

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 27 (1999/2000)

Številka 4

Strani 216-222, XVI

Janez Strnad:

LEONARDO DA VINCI IN FIZIKA

Ključne besede: fizika, zgodovina fizike, Leonardo da Vinci, biografije, razstave.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/27/1406-Strnad.pdf>

© 2000 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

LEONARDO DA VINCI IN FIZIKA

Leonardo da Vinci ni bil fizik, če upoštevamo, da se je fizika v današnjem pomenu besede začela s 17. stoletjem. Bil pa je med tistimi zaslužnimi možmi, ki so fiziki utrli pot.

Gibanje za oživitvev antičnih misli – *humanizem in renesansa* – se je začelo v 14. stoletju v Italiji in je v poltretjem stoletju Evropi prineslo velike spremembe. Razvilo se je meščanstvo, razrasla obrt, odkrili so nove dežele in izumili tisk. Pogled na naravo pa se ni spremenil tako silovito. Še je prevladovala Aristotelova slika iz četrtega stoletja pred našim štetjem. V njej je bil svet ločen na nespremenljivi del za Luno ter na spremenljivi del pod njo. Središče vesolja je bilo središče okrogle Zemlje, okoli katerega so bili razvrščeni elementi zemlja, voda, zrak in ogenj. V svetu pod Luno je obstajalo poleg gibanja živih bitij naravno in prisilno gibanje. Pri naravnem gibanju so se telesa sama od sebe vračala v naravni red elementov. Za vzdrževanje prisilnega gibanja pa je bilo potrebno nenehno delovanje "sile".

Velike težave so imeli s prisilnim gibanjem puščic in drugih izstrelkov. Za vzdrževanje takega gibanja naj bi bilo potrebno nenehno delovanje "sile". To naj bi povzročal zrak, ki ga je v gibanje najprej spravila puščica. Potem je puščico v gibanje spravljal zrak, ko je vdrl v prostor, ki ga je puščica pravkar zapustila. Vendar je pojasnilo nasprotovalo izkušnjam pri metu kopja in pri potovanju, ko je zrak deloval v nasprotni smeri gibanja. V 6. stoletju so zaradi tega uvedli dodatno "gibalno silo", ki jo tetiva da puščici in ki jo ta potem počasi izgublja. Tako se je razvil pojem *impetusa*, ki je bil z današnjega gledišča precej meglen. Vseeno v njem lahko vidimo zasnovo poznejše gibalne količine, produkta mase in hitrosti telesa.

Dodatek *impetusa* je Aristotelovi sliki pomagal iz opisane težave, toda v 14. stoletju so se začele kazati druge pomanjkljivosti. Tedaj so začeli delati prve poskuse in so si prizadevali njihove izide zajeti s števili. V 15. stoletju so počasi uvajali merjenje. Precej zaslug za to je imel Nikolai Cusanus ali Nikolai Krebs (1401 do 1461) iz Küsa, poznejši brižinski škof in kardinal. Trdil je, da se snov vesoljskih teles ne razlikuje od snovi Zemlje. Zemlja se giblje in v vesolju nima posebnega položaja. Zvezde so oddaljena sonca in vesolje nima meje. Stavil je na *impetus*. Zagotavljal je, da mora raziskovanje temeljiti na merjenju. Merjenje ali *mera* – *mensura* – je po njegovem mnenju izhajala iz besede *mens* (razum, mišljenje). Posebno pomembno se je Cusanusu zdelo merjenje teže in tehtnica mu je bila vzor za merilno napravo. Stehtal je zrak, s tehtanjem platna določil vlažnost zraka in s tehtanjem vode, ki je iztekla iz posodice, meril čas gibanja.

Da Vinci se je naslonil na Cusanusa. Tudi on je zagovarjal enotnost snovnega sveta in mislil, da so na Luni morja in kopno ter da so tam razvrščeni elementi tako kot na Zemlji. Vedel je, da Luna odbija sončno svetlobo in je med prvimi trdil, da ob prvem in zadnjem kraju del Lune v senci osvetljuje sončna svetloba, ki se odbije na Zemlji. Leonardo je ugotovil, da se pri mirujočih telesih vpliv teže na krajišču vzvoda zmanjša, ko vzvod nagnemo proti pravokotnici. Pri tehtnici z ukrivljenim vzvodom zato ni pomembna dolžina vzvodov, ampak *potencialna dolžina*. Zanimal se je za klanec. Telesi je povezal z vrvjo in ju postavil na nasprotna klanca. Ugotovil je, da sta v ravnovesju, če sta teži obratno sorazmerni s "poševnostma", ki pa ju ni podrobno opredelil. Pri tem je spoznal paralelogram sil. Delovanje škripcev, vzvodov in tehtnic je Leonardo pojasnil z izrekom o vzvodu. Podobno kot Cusanus je imel vzvod in tehtnico za zgled vseh mehaničnih naprav.

