CHRISTIAN HUYGENS

Ob tristoletnici smrti

Christian Huygens (slika 1) je bil rojen leta 1629 v Haagu. Na začetku ga je poučeval oče, ki je bil visok vladni uradnik in si je pridobil obsežno znanje jezikoslovja, glasbe in matematike. Christian je na univerzi v Leidenu končal študij prava. Že v mladosti ga je pritegnila tudi matematika in prve uspehe je dosegel pri sedemnajstih letih. Pri dvaindvajsetih je objavil dognanja o ploščini stožnic, pri petindvajsetih tedaj najnatančnejši podatek za π, pozneje se je ukvarjal tudi z verjetnostjo.

Slika 1. Christian Huygens (14.aprila 1629 do 8.junija 1695)

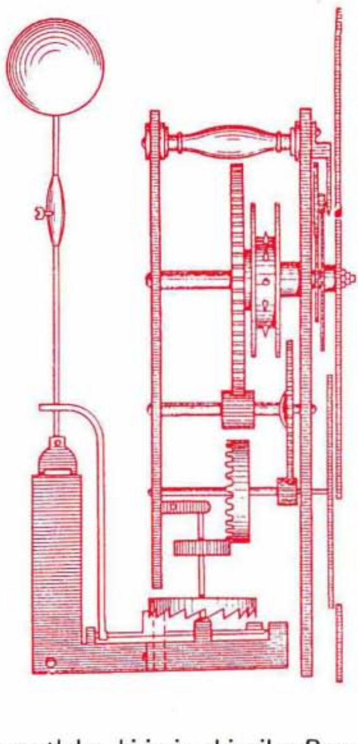
V naravoslovje je Huygensa pripeljalo zanimanje za astronomijo. Z bratom je izdelal daljnogled po lastni zamisli. Tudi nekateri današnji daljnogledi imajo *Huygensov okular*. Z nekaj manj kot osem metrov dolgim daljnogledom je odkril Saturnov obroč in Saturnovo luno Titan[1], Orionovo meglico in opazoval Marsovo površje. S privzetkom, da seva Sirij kot Sonce, je ocenil njegovo razdaljo na 0,42 svetlobnega leta. Sirij seva izdatneje kot Sonce, zato je razdaljo dvajsetkrat podcenil. Izdelal je mikrometer za merjenje kotov med zvezdami na nekaj kotnih sekund natančno.

Pri astronomskih opazovanjih se je Huygens zavedal, kako pomembno je natančno meriti čas. Njegovo prizadevanje, da bi izdelal natančno uro, je pripeljalo do patenta leta 1656. Odkritje je objavil šele leta 1673 v knjigi z

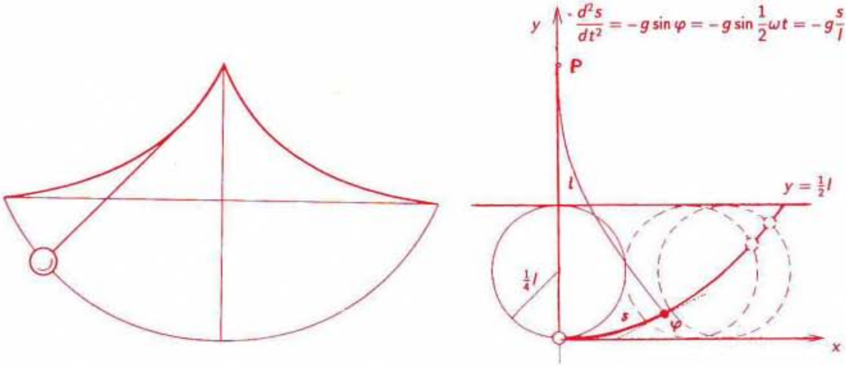
[1] Galileo Galilei s slabšim daljnogledom obroča še ni mogel videti, pozoren pa je postal na "trojno" sliko Saturna. Huygens je mislil, da v Osončju poleg šestih planetov Merkurja, Venere, Zemlje, Marsa, Jupitra in Saturna obstaja samo šest lun: Luna, štiri Jupitrove lune, ki jih je odkril Galilei, in Titan.

naslovom *O uri na nihalo* (slika 2). Ob tem je ugotovil, da je sicer nihajni čas nitnega nihala z dolžino l zares sorazmeren s $\sqrt{l}$, kakor je mislil Galilei, a je pri večjih amplitudah odvisen od amplitude, kar je Galilei spregledal. Ob iskanju nihala, ki nima te pomanjkljivosti, je odkril *cikloidno nihalo* (slika 3). Njegov nihajni čas ni odvisen od amplitude. Obravnaval je nihanje *fizičnega nihala*, togega telesa, vrtljivega okoli vodoravne osi, ki ne gre skozi težišče. Leta 1669 je Huygens predložil razpravo o trkih, v kateri je prvi v celoti pojasnil prožne in popolnoma neprožne trke. Razprava je izšla veliko pozneje (1703). Raziskal je enakomerno kroženje in določil pospešek. Ugotovil je tudi, da je Zemlja sploščena na polih.

