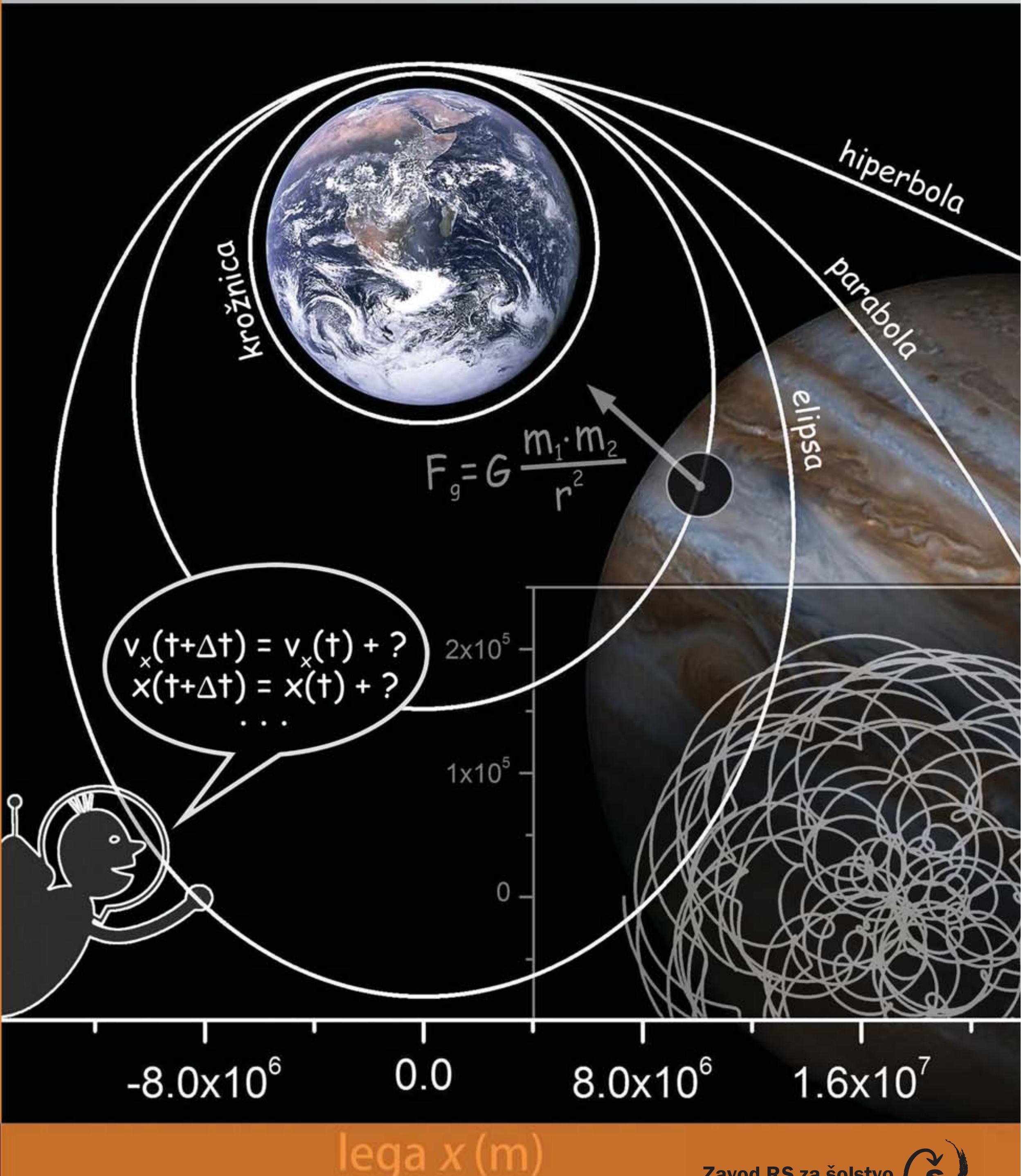
FIZIKA V ŠOLI

www.fizikavsoli.si
letnik XIX, št. 1, september 2013
Poštnina plačana pri pošti 1102 Ljubljana



Zavod RS za šolstvo

FIZIKA V ŠOLI ŠT. 1/2013

VSEBINA

PACS 01.40. –d, 01.50. –i, 01.55. +b

ISSN 1318-6388
FIZIKA V ŠOLI letnik XIX, številka 1, september 2013
Izdajatelj in založnik: Zavod RS za šolstvo
Predstavnik: mag. Gregor Mohorčič
Odgovorni urednik: mag. Tine Golež

Jezikovni pregled: mag. Seta Oblak
Urednica založbe: Simona Vozelj
Oblikovanje: dr. Vladimir Grubelnik
Računalniški prelom in tisk: Littera picta d.o.o.
Naklada: 480 izvodov

Prispevke pošljite na naslov: Zavod RS za šolstvo, Uredništvo revije Fizika v šoli, Poljanska c. 28, 1000 Ljubljana, e-naslov: fizikavsoli@guest.arnes.si.
Naročila: Zavod RS za šolstvo – Založba, Poljanska c. 28, 1000 Ljubljana, faks: 01/30 05 199, e-naslov: zalozba@zrss.si
Letna naročnina (2 številki): 19,50 € za šole in ustanove, 17,25 € za posameznike, 16,50 € za dijake, študente in upokojence. Cena posamezne številke v prosti prodaji je 10,95 €
Revija je vpisana v razvid medijev, ki ga vodi Ministrstvo za kulturo, pod zaporedno številko 570.

Revija Fizika v šoli je v letu 2012 sofinanciralo Ministrstvo za izobraževanje, znanost, kulturo in šport.

Poštnina plačana pri pošti 1102 Ljubljana.

UVODNIK

Janez Strnad se je lotil entropijskega zakona. Čeprav je imel v mislih pristop, ki naj bi bil prilagojen srednji šoli, je tu in tam posegel tudi po integralu. Res je, da zapisa ne bo mogoče kar uporabiti pri pouku, bo pa dobra ponovitev za učitelje in morda tudi pot, kako skupini bolj radovednih dijakov odpreti pogled v kvantitativno razumevanje entropijskega zakona.

Gravitacija je vselej izziv, posebno če dijake napoti do drugih planetov. Najbrž bo to dejstvo pomagalo navdušiti dijake, da se bodo gibanja v homogenem in nehomogenem gravitacijskem polju lotili z diferenčnimi enačbami, saj so diferencialne prehud zalogaj. Naj vas po tej poti povede članek Vladimirja Grubelnika.

Iz prakse za prakso pa je članek o maturitetni vaji. Gre za meritve z zbiralno lečo, ki nas poleg goriščne razdalje privedejo tudi do lomnega količnika leče. Vajo že nekaj let opravljajo moji maturanti. Morda bo prav s to vajo kdo osvežil svoj nabor maturitetnih poskusov za dijake.

Jaka Banko predstavlja nekaj novih materialov, ki vsekakor pritegnejo pozornost učencev. Res je sicer, da fizikalnega ozadja na tej stopnji ne moremo razložiti, so pa take ure primerna dopolnitev tistih, ko se z matematičnim opisom lotimo preprostih in preizkušenih fizikalnih meritev.

Priprava kontrolne naloge je za vestnega učitelja izziv njegovi ustvarjalnosti in mu ni žal ur, ki jih porabi za slikovito preverjanje znanja. Ambrož Demšar je že v letošnjo nalogo vtkal kar precej športa, glede na prihajajoče zimske olimpijske igre pa ga tudi drugo leto ne bo manjkalo.

Še vedno čakamo na srednješolski test. Da bi rubrika preživela to obdobje suše, sem prispeval svoj test. Gotovo bo velika osvežitev, ko bodo bralci spoznali še izdelke za ocenjevanje znanja kakega drugega srednješolskega učitelja, zato pošljite svoj prispevek in nas seznanite z vašim pristopom k sestavljanju, pisanju in ocenjevanju testov.

Nikola Tesla, ki je umrl pred sedemdesetimi leti, je nekaj časa živel tudi na ozemlju današnje Slovenije. V revijo spadajo povezave s fiziko. Ker je šlo za mladostnega Teslo, je Stanislav Južnič opisal delo nekaj njegovih učiteljev in odstrl pogled na tedanjo šolsko fiziko.

Tudi slovenski učitelji so bili povabljeni na mednarodno prireditev za popularizacijo naravoslovja in znanosti nasploh. Bralec poročila, ki ga je napisal Ambrož Demšar, si bo ustvaril primerno sliko o dogodku in slovenski udeležbi.

Tine Golež, urednik

O TOPLOTNIH STROJIH IN ENTROPIJSKEM ZAKONU

Janez Strnad

Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani

Povzetek. *- Razmišljanje srednješolskemu učitelju fizike ponuja nekaj mogočih poti do izkoristka toplotnih strojev in do entropijskega zakona. Pri tem se opre na energijski zakon in na plinsko enačbo, ki ju dijaki poznajo. Kot pomoč vpelje entropijski izrek. Ostaja v okviru termodinamike in ne predre do molekulske slike. Ob tem opozori na nekatere pasti. Sestavlja okostje, ki mu učitelji po svojem premisleku lahko dodajo meso.*

Abstract*.- This deliberation offers to the high school physics teacher some possible ways to the efficiency of thermal engines and the entropy law. It is based on the energy law and the molar gas equation that are known by students. As a remedy the entropy theorem is introduced. It remains within the realm of thermodynamics not progressing to the molecular viewpoint. Thereby the attention is called to some pitfalls. A skeleton is presented to whom flesh can be added by the teacher according to her or his preferences.*

V družbi je pogovor nanesel na ogrevanje in na ceno kurjave z drvmi, premogom, kurilnim oljem, plinom. Nekdo je pripomnil, da je mogoče s temi gorivi poganjati avtomobile. Spomnil se je, kako so med drugo svetovno vojno, ko je primanjkovalo bencina, za pogon tovornjakov uporabljali lesni plin. Za kabino je bil kotel, v katerem so kake pol ure pred vožnjo zakurili majhen ogenj. Pri suhi destilaciji drobno narezanih polen je nastal plin, ki je poganjal avtomobil. Drugi je dodal, da je mogoče dieselske stroje poganjati s kurilnim oljem, a da je to prepovedano. Tretji je omenil, da avtomobili uporabljajo tudi rastlinsko olje in da se nekateri bojijo, da bo zaradi tega primanjkovalo hrane. Potem se je pogovor obrnil k izkoristku. Peč na drva, premog, kurilno olje ali plin ne izkoristi vse toplote, ki se sprosti ob sežigu. Nekaj je zgoreli plini odnesejo skozi dimnik. Del teh izgub je neizogiben, ker bi dimnik ne vlekel, če ne bi zaradi segretih plinov nastala tlačna razlika med vratci peči in vrhom dimnika. Kaj pa izkoristek strojev, ki poganjajo avtomobile ali generatorje v elektrarnah? Znatno manjši je kot 1. Elektrarne izkoristijo le približno tretjino dovedene tolote, avtomobili še manj. S preostankom toplote obremenjujejo okolje. Mehanični stroji, na primer vodne turbine, imajo veliko večji izkoristek. Ali je mogoče preprosto pojasniti to razliko?

PREPROSTO DO IZKORISTKA

Na kar se da preprosti poti do izkoristka toplotnih strojev izhajamo iz *energijskega zakona* ali *prvega zakona termodinamike*. V termodinamiki se navadno ne oziramo na kinetično in potencialno energijo in se notranja energija W_n termodinamičnega sistema poveča za dovedeno delo A in dovedeno toploto Q:

$$\Delta W_n = A + Q \tag{1}$$

Delo in toplota sta pozitivna, če ju sistemu dovedemo, da se notranja energija poveča, in negativna, če ju sistem odda in se notranja energija zmanjša. Omejimo se na pline. Pri plinih je *enačba stanja*, to je zveza med osnovnimi termodinamičnimi spremenljivkami temperaturo T, tlakom p in prostornino V preprosta. Pri majhnem tlaku in pri temperaturi dovolj nad vreliščem se vsi plini vedejo približno kot *idealni plin*, za katerega velja *plinska enačba*:

$$pV = \frac{m}{M} RT \tag{2}$$

m je masa plina, M masa mola in R plinska konstanta.

Zamislimo si, da se plin iz dela toplotno izolirane posode z zmernim tlakom razširi v drugi del posode z zanemarljivo majhnim tlakom. Potem ko zamrejo tokovi in se vzpostavi razvnovesno stanje, je temperatura prav tolikšna kot na začetku. Delo, ki ga opravi plin, ko se mu pri tlaku p spremeni prostornina za ΔV, izračunamo z enačbo $A = -p\Delta V$. Negativni znak upošteva, da plin delo prejme, ko se mu zmanjša prostornina, in ga odda, ko se prostornina poveča. Plin v prvem delu posode ne opravi dela, ko se razširi v prostor z zanemarljivo majhnim tlakom. Z okolico ne izmenja nič toplote. Zato se mu ne spremeni notranja energija, čeprav se prostornina poveča, tlak pa zmanjša. Iz tega izhaja, da notranja energija idealnega plina ni odvisna od tlaka in prostornine, ampak samo od temperature: $W_n = W_n(T)$. Pri spremembi, pri kateri se ne spremeni prostornina, je dovedeno delo enako 0 in se notranja energija spremeni za dovedeno toploto $\Delta W_n = Q_V = mc_V\Delta T$. Koeficient c_V je specifična toplota pri konstantni prostornini. Pri spremembi, pri kateri se ne spremeni tlak, je dovedena toplota $Q_p = mc_p\Delta T$ s specifično toploto pri konstantnem tlaku c_p. Pri tej spremembi je treba upoštevati tudi dovedeno delo. Po energijskem zakonu je: $mc_V\Delta T = mc_p\Delta T - p\Delta V = mc_p\Delta T - (m/M)\, R\Delta T$.

Enačba $\Delta W_n = mc_V\Delta T$ namreč velja za idealni plin pri vsaki spremembi, saj notranja energija ni odvisna ne od tlaka ne od prostornine. Medtem pri drugih snoveh zapisana enačba velja samo pri konstantni prostornini. Spremembo prostornine pri konstantnem tlaku smo s plinsko enačbo izrazili s spremembo temperature: $p\Delta V = (m/M)R\Delta T$. Po krajšanju z $m\Delta T$ preostane:

$$c_p - c_V = (R/M) \tag{3}$$

Specifična toplota pri konstantnem tlaku je večja kot specifična toplota pri konstantni prostornini. Razmerje med specifičnima toplotama vpeljemo kot $c_p / c_V = \kappa > 1$. Pri plinih z dvema atomoma v molekuli, na primer pri dušiku in kisiku, ki sestavljata zrak, je $\kappa = 7/5 = 1{,}4$.

Najprej naredimo s plinom izotermno spremembo iz začetnega stanja p', V', T' v končno stanje p, V, T. Pri tem je $T' = T$. Po zakonu se notranja enegija ne spremeni in je dovedena toplota enaka oddanemu delu:

$$Q = -A = p'(V-V') = p'V'\,\frac{(V-V')}{V'} = \left(\frac{m}{M}\right) RT \left(\frac{V}{V'} - 1\right) \qquad (4).$$

Sprememba prostornine $V - V'$ naj bo tako majhna v primerjavi s prostornino V', da ni treba upoštevati spremembe tlaka. Nato naredimo adiabatno spremembo, to je spremembo s toplotno izoliranim plinom, iz začetnega stanja p, V, T v končno stanje p_1, V_1, T_1. Pri tem se ne prenese nič toplote in se po energijskem zakonu notranja energija spremeni za dovedeno delo:

$$mc_V(T_1 - T) = -p(V_1 - V) = -pV\,\frac{(V_1 - V)}{V} = -m(c_p - c_V)T\left(\frac{V}{V'} - 1\right).$$

Upoštevali smo enačbo (3). Zopet naj bo sprememba prostornine $V_1 - V$ zelo majhna v primerjavi z začetno prostornino V. Potem je tudi sprememba temperature $T_1 - T$ majhna v primerjavi z začetno temperaturo T. Relativna sprememba temperature je:

$$\left(\frac{T_1}{T}\right) - 1 = -(\kappa - 1)\left(\frac{V_1}{V} - 1\right). \qquad (5)$$

Sledi majhna izotermna sprememba iz začetnega stanja p_1, V_1, T_1 v končno stanje p_1', V_1', T_1', ko je $T_1' = T_1$. Dobimo enačbo, podobno (4):

$$Q_1 = \left(\frac{m}{M}\right) RT_1 \left(\frac{V_1'}{V_1} - 1\right). \qquad (4')$$

Nazadnje z majhno adiabatno spremembo iz začetnega stanja p_1', V_1', T_1' dosežemo prvotno stanje p', V', T'. V tem primeru velja enačba, podobna (5):

$$\left(\frac{T_1'}{T'}\right) - 1 = -(\kappa - 1)\left(\frac{V_1'}{V'} - 1\right). \qquad (5')$$

Ker velja $T' = T$ in $T_1' = T_1$, je po enačbah (5) in (5') $V_1 / V = V_1'/V'$. Tako enačbo (4) delimo z enačbo (4'), da preostane:

$$\frac{Q}{|Q_1|}=\frac{T}{T_1}, \quad \frac{Q}{T}+\frac{Q_1}{T_1}=0 \quad \text{in} \quad \frac{-Q_1}{Q}=\frac{|Q_1|}{Q}=\frac{T_1}{T}. \tag{6}$$

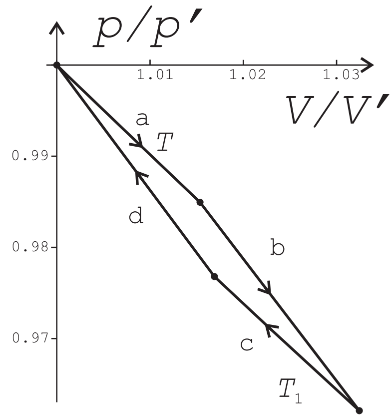
V celoti smo naredili *krožno spremembo*, pri kateri se končno stanje ujema z začetnim. Med adiabatnima spremembama sistem ne dobi ali odda nič toplote. Med prvo izotermno spremembo sistem prejme toploto Q in med drugo izotermno spremembo odda toploto $-Q_1 = |Q_1|$. Računali smo za majhne spremembe tlaka, prostornine in temperature, a zveza (6) ne vsebuje teh majhnih sprememb in velja splošno. Pomembno vlogo je imela pri vpeljavi absolutne temperature. V mednarodnem sistemu enot SI je sestavni del definicije enote za temperaturo, kelvina.

Z enačbo (6) izračunamo izkoristek toplotnega stroja, ki ga vpeljemo kot razmerje med oddanim delom $-A = |A| = Q+Q_1 = Q - |Q_1|$ in dovedeno toploto Q kot:

$$\eta = -\frac{A}{Q}=\frac{|A|}{Q}=1-\frac{|Q_1|}{Q}=1-\frac{T_1}{T}. \tag{7}$$

Opisano krožno spremembo imenujemo po Sadiju Carnotu, ki je leta 1824 v knjižici *Razmišljanja o gibalni moči ognja in o strojih, prirejenih za izkoriščanje te moči* vse toplotne stroje obravnaval z enotnega stališča (“gibalna moč ognja” ustreza današnjemu delu). V toplotnih strojih je videl gonilo razvoja, ker “bodo povzročili velik preobrat v civiliziranem svetu” in bodo “industriji omogočili napredek, katerega celotni obseg je komaj mogoče napovedati”. Skrbelo ga je, da Francija pri razvoju toplotnih strojev ne bi preveč zaostala za Anglijo. Delovanje toplotnega stroja je primerjal z delovanjem mlinskega kolesa. Masa vode m, ki pade z višine z na višino z_1, opravi delo $-A = |A| = mg(z - z_1)$. Predstavljal si je, da toplota Q opravi delo $-A = |A| = konst \cdot Q(T - T_1)$, “ko pade s temperature T na temperaturo T_1”. “Ne zadostuje sprostitev toplote, ampak si moramo priskrbeti tudi mraz, brez njega je toplota nekoristna.” Carnotovo delo v času, v katerem energijskega zakona še niso poznali v celoti, je vredno občudovanja. Zaradi njega naj bi “fizika od toplotnih strojev dobila več kot toplotni stroji od fizike”. Čeprav si je zamislil krožno spremembo, pa se ni v polni meri zavedal njene vloge. Primerjava z mlinskim kolesom je bila sicer pomembna, a je spregledala dejstvo, da toplotni stroj deluje periodično in ponavlja krožno spremembo.

V nekem slovenskem srednješolskem učbeniku preberemo: “Notranje energije snovi ni mogoče v celoti spremeniti v delo.” Trditev nasprotuje energijskemu zakonu. Kot vsako drugo energijo je mogoče tudi notranjo energijo v celoti spremeniti v delo. Pomislimo na adiabatne spremembe. Trditev pa velja za toplotne stroje, ki ponavljajo krožno spremembo. Prav v tem smemo videti vzrok za njihov majhen izkoristek.



Slika 1. Diagram pV za majhno Carnotovo krožno spremembo a – b - c - d z idealnim plinom s $\kappa = 1{,}4$. Med spremembo a pri temperaturi $T = 300$ K je dovedena toplota Q, med spremembo c pri temperaturi $T_1 = 298$ K pa odvedena toplota $-Q_1 = |Q_1|$. Spremembe tlaka in prostornine so tako majhne, da na diagramu izoterm $pV = konst.$ in adiabat $pV^\kappa = konst.$ ne moremo razločiti od ravnih črt. Izkoristku ustreza razmerje ploščine paralelograma krožne spremembe in ploščine trapeza med izotermo T, obema ordinatama in odseka na osi V. Delo pri krožni spremembi je $-A_{kr} = \oint pdV$.

HITREJE DO IZKORISTKA

Računi postanejo preglednejši, če se ne ustrašimo integriranja in naravnih logaritmov. Enačbo (4) predelamo za diferencialno spremembo: $dQ = pdV = (m/M)RTdV/V$ in jo integriramo od V' do V pri $T = konst.$:

$$Q = \left(\frac{m}{M}\right) RT \ln\left(\frac{V}{V'}\right). \tag{8}$$

Tudi enačbo (5) predelamo za diferencialno spremembo:

$mc_V dT = -pdV = (m/M)RTdV/V$ delimo s T in enačbo $dT/T = (\kappa-1)dV/V$ integriramo od V do V_1 in od T do T_1:

$$\ln\left(\frac{T_1}{T}\right) = -(\kappa-1)\ln\left(\frac{V_1}{V}\right) = \ln\left(\frac{V}{V_1}\right)^{\kappa-1}.$$

Iz tega razberemo, da za adiabatno spremembo velja zveza: $TV^{\kappa-1} = konst$. Adiabatni spremembi povežeta enačbi $TV^{\kappa-1} = T_1V_1^{\kappa-1}$ in $T'V'^{\kappa-1} = T_1'V_1'^{\kappa-1}$. Ker je $T = T'$ in $T_1 = T_1'$, takoj sledi $V/V' = V_1/V_1'$. Deljenje enačb (8) da potem $Q/T = |Q_1|/T_1$. Če upoštevamo, da je po plinski enačbi T/V sorazmerno s p, sledi:

$$pV^\kappa = konst. \tag{9}$$

Zgodovina enačbe (9) je povezana s hitrostjo zvoka v plinu. Isaac Newton je leta 1687 za hitrost zvoka navedel enačbo $c_N = \sqrt{p/\rho}$ z gostoto plina ρ, kar danes zapišemo kot $c_N = \sqrt{RT/M}$. Postopno so merjenja dala večjo hitrost. Ponudili so več razlag, tako da je nastala prava zmeda [4]. Pierre Simon de Laplace je v letih 1816, 1821 in 1823 po treh različnih nenavadnih poteh izpeljal enačbo (9) in pravo hitrost zvoka $c = \sqrt{\kappa} c_N$. Enačba (9)je postala znana s teorijo valovanja v plinu Simeona Denisa Poissona, zato jo včasih imenujejo po njem. Kljub ugledu Laplace ni prepričal sodobnikov - danes vemo, da utemeljeno. S časom so spoznali, da je eksponent κ povezan z razmerjem specifičnih toplot. Carnot leta 1824 in Emile Clapeyron, ki je leta 1834 podrobneje raziskal krožne spremembe, enačbi nista zaupala in zato nista podrobno obvladala adiabatnih sprememb. Enačbo je šele leta 1850 zares utemeljil Rudolf Clausius z energijskim zakonom za pline po podobni poti kot mi.

