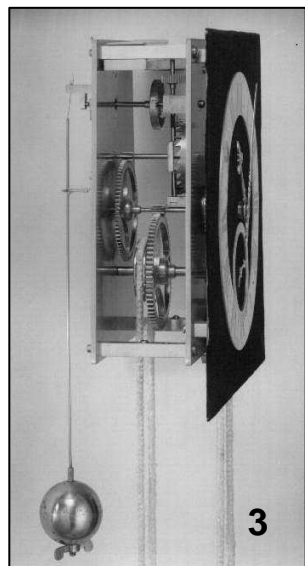


Neúprosné kyvadlo

Není tomu zase tak dávno, co čas od zvonění do zvonění odměřovaly ve školách, i v té naší, důstojné archaické hodiny s kyvadlem. Tentokrát se podíváme, jak se do hodin tento prvek dostal. První kyvadlové hodiny sestrojil v roce 1656 Holanďan Christiaan Huygens (jsou na obr. 3, jejich stavitelem byl v roce 1657 Salomon Coster pod Huygensovou „supervizí“). Získal tím přístroj k měření času, který byl mnohokrát spolehlivější než systémy předchozí.

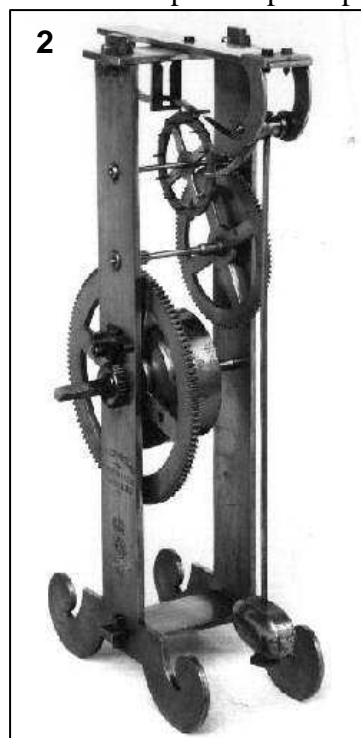
O tomto významném fyzikovi jsem zde už psal. Huygens (1629-1695) se narodil v Haagu, studoval v Leidenu a v Bredě, sestrojil astronomický dalekohled, s nímž dosáhl několika významných objevů (mj. objevil Saturnovy prstence). Působil i v Paříži jako ředitel Akademie věd, zde podal matematický výklad kyvadla, zde se věnoval mj. i návrhu spalovacího motoru, který přivedl jeho asistenta Denise Papina k principu atmosférického parního stroje. Dalším jeho vědeckým přínosem je vlnová teorie světla.

Dvěma podstatnými částmi mechanických kolečkových hodin jsou krok a regulátor. Krok periodicky zadržuje a uvolňuje hodinový stroj, regulátor určuje periodu kroku (tedy jak rychle hodiny „jdou“). Až do 17. století používaly mechanické hodiny tzv. vřetenový krok s lihýřem (obr. 1). Ozubené (korunové, krokové) kolo se otáčelo pomocí závaží na provazci, jeho pohyb byl střídavě zadržován a uvolňován paletami – vzájemně kolmými destičkami na svislém hřídeli zvaném vřeteno. Na vrcholu vřetena bylo příčné břevno se závažími na koncích. Lihýř se otáčel střídavě na obě strany podle toho, která paleta byla zrovna v kontaktu s krokovým kolem. Střídavá rotace vřetena periodicky zastavuje korunové kolo. Čas pro každý pohyb vřetena a rychlost otáčení korunového kola je řízen posouvateľnými závažími na rameni lihýře.



Ručky hodin jsou poháněny pomocí ozubených převodů od hřídele krokového kola. Tento krok je nepřesný. Je vratný, tzn. při každém zastavení se vlivem setrvačnosti pootočí krokové kolo o něco zpět. Rychlost chodu stroje se sice mění roztečí závaží, tedy změnou veličiny, které se říká moment setrvačnosti (*pozn. k lepší představě momentu setrvačnosti: krasobruslař či skokan při piruetě nebo vrutu připaží, tím tento moment setrvačnosti zmenší a roztočí se rychleji a naopak*), ale také nepřesně. Lihýř totiž nemá na rozdíl od kyvadla vlastní frekvenci. Hodiny s tímto regulátorem měly odchylku třeba 15-60 minut za den.