Raziskovanje gibanja teles je bilo tedaj še v povojjih. Da Vinci je prispeval več tehtnih misli, ki so prekašale misli njegovih sodobnikov, ne da bi naredil odločilen korak. Sprejel je Cusanusov nauk o impetusu. Čeprav impetus lahko nastane na različne načine, vedno sila povzroči na gibajočem se telesu drugo silo, podobno sebi. Po tedanji navadi je da Vinci razpravljal o vlogi impetusa in teže pri metu navpično navzgor. Telo naj bi se gibalo navzgor, ko impetus preseže težo, s hitrostjo, sorazmerno z razliko impetusa in teže. Dviganje naj bi postajalo vse počasnejše zaradi zmanjšanja impetusa. Pridružil se je mnenju, da je pri poševnem metu treba ločiti tri dele. V prvem je gibanje prisilno in se izstrelek giblje po ravni črti. V drugem delu je gibanje sestavljeno, delno prisilno in delno naravno, in se telo giblje po loku. V tretjem delu je gibanje naravno in izstrelek pada navpično navzdol.

Kot sodobniki tudi da Vinci ni bil dosleden. Dopustil je čisto ukrivljeno gibanje vodnih curkov, a se v nekem drugem primeru ni držal osnovne zamisli, da je vsiljeno gibanje vedno premo. Mislil je, da se telo giblje po krogu, ko ga spustite, če ste ga prej prisilili v gibanje po krogu. Vendar se je približal misli, da je vsa pot izstrečka ukrivljena in je gibanje na vsej poti sestavljeno iz "prisilnega" in "naravnega".

Nekatere da Vincijeve trditve se danes zdijo dokaj nenavadne. Zraku je pri padanju kamna pripisal dvojno vlogo. V njem naj bi pred padajočim kamnom in za njim nastal val. Prvi val naj bi gibanje kamna zaviral, drugi pa spodbujal. Poleg tega naj bi se zrak upiral gibanju kamna, a upor naj bi zaradi obeh valov ne bil enakomeren. Zato je mislil, da se pri padanju po zraku telo ne giblje ne enakomerno pospešeno ne enakomerno. Čeprav so tedaj že ločili hitrost in pospešek, ni nihče poskusil padanja povezati s pospešenim gibanjem.

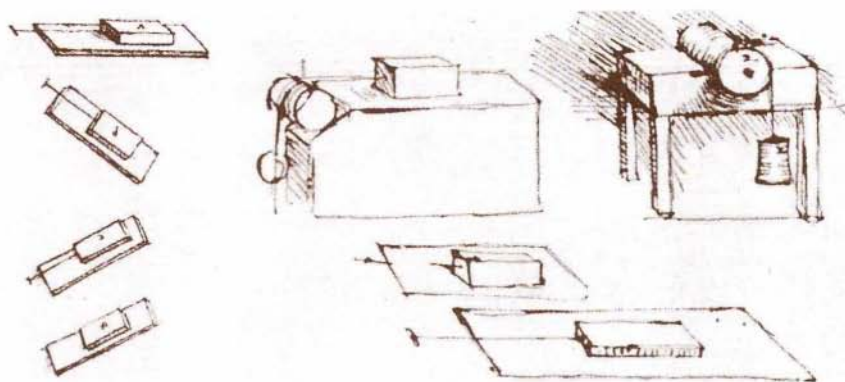
Ujet v stare predstave, je Leonardo da Vinci imel nekaj posrečenih zamisli. Raziskal je trk, ki mu je bil zgled za prisilno gibanje. Trdil je, da se telo na vodoravni ravnini odbije z enako silo in z enakim kotom. Gibanje telesa pred odbojem naj bi povzročal impetus, gibanje po odboju pa "sila" trka. Za tem je mogoče zaslutiti misel o ohranitvi impetusa. Da Vinci je trdil, da se impetus pri trku ne izgubi, a je privzel, da je sestavljeno gibanje omejeno samo na majhno razdaljo po trku. Trk naj ne bi pripeljal samo do enake nasprotne "sile", ampak do polnega ali delnega prenosa "sile" od telesa na telo. V naslednjih sto letih ni nihče prekosil tega razmišljanja, v katerem se skriva daljnja slutnja poznejšega zakona o vzajemnem učinku.

