružinku, přitlačující krycí kámen a tím i kuželovou obrubu kamene ložiskového. Na obr. 105. ložiskový kámen sedí v pružné prolomané ocelové destičce a kámen krycí je opět přitlačován jemnou a snadno odnímatelnou pružinkou. Jiná forma přitlačovací pružiny je na obr. 108b; tato pružinka je otočně přinýtována na regulační ruku a celé ložisko lze snadno rozebrat, když pružinku otočíme stranou.

Vlásek

Vlásek je nejchoulostivější a po jisté stránce nejdůležitější orgán hodin. Tvary vlásků, které byly zkoušeny, jsou rozmanité, ale praxe provedla si jako vždy výběr, a dnes užíváme jenom tři tvary znázorněných na obr. 106, 107, 108. Na obr. 106 vidíme nejjednodušší vlásek ve formě ploché, Archimedovy spirály. Vnitřní konec vlásku upevněn je do rozříznutého kroužku způsobu, které byly již znázorněny na obr. 1, 449, 1, 450 a 1, 453. Na obr. 107 je tvar Bréguetův, běžný pro všechny přesnější hodinky. Poslední závit spirály je vyhnut nahoru a přiblížen blíže ke středu, a tím se vlásek při pohybu setrvačky roztahuje a stahuje daleko pravidelněji, soustředně, a nevyvozuje postranní sílu na hřídel setrvačky. Jedinou nevýhodou Bréguetova vlásku je jeho větší konstrukční výška. V námořních chronometrech najdeme vždy vlásek ve formě šroubové spirály podle obr. 108. Konce vlásku jsou zakřiveny v křiv-

kách, jichž tvar byl vyšetřen pokusy celých generací, a na kterých, jak uvidíme, do značné míry závisí chod chronometru.

Vlásek je zhotoven z jemné uhlíkaté oceli, v laciném provedení pouhým rozválením ocelového drátku, jenž je po svinutí do spirály a fixován popuštěním do modra. S takovýmíto vlásky museli se spokojit hodináři i pro chronometry, dokud Lutz nenašel metodu, jak vlásky kalit. Kvalitní vlásek je



Obr. 106.

Obr. 107.

Obr. 108.

kalen ve svinutém stavu a po kalení popuštěn. Je to choulstivá výroba a ocelový vlásek bývá uváděn jako příklad zhodnocení materiálu práci; výrobou vlásek se dnes zabývají speciální továrny. Je přirozené, že vlásek je pečlivě vyleštěn, jednak proto, aby se zabránilo vzniku únavových trhlin, ale hlavně proto, aby měl menší sklon k rezavění. V poslední době ovšem bylo užito k výrobě vlásek materiálů nových, vysoce specialisovaných. Ale již v minulém století Paillard zavedl vlásky palladiové, které jsou nemagnetické. Magnetčnost je slabina ocelového vlásku, a nebyla úplně odstraněna ani zavedením nových slitin. Zmagnetovaný vlásek učiní ilusorní jakoukoliv snahu hodinky přesně zregulovat; nepodaří-li se vlásek odmagnetovat, nezbyvá nic jiného než zamontovat nový.

Každé hodinky musí být opatřeny zařízením, kterým lze dobu kyvu seřídit. U hodiněk kapesních, náramkových, budíků a pod. je to vždy regulační ručka, která byla znázorněna již na obr. I. 452 a I. 453. Je to zařízení jednoduché a pohodlné pro manipulaci, ale ne úplně uspokojivé pro hodiny precizní. Uvažme co se děje s vláskem, procházejícím mezi kuličky regulační ručky, když jsou hodinky v chodu. Vlasek je namáhán střídavě v ohybu, to znamená, že se periodicky mění jeho poloměr zakřivení. Z toho vyplývá, že vlásek musí mít mezi kuličky malou vůli, a že je malý posuvný pohyb a tření mezi vláskem a kuličky. Druhou nevýhodou regulační ručky je, že vlásek v rozsahu pohybu kuliček musí být zakřiven v kruhovém oblouku soustředném s osou setrvačky, a tím je reglér omezen ve volbě koncových křivek. Z uvedených důvodů u námořních chronometrů se regulační ručky neuzívá a chod se upravuje změnou momentu setrvačnosti setrvačky. Na obr. I. 492 vidíme regulační maticky 2, které k tomuto účelu slouží; podobné matky jsou vidět

i na obr. 115, 116. V kapesních hodinkách najdeme tuto úpravu málokdý; byl však učiněn pokus, zdá se, že úspěšný, nahradit regulační ručku regulovatelným vetknutím konce vlásku. Vlasek je těsně veden a sevřen dvěma malými válečky, jichž otáčením se vlasek z tohoto upevnění vysunuje ven nebo naopak zkracuje zasunutím.

Výpočet setrvačky

Setrvačku počítáme podle rovnice (40). Jednotkový direkční moment vy počítáme z rovnice

$$D = \frac{E b l^3}{12 l} \quad (90)$$

(*b* šířka, *k* tloušťka pásku, *l* rozvinutá délka vlásku).

Výpočet je dost nejistý, poněvadž je těžko určit přesnou rozvinutou délku vlásku, a proto, že doba kyvu je silně ovlivněna krokem. Velká přesnost však není ani nutná, poněvadž tloušťka vlásku, která má velký vliv na dobu kyvu, kolísá. Proto se spokojíme obyčejně jenom přibližným výpočtem momentu setrvačnosti a setrvačku nahradíme hmotným prstencem, jehož průměr je o málo větší než vnější průměr setrvačky normálního provedení, to jest opatřené kompenzačními šroubky; ostatně přesnější výpočet je jen otázka času.

Příklad 19. Setrvačka z příkladu 4 má $I = 25,11 \text{ g/cm}^2$ a vlasek z příkladu 3 má $D = 4,05 \text{ g.cm} = 3979 \text{ dyn cm}$. Doba kyvu počítáme podle (40) a dosazením dostaneme

$$T = \pi \sqrt{25,11/3970} = 0,25 \text{ sek}$$

Příklad 20. Máme zjistit, zda předchozí setrvačka by vyhověl vlasek válcový dle obr. 108, který má 11 závitů o průměru 14,2 mm, jestliže modul pružnosti je 22.000 kg/mm². Šířka pásku je 0,4 mm a tloušťka 0,3 mm. Pro pohodlí dosadíme míry do rovnice (90) v mm, to znamená modul pružnosti $E = 22 \cdot 10^6$ a dostaneme:

$$D = \frac{22 \cdot 10^6 \cdot 0,4 \cdot 0,3^3}{12 \cdot 11 \cdot \pi \cdot 14,2} = 40,4 \text{ g} \cdot \text{mm} = 4,04 \text{ g} \cdot \text{cm}.$$

Vlásek tedy vyhovuje, poněvadž malý rozdíl se snadno vyrovná regulačními matickami.

Rušivé vlivy

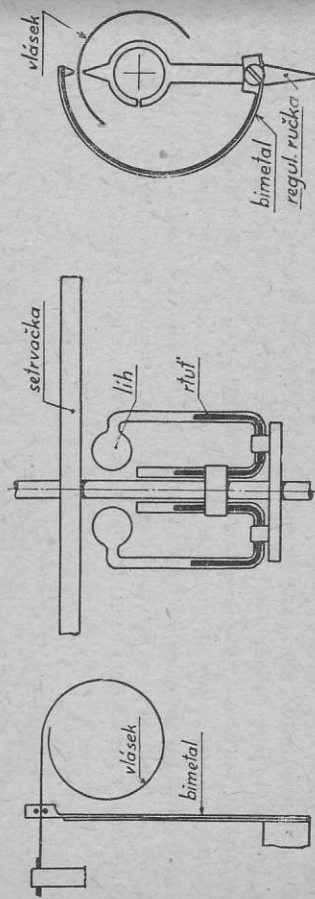
Nejnepříjemnější je tření setrvačky v ložiskách. Lze říci, že toto tření je a zůstane důvodem, proč hodiny se setrvačkou nikdy nedosáhnou výkonů hodin kyvadlových nebo křemenných. Proti tomu nelze dělat nic jiného než užít tenkých čipků a krycích kamenů. Nepříznivou okolností je i to, že tření není stejné, jestliže hřídel setrvačky je svislý nebo vodorovný. I zběžné pozorování nám ukáže, že setrvačka hodinek ležících (to jest s hřídelem svislým) má větší amplitudu než táž setrvačka s hřídelem vodorovným. Tím je již řečeno, že chod hodiněk bude rozdílný v těchto polohách, a velká část úkolu reglérova spočívá právě v tom, aby chody v obou polohách vyrovnal.

Čípky setrvačky jsou přirozeně mazány a ačkoliv užíváme speciálních a dražších olejů, nemůžeme zabránit rychlému vysychání a houstnutí olejů oxidací. Naproti tomu není tak důležitý vliv změny tlaku. Velikost barometrické chyby je těžko zjistit, poněvadž hodinky jsou inherentně stroj méně přesný proti hodinám kyvadlovým, a nevelká chyba barometrická je snadno zastřena jinými nepravidelnostmi chodu. Zdá se, že barometrická chyba je řádu 0,01 s/d a že kolísá podle velikosti a tvaru setrvačky. Při rychlém pohybu setrvačky uplatňuje se silně odpor vzduchu a útlum je ve stovnáku s útlumem kyvadla nejméně stonásobný. Hodnota u z rovnice (80) bývá u velkých chronometrů 0,01 a stoupa až na 0,07 u malých hodiněk náramkových.

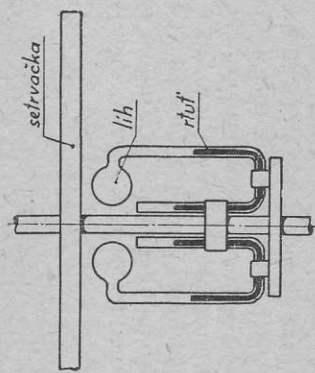
Příklad 21. Vypočítat spotřebu energie chronometrové setrvačky z příkladu 19, je-li amplituda 220° a $u = 0,01$. Jak jsme vypočítali v příkladě 3, setrvačka má energii 38,5 g/cm při amplitudě 250° . Zmenšíme-li tuto číslci v poměru čtverců amplitud, dostaneme pro $\varphi = 220^\circ$ hodnotu 29,8 gcm a spotřeba energie bude tedy $W \cdot 2 u = 29,8 \cdot 0,02 = 0,6$ gcm/sek = 36 gcm/sek. Je to číslce vysoká, 30krát více, než jsme vypočítali pro kyvadlo v příkladu 14. Příčina leží zřejmě v tom, že setrvačka musí přemáhat poměrně značné tření v ložiskách a ještě větší odpor vzduchu.

Téplotní kompensace

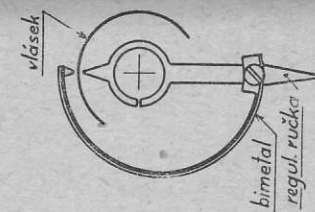
O teplotních kompensacích bylo stručně pojednáno v prvním díle a zde tuto otázku fyzikálně zajímavou a prakticky důležitou probereme podrobně. Nejprve se pokusíme zjistit početně velikost teplotního vlivu. Zvýšení teploty má trojí účinek: předně zvětší rozměry setrvačky a tím její moment setrvačnosti. Za druhé způsobí pokles modulu pružnosti vlásku, za třetí zvětší rozměry vlásku, to jest jeho průřez a jeho rozvinutou délku. Předpokládejme modulus setrvačky a ocelový vlásek, u něhož pokles modulu pružnosti činí 0,024% na 1°C ; relativní zmenšení direkčního momentu je tedy o 0,000240. Zvětšení šířky pásku, z něhož je vlásek zhotoven, a zvětšení délky vlásku se vzájemně ruší, a zbývá vliv zvětšení tloušťky; poněvadž je tloušťka ve třetí mocnině, vzroste z tohoto důvodu tuhost vlásku o 0,000034. Celkem se tedy



Obr. 109.



Obr. 110.



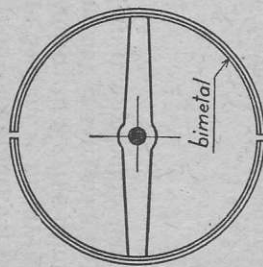
Obr. 111.

direkční moment zmenší o 0,000206, což způsobí zpoždění hodin o 0,000206 · 43 200 = 8,9 s/d. Moment setrvačnosti setrvačky závisí na druhé mocnině poloměru setrvačnosti, doba kyvu na odmocnině tohoto momentu a proto přímo na zvětšení rozměrů setrvačky. Roztažení setrvačky tedy způsobí zpoždění $0,0000185 \cdot 86\,400 = 1,6$ s/d.

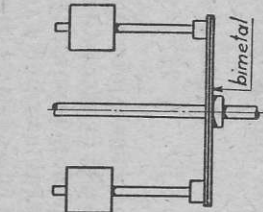
Vidíme, že z celkového zpoždění 10,5 s/d 85% je způsobeno poklesem tuhosti vlásku. Nepomohlo by tedy valně, kdybychom setrvačku udělali na příklad z křemeniny. Praktické zkoušky ukázaly, v soulase s našim odhadem, zpoždění 10 ÷ 11 s/d na 1°C . Poněvadž vliv teploty u setrvačky je řádově dvacetkrát větší než u kyvadla, je přirozené, že záhy byly hledány způsoby, jak tuto hrubou teplotní chybu vyrovnat, kompenzovat. Na obr. 109—114 je znázorněno několik starších řešení, na nichž můžeme vývoj kompensací ve zkratce sledovat.

Starší teplotní kompensace

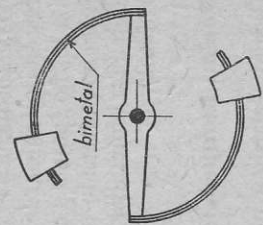
První, a poměrně dobře působící kompensace pochází od Harrisona z roku 1726 (obr. 109). Je užito bimetalického pásu, který působí jako regulační ručka. P. Leroy řešil věc jinak, jak ukazuje obr. 110. Byla to velká, podle dnešních představ kolosální setrvačka námořního chronometru a její veliké rozměry umožnily kompensaci s pomocí dvou teploměrů, v nichž líh jako teploměnná kapalina posouval sloupeček rtuti v kapiláře a tím měnil moment setrvačnosti. Zcela jiného druhu, a v principu daleko horší je kompensace na obr. 111, které použil, budiž žalováno, i sám Bréguet. Vlášek neprochází



Obr. 109.



Obr. 110.



Obr. 111.

těsně mezi kuličky regulační ručky, nýbrž volně mezi hranou spojenou s regulační ručkou a druhou hranou na bimetalickém pásku, na ručku přiroubovaném. Změnami teploty mění se mezeru mezi oběma hranami; při chodu hodin vlášek se pohybuje mezi těmito dvěma hranami. Je jasné, že od okamžiku, kdy vlášek se oddálil od jedné z hrany až do okamžiku kdy dolehne na druhou, účinná délka vlásku je zvětšena. Jinak řečeno, příslušná část kyvu setrvačky se děje pod vlivem zmenšeného direkčního momentu; a to způsobí zpoždění tím větší, čím větší je mezeru mezi hranami. Základní chyba tohoto řešení je, že vliv kompensace je proměnlivý podle toho, jak velká je

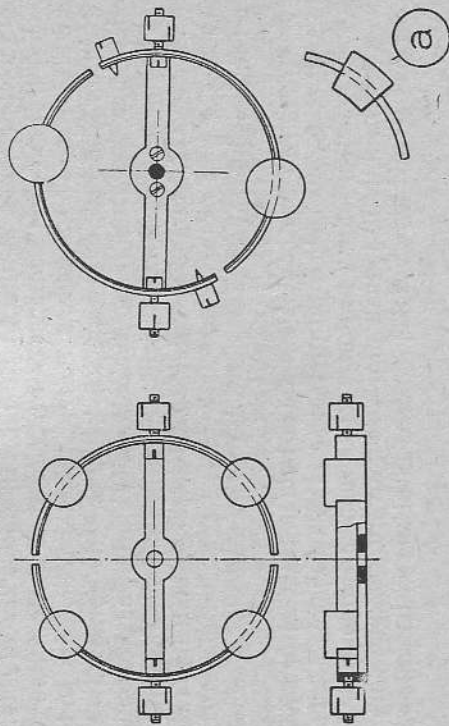
právě amplituda setrvačky. Kdyby amplituda byla tak malá, že vlásek by se volně pohyboval mezi oběma hranami, chod hodin by byl tak pomalý, jako kdyby těchto hran nebylo. Bude-li naopak amplituda velká a vzdálenost hran malá, bude zpomalení chodu nepatrné. O pravdivosti toho může se přesvědčit čtenář na svém budíku, je-li v něm, jak často bývá, velká vůle mezi vláskem a štěrbinou regulační ruky: zjistí, že budík se nápadně zpouzdruje při malých amplitudách.

Další řešení, jehož autorem je opět Leroy, je řešení revoluční, náběh ke způsobu dnešního (obr. 112). Věvec setrvačky je proveden jako bimetalický pásek s mosazí vně, a tedy se zakřivuje dovnitř, když teplota roste. Chyba ovšem byla v tom, že samotný bimetalický pásek sotva stačí ke kompensaci, a za druhé v tom, že tyto bimetalické pásky hotovil pouhým snýtváním pásku mosazného a ocelového. Na obr. 113 je setrvačka nezvyklého tvaru, vytvořená pouze z bimetalické přičky, na níž jsou nanýtvány sloupečky nesoucí kompensaci závažíčka. Změnami teploty se závažíčka pohybují k ose setrvačky nebo od ní. Tato kompensace působila, zdá se, docela dobře a použil ji z počátku Arnold pro své nádherné pracované chronometry, které v mnoha ohledech a i rozměry se podobaly strojům dnešním. (Mýšlenka pochází od Hardyho.) Řešení na obr. 114 je řešení definitivní, kterého používáme dodnes. Zavedl je pro své proslulé chronometry kolem roku 1790 Earnshaw; jím uvádějí jako vynálezce Brockbanka, který byl Earnshawovým zaměstnancem. Zlepšení je v tom, že bimetalické pásky nesou velká kompensací závaží, jichž posunem lze stupeň kompensace snadno měnit; hlavně však v tom, že mosaz a ocel bimetalů jsou navzájem dokonale spojeny. Setrvačka vyrábí se tak, že ocelový kotouček se zaformuje s velkou vůlí a mezi obvod kotoučku a stěnou ocelovými piliny s boraxem; plamenem dosáhne se roztavení formy se dají mosazné piliny s boraxem; plamenem dosáhne se roztavení přezadí a jejího spojení s ocelí. Pak stačí kotouček vysoustružit a vyřiznutím přebytkového materiálu (tak, aby zůstala jen dvě ramena) je setrvačka hotova; stačí jenom bimetalický věvec na dvou místech přerušit, aby mohl vykonávat svůj úkol.

Dnešní kompensací setrvačky

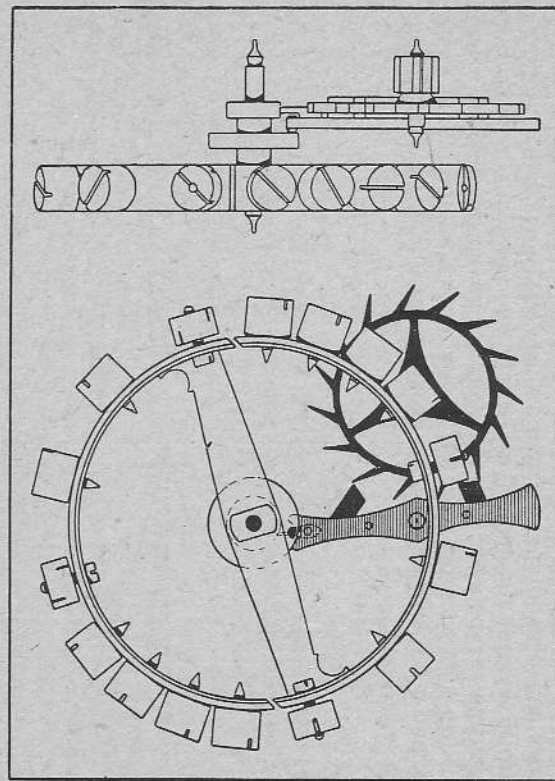
Řešení Earnshawovo provádí se dnes ve dvou formách. Setrvačky malé opatříme kompensacími šroubky, jak je vidět na obr. I. 491 a na obr. 117. Ve větší je řada otvorů se závitem, kterých je víc než kompensacími šroubků. Proto je možno, jak je to znázorněno na obr. I. 491, kompensaci měnit tím, že šroubky podle potřeby stěhujeme blíže k rameni nebo naopak k volnému konci bimetalického věnce. Otvorů bývá 10—15, šroubků o několik méně. To dává tolik kombinací, že prakticky změna kompensace je plynulá. Veliké setrvačky námořních chronometrů jsou stavěny podobně, rovněž jenom se dvěma rameny, ale neužíváme šroubků, nýbrž závaží na bimetalickém věnci posuvných a zajištěných tlakovými šroubky. Závaží mohou být dvě, jako na obr. 116, tvaru válcového nebo hranatého (116a); v tom případě je věvec rozříznut blízko ramen. Nebo uijíme podobných zá-

važček čtyř, jak to vidíme na obr. I. 492 a obr. 115. Popsaná kompensace stačí pro dobré kapesní hodinky, není však dost přesná pro chronometry. Pozorováním chronometru při různých teplotách bychom zjistili, že chod stroje je správný pouze při dvou teplotách na př. při 0° C a 30° C, ale že mezi oběma těmito teplotami se chronometr zřetelně předbíhá. Průběh této chyby je přibližně parabolický a při teplotě 15° C zůstává nevykompensova-



Obr. 115.

Obr. 116.

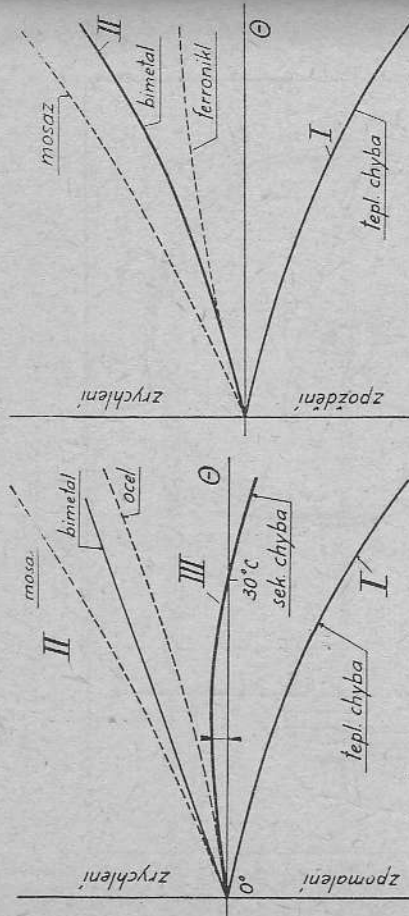


Obr. 117.

ná, jak říkáme *sekundární chyba*, která bývá 2—5 s/d. Podezření na tuto sekundární chybu měl již Leroy, bezpečně ji zjistil jeho krajan Berthoud 1775, ale teprve 1832 věc prozkoumal podrobněji Dent — proto se někdy nesprávně mluví o *anomálii Dentově*. Příčiny sekundární chyby jsou záležitost trochu složitá; ale myslím, že postačí vysvětlení Guillaumeova. Celá záležitost se točí kolem kvadratických členů rovnice, která udává roztažení materiálu vzrůstem teploty (rovnice 2 v díle I.). Na obr. 118 vidíme křivku I která představuje chybu, jež má být kompenzována. V témže diagramu jsou zaneseny křivky roztažnosti pro ocel a mosaz. Pohyby bimetalického pásku odpovídají rozdílů těchto roztažností. Výsledná křivka II je tedy obraz vlivu bimetalického pásu. Jak je vidět, chyba, která má průběh přibližně parabolický, nemůže být kompenzována opravou, jejíž průběh je lineární. Výsledkem může být pouze křivka III, která představuje rozdíl mezi křivkami I a II.

Druhotné kompenzace

Byl to tvrdý oríšek pro hodináře a úloha byla řešena nejrůznějšími způsoby. Je přirozené, že všechna tato řešení se týkala velikých setrvaček námořních chronometrů, jednak proto, že velké rozměry připouštěly ty různé komplikace konstruktivní, jednak proto, že právě u velikých chronometrů požadavky na přesnost byly vysoké. A tak se shledáme v literatuře s velikým



Obr. 118.

množstvím různých řešení; někteří snažili se pružinami, dorazy a pod. omezit příliš velký pohyb bimetalického pásku. Jiní zaváděli další malé bimetalické pásky se závažkami; jiní dávali setrvačkám tvary zcela odlišné od představy kolečka (příkladem může být obr. 113; tímto provedením totiž lze sekundární chybu znatelně zmenšit). Svého času za nejlepší byla považována setrvačka Kullbergova, která měla ramena bimetalická a plochý věnec rovněž bimetalický; dělicí spára těchto bimetalů ležela v rovině kolmé na osu otáčení a na

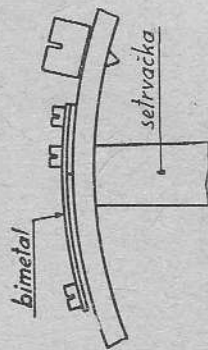
volných koncích rozříznutého věnce byla na krátkých sloupečcích upevněna závaží. Při změnách teploty závaží opisovala složitou a početně těžkou zjištělnou dráhu, ale fakt je, že setrvačka fungovala výborně.

Setrvačka Guillaumeova

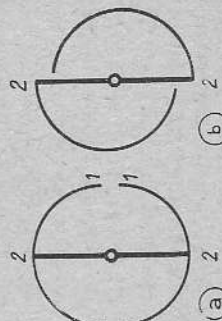
Zcela nové řešení podal Guillaume, který se zabýval systematickým výzkumem feroniklových slitin, jak jsme si už o tom řekli v prvním díle. Vycházejí z diagramu na obr. 118, dospěl k názoru, že sekundární chyba by se dala odstranit, kdyby se našel materiál, který, na rozdíl od oceli, by měl kvadratický člen opačného znaménka. Takový materiál Guillaume našel ve feroniklu, obsahujícím 42% niklu. Potom diagram vypadá jako na obr. 119, kde jsou zaneseny opět roztažnosti mosazi a nového feroniklu. Tentokrát výsledná čára II je ohnuta nahoru, a je jasné, že vliv tohoto průběhu může daleko lépe kompenzovat chybu, znázorněnou křivkou I. Tímto způsobem bez jakékoliv komplikace byla sekundární chyba stlačena na desetinu, ne-li dvacetinu původní hodnoty. Ke všemu nová setrvačka byla ještě výhodná tím, že její věnec byl mnohem tužší než u setrvaček starých. Příčina je v tom, že feroníkl má menší roztažnost nežli ocel a při stejném účinku bimetalický věnec může být tlustší. Je to citelná výhoda, uvážíme-li, že periodické roztahování věnce vlivem odstředivé síly (viz příklad 5) způsobuje zpoždění, které u velikých chronometrů může činit až 20 s/d, a které ztěžuje práci reglérovu. Guillaumeova setrvačka úplně ovládla pole u všech přesných hodin kapesních i chronometrů, pokud mají vlásky ocelové. Veliká většina hodiněk, které získaly ceny v každoročních soutěžích ve Švýcarsku i jinde, je opatřena touto setrvačkou a Bréguetovým vláskem z uhlíkaté oceli.

Vlázky elinvarové

Kompenzovaná setrvačka je drahá ve výrobě. Vyrobení setrvačky samotné není tak nákladné, ale mnoho času stojí práce regléra, který kompenzaci teprve musí seřídít. Je kuriosní, že najdeme stovky hodiněk střední kvality, které mají sice bimetalickou setrvačku, dokonce i šroubky posázenou, ale nerozříznutou a nebo, což je méně hezké, často opatřenou záteží, které snad mají budít zdání, že setrvačka je kompenzovaná. I pro tuto kategorii hodiněk

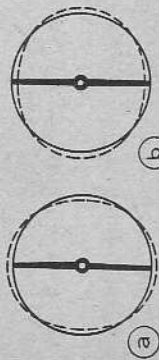


Obr. 120.



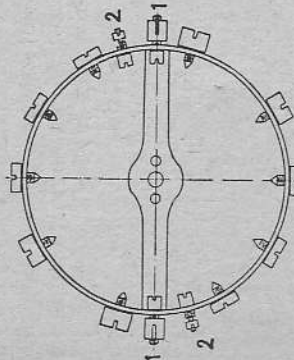
Obr. 121.

našel krásné řešení Guillaume. Při svých výzkumech zjistil, že ternární slitiny železa s niklem a chromem mohou ve vhodném složení jevit takřka úplnou nezávislost modulu pružnosti na teplotě. Tím byla dána možnost podstatně snížit teplotní chybu i u hodiněk běžné výroby. Tyto slitiny, které původce nazval *elinvar*, jsou dnes vyráběny speciálními továrnami a počet vlásků z elinvaru vyrobených jde ročně do milionů.



Obr. 122.

Elinvar není pružinový materiál plně rovnocenný dobré uhlíkaté oceli. Nevadí jeho o něco menší modul pružnosti (vlásky elinvarové jsou „měkké“, jak říkají hodináři). Horší je, že elinvar jeví značný molekulární útlum, takže setrvačka s elinvarovým vláskem má zřetelně menší amplitudu než s vláskem ocelovým. Kromě toho není možno ve výrobě zaručit dokonalou nepřeměnnost modulu pružnosti, a materiál z jednotlivých váreček může jevit větší či menší vzrůst modulu s teplotou, po případě i pokles. Pro přesné hodiny bylo proto nutno uvažovat o tom, jak kompenzovat tuť malou chybu materiálu. Jedno řešení velmi dobré, ale výrobě nákladné zavedl Ditisheim. Jak je vidět na obr. 120, setrvačka je z jediného kusu materiálu, samozřejmě neroztříznutá, ale na dvou protilehlých místech nese krátké bimetalické pásky. Podle toho, jaké vlastnosti má vlásek, volí se směr pohybu těchto zatěžovacích šroubků. S těmito setrvačkami, opatřenými takovým „afixem“, dosáhl Ditisheim u kapesních hodiněk svého času rekordních výsledků.



Obr. 123.

Jiné řešení, méně subtilní a vhodnější pro fabrikaci, ukazuje *setrvačka Voletova* (obr. 121), která má věnec na příklad invarový a ramena na př. mosazná. Jestliže setrvačku rozřízneme ve směru 1—1 roztáhneme se jak nakresleno a moment setrvačnosti se zvětší. Vedeme-li řez ve směru 2—2, bude deformace podle *b* a zvětšení momentu setrvačnosti bude malé. Volbou směru, v němž je věnec rozříznut, lze účinek setrvačky měnit libovolně mezi oběma mezemi. Jiná, hojněji užívaná setrvačka Voletova má věnec nepřerušovaný, obr. 122. Takováto setrvačka má kruhový tvar jen při určité teplotě, jinak je eliptická, a to (jsou-li ramena mosazná a věnec ocelový) podle *a* při vyšší teplotě podle *b* při nižší teplotě. Do věnce této setrvačky jsou zasazeny opět kompenzační šroubky, jejichž je méně než otvorů se závitem a je jasné, že i zde můžeme měnit stupeň této přidavné kompenzace podle toho, zda šroubky stěhujeme více k ramenům anebo doprostřed půlky věnce. Tento princip se osvědčil velmi dobře a byl realizován v poslední době způsobem zvlášť elegantním, když Straumann využil anisotropie některých slitin, obsahujících zinek.

Plechý vyválnované z těchto slitin mají nápadně odlišnou tepelnou roztažnost ve směru válcování a ve směru příčném. Jestliže z takového plechu vyrazíme a pak osoustružíme setrvačku, bude tato setrvačka kruhová jen při té teplotě, při které byla vyrobena, právě tak jako setrvačka Voletova, a i úprava kompenzace se provede stejným způsobem. Podle uveřejněných číslic lze soudit, že u běžných hodiněk je možno sekundární chybu zmenšit na zlomek sekundy. Na Straumannově setrvačce, právě tak jako na Guillaumeově vidělaných materiálu.

Voletovy setrvačky užila americká továrna Hamilton i pro námořní chronometry. Setrvačka, jejíž ramena jsou z invaru a věnec z nerezavějící oceli, je znázorněna ve skutečné velikosti na obr. 123, kde je vidět i kompenzační šroubky. Přemisťováním šroubků lze měnit teplotní koeficient asi o 0,5 s/d na 1° C. Dobu kyvu lze seřadit matkami 1,1 a ještě jemnější pak matičkami 2,2.

VIII. Kroky pro kyvadlové hodiny

Má-li oscilátor sloužit k měření času, je třeba jeho kyvy počítat, a poněvadž ztrácí útlumem energii, je třeba přivádět mu novou energii. Nejčastěji mechanismus, který udržuje oscilátor v pohybu, zároveň počítá a ručkami ukazuje uplynulý čas. Většina oscilátorů je udržována v pohybu mechanickými impulsy, které dodává hodinový stroj. Tento hodinový stroj má převody takové, aby jednotlivé hřídele mohly nést ručku sekundovou, minutovou a hodinovou. Nyní je třeba nějakého prostředníka mezi hodinovým strojem a mezi kyvadlem nebo setrvačkou. A tím je *krok*, mechanismus trvající nebo jen periodicky spojený s oscilátorem a trvale spojený s hodinovým strojem. Součástí každého kroku je ozubené kolo, nazývané stoupací kolo nebo také stupník, opatřené speciálním ozubením. Toto kolo zabírá buď přímo s oscilátorem nebo přes nějaký člen zprostředkující. Konstrukcí kroků je několik set, v praxi však se osvědčily nečetné konstrukce a všeobecně se jich rozšířilo jen několik málo. V této kapitole probereme kroky zevrubně a soustavně; budeme mluvit i o systémech málo užívaných, po případě již skoro zapomenutých, pokud jsou zajímavé historicky, technicky, nebo užitečné pro porozumění otázce.

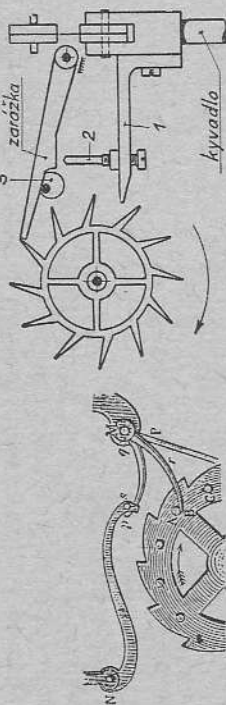
Bývá zvykem kroky dělit podle toho, jak se chová stoupací kolo, když kyvadlo dokončuje kyv. Na kroky vřetenového měli jsme příklad kroku *vřeteného*; stoupací kolo v pauze mezi impulzy je tlačeno oscilátorem zpět, vrací se. Druhou kategorií jsou kroky *klidné*; stoupací kolo v pauzách nehybně stojí. Jinak můžeme kroky dělit podle toho, zda stoupací kolo dává impuls přímo nebo pouze přivede do původní polohy součást, která před tím udělila impuls. Tento druhý typ jsou kroky s „*konstantní silou*“. Síla impulsu u nich nezávisí na hnačí síle hodinového stroje. Třetí možné dělitko je čas, po který je oscilátor spřažen s hodinovým přístrojem. U kroku vřetenového je oscilátor stále v záběru se stoupacím kolem. Jsou však jiné kroky, kde naopak oscilátor po

většinu kyvu je volný a jenom na okamžik vejde do záběru s krokovým mechanismem: To jsou kroky *volné*.

V praxi užíváme všech těchto kroků. Pro hrubší a malé kyvadlové hodiny se hodí krok vratný. Je-li hnací síla stroje proměnná, jak je tomu na příklad u stroje věžního, je na místě krok s konstantní silou. Jde-li o maximum přesnosti u stroje se setrvačkou, užíváme vždy kroku volného. U hodin kyvadlových daly dobré výsledky jednoduché kroky klidné a teprve v poslední době daly skvělé výsledky kroky s konstantní silou.

Krok Galileův

Vřetenový krok není třeba dále probírat po tom, co bylo řečeno v kapitole II. Nehodí se pro přesnější hodiny, poněvadž nepřipouští ani žádoucí malé amplitudy kyvadla, ani potřebné veliké amplitudy setrvačky. Galileo v otázce kroku byl mnohem dále nežli Huygens; jeho krok je na obr. 124, vztahem z prostaré publikace. Kyvadlo *P* otáčí se kolem čepu *M*, na kterém jsou připevněny dvě páčky *q*, *r*. Stoupací kolo má dvoji ozubení: jedno pilovitého tvaru na obvodě, druhé ve formě kolíků na boku. Mechanismus je doplněn zarážkou *p* ve formě háku otočného kolem čepu *N*. V kreslené poloze kyvadlo dokončuje pohyb doleva, zarážka je zdvižena a páčka *r* tlačí kolík stoupacího kola zpět. Při zpátečním chodu kyvadla kolík *A* dává impuls páčce *r* dokud zarážka (spočívající na páčce *q*) nezachytí stoupací kolo.



Obr. 124.

Od tohoto okamžiku je kyvadlo volné, dokončí nerušeně chod doprava a vrací se. Při návratu nadzvedne zarážku, tím stoupací kolo je uvolněno, učiní krátký skok a jeho kolík dotehne na páčku *r*; mechanismus je zase v původní poloze. Vidíme tedy, že Galileův krok je vratný, že však ponechává kyvadlo volné dobrou polovinu času. Je proto lepší než starý krok vřetenový a může dosáhnout podstatně lepších výsledků. Jak pěkný je to mechanismus vidíme na obr. 125, kde je proveden dnešními prostředky a v účelné formě.

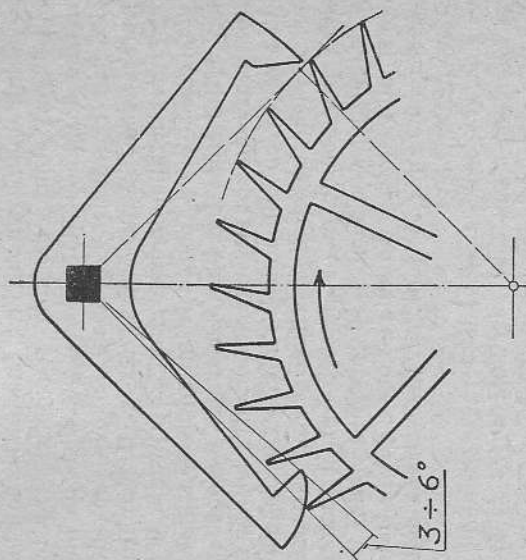
Stoupací kolo má jednoduché zahrocené zuby, a otočná osa zarážky je blízko otočné osy kyvadla, aby se omezilo zbytečné tření mezi kyvadlem a zarážkou. Rameno *1* pevně spojené s kyvadlem zabírá svým koncem do stoupacího kola a stavěcím šroubem *2* působí na zarážku. Zarážka v klidu nespočívá již na stoupacím kole, nýbrž na dorazu *3*, který je na excentru, aby se dala nastavit hloubka záběru se stoupacím kolem. V této formě dává krok docela

dobré výsledky a stojí za zmínku, že před válkou Jaisle užil tohoto kroku pro obyčejné kuchyňské kyvadlové hodiny; ačkoli vše bylo provedeno nejlacinějšími metodami seriózy výroby („plechárna“) byly výsledky mnohem lepší než jsme zvyklí očekávat od tohoto druhu hodin. Zvěčňelý ing. Šimek, profesor pražské techniky a znalec hodinářství, měl ve svém kabinetě stojací hodiny pod „šturem“ s půlsekundovým roštovým kyvadlem, opatřené krokem podobným; byl to krásný výrobek pražského mistra z minulého století a je škoda, že se hodiny ztratily, když budovy techniky byly obsazeny Němci.

Krok kotvový

Kotvový krok navrhl Robert Hooke 1675, ve formě ještě nedokonalé, a provedl 1870 zmíněný již Clement ve tvaru, jakého užíváme dodnes. Na obr. 126 není na první pohled vidět žádnou podobnost s krokem vřetenovým. A přece šikmé zuby Clementovy kotvy působí podobně jako lopatky kroku vřetenového, jen s tím rozdílem, že záběr mezi zubem a lopatkou je podobný záběru ozubených kol, kdežto zuby kotvy působí jako nakloněné roviny. Bylo by těžké pouhými slovy přesně popsat vzájemné

působení mezi kotvou a stoupacím kolem. Čtenáři, který chce funkci kotvového kroku dokonale seznat, doporučuji tento způsob: obrazec, který je reprodukován umylně ve velkém měřítku, okopírovat na průsvitný papír, zvlášť stoupací kolo a zvlášť kotvu a obě součásti připechnout špendlíkem ve správné vzájemné poloze. S tímto modelem může čtenář pak ztrávit velmi užitečnou půlhodinku. Přesvědčí se, že krok je vratný jako vřetenový, že však připouští daleko menší amplitudy, poněvadž impulsní plošky mohou být mnohem dále od osy kotvy, a dále, že je určitá amplituda nutná, aby krok začal vřebec fungovat. Jak je vidět na obrázcích, zub kotvy je asi v tom místě, kde by se přímka vedená ze středu otáčení kotvy dotýkala obrysové kružnice stoupacího kola. Tento „záběr na tečnu“ je obvyklý u všech kroků a má své dobré přičiny. Na obr. 128 vidíme otáčivý kotouč, na který doléhají dvě páčky. Z nich páčka *1* působí na tečnu, páčka *2* svírá s tečnou úhel β . Otáčíme-li kotoučkem v různých směrech, bude tření v obou směrech stejné, bude-li na kotouč doléhat páčka první, neboť tření směřuje do bodu otáčení páčky a nevyvodí moment,

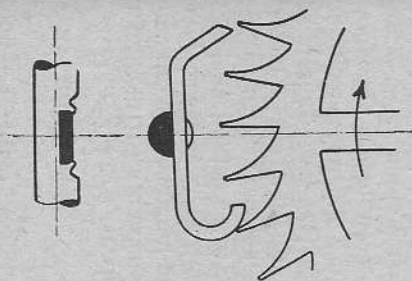


Obr. 126.

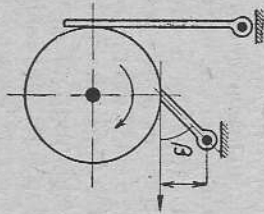
Naproti tomu u páčky druhé bychom zjistili větší tření ve směru šipky než při otáčení opačném, neboť směr tření neprochází bodem otáčení páčky a tím vyvodí moment, kterým se zvětší nebo zmenší přítláčovací síla. Je-li úhel β dost velký, je otáčení kotouče nemožné, neboť páčka se vzepře a působí jako západka (takových třecích západek se užívá ve strojnictví, na př. v podávácím ústrojí rámových pil).

S kotvovým krokem bylo dosaženo výsledků nesrovnatelně lepších, než s vřetenovým a byl nazván dokonce „královský“. Ve spojení s těžkým, dobře zavěšeným a dobře kompensovaným kyvadlem lze denní variace hodin snížit na několik málo sekund denně. Krok se udržel dodnes pro malé hodiny s krátkým kyvadlem a pružinovým pohonem. Tím, že je to krok vratný, působí na kyvadlo jako přidavná direkční síla a zrychluje dobu kyvu tím více, čím větší je couvnutí čili návrat stoupacího kola. Theoreticky by bylo možno dosáhnout doby kyvu nezávisle na hnačí síle, jak i prakticky ukázaly pokusy provedené Bertholdem. Zvýšená hnačí síla zvětší amplitudu kyvadla; nezapomínejme však, že kyvadlo je po větší část kyvu pod vlivem zmíněné direkční síly a tím může být kompensován a dokonce překompensován vliv zvýšené amplitudy. Je-li návrat dost veliký, mohou hodiny s kotvovým krokem jít při zvýšené hnačí síle rychleji. Tato kompensace stačí pro hodiny méně přesné, nestací však pro vyšší požadavky, neboť se tu uplatňuje citelné tření mezi zuby stoupacího kola a kotvy; nikdy nesmíme zapomenout, že tření je vždy veličina nejistá a proměnná.

Kotvový krok se provádí v různých modifikacích. Délka, a tím také rozevření kotvy se může měnit v širokých mezích podle toho, jak velkou amplitudu chceme dát kyvadlu; čím větší amplituda, tím kratší kotva a naopak. Zuby mohou mít plošky rovné, ale zkušenost ukázala, že se méně opotřebí, jsou-li trochu zakřivené, ploška předního zuby vypouklá jako na výkrese, ploška zadního zuby trochu vydutá. Kotva se pravidelně dělá masivní ocelová, kalená, a pracovní plochy jsou vyleštěné. U hodin nejlacinějších najdeme kotvu zhotovenou z pouhého pásku ocelového plechu podle obr. 127. Podobně krátké kotvy, ať již masivní nebo jenom z plechu ohnuté, se užívá u budků pro pohyb zvonkového kladívka. Jiné zjednodušení je kotva, která nemá zuby, nýbrž jenom dva ocelové kolíčky (rovnoběžné s osou otáčení). V této formě se kotvy málokdy užívá pro kyvadla, zato často k pohybu budíkových paličky.



Obr. 127.

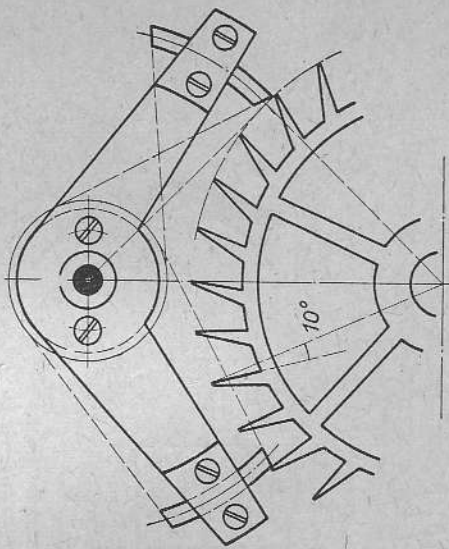


Obr. 128.

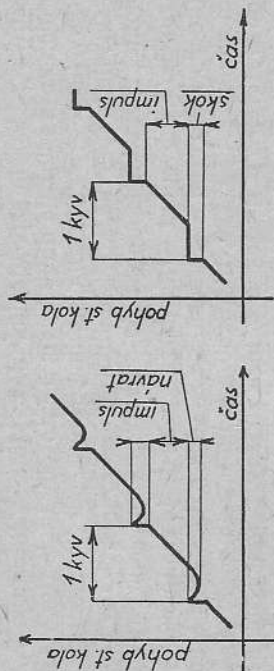
Grahamův krok

V prvním díle bylo popsáno, jak Graham (1715) jednoduchou modifikací podstatně zlepšil Clementův krok kotvový. Tam byla také popsána funkce Grahamova kroku. I zde je možno doporučit čtenáři, aby si udělal papírový model podle obr. 129. Grahamův krok je typický krok klidný, ne však volný; neopnechává kyvadlo takřka ani na okamžik na pokoji; nedostává-li kyvadlo právě impuls, musí alespoň vláčet vidličku a kotvu, která se tře o zub stoupacího kola.

Pohyb stoupacího kola v závislosti na čase je možno znázornit graficky, jak je tomu na obr. 130 pro krok kotvový, a na obr. 131 pro krok Grahamův. Zajímavé je sledovat, ve kterých úhlových polohách kotvy (a tedy také kyvadla) dochází k popsáným dějům. To je znázorněno na obr. 132, kde je vidět záběr zuby (levého) kotvy se zubem stoupacího kola. Je nutné, aby zub stoupacího kola dopadl na kotvu, když levá hrana jeho zuby sestoupila o malý úhel β_2 pod kružnici stoupacího kola. Můžeme tento úhel nazvat úhlem záchytu nebo záchytným. Druhý přesně definovaný úhel β_1 je ten, který kotva opíše, pokud dostává impuls; to je úhel impulsní. Celkový pohyb kotvy od jedné úvratě ke druhé musí být zřejmě rovný součtu úhlů záchytného β_2 a úhlu impulsního β_1 , má-li krok vůbec fungovat. Ve skutečnosti je tento celkový úhel kyvadla vždy větší, kyvadlo jaksi vyběhne na každé straně přes nezbytou míru o úhel β_0 , který proto můžeme nazvat úhel výběhový. U přesných hodin bývá impulsní úhel 1—1,5° a výběhový úhel asi 0,5°, záchytný



Obr. 129.

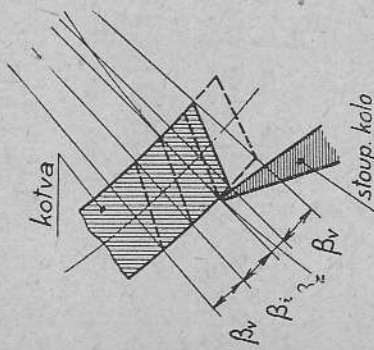


Obr. 131.

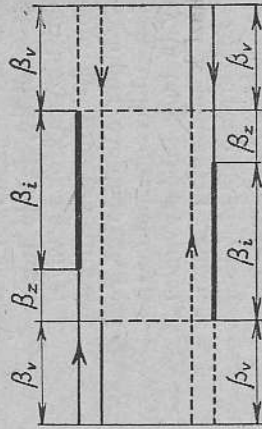
Obr. 130.

úhel pak (podle přesnosti provedení) několik málo desetin stupně. Úhly impulsní a záchytový jsou neproměnné a dány konstrukcí kroku; naproti tomu úhel výběhový se mění s kolísáním hnací síly stroje.

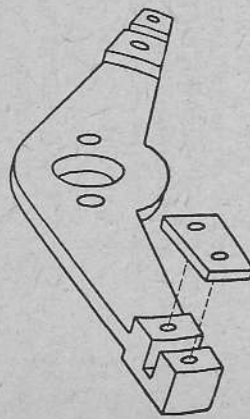
Všechny tyto úhly si můžeme znázornit graficky v rozvinutí do přímky, jako na obr. 133. Na diagramu je na první pohled vidět, že impuls, jehož úhel je znázorněn tlustou úsečkou, se odehrává z větší části za střední polohou kyvadla. Ve skutečnosti leží těžiště impulsu ještě dále za střední polohou, než jak ukazuje obr. 133. V okamžiku, kdy byl měl impuls začít, stoupací kolo je v klidu, musí



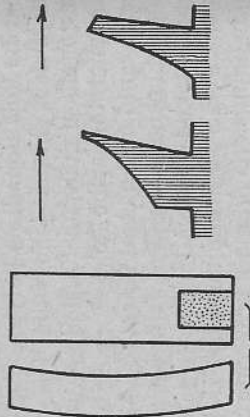
Obr. 132.



Obr. 133.



Obr. 134.



Obr. 136.

Obr. 137.

být teprve urychleno a na to se spotřebuje část hnací síly stroje. Impuls tedy nastává s jistým zpožděním. Jak víme z kapitoly V., impuls za střední polohou prodlužuje dobu kyvu. Tento vliv bude tím větší, čím větší část z celkového pohybu kyvadla zaujímá impuls, čili čím menší je amplituda. V tomto smyslu je správné, když hodináři říkají, že Grahamův krok zrychluje velké oblouky. Zvětší-li se amplituda, vliv kroku zmenšuje cirkulární chybu.

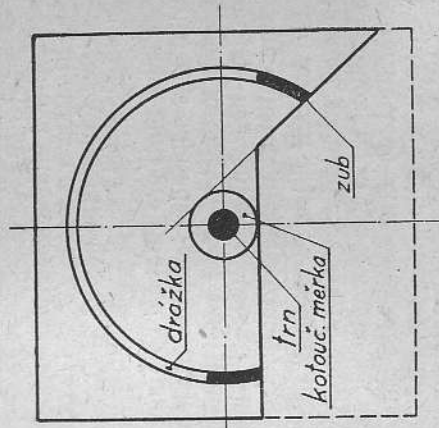
Konstruktivní provedení Grahamova kroku je jednoduché. Kotva může být z jediného kusu oceli a zakalená. Lepší však a dnes všeobecně užívané je provedení na obr. I. 380, 129, 134. Kotva je mosazná a ocelové zuby jsou sazány do vytvořených drážek a v nich drženy přítlačnými destičkami a šroubky. Ještě lepším materiálem pro zuby je kámen, na př. karneol. V pro-

vedení nejlepším jsou do zubů, jak ukazuje obr. 135, vyfrézovány zářezy, do kterých jsou zašlakovány zuby safírové. Ocelové zuby mívají vybroušenou impulsní plošku na obou koncích; je-li opotřeben kotvy pokročilé, zub se jednoduše vyjme a obrátí (obr. 129). Kotva je na svůj hřídel naražena, v lepších hodinách je nasazena a dvěma šroubky upevněna na přírubu, která je naražena na hřídel a event. na něm definitivně osoustružena.

Aby se zmírnily údery stoupacího kola na zuby kotvy a tím opotřeben, je dobře, když stoupací kolo má co nejmenší moment setrvačnosti. Proto je neúčelnější tvar zubů jako na obr. 129. Méně účelné jsou krátké zuby podle obr. I. 380; často se setkáváme s tvarem podle obr. 136, pro robustnější krok věžních hodin je účelný tvar jako na obr. 137, kde část impulsu přejímají šikmé plošky na zubech (zuby kotvy musí být o to užší).

Grahamův krok, jak ukázala zkušenost, bylo řešení lepší než mohl tušit vynálezce. Není snadné theoreticky odůvodnit, proč dává výsledky tak dobré. Zřejmě souhra všech činitelů je tak dobrá, že jsme mohli s tímto krokem vystačit jeden a půl století, a to i pro hodiny nejpreciznější. Teprve v novější době Riesler a jiní dosáhli lepších výsledků kroky jinými. Nematou výhodou Grahamova kroku je poměrně snadná výroba. Kotvy lze zhotovit (obr. 134) tak, že se vysoustruží mosazný kotoúč, a do něho se speciálně udělaným nožem vytvoří drážka; z kotoúče se vyřízne kontura kotvy. Ocelové zuby lze snadno zhotovit osoustružením prstence, svinutého ze čtverhranné oceli a stříbrem spájeného. Po zakalení se prstenec rozláme na kousky, které se pak obrousí a vyleští s pomocí vhodných mosazných kotoúčů na soustruhu. Správné vybroušení impulsních plošek je snadné, jestliže k tomu použijeme přípravku podle obr. 138.

Návrh Grahamova kroku rovněž nečiní nečiní potíže, a je v podstatě dán počtem zubů, které objímá kotva. Na obr. 129 kotva zaujímá $7\frac{1}{2}$ rozteče. Angličtí hodináři rádi užívají počtu většního, $9\frac{1}{2}$ i $10\frac{1}{2}$, kdežto Kessels dával přednost počtu $6\frac{1}{2}$. Bylo popsáno dost papíru o této otázce; myslím, že zde je na místě cesta střední a že $7\frac{1}{2}$ roztečí není daleko od optima. Kdyby byly zuby dokonale špičaté a naprosto přesně provedené, byla by šířka zubů kotvy rovna poloviční rozteči stoupacího kola. Ve skutečnosti musíme zubům ubrat, poněvadž (jak bylo vysvětleno již u kroku vřetenového) stoupacímu kolu musíme popřát malý skok. Skok, který vždy znamená ztrátu energie a větší opotřeben zubů, můžeme volit tím menší, čím přesnější bude provedení. Pro orientaci čtenářovu uvedu číslice kroku, jehož kotva objímá



Obr. 138.

7 1/2 rozteči. Jsou uvedeny číslice poměrné, a v závorkách míry pro stoupací kolo průměru 40 mm.

Průměr stoupacího kola:		1	(40,00 mm)
vnější křidlové plochy	$d_1 =$	1,0392	(41,57 mm)
vnitřní křidlové plochy	$d_2 =$	0,9608	(38,43 mm)
tloušťka zubů kotvy	$1/2 (d_1 - d_2) =$	0,0392	(1,57 mm)
pro šablonu (podle obr. 138)	$d^3 =$	0,2170	(8,68 mm)
vzdálenost os	$\times =$	0,7071	(28,28 mm)

Číslice platí pro stoupací kolo s obvyklým počtem zubů 30 a pro impulsní úhel 1°. Podle udaných průměrů je možno vysoustružit z mosazného plechu přesné kotoučky, které mají soustředný vývrt tak veliký, aby šly těsně na trn, na němž se osoustruží těleso kotvy. Tyto kotoučky jsou měrkami, které zajišťují přesné rozměry.

V příkladě 2 jsme vypočetali práci, kterou vykonává stoupací kolo. Bylo to 4,86 g.cm/min.; ztráty třením v ozubených převodech stroje můžeme odhadnout na 17% a kyvadlo, jak už víme, spotřebuje průměrně asi 1,2 g.cm/min. Je tedy skutečná práce za minutu na obvodu stoupacího kola 4,03 g.cm/min. a z této práce kyvadlo dostane 30%. Tato značná ztráta energie je způsobena v první řadě třením. Její výpočet je dost nejistý, poněvadž nevíme, jak velký je opravdu koeficient tření. Výpočet, o který jsem se jednou pokusil, dal hodnotu ztráty 64% jestliže byl předpokládán koeficient tření $\mu = 0,15$.

V hodinářství nás takovéto ztráty nezajímají z důvodů hospodářských, jako je tomu ve strojnictví, nicméně i pro nás jsou to ztráty nežádoucí. Práce ztracená třením se změní v neškodné teplo, ale také působí opotřebením součástí. Zvýšená potřeba práce znamená také větší závaží nebo silnější hnací péro, a zvětšuje namáhání a opotřebením ozubených kol a čepů. Jak později uvidíme, u Grahamova kroku ztráty nejsou největší, a jsou kroky jinak výborné, u kterých ztráty činí řádově 90%.

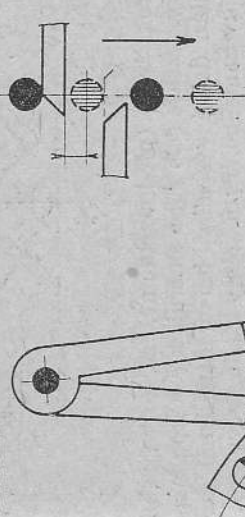
Kroky kuličkové

Grahamův krok byl různým způsobem modifikován. Žádná z těchto modifikací nedostihuje původní krok v přesnosti, může však být na místě z důvodů provozních nebo výrobních. Důležitou modifikací je kuličkový krok pro věžní hodiny, sestrojený 1741 Amantem a znázorněný na obr. 139. Změna spočívá v tom, že stoupací kolo je hladké a do jeho věnce rovnoběžně s osou jsou nasazeny kuličky. Kotva má tvar nůžek na koncích opatřených ocelovými zuby, na nichž jsou válcové plochy klidové a rovinné plochy impulsní. Hra kroku je jasná z obrázku a po tom, co bylo vysvětleno na kroku Grahamově. Je jasné, že zuby kotvy musí být vysazeny stranou, aby ramena nůžek nevedla stoupacímu kolu. Kdyby kuličky byly kruhového průřezu jako na obr. 140, musili bychom stoupacímu kolu dát dlouhý skok. Proto jsou kuličky odřezovány, jak ukazuje obr. 141, o polovinu své tloušťky

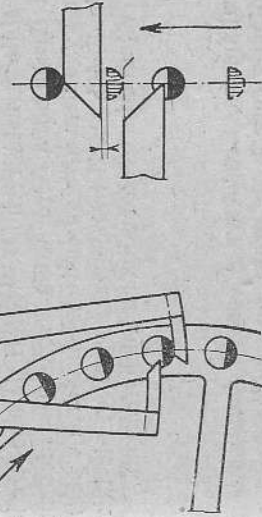
nebo ještě více. Nevýhodou Amantova kroku, spíše theoretickou než praktickou, je nesympetrická funkce, způsobená tím, že vzdálenost zubů kotvy od osy otáčení je nestejná. Tuto malou závadu odstranil Lepaute tím, že jak je znázorněno na obr. 142, dal s stoupacímu kolu dvě řady kuliček, s každé strany kola jednu. Ramena kotvy jsou přesazena a každé pracuje s jednou řadou kuliček. Krok je tedy kinematicky dokonale souměrný, ovšem tolo zlepšení je zapláceno složitější a výrobne dražší konstrukcí, a větší vahou stoupacího kola. Velká váha stoupacího kola je vřbec nevýhodou kuličkových kroků. Víme, že stoupací kolo musí být urychleno, aby mohlo dát impuls, a po skoku stoupací kolo udeří na zuby kotvy; poměry jsou tím horší, čím je stoupací kolo těžší.