Učitelj naj presodi, ali je vredno ubrati pot brez integriranja. Pri tem je pomembno, da upošteva, koliko dijaki obvladajo integriranje. Na drugi strani je vredno imeti pred očmi zaključek Victorja F. Weisskopfa. Njegovemu prijatelju, ki se je močno zanimal za naravo, so "preprosti matematični koraki kot brezkončni nizi logičnih korakov pregnali vsako navdušenje" [3]. Enačbi (8) in (9) je mogoče vpeljati kot eksperimentalni izkušnji, četudi dijaki še niso vešči integriranja. Omenili smo, da so z enačbo (9) tako ravnali v razvoju fizike.

Zanimiv zgled je *stroj na stisnjen zrak*, ki ne ponavlja krožne spremembe [1]. V začetnem stanju je zrak v jeklenki pri velikem tlaku p'. Pri prehodu skozi stroj zrak opravi delo in se razpne do manjšega tlaka p v okolici. Vzemimo, da bi bila sprememba reverzibilna in temperatura konstantna. Stroj bi po enačbi (8) oddal delo:

$$A = -Q = -\int p dV = -\int \left(\frac{m}{M}\right) RT \left(\frac{dV}{V}\right) = -\left(\frac{m}{M}\right) RT \ln\left(\frac{p'}{p}\right).$$

Izkoristek bi bil $-A/Q=1$. Dejanski izkoristek je manjši, ker sprememba ni reverzibilna in ni izotermna, a ni vezan na omejitev zaradi krožne spremembe. Delovanje stroja spominja na delovanje Carnotovega mlinskega kolesa.

Tudi človeško telo ni toplotni stroj [1], [2]. V mišicah potekajo zapletene spremembe. Izkoristek pri tem lahko preseže 20%. V toplotnem stroju, ki bi ponavljal krožno spremembo, bi morala višja temperatura doseči okoli 100° C, če ima okolica sobno temperaturo. Delovanje človeškega telesa je bolje primerjati z električno baterijo, ki jo sproti polnimo.

ENTROPIJSKI IZREK IN ENTROPIJSKI ZAKON

Količina Q/T, ki iz rezervoarja z višjo temperaturo med prvo izotermno spremembo v Carnotovi krožni spremembi preide v stroj, se ujema s količino $-Q_1/T_1$, ki iz stroja med drugo izotermno spremembo preide v rezervoar z nižjo temperaturo. Pri prehodu iz stanja p', V', T' v stanje p_1', V_1', T_1' je sprememba:

$$\Delta S = Q/T \tag{10}$$

odvisna samo od končnega in začetnega stanja, a ni odvisna od vmesnih stanj. Zaradi tega smemo vpeljati *entropijo* S kot *funkcijo stanja* ali *termodinamično spremenljivko*, to je enolično funkcijo osnovnih termodinamičnih spremenljivk. Toplota Q in delo A nista termodinamični spremenljivki. Pri prehodu med začetnim in končnim stanjem dovedeno delo in dovedena toplota nista odvisna samo od začetnega in končnega stanja, ampak tudi od vmesnih stanj. Notranja energija pa je termodinamična spremenljivka, zato je njena sprememba pri krožni spremembi enaka 0. Prav to je značilno za termodinamično spremenljivko. Iz energijskega zakona za krožno spremembo: $0 = \Delta W_n = A_k + Q_k$ izhaja $Q_k = -A_k$. Enačba (10) velja za vsako spremembo, ker vsako spremembo lahko sestavimo iz samih majhnih izotermnih in adiabatnih sprememb. Med adiabatno spremembo se ne prenese nič toplote, med izotermno spremembo i pa se pri temperaturi T_i prenese toplota Q_i. Sprememba entropije pri krožni spremembi je:

$$\Delta S_{kr} = \textstyle\sum_{kr} Q_i/T_i = 0. \tag{11}$$

Majhno dovedeno toploto Q_i je mogoče nadomestiti z dQ in vsoto z integralom. Pri prehodu iz začetnega v končno stanje je sprememba entropije:

$$\Delta S = \textstyle\sum_i Q_i/T_i\ . \tag{12}$$

To enačbo imenujmo *izrek o entropiji*. Ali velja splošno?

Zakon je splošnejši od izreka, čeprav zakonov in izrekov v fiziki ne razločujemo tako ostro kot v matematiki. Odpirata se dve mogoči poti. Na prvi najprej spoznamo izrek, ki ga potem na podlagi dodatnih eksperimentalnih spoznanj posplošimo v zakon. Pri drugi se najprej dokopljemo do zakona in sledi izrek kot poseben primer. V srednji šoli je pogostejša prva pot, na univerzi pa druga.

Izkušnja kaže, da izrek (12) ne velja splošno. Spremembe, za katere velja, razglasimo za *reverzibilne spremembe*. Spremembe, za katere ne velja, so *ireverzibilne spremembe*. Začasno s tem ireverzibilne spremembe razločimo od reverzibilnih. Vzemimo za zgled razpenjanje plina v prostor z zanemarljivo majhnim tlakom. Zamislimo si kot *nadomestno reverzibilno spremembo* izotermno razpenjanje plina, ki vodi iz enakega začetnega stanja v enako končno stanje. Entropija je enolična funkcija stanja in njena sprememba je odvisna samo od končnega in začetnega stanja. Če imata dve spremembi enaki začetni in končni stanji, sta tudi spremembi entropije enaki. Po enačbi (4) je pri nadomestni reverzibilni spremembi $\Delta S > 0$. Pri ireverzibilnem razpenjanju se ne prenese nič toplote, tako da bi po izreku (12) pričakovali $\Delta S = 0$. To kaže, da velja za ireverzibilne spremembe:

$$\Delta S > \sum_i Q_i / T_i \,. \tag{13}$$

To z izrekom (12) združimo v *entropijski zakon* ali *drugi zakon termodinamike*:

$$\Delta S \geq \sum_i Q_i / T_i \,. \tag{14}$$

Izrek in spodnji znak zadevata idealizirane - reverzibilne - spremembe, zakon in zgornji znak pa dejanske - ireverzibilne - spremembe. Spremembo entropije v toplotno izoliranih sistemih $S \geq 0$ lahko uporabimo kot mero za ireverzibilnost.

Entropijski izrek smo vpeljali, da bi poudarili, kako je reverzibilne spremembe mogoče zajeti z energijskim zakonom in enačbo stanja. Za dijake utegne biti laže, če najprej obvladajo ohranitev entropije pri reverzibilnih spremembah. Potem entropijski izrek razširimo v entropijski zakon, po katerem pri ireverzibilnih spremembah entropija nastaja iz nič. Povezava entropijskega zakona in entropijskega izreka spominja na povezavo energijskega zakona in izreka o kinetični in potencialni energiji.

Z entropijskim zakonom izračunajmo izkoristek toplotnega stroja: $-A_{kr}/Q_i$. Namesto izkoristka po entropijskem izreku $(Q-|Q_1|)/Q = 1-T_1/T$ dobimo po zakonu izkoristek $\eta<1-T_1/T$. Vzrok za to je ireverzibilnost sprememb v dejanskih toplotnih strojih. Ne smemo zamolčati, da obstaja še drugi vzrok, ki ni povezan z ireverzibilnostjo. Dejanski stroji namreč prejemajo toploto pri temperaturi, ki je nižja od T, in jo oddajajo pri temperaturi, ki je višja od T_1. Trditev, da je majhen izkoristek "posledica ireverzibilnosti", potemtakem zavaja. Približno polovica ali nekaj več toplote, ki jo dejanski toplotni stroj odvede v okolico, je posledica krožnega reverzibilnega delovanja, preostali del pa gre na račun obeh omenjenih pojavov, reverzibilnega dovajanja toplote pri nižji in odvajanja pri višji temperaturi ter ireverzibilnosti. Tudi trditev, da ni mogoč *perpetuum mobile druge vrste*, to je reverzibilno delujoč stroj pri vseskozi konstantni temperaturi, izhaja iz entropijskega izreka. Iz $0 = \sum_i Q_i/T_i = Q/T$ sledi $A_{kr}=0$. Za ta primer da entropijski zakon $A_{kr}<0$. Izkoristek bloka 5 z močjo 345 MW Toplotne elektrarne Šoštanj ima Carnotov izkoristek 63% in dejanski izkoristek 33%. Pri tem gre okoli 10% električne moči za lastno rabo stroja. Carnotov izkoristek Nuklearne elektrarne Krško z močjo 696 MW je 47%, dejanski izkoristek pa 35%.

Ireverzibilnim spremembam kaže posvetiti precej pozornosti, ker obvladujejo pojave v naravi. Zamislimo si pojave, ki se približajo ustreznim reverzibilnim pojavom. Pri prenosu toplote pa naletimo na težave, ki jih ne smemo zamolčati. Če naj toplota prehaja s telesa na telo pri obrnjeni spremembi reverzibilno, se morata temperaturi teles razlikovati za zelo majhno razliko, tako majhno, da je ne moremo izmeriti. Potem si lahko mislimo, da z zelo majhno spremembo temperature toplotni tok s telesa na telo preusmerimo. Zelo majhna temperaturna razlika poganja zelo majhen toplotni tok. Za prenos končne toplote potrebujemo zato zelo dolgo časa. Reverzibilni pojavi s prenosom toplote so zato zelo počasni in trajajo zelo dolgo. Iz tega izhaja pomembno spoznanje, da bi imel stroj, ki bi ponavljal Carnotovo krožno spremembo, zelo majhno moč. Od delujočega toplotnega stroja pa zahtevamo precejšnjo moč. Carnotov toplotni stroj je potemtakem idealizacija z omejenim praktičnim pomenom [5]. Na drugi strani naštejemo izrazito ireverzibilne pojave. Mednje sodijo poleg razpenjanja plina v prostor z zmanjšanim tlakom vsi transportni pojavi, to je prehod snovi, gibalne količine in notranje energije - difuzija, viskoznost, toplotno prevajanje, - trenje, neprožna deformacija trdnih teles, upor, strditev podhlajene in izparitev pregrete kapljevine, električni tok, magnetna histereza.

Smiselno je navesti nekaj oblik entropijskega zakona iz razvoja fizike [6]. Razviti termodinamični pogled je smiselno dopolniti z molekulsko sliko [6], [7], ker je entropijski zakon statistična izjava - za razliko od energijskega zakona, ki velja pri termodinamičnem opisu in pri pojavih med posameznimi molekulami.

Po opisani poti dijaki najprej usvojijo spoznanje, da je entropija termodinamična količina, to je enolična funkcija stanja, in izračunajo njene spremembe po neposredno merljivih podatkih. To ne nasprotuje razširjenemu prepričanju, da je na univerzi potreben mikroskopski pogled na entropijski zakon [7].

LITERATURA

[1] R. W. Pohl, *Mechanik, Akustik und Wärmelehre*, Springer, Berlin 1955, str. 328.

[2] J. Strnad, *Človeška moč*, Presek **26** (1998/99) 2-7.

[3] V. F. Weisskopf, *Is physics human*, Phys. Education **11** (1976) 75.

[4] J. Strnad, *Hitrost zvoka v zraku in razmerje specifičnih toplot*, Obzornik mat. fiz. **45** (1998) 123-129.

[5] J. Strnad, *Ali sodi entropijski zakon v srednjo šolo?*, Vzgoja in izobraževanje **18** (1987) 14-22.

[6] J. Strnad, *O toplotnih strojih*, Obzornik mat. fiz. **60** (2013) 24-30

[7] F. Reif, *Thermal physics in the introductory physics course: Why and how to teach it from a unified atomic perspective*, Am. J. Phys. **67**, 1051-1062 (1999) in drugi članki v tem zvezku, ki je posvečen "termični in statistični fiziki".

MATEMATIČNO MODELIRANJE GIBANJA TELES POD VPLIVOM GRAVITACIJSKE SILE

Vladimir Grubelnik

Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru

Povzetek: *V prispevku obravnavamo matematično modeliranje gibanja teles pod vplivom gravitacijske sile. Zapišemo matematični model in izvedemo numerično simulacijo za različne primere. Obravnavamo poseben primer gibanja v homogenem gravitacijskem polju, gibanje teles okoli fiksne točke in gibanje teles okoli skupnega težišča.*

Abstract: *In the paper, mathematical modelling of bodies influenced by the gravitational force is discussed. The mathematical model is formulated and the numerical simulation is performed for different examples. The case of the motion of a body in homogeneous gravitational field, the motion of bodies around the fixed point, and the motion of bodies around the common center of mass is described.*

UVOD

Obravnavo gibanja teles pod vplivom gravitacijske sile lahko zasledimo na različnih stopnjah izobraževanja. S pojmom gravitacijske sile se učenci srečajo že v osnovni šoli pri pouku fizike [1]. Pri enakomerno pospešenem gibanju obravnavajo tudi prosti pad, kot posledico delovanja teže [2]. V srednji šoli to nadgradijo z vodoravnim metom in kroženjem nebesnih teles v gravitacijskem polju [3].

V nadaljevanju se bomo osredotočili na posamezne primere gibanja teles pod vplivom gravitacijske sile, kjer bomo izpostavili tire teles pri treh različnih pogojih. Obravnavali bomo gibanje teles v homogenem gravitacijskem polju, kjer je tir gibanja parabola oziroma premica [3,4], gibanje nebesnih teles okoli fiksne točke, kjer je tir gibanja ustrezna stožnica (krožnica, elipsa, parabola, hiperbola) [4,5], in gibanje teles okoli skupnega težišča.

Omenjeni primeri so sicer analitično rešljivi, vendar za obravnavo na področju izobraževanja v osnovni in srednji šoli običajno prezahtevni. V nadaljevanju se bomo zato osredotočili na možnost obravnave omenjenih primerov z vidika numeričnega reševanja diferenčnih enačb. Na podlagi gravitacijske sile in II. Newtonovega zakona [3] bomo zapisali osnovni matematični model, ki ga bomo v nadaljevanju v okviru posameznih primerov ustrezno dopolnili.

Numerično simulacijo bomo izvedli z uporabo preproste Eulerjeve metode [6], kjer diferencialne enačbe zapišemo v diferenčni obliki. Diferencial dx/dt nadomestimo z $\Delta x/\Delta t=(x(t+\Delta t)-x(t))/\Delta t$, kjer vrednosti količine $x(t)$ računamo po časovnih korakih Δt. Pri tem si pomagamo s tabelarično orientiranimi računalniškimi programi, kot je Microsoft Excel [7], oziroma z grafično orientiranimi računalniškimi programi [8, 9], ki na pregleden in enostaven način omogočajo izgradnjo in simulacijo dinamičnih sistemov.

MATEMATIČNI MODEL

Zapisati želimo osnovni matematični model, ki bo opisoval gibanje dveh teles pod vplivom gravitacijske sile. Zaradi enostavnosti se bomo omejili na gibanje v ravnini. Velikost gravitacijske sile, s katero se privlačita telesi z masama m_1 in m_2, je [3]:

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \tag{1}$$

pri čemer je r razdalja med težiščema teles in G gravitacijska konstanta, katere vrednost je $G=6{,}67 \cdot 10^{-11} m^3/kgs^2$. Zaradi delovanja gravitacijske sile $\vec{F}_g$, ki deluje na telo z maso m_1, in sile $-\vec{F}_g$, ki deluje na telo z maso m_2 (slika 1), se telesi gibljeta s pospeškoma $\vec{a}_1=\vec{F}_g/m_1$ in $\vec{a}_2=-\vec{F}_g/m_2$. Za prvo (i=1) in drugo (i=2) telo lahko iz pospeška $\vec{a}_i$ in hitrosti $\vec{v}_i$, ki sta definirana kot:

$$\vec{a}_i=d\vec{v}_i/dt,\ \vec{v}_i=d\vec{r}_i/dt, \tag{2a, b}$$

izračunamo tir gibanja $\vec{r}_i(t)$.

Z namenom numeričnega reševanja diferencialnih enačb (2a in 2b) z uporabo preproste Eulerjeve metode ($dx/dt=\Delta x/\Delta t=(x(t+\Delta t)-x(t))/\Delta t$,[6]) zapišimo enačbe po posameznih komponentah v diferenčni obliki:

$$v_{x,i}(t+\Delta t)=v_{x,i}(t)+a_{x,i}(t) \cdot \Delta t, \tag{3a}$$

$$v_{y,i}(t+\Delta t)=v_{y,i}(t)+a_{y,i}(t) \cdot \Delta t. \tag{3b}$$

$$x_i(t+\Delta t)=x_i(t)+v_{x,i}(t) \cdot \Delta t, \tag{3c}$$

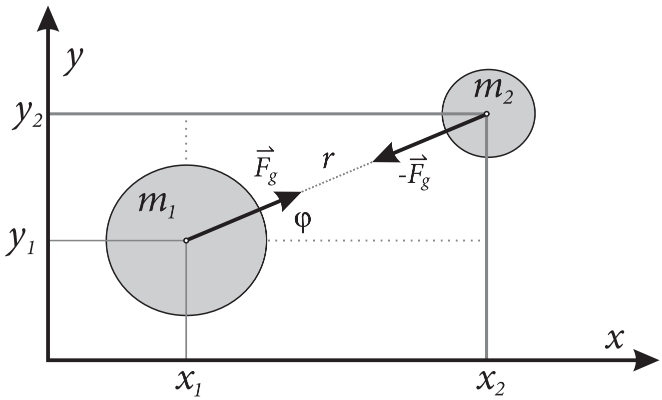
$$y_i(t+\Delta t)=y_i(t)+v_{y,i}(t) \cdot \Delta t, \tag{3d}$$

kjer je pospešek gibajočega se telesa po posameznih koordinatah ($a_{x,i}$, $a_{y,i}$) posledica delovanja gravitacijske sile na prvo (i=1) in drugo (i=2) telo (glej sliko 1):

$$a_{x,1}= \frac{F_g}{m_1} \cdot \cos\varphi = Gm_2 \frac{x_2 - x_1}{r^3},\ a_{y,1}= \frac{F_g}{m_1} \cdot \sin\varphi = Gm_2 \frac{y_2 - y_1}{r^3}. \tag{4a, b}$$

$$a_{x,2}= -\frac{F_g}{m_2} \cdot \cos\varphi = -Gm_1 \frac{x_1 - x_2}{r^3},\ a_{y,2}= -\frac{F_g}{m_2} \cdot \sin\varphi = -Gm_1 \frac{y_2 - y_1}{r^3}, \tag{4c, d}$$

$$r = \sqrt{(x^2 - x^1)^2 + (y^2 - y^1)^2}. \tag{5}$$



Slika 1: Prikaz gravitacijske sile med telesoma z masama m_1 in m_2, katerih težišči sta oddaljeni za r.

S tem prevedemo sistem diferencialnih enačb (2a, b) na sistem preprostih algebrajskih enačb (3a–3d), ki ob upoštevanju enačb (4a–4d) ter ustreznih začetnih pogojev $x_1(0)$, $y_1(0)$, $v_{x,1}(0)$, $v_{y,1}(0)$, $x_2(0)$, $y_2(0)$, $v_{x,2}(0)$, $v_{y,2}(0)$ določajo hitrost in lego gibajočih se teles v nekem trenutku. Pri tem velja omeniti, da se telesi z masama m_1 in m_2 gibljeta okoli skupnega težišča [4].

Simulacijo enačb (3a–3d) si lahko časovno skrajšamo s pomočjo računalnika. Uporabimo lahko tabelarično orientirane računalniške programe, kot je Microsoft Excel, ki z vnosom enačb omogoča izračun posameznih vrednosti po časovnih korakih (Δt) v obliki tabele.

GIBANJE TELES V HOMOGENEM GRAVITACIJSKEM POLJU

Najprej si oglejmo najpreprostejši primer, kjer sta masa in velikost prvega telesa precej večji od drugega ($m_1 >> m_2$). Ob upoštevanju, da njuno skupno težišče miruje, je gibanje prvega telesa zanemarljivo. Predpostavimo še, da so premiki drugega telesa zanemarljivi v primerjavi z razsežnostjo prvega telesa. V tem primeru lahko predpostavimo, da se drugo telo giblje v homogenem gravitacijskem polju prvega telesa:

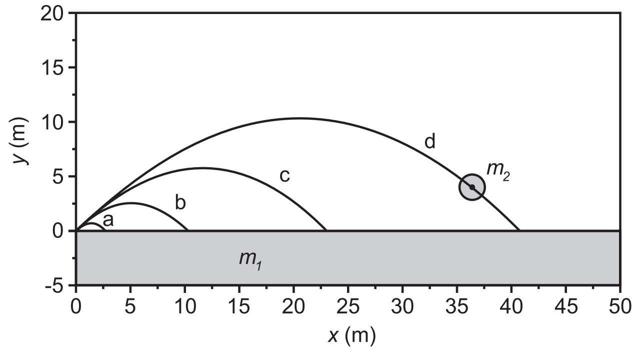
$$F_g = \frac{G m_1 m_2}{r^2} = m_2 g. \tag{6}$$

Z zgoraj omenjenimi predpostavkami se sistem diferenčnih enačb (3a–3d) reducira le na drugo telo, enačbi (4c, d) pa lahko zapišemo kot:

$$a_{x,2} = 0,\ a_{y,2} = -g. \tag{7a, b}$$

Na sliki 2 so prikazani rezultati simulacije (enačbe 3a–3d) za različne začetne pogoje in pospešek $g = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$. Na sliki lahko vidimo, da je tir gibanja parabola, kar poznamo že iz analitične rešitve, zapisane v parametrični obliki [4]:

$$x = v_0 \cos(\varphi_0)t,\ y = v_0 \sin(\varphi_0)t - gt^2/2. \qquad \text{(8a, b)}$$



Slika 2: Rezultati simulacije (3a–3d) z računalniškim programom Microsoft Excel [7] za $m_1 >> m_2$ *indane parametre:* $x_{0,2}=0$, $y_{0,2}=0$, $v_{0x,2}=v_0\cos(\varphi_0)$, $v_{0y,2}=v_0\sin(\varphi_0)$, $\varphi_0=45°$, $a_{x,2}=0$, $a_{y,2}= -9{,}81\ \mathrm{m/s}$. **a)** $v_0=5\ \mathrm{m/s}$, **b)** $v_0=10\ \mathrm{m/s}$, **c)** $v_0=15\ \mathrm{m/s}$, **d)** $v_0=20\ \mathrm{m/s}$.

GIBANJE TELES OKOLI FIKSNE TOČKE

Kadar je eno telo precej masivnejše od drugega, se njuno skupno težišče nahaja v središču masivnejšega telesa, kar pomeni, da lahko gibanje masivnejšega telesa zanemarimo in obravnavamo gibanje lažjega telesa okoli fiksne točke.

Kot primer takšnega gibanja si bomo ogledali gibanje satelitov okoli Zemlje [3,4] v primeru, da je masa m_2 satelita zanemarljiva v primerjavi z maso Zemlje ($m_1=6 \cdot 10^{24}\ \mathrm{kg}$). Na satelit, ki kroži okoli Zemlje, deluje radialni pospešek (a_r), ki je enak gravitacijskemu pospešku. Na površju Zemlje je ta $g_0 = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$. Ob upoštevanju, da je radialni pospešek $a_r = v_2/r_0$, kjer je *v* hitrost satelita in r_0 polmer Zemlje ($r_0=6378\ \mathrm{km}$ [10]), dobimo hitrost, ki bi jo moral imeti satelit, če bi krožil okoli Zemlje tik nad njenim površjem. To hitrost imenujemo prva kozmična hitrost in je dana z enačbo [3, 4, 11]: $v_\mathrm{I} = \sqrt{g_0 r_0} = 7{,}9\ \mathrm{km/s}$.