Da Vinci se je zanimal za gibanje po zraku, še posebej za let. Narisal je, kako pada kocka, ki se prevrača, in dostavil, da težišče ostane na navpični premici. Trdil je, da je let stabilen, če je težišče pred prijemališčem upora. Kot kaže, je prvi uporabil težišče pri obravnavanju gibanja.

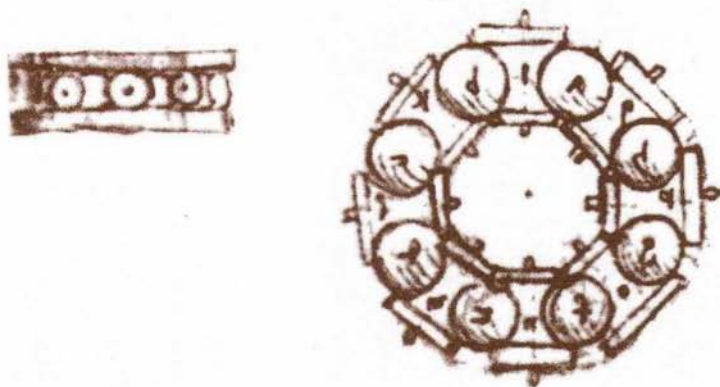
Leonardo da Vinci je raziskoval lok in samostrel ter gibanje puščice. Trdil je, da bi puščica dosegla veliko hitrost, če bi jo izstrelili z dirjajočega konja in bi v tistem trenutku še vrgli lok naprej. Razmišljal je o seštevanju hitrosti in o tem, ali obstaja pri tem kaka zgornja meja. Zamislil si je velikanski lok, ki bi ga napeli z vitlom, in uvidel, da se zaradi povečanja pojavijo težave. Na vodoravno tetivo je obešal uteži in ugotovil, da se pritrlišče ni znižalo sorazmerno s povečanjem teže. Opazil je, da se pri napenjanju loka del ogrodja nategne, drugi del stisne in da je med deloma plast, ki ni ne napeta ne stisnjena.

Da bi razumel delovanje strojev, je da Vinci raziskal trenje. Pri tem je uporabil silomer, kakršnega so uvedli šele v 18. stoletju. Narisal je podobno mizo, kot jo je za raziskovanje trenja v 18. stoletju uporabil Charles de Coulomb. Raziskal je trenje pri drsenju in pri kotaljenju ter pri slednjem opazoval odvisnost od polmera. Ugotovil je, da je trenje pri drsenju odvisno od obdelave ploskev in sorazmerno z bremenom, a neodvisno od površine dotikalne ploskve. Leonardo je vpeljal koeficient trenja kot razmerje med silo, ki je potrebna za premikanje po vodoravni podlagi, in bremenom. Pri zglajenih površinah je dobil zanj $\frac{1}{4}$, kar je dober približek pri trenju trdega lesa po trdem lesu, bronu po jeklu in nekaterih drugih snoveh, s katerimi je delal poskuse.

Pozneje je Leonardo da Vinci raziskal trenje v strojih, ki je bilo tedaj zelo nadležno, ker so se zaradi njega vrteči se deli hitro obrabili. Ugotovil je, da se kovina okoli vodoravne osi ni vedno najbolj obrabila v navpični smeri, ampak je bila smer obrabe odvisna od smeri bremena. Ker se je obrabila tudi os, je postajala odprtina vse večja. Poskusil je os mazati



Slika 2. Naprave, s katerimi je da Vinci raziskal trenje.