Amantova kroku se hojně užívá pro věžní hodiny jednoduššího provedení, poněvadž připouští veliký, skoro neomezený výběhový úhel. To je důležité, poněvadž můžeme volit poměrně velké závaží, následkem toho velký výběhový úhel a máme rezervu pro případy, kdy hnací síla silně stoupá nebo klesá. To právě se stává u věžních hodin, kde vítr může vyvinout značné síly na ruce a kde stroj je vystaven během roku velikým rozdílným teplotám, které mění viskozitu oleje, a tím odporu v hodinovém stroji. U Grahamova kroku veliké výběhové úhly nejsou možné, poněvadž zuby stoupacího kola by začaly překážet zubům kotvy. Jednoduché věžní hodiny se dělají bez kotvy, a zuby jsou pak přímo přišroubovány na dřevěnou kyvadlovou tyč.

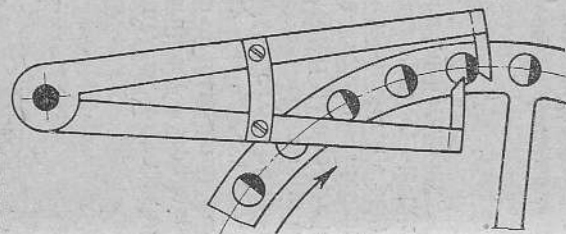
Dříve se Amantova kroku užívalo někdy pro přesné hodiny. V Praze je jeden takový stroj od Lepauta; kuličky jeho stoupacího kola jsou v celku s věncem.



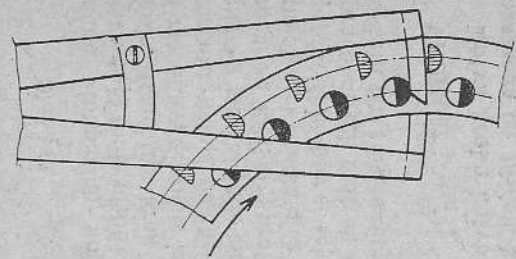
Obr. 140.



Obr. 141.



Obr. 139.

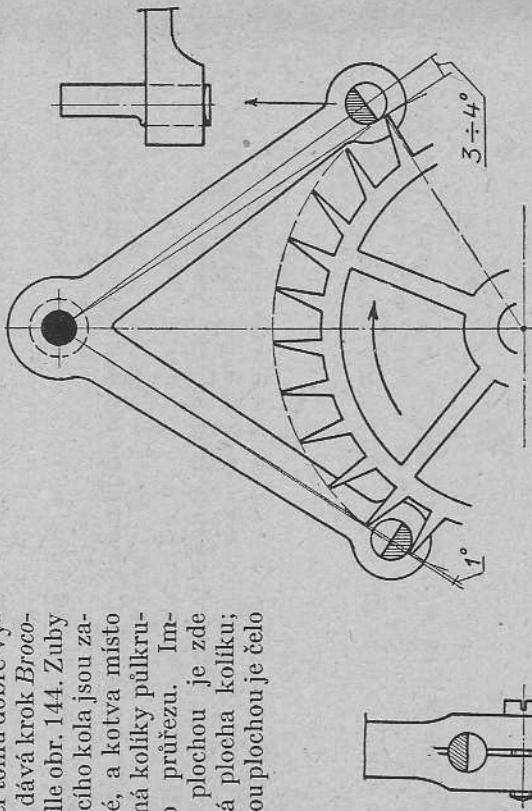


Obr. 142.

Krok Brocotův

Jiná modifikace, která ovšem není prázdným zlepšením kroku Grahama, je kotva, která má místo zubů pouhé kolíčky. Pak ovšem impulsní šikmé plošky i klidové plošky (postavené ve směru poloměru) jsou na začátku stoupacího kola. Nehledě k tomu, že krok takový není již přesně klidový, upotřebení kolíčků je značné, a proto se této formy málo používá.

Naproti tomu dobré výsledky dává krok Brocotův podle obr. 144. Zuby stoupacího kola jsou zahrocené, a kotva místo zubů má kolíky půlkruhového průřezu. Impulsní plochou je zde válcová plocha kolíku; klidovou plochou je čelo



Obr. 143.

zubů stoupacího kola, a krok tedy (předpokládáme, že kotva zabírá na tečně) bude přibližně klidový, jestliže čelo zubů směřuje k ose stoupacího kola. Brocotův krok dává velmi dobré výsledky, jen o málo horší nežli Grahamův, zejména jsou-li kolíky kamenné. Tyto kolíky lze do kotvy prostě zasadit, nebo lépe upevnit sevřením, jak ukazuje obr. 143. Válcovitá impulsní plocha působí jako nakloněná rovina se sklonem, který se během impulsu mění od 90° do 0°; proto impuls stále vzrůstá a jeho těžiště leží dále za střední polohou kyvadla než u kroku Grahama. Brocotova kotva lze užít pro přesnější hodiny se sekundovým kyvadlem a velmi často její najdeme v pěkně pracovaných malých stolních hodinách starší francouzské výroby, ale také, ovšem jen s ocelovými kolíky, v jednoduchých hodinách kuchyňských.

Vidlice

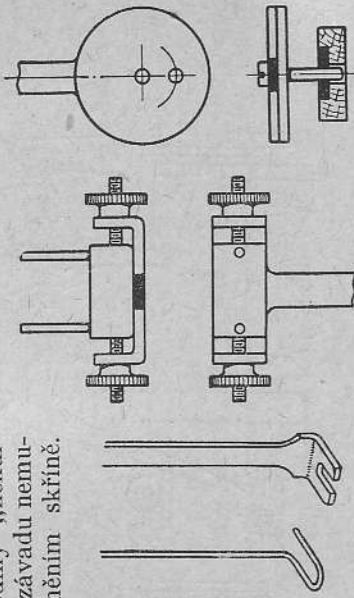
Kotva kroku kotvového, Grahama, Brocotova a často i Amantova je nasazena na hřídeli, který se otáčí v čepěch. Je proto nutný článek, který spojuje kotvu s kyvadlem. To se dělá již od dob Huygensových vidlic,

která těsně objímá kyvadlovou tyč. Provedení vidlice je velmi rozmanité podle druhu a kvality hodin; často pod slovem vidlice označujeme něco, co se vidlicí už v ničem nepodobá. Nejprostší provedení najdeme u starých „švarvaldek“, kde vidlice je prostě z ocelového drátu zohýbaného, jak ukazuje obr. 145. O něco lepší provedení vidíme na obr. 146, kde vidlička je zhotovena z plechu. Na vidlici žádáme, aby bylo možno změnit její polohu proti kyvadlu, aby hodiny „nekulhaly“, a abychom tuto záradu nemuseli odstraňovat nakloněním skříně.

U vidličky z drátu si ovšem pomůžeme ohnutím, vidlička plechová bývá s hřídelem často spojena pouhým třením, pro hodiny přesné však je třeba nějaké formy ustanovky.

Jedno takové provedení je na obr. 147, kde vidlička dole nese špalík, který lze dvěma matkami proti sobě působícími posouvat. Do špalíčku je naražen kolík nebo dva kolíky dle toho má-li vidlička objímat kyvadlovou tyč, nebo má-li zasahovat do štěrbin v tyči. Toto zařízení najdeme často u známých „pendlovek“, je však dost složité a nepřijemně zatěžuje vidlici. V tom ohledu je lepší unášecí kolík excentricky zasazený do koutoučku, otáčivého na konci vidlice (obr. 148).

Na téměř obrázku vidíme v řezu dřevěnou kyvadlovou tyč a kolíček zasahuje do štěrbin v malé mosazné destičce. Vidlička nemá mít velikou vůli, jinak vznikají ztráty tak veliké, že na př. zmíněné pendlovky, jejichž kyvadla mívají velmi malý výběhový úhel, se mohou i zastavit. Pro hodiny přesnější se často užívá úprav jiných; provedení firmy Strasser a Rohde je na obr. 149. Vidlička není nuceně spojena s kyvadlem, nýbrž jenom složkou váhy doléhá na pružinu, kterou lze stavěcím šroubem podle potřeby odehnout od kyvadlové tyče, a tím dosáhnout pravidelného tikání hodin. Podmínkou ovšem je, že rameno vidličky musí být tak

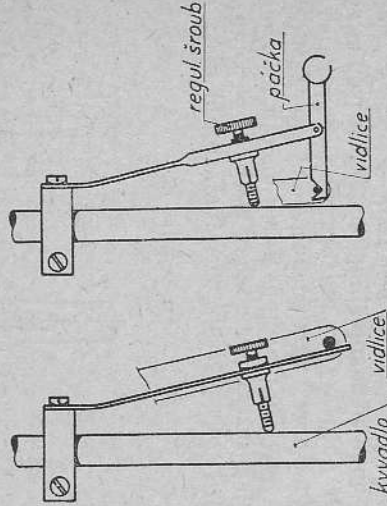


Obr. 145.

Obr. 146.

Obr. 147.

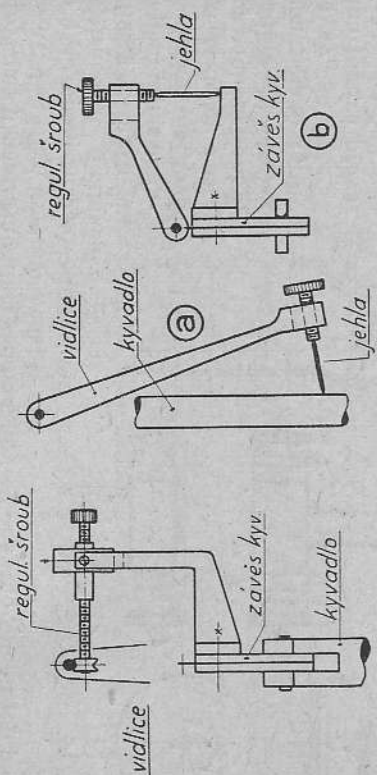
Obr. 148.



Obr. 149.

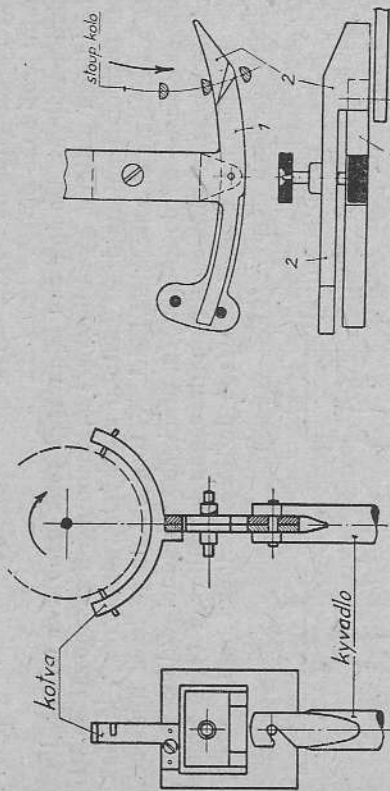
Obr. 150.

těžké, aby se tlakem stoupacího kola nemožilo oddálit od pružiny. Nevýhoda této vidlice (a všech předchozích) je v tom, že nemůžeme zabránit malým smykavým pohybům a tím také malému a ovšem proměnnému tření mezi vidlicí a kyvadlem. Tyto pohyby vznikají tím, že nesouhlasí přesné osa otáčení vidlice a kyvadla.



Obr. 151.

Obr. 152.



Obr. 153.

Obr. 154.

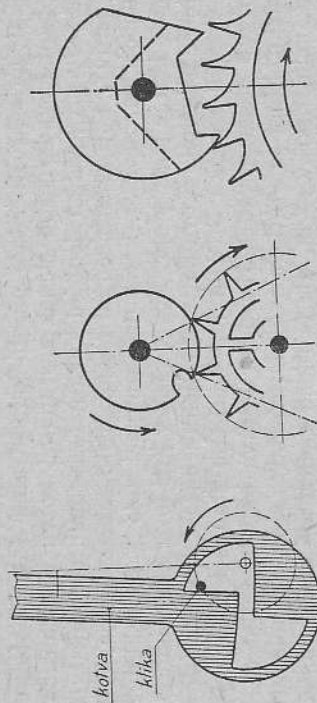
Byla proto vymyšlena zařízení složitější, z nichž jedno je na obr. 150. Vidlice je opatřena kolíkem, který zasahuje do žlábků páčky, opatřené závažím a otočné na kyvadlové tyči. Malé závažíčko tlačí páčku na kolík vidličky, tím je odstraněna vůle a zároveň je vidlička nadlehčována; o účelnosti tohoto nadlehčování byly vedeny spory. Ale ani tak toto zařízení, třeba dost složitě, nespínáje dokonale úkol. Vždy jsou ještě možné vzájemné pohyby, na př. když osa vidličky není přesně kolmá na rovinu kyvadla. Řešení dokonalejší, ovšem složitější a pracnější, podal K. Novák v Praze;

impuls působí nad závěsem kyvadla (obr. 151). Jednoduché je uspořádání podle obr. 152a, které je zjednodušením konstrukce Satorioho. Mezi vidlicí a kyvadlovou tyčí je vložena jehla oboustranně zahrocená, která jedním koncem sedí v důlku kyvadlové tyče, druhým v jamce regulačního šroubku, zavrtaného do vidlice. Jakékoliv nesouhlasy a chyby v provedení stroje nezpůsobí nic horšího než nepatrné otáčivé pohyby jehly, které prakticky nezpůsobí žádné tření. Těmto konstrukcím lze vytknout, že síla, přenášená vodorovně, může způsobit kmity závěsné pružiny; této výtky je prosta modifikace podle obr. 152b.

V zásadě je možno kotvu upevnit přímo na kyvadlo. Příklad je na obr. 153, kde kotva je nad závěsem kyvadla; je to zjednodušení, ale vyžaduje to, aby stoupací kolo bylo nejnižší položeným článkem hodinového stroje. To je snadné, je-li poháněcí závaží umístěno při straně skříně, nebo je-li pohon stroje elektrický. Nepříhodná je však montáž; ta je na obrázku usnadněna tím, že kotva je šroubkem a dvěma kolíčky připevněna na rámeček, na němž visí kyvadlo. Jiné možné řešení je postarat se o snadnou demontáž stoupacího kola. V obojím případě je montáž stížena tím, že musíme odebrat překážející číselník. Druhý příklad jsou malé a hrubé hodiny s krátkým a lehkým kyvadélkem, které se připevňuje rovnou na hřídel kotvy.

Jiné kroky klidové

Na obr. 154 je znázorněn krok, jehož kotva má jediné rameno a přece působí jako Grahamova. Klidová plocha, soustředná s osou kotvy, je ze dvou částí; částí pevné 1 a částí pohyblivé 2, ve formě páčky otočné na kotvě a nalevo zatížené tolik, aby pravý konec měl snahu se zvednout. Stoupací kolo je kolíkové. Pohybuje-li se kotva napravo, klouže kolík stoupacího kola po klidové ploše, dokud nepřeběhne spáru. V tom okamžiku páčka se zvedne, a při zpátečním pohybu kotvy sklouzne kolíček stoupacího kola po šikmé impulsní ploše kotvy. Tím se pohne stoupací kolo a následující jeho kolíček stlačí páčku 2 zpět do nakreslené polohy. Kyvadlo dostává impuls při každém druhém kyvu, kdežto u kroků předchozích při každém



Obr. 155.

Obr. 156.

Obr. 157.

kyvu. Při impulsu postoupí stoupací kolo o celou rozteč, na rozdíl od předchozích kroků, kde stoupací kolo při každém kyvu postoupí o půl rozteče. Tento krok je celkem zbytečná komplikace, a přece byla doba, kdy takovéto kotvy s pohyblivými zuby byly považovány za pokrok.

Místo stoupacího kola může zastat také praobčejná klika ve spojení s kotvou tvaru znázorněného na obr. 155. Je to opět krok klidový a klikový čep pohání kotvu tak, jako céva uzubené kolo. Klidové plochy jsou opět soustředné s osou kotvy, a změníme-li jejich tvar, můžeme z tohoto kroku dle libosti udělat krok vratný. Nevýhodou zde je, že klika při dvou kyvech udělá celou otáčku; bylo by tedy nutno mezi sekundový hřídel a kliku dát převod 30 : 1, a to ovšem znamená o dva hřídele ve stroji více. Lze však převést místo jednoho tři klikových čepů a převod snížit na 10 : 1. Není mi známo, zda tohoto kroku bylo použito pro hodiny; ale je na trhu zařízení k odměřování krátkých časů, kde je klikový krok.

Nejjednodušší a pravděpodobně také nejhorší je krok kotoučkový podle obr. 156. Na hřídeli kyvadla je kotouček opatřený zářezem, a zasahující do zubů stoupacího kola. Funkce je jasná bez dlouhého vysvětlování. Krok je zřejmě klidový a působí jednostranně jako krok na obr. 154. Závažnou nevýhodou je velká amplituda, která je nutná, jinak mezi kotoučkem a zubem stoupacího kola by snadno došlo ke zjevu, který byl znázorněn na obr. 128. I tak je tření obrovské a dalo by se zmírnit jen tím, že bychom kotouč provedli z kamene. To ovšem by cenově sotva unesly malé hodiny, které se ze starších dob ještě dochovály, a na kterých vidíme kyvadélko kývat před číselníkem v amplitudě 60—90°.

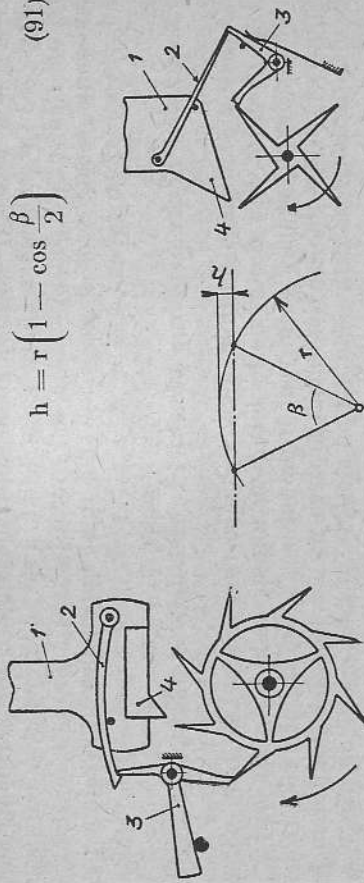
Konečně na obr. 157 máme krok, jehož levá strana je klidový krok bez impulsu a pravá strana odpovídá obyčejnému kroku kotvovému. Kotvička, která objímá pouze dvě a půl rozteče, je udělána z ocelového kotoučku. Samozřejmě i tento krok se hodí jen pro malé hodiny s velkou amplitudou, které slouží spíše k ozdobě než k přesnému měření času.

Kroky zarážkové

To je kategorie kroků, které působí jednostranně tak, že stoupací kolo přímo pohání kyvadlo nebo článek zastupující kotvu předchozích kroků. Impuls je tedy při každém druhém kyvu a Francouzi nazývají tyto kroky „à coup perdu“, t. j. se ztraceným rázem. Toto řešení předpokládá, že tu je ještě další člen, *zarážka*, která drží stoupací kolo v době klidu. Principiální uspořádání je jasné z obr. 158, a všechny jiné formy jsou pouhou modifikací tohoto principu. Kyvadlo 1 nese lehký háček 2, který při pohybu doprava vychýlí zarážku 3. Tím je vypuštěno stoupací kolo a jeho zub zachytí o zub 4, na kyvadle. Kyvadlo dostává impuls, zatím co háček 2 pustí zarážku, která se vrátí na svůj doraz. Když stoupací kolo vyklouzne ze záběru, učiní krátký skok, ale je ihned zachyceno zarážkou. Kyvadlo, jak patrně, je poměrně volné a jen krátkou dobu ve spojení se strojem. Potíž dělá záběr mezi stoupacím kolem a kyvadlem. Kyvadlo se pohybuje

v dráze téměř průmřkové a záběr by byl nepřipustně mělký, kdyby rozteč a tedy počet zubů stoupacího kola byly v obvyklých mezích. Jak je vidět na obr. 159, roztečnému úhlu zubu β odpovídá hloubka záběru daná rovnicí

$$h = r \left(1 - \cos \frac{\beta}{2} \right) \quad (91)$$



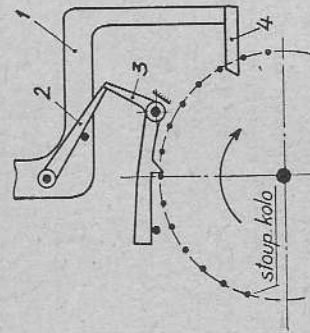
Obr. 158.

Obr. 159.

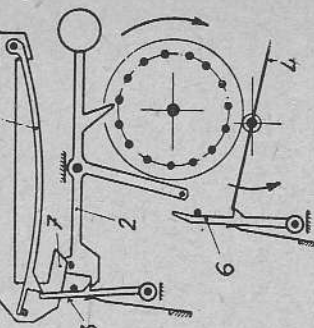
Obr. 160.

Z této rovnice vypočteme, že obvyklé stoupací kolo, které má 30 zubů a průměr 40 mm, by dalo záběr hluboký jen 0,22 mm; proto stoupací kolo musí mít malý počet zubů. Věc provedl do důsledků Cunynghame, jehož stoupací kolo má jen čtyři zuby (obr. 160). Jinak jeho zařízení úplně odpovídá předchozímu, až na to, že zarážka je na svůj doraz tlačena pružinkou.

Chceme-li nieměně použít stoupacího kola s obvyklým počtem zubů (aby nebylo o jeden hřídel více), můžeme to zařídit tak, jak ukazuje obr. 161. Stoupací kolo je količkové, a kotva má zub podobný zubu kotvy Amantovy. Hloubka záběru tu není otázkou, a kotva má zub podobný zubu kotvy Amantovy. Máme zvýšené tření, poněvadž količek se smýká po mnohem delší dráze. Jinak uspořádání odpovídá úplně formám předchozím, jejichž součásti byly na obrázcích označeny stejnými číslicemi.



Obr. 161.

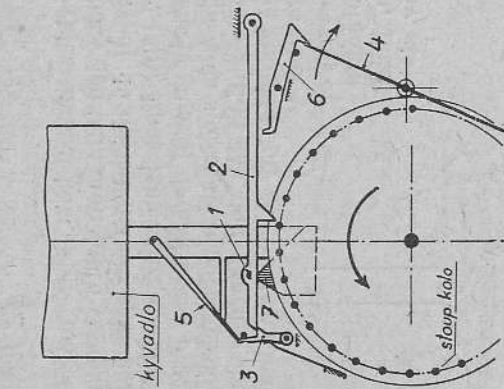


Obr. 162.

Krok podle obr. 158 najdeme na krásně pracovaných pařížských hodinách s púlsekundovým roštovým kyvadlem. Kyvadlo je nad strojem, stoupací kolo dáva impuls zoubku, jímž je ukončena kyvadlová tyč; je to krásný a elegantní, ale v provedení nákladný mechanismus. S formou podle obr. 160 dosáhl Cunyngghame výborných výsledků u sekundového kyvadla; krok byl umístěn rovněž pod kyvadlem, což ovšem je uspořádání pro konstrukci nevhodné, neboť krok a závěs kyvadla musí být spojeny navzájem pořádným kovovým rámem.

Zarážkové kroky nepřímo působící

Kroky z předěšlého odstavce byly výhodné tím, že kyvadlo bylo volné až na okamžik, kdy dostávalo impuls, a že impuls mohl být souměrný ke střední poloze kyvadla. Ovšem velikost impulsu záležela na hncací síle stroje. Impulsu konstantního lze dosáhnout krokem na obr. 162, jehož autorem je Garnier. Kotva 1 nedostává impuls od stoupacího kola, nýbrž od páčky 2,



Obr. 163.

kteřá v klidu je držena zarážkou 3. Stoupací kolo je kuličkové a převodem ozubeným do rychla pohání větrník 4. Kotva opět nese lehkou západku 5, která při pohybu doleva odstraní zarážku 3 a tím uvolní impulsní páčku 2, která sklouzne po šikmém zubu 7 a dá kyvadlu popud. Když páčka 2 vyklouzla, pokračuje v pohybu a narazí na zarážku 6; ta uvolní větrníček, a stoupací kolo zvedne páčku 2 do původní klidové polohy. Po návězdě páčka 2 opustila zarážku 6, větrníček po půlobrátce je znovu zachycen a mechanismus je opět v původní poloze. Modifikace tohoto systému

na obr. 163 pochází od Cunyngghama, a funguje zcela podobně, rozdíl je jenom v uspořádání součástek. Impulsní páčka nese kámen, který při impulsu sklouzne po šikmé ploše špalíčku 7, na konci kyvadlové tyče. Špalíček má stříškovou formu, aby v případě poruchy mechanismus těžkým kyvadlem nebyl rozbit.

Tyto kroky dávají kyvadlu přesně stejnou volnost jako jednoduché kroky zarážkové, a je to první příklad kroků s konstantní silou; proto je možno těmito kroky dosáhnout vysoké přesnosti. K plné cti přišla tato myšlenka teprve v době nejnovější, když návrat impulsní páčky neobstarává již stoupací kolo, nýbrž elektromagnet.

Zajímavou obměnou je krok Mannheimdtův na obr. 164; zde se setkáváme s další novou myšlenkou, s *impulsem občasným*. Tento impuls dáva páka 1 s těžkým válečkem 2, který sjede po nakloněné ploše 3 při pohybu kyvadla doleva, ale ne při každém pohybu, nýbrž jen jednou za minutu. Tuto minutu odpočítá třicetizubá rohatka 4 na kyvadle, poháněná západkou 5, a brzdná pružinou 6. Když uplynula minuta, kolík 7 na rohatce narazí na zarážku 8, ta uvolní rameno 9, upevněné na hřídeli, který je poháněn hodinovým strojem a nese větrník 10 a excentr 11. Hřídel se začne otáčet a excentr posadí impulsní váleček na šikmou plošku 3. Rychlost hřídele je větrníkem brzdná tak, aby váleček 2 nerušeně mohl dát impuls, než je excentrem zdvižen. Hned na to rameno 9 je zachyceno zarážkou a mechanismus je opět v klidu. Mannheimdtův krok dal výborné výsledky u věžních hodin a je i historicky důležitý tím, že ukázal výhody impulsu občasného.

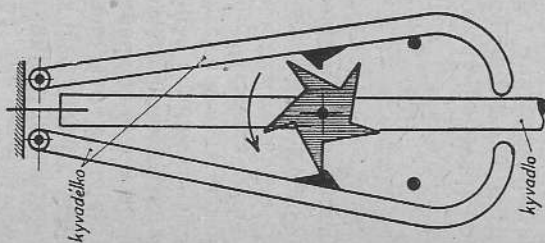
Kroky diferenciální (diferenční)

Předchozí kroky byly na první pohled jasně srozumitelné, poněvadž buď stoupací kolo přímo tlačilo na kotvu, nebo, jako u kroku Garnierova, tlačila impulsní páka jednoduchým a jasným způsobem. Kroky diferenciální však představují, tak říkajíc, vyšší mazanost; kyvadlo dostává konstantní impuls způsobem, který mnohým pozorovatelům se zdá skoro nepochopitelný. Věc však není tak složitá, jestliže si ji vysvětlíme postupně. Na obr. 165 vidíme kyvadlo a dvě kyvadélka, o jakých jsme mluvili k obr. 53. Kdyby nebylo stoupacího kola, kyvadlo by prostě střídavě naráželo na kyvadélka, a nestalo by se nic jiného, než že by se doba kyvu citelně zmenšila. Ale kyvadélka mají ozuby (na obrázku vyčerněné), na něž působí stoupací kolo. Představme si, že kyvadlo se pohybuje doleva; narazí na levé kyvadélko, jehož ozub vybaví stoupací kolo. Kyvadlo s kyvadélkem pokračuje v pohybu a vrací se. Ale nyní je rozdíl. Kyvadlo narazilo na kyvadélko, opřené o zub stoupacího kola. Avšak stoupací kolo se otočilo a bylo zachyceno ozubem pravého kyvadélka. Kyvadélko jde tedy s kyvadlem dále, pokud není zastaveno svým dorazem. Kyvadlo sebralo kyvadélko v poloze odchylené doleva a rozešlo se s ním v poloze dané dorazem. Při pohybu doleva kyvadélko spotřebovalo práci (kterou muselo kyvadlo hradit), ale při zpátečním pohybu vrátilo více, poněvadž vykonalo větší pohyb. Tento rozdíl

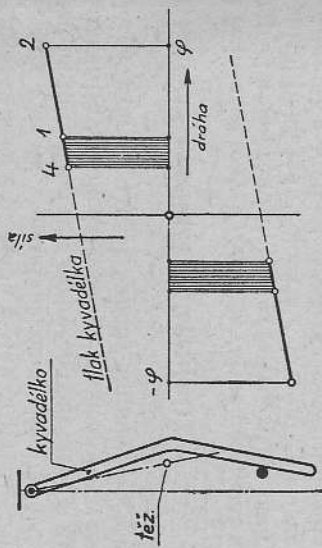
v pohybu a jemu odpovídající rozdíl v práci přijaté a odevzdané, je právě impuls, který kyvadlo dostalo. Proto jsem nazval tento druh kroků kroky diferenciálními. Kyvadélka na obr. 165 působí složkou své váhy; je jasné, že stejně dobře by to mohly být páčky, tažené pružinou.

Hru sil můžeme sledovat na obr. 166. Kyvadélko má těžiště v bodě p a při vychýlení odporuje silou, která trochu stoupá (podle toho, jak je rozdělena hmota kyvadélka). Vyneseme-li tento protitlak kyvadélka v závislosti na výchylce, dostaneme čáru, která je přibližně přímkou. Bod 1 na diagramu odpovídá okamžiku, kdy kyvadlo při pohybu narazilo na pravé kyvadélko. Kyvadlo se pohybuje až k bodu 2 a vrací se s kyvadélkem do bodu 4.

Práce jsou v diagramu znázorněny plochami, a tedy práce, která byla kyvadlu přivedena, čili impuls, je znázorněna šrafovanou ploškou. Tuto práci můžeme měnit libovolně tím, že měníme hmotu kyvadélka a její rozložení, a tím, že měníme vzájemnou polohu bodů 4, 1. Impuls dostává kyvadlo před střední polohou a v tom je rozdíl proti kroku Gra-



Obr. 165.



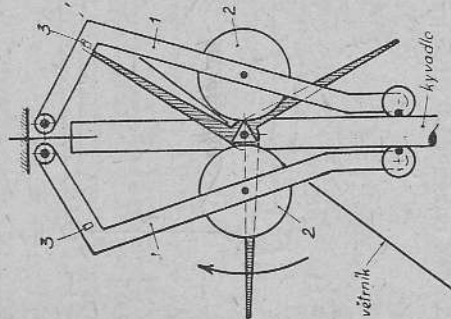
Obr. 166.

hamovu. Polohu šrafovaného lichoběžníku můžeme měnit tím, že změníme polohu dorazů a tvar ozubů na kyvadélkách; číselné poměry máme u těchto kroků do značné míry ve svých rukou. V provedení podle obr. 165 by krok byl sotva spolehlivý. Kyvadélko může být snadno odhazeno tak prudce, že se nevrátí včas, aby mohlo zachytit zub stoupacího kola, a proto stoupací kolo může proklouznout o jeden nebo docela několik zubů. Těto závadě je možno zabránit tím, že obě funkce, zachytit a zdvihání kyvadélka rozdělíme.

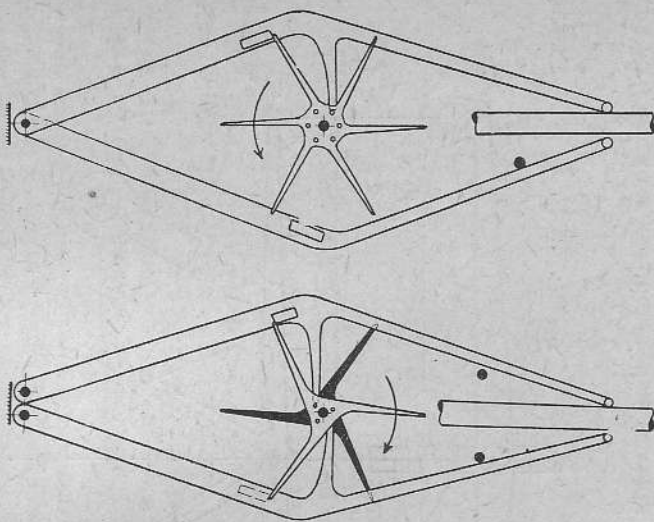
Pěkné řešení je na obr. 167. Místo stoupacího kola vidíme lehoučkou třícípou hvězdu a na téměř hřídeli malou trojhrannou vačku. Kyvadélka 1 nesou kolečka 2 a ozuby 3 pro hvězdu, která je zachycena na velikém průměru a její vybavení tedy vyžaduje velmi malou sílu. Naproti tomu kyvadélka jsou zdvihána vačkou malého průměru, tedy zvolna, a pohyb vačky je ještě brzděn větrníkem. Aby veliký a těžký větrník zbytečně nezvětšoval

setrvačnou hmotu stoupacího kola, je spojen s hřídelem třetí pružinou, která sklouzne, když stoupací kolo bylo zachyceno. Kyvadélka nepotřebují zvláštní pevné dorazy, které narážejí trojhranná vačka. Zato kolíky kyvadélek, na které naráží kyvadlo, jsou zasazeny excentricky ve válečkách, jimiž lze pootočit a tak setřít vůle.

Jiná modifikace je na obr. 168. Stoupací kolo tvoří dvě třícípé hvězdice, a k zvedání kyvadélek jsou mezi hvězdicemi zanýtovány tři kolíčky.



Obr. 167.



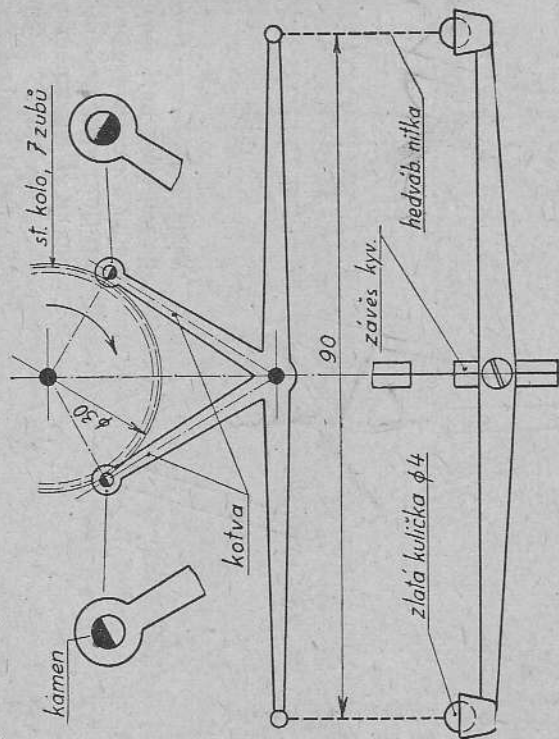
Obr. 168.

Každé kyvadélko má zachytný ozub, pro jednu z obou hvězdic. Tento krok pro věžní hodiny westminsterské zkonstruoval Grimthorpe (v literatuře najde-me také jméno Dennison; to se vysvětluje tím, že věhlasný právník Dennison stal se postupně sirem Beckettem a lordem Grimthorpem); použil ho po dlouhých úvahách, poněvadž šlo o stroj mimořádně velkých rozměrů a vysoké přesnosti. Rozhodnutí se ukázalo správným, a obrovské hodiny jdou více než půl století s chybami, které málokdy překročí jednu sekundu za den. Grimthorpeův „gravitační“ krok bychom našli na mnoha výborně jdoucích věžních hodinách jak v Anglii, tak i v jiných zemích, a v různých modifikacích byl vyráběn také u nás.

Na obr. 169 je modifikace význačná tím, že činnost kroku je jednostranná. Levé kyvadélko obstarává jenom zachyt šestizubého stoupacího kola, kdežto impuls dává kyvadélko pravé, zdvihané šesti kolíčky.

Na obr. 170 je krok Winnerlův, který vypadá odlišně ale funguje stejně jako kroky předchozí. Stoupací kolo má jenom 7 zubů, a nebýt zachytných

schůdků, podobalo by se spíše jakési vašce. Působí na páku, na níž na hedvábných vláčkách visí dvě kuličky ze zlata. Kyvadlo nese příčku, s malými achátovými kuličky na koncích. Již z toho je vidět, že tu jde o krok pro hodiny precizní; použil ho A. Lange pro dvoje astronomické hodiny, které



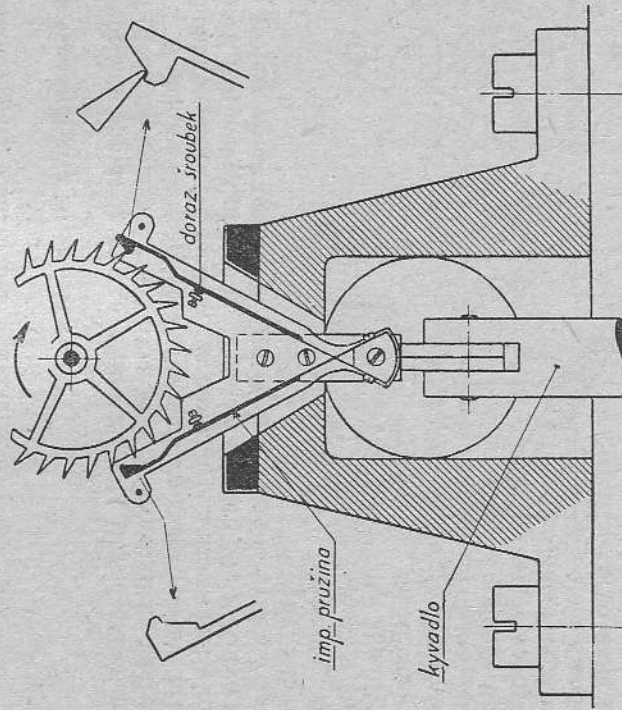
Obr. 170.

po 70 letech stále ještě dobře jdou. Základní rozdíl proti předešlým krokům je v tom, že zde nejsou oddělená kyvadélka, nýbrž ramena, která zabírají do stoupacího kola, jsou vcelku. To je umožněno tím, že páka je spojena s impulsními zavažičky článkem schopným přenášet pouze tah.

Krok Leroy

Dlouhou dobu byl gravitační krok považován za vhodný pro velké věžní stroje, ne však pro nepřesnější hodiny astronomické. Tak, jak se stavěl pro věžní stroje, se ovšem valně nehodil pro sekundová přesná kyvadla, která spotřebují velmi malou práci. Nicméně v několika případech se krok osvědčil; byly známé a měly dobrou pověst hodiny, které stavěl Fénon ve Francii a Tiede v Německu. Konstrukci kroku podrobila důkladné revizi stará pařížská firma Leroy et Cie, a dosáhla přesnosti, která překonala proslulé stroje Rieflerovy. Bude dobře uvědomit si nedostatků kyvadélkového kroku. V provedení Grimthorpeově otočná osa kyvadélek nesouhlasí s otočnou osou kyvadla; tím vzniká smykání a proměnlivé tření mezi kyvadlem a kyvadélky, které se snese u věžních strojů, ale citelně vadí u stroje nepřesnějšího. Nepomůže úplně, když za cenu značné komplikace rozvidlí-

me horní konce kyvadélek a dosáhneme sousoští, neboť skutečnou osu otáčení kyvadla přesně neznáme. Tření kyvadélek v jejich čepích může být rovněž pramenem chyb a dá se mu zabránit jediné tak, že kyvadélka zavěsíme na pružiny. Máme-li již jednou pružiny, není důvod, abychom neudělali kyvadélka zcela krátká a lehká, tak, že z nich jsou na konec impulsní pružiny. Dále můžeme užít jednoduchého triku, kterým odstraníme následky zmíněné nesousoští kyvadélek a kyvadla: Impulsní pružiny jednoduše nezakotvíme na rámu stroje, nýbrž na kyvadle. Nesousoští, která by jinak způsobila smykavé pohyby mezi impulsními páčkami a kyvadlem, může naneyvýš způsobit nepatrné otáčivé pohyby stoupacího kola, a to je spojeno s třením docela nepatrným.



Obr. 171.

Takto rozřešila problém firma Leroy, jejíž krok je znázorněn skoro ve skutečné velikosti na obr. 171. Impulsní pružiny jsou na kyvadle montovány tak říkajíc vzhůru nohama, a stoupací kolo je nad závěsem kyvadla. To na věci nic nemění, a ostatně firma u starších strojů dávala páčkám polohu obvyklejší, visutou. Jistý rozdíl je v tom, že v novém provedení malá váha páček působí proti předpětí pružin, a proto pružiny musí být o něco silnější a tím robustnější. Kyvadlo nese držák ve formě Y, k němuž je přišroubováno zakončení impulsních páček. Páčky jsou lehké ocelové a u kořene zeslabeny na tloušťku 0,05 mm, aby pružily; jsou zkržženy tím, že

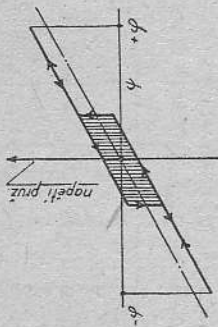
jedna z pružin je rozvídlena. Na zmíněném držáku vidíme ještě dorazné šroubky, o které se opírají páčky, když nespočívají právě na zubu stoupacího kola. Stoupací kolo je velmi útlé a jenom aktivní špičky zubů jsou širší, jinak je kolo osoustruženo na nejmenší možnou tloušťku. Ozuby na impulsních páčkách, na obrázku nakreslené schematicky, jsou ve skutečnosti safírové. Celý krok je proveden s krajní péčí, na př. dorazné šroubky jsou ze zlata a na páčkách jsou pro ně safírové destičky. Pozoruhodné je, jak jednoduchý mechanismus je diferenciální krok po těchto úpravách. Jediná místa, která vyžadují mazání, jsou ozuby na impulsních páčkách, a to ještě jenom tehdy, když hodiny jsou ve vzduchotěsném závěru, v němž je uměle vysušený vzduch. Dodávám, že firma v některých případech provedla impulsní páčky nikoliv již z oceli, nýbrž z nivaroxu.

Krok Grangerův a Strasserův

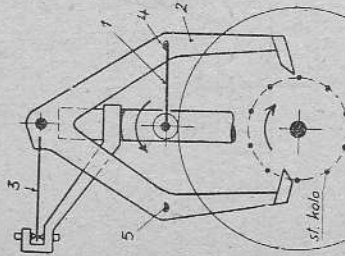
Diferenciální impuls je možno realizovat ještě jiným způsobem, jak to provedl před lety Granger, jehož uspořádání je schematicky znázorněno na obr. 172. Količkové stoupací kolo převodem do rychla pohání hřídelík nesoucí lehounkou páčku čili bičik 1. Na obrázku je nakresleno 10 količků, ve skutečnosti jich je 30 a převod na bičik je v poměru 30 : 1. Kotva 2 je s kyvadlem spojena pouze pružinkou 3, nese záchytné količky 4 a 5 a má šikmé



Obr. 173.



Obr. 174.

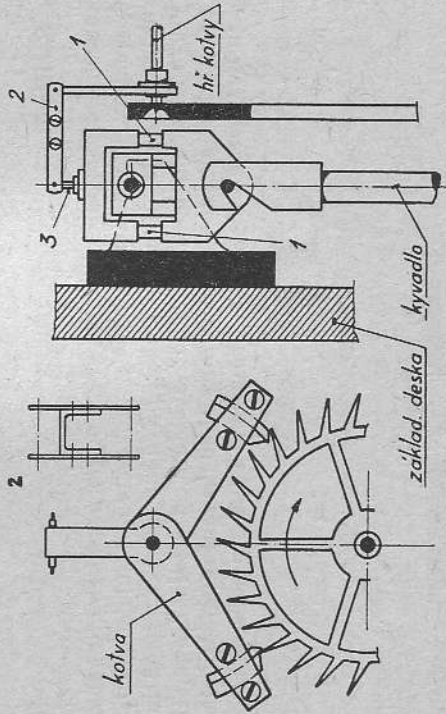


Obr. 172.

napětí, které působí proti pohybu kyvadla, dokončujícího výkyv. Kyvadlo se vrací, přeběhne střední polohu a při dalším pohybu začne ohýbat pružinku 3, až dojde k novému uvolnění bičiku.

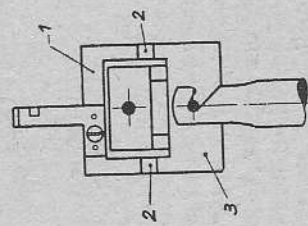
Pohyb kotvy rozvinutý časově je vidět na obr. 173. Kotva vždy vykoná malý pohyb potřebný k vypuštění bičiku, načež je stoupacím kolem přehozena na druhou stranu. Průběh napětí pružiny (nepřehlízíme-li k tření) vypadá jako na obr. 174. Šikmá čerchaná přímka odpovídá napětí pružinky, kdyby kotva byla nehybná. Pohyb kotvy po překročení střední polohy

zvyšší napětí pružinky. Následkem tohoto zpoždění pružinka předává kyvadlu energii, která na diagramu je znázorněna šrafovanou plochou. Velikost této plochy záleží v první řadě na tom, jak velký je pohyb kotvy a jak velká tuhost pružinky, za druhé na tom, kdy nastane přehození kotvy na druhou stranu; tento okamžik je ovšem trochu neurčitý, poněvadž záleží nejenom na tuhosti pružinky, nýbrž také na tření kotvy. Jako u kroků předchozího, impuls je nezávislý na hnačí síle stroje, zde však poměry nejsou tak přesně a nučeně určeny rozměry mechanismu.

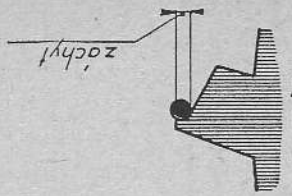


Obr. 175.

Grangerův princip byl mnohem později realizován v jiné, těžko říci lepší, formě Strasserem. Jeho krok znázorněn na obr. 175, podržel obvyklé uspořádání kotvy a kyvadla, avšak kotva není spojena s kyvadlem vidlicí, nýbrž pružinami 1, které jsou zanýťovány do pružinového závěsu kyvadla. Aby se předěšlo neurčitostem vznikajícím všude, kde jsou pružinové klouby, obstarává spojení lehký rámeček 2, který je skloben napravo s ramenem na hřídeli kotvy, nalevo nese obláčivé količek 3; ten hrotem doléhá do provrtaného kamene, zasazeného do přičky, v nichž jsou zanýťovány horní konce impulsních pružinek. Funkce je stejná jako u Grangerova; stoupací kolo má špičaté zuby, a kotva má zuby se schodem (vytvořené ze dvou zubů vsazených do kotvy). Tření, potřebné k vybavení stoupacího kola, je větší nežli u Grangerova, kde kotva vypouští bičik, na který působí síla mnohonás-



Obr. 176.

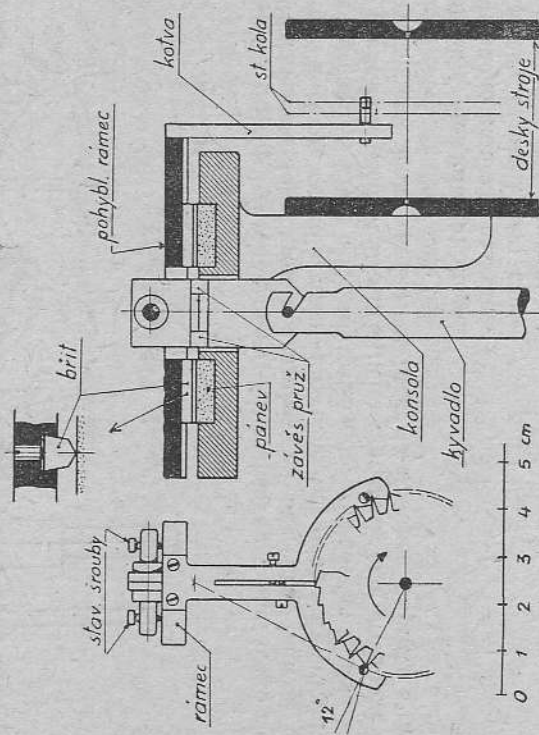


Obr. 177.

sobně menší. Strasserův krok je jednoduchý a snadný pro výrobu, ale nezdá se, že by dával výsledky vynikající. O jedněch dobrých hodinách bylo nezdvořile napsáno, že to je jediný známý příklad dobře jdoucích Strasserových hodin. Grangerovu myšlenku podstatně zjednodušil, i když nezlepšil, Satori (obr. 176), který dal kotvu rovnou na příčku I, do níž jsou vnyťovány impulsní pružiny 2, zasazené ve spodku 3 kyvadlového závěsu, právě tak, jako u Strassera. Stoupací kolo je ovšem zase nad kyvadlem, jako tomu bylo na obr. 153.

Krok Rieflerův

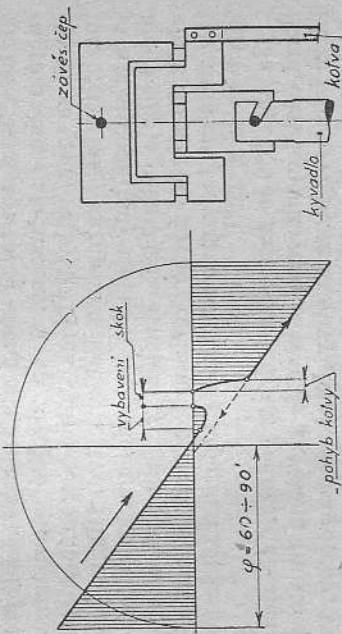
Tim konečně přicházíme ke kroku, který od počátku vzbudil veliký zájem, poněvadž hodiny jím opatřené začaly překonávat tehdejší rekordy přesnosti. Autorem jeho je Sigmund Riefler, původně inženýr a geodet, pak výrobce rysoval známého „kulatého“ systému, a hodinář amatér. Krok, kterým opatřil hodiny své vlastní výroby 1890 (se rtuťovým kyvadlem podle obr. 86), je Grangerova myšlenka, provedená naprosto odlišným způsobem.



Obr. 178.

Riefler neuvádí zvláštní impulsní pružiny, nýbrž dává dodatečně a střídavě předpětí závěsným pružinám kyvadla. Toho dosahuje tím, že závěs kyvadla není pevný, nýbrž visí v rámečku, který dvěma bríty spočívá na achátových páncích, a nese kotvu. Kotva má konat prudké malé výkyvy tak, jako kotva kroku Grangerova. To je možné zařídit jako Strasser, to jest dát kotvě zuby se schodem a užít obyčejného stoupacího kola se špičatými

zuby. Druhá možnost je dát kotvě kuličky a provést zuby stoupacího kola s šikmými ploškami, za nimiž následuje schod, jak ukazuje obr. 177. To by však vyžadovalo nepřipustně tenkých čípků, anebo příliš velkého záchytného úhlu. Riefler věc rozřešil tak, že užil stoupacího kola dvojitého, jak je vidět na obr. 178; jedno kolo má ostré zuby, které obstarávají jenom záchyt a příslušná část



Obr. 179.

Obr. 180.

količek je zbroušena do průřezu půlkruhového. Druhé kolo má jedno-
duché zuby šikmé (přelovitě), obstarává přehazování kotvy a působí na kořen kuliček, kde mají plný kruhový průřez. Tím zachytný úhel může být velmi malý, a aby vybavení stoupacího kola ještě ulehčil, natačí Riefler zachytné plošky kuliček do polohy znázorněné na obrázku. Hra kroku je stejná jako u Grangera s tím rozdílem, že zde se jenom mění ohybové napětí závěsných pružin. Platí tedy pro toto napětí diagram obr. 174, pokud ovšem nedbáme tření. Přesnější diagram jednoho pohybu z levé úvratí do pravé je na obr. 179; čtenář po předchozím výkladu nebude mít neshodu, aby se v diagramu orientoval.

Z konstruktivního provedení Rieflerova kroku je zajímavá kotva, jejíž rozvětvení lze rektifikačními šroubky způsobem, který jsme poznali již na obr. I. 294, a ovšem břitové uložení. Zrna jsou zapuštěna do drážek pohyblivého rámečku, pánce však nejsou zapuštěny, jak je nakresleno na schématu, nýbrž jsou zasazeny do ocelových kousků, které jsou s konsolou spojeny rektifikačními šroubky jako na obr. I. 408. Nevím, proč Riefler volil tuto rektifikaci, zbytečnou a nevalně přesnou, když práce mohl tyto pánce pevně zasadit a společně obrusit mnohem přesnější metodami dávno obvyklými v optickém průmyslu. Horní část kyvadlového závěsu je nesená příčkou, která dvěma zahrocenými šroubky spočívá v jamkách pohyblivého rámečku. Těmito šroubky lze zároveň měnit výšku závěsu kyvadla a setřít rovnoměrně, „odpadání“. Konsola s páncem je přišroubována na zadní desku hodinového stroje, a může se po ní v malých mezích svísel posouvat. Konečně celý stroj lze rektifikačním šroubem v malých mezích naklánět kolem osy rovnoběžné s osou stoupacího kola.

Ačkoliv krok sám je v podstatě jednoduchý, je konstrukce značně složitá, poněvadž (kromě zmíněné rektifikace páncí) jsou tam zařízení, která zabezpečují současti při transportu, a dále aretační zařízení, kterým lze rámec s bríty zdvihnout anebo posadit přesně na pánce. Rieflerovy hodiny se osvědčily výborně a existuje jich na pět set snad na všech hvězdárnách světa; u nás máme jeden takový přesný stroj (ve vzduchotěsném závěru a s elektrickým pohonem) ve sklepe hvězdárny Ondřejovské. Byly vedeny spory

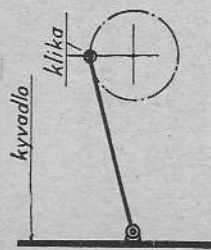
o to, jak dalece přesnost Rieflerových strojů je zásluhou kroku a jak dalece zásluhou mimořádně pečlivého provedení. Názory klomí se dnes k tomu, zvláště po zkušenostech se stroji Leroy, že krok s konstantní silou je za stejných okolností vždy lepší než krok přímo působící. Toho, kdo po prvé vidí Rieflerův stroj, překvapí hlučné údery, které připomínají spíše stroj věžní. Příčinou je to, že hnací síla musí být nadbytečná, aby se přehazování rámečku dalo ušescně, a že dvojitě stoupací kolo je poměrně těžké. Nezdá se však, že by to nějak vadilo, a v mnohaletém provozu se osvědčily jak břity, tak i karneolové kolíky kotvy. Dlužno ještě dodat, že tyto stroje jsou vždy opatřeny elektrickým pohonem, který bude později popsán, takže hnací síla je velmi stálá. Rieflerovy hodiny zlepšil Cottingham tím, že pánve uložil do silného litého kozlíku, k němuž je hodinový stroj přišroubován. Kyvadlo má tedy mnohem tužší podporu, a může nerušeně zůstat na místě, když se stroj čistí.

Na obr. 180 je nakreslen jeden z pokusů, jak zjednodušit Rieflerův krok; horní část kyvadlového závěsu je zavěšena (místo na ostří) na pružinách, které jsou sevřeny mezi obvyklými dvěma plechy; tyto plechy jsou kolíkem zavěšeny na kyvadlovou konsolu, jakoby šlo o obyčejný pružinový závěs.

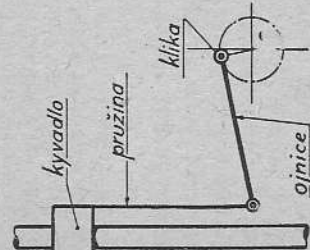
Kuriosní kroky

Kyvadlo lze udržovat v pohybu ještě různými jinými způsoby. Tak na příklad na obr. 181 je kyvadlo spojeno ojníčkou s obyčejnou klikou. To ovšem předpokládá zcela určitou amplitudu kyvadla, danou poloměrem kliky a tak abbé Soumille již v roce 1741 opatřil ojníčku podlouhlým výtezem pro klikový čep. Soumille tímto způsobem

poháněl kyvadlo 10 m dlouhé, není však dochováno s jakými výhledky. Jinak můžeme věc zařídit jako na obr. 182 tak, že ojníčka nepůsobí na kyvadlovou tyč přímo, nýbrž přes pružinu. Tento systém, který byl před válkou zkoušen Schiefersteinem, je theoreticky zajímavý a nikterak jednoduchý; je známo, že hodiny sly, ale Schieferstein toho nepoužil pro nějaké hodiny přesnější.

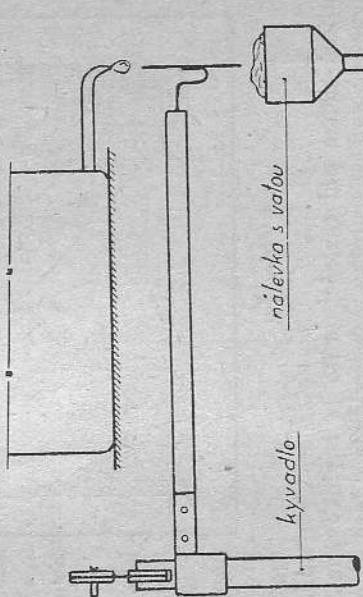


Obr. 181.



Obr. 182.

Pozoruhodný je magnetický krok na obr. 183. Mezi dvě části kyvadlové tyče je vložena spojka (z nemagnetického materiálu) jako banjo; v dutině banja je kroužek z měkkého železa, jehož rozvinutá část by vypadala jako na obr. 183a. V této dutině se otáčí tyčový permanentní magnet, nasazený na posledním hřídeli hodinového stroje. Zařízení funguje tak, jako kdyby obr. 183a představoval drážku, vyfrézovanou do vývrtu banja, a jako by místo magnetu byla dvě



Obr. 184.

ramena, která by do této drážky zasahovala. Zde ovšem vazba je použita ze magnetická; zvláštní tvar železného prstence dává kyvadlu možnost výběhu, aniž by se přetrhla magnetická vazba. Hodiny, tímto krokem opatřené, jsou dokonce v Anglii na trhu. Bylo referováno, že jim stačí mnohem slabší stroj než na jaký jsme zvyklí, ale není mi známo, zda tento krok byl zkoušen pro hodiny přesné. Jako klikový, tak i tento krok trpí nevýhodou, že v hodinovém stroji musíme mít nejméně o jeden hřídel více, i když na místě tyčového magnetu užíjeme čtyřramenného. Takové hodiny jdou přirozeně zcela tiše.

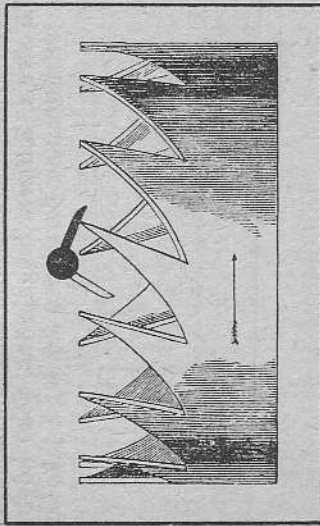
Konečně pro zajímavost uvedu prajednoduché zařízení, kterým lze udržovat kyvadlo v pohybu vodou, která po kapkách vytéká z nádoby. Trubička, ze které voda vytéká, má otvůrek, jehož velikost je třeba vyzkoušet. Takto lze udržet v pohybu těžké sekundové kyvadlo několika litry vody celý den (obr. 184).

IX. Kroky pro setrvačky

Staré přenosné hodiny měly vždy krok vřetenový a podržely jej i později, kdy hodiny kyvadlové již měly krok kotvový a Grahamův. Vřetenový krok nevyhovoval pro hodiny kyvadlové, ale nebyl o nic lepší pro hodiny se setrvačkou. Jeho největší nedostatek byl, že nepřipouštěl velké amplitudy, které jsou nutné zejména u hodin kapesních. A tak ve starých „špindlovkách“ najdeme lehounkou setrvačku průměru podle dnešních představ ohromného, spojenou se slabým vláskem, a kývající s malou amplitudou. Krok vypadal jako na obr. 185, který pro zajímavost otiskujeme podle jakési prastaré rytiny.

Jako tomu bylo v předešlé kapitole, i pro setrvačky existuje mnoho kroků, z nichž však po nešťastných zkušenostech se nakonec udrželo jen

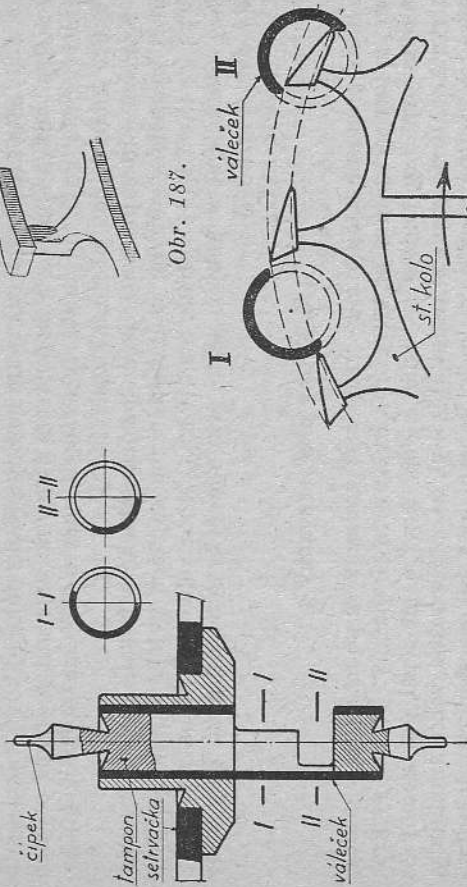
několik typů. Kroky tyto můžeme dělit podle toho, jak volná je setrvačka. Jsou kroky klidové, odpovídající kroku Grahamovu, ale pro přesnější hodiny užíváme důsledně kroků volných, kde setrvačka je spojena vždy jen na okamžik se strojem. Naproti tomu se valně neosvědčily kroky s konstantní silou a dnes se jich neuvžívá.