Ko satelite izstrelimo v krožne tirnice na določeno oddaljenost od površja Zemlje (h), je zahtevana krožilna hitrost satelitov, zaradi zmanjšanja gravitacijskega pospeška, manjša od prve kozmične hitrosti. Ob upoštevanju, da se gravitacijski pospešek $g=g_0(r_0/r_0+h))^2$ [4] z oddaljenostjo zmanjšuje, je tako imenovana krožilna hitrost satelita na določeni višini [11]:

$$v_\mathrm{k} = v_\mathrm{I}\sqrt{r_0/(r_0+h)}. \qquad (9)$$

Če ima satelit hitrost, ki je večja od krožilne hitrosti, se giblje po eliptičnem tiru, pri čemer je Zemlja v gorišču elipse [5, 11].

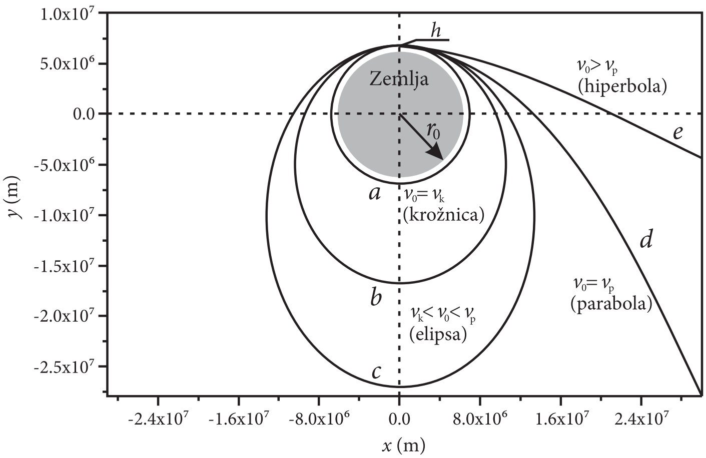
Če hitrost satelita še povečujemo, lahko pobegne privlačnosti Zemlje. Hitrost, pri kateri telo pobegne privlačnosti Zemlje na določeni višini *h*, imenujemo parabolična hitrost [11]:

$$v_\mathrm{p} = v_\mathrm{II}\sqrt{r_0/(r_0+h)}, \qquad (10)$$

kjer je $v_{II} = \sqrt{2g_0r_0}$ druga kozmična hitrost [3, 4, 11], ki jo mora imeti telo na površju Zemlje, da pobegne njeni privlačnosti. Telo, ki ima na določeni razdalji od Zemlje parabolično hitrost, se ne giblje več po elipsi, ampak po paraboli ter s tem pobegne privlačnosti Zemlje. Telo, ki ima večjo hitrost od parabolične, pa se giblje po hiperboli [5, 11].

Omenjeni hitrosti (enačba 9 in 10) lahko relativno enostavno izpeljemo s srednješolskim znanjem fizike [3], medtem ko izpeljava posameznih tirov (krožnica, elipsa, parabola, hiperbola, [5]) običajno presega matematično znanje v srednji šoli. V nadaljevanju bomo zato predstavili tire gibanja z numerično simulacijo matematičnega modela (enačbe 3a–3d), kjer bomo ob predpostavki, da je $m_1 >> m_2$, enačbe gibanja reducirali le na drugo telo.

Kot primer numeričnega izračuna gibanja satelita okoli Zemlje vzemimo satelit, ki ga postavimo na višino h nad površjem in ga usmerimo z določeno hitrostjo pravokotno glede na radialno smer. Začetne pogoje v tem primeru definiramo kot: $x_2(0)=0\ \mathrm{m}$, $y_2(0)=r_0+h$, $v_{y,2}(0)=0\ \mathrm{m/s}$, medtem ko $v_{x,2}(0)=v_0$ poljubno spreminjamo. Numerični rezultati, ki jih dobimo s pomočjo diferenčnih enačb (3a–3d), so grafično prikazani na sliki 3.



Slika 3: Rezultati simulacije (enačbe 3a–3d) z računalniškim programom Berkeley Madonna [8] prikazujejo tire gibanja satelita pri različnih začetnih hitrostih. $x(0)=0$, $y(0)=r_0+h=6728\ \mathrm{km}$, $v_x(0)=v_0$, $v_y(0)=0$, **a)** $v_0=v_k=7{,}69\ \mathrm{km/s}$, **b)** $v_k<v_0=9{,}21\ \mathrm{km/s}<v_p$, **c)** $v_k<v_0=9{,}76\ \mathrm{km/s}<v_p$, **d)** $v_0=v_p=10{,}88\ \mathrm{km/s}$, **e)** $v_p<v_0=13{,}65\ \mathrm{km/s}$.

Iz slike 3 je razvidno, da je tir gibanja krožnica (tir a), ko je hitrost satelita na višini h enaka kroži lni hitrosti v_k (enačba 9). Tir gibanja postane elipsa z Zemljo v gorišču (tir b in c), ko je hitrost satelita na določeni višini večja od krožilne hitrosti v_k in manjša od parabolične hitrosti v_p [5]. V primeru, da je hitrost satelita enaka parabolični hitrosti v_p (enačba 10), je tir gibanja parabola [5] (tir d) in satelit pobegne privlačnosti Zemlje. Pri hitrosti večji od v_p pa postane tir gibanja hiperbola [5], česar sicer iz krivulje na sliki 3 (tir e) ni mogoče natančno razbrati.

Z istim matematičnim modelom ter drugimi parametri in začetnimi pogoji bi lahko proučevali tudi tire planetov in kometov okoli Sonca ter gibanje lun okoli planetov.

GIBANJE TELES OKOLI SKUPNEGA TEŽIŠČA

Oglejmo si še primere, kjer ne moremo predpostaviti, da eno telo miruje, ampak moramo upoštevati gibanje teles okoli skupnega težišča. Kot prvi primer omenimo gibanje dveh zvezd, ki se gravitacijsko privlačita. Kot drugi primer obravnavajmo Zemljo in Luno. Če želimo za opazovalca na Zemlji opisati gibanje Lune okoli Zemlje, lahko gibanje težišča Zemlje okoli skupnega težišča med Zemljo in Luno zanemarimo. Kadar želimo pojasniti, zakaj se plima in oseka ponovita dvakrat dnevno, pa moramo upoštevati tudi gibanje težišča Zemlje okoli skupnega težišča [4]. Podobno kot za Zemljo velja tudi za druge planete, okoli katerih krožijo lune.

V nadaljevanju si nekoliko podrobneje oglejmo Jupiter, okoli katerega krožijo številne lune [12]. Pri obravnavi gibanja lun okoli Jupitra lahko gibanje njegovega težišča zanemarimo. Če pa nas zanima gibanje Jupitrovega težišča zaradi gibanja lun, moramo obravnavati matematični model za gibanje teles okoli skupnega težišča. Če upoštevamo štiri največje Jupitrove lune (Io, Evropa, Ganimed in Kalisto) [12] in zanemarimo gravitacijsko silo med njimi, imamo opravka z reševanjem sistema 20-tih diferenčnih enačb (3a–3d; i=1–5). Zaradi zelo majhnih ekscentričnosti tirov posameznih lun [12] lahko privzamemo, da se lune gibljejo po krožnicah s polmerom r s hitrostjo $v_{0,i}=2\pi r_i/t_{0,1}$, kjer je $t_{0,i}$ obhodni čas posamezne lune. Konstante in začetni pogoji, ki jih vstavimo v model, so predstavljeni v tabeli 1 [12].

Tabela 1: Štiri največje Jupitrove lune.

	masa m (kg)	polmer kroženja r (m)	obhodni čas t_0 (s)	hitrost kroženja v_0 (m/s)
Io	$8{,}93 \cdot 10^{22}$	$4{,}22 \cdot 10^{8}$	$1{,}53 \cdot 10^{5}$	$1{,}73 \cdot 10^{4}$
Evropa	$4{,}80 \cdot 10^{22}$	$6{,}71 \cdot 10^{8}$	$3{,}07 \cdot 10^{5}$	$1{,}37 \cdot 10^{4}$
Ganimed	$14{,}8 \cdot 10^{22}$	$10{,}7 \cdot 10^{8}$	$6{,}18 \cdot 10^{5}$	$1{,}09 \cdot 10^{4}$
Kalisto	$10{,}8 \cdot 10^{22}$	$18{,}8 \cdot 10^{8}$	$14{,}4 \cdot 10^{5}$	$0{,}82 \cdot 10^{4}$

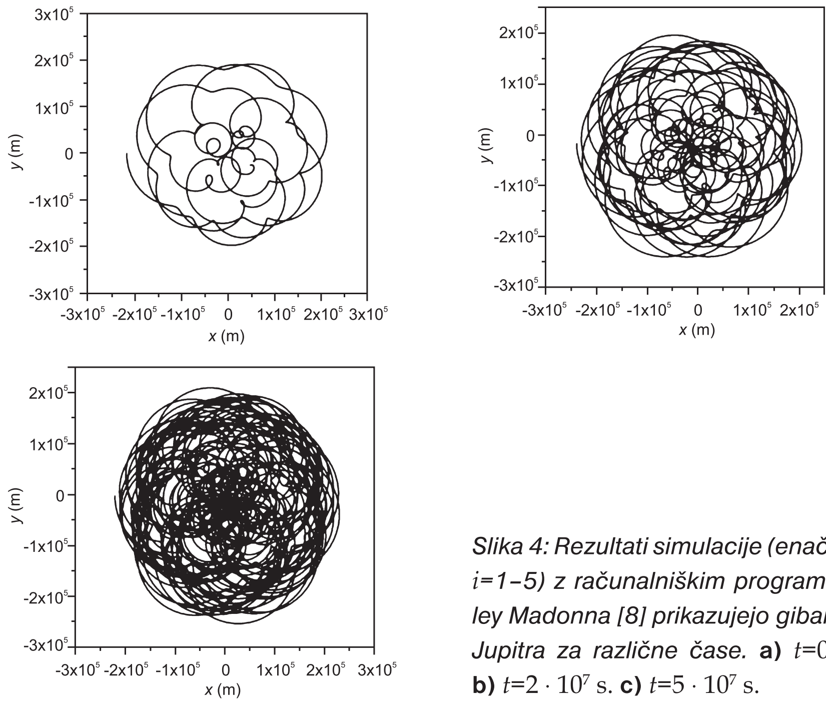
Za začetno stanje predpostavimo, da so vsa telesa (Jupiter, i=1; lune (tabela 1), i=2–5) na osi x, pri čemer se lune gibljejo v smeri osi y, Jupiter pa v nasprotni smeri. Ob predpostavki, da težišče sistema ostaja na mestu v izhodišču koordinatnega sistema, mora biti začetni položaj Jupitra z maso $m_1=1{,}9 \cdot 10^{27}$ kg [13]:

$$x_{0,1}=-\frac{1}{m_1}\sum_{i=2}^{5} m_i r_i = -2{,}27 \cdot 10^5\ m \tag{11}$$

in njegova začetna hitrost:

$$v_{0,1} = -\frac{1}{m_1}\sum_{i=2}^{5} m_i v_{0,i} = 2{,}47\ m/s\,. \tag{12}$$

Na sliki 4 lahko vidimo rezultate simulacije, ki prikazuje gibanje težišča Jupitra zaradi gibanja lun. Težišče opleta v območju s polmerom, ki je več kot 300-krat manjši od polmera Jupitra (ta znaša $7{,}15 \cdot 10^7$ m [13]). S povečevanjem časa vidimo, da gre za neperiodično gibanje, ki je značilno za kaotične sisteme. Če bi želeli ugotoviti, ali gre v tem primeru res za kaotično gibanje, bi morali uporabiti druge metode, kar pa presega obseg tega prispevka.



Slika 4: Rezultati simulacije (enačbe 3a–3d, i=1–5) z računalniškim programom Berkeley Madonna [8] prikazujejo gibanje težišča Jupitra za različne čase. **a)** $t=0{,}5 \cdot 10^7$ s. **b)** $t=2 \cdot 10^7$ s. **c)** $t=5 \cdot 10^7$ s.

ZAKLJUČEK

V prispevku smo prikazali primer matematičnega modeliranja gibanja teles pod vplivom gravitacijske sile. Z zapisom diferencialnih enačb v diferenčni obliki in s simulacijo modela pri različnih pogojih smo pokazali, da je mogoče na ta način obravnavati različne primere tudi na nivoju srednješolskega izobraževanja. Dobljene tire gibanj lahko v nekaterih primerih primerjamo z znanimi analitičnimi rezultati, katerih izpeljava je z vidika matematičnega znanja v srednji šoli običajno prezahtevna. Na podoben način bi lahko obravnavali tudi gibanje teles pod vplivom drugih sil. Kot primer omenimo silo upora, ki jo v želji po analitični rešitvi običajno zanemarimo ter s tem žal velikokrat povzročimo prevelik razkorak med teorijo in prakso.

VIRI:

[1] A. Demšar, *Zakaj se dogaja? Sile in energija 8*, Založba Rokus Klett, Ljubljana 2009, st. 31–53.

[2] A. Demšar, *Zakaj se dogaja? Gibanje in elektrika 9*, Založba Rokus Klett, Ljubljana 2010, st. 22–25.

[3] R. Kladnik, *Fizika za srednješolce 1 – Gibanje, sila, snov*, DZS, Ljubljana 1994, st. 111–113.

[4] R. Kladnik, *Visokošolska fizika 1. del – Mehanski in toplotni pojavi*, DZS, Ljubljana 1991.

[5] T. W. B. Kibble, F. H. Berkshire,*Classicalmechanics*, Longman, Harlow 1996.

[6] Z. Bohte, *Numerične metode*, DMFA, Ljubljana 1987.

[7] Microsoft Corporation, Microsoft Excel, *http://office.microsoft.com*

[8] R. Macea in G. Oster, *Berkeley Madonna*, UniversityofCalifornia at Berkeley. Povzeto 29.11.2010 s strani: *http://www.berkeleymadonna.com*

[9] W. Hupfeld, *Dynasys*. Povzeto 20.4.2013 s strani: *http://www.hupfeld-software.de*

[10] *Polmer Zemlje*. Povzeto 20.4.2013 s strani: http://sl.wikipedia.org.

[11] F. Avsec, M. Prosen, *Astronomija za 4. razred gimnazije,* DMFA, Ljubljana 1993.

[12] *Jupitrovi naravni sateliti*. Povzeto 20.4.2013 s strani: *http://sl.wikipedia.org/wiki/Jupitrovi_naravni_sateliti*

[13] *Jupiter.* Povzeto 20.4.2013 s strani: http://sl.wikipedia.org/wiki/Jupiter.

MATURITETNA VAJA – OPTIKA

Tine Golež

Škofijska klasična gimnazija, Ljubljana

Povzetek - *Osrednji del članka je navodilo za maturitetno eksperimentalno vajo. Avtor opisno in s slikami predstavi tudi uporabljeno opremo. Zapiše še nekaj komentarjev o samem poteku merjenja, kot ga pri svojih dijakih opazuje že več let. Na koncu doda še primer rezultatov, ki sta jih pri vaji izmerila in preračunala dva dijaka.*

Abstract - *The article presents the instructions for a matura - lab (a graduating student's lab) experiment. The author describes the equipment used with accompanying photos. As an exprienced teacher, he comments on the students' method in carrying out the experiment. To conclude, the results obtained by 2 students, were presented in a lab report.*

UVOD

Kje najti navdih za novo eksperimentalno vajo za maturante? Nič ni narobe, če se ozremo v Zbirko maturitetnih nalog, poglavje Merjenje. Seveda je vse skupaj še bolj ustvarjalno, če tam opisani vaji dodamo še kaj več; da na primer izmerimo še kako dodatno fizikalno zakonitost uporabljenih pripomočkov. Sam sem tako pripravil meritev, ki v več ozirih spominja na nalogo številka 23 [1], vendar pa zahteva še nekaj več.

Začnimo kar z navodilom, ki ga v elektronski obliki dobijo dijaki [2]:

ZBIRALNA LEČA

(Tu boš napisal kratek uvod o zbiralni leči, seveda tudi enačbo leče!)

Leča, ki jo bomo uporabili pri meritvi, je razmeroma tanka. Zato bomo uporabili enačbe za tanko lečo. Razdalji a in b merimo tako od sredine leče. Goriščna razdalja tanke leče je povezana z lomnim količnikom snovi, iz katere je leča, ter s polmeroma sfer, katerima se prilega oblika ploskev leče:

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$$

Enačba pove, kako so fizikalne lastnosti leče odvisne od njenih fizičnih lastnosti. (Kolikšne so lahko vrednosti obeh polmerov? Kdaj so negativne?)

NALOGA:

Izmeri goriščno razdaljo leče. Kje se goriščna razdalja skriva v grafu $1/b(1/a)$, ki ga boš tudi narisal? Iz skice izračunaj krivinski polmer sfere, ki se prilega ukrivljeni ploskvi leče. Izračunaj lomni količnik stekla, iz katerega je leča.

POTREBŠČINE:

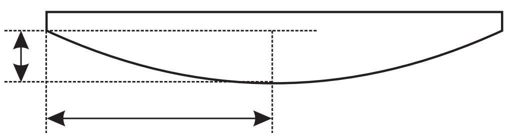
Žarnica, leča na optični klopi, zaslon, meter.

NAVODILO:

Zaslon postavi 4,00 m daleč od žarnice. Postavi lečo na tako razdaljo, da bo na zaslonu nastala ostra povečana (in potem še pomanjšana) slika. Razdaljo med žarnico in zaslonom zmanjšuj po pol metra do razdalje 2,50 m. Po vsakem zmanjšanju razdalje med žarnico in zaslonom poišči obe legi leče, pri katerih je slika žarnice na zaslonu ostra. Vsakič zmeri razdaljo a ter jo vpiši v tabelo.

Poleg postavitve zaslona na pravo mesto moraš izmeriti le 8 razdalj, ki jih vpišeš v drugi stolpec. Vsa ostala polja tabele bodo vsebovala izračunane vrednosti.

a + b [m]	a [m]		b [m]	1/a [m^{-1}]	1/b [m^{-1}]	f [m]	n
4,00							
3,50							
3,00							
2,50							



MERITVE IN IZRAČUNI:

ANALIZA MERITVE:

Leča je plankonveksna. Polmer ene ploskve je zato neskončen, polmer druge ploskve pa izračunaj s podatkoma p in q. Krajša puščica na sliki je p in daljša q:

p = 3,0 mm

q = 41,0 mm

[Konec navodila.]

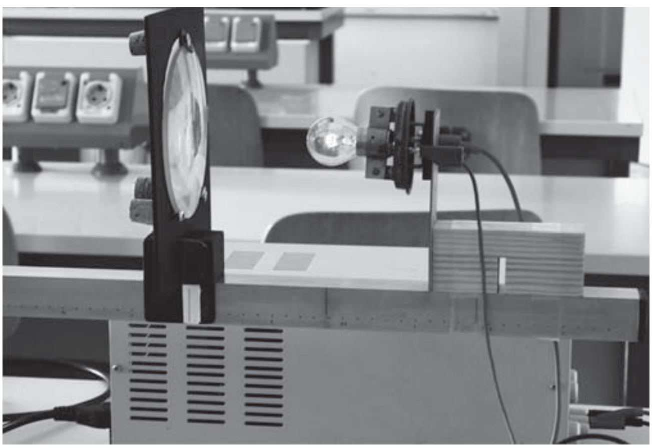
Seveda dijaki vedo, da morajo to besedilo za poročilo nekoliko razširiti. Poročilo mora biti opisno tako bogato, da lahko nekdo z ustrezno izobrazbo poskus ponovi. Dijak zato sam razmisli, kako naj razširi poročilo, da bo neka zaključena in logična celota.

Najprej si oglejmo nekaj podrobnosti te meritve, na koncu pa še primer poročila. Ožji (prazni) stolpec v tabeli loči izmerjene in izračunane vrednosti; tega dogovora se držimo pri vseh poročilih.

POSTAVITEV POSKUSA, OPREMA

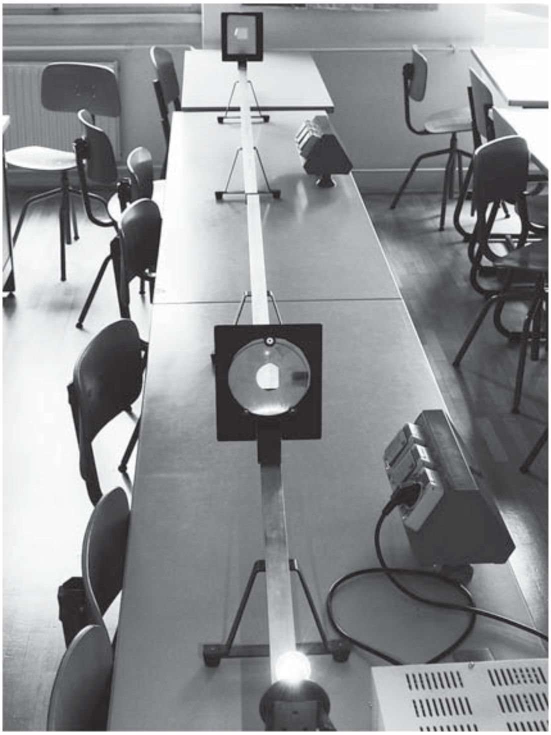
Uporabljamo (najdaljši) dve izmed več optičnih klopi, ki jih je izdelal in šoli podaril univ. dipl. ing. Jožko Battestin. Gre za dve optični klopi, ki sta iz kvadratnega aluminijastega profila. (Res je, da se da vajo opraviti brez optične klopi, kar s stojali. Najbrž pa dosežemo večjo natančnost prav s profilom. Nakup in izdelava ne bi smela biti prevelik strošek; morda je izdelava celo izziv za dijaka, ki je sicer tehnično spreten, pri fiziki pa se še ni izkazal.) Namenoma bomo uporabljali lečo, ki bo imela goriščno razdaljo večjo od pol metra. Tako bodo razdalje večje in s tem manjša napaka meritve. Ta bi bila večja, če bi uporabljali lečo (f = 25 cm), kot je opisano v maturitetni nalogi.

Podatek, da gre za tanko lečo, pomeni, da smemo uporabljati enačbo $1/f = 1/a + 1/b$. Razdaljo a merimo od sredine leče. Predmet, ki ga preslikamo na zaslon, je žarilna nitka avtomobilske žarnice. Za lažje merjenje razdalje označimo navpično črto na optični klopi, ki kaže proti žarilni nitki. Razdalja a bo razdalja med to navpično črto in črto, ki je narisana na nosilcu leče. Uporabljamo petmetrski merilni trak, tako da napaka pri merjenju (dijaka morata seveda ustrezno napeti merilni trak) znaša komaj milimeter ali dva. Podobna navpična črta je narisana tudi na nosilcu, na katerem je zaslon (slika 1).



Slika 1. Ker je pod žarilno nitko narisana navpična črta na optični klopi, so meritve razdalje med predmetom in sredino leče zelo natančne. Na nosilcu je leča. Ravnina, ki poteka skozi sredino leče, je podaljšana in narisana kot črta na nosilcu. Leča je le zaradi fotografiranja blizu žarnice, v resnici je vselej vsaj pol metra stran.

Največja razdalja med žarilno nitko in zaslonom je 4 metre. Prav zato zavzame poskus kar velik del učilnice, kar pa pri manjši skupini dijakov ni moteče (slika 2). (Pred leti pa je še tri metre več prostora zahtevalo merjenje hitrosti motnje po gumijasti vrvi [3].)

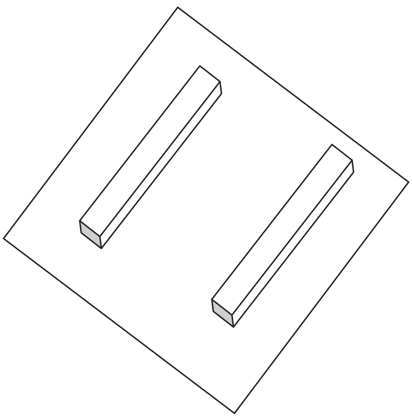


Slika 2. Letos je bil »največji« (prostorsko najbolj obširen) poskus merjenje goriščne razdalje leče in lomnega količnika stekla. Leča trenutno ustvarja povečano sliko žarilne nitke na štiri metre oddaljenem zaslonu. Gre za dve optični klopi, ki stojita ena za drugo. Ko ju uporabljajo dijaki, ju spnemo s spono, da se ne razmakneta.

