

# FIZIKA ✓ ŠOLI

www.fizikavsoli.si

letnik XVIII, št. 2, oktober 2012



## **VSEBINA**

UVODNIK .....	65
PASTI ZAMENJAVE FOSILNIH GORIV Z OBNOVLJIVIMI VIRI PRI PROIZVODNJI ELEKTRIKE (Rafael Mihalič) .....	66
DO STANDARDNEGA MODELA (Janez Strnad) .....	77
NALOGA ZA LIMITO IN INTEGRAL Z DODANO MERITVIJO (Tine Golež) .....	86
SILE V HRBTENICI PRI SKLONJENI LEGI TELESA (Karel Šmigoc) .....	96
ŠE EN TEST ZA DRUGOŠOLCE (Tine Golež) .....	103
VERIŽNI EKSPERIMENT KOT INTERESNA DEJAVNOST V OŠ (Gregor Udovč) .....	108
SPLOŠNA MATURA IZ FIZIKE V LETU 2012 (Vitomir Babič) .....	114
T. GOLEŽ, PRIZEMLJITEV INFINITEZIMALNEGA RAČUNA (Barbara Šetina Batič) ..	125
REDUCIRANI ZRAČNI TLAK (Tine Golež) .....	127
FIZIKA V ŠOLI - KRATKA PREDSTAVITEV IN VABILO (Uredniški odbor) .....	128

PACS 01.40. -d, 01.50. -i, 01.55. +b

ISSN 1318-6388

FIZIKA V ŠOLI letnik XVIII, številka 2, oktober 2012

Izdajatelj in založnik: Zavod RS za šolstvo

Predstavniki: mag. Gregor Mohorčič

Odgovorni urednik: mag. Tine Golež

Uredniški odbor: Stane Arh, dr. Vladimir Grubelnik, dr. Tomaž Kranjc, Alenka Krejan, dr. Marko Marhl, Milenko

Stiplovshek, dr. Barbara Šetina Batič, dr. Ivo Verovnik

Jezikovni pregled: mag. Seta Oblak

Urednica založbe: Simona Vozelj

Oblikovanje: dr. Vladimir Grubelnik

Računalniški prelom in tisk: Birografika Bori d.o.o.

Naklada: 510 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 7,30 €.

Revija je vpisana v razvid medijev, ki ga vodi Ministrstvo za izobraževanje, znanost, kulturo in šport, pod zaporedno številko 570.

© Zavod Republike Slovenije za šolstvo, 2012

Vse pravice pridržane. Brez založnikovega pisnega dovoljenja ni dovoljeno nobenega dela te revije na kakršenkoli način reproducirati, kopirati ali kako drugače razširjati. Ta prepoved se nanaša tako na mehanske oblike reprodukcije (fotokopiranje) kot na elektronske (snemanje ali prepisovanje na kakršenkoli pomnilniški medij).

Poština plačana pri pošti 1102 Ljubljana.

## UVODNIK

Vsak dan beremo o alternativnih virih energije. Morda so učenci in dijaki presenečeni, da učitelj novicam te vrste namenja tako malo pozornosti. Vzrok je preprosto v tem, da zelo uspešnih nadomestnih elektrarn preprosto še ni. Zelo dobro je to utemeljil Rafael Mihalič v reviji Življenje in tehnika, zato smo se z urednikom te revije dogovorili, da ponatisnemo njegov članek.

Za zapis o Higgsovem bozonu smo poprosili Janeza Strnada. Ker je smiselno, da učitelji o tem vemo nekaj več, kot je prostora v znanstvenih prilogah dnevnega časopisja, bo članek izšel v dveh delih. Prvi del nam oriše zgodovinsko nastajanje standardnega modela, medtem ko bo nadaljevanje v naslednji številki osredotočeno na trenutno »glavnega junaka« evropskega pospeševalnika.

Dijaki so pred leti na maturi reševali nalogo izbirnega tipa, ob kateri se je vredno zamisliti. Po vsej verjetnosti so sestavjalci predvideli, da jo bodo dijaki rešili z napačno predpostavko, in so jim tako rešitev tudi ponudili. Moj članek spregovori o zahtevnejšem pristopu, ki se bolj približa dejanskemu izidu poskusa. Še vedno pa je le idealizacija.

Karel Šmigoc se je fizikalno lotil obravnave hrbtenice, sedenja in drugih dejavnosti, kjer je ta del telesa zelo ali nepravilno obremenjen. Seveda k problemu pristopa s stališča fizika, pri čemer obravnava še ostaja v okviru srednješolske fizike.

Ker za tokratno številko ni bilo prispevka o kontrolni nalogi, predstavljam enega izmed testov, ki sem ga pisal lansko šolsko leto. Sem z zahtevnostjo naloge preveč popustil? Naj presodijo bralci.

Ne vem, če je kdo leta 2005 pričakoval, da se bo verižni poskus tako dobro prijel. Seveda je vse odvisno od učitelja in Gregor Udovč dokazuje, da se da za tehnično-fizikalno delo navdušiti več kot polovico vseh učencev, kar je res vredno pohvale.

Srednješolski učitelji bomo z zanimanjem prebrali poročilo o letošnji maturi. So se naše slutnje, da bo druga izpitna pola zaradi večje izbirnosti in več nalog nekoliko trši oreh, uresničile? Preberite, kaj o tem piše Vitomir Babič.

Barbara Šetina Batič je prebrala knjigo z nenavadnim naslovom: Prizemljitev infinitezimalnega računa. Ali knjiga izpolnjuje obljubo, ki jo nakazuje naslov?

Kratka miniaturo je nova rubrika, v kateri bi kazalo spregovoriti o krajših, a včasih kar malo prezrtih temah. V prvi pišem o reduciranem zračnem tlaku in z njo vabim tudi druge pisce, da poiščejo kakšno temo in jo opišejo kot miniaturo. Morda bo to prvi korak k pisanju daljšega članka.

Tine Golež, urednik

# PASTI ZAMENJAVE FOSILNIH GORIV Z OBNOVLJIVIMI VIRI PRI PROIZVODNJI ELEKTRIKE

*Rafael Mihalič*

V zadnjih letih smo priča pravi medijski kampanji, ki povzdiguje t. i. obnovljive vire energije na raven idealnih, vendar (za zdaj) še nekoliko dragih načinov potešitve človeških potreb po energiji. Če aktiviramo razum do stopnje logičnega razmišljanja povprečnega človeka, se veliko takih medijskih trditev in trditev 'vikend-ekologov' izkaže vsaj za sumljive, če že niso skregane z zdravo pametjo ali celo popolna neumnost.

»Razvoj obnovljivih virov naredil velik korak naprej.« »Minulo leto najtoplejše v 100-letni zgodovini.« »Poplave v Pakistanu posledica antropogenih podnebnih sprememb.« »Obnovljivi viri ne izpuščajo v zrak strupenih izpustov, zlasti CO<sub>2</sub>.« »Obnovljivi viri – energetski viri prihodnosti.« »Danska najbolj ekodržava na svetu.« Nanizani stavki, čeprav so izmišljeni, nam gotovo zvenijo zelo domače. V zadnjih letih so ekološka gibanja namreč dvignila zavest o potrebi po ohranjanju narave do zavidljive višine. Tako nas ne more čuditi, da sta se močno razmahnila t. i. učinka NIMBY (angl. Not In My BackYard) oz. BANANA (angl. Build Absolutely Nothing Absolutely Nowhere Around), lahko pa nas skrbi, da bodisi interesne skupine ali posamezniki ta pojav in ekološko zavest pri ljudeh velikokrat izkoriščajo za manipulativne namene, tj. za pridobitev političnih in/ali finančnih koristi. Američani poznajo izrek: »Taka stvar, kot je brezplačno kosilo, ne obstaja.« Ali povedano z drugimi besedami: za vzdrževanje visoke ravni ohranjanja okolja je pač treba tudi nekaj žrtvovati. In tu je za večino ljudi 'konec heca'.

Brez dvoma je treba tehnologijo obnovljivih virov energije (v nadaljevanju OVE) razvijati. Vsi že komaj čakamo, da bomo na južno steno hiše nalepili 'sončno folijo' in namesto s klasičnimi strešniki hišo prekrili s poceni fotonapetostnimi moduli. Nobenega dvoma ni, da se bo tehnologija teh virov v prihodnosti izpopolnila in pocenila ter da bo ponekod cenovno konkurenčna fosilnim gorivom tudi brez subvencij, ki jih prispevamo 'navadni' državljani. Vendar pa pri razvoju sistema oskrbe z energijo iz OVE na globalni ravni obstajajo neke naravne, fizikalno pogojene omejitve in strateško težko sprejemljiva tveganja.

V tem prispevku želim predstaviti nekatere vidike oz. težave pri oskrbi energije človeštva z OVE in pri zamenjavi fosilnih goriv z njimi. Ker je oskrba z energijo za razvoj družbe ključnega pomena, se moramo zavedati vseh vidikov omenjenega procesa, torej tudi tistih, ki nam na žalost niso posebno všeč. Pri razmišljanju oz. izvajanjih so uporabljeni podatki, ki so javno dostopni in jih lahko danes že vsak srednješolec 'zloži

skupaj'; prav tako ni potrebna kakšna posebna znanost, da se nekatere stvari, ki jih obljublajo oz. napovedujejo nekateri nekompetentni kvazistrokovnjaki, z lahkoto ovržejo. Ne nazadnje se v slogu znamenitega Fermijevega stavka: »Where is everybody?«, ki je nekoliko zaustavil NLP-manijo v ZDA, lahko vprašamo: »Pa zakaj ne zamenjajo vseh 'škodljivih' virov energije s sonaravnimi, če so tako 'super'?«

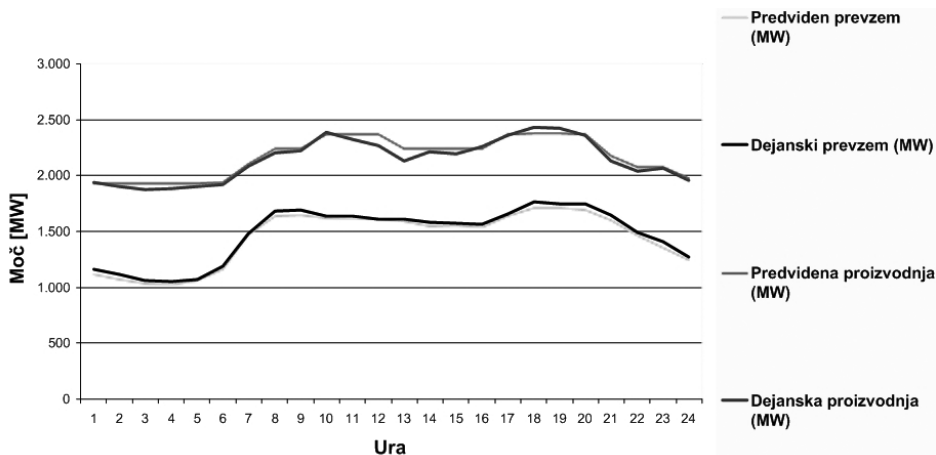
Nekaj osnovnih lastnosti energetskih virov s stališča uporabnika

*Dostopnost* je brez dvoma najpomembnejša, kajti nedostopen energetski vir nam ne pomeni ničesar. Žal sta največja problema prav pri vrsti energije z največjo rastjo, tj. električni energiji, in sicer sta to skladiščenje ter uporaba, ki bi bila geografsko neodvisna od elektroenergetskega omrežja (v nadaljevanju EEO).

*Predvidljivost* pomeni, da se lahko 'zanesemo' na energetski vir oz. da vemo, kje in koliko ga lahko dobimo, ko ga bomo potrebovali. Najbolj izrazit je pomen tega pojma pri električni energiji. Nekateri OVE v tem smislu pomenijo zelo velik problem.

*Energijska vsebnost* energenta pove, koliko energije se nahaja v določeni količini le-tega. Želimo seveda čim večjo vsebnost energije, ker sta shranjevanje in transport preprostejša. Na bencinskem servisu teče v avtomobilski rezervoar moč približno 25 MW (približno ekvivalent električne moči hidroelektrarne Moste na Savi). Prikaz električnih avtomobilov na reklamnih slikah s tankim kablom in enofazno vtičnico za 230 V je potemtakem nekoliko smešen. Če špekuliramo in ocenimo, da je za enak doseg električnega avtomobila potrebne štirikrat manj energije kakor pri klasičnem avtomobilu, bi vendarle morale teči pri isti hitrosti polnjenja približno 6 MW moči, kar pri napetosti 230 V pomeni okrog 26.000 A. Če avtomobil namesto dve minuti polnimo dve uri, je tok še vedno skoraj 450 A. Hitro polnjenje za avtomobile podobnih zmogljivosti, kot so današnji, iz domače enofazne vtičnice pri velikosti priključne varovalke 25 A zato ne bo prišlo v poštev.

Pogosto lahko slišimo ali preberemo, da je neka elektrarna oddala v omrežje toliko in toliko MWh energije. To je sicer verjetno res, vendar elektroenergetski sistem (v nadaljevanju EES) obratuje po principu zadovoljevanja potreb po moči in ne zahtev po energiji. Z drugimi besedami, EES mora vsak trenutek proizvajati toliko električne moči, kolikor je tisti trenutek zahtevajo porabniki (vštevši izgube). Vsota proizvedene in porabljene električne energije mora biti torej v vsakem trenutku izravnana. Če ni, se začne spreminjati frekvenca, ki pa jo je treba vzdrževati v zelo ozkih mejah. Glede na to se elektrarne ves čas prilagajajo porabi. Prav nič nam ne pomaga, če imamo na razpolago električno moč v času, ko te ne rabimo. Šele seštevek te moči (časovni integral) nam dá proizvedeno električno energijo.



Slika 1: Proizvodnja in prevzem električne energije iz prenosnega omrežja za dan 24. 11. 2010

## PROBLEM REZERVNIH ELEKTRARN

V načrtovanju in obratovanju prenosnega EES predstavlja t. i. princip *n-1* ('en minus ena') tako rekoč sveto pravilo. Pomeni, da so ob normalnem obratovanju in temu sledočem izpadu katerega koli elementa porabniki nemoteno napajani.

Omenjeno bi v smislu obratovanja obnovljivih virov pomenilo, da mora za primere brez njihove proizvodnje obstajati neka rezerva. Ker pa je nastop takih situacij nepredvidljiv, je za vsako vetrno ali sončno elektrarno potrebna neka rezerva. Izkušnje iz ZDA in Nemčije kažejo, da kljub velikemu številu vetrnic prihaja do obdobj, ko je njihova skupna proizvodnja skoraj 0. Zaradi tega so se odločili, da pri načrtovanju energetskih zmogljivosti na vetrne elektrarne preprosto ne morejo računati. Z drugimi besedami, zaradi vetrnih ali sončnih elektrarn ne bo 'klasičnih' elektrarn nič manj. Če te investicije prištejemo OVE, se cena njihove elektrike še bistveno zviša (ŽIT 2010/10, str. 58).

### Jedrska elektrarna proti vetrni

Vzemimo pod drobnogled alternativo med jedrsko elektrarno (JE) in vetrnimi elektrarnami (VE). Recimo, da potrebujemo elektrarno, ki bo dala v povprečju 1000 MW moči. Predpostavimo tudi, da časovni potek moči (oblika) ni pomemben, ker imamo npr. zelo veliko črpalnih elektrarn z velikimi bazeni. Na ta način lahko po potrebi shranjujemo oz. proizvajamo električno energijo. Seveda to niti približno ne drži, vendar kljub temu bodimo nepopravljivi optimisti.

Za nove JE proizvajalci nudijo jamstvo za izkoriščenost, višjo od 92 % teoretične. Če želimo ob navedenih predpostavkah zagotoviti povprečno moč 1000 MW, po izračunu ( $1000 \text{ MW}/0,92 = 1087 \text{ MW}$ ) torej potrebujemo 1087-MW jedrsko elektrarno.

Znano je, da je izkoriščenost VE v Nemčiji znatno pod 20 %. Spet bodimo optimisti in tudi za slovenske VE predvidimo enako izkoriščenost. Torej bi za omenjeno količino energije potrebovali  $1000 \text{ MW}/0,2 = 5000 \text{ MW}$  instalirane moči teh virov ali 2500 takih vetrnic, kot jo gradijo v Dolenji vasi, ali 6000 takih, ki so predvidene na Volovji rebri (ŽIT 2004/8, str. 12).



*Slika 2: Polje vetrnic*

Poleg tega bi za shranjevanje črpalne elektrarne in prenosne poti (daljnovodi, transformatorji, stikala itd.) morale prenesti 5000 MW (petdeset 110-kV daljnovodov), pri prvi možnosti (JE) pa obstoječi vodi in daljnovod v gradnji Beričevo-Krško povsem zadoščajo. Če poleg stroškov upoštevamo še zaplete in 'zaplete' z umeščanjem prenosnih vodov v okolje, je vse skupaj v resnici najbolj podobno 'misiji nemogoče'. Za piko na i pa poskrbi še življenjska doba VE, ki je okrog 3-krat krajša kakor pri JE. To pomeni, da bi bila investicija v VE še bistveno višja, kot kaže na prvi pogled.

Zelo podobno ugotovitev bi dala primerjava s katero koli elektrarno na fosilna goriva namesto JE.