Obr. 185.

Krok válcový (cylindrový)

Cylindrový krok byl vynalezen ve formě ještě nedokonalé Tompionem 1695, a k dnešní formě přiveden Grahamem kolem r. 1720. Tento krok užívá principu Grahamova, ale ve formě zcela odlišné proto, že kotva zaujímá pouze půl rozteče; proto je zredukována na část dutého válečku, lépe řečeno část trubičky, jak ji vidíme v řezu na obr. 186. Zuby stoupacího kola mají složitý tvar podle obr. 187. Funkce kroku je vidět na obr. 188,



Obr. 186.

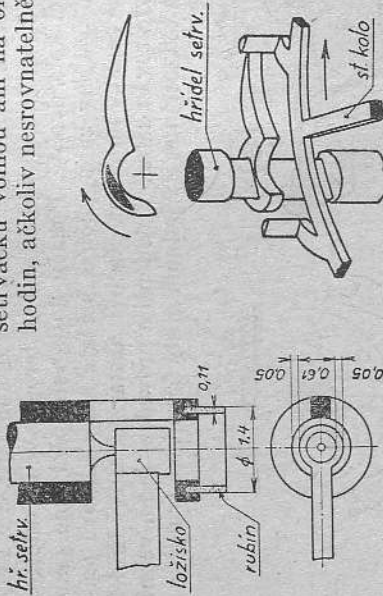
Obr. 187.

Obr. 188.

a není snad třeba ji zevrubně popisovat. Zvláštní forma zubů je nutná proto, aby sloupeček nesoucí hlavu zubu nepřekážel větším amplitudám setrvačky. Proto spodnější část válečku je ještě víc vyříznuta, jak ukazuje obr. 186, kde je zároveň vidět konstrukci válečku. Je to ocelová trubička, na

níž je naražen náboj pro nasazení setrvačky; do obou konců trubičky jsou zaráženy zátky (tampony), z nichž jsou vytvořeny čípky.

Válcový krok až do nedávna byl běžně vyráběn pro lacinější kapesní hodinky; jeho nespornou výhodou bylo, že hodinky šly, i když provedení kroku a jeho stav byly všelijaké. Vyrobit váleček byla běžná práce hodinářské náopraváře. Hlavní nevýhodou je veliké tření v klidu, které neopouští setrvačku volnou ani na okamžik. Proto také chod hodin, ačkoliv nestrovnatelně lepší než s krokem vřetenovým, nemohl vyhovět vyšším požadavkům. Někteří hodináři umělci prováděli krok s válečkem rubinovým, který dává podstatně menší tření.



Obr. 188.

Obr. 189.

Obr. 191.

Na obr. 189 je provedení Bréguetovo; váleček je umístěn letmo za ložiskem, které ovšem musí být velmi malého průměru. Všimneme-li si zapsaných kót, uznáme, že váleček je kabinetní ukázkou brusířského umění. Takového hodinky od Brégueta, které jsou ve sbírkách Národního technického musea, nosil jsem na zkoušku měsíc v kapse a zjistil, že ačkoliv měly pouze jedinou, hodinovou ručku, udávaly čas v mezích asi dvou minut, jestliže byly dvakrát za týden nařizeny podle časového signálu; tato přesnost jistě stačila zámožnému člověku, který si tento krásný Bréguetův výtvar mohl koupit.

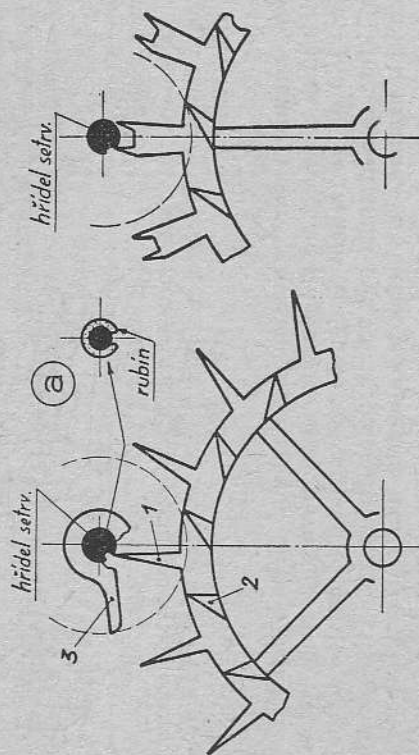
Jistotou podobnost s krokem válcovým má podivný mechanismus, který vynalezl Lepine kolem 1750 a kterému se říká krok čárkový (čárka ve smyslu známka interpunkčního). Jak je vidět na obr. 190, krok působí nesymetricky; zoubek stoupacího kola při pohybu setrvačky ve směru šipky vnikne do zářezů válečku, při pohybu opačném vyklouzne ze zářezu a tlačíkem na dlouhý výběžek válečku dá setrvačce impuls. Tento krok byl sotva lepší než cylindrový a také dříve zmizel z výroby, byl však oblíben koncem XVIII. století.

Jiná realizace klidového kroku je na obr. 191. Zde osy stoupacího kola a setrvačky jsou mimoběžné, jako u kroku vřetenového. Oba malé válečky na ose setrvačky jsou opatřeny šikmými zářezy; zub stoupacího kola po

periodě klidu projde a tlakem na šikmou stěnu zářezu dává impuls. Zde je nepříznivý stálý tlak na ložisko setrvačky a tohoto kroku se pro hodinky užívalo velmi málo; často však jej najdeme v metronomu.

Krok duplexní (dvoukolý)

Duplexní krok je mechanismus mnohem vtipnější a dokonalejší, než byly předěšlé. Jméno dostal od toho, že v původní formě, kterou zavedl Dutertre kolem 1725, bylo stoupací kolo dvojité. Později dostal stoupací kolo jako na obr. 192; vidíme dva systémy zubů, dlouhé špičaté zuby klidové (záchytne) a postranní krátké zoubky impulsní. Záchyty obstarává tenký hřídel setrvačky, do něhož je vyfrézován zářez. V nejlépeším provedení je na velmi tenký hřídel našelakována tenkostěnná a v jednom místě přerušená trubička,



Obr. 192.

Obr. 193.

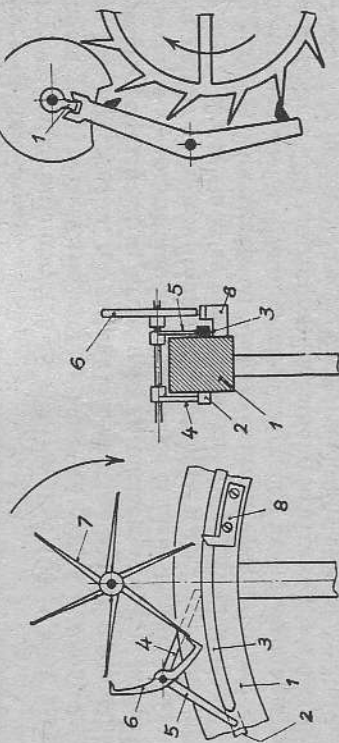
vybroušená z rubínu. Tento mechanismus funguje tak, jako kotoučkový krok na obr. 156. Avšak zub stoupacího kola působí na rameni příliš malém, aby mohl dát dostatečný impuls. Proto jakmile zub 1 vyklouzne, impulsní zub 2 zachytí za impulsní rameno nebo kámen 3, a setrvačka dostane řádný impuls. Impuls je dán každým druhým kyvem; setrvačka mívá dobu kyvu 0,25 sek, a proto hodinky skákal po pulsekundách. Hojně se vyráběly hodinky s velikou rukou sekundovou uprostřed, která skákala po celých sekundách (seconde morte); toho bylo dosaženo jednoduchým trikem, patrným z obr. 193: zachytne zuby jsou prostě rozdvojeny, takže impuls je dán teprve při každém čtvrtém kyvu setrvačky.

Slabinou duplexního kroku je záchyty; tření je značné (sr. obr. 156) a proto opotřebení veliké i při dobrém mazání. Moment tření lze zmenšit jen malým průměrem válečku, a to vyžaduje velmi přesného provedení. Proto se „duplex“ dnes již nevyrábí, ačkoliv, dobře proveden, dával mnohem větší

přesnost než krok cylindrový. Je zajímavé, že duplex měly hrubé „dolarové“ hodinky Waterbury, vyráběné ještě v tomto století; stoupací kolo dostalo 30 zubů, z nichž 15 bylo pak ohnuto na stranu, aby pracovalo jako zuby impulsní.

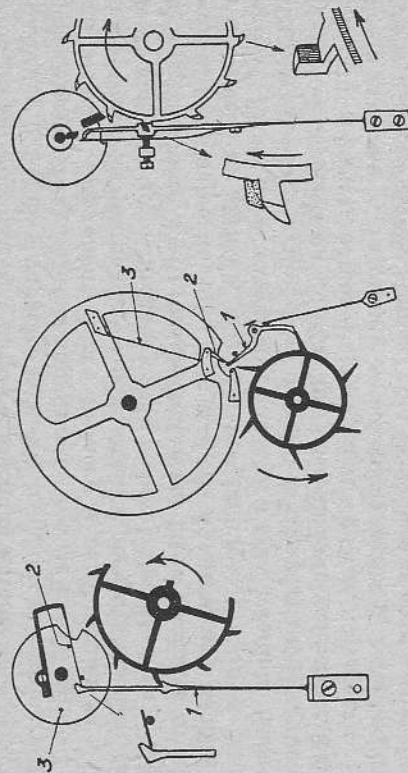
Kroky chronometrové (zarážkové)

V předěšlé kapitole jsme probrali zarážkové kroky. Tento princip dříve než u kyvadla byl aplikován pro setrvačku, když se hodináři pokoušeli o sestrojení přesného chronometru pro námořní účely. Otcem myšlenky byl Pierre Leroy, který r. 1748 pro svůj chronometr užil kroku, znázorněného



Obr. 194.

Obr. 195.



Obr. 196.

Obr. 197.

Obr. 198.

na obr. 194. Stoupací kolo je pouhá šestiramenná lehounká hvězda 7. Zářezka ve tvaru kotvy jako na obr. 1.378, je spojena s raménky 4 a 5. Věvec setrvačky 1 nese vpředu listu 3, která působí na raménko 5, vřadu podobnou

lištu 2, která působí na raménko 4. Kývá-li setrvačka, obě lišty narážejí na raménka, a kotva v okamžiku, kdy setrvačka prochází střední polohou, koná malé úsečné výkyvy. Rozevření kotvy je voleno tak, aby stoupací kolo udělalo střídavě krátký a dlouhý skok. Při dlouhém skoku přijde stoupací kolo do cesty zub 6 na setrvačce a obdrží impuls. Impuls je tedy dáván při každém druhém kyvu a setrvačka by jinak byla volná, nebýt toho, že raménka 4 a 5 se mohou lehce třít o lišty 2 a 3 (to by ovšem šlo odstranit).

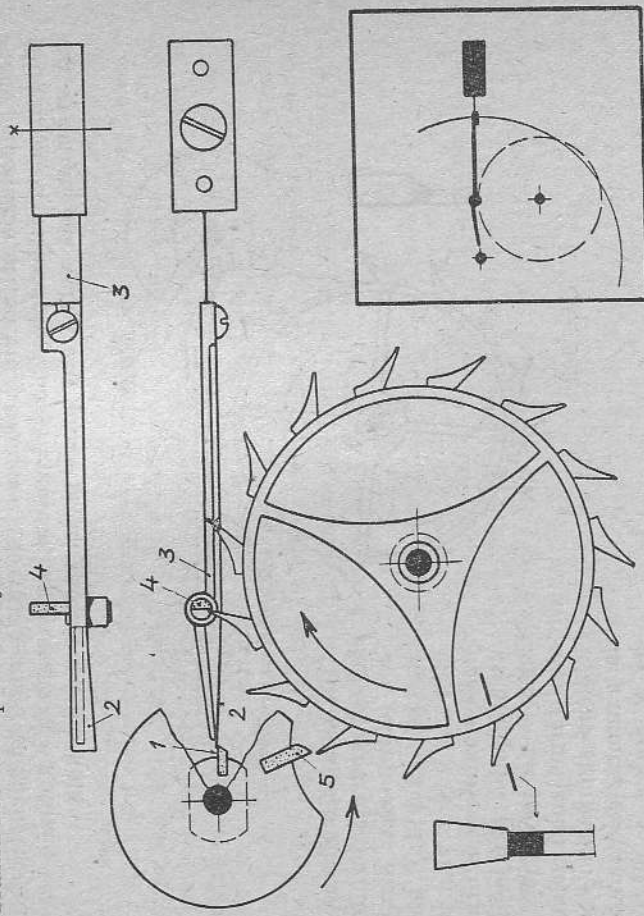
V zásadě podobný, ale jinak je proveden krok, jehož autorem je Robin, obr. 195. Zarážka má opět tvar kotvy, a je uváděna do pohybu palcem 1, který zasahuje v půli každého kyvu do vidličky na konci zarážky. Při každém druhém kyvu zub stoupacího kola zachytne o okraj výřezu v impulsním kotoučku a dá tak impuls.

Další vývoj znázorňují obr. 196 až 199. Na obr. 196 je krok sestrojilý Berthoudem roku 1770. Zarážka 1 je lehounká páčka ocelová, zeslabená u kořene tak, aby pružila, a opatřená ozubem pro zachyt stoupacího kola. Tato zarážka je při každém druhém kyvu odtlačena lehkou pružinkou 2, přišroubovanou na impulsním kotoučku 3 na hřídeli setrvačky. Tím stoupací kolo vnikne do zářezu impulsního kotoučku a dá impuls. Při zpětném pohybu setrvačky nestane se nic jiného než že pružinka 2 lehce brkne na konec zarážky. Tím Berthoud vlastně vytvořil všechny prvky dnešního chronometrového kroku. Pro obrovskou setrvačku svého chronometru č. 9, která měla průměr 120 mm, upravil Berthoud svůj krok, jak ukazuje obr. 197. Zarážka 1 je páčka otočná na čepěch a do klidové polohy tlačena pružinkou. Místo jemné pružinky je na impulsním kotouči malá západka 2, na kterou působí pružinka 3. V zářezu impulsního kotouče je otáčivý váleček, o který se opře zub stoupacího kola. Mechanismus měl rozměry průměřené velikosti setrvačky, průměr impulsního kotouče byl 58 mm.

První námořní chronometr, který rozměry a uspořádáním se podobal dnešním strojům, zkonstruoval Arnold r. 1880. a přitom užil kroku znázorněného na obr. 198. Je to zarážkový krok podobný Berthoudovu, ale jemná pružinka je na zarážce. Další rozdíl (ale ne výhoda) je v tom, že zarážka se pohybuje k ose stoupacího kola, a to Arnolda donutilo, aby použil formy zubů, nakreslené na obrázku, a celkem nevhodné.

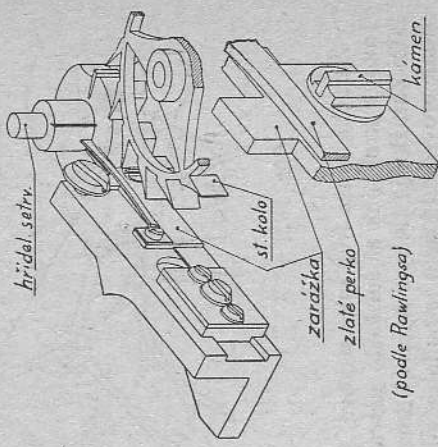
Definitivní formu dal chronometrovému kroku asi v téže době Earnshaw, obr. 199. Zarážka se pohybuje jako u kroku Berthoudova a je rovněž pružinová. V klidu spočívá na dorazu, který na obrázku není zakreslen. Hra kroku je tato: setrvačka se pohybuje ve směru šipky a malý kámen 1 tlačí na jemnou pružinku 2. Ta opíraje se o konec zarážky 3, zarážku zdvihne a zachytí kámen 4 uvolní stoupací kolo, jež tlakem na kámen 5 dá setrvačce impuls. Mezitím kámen 1 vyklouzl ze záběru se zarážkou, která spadne na svůj doraz a je přichystána zachytit stoupací kolo, jakmile jeho zub vyklouzne z impulsního kamene 5. Při opakném kyvu setrvačky kámen 1 odtlačí pružinku 2 od zarážky a takřka bez odporu proklouzne. Číselné poměry odpovídají výkresu. Zarážka je provedena z kusu se svou patkou,

je ocelová a kalená; uvážíme-li, že tloušťka zeslabené části bývá 0,04 mm, pochopíme, proč zhotovení zarážky se považuje za pěkný kousek hodinářského umění. Skutečné rozměry mechanismu jsou vidět na zjednodušeném obrázku 200. Stoupací kolo je z tvrdé mosazi a má být co nejlehčí. Proto se



Obr. 199.

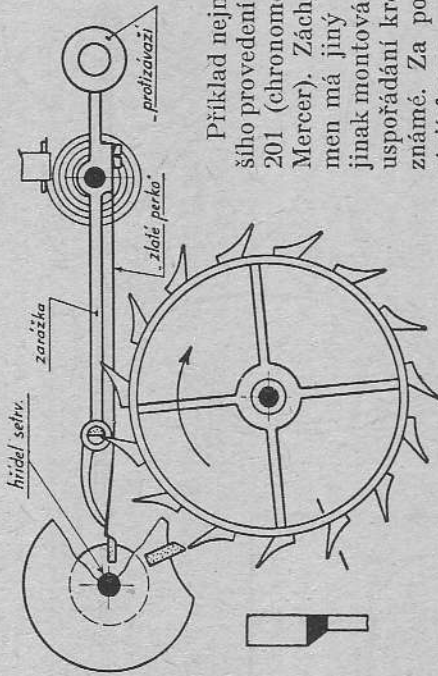
Obr. 200.



Obr. 201.

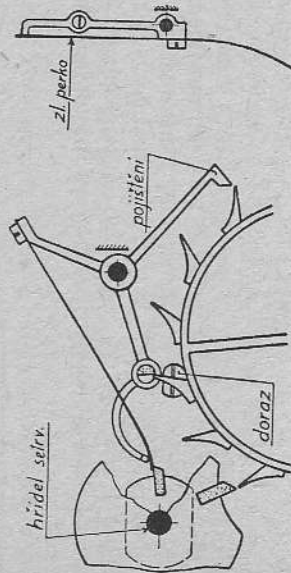
často dělá s profilem zakresleným, to jest zuby ve špičce jsou daleko širší nežli věnec kolečka. Zachytný kámen 4 je půlválcový kousek safíru, zasunutý do zarážky a v ní utěsněný kovovou vložkou a zašlakovaný. Pružinka 2 často bývá nazývána „zlaté perko“, což je potud správné, že se neosvědčil žádný jiný materiál než tvrdě vytepané čtrnáctikrátové zlaté. Jak je vidět, mechanismus je jednoduchý, ale vyžaduje krajně pečlivé provedení. Je dobře si všimnout, jak mělký je záběr setrvačky se stoupacím kolem a zejména záběr mezi kamennem 1 a zlatou pružinkou.

V popsané formě najdeme Earnshawův krok téměř ve všech velkých chronometrech. Jeho výhodou je veliká volnost, kterou dává setrvačce, a dále to, že může trvale pracovat bez mazání. Jeho nevýhodou je značná citlivost proti otřesům; zarážka je případ, který jsme znázornili na obr. 16; vinou náhodného otřesu může stoupací kolo vyklouznout ze záchytu. Aby přitom, jak se říká neproběhlo, je impulsní kámen zasazen v kotouči, který má výřez jen tak velký, aby právě prošel zub stoupacího kola.



Obr. 202.

Příklad nejmodernějšího provedení je na obr. 201 (chronometr firmy Mercier). Záchytný kámen má jiný tvar a je jinak montován, ostatní uspořádání kroku je již známé. Za povšimnutí stojí forma zubů velmi lehkého stoupacího kola, a montáž celé zarážky v drážce, v níž se může podle potřeby při reglážích posunout (některé továrny ještě přidávají rektifikační šroubek, jak byl nakreslen na obr. I 250). Zarážka v klidu leží na hlavě šroubu, jímž lze regulovat hloubku záchytu; je to způsob obvyklý, ale ne zrovna příhodný, poněvadž dorazný šroub bývá špatně přístupný.



Obr. 203.

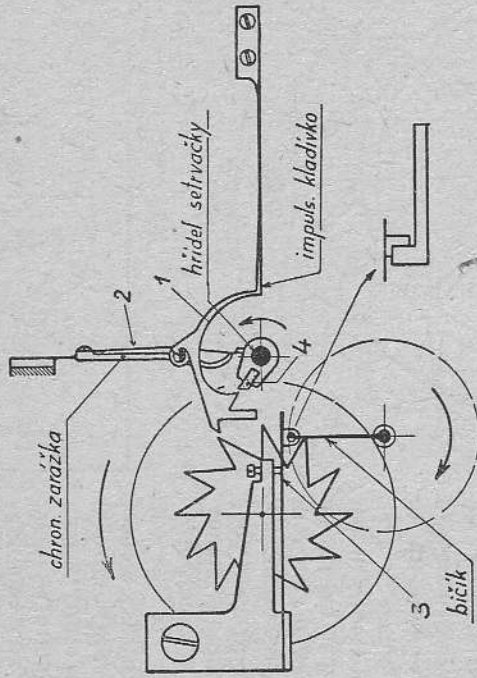
Zarážka může být také páková, jak jsme ostatně již viděli na obr. 197. Takový krok, jak se ho často užívalo pro chronometry kapesní, je na obr. 202. Zarážka je tlačena na svůj doraz vláskem a je vyvážena protizávažím. Jinak provedení kroku je podobné předešlému. Jiná, propracovanější, ovšem ve výrobě nákladnější forma je znázorněna na obr. 203. Pozoruhodné je

třetí rameno zarážky, které má zub jako obyčejná Clementova kotva. Je to pojištění pro případ, že by se zarážka nevrátila do klidové polohy a zároveň pojištění, aby při prudkém otřesu stoupací kolo nemohlo proklouznout o více nežli jednu rožteč. Na obrázku je vidět i doraz pro zarážku, vytvořený spirálovým okrajem (ztuha jdoucího) šroubku, jehož natáčením lze snadno nastavit hloubku záchytu; je to lepší řešení než často užívaný závrt v základní desce stroje, do kterého zasahoval vyčnívající konec mozazného kousku, jímž byl utěsněn v zarážce záchytný kámen. U kapesních chronometrů méně pečlivého provedení se užívalo zcela jednoduché zarážky podle obr. 204. Zlaté pérko je protaženo přes zarážku, opírá se o nějaký výstupek ve stroji a zastává tedy zároveň úkol vlásku v obr. 202. Není to žádná zdokonalení, a ke všemu ještě tyto zarážky ani nebyly vyváženy.

V námořních chronometrech dal chronometrový krok výborné výsledky, a je málo pravděpodobné, že by se pro tyto velké stroje našlo něco lepšího. Neosvědčil se však celkem pro chronometry kapesní, právě proto, že je tak citlivý na otřesy. Myslím, že pro kapesní hodinky se dnes už vůbec nevyrábí; tam úplně převládá volný krok kotvový.

Kroky s konstantní silou

Na obr. 162 viděli jsme krok Garnierův, kde kyvadlo zatíženou páčkou dostávalo stálý impuls. Tento princip je použitelný i pro setrvačku, jak vidíme na obr. 205, který představuje konstrukci Bréguetovu. Stoupací kolo



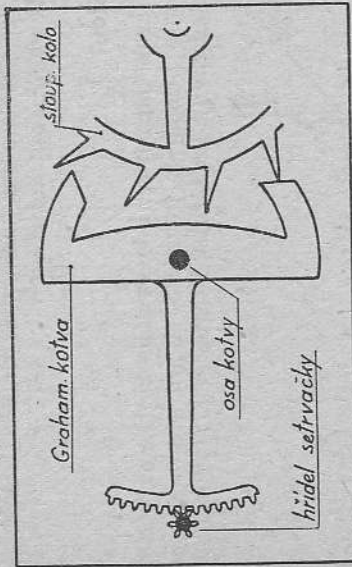
Obr. 205.

opět pohání převodem do rychla bičik; impuls dává kladívko 1, zeslabené u paty, aby pružilo. V klidu visí na Earnshawově zarážce 2. V kreslené poloze se zarážka brzy vysmekne, a kladívko dá impuls kameni 4 na hřídeli

setrvačky. Po impulsu kladívko vyklouzne a narazí na pružinovou zarážku 3. Ta uvolní bičků, který se otočí, a stoupací kolo vrátí kladívko do původní polohy na zarážku 2. Tento mechanismus, theoreticky dokonalý, v praxi zklamal. Historie se opakovala: z počátku výborný chod, pak zhoršení a eventuálně i poruchy. Mechanismus je příliš subtilní pro trvalý provoz, a netřeba zdůrazňovat, velmi drahý ve výrobě. Dnes se ho neuzivá vůbec; stojí za zmínku, že chronometr s podobným krokem u nás zhotovil Romuald Božek, syn slavného Josefa Božka.

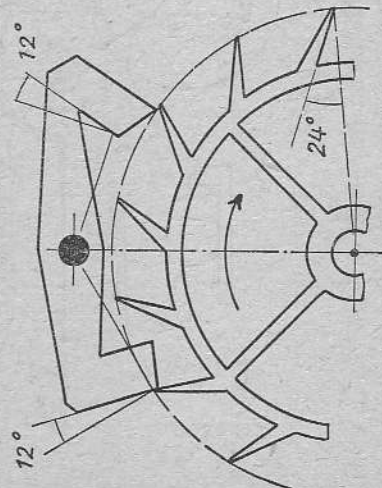
Volný krok kotvový

Tím přicházíme ke kroku nejrozšířenějšímu, a celkově vzato pro přenosné hodiny nejlepšímu. Začátky kotvového kroku jsou velmi staré, ponevadž byla na snadě myšlenka užít výborných vlastností Grahamova kroku také pro setrvačku. Jeden z takových, trochu naivních pokusů vidíme na obr. 206; autorem je abbé Hautefeuille. Grahamova kotva nese prostě ozubený segment, který stá- le zabírá s malým pas- torkem na hřídeli setr- vačky. Tento krok ovšem nedopřává velké volnosti setrvačce. Má však vý- hodu, že je dokonale spo- lehlivý; proto ho bylo po- užito pro chronometrické tachometry firmou Jae- ger.



Obr. 206.

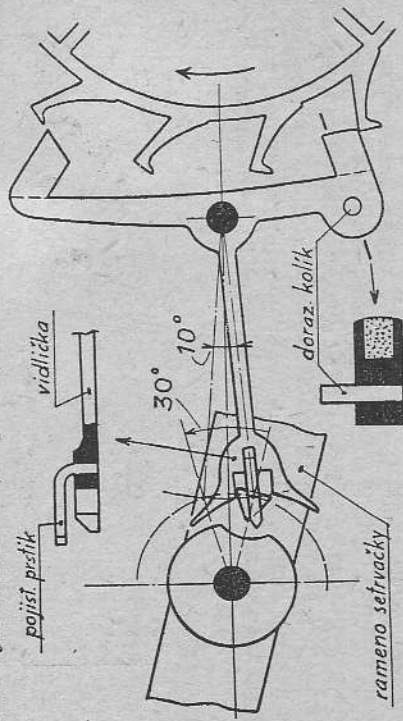
Rozhodný krok učinil Thomas Mudge kolem r. 1765, který přišel na skvělou myšlenku, ozubení mezi kotvou a setrvačkou omezit na jediný zub a jednu zubovou mezeru. Tím z ozubeného segmentu se stala pouhá vidlička, a setrvačka je- nom na okamžik (při prů- chodu střední polohou) vnikne do vidličky a pře- hodí kotvu na druhou stranu. V této formě však krok nevyhovoval, poně-



Obr. 207.

vadž poloha kotvy není zajištěna. Autory dalších zdokonalení se mi ne- podařilo z literatury bezpečně zjistit.

Tato zlepšení se týkala vesměs zabezpečení před účinkem otřesu. Rozho- dující bylo zavedení tažného úhlu, o němž byla řeč již v textu k obrázku I 381. Tím bylo možno krajní polohy kotvy jednoznačně určit doraznými

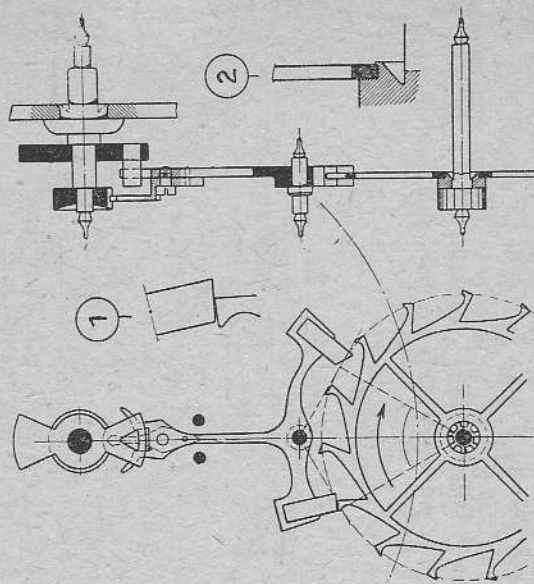


Obr. 208.

kolíky, na které je kotva přitlačována stoupacím kolem. Ovšem nespole- háme jenom na tažný úhel a na vidličku dáváme prstík, který se téměř dotýká malého kotoučku, v němž je výřez jen tak veliký, aby při impulsu prstík právě proklouzl.

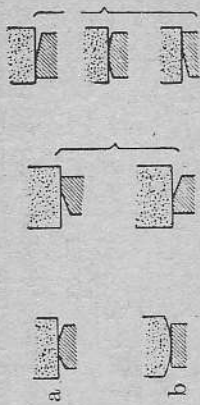
U starších hodiněk naj- deme zajištění jedno- dušší, ale méně dobré; kotouček, v němž je za- sazen impulsní kámen, má na obvodu výřez pro pojistný prstík. Detaily pojištění jsou viditelné na obr. I 381.

Kotva může být sou- měrného tvaru (obr. 207), pak ovšem vzdá- lenost křidlových plošek od osy je nestejná. Po- nevadž vybavení kotvy vyžaduje krátkodobé, ale značné síly, (kterou musí vyvinout setrvač- ka!), dáváme přednost kotvě nesouměrné, kde



Obr. 209.

klidové plochy jsou stejně vzdáleny od osy. Kotva pak vypadá jako na obr. 209, kde je také dobře vidět tažný úhel. S výjimkou hrubších hodin kotva má zuby rubinové. Ve starším provedení byly rubiny zasazeny do výřezů kotvy tak, že se kryly s obrysem ocelové kotvy a byly neviditelné, jako na př. na obr. 207.



Obr. 210.

Obr. 211.

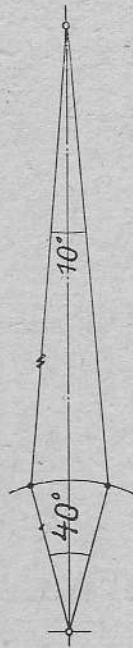
Obr. 212.

Obr. 213.

Dnes častěji užíváme zubů, které jsou do výřezů kotvy zasazeny a zašlakovány se strany a jsou dobře viditelné, jako na př. na obr. 209, 210. (na starších hodinách bývalo to chlubně označeno slovy „levées visibles“). Tvar kotvy je věcí citu, podmínka jenom je, aby kotva byla co nejlehčí. Provedení dle obr. 209 ukazuje na pečlivě provedené hodinky. To platí stejně o vidličce; není proto výhodný přišroubovaný prstík jako na obr., lehčí je způsob na obr. 208, kde čtyřhranný prstík je do vidličky jednoduše zalisován, což úplně stačí. Kotva bývala ocelová, dnes většinou užíváme kotvy z mosazi a zpravidla vcelku s vidličkou. Kotva je na svém hřídelti nejčastěji naražena jako na obr. 209, dříve bývala často ztuha našroubována na hřídelt opatřený závitkem.



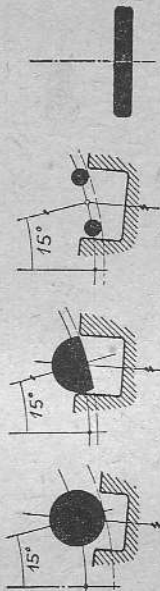
Obr. 214.



Obr. 215.

Stoupací kolo původně mívalo tenké ostré zoubky jako na obr. 117 a 207, které představují „anglický“ kotvový krok. Není to forma výhodná, poněvadž útlé zoubky špatně drží olej a krom toho je nutno dát dost velký skok stoupacímu kolu. Proto dnes výhradně užíváme formy „švýcarské“, jako na obr. 209. Tím ovšem impulsní plocha byla rozdělena, část je na zubech stoupacího kola, část na zubech kotvy, které proto jsou užší než

u kroku anglického. Příznivě je, že skok může být tak malý, jak to přičiní přesnost provedení a že široké zuby daleko lépe udrží olej. Sklon obou impulsních plošek se volí tak, aby nejprve dávala impuls přední hrana zubu stoupacího kola, jak je vidět na obr. 209, potom zadní hrana kotvy. Nepřípustné je, aby se zub a kotva stýkaly celou plochou, poněvadž u drobného mechanismu, kde působí velmi malé síly, olej představuje lepkavou kapalinu. Proto u kvalitních hodiněk najdeme profil zubů stoupacího kola jak ukazuje obr. 211a, nebo (jak to

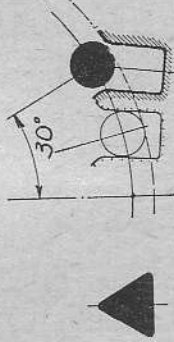


Obr. 216.

Obr. 217.

Obr. 218.

Obr. 219.



Obr. 220.

Obr. 221.

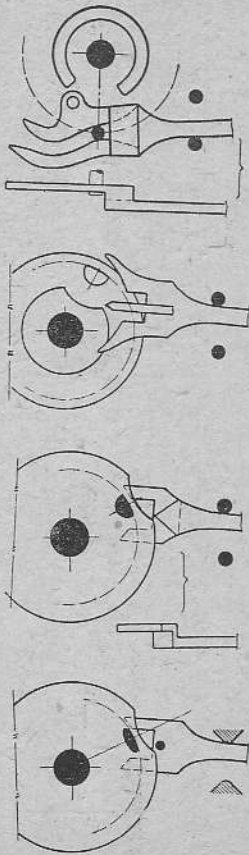
Obr. 222.

dělal A. Lange) kame-ny kotvy jsou v příčném řezu vypuklé podle obr. 211b. Další zjemnění může být v tom, že zuby stoupacího kola jsou třídavé podbroušený, jak ukazuje obr. 212; to má výhodu, že olej se tak snadno ze zubů kotvy nevytlačí na stranu (zuby si olej jaksi navzájem podávají). Ještě lepší provedení bylo úspěšně vyzkoušeno ve Švýcarsku; zuby po sobě jdoucí mají profily, jak ukazuje obr. 213. Tím je opotřebení zubu kotvy rozděleno na celou šířku a jak zkoušky ukázaly, na zubech se drží olej výborně. Materiál stoupacího kola je nejčastěji ocel; kolečko je kalené a pokud možno lehké; jen málokdy se setkáme s kolečkem mosazným nebo ze zlatého bronzu.

Vývoj prodělala i forma impulsního kolíčku („vodítka“). Abychom omezili nepříznivý vliv kroku na chod hodin, volíme úhel impulsu malý. U hrubších strojů, jako jsou budíčky, je tento úhel kolem 60° (obr. 214). U přesných hodiněk všeobecně je menší, asi 30° (obr. 215). Z obrázků je jasné vidět, jak se zmenšuje hloubka záběru, když zmenšujeme impulsní úhel.

Záběr tak mělký by vyžadoval impulsního kolíčku velmi tenkého, jak je vidět na obr. 216; to je možné jedině u hrubého kroku budíku. Lépe je užít dvou kolíčků tenkých, jako na obr. 218, ve starých hodinčkách se někdy našel kolík tvaru podle obr. 219. Takovému kolíku jsou možné ocelové, ale nebyly by dost odolné z kamene. Proto dnes děláme impulsní kamen nejčastěji podle obr. 217, který bezpečně zabere do vidličky i při velmi mělkém záběru. Méně často najdeme trojúhelníkový průřez podle obr. 220. V hrubém kroku budíku záběr mezi vidličkou a impulsním kolíčkem vypadá jako na obr. 221. Kotvové laciné hodinčky, známé Roskopfsky, mají místo impulsního kolíčku zub znázorněný na obr. 222, a jak je vidět záběr je dobrý, i když impulsní úhel je obvyklých 30°.

Na obr. 223 je starší provedení vidličky a impulsního kamene; zajištění je jednoduché s količkem zaraženým ve vidlici, pro nějž je v impulsním kotoučku zářez. Lepší je provedení na obr. 224, které mívaly staré anglické kotvové hodinky. Místo količky je na vidlici vytvořen břit a impulsní kotouček má opět zářez; impulsní kámen však již má polokruhový průřez.



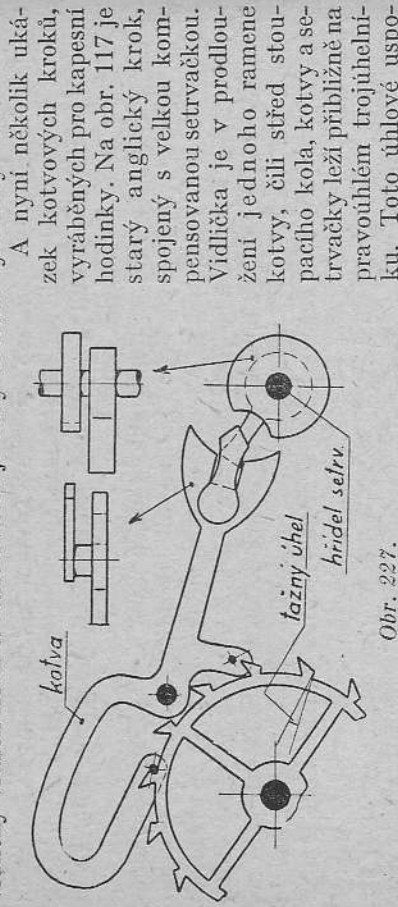
Obr. 223.

Obr. 224.

Obr. 225.

Obr. 226.

Téhož tvaru impulsního kamene je užito na obr. 225, ale kromě kotoučku impulsního je tu druhý menší kotouček pojistný se zářezem pro pojistný prstík zaražený do vidličky; vidlička má pojistné růžky, které dnes děláme všeobecně, a jich úkol je vynutit pohyb vidličky v případě nutnosti. Konečně obr. 226 je ukázka z množství pokusů, které byly učiněny ve snaze najít něco jiného než je jednoduchá vidlička. Impuls dávají šikmé plochy vidličky, a to znamená větší tření (a dražší výrobu); jako pojištění je do vidličky vražen kolík a na setrvače je dutý a zčásti vyříznutý váleček.



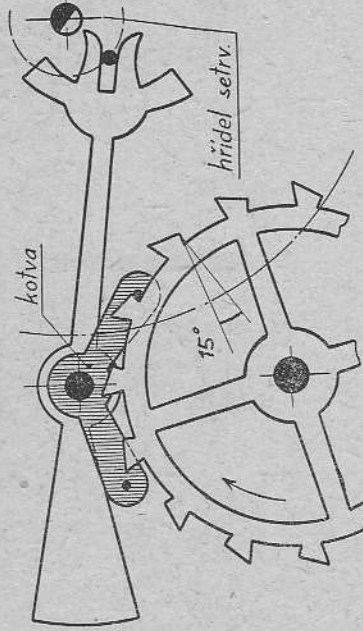
Obr. 227.

A nyní několik ukázek kotvových kroků, vyráběných pro kapesní hodinky. Na obr. 117 je starý anglický krok, spojený s velkou kompenzovanou setrvačkou. Vidlička je v prodloužení jednoho ramene kotvy, čili střed stoupacího kola, kotva a setrvačky leží přibližně na pravouhlém trojúhelníku. Toto úhlové uspořádání bylo dříve obvyklé, a začali jsme ho užívat znovu pro náramkové hodinky, když k tomu nutil nedostatek místa; takový krok je na obr. 210. Jinak se kotvový krok staví zpravidla v jedné přímce, jako na obr. 209, kde impulsní kotouček je nahrazen pouhým segmentem (dvojitým k vůli vyvážení); pojištění je zvláštním kotoučkem. Pozoruhodná je lehká konstrukce kotvy,

s níž ovšem trochu kontrastuje těžkopádné připevnění pojistného prstíku. Impulsní kámen je trojúhelníkový. Kotva je naražena na hřídel, který, jak ukazuje tvar čípků, je miněn pro uložení mezi krycími kameny. Na obrázku je patrný detail 2 nanytování stoupacího kolečka na pastorek, a nanytování setrvačky na rozšířený hřídel.

Konečně na obr. 208 je kotvový krok hodinek Glasshütte, který je velmi pečlivě konstruován a má nápadně lehkou kotvu s krytými kameny. Pozoruhodné je, že impulsní kámen trojúhelního profilu není zasazen do zvláštního kotoučku, nýbrž přímo do ramene setrvačky, které je uprostřed ještě zesíleno příložkou. Dorazné kolíky pro kotvu chybí; místo nich je v kotvě zaražen količek, který zasahuje do vývrtu v základní desce stroje. O ostatních detailech jsme už mluvili.

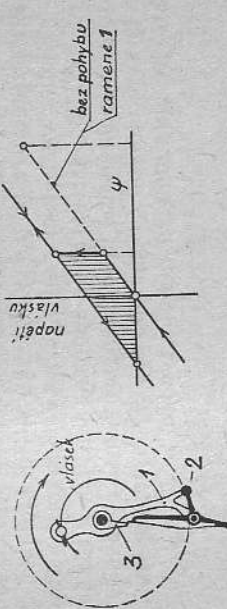
Kotvový krok je nejlepším krokem pro kapesní a náramkové hodinky, jaký známe. Je dostatečně odolný proti normálním otřesům a v rukou dobrého regléra schopen dát skvělé výsledky. Vyžaduje však výborné dílenské provedení. A to byla také příčina, proč dlouhá léta byl vyhrazen jenom dražším hodinám, zatím co levnější druhy se musely spokojit s krokem válcovým. Nejprvejší kapesní výroba zlevnila výrobu kotvového kroku kotvovým. Pokračující technika výroby zlevnila výrobu kotvového kroku tak, že ho lze užít i v hodinách střední, ne-li podprůměrné kvality. Na druhé straně však třeba doznat, že je přece jenom choulostivější než krok válcový, který jde ještě ve stavu, ve kterém by selhal kotvový krok.



Obr. 228.

Kotvový krok z důvodů, které jsme uvedli, by byl příliš nákladný a choulostivý pro hrubší stroje. Byl proto modifikován a pro tyto stroje se dnes staví vesměs s kotvou količkovou. Místo zubů kotva má dva naražené kolíky z ocelového drátu, kalené a vyleštěné. Zuby stoupacího kola mají tvar patrný z obr. 227. Každý zub má plošku záchytnou (klidovou), která má tažný úhel a šikmou plošku impulsní. Kotva nepotřebuje dorazné kolíky, poněvadž její pohyb je omezen stoupacím kolem. Tvar kotvy bývá velmi

stroje na gumových podložkách a pomalý pohyb mechanismu, poněvadž doba kyvu setrvačky je 0,6 sek. Budíkový krok podle obr. 228 pracuje mnohem tišeji, jestliže stoupačkové kolo a kotvu uděláme z mikarty, a ocelové kuličky kotvy uděláme dlouhé, aby pružily.



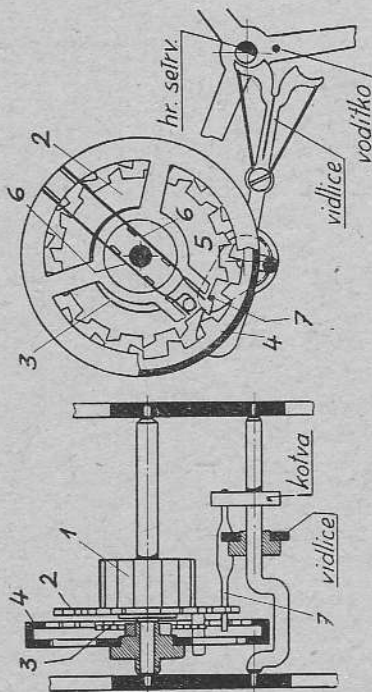
Obr. 230.

Jak ještě uslyšíme v kapitole, chod kapesních hodiněk se mění podle toho, v jaké poloze náhodou jsou v kapse.

Vyrovnat chod pro všechny polohy je práce, která žádá od regléra dovednost a mnoho času, a tak Bréguet vymyslel zařízení, kterému se říká *tourbillon*. Celý krok i se setrvačkou je namontován v lehoučkém rámu, který se jednou za minutu otočí dokola. Poněvadž přitom setrvačka i krok zaujmou postupně všechny polohy, není třeba zvlášť pečlivě regláže polohové. Téhož účinku lze dosáhnout zvláštním uspořádáním kroku, jak je vidět na obr. 230. Součástí 1, ve které je upevněn vlásek, je poháněna hodinovým strojem a otočí se jednou za minutu. V prodloužení její osy je uložena setrvačka, jejíž hřídel nese raménko 3,

Některé zajímavé kroky

Z nescísných možností a variant všech kroků, které byly zkoušeny, aby brzy zase zanikly, uvedu alespoň dvě, které jsou zajímavé. Některým lidem vadí, že budík hlasitě tiká. To je zaviněno tím, že jeho hrubý stroj musí mít poměrně silné hnací pero a že hrubé provedení kroku žádá velké vůle a velký skok. Na obr. 229 je krok, který i u nás najdeme v budíkové značce



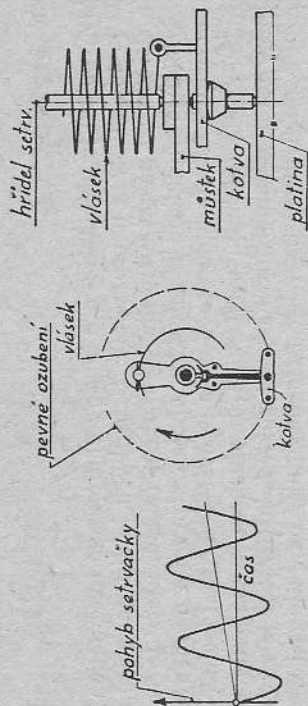
Obr. 229

„Silent“ z továrny Junghans. Je to kotvový krok s jednoramennou kotvou, jejíž kuliček 7 se pohybuje mezi zuby stoupačkových kol. Z nich kolo 2 má obvyklé zuby, je spojeno s pastorkem 1, a unáší vláskem 3 druhé kolo 4, které je na hřídeli volně otáčivé a má zuby obrácené dovnitř. Vlášek je nasazen na náboji kola 4, druhým koncem se opírá o kolík 5, zasazený do kola 2. Pohyb kola 4 proti kolu 2 omezuji dvě listové pružinky 6, upevněné na kole 4. Kuliček kotvy je dlouhý a z části sploštlý, aby pružil, právě tak jako rozříznutá vidlička. Krok je dokonale tichý; k tomu přispívá také montáž

Obr. 231.

dovednost a mnoho času,

... a tak Bréguet vymyslel zařízení, kterému se říká *tourbillon*. Celý krok i se setrvačkou je namontován v lehoučkém rámu, který se jednou za minutu otočí dokola. Poněvadž přitom setrvačka i krok zaujmou postupně všechny polohy, není třeba zvlášť pečlivě regláže polohové. Téhož účinku lze dosáhnout zvláštním uspořádáním kroku, jak je vidět na obr. 230. Součástí 1, ve které je upevněn vlásek, je poháněna hodinovým strojem a otočí se jednou za minutu. V prodloužení její osy je uložena setrvačka, jejíž hřídel nese raménko 3,



Obr. 232.

Obr. 233.

Obr. 234.

které způsobem nám známým nadzvihuje otočnou zarážku 2. Zarážka je uložena rovněž v části 1, a záchytný kámen zabírá do *pevného* ozubení vnitřního nebo vnějšího. Tím při každém druhém kyvu část 1 se pootočí o rozteč pevného ozubení. Tento okamžik se nastává tak, aby se napětí vlásku zvětšilo. Jsou-li pohyby ramene 1 a vlásku stejnosměrné, skok musí být před střední polohou setrvačky, ale za střední polohou, jsou-li pohyby protisměrné.

Druhý způsob impulsu je jako u Grangera, a je graficky znázorněn na obr. 231. Úhel skoku i tuhost vlásku jsou dány, a velikost šrafované plochy lze tedy měnit jen jiným časováním skoku: čím pozdější skok, tím větší impuls.

Pohyb setrvačky je na obr. 232; k normálním kmitům se přičítá otáčivý pohyb v jednom směru. Místo zarážky lze užít stejně dobře kotvy (obr. 233), která dává střídavě krátký a dlouhý skok; dlouhý skok dává impuls. Není známo, jak se tyto kroky osvědčily v praxi, ani jak se osvědčil podobný krok Benoítův (u něhož zarážku si řídí stoupačací kolo.)

Riefler vyzkoušel svůj pružinový krok také pro setrvačku. Jak je vidět na obr. 234, setrvačka je sousedá s kotvou, k níž je připraven konec vlásky. Krok působí stejně jako Grangerův, a setrvačka je se strojem spojena pouze vláskem. Pokud je známo, pokusy byly úspěšné, nicméně tento krok do stavby chronometrů nebyl zaveden.

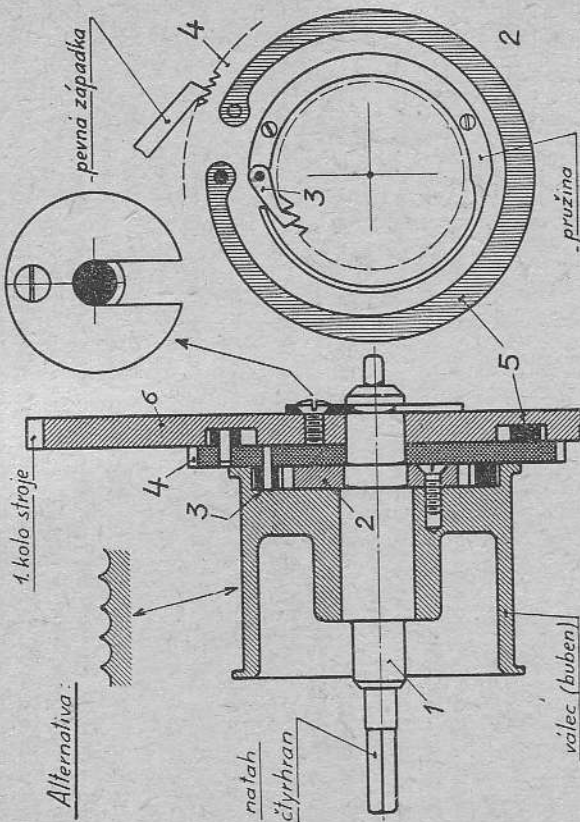
X. O převodech a pohonu hodin

S představou hodin je spojeno množství ozubených koleček. To platí správně o všech hodinách s mechanickým pohonem, a to jsou všechny hodiny přenosné, a velká většina hodin kyvadlových; teprve v poslední době proniká pohon elektrický. Hodiny kyvadlové poháníme závažími nebo pružinou, všechny hodiny přenosné přirozeně jen pružinou. Natahování závaží neb pružiny je nejčastěji ruční, v poslední době se šíří natahování elektrické, u hodinek náramkových natahování automatické (pohyby ruky).

Pohon závažím

Závažový pohon je nejstarší a pro hodiny nepřenositelné také nejlepší pohon, poněvadž je spolehlivý a neproměnný. U hrubých hodin, jako jsou „švarcvaldky“, visí závaží na primitivním člankovém řetězu, který je veden přes „orech“. Ořech je západkou a rohatkou spojen s prvním ozubeným kolem stroje, a na hřídeli tohoto kola otočný. To je ovšem zařízení laciné, ale málo dokonalé, poněvadž záběr mezi řetízky, a ořechem je málokdy bezvadný a při natahování otáčíme strojem trochu zpět. Lepší řešení je závaží pověšené na šňůře nebo na struně, která je navinuta na bubínku opět volně otočném na hřídeli prvního kola. U lepších hodin najdeme vždy zařízení, které vynalezl Harrison, a které obstarává pohon hodin, když otáčením bubnu závaží zdviháme. Harrisonovo zařízení je na obr. 235. Bubínek je naražen na hřídeli 1 a ozubené kolo 2, otočně přídělanou na velké rohatce 4, spojená s bubínkem, pohání západku 3, otočně umístěnou dle západky, která je volně otočná na hřídeli. Rohatka 4 je s ozubeným kolem spojena přes pružinu 5. V rámu stroje je otočně umístěna dlouhá západka, která brání zpětnému pohybu rohatky 4. Při chodu stroje bubínek, tažen šňůrou, otáčí rohatkou 4 a ta pohání ozubené kolo: pružina 5 je napjata. Při natahování západka 3 klouže po rohatce 2, ale velká rohatka 4 se nemůže otáčet zpět, poněvadž ji drží pevná západka. Stroj je poháněn dále napětím pružiny 5. Tento mechanismus se prováděl v různých obměnách, zejména pružině 5 se dávaly nejrozmanitější tvary. Na obrázku je konstrukce mo-

derní, kterou lze snadno zhotovit soustružením; bubínek je z jednoho kusu, kdežto staří hodináři jej spájeli z několika kusů, patrně z nedostatku masivního materiálu a většího soustruhu. Rovněž ozubené kolo je plné, protože nemá smysl odlehčovat kolo, které se tak pomalu otáčí.



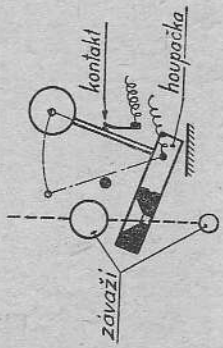
Obr. 235.

Natahování věžních hodin

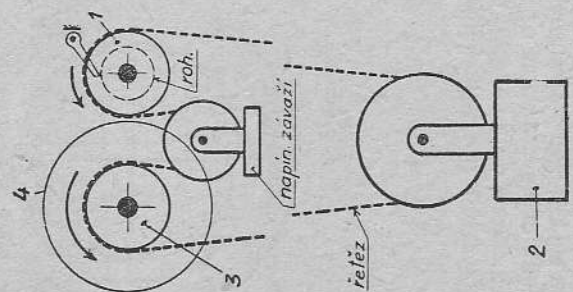
U velkých hodin věžních natahování je nepříjemná záležitost, poněvadž závaží, zvláště u starých strojů, jsou velká, a ještě je nutno lézt na vysokou věž. Zde je na místě natahování elektrické. To se dělá různými způsoby. Na obr. 236 je nakreslen starý způsob Huygensův (viz obr. 10), ale zmoder-nisovaný tím, že místo šňůry je obyčejný bicyklový řetěz. Natahuje se otáčením ozubeného kola 3, tím se zdvihá hnací závaží 2, které přitom dále pohání ozubené kolo 3, pevně spojené s prvním kolem 4 hodinového stroje. Kolem 1 je možno otáčet ručně a pak je nutná západka, aby se kolo neotáčelo zpět. Západka je zbytečná, je-li užito elektromotoru (obr. 237), který šnekem pohání kolo 2 spojené s kolem řetězovým 1. Tohoto zařízení lze stejně dobře použít pro natahování jednodenní, jako pro natahování časté, jak to dnes často děláme. V tom případě pohyb závaží je malý, a stačí výška normálních stojanů, na kterých stojí stroj.

Natahovací zařízení musí mít spolehlivý kontakt, který zapne elektromotor, když závaží kleslo pod předepsanou výšku. Kontakt může být čistě mechanický, na příklad houpačka podle obr. 238, která je v nestabilní po-

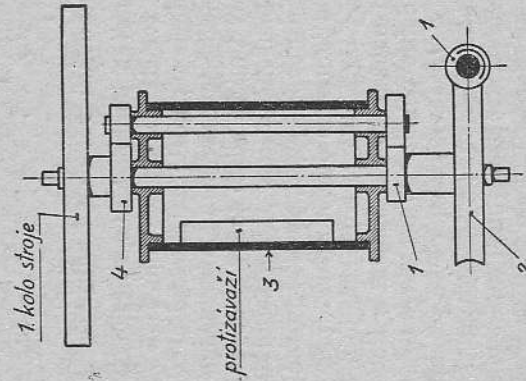
loze a na kterou působí dvě koule, zavěšené provázkem na závaží hodin. Jde-li o malý pohyb závaží, doporučil bych velmi jednoduché zařízení dle obr. 239. Je to pouhá dřevěná lať, která je na jednom konci otáčivě uložena, a druhým koncem spočívá na závaží. Na laťi je skleněný rtuťový spínač čili prasačko; zařízení funguje zásluhou jisté nečitlivosti prasačka. Touto laťi můžeme spínat proud jestliže pohyb závaží je malý; je-li pohyb závaží veliký, stačí omezit pohyb laťi dorazem, aby závaží mohlo při poruše proudu klesat dále. Je jasné, že stejně dobře můžeme lať zavěsit na závaží prováz- kem. Poměrně složitě je uspořádání podle obr. 240; motor pohání šnekem kolo 2, volně otáčivé na hřídeli. Na těmžehřídeli je volně otočný



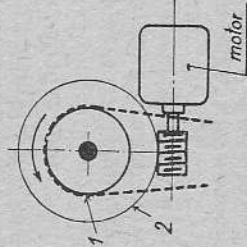
Obr. 238.



Obr. 236.



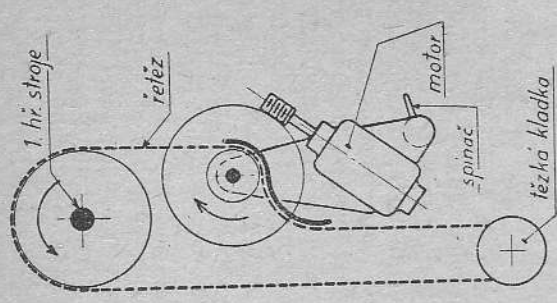
Obr. 239.



Obr. 237.

lanový buben 3, a připevněno ozubené kolo 4 a první kolo hodinového stroje. V lanovém bubnu je uložen hřídel s ozubenými koly, která zabírají do kol 1, 4. Je to tedy planetové soukolí, které umožňuje stroj nalahovat, aniž by pohon ustal. Jednoduché řešení, které se dá dodatečně namontovat i na starý stroj, je na obr. 241. Místo lanového bubnu je bicyklové řetězové kolo, které je poháněno uzavřeným řetězem. V závaží je motorek který šnekem pohání řetězové kolečko; řetěz je veden plechem. Všecky součásti jsou montovány na společném rámu, a celek tvoří závaží, které šplhá po řetězu vzhůru, když se motor otáčí. Motor může být zapínán vypínačem jehož páčka nárazí na pevné doraz. Spolehlivější by byla lať s prasačkem, dostatečně dlouhá a provázekem spojená se závažím. Aby byl řetěz napjat, nese dole masivní těžkou a volnou kladku.

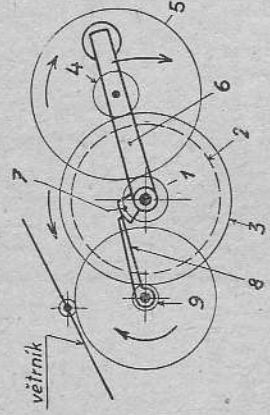
Je-li motor napájen ze sítě, zdvih závaží musí být dostatečný, aby vystačil pro 24 hodin chodu, hodiny se zastaví při delší poruše proudu. Poněvadž motorek je malý, má malou spotřebu, lze jej také napájet z akumulátorové baterie, která se dobíjí ze sítě. Tyto a podobné systémy jsou dnes pro věžní hodiny usměrňovačem. Tyto a podobné systémy jsou dnes pro věžní hodiny usměrňovačem. Tyto a podobné systémy jsou dnes pro věžní hodiny usměrňovačem.