Pri zaslonu, ki ga postavimo ustrezno daleč od žarilne nitke, stoji en dijak, drugi pa premika lečo. Dijak, ki je pri zaslonu, mu daje navodila za premike in kmalu na zaslonu nastane ostra slika. Gre za povečano sliko. Ko ustvarjata pomanjšano sliko, pa je leča dovolj blizu zaslona, da isti dijak opazuje sliko in premika lečo. Pri tem je zanimivo, da na zaslonu nastaneta dve sliki žarilne nitke (slika 3). Ko dijake vprašam, kaj je vzrok za to, slišim odgovore, ki zajamejo mnoge (napačne) optične pojave: lom, uklon, interferenca … no, Dopplerjevega pojava ne omenjajo. Nikomur pa ne pride na misel, da je v igri optični pojav, ki so ga odkrili že v otroštvu. Zgornja slika žičke je slika žičke, ki nastane zaradi odboja od optične klopi. Klop ni črna in je še kar dobro zrcalo. Ko postavimo roko na tisti del optične klopi, kjer pride do odboja, dodatna slika seveda izgine.

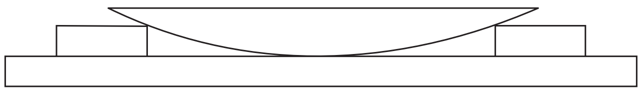
Slika 3. Ko ustvarjamo pomanjšano sliko, nastaneta na zaslonu dve sliki žarilne nitke. Tudi na nosilcu zaslona je narisana navpična črta za natančno merjenje.

Bralce najbrž zanima, kako smo izmerili razdalji p in q, ki sta zapisani v navodilih. Sta v resnici izmerjeni zelo natančno. Na zelo ravno ploskev položimo dva kovinska predmeta v obliki majhnega ploskega kvadra (slika 4).



Slika 4. Dve kovinski, zelo natančno odrezani oglati palici. Debelina (oziroma višina od podlage navzgor) je točno 3,0 mm.

Ko sta palici točno 82 mm oddaljeni in vzporedni, se leča dotika obeh robov in podlage (slika 5).



Slika 5. Leča se dotika obeh robov in podlage. Tako smo izmerili dolžini p in q, ki sta zapisani v navodilu za dijaka.

Da ne bi dijaki preveč vneto merili po tej metodi in pri tem hote ali nehote popraskali lečo, jim je bolje zaupati podatka p in q.

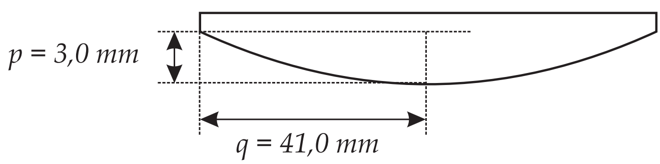
Dijaki uberejo različne poti, da iz skice leče ter podatkov o p in q izračunajo polmer krogle, katere del je ena ploskev leče. Nekateri se naloge lotijo tako, da izberejo tri točke na ravnini xy in poiščejo enačbo krožnice, ki poteka skozi te tri točke. Morda je še bolj enostavna pot tistih, ki si sicer predstavljajo krožnico, a pri tem ne razmišljajo o koordinatah in enačbi krožnice, pač pa uporabijo Pitagorov izrek – kot je to storil dijak v priloženem poročilu.

DIJAKOVO POROČILO

(prva stran je odstranjena, tam je ime dijaka, naslov vaje …. Ostalo besedilo je nespremenjeno vključno s slovničnimi napakami …)

Naloga:

Izmeri goriščno razdaljo leče. Iz skice izračunaj krivinski polmer sfere, ki se prilega ukrivljeni ploskvi leče. Izračunaj lomni količnik stekla, iz katerega je leča. Podatka p in q sta podana.



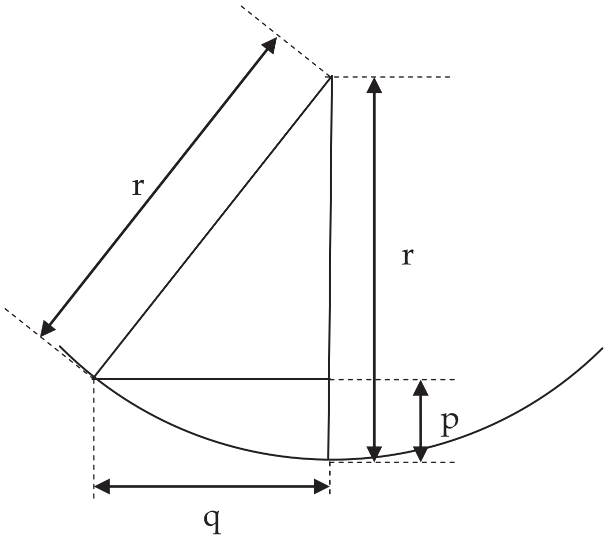
Teoretični uvod:

Leča, ki jo bomo uporabljali pri meritvi, je razmeroma tanka leča. Zato bomo uporabljali enačbo za tanko lečo ($1/f = 1/a + 1/b$) in enačbo, ki vsebuje lomni količnik:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$$

f – goriščna razdalja

n – lomni količnik



$$p = 3{,}0\ mm$$
$$q = 41{,}0\ mm$$
$$r^2 = q^2 + (r - p)^2$$
$$r = \frac{q^2 + p^2}{2p}$$
$$r = 282\ mm$$

Slika 1 –Shema za izračun polmera plankonveksne leče, če poznamo dolžini p in q.

Opis postavitve:

Na konec optično klopi smo postavili žarnico, na drugi konec 4,00 m stran od žarnice pa zaslon. Med žarnico in zaslon smo postavili plankonveksno lečo. Vsi trije elementi so bili v isti višini.

Potrebščine:

- Leča
- Zaslon
- Žarnica
- Optična klop
- Meter

Meritve in izračuni:

	a + b [m]	a [m]	b [m]		1/a [1/m]	1/b [1/m]	f [m]
1	4,00	0,660	3,340		1,5152	0,2994	0,551
2		3,340	0,660		0,2994	1,5152	0,551
3	3,50	0,688	2,812		1,4535	0,3556	0,553
4		2,824	0,676		0,3541	1,4793	0,545
5	3,00	0,713	2,287		1,4025	0,4373	0,544
6		2,394	0,606		0,4177	1,6502	0,484
7	2,50	0,816	1,684		1,2255	0,5938	0,550
8		1,696	0,804		0,5896	1,2438	0,545

Tabela 1 – Meritve in izračun za goriščno razdaljo.

Za goriščno razdaljo bom uporabil f = (0,548 ± 0,003) m. Rezultat v šesti vrstici bom zanemaril, očitno se je zgodila napaka pri meritvi.

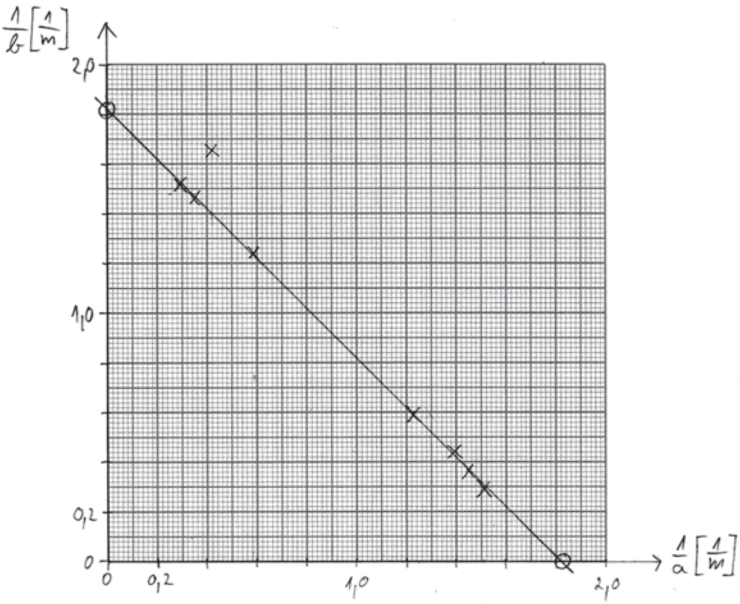
Z izpeljavo, ki smo jo dobili pri Sliki 1, izračunamo polmer plankonveksne leče. Drugi polmer je neskončen.

$$r_1 = \frac{q^2 + p^2}{2p} \qquad r_1 = 282\ mm$$

S spodnjo enačbo izračunamo lomni količnik stekla, iz katerega je sestavljena leča. Ker je leča plankonveksna, pomeni, da je ena stran leče ravna, zato je drugi polmer kar neskončno ($r_2 = \infty$).

$$\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$$

$$n = \frac{r_1}{f} + 1 = \frac{282\ mm}{548\ mm} + 1 = 1{,}51 \pm 0{,}01$$



$T_1(0\ m^{-1};\ 1{,}82\ m^{-1})$

$T_2(1{,}82\ m^{-1};\ 0\ m^{-1})$

$k = -1$

$$\frac{1}{f} = 1{,}82\ m^{-1}$$

$f = 0{,}549\ m$

Graf 1 – T_1 in T_2 predstavljata kar f^{-1}

Komentar:

Rezultat, ki smo ga dobili za lomni količnik stekla, iz katerega je leča, je dokaj blizu lomnemu količniku navadnega stekla. Pričakujemo, da je ta cenena leča, zares kar iz navadnega stekla.

[Konec dijakovega poročila]

ZAKLJUČEK

Opisana vaja je za dijake zanimiva. Pri sami meritvi se morajo nekoliko sprehajati, saj vaja poteka na večmetrskem območju. Poučna je tudi uskladitev, ki je potrebna med obema dijakoma, ko ostrita sliko in merita razdalje. Izziv jima predstavlja tudi inovativno vprašanje o dveh slikah žičke pri pomanjšani sliki (Sta dve sliki tudi pri povečani sliki? Na zaslonu sicer ne …). Tudi risanje grafa je nekoliko drugačno kot ponavadi. Linearizacija nas privede do premice, ki bi morala imeti smerni koeficient -1, kar je posebnost med linearizacijami. Tudi to je za dijake kar težko vprašanje, prav tako pomen točke, kjer premica seka eno ali drugo os.

Vprašamo se, ali je dijak napako prav ocenil. Napaka pri merjenju goriščne razdalje je manj kot odstotek. Težko bi pa rekli, kolikšna je napaka pri merjenju p in q. Glede na zapis (število mest) bi lahko rekli, da je vsaj odstotek. Tako je smiselno, da za pravilno ocenjeno napako priznamo zapise od 1,51 ± 0,01 pa do 1,51 ± 0,03 ali celo ± 0,04. Morda smo še najbliže resnici, če pri takih izmerkih, kot so tu, izberemo ± 0,02 ali ± 0,03.

Res je, da ima vsak učitelj svoj nabor maturitetnih vaj. Smiselno pa je, da ga vsako leto malo spremenimo in/ali dopolnimo. Zato predvidevam, da bi bili bralci veseli še kake predstavitve ne povsem trivialne maturitetne vaje.

LITERATURA

[1] Babič, V. et al., FIZIKA, Zbirka maturitetnih nalog z rešitvami 1995-2003, Ljubljana, Državni izpitni center, 2004, strani 84-85 in 125-126

[2] Golež, T., *Navodila za maturitetne eksperimentalne vaje 2012/2013*, rokopis, 2012

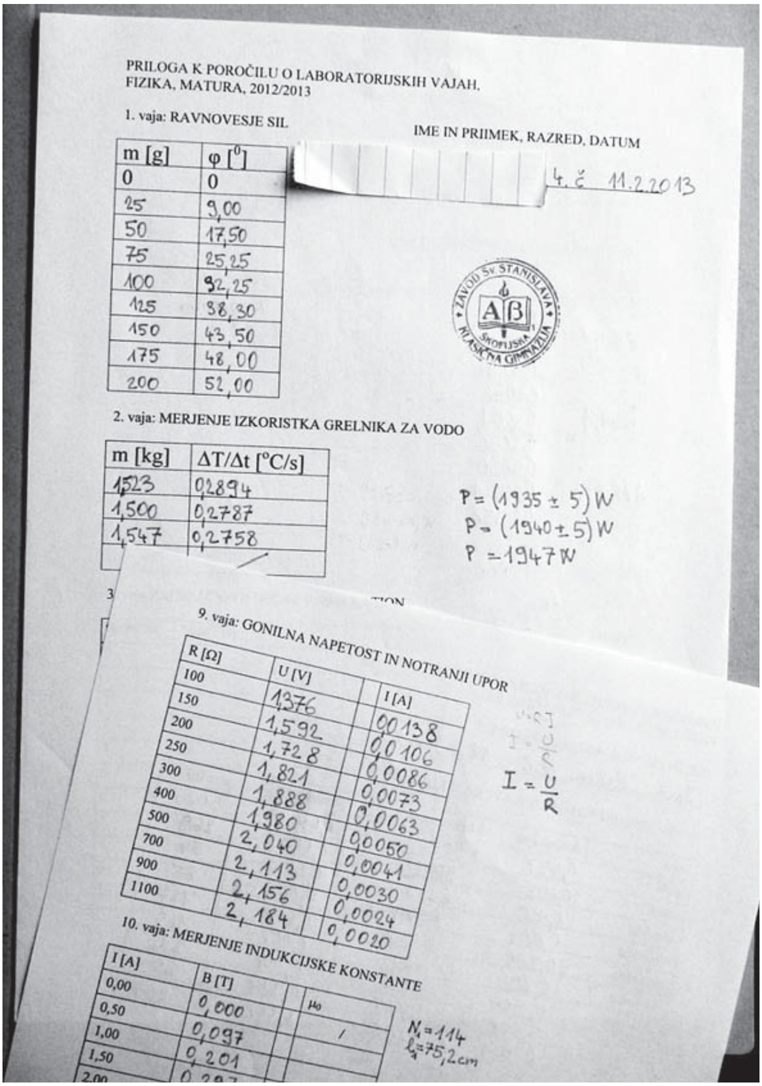
[3] Golež, T. in Kukman, I., *Dve maturitetni eksperimentalni vaji*, Fizika v šoli 12(2006) 1, 25 -33

DODATEK

Spregovorimo še nekaj o organizacijskih vidikih. Dijaki se zavedajo, da je po učnem načrtu za fiziko predvidenih 140 ur v četrtem letniku, po šolskem koledarju pa znatno manj. Prav zato so veseli, da te vaje opravljamo po pouku in se tako bolj približamo številu ur, ki nam pripada. Nikoli ni pritožb nad temi popoldanskimi urami.

Med eno popoldansko »seanso«, ki traja 4 šolske ure, opravijo več vaj (letos dva popoldneva po pet vaj). Poleg navodil, ki jih dobijo prej v elektronski obliki in jih natisnejo ter nekoliko preučijo pred samo vajo, dobijo pri vajah še list, na katerega morajo pisati izmerjene količine. Ta list je tudi prva priloga končnega poročila. (Res je, da so nekateri izmerki na priloženem listu zapisani na preveliko število mest. Glavno je, da so v končnem poročilu rezultati pravilno ocenjeni z napako.) Takoj po vajah ga fotokopiram ali fotografiram, tako da je na koncu mogoča kontrola, če so v poročilu res uporabili svoje izmerke.

Dandanes dijaki tudi radi skenirajo grafe, ki so jih prej narisali ročno. Tako v poročilo (elektronska oblika in tisk) vstavijo kar skenirani graf. To jim omogoča lažje predelave in izboljšave poročila. Seveda pa morajo vse te grafe priložiti kot prilogo številka dve.



INOVATIVNI MATERIALI PRI POUKU FIZIKE

Jaka Banko

Zavod RS za šolstvo, OE Kranj

Povzetek *– Zanimive in nevsakdanje fizikalne lastnosti sodobnih materialov omogočajo učitelju, da učencem predstavi fiziko kot moderno znanost, znanost prihodnosti, katere tehnološke aplikacije imajo in bodo imele velik vpliv na njihovo življenje. Motivacija učencev in s tem povezana popularizacija fizike je v veliki meri odvisna od učiteljeve inovativnosti. S premišljenim uvajanjem sodobnih, cenovno dostopnih materialov v fiziko dosežemo, da se bodo učenci zavedali njene širine, lepote in koristnosti. V članku bom predstavil nekaj preprostih eksperimentov z velikim motivacijskim učinkom in ogromno fizikalne soli. Predstavljene bodo lastnosti pirolitskega grafita, nikelj-titanovih zlitin, aerogela in možnosti za njihovo uporabo pri pouku fizike. Na koncu je opisan postopek izdelave leč iz gela, s katerim lahko učitelj na dnevih dejavnosti, prek eksperimentalnega dela, dopolni poglavje o svetlobi.*

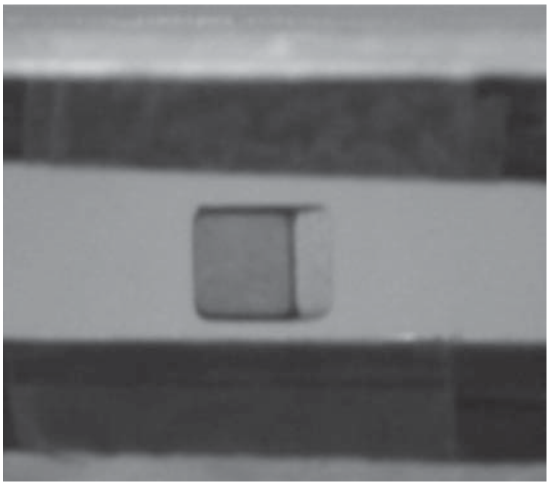
Abstract*– Interesting and unusual properties of modern materials can be used as an instructional method through which students can learn about physics as a modern science, a science of the future, whose technological applications are to have a great impact on their present and future lives. Students' motivation and consequently, popularisation of physics greatly depends on their teacher's innovative approaches. Well thought out methods of introducing modern, inexpensive materials in physics classroom can enhance learners' awareness of the breadth, beauty and usefulness of the subject. The article presents some simple experiments which can have a great motivational impact and contain lots of physical wisdom. Properties of pyrolytic graphite, nickel-titan alloys, aerogel,... and possible ways of integrating them in teaching physics are included. Finally, a procedure of making lenses from wax, suitable for project days and experimental work, is described – as a way of rounding up the chapter on light and optics.*

UVOD

Učenčev odnos do fizike je v veliki meri odvisen od učiteljeve premišljene izbire didaktičnih metod in materialov. Z nevsakdanjimi lastnostmi sodobnih materialov ima učitelj v rokah orodje, s katerim učence motivira, v njih spodbudi zanimanje in željo po razumevanju. Vse to pomembno vpliva na razvoj učenčevih kompetenc in znanj, zapisanih v učnem načrtu za fiziko.

DIAMAGNETNO LEBDENJE

Stiska s časom je stalnicav pedagoškem procesu. Poleg uresničevanja ciljev, zapisanih v učnem načrtu, je učitelj soočen z najrazličnejšimi vprašanji zvedavih učencev.Ta se pogosto ne navezujejo na obravnavano učno snov in med njimi so vselej vprašanja, povezana z »maglev« (**mag**netna **lev**itacija) »lebdečimi vlaki«. Naj si učitelj vzame čas za odgovor? Glede na to, da diamagnetizem ni omenjen v učnem načrtu za osnovno šolo niti za gimnazijo, v literaturi pa je pogosto pojav opisan učencu nerazumljivo, je po mojem mnenju to priložnost, ki je ne gre zamuditi. Področje magnetizma je namreč polje globoko usidranih napačnih predstav, ki se jih oklepa velik odstotek ljudi. Splošno prepričanje je, da snovi v naravi magnet bodisi privlači ali pa nanje ne deluje magnetna sila. Le malo jih ve, da se vsaka snov na zunanje magnetno polje odzove z odbojno silo. Ker je ta sila po večini majhna, nimamo neposredne izkušnje z njo. Izkušnje imamo s paramagneti in feromagneti, pri katerih nad diamagnetizmom prevladajo drugi pojavi, ki imajo za posledico večjo silo.

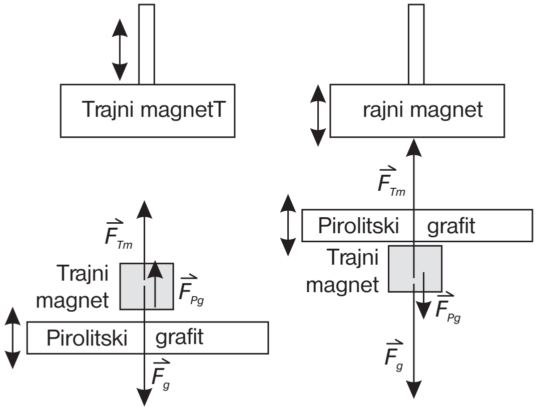


Slika 1. Lebdenje trajnega magneta

Kljub temu lahko s pomočjo pirolitskega grafita učencem pokažemo diamagnetizem na najbolj impresiven način – diamagnetno lebdenje. Pirolitski grafit pridobivajo s pomočjo pirolize. S tem postopkom se pri visoki temperaturi in nizkem tlaku ogljikovodiki razgradijo na ogljik in vodik. Atomi ogljika nato ponovno oblikujejo strukturo, ki jo sestavljajo plasti heksagonalno razporejenih ogljikovih atomov. Plasti med seboj povezuje šibkejša kovalentna vez. Taka zgradba ima za posledico ekstremne anizotropne lastnosti. Ena izmed teh je tudi diamagnetizem. To lastnost lahko skupaj z učenci raziskujemo že pri poglavju o silah. Če položimo v akvarij, napolnjen z vodo, ladjico iz stiropora in nanjo zataknemo ploščico pirolitskega grafita, bodo učenci ugotovili, da vselej med trajnim magnetom in pirolitskim grafitom deluje odbojna sila.[1] To je znanje, ki ga učenci potrebujejo za razu-

1 http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=KRr2MBuz

mevanje diamagnetnega lebdenja.[2] Za ta eksperiment potrebujemo dva trajna magneta in ploščice pirolitskega grafita. Pirolitski grafit lahko nadomestimo tudi z bizmutom.



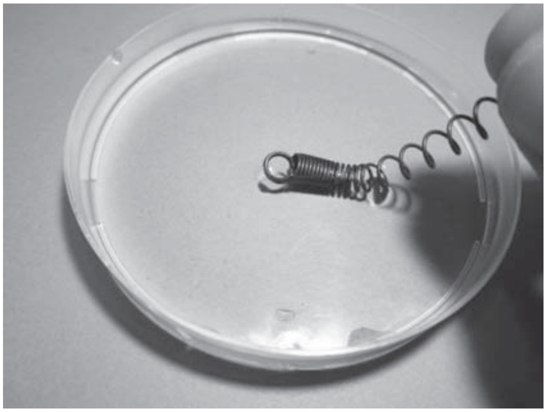
Slika 2. Konstrukcija eksperimenta – diamagnetno lebdenje
Levo – lebdenje trajnega magneta nad pirolitskimgrafitom
Desno – lebdenje trajnega magneta pod pirolitskim grafitom

Prek problemskih situacij učenci razmišljajo, razlagajo in napovedujejo. Magnet lahko lebdi nad, pod in med ploščicama grafita. Poleg tega lahko opazujemo odziv lebdečega magneta na bližino diamagnetne, paramagnetne in feromagnetne snovi, naelektrenega telesa in vodnika, po katerem teče električni tok. Ker lahko med eksperimentom spreminjamo medsebojne oddaljenosti vseh ključnih elementov, lahko opazujemo, kako se na spremembo odzove magnet. Priporočljivo je, da učitelj eksperiment projicira na tablo. Domišljijo v učencih spodbudimo s pogovorom o možnostih, ki jih prinaša razumevanje diamagnetnih lastnosti snovi. Bo človek v prihodnosti lebdel?