Slika 1. Kroglčni ležaj z vencem na da Vincijevi risbi.

z oljem, ki je iztekalo iz posodice, a ugotovil, da nastali drobci kovine zamašijo dovod olja. Iskal je možnosti za zmanjšanje obrabe. Tako je opisal ležaj s "kovino za zrcala iz treh delov bakra in sedem delov kositra". Pri tem je bilo mogoče s čeljustmi zmanjšati odprtino, ko se je os obrabila. Take ležaje z mehko *ležajno kovino* so predlagali skoraj dvesto let pozneje. Leonardo je prišel tudi na misel o kroglčnih in valjčnih ležajih. Kroglice in valje so že prej uporabljali za zmanjšanje trenja, a v stroje so ležaje uvedli šele okoli leta 1900. Z valjčnimi ležaji je da Vinci izboljšal delovanje

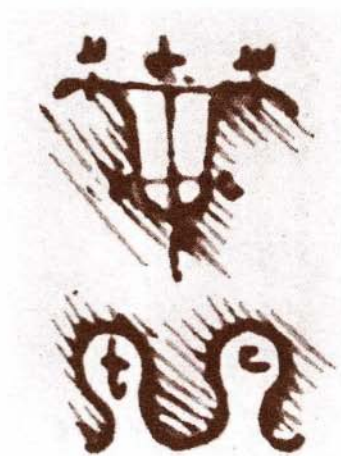
vitlov. Trdil je, da se krogle ali valji v ležaju ne smejo dotikati med seboj, in je na risbi kroglični ležaj opremil z vencem. Posebno posrečen je bil predlog za navpično os s stožčastim krajiščem in s tremi kroglicami ali stožci. Pred osemdesetimi leti so podoben ležaj uporabili v vrtavki.

Leonardo da Vinci je razmišljal o zobeh zobatih koles in ugotovil, da so glede trenja najboljše cikloidni zobje, kar so ponovno odkrili dvesto let pozneje. Narisal je več naprav z Arhimedovim "neskončnim vijakom", omenil njegove prednosti pri gradnji ur in predlagal novo vrsto zob, kakršne so vpeljali v 18. stoletju. Izumil je tračno zavoro, s katero je povečal trenje. Raziskoval je pogon z vrvmi in ugotovil, da je mnogo manj hrupen kot gibanje koles in vreten. Na nekaterih risbah je vrvi

zamenjal z jermeni in nakazal možnost za nekaj novih naprav. Med njimi je bil tudi blažilec sunkov, ki naj bi zavrl človeka pri padcu z višine. Prepleteni klini naj bi s trenjem zmanjšali hitrost, na dnu pa naj bi bala volne dokončno ublažila padec. Raziskovanje trenja je da Vincija prepričalo, da ni mogoč perpetuum mobile in vzkliknil: "O, tisti, ki razmišljate o večnem gibanju, koliko utvar ste zaman ustvarili v tem prizadevanju?"

V optiki je da Vinci omenil steklo, s katerim je opazoval povečano Luno. Zapisal je, da je potrebno za opazovanje narave planetov odpreti streho in speljati sliko planeta na konkavno zrcalo. Slika planeta, ki se odbije na zrcalu, pokaže zelo povečano površje planeta. Upoštevajte, da je prvi nebo opazoval z daljnogledom Galileo Galilei leta 1609, prvi daljnogled z ukrivljenim zrcalom pa je okoli leta 1671 izdelal Isaac Newton. Da Vinci je tudi pojasnil nastanek slike v cameri obscuri in je raziskoval delovanje človeškega očesa.

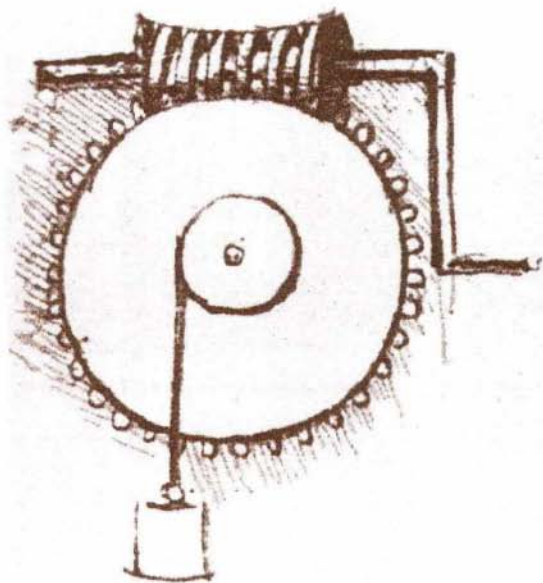
Da Vinci je bila tudi hidravlika, izumil je merilnik višine gladine in narisal številne načrte za kanale. Razmišljal je o vplivu Lune na plimo. Mislil je, da so pojavi kot zvok, svetloba, toplota, magnetizem, vonj osnovani na "nihajočem gibanju". Dotaknil se je dolgotrajnih sprememb na površju Zemlje, npr. nastanka kontinentov. Domneval je, da okamenele školjke daleč od morja pričajo o premikanju zemeljskih skladov.