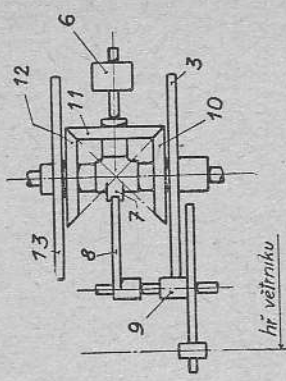
Obr. 241.

Remontoir

U věžních strojů způsobuje nepravidelnosti chodu kolísání hnací síly. Stroj musí mít závaží dost těžké, aby utáhlo hodiny i v nejhorších okol-



Obr. 242.



Obr. 243.

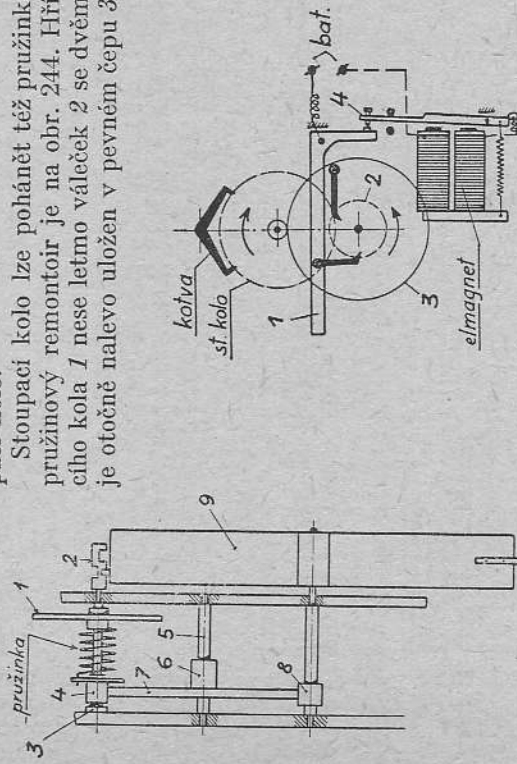
nostech; to znamená, že kroku přivádíme nadbytečnou práci, kterou je nutno spotřebovat hrubým krokem Amantovým a velkou amplitudou kyvadla. Proto se vyskytly konstrukce, kde stoupací kolo jemnějšího Grah-

movu kroku je poháněno malým závažím nebo pružinou; hodinový stroj je každou minutu uvolněn a vrátí závaží nebo pružinu do původní polohy. Říká se tomu *remontoir* a provádí se to různými způsoby.

Na obr. 242 je pastorek 1 stoupacího kola 2 poháněn planetovým soukolím, složeným z velkého nehybného kola 3, s nímž zabírá pastorek 4, spojený s velkým kolem 5, které je uloženo v rameni 6. Rameno s koly 6 klesá a pohání stoupací kolo tak dlouho, dokud nos 7 (spojený s ramenem 6) neuvolní rameno 8, spojené s pastorkem 9 na předposledním hřídeli hodinového stroje. Uvolněné rameno 6 se otáčí, brzděno větrníkem, a tím kolo 3 zdvihne rameno 6 do původní polohy. Pohon stoupacího kola je nepřetržitý, prakticky neproměnný a nezávislý na hmotné síle hodinového stroje.

Zařízení v zásadě stejné, ale s kuželovými ozubenými koly je na obr. 243 a jeho součásti, které mají též úkol, jsou označeny stejně jako na předchozím obrazu; jenom místo ozubených kol 1, 3, 4, 5 jsou zde tři ozubená kola kuželová, z nichž 10 je spojeno s kolem 3 (volně otočným na hřídeli) a kuželové kolo 11 je pevně spojeno s hřídelem a s čelním kolem 12, které pohání stoupací kolo.

Stoupací kolo lze pohánět též pružinkou. Takový pružinový remontoir je na obr. 244. Hřídel stoupacího kola 1 nese letmo váleček 2 se dvěma zářezy, a je otočně nalevo uloženo v pevném čepu 3, na kterém



Obr. 244.

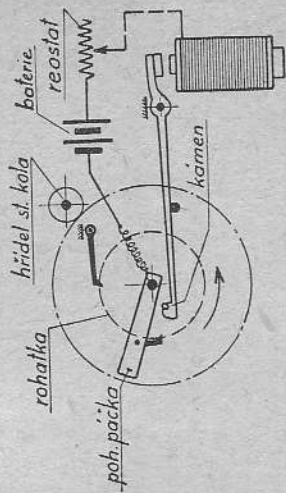
se volně otáčí pastorek 4; pastorek 4 je spojen se stoupacím kolem vláskem nebo šroubovou pružinou. Posledním členem hodinového stroje je hřídel 5 s pastorkem 6 a s ozubeným kolem 7. Stoupací kolo, poháněno pružinkou, se otáčí s válečkem 2, až zub na větrníku proklouzne zářezem válečku. Větrník se otočí o půl otáčky, a kolo 7, zabírajíc s pastorkem 4, zvětší napětí pružinky. Při každé otáčce je tedy větrník dvakrát vypuštěn a pružinka dvakrát dotazena. Napětí pružinky se periodicky mění, ale perioda je tak krátká, že na to těžké kyvadlo prakticky nereaguje.

Elektrický remontoir

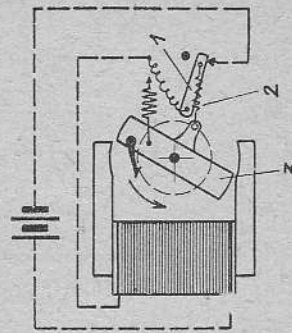
U přesných hodin vadí i malé kolsání, které je zavídněno chybami ozubení a periodickým kolsáním tření v zubech. Nevadí tolik ozubení, která se rychle pohybuji, jako na příklad ozubené kolo zabírající s pastorkem kola stoupacího. Brillouin vyšetřoval kolsání amplitudy setrvačky námořního chronometru. Fotografický záznam ukázal periodickou křivku, a rozbořem křivky bylo možno zjistit vlivy jednotlivých ozubení; vliv ten byl tím větší, čím pomaleji se ozubení otáčelo. Bylo by proto účelné pohánět nějakým neproměnným momentem přímo ozubené kolo, které otáčí stoupacím kolem. A to je úkolem elektrických zařízení, která popíšeme, a která se dnes běžně dávají do přesných kyvadlových strojů.

Prototypem je mechanismus na obr. 245, který vynalezl Hope-Jones r. 1895. Zatížená páka 1 západkou pohání rohatku 2, která je nějakou pružinou spojena s ozubeným kolem 3; kolo 3 pohání stoupací kolo. Když páka 1 klesne dost hluboko, její krátké svislé rameno narazí na kontaktní šroubek 4 na kotvě elektromagnetu. Tím je spojen proud, elektromagnet přitáhne kotvu a tím vyhodí páku 1 do výše. Pohyb kotvy je omezen dorazem. Páka 1 setrvačností ještě pokračuje v pohybu a tím se proud přeruší. Jestliže rohatce dáme na příklad 8 zubů a převod na stoupací kolo volíme 8 : 1, odehraje se tato hra přesně každou minutu a s elektromagnetem můžeme do serie zapnout jistý počet minutových počítadel. Vtip tohoto kontaktního zařízení je v tom, že jako kontakty fungují plochy, kterými zároveň se přenáší značná síla elektromagnetu. Kontakt je proto neobyčejně spolehlivý a trvanlivý.

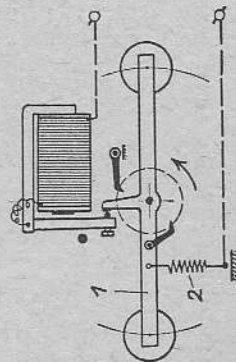
V zásadě téhož zařízení užil Riefler pro své stroje, které často jsou ve vzduchotěsném závěru, a kde by normální závažový pohon byl těžko pro-



Obr. 246.



Obr. 248.



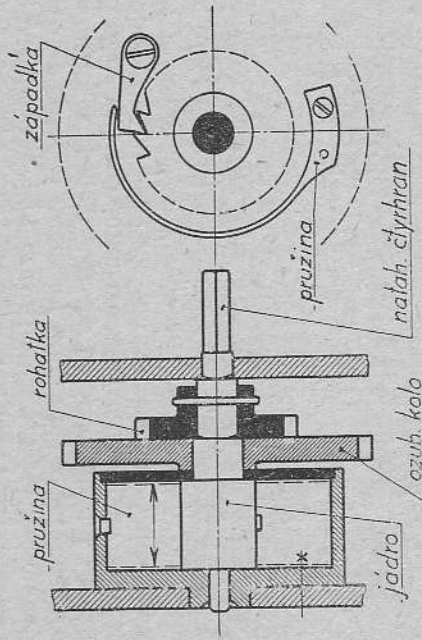
Obr. 247.

veditelný, obr. 246. Jediný rozdíl je ten, že na páce elektromagnetu je nevodivý kámen, který přeruší proud. Je to celkem zbytečné, poněvadž poháněcí páčka přeruší proud zcela bezpečně a úsečně, když kotva elektromagnetu narazí na doraz. Poháněcí páčka vyletí do větší nebo menší výše podle napětí baterie. Reostatem se nařídí proud tak, aby páčka byla vyhozena každých 30—35 sekund. V obchodě jsou hodiny přenosné, které mají podobný pohon, jak ukazuje obr. 247. Poháněcí páčka však působí na hřídel minutové ručky a nepohybuje se svou vahou, nýbrž tahem pružiny 2. Nicméně poháněcí páčka 1 je na obou koncích opatřena závažími, která zvětšují její moment setrvačnosti a tím i sílu, kterou musí vyvinout elektromagnet, ale která také zajišťuje spolehlivý kontakt. Takovými remontoir se napájí z ploché tříčlánekové kapesní baterie a pracuje velmi spolehlivě, v každé poloze.

Konečně je možno vytvořit poháněcí páku přímo jako kotvu elektromagnetu, jako na obr. 248. Pak ovšem je třeba zvláštního spínače. Na obrázku je nakreslena páčka 1, která skáče mezi kontaktem a pevným dorazem, účinkem pružiny 2, napjaté a zavěšené na malé raménko na kotvě 3. Dnes bychom spíše použili prásátka, které bychom dali na kotvu. Toto uspořádání má výhodu, že pracuje tiše, což nelze říci o předešlých.

Poháněcí pružiny

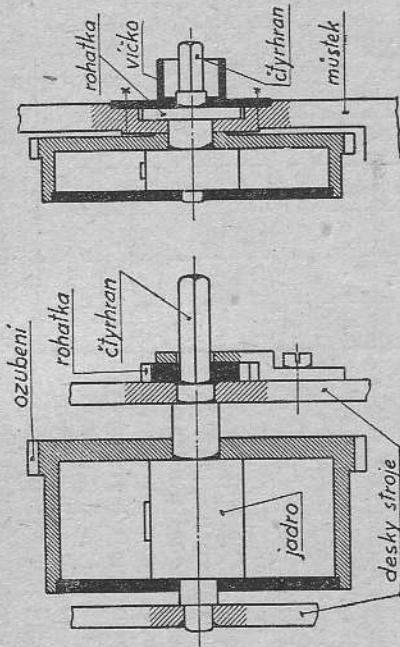
O hnací pružině a o tom, jak je zamontována v pérovniku, bylo pojednáno v prvním díle, v kapitole o pružinách. V hodinářství a v lidové mluvě se říká hnací pružině *péro*; odtud název „*pérovník*“ pro bubínek, v němž



Obr. 249.

je pružina uzavřena. Jednoduchá montáž péra podle obr. 1444 je přijatelná jen pro nejhrubší stroje jako jsou budíky. Lepše je pružina chráněna v zavřeném nelybném bubínku jako na obr. 249. Takový pevný pérovník má ovšem

tu nevýhodu, že při natahování stroj není poháněn. Proto dnes užíváme ve všech lepších strojích pérovníku otáčivého (obr. 250), který není o mnoho složitější, nemá zmiňovanou nevýhodu, a připouští moderní způsob nataho-



Obr. 250.

Obr. 251.

vání u kapesních hodinek, po př. i užití stavítka. Ve starších hodinkách býval otáčivý pérovník uložen letmo jako na obr. 251. Letmé uložení jádra nebylo příliš solidní a brzy se viklalo; dělalo se to pro úsporu místa.

Vlastnosti hnacích pružin

V prvním díle byla také uvedena rovnice (14) pro počet otáček pružiny, jestliže číselné poměry pérovníku jsou podle obr. 1443. Pérovníky námořních chronometrů mívají jádro ještě většího průměru a potom poměry jsou jako na obr. 252, a počet otáček je dán rovnicí

$$n = 0,0616 \frac{d}{h} \quad (92)$$

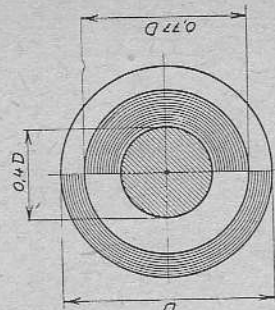
(d průměr pérovníku, h tloušťka pružiny).

Délka pružiny je přibližně

$$L = 0,33 \frac{d^2}{h} + d \quad (93)$$

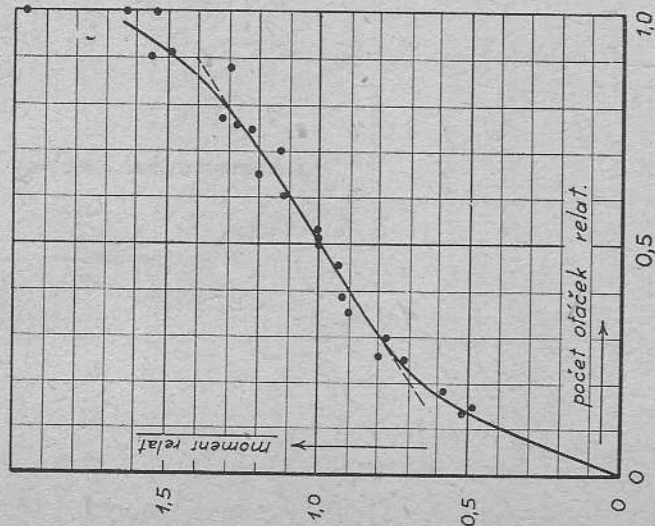
Zárovení byla udána rovnice pro hnací moment pružiny. Tato rovnice byla odvozena z nepřímých údajů, které jsem shledal v literatuře a které jsou jako body vyznačeny na obr. 253. Body je proložena průměrná křivka,

kterou, jak je na obrázku patrné, lze bez velké chyby nahradit čárkovou přímkou. Ovšem z rozptylu bodů je vidět, že rovnice je jenom přibližná. Pružiny se chovají dosti nepravidelně, protože hnací pružina se nedeformuje tak, jako vlásek, jehož závitů zůstávají odděleny od sebe, nýbrž

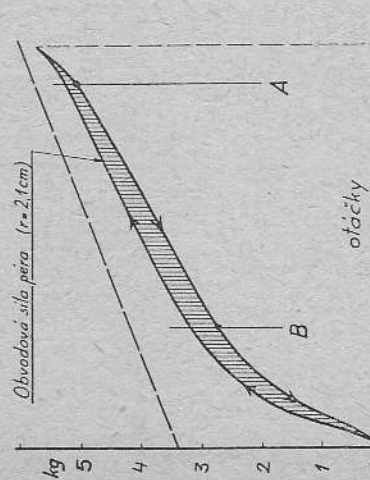


Obr. 252.

se na trn doslovně navinuje. Proto také nestoupá moment podle přímky, nýbrž po krátkém vzestupu následuje pomalý růst momentu a teprve na konci následuje rychlý vzestup. Toto chování je dobře vidět na obr. 254. Čárková přímka je průběh momentů, jaký by měl být theoreticky. Skutečná křivka leží pod touto čarou a je zřetelně odlišná při natáhování a při rozvíjení péra. To je následek tření pružiny o stěny pérovniku a zejména tření závitů mezi sebou. Často se péro vlivem tření rozvíjí nepravidelně, dělá náhlé skoky, které bývají slyšitelné a které se na křivce projeví nepravidelně. Vyšrafovaná plocha představuje ztrátu energie, způsobenou tímto třením. Čára na obr. 253 a z ní odvozená rovnice již přihlížejí k této ztrátě.



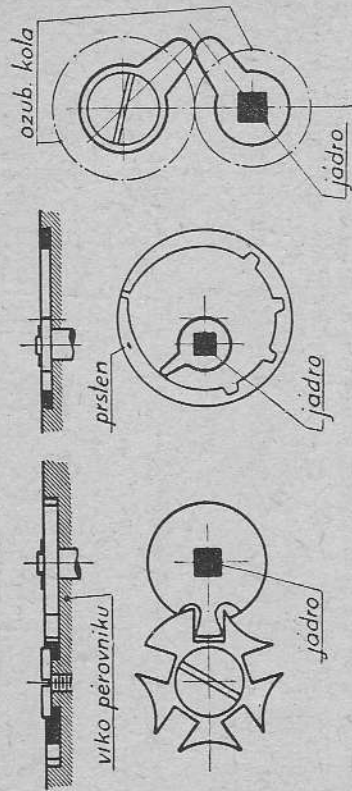
Obr. 253.



Obr. 254.

Stavitka

V zájmu pravidelného chodu by bylo ideální, kdyby pružina dávala moment nepřeměnný. Tomu ovšem tak není, jak je vidět na obr. 254, a nechceme-li sáhnout ke komplikaci, jako je řetizek a šnek, snažíme se využít alespoň té části křivky, která je na obr. 254 označena A—B. V kvalitních



Obr. 255.

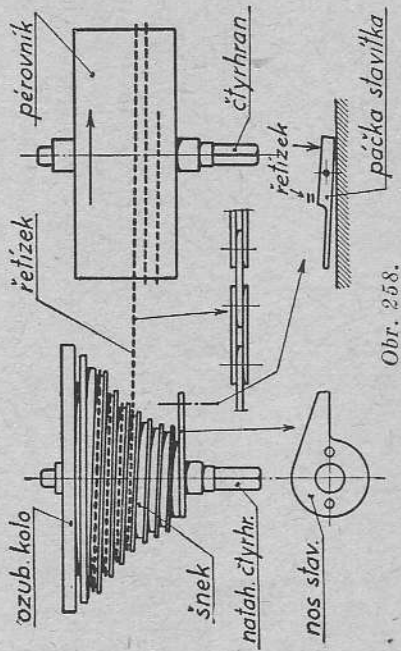
Obr. 256.

Obr. 257.

hodinkách starší výroby se užívalo zařízení, kterému říkáme *stavitko*, a které omezovalo natahování a rozvíjení pružiny asi na čtyři otáčky. Stavitko má nejčastěji tvar jako na obr. 255. Je to známý maltézský kříž, jako v projekčních přístrojích, jenomže jedno z ramen je ponecháno plné. Kříž je otočný na víku pérovniku, a palec je nasazen na čtverhran jádra. Jiné řešení na obr. 256 je excentrický prstenec, rozříznutý a napružený, a na rybinu zasazený do vysoustružené prohlubně víka. Na jádře je opět na čtyřhran nasazen palec, který zasahuje do výřezů v prstenci. V kreslené poloze je palec opřen o plný prstěn, který brání dalšímu otáčení doleva. Zajímavý způsob stavitka je na obr. 257. Jsou to jen dva palce, spojené s ozubenými kolečky, do sebe zasahujícími. Je záležitostí matematika, vy počítat potřebný převodový poměr; palec na sebe dolehnou v poloze nakreslené a podruhé v poloze k ní symetrické. V moderních hodinkách stavitko málokdy najdeme, poněvadž zdražuje výrobu a vyžaduje trochu místa ve směru osy, kterým konstruktér tolik musí šetřit.

Šnek

Námořní chronometr, kde je místa dost a kde neproměnný hnací moment je důležitý požadavek, užívá podnes zařízení prastarého, kterým bývaly vybaveny všechny hodinky vřetenové. Je to šnek, který snad vynalezl Jakub Cizek v Praze r. 1525. Hnací pero je uzavřeno v pérovniku obvyklé konstrukce, a na tento pérovník pružina navinuje tenký snýtovaný řetízek, jak ukazuje obr. 258. Řetízek se odvíjí ze šneku, který má tvar takový, aby součin tahu řetízku a poloměru šneka byl konstantní. Vypočítat šneka je

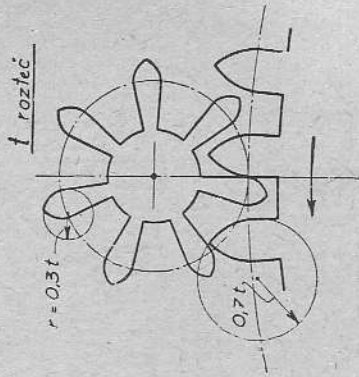


Obr. 258.

hezka úloha pro matematika, ovšem výpočet platí jen tak dlouho, dokud hnací pero si zachovalo předpokládaný průběh momentu. Chronometráři mají zařízeníčko podobné přezmenu, kterým se dá měřit točivý moment na hřídeli šneku. Jistá úprava je možná, změníme-li napětí pera tím, že otáčíme jádrem pérovníku, k jehož čtyřhranu jinak zvenčí ovšem není přístup. Poněvadž při natahování by hodiny nebyly poháněny, je první ozubené kolo na šneku volně otočné a se šnekem je spojeno pružinou tak, jak jsme viděli na obr. 235. Také šnek potřebuje stavítko, tím spíše, že přetažením se může přetrhnout řetízek. Užívá se maltézského kříže, anebo ozubeného převodu, který postaví nějakou zarážku do cesty nosu, příšroubovanému na šneku. Místo ozubeného převodu se často užije pouhé páčky (viz obr. 258), která, tlačena pružinou, doléhá se strany na řetízek. Při natahování navinuje se řetízek stále na menší poloměr a blíže k nosu, stlačuje přitom páčku, až nos narazí na konec této páčky a natahování je skončeno. S tímto jednoduchým stavítkem se setkáváme napořád ve starých „špindlovkách“, často i v námořních chronometrech; je to zařízení jednoduché a proti maltézskému kříži mnohem robustnější. Při katalogování starých hodiněk v Národním technickém muzeu jsem shledal, že ve veliké většině jich byl palec maltézského kříže zlomen. Často chybělo stavítko úplně; patrně hodinář poškozené stavítko prostě zahodil a zákazníkovi doporučil, aby opatrně natahoval.

Ozubená kola

O ozubených kolech bylo řečeno dosti v prvním díle. Jsou to pravidelně kola cykloidní, z tvrdé mosaze a zabírají do ocelových, kalených a pečlivě vyleštěných pastorků, které jsou zpravidla v celku s hřídelem. Ozubená kola jsou, je-li možno, přímo nanýtována na pastorek, jak bylo popsáno u obr. 114. Jinak se kola nanýtují na pří-



Obr. 259.

rubu, naraženou na hřídel, v nejlepším provedení pak jsou kola třemi šroubky přišroubována na tuto přírubu (která byla definitivně na míru osoustružena na hřídeli samém). Tato ozubení nebývají právě nejpřesnější, cykloidy se obvykle nahrazení kruhovými oblouky, což ovšem je pochopitelné u ozubení tak drobných. Proto také pokusy provedené ve Švýcarsku ukázaly nečekaně velké nepravidelnosti v přenosu pohybu. Jak takové ozubení vypadá, ukazuje obr. 259; je to záber kola se 70 zuby a pastorku sedmizubého. Převodové poměry jsou tím horší, čím menší je počet zubů pastorku. Minimum je 6 zubů a najdeme je velmi často na pastorku stoupacího kolečka v kapsních hodinách. V lepším provedení i zde dáme přednost pastorku sedmizubému. U pastorků větších volíme 8, 9 i 10 zubů, stejně u pastorků v chronometrech; v přesných kyvadlových hodinách se používá pastorků o 12 až 16 zubech. Pozoruhodné je, že tyto pastorky velmi často mají špičky zubů zkomoleny, takže nezabírají. Účel je ten, aby se odstranilo neprůžné tření zubů před střední polohou.

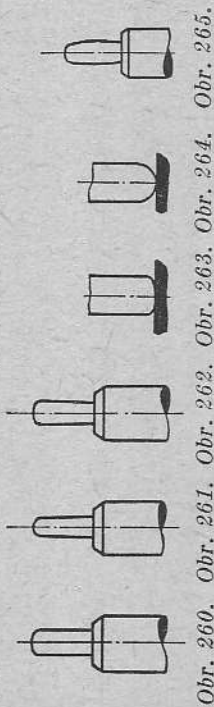
U hrubších strojů se užívá ozubení cévového, znázorněného na obr. 1330, s pastorky vytvořenými z pouhých ocelových kulatých tyčí. Záběrové poměry jsou poměrně příznivé, i když pastorek má pouhých 6 zubů (jak se také velmi často stává), a určitou výhodu máme v tom, že ozubení pracuje i když jsou kola silně znečištěna, poněvadž je zde dost místa, kam se nečistoty při chodu vytlačí. Proto užíváme tohoto ozubení často ve věžních strojích, a zcela všeobecně v hrubších strojích (kuchyňské hodiny, budíky, ale také ozdobné stojací hodiny).

Čepy a ložiska

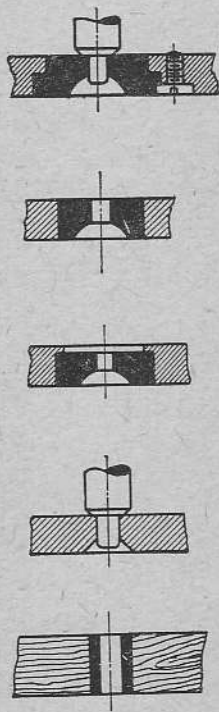
Také tato otázka byla probrána v prvním díle, a zde se omezíme proto jenom na několik doplňků. Obvyčejný válcový čep vypadá jako na obr. 260; může být slabě kuželový, jako na obr. 261 (zejména byli-li vývrt pro čep upravován táhle kuželovým hodinářským výstružníkem), nikdy však jako na obr. 262. Je-li čep uložen mezi krycími kameny, může být důležitě, jaký tvar dáme konci čepu. Tvar podle obr. 263 dává větší tření nežli tvar obr.

264. Toho využívají někdy regléři, když seřizují kapesní chronometry. Ve „švarcvaldkách“ najdeme někdy čepy tvaru soudečků jako na obr. 265.

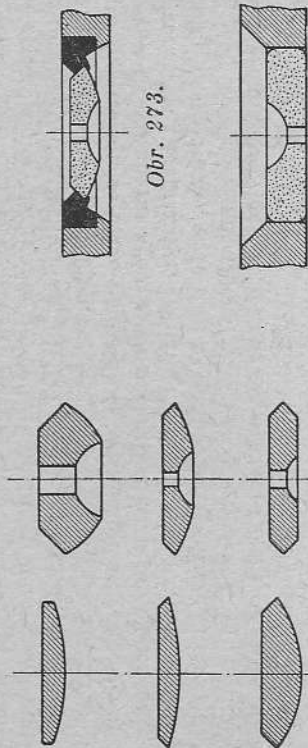
Ložiska ve švarcvaldkách jsou mosazné trubky zaražené do dřevěných desek stroje, jako na obr. 266. Jinak užíváme běžné ložiska jako na obr. 267, lépe však zvláštních ložiskových vložek, které jsou do desky stroje vlisovány, jako na obr. 268 a 269; nejkvalitnější provedení je podle obr. 270,



Obr. 260. Obr. 261. Obr. 262. Obr. 263. Obr. 264. Obr. 265.



Obr. 266. Obr. 267. Obr. 268. Obr. 269. Obr. 270.



Obr. 271. Obr. 272. Obr. 273. Obr. 274.

kde ložisko je v desce drženo přesahujícími hlavami dvou nebo tří šroubků. Výhoda těchto vložek je, že mohou být ze speciálního materiálu (dnes na př. z berylliového bronzu), a že vyběhané ložisko je možno snadno vyměnit s jistotou, že hřídel bude mít osu opět na správném místě.

V jemném hodinářství se běžně užívá ložiska kamenových, většinou ze syntetických korundů, jak bylo už vyloženo v prvním díle. Nejlepší jsou

korundy bezbarvé; móda však žádá rubíny, a tak všude tam, kde kameny je vidět, najdeme syntetické rubíny. Tvary kamenů jsou nejrůznější a na obr. 271 je ukázka několika forem kamenů provrtaných a na obr. 272 několik kamenů krycích (koncových). Kameny se dříve všeobecně upevňovaly přehybem, jak vysvětleno již na obr. I 16. Tato práce (sertissage) se v továrních provádí speciálními stroji v kratičkém čase, ale není stejně snadné poškozený kámen nahradit novým. Lepší byly zvláštní vložky (chatomy), do kterých byl kámen zasazen a které byly do stroje buď vlisovány jako na obr. 273, nebo (u jemných strojů) upevněny jako ložisko na obr. 270. V poslední době švýcarské továrny hojně užívají kamenů prostě jen vlisovaných, jako na obr. I 227 a 274, neboť výrobní technika pokročila tak, že kameny lze vyrábět ve velmi těsných tolerancích. Výroba jde rychle v továrně, ale snadné jsou i opravy u hodináře, který poškozený kámen prostě vyrazí a nový zasadí s pomocí miniaturního ručního lisu. Je-li třeba zasadit kámen o něco větší, rozšíří se lůžko přesným výhlubníkem; výhlubník je celá sada, odpovídající normovaným průměrům kamenů.

Účinnost ozubených soukolí

Nečetná provedená měření, uveřejněná v literatuře ukazují, že účinnost jednoho záběru je asi 0,94; je o něco větší u kol, která se pohybují pomalu, a nejmenší u posledního záběru, kterým je poháněno stoupací kolečko. V jednom záběru je průměrně ztráta 6% a v tom je zahrnuto i tření v čepch. Je-li záběrů ve stroji n , je účinnost soukolí

$$\eta = 0,94^n \quad (94)$$

Z rovnice vychází pro různý počet záběrů tyto hodnoty:

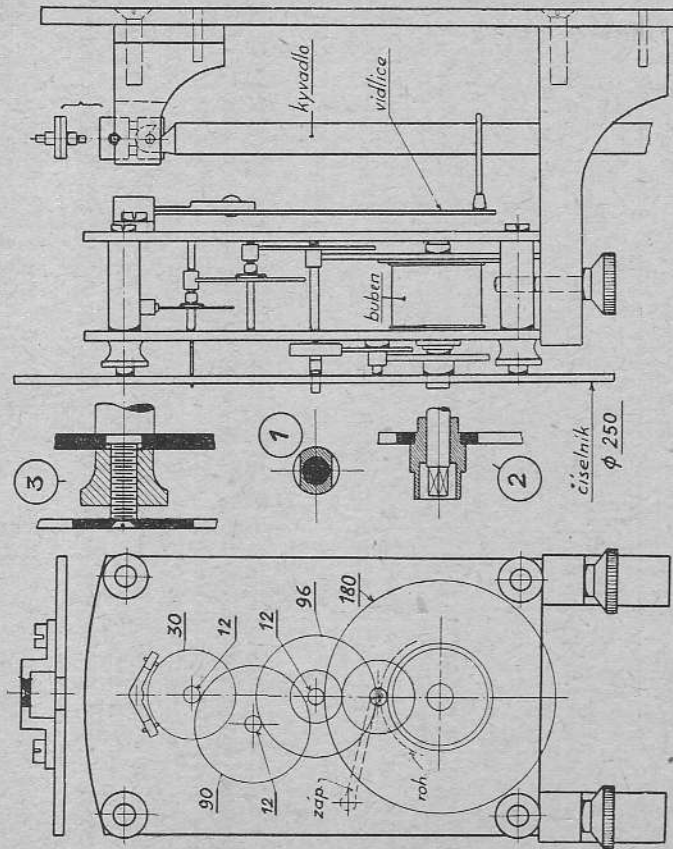
$n = 1$	2	3	4	5	6
$\eta = 0,94$	0,88	0,83	0,78	0,73	0,69

V kapesních hodinkách máme celkem čtyři záběry a tedy na stoupací kolo se přenese 78% práce vydané hnacím pérem. U velkých hodin kyvadlových jsou jenom tři záběry, jsou-li hodiny zařízení pro týdenní natahování; účinnost zde je 83%. Jak je vidět, ztráta v převodech není zdaleka tak veliká, jako ztráta v kroku, jak bylo vidět v příkladě 2, kde práce, předaná ozubeným soukolím stoupacímu kolu, byla čtyřikrát větší než kolik potřebuje kyvadlo.

XI. Mechanické hodiny

V předešlých kapitolách jsme probrali jednotlivé části hodin; nyní se podíváme jak hodiny vypadají celkově, a začneme kyvadlovými. Na obr. 275 je znázorněn stroj dobrých hodin se sekundovým kyvadlem a s poho-

nem závažovým. Je to typický sekundový „regulátor“, který půldruhého století v kvalitním provedení sloužil na hvězdárnách jako hlídač času. Konstrukce tato je typická a provádí se s obměnami, které nejčastěji jsou diktovány ohledem na lacinou výrobu. Stroj je montován mezi dvěma deskami, zpravidla mosaznými a vzdálenost desek je dána rozměry bubínku, na který se navinuje struna. Zdvih závaží je dán rozměrem a výškou

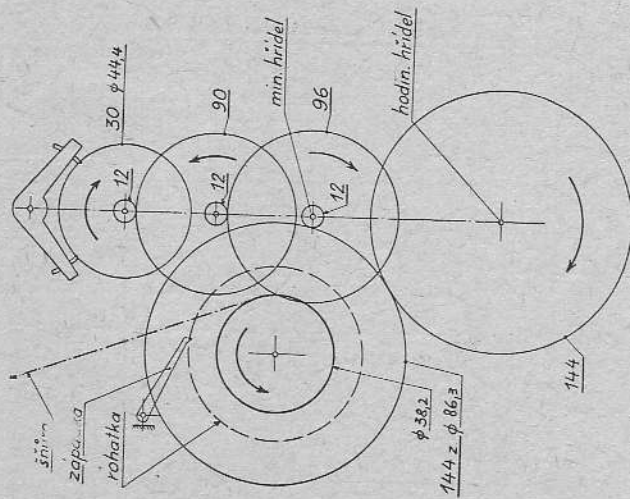


Obr. 275.

skříně a ta ovšem záleží na délce kyvadla. Zpravidla je chod hodin osmidenní, t. j. pro týdenní natahování s malou rezervou. Abychom vyšli s minimálním počtem hřídelů, závaží vždycky visí na pohyblivé kladce a tím se počet obrátek bubínku zdvojnásobí. Bubínek pohání pastorek hřídele, který nese minutovou ručku. Následuje hřídel převodní, od něhož je poháněno již stoupací kolo kroku. Aby se ručkami dalo otáčet, když hodiny řídíme, je minutová ručka nasazena na trubce z obou stran odřezované a napružené; trubka je nastřena na minutový hřídel, a je odřezávaná třením (detail I na výkrese). Od této ručky je převodem 1 : 12, výjimečně 1 : 24, poháněna ručka hodinová. K tomu je nutná malá předloha patrná na obrázku. Hodinová ručka může být soustředná s minutovou, jak je tomu u všech hodin pro obyčejnou potřebu; u hodin přesných, abychom zmenšili tření

na minimum, dáváme ručku hodinovou na zvláštní osu a dáváme jí zvláštní dělený kruh na číselníku. Číselník takových hodin má pak kruh pro sekundovou ručku, velký kruh pro minutovou a malý pro hodinovou ručku, jak je vidět na obr. 277.

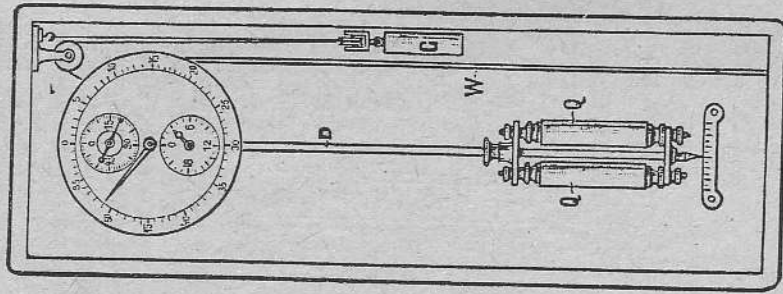
Stroj je přišroubován na dvě konsoly, sešroubované, po případě i odlité vcelku se základní deskou stroje; tato deska je pak šrouby připojena na zadní stěnu skříně. U hodin přesných, kde záleží na pevné montáži kyvadlové konsoly, volíme desku mohutnou; tuto desku drží šrouby zabetonované do zdi, do pilíře a pod., a aby náhodný náraz na skříně se nepřenesl na kyvadlo, ujmeme distančních vložek mezi osazením šroubu a deskou stroje, dlouhých jako tloušťka



Obr. 276.

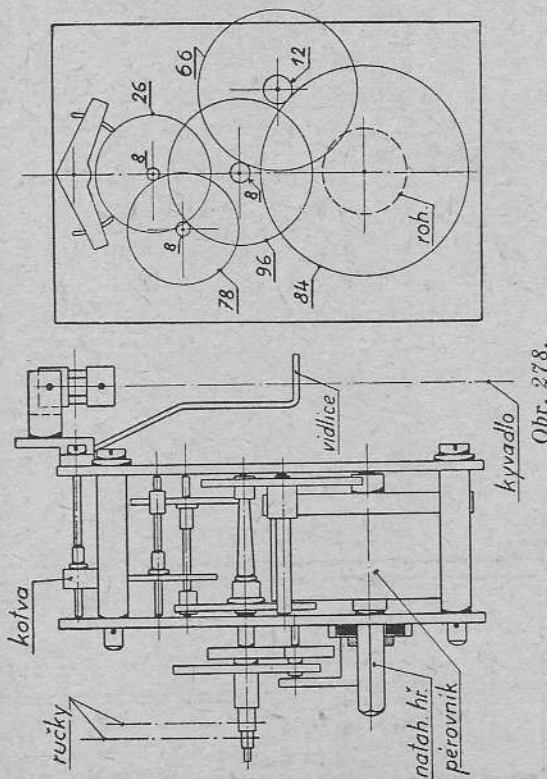
zadní stěny skříně; matky šroubů utáhneme, takže deska je přímo spojená se zdí a skříně je mezi zdí a deskou stroje sevřena (nejlépe, když distanční vložky jsou trochu delší a mezi desku a skříně dáme poddajný materiál, na příklad plst). Není-li deska velikých rozměrů, připevníme skříně ještě jedním šroubem ke zdi. Kyvadlová konsola je připevněna na základní desku, ještě lépe odlita s ní vcelku. Nakreslené konsoly jsou ovšem trochu pracné; výborně vyhoví dva silné koflíky kulaté, naražené do desky. Je důležitě, aby se stroj dal vsunout na své místo s jistotou,

Obr. 277.



že bude zachována správná vzájemná poloha osy vidličky a kyvadla. Stroj se natahuje klíčkou, kterou nasadíme do otvoru číselníku: na hodinách nakreslených tento čtyřhran je soustředný s hodinovou ručičkou (detail 2 na obr. 275).

U přesnějších hodin je účelné dát závaží na stranu. Závaží má v určité poloze stejnou dobu kyvu jako kyvadlo. Poněvadž je to poloha, kdy závaží je ve výši čocky kyvadla, nastává aerodynamická vazba mezi čockou a závažím, závaží se rozkývá, a tím bere energii kyvadlu a citelně ovlivňuje dobu kyvu. Vyvedeme tedy strunu (lepší je pletená, na př. rybářská šňůra) ke kladce zavěšené nahoře a na straně skříně. Závaží polybuje se tedy podle boku skříně, a ještě lepší je, oddělit závaží od ostatního prostoru vislou skleněnou deskou. Takové uspořádání je na obr. 277; Lange dával závaží ve tvaru ploché olověné desky k zadní stěně skříně a odděloval jeho prostor přepážkou od prostoru pro kyvadlo (deska nejlépe skleněná, aby nebylo nutno dělat nějakého ukazatele polohy závaží).



Obr. 278.

Je-li závaží na straně, máme daleko větší volnost v dispozici celého stroje. Bubínek můžeme pak dát na stranu, jako na obr. 276, a od bubínku větším ozubeným kolem přímo pohánět hodinovou ručku. Stejně dobře můžeme dát stoupací kolo do spodku stroje, jak toho vyzaduje krok s kotvou obrátcenou vzhůru. Tyto starosti ovšem odpadnou, jestliže se rozhodneme pro elektrický pohon podle obr. 246; pak vzdálenost obou desek stroje může být daleko menší, a dokonce stroj můžeme dvěma šroubky připojit na upravenou kyvadlovou konsolu, jak to udělal na př. autor ve svých elektrických hodinách. Nesnáze činí kroky, nebo impulsní mechanismy elektrické, jsou-li

umístěny blíže středu kyvadla nebo dokonce pod kyvadlem. Pak je nutný rám, na př. ve formě silného plochého železa, nebo ve formě dvou tyčí, které spojují kyvadlovou konsolu s montáží hodinového stroje a je-li záběr velmi malý, je nutno tyče udělat z těžšího materiálu jako je kyvadlová tyč (dnes tedy z invaru).

Jsou-li hodiny poháněny pružinou, je uspořádání podobné. Poněvadž pružina nedává tolik otáček jako bubínek, je zpravidla nutný převodový hřídel mezi pérovníkem a minutovou osou. Za to nečiní potíže dosáhnout chodu čtrnáctidenního, po případě i měsíčního. Po pravdě řečeno, není to žádná výhoda proti chodu týdennímu, poněvadž je menší pravděpodobnost, že zapomenou natáhnout hodiny každou neděli než třeba každou třetí neděli. U menších strojů bývá kyvadlo zavěšeno často ne na základní desce, nýbrž na zadní desce stroje. Tato montáž je však méně důkladná (příklad je na obr. 278).

Uspořádání malých kyvadlových hodin s pohonem pružinovým je na obr. 278. Místo bubínku pro šňůru je pérovník (podle obr. 250), který pohání minutový hřídel přes předložený hřídel. Do výkresu jsou zapsány i počty zubů. Kyvadlo, půlsekundové a často ještě kratší, je zavěšeno obvyklým pružinovým kloubem na vidličce namontované přímo na zadní desce hodinového stroje. U hodin nejhrubších, jako jsou kuchyňské hodiny s krokem Brocotovým (provedeným však jako krok mírně vratný) bývá kyvadélko upevněno přímo na hřideli kotvy.

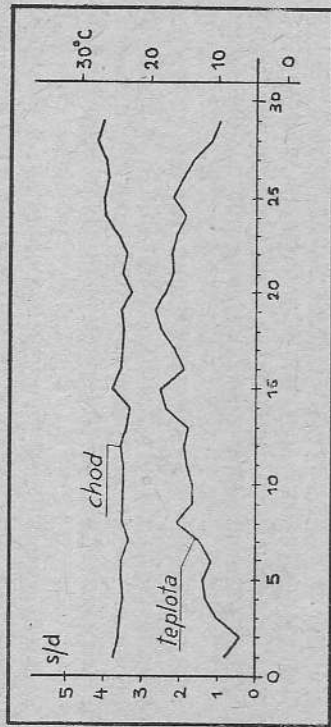
Kyvadlové hodiny mají často bicí stroj, který odbíjí celé hodiny, často půlhodiny a velké stroje někdy i čtvrtihodiny na zvláštním „gongu“. Takový bicí stroj je pak poháněn druhým, po případě i třetím závažím, nebo dojde k tomu, že jeden nebo dva pérovníky více. Číselníky jsou zpravidla kovové, emailované, postříbřené, v laciném provedení jen barvou namalované. Číselník se upevňuje obvykle čtyřmi sloupky na přední desku stroje. Mezera mezi číselníkem a deskou je nutná, poněvadž je třeba místa pro převod mezi minutovou a hodinovou ručkou. Příklad solidního upevnění číselníku je na obr. 275, detail 3.

Kyvadlový stroj s pohonem závažovým, a s dřevěným kyvadlem vyhovuje praktické potřebě občana, kterému je čas drahý. Staré „pendlovky“ s osmdesátirázovým kyvadlem dřevěným bylo možno vyregulovat tak, že týdenní odchylka byla v mezích půl minuty. Se sekundovým kyvadlem dřevěným a s dobrým Grahamovým krokem lze dosáhnout variace 1 s/d i méně. Pérové hodiny s krátkým železným kyvadlem jsou vždy ještě lepší než průměrný stroj se setrvačkou, nemluvě o budíku. Krok lepších hodin je vždy Grahamův, malé pérové hodiny mívají obvyklejnu kotvu.

Námořní chronometry

Elitou jsou ovšem námořní chronometry. Jejich historie je neobyčejně zajímavá i poučná, a je škoda, že omezený rozsah knihy nutí ke stručnosti. Začalo to cenou, kterou anglický parlament vypsal za nalezení metody, jak

stanovit zeměpisnou délku na moři. Bylo jasné a dávno známé, že prosté řešení problému by bylo vytvořit dostatečně přesné časoměry. První, kdo se o to pokusil byl *John Harrison*, který v letech 1735 až 1754 vytvořil tři podivné velké přístroje, které však ukázaly výsledky nečekaně dobré. Byly to ohromné hodiny, vážící kolem 40 kg, a jako oscilátor kývaly dvě páky se závažími a pružinami jako na obr. 33. Pak však r. 1761 vytvořil stroj



Obr. 279.

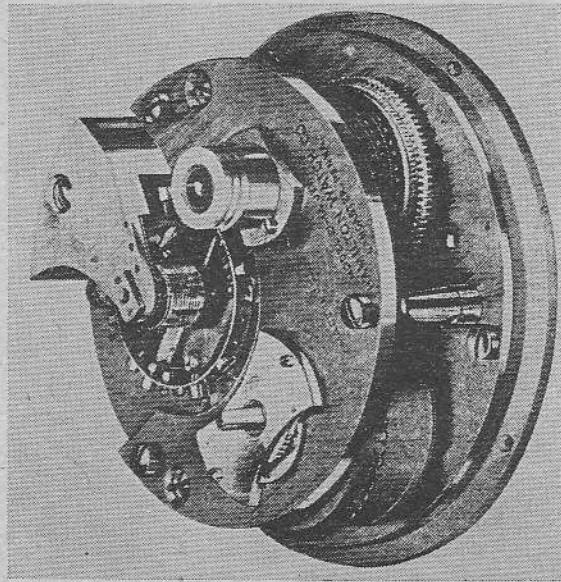
malých rozměrů, po všech stránkách odlišný, který po plavbě trávající 156 dní měl chybu jenom 54 sek. Stroj měl průměr asi 130 mm, byl neobyčejně pracný ve výrobě, a hodinář Kendall podle něho zhotovil stroje další. Následovala nechtaná pře Harrisona s úřady a Harrison dostal cenu již jako statek. Druhý byl *T. Mudge*, jehož stroj šel ještě lépe, dokonce neuvěřitelně dobře, jak ukazuje obr. 279, ale i tento chronometr byl příliš složitý a drahý pro všeobecné upotřebení na

lodích. Správné řešení podal Arnold, jehož krok jsme popsali, a vývoj dovířil *Thomas Earnshaw*, který kolem roku 1790 dal námořnímu chronometru rozměry a konstrukci, od které se moderní stroje odchytili jen v malých detailech. Přibližně v téže době pokusili se o řešení Pierre Leroy; jeho krajan F. Berthoud vytvořil chronometrový krok a několik strojů, které sice dobře šly, ale byly ještě veliké, těžkopádné a hlavně nákladné.

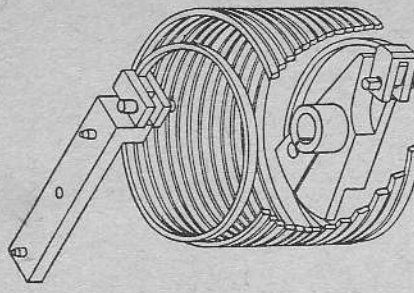
Dnešní chronometr je hodinový stroj, který má prů-

měr asi 80 mm, a je opatřen pérovníkem, který pohání stroj přes řetěz a šneka. Krok je chronometrový, až na nečetné výjimky typu pružinového, jako na obr. 199. Setrvačka, která má rozměry asi jako v příkladě 4, je velmi pečlivě kompensována: dříve se hojně užívalo zmíněných kompenzačních páčků, dnes převládá setrvačka Guillaumeova ve spojení s válcovým vláskem z oceli nebo z paladia. Vlasek nemá regulační ručku a reguluje se závažky, jak popsáno v kapitole VIII. Doba chodu starších chronometrů byla asi 56 hodin a všechny měly ukazatele nahoře na číselníku, který ukazoval stupeň natažení péra. Dnes užíváme i chronometrů osmidenních;

stroj není o nic složitější, jenom převod mezi pérovníkem a minutovým hřídelem je větší, a mnohem větší pérovník má větší počet otáček (samozřejmě



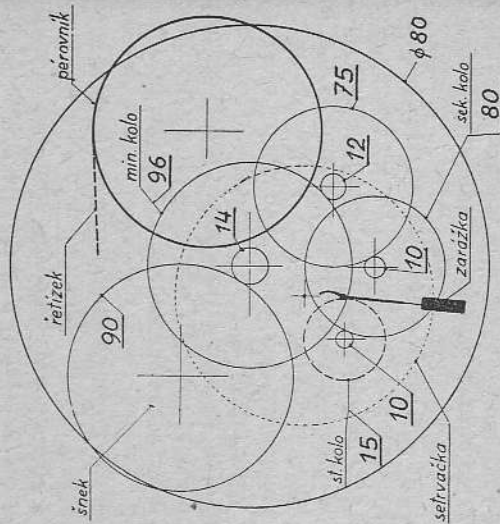
Obr. 281.



Obr. 282.

určený stavítkem). Uspořádání dvoudenního chronometru je na obr. 280, kde jsou zapsány počty zubů. Pohled na stroj moderní (Hamilton) je na obr. 281, kde je vidět pérovník a šneka, a obvyklé umístění setrvačky vně stroje. Setrvačka byla popsána v kapitole VII., obr. 123. Vlasek je samozřejmě ze slitiny podobné elinvaru a má obvyklou formu válcovou; zajímavé je upevnění vlásku uklínovanými svorkami tvaru U, místo obvyklého upevnění kuželovým kuličkem (obr. 282).

Stroj chronometru je vždy uzavřen v těžkém masivním koflíku, který je Kardanovým závěsem zavěšen v dřevěné skřínce; stroj zůstává tedy ve vodorovné poloze při všech pohybech lodi. Provedení celého stroje je přirozeně velmi přesné a pečlivé, ale je zajímavé, že obvykle jen stoupačí kolo (a ovšem setrvačka) jsou uloženy v kamenech.



Obr. 280.

Přesnost těchto strojů je vynikající, kompensace výborná (zejména s moderními vlásky); nejlepší exempláře mají průměrnou variaci 0,05 až 0,1 s/d. Rovněž trvanlivost je obdivuhodná a bylo referováno o strojích, které po 50 letech chodu nejevily téměř žádné opotřebení. Pro zajímavost uvádím přehlednou tabulku chronometrů dvoudenních a osmidenních:

Chronometr	starý 2 d.	nový 2 d.	nový 8 d.
průměr stroje	73	83	89
objem pérovníku	11,3	18,4	45,5
moment péra	2050	3900	5400
průměr setrvačky	28	32 1/2	29
váha setrvačky	5,8	11,0	9,3
potoměr setrvačky	13,2	14,9	13,7
amplituda	240	235	225
průměr stoupu	12,2	13,7	12,7
kola	13,2	13,7	13,5
délka zarážky	43,3	43,3	
(ke kamení)			
úhel impulsu			
ozubená kola	90—90—80—80	144—90—80—80	144—90—80—80
pastorky	14—12—10—10	12—12—10—10	12—12—10—10
otáček šneka	8 3/4		16

Pozn. Číslice týkají se anglických chronometrů. Starý chronometr je asi z r. 1890.

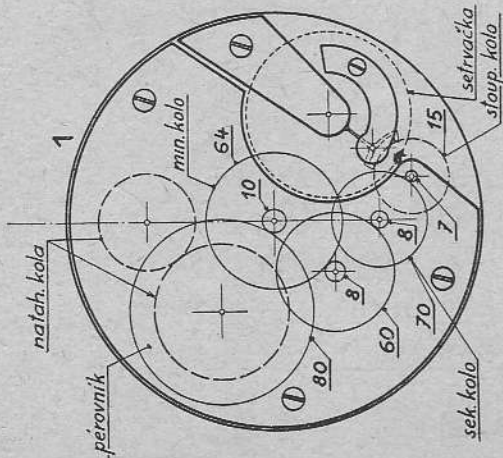
Kapesní hodinky

První kapesní hodinky byly neforemné a tlusté stroje s vřetenovým krokem, o němž víme, že za mnoho nestojí, a který bezpodmínečně vyžadoval pohon řetízku a šnekem. Dnešní stroje jsou daleko menší, šnek a řetízek (ještě v minulém století užívaný pro přesné strojky) dnes úplně vymizel, když se regléři naučili, jak dosáhnout dostatečného isochronismu systémem setrvačka—krok. Celková úprava hodinkového stroje je patrna na obr. 283. Základem je poměrně silná mosazná deska, obrysu kruhového, ale jinak nejrůznější způsobem vřtaná a vyhlubovaná. Různým způsobem je řešeno upevnění ložisek pro hřídele. Jedna krajní možnost je dát všechna ložiska na druhou kruhovou destičku, spojenou sloupky s deskou základní. To se dříve hojně dělalo, a najdeme podobné provedení dnes v menších i větších strojích, jako jsou budíky, stolní hodiny a pod. Druhým extrémem byl můstek pro každý hřídel, jako na obr. I 86, I 87. Tato montáž je daleko pohodlnější pro rozebírání stroje, ale dražší, a vyžaduje přesnou výrobu, mají-li osy hřídelů vyjít rovnoběžně. Dnešní praxe neuznává ani jednoho ani druhého extrému, nýbrž kompromisů, které jsou přehledně znázorněny na obr. 284.

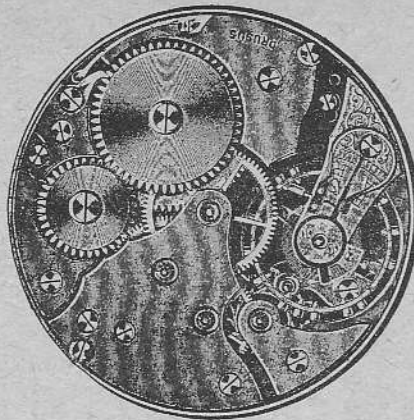
Doba kyvu setrvačky je dnes zpravidla 1/6 sek. V minulosti, zvláště v hodinách s krokem chronometrovým a duplexním, bývala doba kyvu také

0,25 sek, v kapesních chronometrech někdy 1/6 sek. Počty zubů v dnešních hodinách jsou udány v obr. 283 a v přehledu na obr. 285. Setrvačka je dnes vždy v úrovni ozubených koleček, kdežto dříve bývala umístěna nad hodinovým strojem (ještěže hodinky ležely číselníkem vespod). Toto umístění setrvačky se udrželo jenom u námořních chronometrů, kde je dostatek místa, zejména výšky, kdežto u kapesních hodinek nutno místem šetřit.

Móda tenkých hodinek, která řádila již jednou, žádá i dnes malou výšku stroje, a konstruktér je nucen sfla-



Obr. 283a.



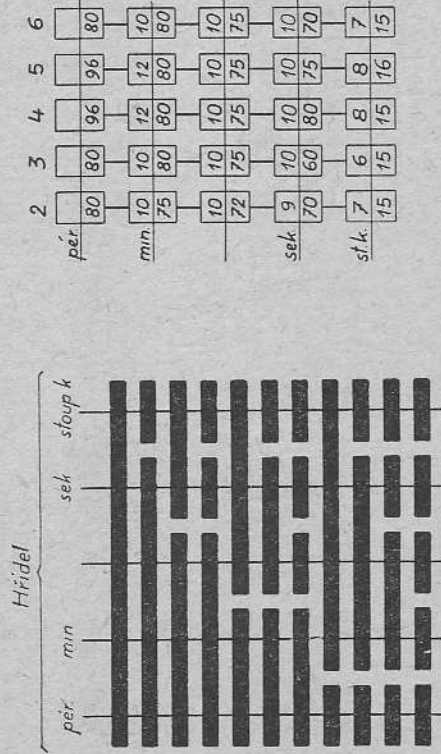
Obr. 283b.

čovat rozměry často proti požadavkům technickým. Výsledkem jsou přemáhané pružiny hnací, příliš malé délky hřídelů, zejména hřídele kotvy (kterou překrývá velká setrvačka) a zvýšené nebezpečí, že vlivem malých chyb mohou některé součástky při pohybu (zejména vlásek) škrtat o jiné součástky; mohou tím vzniknout poruchy chodu nebo selhávání, které často dělají starost svědomitému hodináři.

Jakost stroje, třebaže uspořádání je vcelku skoro standardní, kolísá podle ceny hodinek. Na trhu jsou nejpřesnější kotvové chronometry, dále hodinky dobré kvality známých a renomovaných značek (Oméga, Movado, Zénith, Longines, Shaffhausen a j.), pak různé jakosti označené i anonymní, na nejnižším stupni pak stojí laciné hodinky americké, jejich provedení je neuvěřitelně hrubé, ovšem také cena neuvěřitelně nízká; před válkou na př. 80 centů (tyto laciné stroje nestojí za opravu, poněvadž pouhé vyčištění by vyžadovalo několikrát víc času než výroba hodinek v továrně). Naproti tomu byly poměrně solidně provedeny známé rozkopfky, třeba že měly jednoduchý krok dle obr. 227.

Znáznornit konstrukci hodinek by vyžadovalo řady výkresů. Čtenáři mohou doporučit, aby sehnal někde staré hodinky, kterých není škoda, a demontáží

třeba neodbornou se přesvědčil o detailním provedení; má-li známého hodináře, má možnost si prohlédnout stroje různé velikosti, různého stáří a různé jakosti. Není úplně správné posuzovat jakost hodinek podle počtu rubínů, poněvadž jenom dobrý rubín a dobře udělané rubínové ložisko je lepší než ložisko z tvrdé mosazi. Není proto katastrofální znehodnocení hodinek, musí-li hodinář z nedostatku kamenů zasadit ložisko mosazné. Normální počet rubínů v dobrých hodinkách je 15 : 4 pro setrvačku, impulsní kámen, 2 zuby kotvy a po páru rubínů pro uložení kotvy, stoupacího kola, sekundového kola a kola předchozího. Dnes minutový hřídel málokdy dávané do kamenů, zato v jemných hodinkách najdeme krycí kameny v uložení kotvy a stoupacího kolečka.

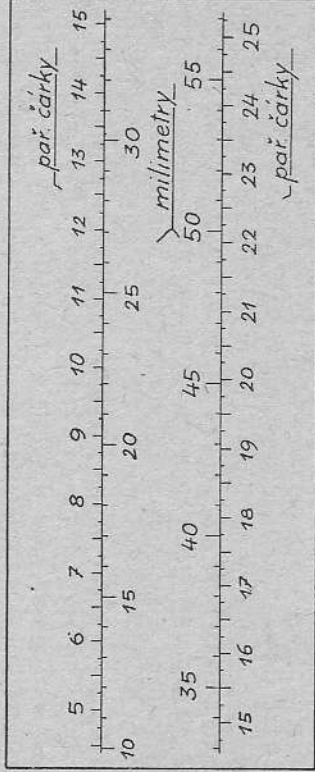


Obr. 284.

Kapesní hodinky se dřívě natahovaly klíčkem, který se prostrkoval otvorem ve spodním větku pouzdra. Nebylo to pohodlné, stroj byl nevalně chráněn před prachem, klíček se mohl ztratit. Pak se zkoušely různé, někdy podivné způsoby natahování bez klíčku, ale nakonec se ujal dnešní natahování korunkou, která je umístěna v závěsném kroužku hodinek. Převod mezi korunkou a převodníkem je vždy jednosměrný, nejčastěji spojkou se šikmými zuby, která přeskakuje, když korunkou točíme zpět. Korunkou také řídíme ručky, jestliže nehtem stlačíme malé tlačítko nebo korunkou povytáhneme. Původ hřídele korunky pouzdrům je často místo, kudy může prach ke strojků.