### **PORABA MATERIALA IN 'OKOLJSKI ODTIS'**

Pri izkoriščanju energije je treba vzeti v zakup posledice za okolje: ob čim večji količini uporabne energije moramo zagotoviti čim manjši vpliv na naravo oz. minimalen 'okoljski odtis' (angl. footprint). V ta namen med seboj primerjajmo gostoto moči glede na celotno površino, ki jo zahtevajo elektroenergetski objekti v naravi. JE z dvema reaktorjema in močjo 2700 MW ima po zelo konservativnih ocenah okoljski odtis  $48 \text{ km}^2$ , kar pomeni okrog



56 W/m<sup>2</sup> energijske gostote (če se omejimo na sam objekt elektrarne, je površina manjša za velikostni razred 100). Na drugi strani imajo VE gostoto 'odtisa' okrog 1,2 W/m<sup>2</sup> in sončne elektrarne 6,7 W/m<sup>2</sup>. Svojevrstna rekorderja v negativnem smislu sta elektrarna na biomaso z 0,4 W/m<sup>2</sup> in – če na kratko zavijemo še vstran od električne energije na področje kapljevinskih goriv – pridelava etanola iz koruze (0,05 W/m<sup>2</sup>). Seveda je mogoče tem številkam do določene mere oporekati, vendar so v drugih raziskavah prišli do podobnih ugotovitev. Razpršeni viri poleg tega zahtevajo velike površine za veliko število daljnovodov, ki jih je v Evropi zaradi nasprotovanja javnosti skoraj nemogoče umestiti v prostor. Glede na navedeno je torej pridelava poljščin za bioplinarne ali predelavo v etanol zločin nad naravo in bi ga okoljevarstveniki morali nemudoma obsoditi, ne pa celo spodbujati. Ob tem omenimo še, da je mogoče s koruzo, potrebno za izdelavo etanola za en rezervoar nekoliko resnejšega športnega terenca, skoraj leto dni prehraniti enega človeka. Ob od lakote umirajočih je takšno početje vsega obsojanja vredno in predstavlja norčevanje iz hrane.



*Slika 3. Betonski temelj vetrne elektrarne Dolenja vas*

Zanimivo je tudi razmerje med porabo materiala in proizvedeno energijo. Samo za temelje 2-MW vetrnice Dolenja vas je bilo porabljenih okrog 500 m<sup>3</sup> betona (1200 t) in okrog 50 t železa; pri JE je za 1 MW moči potrebnih okrog 90 m<sup>3</sup> betona in 40 t jekla, pri plinski elektrarni pa le 27 m<sup>3</sup> betona in 3,3 tone jekla za 1 MW (pri čemer plinovodi niso všteti). Ob upoštevanju, da je izkoriščenost VE od 4- do 5-krat manjša kot v primeru JE (potrebujemo toliko več vetrnic za energijo, ki jo odda JE), je poraba materiala za VE okrog 900 m<sup>3</sup> (oz. več kot 2000 t) betona in 450 t jekla na 1 MW (v bistvu na 4 MW instalirane moči, ki odda energijski ekvivalent instalirane moči 1 MW pri JE).



Torej tudi t. i. zelene tehnologije pridobivanja energije niso povsem brez vplivov na okolje. Ob tem niti nismo omenjali drugih okoljskih vplivov, kot je npr. ogroženost ptic in netopirjev zaradi hitro vrtečih se krakov vetrnic. Vprašljive so tudi zgubljene površine zaradi dovoznih cest, nesreče zaradi izpustov hidravličnega olja itd. (ŽIT 2009/11, str. 66; ŽIT 2010/2, str. 38; ŽIT 2010/9, str. 52).

## VPRAŠANJE ODVISNOSTI

Eden od tehtnejših argumentov za intenziven razvoj in uporabo OVE je tudi energetska neodvisnost. Evropa (Slovenija je glede tega v še slabšem položaju) uvaža več kot pol plina in več kot 80 % nafte. Če bi z obnovljivimi viri to odvisnost zmanjšali, bi to imelo politično in strateško ugodne učinke. Vsi se gotovo še spomnimo zaprtih pipic za plin ...

Poglejmo najprej elemente sodobnih, energetske varčnih tehnologij za pridobivanje energije iz OVE. Eden izmed ključnih elementov so sodobni generatorji oz. motorji z dobrim izkoristkom in veliko gostoto moči (moč na kilogram teže). Za električna vozila (in večino prenosnih elektronskih naprav, kot so npr. telefoni in računalnik) so zelo pomembni čim bolj lahki, poceni in zmogljivi akumulatorji. Tem zahtevam za zdaj najbolje ustrezajo litijeve izvedbe. Znatno delež sončnih celic temelji na kadmijevem teluridu, zasloni sodobnih elektronskih naprav pa pri zdajšnji tehnologiji ne morejo brez elementov itrija in evropija.

Čemu to naštevanje? Ključ leži v skupini t. i. redkih elementov (redkih zemelj), kamor spada kemična skupina lantanidov in nekateri drugi 'eksotični' elementi. Motorje za električne avte oz. generatorje za vetrne turbine z veliko gostoto moči (in s tem majhno težo) je namreč mogoče izvesti le z zelo močnimi permanentnimi magneti, ki pa temeljijo na lantanidih. Nekoliko manj redek je litij, vendar bi se ob razširjenosti avtomobilov na električni pogon in z litijevimi baterijami njegova cena verjetno hitro začela povečevati.



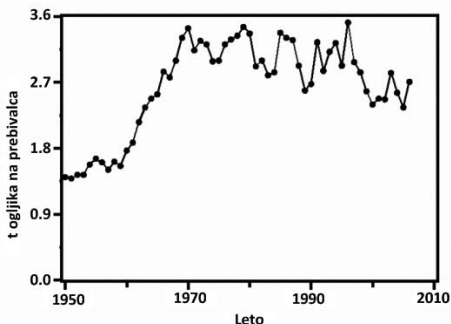
*Slika 4. Primeri uporabe neodimovih magnetov: na levi sliki je del generatorja (rotorja) male vetrnice, na sredini je trdi disk osebnega računalnika in na desni zvočnik.*

In kje so nahajališča omenjenih redkih elementov? Kar 90 % trga z litijem pokrivajo samo tri države: Argentina, Čile in Kitajska. Zaloge tega elementa ima tudi Bolivija, vendar ga ne prodaja. Ocenjujejo, da ima 75 % zalog litija Kitajska, ki 95- do 100-% obvladuje trg z lantanidi. Edini rudnik telurja je prav na Kitajskem. Ker se tamkajšnje vodstvo dobro

zaveda pomena skoraj popolnega monopola nad surovinami, ki omogočajo 'zeleno tehnologijo', ti elementi niso več na prostemu trgu (ŽIT 2010/10, str. 38). Hkrati šolajo 1000 doktorjev znanosti za razvoj tehnologij pridobivanja redkih zemelj. Z drugimi besedami, razvoj sodobnih tehnologij je praktično povsem odvisen od surovin, ki jih nadzira Kitajska. Tehnologije, ki so jih razvili na zahodu, bo že čez nekaj let verjetno mogoče uporabljati le še na Kitajskem, saj ne bo več mogoče priti do prej omenjenih strateških surovin. Zdajšnji potek dogodkov že očitno kaže v to smer. V smislu energetske odvisnosti torej želimo zamenjati odvisnost od npr. 21 držav, ki načrpajo več kot milijon sodčkov nafte na dan, z odvisnostjo od ene same države ...

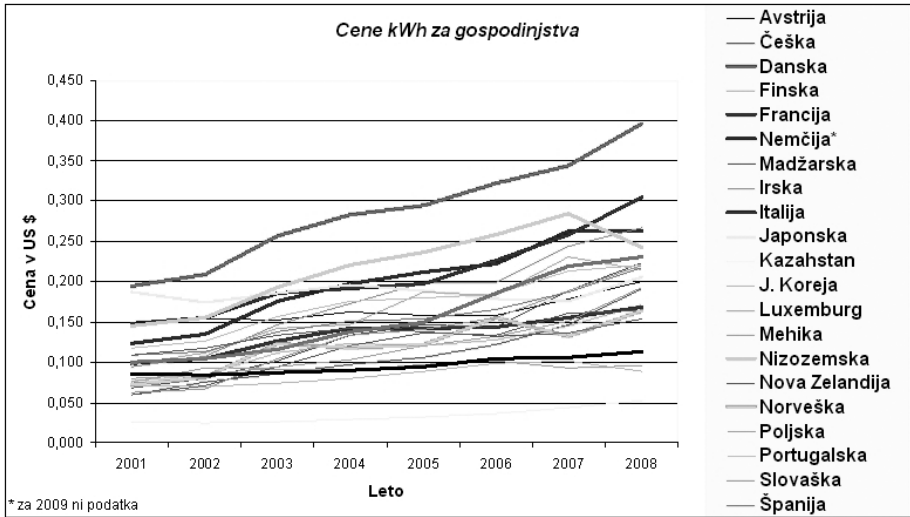
### Primer Danske

Danska velja za eno od najbolj ekološko naprednih dežel in je okoljevarstveni vzor drugim. V 70-letih prejšnjega stoletja so Danci kot odgovor na takratno naftno krizo sprejeli obsežno in ambiciozno energetska politiko, katere cilj je bil energetska neodvisnost, pridobivanje energije na okolju prijazen način in zmanjšanje t. i. toplogrednih plinov, v prvi vrsti CO<sub>2</sub>. Najbolj so aktivni na področju izkoriščanja vetra in imajo daleč najvišji delež vetrnih elektrarn na prebivalca. Glede na visok delež nepredvidljive električne moči v sistemu morajo zaradi zagotavljanja njegovega stabilnega delovanja proizvodnjo vseh drugih virov nenehno prilagajati proizvodnji vetrnih elektrarn in porabnikov. Za ta namen so sicer najprimernejše hidroelektrarne (HE) oz. črpalne hidroelektrarne (ČHE), ki pa jih na Danskem ni, saj gre za zelo 'položno' deželo. Na srečo so Danci povezani z Norveško (ta prednjači s svojimi HE in ČHE), Švedsko in Nemčijo; tako njihovi veliki sistemi 'amortizirajo' nepredvidljivo dansko proizvodnjo električne energije. Ko je pri njih električne energije preveč, jo morajo izvažati (ali pa ustaviti vetrne elektrarne in plačati njihovim lastnikom znesek polne proizvodnje po subvencionirani ceni). Poceni elektriko seveda z veseljem kupuje Norveška in jo 'shranjuje' s pomočjo HE. A ko na Danskem 'ne piha' dovolj in je poraba električne energije visoka, jo po tržni ceni kupuje od Norveške, cena pa je glede na povpraševanje po Evropi lahko zelo visoka (med najnižjo in najvišjo ceno električne energije je lahko faktor 5 in več). Zlobneži bi rekli, da Norvežani služijo na račun danskih vetrnic – in temu bi kar težko oporekali.

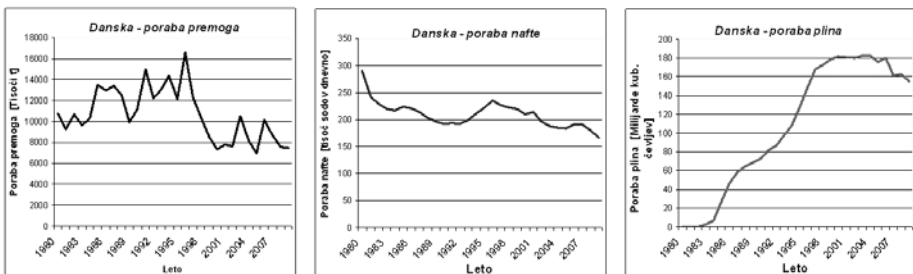


Slika 5. Od leta 1990 do leta 2007 se izpusti CO<sub>2</sub> (t) na Danskem niso zmanjšali. Nekaj učinka je resda bilo (dvig porabe električne energije za okrog 20 % ob nespremenjenih izpustih), vendar je bil veliko manjši od načrtovanega.

Ceno za takšno stanje seveda plačujejo prebivalci. Električna energija za gospodinjstva je okrog 4-krat dražja kot v ZDA in skoraj 3-krat dražja kot v Franciji ali na Norveškem, ker je električna energija močno obdavčena (od kod, če ne iz davkov, pa prihaja denar za subvencije).

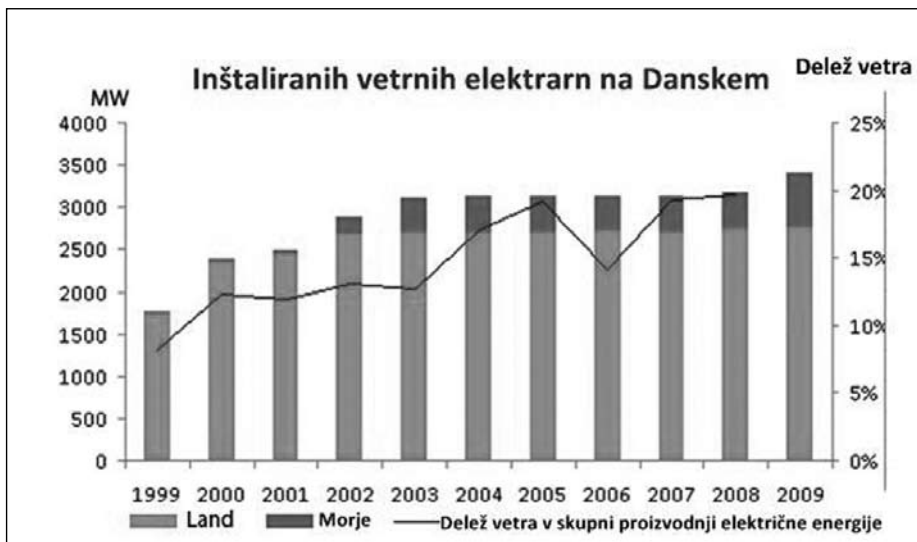
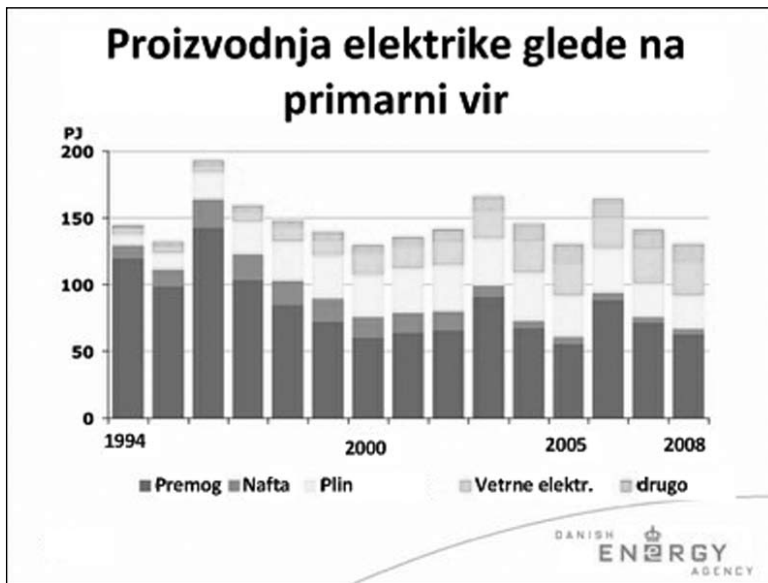


Slika 6. Gibanje cene električne energije za gospodinjstva v nekaterih državah  
Glej tudi 3. stran ovitka



Slika 7: Grafi porabe premoga (levo), nafte (na sredini) in plina (desno) na Danskem v letih 1980-2009

Poglejmo še nekatera dejstva o oskrbi z energenti na Danskem. Čeprav je bilo mogoče pričakovati, da se bo poraba fosilnih goriv zaradi usmerjenosti v 'zelene tehnologije' zmanjšala, se pri premogu in nafti to ni zgodilo, poraba plina pa se je celo krepko povečala (leta 2010 so zabeležili še dodaten močan skok navzgor). Zanimivo, da Danska še vedno z nafto pokrije več kot 50 % energetskih potreb, medtem ko je delež vetrne energije v celotni energetski bilanci okrog 4 %. Očitno se od leta 2004 do 2008 proizvodnja VE ne povečuje.



Sliki 8a in 8b. Na zgornjem grafu je prikazana proizvodnja električne energije na Danskem glede na primarni vir, na spodnjem pa število zgrajenih vetrnih elektrarn na Danskem po letu 1999.

Torej je tudi tako okoljsko ozaveščena in bogata država še zelo daleč od energetske neodvisnosti od fosilnih goriv. »Zlobneži« so celo izračunali, da bi Danska ceneje poskrbela za zmanjšanje toplogrednih plinov, če bi po svetu kupovala premog, ga na Danskem zakopavala ter s tem podražila proizvodnjo termoelektarn drugod, kakor z odločitvijo za vetrne elektrarne.

## JE BIOMASA RES REŠITEV?

Velikokrat zasledimo novice, da se 'Slovenija zarašča'. Delež obdelovalnih površin se krči, delež gozdov pa se veča. Ali ne bi bilo mogoče pokositi oz. posekati in zmlati, kar je zrastle na zaraščajočih se površinah, dobljeno biomaso preprosto vreči v zbiralnik, v bioplinarnah pridobljeni bioplin pa porabiti za proizvodnjo električne energije? Na žalost na trenutni stopnji razvoja tehnologije bioplinarn to ni mogoče. Obstoječa tehnologija namreč za pretvorbo biomase v metan izkorišča le komunalne odplake in poljščine z znatnim deležem beljakovin, sladkorja in škroba (žita, predvsem kuzuza). Zanimivo, da so že leta 1921 kot 'tik pred zdajci' označevali tehnologijo pretvorbe celuloze v etanol, ki bi ga potem lahko uporabljali kot tekoče gorivo ali za proizvodnjo električne energije. A izkazalo se je, da naloga ni tako preprosta. Čeprav je z danes dostopno tehnologijo sicer mogoče, pa komercialno ni uporabna in okoljsko ni sprejemljiva.