Slika 3. Najboljša oblika zob zobatih koles.

Leonardo da Vinci je nastopal proti praznoverju in se zavzemal za poskuse: "Poskus je bil učitelj tistih, ki so dobro pisali, v vsakem primeru je moj učitelj." Poskusu je namenil temeljno vlogo, saj je imel modrost za hči poskusa. Razmišljal je o poti od poskusa do znanstvene posplošitve in se zavedal možnosti, da nas čuti lahko prevarajo. Zato je treba poskus ponoviti v spremenjenih okoliščinah: "Preden izpelješ iz posameznega primera splošni zakon, ponovi poskus dvakrat ali trikrat, [da ugotoviš], ali povzročijo eni in isti poskusi ene in iste učinke." Zagotovil je, da je poskus veliko boljši kot razmišljanje in učenje iz knjig, a hkrati opozoril: "To imenujemo praksa, toda upoštevaj, da naj bo pred tem teorija." Vseeno v Leonardovi zapuščini ni najti teorij.

Omeniti moramo še druge da Vincijeve dejavnosti. Imel je zelo natančno oko in osupljive risarske spretnosti. Boljše slike valov na vodni gladini in zračnih mehurčkov v vodi, kot jih je narisal, so dobili šele s hitrimi filmskimi kamerami. Na vprašanja, ki si jih je postavil, je pogosto odgovarjal z risbami. Pri tem so ga pritegnila nova vprašanja, na katera je naletel. Posvetil se jim je, preden je prejšnja do kraja rešil. Na eni strani je tako širil krog zanimanja, a mu je na drugi zmanjkovalo časa.



Slika 4. Prenos s polžem.

Za današnje pojme je bil Leonardo da Vinci presentljivo vsestranski. Ukvarjal se je tudi z umetnostjo in tehniko, ki ji gre v njegovem delu pomembno mesto. Zanimalo ga je delovanje strojev. Med prvimi, če ne prvi, je spoznal, da stroje sestavljajo preprosti deli. Narisal je veliko naprav in strojev, povezanih z naravoslovnimi spoznanji. Njegovi načrti pa so bili dokaj odmaknjeni od tedanjega zanimanja in možnosti. Poleg tega je načrte skrival. Bil je levičar in je pisal v zrcalni pisavi, ki jo je težko brati. Danes poznamo več tisoč Leonardovih tehniških in naravoslovnih risb, le nekaj desetlin umetniških slik in nekaj sto umetniških risb.

V da Vincijevem času med matematiko, naravoslovjem, tehniko in umetnostjo še ni bilo tako izrazitih meja kot danes. Vendar se je ločevanje že začelo in ni jih bilo veliko, ki bi obvladali več dejavnosti hkrati. Da Vinci je bil gotovo eden slednjih.

Pomena bežnih ali nejasnih predlogov ni lahko oceniti. Zato se sodbe o pomenu da Vincijevih tehniških risb precej razlikujejo. Eni zagotavljajo, da njegovi naravoslovni rokopisi niso bili znani do konca 18. stoletja. Vrhu tega naj bi bili načrti v njih zgolj sad domišljije. Drugi zatrjujejo, da je odkril skoraj vse sodobne naprave od oklepnega vozila do strojnice, od letala do helikopterja, od vodne turbine do parnega stroja in od daljnogleda do računalnika. Najbrž je pravi odgovor med obema skrajnostma.

Večina današnjih naravoslovcev in precej tehnikov sprejema stališča, da gre pretežni del zasluge tistemu, ki zamisel izpelje ali nalogo dokončno reši, in le manjši del tistemu, ki rešitev nakaže. Da Vincijeva risba, ki je na glasu kot zasnova helikopterja, se od pravega helikopterja bistveno razlikuje, in to velja tudi za večino drugih risb. Kljub takim pomislekom pa izstopa da Vincijeva vsestranskost in zbudjata občudovanje število in raznovrstnost njegovih predlogov. Posebno imenitna je ugotovitev "to so naredili stoletje ali dve pozneje", ki smo jo tudi mi velikokrat ponovili. Zaradi vsega tega Leonarda da Vincija upravičeno štejemo za enega od ljudi, ki so odločilno sooblikovali iztekajoče se tisočletje.

Janez Strnad