NIKELJ TITANOVE (NITI) ZLITINE

Nikelj-titanove (NiTi) zlitine imajo edinstvene lastnosti. Odlikuje jih tako imenovan oblikovni »spomin«. Material z oblikovnim »spominom« si »zapomni« svojo obliko. Če ga deformiramo pri nizki temperaturi, se bo pri segrevanju povrnil v prvotno obliko. Taka zlitina ima dve različni temperaturno odvisni kristalni strukturi. Pravimo, da ima zlitina različni fazi. Visokotemperaturna faza se imenuje avstenit (FCC), nizkotemperaturna faza pa martenzit (BCC). Prehod med njima je reverzibilen. Temperatura prehoda je odvisna od kemijske sestave in dodanih elementov. Učencem pokažemo, kako se spremeni lastnost snovi ob spremembi kristalne strukture. V martenzitni fazi zlitino brez težav plastično preoblikujemo, v avstenitni fazi pa snov izkazuje superelastične lastnosti. Oblikovni

2 http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=vWAcWBH9QGc



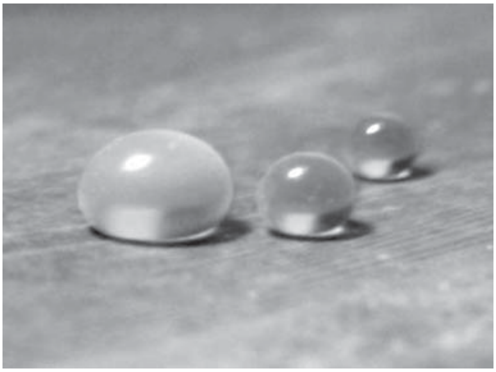
Slika 3. Martenzitna transformacija

»spomin« lahko izkoristimo za demonstracijo toplotnega učinka električnega toka.[3] Pred učenci deformiramo žico in jo položimo v toplo vodo. S spremembo temperature se spremeni kristalna struktura in s tem oblika žice. Postopek ponovimo, vendar tokrat žico segrejemo z električnim tokom. Električni tok na viru omejimo na vrednost, ki je le malo večja od električnega toka, ki teče po žici. Sčasoma deformacija povzroči prepletanje žice, zmanjša se njena efektivna dolžina in varovalka prekine električni krog. Z učenci se pogovorimo o možnih vzrokih za to in preidemo na poglavje o električnem uporu. Uro lahko zaključimo s pogovorom o tehnoloških rešitvah, ki nam jih nikelj-titanove zlitine omogočajo.

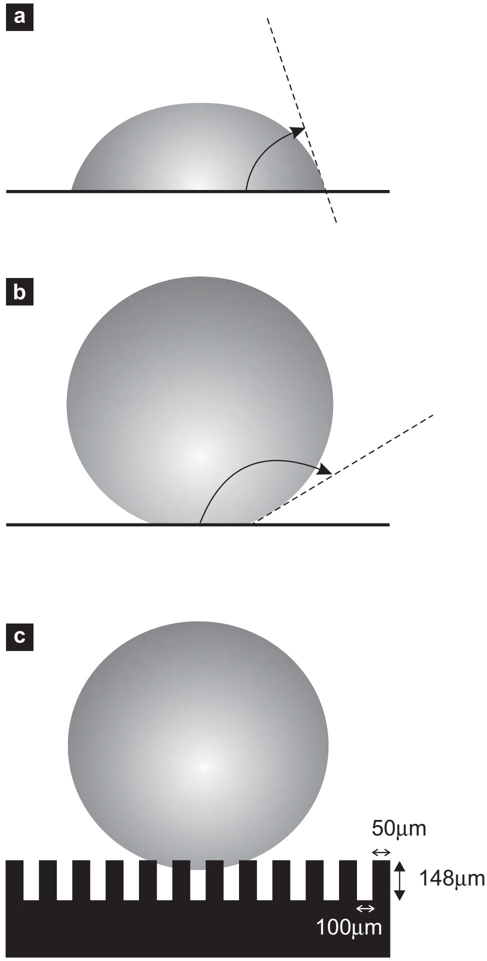
AEROGEL

Aerogel je snov v trdnem stanju z najmanjšo gostoto in najnižjo toplotno prevodnostjo med vsemi poznanimi trdnimi snovmi. Narejen je po Kistlerjevem postopku, pri čemer se tekočo komponento gela nadomesti s plinom. Odlikujejo ga odlična zvočna in toplotna izolacija, odlična absorpcija energije, visoka specifična površina in nizka dielektrična konstanta. Zaradi vseh teh lastnosti se uporablja tako v vesoljski tehnologiji kot komercialno, predvsem kot izolacijski material. Za pouk fizike je poleg vseh naštetih lastnosti zanimiva tudi njegova superhidrofobna površina, ki jo dosežejo z naknadno obdelavo. Hidrofobne površine so v naravi zelo razširjene. Ta učinek služi rastlinam kot zaščita pred patogeni, kot so glive in alge. Tudi krila žuželk imajo to lastnost. Voda jih ne omoči, temveč odteče in hkrati očisti površino. Pri rastlinah je to čiščenje pomembno tudi za učinkovit proces fotosinteze. Aerogel se dobi v obliki granul in se preprosto nanese na površino. Pri pouku fizike lahko na taki površini opazujemo obliko vodnih kapljic.[4] Učenci ugotovijo, da je oblika kapljice odvisna od njene velikosti. Oblika majhnih kapljic ima zaradi povr-

3 http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=xl_TET__qtI
4 http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=tlqxyEE9mxg



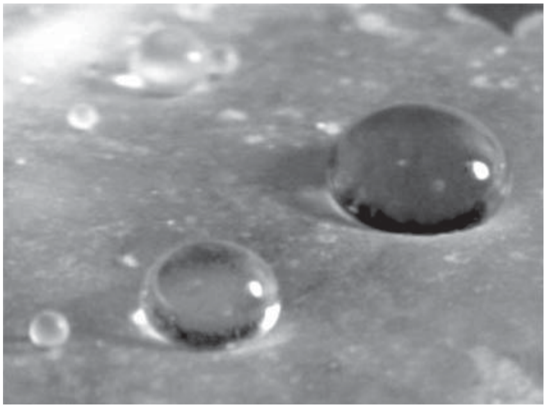
Slika 5. Kapljice obarvane vode na superhidrofobni površini



Slika 4.
a – Kaplja vode na stekleni površini
b – Kaplja vode na superhidrofobni površini
c – shematski prikaz hidrofobne površine
vir: http://www.nature.com

šinske napetosti vode skoraj obliko krogle. Pri večjih kapljicah se zaradi teže površina vidno deformira – sploščí. Kapljici, ki se giblje po klancu, se zaradi sile upora prav tako spremeni oblika. Pomembno je, da se učenci zavedajo, da je površinska napetost lastnost vseh kapljevin. Z eksperimentom, kjer se kapljice vode dotaknemo s konico igle, prekrite z detergentom, pokažemo, da jo detergent zmanjša. V trenutku, ko se s konico dotaknemo kapljice vode, se površinska napetost zmanjša in kapljica se deformira – splošči. Zanimiv je tudi eksperiment, pri katerem na gladino vode nanesemo zelo tanek sloj aerogela.[5] S tem dosežemo, da kapljica, ki jo kanemo z brizgalke na površino vode, ne pride v stik z njo. Posledica tega je, da kapljica vode »plava« na vodi. Učenci z opazovanjem ukrivljenosti površine vode dobijo izkušnjo o velikosti površinske napetosti. Privlačna sila, ki deluje med molekulami vode na površini, ni tako zelo majhna. Naprej se postavi vprašanje, kaj se zgodi s kapljicami vode na površini, če se gladine vode dotaknemo z detergentom. Učenci napovedujejo in nazadnje ugotovijo, da se zaradi detergenta površinska napetost vode na gladini zmanjša, zaradi česar se kapljice na površini pogreznejo globlje. Zanimiv učinek dobimo tudi, če papir, prevlečen s superhidrofobnim aerogelom, pomočimo v vodo.[6] Najprej učenci ugotovijo, da papir ostane suh. Poleg tega lahko opazijo, da papir

5 http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=sjTXKf6HDPk
6 http://www.youtube.com/watch?v=sMVzpVmZMV8



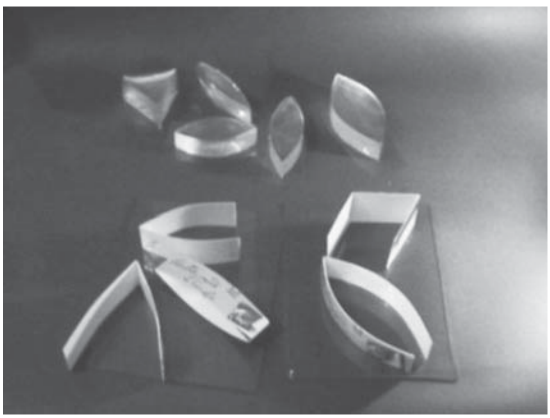
Slika 6. Kapljice obarvane vode na vodni gladini

v vodi pod določenim kotom odbija svetlobo podobno kot alu folija. Razlog je tanka plast zraka med papirjem in vodo. Na prehodu svetlobe iz vode v zrak se žarki, katerih vpadni kot je večji od kota popolnega odboja, v celoti odbijejo.

Deformirana kapljica na hidrofobni površini lahko deluje približno tako kot zbiralna leča. Je mogoče, da sončna svetloba z njeno pomočjo povzroči v naravi požar?

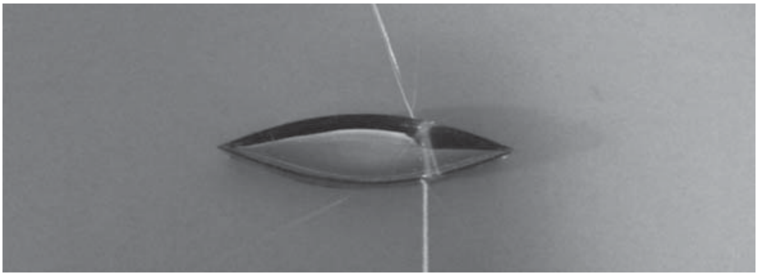
Pri eksperimentiranju z aerogelom naj učitelj sledi priporočilom za varno delo.

»KUHINJSKA«GEOMETRIJSKA OPTIKA NA TEHNIŠKEM DNEVU



Slika 7. Kalupi za izdelavo konveksnih leč in prizme

Poglavje Svetloba je s prenovljenim učnim načrtom prišlo nazaj v sklop vsebin pri pouku fizike. Učitelj se sooča s pomanjkanjem učil in pripomočkov za eksperimentalno delo učencev. Gel za izdelovanje sveč omogoča učencu, da sam izdeluje leče in raziskuje zakonitosti



Slika 8. Prehod svetlobnega snopa skozikonveksno lečo

geometrijske optike[7]. Izdelava je preprosta, zdravju neškodljiva in cenovno ugodna. Poleg tega so na trgu obarvani geli in učenci lahko izdelujejo barvne leče, kar še dodatno vpliva na motivacijo učencev. Izdelava je preprosta. Za kalup uporabimo odpadno embalažo. Kot najprimernejša se izkaže plastična embalaža za shranjevanje sladoleda. Z ostrim nožem izrežemo ravne trakove, pri čemer pazimo, da je površina na eni strani gladka. Za samo vlivanje velja omeniti nekaj napotkov: podlaga, na kateri je kalup, naj bo ravna, med podlago in kalupom naj bo prozorna PVC folija (ker so leče občutljive na prstne odtise, folijo uporabimo za prenašanje in premikanje leč po površini), spodnji rob kalupa mora biti raven, robovi trakov naj bodo dobro zlepljeni, kalup naj bo stabilno pritrjen na podlago. Natančnost je pomembna. Najprej v kalup nalijemo le toliko gela, da pokrije dno. S tem preverimo njegovo tesnjenje. Poleg tega je tlak na dnu kalupa zaradi teže gela majhen in lahko zapolni manjše špranje ter prepreči kasnejše iztekanje. Ko se prepričamo, da kalup tesni, počasi dolivamo preostanek gela in sproti z nožem odstranjujemo morebitne zračne mehurčke v kalupu. Tovrstne nepravilnosti vplivajo na kakovost leče in se lahko odpravijo le, dokler je gel segret. Ko se gel ohladi (cca 0.5h, odvisno od velikosti leče, temperature tekočega gela in temperature okolice), previdno odstranimo lepilni trak in kalup. Kvaliteta leče je odvisna od natančnosti pri njeni izdelavi. Učitelj naj nepravilnosti, ki so posledica nenatančne izdelave, izkoristi za pogovor o napakah leč. Poleg leč lahko učenci izdelajo še prizmo, planvzporedno ploščo, optični vodnik… Lomni količnik gela je približno 1.45 in je primerljiv z lomnim količnikom stekla, ki je približno 1.5. Lomni količnik vode je približno 1.3. Učitelj naj vse eksperimente predhodno izvede sam.

ZAKLJUČEK

Razmere, v katerih se znanje naravoslovja ne smatra kot del splošne razgledanosti in kjer učenci ne vidijo smisla in koristi naravoslovnih predmetov, niso dobra popotnica za našo prihodnost. Premišljeno uvajanje inovativnih materialov ter aktivnih metod in oblik pouka so lahko korak v pravo smer.

Za dodatne informacije o predstavljenih materialih lahko pišete na elektronski naslov jaka.banko@zrss.si.

7 http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=fAZ9WhC-tb4#!

PISNO PREVERJANJE ZNANJA IZ FIZIKE: GIBANJE IN ENERGIJA

Ambrož Demšar

OŠ Simona Kosa Podbrdo

OZADJE

Pisno preverjanje znanja doživljam kot praznik. Pomeni zaključek nekega delovnega obdobja, dobri rezultati pa so nagrada za moj trud in motivacija za nadaljnje delo z učenci. Z reševanjem testov mi učenci posredno povedo, kako dobro sem razložil snov, jih navdušil za fiziko in jih vzpodbudil za učenje. O tem, da so ti prazniki za nekatere lahko tudi najbolj grozen čas leta, ne bi …

Sestavljanju testa namenjam veliko pozornosti, zato mi vzame kar veliko časa. Želim, da je test aktualen in življenjski.Test mora odražati realnost, ki je blizu svetu učencev, njihovim izkušnjam. Prav zato učenci ne smejo zapravljati časa z abstraktnimi besedami, kot je npr. »klada«. Velikokrat dam pri nalogah več podatkov, kot bi jih potrebovali za samo reševanje naloge. Pri spletnem brskanju dobijo običajno (pre)več podatkov, ki jih morajo odbrati in uporabiti bistvene. Za reševanje nalog dovolim uporabo kalkulatorja (na škodo matematike).

Vedno dam vsaj eno dodatno nalogo motivacijskega namena. S tem zaposlim hitrejše učence, obenem pa lahko preverjam njihov »doseg« znanja in razmišljanja.

H končni oceni testa prispeva tudi urejenost šolskega zvezka. Njihove zvezke pregledujem in po potrebi napišem opombe v stilu pokojnega Boža Kosa. Točke za zvezek delim po prosti presoji: prva dodatna točka je za preglednost (naslovi, barve), druga za pisavo, tretja za vsebinsko urejenost. Na ta način preprečim pritožbe v stilu »samo dva procenta mi manjkata do štiri«. Za urejen zvezek dobi učenec lahko do 3 % dodatnih točk k točkam testa.

Zelo rad dam število točk različno od 100. Na ta način morajo učenci ponoviti računanje procentov.

Predstavljam test, ki smo ga pisali zadnji teden v decembru. Zaradi testov pri drugih predmetih, dnevov dejavnosti ali počitnic, učitelji iščemo primerne termine za teste. Pogosto pišemo ob drugih dnevih, kot si bi želeli, in ne takrat, ko popolnoma zaključimo posamezno poglavje. Prilagajanje se odraža na nalogah testa. V šolah moramo biti močno prilagodljivi.

TEST

Odstotki	Ocena
do 50 %	nzd (1)
51–62 %	zd (2)
63–74 %	db (3)
75–87 %	pdb (4)
nad 88 %	odl (5)

1. test iz fizike

GIBANJE, ENERGIJA

80	

s Felixom in ostalimi športi

Ime in priimek: ______________________________

12	

1. Felix Baumgartner je oktobra 2012 skočil iz helijevega balona v stratosferi, 40 000 metrov nad tlemi.

   Ali se Felix po skoku premika prvih 5 sekund:

   a) glede na svoje padalo DA NE b) glede na Zemljo DA NE

   c) enakomerno DA NE č) premo DA NE

6	

2. Hitrost zvoka v zraku je 330 m/s. Pri kateri hitrosti (km/h) je Felix prebil zvočni zid?

12	

3. Pred skokom se je balon s kapsulo dvigal 2 uri in 30 minut **enakomerno** na višino 40 kilometrov.

   a) Izračunaj povprečno hitrost dviganja balona s kapsulo.

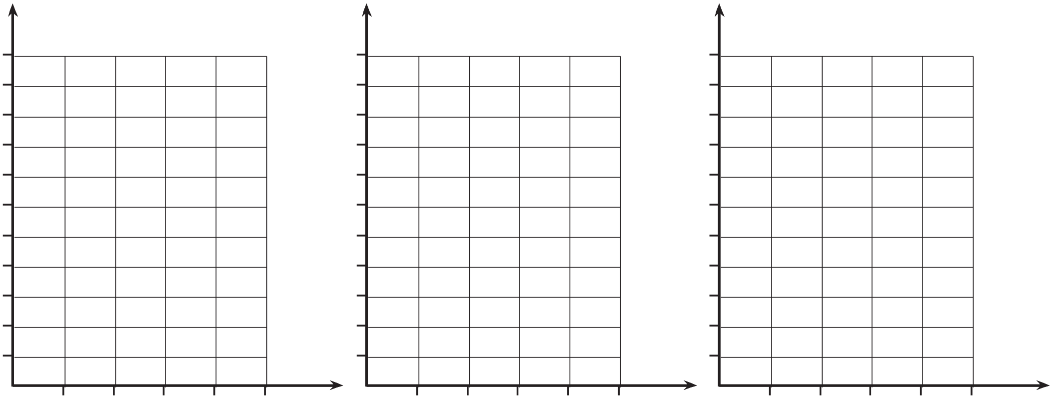
   b) Nariši grafe:

      v prvi graf: **pot** kapsule v odvisnosti od časa za celoten dvig

      v drugi graf: **hitrost** kapsule v odvisnosti od časa

      v tretji graf**: pospešek** kapsule v odvisnosti od časa.

Ne pozabi označiti osi in zapisati ustrezne osnovne enote.



9	

4. Na višini 40 000 metrov je Felix skočil iz kapsule. Na tej višini lahko zanemariš upor zraka.

   Padati je začel z gravitacijskim pospeškom _______ m/s^2.

   a) Za koliko se je Felixu vsako sekundo povečala hitrost? _______________________.

   b) Po kolikšnem času padanja je dosegel hitrost 100 km/h? _________________.

   c) Prosto je padal 4 minute in 20 sekund. Pri kolikšni hitrosti bi odprl padalo, če ne upoštevaš zračnega upora?

10	

5. Gremo na sneg. Sankač ima skupaj s sanmi maso 100 kg in drsi pospešeno po klancu. Rezultanta sil je 60 N.

   S kolikšnim pospeškom drsijo sani po klancu? ________________

   Kolikšen bi bil pospešek, če bi se trenje povečalo za 30 N, ko bi zapeljal na mokro travo?

12	

6. Jamajski atlet Usain Bolt je leta 2009 postavil svetovni rekord v teku na 100 metrov s časom 9,58 sekunde.

   a) Izračunaj, kolikšna je bila njegova kinetična energija med tekom. Potrebne podatke poišči v tabeli ob sliki.

   b) Zakaj ima naboj iz puške samo 540 J kinetične energije, čeprav je veliko hitrejši od Bolta?

   c) Bolt se je moral po teku skozi cilj ustaviti. S kolikšno silo je moral »zavirati«, če se je ustavil 25 m stran od cilja?

Bolt at the 2012 Summer Olympics	
Personal information	
Nickname(s)	*Lightning Bolt*
Nationality	*Jamaican*
Born	*21 August 1986 (age 26)* *Trelawny, Jamaica*
Residence	*Kingston, Jamaica*
Height	*1.95 m (6 ft 5 in)[3]*
Weight	*94 kg (210 lb)[3]*

8 + 2%	

7. Pri tenisu je do sedaj najhitrejši servis dosegel Hrvat Ivica Karlović. Žogica je dosegla hitrost 251 km/h. Izračunaj, kako visoko bi žogica s to začetno hitrostjo poletela v zrak. Upor zraka »požre« 20 % energije. Masa žogice je 58 g.

   Dodatni točki dobiš, če izračunaš višino brez podatka za maso žogice.

9	

8. Opiši vse tri Newtonove zakone na primeru kolesarjenja.

10	

9. Plavalka z maso 60 kg brez strahu skoči z trimetrskega stolpa navpično v bazen. Najmanj kako globoka mora biti voda, da se ne bo dotaknila dna bazena, če na njo deluje voda s povprečno silo 500 N (upor in vzgon vode)?

   Kako varno bi skočil s stolpa plavalec teže 800 N v isti bazen, če nanj deluje voda z enakim uporom? Razloži.

REŠITVE

1.) Felix se premika:

a) glede na svoje padalo	NE	b) glede na Zemljo	DA
c) enakomerno	NE	č) premo	DA

po 3 točke za vsak odgovor

2.) 330 m/s = 330 x 3,6 km/h = 1188 km/h *6 točk*

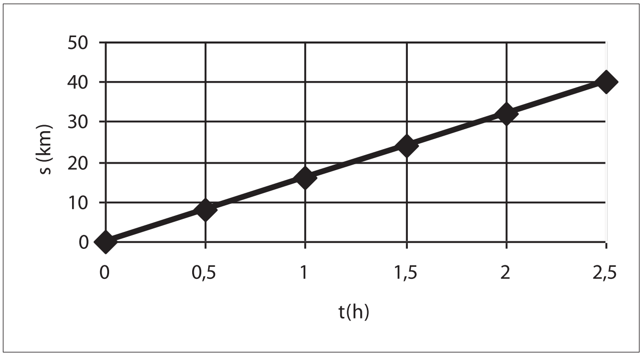
Zvočni zid je prebil pri hitrosti 1188 km/h.

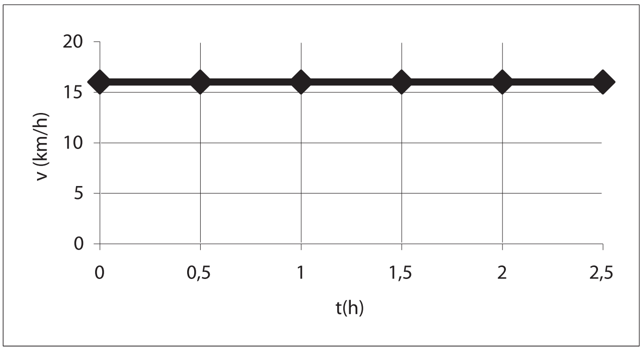
3. s = 40 km v = s/t

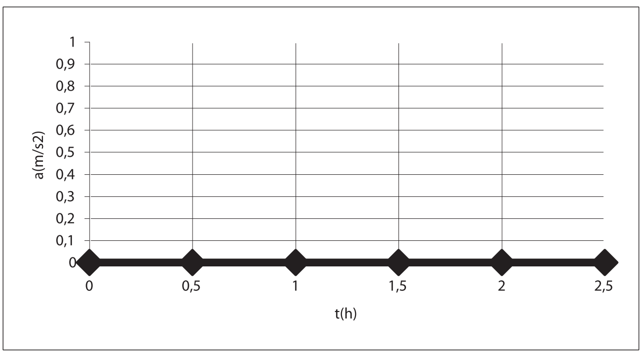
t = 2,5 h v = 40 km / 2,5 h = 16 km/h

v = ?

Povprečna hitrost dviganja je bila 16 km/h. *6 točk*







Pravilne rešitve so lahko podane tudi v metrih oz. metrih na sekundo. *6 točk*

4. Predmeti padajo s pospeškom 10 m/s^2, če zanemarimo upor.

a) Hitrost se je povečala za 10 m/s.

b) 100 km/h je dosegel po 2,7 sekunde.

c) Prosto je padal 260 sekund. Njegova hitrost bi bila 2600 m/s (kar je enako 9360 km/h).