Naslednja ideja je kurjenje biomase. Ta potencial je na videz sicer zelo velik, vendar spet ne toliko, kot bi pričakovali in si želeli. Če se omejimo na Slovenijo, bi ves letni prirastek biomase (prirastek lesne mase v gozdovih in vsi za to primerni kmetijski odpadki, kot so slama, koruznica, neuporabljena suha trava, odrez grmovja in trt) zadoščal komaj za polovico predvidenega (in močno popljuvanega) bloka TEŠ 6. Ob tem se velja vprašati tudi, koliko denarja in energije bi zahtevala priprava te biomase in njen transport na lokacije elektrarn. Težko si je predstavljati Slovenijo 21. stoletja kot deželno nabiralcev dračja ...

## SKLEP

V tem prispevku so na osnovi javno dostopnih podatkov osvetljeni nekateri problemi prehoda od klasičnih virov energije na obnovljive vire ter ovržena nekatera s tem povezana in v javnosti sprejeta prepričanja dvomljive verodostojnosti. Gotovo se večina prebivalstva iskreno zavzema za čim bolj okolju prijazno oskrbo z energijo. Vsi si želimo 'čisto', vedno dostopno in univerzalno uporabno energijo po sprejemljivi ceni, a na žalost nič ni zastoj (zgled za to je Danska). Zavedati se moramo, da mora za energetske pretvorbe vedno nekdo plačati ceno – bodisi okolje, bodisi davkoplačevalci. Nove tehnologije (vetrne, sončne elektrarne itd.) so za zdaj še vedno vprašljive zaradi vsaj dveh zahtev: dostopnosti in cenenosti. Ker je 'okoljski odtis' t. i. zelenih virov v primerjavi z nekaterimi klasičnimi viri v bistvu zelo velik, se lahko zgodi, da bomo z nekritičnim razvojem tehnologij za zmanjšanje odvisnosti od uvoza energentov v resnici zapadli v še večjo odvisnost, saj nove tehnologije temeljijo na nekaterih redkih elementih, katerih pridobivanje je monopolizirano. Tudi biomasa in razvoj tehnologije za pridobivanje etanola iz celuloze na žalost ne moreta bistveno vplivati na odvisnost človeštva od fosilnih goriv. Teh na srečo še ne bo tako hitro zmanjkalo, kakor napovedujejo nekateri. A to ne sme biti razlog, da ne bi še naprej razvijali tehnologij izkoriščanja sonaravnih virov energije. Vendar velja napore in sredstva, ki so v sedanjem obdobju relativnega blagostanja dostopna, usmeriti v tehnologije s prihod-

nostjo, ne pa v tiste, kjer je edini smisel bogatenje in nabiranje politične moči nekaterih. 'Tlačenje' CO<sub>2</sub> pod zemljo (ŽIT 2011/1, str. 28) je ena izmed takih neumnosti, ki nas Evropejce že drago stane. Za take stvari zapravljeni viri bodo še kako manjkali takrat, ko bo res nujno treba uporabiti nove tehnologije.

### VIRI IN LITERATURA

- [1] <http://cei.org/pdf/5532.pdf>
- [2] <http://climateanswers.info/2009/06/carbon-capture-and-storage/>
- [3] <http://www.getmoneyenergy.com/wp-content/uploads/2010/01/shale-gas-basins-in-usa.jpg>
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/Wind\\_power\\_in\\_Denmark#Critics\\_of\\_Danish\\_wind\\_economics](http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_Denmark#Critics_of_Danish_wind_economics)
- [5] [http://www.nordicenergysolutions.org/energymix.jpg/image\\_preview](http://www.nordicenergysolutions.org/energymix.jpg/image_preview)
- [6] [http://www.windpowerworks.net/uploads/pg\\_content/1784\\_value3\\_3071.jpg](http://www.windpowerworks.net/uploads/pg_content/1784_value3_3071.jpg)
- [7] [http://sl.wikipedia.org/wiki/Vetrna\\_elektrarna\\_Dolenja\\_vas](http://sl.wikipedia.org/wiki/Vetrna_elektrarna_Dolenja_vas)

# DO STANDARDNEGA MODELA

Janez Strnad

Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

**Povzetek.** - Dve veliki mednarodni raziskovalni skupini ob Velikem hadronskem trkalniku LHC v CERN-u sta zasledili delec z nekaterimi lastnostmi napovedanega Higgsovega bozona. Potrditev tega bi podprla zadnjo teoretično napoved standardnega modela delcev. Preden razčlenimo ozadje napovedi, orišimo razvoj našega znanja o zgradbi snovi. Standardni model delcev je eden od najpomembnejših dosežkov fizike dvajsetega stoletja. O tem pričajo tudi Nobelove nagrade.

**Abstract.** - Two great international collaborations at the Large Hadron Collider LHC at CERN observed a particle with some characteristics of the predicted Higgs boson. Confirmation would present the test of the last theoretical prediction of the Standard model of particles. Before analyzing the background of the prediction the development of our knowledge of the structure of matter is sketched. The Standard model is one of the most important achievements of twentieth century physics. This is witnessed also by the Nobel prizes.

## ZAČETKI

Množico različnih snovi sestavljajo kombinacije majhnega števila nedeljivih atomov. Tako sta pred 2400 leti mislila Levkip in Demokrit v Abderi nasproti otoka Thasos v grški Trakiji. Tedaj so poznali štiri »elemente«: zemljo, vodo, zrak in ogenj. V Stari Grčiji so zgolj razmišljali, naravoslovje pa je razmišljanje povežalo z opazovanjem in merjenjem. Tako je današnje znanje le šibko povežano s starogrškim. Dandanes se osnovne zamisli navzajemno v osnovni šoli.

Robert Boyle je leta 1661 zagotovil, da je element vsaka snov, ki je ni mogoče razstaviti na preprostejše snovi. John Dalton je leta 1808 zamisel podprl in dodal, da elemente sestavljajo atomi. Vsi atomi kakega elementa so med seboj popolnoma enaki, a se razlikujejo od atomov drugih elementov. Spočetka so Daltonove atomske mase kemikom zadostovale, da so pojasnili, v kakšnem masnem razmerju se elementi vežejo drug z drugim. Proti koncu 19. stoletja pa so atomi v fiziki postali delci z maso in velikostjo.

Leta 1897 so odkrili *elektron*. Joseph John Thomson (Nn 1906, Nn pomeni Nobelova nagrada iz fizike) si zasluge za odkritje deli z drugimi fiziki. Vse je presenetilo, da ima elektron 1836-krat manjšo maso od vodikovega iona. Nosi negativni *osnovni naboj*, to je po absolutni vrednosti najmanjši prosti naboj v naravi, če izvezemo naboj nič. Elektron je bil prvi *osnovni delec* in še danes velja za nesestavljenega. V letu odkritja je Pieter



Zeeman ugotovil, da je valovna dolžina svetlobe odvisna od magnetnega polja, v katerem sevajo atomi, in Hendrik Antoon Lorentz je po tem sklepal, da elektroni sestavljajo atome (Nn 1902). Da so atomi sestavljeni, bi bilo mogoče domnevati že po *periodni preglednici elementov* Dmitrija Mendelejeva iz leta 1869. „Če je število ‘osnovnih delcev’ veliko in kažejo ti urejenost, so delci sestavljeni iz bolj osnovnih delcev.“ Ta izkušnja se je večkrat obnesla, čeprav je ne gre jemati za zakon narave.

Proti koncu 19. stoletja so natančno izmerili spekter črnega telesa. Max Planck ga je leta 1900 pojasnil z zamisljivo, da črno telo energijo s sevanjem izmenjuje v obrokih, *energijskih kvantih* (Nn 1918). Delo v termodinamiki, posebej v zvezi z entropijo, mu je dalo pogum, da je sprejel nenavadno zamisel. Leta 1905 jo je Albert Einstein povzel in zatrdil, da energija v kvantih tudi potuje (Nn 1921). Pozneje so kvante elektromagnetnega polja imenovali *fotoni*.

## ZGRADBA ATOMOV

Leta 1911 so v laboratoriju Ernesta Rutherforda (Nn 1908, kemija) opazovali odklon delcev  $\alpha$  pri prehodu skozi zelo tanke kovinske lističe. Nekateri delci so se odklonili za velik kot. Po tem je Rutherford ugotovil, da je pozitiven naboj atoma zbran v *jedru*. Jedro je stotisočkrat manjše od atoma, a je v njem zbrana skoraj vsa masa atoma.

Niels Bohr je leta 1913 gibanje elektrona okoli jedra v vodikovem atomu opisal v kvantnem duhu (Nn 1929). Atom ima *stanja* z določenimi energijami in pri prehodih med njimi seva svetlobo. Pojasnil je valovne dolžine vodikovih spektralnih črt. Elektron ima pri gibanju okoli jedra določeno *vrtilno količino* in določeno *komponento vrtilne količine* v izbrani smeri, denimo v smeri magnetnega polja. Stanja atoma so opredelili s tremi *kvantnimi števili*, ki podajo energijo atoma ter vrtilno količino in njeno komponento. V naslednjem desetletju je Bohr pojasnil sestavo atomov z več elektroni in s tem ozadje periodne preglednice.

George Uhlenbeck in Samuel Goudsmit sta leta 1924 po spektrih svetlobe, ki jo sevajo atomi, prišla na misel, da se elektron vrti kot vrtavka. Pokazalo se je, da tega vrtenja ni mogoče pojasniti klasično. Vsi elektroni imajo enako veliko vrtilno količino, „se vrtijo enako hitro“. Njena komponenta kaže ali v smer magnetnega polja ali v nasprotno smer. Elektronu so priredili *spin*  $1/2$ . Stanja atomov po tem opredelimo s štirimi kvantnimi števili, od katerih četrto podaja komponento spina.

Wolfgang Pauli je po razvrstitvi atomov v periodno preglednico leta 1925 postavil *izključitveno načelo* ali *Paulijevo prepoved*. Vsako stanje v atomu zasede največjemu po en elektron. Do leta 1940 je ugotovil, da je od spina odvisno, kako se vede množica enakih delcev (Nn 1945). Prepoved velja za delce s spinom  $1/2$ ,  $3/2$ , ..., ki jih imenujemo *fermioni*. Za delce s spinom 0, 1, ..., ki jih imenujemo *bozoni*, pa prepoved ne velja. Fotoni imajo spin 1 in so bozoni, tako da jih lahko veliko zasede dano stanje.

## KVANTNA MEHANIKA

Svetloba, ki je veljala za zvezen pojav, je s fotoni dobila delčne lastnosti. Louis de Broglie je leta 1924 izhajal iz spoznanja, da posebna teorija relativnosti enakopravno obravnava delce s končno maso in delce z maso 0. Po simetriji je domneval, da elektroni, ki so veljali za delce, v curku kažejo tudi lastnosti valovanja (Nn 1929). Leta 1927 so domnevo podprli z opazovanjem elektronskih interferenc.

Werner Heisenberg (Nn 1932), Max Born ( $1/2$  Nn 1954) in Pascual Jordan so po začetnem Heisenbergovem uspehu leta 1925 v tem in v naslednjem letu razvili notranje skladno teorijo. To je naredil tudi Erwin Schrödinger ( $1/2$  Nn 1933) in se prepričal, da sta njegova teorija in teorija Borna in sodelavcev dva obraza *kvantne mehanike*.

Paul Dirac ( $1/2$  Nn 1933) je leta 1928 združil zakone kvantne mehanike in posebne teorije relativnosti v dosleden kvantni opis elektronov. Iz tega je zrasla napoved, da obstaja *pozitron* ( $1/2$  Nn 1933). Pozitron je *antidelec* elektrona z enako maso, a nasprotnim nabojem. Zaznal ga je leta 1932 Carl David Anderson ( $1/2$  Nn 1936). Vsak delec ima svoj antidelec. Nekaterih antidelcev pa ni mogoče razločiti od njihovih delcev, na primer antifoton se ne razlikuje od fotona.

Pri radioaktivnem razpadu  $\beta$  jedro odda delec  $\beta$ , to je elektron. Z merjenjem so ugotovili, da je energija elektrona navadno manjša od predvidene. Zato je leta 1930 Pauli privzel, da pri razpadu nastane še *neutrino*, delec brez naboja in brez mase, ki uide, ne da bi ga zaznali. Elektron dobi toliko manjšo energijo, kolikor je odnese neutrino. Pravzaprav se pri razpadu  $\beta$  pojavi antidelec nevtrina, *antineutrino*. Paulija je skrbelo, da obstoja nevtrina ne bo mogoče podpreti s poskusi. To je uspelo Fredericku Reinesu ( $1/2$  Nn 1996) in sodelavcu leta 1956.

Masno število elementa, to je do celega števila zaokrožena relativna atomska masa, je razen pri vodiku večje od vrstnega števila, to je zaporedne številke elementa v periodni preglednici. Najprej so to poskušali pojasniti z zamisljivo, da jedra sestavljajo *protoni*, to je vodikova jedra, in elektroni. Mislili so na delce  $\beta$ , ki jih oddajajo nekatera radioaktivna jedra. Pozneje so spoznali, da jedro z električno silo elektrone veže v atom, a jih ne more vezati v veliko manjše jedro. Rutherford je že leta 1920 domneval, da se elektron z vodikovim jedrom veže v nevtralen delec in brez težav vstopi v jedro. Delec, ki so ga začeli imenovati *nevtron*, je v Rutherfordovem laboratoriju v naslednjih letih zmanjšal James Chadwick. Leta 1930 so z delci  $\alpha$  obstreljevali bor ali litij in dve leti zatem berilij. Učinek, ki ga ni zadržala plast svinca, so pripisali sevanju  $\gamma$ . Chadwick razlage ni sprejel in se je prepričal, da protone v ionizacijski celici precej daleč od berilijeve tarče izbijajo nevtralni delci. Tako je leta 1932 odkril nevtron (Nn 1935).

Tega leta je Heisenberg vpeljal količino, ki je pozneje dobila ime *izospin*. Nevtron je zelo podoben protonu, le da ne nosi električnega naboja. Od protona ga ne bi mogli razlikovati, če bi izključili naboj. Zato proton in nevtron opišemo kot dve stanji *nukleona*. Proton ima tretjo komponento izospina  $t_3 = 1/2$  in nevtron  $t_3 = -1/2$ . Naboj nukleona je potem

$q = t_3 + 1/2$ , če ga merimo v osnovnih nabojih. Nukleon je *izospinski dublet*. Matematično je izospin podoben spinu, le da je spin doma v navadnem prostoru, izospin pa v abstraktnem.

## INTERAKCIJE

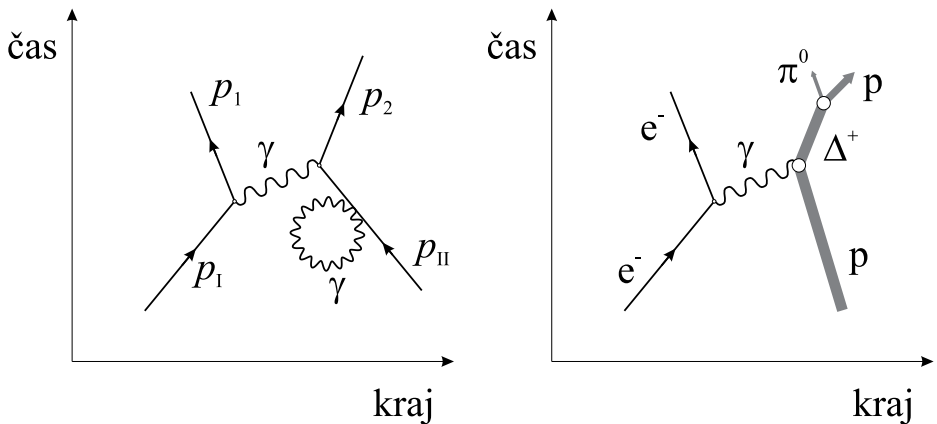
Med protonom in protonom, protonom in nevtronom ter nevtronom in nevtronom deluje privlačna *močna sila*. Sila je močnejša od elektromagnetne in prevlada nad to silo med protoni v jedru. Močna sila je neodvisna od izospina. Pri pojavih, ki jih povzroča močna sila, se izospin ohrani.

Enrico Fermi (Nn 1938) je leta 1933 sestavil prvo teorijo razpada  $\beta$ . To razmeroma počasno radioaktivno razpadanje povzroča *šibka sila*, ki je veliko šibkejša od elektromagnetne. Kot pri sevanju atoma zaradi elektromagnetne sile na račun energije atoma nastane foton, pri razpadu  $\beta$  zaradi šibke sile na račun energije jedra nastaneta elektron in antinevtrino, nevtron pa preide v proton.

Opis elektromagnetnega polja, *klasično elektrodinamiko*, je bilo treba prilagoditi kvantnim zahtevam. Prilagajanja so se lotili Heisenberg, Dirac in drugi. Ni šlo brez težav, ki so jih v letih po drugi svetovni vojni premagali Richard Feynman, Julian Schwinger in Sin-Itiro Tomonaga (Nn 1965). Tako je nastala *kvantna elektrodinamika*. V njej delovanje elektrona na elektron opišemo tako, da si mislimo, da elektron izseva delec elektromagnetnega polja foton. Drugi elektron foton absorbira in ga zopet izseva, prvi elektron foton zopet absorbira in tako dalje. Z izmenjavanjem enega, dveh in več fotonov izrazimo kako količino elektrona kot vsoto členov za izmenjavanje enega, dveh, treh ... fotonov. Členi postajajo vse manjši in rezultat vse natančnejši. Ni mogoče ugotoviti, kolikšno energijo imajo ti fotoni. Ne moremo jih neposredno zaznati, zaznamo samo vpliv elektrona na drug elektron. Govorimo o *virtualnih fotonih*. Zaznamo pa lahko prost foton in izmerimo njegovo energijo, če je na voljo dovolj energije, da na primer atom seva.