Slika 2. Načrt za uro na nihalo. Tedaj so začeli vodne ure nadomeščati z mehaničnimi urami, v katerih se je počasi spuščala utež. Te ure so bile sicer manj natančne kot vodne, a so zahtevale manj skrbi in so imele dobro viden kazalec. Z nihalom je Huygens dal uri notranjo enoto, zaradi katere je ura tekla veliko bolj enakomerno. Preko zobatega kolesa in zasunka je nihalo krmililo utež, da se je pravi čas znižala in z delom krila izgube zaradi trenja in upora.



Leta 1678 je Huygens obdelal teorijo svetlobe, ki jo je objavil v *Razpravi o svetlobi* leta 1690. Knjigo je nameraval prevesti v latinščino, a tega zaradi pomanjkanja časa ni storil. Tako je vsaj utemeljil njen pozni izid. Huygens ni obravnaval sinusnega valovanja v današnjem smislu, ampak motnjo, ki potuje po snovi, sestavljeni, na primer, iz samih dotikajočih se kroglic. Motnja se



Slika 3. Cikloidno nihalo (levo) in cikloida (desno). Cikloida $y = \frac{1}{4}l(1-\cos\omega t)$, $x = \frac{1}{4}l(\omega t + \sin\omega t)$ nastane, ko se krog z radijem $\frac{1}{4}l$ kotali po spodnji strani premice $y = \frac{1}{2}l$. Ločno dolžino cikloide od najnižje točke zaznamujemo z s. Nitno nihalo z dolžino l, ki je obešeno v točki P, niha z nihajnim časom $2\pi\sqrt{l/g}$ ne glede na amplitudo, če se utež giblje po tej cikloidi.

s trki prenaša od kroglice do kroglice. Tako je postavil *Huygensovo načelo*: Vsaka točka valovnega čela je izvir elementarnih valov. Ovojnica elementarnih valov da novo valovno čelo. Raziskal je dvojni lom in je pri tem moral vpeljati dve različni hitrosti svetlobe, saj je motnjo razumel kot longitudinalno. Določil je optične lastnosti islandskega dvolomca, to je ene izmed kristalnih oblik apnenca, in odkril polarizacijo svetlobe.

Huygens si je s svojim delom v fiziki pridobil velik ugled. Leta 1660 je obiskal Anglijo. Tri leta pozneje so ga sprejeli med ustanovne člane Kraljeve družbe, angleške akademije znanosti. Na Colbertov predlog ga je Ludvik XIV leta 1666 postavil za predsednika francoske akademije znanosti. V Parizu je ostal do leta 1681, ko so ukinili zakon, ki je protestantom dovoljeval bivanje v Franciji. Umrl je leta 1695 v Haagu.

Huygens je ves svoj čas posvetil raziskovanju. Nanj sta vplivala Galilei in predvsem René Descartes. Pozneje je Descartesa kritiziral: "Gospod Descartes je znal doseči, da so njegova ugibanja in predstave veljale za resnične. Bralcem njegovih Principov [*Principia philosophiae* 1644] se je godilo kot bralcem romana, ki jim knjiga ugaja in imajo vtis, da gre za resnično zgodbo. Oblike majhnih delcev in lastnosti vrtincev sprejmejo v splošnem za pravilne. Tudi meni se je zdelo, da je vse v najlepšem redu, ko sem knjigo prvič bral. Tedaj sem bi star 14 ali 15 let. Ko sem naletel na težave, sem mislil, da sem bil kriv sam, ker sem napačno razumel njegove zamisli."

Descartes je izhajal iz treh splošnih trditev, ob katerih pomislimo na današnje ohranitvene zakone:

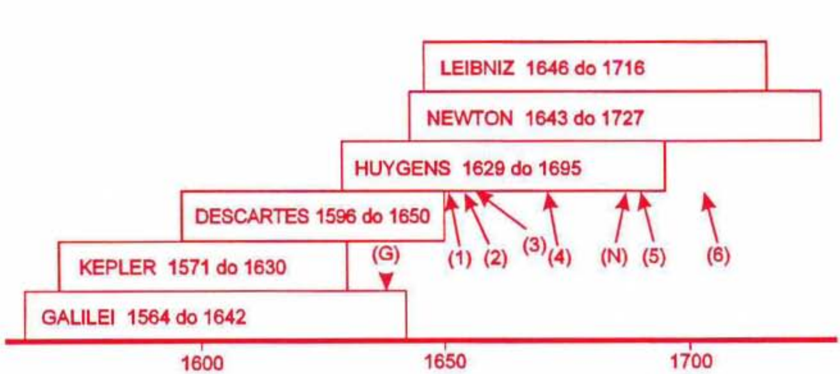
1. Vsaka stvar (gibanje, oblika ...) ostane nespremenjena, dokler je ne spremeni zunanji vzrok.
2. Gibanje se nadaljuje v ravni črti.
3. Pri trku se gibanje ohrani.