Hodinky nejmenších rozměrů, náramkové a dámské, mohou být uspořádány podle obr. 283, jenom v menších rozměrech. Často se setkáváme s hodinkami tvaru obdélníku. To dělá sice nesnáze ve výrobě pouzder, od nichž se dnes vyžaduje dokonalá těsnost (dokonce i vodotěsnost), ale pro dispoziční stroje je tento tvar celkem výhodný. Nevýhoda malých strojků, malé rozměry setrvačky, dá se zmírnit, jestliže se stroj uspořádá tak říkajíc ve dvou

patrech, jak to dělá firma Audemars, Piguet et Cie; tak je možno dát setrvačku a kroku rozumnější rozměry. Příliš malé rozměry stroje nejsou výhodné pro přesnost chodu. Jednak se rychle zmenšuje moment setrvačnosti setrvačky a uplatňuje se relativně daleko více vliv oleje, jednak drobnou součástí nemohou být provedeny se stejnou relativní přesností, jako součástky větší. Optimum, zdá se, je velikost normálních nebo spíše větších



Obr. 286.

kapesních hodinek pánských. Větší rozměry nemají ani nejpřesnější kapesní chronometry. V hodinářství se udávají průměry strojků ještě v pařížských čárkách; převod čárek na mm čtenáři usnadní stupnice na obr. 286. Je pozoruhodné, a je důkazem velkého pokroku výrobní techniky i regláže, že s malými strojků, průměru pod 25 mm, bylo dosaženo přesnosti, jakou neměly kapesní chronometry před půl stoletím. V jedné soutěži takové hodinky (značky Rollex) měly střední odchylku 0,25 s/d. Kromě hodinek s obyčejným natahováním se v poslední době znovu objevily (tentokrát již z hromadné výroby) hodinky náramkové, které se natahují automaticky. Uvnitř hodinek je setrvačná hmota ve tvaru zatížené páčky nebo velkého setrvačnicku, tažená pružinou nebo vláskem do střední polohy. Pohyby hodinek tato hmota nesleduje okamžitě, a tím vzniká relativní pohyb, který se přenáší západkou na malou rohatku a dále potřebnými převody na převodník. Je-li péro nataženo, začne klouzat kluzná spojka, umístěná někde v převodu.

V minulosti se hojně užívalo hodinek bicích, „repetovaciích“. Po stisknutí knoflíku zvláštní bicí strojek odbil čtvrti a celé hodiny; dokonce byly hodinky, které oznamovaly minuty. Byly to zajímavé, vtipné řešení, a ovšem nákladné mechanismy, které jsou zbytečné dnes, kdy máme veřejně osvětlení a kdy můžeme ručky a číselník učinit viditelnými světloující barvou. Některé firmy uvedly znovu na trh hodinky s kalendáři. Takový kalendář by bylo jednoduše ústrojí, nebýt toho, že měsíce jsou nestejně dlouhé. Tím se převody komplikují, zejména chceme-li, aby mechanismus bral v úvahu i přestupné roky.

Jiné přenosné hodiny

Malé kyvadlové hodiny stojací mají jednoho nepřítelce: uklizení. Prudký pohyb stačí úplně k zničení pružinového závěsu kyvadla. Staří francouzští mistři tomuto nebezpečí čelili způsobem jednoduchým a drastickým; montovali hodiny na mohutné (a podle panující módy zdobené) stojany, které vážily několik desítek kilogramů. Stejně choulostivé jsou hodiny roční, o nichž byla zmínka v kapitole IV. Není-li možno hodinám zaručit nehybnost, je celkem lépe dát jim setrvačku. V hrubším provedení a se setrvačkou nekompensovanou je přesnost menší než s kyvadlem. Dnes je situace lepší, neboť k laciné hladké setrvačce můžeme dát elinvarový vlásek a dosáhnout uspokojivé přesnosti.

Hodiny se setrvačkou se vyrábí v různých kvalitách a v různých pouzdech a skříních. Na počátku žebříčku je obyčejný budík, od něhož ani velkou přesnost nežadáme, poněvadž jej stejně každý večer natáhneme a nařídíme. Povážlivější je, že v mnohých pěkných, ozdobných a i nákladných skříních často najdeme stroj typu a kvality budíkové. Vyrábějí se však také pěkné hodiny s dobrým strojem, zejména ve Švýcarsku. Krásné byly malé stojací hodiny Lecoultra, Wyler a j.; mezi dvěma skleněnými deskami bylo vidět přesný stroj, který odpovídal strojků kapesních hodinek, ale všechny hřídele byly v průměru nad sebou, setrvačka nejvýše. A na nejvyšší místo žebříčku patří hodiny Mercer: osmidenní chronometrový stroj se šnekem a s velkou setrvačkou ve vodorovné poloze nahoře na stroji.

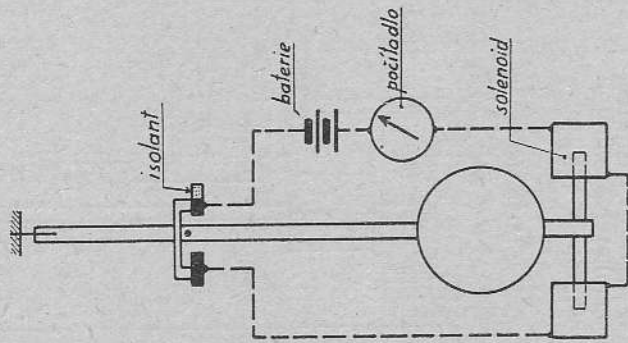
XII. Elektrické hodiny

Elektriny lze užít v hodinářství trojím způsobem. Jeden způsob byl již probrán; je to elektrické natahování mechanických hodin, a elektrina má zde službu jen pomocnou. Za druhé je možno pohánět kyvadlo hodin elektricky, a to jsou samostatné elektrické hodiny v užším smyslu. Za třetí můžeme použít elektriny k synchronisaci hodin a k pohonu hodinových číselníků, které jsou řízeny ústředními, mateřskými hodinami mechanickými nebo elektrickými.

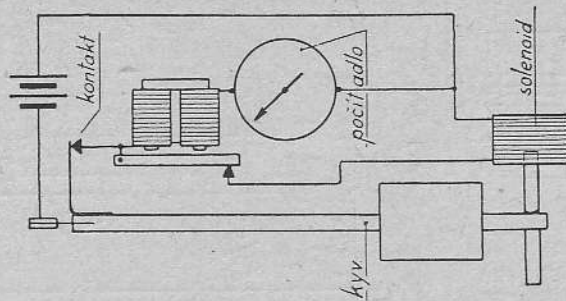
První elektrické hodiny

Prvním průkopníkem byl hodinář *Alexandr Bain*, který sestrojil elektrické samostatné hodiny kolem r. 1843, to jest v době, kdy jsme ještě ani neměli pořádné elektrické články. Tehdy vznikl spor o priority s Wheatstonem, který pro Baina dobře nedopadl; dnes ovšem dáváme za pravdu chuděmu hodináři proti věhlasnému profesorovi, a uznáváme, že Bainovo řešení bylo také mnohem lepší nežli Wheatstoneovo. Bainovo kyvadlo (obr. 287) nese dole permanentní magnet, který se pohybuje mezi dvěma solenoidy. Na kyvadle je kolík, který naráží v blízkosti krajních poloh na posuvný kon-

taktní můstek a ten spojuje proud vždy po celou dobu, kdy kyvadlo se pohybuje doprava. Přitom pravý solenoid přitahuje, levý odpuzuje permanentní magnet; systém tedy je, jak říkáme, polarisovaný. Bainův kontakt za mnoho nestál, poněvadž buď byl můstek lehký, a pak kontakt nebyl spolehlivý, nebo byl můstek důkladný, a pak nepříznivě ovlivňoval kyvadlo.



Obr. 287.



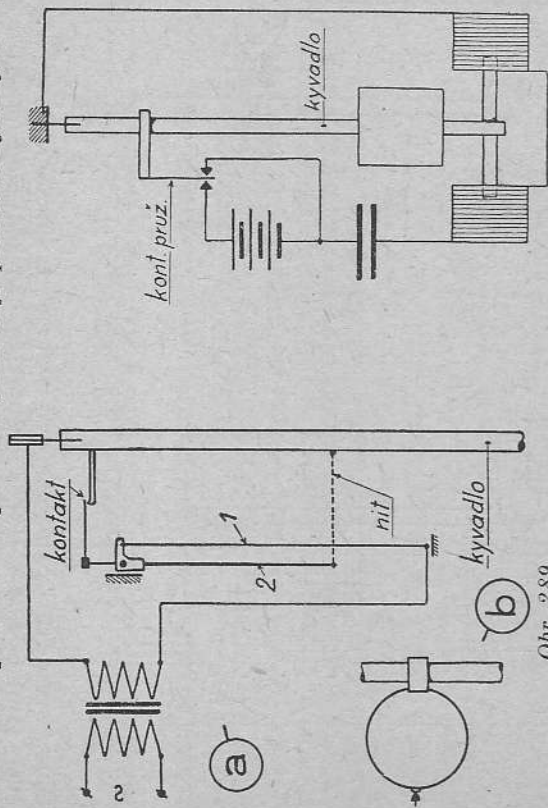
Obr. 288.

Tento rozpor se táhne celým vývojem elektrických hodin. Je nutno uvážit, že dělat kontakt je v podstatě hrubá operace, která vyžaduje sílu, má-li být kontakt trvale spolehlivý. Má-li tuto práci konat kyvadlo, jde to vždy na útraty přesnosti hodin. Byla vymyšlena na sta různých kontaktních zařízení, ve snaze dosáhnout dobrého kontaktu a přitom nevyžadovat od kyvadla mnoho práce. Nelze říci, že tato snaha byla vždy úspěšná; obrovská většina těchto vynálezů nejenom zmizela v propadlišti, ale také přispěla k nedůvěře k elektrickým hodinám. Mnohá z těchto řešení jsou však velmi zajímavá a jako ukázkou jich několik uvedeme.

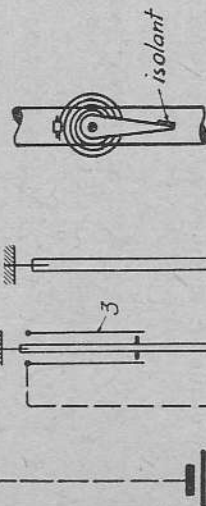
Systémy s kyvadlovým kontaktem

Na obr. 288 jsou hodiny *Gosselinovy*. Lehká kontaktní pružina na kyvadle uzavírá proud, který jde přes elektromagnet a počítací číselník, a paralelně také přes solenoid. Uzavřením proudu poskočí počítadlo a zá-

roven elektromagnet přitáhne kotvu a přeruší odbočku k solenoidu. Impuls je krátkodobý; jeho velikost závisí na napětí baterie, ale také trvání jeho závisí na napětí. Je-li napětí větší, kotva je přitáhena rychleji a impuls je



Obr. 289.



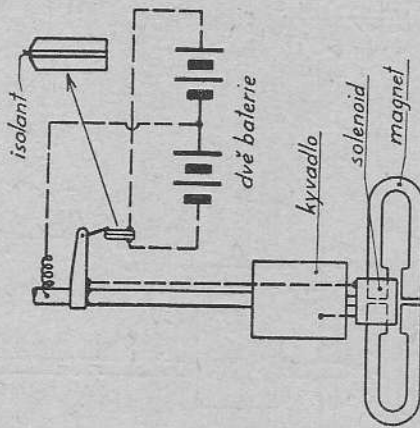
Obr. 291.

kratší; tak lze dosáhnout jisté automatické regulace amplitudy. Poněvadž je tu jediný solenoid, tyč na kyvadle může být z měkkého železa (systém nepolarisovaný), ale účinnost je větší s permanentním magnetem.

Zcela podobné pružiny kontaktní je užito v hodinách Zeníth, obr. 289. Impuls však dává drátek 1 napjatý mezi rámem stroje a krátkým ramenem páčky 2. Po uzavření kontaktu se drátek ohřeje a prodlouží. Tyto střídavé změny délky by ovšem nemohly dávat impuls, kdyby se děly okamžitě. Ve skutečnosti drátek má velikou tepelnou setrvačnost, změny délky se opožďují, a tímto zpožděním vzniká impuls asi tak, jako u Rieltera vzniká impuls opožděným přehazováním kotvy. Drátek je napájen přes transformátorek

ze sítě, a z toho je již vidět, že nejde o hodiny pro nějakou odpovědnou službu. Kontaktní pružina vyvolává poměrně značné a nežádoucí tření, proto někteří této pružině dávali tvar pružné obroučky, jak ukazuje obr. 289b.

Na obr. 290 je řešení Lippmannovo. Systém je polarisovaný, a solenoidy dostávají (s pomocí kontaktní pružiny, která se pohybuje mezi dvěma kon-



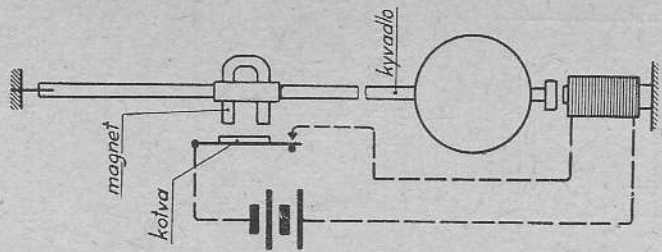
Obr. 293.

takty) střídavě proud, který nabíjí kondensátor, a pak proud, kterým se kondensátor vybije. Úmyslem bylo dosáhnout konstantního impulsu, poněvadž množství elektřiny je určeno kapacitou kondensátoru; ovšem proměnlivý odpor lehkého kontaktu tuto snahu může paralyzovat.

Na obr. 291 jsou hodiny, které sestrojil Féry a které kdysi byly vítány jako realisace volného kyvadla.

Je to polarisovaný systém, a kontakty dává pomocné kyvadlo 1 nese podkovový magnet, jehož jedno rameno zasahuje do solenoidu a druhé do masivního měděného prstence, který tvoří čočku pomocného kyvadla. Impuls je možný proto, že pomocné kyvadlo se opožďuje za hlavním. O volnosti kyvadla nelze mluvit, protože je lhostejné, zda kyvadlo dělá kontakty samo nebo čím-li tak nepřímo přes kyvadélko pomocné. Druhá kontaktní pružina 3 uzavírá proud baterie, který pohání sekundové a hodinové počítadlo s číselníkem, jak to činil již Bain.

Místo kontaktní pružiny, která ovlivňuje kyvadlo vždy nepřiznivě, lze užít pohyblivého jazýčku, který nakrátko brkne o kontakt, když kyvadlo prochází střední polohou. Jazýček může působit jednostranně, jako na obr. 292, je-li konec jazýčku s jedné strany vodivý, s druhé nevodivý. Holden užil jazýčku působícího oboustranně, jak ukazuje obr. 293. Pevný kontakt je ze dvou částí od sebe izolovaných a střídavě zapíná jednu nebo druhou

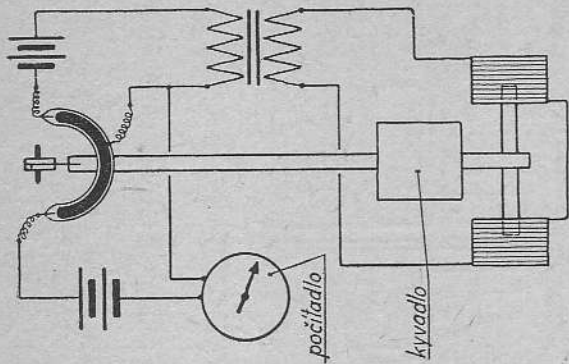


Obr. 294.

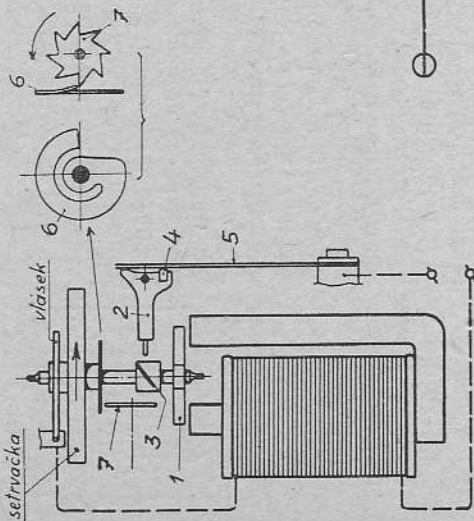
baterii, takže solenoid upevněný dole na kyvadle dostává proudové nárazy střídavého směru. Systém je tedy polarisovaný a solenoid se pohybuje v magnetickém poli dvou podkovových magnetů.

Hodiny na obr. 294 mají kontakt ovládaný permanentním magnetem, upevněným na kyvadlové tyči. Impuls je zde diferenciální, jako u kroků, které jsme popsali v kapitole VIII. Potřebná diferenciace vzniká tím, že magnet při jisté výchylce kyvadla přitáhne kotvu, ale pustí ji při výchylce menší.

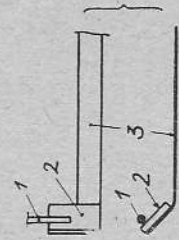
Dnes máme k dispozici spínače rtuťové, které jsou spolehlivé a vyžadují sílu, která je jenom zlomek toho, co vyžaduje rovnocenný kontakt pevný. Toho využil Guillet pro svoje hodiny na obr. 295. Rtuťový spínač (nakreslený schematicky) uzavírá proud jednak pro počítadlo jednak



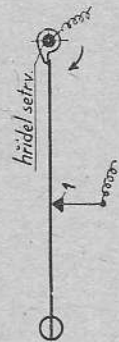
Obr. 295.



Obr. 297.



Obr. 296



Obr. 298.

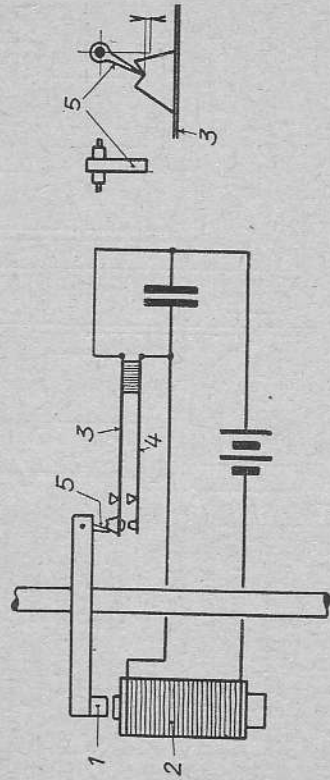
pro impuls. Impulsní proud je uzavírán a přerušován přesně ve střední poloze kyvadla. To by pro impuls obvyklým způsobem nevyhovělo; proto jsou solenoidy zapojeny přes transformátor, ve kterém vznikne spojením proudu krátký náraz v jednom, přerušením v opačném směru. Systém je polarisovaný, ovšem síla impulsu opět záleží na napětí baterie.

Elektrického pohonu bylo užito také pro hodiny se setruačkou. Několik podobných strojů je již na trhu a jeden z nich je na obr. 296. Na hláček setruačky je malá kotvička 1 na kterou působí elektromagnet. Kontakt dává jazýček 2, který je pružinou 3, které při pohybu ve směru šípky jazýček ovládán šikmým křídélkem 4, které při pohybu ve střední poloze. Jazýček je skloněn dolů, při pohybu opačném nahoru. V obou případech nastane vodivé spojení mezi jazýčkem a křídélkem; proud však může projít jenom když jazýček je zdvižen, při stlačení je jazýček odisolován kamenem 4, zasazeným do jazýčku. Proudový okruh tvoří baterie, elektromagnet, vlásek setruačky a její hláček, křídélko, jazýček a pružina 5. Setruačka nese pružinku 6, která při každém druhém dílu úsečně otočí rohatkou 7, a ta pohybuje přes ozubené převody ručkami hodin. Impuls je krátkodobý, zcela správně ve střední poloze a hodiny skutečně dobře jdou. Slabým místem je tenký kóliček na jazýčku, který se třením a účinkem proudu poměrně rychle opotřebí.

Krátkodobý kontakt v blízkosti střední polohy může dávat také pružina 3 na obr. 297. Količek 1 na setruačce naráží na tuto pružinu, jejíž šikmý konec je s jedné strany izolován vložkou 2. Kontakt je opět krátkodobý a jednosměrný. Kontaktní pružinu můžeme udělat také jako na obr. 298. Pružina je nalevo zakotvena a je opřena kontaktem 1. Palec na hláček setruačky brnká o tuto pružinu tak, jak jsme to viděli na „zlatém péřku“ chrometrového kroku. Kontakt je jednosměrný, poněvadž při pohybu setruačky ve směru šípky je proud okamžitě přerušen tím, že pružina se oddálí od kontaktu 1.

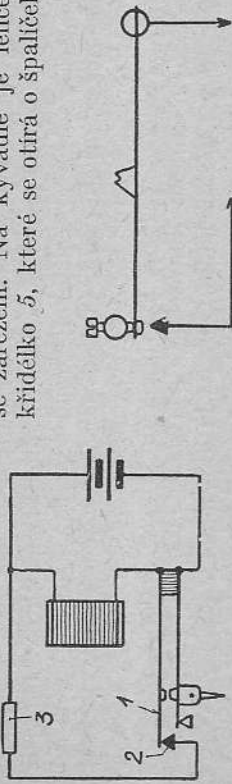
Hippův kontakt

Všecky předešlé systémy měly společně to, že impuls byl dáván při každém kyvu nebo při každém druhém kyvu a jeho velikost závisela na napětí baterie. Kontakty nemohly být energické, aby neměly příliš velký vliv na kyvadlo. Z tohoto rozporu se elegantním způsobem dostal M. Hipp, který již r. 1842 připadl na systém po všech stránkách dokonalejší. Hipp dává



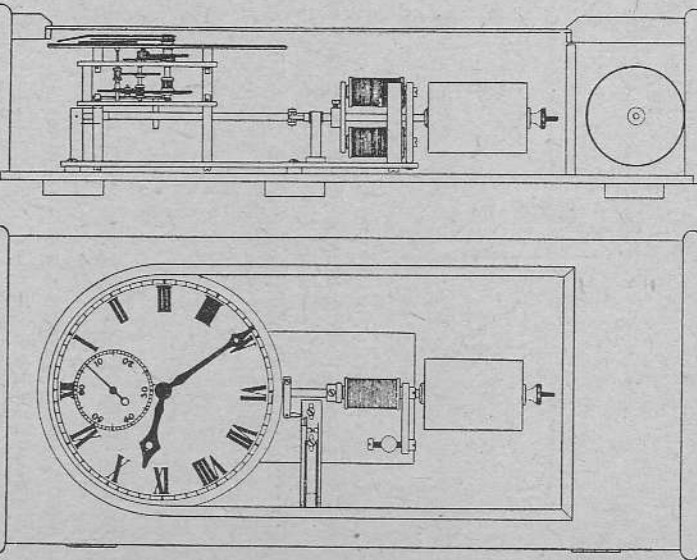
Obr. 299.

kyvadlu impuls jenom občas, a to když amplituda kyvadla klesla pod určitou hodnotu, danou nastavením kontaktního ústrojí. V provedení podle obr. 299 nese kyvadlo kotvu z měkkého železa 1, na kterou působí elektromagnet 2. Proud se spojuje mezi pružinami 3 a 4, z nichž horní nese kovový špalíček se zářezem. Na kyvadle je lehce otáčivé křídélko 5, které se otlrá o špalíček, dokud



Obr. 300.

je amplituda velká. Klesne-li amplituda pod určenou mez, křídélko již nevyklouzne přes hranu špalíčku, a při návratu kyvadla sjede do rýhy špalíčku; při dalším pohybu se jazýček vzepře, a tím stlačí pružinu 3 do kontaktu s pružinou 4.



Obr. 302. Malé Hippovy hodiny. Pod číselníkem je vidět kontaktní zařízení podle obr. 299, pod ním je elektromagnet.

Tato hra se opakuje v intervalu, který závisí na napětí baterie; Hippův jazýček se tedy přizpůsobuje automaticky proměnlivému napětí baterie. Amplituda kyvadla ovšem není konstantní, neboť její minimální hodnota je dána, maximální hodnota závisí na napětí baterie; průměrná amplituda kyvadla trochu vzrůstá s napětím baterie. Konstruktivní provedení se dělá různě. Často je jazýček na kontaktní pružině a špalíček s rýhou na kyvadle (obr. 300). Místem dvou pružin je možno dát pružinu jedinou, která pak nese špalíček uprostřed jako na obr. 301. Aby se omezilo jiskření, které je nepřítelem každého kontaktu, připojí se paralelně ke kontaktu kondensátor,

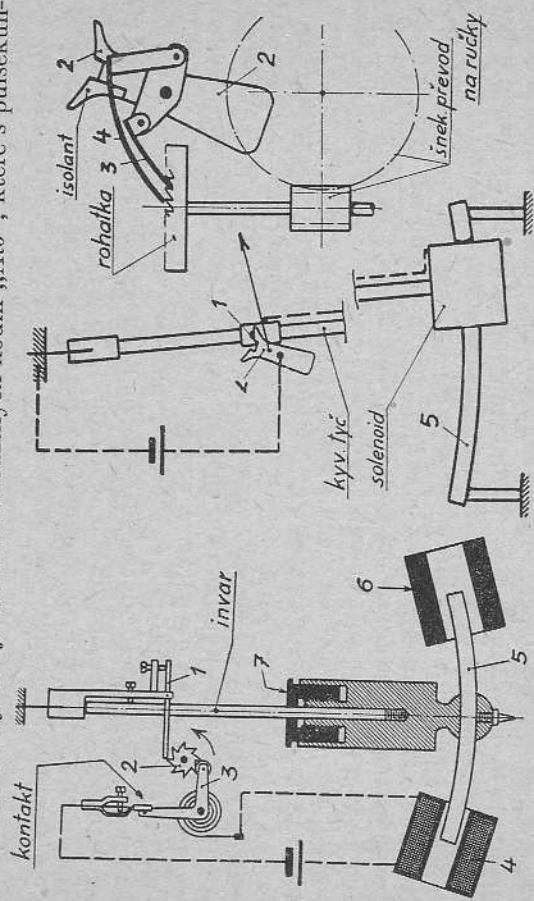
Obr. 301.

jako na obr. 299, eventuálně se s kondensátorem zapojí do serie odpor, aby se tlumily vysokofrekvenční kmity, které při přerušení vznikají. Kapacita kondensátoru bývá asi 0,5 μF , odpor bývá kolem 100 Ω . Na obr. 300 je jiskra tlumena tím, že bezprostředně před přerušením proudu pružina 1 dosedne na kontakt 2 a tím se připojí do serie s elektromagnetem odpor 3. Tato opatření nemožno úplně potlačit jiskru, ale zmenší její intenzitu podstatně; vhodné hodnoty kapacity a odporu je nejlépe vyzkoušet prakticky. Někdy se užívá pouhého odporu, zapojeného paralelně ke kontaktům. Hippovo kyvadlo je spojeno se západkou, která pohání přes rohatku ruce; takové hodiny vidíme na obr. 302.

Hippův systém se v praxi osvědčil výborně. Kontakt, proto že je jen občasný, může být energický a tedy spolehlivý; rušivý vliv na kyvadlo není veliký, poněvadž je občasný a ne daleko od střední polohy kyvadla. Bylo postaveno množství hodin s kyvadly sekundovými i půlsekundovými, které jdou spolehlivě a dobře. Firma Hipp, Favarger et Cie postavila dokonce hodiny precizní ve vzduchotěsném závěru, které daly lepší výsledky než tehdejší hodiny mechanické s Grahamovým krokem. Síla impulsu je neomezená, a Hippovým kyvadlem proto lze pohánět i veliký stroj věžní. Dnes místo kontaktů můžeme užít rtuťového „prasátka“, které dáme jednoduše na malou páčku, na níž působí Hippův jazýček.

Hodiny Ato a Favre — Bulle

Elektricky poháněné kyvadlo často s pomocí západky pohání hodinový stroj, i je na snadě myšlenka, použít tohoto podávacího ústrojí, aby obstarávalo kontakty. To je řešení francouzských hodin „Ato“, které s půlsekund-

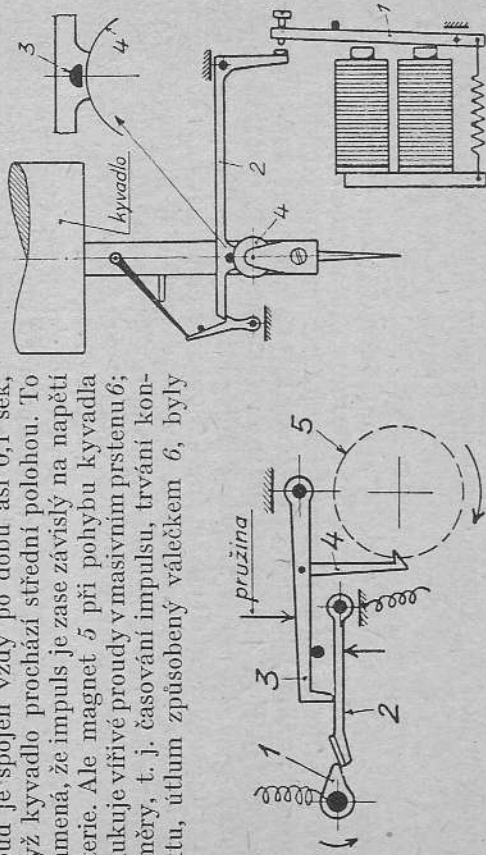


Obr. 303.

Obr. 304.

dovým kyvadlem dávají obdivuhodně dobré výsledky. Jak je vidět na obr. 303, invarové kyvadlo nese západku 1, která podává desetizubou rohatku 2. Místo zpětné západky je skleněný váleček na jednom rameni lomené páčky 3, jejíž druhé rameno obstarává kontakt. Páčka je na rohatku tlačena vláskem, který zároveň přivádí proud. Kontakt s ploškami ze zlata a z platiny uzavírá proud baterie přes solenoid 4. Solenoid přitahuje ohnutý tyčový magnet 5; proud je spojen vždy po dobu asi 0,1 sek,

když kyvadlo prochází střední polohou. To znamená, že impuls je zase závislý na napětí baterie. Ale magnet 5 při pohybu kyvadla indukuje vířivé proudy v masivním prstenu 6; poměry, t. j. časování impulsu, trvání kontaktu, útlum způsobený válečkem 6, byly



Obr. 303.

vyzkoušeny tak, že doba kyvu je poměrně nezávislá na napětí baterie. Z obrázku je vidět, že časování i hloubku záběru západky lze seřadit rektifikačními šroubky, právě tak jako trvání kontaktu. Zajímavá je také matka 7, kterou se dá kyvadlo regulovat. Hodiny Ato, které v Německu vyrábí v licenci známá továrna Jungheans, s pulsekundovým kyvadlem, jdou tak dobře, že parížští hodináři jich užívají jako normálu pro regláž hodiněk. Prof. Schneider udává, že jeho hodiny mají průměrnou variaci jen asi 0,25 s/d. K pohonu slouží velký suchý článek se vzduchovou depolarisací, který vydrží mnoho roků.

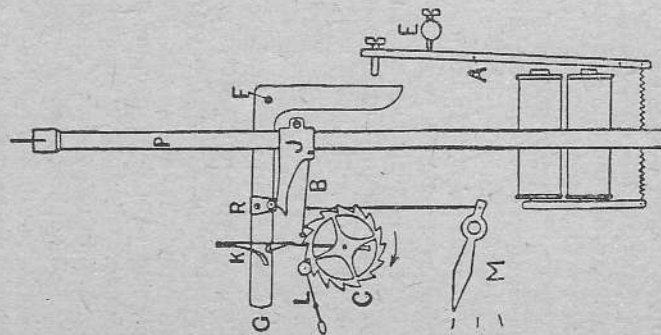
Hodiny Favre—Butte jsou na obr. 304, na němž vidíme, že čochku kyvadla tvoří velký solenoid. Kyvadlo količkem 1 uvádí do pohybu vidličku 2 zcela tak, jak jsme viděli na kotrovém kroku kapesních hodiněk. Vidlička s pomocí západek 3 a 4 postřkuje vodorovnou (se strany ozubenou) rohatku, která šnekem pohání ručky. Taž vidlička obstarává i jednostranný kontakt, poněvadž její pravá polovina je z izolačního materiálu. Solenoid prochází pevným tyčkovým a zahnutým magnetem 5, který je zajímavý tím, že má jeden pól uprostřed a opačné póly na konci. Tyto hodiny jdou rovněž dobře a jsou zejména ve Francii velmi rozšířeny. Jako u hodin Ato, intenzita proudu je velmi malá, řádu 1 mA, takže kontakt je málo zatížen a je spolehlivý.

Na obr. 305 je příklad, jak podávací zařízení hodin se setrvačkou může dávat kontakty. Raménko 1 na setrvačce brnká o páčku 2, která funguje jako pružina na obr. 298. Při pohybu setrvačky ve směru šípky se páčka 2 nadzdvihne, tím zdvihne i páčku 3, která pak západkou 4 postřčí rohatku 5. Kontakt je opět jednostranný a nevyžaduje žádnou zvláštní práci od setrvačky, poněvadž páčka 2 je nutno zdvihnout tak jako tak.

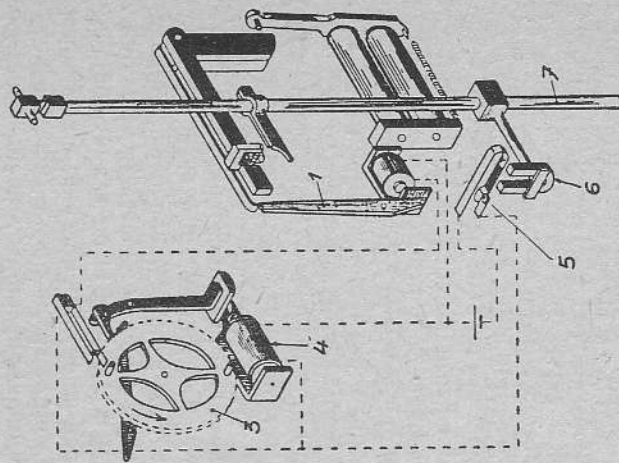
Elektrický impuls konstantní

Dobré výsledky dávají systémy, které jsou obdobou kroku Garnierova. Na obr. 306 vidíme zařízení, které úplně odpovídá konstrukci Cunynghtamově na obr. 163, ale návrat obstarává kotva elektromagnetu 1. Když impulsní páčka 2 (která kamenem 3 působí na kolečko 4 na kyvadle) skončila impuls, její kratší rameno dosedne na kotvu elektromagnetu a uzavře proud, zcela tak, jak jsme viděli na obr. 245. To, co bylo řečeno o spolehlivosti kontaktu Hope—Jonesova, platí v plné míře i zde. Poněvadž impuls je dán při každém druhém kyvu, impulsní páčka vychází lehká a pro kontakt je k dispozici nevelká síla. Je jasné, že napětí baterie nemá žádný vliv na velikost impulsu, stačí, je-li dost velké, aby páku vyhodilo do výchozí polohy.

Daleko lepší a pevnější kontakt můžeme dostat, jestliže se po příkladu



Obr. 307.



Obr. 308.

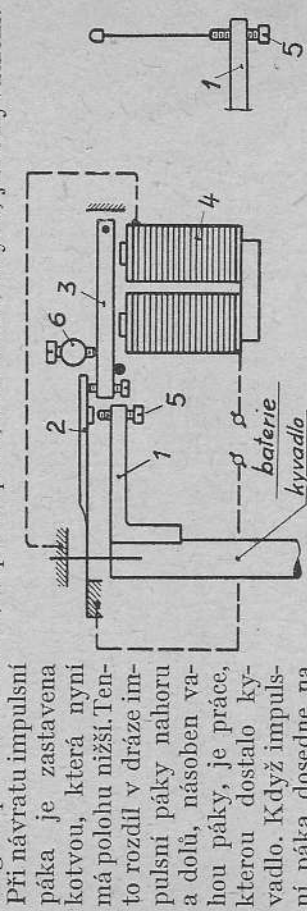
Hippovu rozhodneme pro *impuls občasný*. V tom případě můžeme užít mechanismu podobného předešlému, ale impulsní páku nebude uvolňovat kyvadlo, nýbrž (každých 30 nebo 60 sek) počítadlo tímto kyvadlem poháněné. Z četných konstrukcí uvádím provedení Hope—Jonesova, které dalo výborné výsledky a které, jak uvidíme, hraje důležitou úlohu v nejpřesnějších hodinách Shortfových. Kyvadlo na obr. 307 pohání západku *B* rohatku *C*, která má 15 zubů a při každé otáčce (t. j. každých 30 sek) raménko na hřídeli rohatky na krátko odtlačí zarážku *K*. Tím se uvolní impulsní páka *G*, otočná kolem osy *F*. Páka *G* nese otáčivý váleček *R*, který dosedne na paletu *J*, upevněnou na kyvadlové tyči *P*. Váleček *R* sklouzne po šikmé a zakřivené plošce palety, tím dá kyvadlu impuls, a svislé rameno páky *G* pak narazí na kotvu *A* elektromagnetu; tím se spojí proud a elektromagnet vrátí impulsní páku do výchozí polohy. Do zubů rohatky zasahuje zpětná západka *L*, jejíž konec nese otočný váleček. Zajímavé je zařízení, kterým lze vynechat některý kontakt nebo naopak způsobit kontakt při každém druhém kyvu. K tomu je páka *M*, která západku *B* buď oddělí ze záběru s rohatkou, anebo zdvihne ještě výše, aby při každém druhém kyvu odtlačila zarážku *K*. S elektromagnetem je možno zapnout do serie velký počet minutových číselníků, popsaný mechanismus pak představuje mateřské hodiny. Zmíněnou páčkou *M* lze tyto číselníky libovolně urychlit nebo zpomalit, což má význam na př. při přechodu do letního času. Tento systém vyrobila firma *Synchronome* pro časové ústředny továren, bank a pod. Stejně rozšířena v Anglii, je systém „Pulsynetic“, v zásadě podobný.

Tento pohon kyvadla představuje velmi spolehlivý spínač pro minutové číselníky, ale také výborně jdoucí hodiny. Pisatel má hodiny své výroby, kde impulsní systém je podobný, a jejich chod bude uveden jako příklad v kap. XIV. Ovšem pro hodiny nejpřesnější se systém nehodí, poněvadž kyvadlo musí pohánět počítací rohatku; jak bylo uvedeno v příkladě 14, taková rohatka i při nejsubtilnějším provedení spotřebuje stejně velkou práci jako kyvadlo samo. Tato spotřeba práce by sama nevedla, vadí však, že spotřeba kolísá, poněvadž kolísá tření.

Větší volnost dává kyvadlu systém, rovněž Hope—Jonesův na obr. 308. Impulsní páka i elektromagnet odpovídají obr. 307. Rozdíl je v tom, že zářka *I* je ovládána elektromagnetem, který dostává proud přes kontakt 2, řízený počítací rohatkou 3. Tuto rohatku postrčí každou druhou sekundu elektromagnet 4, který dostává proud z baterie přes spínač 5. Pružina spínače 5 tvoří kotvu pro malý magnet 6 na kyvadlové tyči 7; při průchodu kyvadla střední polohou je pružina přitažena a elektromagnet 4 postrčí rohatku. Každých 30 nebo 60 sek kolíček na rohatce uzavře kontakt a zářka *I* uvolní impulsní páku. Spínač 5 je ve skleněné trubce, která obsahuje vodič a je zatavena; kontakt je proto trvanlivý a snese proud řádu 0,1 A. Tento spínač spotřebuje asi stejně velkou práci jako nejjemnější provedená rohatka, a odporu jeho je neproměnný tak dalece, jako neproměnný je magnet 6. Dlužno dodat, že podle tvrzení samého Hope-Jonesa tento systém nebyl právě úspěšný.

Elektrický impuls diferenciální

Základní myšlenku diferenciálních kroků lze velmi jednoduše realizovat s pomocí elektromagnetu. To provedl již v r. 1854 *Froment*, jehož pohon kyvadla je na obr. 309. Na kyvadle je vodorovné rameno *I*, které při každém druhém zdvihnutí narazí na impulsní páku 2, která má přesně stejnou funkci jako na př. kyvadélka kroku na obr. 165. V klidu páka 2 spočívá na kotvě 3 elektromagnetu 4. Narazí-li rameno *I* na páku 2, uzavře se proud, elektro-

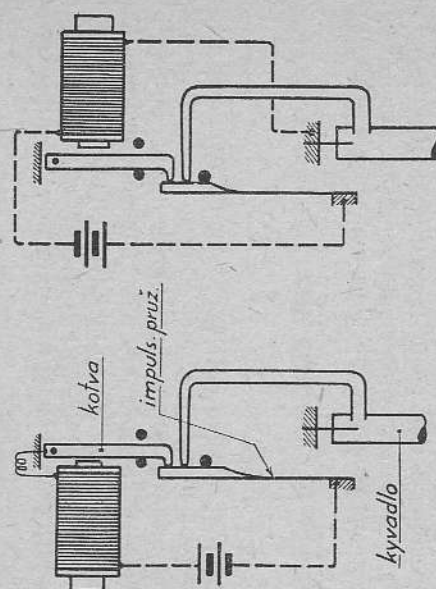


Obr. 309.

Obr. 310.

magnet přitáhne kotvu 3; impulsní páka, které se to netýká, jde s kyvadlem. Při návratu impulsní páka je zastavena kotvou, která nyní má polohu nižší. Tímto rozdíl v dráze impulsní páky nahoru a dolů, násoben vahou páky, je práce, kterou dostalo kyvadlo. Když impulsní páka dosedne na kotvu, rameno *I* pokračuje v pohybu, a tím je přerušen proud; kotva 3 se vrátí na svůj doraz a zvedne impulsní páku. Impuls je konstantní, naprosto nezávislý na napětí baterie. Slabým místem je styk mezi ramenem *I* a impulsní pákou, poněvadž tam nastává jisté malé tření, které úplně neodstraníme, ani když otočný bod impulsní páky hledíme ztožnit s otočným bodem kyvadla. Toto tření lze zmírnit, jestliže místo kontaktního šroubku 5 užijeme tenkého a pružného drátku jako na obr. 310. Kontakt nevyžaduje žádné práce od kyvadla, poněvadž kontakt tvoří plochy, které zároveň přenášejí impulsní sílu. Kotva 3 může pohánět rohatku a ručky.

Fromentův systém byl mnohokrát později znovu vynalezen a různě modifikován. Na obr. 311 je modifikace, kterou volil pro své hodiny (s křemenným kyvadlem a ve vzduchotěsném závěru) *Satori*.



Obr. 311.

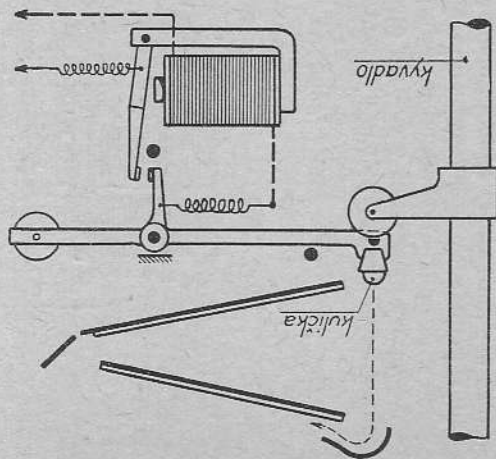
Obr. 312.

Impuls dává svíslá pružina, což ovšem na věci nic nemění; u nás K. Novák užil svíslé zatížené páčky, uložené na hrotech. Na rozdíl od Fromenta se kontakt uzavírá mezi impulsní páčkou a kofvou elektromagnetu; proud se tedy přeruší, když kyvadlo narazí na impulsní páčku. Podobnost obou systémů vynikne, srovnáme-li obr. 311 s obr. 312, kde je týmž způsobem nakresleno zapojení Fromentovo.

Fromentův systém byl zkoušen na více místech a výsledky nebyly stejné; jsou zprávy o zklamání, ale také o výsledcích velmi dobrých (na př. Rawlings referuje o svých hodinách, které za měsíc kolisaly o $1 \div 2$ sek). Jistě ne-

výhoda je v tom, že rozdíl drah, čili pohyb elektromagnetu, musí být velmi malý, jinak síla mezi kyvadlem a impulsní páčkou je příliš malá pro spolehlivý kontakt. Spotřeba práce kyvadla je, jak víme, asi $1,20 \text{ g cm/min}$, to jest pro dva kyvy $0,04 \text{ g cm/min}$. Je-li tlak impulsní páčky 2 g (a to je pro kontakt dost málo), vychází rozdíl drah $0,2 \text{ mm}$. Proto malé opotřebení dorazů a kontaktů může tuto malou dráhu relativně značně změnit, a tím ovšem změnit i velikost impulsu.

Na obr. 313 je konečně zajímavý pokus *Chapmanův* o realizaci kyvadla, které dostává impuls při každém druhém kyvu, aniž si o něj musí říkat. Impuls dává páčka, která však je vyvážena a proto je třeba ocelové kuličky, sedící v kalíšku na konci impulsní páky. Po impulsu je páčka vyhozena elektromagnetem do původní polohy způsobem nám již známým. Přitom páčka vyhodí kuličku do výše, ta se odrazí o plech a skutí se po dvou nakloněných plochách zpět do kalíšku. Rozměry jsou voleny tak, aby kulička do kalíšku spadla v okamžiku, kdy má začít nový impuls. Kyvadlo je tedy poměrně volné, není zatíženo počítadlem, ale je pochybné, zda okamžik, kdy kulička se vrací do kalíšku, je dostatečně přesný.



Obr. 313.

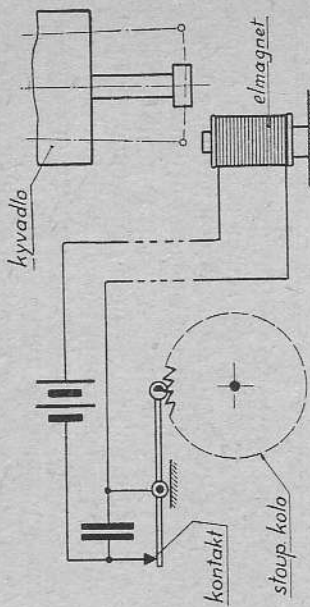
XIII. Elektrický přenos času

V této kapitole popíšeme, jak užíváme elektriny, abychom zajistili souhlasný chod většího počtu hodin. To lze řešit trojím způsobem. První způsob je „sympathetická“ vazba: méně přesné hodiny jsou svázaný s přesnějšími hodinami mateřskými tak, aby obě kyvadla kývala synchronně, i když ne v téže fázi. Druhý způsob je elektrické spojení libovolného počtu hodin

s mateřskými tak, že vedlejší hodiny jsou periodicky — nejčastěji každou hodinu — opravovány; oprava může být prostě posunutí minutové ručky na šedesátou minutu, je však možná i synchronisace dokonalejší, kde hodiny jsou současně automaticky přeregulovány na správnější chod. Za třetí, a to je způsob nejrozšířenější a snad prakticky nejdůležitější, mateřské hodiny vysílají každých 30 sekund nebo každou minutu proudový impuls, který posune minutovou ručku hodin podružných, čili sekundárních. Tyto hodiny ovšem jsou jen pouhlými počítadly proudových impulsů.

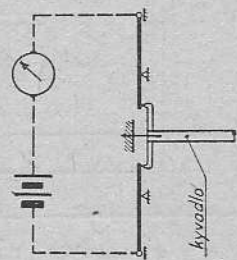
Sympathetická vazba

Této synchronisace v nejužším a pravém smyslu se užívá na hvězdárnách (aby mateřské hodiny mohly být umístěny na nejvhodnějším místě, které lze nalézt, na příklad ve sklepe) a všeobecně tam, kde potřebujeme hrubší práci, kterou nelze vyžadovat od precizního stroje. Od tohoto stroje žádáme pouze, aby dával sekundové anebo dvousekundové proudové impulsy malé intenzity. Nejjednodušší zařízení kontaktní je páčka, která, jako na obr. 314, zasahuje do zubů stoupacího kola; tím je proud periodicky přerušován a spojován. Tento kontakt není valně přesný a jednotlivé intervaly mohou kolísat o dobrou

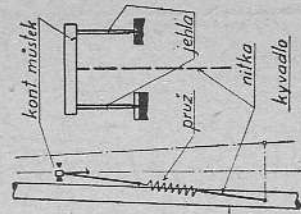


Obr. 314.

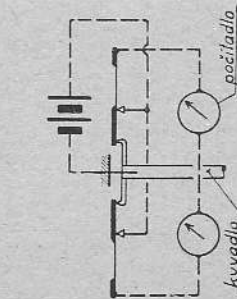
setinu sekund i více, jestliže hodiny mají krok jako Rieflerův, u něhož okamžik skoku stoupacího kola není určen jednoznačně polohou kyvadla. Hojně se užívá kontaktních zařízení ovládaných přímo kyvadly. Tak na obr. 315 kyvadlo pod závěsem nese příčku 1, která střídavě naráží na kontaktní páčky 2, 3. Tím ve vnějším okruhu prochází proud střídavého směru. Tento dvojitý



Obr. 315.



Obr. 317.



Obr. 316.

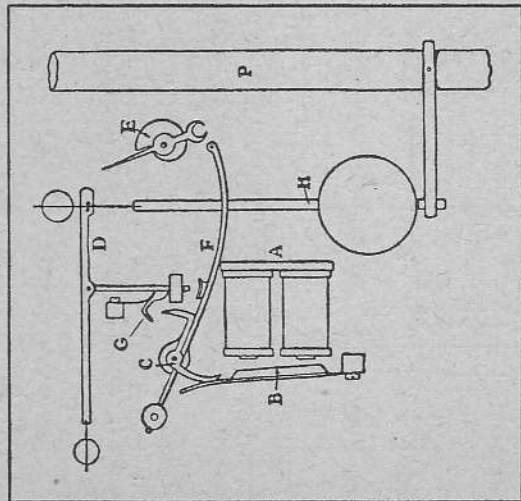
spínač lze zapojit různým způsobem. Můžeme použít jen jedné páčky pro synchronisaci podle obr. 314, a druhé páčky třeba pro sekundové počítadlo. Zapojením podle obr. 316 dostaneme krátké sekundové kontakty téhož směru, a v okamžiku, kdy kyvadlo prochází střední plochou.

Zajímavý je kontakt Nušlův (obr. 317) jímž jsou opatřeny hodiny hvězdárny v Ondřejově. Ke kyvadlu je zachycena nit, napínaná pružinkou a nahore přivázaná ke křivavému můstku; je to pouhá příčka, podepřená dvěma jehlami. Můstek se pohybuje mezi dvěma dorazy, které mohou dle potřeby sloužit za kontakty; funkce je zřejmá z obrázku. Pohyb můstku je úsečný, ale jeho okamžik není přesně dán polohou kyvadla, poněvadž záleží na malých změnách tření. Nušlův kontakt pracuje dobře, a určitou výhodou je to, že můstek na kontakty tluče. Je zajímavé, že chod hodin se přidáním tohoto jednoduchého mechanismu citelně nezhorší.

Synchronisace kyvadla pak vypadá jako na obr. 314. Kyvadlo nese dole kotvu a trochu stranou je umístěn synchronisující elektromagnet. Theorie této vazby hodin je nesnadná, a byly vedeny spory o to, jak se má synchronisace zařídit, je-li nutný útlum kyvadla atd. Praxe ukázala, že synchronisace je vždy možná. Jdou-li sekundární hodiny o něco rychleji než mateřské, pak elektromagnet působí jako brzda. Jdou-li pomaleji, elektromagnet působí jako dodatečný impuls, zvětšuje amplitudu synchronisovaného kyvadla a pak je útlumu třeba. V krajním případě lze dosáhnout toho, že kyvadlo vůbec nemusí mít pohon a je udržováno v pohybu synchronisujícím proudem. Takto, s pomocí kontaktu obr. 317, prof. Nušl udržoval v pohybu elektrické hodiny typu jako na obr. 304, které ovšem sloužily jen za počítadla. Otázka útlumu a cirkulární chyby byly řešeny tak, že kyvadlo blízko jedné z úvratí naráželo na lehounkou pružinku (jejíž tuhost byla stanověna na pokusně).

Synchronisace periodického opravou

Nejjednodušší způsob je, že proudový impuls projde elektromagnetem, jehož kotva jednoduše přivede minutovou ručku na nulu (impuls přichází po celých hodinách). Jde-li o větší hodiny, může tuto opravu provést zvláštní hodinový stroj, nebo malý elektromotor, který je uveden v činnost synchronisací impulsem. Daleko složitější záležitost je periodická oprava chodu hodin. Byla po-



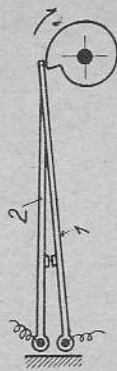
Obr. 318.

dána řada řešení, ale málokteré pevně vyhovělo. Dobře pracuje mechanismus podle obr. 318, historicky zajímavý také tím, že s jeho pomocí E. J. Rudd realizoval 1898 první volné kyvadlo. Řízené kyvadlo P je ojníčkou spojeno s malým kyvadlem H, jehož doba kyvu je říditelná způsobem známým již z obr. 76; toto řízení obstarává páka D. Synchronisací proud přitáhne kotvu B elektromagnetu A, ta působí na páku F, která dolehne na spirálovou vačku E na hřídeli sekundové ručky. Zároveň páka F uvolní brzdu G a páka D zaujme polohu diktovanou vačkou E a odpovídající odchylce, v jaké byly hodiny přistřiženy. Tímto způsobem se podle potřeby mění doba kyvu malého kyvadélka H, a tím i kyvadla P. Malého kyvadla pomocného užil Rudd proto, aby jaksi rozřídil účinek synchronisacího zařízení, a dosáhl tím jemnější funkce.

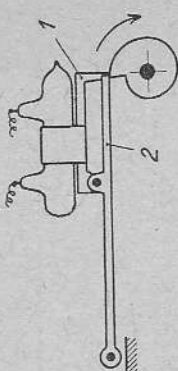
Minutová počítadla

V továrnách, ve školách, v bankách a na veřejných prostranstvích vidíme často hodinové číselníky, jejichž ručky poskočí u nás každou minutu, v Anglii každých 30 sekund. Tato počítadla dostávají proudové impulsy od nějakých přesnějších hodin mateřských. Jsou-li to hodiny podle obr. 307, je věc jednoduchá, poněvadž elektrický impulsní systém je současně přesným a spolehlivým spínačem. Jinak je nutný nějaký kontaktní mechanismus, který se provádí nejrůznějšími způsoby. Světíme-li tuto práci mateřským hodinám, můžeme to udělat jako na obr. 319; na hřídeli, který se otočí jednou za minutu, je spirálová vačka z isolačního materiálu, na které spočívají kontaktní páčky 1 a 2. Nejprve spadne páčka 2, udělá kontakt s páčkou 1, hned na to spadne páčka 1 a proud je zase přerušen. Daleko spolehlivější kontakt ovšem dává malé prasátko, namontované, jak ukazuje obr. 320, na páčce 1, která spočívá na spirální vačce a je otočně uložena na páčce 2. Nejprve spadne páčka 2, tím se prasátko nakloní a zavře proud, hned na to spadne také páčka 1 a proud se přeruší.

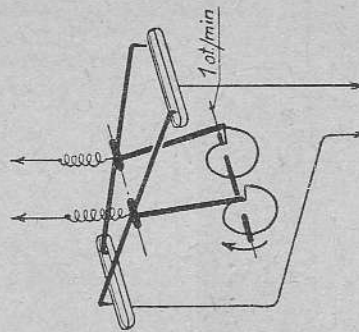
Rtuťového kontaktu, ale otevřeného, je užito na obr. 321. Spirálové vačky jsou dvě, proti sobě trochu přesazené, a na každou dolehá páčka spojená s dlouhým kontaktním vahadélkem. Konce vahadél-



Obr. 319.

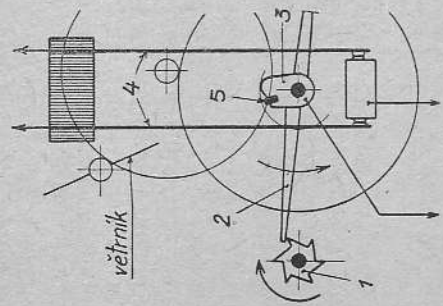


Obr. 320.



Obr. 321.

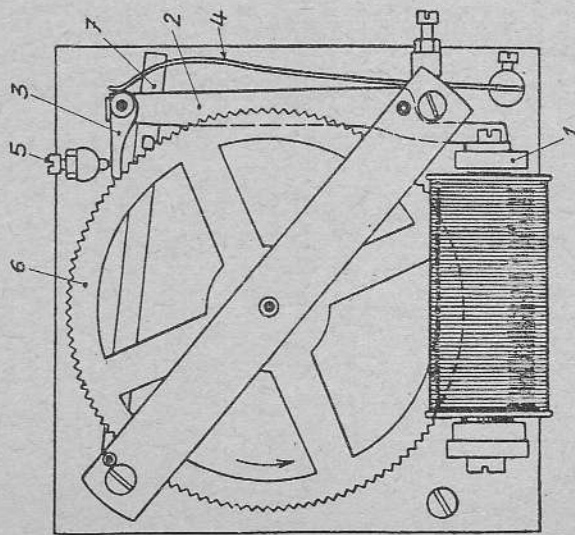
lek se střídavě ponořují do vaniček se rtuť a čtenář se může přesvědčit, že toto kontaktní ústrojí posílá do sítě impulsy střídajícího se směru. Někdy chceme-li mateřský stroj zatěžovat, užíváme druhého stroje pomocného, jako na obr. 322. Na hřídeli mateřského hodinového stroje, je hvězdička 1, která se otočí jednou za šest minut má-li šest zubů, nebo jednou za osm minut, má-li osm zubů. Tim každou minutu vypustí dvou-ramennou páku 2, která je na hřídeli pomocného stroje, spojena je s pálcem 3 a brzděna větrníkem. Páka 2 se pomalu otočí vždy o 180°, a při tom zdvihne jednu s kontaktních pružin 4. Takto je vyslán každou minutu proud krátkého trvání a střídavého směru.



Obr. 322.

Nepolarisovaná počítadla

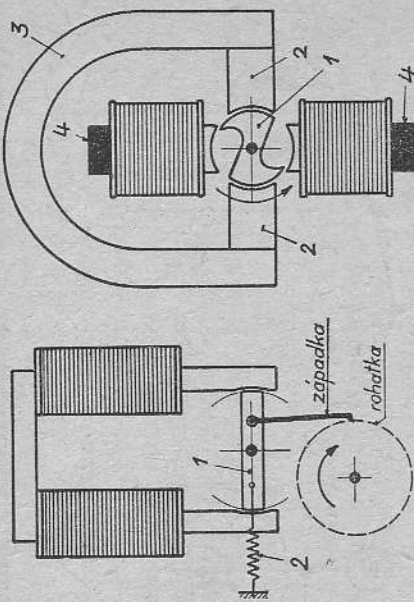
Mínutové počítadlo je rohatka, která má 60 zubů a je přímo spojena s minutovou ručkou. Pohyb dostává od západky, která je na kotvě elektromagnetu. Jestliže je baterie silná, může být pohyb kotvy tak rychlý, že by rohatka přeběhla; dělá se to proto (již od minulého století) tak, že rohatka zabere, když se kotva vrací. Zdokonalená konstrukce tohoto druhu je na obr. 323; je to výrobek „Synchronome“, ovšem rohatka má 120 zubů, poněvadž v Anglii jsou oblíbené impulsy půlminutové. Kotva 1 je na páce 2, která nese západku 3, tlačnou pružinou 4. Pohyb západky 3 je omezen dorazem 5, který je zárukou, že rohatka 6 nepřeběhne. Zpětná západka 7 zasahuje do rohatky vedle západky 3, aby se zneškodnil vliv nepřesnosti rohatky.



Obr. 323.

Toto ústrojí je trochu hlučné; komu to vadí, může užít zařízení na obr. 324, kde kotva, tažená pružinou 2, se pohybuje mezi póly elektromagnetu. Elegantnější je řešení

na obr. 325: otláčíva kotva 1 stojí v klidu mezi pólovými nástavky 2 magnetu 3. Projede-li proud, zmagnetuje se jeho 4, jehož přitažlivost převládne. Tim se kotva otočí o pravý úhel, a po přerušení proudu o další pravý úhel účinkem magnetu 3.

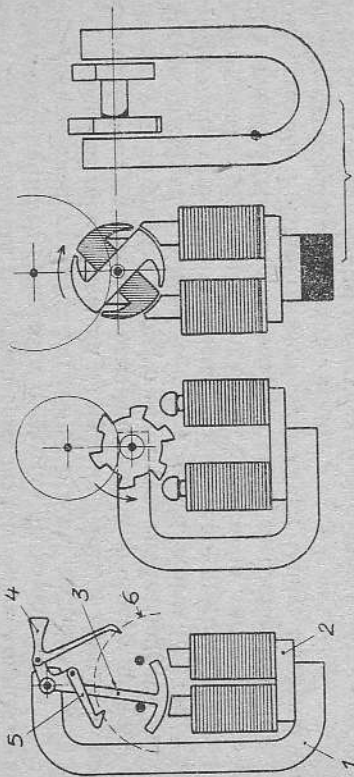


Obr. 324.

Obr. 325.