Virtualni delci polja si energijo »sposodijo« in jo »vrnejo«, preden bi bilo to mogoče ugotoviti z merjenjem. Čim večjo energijo si delec polja sposodi, tem hitreje jo mora vrniti in tem manj se lahko oddalji od delca snovi. Čim daljši je doseg, tem manjšo maso imajo delci polja, saj masi ustreza energija. Elektromagnetno polje sega zelo daleč in fotoni imajo maso 0. Tako smo z besedami opisali zapletene račune, ki pokažejo, kako naelektren delec deluje na naelektren delec. V tej zvezi govorimo o *elektromagnetni interakciji*, da opis razločimo od opisa z elektromagnetno silo.

Računanje ponazorimo s *Feynmanovimi diagrami* (Slika 1). Pri računanju se pojavijo izrazi, ki narastejo čez vse meje. Feynman, Schwinger in Tomonaga so v kvantni elektrodinamiki razvili postopek, s katerim je mogoče obvladati take izraze. Za vsak pozitivni izraz, ki naraste čez vse meje, obstaja negativni izraz te vrste in se oba izraza izravnata. Postopek je znan kot *renormalizacija*.



Slika 1. Feynmanova diagrama za sipanje elektrona na elektronu z izmenjavo enega fotona (levo). Vsaki črti in vsakemu presečišču črt ustreza določen matematični izraz. Narisana pentlja kaže, da elektron lahko izseva virtualni foton, ki ga takoj absorbira. Ustrezni izraz naraste čez vse meje. Težava ima korenine v klasični elektrodinamiki, ker energija točkastega naboja naraste čez vse meje. V kvantni elektrodinamiki se težave znebijo z renormalizacijo. Diagram za nastanek in razpad bariona  $\Delta^+$  pri sipanju elektrona na protonu (desno).

Hideki Jukava je že leta 1935 pojasnil *močno interakcijo* z izmenjavanjem delcev polja med nukleonoma (Nn 1949). Ker ima ta kratek doseg, imajo virtualni delci polja maso med masama elektrona in protona. Imenovali so jih *mezoni*. Lov na napovedane delce je najprej pripeljal do zmešnjave. Razpletla se je z odkritjem dveh vrst delcev. Mezoni  $\pi$  ali *pioni* z 272-krat večjo maso od elektrona imajo pozitiven ali negativen osnovni naboj ali so brez naboja in so Jukavovi delci, povezani z močno interakcijo. Pioni  $\pi^-$ ,  $\pi^0$  in  $\pi^+$  sestavljajo izospinski triplet s tretjo komponento izospina -1, 0 in +1.

## LEPTONI IN KVARKI

*Mioni* z negativnim osnovnim nabojem  $\mu^-$  in s pozitivnim osnovnim nabojem  $\mu^+$  niso zmožni močne interakcije in so podobni elektronom in pozitronom. Imajo 206,8-krat večjo maso in niso obstojni, v povprečju razpadejo po 2,197 milijonine sekunde. Elektrone in mione zajame skupno ime *leptoni*, „lahki delci“.

Pri opazovanju reakcij med delci in njihovih razpadov so ugotovili, da se ohrani skupno *leptonsko število*. Vsakemu leptonu priredimo leptonsko število  $L = 1$  in vsakemu antileptonu leptonsko število  $L = -1$ . Vsi drugi delci imajo leptonsko število 0. Vsota leptonskih števil udeleženih delcev pred reakcijo je enaka vsoti po njej. Jakov Zeldovič, George Marx in drugi so leta 1953 izrazili *zakon o ohranitvi števila leptonov*.

Od leptonov se razlikujejo *barioni*, „težki delci“, h katerim štejemo tudi proton in nevtron. Opazovanje jedrskih reakcij je pripeljalo do izkušnje, da se ohrani število nukleonov. Pokazalo se je, da je to poseben primer *zakona o ohranitvi števila barionov*. Vsakemu barionu priredimo *barionsko število*  $B = 1$  in vsakemu antibarionu barionsko število  $B = -1$ . Mezioni in vsi drugi delci imajo barionsko število 0. Enačba  $q = t_3 + 1/2B$  velja za naboj barionov in mezonov. Leptoni imajo spin  $1/2$ , barioni spin  $1/2, 3/2, \dots$  mezioni spin  $0, 1, \dots$

Nekaj časa se je zdelo, da poznajo vse „osnovne“ delce in ima vsak od njih svojo vlogo. Po letu 1947 pa so začeli zaznavati nove delce. Nastajali so v parih. Imenovali so jih *čudni delci* in uvedli novo kvantno število *čudnost*  $S$ . Število znanih delcev se je močno povečalo. Naboj čudnih barionov in mezonov je  $q = t_3 + 1/2(B+S)$ . Vsoto barionskega števila in čudnosti vpeljejo kot *hipernaboj*  $Y = B + S$ . Čudnost in hipernaboj se pri reakcijah med delci in razpadi delcev po močni in elektromagnetni interakciji ohranita, pri šibki interakciji pa ne. Mezona pozitivni kaon  $K^+$  s komponento izospina  $t_3 = 1/2$  in nevtralni kaon  $K^0$  s komponento izospina  $t_3 = -1/2$  sestavljata izospinski dublet. Čudnost je enaka dvakratni razliki med težiščem naboja, to je povprečnim nabojem izospinskega multipleta, in  $1/2$  pri barionih ali 0 pri mezonih.  $1/2$  je težišče naboja nukleonov in 0 težišče naboja pionov, torej delcev s čudnostjo 0.

Leta 1962 so Leon Lederman, Melvin Schwartz in Jack Steinberger (Nn 1988) ugotovili, da antinevtrini, ki spremljajo elektrone, povzročajo drugačne reakcije kot nevtrini, ki spremljajo mione. Obstajata dve vrsti nevtrinov, *elektronski nevtrini* in *mionski nevtrini*.

Leta 1964 je Murray Gell-Mann izospinske multiplete delcev, ki so zmožni močne interakcije, to je barionov in mezonov, uredil v *supermultiplete* delcev z enakim spinom. Ob tem je napovedal obstoj bariona  $\Omega^-$  in mezona  $\eta^0$ . Napovedana delca so odkrili. Gell-Mann je supermultiplete pojasnil s trojico delcev, *kvarkov*  $u$  (up),  $d$  (down) in  $s$  (sideways ali strange), ki sestavljajo te delce (Nn 1969) (Slika 2). Jedra, ki imajo maso in naboj, sestavljajo delci dveh vrst, protoni in nevtroni, delce, ki imajo maso, naboj in čudnost, pa delci treh vrst. Proton sestavljajo kvarki uud, nevtron kvarki ddu. Mezone sestavljata kvark in *antikvark*, na primer negativni pion  $\bar{d}u$ . Spočetka je mislil, da so kvarki zgolj nekakšno računsko pomagalo.

Raziskovalna skupina, ki so jo vodili Jerome Friedman, Henry Kendall in Richard Taylor (Nn 1990), je med letoma 1969 in 1972 z elektroni z zelo veliko energijo obstreljevala tarče z vodikom in težkim vodikom. Merjenja so pokazala, da protone in nevtrone sestavljajo trojice točkastih kvarkov. Kvarki so delci snovi s spinom  $1/2$ . Kvark  $u$  nosi dve tretjini pozitivnega osnovnega naboja, kvarka  $d$  in  $s$  tretjino negativnega osnovnega naboja, kvark  $s$  ima čudnost  $-1$ . Med kvarki deluje interakcija, ki je v veliki razdalji zelo močna, v majhni pa manj močna. Tako je mogoče v majhni razdalji kvarke obravnavati skoraj kot proste, ni pa jih mogoče razdružiti. Kvarki ne morejo obstajati prosti. Teoretično ozadje so leta 1973 pojasnili David Gross in Frank Wilczek ter David Politzer (Nn2004).



### Delci snovi s spinom $1/2$ - fermioni

Rod	leptoni		antileptoni		kvarki		antikvarki	
1.	$e^-$	$\nu_e$	$e^+$	$\bar{\nu}_e$	$u$	$d$	$\bar{u}$	$\bar{d}$
2.	$\mu^-$	$\nu_\mu$	$\mu^+$	$\bar{\nu}_\mu$	$s$	$c$	$\bar{s}$	$\bar{c}$
3.	$\tau^-$	$\nu_\tau$	$\tau^+$	$\bar{\nu}_\tau$	$b$	$t$	$\bar{b}$	$\bar{t}$

### Delci polja s spinom 1 - bozoni

polje	delci
barvno	osem gluonov
elektromagnetno	foton $\gamma$
šibko	šibki bozoni $W^-, W^+, Z^0$
gravitacijsko	graviton ?

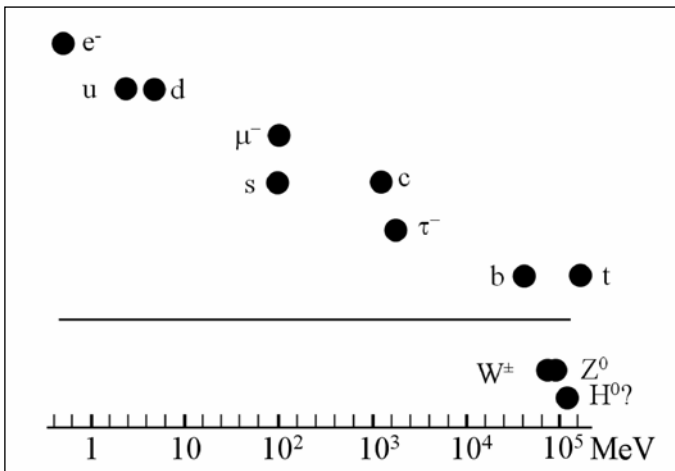
*Slika 3. Delci snovi, leptoni in kvarki in njihovi antidelci, so simetrični. Ali precejšnje število delcev snovi in antidelcev, to je nesestavljenih fermionov, in njihova urejenost namiguje, da so ti delci sestavljeni. Pri kvarkih nismo upoštevali različnih barvnih nabojev. Dodani so delci polja.*

Leta 1973 sta Makoto Kobajaši in Tošihide Maskava napovedala obstoj dveh novih kvarkov in dveh leptonov ( $1/2$  Nn 2008). Med letoma 1974 in 1977 je skupina Martina Perla ( $1/2$  Nn 1996) zaznala lepton  $\tau^-$ . Negativni in pozitivni delec  $\tau$  sta sorodna elektronu in in pozitronu. Njuna masa je 1,89-krat večja od mase protona. V povprečju lepton  $\tau$  razpade po  $2,906 \cdot 10^{-13}$  sekunde. Pričakovali so, da obstaja tudi z leptonom  $\tau$  povezani nevtrino. Raziskovalna skupina Leona Ledermana je leta 1977 zaznala mezon  $Y$  z 10,08-krat večjo maso od protona.

Ta delec so pojasnili kot stanje povezanih petega kvarka b (bottom) in njegovega antidelca  $\bar{b}$ . Preostali še šest kvarkov. Kvark t (top) so zaznali šele leta 1995. Njegova masa je 184-krat večja od mase protona. Ta kvark s svojim antidelcem ne tvori mezona z daljšim življenjskim časom. Tauonski nevtrino so po večletnem prizadevanju zaznali leta 2000. Tako smo opisali glavne korake v razvoju standardnega modela delcev [1], [2]. Razvoj teorije je tekel vzporedno z razvojem pospeševalnikov in trkalnikov [3] ter merilnikov in merilnih naprav. Sodelovalo je veliko število raziskovalcev, od katerih smo jih utegnili omeniti le peščico.

Steven Weinberg in Abdus Salam sta leta 1967 neodvisno drug od drugega na podlagi zamisli Glashowa iz leta 1961 razvila teorijo *elektrošibke interakcije* (Nn 1979). V njej jima je uspelo povezati elektromagnetno in šibko interakcijo. Nadaljevanje bo posvečeno tej teoriji.





Slika 4. Lastne energije delcev snovi - fermionov - po rodovih (od zgoraj navzdol) in (pod črto) delcev polja – bozonov. Narisan je tudi podatek za Higgsov bozon. Foton in gluoni so brez mase, nevtrini pa imajo zelo majhno maso, ki je ne poznamo dobro. Kvarki so vezani v barionih ali mezonih in mase, ki bi jo imeli kot prosti, ne poznamo natančno.

## LITERATURA

- [1] J. Strnad, *Fizika, IV. del. Molekule, kristali, jedra delci*, DMFA – založništvo, Ljubljana 2010.
- [2] *The Rise of the Standard Model. Particle Physics in the 1960 and 1970s*, L. Hoddeson, L. Brown, M. Riordan, M. Dresden (uredniki), Cambridge University Press, Cambridge 1997.
- [3] J. Strnad, *Pospeševalniki*, Fizika v šoli **15** (2009) 66–74 (2); *Nakopičevalni obroči in trkalniki*, Fizika v šoli **16** (2010) 3–8 (1).
- [4] Particle Data Group, K. Nakamura in drugi, *Review of Particle Properties*, Journal of Physics G, Nuclear and Particle Physics **37** (2010) 1–1422. Podatki o delcih so navedeni po tem pregledu.

# NALOGA ZA LIMITO IN INTEGRAL Z DODANO MERITVIJO

Tine Golež

Škofijska klasična gimnazija, Ljubljana

**Povzetek** - Napačno rešena naloga z državne mature je postala večplastni učni primer. Po eni strani gre za fizikalno ozadje, ki opozori na napačno reševanje. Hkrati lahko služi tudi kot srednješolski primer uporabe limite in integrala. Ker pa je fizika eksperimentalna veda, je naloga obravnavana še s poskusom, ki potrdi neustreznost uradne rešitve in govori v prid podrobnejše obravnave; ta je nadomestila poenostavljeno rešitev, za katero se praviloma odločijo dijaki ... in morda so jo imeli v mislih tudi sestavljalci.

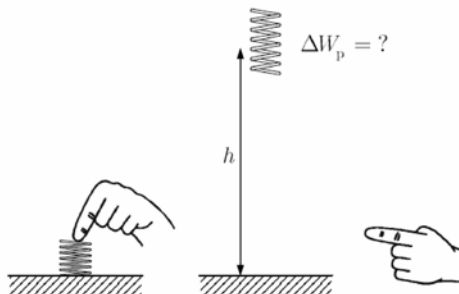
**Abstract** - The inaccurately solved problem from the national matura examination has been transformed into a meaningful teaching moment. On one hand, it is the physical background that alerts to the flaws in the proposed solution. At the same time, the problem can be used to teach the usage of the limits and integrals in high school physics lectures. As physics is an experimental science, the problem is accompanied with an experiment that points out the inadequacy of the solution. This speaks in favor of a more detailed treatment to replace the simplified solution, usually chosen by the students... and maybe it is also what the creators of the exam had in mind.

## UVOD

Pred nekaj leti so maturanti pri fiziki kot enajsto vprašanje v izpitni poli reševali tale primer:

Vzmet z maso 10 g in prožnostnim koeficientom  $2,0 \text{ N cm}^{-1}$  stisnemo za 1,0 cm in spustimo, da odskoči. Za koliko se največ lahko poveča potencialna energija vzmeti?

- A 0,04 J
- B 0,03 J
- C 0,02 J
- D 0,01 J

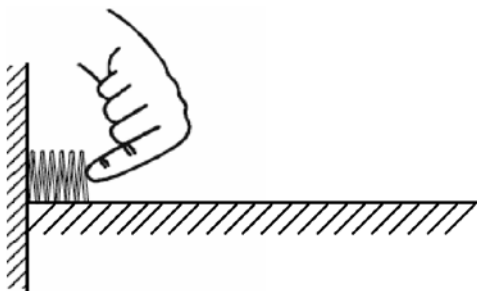


Komisija je predvidela odgovor D. Po vsej verjetnosti naj bi dijak sklepal takole: stisnjena vzmet ima le prožnostno energijo, vzmet v najvišji legi pa le potencialno energijo. Vsa prožnostna energija se (prek kinetične energije) spremeni v potencialno, kar pomeni, da je sprememba potencialne energije enaka  $\Delta W_p = 0,5kx^2$ , kar je točno 0,010 J.

Seveda rešitev ni prava. Prava rešitev je nekoliko manjša vrednost potencialne energije. Ker pri vprašanih izbirnega tipa izberemo tisto, ki je najbližja pravi vrednosti, bi komisija lahko utemeljila, da so pravzaprav vsi odgovori med 0,005 J in 0,015 J prikazani z rešitvijo 0,01 J, saj je rešitev podana le na eno mesto. Tako so nalogo lahko rešili dijaki, ki so sklepali napačno, in morda tudi kakšen nadarjen dijak, ki jo je pravilno reševal. Podajmo se k pravi rešitvi (no, bodimo skromni – k boljšemu približku pravzaprav), ki pa zahteva nekaj več matematičnega znanja, kot je predpisanega za maturitetno fiziko.

## NAJPREJ VODORAVNO

Najprej obravnavajmo vzmet v vodoravni legi. Vzmet naj bo na podlagi z zanemarljivim trenjem. Stisnemo jo ob togi steno in jo hipoma spustimo (slika 1).