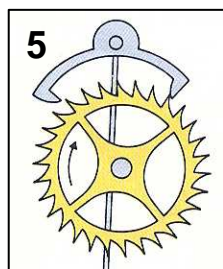
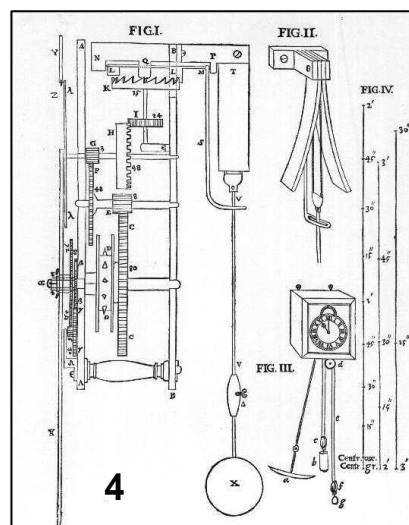
Doba kyvu (perioda) kyvadla je neskonale spolehlivější. Závisí prakticky jen na délce kyvadla, nikoli na hmotnosti. Nikoli podstatně je ovlivněna druhem kroku a rozkmitem. Matematický vztah neuvádím, podle Stephena Hawkinga každá rovnice ubere publikaci podstatnou část čtenářů.



publikaci podstatnou část čtenářů.

Huygens ovšem nebyl tím, kdo užití kyvadla jako regulátoru vymyslel. Tím mužem v pozadí nebyl nikdo menší než Galileo Galilei. Traduje se, že v roce 1582 pozoroval lampu houpající se na dlouhém laně v katedrále v Pise. Měřením doby kyvu lampy zjistil, že se téměř nemění, jakkoli je rozkmit velký. V roce 1637 přišel na nápad použít kývajícího se závaží jako regulátoru hodin. V této době již ztrácel zrak, a proto zasvětil svého syna Vincenza a jeho žáka Vivianiho. Galileo sám zemřel v roce 1642 a jeho syn v roce 1649. Vincenzo počal hodiny konstruovat, ale nic se nezachovalo, dochoval se jen náčrt z roku 1659 (model na obr. 2).

Přestože Galileo navrhoval jiný princip, Huygensovy první kyvadlové hodiny používaly ještě vřetenový krok. Ten potřeboval větší rozkmit kyvadla a tím trpěla přesnost hodin. Huygens tedy pohyb kyvadla zpřevodoval a jal se svůj výrobek dále zlepšovat. Tak například věděl, že dlouhé kyvadlo je přesnější, rovněž zjistil, že doba kyvu je konstantní při různých úhlech rozkmitu, jestliže se mění délka kyvadla. To vyřešil chytře; v roce 1673 zkonstruoval hodiny, které měly závěs kyvadla ohebný, odvalující se po dvou kovových destičkách zakřivených podle křivky, které se říká cykloida (obr. 4). Tím zpřesnil kyvadlo i pro větší úhly rozkmitu a obešel se bez ztrátového zpřevodování pohybu kyvadla.



Dalším podstatným vynálezem byl zcela nový krok – kotvový, jemuž se blíží už Galileův návrh. Jeho autor, londýnský hodinář a Huygensův současník William Clement jím dokázal hodiny dále zpřesnit, zmenšil úhel kmitu kyvadla i přesto, že jeho krok byl stále ještě vratný. Tzv. klidový krok bez vratného pohybu krokového kola sestrojil jiný Londýňan George Graham v roce 1715. Princip kotvového kroku je na obr. 5.

Chyba prvních Huygensových hodin byla asi 1 sekunda za 3 hodiny. Téměř 300 let využívaly kyvadla nejpřesnější hodiny, i když se jinak dočkaly mnoha podstatných zdokonalení. V oblasti kyvadla to bylo např. kompenzační kyvadlo, které pomocí rtuti kompenzovalo změny délky způsobené změnami teploty. Kyvadlo, popř. v hodinkách setrvačku a vlásek (také Huygensův vynález!) vytlačil až krystalový regulátor využívající neobyčejné přesnosti kmitů křemíkového krystalu (quartz) při piezoelektrickém jevu.

Propána, já jsem bez hodinek! No... už budou asi doma, jdou totiž napřed...

Použito:

Huygens' Clock. [online]. [cit. 2005-01-28]. Dostupné na WWW: <http://www.sciencemuseum.org.uk/on-line/huygens/>

POCHE, E., UREŠOVÁ, L. *Hodiny a hodinky.* 1. vyd. Praha : Panorama, 1987.

MITCHEL, J. *Co dokážou stroje.* 1. vyd. Praha : Albatros, 1987.

Ing. Josef Gruber

Publikováno ve Zpravodaji SPŠ strojnické, Plzeň v lednu 2005.