Polarisovaná počítadla

Popsaná počítadla pracují spolehlivě jen tehdy, když mateřské hodiny dávají pevný a určitý kontakt. Je-li kontakt nejistý a třaslavý, může vzniknout několik impulsů, které po sobě rychle následují a které mohou vyvolat několikeré přitažení kotvy počítadla. Proti tomu nepomáhá ani prostředek trochu těžkopádný, vytvořit kotvu jako setrvačnick (jak to bylo skutečně zkoušeno). Nespolehlivost počítadel vedla k tomu, že lidé ztratili důvěru k tomuto systému ča-



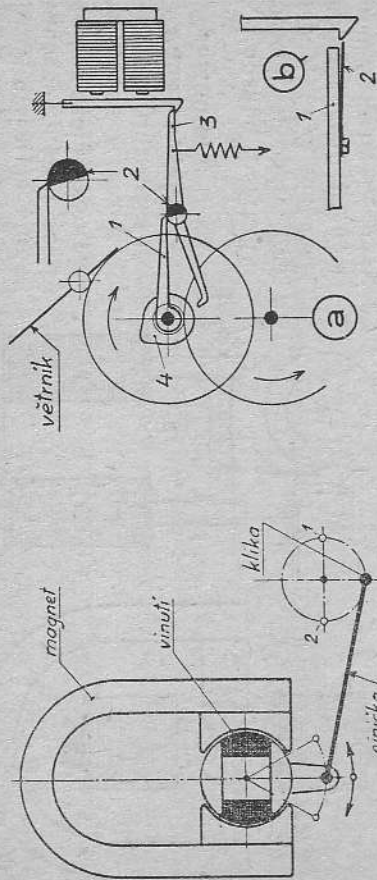
Obr. 326.

Obr. 327.

Obr. 328.

sové služby a v Paříži veřejné hodiny byly dokonce poháněny stlačeným vzduchem. Odpověď nalezl Hipp v tom, že užil systému polarisovaného. Jedno provedení je na obr. 326. Permanentní magnet 1 nese elektromagnet 2, jehož póly působí na kývavou kotvu 3. Kotva nese západky 4, 5, které postrkují rohatku 6. V klidu kotva, která nemá tvar

kruhového oblouku, je držena na jednom z dorazů jedním z pólů elektromagnetu (které jsou zmagnetovány jedním pólem magnetu 1, kdežto kotva je zmagnetována pólem druhým. Proudovým nárazem se zesílí magnetismus jednoho pólového nástavce a zeslabí v druhém, a kotva překyvně do



Obr. 329.

druhé polohy, v níž je držena magnetem 1, i když proud neprochází. Je jasné, že k přehození kotvy stačí jediný proudový impuls, že však se nic nestane, když tento impuls vinou špatného kontaktu se několikrát po sobě opakuje. Je třeba impulsu opačného směru, aby kotva překývla. To dává polarisovaným systémům poměrnou spolehlivost, když kontaktní zařízení v mateřských hodinách (jak často bývá) nestojí za mnoho.

Jde-li o tichý chod, může být kotva opět otočná, na příklad jako na obr. 327, ve tvaru šestizubého kolečka z měkkého železa. V nakreslené poloze je kolečko drženo levým pólem, průchodem proudu se otočí o půl roztoče, a je pak drženo v klidu pravým pólovým nástavcem elektromagnetu. Jiná pěkná modifikace, rozšířená v Německu je na obr. 328. Kotva je dvojitá a každá půlka je polarisována jedním pólem podkovového magnetu. Jako na obr. 327 i zde je nutný převod do pomala na minutovou ručku. Tento systém zlepšil n nás K. Pfeiffer tím, že otáčivou kotvu mechanicky blokuje druhou kotvou kývavou. Počítadlo působí společně i tehdy, když má pohánět těžkou a nevyváženou minutovou ručku.

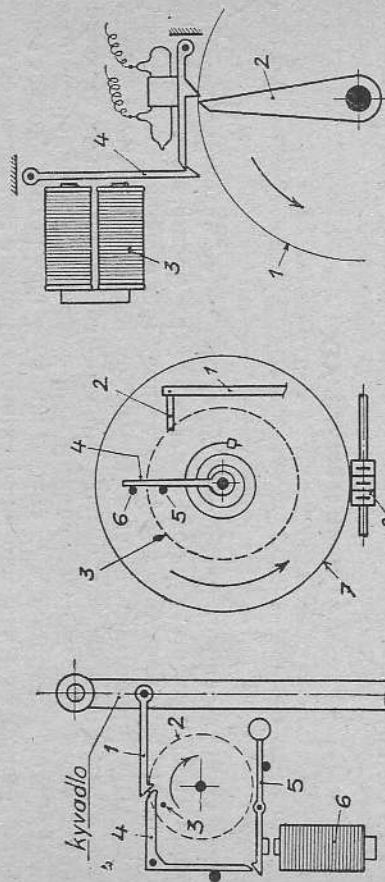
Odlíšným způsobem dávají impulsy mateřské hodiny „Magna“, švýcarského původu, které byly svého času dosti rozšířeny také v Praze. Přesné hodiny uvolní každou minutu mohutný pomocný stroj, který otočí jedinou kolečku kliku. Tato klika je ojnicí spojena s kotvou magnetoelektrického stroje (obr. 329). Kotva vykoná pohyb sem a tam, a tím vzniknou dva proudové nárazy opačné polarity. Systém funguje spolehlivě, poněvadž je bez kontaktů, ale počet minutových počítadel je omezen, nemá-li pomocný stroj nabýt příliš velkých rozměrů.

Elektrizované věžní hodiny

Elektrický pohon věžních hodin se rozšiřuje. Není to nic divného, když uvážíme, s jakou námahou je spojeno natahování těchto velkých strojů, a jak těžký je úkol hodinového stroje, který pohybuje ručkami na ohromných číselnících; nelze žádat velikou přesnost od stroje, který pohání systém hřídelů a ozubených kol, podobný tvárním transmisi.

Potíž obejdeme tím, že stroj, který otáčí ručkami neměří čas, nýbrž je každou minutu (nebo každých 30 sekund) uvolněn synchronizačním signálem, který přichází od přesných mateřských hodin. Tyto hodiny mohou být příznivě umístěny kdekoli a dávají jistotu přesného chodu. Stroj, který otáčí ručkami, může být poháněn závažím, jako každý jiný věžní stroj, může to však také být pouze elektromotor, který je spuštěn každou minutu.

Řešení prvního druhu je na obr. 330a. Hodinový stroj, poháněný závažím a brzděný větrníkem, nese na předposledním hřídeli rameno 1, které v klidu spočívá na válečku 2, do půlky odříznutém. Váleček je spojen s pákou 3, která je zachycena kotvou elektromagnetu. Půjde-li proudový impuls, elektromagnet přitáhne kotvu, páka 3 je uvolněna a tahem pružiny její



Obr. 331.

Obr. 332.

Obr. 333.

levý konec dosedne na váčku 4. Tím je uvolněno rameno 1 a stroj se počne otáčet. Váčka 4 zvedne páku 2 do původní polohy, a zavěsí ji zase na kotvu; pohyb stroje je ukončen, když rameno 1 spočine znovu na válečku 2. Jde-li o stroj malý, je možno užít jednoduššího řešení podle obr. 330b; rameno 1 na předposledním hřídeli je drženo přímo kotvou; poněvadž kotva vykoná jenom krátký pohyb, pouhé trnutí, je na rameni 1 pružina 2, která se ihned odehne do nakreslené polohy, a vraťtejí se kotva nemůže rameno 1 zachytit, pokud nevykoná celou otáčku.

Elektrický pohon ruček lze řešit různým způsobem. Firma Gent & Co;

užila velmi těžkého (na kuličkových ložiskách uloženého) Hippova kyvadla, které západkou 1 (obr. 331) pohání rohatku 2. Kyvadlo má dobu kyvu zkrácenu, takže rohatka se otočí dokola asi za 55 sek, načež kolík 3, na ní upevněný, zdvihne páčku 4, která vysune západku 1 ze záběru, načež je zachycena kotvou 5 elektromagnetu 6. Kyvadlo nyní kývá naprázdno, dokud nepříjde synchronisující signál. Tím se zmagnetuje elektromagnet 6, ten nakrátlo přitáhne kotvu 5, která uvolní páku 4 a tím i západku 1, takže kyvadlo znovu pohání stroj.

Většinou však se užívá malého elektrického motoru. Systém Hope—Jonesův na obr. 332 má zvláštní formu spinače pro elektromotorek. Kotva 1 a západka 2 pohánějí rohatku 3 přesně jako na obr. 323. Na rohatce je volně otočné dotykové rameno 4, které je spirálovou pružinou přitlačováno na kolík 5, zaražený v rohatce. Soustředně s rohatkou se otáčí šnekové kolo 7, které dostává pohyb od šneka 8 na hřídeli motoru. Proud je zaveden do rohatky a do šnekového kola 7 a kontaktního kolíku 6, s kolem spojeného. V kreslené poloze proud prochází a elektromotor otáčí šnekovým kolem 7, dokud se kolík 6 neodddá od ramene 4. Šnekové kolo 7 tedy stále sleduje nebo dohání rohatku. V případě krátké poruchy se v rohatce nastřádá několik minut, které kolo 7 dohoní, jakmile je proud zapnut.

Vhodně lze užít známého prasátka podle obr. 333. Elektromotor pohání přes šnekový převod kolo 1 a s ním rameno 2. V nakreslené poloze je proud vypjat, dokud elektromagnet 3 nepřitáhne kotvu 4. Pak páčka nesoucí prasátko klesne, tím se spojí proud a rameno 2 se začne otáčet. Ke konci otáčky 2 zdvihne prasátko do původní polohy; elektromotor setrvačností ještě strojem pootočí o malý kousek, který je nulový, aby zase páčka s prasátkem mohla klesnout, když ji kotva 4 uvolní. Tento jednoduchý způsob možno modifikovat, na př. tak, že bychom prasátko namontovali na páku 3 v obr. 330.

XIV. Přesnost hodin

Řekne-li laik, že hodiny ukazují dobře, znamená to, že jejich údaj se shoduje se skutečným časem. Řekne-li, že hodiny jdou dobře, znamená to, že údaj hodin den po dni zůstává ve shodě se skutečným časem, čili že trvale ukazují dobře. V chronometrii činíme podobně a mluvíme o *stavu* hodin, při čemž máme na mysli rozdíl mezi časem udaným a skutečným, a mluvíme o *chodu* hodin, při čemž máme na mysli, jak mnoho se stav hodin den ze dne mění. Oba tyto pojmy vyjadřujeme číselně v sekundách, resp. v sekundách za den. V jedné věci však je v literatuře a v praxi rozpor: ve znaménku, kterým je označen předstih a zpoždění hodin. Některé hvězdárny a někteří autoři označují stav jako kladný, jdou-li hodiny pozadu, jiní užívají znaménka záporného, jako na příklad hodináři a některé observatoře, zejména švýcarské. Myslím, že hodinářský způsob je vhodnější proto, že

odpovídá lépe tomu, jak označujeme chyby v měřící technice. Řekneme-li, že teploměr má *chybu* 0,3° C, znamená to, že ukazuje o tuto hodnotu více než by měl. Říkáme však také, že *oprava* teploměru je -0,3°, poněvadž oprava je hodnota, kterou přičítáme k hodnotě naměřené, abychom dostali hodnotu správnou. Budeme tedy považovat stav za chybu, a označovat znaménkem + předstih hodin; analogicky jako kladný chod budeme označovat zrychlování hodin, jako záporný chod zpoždování. Po pravdě řečeno, oba způsoby označování jsou rovnocenné a je věci konvence, kterého způsobu se užívá. Abychom předešli omylům, bude ještě lépe, když se slovům stav a chod výhne a budeme jasně říkat *oprava* hodin, *zrychlení* nebo *zpomalení* hodin.

Jak se posuzuje přesnost hodin

Ideální hodiny by měly chod nulový, a také hledíme hodiny takto vyregulovat. Říká se však, že vyregulovat přesně hodiny je tak nesnadné, jako postavit vajíčko na špičku. Pro vědecké účely nevadí, mají-li hodiny nějaký chod, poněvadž oprava hodin pro kterýkoliv okamžik se může vypočítat. Skutečná nesnáze je v tom, že každé hodiny svůj chod mění. Může to být nepravidelné kolísání chodu den ze dne, ale může to být také postupná, plynulá změna chodu, pravidelná i nepravidelná. Jde-li o posouzení kvality hodin, dělá se to často tak, že pro určité období vypočítáme průměrný denní chod, a jednotlivé denní *odchytky* od tohoto průměru. Z těchto denních odchytek chodu vypočítáme průměr; je samozřejmě, že počítáme s absolutními hodnotami odchytek, poněvadž jejich algebraický součet se rovná nule.

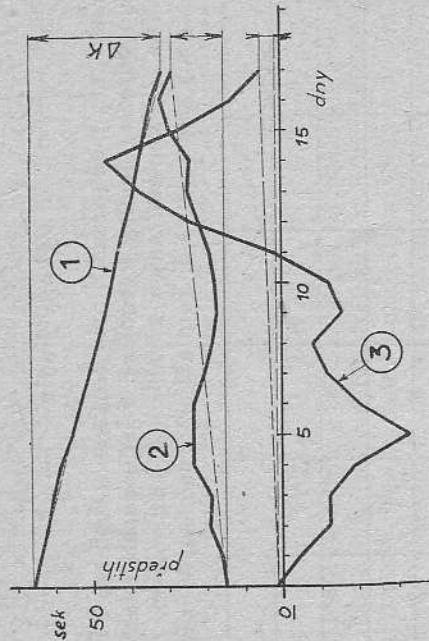
Tato průměrná odchyška denního chodu není však uspokojivě měřítko pro chod hodin. Byly vzneseny námitky, že neodpovídá ani theorii chyb. Nechci o tom rozhodovat, to je záležitost spíše matematická. Ale myslím, že průměrná odchyška chodu neodpovídá podstatě hodin. Hodiny jsou fyzikální přístroj, které se řídí fyzikálními zákony. Udržují určitý chod tak dlouho, dokud nastala nějaká fyzikální změna v jejich ústrojí, a po změně budou udržovat tento nový chod tak dlouho, dokud nepříjde nějaká změna nová. Naprosto nelze hodinám přisuzovat nějakou snahu vrátit se k původnímu chodu. Dnešní chod je fyzikálně rovnocenný chodu před změnou, hodiny se nestarají o to, jak šly před městem. Je proto lépe posuzovat hodiny podle *variací*, čili změn denního chodu. Tento způsob je i prakticky pohodlnější, poněvadž denní variace můžeme zaznamenávat do zápisu o chodu hodin, kdežto odchyška chodu můžeme vypočítat jen pro určité období; nepřihodné je také, že tyto odchyšky v minulosti se neustále mění podle toho, jak s pokračujícím časem se mění chod stroje. — Uvedené pojmy si nyní objasníme na praktickém příkladu.

Příklad 22. Hodiny s invarovým kyvadlem (v příklad 14) a elektro-mechanickým impulsem, vytkaly v únoru 1952 denní opravy, které jsou sestaveny v následující tabulce:

přímkový průběh. Střední odchylka se vypočítá analogicky, při čemž ovšem nepřehlídíme ke znaménku denních odchylek. Jedná se tedy opět o střední výšku šrafovaných trojúhelníků v dolní části diagramu. A ta je rovna poloviční odchylce maximální, to jest $0,025 \text{ s/d}$. Variace těchto hodin za našich předpokladů je konstantní a činí $0,1 : 365$, tedy méně než tisícinu sekundy za den. Je otázka, co správněji charakterisovalo chování hodin: střední odchylka anebo průměrná variace? Z praktického stanoviska by takové hodiny dokonce vyhovovaly. Znám-li přesně změnu denního chodu, mohu lehce vypočítat opravu hodin pro kterýkoliv den — na trošce počítání nezáleží astronomovi, který je zvyklý na to, že každé jeho měření se musí vyčíslovat, a zavádět celá řada početních oprav. Stejnou hodnotu pro střední odchylku bychom dostali, kdyby se denní chod změnil o $0,1 \text{ s/d}$ během prvního půlletí a zase lineárně klesl na původní hodnotu. Ale průměrná variace by byla dvojnásobná.

Konec konců od hodin nemůžeme žádat více, než aby jejich chod se měnil málo, ale hlavně pomalu a pravidelně. Jde o to, aby bylo možno opravu společlivě předem odhadnout. V praxi to znamená, aby hodiny držely čas po dobu, kdy vinou počasí nelze pozorovat hvězdy. Poněvadž se chod hodin mění, a ani střední odchylka, ani průměrná variace nejsou dostatečnými měřítky pro posuzování hodin, pokoušeli se někteří nesnáz obejít tím, že opravu (nebo též chod) hodin vyjadřují rovnicí, která vypadá takto:

$$C = C_0 + k_1 t + k_2 t^2 + k_3 \int (\theta - \theta_0) dt + k_4 \int (B - B_0) dt + \dots \quad (95)$$



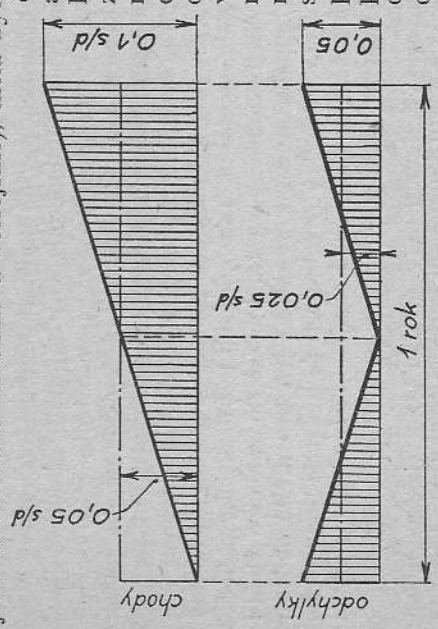
Obr. 335.

V rovnici znamená C počáteční opravu hodin a k_1 až k_4 jsou součinitele, kteří vyjadřují vliv jednotlivých veličin na chod stroje. Velikost odchylek skutečného chodu od chodu vyjádřeného rovnicí, je mírou jakosti stroje, poněvadž tyto odchylky vnáší nejistotu do předpovědi chodu. Tato praxe,

Den	Oprava s	Chod s/d	Odchylka s/d	Variace s/d	Den	Oprava s	Chod s/d	Odchylka s/d	Variace s/d
1	1,96	-0,04	0,06	—	11	1,66	0,00	0,02	-0,05
2	2,00	-0,03	0,05	+0,01	12	1,63	+0,03	0,01	+0,03
3	2,03	+0,02	0,06	+0,05	13	1,64	-0,01	0,03	-0,04
4	1,93	+0,08	0,06	+0,06	14	1,60	+0,04	0,02	+0,05
5	1,94	-0,01	0,03	-0,09	15	1,56	+0,04	0,02	0,00
6	1,90	+0,04	0,02	+0,05	16	1,56	0,00	0,02	-0,04
7	1,84	+0,06	0,04	+0,02	17	1,61	-0,05	0,07	-0,05
8	1,75	+0,09	0,07	+0,03	18	1,62	-0,01	0,03	+0,04
9	1,71	+0,04	0,02	-0,05	19	1,63	-0,01	0,03	0,00
10	1,66	+0,05	0,03	+0,01	20	1,61	+0,02	0,00	+0,03
					21	1,61	0,00	0,02	-0,02
					Součet		+0,35	0,65	0,72

Z denních oprav jsou vypočítány denní chody jejich součet činí $+0,35$. Střední denní chod byl tedy $0,35 : 21 = +0,02 \text{ s/d}$. Denní odchylky od tohoto středního chodu jsou rovněž zaneseny v tabulce a součet jejich absolutních hodnot činí $0,65$. Průměrná odchylka (od středního chodu) byla $0,65 : 21 = \pm 0,031 \text{ s/d}$. Dále jsou v tabulce uvedeny denní variace hodin t. j. rozdíly denních chodů, po sobě následujících. Součet absolutních hodnot těchto variací je $0,72$. Průměrná variace byla $0,72 : 20 = 0,036 \text{ s/d}$.

Ale ani průměrná variace není uspokojivé kritérium. Abychom věc objasnili, budeme uvažovat o hodinách Riefler čis. 23, které během roku postupně změnilý chod o $0,1 \text{ s/d}$. Není známo, jak změna chodu probíhala, ale pro nás účel stačí předpoklad, že změna chodu probíhala lineárně, jako v horní části obr. 334. Správně by změna chodu (poněvadž chod definujeme jako rozdíl stavu dnešního a včerejšího), měla být znázorněna stupnicou čarou, ale je jednodušší



Obr. 334.

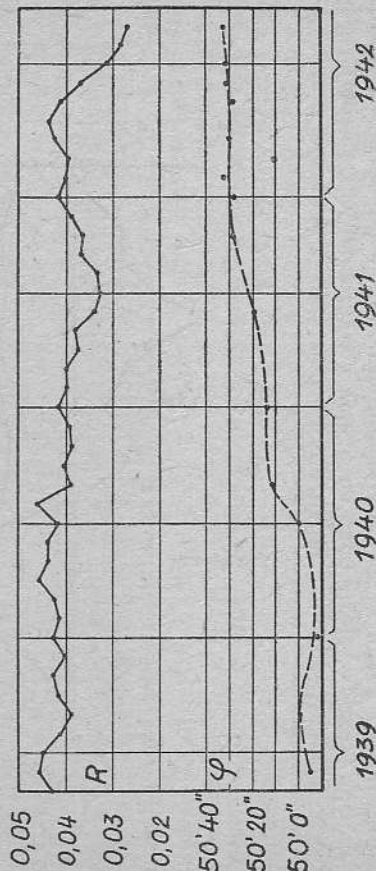
a nezpůsobí žádnou velkou chybu, když ji znázorníme přímkou. Průměrná hodnota denního chodu za celý rok je označena čárkovanou vodorovnou přímkou a rovná se poloviční změně chodu, to jest $0,05 \text{ s/d}$. Odchylky od této přímký čili odchylky od průměrného denního chodu, jsou v dolní části diagramu vyneseny a mají přirozeně opět

profi které bylo lecos namítáno opět se stanoviska teorie chyb, zdá se, že je obvyklá a nejeden údaj o přesnosti hodin je takto asi míněn. Tak na příklad o uvedených hodinách Rieflerových bylo řečeno, že jejich průměrná odchylka je 0,003 s/d. Zřejmě to nemůže být ani střední odchylka od průměrného chodu ani průměrná variace. Je proto těžké stovnat navzájem chod různých hodin, není-li přesně definováno, jak byla udána chyba nebo průměrná nepřesnost chodu počítána. To platí zejména o údajích zestaráší doby.

Poměrně dobrý obraz o jakosti hodin dává jednoduchý graf, jestliže denní opravy vynášime v závislosti na čase. Na obr. 335 je podobně zakreslen průběh oprav pro hodinky kapesní (čára 2), náramkové (čára 3) a dobré hodiny kyvadlové. Vidíme, že náramkové hodinky sice po jisté době zase ukazují správně, ale mezitím prodělaly velké změny chodu. Na druhé straně stroj kyvadlový se sice odchýlil od správného času, ale to se dělo s velkou pravidelností. Je jasné, že máme-li tento graf před sebou, můžeme opravu na několik dní předem stanovit poměrně spolehlivě u kyvadlového stroje, ne však pro hodinky náramkové. Jinak je dobře mít na mysli, že chování všech tří hodin je v podstatě stejné, a že jediný rozdíl je v měřítku. Kdybychom měřtko oprav kapesních hodinek zmenšili, řeckněme na pětinu, dostali bychom čaru, která by nebyla nepřesnější nežli čára kyvadlového stroje. Hodiny mají chod vždy rozmarný a nepředvídatelný; precizní stroj se liší od méně přesného jedině tím, že jeho nepřesnosti jsou číselně menší. A tak vidíme, že přesnost hodin můžeme dobře posoudit pouhým pohledem, ale těžko vyjádřit číselně.

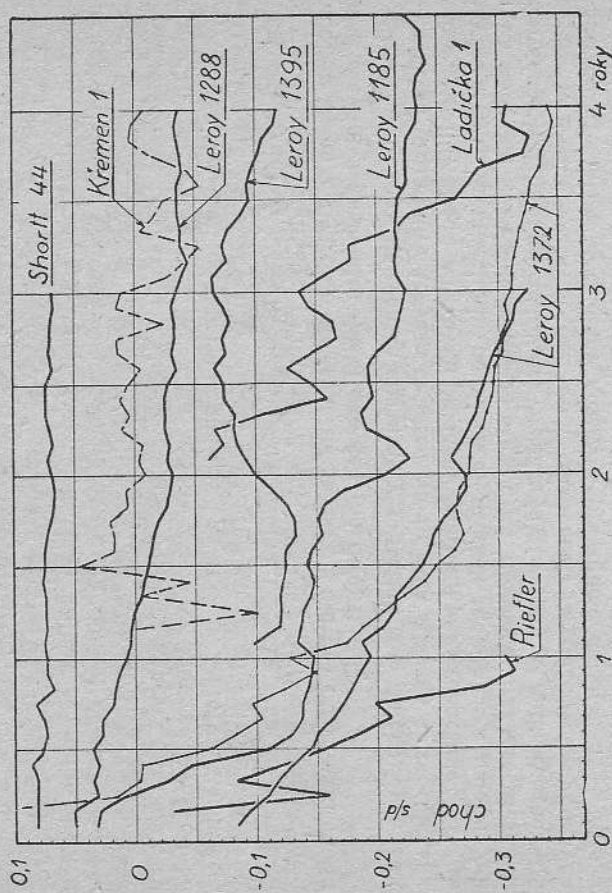
Výkony hodin

Nyní se podíváme, jaké přesnosti bylo dosaženo u moderních hodin. Nejpresnější jsou přirozeně hodiny kyvadlové. I jednoduché hodiny s Grahamovým krokem, s kompensovaným kyvadlem a s aneroidem, mohou být průměrnou variací kolem 0,05 s/d. To prakticky znamená, že jsou-li hodiny



Obr. 336.

stovnávány dvakrát nebo třikrát za týden s časovým signálem, známe čas asi na desetinu sekundy. Přesnější ovšem budou hodiny s krokem jako je Riefler nebo Leroy, uzavřené ve vzduchotěsném pouzdře, a důkladně namontované na pevné zdi, pilíři nebo na skále. Variace klesá pod setinu sekundy, a nejlepší exempláře mají chod, který den ze dne kolísá o několik tisícín sekundy. Rekordních výsledků dosáhli některé exempláře strojů Shorttových. Jako ukázkou uvedeme čaru chodu Shorttova stroje čís. 48 ve Washingtonu (obr. 336). Chod tohoto stroje se pohyboval v mezích $\pm 0,026$ až $\pm 0,048$ s/d po dobu plných 4 roků, než byl stroj zastaven, vyčištěn a namazán. Zeela podobně se choval Shortt č. 41 v téže observatoři.



Obr. 337.

Jako další ukázkou uvedeme několik strojů pařížského Bureau de l'Heure (obr. 337). Obrázek je po mnoha stránkách poučný. Předně je vidět, že stroje Leroy, ačkoliv jejich denní variace jsou velmi malé, mění za delší dobu svůj chod velmi citelně, na rozdíl od majestátně pevného chodu stroje Shortt 44. Je těžko říci, proč stroj tak přesný má vůbec měnit chod. Ale je ještě těžší říci, proč tato změna je tak rozdílná (velikostí i znaménkem) u stroji téhož typu a od téhož výrobce, a dokonce proč i týž stroj se chová jinak po vyčištění a namazání. Tak jak je vidíme na diagramu, jsou to změny značné. Ovšem nezapomínejme, že číselná velikost změn je malá, že se pohybujeme v oblasti nejvyšší přesnosti. Změna chodu o 0,1 s/d je zhruba 1 miliontina dne; jinak řečeno konstanta měřícího stroje se změnila o 1 mi-

lioniinu, a to by se považovalo za chybu zanedbatelnou skoro ve všech oborech měřicí techniky.

Kyvadlové hodiny je jedinečný příklad, jak lze někdy dosáhnout vysoké přesnosti jednoduchými prostředky. Slušnější hodiny s Grahamovým krokem a dřevěným kyvadlem mohou mít variaci jen několik desetin sekundy. Malé elektrické hodiny jako francouzské „Ato“ s pulsedlovým kyvadlem mají variaci asi stejně velkou. Hrubě udělaný kyvadlový stroj s Hippovým elektrickým impulsem může mít průměrnou variaci asi 1 s/d, v pečlivém provedení po případě 10,2 s/d. A na nejnižším stupni stojí kancelářské a stolní hodiny s krátkým nekompensovaným kyvadlem, bez sekundové ručky, které nekolisají více než o minutu neb dvě za týden.

Daleko menší je přesnost hodin setrvačkových. Nekompensovaný stroj laciných hodinek může vlivem teplotních změn kolísat o mnoho desítek sekund denně, s elinvarovým vláskem o několik sekund denně, stroj výborně kompenzovaný o několik desetin sekundy. V soutěžích, každoročně pořádaných ve Svýcarsku a jiných zemích, dosahují kapesní chronometry následků překvapujících. Jsou to ovšem zkoušky poměrně krátkodobé (kolem 40 dnů), ale hodinky jsou zkoušeny i za zvýšené teploty a v lednici, a samozřejmě i v různých polohách. Co lze od moderního stroje očekávat, ukazují podmičky, které předepisuje na příklad U. S. Bureau od Standard pro prvotřídní hodinky: průměrná denní odchylka 0,75 s/d, rozdíl mezi polohou ležmo a visutou 5 s/d, teplotní chyba 0,2 s/d pro 1° C, rozdíl chodu mezi prvním a posledním dnem zkoušek (54 dny) 6 s/d.

Skutečné výkony, jakých se dosahuje v soutěžích jsou daleko lepší. Tak na příklad průměrná odchylka denního chodu byla stlačena až na 0,05 sek denně. Rozdíly chodu v různých polohách nemívají větší rozpětí než 0,5 s/d, návrat k původnímu chodu po všech zkouškových teplotních a polohových bývat v mezích +0,1 s/d. Je ovšem otázka, jak dlouho vydrží tato přesnost, kterou stroji dal zručný a zkušený regler, a jak by se týtež hodinky chovaly, kdyby je někdo nosil v kapse. Podle zkušenosti lze počítat u výborných hodinek, které jsou pravidelně nošeny a pravidelně natahovány s variací asi půl sekundy. Stálost regláže asi není valná, soudíme-li podle neúspěchu, se kterým se setkal pokus Američanů, nahradit nedostatek námořních chronometrů precizními hodinkami. Tyto strojky, ačkoliv nehybně ležely (a dokonce byly zamontovány v Kardaňově závěsu), zklamaly. Objevily se nečekané a těžko vysvětlitelné, náhlé a značné změny chodu a jiné nepravidelnosti.

Proti tomu velké námořní chronometry drží regláž zřejmě daleko lépe. Při zkouškách bylo dosaženo variace i jen 0,04 s/d. Není to výsledek o mnoho lepší proti kapesním strojům, ale cenná vlastnost velkého chronometru je právě stálost a trvanlivost regláže.

Nepatrné chyby přesných kyvadlových strojů nelze brát doslovně, poněvadž jsme již na hranici (a někdo by mohl říci za hranici) přesnosti, s jakou lze vůbec zjišťovat čas. V měřicí technice platí dobrá zásada, že normál

nebo-li etalon má být pětikrát přesnější než měřidlo zkoušené. Tato zásada je splněna, když srovnáváme chronometr s přesnými hodinami kyvadlovými, ale není ji možno dodržet, když srovnáváme přesný stroj kyvadlový.

Jak se zjišťuje chod hodin

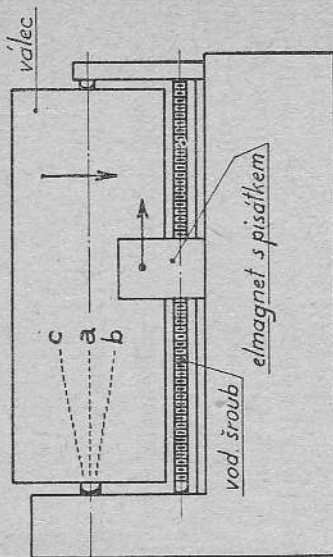
Ještě před několika desítkami roků majitel hodin jen trochu přesnějších měl s tím nemalou práci; zní skoro humorně, když čteme jak Rawlings zjišťoval stav svých hodin sextantem a umělým horizontem. Dnes máme k dispozici mnoho časových signálů denně, z nichž nejlhorší mají chybu kolem 0,1 sek, tedy jistě desetkrát menší než onen sextant.

Kapesní hodinky můžeme s trochou cviku srovnávat tak, že zjistíme údaj sekundové ručky v okamžiku signálu. Značnou chybu tu může způsobit výstřednost číselníku, poněvadž upevnění jeho (nejčastěji připájenými nožkami) nebývá přesné. Nejlépe tuto chybu zjistíme tak, že ze strojku vymontujeme setrvačku a pak pohybuje kotvou, necháváme stoupací kolečko otočit se vždy o jednu otáčku, která znamená 6 sek na číselníku. Také to lze provést tak, že na sekundovou ručku lakem přilepíme kousek žíně, abychom mohli odečítat na protilehlých místech dělení; hodinky necháme dojit, a z řady čtení pak snadno graficky odvodíme potřebnou opravu. Máme-li stopky, můžeme si tuto práci ušetřit a stav hodinek zjišťujeme tak, že stopkami zjistíme rozdíl mezi časovým signálem a průchodem ručky počátkem dělení.

Kyvadlové hodiny můžeme srovnávat rovněž stopkami. Vyvíčený pozorovatel, jestliže užije šestibodového signálu, a řídí se zrakem podle kyvadla hodin, neudělá větší průměrnou chybu než asi 0,05 sek; k tomu ovšem se přičítá chyba stopek, asi tak velká jako doba kyvu jejich setrvačky. Přesnější je srovnávat

hodiny podle koincidenčního signálu, jak o tom byla zmínka v první kapitole. Během signálu lze zjistit několik koincencí, a tak dostaneme opravu hodin s přesností asi 0,02 sek. Přesnější srovnávání je možné již jen s pomocí chronografu.

Jde-li o rychlé zjištění chodu kapesních hodinek, na př. po montáži v továrně, užívá se dnes speciálních přístrojů o nichž se stručně zmíníme. Je třeba si však uvědomit, že takto lze zjistit chod okamžitý, nikoliv chod denní.



Obr. 338.

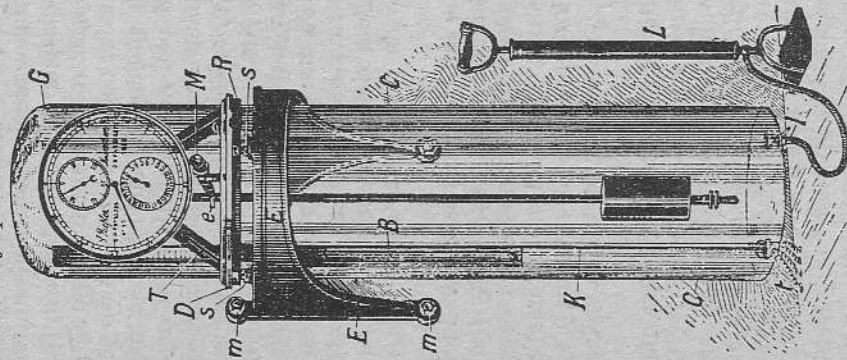
Chod kapesních hodinek lze poměrně rychle změřit, jestliže sluchem srovnáme tikání jejich s tikáním hodinek přesnějších. Zjistíme prostě, po jaké době se zkoušené hodinky rozejdou s normálem a zase sejdou, což znamená, že stroje za tuto dobu se odchýlily od sebe o 0,2 sek. Byly k tomu zkonstruovány speciální aparatury s mikrofony. Nejpohodlnější však a vhodnější i pro málo kvalifikovanou obsluhu jsou přístroje, které tikání hodinek automaticky registrují. Příklad je na obr. 338. Válec *I* je poháněn synchronním motorem (který je napájen proudem od přesné ladičky) a koná přesně pět otáček za sekundu. Na válec zaznamenává přes barvící pásku malý elektromagnet tikání zkoušených hodinek, které se vloží do držáku, spojeného s mikrofonom. Proud z mikrofonu je zesílen elektrickými a veden do zmiňovaného elektromagnetu. Jestliže hodinky jdou správně, píše elektromagnet značky na totéž místo válce, anebo jestliže se pohybuje podél válce, na tutéž povrchovou přímkou válce (*a*). Jdou-li hodinky rychle, jsou značky seřazeny podle *b*, jdou-li pomaleji podle *c*. Měření trvá 30 sekund a chod hodinek lze změřit s přesností asi 2 s/d. Strojek je soběstačná jednotka a uvnitř válce je zásoba papíru, který je opatřen již rastrm, aby se chod dal bez měření přímo odečíst. Je jasné, že strojek je použitelný jen pro hodiny s dobou kyvu $\frac{1}{4}$ sek, a že přesnost jeho závisí na přesnosti ladičky a na době měření. Tohoto přístroje hojně užívají hodináři v Americe, ale také továrny pro regláž méně přesných hodinek mívají větší počet takových strojků (které pak mohou dostávat proud ze sítě, v níž frekvenci udržuje přesná ladička nebo kmitající křemen).

XV. Přesné hodiny astronomů

V minulém století přesné astronomické hodiny byl sekundový regulátor, provedený jako na obr. 275. Kyvadlo bylo kompensováno zinkem, později rutií. Pohon byl závažím, jak popsáno v kapitole X; pohled na takové hodiny je na obr. 277. Krok byl nejčastěji Grahamův, ale byly postaveny také hodiny opatřené kroky s konstantní silou, nejčastěji kyvadélkového typu, jak to dělali Fénon, Tiede, Hardy a j. Chod těchto strojů byl poměrně velmi dobrý a známe více strojů, jejich průměrná variace je řádu 0,05 s/d. To trvalo od dob Grahamových jeden a půl století, než se objevil Riefler, který zavedl několik důležitých zlepšení. Svě hodiny opatřil pružinovým krokem, který byl popsán, a svým výborným rtuťovým kyvadlem. Nejlepší hodiny montoval do vzduchotěsného skleněného válce, jak ukazuje obr. 339. Důležitým zlepšením byl elektrický pohon, který jsme viděli na obr. 246. Riefler nebyl původcem myšlenky hodiny uzavřít vzduchotěsně, ale byl, myslím, první, který myšlenku technicky dobře provedl. Tyto novoty a neobyčejně dokonale dílenské provedení strojů byly příčinou přesnosti, která překonala stroje dosavadní. Průměrná variace dobrých strojů Rieflerových bylo několik málo setin sekundy. Těchto strojů slouží na hvězdárnách celého světa asi půl tisíce. V pouzdru hodin se udržuje tlak asi 650 mm Hg, a tento tlak lze

kontrolovat rtuťovým barometrem nebo aneroidem; malými změnami tlaku lze hodiny velmi jemně vyregulovat na nulový chod.

Příkladu Rieflerova následovaly i jiné firmy, a válcové pouzdro je charakteristické pro všechny přesné kyvadlové hodiny. Pouzdro se dělá často kovové, nejlépe měděné nebo hliníkové, poněvadž má větší vodivost tepelnou nežli skleněný válec. Ačkoliv jsou hodiny kompensovány na teplotu, nepoleháme dnes na tuto kompenzaci (která, jak víme, nemůže být dokonalá) a udržujeme hodiny ve stálé teplotě. Tam, kde je to možné, umísťujeme hodiny v hlubokém sklepe, kde se teplota po celý rok mění nepatrně a velmi pomalu; jinak musíme sáhnout ke skutečnému thermostatu. Může to být celá místnost, jde-li o hodiny několikeré; může to být thermostatická skříň, ve které je zavřeno pouzdro hodin; může me však také topným vinutím ohřívát

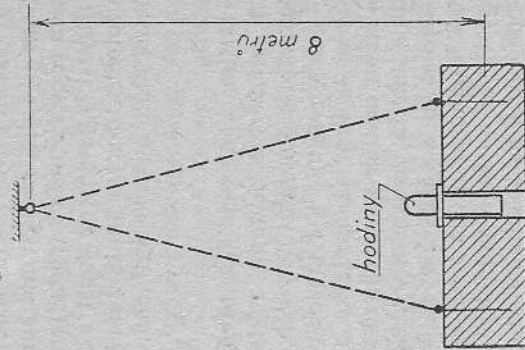


Obr. 339. Rieflerovy přesné hodiny: E — lida konsoly, m — základ, sroubn, R — kruhový rám, s — stánek, sroubn, C — spodek pouzdra (přesně), G — odnímatelný skleněný válec, e — stupnice na kyvadle, M — mikroskop na čtení amplitudy, B — rtuťový barometr, L — ruční vyvěra, K — elektrická kyvadla.

kovový válec samotný. Hodiny udržujeme na teplotě, která je bezpečně vyšší nežli může být teplota okolí; teplotu lze snadno udržet v mezích $\pm 0,05^\circ \text{C}$.

Do pouzdra můžeme zavést všechny elektrické přívody, kterých je třeba: přívod proudu pro elektrické natahování, přívody pro řízení závažíček (jako na obr. 97), přívody k synchronisačnímu kontaktu a j. Amplituda kyvadla

Obr. 340.



se odečítá ne již pouhým ukazatelem a dělením, jako na obr. 87, nýbrž mikroskopem, nebo zrcátkem a kolimačním dalekohledem.

Vzduchotěsné pouzdro někdy trpí netěsností, která ovšem může zavinit hrubé nepravdělnosti chodu. Kontrola tlaku barometrem není uspokojivá. Odpor kyvadla a doba kyvu záleží zhruba na hustotě vzduchu, jinak řečeno na množství vzduchu v pouzdře. Jestliže tlak vzduchu kontrolujeme barometrem, měli bychom to činit s přesností alespoň 0,1 mm Hg. To by však předpokládalo, že — podle rovnice (85) — můžeme teplotu v pouzdře určit aspoň na $\frac{1}{20}^{\circ}\text{C}$. Barometr umístěný v pouzdře nelze odečítat s touto přesností, barometr umístěný venku (trubkou spojený s pouzdrům) je nepohodlný a nový pramen netěsností, aneroid pak není měřidlo dosti nepřeměnné. Je kupodivu, že nebylo místo barometru použito přístroje známého z elementární fyziky, *dasymetru*. Jsou to váčky, na nichž visí skleněná zavěšená baňka. Je-li baňka vyvážena při určité hustotě vzduchu, vychýlí se váčka při změně hustoty. Přístroj může být velmi citlivý, jak ukazuje následující výpočet: Skleněná baňka průměru 106 mm má objem 620 cm^3 a při tlaku 650 mm Hg a teplotě 15°C je podle rovnice (85) vztlak 0,65 g, tedy 1 mg na 1 mm Hg. Baňka váží asi 40 g. Je-li citlivost vážek 0,05 mg, lze zjistit rozdíl hustoty vzduchu, který odpovídá rozdílu tlaku 0,05 mm Hg, a tedy rozdílu chodu hodin 0,0007 s/d.

Z číslíc je vidět, že dasymetrem je možno kontrolovat hustotu vzduchu, mnohem přesněji nežli barometrem a teploměrem; stačí když váčky budou mít citlivost $\frac{1}{20}$ mg, což konstruktivně je úkol snadný. Dasymetru ve spojení s fotoelektrickým kontaktem by se dalo užít jako čidla pro automatické udržování stále hustoty vzduchu. Toto čidlo může přes elektronkový zesilovač a relé zapínat motor vývěvy, která dle potřeby odčerpá trochu vzduchu z pouzdra.

Největším problémem je citlivost kyvadlových hodin k pohybum půdy, kterým nemůžeme zabránit a které mohou být působeny i zemětřesením vzdáleným. Na obr. 60 jsme viděli, jak kyvadlové hodiny nestejně na takový pohyb půdy reagují. V Německu bylo před válkou navrženo namontovat kyvadlové hodiny na obrovské a těžké kyvadlo podle obr. 340. Kyvadlo váží několik desítek tun a chová se jako setrvačná hmota seismografu, t. j. nesleduje pohyby zemské kůry. Není mi známo, byl-li návrh P. T. R. skutečně realizován a s jakým výsledkem. Proti návrhu lze namítnout, že tento zvláštní fundament koná malé pohyby úhlové, které mohou mít vliv na hodiny. Proto by bylo snad lepší, kdyby setrvačná hmota byla zavěšena nebo podepřena na systému rovnoběžných tyčí, asi tak, jako jsou zavěšeny rovinné vysévače ve mlýně. Podepření zespuď vzpěrami by bylo snad ještě výhodnější, poněvadž s pomocí pružin by bylo možno dát setrvačné hmotě libovolnou dobu kyvu, a kyvy dle potřeby tlumit olejovými tlumiči.

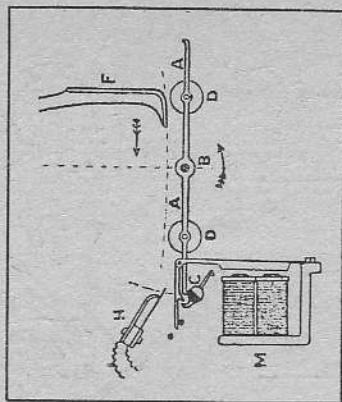
Volné kyvadlo

Nejpřesnějším kyvadlovým časoměrem by bylo volné kyvadlo, to jest kyvadlo, které, udržované v konstantní teplotě a v konstantním tlaku, by

nekonalo žádnou práci, ničeho se nedotýkalo, a jen by občas dostávalo impuls přesně odměřený a neproměnný způsobem, který nemá vliv na dobu kyvu.

O tento ideál se pokoušela řada vynálezců, ale nebyl dosud dokonale realizován. Hodiny Rieflerovy a hodiny firmy Leroy nemají kyvadla v pravém smyslu volná, neboť jsou ustavičně pod vlivem impulsních pružin, nebo (u Rieflera) pod vlivem stále se měnícího napětí závesné pružiny. První realizace kyvadla opravdu volného se podařila *Ruddovi*, který užil pomocných hodin. Volné kyvadlo dostává elektrickou cestou konstantní impuls mechanickým způsobem na obr. 341.

Kyvadlo je dole opatřeno zubem *F*. Impuls dává páka *A*, nesoucí kolečka *D*, a nasazená na hřídeli *B* hodinového stroje (poháněného závažím). V klidu spočívá páka *A* na válečku *C*. Přijde-li signál od pomocných hodin, elektromagnet pootočí váleček *C* a uvolní páku *A*, kolečko *D* dosedne na nos *F* a pak dá kyvadlu impuls. Po skončení impulsu kolečko vyklouzne a těsně před koncem svého pohybu uzavře nakrátko proud kontaktem *H*. Tento proud je veden do elektromagnetu synchronizačního zařízení pomocných hodin, které bylo popsáno na obr. 318. Pomocné hodiny mají minutový kontakt pro elektromagnet *M* na obr. 341.



Obr. 341.

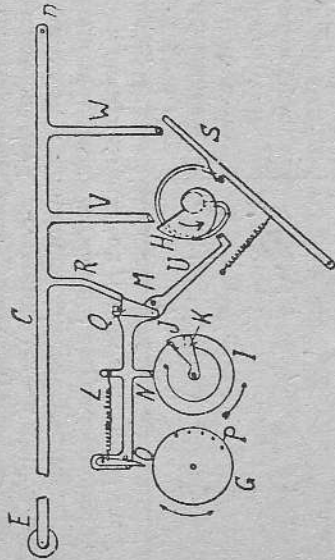
Je dobře si ujasnit základní myšlenku Ruddovu: pomocné hodiny dají rozkaz impulsnímu ústrojí mateřského kyvadla. Páka, když impuls dala, uzavře proud, který synchronisuje pomocné hodiny. Pomocné hodiny mohou být v libovolné vzdálenosti od mateřského kyvadla. Okamžik kdy impulsní zařízení začne působit, je dán pomocnými hodinami a není proto zvlášť přesný, ale průběh impulsu a jeho konec, a tedy také okamžik synchronisujícího signálu jsou přesně určeny mateřským kyvadlem. Na tuto souhrnu dvou kyvadel lze pohlízet dvojím způsobem. Rudd sám psal o řídicím kyvadle, které zlepšuje chod méně dobrých hodin. Jiný možný názor je, že mateřské kyvadlo je strojem hlavním a hodiny synchronisované jeho pouhý služební.

Ruddova myšlenka, ačkoliv byla uveřejněna (obr. 318 a obr. 341, uveřejnil hodinář E. J. Rudd r. 1899) upadla v zapomenutí, a byla vzkríšena teprve *Shorttem*. Rudd udělal kyvadlo, kterému popsaným způsobem dával impuls teprve každou čtvrtou minutu.

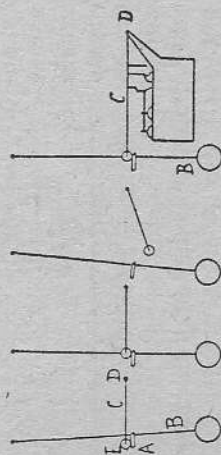
Volné kyvadlo O'Learyho

Jednoduchým a vtipným způsobem řešil volné kyvadlo páter *O'Leary*, jehož uspořádání je na obr. 342 (z patentního spisu z r. 1918). Jako pomocné hodiny je zde stroj z obvyčejného budíku, a druhý stroj pomocný. Ozubené

kolo *I* se otáčí rychlostí o něco větší než 1 ot./min. Před ukončením minuty nos *N* zapadne do výřezu kola *I*, když byl předtím odsunut nazad masku *K*. Tím západka *O* vnikne mezi kuličky *P* na věnci setrvačky *G*; hodinový stroj je zastaven. Zároveň však páka *U* uvolní impulsní páku *C*, která svým válečkem *E* dosedne na paleť upevněnou na kyvadlo-
 tu upevněnou na kyvadlové tyči. Kyvadlo dostane impuls, a jak ukazuje obr. 343, po skončení impulsu páka *C* s palety odpadne a její rameno *W* odsune zá-
 rážku *S*. Tím se dá do pohybu pomocný hodinový stroj a vačka *H* zvedne páku *C* zpět na západku *O* uvolní západku *O* uvolní setrvačku a hodinový stroj se zase rozběhne.



Obr. 342.



Obr. 343.

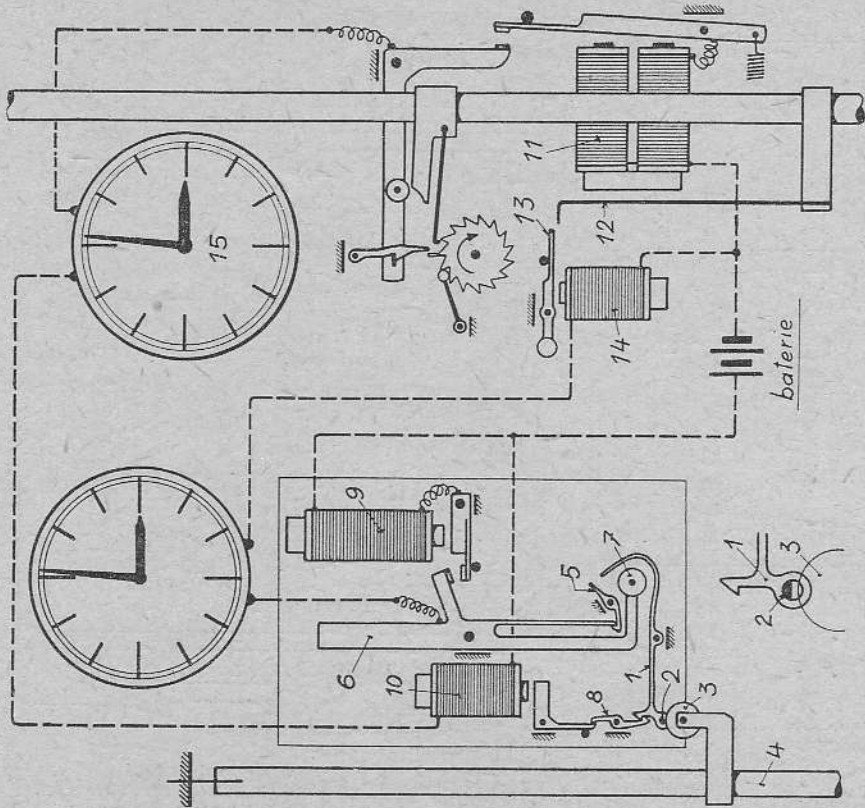
elektrický, a je škoda, že nebyl v přesném provedení řádně vyzkoušen.

Hodiny Shorttovy

Rudovou myšlenku realizoval dokonalejšími prostředky a proto s velkým úspěchem W. H. Shortt. Je zajímavé, že Shortt je již šestý hodinář-amatér, se kterým se v této knize setkáme. Harrison byl vyučený tesař, o Rieflerovi jsme již slyšeli, O'Leary byl kněz a geofyzik, a Shortt začal svou kariéru tím, že si udělal (podle uveřejněného návodu) elektrické hodiny Hope-Jonesovy. Je pochopitelné, že hodiny křemenné a ladítkové vytvořili fyzikové. Je však kuriosní, že mezi vynálezci najdeme také tři anglické práv-
 níky: Grimthorpea, Cunynghama, a k nim můžeme ještě připojit Bloxama, který dal upotřebitelný tvar kroku gravitačnímu.

Shortt synchronisuje volným kyvadlem méně přesné hodiny, které byly již znázorněny na obr. 245, a které volnému kyvadlu obstarávají impuls.

Celá aparatura je schematicky znázorněna na obr. 344, kde nalevo je vidět volné kyvadlo, napravo pomocné hodiny. Impuls dává volnému kyvadlu páčka *I* kamenem *2* který působí na lehké kolečko *3* na kyvadlové tyči *4*. Poněvadž impulsní páčka je příliš lehká a nestačila by dávat spolehlivý kontakt, zavedl Shortt dělbu práce tak, že páčka *I*, když dala impuls, narazi



Obr. 344.

na záražku *5* a ta vybaví těžkou páku *6*. Páka *6* vykývá, a její kolečko *7* vrátí impulsní páčku do klidové polohy a zavěsí ji na záražku *8*; při dalším pohybu páka *6* narazí na kotvu elektromagnetu *9*, je vržena zpět (tak jako tomu bylo na obr. 245) a zachycena záražkou *5*. Elektromagnet *II* pomocných hodin je v serii — přes minutové počítadlo *15* — zapojen s elektromagne-
 tem *10*, který ovládá záražku *8*.

dovém okruhu, napájeném z kondensátoru 5, který je nabíjen vysokým napětím přes odpor 6. Blízko úvrati kyvadla je tedy kondensátor 5 vybíjen tím více, čím byla větší amplituda kyvadla a následující impuls je proto slabší. Tato regulace je velice přesná, poněvadž průhledné rysky na clonách mají šířku 0,05 mm. Proto také chyba světelného kontaktu je menší než 0,001 sek. Nejchoulostivějším místem celého systému je ovšem relé, na jehož přesnost a spolehlivost záleží vše. Nevýhodou je také malá životní doba elektronky, a nutnost udržovat a opatřovat tři baterie. Tyto hodiny se osvědčily na modelu, není však známo, jak se osvědčily v definitivním provedení. Jsou dobrým příkladem toho, jaké máme možnosti, když místo starých řešení mechanických užíváme prostředků, které dává elektrotechnika.

Vysokofrekvenční oscilátory

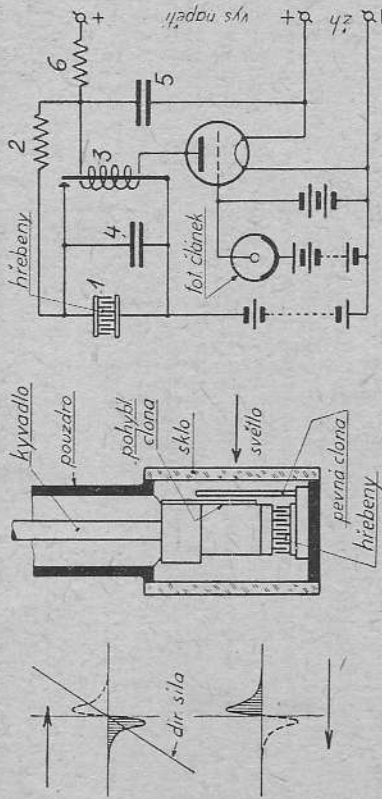
Na nové cesty přivedl měření času vývoj elektroniky. Elektronkami můžeme udržovat kmity oscilátorů, které mají daleko vyšší frekvenci než mechanické oscilátory, popsané v předešlých kapitolách. Jsou to ladička, dávno známá, ale teprve ve spojení s elektronkou schopná vysoké přesnosti; dále kovová tyč, kterou lze udržovat v podélných kmitech využitím magnetostriky; a konečně oscilátor nejnovější, kmitající křemen. Jsou to oscilátory mechanické; kmitající těleso je zároveň pružinou a setrvačnou hmotou. Proto jsou nezávislé na pohybech půdy, a to je jejich hlavní přednost před kyvadlem. Dále jsou malých rozměrů, a je proto snadné udržovat je v konstantním tlaku a teplotě.

Ladička

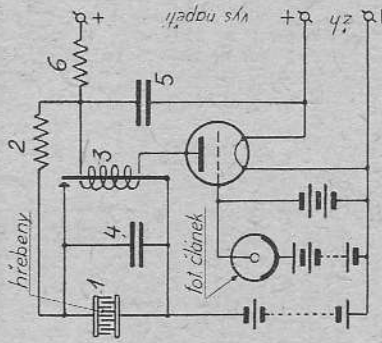
Ladičky se v laboratorních již dříve užívalo k měření kratších časových intervalů. Původně byla udržována v kmitech elektromagnetem, který byl napájen proudem, přerušovaným ladičkou samou. Nebylo to nic jiného, než známé Wagnerovo kladivko, a stačilo to pro krátký běh, ale kontakty naprosto nevydržely delší trvalý provoz. O mnoho lepší nebyl ani novější způsob: elektromagnet byl napájen proudem, který byl modulován mikrofonem doléhajícím na ladičku. Teprve elektronkami bylo možno udržet ladičku v trvalém chodu, a tak využít pravidelnosti jejích kmitů.

Ladička může mít tvar jako na obr. 347, nebo tvar na obr. 348, který se dá velmi přesně strojně obrobit. Materiálem byla původně uhlíkatá a kalená ocel, která ovšem značně mění modul pružnosti s teplotou; proto se dnes ladičky dělají z elinvaru. Je třeba aby ladička byla namontována na dostatečně těžkém soklu, na druhé straně její rozměry jsou malé (délka řádu 25 cm), a je proto snadné ladičku uzavřít do thermostatu. Poněvadž i změny tlaku mají vliv na kmitočet, je účelné provést thermostat vzduchotěsný, a udržovat v něm stálý tlak.

a k elektronce. Poněvadž je impuls tak malý — je dáván při každém kyvu — bylo možno použít elektrostatického přitahování. V pouzdře hodin je malý kovový hřeben a podobný hřeben je i na konci kyvadla; při pohybu kyvadla tento hřeben prochází mezi zuby hřebenu nehýbného. Jsou-li hřebeny nabity, vznikne při pohybu kyvadla síla, jejichž průběh je na obr. 346. Síla rychle vzroste když se kyvadlo blíží střední poloze; pak náhle změní znaménko a rychle klesne. Aby přitažlivá síla hřebínku dávala impuls, je nutno ji zrušit ve střední poloze, t. j. hřebínky spojit na krátko. To se musí stát s velikou přesností, a je to možné jedině s pomocí velmi přesného světelného kontaktu. Na konci kyvadlové tyče a v pouzdře hodin jsou malé skleněné destičky, potažené neprůhlednou vrstvou do níž jsou vryty průhledné čáry. Rozdělení čárek je takové, že jenom ve střední poloze kyvadla se všech dvanáct čárek kryje, jinak se kryjí nejvýše dvě. Citlivost relé a hodnoty okruhů jsou nastaveny tak, že relé reaguje jenom na maximální množství světla.



Obr. 346.

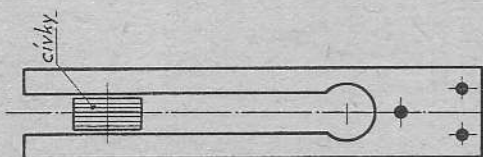


Obr. 348.