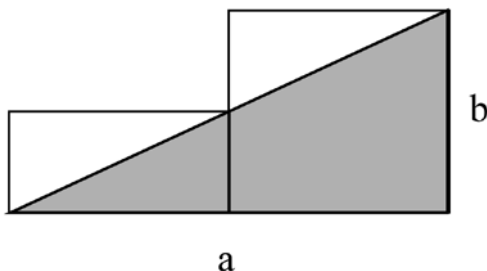
Slika 1. Vzmet stisnemo k togi steni in jo hipoma spustimo.

V mislih imamo vzmet s konstantno linearno gostoto, tako da vsaki dolžinski enoti pripada enako število ovojev oziroma enaka masa [2]. Predpostavimo tudi, da se po tem, ko vzmet spustimo, deli vzmeti gibljejo s hitrostmi, ki so premo sorazmerne z oddaljenostjo od stene. V trenutku, ko se vzmet raztegne do prvotne oblike, se krajišče vzmeti giblje s hitrostjo  $v$ , hitrost težišča vzmeti pa je ravno polovica te vrednosti:  $v = 2v_T$ . Od tega trenutka naprej se hitrost težišča ne spreminja več, saj ni zunanjih sil. Pravzaprav sta dve, a sta v ravnovesju. Sila teže je uravnotežena s silo podlage, ki pa zaradi odsotnosti trenja nima vodoravne komponente. Zato se hitrost težišča ne spreminja več. Po drugi strani pa ni težko uganiti, da vzmet od tega trenutka naprej ni ves čas enako dolga. Najprej se malo raztegne, nato skrči, skratka, niha v vzdolžni smeri. To pa pomeni, da se v »kinetično energijo težišča« (= hitrost težišča na kvadrat krat masa vzmeti ulomljeno z 2) ni spremenila vsa začetna prožnostna energija, pač pa le del. In kolikšen del začetne kinetične energije se je spremenil v prožnostno (ali v vmesnih trenutkih v kinetično energijo

posameznih delov)? Naredimo dolg ovinek do odgovora; predvsem zato, da bodo koraki dobro utemeljeni in razumljivi, še preden dijaki obravnavajo integral. Limite pa že morajo poznati.

### KORAK V STRAN: PLOŠČINA TRIKOTNIKA

Denimo, da želimo izračunati ploščino pravokotnega trikotnika s katetama  $a$  in  $b$ . To seveda ni nobena skrivnost; pomnožimo dolžini katet in produkt delimo z dve. A do ploščine lahko pridemo tudi s seštevanjem pravokotnikov, s katerimi prekrijemo trikotnik. Najprej ga pokrijmo z dvema pravokotnikoma, ki bosta pričakovano dala preveliko ploščino (slika 2).



Slika 2. Pravokotni trikotnik s katetama  $a$  in  $b$  smo prekrili z dvema pravokotnikoma.

Prvi približek ploščine trikotnika bo vsota ploščin obeh pravokotnikov, s katerima smo prekrili trikotnik:

$$S = \frac{a}{2} \frac{b}{2} + \frac{a}{2} \frac{2b}{2} = ab \left( \frac{1}{4} + \frac{2}{4} \right)$$

Seveda že osnovnošolci vedo, da je rezultat, ki ga tako dobimo:

$$S = \frac{3}{4} ab$$

prevelik. Prav, pa zmanjšajmo osnovnice pravokotnikov. Trikotnik pokrijmo s štirimi ožjimi pravokotniki. Tokrat je ploščina enaka:

$$S = \frac{a}{4} \frac{b}{4} + \frac{a}{4} \frac{2b}{4} + \frac{a}{4} \frac{3b}{4} + \frac{a}{4} \frac{4b}{4} = ab \left( \frac{1}{16} + \frac{2}{16} + \frac{3}{16} + \frac{4}{16} \right)$$

Dobljeni rezultat,  $ab \cdot 5/8$ , je že bliže pričakovani vrednosti, ki je  $ab \cdot 1/2$ . Čim več pravokotnikov bomo uporabili, tem bliže bomo pravemu rezultatu. Vzemimo jih torej  $n$ , pozneje pa bomo poiskali limito izraza, ko gre  $n$  proti neskončno. Če bomo prekrili trikotnik z neskončno pravokotniki, pričakujemo pravi rezultat.

Ker imamo zapisan izraz za pokritje s štirimi pravokotniki, ne bo težko zapisati izraza za pokritje z  $n$  pravokotniki.

$$S = \frac{a}{n} \frac{b}{n} + \frac{a}{n} \frac{2b}{n} + \frac{a}{n} \frac{3b}{n} + \dots + \frac{a}{n} \frac{nb}{n} = ab \left( \frac{1}{n^2} + \frac{2}{n^2} + \frac{3}{n^2} + \dots + \frac{n}{n^2} \right)$$

Ker poznamo izraz za vsoto prvih  $n$  naravnih števil, hitro pridemo do rezultata. Sedaj le še pošljemo  $n$  proti neskončnosti:

$$S = ab \lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{n(n+1)}{n^2} \right)$$

in dobimo že iz osnovne šole znano vrednost,  $S = ab/2$ .

Pokazali smo, da prekrivanje s pravokotniki postane povsem natančno, če jih je neskončno veliko. Če bi pa hoteli s končnim številom pravokotnikov priti do natančnega rezultata, bi morali izbrati take, ki jih diagonala trikotnika seka na sredini zgornje stranice in ne v oglišču. Toda mi smo hoteli pokazati prav to: da z navidez površnim prekrivanjem pridemo do točnega rezultata. Cena? Potrebujemo jih neskončno veliko ... kar pa v svetu matematike ni nikakršna težava.

Podoben postopek bomo sedaj uporabili pri izračunu kinetične energije spuščene vzmeti.

### SPET K VZMETI

Vzmet z maso  $m$  v mislih razdelimo na  $n$  delov. Vsak del ima maso  $m/n$ . Skrajni del vzmeti se v trenutku, ko se vzmet raztegne do prvotne lege, giblje s hitrostjo  $v$ . Hitrosti drugih delov vzmeti so manjše in se linearno zmanjšujejo, tako da je hitrost tistega dela, ki je ob steni, le  $v/n$ . Kinetična energija vzmeti je torej vsota kinetičnih energij vseh delov vzmeti. Prvi člen predstavlja kinetično energijo dela, ki je tik ob steni, zadnji pa kinetično energijo tistega, ki je najbolj oddaljen od stene:

$$W_k = \frac{1}{2} \frac{m}{n} \left( \frac{1}{n} v \right)^2 + \frac{1}{2} \frac{m}{n} \left( \frac{2}{n} v \right)^2 + \frac{1}{2} \frac{m}{n} \left( \frac{3}{n} v \right)^2 + \dots + \frac{1}{2} \frac{m}{n} \left( \frac{n}{n} v \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{m}{n} \frac{v^2}{n^2} (1^2 + 2^2 + \dots + n^2)$$

(Podobno kot smo prej s prevelikimi pravokotniki prekrivali trikotnik, sedaj s preveliko hitrostjo pomnožimo izbrani masni del. Ker pa bomo imeli neskončno veliko delov, bo rezultat računa vseeno pravilen; to smo videli tudi pri pokritju z neskončno pravokotniki.)

Izraz za vsoto kvadratov prvih  $n$  naravnih števil poznamo, zato enačbo preuredimo in limitiramo:

$$W_k = \frac{1}{2} m v^2 \lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{n^3} \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} \right)$$

Ker je limita izraza v oklepaju  $1/3$ , je kinetična energija vzmeti v tem trenutku enaka:

$$W_k = \frac{1}{3} \frac{mv^2}{2}$$

Ne pozabimo, da je  $v$  hitrost tistega konca vzmeti, ki ni ob steni. Seveda pa je za gibanje vzmeti odločilna kinetična energija težišča. Vsekakor je res, da je v trenutku, ko se vzmet raztegne do prvotne oblike, prav vsa energija v obliki kinetične energije, čisto nič energije pa ni v obliki prožnostne energije. Po drugi strani pa je tudi res, da vsa ta kinetična energija ni »kinetična energija težišča«. Zaradi izpeljane zveze pa bomo lahko ugotovili, kolikšna je »kinetična energija težišča«, saj vendar poznamo zvezo med njima:  $v = 2v_T$ . Izenačimo začetno prožnostno energijo in kinetično energijo vzmeti, ko se vzmet raztegne do prvotne oblike, a pri tem hitrost zadnjega dela vzmeti ( $v$ ) izrazimo s hitrostjo težišča:

$$\frac{1}{3} \frac{m(2v_T)^2}{2} = \frac{1}{2} kx^2$$

$$v_T = \sqrt{\frac{3}{4} \frac{k}{m}} x$$

Hitrost težišča vzmeti je manjša od hitrosti, s katero se giblje (enako) masiven delec, ki ga odrinemo z idealno vzmetjo, katere maso lahko zanemarimo. Od tod pa sedaj lahko izračunamo kinetično energijo težišča.

## IN ŽE SE VRAČAMO K MATURITETNI NALOGI

Najbrž so dijaki maturitetno nalogo reševali tako, da so v mislih najprej prožnostno energijo v celoti spremenili v »kinetično energijo težišča«, kar je seveda napačno sklepanje:

$$\frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} mv_T^2$$

in dobili za hitrost težišča:

$$v_T = \sqrt{\frac{k}{m}} x$$

ki pa je seveda večja od dejanske. (Najbrž so v resnici ta korak preskočili in se takoj lotili potencialne energije. Vsekakor pa je implicitno prisoten, tudi če ga navidez preskočimo.) Ko so potem od tod izračunali potencialno energijo, so seveda dobili preveliko vrednost. Ker pa so prav to preveliko vrednost ponudili sestavljalci kot pravilni odgovor, težav ni bilo ... vsaj pri srednje učno uspešnih dijakih ne.

V resnici bo vzmet iz naloge poskočila le toliko, da bo potencialna energija samo 0,0075 J, saj se le tri četrtine začetne prožnostne energije spremenijo v »kinetično energijo težišča«.

### KAJ PA INTEGRAL?

Naloga je res lep primer tako za prikaz uporabnosti limite kot tudi integrala. Pa se po isti poti podajmo še z integriranjem. Dolžina vzmeti v nenapetem stanju naj bo  $\ell$ . Os  $x$  naj poteka od stene, kjer je en konec vzmeti, proti drugemu koncu. Masa delčka vzmeti je zato:  $dm = (m/\ell)dx$ . Hitrost izbranega delca označimo z  $v_x$  in je enaka  $vx/\ell$ . Spet nam hitrost  $v$  predstavlja hitrost konca vzmeti, ki ni pri steni, in to  $v$  trenutku, ko se vzmet raztegne do prvotne dolžine. Celotno kinetično energijo v trenutku, ko se vzmet raztegne do prvotne lege, dobimo kot integral:

$$\int_0^{\ell} \frac{1}{2} v_x^2 dm = \int_0^{\ell} \frac{1}{2} \frac{m}{\ell} v^2 \frac{x^2}{\ell^2} dx = \frac{1}{3} \left( \frac{1}{2} m v^2 \right)$$

Prav do istega rezultata pa smo prišli tudi z limitiranjem.

### ZAKLJUČEK TEORETIČNEGA DELA

Res je fizika le model narave in priznati moramo, da je tudi pri tej izpeljavi privzeta neka predpostavka. Gre za domnevo o hitrosti posameznega dela, ki je kar sorazmerna s koordinato tega dela. Pa vendar je naloga vredna obravnave, morda celo bolj pri matematiki, saj včasih ni lahko najti dovolj realističnih primerov za integracijo ali za limite. Vsekakor se pri reševanju potrdi, kako pomembna je matematika (predvsem infinitezimalni račun) za razumevanje narave, saj šele s tem jezikom znanosti postanejo opisi narave vse bolj točni.

Prav zaradi izpeljave z limito bo učitelj fizike nalogo lahko rešil z maturanti že januarja ali februarja, medtem ko bo pot z integralom ubral mesec ali dva pozneje. Če bo on ali njegov kolega matematik imel težave, kako prepričati dijake o kinetični energiji, ki ni vselej enaka »kinetični energiji težišča«, pa predlagam naslednji primer. Zamislimo si človeka, ki sunkovito iztegne roki v nasprotnih smereh, eno v levo in hkrati drugo v desno. Med premikanjem rok se kar nekaj mase človeka giblje, tako da imamo opravka z nezanemarljivo kinetično energijo. (Skupna gibalna količina obeh rok, ki je vektor, pa bi bila v tem primeru enaka nič.) Po drugi strani pa težišče človeka miruje, tako da je hkrati »kinetična energija težišča« enaka nič. S tem smo pokazali, da pri telesu, ki ne spada v kategorijo »togo telo«, nikakor ni nujno, da je vsa kinetična energija prav »kinetična energija težišča«; natančno to smo ugotovili tudi za vzmet. In šele upoštevanje tega dejstva o kinetični energiji nas je pripeljalo do pravega rezultata.



## MERITEV

Ugotovili smo, da se bo le tri četrtine začetne prožnostne energije spremenilo v potencialno energijo, četrtnina se bo prek vzdolžnega nihanja vzmeti spremenila v notranjo. Zapišimo:

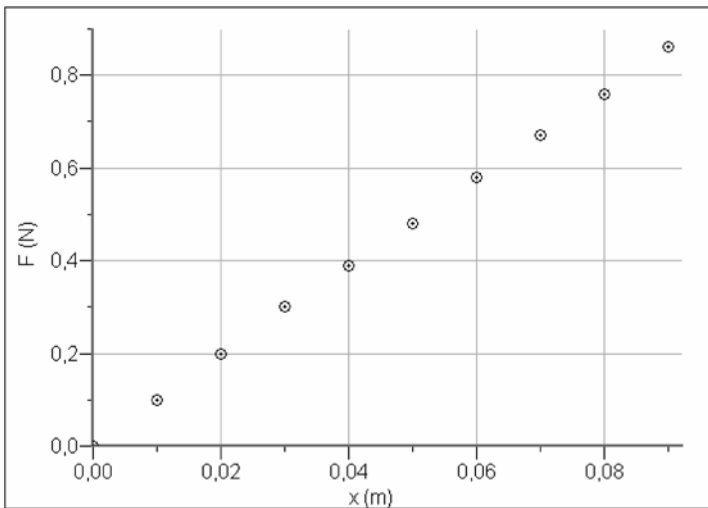
$$\frac{3}{4} \left( \frac{1}{2} kx^2 \right) = mgh$$

Z natančno tehtnico bomo izmerili maso vzmeti. Potem bomo vzmet na tehtnici stiskali po korakih in zapisali, koliko ob posameznem skrčku kaže tehtnica (slika 3).



Slika 3. Vzmet in del metra, ki je pritrjen na nosilec lepilnega traku, sta na tarirani tehtnici. Vzmet stiskamo z vodoravno palico in hkrati zapisujemo maso, ki jo kaže tehtnica, ter skrček vzmeti.

Izmerke vnesemo v program za izračunavanje ploščine pod navidezno krivuljo, ki prikazuje silo v odvisnosti od raztezka vzmeti. Tak rezultat je nekoliko natančnejši od tistega, ki bi ga dobili z merjenjem koeficienta prožnosti vzmeti in njenega skrčka ter od tod izračunane prožnostne energije ( $W_{pr} = kx^2$ ) (slika 4).



*Slika 4. Meritev kaže, da za to vzmet dokaj dobro velja Hookov zakon. Ploščina pod krivuljo, ki ustreza izmerkom, je opravljeno delo (med stiskanjem) oziroma prožnostna energija vzmeti.*

Vzmet nato stisnemo natančno toliko, kot je bila največ stisnjena na tehtnici. To storimo med dvema pritrjenima deščicama (slika 5). Vzmet stisnemo z dvema drugima deščicama, ki vzmet potlačita prav do pritrjenih deščic. Ko gornji deščici sunkovito potegnemo po spodnjih v levo oziroma desno, se vzmet, ki je bila stisnjena na debelino spodnjih de-

ščic, sprosti. Višino, ki jo doseže težišče vzmeti, določimo z ogledom posnetkov, saj poskus, ki ga večkrat ponovimo, snemamo s kamero.



*Slika 5. Spodnji pritrjeni deščici omogočata, da vzmet pri vseh poskusih enako stisnemo. Zgornji deščici pa omogočata, da vzmet sunkovito sprostimo, tako da odskoči. Višino premika težišča preberemo s pokončnega ravnila, ko proučujemo posnetek poskusov.*

Opravljen delo je bilo enako  $A = (0,0392 \pm 0,0004)$  J. Iz več posnetkov (upoštevamo najvišje odskoke vzmeti) ugotovimo, da je višinska razlika, ki jo doseže težišče, enaka  $35 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$ . Če upoštevamo privzeto predpostavko v teoretičnem delu tega članka, se 75 odstotkov začetne prožnostne energije spremeni v potencialno energijo. Masa vzmeti je 9,3 g. Od tod napovemo, da bi moral biti poskok težišča enak:

$$9,75W_{pr} = mgh$$

in zato:

$$h = 32 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$$

To je zelo blizu dejansko izmerjenega poskoka težišča vzmeti, ki smo ga določili z video posnetkom. Prav ta pa je tudi nedvoumno potrdil prvotno domnevo, da vzmet med poskokom znatno niha v vzdolžni smeri, v smeri gibanja vzmeti.

## SKLEP

Priznati moram, da je bila moja skrb, ko sem v neko kontrolno nalogo prepisal omenjeno nalogo, odveč. Nihče izmed mojih maturantov, ki so sicer kazali dobro razumevanje fizike in so to tudi potrdili na maturi, ni pri reševanju te naloge pomislil na preveliko idealizacijo, ki so jo zagrešili sestavljalci. Vseeno pa bi kazalo izločiti naloge, ki jih rešimo pravilno s sicer napačnim sklepanjem.