Vsakič po 3 točke, skupaj 9 točk.

5. $m = 100\ kg$ $\quad a = F/m$

$F = 60\ N$ $\quad a = 60\ N / 100\ kg$

$a = ?$ $\quad a = 0{,}6\ m/s^2$ *6 točk*

Pospešek sani je $0{,}6\ m/s^2$. Rezultanta sil bi bila 30 N, saj trenje nasprotuje gibanju. Pospešek bi se zmanjšal na polovico ($0{,}3\ m/s^2$).

4 točke

6. a) $s = 100\ m$ $\quad v = s/t$

$t = 9{,}58\ s$ $\quad v = 100m / 9{,}58s$

$v = ?$ $\quad v = 10{,}44\ m/s$

$m = 94\ kg$ $\quad W_k = mv^2 / 2$

$v = 10{,}44\ m/s$ $\quad W_k = (94 \times (10{,}44)^2 / 2)\ J$

$Wk= ?$ $\quad W_k = 5123\ J$ *6 točk*

Kinetična energija Usain Bolta je bila 5120 J.

b) Kinetične energije ne določa samo hitrost, temveč tudi masa. *2 točki*

c) $A = 5123\ J$ $\quad F = A/s$

$s = 25\ m$ $\quad F = (5123/25)\ N$

$F = ?$ $\quad F = 205\ N$ *4 točke*

Zaviralna sila Usaina je bila 205 N.

7. $v = 69{,}7\ m/s$

$$0{,}8\, W_k = 0{,}8 \cdot \frac{mv^2}{2} = mgh = W_p$$

$$h = \frac{0{,}8 \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

$h = 194\ m$

Žogica bi poletela 194 m visoko. *8+2 točki*

8. Trije Newtonovi zakoni na primeru kolesarjenja so lahko opisani na različne načine, primer:

1. Stojim ob kolesu. Vozim se po cesti s stalno hitrostjo.
   Mirujem ali se gibljem premo enakomerno, če name ne deluje nobena sila ali pa je vsota vseh sil, ki delujejo name, enaka nič (recimo trenje in potiskanje).
2. Povečujem hitrost vožnje. Zaviram pri ustavljanju. Peljem se po klancu navzdol z vedno večjo hitrostjo.
   Pospešek telesa je premo sorazmeren z rezultanto sil name in obratno sorazmeren z mojo maso. Težje pospešujem, če imam veliko maso.
3. Če delujem na pedal s silo, deluje pedal name z enako veliko, a nasprotno usmerjeno silo. Kolo pritiska na podlago, podlaga pritiska na kolo z enako silo v nasprotni smeri.
   Če prvo telo deluje na drugo z neko silo, deluje tudi drugo telo na prvo z enako silo v nasprotni smeri.

3 krat po 3 točke

9. $m = 60$ kg $\quad W_p = m \cdot g \cdot h$

$h = 3$ m $\quad W_p = 1800$ J

$g = 10$ m/s^2

Wp = ? *4 točke*

$A = Fs$

$s = A:F$

$s = 1800:500$m

$s = 3{,}6$ m *4 točke*

Voda mora biti globoka najmanj 3,6 m.

Plavalec ima na začetku večjo potencialno energijo kot plavalka, tik nad gladino večjo kinetično energijo. Voda ga zavira z enako silo kot plavalko, zato se potopi globje kot plavalka. *2 točki*

REZULTATI

Poučujem na majhni šoli. V 9. razredu je 8 učencev.

Učenci so povprečno dosegli 76 % vseh točk, pri tem so dobili od 0 do 5 dodatnih procentov (največ 3 % za urejenost zvezka in 2 % pri 7. nalogi). Glede na poenotene lestvice so bile dosežene naslednje ocene: dvojka, tri trojke, štirici in petici. Povprečna ocena je bila 3,6, kar je za ta razred običajno.

Največ težav so učenci imeli s sestavljenima nalogama: 6. in 9. Presenetljivo slabo so pisali »klasično« 5. nalogo, ki sta jo prav rešila samo dva učenca od osmih. Z zamenjavo mase in teže bomo verjetno končali šele pri poglavju o vesolju. Pri opisovanju Newtonovih zakonov jim manjka natančnost izražanja. Izpostavljam primer »če držim balanco s silo 5 N, me balanca drži nazaj s silo 5 N«.

Težav z iskanjem pravih podatkov pri nalogi z veliko podatki niso imeli, saj so bili preveč očitno različni. V preteklosti sem dvakrat dal nalogo s premalo podatki. Vendar je polglasno negodovanje prvih reševalcev naloge celemu razredu povedalo, da je z nalogo nekaj narobe.

V pogovoru mi je kolega fizik rekel: »To je skoraj matematični test.« V trenutku so se mi odprle oči. Povedal je čisto resnico! In ravno jaz, ki sem vedno pred kolegi podpiral konceptualno fiziko. Tako manjkajo naloge izbirnega tipa in naloge, ko mora učenec uporabiti svoje znanje in logično reševanje.

Teden dni pred testom smo z učenci pisno preverjali znanje. Za preverjanje vedno pišemo test predhodnega leta. Lanski je bil »kamionarski« (štirje učenci v tistem razredu so bili iz »kamionarskih« družin). Tudi naslednje leto bodo učenci pisali drugačen test, saj ga je treba prilagoditi glede na predelano učno snov in na aktualnost dogodkov. Naslednje leto Felix Baumgartner verjetno ne bo več aktualen, pa saj bodo kmalu zimske olimpijske igre …

SKLEP

Teste je potrebno nenehno spreminjati in prilagajati – glede na predelano snov, glede na interes učencev, glede na sposobnosti učencev. Sam poskušam narediti iz preverjanja in ocenjevanja znanja »praznik znanja«. V ta namen naredim test kot »zgodbo«.

Mislim, da so učenci s tem dodatno motivirani.

ŠE EN TEST ZA TRETJEŠOLCE

Tine Golež

Škofijska klasična gimnazija, Ljubljana

OZADJE

Učni načrt nam pušča kar precej proste roke pri zaporedju obravnave snovi. Moja dva kolega tako v tretjem letniku najprej obdelata nihanje, valovanje, zvok in optiko, potem pa se lotita elektrike. Sam se raje prej podam k elektriki, saj se tako bolj uskladim z matematiki, da hkrati govorimo o nihanju pri obeh predmetih.

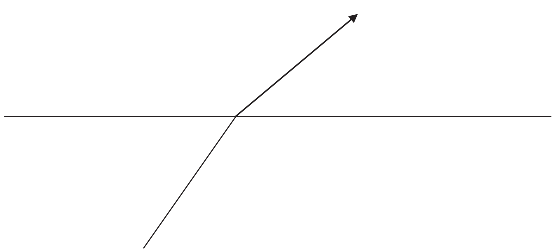
Zamik snovi med fiziki tudi pomeni, da imamo manj gneče pri opremi. Če bi kar vsi trije začeli z elektriko, bi gotovo nastajalo več težav z opremo, saj nekaterih demonstracijskih učil nimamo v več primerkih. Tako se morata moja kolega včasih med seboj dogovarjati za opremo, medtem ko sam uporabljam učila za nihanje, valovanje …

Ne glede na ta zamik med snovjo pa se vsi potrudimo, da do 15. maja končamo s klasično fiziko in začnemo razlagati moderno fiziko. Nikakor ni prav, da bi za to poglavje zmanjkalo časa.

Predstavljam torej zadnji test pred obravnavo moderne fizike. Tema »valovanje« v eni dimenziji je bila zajeta že v prejšnjem testu, tako da sem tokrat preverjal poglavji zvok in svetlobo. Naloge so pregledno razporejene na list velikosti A3, tako da ima dijak vse pred sabo (pa tudi učitelj, ko popravlja test …). Vsi dijaki pišejo enak test, kar mi omogočajo »antiprepisovalni zasloni« [1].

Razred in datum	Ime in priimek	Točke/Ocena
3.a 21. 5. 2012 Kriterij: do 15 (1), 16-18 (2), 19-23 (3), 24-27 (4), 28-32 (5)		

1. Svetloba potuje iz vode v zrak. Lomi se tako, kot kaže slika. Hitrost svetlobe v zraku je $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s.



a) Kolikšna je hitrost svetlobe v vodi? Izmeri ustrezna kota in jo izračunaj. *(2 točki)*

b) Frekvenca te svetlobe v zraku je $5{,}3 \cdot 10^{14}$ Hz.
Kolikšna je v zraku njena valovna dolžina? *(2 točki)*

c) Kolikšna je njena valovna dolžina v vodi? *(2 točki)*

d) Kolikšna je njena frekvenca v vodi? *(2 točki)*

2. Z ozkim snopom bele svetlobe smo posvetili na uklonsko mrežico. Na tabli, ki je 3,3 m oddaljena od uklonske mrežice, je nastala mavrica; ena levo od osrednje ojačitve (bela svetloba), druga desno. Valovna dolžina vidne svetlobe je med 400 in 760 nm.

a) Kolikšna je valovna dolžina rdeče svetlobe, ki je že skoraj infrardeča, a jo še vedno vidimo? Kolikšna je valovna dolžina vijolične svetlobe, ki je skoraj že UV, a jo še vidimo? *(2 točki)*

b) Uporabili smo uklonsko mrežico, ki ima 355 rež na milimeter.
Kolikšen je razmik med sredinama dveh sosednjih rež? *(2 točki)*

c) Kako široka je mavrica na desni? Gre za mavrico, ki ustreza ojačitvi prvega reda; nastala je na tabli. *(4 točke)*

3. Med plamenček in steno, ki je 4,0 m oddaljena od plamenčka, smo postavili zbiralno lečo. Na steni je nastala ostra in povečana slika plamenčka. Goriščna razdalja leče je 0,55 m.

a) Ali je razdalja med lečo in plamenčkom manjša kot med lečo in steno? Odgovor utemelji z besedami. *(2 točki)*

b) Iz česa nastane slika, ki je realna? Kaj je zanjo značilno? *(2 točki)*

c) Izračunaj razdaljo med lečo in plamenčkom. *(4 točke)*

4. Naštej nekaj mehanskih valovanj. Kakšno valovanje še poznamo?
Kaj je značilno za to valovanje? *(2 točki)*

5. Nariši spekter tona in zvena ter ju na kratko opiši. *(2 točki)*

6. Merilnik je izmeril glasnost zvoka 80 dB.

a) Kolikšna je gostota energijskega (zvočnega) toka? *(2 točki)*

b) Glasnost se je potem zmanjšala na 40 dB. Za koliko odstotkov se je zmanjšala gostota energijskega (zvočnega) toka? *(2 točki)*

REŠITVE

1.

a) Izmerimo, da je vpadni kot 35 stopinj in lomni kot 50 stopinj. Zato je $c_{vode} = 2{,}25 \cdot 10^8$ m/s.

b) $\lambda = c/\nu = 566$ nm

c) $\lambda_{vode} = \lambda c_{vode}/c = 425$ mm

d) Frekvenca se ne spremeni, je še vedno $5{,}3 \cdot 10^{14}$ Hz.

2.

a) 400 nm je modra (vijolična), 760 nm pa rdeča.

b) $d = 1\text{mm}/355 = 2{,}82 \cdot 10^{-6}$ m

c) $d\sin\alpha = \lambda$ (opazovali smo prvo mavrico); $\alpha_m = 8{,}16^0$, $\alpha_r = 15{,}65^0$; zato se modra barva začne 0,473 m od osrednje osvetlitve in rdeča konča 0,924 m od osrednje osvetlitve (N = 0). Širina mavrice na tabli je tako 0,924 m – 0,473 m = 0,451 m

3.

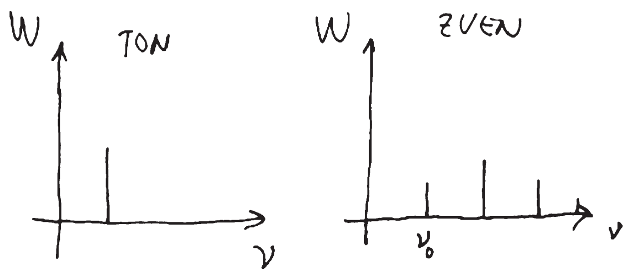
a) Povečano sliko dobimo, ko je razdalja med lečo in predmetom med f in $2f$, v našem primeru med 0,55 m in 1,10 m. Od leče do stene je tako še okoli 3 metre. Razdalja med lečo in plamenčkom je manjša od razdalje med steno in lečo.

b) Realna slika nastane iz žarkov (in ne njihovih podaljškov). Realno sliko lahko projiciramo ali opazujemo, je tudi obrnjena.

c) d = 400 cm; f = 55 cm; $a + b = f$ in $1/a + 1/b = 1/f$. Iz prve enačbe izrazimo b in ga vstavimo v drugo. Dobimo kvadratno enačbo z rešitvama: a_1 = 334,2 cm in a_2 = 65,8 cm.

4. Mehanska valovanja so valovi na morju, val, ki ga ustvarijo navijači, zvok, valovi na slinki vzmeti ali struni … Elektromagnetno valovanje ni mehansko, saj ne potrebuje sredstva.

5. Pri tonu je v spektru ena sama frekvenca, pri zvenu pa osnovna frekvenca in celoštevilski večkratniki osnovne frekvence.



6.

a) $j = 10^{-4}$ W/m^2

b) $j_{zmanj} = 10^{-8}$ W/m^2, zato je $j_{zmanj}/j = 10^{-4} = 0{,}0001$. Gostota energijskega toka je še 0,01 % prvotne, kar pomeni, da se je prvotna zmanjšala za 99,99 %.

REZULTATI IN KOMENTARJI

Odstotek povsem pravilnih odgovorov, za katere so dobili dve točki (oziroma 4 pri podvprašanjih 2.c in 3.c).

1. naloga	a	b	c	d
odstotki	57	77	53	53

Pričakovano so zapisali največ popolnoma pravilnih odgovorov pri podvprašanju *b*. Tam so le vstavili podatka v enačbo. Vsa druga podvprašanja pa zahtevajo vsaj malce razmisleka. Pri prvem je bilo treba pravilno označiti in izmeriti kota (vpadna pravokotnica!), pri tretjem so se srečali z računanjem valovne dolžine v drugem sredstvu, kar ni bilo v nobeni že rešeni nalogi. Zadnje podvprašanje pa smo precej poudarjali pri obravnavi valovanja na vodi, a rezultat kaže, da prenos znanja na drugo področje (svetloba) ni bil preveč uspešen … če že predpostavim, da jim je bilo to – enaka frekvenca – pri valovanju na vodi razumljivo.

2. naloga	a	b	c
odstotki	90	83	30

Vidimo, da so kar dobro vedeli, katere valovne dolžine spadajo k modri in katere k rdeči svetlobi oziroma meji obeh. Tudi preračun iz števila rež do razmika med režama ni delal posebnih težav. Širina mavrice na steni pa je zahtevnejša naloga (zato 4 točke) in slaba tretjina je vse rešila pravilno, kar nekaj pa je bilo takih, ki so dobili dve ali tri točke. Po drugi strani pa jih je osem pri tem podvprašanju ostalo popolnoma brez točk. Gre za poskus, ki smo ga naredili med poukom, a tedaj nismo merili ali računali širine mavrice, pač pa skrajni valovni dolžini vidne svetlobe (kolikor se pač to da izmeriti v razmeroma svetli učilnici).

3. naloga	a	b	c
odstotki	83	77	37

Med samim poukom smo naredili kar nekaj preslikav z lečo, tako da ni presenetljiv rezultat pri prvem podvprašanju. Tudi značilnosti navideznih in realnih slik so bile stalnica ustnega spraševanja, kar spet da pričakovan rezultat. Račun pri tretjem podvprašanju je eden redkih, ko dijaki (končno!) uporabijo kvadratno enačbo, ki so jo sicer po dolgem in počez obdelovali v drugem letniku pri matematiki, pa še do mature in naprej jih bo spremljala. Za nekatere je že uporaba drugih črk namesto znanega *x* prva ovira pri razumevanju, za kaj gre. Seveda smo podoben primer naredili v šoli, sicer bi bil rezultat še slabši.

4. naloga	
odstotki	27

Delitev na mehanska in elektromagnetno valovanje je tako pomembna, da spada tudi v kontrolno nalogo. Očitno pa bi bilo to vprašanje potrebno še večkrat zastaviti pri ustnem preverjanju in ocenjevanju. **Vsekakor dobi učitelj med premislekom ob testu navdih, kaj in kako spremeniti, da bodo temeljne stvari malo bolj obležale v spominu dijakov.**

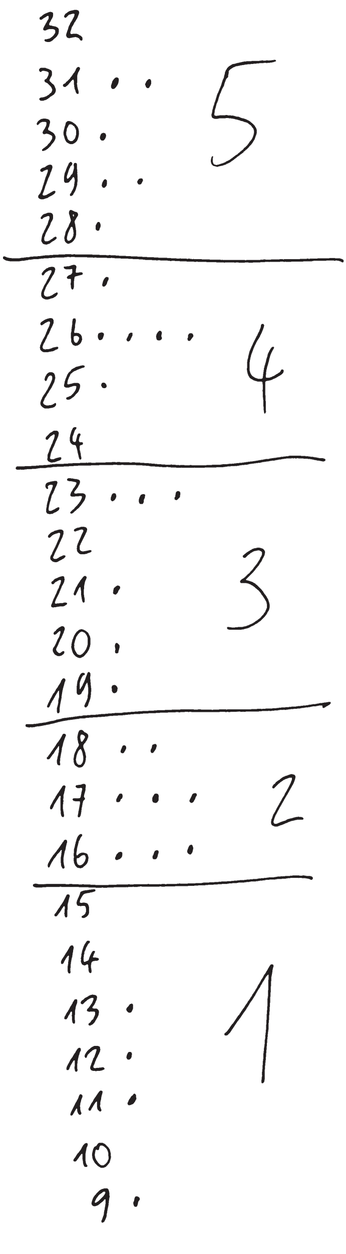
5. naloga	
odstotki	50

Glede na vse pripomočke in poskuse (CoolEdit, glasbeni inštrumenti) sem pričakoval več pravilnih odgovorov. A na koncu je od dijaka odvisno, kaj si zapomni in koliko se uči, zato preveč učiteljeve samokritike, da dijakov ni dovolj naučil, nikakor ni na mestu.

6. naloga	a	b
odstotki	80	23

Spet klasika. Kjer je treba le vstaviti podatke v znano enačbo, bo že šlo. Ko je potreben razmislek in morda le še sklepni račun, pa je že druga pesem. En dijak, ki je pisal 3, je drugo podvprašanje rešil, pa tudi eden, ki je pisal le dve. Ostalih pet pravilnih rezultatov pa pripada petim dijakom, ki so bili ocenjeni s petico.

In ocene dijakov? Pravzaprav za ta razred kar dobre. Je pa manjkalo pet dijakov; če me spomin ne vara, so se učno šibkejši izognili (začasno, seveda) preverjanju te snovi.



ŠIRŠA SLIKA IN SKLEP

Najbrž je eden ključnih podatkov za oceno uspešnosti reševanja testa poleg samih ocen še primerjava med nalogami, ki so jih dijaki dobili za domačo nalogo ali pri spraševanju (oziroma kot zgled pri pouku), in nalogami v samem testu. Lahko rečem, da so naloge sicer podobne, a sem poskusil uporabiti malo drugačna vprašanja, ki bi pokazala, kdo je bolj naučen vzorcev nalog, kdo pa zna pokazati spretnost pri manj znanih okoliščinah. Uravnovešenje znanega in neznanega v testu je večno vprašanje, ki ga predvsem z leti in kritičnim razmislekom o nalogah vse bolj spretno (en stavek za samozavest po dvajsetih letih poučevanja tudi ni odveč) lovi učitelj.

V Dopolnjevalnem učbeniku, ki sem ga napisal za tretješolce, predstavljajo večino računskih nalog za vaje in utrjevanje kar naloge, ki so jih prejšnje generacije reševale v kontrolnih nalogah. Tako so dijaki imeli zares dovolj možnosti za utrjevanje in preizkušanje svojega znanja. A fizika je le eden izmed predmetov. V tretjem letniku pa je to tudi predmet, od katerega se mnogi že – vsaj v mislih – poslavljajo in si želijo končno oblikovati nabor predmetov po lastnih željah in nagnjenjih.

Naj na koncu še enkrat povabim kolege, da še sami predstavijo svoje izdelke za preverjanje in ocenjevanje znanja. Prepričan sem, da bi vpogled v tovrstne izdelke gotovo dal bralcem kak namig, kako še izboljšati zahtevno opravilo, sestavljanje pisnih nalog. Vabljeni!

[1] T. Golež, *Nova rubrika: pisno preverjanje znanja*, Fizika v šoli, **17** (2011) 106–114

ŠOLANJE NIKOLE TESLE (ob 70-letnici smrti)

Stanislav Južnič

Univerza v Oklahomi, Oklahoma

Povzetek - *Opisujemo šolanje Nikole Tesle vključno z njegovim izvenšolskim postankom v Mariboru. Prvi povzemamo dosežke obeh Teslovih poglavitnih učiteljev, Martina Sekulića in Jakoba Pöschla.*

Ključne besede: *Nikola Tesla, Rakovac, Gradec, Maribor, Praga, zgodovina pouka fizike*

Abstract *- Nikola Tesla's student days are described including his unscholarly affair in Maribor. The achievements of Tesla's most influential professors Martin Sekulić and Jakob Pöschl are put into the limelight.*

Keywords: *Nikola Tesla, Rakovac, Graz, Maribor, Prague, History of Physics Education*

UVOD

Nikola Tesla se je navdušil nad elektrotehniko na višji realki v Rakovcu ob Karlovcu pri Martinu Sekuliću med letoma 1870/71–1873. Kdo je bil Sekulić in s čim si je priboril Teslovo spoštovanje?

SLIKA 1: Portret Teslovega srednješolskega profesorja in rojaka Martina Sekulića.

Sekulić je končal pedagoški študij matematike in fizike. Leta 1859/60 je postal asistent na Državni realki v Pešti, ki jo Donava ločuje od Bude na zahodnem bregu. Pomagal je profesorju Dionisu Pospischilu v prvem razredu nižje realke pri pouku geometrijskega načrtovanja, ki je bil Tesli na realki v Rakovcu najmanj ljub predmet.

Sekulićev najboljši prijatelj in sodelavec v Pešti je bil nekoliko starejši Simon Šubic, ki je dne 1. 10. 1856 nadomeščal na državni gimnaziji v Budi. Za predavanja, začeta dne 26. 10. 1856, je bil pohvaljen, ob premestitvi na drugi breg Donave na realko v Pešti dne

18. 9. 1857 je bil nameščen na višjo realko v Pešti. Vrle Madžare je v Pešti poučeval kot profesor fizike od 31. 10. 1857 do poletja 1861; obenem je supliral na državni gimnaziji v Pešti, kjer je dobil dve pohvalni spričevali za »zahtevno delo« in »temeljne pedagoško-znanstvene kvalitete«. Šubic se je tisti čas ukvarjal predvsem z mehaniko in je napisal svojo prvo fizikalno razpravo v Izvestjah realke v Pešti o delovanju Fesselovega rotacijskega stroja. O njem je kasneje na kratko poročal Sekulić, z bolj geometrijskega stališča pa Luka Lavtar, ki je bil leta 1872/73 suplent na gimnaziji v Ljubljani [1].

Leta 1855/56 so na državni realki v Pešti za raziskovanje plinov in vakuuma nabavili: aerometer francoskega kemika-farmacevta Antoina Bauméja, barometer, vakuumsko črpalko, Heronovo kroglo, ki se je vrtela zaradi raketnega pogona brizgajoče pare, sesalno natego in termometre. Za preučevanje elektromagnetizma so kupili: stroj za naelektritev, Voltovo baterijo, magnet in magnetno iglo.