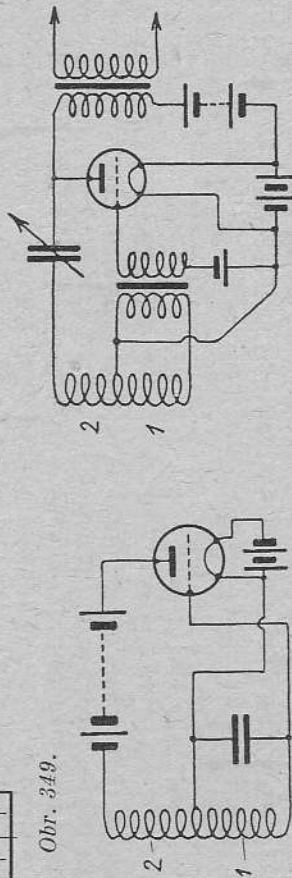
Kyvadlo je v pouzdře, které může být zcela úzké, poněvadž odpadl odpor vzduchu. Dole je pouzdro opatřeno dvěma protilehlými okénky, venku na jedné straně je zdroj světla s kondensorem, na druhé straně fotobuňka; proud světla stojí v cestě uvedené clony, obr. 347. Zapojení je znázorněno na obr. 348. Pevný hřebínek 1 se nabíjí přes veliký odpor 2. V okamžiku, kdy kyvadlo prochází střední polohou, je fotobuňka náhle osvětlena, a tím vznikne proud v anodovém okruhu elektronky, k jejíž mřížce je připojena fotobuňka; anodový proud projde velmi citlivým relé 3, které na okamžik spojí oba hřebeny a tím je vybije. Síla impulsu je dána velikostí odporu 2 a kondensátoru 4.

Regulaci amplitudy obstarává druhá clona, rovněž čárkovaná, a umístěná na kyvadle tak, že v úvrati koresponduje s clonou nehýbnou. Proto v úvrati projde jisté množství světla, které vyvolá anodový proud v ano-

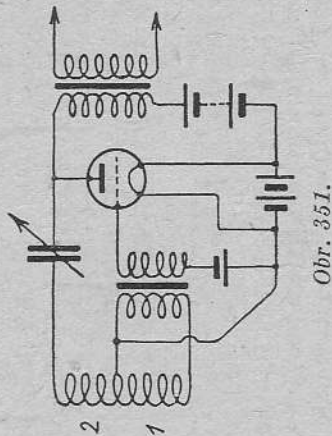
Buzení kmitů obstarává elektromagnet, který může být umístěn mezi rameny ladičky jako na obr. 349. Kromě elektromagnetu je třeba druhé cívký, v níž kmitající ladička budí střídavé napětí, které se vede na mřížku elektronky; elektromagnet je napájen anodovým proudem této elektronky. Jednoduché zapojení je na obr. 350, kde 2 je elektromagnet a 1 je cívka zapojená v mřížkovém okruhu. Lepší výsledky dává zapojení podle obr. 351, které se liší tím, že střídavé napětí se přenáší na mřížku přes transformátor a v anodovém okruhu je druhý transformátor, z něhož lze odebrat střídavý proud k dalšímu použití, na př. k pohonu synchronního motoru. Přesnost ladičky, umístěné v thermostatu a ve stálém tlaku, je možno stupňovat až na 0,00001%, což odpovídá chybě asi 0,01 s/d. Výhodou ladičky je poměrně nízký kmitočet, takže není třeba děličů frekvence. Proud z anodového okruhu lampy stačí elektronkami zesílit, aby mohl pohánět synchronní motor; frekvence bývá 1000 c. Provozní zkušenosti s ladičkami, které trvale kmitají a spolu se synchronním motorem představují tedy hodiny, nejsou právě nejlepší. Jejich chod je samozřejmě nezávislý na pohy-



Obr. 349.



Obr. 350.



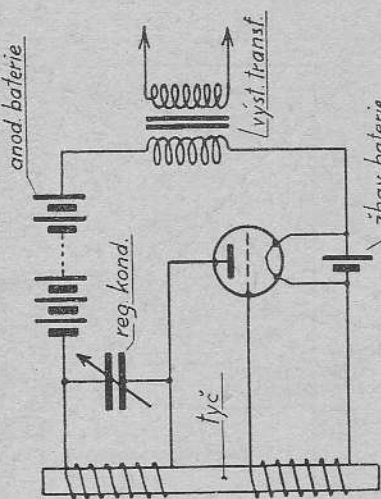
Obr. 351.

běch zemské kůry, jak bylo vidět na obr. 60, ale neuspokojuje dosud stálost chodu, a ladičkové hodiny měly v provozu nepříjemně mnoho poruch. Výborná však je ladička pro měření krátkých časů, a všude tam, kde potřebujeme s jednoduchou aparaturou dosáhnout pravidelného a přesně definovaného pohybu otáčivého.

Kmitající tyč

Nikl a mnohé jiné látky ferromagnetické mají zajímavou vlastnost: magnetováním se trochu mění jejich délka. Tento zjev se nazývá *magnetostrikce*; pro nás je důležité, že zjev je reciproční, t. j. změny délkové vyvolávají změny magnetické. Je proto možné udržet takovou tyčku v podélných

kmitech samobuzením tak jako ladičku. Příslušné zapojení je na obr. 352, a odpovídá úplně zapojení ladičky. Intenzitu kmitů lze nastavit olovným kondensátorem, jako jsme viděli již v obr. 351. Před válkou sestrojil v Anglii Sears hodiny, které byly regulovány elinvarovou tyčí, udržovanou v kmitěch popsaným způsobem, která přes zesilovač (a patrně také přes dělič frekvence) poháněla synchronní motor, který otáčel ručkami a mohl samozřejmě dávat libovolné časové značky nebo signály. Není mi však známo, jak tento pokus dopadl. Tyče, kmitající účinkem magnitostriktce lze použít k buzení ultrazvuku.

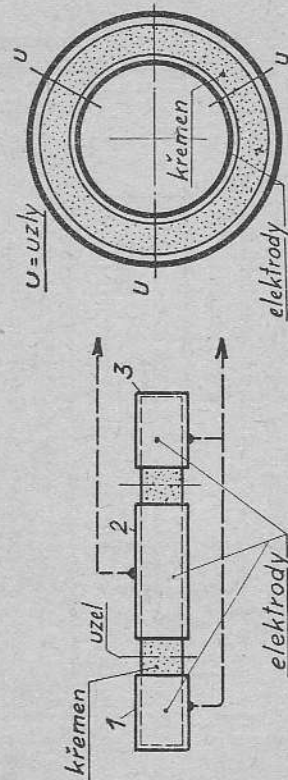


Obr. 352.

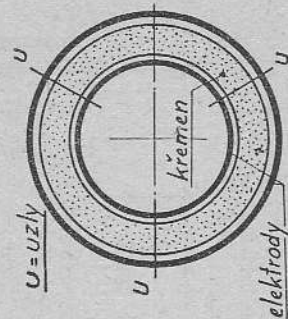
Křemenné hodiny

Některé krystalované látky, na př. křemen, turmalin nebo Seignetteova sůl jeví zvláštní zjev, který nazýváme *piezo-elektrický*. Destička nebo tyčinka z tohoto materiálu vybroušená mění svoje rozměry, jestliže na koncové plochy byl vložen elektrický náboj. Také tento zjev je reciproční, to jest stlačíme-li destičku, objeví se na koncových plochách elektrický náboj. Proto je možno takové destičky v kmitech, a na tom jsou založeny hodiny křemenné. Jako oscilátor funguje tělesko vyřiznuté z krystalu v určitém směru. Užíváme zpravidla krystalované křemene, čili křišťálu. Turmalin je pro tento účel méně vhodný a drahý. Sůl Seignetteova není dostatečně tvrdá a trvanlivá, hodí se však dobře pro jiné technické účely, na příklad pro gramofonové přenosky.

Křišťálové tělesko může mít tvar tyčky, kterou vidíme na obr. 353; v hodinách PTR (Physikalisch-technische Reichsanstalt, Berlin) má délku 91 mm a průřez 11×11 . Hodiny anglické systému Essen, mají (stejně jako

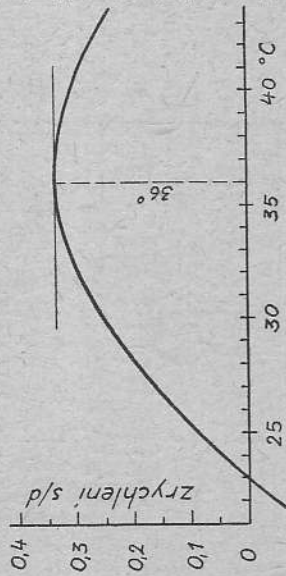


Obr. 353.



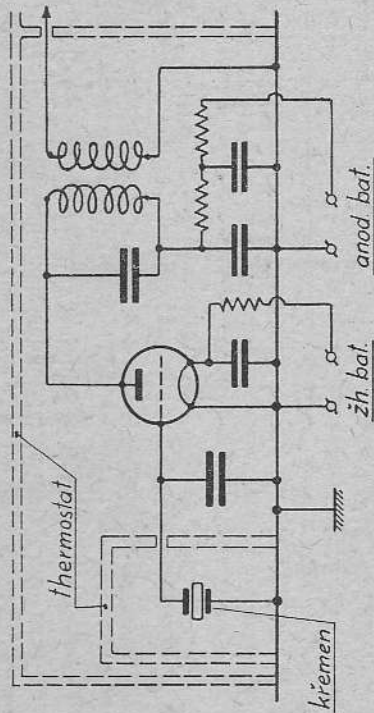
Obr. 354.

hodiny Marrisonovy) prsten, jehož vnější průměr je asi 60 mm, vnitřní asi 45 mm. Tělísko je zavěšeno nebo podepřeno v uzlech kmitů. Tyčka dle obr. 353 kmitá podélně v druhé harmonické, je nitkami zavěšena v označených uzlech, a volně prochází třemi dutými elektrodami, zapojenými jak naznačeno. Prsten má uspořádání elektrod patrné na obr. 354 a kmitá stojatými kmitů v tangenciálním směru; kmitání má tři uzly, v nichž je prstence podepřeny bríty. O volbě řezu z rostlého krystalu se čtenář doví blíže v kapitole V. Petřílka—J. Slavík, Piezoelektrina a její použití v technické praxi, kde se pojednává též o křemenu jako přesném normálu frekvence a jako prostředku k buzení ultrazvuku. Kmitočty křemenných tělísek pro hodiny je obvykle 100.000 c. Změny teploty mají citelný vliv na kmitočty, jak ukazuje obr. 355, který se týká německé tyčinky podle obr. 353. Proto je tyčinka v thermostat, kde je udržována teplota 36° C, odpovídající nejmenšímu kmitočtu (aby malé změny teploty měly jen nepatrný vliv na frekvenci). Aby se odstranil i neveliký vliv změny tlaku, je tyčinka ve skleněné zatavené trubce, v níž je vodič (aby se zmenšil také útlum). Rovněž prstence se ukládají do vzduchotěsného thermostat, v němž se udržuje stálý tlak. Topení thermostat je řízeno velmi citlivými kontaktními teploměry.



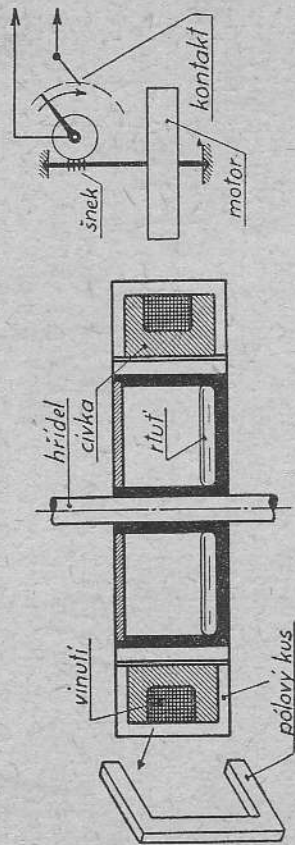
Obr. 355.

Zapojení je Pierceovo, (obr. 356). Kmitů z anodového okruhu se zesilují dvojitým dvojitým zesilovačem. Poněvadž frekvence je příliš vysoká pro praktické použití, používá se dvojitého zesilovače. Poněvadž frekvence je příliš vysoká pro praktické použití, používá se dvojitého zesilovače. Poněvadž frekvence je příliš vysoká pro praktické použití, používá se dvojitého zesilovače.



Obr. 356.

tické užití, snižuje se děličí frekvence. Užívá se nejčastěji zapojení Abrahama, v němž elektronky jsou zapojeny tak, že anoda jedné je spojena s mřížkou druhé elektronky. Tento okruh lze lehko ovládnout, poněvadž je dost labilní a má křivku proudovou deformovanou tak, že obsahuje značně silné vyšší harmonické. Těmito vyššími harmonickými je okruh vázán s okruhem předchozím. A tak frekvenci 100.000 c lze snížit prvním děličem na 10.000 c, a druhým děličem na 1000 c; tato frekvence je již dostatečně nízká pro synchronní motorek.



Obr. 357.

Obr. 358.

Synchronní motorky jsou různé konstrukce. Jako příklad uvedu motorek PTR obr. 357. Na cívce je navinuto vinutí, které magnetuje póly tvaru na obrázku zvlášť nakresleného. Tyto póly působí na železné ozubené kolo, otáčivé na svislém hrádelu. Kolo je duté a v dutině je nalito trochu rtuťi, která tlumi eventuální houpání motoru. Je-li frekvence 1000, a pólu je na př. 100, bude motor konat 20 ot/sek; otáčivou rychlost můžeme zmenšit na polovinu, jestliže motor polarisujeme tím, že na cívku dáme druhé vinutí, které napájíme stejnosměrným proudem, nařizovaným reostatem. Často se užívá i jiných forem motorů. Má-li motor pohánět kontaktní zařízení k vysílání na příklad časových signálů, musí mít dostatečný výkon. Tak na příklad motorky pro vysílání greenwichských časových signálů mají výkonnost 0,8 kgm/sek. Jde-li jen o sekundové kontakty, stačí uspořádání jako na obr. 358, kde motor přes šnekový převod otáčí ramenem, které při každé otáčce na okamžik uzavře proud. Velmi příjemná vlastnost křemenných hodin je, že jejich stav můžeme libovolně a plynule měnit. Stačí otáčet statorem motoru, který bere rotor s sebou a tím vznikne žádaný posun. Koná-li motorek 10 ot/sek, znamená otočení statoru o 36° posun o 0,01 sek. Takto je možno přesně zjistit stav hodin, neboť je dán úhlem, o který bylo nutno pootočit statorem, aby se dosáhlo koincidence s normálem.

Křemenné hodiny jsou dosud jediný časoměr schopný soutěžit s přesnými hodinami kyvadlovými. Jejich přesnost je pro krátké doby (řekněme několik měsíců) o něco lepší než hodin kyvadlových; pro delší doby (řekněme jednoho nebo několika roků), považuje se kyvadlový stroj za stálejší a pravdivější. Příčiny nepravdivosti v chodu jsou jednak malé změny ve vnějších

okruzích, jednak v molekulárních změnách křemene samotného. Bylo zjištěno, že křemen průběhem roku může se zrychlit až o 0,01 s/d i více, byly však také zjištěny náhlé změny ve frekvenci, pro které nemáme vysvětlení. Podle německých údajů změna anodového napětí o 1 V způsobí změnu chodu o 0,003 s/d, změna žhavicího napětí nemá téměř vliv. Thermostat musí udržovat teplotu ve velmi těsných mezích, obvykle asi $\pm 0,002^\circ \text{C}$. To činí také jisté potíže, poněvadž kontaktní teplotní měření nejsou dostatečně nepřeměnné. Barometrická chyba je asi jako u kyvadla.

Veliká přednost křemenných hodin je snadnost, s jakou lze je navzájem srovnávat. Užívá se metody rázové, která je velmi citlivá, jak vysvitá z tohoto příkladu. Jestliže jeden z křemenů bude mít frekvenci odlišnou o 1 c, vzniknou sekundové rázy a to je rozdíl chodu 0,86 s/d. U strojů kyvadlových, kde frekvence je 0,5 c, jsou nutné chronografy, jejich přesnost není většinou lepší než 0,001 s/d. Naproti tomu veliký nedostatek křemenných hodin je malá trvanlivost elektronek; nelze počítat s větší životní dobou nežli 2000 hod., a proto křemenné hodiny nejsou schopny dlouhého nepřetržitého chodu. Nezbyvá tedy nic jiného, než mít v běhu větší počet křemenných hodin; tak na příklad greenwickská časová centrala v Abingeru má 12 základních křemenných strojů, a asi půl tuctu strojů pro časové signály.

Hranice přesnosti

V minulé kapitole jsme pojednali o tom, jak zjišťujeme stav hodin. Jde-li o hodiny velmi přesné, je nutno užít chronografu, o němž si řekneme ještě v kapitole příští. Přesnost chronografu je dnes větší nežli je přesnost, s níž lze určovat čas. I nejlepší signály mívají chyby 0,02 sekundy, kdežto chyba chronografu je po př. zlomek milisekundy. Jsme pak odkázáni na dodatečné vyčíslení, když dostaneme do ruky zprávy dotyčné hvězdárny, v nichž jsou uvedeny chyby vyslaných signálů; ale ani potom není přesnost větší než asi 0,005 sek, ba někteří myslí, že zbylá chyba je ještě větší. Dnes víme, že Země se neotáčí stejnoměrně, ale velikost této periodické nepravdivosti není bezpečně číselně zjištěna. Kdybychom měli hodiny, které by šly naprosto přesně, mohly by ukazovat až o 0,5 sek více, a půl roku na to zase o 0,5 sekund méně. K tomu přistupují chyby pasáží měření, způsobené vrtivými, a ne zcela přesně známými pohyby zemské osy, t. zv. kolísání pólů. Některé hvězdárny berou kolísání pólů do počtu, jimi astronomové s tím nesouhlasí, a tak nakonec vidíme, že stroj opravdu přesný nelze dostatečně přesně srovnávat, poněvadž nám chybí dostatečně přesný normál. Uspokojivým řešením není ani to, jestliže stále navzájem srovnáváme chody většího počtu hodin. Děláme to z nouze, a některé hvězdárny mají skutečně značný počet přesných strojů kyvadlových nebo křemenných, po případě obojích. Ostatně nic jiného není průměrný světový čas, k němuž vztahuje chyby signálů pařížské B. I. H. Tam přijímají všechny slyšitelné časové signály z celého světa a vyvážený jejich průměr považují za správný čas.

Je naděje, že tuto neuspokojivou situaci rozřeší *hodiny atomární*. V první části této knihy (na str. 117) byla zmínka o tom, jak v Bureau of Standards se pokusili kmitající křemen synchronisovat atomárními kmity. Dusíkové atomy v molekulách silně zřetěněno čpavku kmitají v resonanci a tím absorbují vlnění o frekvenci $2,38701 \cdot 10^{10}$. To umožnila dnešní technika krátkých, centimetrových vln (radar!). Celá aparatura je ovšem dost složitá, a naše známé křemenné hodiny tvoří jen její malou část. Podatří-li se tuto metodu propracovat pro praktický (a hlavně trvalý) provoz, měli bychom aspoň na čas po starostech; dokonce bychom mohli doufat, že budou rozhodnuty i takové otázky, jak dalece je proměnný náš dosa- vadní normál časový, rotace Země, nebo jak dalece jsou stejné dlouhé sluneční roky.

XVI. Měření časových intervalů

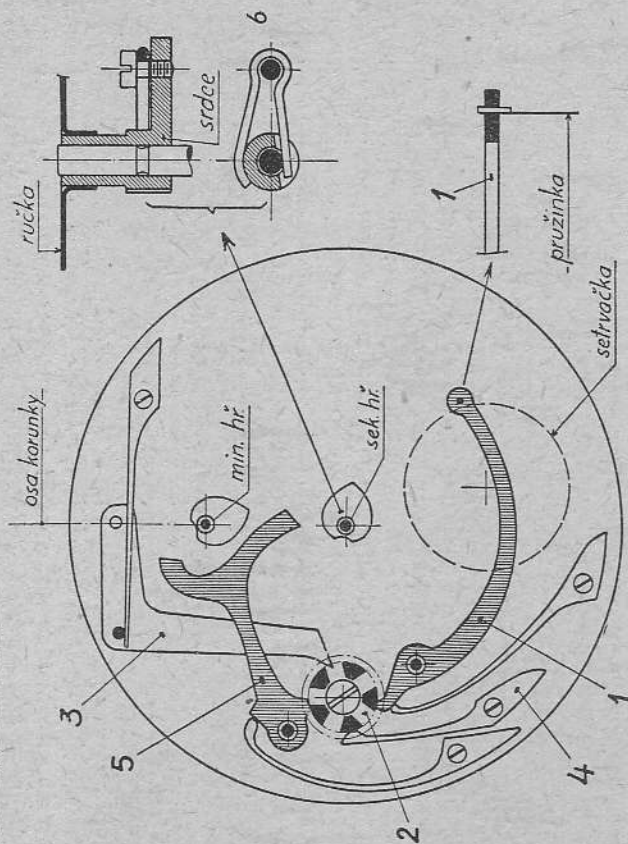
K měření časových intervalů máme k dispozici přístroje nejrůznějšího druhu, a založené na různých principech. Jinak řešíme otázku, máme-li měřit interval několika minut, nebo interval několika sekund, nebo dokonce interval pouhého zlomku sekundy. K měření delších intervalů jsou velmi pohodlné kapesní hodinové strojky, které jsou dvojího druhu. Předně jsou to hodinky, které neslouží k jinému účelu než právě k měření kratších intervalů; to jsou *stopky* (slovo je zkratka anglického výrazu stop watch). V druhé kategorii jsou kapesní hodinky normální konstrukce, k níž je přidáno zařízení k měření krátkých intervalů; Svýcati jim říkají — ne právě vhodně — „chronografy“ (správnější název by byl chronoskop).

Stopky

Stopky jsou poměrně jednoduché stroje, které se liší od normálních hodin tím, že sekundový hřídel je uprostřed a nese velikou sekundovou ručku, kterou je možno uvést do pohybu, zastavit a vrátit do nulové polohy. Hodinový stroj neběží stále, nýbrž uvede se v pohyb na počátku měření a zastaví na konci měření. Setrvačka (která všem musí mít hladký věnec bez šroubů), se uvede do pohybu nebo zastaví pružinkou zasazenou do konce páčky I na obr. 359. Konec páčky se pohybuje přibližně ve směru tečny k obvodu setrvačky, takže v okamžiku uvolnění dá setrvačce malý impuls a tím je lépe zaručeno, že uvolněná setrvačka skutečně začne kmitat. Páčka I je řízena kolečkem 2, které má nahoře pět nebo šest palců, vespod pak je vytvořeno jako rohalika s 15 nebo 18 zuby. Stisknutím natahovací korunky západka 3 posune tuto rohaliku o jeden zub; indexovací pružina 4 zajišťuje polohu rohatky a přispívá k úsečnosti pohybu.

Palce rohatky pohybují ještě rozdvojenou páčkou 5, která vrací ručku (a druhou ručku počítací) na nulu. Prvním stisknutím se zdvihne páčka 5, tím jsou uvolněny ručky a skoro zároveň páčka I uvolní setrvačku. Při druhém stisknutí páčka I setrvačku zastaví; při třetím stisknutí je uvol-

něna páčka 5 a vrátí ručky na nulu způsobem, který jsme viděli na obr. I 371. Popsaný mechanismus je zpravidla umístěn pod číselníkem. Každá ručka je nasazena na trubce, která nese srdčitou vačku a je volně otáčivá na konci svého hřídelku. Spojení mezi oběma obstarává drátěná pružinka 6, která tlačí na mělkou drážku vysoustruženou na hřídelku; tření způsobené pružinkou je dostatečné, aby ručka byla bezpečně unášena, ale nebrání návratu na nulu.



Obr. 359.

Pro některá měření (na př. měření pracovních časů v továrně) může být účelné jednotlivá měření sečítat. To lze provést tak, že rohátka ovládá pouze spouštěcí páčku, kdežto páčka nulovací je řízena zvenčí zvláštním tlačítkem. Stisknutím korunky se hodinky dají do chodu, druhým stisknutím se zastaví. Je-li třeba nulovat, stiskneme zmíněné tlačítko.

Pro laboratoř je výhodná modifikace stopkek, kterou vynalezl Winnerl a které se obvykle říká „ratrapánky“. Kromě hlavní ručky je tu druhá ručka pomocná, která buď běží společně s ručkou hlavní nebo (po stisknutí zvláštního tlačítka) stojí. Tento mechanismus byl znázorněn již na obr. I 372, a bývá umístěn obvykle pod číselníkem. Kleště, které svírají kolečko spojené s pomocnou ručkou, mohou být kloubové, nebo jednodušší pružinové; palcový kotouček, který kleště rozevírá, je na rohatec, kterou podává západka, spojená s tlačítkem na okraji pouzdra hodinek. Takovými stopkami lze zjistit více časových bodů během jednoho měření.

„Chronografy“

Označení zdědil tento druh hodinek patrně po prastaré konstrukci, kterou vynalezl Rieussec r. 1822. Ručka otáčející se soustředně s číselníkem byla vytvořena jako pero. Stisknutím knoflíku byla ručka na okamžik přitlačena k číselníku a nechala na jeho okraji inkoustovou tečku. Byl to tedy skutečný chronograf, t. j. přístroj zapisující. Dnes ovšem Svýcaři takto nazývají hodinky normálního uspořádání, které mají velkou sekundovou ručku. Tuto ručku lze uvést do pohybu tím, že stisknutím korunky (nebo tlačítka) se ručka spojí s hodinovým strojem; k tomu jsou ve stroji ozubená kolečka, která byla nakreslena na obr. I 328. Řízení spojovacího mechanismu a nulování se děje jako u stopkek. Málokdy se setkáme s chronografem, který má nulování zvláštním tlačítkem.

Velmi pečlivě provedený chronograf je znázorněn na obr. 360; kde je vidět detailní provedení vlastního stroje hodinového a na něm namontované ústrojí chronografové. Na obr. 361 je znázorněno ústrojí jednodušší, ale nejrozsáhlejší. Je vidět tři jemně ozubená kolečka 1, 2, 3, z nichž kolečko 2 je pohyblivě uloženo na páčce 13. Dále kolečko 4, rovněž uloženo na páčce 5, které pohání kolečko 6, spojené s ručkou udávající celé minuty.

S kolečkem 3 je spojen ozub, který při každé otáčce zabere do kolečka 4. Konečně je vidět páčku 7, která působí jako brzda na kolečko 3, které je krom toho stále brzděno slaboučkou pružinou. Nulování obstarává rozdvojená páčka 8, která působí na srdíčka na kolečkách 3 a 6. Páky 13, 5, 7, a 8 jsou ovládány opět palci na rohatec 9, zajištěné pružinou 10. Rohatkou pohybuje západka na dlouhé páce 11, na kterou působí natahovací korunka (nebo zvláštní tlačítko).

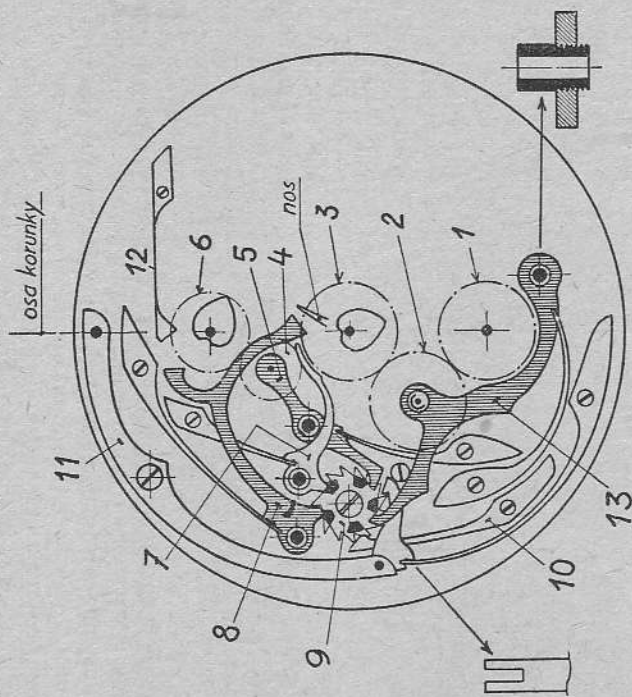
Také tyto strojky mívají druhou, pomocnou sekundovou ručku. Konstrukce je ovšem ještě složitější, a dobře „ratrapánky“ jsou pak krásný kousek hodinářské techniky a výroby, ovšem také drahý kousek.

O přesnosti stopkek a chronografů je dobře nedělat si velké iluze. Hodinky



Obr. 360.

samý jsou měřicí stroj, jehož přesnost jistě stačí pro většinu technických účelů. Vzniká však nevyhnutelná a nepravdivelná chyba, když ručičku uvedeme v pohyb nebo zastavíme. Je věc náhodná, zda se to stane předtím než impulsní kámen vnikne do vidličky kotvy, nebo krátce po impulsu. To platí o hodinkách obou druhů, a chyba takto vzniklá může činit 0,2 sekundy, je-li doba kyvu setrvačky 0,2 sekundy. Některé zkušební předpisy žádají,

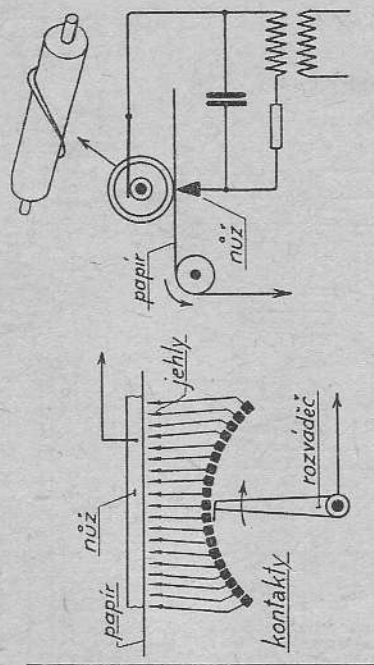


Obr. 361.

aby chyba v měření intervalu několika sekund nebyla více než 0,3 sekundy, a to je také vše, co můžeme očekávat. Jediná možnost, jak zmenšit tuto chybu je dát setrvačce menší dobu kyvu. To ovšem nelze snadno udělat u chronografu, který má zároveň ukazovat čas jako normální hodinky, a kde bychom si neradi stroj komplikovali dalším převodním hřídelem; zde je hraniční doba kyvu 0,1 sek. Naproti tomu u stopek je snadné užít lehčí setrvačky a tužšího vlásku, a tak kromě stopek s dobou kyvu 0,2 sekundy (pětminových) jsou na trhu stopky s dobou kyvu $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{50}$ a $\frac{1}{100}$ sek. Z výrobních důvodů stroje zůstávají nezměněné a velká ručka se otočí dokola za 30, 6, nebo 3 sek; ovšem rozsah číselníku se v téměř poměru zmenšuje. Je kupodivu, že se nedává setrvačce velmi příhodná doba kyvu $\frac{1}{30}$ sek; ručka by oběhla číselník za 10 sek, a přesnost čtení by odpovídala chybě, které se dopouští vycvičený pozorovatel. Mnohé stopky trpí nepřesnou montáží číselníku; o tom, jak tuto chybu zjistíme, jednali jsme v kap. XIV.

Chronograf

Důležitý přístroj na hvězdárnách jako v laboratořích a pro technická měření je chronograf, o němž byla zmínka již několikrát. Nejčastěji užíváme chronografu páskového; časové značky se zachycují na odbíhající pásek papíru některým ze způsobů popsaných v I. dílu, v kap. o registračních methodách. Papír posunuje válečky, poháněné silným hodinovým strojem. Chod stroje je řízen některým z absorpčních regulátorů, obr. I 385, I 386, I 387, I 388. Požadavky nejsou zvlášť vysoké a autor dosáhl s obyčejným gramofonovým hodinovým strojem přesnosti 0,005 sek. Často se užívá také chronografu bubnového; papír je na velkém bubnu, kterým hodinový stroj otáčí a zároveň posunuje sáně, na nichž jsou namontovány elektromagnety s psacími pery. Přístroj je pohodlný, ale jakousi potíž dělá spojení papíru na bubnu.



Obr. 362.

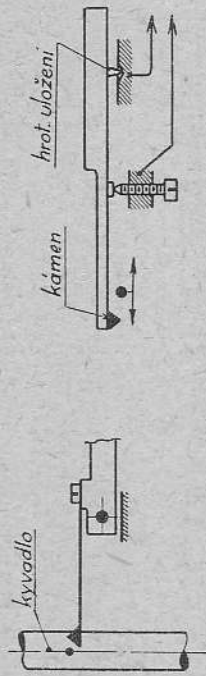
Jde-li o srovnání dvou hodin kyvadlových mezi sebou, necháme oboje hodiny psát své značky. Srovnání hodin s časovým signálem provedeme tak, že jedno písátko dostává sekundové impulsy od hodin, druhé písátko zapisuje časový signál, podle potřeby zesílený a usměrněný. Přesnost chronografu můžeme do jisté míry stupňovat tím, že zvyšujeme rychlost papíru až na 100 – 200 mm/sek, ale ani tak nelze počítat na přesnost větší než asi 0,002 sek. Další stupňování přesnosti je možné chronografem jiskrovým, který zavedl Loomis. Široký pas papíru se pohybuje přes ostrou lištu, proti níž stojí 100 jehel, které dostávají proud vysokého napětí rozdělovačem, rotujícím, jak ukazuje obr. 362. Časový okamžik se zaznamená jiskrou, která přeskóčí podle polohy rozdělovačového ramene mezi jednou z jehel a lištou, a přitom prorazí papír. Přesnost záleží na počtu jehel a na tom, jak rychle a jak pravidelně se otáčí rozdělovač. Jiná forma (Bell), je na obr. 363. Proti liště se otáčí válec, na jehož obvodě je druhá lišta ve tvaru jednoho závitů šroubovice. Válec je poháněn synchronním motorem, napájeným na

Obr. 363.

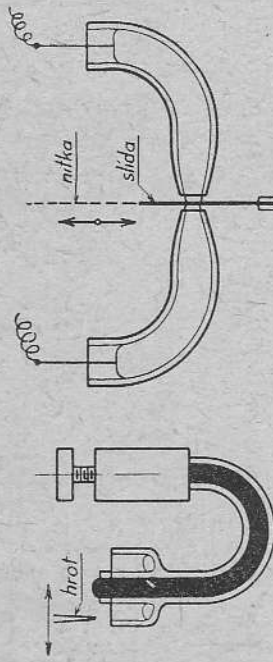
př. z ladičky. Přesnost zde je větší, poněvadž šroubová lišta odpovídá nekonečnému počtu jehel. Těmito chronografy lze dosáhnout přesnosti zlomku milisekundy.

Sekundové kontakty v hodinách

Mají-li kyvadlové hodiny dávat přesný sekundový kontakt, nestačí kontaktní páka, ovládaná stoupacím kolem jako na obr. 314. Kontakt musí být ovládan samotným kyvadlem, ovšem tak, aby tato práce kyvadlo zbytečně nezatěžovala. Možných řešení je na tucty, ale žádné není ideální. Čím přesnější má být kontakt, tím větší musí být rychlost kyvadla, tedy tím dále od závěsu kyvadla musíme kontakt umístit. Jednoduchý kontakt podle



Obr. 364



Obr. 366

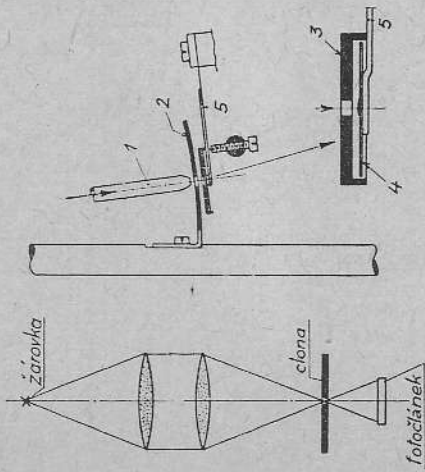
obr. 364 vyhoví jen v tom případě, že ho použijeme občas a po krátkou dobu. Kontaktní průžinu dáme na páku, kterou lze ovládat zvenčí (nebo elektromagnetem), takže je možno průžinu oddálit, když kontaktu není třeba; kontakt zapíná na okamžik proud ve střední poloze kyvadla. Naproti tomu kontaktní páka dle obr. 365 proud na okamžik přeruší. Pěknou konstrukci podobného kontaktu udal a prakticky provedl K. Novák v Praze. Nepatrný odpor kyvadlu klade kontakt rtufový. Jednoduché provedení je Lamontovo na obr. 366. Platínová špička na kyvadlové tyči prochází meniskem rtufového, který lze šroubkem nastavit. Tvar skleněné trubky, patrný z obrázku umožňuje část rtuti vytlačit, abychom se zbavili rtuti znečištěné; mnoho nám to nepomůže, poněvadž kontakt nesehlává tak

Obr. 365

Obr. 367

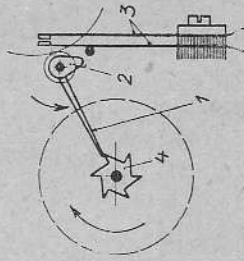
vlivem nečistot na rtuti, jako spíše vlnou nečistot, které se nahromadí na platinovém hrotu. Zajímavý je rtuťový kontakt na obr. 367. Rtuť je obsažena ve dvou skleněných trubkách, jejichž otvory jsou k sobě obráceny s malou mezerou. V této mezeře pohybuje se listek slídy, zavěšený nitkou na raménku, spojeném s kyvadlem. Listek má díрку, která na okamžik dovolí dotek rtuti a spojení proudu.

Největší přesnosti lze dosáhnout různými formami kontaktů nehmotných, elektrických nebo elektro-optických. Tak na příklad na obr. 368 na kyvadle je clona se štěrbinou, která je osvětlena žárovkou, jejíž světlo soustřeďuje čočkový spojný systém. Projde-li světlo clonou, je zachyceno fotočlánekem; vše další je záležitostí čistě elektrikařskou. Kontakt světelný zvlášť přesný jsme viděli v hodinách Tomlinsonových. Jiné možné řešení kontaktu, který nemá vliv na kyvadlo je vhodný vysokofrekvenční okruh. Kyvadlo může v okruhu působit změny kapacity nebo změny indukce.



Obr. 368

Obr. 369



Obr. 370

Pro úplnost dodávám, že je možno kontakt ovládat také pneumaticky, na příklad jako na obr. 369. Vzduch vytékající z trubky 1 naráží na clonu 2. Přejde-li dírka ve cloně před trubku, vnikne proud vzduchu do plochého válečku 3, v němž se s malou vůlí pohybuje píst 4, nesený kontaktní průžinou 5. Takto kontakt nemá prakticky vliv na kyvadlo, je jednoduchý a energický, vyžaduje však nějaké čerpadlo, nejlépe měch (aby vzduch nemohl být znečištěn olejem).

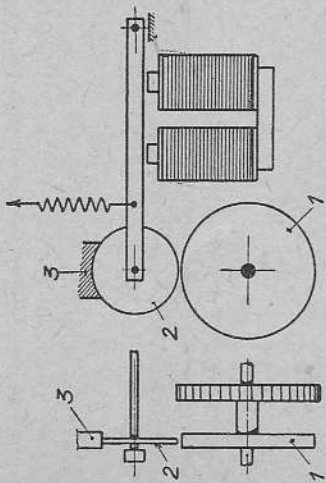
Pro aparatury přesnější nelze užít kyvadlových hodin, a musíme se spokojit hodinami rovněž přesnějšími. Je-li třeba, aby sekundový kontakt vysílal hodiny se setrvačkou, lze to dokázat s nejméně škodlivým vlivem mechanismem na obr. 370. Zvláštním hodinovým přístrojem je poháněn bičik 1, na jehož hřídeli je palec 2, který působí na kontaktní průžiny 3. Bičik je vypouštěn v sekundových intervalech ozubeným kolečkem 4 na hřídeli stoupacího kola. Na obrázku má kolečko 6 zubů. To odpovídá stoupacímu kolu s 15 zuby na setrvačce s dobou kyvu $1/5$ sek. Kontakt nebere

žádnou práci od hodinového stroje, naopak jemu jistou malou práci přivádí. Je to zařízení, které pracuje dobře, ale je tu ovšem nutný druhý hodinový stroj pro pohon bičku.

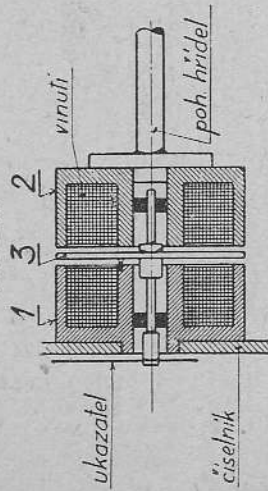
Různé aparatury

Tam, kde nestačí přesnost obyčejného chronografu zapisujícího, je možno (kromě trochu nepohodlných chronografů jiskrových) užít některé konstrukce chronoskopů, které mají synchronní motorek, jenž pohání ručky vhodným třecím převodem nebo třecí spojkou. Jako příklad uvedeme chronoskop (Wood-Ford) na obr. 371. Třecí kolo 1 je poháněno synchronním motorkem a může zabírat s menším třecím kolem 2, jehož jedno ložisko je v kotvě elektromagnetu. Kolo 2 koná 10 obrátěk za sekundu, je-li synchronní motorek napájen z elektromagnetické ladičky o kmitočtu 25 c. Měření trvá tak dlouho, jak dlouho prochází proud elektromagnetem, a v kladu je kolečko 2 pružinou přitlačeno na brzdící špalíček 3. Je-li měřený interval řádu $\frac{1}{2}$ sek, je chyba měření velkou většinou v mezích $\pm 0,0004$ sek. Tento princip lze řešit i podle obr. 372, kde hřídel ručky nese kotouček z měkkého železa 3, který je stíradavě přitlačen na nehybný elektromagnet 1 nebo na elektromagnet 2, poháněný synchronním motorkem. Podobný přístroj sestrojil také Hipp, který však místo synchronního motoru má hodinový stroj, jehož poslední masivní ozubené kolo je řízeno kmitající pružinou (jako na obr. 37), zasahující do jeho pilovitých zubů.

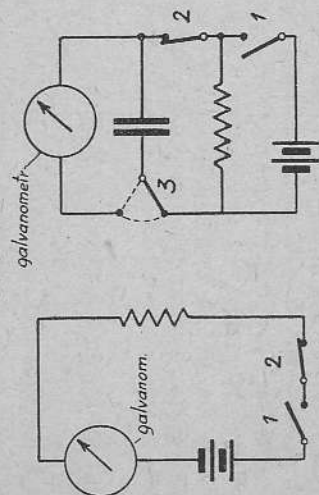
Bylo sestrojeno mnoho jiných přístrojů k měření krátkých časových intervalů, jak to vyžá-



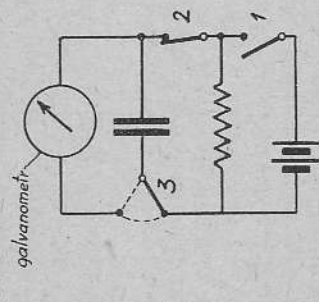
Obr. 371.



Obr. 372.



Obr. 373.



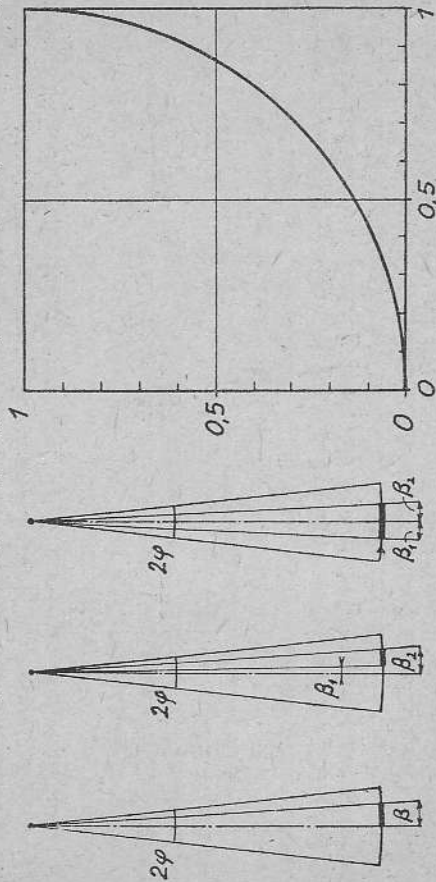
Obr. 374.

dují měření v balistice, a měření času v aparaturách, jimiž se akusticky měří hloubka moře nebo výška letadla nad terémem (měří se doba, která uplyne, než vyslaný zvuk se po odrazu vrátí). Tyto přístroje mohou být mechanické, ovšem ovládané elektricky, nebo to mohou být aparatury čisté elektrické.

Nejpřesnější elektrické aparatury vůbec jsou okruhy, řízené kmitajícím křemenem, jehož kmity se počítají elektronkovými počítaďly. Kmitající okruh je zapínán nebo odpojován rovněž elektronicky, impulsy, které dává vyšetřovaný děj (na př. pohyblivá součást vyšetřovaného mechanismu) a které působí na mřížku řídicí lampy. Poněvadž elektronkový spínač pracuje okamžitě a bez setrvačnosti, je přesnost měření vysoká a v zásadě závislá jen na frekvenci křemene. Ukázka jiné metody čisté elektrické je na obr. 373. Uzavřením spínače 1 počne procházet proud z baterie a je spínačem 2 přerušen. Oba spínače jsou opět ovládnuty elektromagnety, které dostávají impulsy od měřného děje. V okruhu je zařazen balistický galvanometr, jehož výchylka zřejmě závisí na napětí baterie, velikosti odporů a na době, po kterou byl proud uzavřen. Jinak lze během měřené doby nabíjet kondensátor (obr. 374), který dostane náboj závislý (ne ovšem lineárně) na čase. Velikost náboje se zjistí tím, že se přepínačem kondensátor vybije přes balistický galvanometr. Popis jiných aparatur elektrických, složitějších a po případě obsahujících elektronky, by dnes zaujal dlouhou kapitolu, která by přesáhla rámeček této knihy.

XVII. Otázky isochronismu

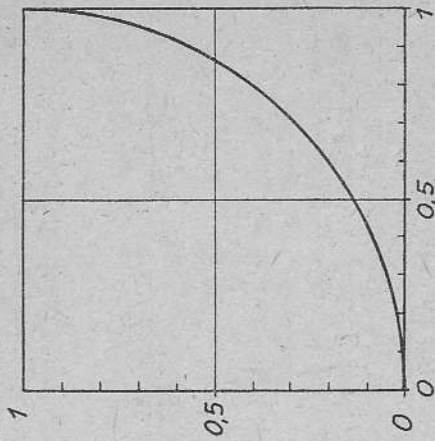
V závěru probereme stručně otázky isochronismu, která jsou zajímavé teoreticky, ale také prakticky důležité pro přesnou regláž. Tato kapitola ovšem není a nemůže být návodem pro reglery; ten by mohl napsat jedině zkušený



Obr. 375.

Obr. 376.

Obr. 377.



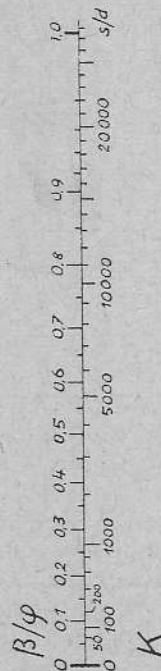
Obr. 378.

reglér. Regléři však o své praxi mnoho nepiší, a to, co najdeme v literatuře, je soubor poznatků, teorií a závěrů, které namnoze si odporují, a které nám pro praxi mnoho nepomohou. Omezíme se proto na věci základní, aby si přemýšlivý čtenář mohl udělat představu o podstatě a složitosti problému.

Isochronismus znamená rovnodobost kyvů. Čím přesněji mají jít hodiny, tím menší směji být změny doby kyvů, způsobené různými vlivy, které nedovedeme úplně odstranit kompensací, thermostatem, vzduchotěsným závěrem nebo jinak. Jeden vliv je vždy přítomný: *vliv kroku*. V kapitole IV. jsme odůvodnili, že zrychlení způsobí každá síla, která působí ve směru síly direkční, a naopak kmity zpomalí každá síla, která direkční sílu zmenšuje. Tam byla také uvedena rovnice (51); z ní lze odvodit rovnici, kterou udal Airy, a která zní:

$$AR = \frac{86\,400}{\pi} \cdot \frac{M}{D\varphi} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{\beta^2}{\varphi^2}}\right) = K \frac{M}{D\varphi} \quad (96)$$

AR je změna denního chodu. M je rušivý stálý moment, který působí od střední polohy až k výchylce β (obr. 375), φ je amplituda, D je jednotkový direkční moment a součin $D\varphi$ tedy představuje velikost direkčního momentu v úvratí. Podle rovnice změna chodu závisí jednak na poměru $M/D\varphi$, jednak na poměru β/φ . Mění-li se amplituda (na př. tím, že kolísá tření v soukole), změní se chod hodin. Z toho vyplývá, že má-li být isochronní kombinace oscilátor-krok, oscilátor sám nesmí být isochronní. To je nutno zdůraznit, neboť v mnohých knihách nejasná formulace může vzbudit dojem, že úkolem je dosáhnout isochronismu oscilátoru. Je samozřejmé, že změna chodu bude zpomalení nebo zrychlení, podle toho, zda M je impuls nebo odpor. Obrátíme-li směr pohybu, je úhel β před střední polohou a změna chodu má pak stejnou hodnotu, ale opačné znaménko. Jestliže moment M začíná působit až po střední poloze (obr. 376), počítáme tak, že vyčíslime vliv pro úhel β_2 , a odečteme vliv, který by moment způsobil na úhlu β_1 . Podobně na obr. 377 sečteme účinek před střední polohou (úhel β_1) a účinek za střední polohou (β_2).



Obr. 379.

Člen obsahující poměr β/φ má průběh znázorněný na obr. 378; křivka je čtvrtkružnice, liší se tedy jen málo od paraboly v první své polovině. Hodnotu K lze odečítat z grafu na obr. 379. Výpočet je snadný, pokud jde o impulsní moment, jehož velikost aspoň přibližně známe; naproti tomu bývá nejistá velikost odporů, zejména, jsou-li vyvolány inerčními silami (na př. u volného kroku kotvového).

Z rovnice Airy-ho můžeme učinit některé závěry. Práce dodaná oscilátoru je $M\beta$, a ta musí být rovna ztrátě energie, kterou udává (83); pro sekundové kyvadlo (pro n kyvů za sek. bychom dosadili u/n) můžeme psát

$$M\beta = W \cdot 2u = u D \varphi^2$$

$$D = \frac{M\beta}{u\varphi^2}$$

a dosazením do (96) dostaneme

$$AR = u \frac{\varphi}{\beta} \cdot 27\,500 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{\beta^2}{\varphi^2}}\right) = u \frac{\varphi}{\beta} K \quad (97)$$

Vliv kroku na kyvadlo

Zvláštní případ by nastal, kdyby impuls působil po celou polovinu kyvu, t. j. kdyby bylo $\beta = \varphi$. Pak by vzniklo zpoždění nezávislé na amplitudě a dané rovnicí

$$AR = 27\,500 u \quad (98)$$

Kdyby impuls působil stále od úvratí k úvratí, vzniklo by ještě stejné zrychlení před střední polohou; impuls by tedy neměl žádný vliv na dobu kyvu (tím je také potvrzeno, co bylo v kapitole IV. řečeno o vlivu konstantního tření, že totiž nemá vliv na dobu kyvu). Takový krok ovšem neexistuje, ostatně by nám nebyl nic platný pro kyvadlo, které není zdaleka isochronní (viz rovnici 72). Malým změnám amplitudy nelze zabránit ani u kroků s konstantní silou. Proto potřebujeme spíše krok, který by kompenzoval cirkulární chybu. To dělá na př. krok Grahamův, jak jsme již viděli; jeho zpomalující vliv je podle výpočtu Rawlingsova (pro $\varphi = 1,5^\circ$, $\beta_1 = 0,5^\circ$, $\beta_2 = 1^\circ$) 0,5 sek/d. Naproti tomu Riefler udává 3 ÷ 4 sek/d, s dodatkem, že velmi zhoustlý olej může toto zpoždění ztrojnásobit. Z toho ovšem vidíme, že taková kompenzace cirkulární chyby je hodně nejistá a hlavně proměnlivá, pokud jsou třetí plochy kroku mazány; v tom směru je příznivější krok chronometrový, pro kyvadlo krok Leroy, nebo elektrický pohon Fromentův. Vliv kroků diferenciálních závisí na číselných poměrech a je velmi různý: může to být řádově 10 sek/d, ale jsou známy pokusy T. Reida (z jeho kroku je odvozen krok Leroy), jehož krok zrychloval hodiny o plně tři minuty denně (patrně byla kyvadélka těžká a rozdíl drah malý).

Zvětšení amplitudy způsobí u Grahama zrychlení, které jen částečně kompenzuje cirkulární chybu. Větší, ale obecně ne dostatečný, je zrychlující účinek kroků diferenciálních, které ovšem mají výhodu, že u nich kolísání amplitudy je řádově pětikrát menší, než u kroků přímo působících. Většina hodin jde při větší amplitudě pomaleji.

U kyvadla má jistý význam vliv *závěsné pružiny*. Tato pružina vyvinuje přidavný direkční moment, ale má ještě jeden účinek: dráha těžšího kyvadla

není přesně kruhová, nýbrž spíše se blíží cykloidě. Ohýbáním pružiny se kyvadlo nezbytně zkracuje z té prosté přímčiny, že oblouk je vždy delší, než jeho těliva. Vliv závažné pružiny proto zmiňuje cirkulární chybu více nebo méně podle toho, jak je tuhá, t. j. jak tlustá a jak krátká. Při pokusech, které vykonali Laugier a Winnerl, krátká a tlustá pružina způsobila zřetelné zkrácení doby kyvu, když byla amplituda zvětšena z 1° na 5°. Byly také zkoušeny pružiny, které byly širší na jednom konci, než na druhém. Vliv pružiny je těžké počítat, poněvadž nemáme dosud uspokojivou teorii pásku takto namáhaného.

Konečně je třeba připomenout, že cirkulární chyba do jisté míry kompenzuje *chybu barometrickou*. Stoupanutí tlaku zpomalí kyvy, ale zároveň zvýšený odpor vzduchu zmenší amplitudu kyvadla. Bylo referováno o hodinách, jejichž barometrická chyba je takto kompensována, na př. se to tvrdí o velkých hodinách westminsterských, kterým Grimthorpe dal práve za tím účelem velkou amplitudu 2,75°; dokonce jsem četl o jiném anglickém věžním stroji, že čocka jeho kyvadla má křídla, aby byl odpor vzduchu větší.

Isochronismus hodin setrvačkových

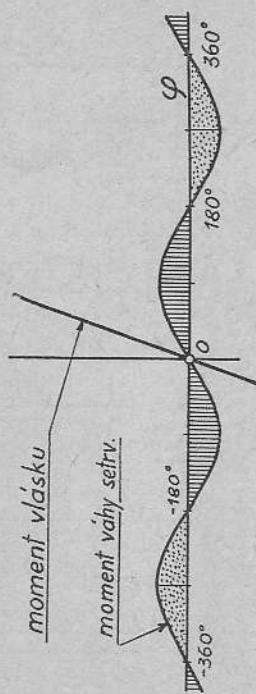
Ještě spltější jsou poměry kolem setrvačky. O *vlivu kroku* platí vše, co bylo řečeno v předešlých odstavech. Volný krok kotvový působí zpoždění, poněvadž tu máme citelný odpor před střední polohou, způsobený setrvačností vidličky a kotvy, které musí být náhle urychleny. Střed impulsu leží zřetelně za střední polohou. Početní řešení je nesnadné; odhaduje se, že krok způsobí zpomalení řádu půl minuty za den. Nás ovšem nezajímá velikost tohoto zpomalení, (které můžeme odstranit jednoduše regulací), nýbrž možné (a pravděpodobné) jeho změny. Vliv kotvového kroku se nedá mnoho měnit. Předně, jak víme, dnes volíme malý úhel záberu mezi setrvačkou a vidlicí; odpor před střední polohou lze trochu zmenšit jen tím, že se kotva a vidlička udělá co nejlehčí, a že se event. zmenší tažný úhel; to jsou změny, které mohou mít jen malý vliv, které však kladou rostoucí požadavky na přesnost výroby. Ani s časováním impulsu se nedá mnoho dělat; můžeme jej jen učinit trochu souměrnějším ke střední poloze tím, že uděláme záchyť velmi mělký, a že dle možnosti odlehčíme stoupací kolo. Hlavní překážkou je tu skutečnost (jinak výhodná), že kotvový krok působí oboustranně. Daleko větší možnosti dává krok chronometrový, který působí jednostranně: Natočením setrvačky proti vlásku, tedy posunutím střední polohy proti závažce, můžeme časování měnit v poměrně širokých mezích. Je to skoro ironie, že takové možnosti dává krok chronometru, které to nejméně potřebují; jejich stoupací kolo dostává skoro stálý hnačí moment (šnek!) a rovněž tření setrvačky je stálé, poněvadž stroj je stále ve vodorovné poloze. Jako u kyvadla, i zde zpomalující vliv kroku bude tím větší, čím menší bude amplituda.

Vliv kroku je rozhodující v hodinách poháněných pružinou, poněvadž hnačí moment silně kolísá; je-li poměr momentů po natažení a ke konci 2 : 1

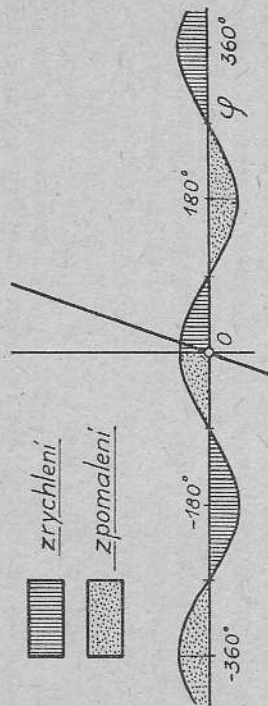
(hodinky bez šneka), bude poměr amplitud přibližně $\sqrt{2}$ čili amplituda ke konci klesne nejméně o 30%, na př. z 240° na 170°. V kapesních hodinkách se však amplituda mění s polohou. Setrvačka má nejmenší tření, když její váha spočívá na krycím kamenu, t. j. když je její osa svislá. To je vidět na hodnotě u rovnice (83), t. j. na poměrném úbytku amplitudy za sekundu, jehož přibližnou velikost udává tato tabulka:

	Osa svislá	Osa vodorovná
Námoř. chronometr	0,01	0,02
Kapesní hodinky	0,02	0,04
Náramkové hodinky	0,05	0,07

Proto také spotřeba práce je poměrně značná (v příklad 21), a tím ovšem také síly, působící na setrvačku.



Obr. 380.



Obr. 381.

Vyrovnat rozdíl chodu mezi oběma uvedenými polohami je nejjednodušší úkol polohové regláže. U hrubých hodinek s cylindrovým krokem si hodináři často pomáhali jednoduchým trikem: když hodinky visí a setrvačka je v klidu, je její těžší část trochu pod osou. Pak setrvačka je zároveň kyvadlo; zvětší-li složka váhy směrem k setrvačce o 1%, zrychlí se chod visících hodinek o 0,5%, t. j. 432 s/d. To platí jen pro docela malou

amplitudu, jinak je věc složitější. Přídavný direkční moment váhy má průběh sinusový, jak ukazuje obr. 380; zrychlující vliv sahá až do amplitudy 180°, pak počíná vliv zpomalující, poněvadž přídavný moment působí proti momentu vlásky. Jestliže těžiště setrvačky leží trochu stranou, vypadne diagram jako na obr. 381, tedy souměrně; posunutí těžiště na stranu nemá vliv na dobu kyvu.



Obr. 382.

Každé posunutí těžiště můžeme vektorově rozložit na posunutí vodorovné, které nemá vliv, a posunutí svislé. Na obr. 382 je (v závislosti na amplitudě) vyneseno zrychlení pro případ, že svislé posunutí zvětšuje (při malé amplitudě) moment vlásku o 1% (kdybychom hodinky otočili závěsným kroužkem dolů, byla by změna stejné velikosti, ale opačného znaménka, t. j. zpoždění). Tento trik byl možný při amplitudě kolem 140°, kterou připouštěl cylindrový krok, a selhává ovšem, když je osa korunky vodorovná. Přesné kotvové hodinky mívají amplitudu mnohem větší, řádu 270°, a ke všemu trik účinkuje nestejně podle natažení péra; proto reglér raději setrvačku přesně vyváží a pomáhá si jemnějšími metodami. Z obr. 382 je vidět, že i stojacím setrvačkovým hodinám svědčí velika amplituda. Počítáme-li s obvyklými změnami amplitudy během dne, čteme v grafu, že změna amplitudy ze 140° na 90° by hodiny zpomalila asi o 140 s/d, kdežto pokles ze 270° na 190° jen asi o 100 sek; ještě větší rozdíl (ve prospěch veliké amplitudy) by ovšem způsobil vliv kroku. Z grafu dále můžeme posoudit, jaký veliký vliv musí mít houstnoucí olej. Proto je třeba dát kapesní hodinky každé tři roky vyčistit a namazat, malé náramkové hodinky (podle rady švýcarských továren) dokonce každý rok; jinak se hodinky začnou silně pozdit, a ovšem stoupá i opotřebení.