Za krožek pa bo najbrž zanimiva tudi meritev. Pri tem je nekaj težav. Če je vzmet dolga in z »redkimi navoji«, je to dobro izhodišče za natančno merjenje opravljenega dela ob stiskanju vzmeti. A po drugi strani utegne nekaj več težav povzročiti zadnji ovoj, ki pri vzmeteh z »redkimi ovoji« štrli na obeh straneh in ovira navpični odskok. Tej težavi sem se izognil tako, da sem krajišče vzmeti privezal na naslednji ovoj. Najbrž sem tudi s tem nekoliko oddaljil vzmet od teoretičnega modela.

Nazadnje pa je čas, da podvomimo o popolnosti izbranega teoretičnega modela. V resnici predpostavka, »da se po tem, ko vzmet spustimo, deli vzmeti gibljejo s hitrostmi, ki so premo sorazmerne z oddaljenostjo od stene«, ne drži povsem. Pričakovali bi, da bo vzmet poskočila malo manj, kot predvideva ta model, saj se izgubam ob stiskanju/razpenjanju vzmeti ne moremo izogniti. A vendar je vzmet poskočila nekoliko višje. Iz zagate nas lahko reši le dodatna meritev oziroma opazovanje. Uporabimo hitroslikovno kamero in posnetek, pri katerem je kamera posnela 1200 slik na sekundo, izda šibkost predpostavke. Hitrosti delov vzmeti ob odzivu niso sorazmerne z oddaljenostjo; v resnici se kaj dosti ne razlikujejo, vsi »že raztegnjeni« ovoji potujejo skoraj z enako hitrostjo. To pomeni, da nihanje same vzmeti ni tolikšno, kot je predvidela omenjena predpostavka. Prav zato se večji delež prožnostne energije spremeni v kinetično in je tako skok vzmeti

večji od napovedi, ki je temeljila na opisani predpostavki. Morda pa o tem teoretičnem modelu kdaj drugič.

### LITERATURA

- [1] M051-411-1-1.pdf (prva junijska matura 2005, dostopna na straneh RIC)
- [2] T. Golež, *Prizemljitev infinitezimalnega računa*, Zavod sv. Stanislava, Ljubljana 2012

# SILE V HRBTENICI PRI SKLONJENI LEGI TELESA

Karel Šmigoc

**Povzetek** - Obravnavamo silo na medvretenčno ploščico med petim ledvenim in prvim križnim vretencom v sklonjeni legi telesa pri dviganju ali nošenju bremena na hrbtu. Silo na medvretenčno ploščico določimo na osnovi podrobnih anatomskih podatkov o zgradbi hrbtenice in zakonov o ravnovesju togega telesa.

**Abstract** - We examine the force on the lumbosacral disc that separates the last lumbar vertebra from the sacrum when the body is in a simple bent position. This position occurs when a person is lifting objects or bearing objects on the back. The magnitude and the direction of the force is computed by detailed anatomical measurements combined with the equations of static equilibrium.

## UVOD

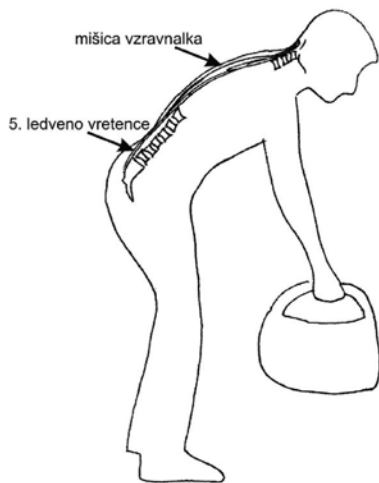
Bolečine v hrbtu se pri ljudeh pogosto pojavljajo, o njih je že obširno poročal Hipokrat pred več kot dva tisoč leti. Navadno nastanejo zaradi prevelike obremenitve hrbtenice pri raznih opravilih, kot je dviganje ali nošenje težkih predmetov, zaradi dolgo trajajoče prisilne lege telesa pri opravljanju določenega poklica, včasih pa so lahko vzrok tudi bolezenska stanja v raznih delih telesa. S podobnimi obremenitvami je povezano tudi učenčevo vsakdanje življenje, na primer nelagodno sedenje v šolski klopi in tudi nošenje pretežke šolske torbe. Medicinske ugotovitve o vzrokih bolečin v ledvenem delu hrbtenice najlažje potrdimo in fizikalno opišemo v položaju sklonjene lege telesa. Če primerjamo hrbtenico s togo palico, na kateri so prijemališča mišičnih sil na eni in sile zaradi obremenitve na drugi strani, ugotovimo, da je primeren model za obremenjeno hrbtenico pri sklonjeni legi telesa vzvod, ki ga obravnavamo z zakoni o ravnovesju ravninskih sil in navorov. Primer je zanimiv tako zaradi utrjevanja fizikalnega znanja kot tudi zaradi samih rezultatov, ki lahko prispevajo k učinkovitejšemu prizadevanju za zdravo hrbtenico.

## OPIS ZGRADBE HRBTENICE IN SIL MED NJENO OBREMITVIJO

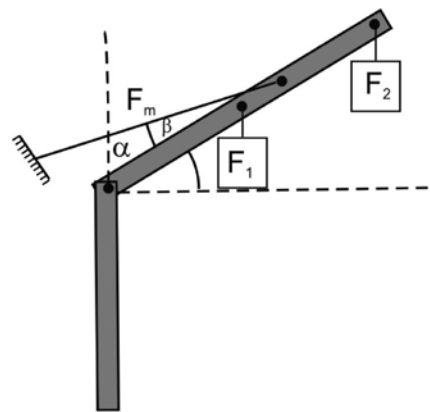
Pri raziskovanju raznih pojavov si pomagamo z modeli, ki ob določenih poenostavitvah ponazarjajo njihov potek. Na primer, ustrezen model za prikazovanje sil v komolcu in kolku je vzvod. Zaradi prepletenega medsebojnega delovanja hrbtenice in nanjo pripetih mišic je pri hrbtenici model vzvoda manj viden kot pri komolcu. Tudi oblika hrbtenice v obliki črke S ni najbolj primerna za določanje ročic sil na vzvodu. Šele novejša natančnejše rentgenske meritve so pokazale [3], da je mogoče določiti sile v hrbtenici, ko je

telo v sklonjeni legi, tudi po principu vzvoda, če obravnavamo hrbtenico kot togo palico in se omejimo samo na tisto skupino mišic, za katere vemo, da vzdržujejo ravnovesje v sklonjeni legi telesa.

V tej skupini mišic je najpomembnejša mišica vzravnalka – *musculus erector spinae*  $F_m$ , katere prijemališče je na  $2/3$  dolžine hrbtenice  $l$  oziroma na vzvodu, ki ponazarja hrbtenico. Z vzvodom oklepa kot  $\beta = 12^\circ$ . Na drugi strani vzvoda sta z mišično silo v ravnovesju sili  $F_1$  in  $F_2$ . Prva ima prijemališče na polovični dolžini vzvoda in predstavlja težo trupa, ki je  $2/5$  teže telesa  $F_g$ , druga sila  $F_2$  ima prijemališče na zgornjem koncu vzvoda in pomeni težo glave in rok, ki je  $1/5 F_g$ . Vzvod oklepa s pokončno lego telesa kot  $\alpha$  in ima začetek pri petem ledvenem vretencu (slika 1 in 1a).



Slika 1: Obremenitev mišice vzravnalke (*musculus erector spinae*) pri sklonjeni legi trupa

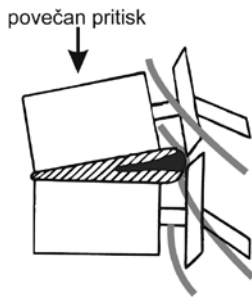


Slika 1a: Model hrbtenice v obliki vzvoda

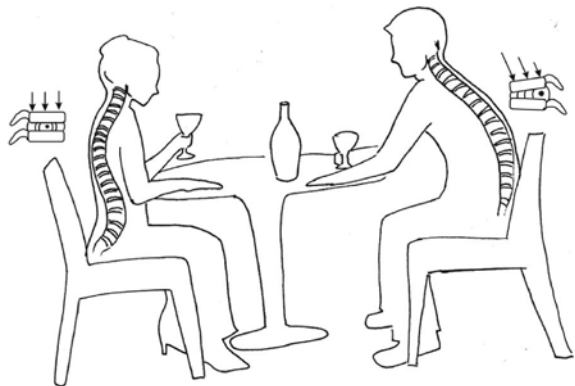
S poznavanjem omenjenih podatkov in pri upoštevanju zgradbe hrbtenice lahko statično opišemo model hrbtenice v obliki vzvoda. Da lahko pojasnimo vzrok nastanka bolečin, je potrebno poiskati še povezavo med silami in tistim delom hrbtenice, ki je nanje najbolj občutljiv. To dosežemo s podrobnejšim opisom hrbtenice, posebno tistega predela, ki je najbolj izpostavljen silam med obremenitvijo.

Hrbtenica je sestavljena iz 24 vretenc, ki jih glede na lego trupa razdelimo na vratna, prsna in ledvena. Gibljivost in prožnost hrbtenice omogočajo medvretenčne ploščice, ki med seboj ločijo posamezna vretenca. Medvretenčne ploščice so sestavljene iz vezivno-hrustančnega ovoja in zdrizastega jedra, ki spreminja svoj položaj med gibanjem hrbtenice (slika 2). Če je pritisk na ploščico prevelik, vezivni ovoj počni, zdrizasto jedro izstopi iz medvretenčne ploščice in začne pritiskati na sosednje živce, ki izstopajo iz hrbtenjače. Ta opis je sicer poenostavljen, vendar zadovoljivo prikazuje nastanek bolečin. V našem primeru je pri predklonu najbolj obremenjena medvretenč-

na ploščica med petim ledvenim in prvim križnim vretencem. Na tem mestu se najpogosteje pojavi zdrs medvretenčne ploščice, ki največkrat povzroči ohromitev kolka in nog. Zdrs medvretenčne ploščice nastane tudi zaradi ukrivljene hrbtenice (slika 2a). Tudi v tem primeru je medvretenčna ploščica nesimetrično obremenjena, in če traja taka obremenitev dalj časa, so poškodbe podobne tistim, ki nastanejo zaradi prevelikih sil.



Slika 2: Nepravilno obremenjena medvretenčna ploščica



Slika 2a: Položaj hrbtenice in medv. ploščice pri pravilnem sedenju (levo) in nepravilnem sedenju (desno)

## POVEZAVA ANATOMSKIH PODATKOV HRBTENICE Z NJENIM MODELOM V OBLIKI VZVODA

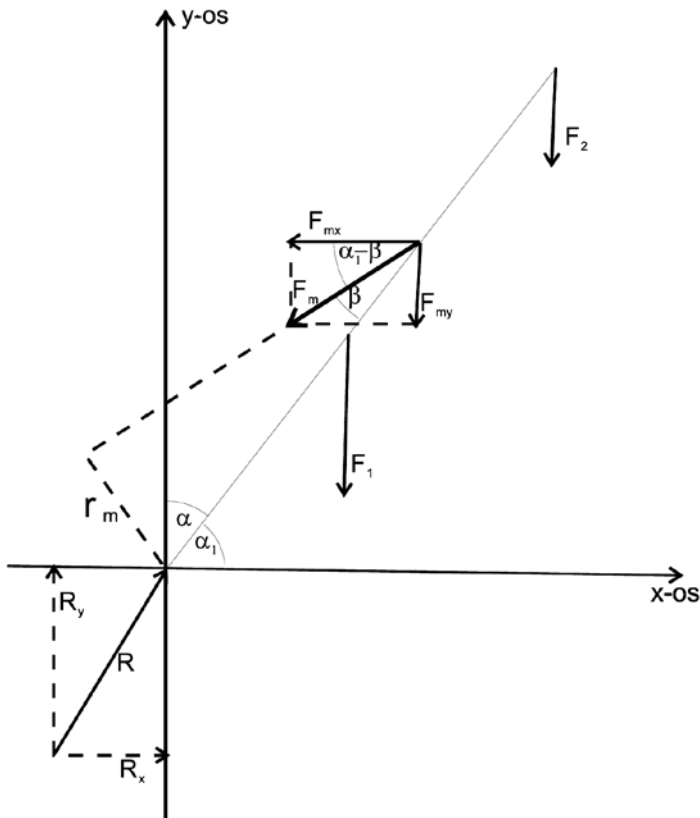
Sile in navori v hrbtenici, ko je telo v sklonjeni legi, obravnavamo v ravninskem koordinatnem sistemu, katerega izhodišče postavimo med petim ledvenim in prvim križnim vretencem (slika 1 in 3). Vzvod oklepa s pozitivno koordinatno osjo  $y$  kot  $\alpha$ . Z rezultanto sil  $F_m$ ,  $F_1$  in  $F_2$  je v ravnovesju sila prvega križnega vretenca  $R$ . Ravnovesje vzvoda zapišemo z dvema enačbama o ravnovesju sil:

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0, \quad \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0, \quad (1)$$

kjer pomenita  $F_{ix}$  in  $F_{iy}$  komponenti  $i$ -te sile v smeri osi  $x$  in  $y$ , in z eno enačbo o ravnovesju navorov

$$\sum_{i=1}^n F_i r_i = 0. \quad (1a)$$





Slika 3: Shematični prikaz delovanja sil v obremenjeni hrbtenici  
 $F_m$ : mišična sila  
 $F_1$ : teža trupa  
 $F_2$ : teža glave in rok  
 kot  $\beta = 12^\circ$   
 $R$ : sila na medvretenčno ploščico

Če razstavimo mišično silo  $F_m$  na komponenti  $F_{mx}$  in  $F_{my}$ , silo  $R$  na medvretenčno ploščico pa na komponenti  $R_x$  in  $R_y$ , zapišemo pogoj (1) o ravnovesju sil z enačbama:

$$R_x - F_{mx} = 0, \quad R_y - F_{my} - (F_1 + F_2) = 0, \quad (2)$$

iz katerih lahko izračunamo komponenti sile  $R$ . Iz pogoja o ravnovesju navorov (1a) izračunamo najprej mišično silo in nato z upoštevanjem označenih kotov še njuni komponenti (slika 3). Navor mišične sile je  $F_m l_m \sin \beta$ , kjer je  $l_m$  razdalja med prijemališčem sile in koordinatnim izhodiščem, navora sil  $F_1$  in  $F_2$  pa sta  $F_1 l_1 \sin \alpha$  oziroma  $F_2 l_2 \sin \alpha$ , kjer smo z  $l_1$  in  $l_2$  prav tako označili razdalji njunih prijemališč od koordinatnega izhodišča. Ker sta oba navora nasprotno usmerjena, velja enačba  $l_m F_m \sin \beta = (l_1 F_1 + l_2 F_2) \sin \alpha$ , iz katere izračunamo mišično silo  $F_m$ :

$$F_m = \frac{(l_1 F_1 + l_2 F_2) \cdot \sin \alpha}{l_m \cdot \sin \beta}. \quad (3)$$

Z upoštevanjem že zapisanih zvez med dolžinami  $l_m$ ,  $l_1$ ,  $l_2$  in celotno dolžino vzvoda  $l$  ter odvisnosti sil  $F_1$  in  $F_2$  od teže telesa  $F_g$  zapišemo mišično silo:

$$F_m = \frac{3}{5} F_g \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}. \quad (3a)$$

Komponenti mišične sile izrazimo še v odvisnosti od kotov, ki so označeni na sliki 3. Ker je kot  $\alpha_1$  komplementaren kotu  $\alpha$  in velja zveza  $\alpha_1 - \beta = 90^\circ - (\alpha + \beta)$ , dobimo komponenti mišične sile končno obliko:  $F_{mx} = F_m \sin(\alpha + \beta)$ ,  $F_{my} = F_m \cos(\alpha + \beta)$ . Iz enačb (2) izračunamo iskani komponenti sile  $R$ :

$$R_x = F_m \sin(\alpha + \beta), \quad R_y = F_m \cos(\alpha + \beta) + (F_1 + F_2), \quad (4)$$

ki ju z upoštevanjem enačbe (3a) za mišično silo in oznako  $k$  za količnik  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$  zapišemo v obliki:  $R_x = \frac{3}{5} F_g k \sin(\alpha + \beta)$ ,  $R_y = \frac{3}{5} F_g (1 + k \cos(\alpha + \beta))$ . Po Pitagorovem izreku  $R^2 = R_x^2 + R_y^2$  dobimo končen izraz za silo  $R$  na medvretenčno ploščico:

$$R = \frac{3}{5} F_g \sqrt{1 + 2k \cos(\alpha + \beta) + k^2}. \quad (4a)$$

V pokončni legi telesa, ko je kot  $\alpha$  enak nič, je sila  $R$  na medvretenčno ploščico  $3/5 F_g$ , kar predstavlja težo trupa, glave in rok in potrjuje pravilnost izraza (4a) za silo  $R$ . Če vzamemo za primer človeka z maso 80 kg, ki je sklonjen za  $60^\circ$  od pokončne lege, je v tem primeru konstanta  $k = 4,3$  in dobimo iz obrazca (4a) silo na medvretenčno ploščico  $R = 2260$  N.