Leta 1856/57 so na državni realki v Pešti za raziskovanje plinov in vakuuma nabavili: kompresijsko črpalko, znova Heronovo kroglo, vakuumsko črpalko z dvema batoma in dve magdeburški polkrogli. Za elektromagnetna raziskovanja so si privoščili turmalin v prižemi, vreteno za torno naelektritev, ki ga je Karl Winter izumil na Dunaju leta 1847, tablo za proizvajanje bliskov, ki je še posebej vplivala na Sekulićeva in poznejša Teslova raziskovanja, elektroskop, dve plošči iz smole za prikaz figur Georga Christopha Lichtenberga, ki jih je desetletje pozneje raziskoval Sekulić, steklenico londonskega lekarnarja Timothyja Laneja za merjenje naboja leidenske steklenice, leidensko steklenico, indukcijski stroj, dve bateriji benediktinskega dekana filozofske fakultete univerze v Pešti Ányosa Istvána Jedlika z ogljikovima elektrodama, elektro-galvanski ojačevalnik (transformator) s 400 ovoji, kondenzator površine 12 kvadratnih inčev in Morsejev telegraf.

Leta 1857/58 so že po Šubičevem nalogu nabavili napravo za prikaz hidrostatičnega paradoksa, za elektromagnetne raziskave pa: podkvasti magnet, kompas z diopterjem, električno jajce kot katodno elektronko za večkratno praznjenje z vakuumsko črpalko (z njim je Sekulić ducat let pozneje navdušil Teslo za očesu nevidne fizikalne sile), elektromagnet z ogrodjem, Ampèrovo ogrodje, Auguste Arthur de la Rivejev elektro-galvanski flotirajoči tok, izumljen v Ženevi leta 1820/21, enopolarni motor brez komutatorja (lahko bi ga obravnavali tudi kot prednika poznejšega Teslovega izuma), kolo Petra Barlowa s Kraljeve vojaške akademije v Woolwichu (1822) z magnetom, dva paličasta magneta kvadraste oblike in 4 funte z volno obdanih izoliranih vodnikov. Šubic je kupil tudi prednika sodobne turbine s povezovalnimi cevmi, kot ga je prvi sestavil Slovak Janoš Androš Segner (Johann Andreas Zegner, * 1704, † 1777) leta 1750.

Leta 1858/59 je Šubic pridobil za fizikalni kabinet zgolj fizikalno uro in tangentni kompas-galvanometer, ki ga je prvič opisal Claude Servais Mathias Pouillet (* 1791, † 1868) s Sorbonne leta 1837. Zato pa si je Šubic s Sekulićevo pomočjo omislil številne fizikalne učbenike piscev, kot so bili: Pisko, Ganot in Heinrich Buff (* 1805, † 1878), ki je zaslovel kot študent-sodelavec Justusa Liebiga in Roberta Bunsena. Šubic je nabavil tudi nov učbenik elektrike Julesa Gavarreta (Louis Denis, * 1809, † 1890), profesorja fizike na medicinski fakulteti v Parizu, v prevodu Rudolfa Arendta (* 1828, † 1902) in tridelni Priročnik inženirstva-strojništva Ludvika Juliusa Weisbacha (* 1806, † 1871) z Rudarsko-metalurške akademije v Freiburgu.

Leta 1859/60 si je Šubic s Sekulićevo pomočjo naročil nadvse sodobno zbirko elektrotehniških instrumentov: galvanski tok za elektromotorno sukanje premičnih teles, več Geisslerjevih katodnih elektronk, električno pištolo, podobno Voltovemu eudiometru, cevasto ogrodje stroja za razelektritve, sistem za transmisijo galvanskega impulza, most Charlesa Wheatstona, veliko Smeejevo baterijo, več kolodijevih balonov po izumu Louisa-Nicolasa Ménarda iz leta 1846 (bile so to tanke lahke votle plasti nitroceluloze za nazorno opazovanje učinkov električnega privlaka), napravo za galvanoplastiko, veliki Schwarzov motor, elektromotor z dvojnima tuljavama in magnetoma poleg komutatorja (kot si ga je Charles Grafton Page (* 1812, † 1868) zamislil v poznih 1830-ih letih in ga je na koprski gimnaziji profesor Niccolò Vlahović kupil pred letom 1864), vakuumski recipient za magnetno odklanjanje elektronov, napravo s tuljavami za prikaz indukcijskega zakona električnega toka, Coulombovo torzijsko tehtnico, 4 kose magnetnih induktorjev, tuljave z dvanajstimi paličastimi magneti in elektromagnetsko napravo. Za poskuse s plini in vakuumom si je omislil še Saussurov higrometer, psihrometer, tipalo in Torricellijev vakuum. Kupil je tudi napravo za merjenje tlaka kapljevine, ki jo je Charles Nicolas Alexander Haldat du Lyse (* 1770; † 1852) izumil dve desetletji prej.

Med fizikalnimi napravami, ki jih je Šubic leta 1859/60 nabavil v Pešti, je bila centrifuga nekdanjega srednješolskega profesorja Friedricha Fessela in bonskega pionirja vakuumskih tehnik Juliusa Plückerja, ki sta jo razvila leta 1852/53. Na gimnaziji v Ljubljani so enako napravo dobili šele leta 1866/67 za ceno 4,15 forintov navadne veljave, v gimnaziji v Celovcu pa šele leta 1874/75. Nabavil je Foucaultovo nihalo, ki so ga na gimnaziji v Ljubljani imeli že štiri leta. Vakuumske cevi Heinricha Geisslerja je Šubic nabavil v Pešti tri leta pred gimnazijo v Ljubljani. Njemu in Sekuliću so omogočile prve resne stike z vakuumskimi tehnikami; katodne elektronke so desetletje pozneje odločilno vplivale na mladega Teslo med šolanjem v Rakovcu, pa tudi med delom pri telefonskem podjetju *Ferenca Puskása* in njegovega brata Tivadarja, ustanovljenem v Pešti dne 1. 5. 1881. Ple-

Preglednica 1: Primerjava nakupov instrumentov po panogah v letih 1855–1857 (pred Šubičevim in Sekulićevim prihodom) z leti 1857–1860 (ko je kustos fizikalnega kabineta Šubic odločal o nabavah):

	Mehanika trdnin	Kapljevine	Plini, meteorologija	Akustika	Elektrika, magnetizem	Optika	Toplota	Skupaj
1855-57	7	2	10	1	17	9	7	53
1857-60	11	3	10	10	30	35	5	104
1857/58	6	1	2	5	11	21	2	48
1858/59	1	0	0	0	1			2
1859/60	4	2	8	5	18	14	3	54

miška brata Puskása sta resda raje obiskovala elitni Terezianum, Tivadar pa še dunajsko Politehniko, kot da bi poslušala Sekulićeva in Šubičeva predavanja pred domačim nosom na realki v Pešti; tehniško univerzo so Madžari ustanovili komaj leta 1872 [2].

Med službovanjem v Pešti je bil Šubic kustos fizikalnega kabineta. Število nabav instrumentov za pouk posameznih panog fizike pove marsikaj o njegovih in Sekulićevih znanstvenih hotenjih, ki so nato posredno opredelila tudi Teslo.

Primerjava med obema triletnima obdobjema kaže približno dvakrat številnejše nakupe pod Šubicevo taktirko; predvsem si je omislil mnogo več pripomočkov za merjenje zvoka, svetlobe in elektrike v skladu s Sekulićevimi področji raziskovanja. Šubic je za preučevanje toplote nabavil termometre z različnimi skalami, termočlen, termofon za proizvajanje tonov z infrardečimi žarki, kroglo z obročem za preučevanje toplotnega raztezanja snovi in kriofor, v katerem je voda zmrzovala po hitrem izparevanju. Za pouk mehanike trdnin, plinov in meteorologije je kupoval približno toliko naprav kot njegovi predhodniki na realki v Pešti; raziskovanju plinov in meteorologiji je Šubic pozneje posvetil svoje raziskovalno delo.

SEKULIĆ IN TESLA V RAKOVCU

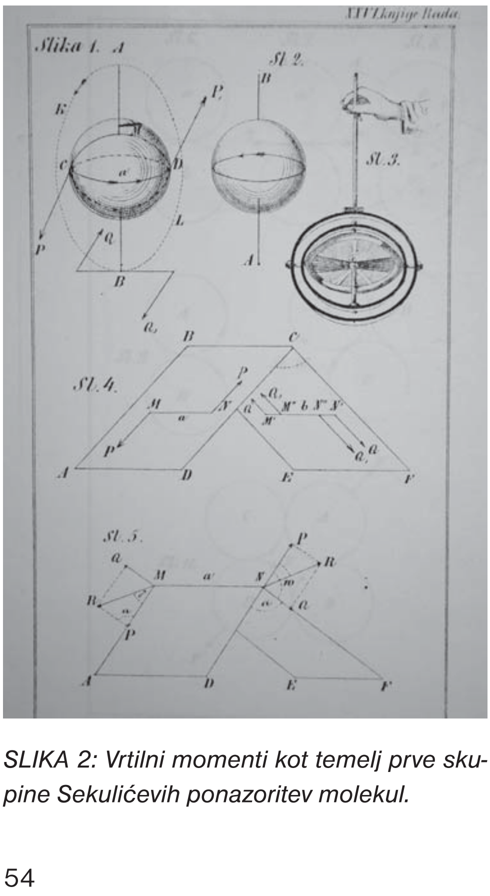
Tesla je šolanje začel na nižji trivijalki v rodnem Smiljanu; sredi leta 1863 je njegov oče dobil službo v Gospiću, kjer je Tesla končal osnovno šolo. Nato je med letoma 1867/68–1869/70 obiskoval tri letnike nižje realke v Gospiću, kjer so pod ravnateljem, učiteljem gramatike Josephom Velkom, učili Johann Balaško, Joseph Vitasek, meteorolog Johann Jamnicki in Joseph Bukvić.

Poleti 1861 je Martin Sekulić prešel iz Pešte na realko v Rakovcu, ki leži v južnem delu Karlovca zunaj trdnjave na levi obali Korane. S cesarskim ukazom z dne 28. 1. 1863 je bila nižja realka v Rakovcu spremenjena v višjo. Sekulić je bil v Rakovcu knjižničar, profesor strojeslovja, hrvaščine in aritmetike. Ob začetku Teslovega šolanja v Rakovcu leta 1870 je postal kustos fizikalnega kabineta. Zadolžen je bil tudi za sestavljanje električnih naprav ter za nadzor šolske meteorološke postaje.

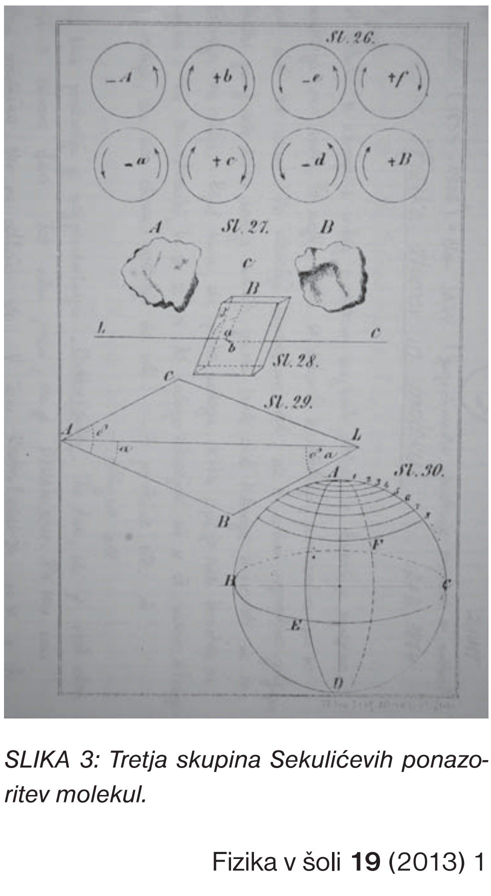
Ob maturi je Tesla dobil ocene iz vedenja, veronauka, hrvaščine, nemščine, zemljepisa z zgodovino, matematike, načrtovalne geometrije, prirodopisa, fizike, kemije in prostoročnega risanja. Sekulić je neformalno najel za naravoslovje navdušenega Teslo za svojega pomočnika pri eksperimentiranju. Teslo je najbolj navdušila Sekulićeva hitro sukajoča se vrtljiva krogla-balon, ovita s staniolom in povezana z elektrostatičnim strojem. Sekulić je uporabljal tudi induktor Heinricha *Daniela Ruhmkorffa* za vzbujanje svetlikanja kovinskega prahu v epruvetah; raziskoval je spektralne razlike glede na stopnjo doseženega vakuuma. Sekulić je imel v Rakovcu leta 1880/81 na skrbi 277 fizikalnih naprav in pripomočkov za pouk. Nagrade predavateljem in oprema so bile v Rakovcu boljše kot drugod v monarhiji zavoljo radodarne vojaške uprave; zato so prav v tedanji Vojni Krajini predavali najboljši srednješolski profesorji. Tesla si je ob Sekulińu zaželel izumljanja, čeravno se je v Gradcu morda vseeno vpisal na pedagoško smer, realno računajoč na dosegljivi kos kruha. Sekulićeva razlaga vzroka elektrike je bila vsaj za nekaj časa tudi Teslova [3]; Tesla je bil vsaj v Rakovcu tip učenca, ki večno spoštuje učitelja, podobno kot je Jurij Vega že v siju svoje lastne slave hvalil svojega ljubljanskega profesorja Jožefa Maffeija.

TESLOVA TEORIJA KAPILARNOSTI

Tesla je po nekaj mesecih študija v Gradcu pred tamkajšnjim društvom srbskih študentov Srbadija, ki ga je pomagal ustanoviti kot protiutež nemškim študentom, predaval »*O kapilarnim cevima*« neke januarske nedelje 1876; drugi član društva je predaval o sodobnih teorijah nastanka in razvoja Zemlje. Teslovo predavanje je bilo navedeno v zborniku leta 1884, ki je izšel v Novem Sadu, v tedanjem središču srbske manjšine habsburške monarhije. Podobno je četrt stoletja kasneje začel fizikalno pot s kapilarnostjo Albert Einstein leta 1901. Leta 1906 se je istega pojava lotil začetnik Niels Bohr. Mihajlo Pupin je doktoriral iz kapilarnosti leta 1889 v Berlinu. Teslov prvi korak v fiziko kinetične teorije, vakuuma in kapilarnosti je bil neposredno povezan s predavanji njegovega profesorja Sekulića. V tretji četrtini preteklega stoletja so objavili dve razpravi o kinetični teoriji v srednješolskih Izvestjah, eno pa si je v Radu JAZU privoščil Sekulić leta 1874; v Radu 1876 in v Izvestjah 1877 je Čeh Laska objavil še razpravi s podobno vsebino. Razpravo Ivana



SLIKA 2: *Vrtilni momenti kot temelj prve skupine Sekulićevih ponazoritev molekul.*



SLIKA 3: *Tretja skupina Sekulićevih ponazoritev molekul.*

Benigarja, rojenega v okolici Ilirske Bistrice, lahko štejemo med slovenske, čeravno je pozneje vseskozi služboval na Hrvaškem; tam so ga seveda za šalo klicali za »Janeza«.

Več raziskovalcev kinetične teorije, med njimi Šubic, doktor filozofije duhovnik Gregor Tuschar, upokojen kot goriški gimnazijski profesor, Čehi Franjo Mathon in Antun Laska, Joseph Polák, Karl Klekler in Julius Puluj so v obravnavanem obdobju 1855–1875 službovali ali študirali na obeh straneh mejne reke. K avstrijskim razpravam so v spodnji preglednici šteli srednješolske Izvestje iz Vojne krajine in ogrske polovice monarhije, če so tam objavljali raziskovalci iz avstrijske polovice države, kot so bili Pupinov profesor Klekler na Višji realki v Pančevu [4], Mathon in Puluj na Rijeki, Tuschar v Bratislavi in Polák na katoliški gimnaziji piaristov v mestu Kecskemét jugovzhodno od Budimpešte.

Preglednica 2: Razprave o toploti, molekularni teoriji in vakuumu v srednješolskih Izvestjah avstrijske polovice habsburške monarhije med letoma 1850–1875; tiste, ki se nanašajo (tudi) na kinetično teorijo plinov, so označene s (KT), poleg kraja pa je označena še Realka oziroma Gimnazija

Leto	Pisec	Vsebina	Kraj in šola	Opombe
1855	Franjo Mathon	toplota	Rijeka G.	KT
1855	Gregor Tuschar	atomizem	Bratislava G.	?
1859	August Schwartzer	toplota	Praga nemška R	KT
1860	Chrysostomus Amon	atomi	Wiener Neustadt G	ni KT
1861, 1862	Karl Puschl	sila med molekulami	Melk samostan G.	KT
1863	Ignatz Weiner	toplota	Brno R	ni KT
1864	Simon Šubic	temperatura	Dunaj Rossau R	KT
1867	Joseph Polák	toplota, meteorologija	Kecskemét G.	ni KT
1869	Karl Klekler	termodinamika	Pančevo R	KT
1873	Ivan Benigar	prevajanje toplote	Vinkovci G.	ni KT
1873	Wenzel Grünert	toplota	Brno nemška G.	KT
1873	Heinrich Schramm	privlačna sila	Wiener-Neustadt R	KT
1874	Dragutin Kössler	prevajanje toplote	Rijeka G.	ni KT
1874	Antun Laska	molekulska teorija	Požega G	KT
1875	Franz Joseph Pisko	toplota	Dunaj Sechshaus R	KT

Med letoma 1850–1875 je devet avstrijskih šolnikov v srednješolskih Izvestijah podprlo kinetično teorijo, le štirje pa so bili proti; srednješolski profesorji so tako nadpovprečno podpirali novost, saj so bili v njenem duhu večinoma vzgojeni med dunajskim šolanjem pri Jožefu Stefanu. Ni mogoče trditi, da bi bila podpora kinetični teoriji odvisna od tega, kako blizu Dunaja je posamezen pisec raziskoval. Med Teslovim šolanjem pri Sekuliću v Rakovcu je bilo nasprotovanje kinetični teoriji in Boltzmannovi statistični mehaniki še možno, kmalu zatem pa ne več; nova teorija je postala del nedvoumnega osnovnega pouka na univerzah, pozornost Tesle in drugih prihajajočih raziskovalcev pa se je dve stoletji po njenih začetkih znova usmerila v vakuumsko tehniko kot temelj novodobne elektrotehnike. V času Teslovega obiskovanja srednje šole v Rakovcu so med razpravami v srednješolskih Izvestjah v Nemčiji in habsburški monarhiji že močno prevladovala razglabljanja o elektromagnetizmu [5].

SEVERNI SIJ IN FLUORESCENCA

Raziskovanje iskrenja in strel je Sekulića v Teslovih dijaških letih pripeljalo k preučevanju fluorescence. Stokes je domneval, da je sila v enostavnem razmerju z odmikom delca snovi od ravnovesne lege. Odvisna je od sestave etra in razdalje med molekulami snovi. Amplituda nihanja je neskončno majhna v primerjavi z velikostjo molekul. Nihajni čas molekul je drugačen od nihajnega časa delcev etra, frekvenca fluorescirane svetlobe pa se zniža zaradi zmanjšanja amplitude. Anders Jonas Ångström je leta 1853 neodvisno od Stokesa opravil podobne poskuse, vendar je prišel do nasprotnih ugotovitev. Po njem bi morali atomi etra nihati celo oktavo višje in bi imela fluorescenčna svetloba zato višjo frekvenco od absorbirane.

Profesor fizike in prirodopisa na višji realki v Zagrebu Josip Torbar je v razpravi *Sjeverna zora* zagovarjal Olmstedovo teorijo o kozmičnem izviru severnega sija; zavračal je teorijo Augusta de la Rive o elektriki kot povzročiteljici severnega sija. Naslednje leto je Teslov profesor na realki v Rakovcu Sekulić objavil razpravo o električni naravi severnega sija: *Polarna zora kao učinak zemaljske munjine*. Sekulić je Torbarju nasprotoval in je sestavil celo lasten stroj za laboratorijsko tvorbo severnega sija in spektralno analizo njegove svetlobe, ki ga je gotovo uporabljal Sekulićev neformalni asistent Tesla; Tesla je domislico pozneje mnogokratno povečal z povzročanjem strel v Colorado Springsu. Sekulić se je skliceval na zelo zgodnje domneve o električni naravi vremenskih pojavov vključno s poročilom o rdečem dežju Edmunda Halleyja iz leta 1731 in Benjamina Franklina [6].

Po De la Rivovi in sorodnih teorijah naj bi bil severni sij podobna oblika električnega praznjenja kot blisk, kar je Sekulić (1872) dokazoval tudi z enako spektralno analizo obeh pojavov. Za Sekulićevo raziskovanje severnega sija in vijolične svetlobe Sonca se je v osebnem pismu zanimal astrofizik, kristalograf, elektrotehnik, geolog in spektroskopist William Garrow Lettsom. Lettsom je zaslovel že leta 1858, ko je objavil dobro dokumentirano odmevno zgodovino angleške geologije. Lettsom je bil diplomat v Evropi in Južni Ameriki do leta 1869; nato se je upokojil. Bil je član Kraljeve astronomske družbe v Londonu od leta 1849, v času Teslovega študija pri Sekuliću pa je sredi 1870-ih let raziskoval predvsem minerale z njih optičnimi lastnostmi vred in rep kometa, vidnega leta 1882. Lettsomov poseg je povzel tajnik JAZU Josip Torbar na slavnostni seji JAZU kot odkritje ultravijoličnih žarkov v spektru Sonca. Ob Sekulićevo iz hrvaščine prevedeno teorijo interference se je obregnil tudi učenec Gustava Roberta Kirchhoffa, marburški univerzitetni predavatelj kinetične teorije plinov med letoma 1887–1901/1902 Friedrich Wilhelm Feussner dne 15. 8. 1873 v tedanji najpomembnejši nemški fizikalni reviji. Feussner je zatrdil, da je Sekulićevo interferenco že sam opazil; vendar mu ni šlo za prioriteto, temveč je predvsem dopolnil Sekulićeva opažanja. Feussner se je zavzemal za veljavo valovne teorije svetlobe in je v njen prid pozneje navajal celo prispevek Boškovićevega učenca Karla Benvenutija. Takšni mednarodni odmevi na tehtne Sekulićeve objave so nedvomno imponirali Tesli in sošolcem.

Sekulić je stopil na majava tla teorije s trditvijo, da je elektromotorna sila oziroma energija Voltove baterije sorazmerna proizvedeni toploti; to je trdil v skladu s prijateljem Hansom Petrom Jørgenom Juliusom Thomsenom z Univerze Kopenhagen, pač pa v nasprotju z nekaterimi poskusi nekdanjega direktorja münchenske Politehnike Wilhelma von Beetza in dunajskega profesorja - vodje fizikalnega instituta Franza Serafina Exnerja. Sekulićeva trditev je bila posplošitev Thomsen-Berthelotovega principa, ki ga je Thomsen postavil leta 1854, Marcellin Berthelot pa dopolnil leta 1864 z termično teorijo afinitete. Tolikšno odkritje pa je bilo prevelik zalogaj za srednješolskega profesorja Sekulića; čeravno ga je smel objaviti v Zagrebu, so na Dunaju in v Leipzigu priobčili kvečjemu povzetke [7]. Takoj za Sekulićevo zagrebško objavo je namreč Hermann Helmholtz v Berlinu leta 1882 dokazal, da afinitete ne določa toplota kemijske reakcije, temveč maksimalno delo pri reverzibilno izpeljani reakciji. Seveda je Sekulić odtlej molčal in se je raje lotil – politike.

TESLA V GRADCU

Sekulić in drugi profesorji v Rakovcu so Teslo tako navdušili za naravoslovje, da si ni želel nadaljevati družinskih tradicij v vojaški ali popovski suknji, temveč je hotel tudi sam postati učitelj fizikalnih predmetov; jeseni 1875 se je vpisal na pedagoško oziroma kemijsko-tehnološko smer graške Politehnike.