Z njimi naj bi pojasnili vse pojave in dosegli enotnost fizike. Ves prostor naj bi izpolnjevala telesa iz etra, ki naj bi v obliki vrtincev poganjala planete okoli Sonca. Drugo na drugo naj bi namreč delovala le telesa, ki se dotikajo. Huygens ni postavljal meglenih splošnih trditev, ampak je svoje izreke izvajal iz opazovanj in merjenj za določen primer.

Huygens ni sprejel Newtonove zamisli o splošni gravitaciji, čeprav se je leta 1689 srečal z njim v Londonu. Še naslednje leto je trdil, da izvira teža iz razlike med centrifugalno silo teles na Zemlji, ki naredijo na njenem površju en obhod v 24 urah, in delci etra v Vesolju ob Zemlji, katerih obhodni čas je krajši. Po njegovem mnenju bi bili cetrifugalna sila in teža v ravnovesju, če bi delci etra obkrožili Zemljo v poldrugi uri (kot današnji umetni sateliti). Pri tem se je skliceval na opazovanje vrteče se posode z vodo, v kateri silijo majhna telesa iz lesa proti osi. Po Huygensovem mnenju v praznem prostoru, kakršnega je imel v mislih Newton, ne bi bilo mogoče pojasniti ne teže ne svetlobe. To je bil davek Descartesovemu prepričanju, da telo lahko deluje le na telo, ki se ga dotika.

Za razliko od številnih sodobnikov je Huygens priznaval tuje uspehe. Čeprav je posvetil vse življenje znanosti, se je zanimal še za kaj drugega. Spesnil je nekaj pesmi, ki jih je posvetil nekaterim lepoticam tistega časa. V zapuščini so našli znanstveno-fantastični roman o prebivalcih na Luni in risbo stroja z notranjim zgorevanjem.

Christian Huygens je bil eden izmed največjih umov sedemnajstega stoletja. Njegova odkritja so segala na vsa področja tedanje fizike in astronomije. Po uspešnosti ga je presegel najbrž samo Isaac Newton, ki mu je Huygens s svojim delom pomagal pripraviti pot (slika 4).



Slika 4. Življenjski čas nekaterih znamenitih mož sedemnajstega stoletja in časi izidov Huygensovih knjig: 1 *Ciklometriae* 1651, 2 *De circuli magnitudine inventa* 1654, 3 *Systema Saturnium* 1656, 4 *Horologium oscillatorium* 1673, 5 *Traité de la lumiere* 1690, 6 *De motu corporum ex perkussione* 1703. Galilejevi *Discorsi* (G) so izšli 1638 in Newtonovi *Principi* (N) 1687.

Obdelajmo nekaj Huygensovih dognanj nekoliko podrobneje z današnjega gledišča. Zanimivo je, da nekatera presegajo današnjo srednješolsko fiziko, medtem ko dognanja njegovih predhodnikov večinoma sodijo vanjo.

Galilei je ugotovil, da je hitrost kotaleče se kroglice na klancu sorazmerna s časom, pot pa s kvadratom časa, če kroglica spočetka miruje. Pot je potemtakem sorazmerna s kvadratom hitrosti. Domneval je, da hitrost kroglice na dnu klanca ni odvisna od nagiba, ampak je sorazmerna z višino v začetni legi. Te ugotovitve je Huygens razvil dalje.

Utež na niti nitnega nihala se začne gibati v višini $y = h$ in doseže največjo hitrost v ravnovesni legi pri $y = 0$. Hitrost v vmesni legi je odvisna od višine $h - y$, za katero se utež spusti: $v^2 = 2g(h-y)$. To Huygensovo enačbo dandanes hitro dobimo iz izreka o kinetični in potencialni energiji. Postavimo $v = ds/dt$. Kratek odsek poti ds in majhna sprememba višine dy sta v zvezi $ds = dy/\sin\varphi$, če je φ kot med delom poti in vodoravno osjo x. Velja:

$$dt = \frac{dy}{\sin\varphi\sqrt{2g(h-y)}}. \tag{1}$$

Krog z radijem l, po katerem se giblje utež, v bližini ravnovesne lege približno opišemo s parabolo $y = x^2/2l$. V približku, v katerem $\sin\varphi$ izenačimo s $\tan\varphi = dy/dx = x/l = \sqrt{2y/l}$, preide enačba (1) v $dt = \frac{1}{2}\sqrt{l/g}\,dy/\sqrt{y(h-y)}$. Integrirajmo enačbo od višine 0 do h, čemur ustreza po času integral od 0 do $\frac{1}{4}t_0$, pa dobimo nihajni čas $t_0 = 2\pi\sqrt{l/g}$. Huygens je moral vse enačbe izpeljati geometrijsko, saj tedaj infinitezimalni račun še ni bil razširjen.

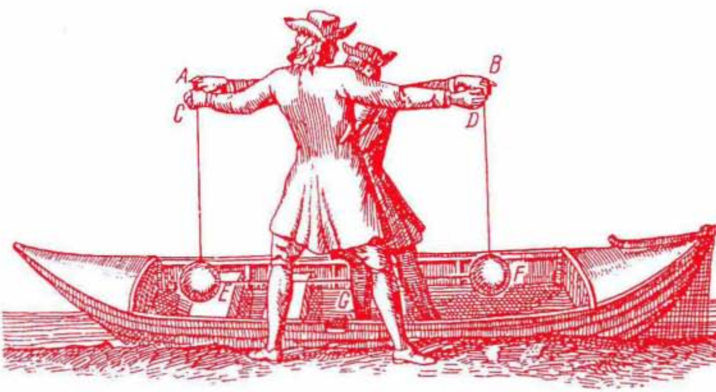
Po kakšni krivulji se mora gibati utež, da enačba za nihajni čas velja natančno za znatne amplitude in je torej nihajni čas neodvisen od amplitude? Iz enačbe (1) razberemo, da mora biti tedaj $\sin\varphi$ sorazmeren s $\sqrt{y}$. Takšno lastnost ima *cikloida*, krivulja, ki so ji v Huygensovem času posvečali precej pozornosti. Bralci jo poznajo kot brahistokrono

(*Smučanje pri veleslalomu*, Presek **20** (1993) 232-236). Huygens je pribil: Če se giblje telo po navzgor odprti cikloidi, potrebuje do najnižje točke vselej enak čas, ne glede na to, v kateri točki se je začelo gibati." Utež nitnega nihala se giblje po cikloidi, če jo vodita vodili v obliki obrnjene cikloide (slika 3). Huygens je ugotovil, da je *evolventa* cikloide tudi cikloida. Evolventa je krivulja, ki jo opiše krajišče vrvice, ko napeto vrvico odvijamo z druge krivulje – *evolute*.

Togo telo pri fizičnem nihalu je v mislih razdelil na drobna telesa in po tej poti izračunal *reducirano dolžino* fizičnega nihala, to je dolžino nitnega nihala, ki niha z enakim nihajnim časom kot dano fizično nihalo.

Preme prožne trke je obravnaval na osnovi treh izrekov:

1. Vsako gibajoče se telo teži k temu, da nadaljuje gibanje s konstantno hitrostjo, dokler ne zadene kakšne ovire.
2. Če trčita enaki krogli z nasprotno enakima hitrostma, se obrneta po trku smeri njunih hitrosti, ne da bi se spremenila velikost hitrosti.
3. Izreka veljata tudi za opazovalca na ladji, ki se glede na obalo giblje s poljubno konstantno hitrostjo, kot za opazovalca na obali.



Slika 5. Opazovalec na obali in opazovalec na enakomerno se gibajoči ladji, s katerima si je Huygens pomagal, ko je pojasnil trke (iz Huygensove knjige o trkih).

Tretji izrek vsebuje zakon relativnosti (slika 5). Izreki pripeljejo do ohranitve gibalne količine $m_1 v_I + m_2 v_{II} = m_1 v_1 + m_2 v_2$. Z zamislijo, da ustreza določeni hitrosti določena višina, do katere se lahko telo s to hitrostjo dvigne, je vključil Huygens v razpravo izrek o ohranitvi kinetične energije $m_1 v_I^2 + m_2 v_{II}^2 = m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2$. Pri tem ni uporabljal kinetične energije mv^2, ampak po tedanji navadi *živo silo* mv^2. Zgodbe o londonski nagradni nalogi (*Neprožni trki*, Presek **19** (1991) 72-78) ne kaže ponavljati. Omenimo samo, da je Descartes za gibalno količino napačno postavil velikost $m|v|$, Huygens pa je upošteval znak hitrosti in tako predvidel vektorsko naravo gibalne količine.

Janez Strnad