## NOŠENJE BREMENA NA HRBTU IN DRŽANJE BREMENA V ROKAH V POLOŽAJU PREDKLONA

Pri hoji z bremenom na hrbtu je telo zaradi stabilnosti tudi v sklonjeni legi, zato se sila na medvretenčno ploščico dodatno poveča. Ta primer se pojavlja v vsakdanjem življenju pri nošenju težkih nahrbtnikov, šolskih torb in podobno. Največja obremenitev hrbtenice v sklonjeni legi telesa pa je pri dviganju ali držanju bremena v rokah. Obremenitev hrbtenice pri nošenju in dviganju obravnavamo tako kot pri neobremenjeni hrbtenici: razdalji  $l_1$  in  $l_2$  ostaneta v obeh primerih enaki, pri nošenju prištejemo v izrazu (3) težo bremena  $k$  sili  $F_1$ , pri dviganju pa  $k$  sili  $F_2$ . Razmerje med težo bremena  $F_B$  in težo telesa  $F_g$  opišemo s konstanto  $u$ ,  $F_B = u F_g$ , in privzamemo, da je to razmerje 1 : 5, kar se najpogosteje ujema pri nošenju bremena na hrbtu. V primeru nošenja dobimo iz izraza (3) mišično silo:

$$F_m = 3/20 (4 + 5u) k F_g, \text{ oziroma } 3/4 F_g k \text{ pri upoštevanju } u = 1/5.$$

Po obrazcu (4) izračunamo komponenti sile  $R$ :  $R_x = 3/4 F_g k \sin(\alpha + \beta)$  in  $R_y = F_g (3/4 k \cos(\alpha + \beta) + 4/5)$  ter po Pitagorovem izreku še silo  $R$ :

$R = F_g \sqrt{\left(\frac{3}{4}k\right)^2 + \frac{6}{5}k \cos(\alpha + \beta) + \frac{16}{25}}$  .. Pri pokončni legi telesa, ko je kot  $\alpha$  enak nič, je sila  $R \frac{4}{5}F_g$ , kar je dejanska obremenitev hrbtenice pri pokončni legi telesa z bremenom na hrbtu.

Enako postopamo pri držanju bremena v rokah v sklonjeni legi. V obrazcu (3) prištejemo k sili  $F_2$  še težo bremena  $F_B = uF_g$ , upoštevamo za konstanto  $u = 1/5$  in dobimo mišično silo  $F_m = 9/10 F_g k$ . Z novo vrednostjo za mišično silo dobimo zopet po obrazcu (4) komponenti sile  $R$ :  $R_x = \frac{9}{10} k F_g \sin(\alpha + \beta)$ ,  $R_y = F_g \left( \frac{9}{10} k \cos(\alpha + \beta) + \frac{4}{5} \right)$  in dalje kot v prejšnjem primeru tudi silo  $R$ .

## REZULTATI IN ZAKLJUČEK

V tabeli 1 je pregled številčnih vrednosti za mišične sile in sile na medvretenčno ploščico pri obremenitvi hrbtenice v sklonjeni legi telesa.

*Tabela 1: Pregled mišičnih sil in sil na medvretenčno ploščico pri sklonjeni legi trupa za 30° od pokončne lege telesa pri masi človeka 60 kg in masi bremena 12 kg.  $F_m$  pomeni ustrezno mišično silo,  $R$  pa silo na medvretenčno ploščico. Pri računanju mišične sile so upoštevana razmerja ročic:  $l_1 = l/2$ ,  $l_2 = l$ ,  $l_m = 2/3l$  in vrednosti za sili  $F_1$  in  $F_2$ :  $F_1 = 2/5 F_g$ ,  $F_2 = 1/5 F_g$ .*

Način obremenitve	$F_m$	$R$
Dodatno neobremenjena hrbtenica	900 N	1188 N
Breme na hrbtu	1125 N	1500 N
Dvig izpred predklona	1350 N	1728 N

Iz tabele je razvidno, da so sile na medvretenčno ploščico pri vseh treh načinih obremenitve hrbtenice izredno velike. Najpogostejša obremenitev hrbtenice zaradi sklonjene lege telesa, ki jo pogosto spregledamo, je nepravilno dolgo trajno sedenje na delovnem mestu, na primer sedenje v šolski klopi, pri vožnji z avtomobilom in podobno. Takojšnje bolečine v križu zaradi sklonjene lege občutimo, če smo dalj časa sklonjeni, ko opravljamo razna dela na vrtu ali na polju, ko je trup skoraj v vodoravni legi. Ko se zravnamo, bolečine prenehajo. Kako nevarno je dviganje težkih predmetov iz predklona, nam lahko povedo delavci v železarnah in gradbeništvu. Pri takih opravilih so poškodbe manjše, če znamo pravilno dvigati, to je, če dvignemo breme tako, da je ročica teže bremena glede na medvretenčno ploščico čim manjša. S tako tehniko dviganja so seznanjeni dvigalci uteži. Kot zanimivost povejmo primer velike obremenitve hrbtenice v vsakdanjem življenju: če dvigne mati otroka iz predklona, ko je trup skoraj v vodoravni legi, je sila na medvretenčno ploščico 2725 N.

Nadaljnje razpravljanje o posledicah velikih obremenitev hrbtenice je področje medicine oziroma ortopedije. Namen prispevka je predvsem pokazati, kako lahko uporabimo manj znane primere pri obravnavanju sil in navorov pri fizikalnem pouku in hkrati tudi prispevamo k večji osveščenosti pri skrbi za zdravo hrbtenico.

## LITERATURA

- [1] France Sevšek, *Biomehanika*, Visoka šola za zdravstvo, Ljubljana 2004
- [2] Janko Popovič, *Bolečina v križu in išias*, Mladinska knjiga, Ljubljana 1989
- [3] George B. Benedek, Felix M. H. Villars, *Physics With Illustrative Examples From Medicine and Biology MECHANICS*, Springer – Verlag, New York 2000
- [4] Rene Chaillet, MD, *Low back pain Syndrome*, F. A. Devis Company, Philadelphia 1995
- [5] T. McClurg Anderson, *Biomechanics of Human motion*, Sport publication, New Delhi-2 2007

# ŠE EN TEST ZA DRUGOŠOLCE

Tine Golež

Škofijska klasična gimnazija, Ljubljana

## OZADJE

Pred tedni me je za rokav pocukal dijak, ki ga čez eno leto čaka le poklicna matura. Potožil je, da na njegovi šoli pišejo nerazumno zahtevne naloge pri fiziki. Po uspehu sodeč so res, saj sta le dva v razredu pisala pozitivno. Ker pa dijaki radi pretiravajo, sem želel še sam videti omenjeni test.

Fant je imel prav. Prva naloga je šla nekako takole: V pokončni posodi imamo vodo, ki sega do polovice. Posoda je visoka 30 cm. Temperatura vode je 20 °C. Vodo segrevamo s paro, ki ima temperaturo 100 °C. Kako visoko sega voda v posodi, ko je temperatura vode 100 °C? Specifična toplota vode je 4200 J/(kgK), izparilna toplota pa 2,26 MJ/kg.

Najprej je moral dijak sam zaslutiti, da vodo segrevamo tako, da paro usmerimo v vodo in da se pri tem vsa para spremeni v vodo ter ostane v posodi. Lahko bi namreč s paro ogrevali tudi zunanost posode. Vsekakor pa je naloga zahtevna, saj se šele ob izpeljavi pokaže, da je rezultat neodvisen od mase vode oziroma osnovne ploskve posode. Če je dana nematurantom in to še kot prva naloga, pa je »odlično sredstvo za jemanje poguma dijakom«. Poleg tega je (na izvedbeni ravni) škoda, da omenjena šola (ali le učitelj) tako zelo varčuje, da test fotokopira na A4 list, dijaki pa računajo in pišejo na dodatno polo papirja (A3); to oteži tako pisanje kot tudi popravljanje.

Do konca tretjega letnika, ko je fizika obvezna za vse (na gimnazijah), nikakor ne kaže pretiravati z zahtevnostjo. Če se odločimo za kaj težjega, naj bo to šele predzadnje ali zadnje vprašanje dane naloge. Prva vprašanja morajo biti taka, da jih zlahka rešijo dijaki, ki so vsaj malo »povohali« snov. Kot primer naloge predstavljam test, ki so ga pisali dijaki drugega letnika. Naloge so pregledno razporejene na list velikosti A3, tako da ima dijak vse pred sabo (pa tudi učitelj, ko popravlja test ...).

Razred in datum	Ime in priimek	Točke/Ocena
2.č 25. 5. 2012 Kriterij: do 15 (1), 16–18 (2), 19–23 (3), 24–27 (4), 28–32 (5)		

1. Na dnu bazena, ki je globok 3,0 m in poln vode, je železna krogla. Prostornina krogle je 3,0 kubičnega decimetra, gostota železa 7,6 kg/dm<sup>3</sup>, temperatura krogle, vode in zraka 13 °C in zračni tlak 99 000 Pa.

- a) Nariši skico in sile, ki delujejo na kroglo. Pazi na relativne velikosti sil, prav tako na prijemališča sil. (2 točki)
- b) Izračunaj silo vzgona. (2 točki)
- c) Kolikšen je tlak na dnu bazena (ne pod kroglo)? (2 točki)
- d) Kolikšna je sila tal, ki deluje na kroglo? (2 točki)
2. Avto vozi s konstantno hitrostjo. Opazujemo ga toliko časa, da prevozi 800 metrov. Pri tem se je vzpel za 59 metrov, saj se cesta vzpenja.
- a) Kolikšna je masa avta, če se mu je pri vzponu potencialna energija povečala za 752 kJ? (2 točki)
- b) Pri tem je porabil 113 gramov bencina. Specifična sežigna toplota bencina je 43 MJ/kg. Koliko toplote se je sprostil? (2 točki)
- c) Med omenjeno vožnjo je zaradi odzivanja zraka in vsega trenja opravil tudi delo 400 kJ. Kolikšno je celotno opravljeno delo, ki ga je opravil motor? (2 točki)
- d) Kolikšen je bil izkoristek motorja med to vožnjo? (2 točki)
3. V jeklenki je 88 g dušika. Kilomolska masa dušika ( $N_2$ ) je 28 kg.
- a) Koliko molekul dušika je v jeklenki?  $R = 8300 \text{ JK}^{-1}$ ,  $N_A = 6,0 \cdot 10^{26}$ . (2 točki)
- b) Prostornina jeklenke je 44 litrov, produkt tlaka in prostornine pa  $7643 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3$ . Kolikšen je tlak v jeklenki? (2 točki)
- c) V jeklenko dodatno vpihnemo še stotinko kilomola helija ( $M_{\text{He}} = 4,0 \text{ kg}$ ). Prav nič dušika ni ušlo iz jeklenke. Kolikšna je masa zmesi plinov v jeklenki? (2 točki)
- d) Zaradi vpiha se je temperatura nekoliko povečala, zato počakamo, da se spet ohladi na začetno temperaturo. Kolikšen je tlak zmesi plinov v jeklenki? (2 točki)
4. Na grelcu piše:  $P = 1500 \text{ W}$ .
- a) Koliko električnega dela prejme grelec v 8,0 minute? (2 točki)
- b) Ta grelec potopimo v vodo. Vklapljen je 8,0 minute. Voda se je segrela za  $33 \text{ }^\circ\text{C}$ . Kolikšna je masa vode? (2 točki)
5. V Ljubljani so objavili, da je zračni tlak 1011 mbar.
- a) Koliko je to v pascalih? (2 točki)
- b) Kolikšen je bil dejanski tlak tedaj v Ljubljani? Nadmorska višina Ljubljane je 300 m, gostota zraka pa  $1,2 \text{ kg/m}^3$ . (2 točki)

## REZULTATI IN KOMENTARJI

Odstotek povsem pravih odgovorov, za katere so dobili dve točki.

1. naloga	a	b	c	d
odstotki	77	65	69	62

V resnici sem pričakoval, da bo uspeh pri risanju sil boljši. Ob tem naj še povem, da nisem bil strog glede velikosti sil. Če je dijak narisal silo vzgona večjo od sile tal, hkrati pa je bila vsota teh dveh sil približno enako velika kot sila teže, je vseeno dobil dve točki. Pri tem vprašanju še ne računamo velikosti sil, vemo pa, da mora biti vsota enaka nič. Če človek pomisli, da je snov ostalih treh vprašanj pravzaprav ponovitev osnovnošolske fizike, je uspeh, ki ga kažejo odstotki, v resnici slab.

2. naloga	a	b	c	d
odstotki	100	92	38	19

Vprašanje a) je bilo za spodbudo, saj je res lahko. Tudi na vprašanje b) ni težko odgovoriti, saj gre za osnovno enačbo. Zanimiva je (ne)uspešnost pri četrtem vprašanju, za katerega ne potrebujemo enačbe, pač pa malo zdrave pameti. Toplotnih strojev sicer še nismo obravnavali, smo pa na več primerih pri pouku razložili, kaj nam pomeni enačba za izkoristek: koristno delimo s celotnim, pa naj gre za moč, energijo, toploto ... Nekaj podobnega je bilo v kontrolni nalogi, ki so jo dobili za priprave in je objavljena na spletni strani revije [1]. Vsekakor je 19 odstotkov premalo. Če so z napačnim rezultatom vprašanja c) računali prav pri vprašanju d), so navkljub napačnim številskim vrednostim dobili dve točki. Več pa je bilo takih, ki so pri c) sicer imeli pravo vrednost, a so potem pri d) računali narobe, saj niso delili s celotno toploto, ki se je sprostila.

3. naloga	a	b	c	d
odstotki	88	88	62	12

Vse kaže, da so vaje s plinsko enačbo dokaj dobro razumeli in so snov tudi znali. Da pa to razumevanje ni bilo posebno globoko, kaže predvsem vprašanje d), saj je zahtevalo malo več kot zgolj vstavljanje vrednosti v enačbo. A taka vprašanja so potrebna, seveda pa spadajo na zadnje mesto pri posamezni nalogi.

4. naloga	a	b
odstotki	92	65

Spet je to že skoraj preveč osnovnošolska raven. Poskusni test, ki so ga reševali doma [1], je bil glede kalorimetrije bolj zahteven. Najbolj tipična napaka vprašanja b) je bila »vestno« spreminjanje stopinj celzija v kelvine, kar je pri razlikah temperatur seveda narobe.

5. naloga	a	b
odstotki	88	42

Med poukom smo zelo slikovito obravnavali reducirani zračni tlak. Najprej namreč v razredu izmerimo tlak, potem rezultat primerjamo s tistim, ki je objavljen na spletu. Seveda se vprašamo, kje je napaka, saj je razlika – vsaj pri nas v Ljubljani – očitna. Imamo zares tako slabe naprave na šoli? Potem ob narisani skici pojasnim reducirani tlak in ga izračunamo. Tako dobljeni rezultat je skoraj enak tistemu, ki ga najdemo na spletu. Pri kontrolni nalogi pa je kar nekaj dijakov reduciranemu tlaku prištelo popravek zaradi nadmorske višine in dobilo namesto dejanskega tlaka kar dvakrat reducirani tlak. Če je bilo samo to narobe, so prejeli eno točko namesto dveh.

Še ena opomba je tu potrebna. Uradno bi morali pisati kilomolsko maso »na kilomol« in prav tako bi spadala k splošni plinski konstanti enaka oznaka, »na kilomol«. Lahko pa razumemo, da imamo vselej v mislih kilomol in tega zato ne pišemo. Sam sem se odločil za ta pristop. Seveda moram maturantom predstaviti še zapis »na kilomol«, saj je v taki obliki uporabljen tudi v enačbah v maturitetni poli. No, nekaj prožnosti v razmisleku dijakom ne škodi in navadno nimajo težav s to dvojnostjo zapisov.

In ocene dijakov? Skoraj prepričan sem, da bi jim lahko pripisal še dve dodatni petici. Testa namreč zaradi odsotnosti nista pisala dva dijaka, ki sta sicer tudi uspešno tekmovala iz fizike.

32 . .  
31  
30 . 5  
29 .  
28  
-----  
27 .  
26 . . 4  
25 .  
24 . . .  
-----  
23 .  
22 . . .  
21 . 3  
20 .  
19  
-----  
19 . .  
17 . . . . 2  
16 . .  
-----  
15  
14 . 1  
13  
12



## ŠIRŠA SLIKA IN SKLEP

Ker imamo na voljo le 210 ur fizike do konca tretjega letnika, nima nobenega smisla, da bi preveč podrobno in z vsemi mogočimi (in nemogočimi) nalogami obdelali vso snov. Če bi bil naš pristop tak, bi končali s fiziko v tretjem letniku nekje na sredi poglavja o elektriki. Prav pa je, da dijaki spoznajo tudi nekaj tem iz moderne fizike. Tako torej prvo leto fizike (v drugem letniku) obravnavamo mehaniko in toploto, drugo leto pa vse ostalo. V prvem letniku namreč pri nas ni fizike.

Letos učim le en drugi letnik, tako da tega razreda ne morem primerjati s paralelko, kot sem storil pri predstavitvi prvega testa za drugošolce izpred nekaj let [2]. Imam občutek, da ta razred ni nadpovprečen pri fiziki. Predstavljeni test, ki je pravzaprav še lažji od poskusnega [1], so še kar dobro pisali, a smo morali prejšnjega (sila, gravitacija, dinamika) ponavljati zaradi preveč nezadostnih. [No, poleg prevelikega števila nezadostnih so bile tudi petice, tako da ni šlo za prezahteven test.] Morda jih je slab uspeh pri prejšnjem testu malo spodbudil za učenje. Kot pripravo za teste uporabljajo zbirko nalog (114 jih je vseh skupaj), kjer so zbrane naloge, ki so jih pisali med letoma 2000 in 2005 [3].