Tesla je prvovrstno študiral na graški Politehniki v prvem in do neke mere tudi drugem letniku. Ni pa opravil nobenih izpitov v tretjem letniku do januarja 1878. Na graški Politehniki je bil njegov profesor za teorijsko in eksperimentalno fiziko Jakob Pöschl; ob zahvali za podelitev častnega doktorata Tehniške in montanistične visoke šole v Gradcu se je Tesla v telegramu, poslanem dne 23. 1. 1937 rektorju, s hvaležnostjo spominjal tudi Pöschla.

SLIKA 4: Portret Teslovega visokošolskega profesorja Pöschla.

Pöschl je predaval o "Uporabi elektrike" in o "Uporabi termodinamike", ni pa mu preostalo dovolj časa za napovedano »Uporabo optike«. Bržkone je svoja raziskovanja svetlobe predstavil v predavanjih o Teoriji valov, ki jih Tesla ni uspel poslušati v drugem letniku.

Preglednica 3: Pöschlova »Uporaba elektrike« je pokrivala številna Tesli ljuba področja:

- Električna telegrafija
- Električne ure
- Elektromagnetni stroji
- Galvanoplastika
- Izdelava prevodnikov za strelovode
- Postopki električnih vžigov podvodnih min.

Preglednica 4: Pöschlova » Uporaba termodinamike« je vsebovala:

- Nauk o gorivih
- Dinamika plinov v ceveh
- Teorija tunelov in dimnikov
- Štedilniki in kurišča, proizvajanje plinov
- Dinamika toplote, žarčenje in transmisija
- Kotli in generatorji pare
- Sušilne in hlapilne narave
- Ogrevanje in zračenje hiš.

Pöschl je v Teslovem razredu januarja ali februarja 1877 preizkušal povsem nov dinamo Zénobe Grammeja in pri tem ostro zavrnil Teslove v razredu navržene novotarije glede nepotrebnosti komutatorja. V poglavju Elektromagnetni stroji je gotovo uporabljal tudi Geisslerjeve ali celo Crookesove vakuumske elektronke. Pöschl kot pedagog ni znal docela odkriti globine Teslove nadarjenosti, kot fizik pa je Tesli in drugim dijakom sproti kazal najnovejše električne naprave in z njimi pravilno usmeril Teslova razmišljanja.

Po upokojitvi je Pöschla leta 1888 zamenjal dotedanji Boltzmannov asistent, Andreasov nečak Albert von Ettingshausen, ki je bil bolj všečen kandidat od Dolenca Ignaca Klemenčiča. Albert je prevzel novi predmet Elektrotehnika. Leta 1893 se je v nastopnem rektorskem govoru na graški Politehniki ponosno spominjal Teslovega nekdanjega šolanja v njihovi ustanovi; tako se je Tesla poldrugo desetletje po svojem študiju povsem uveljavil v svoji *Alma Mater*; upokojeni profesor Pöschl (* 1828, † 1907) se tisti čas ni več ukvarjal s fiziko. Z Ettinghausnom je zapihal nov veter, tako da je ducat let za Teslo Karl Pichelmayer po študiju strojništva postal Ettinghausnov asistent elektrotehnike [8].

TESLA V MARIBORU IN PRAGI

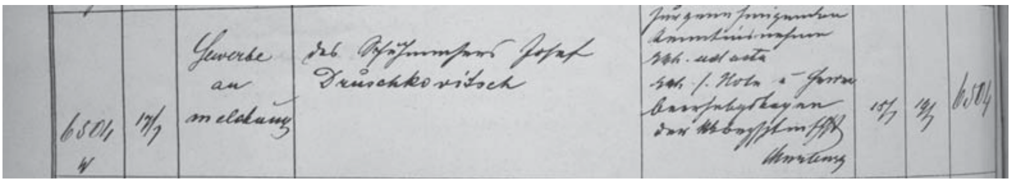
Tesla je praznih žepov moral zapustiti Gradec, ko je zaradi nerednega študija izgubil štipendijo s podporami sorodnikov vred in krepko zajadral v rdeče številke. Odšel je v bližnji Maribor, kar pa se mu ni posebno obrestovalo, čeravno tam ni manjkalo uspešnih fizikov.

Mariborske šole so znale biti privlačne za mladega Teslo, čeravno se za poučevanje v njih verjetno ni potegoval, saj ni imel ustreznega spričevala. Vrečko se je po meritvah

Preglednica 5: Razmeroma ugledni fiziki, ki so poučevali v Mariboru

Andrej Vrečko (Wretschko, * 1846)	1871–1873	Gimnazija
Heinrich vitez Jettmar (* 1849 Lvov)	1879–1883	Gimnazija
Franz Horak	1882	Gimnazija
Anton Franz Reibenschuh	1870–1878	Realka
Robert Spiller	1877–1892	Realka
Gaston vitez Britto	1874–1900	Realka
Josef Frank	1878–1895	Realka
Luka Lavtar	1875–1915	Učiteljišče

difuzije plinov v vakuum v študentskih letih ubadal predvsem z matematiko. Objavil je tudi Vegov življenjepis. Za asistenta je uporabljal svojega gimnazijskega dijaka Karla Heiderja, pozneje slovitega zoologa. Heider in sošolci so si v poznem novembru 1872, nekoliko let pred Teslovim prihodom, doma navdušeno izdelovali galvanske baterije. Kar dva mariborska profesorja sta v času Teslovega veseljačenja po mestu objavila razmeroma dobri razpravi o optiki in elektriki: Jettmar Ritter von Lemberg je leta 1872 pisal o oblikovanju valov po odboju in lomu svetlobe na ravnih ploskvah, Spiller pa je leta 1877 razmišljal o vplivih dognanj o galvanski elektriki na teorijo kemije.



SLIKA 5: Obrt čevljarskega mojstra Josefa Druschkovitsha št. 6504 v obrtnem registru mesta Maribor (Pokrajinski arhiv Maribor (PAM) fond Mestna občina Maribor 1528 –1941, SI_PAM/0005, K 531, Indeksi k obrtnim registrom: indeks I, proste in rokodelske obrti).

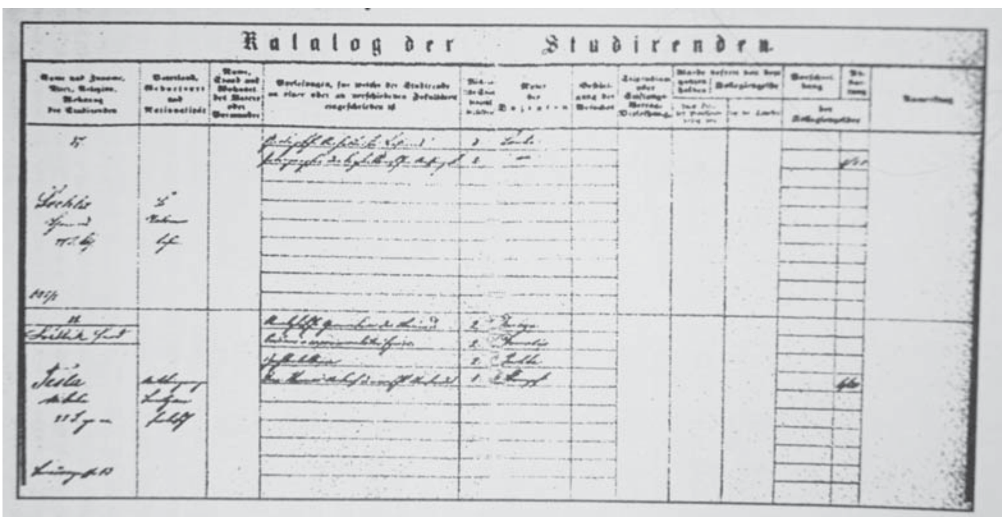
Po sramotnem izgonu iz Maribora je Tesla nekaj časa poučeval kot nadomestna učna moč na nižji realki v Gospiću, katere klopi je zapustil pred devetimi leti. Učiteljevanje je bilo njegov cilj med graškimi študiji, vendar je čedalje bolj sanjal o izumljanju. Verjetno je izpolnil obljubo očetu ali vsaj očetovo željo in je poskusil končati študij na Politehniki v Pragi v poletnem semestru januarja 1880. Tesla nikoli ni plačal praške šolske pristojbine ali opravljal izpitov. Vpisal je med drugim predavanja eksperimentalne fizike. Potekala so v češčini že v času, preden se je leta 1882 praška univerza razdelila na nemški in češki del; podobno je doletelo kasneje tudi Politehniko. Predaval je Domalip, ki je bil leta 1867/68 študent prvega letnika pri Ernstu Machu, takoj potem ko je Mach prišel iz Gradca v Prago. V zimskem semestru 1879/80 privatni docent Domalip ni predaval le eksperimentalne fizike in vaj, temveč je pod Machovim vplivom poučeval tudi zgodovino elektrike. Tesla žal ni vpisal tega tečaja. Med Teslovim bivanjem v Pragi je bil Mach tam prvič rektor, vendar Tesla ni vpisal njegove eksperimentalne fizike. Tesla je morda poslušal Machovo poljudno predavanje O radiometru v fizikalni predavalnici dne 17. 2. 1880 [9] in mu je gotovo koristilo pri poznejših vakuumskih poskusih s Crookesovim radiometrom. Machovi starši so se v 1850-ih letih preselili v Veliki Slatnik pod Gorjanci, tako da je Mach dobro govoril slovensko. Machov študent Domalip je začel predavati elektrotehniko kot profesor leta 1884/85, leta 1893 pa je prevzel novoustanovljeno katedro za elektrotehniko na praški Češki tehniški univerzi. Januarja 1896 je Domalip postavil prve poskuse z novo odkritimi rentgenskimi žarki. Največ je objavljal v domači praški Reviji za matematiko in fiziko; spisal je več knjig in učbenik elektrotehnike.

Preglednica 6: Praška predavanja, za katera se je Tesla prijavil, ne da bi kdaj opravil izpite [10].

Predavanje	Število tedenskih ur	Profesor
Analytische Geometrie des Raumes	2	Durege
Cviceni v experimentálni fysike	2	Domalip
Zahlenlotterie	2	Puchta
Über David Hume`s "Untersuchung des menschlichen Verstandes"	1	Stumpf

SLIKA 6: Teslov praški profesor fizike Domalip.

SLIKA 7: Seznam praških predavanj, ki si jih je Tesla želel poslušati kot slušatelj številka 38 (Arhiv Univerze v Pragi, Glavna knjiga slušateljev filozofije v poletnem semestru 1880).



Katalog der Studirenden

ZAKLJUČEK

Po Mariboru in Pragi je Tesla obesil šolo ob klin. Sodobno elektrotehniko je spoznal v Gradcu pri Pöschlovih s sodobnimi poskusi podprtih predavanjih; po drugi strani pa mu je vizija Sekulićeve vrtljive krogle z Boškovićevo enotno silo vcepila pogled na svet, ki si ga nikoli ni pustil spreminjati.

ZAHVALA

Za pomoč se zahvaljujem Leopoldu Mikcu Avberšku, Brunu Besserju in Bratislavu Stojiljkoviću.

LITERATURA

[1] *Jahres-Bericht der Ober-Realschule zu Pest* (1860) 91; http://wwwu.uni-klu.ac.at/elechner/schulmuseum/schulchroniken/gppest_1_1855.PDF ogled 17. 1. 2012; Muljević, V. Martin Sekulić (1833-1905). *Elektrotehnika: znanstveno-stručan časopis Hrvatskoga elektroinženjerskog saveza* (1973) 5: 331, 333, 335-337; http://wwwu.uni-klu.ac.at/elechner/schulmuseum/schulchroniken/gppest1857.PDF ogled 17. 1. 2012; Programm der städtischen Ober-Realschule in Pest für das Schuljahr 2 (1855/56)-6 (1859/60); http://wwwu.uni-klu.ac.at/elechner/schulmuseum/schulchroniken/gpest1858.PDF; Sekulić, M. Fizika atoma i molekula. *Rad* (1874) 26: 114; Lavtar, L. Vse prikazni v naravi so nasledek ene same preproste stvari z eno samo bistveno močjo. *Letopis SM* (1873) 73-74, 87.

[2] *Jahres-Bericht der Ober-Realschule zu Pest* (1856) 50, (1857) 42, (1858) 73-74, (1859) 17-18, (1860) 69; Winter, K. Ein neuer Electrophor-Apparat. *Berichte über die Mittheilungen von Freunde der Naturwissenschaften in Wien* (1847) 2: 49; *Lane, T*. Description of an electrometer. *Philosophical Transactions of the Royal Society* (*1767*) 57: *451;* Šubic, S. Physikalische Abhandlung uber die Zusammensetzung fortschreitender und drehender Bewegungen. *Jahres-Bericht der Ober-Realschule zu Pest* (1860) 17; Hübl, F. *Systematisch-geordnetes Verzeichnis derjenigen Abhandlungen, Reden und Gedichte, welche die an den inländischen Mittelschulen vorhandenen österreichischen, preussischen und baierischen Schulprogramme enthalten*. Czernowitz: Buchowiecki & Comp. (1869) 203, 208-210; http://www.omikk.bme.hu/archivum/angol/htm/puskas_t.htm; http://www.rubicon.hu/magyar/nyomtathato_verzio/1893_marcius_16_puskas_tivadar_halala/ ogleda 18. 1. 2013; Cverava, G.K. *Nikola Tesla 1856–1943.* Beograd; Klub NT (2006) 27, 28, 32, 34-36, 43-45

[3] http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015062383578;seq=871;view=1up;num=867; http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015062383578;seq=877;view=1up;num=873 ogleda 19. 1. 2013; Šešić, M. Martin Sekulić, prvi Teslin profesor fizike. *Flogiston* (1996) Št. 4: 57-59, 61, 62, 64, 72, 76; http://www.gim-

nazija-karlovac.hr/ucenici/nikola-tesla ogled 19. 1. 2013; Sekulić, M. Uzrok munjotvornoj sili. *Rad* (1877) 50: 1-31.

[4] Mrkić, D. *Nikola Tesla - evropske godine*. Beograd: Muzej Nikole Tesle (2004) 23; Kulišić, K. *Nikola Tesla*. Sarajevo (1936) 9; http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015062383578;seq=878;view=1up;num=874; http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015062383560;seq=887;view=1up;num=881 ogleda 2. 2. 2013; Tuschar, G. Ueber die Construktion der Materie nach der atomistischen Ansicht. *Programm des k.k. Katholischen Gymnasiums zu Preßburg am Schlusse des Schuljahres* (1855).

[6] Sekulić, M. Polarna zora kao učinak zemaljske munjine. *Rad* (1872) 20: 39-60; Sekulić, M. Ultraviolette Strahlen sind unmittelbar sichtbar. *Chemisches Central-Blatt* (1872) 43/3: 417-418; Sekulić, M. Elementarni nauk o harmoničnom titranju. *Izvjeišće c. k. vel realke u Rakovcu.* (1877/78); Kayser, H. *Handbuch der Spectroscopie. 4, Natürliche farbstoffe der Pflantzen. Die Farbstoffe von Blut, harn, galle. Thierische Farbstoffe. Dispersion. Fluorescenz*. Leipzig, Hirzel (1908) 866; Torbar, J. Sjeverna zora. *Rad* (1871) 17: 90–111; Dadić, Ž. *Povijest egzaktnih znanosti u Hrvata*. Zagreb: Sveučilišna naklada Liber (1982) 2: 257–258.

[7] Torbar, J. Izvještaj sa Svečane sjednice. RAD (1873) 25: 252; Sekulić, M. Eine merkwürdige Interferenzerscheinung. *Pogg. Ann*. (1873) 169 (29–5): 126–128; Sekulić, M. *Anzeiger der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften* (1878) 16: 129; Sekulić, M. Uzrok munjotvornoj sili. *Rad* (1881) 58: 171–172, 190; Feussner, W. Ueber die von Herrn Sekulic beschriebene Interferenzerscheinung. *Annalen der Physik und Chemie* (1873) 149: 561–564; Feussner, W. Neuer Beweis der Unrichtigkeit der Emissionstheorie des Lichts. *Annalen der Physik und Chemie* (1877) 160: 323.

[8] Wohinz, J.W. Nikola Tesla – ein genialer »Elektriker«. Acham, Karl (ur.). *Kunst und Wissenschaft aus Graz 1. Naturwissenschaft, Medizin und Technik aus Graz*. Wien: Böhlau (2007) 181-182; Marinčić, A. Nikola Tesla – stvaralaštvo genija/Nikola Tesla – The Works of a Genius. Beograd; Srpska akademija nauka i umetnosti (2006) 38, 41.

[9] Golob, A. Mladostna leta v Mariboru. *Zgodovina za vse* (2012) 19/1-2: 96; Jettmar Ritter von Lemberg, H. Bestimmung der Bildorte und Wellenform de ran Ebenen Fläschen reflectiren und gebrochenen Lichtstrahle. *Programm Marburg Gymnasium* (1879) 3–26; Spiller, R. Ueber Beziehungen des Galvanismus zur teoretischen Chemie. *Programm Realke Maribor* (1877) 3–28; Těšínská, E. *Ernst Mach, his Prague physics students and their careers*; http://www.muni.cz/press/books/files/mach75.pdf ogled 23. 1. 2013.

[10] Pichler, F. On the University Studies of Nikola Tesla in Graz and Prague. *EMCSR 2004, Vienna, April 13–16, 2004, Symposium "History of Cybernetics, Information Technology and Systems Research"* (2004) 4.

SLOVENSKI UČITELJI PRVIČ URADNO NA EVROPSKEM FESTIVALU ZNANOST NA ODRU

Več kot 350 učiteljev naravoslovnih predmetov in matematike iz 25 evropskih držav, Kanade in Japonske je od 25. do 28. aprila predstavljalo svoje učne ideje in koncepte na evropskem festivalu Znanost na odru v obmejnih mestih Słubice (Poljska) in Frankfurt na Odri (Nemčija).

Kako z najnovejšimi materiali narediti fiziko bolj pestro? S kakšnimi pripomočki napraviti geometrijo v razredu še bolj zanimivo? Kako lahko povežem kemijo s poezijo in biologijo s plesom? Taki projekti predstavljajo Znanost na odru, ki je na kratko povedano: živahno zbirališče za izmenjavo učnih pristopov in metod med učitelji naravoslovnih predmetov in matematike iz vse Evrope. Festival je letos potekal že osmič, tokrat na Collegium polonicum v SŁubicah na poljsko-nemški meji.

Sodelujoči učitelji so bili izbrani na državnih festivalih, šest slovenskih učiteljev na Festivalu znanosti, ki ga vsako jesen organizira Slovenska znanstvena fundacija v Cankarjevem domu. Projekti, ki smo jih na stojnicah predstavljali kolegom, so bili: »Inovativni materiali pri pouku fizike«, kemijski eksperiment »Sprememba od zgoraj navzdol«, »Levitacija in ostale iluzije« in »Inovativna pomagala pri pouku matematike«. Sam sem vodil delavnico na temo levitacije, posebej izbrani pa so izvedli predstavitve za celotno občinstvo na odru pred vsemi udeleženci – tu so naši fizik(i).si navdušili z lebdečo ladjico.

Pod geslom »Prestopimo meje v poučevanju naravoslovja« je festival gostil tudi srečanja mrež učiteljev, ki razpravljajo o aktualnih naravoslovnih temah, kot so »Pametni telefoni pri poučevanju naravoslovja«, »Digitalni mediji v osnovni šoli«…. Nadaljnje aktivnosti bodo pomagale k nastanku novih učnih gradiv in k novim dejavnostim učiteljev za še kvalitetnejše poučevanje naravoslovja. Druženja učiteljev ob večerih in številna nova prijateljstva pa zagotavljajo dolgoročno sodelovanje, ki bo doseglo nov vrh leta 2015 v Londonu.

Na Slovenskem festivalu znanosti bo jeseni 2014 izbranih pet slovenskih učiteljev, ki bodo imeli priložnost biti tam. Več pa na scienceonstage.si

O SCIENCE ON STAGEEUROPE

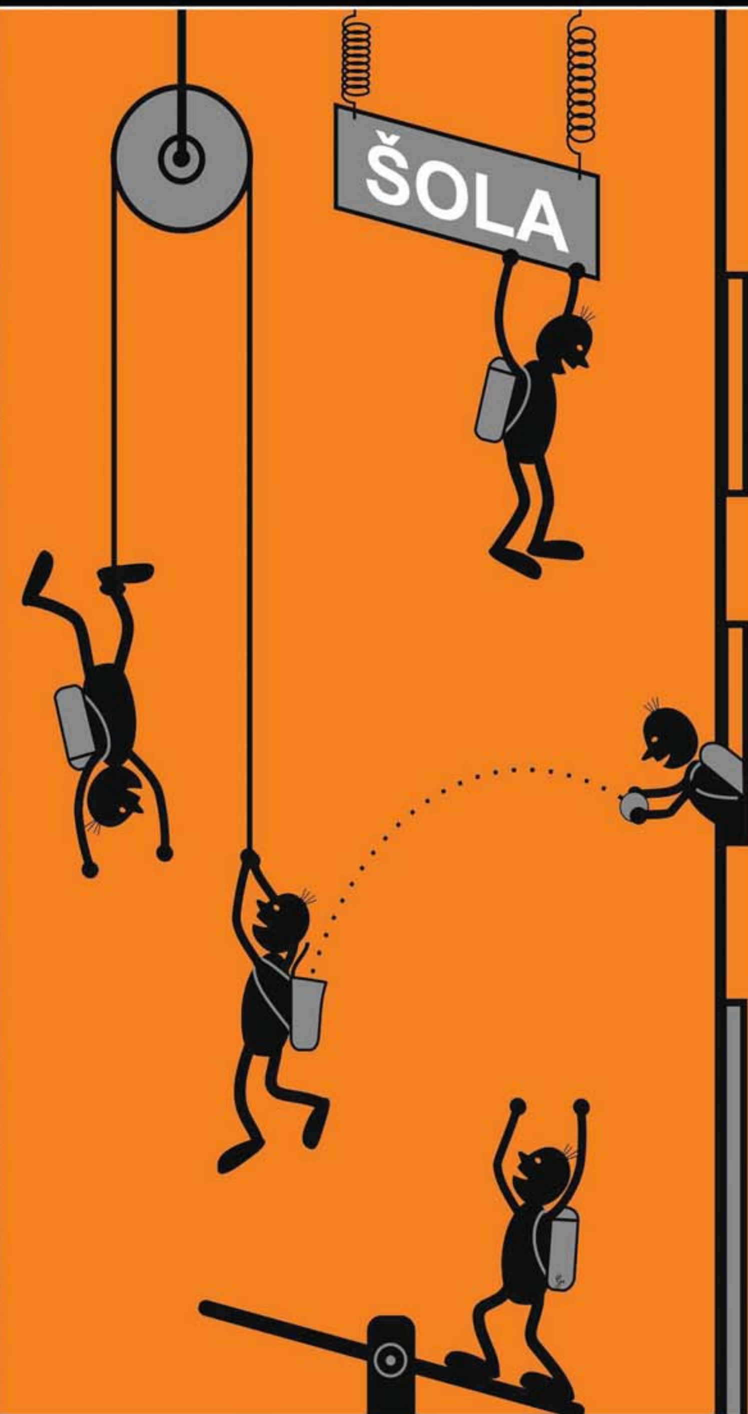
Znanost na odru (registrirano neprofitno združenje) ponuja mednarodno platformo za evropske izmenjave med učitelji, ki si želijo izboljšanje naravoslovnega poučevanja v šolah. Njen cilj je povečati zanimanje za znanost, s čimer se bi povečalo število študentov, ki se odločijo za študij naravoslovnih predmetov. Neprofitno združenje pomaga vzpostaviti mrežo za izmenjavo učiteljev z razvijanjem in organiziranjem evropskih konferenc, z usposabljanjem učiteljev in delavnicami. Znanost na odru podpira Think ING., Pobuda Združenja nemških delodajalcev v kovinski in elektro industriji (Gesamtmetall).

Nekaj slik s festivala Znanost na odru


SCIENCE SHOW AG


DEUTSCHLAND
TYSKIE

ISSN 1318-6388
9 771318 638001



FIZIKA v ŠOLI
www.fizikavsoli.si