Další komplikací je pružnost rozřiznuté setrvačky. V příkladu 23 jsme počítali odstředivou sílu, která působí na věnec setrvačky. Vlivem této síly se rozřiznutý věnec pružně ohýbá ven, tím vzrůstá moment setrvačnosti a doba kyvu. Veliké a poměrně poddajné setrvačky námořních chronometrů se takto zpožďují o $12 \div 20$ s/d, malé setrvačky hodiněk, poměrně tužší, jen o několik sekund za den. Tužší a proto výhodnější jsou setrvačky Guillaumovy. Nejlepší řešení je však setrvačka nerozřiznutá, Voletová, pro hromadně vyráběné hodinky event. Straumannova.

A nyní se dostáváme ke vlásku, který někteří nazývají duší kapesních hodiněk, a kterému reglér věnuje větší část své péče a práce. O vlásku bylo popsáno mnoho papírů. Začalo to tím, že P. Leroy dával vlásku určitou úhlovou délku (t. j. vlásek měl tolik a tolik celých závitů, plus určitý zlomek závitů), a tvrdil, že lze takto dosáhnout isochronismu s jednoduchým „plochým“ vláskem. Takový vlásek se roztahuje nesouměrně, jak se snadno přesvědčíme na každém budíku; na té straně, kde je upevněn vnější konec vlásku závitů se skoro nepohybují, kdežto na protější straně vidíme živý pohyb k ose a od osy. Tím vlásek působí na hřidel setrvačky střídavou bočnou silou, která zatěžuje ložiska. Tato bočná síla však zároveň vyvodí otáčivý moment, poněvadž vnitřní konec vlásku není upevněn v ose setrvačky. Tím se poměry mění v tom smyslu, že direkční moment vlásku není přesně úměrný úhlové výchylce, čili že vlásek není isochronní. Leroy měl v zásadě pravdu, ale byly a jsou spory o to, jak velký má být onen zlomek závitů. Pro orientaci uvedeme z Lossierovy knihy o reglážích, která se považuje za klasičku, změny chodu, způsobené vláskem různé délky:

amplituda	135	155	180	225	270	315°	
zlomek závitů	$\begin{cases} 0 \\ 1/4 \\ 1/2 \end{cases}$	$\begin{cases} 24 \\ 10 \\ -5 \end{cases}$	$\begin{cases} 29 \\ 11 \\ -3 \end{cases}$	$\begin{cases} 25 \\ 10 \\ 0 \end{cases}$	$\begin{cases} 8 \\ 6 \\ 15 \end{cases}$	$\begin{cases} -10 \\ 2 \\ 34 \end{cases}$	$\begin{cases} -20 \\ 5 \\ 48 \end{cases}$

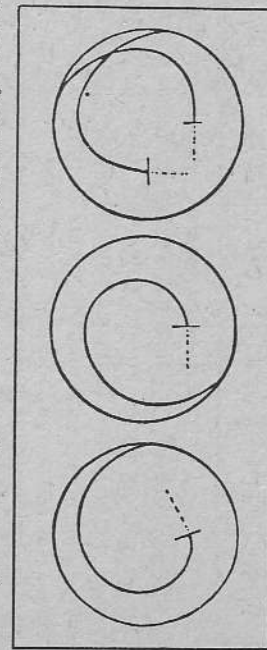
V prvním a druhém řádku tabulky vidíme případy, že zrychlení způsobené vláskem dosahuje maxima při určité amplitudě a pak s rostoucí amplitudou začíná klesat. Prostěji řečeno, vlásek zpomalí „velké oblouky“, a může tedy event. kompenzovat opačný vliv kroku.

Poněvadž jednoduchý vlásek „dýchá“ nesouměrně, musí se i jeho těžiště pohybovat; proto poloha hodiněk bude zde mít jistý, i když pravděpodobně neveliký vliv. Konečně třeba uvážit, že vlásek má setrvačnou hmotu, která musí být stejně střídavě urychlována jako hmota setrvačky, a která proto prodlužuje dobu kyvu; toto zpomalení je prakticky konstantní, a podle Haaga čini asi 30 s/d.

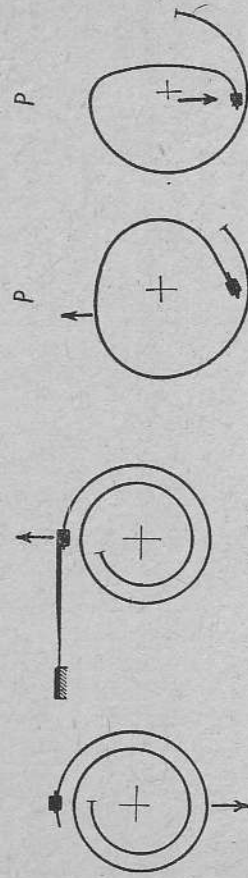
Smýkání vlásku mezi kuličky regulační ručky je nevelké (řádů 15μ), ale tření vlásku má zřetelný vliv na chod; podle Pellatona zvětšení koeficientu tření z 0,1 na 0,2 by zrychlilo hodinky o 8 s/d. Velký vliv na chování hodiněk

má vůle mezi koflíčky; Pellaton uvádí příklad, kde vinou velké vůle se hodinky zpozdíly o 200 s/d, když amplituda klesla z 270° na 120°. Regulační ručka je tedy jistá slabina hodinek, a proto nepěkně vypadá obnovené snahy tuto ručku odstranit vůbec; námořní chronometry jí ostatně nemají od svého počátku.

Když Arnold zavedl r. 1775 pro chronometry vlásek válcový, začal jeho koncům dávat tvar křivek, na který přišel patrně jen zkušeností a intuicí, jímž však dosahoval uspokojivého isochronismu. Jeho příkladu následovali i jiní chronometráři, ale teprve r. 1860 železniční inženýr E. Phillips uveřejnil theoretickou práci, která otázkou trochu osvětlila. Dokázal, že lze dosáhnout isochronismu setrvačky, jestliže koncové křivky vyhovují určitým matematickým podmínkám. Phillips ovšem ještě nepočítal s velkým vlivem kroku a nevěděl o deformacích setrvačky účinkem odstředivé síly. Proto jeho koncové křivky mohou být pouze východiskem, a jich další úprava je pak delikátní úkol pro regléra. Vliv koncových křivek je veliký, ale polohová regláž váleového vlásku je velmi nesnadná; proto se ho dnes užívá jen ve velkých chronometrech, jichž stroj má stálou polohu. Ukázky



Obr. 383.



Obr. 384.

Obr. 385.

Obr. 387.

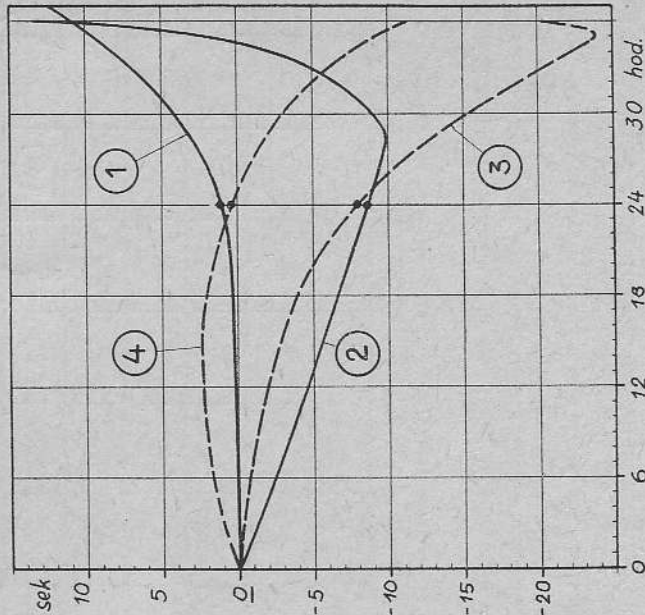
ném šipkou. *Frodsham* v minulém století upevňoval vlásek svých výborných chronometrů podle obr. 385 k lehké páčce, zeslabené u kořene, aby pružila. Je-li páčka lehce pohyblivá, roztahuje se vlásek v místě šipky, je-li páčka tuhá, roztahuje se vlásek na opačné straně; při určité tuhosti páčky bude tedy vlásek dýchat stejnoměrně na obě strany. Něčeho podobného dosáhl *Breguet*. Jestliže

že koncová křivka tvoří smyčku jako na obr. 386, je bod *P* vlásku veden poddajně jako v případě předěšlém. Vypadá-li koncová křivka jako na obr. 387, je bod *P* spojen poměrně ztuhle se zakončením a vlásek se roztahuje na opačné straně. Opět je možno najít zkusmo tvar křivky takový, aby se vlásek roztahoval koncentricky. Lze však též dosáhnout, aby se vlásek (bez ohledu na úhlovou délku) roztahoval více kterýmkoli směrem; to je otázka velikosti a tvaru koncové křivky, již lze dosáhnout všech účinků, které jsme viděli v předěšlé tabulce. Breguetův vlásek je tedy velice přízpůsobivý, ovšem jen v rukou hodináře, který mu rozumí.

Regláž

Nyní něco o postupu regláže. Prvním úkolem je seříditi teplotní kompensaci způsobem již známým. To je zdlouhavá procedura i tehdy, když je po ruce strojek znázorněný na obr. 338, poněvadž hodinky potřebují aspoň půl dne, aby se po změně ustálily v novém chodu; užívá se ledničky a vytápěné skříně, a samozřejmě regléř má v práci současně mnoho strojků. Pro levnější

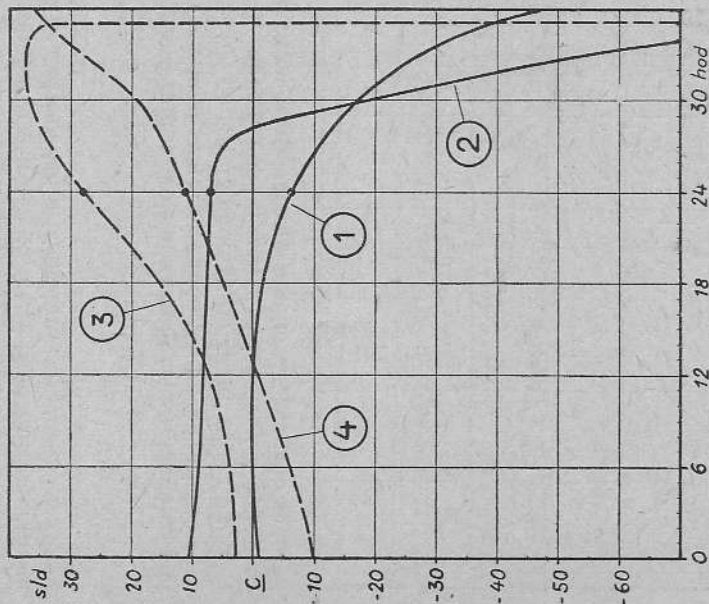
hodinky stačí regláž třípolohová; poloha visutá, ležatá číselníkem nahoru a ležatá číselníkem dolů. To není tak těžké, poněvadž u těchto strojků jsou tolerance dost široké, a zdá se, že mnohé továrny ušetří na výlohách regláže tím, že vlásek dělají přesně podle vzoru, jednu vyzkoušeného pro dotyčný typ stroje. Mnohem nesnadnější a pracnější je regláž pětipolohová; přibývá tu poloha svislá s kroužkem nalevo nebo s kroužkem napravo. Úpravou křivek snaží se regléř vyrovnat chody v polohách posléze jmenovaných, visutou polohu, nejde-li to jinak, upraví event. s pomocí malého posunutí těžiště setrvačky, jak jsme již slyšeli. Rozdíl mezi polohou číselníkem dolů a číselníkem nahoru není patrný, jestliže je krok přesně vyroben a čípky setrvačky přesně stejně zaoblené.



Obr. 388.

Z předešlého vyplývá, že Bréguetův vlásek se opravdu uplatní jen v hodinách kvalitních, které cenově snesou drahou práci reglérovu. Pro lacinější druhy lze vystačit s vláskem obyčejným, jsou-li jeho rozměry předem vyzkoušeny na prototypu, a je-li ovšem výroba přesná. Skutečně je na trhu mnoho hodiněk dobré průměrné jakosti s obyčejným vláskem, který je mnohem lacinější a ve stroji zaujímá menší výšku.

Přesná regláž je jistě nejobtížnější úkon hodinářský a pravděpodobně z nejnásadnějších prací vůbec. Je to práce, která je směsí zkušeností, dovedností, neomezené trpělivosti a rozsáhlých znalostí. Výsledek není nikdy jistý a v soutěži často stroje od téhož regléra dosáhnou velmi nestejných výkonů. Před regláží může být mezi polohami rozdíl 20 s/d i více; reglér tento rozdíl stlačí někdy i na zlomek sekund. Teplotní chyba byla stlačena někdy až na 0,004 s/d na 1° C, sekundární chyba na 0,1 s/d atd. O trvanlivosti regláže jsme mluvili v kapitole XIV. Při



Obr. 389.

soutěžích se zjišťuje oprava každých 24 hod, i je velmi oprávněna otázka, jaký je chod hodiněk v průběhu těchto 24 hod. To nám ukazuje obr. 388, kde jsou vyneseny stavby, jak byly zjišťovány každou hodinu (výsledky z Bureau of Standards). Vidíme, že chod hodiněk 3 a 4 se plynule měnil, a že chod hodiněk 1 se měnil mnohem méně; nejlépe vše provedl reglér hodiněk 2, které jdou obdivuhodně pravidelně 28 hod. ale pak se chod náhle a silně mění. Rozdílly jsou ještě lépe vidět na obr. 389, kde jsou vyneseny chody hodiněk. Z obou grafů jasně plyne oprávněnost staré rady: natahovat hodinčky přesně každých 24 hodin! Dodejme, vždy ráno, neboť je dobře, mají-li hodinčky řádnou amplitudu ve dne, když je nosíme; pohyby mají tím menší vliv na chod, čím je větší amplituda, t. j. rychlost a energie setrvačky.

LITERATURA

- Akselrod, Časovje mechanismy. — Moskva 1947.
 Akselrod, Elektromechanické časy. — Moskva 1952.
 Andrade, Horlogerie et chronométrie. — Paříž 1924.
 Böckle - Brauns, Lehrbuch für das Uhrmacherhandwerk. — Halle 1951.
 Bousse, Construction, description et emploi des appareils de mesure et d'observation. — Paříž 1921.
 Boussse, Pendule, spiral, diapason. — Paříž 1920.
 Britten, The Watch & Clockmakers' Handbook. — Londýn 1938.
 De Carle, With the Watchmaker at the Bench. — Londýn, 1944.
 Cooper, Scientific Instruments. — Londýn 1946.
 Defosse - Pellat, Fachkunde für Uhrmacher. — Bienne 1950.
 Drbal, Tabulky z konstrukce geodetických strojů. — Praha.
 Drozdov, Přístroje měřitel. — Moskva 1940.
 Ducháč, Výroba přesných měřidel. — Praha 1951.
 Ervals, Remont i justirovka instrumentálnych mikroskopov.
 Favarger, L'électricité et ses applications à la chronométrie. — Ženeva, 1924.
 Fligelman - Roginskij, Časovjeje mechanismy. — 1947.
 Gabel, Das Pendel.
 Gould, The Marine Chronometer, Its History and Development. — Londýn 1923.
 Gross, Echappements d'horloges et de montres. — Paříž 1913.
 Guye - Bossart, Horlogerie électrique. — Svýcarsko, 1951.
 Hajda, Technická optika. — Praha 1951.
 Helmsley, Optical Instruments in Engineering. — Londýn 1946.
 Hope - Jones, Electrical Timekeeping. — Londýn 1951.
 Irk, Der Chronometergang.
 James, Théorie du réglage. — Paříž.
 Jirotnka, Mechanické přístroje I. — Praha 1951.
 Judge, Engineering Precision Measurements. — Londýn 1944.
 Kepr, Konstrukce geodetických strojů. — Brno 1951.
 Kruger - Kuliznov, Konstruovanie optikomechanických priborov.
 Krumm, Leitfaden für den Unterricht an Uhrmacher-Fachschulen und Fachklassen.
 Lehotský, Uhrenkunde. — Vídeň 1949.
 Lossier, Étude de la théorie du réglage des montres. — Ženeva 1907.
 Lossier, Teoria regulirovki karmaných časov. — Preklad, Moskva 1938.
 Mazurek, Základy praktické optiky. — Přerov 1942.
 Milham, Time and Timekeepers. — N. York 1941.
 Novák, O astronomických kyvadlových časoměrech. — Praha 1952.
 Pinkin, Remont časov. — Moskva 1952.
 Rabe, Grundlagen feinmechanischer Konstruktionen. — Wittenberg 1942.
 Rawlings, The Science of Clocks and Watches. — Londýn 1948.
 Reichsinstitut für Berufsausbildung in Handel und Gewerbe, Lehrgang für Feinmechaniker. — Lipsko 1941.
 Richter - Voss, Bauelemente der Feinmechanik. — Berlin 1952.
 Sander - Loeske, Uhrenlehre. — Berlin 1923.
 Sladkovský, Učebnice odborné nauky hodinářské. — Praha.
 Schneider, Přesný čas. — Praha.
 Schriftreihe der Gesellschaft für Zeitmesskunde und Uhrentechnik. — Berlin.
 Schulz, Der Uhrmacher am Werkisch. — Berlin 1941.
 Stoyko, Sur la mesure du temps et les problèmes qui s'y attachent. — Paříž 1932.
 Trojanovskij, Elektrické časy. — Moskva 1947.
 Vogl - Hajda - Král, Praktická optika. — Praha 1937.
 Willers, Mathematische Maschinen und Instrumente. — Berlin 1951.

REJSTŘÍK

(Číslo za heslem značí stránku. Seznam čísel. příkladů je pod P)

- Abbe Ernst, tloušťkoměr 62
 Abbinger, hvězdárna 378
 Abraham, okruh 377
 absolútní soustava měř 201
 absorpční regulátor 115, 237
 aceton 30
 affix (na setrvačce) 268
 achát 25, 73
 Airy G., rovnice 388
 akcelerace chronometrů 139, 239
 akcelerometr 105
 alhídada 85, 123, 146
 amalgam cínový 20
 Amanaf, količek, krok 276, 278
 amplituda 210, 215
 amplituda kyvadla 229, 230
 — autom. regulace 341, 371
 — odcěťání 366
 — vliv na chod 229
 — 389, 390
 amplituda setrvačky 115, 262, 391
 — vliv na chod 391, 393
 Amster 48, 68, 79, 101, 119
 — zkoušecí stroje 48, 62, 72, 82
 amyloacetát 30
 aneroïd 14, 123, 132, 366
 — kompenzovaný 143
 — na kyvadle 144, 241, 255, 256
 anglický hák 113
 anisochronismus kyvadla 197, 229
 anisotropie zink. slitím 268
 anomalie Dentova 266
 apochromatický objektiv 150
 Araldit, lepidlo 38
 argentan 20
 Archimédova spirála 112, 177, 259
- Archimédův zákon 240
 Arnold John 264, 330, 394, 300
 astroláb 189
 Atkinson C. 236
 Ato, hodiny 343, 344, 362
 atomární hodiny 117, 379
 Audemars, Piguet & Cie 334
 autokolimační dalekohled 155
 automačické váhy 119
 automatický dělicí stroj 166
 automatová ocel 17
- Baekeland, bakelit 24
 Bain Alexander 336
 bajonetové spojení 49
 bakelit 24, 29, 38
 barograf 76, 132
 barometrická chyba 144, 241, 256, 390
 Beckett, sir E. 287
 Bell, chronograf 383
 Benoît, krok 312
 berylliové slitiny 19, 22, 132, 324
 — v. Nivarox
 Bernoulli D. 192
 Berthoud Ferd. 266, 272, 300, 330
 bičik 290, 303
 B. I. H. 378, 361
 bimetal 140, 143, 249, 250, 263
 Bloxam J. M. 368
 Boley, soustruh 68
 borosilikátové sklo 27
 Bourdon, péro n. trubice 135, 144
 Božek Josef 11, 61
 — Romuald 304
 Bréguet Abrah. L., 130, 250, 263, 303, 311, 394, 396
 Brockbank, setrvačka 264
 Bröcking, aneroïd 256
 Brocot P. 278, 329
 bronz 19, 35, 132, 240
 brídlice 25
 britý v. uložení brit. 91
- atomární 117, 379
 — pásmový 188
 — přenos elektrický 348
 — sluneční 187
 — zjišťování 189, 190, 362
 časová rovnice 187
 časová služba 190
 časové stanice pob. 190
 časové signály 190, 363
 — přesnost 190, 191, 378, 363
 — rychlost šíření 191
 — výčíslení 191
 časový faktor 79
 časy krátké, odmětování 282
 čepy v. uložení 68
 čípková uložení 68
 — bezpečná 71, 259
 — čípky 69, 323
 — hodin 68, 323
 — vliv chvění 72
 — kamenová v. kamen-ny lož. 187
 — ložiska 69, 70, 324
 — materiál 68
 — mazání 69
 — parochoc 71, 259
 setrvaček 71, 259
 — šafony 70, 325
 — tření 68
 — uspořádání 71
 číselné hodnoty, důležité 207
 číselník 327, 329
 — výstředný 363
 čištní hodinek 30, 392
 čoočka 149
 — lenka, rovnice 149, 150
 — zaostrovací 97, 152
 — zasazení 33, 47
 čoočkové systémy 149
 čpavek 35, 117, 379
 čtení v. odcěťání
 — průměrné, integrací 108
- Dalekohled 151
 — autokolimační 154, 155, 180
 — rozlišovací schopnost 153
 — záměrný 151—153
 — zenitální 190
 — zvětšení 151, 153
- dálkoměr 148
 dálkoměrný kříž 152
 dasymetr 366
 Decker F. & Co., gravírka 169
 dělení 163
 — fotografované 165
 — interval 164
 — leptané 165, 166
 — materské 171
 — provedení 163—165
 — ryté strojem 166
 dělené kruhy skleněné 165, 178
 dělicí deska 101
 dělicí stroje 52, 88, 166
 —, číslování dělení 169
 —, délkové (lineární) 166
 — kruhové 170
 —, podávání 169
 — přesnost 166
 — rytí ústrojí 168
 — výkonnost 166
 den hvězdný 187
 den sluneční (střední) 187
 Dennison 287
 Dent E. J. 252, 266
 Dentova anomalie 266
 Deparcieux 251
 deska planparalelní 148, 178
 deska lapovací 17
 desoxydace 35
 Diatur 21
 diamant 26, 71, 166, 259
 Diamon, rýs. péro 35
 diferencování, přesnost 105
 dilatace teplotní 18, 76, 240
 dilatometr 28
 dioptr 189
 direkční moment 136, 215
 direkční síla 209
 distanční sloupky 46
 Ditisheim P., setrvačka 268
 doba kyvu v. kmity, kyvadlo, setrvačka
 — v. hodinářství 213
 — vlastní 118, 185, 195, 199
 dopružování 131
 „dózy“ tlakoměrné 134
- Ellicot J. 251

- elinvár 18, 131, 268, 331,
373
elongace 212
eloxování 17
email 30
epilamen 30
Essen L. 375
essolenta kruh. 245
excentr upínací 56
excentricita dělení 165
- Favre-Bulle 344
Fennel 177
fenol 24
Fénon 288, 364
fermezový tmel 31
Ferruco 19
Ferrarisův motorek 129
ferromikl 17, 37, 140, 253
Féry Ch. 339
film, podávající 111
flanše 45
flint 27, 147
fluorescenční stínítko 21
fluorit 27
fluorovodík 166
fokusování v. zaostřování
folie 28
formaldehyd 23, 24
fosforečná kyselina 35
fosforový bronz 19, 136
Foucault J. B. 115, 248
Fraunhoferovo mrazadlo
50
frekvence v. kmity
—, dělič 377
Frič J. 11, 165
Frodsham Ch. 394
Froment, el. hodiny 347,
348
frontální zaostřování 152
- Galalit 23
Galileo Galilei 195, 270
galvanometr 34, 119, 131,
133
— zrcadlový 136, 140
Garnier P., krok 284, 345
Gent & Co, věž. hodiny
355
Glashütte, hodinky 309
glycerinový tmel 31
gnomon, gnomonika 191
gong 329
Gosselin, el. hodiny 337
- Graham George 113, 142,
171, 251, 252, 278, 296,
343, 389
gramofon, regulátor 115
granát 26, 73
Granger, krok 290
gravimetr 21, 29, 132
gravirka 169
gravitační krok 287
Greenwich 188, 377, 378
Grimthorpe, lord 287, 288,
368, 390
Guillaume Edouard 17,
18, 19, 252, 253, 266,
267
Guillet, el. hodiny 340
guma 23, 24
gyroskop, uložení 77
- Haag J. 393
Hamilton Watch Co. 269,
331
Hardy 251, 264, 364
harmonický analysátor
108
harmonický pohyb 211
—, doba kyvu 214,
215
—, frekvence 214
—, kruhový 215
—, energie 216
—, rychlosti 216
Harrison John 222, 250,
312, 330, 368
Hautefeuille abbé 199, 304
Hole-Shaw, integrátor 107
Helein (Hele) Petr 194
Henrici, harm. analysá-
tor 108
Heyde, dělicí stroj 170,
172
Heyrovský, polarograf 11
Hipp Math. 223, 341, 353,
356, 386
Hipp, Favanger & Cie 343
Hirth, Minimetr 95, 179
hlavní roviny 150
hliník 22
—, slitiny 17, 240
hliníkování zrcadel 22
hodinářství 9
hodinky amer., „dolarové“
34, 299, 333
hodinky, čištění a mazání
30, 392
- hodinky kalendářové 335
hodinky kapesní 114, 332
—, mšusky 332
—, převody 334
—, repetovací 335
—, tenké 333
hodinky měřicí (indiká-
tor) 179
hodinky náramkové 334
hodiny v. pohon, převody
přesnost
—, astronomické 326, 327,
364—366
—, atomární 117, 379
—, bitů 329
—, definice 199
—, elektrické v. elektr.
hodiny 336
—, Galileovy 196
—, Hippovy 341, 356, 362
—, Huygensovy 197
—, kolečkové 193
—, křemenné 117, 223,
238, 361, 375, 379
—, kyvadlové, závažové
325, 362
—, péťové 328, 336,
362
—, ladičkové 361, 374
—, Lerovy 361
—, mateřské 346, 351, 354
—, mechanické 193, 325
—, podružné v. počítadla
—, přesné v. astronomické
—, přesypací 193
—, Riefler 358, 360, 361,
364, 367
—, roční 222, 336
—, Shorttovy 234, 237,
238, 245, 361, 368
hodiny sluneční 191
—, stojací 336
—, soukolí v. soukolí
—, věžní 194, 251, 275,
277, 285—287, 323, 355
—, vodní 192
—, elektrisované 355
—, dosažená přesnost 360
Holden F. 339
Hooke Robert 113, 199,
271
Hope-Jones Frank 317,
345, 346, 356
horizont umělý 146, 190
Horologium oscillatorium
197
- hořčkové slitiny 17
hranol optický 146
—, odrazný 148
—, úhlověměrný 148
hranolové systémy 148
hrotové uložení 72
—, integ. kolečka 75
—, jemné 72
—, mazání 73
—, nosnost 73, 74
—, přesnost 72, 74
—, tření 73, 74
—, uspořádání 74, 75
—, vliv tepl. dilataci 75
Hugenus 197
Huggenberger, tensometr
179
hustota ruz. kovů 240
Huygens Christian 153,
195, 196, 197, 278, 313
hvězdný čas, službou
190
hvězdy základní 189
hysterese v. pružiny, bi-
metaly
- Chaldeon 25
Chapman 348
chatony (šatony) 325
Chaulnes de 171
chlorid amonný 35
chlorid stříbrný 38
chrom 22
chromování tvrdé 22
chod hodin 356
—, průměrný 357
—, vyjadřování 357
—, zjišťování 363, 364
—, hodinek během dne 396
—, vliv polohy 261
—, zjišťování 363, 364
„chronograf“ (hodinky)
381
chronograf 184, 383
—, bubnový 383
—, Hippův 223
—, jiskrový 383
—, páskový 184, 383
chronometr kapesní 115,
332
—, výkony v soutěžích
362
—, námořní 38, 71, 130,
259, 260, 269, 299, 320,
322, 329
—, číselné poměry 332
- dnešní konstrukce
330
— historie 329
— výkony 362
chronometrický tacho-
metr 304
chronoskop 381, 386
chyba barometrická 144,
241
chyba cirkulární 229
chyba paralakční 173
Illuminátor vertikální 156
impuls diferenciální 285,
340, 347
—, konstantní 284, 285,
345, 367, 368
—, občasné 285, 341, 346,
367, 368
—, pružinami 289—294
—, vliv na chod 216, 219,
388
index 101, 174
indexovací zařízení 101
indikátor = měř. hodinky
179
indikátor pístových stro-
jů 106
indukční váha 181
inerciální síly 204
integrace (v měř. techní-
ce) 104
—, elektrická 105
—, mechanická 105
—, přesnost 105
integrální kolečko 75,
105, 108
integrační mechanismus
104
—, deskový 106, 108
—, kulový 107
—, kružkový 106
—, západkový 112
integrál 108
integrátor, vedení 61, 62,
74, 105, 106
integrující měřicí přístro-
je 105
interpolace 243, 244
interval časový, měření
192, 379
interval dělení 164, 174
invar 18, 143, 239, 240,
253, 255
—, kyvadlo 143, 253
- Inwards, kompenzace 250
iridium 21
irreversibilní tmel 31
Isis, kreslicí přístroj 64,
102
islandský vápenec 25
isochronismus 208, 387
—, podmičky 210
—, vliv vnější síly 387,
388
—, kyvadla 196
—, rušivé vlivy 388, 389,
390
—, setrvačky 390
—, rušivé vlivy 390 až
393
isolační laky 30
isolanty 29
- Jaeger, tachometr 304
Jausse, krok 271
jalové zvětšení 153
jantar 29
jednotka délky Huygen-
sova 198
jednotky měř 201
jednotky různé 208
jehlová ložiska 82
jemná mechanika 9
—, rozsah 11
Johansson C. E. 14, 137
Jürgensen U., kompenza-
ce 250
justáž, justování 119
Jungheans, firma 310, 344
- Kalafuna 30, 35, 50
kameny ložiskové 70, 73,
259, 324
—, upevňovací 33, 70, 325
kanadský balsám 31
kapsle tlakoměrné 134
karbid wolframu 21
karborundum 27
Kardanův závěs 331, 362
Kärger, soustruby 102
Karlik, tachograf 20
karneol 25, 73, 274
kasein 23, 31
Kater, kompenzace 252
kathetometr 174
kaučuk 23, 24
kaurit, kiliš 38
kazivec 27
Kendall L. 330

- Kepler Jan 151, 189
keramické látky 27
Kern, theodolity 90
Kessels 275
klejt 31
klepsydra 192
klihy 31, 38
klin optický 147
— proměnný 148
klíny 39
klížení 37, 38
kloub, britový 91
— kulčkový 83
— kulový 56
— pružinový 137
— pružinový 117, 379
— elektrické 223
— mechanické 208
— sinusové v. harmon.
— pohyb
— výměna energie 209
koincezení časový sig-
nál 191
— metoda odečítání 153
— princip 161, 174
kolektiv 153
kolkový 39
— posílení (centrovači)
39, 44
— nýhované 34
koilmátor 153
kolísání pólů 378
kolo stoupačí v. kroky
komparátor 139, 162, 180
kompensace 141
— kyvadla teplotní
— bimetalem 249, 264
— páková 251
— roštová 250
— rtuťová 142, 251
252, 292, 364
— tyčemi 249
— výpočet 255
kompensace kyvadla tla-
ková 144, 256
kompensace setrvačky
teplotní 141, 263—269
— druhotná 266
— histor. vývoj 263
kompensace teplotní růz.
přístrojů 143, 144
kompensační metody
měřící 144
kompensační planimetr
v. planimetr
- koneové křivky 131, 259,
260, 394
— měry 13, 28
kondensátor otočný 102
konchoidní vedení 65
konstrukční prvky 31
kontakt 20, 21
— elektr. hodin 339
— Hippův 341
— Hope-Jonesův
317, 345
— jiskření 342
— hodin minutový 351
— sekundový 349
— kyvadlový 349, 372
384, 385
konvenční zvětšení 155
kontrola částí projekcí
156
— kolmosti a rovinnosti
155
— ozubení 103, 154
— vedení přírůžných 154,
155
korekční zařízení (korek-
tor) 167, 172
korespondující výšky 189
korund 26
Kosek J. 11
kova v. kroky
Kovár 19
Kovr 16
krabice tlakoměrné 134
kresol 24
krok, pojem 194
krok kyvadlový 269
— Brocotův 278, 329
— diferenciální 285,
286, 287
— Galileův 196, 270
— Grahamův 113, 273
až 276, 281, 329, 360,
362, 364
— Grangerův 290, 291
— gravitační 287
— Grimthorpeův 287,
288
— jednoramenný kli-
dový 281
— klikový 282
— kolíčkový 276, 277,
315
— s. kontaktní silou
269, 284, 285
— kotoučkový 282
- kříž maltézký 321
— zaměrný 152
Ktesibios, vod. hodiny
192
kulčková ložiska 76
— „brimelování“ 79
— dělicích strojů 171
— gyrokopů 77
— pružinový v. Leroy,
improvizovaná 78
— jednostranná 78
— konusová 78
— mazání 82
— miniaturní 81
— montáž 76, 82
— nosnost 79
— obráběcích strojků
77
— převodových pák
79, 81
— plochá uložení 90,
103
— předpjatá 77
— styk kulčkový 78
— tření 79
— úhломěrných strojů
87, 89
— vyvažovacích stro-
jů 82
kulčkový ložiskový 82
— přesnost 77, 78
— užití 62, 78, 82
kulový kloub 83, 84
kuželice 88
kuželové spojení 46
Kullberg V. 266
kyselina fosforečná 35
kyvadélka 233, 285
kyvadlo 195, 223
— doba kyvu 211, 224
— dřevěné 244, 329, 362
— energie 205, 231
— fyzické 224
— vliv na isochronismus
387—390
kruh dělený v. dělení
kružidlo, hrot 56
křemen 25
— kmitající 117, 375
— tavený 28, 239, 240
— vlákna 28, 38, 136
křemenina v. křemen ta-
vený
— křemenné hodiny 117,
375, 379
křemenné sklo 29
křišťál 26, 29
- nádobková 163
— reversní 158
— rekifikace 159, 161
— úhломěrná 159, 162
libeloměr 53, 159
licování (přesné) 13
líhý 194
limbus 85, 87
Lindner, souřadn. vrtáč-
ka 178
Lippmann, el. hodiny
litina 240, 245
litina žel. 16, 240, 245
log 193
logaritmická spirála 111,
218
lom světla 146
Lomonosov M. V. 199
Loomis A. L. 238, 371,
383
Lorch, soustruhy 68
Lossier H. 393
Löwenherz, závit 40
ložiska v. uložení
ložiskové můstky 45, 332
lumen 27
Lumière, bratři 111
Lutz, kalení vlásků 260
- Mader, indikátor 186
Magneta, mateř. hodiny
354
magnetická střelka 74
magnetostricke 374
malé veličiny, počítání
202
manganin 23
Manhardt 285
manometry 134, 136
Marrison W. A. 376
Martensův přístroj 95
masteček 27
matematika, užití 201
materiály, požadavky 13
— speciální 16
matky šroub. 42, 43, 49
mazadla 17, 30, 50
mazání hodn. 66, 389, 392
měd 22
mechanické kmity v. kmi-
ty mechan.
měchy kovové 135
membrána 134
meniskus 174
Mercer, chronometry 302,
336
- pohyb kyvadlový 208
— reversní 227, 246
— spotřeba práce 234
— sympathetické 349
— teorie 223
— tlak. kompensace 144,
241, 255, 256
— vliv amplitudy 229,
230
— vliv přidávaného závaží
231
— vliv teploty 142, 239
— vliv tlaku vzduchu
144, 235, 240
— vliv změny délky 226,
239
— vlivy vnější různé
236—239
— volné v. volné kyvadlo
— výpočet 242
— vzduchotěsný uzávěr
256, 365
— závěs v. závěs kyvad-
la
Ladička 223, 364, 373,
386
ladičkové hodiny 373
laky 30
Lamont, kontakt 384
Lange A. 288, 307, 328
lanolin 30, 50
lapovací desky 17
lapování 26, 57, 73, 87
Laugier, pokusy 390
Lavoisier A. L. 199
Lecloutre, hodiny 336
Leeds & Northrup 34
Leibniz, počít. stroj 98
lemniskatové vedení 65
Lepaute J. A., krok 277
lepení 37, 38
— kovů 31, 38
lepidla 31, 37
Lépine, krok 297
Leroy & Cie, hodiny 288,
361
Leroy Julien 246
Leroy Pierre 263, 266,
299, 330, 393
levěs visibles 306
libela 158
— hranolový systém 160
— krabicová 162
— křížová 163
— kulčková 163

meridiánový kruh 166
měření, elektrickou cestou 131
—, jednotky 201
—, osobní chyba 189
měřicí hodinky 179
měřicí stroj délkový 162
měřicí systém, frekvence 118, 133, 185
—, tlumení 117
měřicí stůl 157
měřítka přesná 19, 164
— transverzální 164
metakrylová kyselina 24
metr etalon 176, 379
metronom 233, 297
mikarta 24, 29
mikromodifikátor 186
Mikroskop 13, 137
mikrometr šroubový 46, 52, 54
— optický 178
Mikrometrické šrouby 50 až 53
—, broušené 52
—, chyby 51
—, korekční zařízení 51
—, lapované 51
—, materiál 50, 51
—, matky 50
—, mazání 50
—, sáně 53
—, vřete 53
—, odcitání 53, 54
mikroskop 155
—, detaily 58, 60, 101, 150
— difúzní 11, 53, 62
— metalografický 156
— odcitací, odcitací m. 155
—, osvětlení přednětí 155
— projekční 139, 156
—, zvětšení 155
mikrotom 101
mikrováhy 29, 38, 137
minimetr 95, 179
minutový 95, 179
minutová počítadla v. počítadla
míry 201, 208
modul pružnosti, vliv teploty 143
—, trvalé změny 139
molekulární tření (útlum) 19, 29, 236, 268
molybden 22

moment hmotný, různ. těles 203
moment setrvačnosti, různ. těles 203
Morseův přístroj 115
mosaz 16, 140, 240, 245
mřížky difrakční 52
Mt. Palomar, reflektor 10, 28
Mt. Wilson, reflektor 89
mrtvé hmoty 74
Mudge Thomas 114, 304, 330
můstky ložiskové 45, 332
Nádrž 56
nalisování 34
námořní chronometr v. chronometr
napružení 49
naražení 34
natahování hodin 312, 313
— elektrické 313, 317
—, remontoir 315, 317
— hodinek 129, 334, 335, 396
nátěr 30
Negretti a Lambra 134
nekovové materiály 23
neosobní mikrometr 189
nerosty 25
Newton Isaac 150
nikl 20
niklová mosaz 20
Nivarox 19, 129, 131, 132, 247, 290
nivelační lať 152, 164
— libela 158
— stroj 161
nonius 174
Novák K. 280, 348, 384
nové stříbro 20
N. P. L. 73, 139, 180
nulování váčkou 110
nulové metody měřicí 144
Nušl. Fr., kontakt 350
Nušl. Fr. 79, 98, 116, 146, 190
nýtování 31
— koleček a páček 32
— trubkové 32
Objektiv 151, 155
— výměnný 49

objektivní mikrometr 156
oblouková míra 202
obraz reálný 149
— zrcadlový 145
obrobitelnost 13
ocel 17, 140, 240
očníce 153
odečítací prostředky 173
odečítací mikroskop 174
— čárkový (indexový) 175
— s planpar. deskou 178
— spirálový 177
— stupnicový (mřížkový) 175
— šroubový 176
— vernierový (moniový) 175
odečítání koinceidenční (Wild) 178
— sloupce kapaliny 174
— stupnice 174
Odhner, počít. stroj 98
odchyłka od střed. chodu 357
odlehčení ložisek 86, 88
odraz úplný 147
ohmisková délka 149
ohmiskový obrazec 151, 152
oko, rozlišovací schopnost 174
okulár 150, 155
— Huygensův (negat.) 153
— měřicí 156
— Ramsdenův 153
— stupnicový 48
— šroubový 176
O'Leary, volné kyvadlo 367, 368
oleje mazací 30
olivované kameny 70
olivnice 157
olovo 22
Ondřejov, hvězdárna 350
oprava (hodin) 357
optická lavice 57
optické pomůcky 9, 144
optický šroub 178
optická geometrická a fyzikální 144
oteč 312
oscilátory v. kmity 195
— mechanické 221

— vysokofrekvenční 373
oseňograf 131
osobní chyba 189
otáčivá rychlost, regulátory 115
—, měřicí poměru 104
otočení o 180° 160
otočná uložení v. uložení ozubená kola 95
— částečná 98
— hodinová 95, 96, 323
— kontrol. přístroj 103
— neokrouhlá 98
— šneková 97, 126
—, vřete v zubech 97
ozubená tyč 97
ozubení cévové 96, 323
ozubení cykloidní 96, 323
— evolventní 95
Paillard C. A. 260
pajky 35
pakfong 20, 132
palety 194
palladium 131, 260
pantograf 74, 169
parafrín 29
paralaxa 173
paralelní vedení v. vedení parciální uložení 88
pare-choc 71, 259
pařížská čárka 158, 335
pasážní stroj 88, 189
pásky bimetalické 140
— pružné 136
— závěsné 136, 140
passameter Zeiss 179
pastorky 32, 34, 96, 323
patrona (soustruhu) 47
Pardín, kreslicí přístroj 137
pavučiny 152
pečetní vosk 38
Pellaton M 393
pendlovky 329
pentagonální hranol 148
perioda 209
periodická chyba (šroub) 51
permalloy 19
permax 19
péro hodinové 128, 129, 319

perovnik otáčivý 129, 319
329
— pevný 318
pertinax 24, 29
Peterson, mikrováhy 137
Pfeffer K., minut. počítadla 354
přecení pohyb Země 187
prismatické vedení v. vedení
projekční mikroskop 156
proložený 160
proměnnost materiálů 14, 238, 239
průchody (proudou sklem) 21, 28, 36
pružiny 127,
— creep 14, 132
— hysterese 129, 132, 139
— hodinové v. péro
— namáhání 139
— siloměrné 131, 139
— vliv teploty 143
— změny časem 139
pružnost stroje nedokonalá 63
pružinové klouby v. kloub přelýb (spojení) 33
přechodová skla 28
překlíčka 25, 38
přeložení (o 180°) 160
přesnost hodin, hranice 378
— křemenných 378
— kyvadlových 360 až 362
—, posuzování 356
—, setrvačkových 335, 362
—, vývoj od počátku 200
převod páskem 137
— ozubený 95, 323
— na ručku 123
převracetací systém 148, 151
přídavná závažka 256
Příklady:
1. Energie kyvadla 205
2. Síla na stoup. kole 206
3. Energie pružiny (vlásku) 206
4. Pohyb, energie setrvačky 207

planimetr 105, 106, 110, 123, 144, 163
— automatický na usně 109
— lineární, vedení 61, 62, 107
planparalelní deska 148, 153, 178
planum 28, 162
platforma (děl. stroj) 88, 170
platina 21, 37
plexiglas 24
— počítadlo 105, 112
— kyvů 196, 341, 346
— minutové 352, 353
podávací ústrojí 100, 101
— dělicích strojů 169
— film. komory 111
Poggendorf, zreadl. meth. 179
pohon hodin elektrický v. elektrické hodiny
— pružinou v. péro, přerovněk
— závažím 312, 326
pohyb harmonický v. harmonický p.
polarograf Heyrovského 20
polarimetr 165
politura truhlářská 30
polymerisace 23, 24
Poncelet J. V. 107
porcelán 27, 29
postupná chyba šroubu 51
— šnek. kola 172
potenciometr 144

5. Odsíředivá síla (setrvačka) 207
6. Tuhost pružin oscilátoru 214
7. Volnost setrvačky chronometru 216
8. Změna délky kyvadla 226
9. Doba kyvu prstenu 228
10. Tyč jako kyvadlo 228
11. Tyč jako minimál. kyvadlo 229
12. Hmotn. náhrad. kyvadla 231
13. Kyvadlo, vliv přivažku 232
14. Kyvadlo, spotřeba práce 235
15. Zvřata, poddajnou konsolou 237
16. Výpočet sekund. kyvadla 243
17. — vlivu regul. matky 244
18. — předavných závaží 256
19. Setrvačka, doba kyvu 261
20. —, výpočet vlásku 261
21. —, spotřeba práce 262
22. Výčíslení chodu hodin 357
- přímovod v. vedení příruba 45
- přívody proudu ve skle 28, 36
- psací stroj 102
- Pulsmetr, el. hodiny 102
- pyrex, sklo 27
- Ramsden J. 153
- ratrapánky 110, 380, 381
- Rawlings A. L. 236, 237, 348, 371, 389
- reálný obraz 149
- Rédier, aneroïd 256
- Redux, lepidlo 38
- reflektor 10, 28, 89
- refraktometr 85
- regláž 38, 362, 391, 395
- , stálost 362
- , výsledky 395, 396
- reglér 120, 261, 396
- roztažnost tepe ná 15, 18, 240
- rtuť 20, 240, 251
- , spinač v. prasátko rubín 26 v. kameny ručka nožová 174
- Rudd R. J. 351, 367
- ryhlo (děl. stroj) 166, 168
- vyřované koflíky 34
- Sádra 31
- safír 26, 73, 275
- salmiak 35
- sandarak 30
- Satori K. 239, 254, 281, 292, 347
- Sears J. E. 375
- secondé mortie 298
- sečítač mechanismus 109
- sečná dálka 152
- Seegerovy kroužky 39
- segment 98, 123
- sekundární chyba 265, 396
- sekund kontakt v. kontakt 326, 327
- sertissage 33, 325
- servomotor 135
- setrvačka 257
- budíku 258
- doba kyvu 131
- elektrický pobou 341
- Guillaumeova 18, 19, 266, 268, 331
- hodiněk 264
- chronometru nám. 141, 264, 269
- kompenzovaná v. kom-pansace
- Kullbergova 266
- regulace chodu
- , spotřeba práce 262
- Straumannova 268
- , uložení 70, 258, 261
- , pružné 71, 259
- , vliv teploty 141, 262
- , tlaku vzduchu 262
- , vlivy rušivé další 261, 262 v. isochronismus
- Voletova 268
- , výpočet 261
- , zavěšená 29, 222
- setrvačné síly 204
- sextant 25, 97, 145, 189
- letecký 108, 112
- stétrometr 53
- registrování v. záznam 182
- regulace (ve výrobě) 10
- regulace hodin kyvadlových 120, 242, 244, 256
- setrvačkových 131, 259, 260
- regulační matka 120, 244
- ručka 131, 259, 260, 393
- závažníčka 231, 256, 257
- regulátor hodin 194
- otáčivé rychlosti 115
- sekundový (= hodiny) 326, 364
- Reid Th. 389
- rejdivací kolečko integr. 105, 108
- váleček 108
- rektifikace 119
- excentrem 123
- klinem 89
- otočením o 180° 160
- šroubem 120
- relé 95, 128, 139
- remontoir 315
- repetovací hodinky 189
- Repsold, neosob. mikro-metr 189
- reversní kyvadlo 227
- libela 158
- rhodium 21
- rhombický hramol 148
- Riefler Sigmund 18, 142, 238, 245—247, 252, 253, 256, 288, 292, 312, 317, 349, 358, 360, 361
- Rieussec, chronograf 381
- Robin R., krok 300
- Roekwell, tvrdoměr 26
- Roentgen, trubice 19, 21
- rohátka 98
- Rolleikord, zrcadlovka 110
- Rollek, hodinky 335
- Römer O. 189
- Roskopf, hodinky 310, 333
- rotace země 378, 379
- rovinné desky 13, 28
- Rowland H. 52
- rozpěrné sloupky 39, 46
- zalitím 34
- zatavením 36
- závrtové 47
- Srb a Štys, opt. továrna 11
- srdíčko 15
- stabilizování 15
- stahováč 46
- stálost tvarová a rozměrová 13, 14
- stárnutí přirozené 16
- umělé 15, 253
- statičké průhyb 214
- stav (hodin) 356
- stavení kovu a skla 19
- stavítko 130, 321, 322
- stearová kyselina 30
- stětit 27
- stopy 110, 363, 379 až 382
- přesnost 363, 381
- stoupací kolo v. krok siram gauge 182
- Strasser L. 238, 291
- Strasser & Rohde 279
- Straumann R. 268
- strunový drát 139
- stříbrná (stříbrná) ocel 17
- stříbro 20
- nové (pakfong) 20
- stříbrný válec 98
- stůl kuchyňská 27
- Seignetteova 20, 375
- sváření 34, 35
- nanášením 35
- skla s kovem 37
- svěrací zařízení 54
- svislá poloha, určení 156
- syfon 135
- symboly, užívané v II. části 202
- sympathetická vazba 349
- synchronisace hodin 348
- 350, 379
- Synchronome, el. hodiny 346, 352
- synchromní motorek 20, 377
- synthetické látky 23
- Samot 27
- šatony 70
- šelak 30, 38
- šnek 130, 322, 332
- šrouby 44
- šroubením 47
- špičková uložení v. hro-tová ul. 295, 322
- špindlovky 295, 322
- šroub optický 178
- šroubení 47
- šroubové spojení 44
- šrouby 39
- dorazné 49
- hlavy 40—42
- kontaktní 49
- ložiskové 72, 75
- mikrometrické v. mikr. šr.
- pohybové jemné 50
- , pojistění 43, 44, 49
- regulační 49
- stavěcí 50
- svěrací 54
- upevňovací 39
- zavrtané 40
- „švarevaldky“ 272, 279, 312, 324
- Tachograf Karlíkův 20
- tachometr 104, 118, 304
- talířek na kyvadle 256
- tantal 22
- tautochróna 197
- tavený křemen v. křemen tažený úhel 115, 305
- technická soustava měř 201
- Technické museum ná-rodní 248, 322
- tensometr elektrický 182
- mechanický 179
- teploměr bimetalový 140
- rtuťový dálkový 144
- terpentýn 31
- terestrický okulár 151
- Tessar, fot. objektiv 150
- texturmoid 24
- theodolit, centrování 157, 158
- , dělení 13, 165, 174, 176, 178
- , uložení os 85—90
- , ustanovky 124, 125, 126
- theorie, úvod 200
- thermofánek 21, 131, 144
- thermopemr 19
- thermoplasty 23
- thermosety 23
- thermostat 15, 240, 365, 376

Thievenot, libela 158
 Thury, invar. kyvadlo 253
 Tiede Ch. F. 288, 364
 tíhové zrychlení, měření 132, 227, 246
 Timol, spěl. pasta 35
 tlakomerné pružiny 134
 tlumení měř. přístrojů 117, 119
 —, způsob 118, 119
 tlnění 37
 tlnely, různé 31, 37, 38, 163
 točátko 97
 Toledo, aut. váhy 137
 Tomlinson G. A. 371
 Tompion Th. 296
 torsní pružina 35, 134
 — váhy 136
 — závěs 136, 223
 totální reflexe (odraz) 147
 tourbillon 311
 transverzální měřtko 164
 triangulační měření 156
 triplet 149
 trubkové nýtování 32
 trumpetový čep 69
 třecí převody 102
 tření v. soukolí, uložení, krok
 — v měřicích systémech 72
 třída měř. přístrojů 73
 tubus mikroskop. délka 155
 —, vedení 58, 60
 tungsten v. wolfram 21
 turmalin 27, 375
 tužidlo 38
 tvrdoměr 54
 tvrzené dřevo 25

Úhel mezný 147
 — výškový 146, 189
 úhlohměr Zeiss 165
 uložení britové 91
 —, britová osa 91
 —, pánve, pánvice 91
 —, rektifikace břitů 93
 —, sáně 95
 —, střídání 93
 —, třmen 94
 —, zrna 91
 —, upevnění břitů 92
 —, tření, citlivost 92
 uložení cylindrické čas-
 tečné 88

— čípková v. čípková ul.
 — hrotová v. hrotová ul.
 — jehlová 70
 — kamenová v. kameny
 lož.
 uložení kuličkové v. ku-
 líčkové ložiska
 — kulová 83, 84
 — letná cylindrická 87
 — — kuželová 84
 — plochá 89, 90
 — přesná horizontální 88
 — setrvačky v. setrvačka
 úhlohměr. strojů 84
 — valivá 76
 — vřeten obráběcích 66
 až 68
 —, mazání, tření 66
 ultrazvuk 376
 ustanovka 123
 — osová 125
 — planimetru 123
 — šnek. převod 126
 útlum kyvadla 234—236
 — měř. systémů 117
 — molekulární 268
 — oscilátoru 217
 — setrvačky 262

V-2, raketa 105
 váhy, precizní 20, 21, 92,
 94, 119
 —, citlivost, přesnost 92
 vápenec 25
 vakuové tmely 31
 variace hodin 357, 358
 vedení paralelní 63
 — dvoukolím 62, 63
 — lany 64
 — pákami 64
 — pásky 137
 — pružinami 139
 — rovnoběžnými 64
 — řetězy 64
 vedení přímé 56
 —, blokování 58, 59
 —, délka sání 58
 —, dvojkolím 62
 —, integrátorů 61, 62
 —, kluzná 56, 57
 —, kluzná odlehčená 62
 —, kolečková 61
 —, kuličková 62
 —, odlehčená 62

Váha, aut. váhy 137
 Tomlinson G. A. 371
 Tompion Th. 296
 torsní pružina 35, 134
 — váhy 136
 — závěs 136, 223
 totální reflexe (odraz) 147
 tourbillon 311
 transverzální měřtko 164
 triangulační měření 156
 triplet 149
 trubkové nýtování 32
 trumpetový čep 69
 třecí převody 102
 tření v. soukolí, uložení,
 krok
 — v měřicích systémech 72
 třída měř. přístrojů 73
 tubus mikroskop. délka 155
 —, vedení 58, 60
 tungsten v. wolfram 21
 turmalin 27, 375
 tužidlo 38
 tvrdoměr 54
 tvrzené dřevo 25

Úhel mezný 147
 — výškový 146, 189
 úhlohměr Zeiss 165
 uložení britové 91
 —, britová osa 91
 —, pánve, pánvice 91
 —, rektifikace břitů 93
 —, sáně 95
 —, střídání 93
 —, třmen 94
 —, zrna 91
 —, upevnění břitů 92
 —, tření, citlivost 92
 uložení cylindrické čas-
 tečné 88

— otevířená 56
 — páková 63—66
 — pracovní 56
 — přibližná 64—66
 — prismačká 57
 — rovinná 57—59
 — stavěcí 56
 — střešková 59
 — souřad. strojů 63
 — tyčemi 60
 — válcová 59—61
 — valivá 56, 61
 — válečková 63
 — zavřená 56
 Verneuil, umělé korundy
 metr. šroub
 vysokofrekvenční oscilá-
 tory 373
 věrníček (regulátor) 115, výškoměr 143, 387
 — vážení části hodin 205
 větrník gravit. kroku 286, vyvažovací přístroj 82
 věžní hodiny v. hodiny zdychotěsné pouzdro
 134
 Vidí, tlakoměr. bubinky hod. 256, 365
 vidlice kyvadl. hodin 278
 Wagnerovo kladívko 373
 Vickers, tvrdoměr 26, 54
 Waterbury, hodinky 299
 Vieweg-Gottwald 73
 Vestminsterské hodiny
 vidlička setrvaček. hodin 251, 390
 304, 308
 Vincenzio Galilei 196
 336
 viskózní tření 217
 vizir 174
 vláčna hedvábná 137
 — křemenná 28, 136, 140
 Wimmerl J. T. 287, 380,
 390
 vláseč 130, 199, 259, 268,
 wolfram 21, 132, 245
 —, wolframan vápenatý 21
 393
 —, Breguetův 130, 259,
 Vollandston, drátky a pás-
 ky 21, 136
 —, konecové křivky 131,
 Wood-Ford, chronoskop
 386
 —, materiál 131, 260
 Voog P., epilamen 30
 —, namáhání 139
 —, plochy 130, 259, 393,
 394
 — válcový 130, 394
 —, vliv teploty 141, 262
 výpočet 261
 vlivy rušivé v. harmoni-
 ký pohyb, hodiny, ky-
 vadlo, setrvačka
 vnitřní pnutí 14, 17
 vodtko 307
 vodní sklo (tmely) 31
 vodorovná poloha 156
 Volet, setrvačka 268

— miniaturní 185
 — vícecestný 184
 Zeiss 87, 161, 177, 179,
 180
 Země, rotace 187, 208
 —, rozměry 207
 zeměpisná délka, zjišto-
 vání 188
 Zénith, el. hodiny 338
 zeniťteleskop 190, 208
 zinek 22, 240, 244
 zkrutná tyč 139
 zlato 21, 132, 301
 značkovácí metoda. 184
 značky užívané v II. části
 202
 zpracování studené, pnutí
 15
 zrcadlo, rovinné 145
 — poloprůhledné 21
 zrcadlová metoda 103,
 179, 186
 zrcadlovka (fot. př.) 145
 zrcadlový sextant v. sex-
 tant
 zrcátko úhlohměrné 145
 zrna (břit) 91
 zrychlení tíhové 201, 208
 —, měření 227, 246
 zvětšení, dalekohledu 151
 — mikroskopu 155
 — okuláru (konvenční)
 155
 zvětšování malých pohy-
 bů 137, 139, 162, 178
 zvuk, rychlost šíření 208

Zabradniček J. 200
 základny geodet., měření
 18
 zalití 34
 záměrný obrazec (značka)
 153
 zapisovací metody v.
 záznam 182
 západy 98
 — hodiněk 99, 100
 zaponový lak 30
 zavažka 112, 113
 — chronometru 38, 282,
 300, 302
 zatáčkoměr let. 163
 zatavení do skla 36
 závaží v. pohon hodin
 závažíčka, regulační 231,
 232, 257
 závěs kyvadla 138, 245
 — britový 245
 — nití 197, 245
 — očkem 245
 — pružinový 138, 246
 —, vliv, změny 234,
 236, 238, 239, 247, 248
 závěs torsní 136, 222
 závit 40
 — hodinářský, švýc. 40
 — jemný 40, 47, 50
 — Löwenherzův 40
 — metrický 40
 — přerušovaný 49
 závitové spojení 47
 závlačky 39
 zavrtání čípku 69
 záznam, metody 182
 — času 184, 383
 — fotografováním 186
 — funkční závislosti 186
 —, koordinační časová 185

Železná litina 16, 240, 245
 — legovaná 171
 Žukovskij N. 83

OPRAVY

- Str. 32. Na obr. 11 opomenuta osa — na obr. svislá — rýhovaných koleček.
- Str. 50. Na obr. 121 má být stahovací šroub nakreslen dotažený, a matečný závit jen na levo od rozříznutí.
- Str. 93. Na obr. 319 je třeba svislou čáru kóty prodloužit až k dolnímu konci břitu.
- Str. 128. Na obr. 442 chybí písmena *A*, *B*; str. s obr. 254 na str. 320.
- Str. 145. Na obr. 505 má být zreadlo *I* rovnoběžné s alhidadou; vyplývá z rektifikační podmínky, že při nulovém čtení musí být zreadla *I* a *2* přesně rovnoběžná.
- Str. 279. Obr. 147 má být obrácen o 180° .
- Str. 304. Jako zhotovitel chronometru uveden Romuald Božek; podle jiných údajů a též svědectví J. Friče tento stroj zhotovil starší František, Božek, mechanik pražské techniky.

Prof. Dr. ing. Miroslav Hajn

ZÁKLADY JEMNÉ MECHANIKY
A HODINÁŘSTVÍ

Vydalo vydavatelstvo ROH-PRÁCE - vydavatelství knih v knižnici Technické příručky Práce jako svazek 140. Odpovědný redaktor Bohumil Dobrovolný, jazykový redaktor František Čimlner. Obálku navrhl technický redaktor František Mlášek.

Korektor Rudolf Lodi.

301 05 64 — 19626/52/5/III-1

Číslo publikace 1777. Sazba 6. 6. 1952. Tisk 10. 1. 1953. Vydání 1. Náklad 5.400. Plánovacích archů 12.875, autorských archů 31.89 vydavatelských archů 33.41. Skupina papíru 5020, formát a váha archů 61 × 86 cm, 80 g. Výtiskla Práce 01 v Praze ze sazby.

Daň z obrátu 4%. Cena brož. 142 Kčs, váz. 164 Kčs.

DT 681.11 E