Upam, da je druga predstavitev srednješolskega testa dokončno prepričala še kakega kolega, da predstavi svoje pisne ocenjevalne pripomočke. Vabljeni!

## LITERATURA

- [1] [www.fizikavsoli.si/test\\_2012\\_2.pdf](http://www.fizikavsoli.si/test_2012_2.pdf)
- [2] T. Golež, *Nova rubrika: pisno preverjanje znanja*, Fizika v šoli, **17** (2011) 106–114
- [3] T. Golež, *Naloge in priloge*, samozal. 2007, Ljubljana

# VERIŽNI EKSPERIMENT KOT INTERESNA DEJAVNOST V OŠ

Gregor Udovč

Osnovna šola Rovte

**Povzetek** - Projekt Verižni eksperiment se je pričel leta 2005 ob svetovnem letu fizike. V prispevku je v prvem delu prikazan kronološki razvoj Verižnega eksperimenta v osnovni šoli Rovte, v drugem delu pa potek interesne dejavnosti, ki lahko služi učiteljem fizike kot vzorec pri uvajanju Verižnega eksperimenta na njihovi šoli.

**Abstract** - The project Chain Reaction Experiment (Verižni eksperiment) was started in 2005, in the World year of physics. The first part of the article is about the chronological development of this experiment at lower secondary school Rovte. The second part of the article focuses on how such an extracurriculum activity is organized at Rovte. This could serve as an example for teachers of physics in introducing and organizing such projects in their schools.

## 1 UVOD

Vse skupaj se je zame pričelo v študijskem letu 2004/05 na Pedagoški fakulteti v Ljubljani (v nadaljevanju PeF). Takrat so nas študente smeri vezave s fiziko povabili k sodelovanju v Demo verigo verižnega eksperimenta. Projekt je bil na začetku in študentje nismo imeli predstave o končnem izdelku posameznega člana, še manj o izgledu celotne verige. S pomočjo profesorjev na PeF smo naš del verižnega eksperimenta spravili k življenju. Ko je bila Demo veriga narejena, smo jo prikazovali po Sloveniji in tako popularizirali fiziko. Vrhunec je projekt dosegel na vseslovenskem zagonu spomladi leta 2005 v Cankarjevem domu v Ljubljani. Projekt se je obdržal do danes, vendar v okrnjeni obliki. Da se je projekt obdržal, se je treba zahvaliti Tehničnemu muzeju Slovenije (v nadaljevanju TMS), prizadevnim posameznikom iz PeF v Ljubljani, DMFA in tudi nam mentorjem na osnovnih šolah, brez katerih verige ne bi bilo.

## 2. RAZVOJ PROJEKTA VERIŽNI EKSPERIMENT NA OŠ ROVTE

### 2.1 Šolsko leto 2007/08

Ob svoji prvi zaposlitvi jeseni leta 2007 na osnovni šoli Rovte sem pričel s projektom Verižni eksperiment, tokrat prvič v vlogi mentorja. V okviru predmeta fizika v osmem in devetem razredu sem prvo leto skušal navdušiti čim več učencev. Naloga je bila zahtevna. Na šoli sem bil nov, nisem poznal otrok ne njihovih sposobnosti, učenci pa niso poznali projekta Verižni eksperiment. Z nekaj motivacijskimi ukrepi, kot so odlična ocena

za učenca ob koncu izdelave člana, ogled filma o Verižnem eksperimentu iz leta 2005 in ogled Tehničnega muzeja v Bistri, mi je uspelo pritegniti nekaj učencev in sestavi sem prve tri ekipe. Ideje za izdelavo svojega člana so učenci pridobili preko filma o Verižnem eksperimentu iz leta 2005 in preko ogledov različnih fizikalnih eksperimentov na svetovnem spletu. Na spletu je možno najti vrsto verižnih eksperimentov, nekatere posamezne dele smo lahko vključili tudi v naše člene. V prvem letu smo se najprej srečevali enkrat tedensko, da so učenci izdelali idejni načrt, nato pa še podrobnejši načrt. Zatem so svoj člen izdelali doma in ga enkrat mesečno oziroma po potrebi prinesli v šolo, da sem jim pomagal z nasveti pri izdelavi. Prvič smo vse tri člene združili v petek pred odhodom na sobotni vseslovenski zagon, ki je takrat potekal v Tehničnem muzeju Bistra. V petek dopoldan smo imeli na šoli testiranje. V učilnici smo sestavili lastno verigo iz treh členov in izmenično vabili vse oddelke šole na ogled. Tako so se lahko tudi ostali učenci seznanili in navdušili nad končnim izdelkom verižnega eksperimenta, izdelovalci pa so imeli priložnost za še zadnje popravke.

## 2.2 Šolsko leto 2008/09

Na podlagi izkušenj v prvem letu in navdušenja izdelovalcev, pa tudi ostalih učencev šole, ki so si ogledali testiranje, je ravnatelj pokazal interes in je verižnemu eksperimentu prihodnje leto namenil eno uro tedensko kot sistematizirano interesno dejavnost. Tako je v drugem letu mojega poučevanja verižni eksperiment postal del učnega predmeta fizika. Že v prvem tednu septembra sem povabil učence osmega in devetega razreda k sodelovanju. V tem letu smo imeli ekipe sestavljene iz treh ali štirih učencev, podobno kot prvo leto. Sodelovali so skoraj vsi učenci iz zadnjih dveh razredov, med njimi tudi eno dekle. Moj namen je bil, da bi pri verižnem eksperimentu sodelovalo čim več učencev; kvaliteta je bila sprva drugotnega pomena, pomembna pa je bila zanesljivost člana (to pomeni, da mora vedno delovati). Iskanje idej je potekalo podobno kot prvo leto. Tako meni kot mentorju kot tudi sodelujočim učencem so bile v pomoč izkušnje in ideje iz preteklega leta. Ko smo načrtovali in iskali ideje, smo se srečevali enkrat tedensko, običajno je to trajalo tri mesece. Ko pa smo pričeli z izdelovanjem, smo imeli interesno dejavnost na vsake 14 dni po dve šolski uri. Le tako so imeli učenci dovolj časa za pripravo, izdelavo in popravljanje. V obdobju izdelave so se pojavile težave, saj učenci načrtov niso dovolj podrobno narisali. Tako so morali izdelavo vseskozi prilagajati, veliko je bilo tudi razdiranja in popravljanja. Finalno testiranje dan pred vseslovenskim zagonom smo tudi v drugem letu ponovili. Odziv učencev in tudi zaposlenih na šoli je bil zelo pozitiven. Tudi izdelovalci so bili navdušeni, prav tako so bili zadovoljni z zagonom v okviru Tehničnega muzeja. Vse te pozitivne izkušnje so se prenesle med učence na šoli.

## 2.3 Šolsko leto 2009/10

V tretjem letu je bil Verižni eksperiment na naši šoli že dobro utečen in poznan projekt. Pretirana motivacija učencev z opisovanjem projekta ni bila več potrebna. Še vedno

je veljalo, da učenci, ki uspešno izdelajo člen, dobijo odlično oceno v redovalnici. Tako je bila udeležba tudi to leto visoka in je celo preseгла število udeležencev v primerjavi s preteklima dvema letoma. V tem letu sem veliko večjo pozornost namenil natančnem načrtovanju, uvedel sem uporabo reciklažnega materiala pri izdelavi in zmanjšal število učencev v ekipi. Za zmanjšanje števila učencev sem se odločil na podlagi izkušenj, saj sem opazil, da običajno v ekipi aktivno delata le dva učenca. V devetem razredu sta tako lahko bila od sedaj naprej v ekipi le dva učenca, saj so ti učenci že imeli izkušnje z izdelovanjem iz preteklega leta. V osmem razredu pa so bile lahko ekipe še vedno večje. S tem smo pridobili tudi večje število ekip in posledično členov. Naj le omenim, da smo bili do sedaj vedno šola z največ sodelujočimi člani in učenci na vseslovenskem zagonu. V tretjem letu delovanja Verižnega eksperimenta na OŠ Rovte smo na zagonu v okviru TMS za naš člen prvič prejeli tudi nagrado strokovne komisije. To je bil dokaz, da smo s svojim delom izboljšali izvirnost in kvaliteto naših členov. Še vedno pa največji poudarek dajem temu, da pritegnem k sodelovanju čim večje število učencev.

## 2.4 Šolsko leto 2010/11

Tako kot vsako leto, sem tudi v tem šolskem letu uvedel novost. Iz izkušenj sem opazil, da gledalci na zagonu nagrajujejo člene, ki imajo zgodbo. Tudi člani komisije so navdušeni nad takimi člani. Zato sem se odločil, da mora tudi pri nas imeti vsak člen svojo zaključeno zgodbo. Tako smo imeli ponovno nagrajeni člen, tokrat z zgodbo, ki je prikazovala pot lesa od poseka drevesa, žaganja na žagi, sušenja v sušilnici do končne prodaje desk. Zgodbe so bile povzete iz življenjskih izkušenj in okolja, v katerem živijo učenci: tako sta izdelava in prikaz verižnega eksperimenta še bolj pristna, otroci pa so s srcem pri svojem členu. Posledično je bilo četrto leto delovanja projekta Verižni eksperiment na OŠ Rovte najbolj plodno, saj smo imeli na zaključnem zagonu v okviru TMS sedem členov. Za en člen smo prejeli nagrado strokovne komisije, prvič pa je organizator podelili tudi nagrado za šolo z največ člani. Tako je bilo nagrajeno moje delo, ki stremi k čim večji popularizaciji fizike in tehnike med mladimi.



*Slika 1: Nagrajeni člen leta 2011 - Predelava lesa*

Vir: [http://www.tms.si/index.php?m\\_id=galerija&g\\_id=122](http://www.tms.si/index.php?m_id=galerija&g_id=122)

## 2.5 Šolsko leto 2011/12

Tudi v tem šolskem letu se nismo ustavili. Ponovno smo podrli rekord, saj je člene izdelovalo enajst ekip s 27 sodelujočimi učenci. Prvič pa smo imeli tudi ekipo sestavljeno le iz deklet. Velja opozoriti, da imamo v zadnjih dveh razredih vsega skupaj 47 učencev. Tako je več kot 50 % učencev sodelovalo pri Verižnem eksperimentu. Na vseslovenski zagon smo peljali šest členov in od tega sta dva prejela nagrado in bila izbrana v Demo verigo, ki bo v prihodnjih letih promovirala fiziko po Sloveniji.

Interesna dejavnost Verižni eksperiment je danes pri nas zelo dobro utečena. V nadaljevanju bom predstavil, kako po petletnem razvoju poteka interesna dejavnost Verižni eksperiment na OŠ Rovte.

## 3 INTERESNA DEJAVNOST: VERIŽNI EKSPERIMENT

Interesno dejavnost sem v grobem razdelil na tri dele. Prvi je namenjen načrtovanju, drugi izdelavi, tretji del pa testiranju in zagonom verižnega eksperimenta.

### 3.1 Načrtovanje

Prvi del interesne dejavnosti, ki se prične v začetku septembra, poteka v računalniški učilnici. To fazo imenujem faza načrtovanja. Vsako leto začnem prvo uro s predstavitvijo projekta Verižni eksperiment in razlago pravil<sup>1</sup>, ki jih predpisuje organizator. Zatem se učenci razdelijo v ekipe po dva (9. razred) ali tri (8. razred). V prihodnjih urah nadaljujemo z ogledi filmov različnih eksperimentov na spletu, da si učenci razširijo nabor idej. Temu sledi iskanje zgodbe in risanje grobega načrta. Zadnji del faze načrtovanja je izdelava podrobnega načrta člena.



*Slika 2: Faza načrtovanja*

Foto: Gregor Udovč

<sup>1</sup> Pravila najdete na <http://www2.pef.uni-lj.si/chain.experiment/pravila%20in%20prijava.html>

V tej fazi učencem veliko svetujem in jih usmerjam. Pogosto imajo dobre ideje, ki pa so težko uresničljive oziroma bi bila izdelava predraga. Sam predvidim, katere njihove ideje so uresničljive, in jih usmerjam dalje. Predvsem jih skušam usmerjati v ideje, ki imajo fizikalno ozadje in ga učenci tudi razumejo. Tako se na primer v 8. razredu izogibam elektriki in zahtevam, da je čim več stvari narejenih v okviru mehanske fizike. Učence spodbujam, da mi v fazi načrtovanja povedo, iz katerih materialov bodo izdelali posamezen del in kje bodo našli uporaben odpadni material. Kupovanje delov ali materiala je nezaželeno. Za fazo načrtovanja imam rezervirane tri mesece.

### 3.2 Izdelava

V mesecu decembru se začne faza izdelave in preselimo se v tehnično delavnico. Običajno učenci še nimajo v celoti izdelanega podrobnega načrta, zato del ekipe prične z izdelavo, drugi pa še dokončuje podrobno načrtovanje člena. Učence vedno spodbujam, da svoj člen izdelujejo tudi doma med počitnicami. Tako se ekipe srečujejo tudi izven pouka. V tem času nastanejo najbolj inovativni izdelki. Moja naloga v tej fazi je skrbeti za varnost pri delu, svetujem jim, katere tehnološke postopke naj uporabijo, in jim pomagam pri pridobitvi različnih delov in materiala (računalniški ventilatorji, stikala, različni kemijski elementi za poskuse ...). Les, karton, lepila, baterije in orodje imamo na voljo na šoli. Ostalo si moramo priskrbeti sami. Faza izdelave je najdaljša in poteka 5 mesecev. Zadnji termin za dokončanje člena imajo učenci doma med prvomajskimi počitnicami.



*Slika 3: Faza izdelave*

Foto: Nataša Vidmar

### 3.3 Testiranje

Ko se vrnejo v šolske klopi po prvomajskih počitnicah, pričnemo s fazo testiranja. Na voljo imamo mesec dni pred vseslovenskim zagonom Verižnega eksperimenta, ki je običajno ob koncu meseca maja. Najprej se vsak člen testira ločeno. Kovinska kroglica neštetokrat sproži posamezen člen in vedno znova se odkrijejo šibke točke člena. Običajno, po večkratnih ponovitvah, popustijo slabo pritrjeni deli. Kot sem že omenil, je zanesljivost člena najbolj cenjena lastnost. Običajno po treh šolskih urah interesne dejavnosti, ko so posamezni členi dodobra preverjeni, te združimo v verigo in opravimo še

eno skupinsko testiranje. Tu prilagodimo člene med sabo, določimo njihov vrstni red in izvedemo še zadnje popravke. Finalni del faze testiranja se zgodi že tradicionalno v petek pred odhodom na vseslovenski zagon. Običajno si rezerviramo štiri šolske ure. Prva ura je namenjena postavitvi verige, nato pa v naslednjih urah pripeljemo na ogled vse razrede v šoli od prvega razreda dalje. Izdelovalci dobijo občutek, kako poteka predstavitev. Odgovarjati morajo tudi na vprašanja učencev (gledalcev) o njihovem členu in fizikalnih pojavih. Na šolski predstavitvi je čas še za zadnje popravke. V tem delu morajo tudi pripraviti vse potrebno orodje in material, ki ga bodo odnesli s seboj na vseslovenski zagon. V tej fazi sem običajno zelo zaposlen, saj moje delo tu zajema pomoč pri odpravi težav pri posameznih členih, organizacijo finalnega testiranja in spremstvo učencev na vseslovenski zagon. Predvsem smo tu že v stiski s časom in vsi že nestrpno pričakujemo vrhunec našega celoletnega dela – vseslovenski zagon.

#### 4 ZAKLJUČEK

Verižni eksperiment je odličen način za povezovanje fizike in tehnike. Že kot študent sem bil nad njim navdušen, postopoma sem to navdušenost prenesel tudi na svoje učence in uspeh je bil zagotovljen. Otroci radi delajo z rokami, posebej so navdušeni nad končnim izdelkom, polnim fizikalnih eksperimentov. Skozi vodeno delo se naučijo načrtovanja, izdelovanja in testiranja. Postopek je podoben, kot ga bodo srečevali kasneje v življenju pri svojem delu, zato je pomembno, da ga zgodaj osvojijo. Po drugi strani je verižni eksperiment enkraten za združevanje teorije in prakse, k čemur stremi tudi novi učni načrt za fiziko. Celoleten projekt je velika motivacija za učence, saj vseskozi pričakujejo končni izdelek in njegovo brezhibno delovanje. Verižni eksperiment je dober način tudi za popularizacijo fizike. Veliko število učencev, ki sodelujejo pri projektu, pa dokazuje, da mi je uspelo tako fiziko kot tudi tehniko na OŠ Rovte približati mladim.

# SPLOŠNA MATURA IZ FIZIKE V LETU 2012

*Napisal: Vitomir Babič\**

Poročilo DPKSM za fiziko

## 1 SPLOŠNI PODATKI

### 1.1 Število in struktura kandidatov po izobraževalnem programu in statusu

V šolskem letu 2011/2012 je bila matura iz fizike v prvem (junjskem) roku izvedena v enem samem terminu. Pisni del je potekal v torek, 12. junija 2012, skupina zunanjih ocenjevalcev je izdelke popravila v soboto, 16. junija 2012.

Letos je maturitetni izpit iz fizike v junjskem roku opravljalo 1531 kandidatov. Večino kandidatov so predstavljali dijaki splošnih in strokovnih gimnazij, nekaj jih je maturo ponavljalo ali popravljalo oceno.

*Preglednica 1: Število kandidatov na spomladanskem roku splošne mature.*

	Reprezentativni vzorec - dijaki, ki opravljajo prvič				vsi ostali
	Skupaj gimnazije	Splošne gimnazije	Strokovne gimnazije	Poklicna matura	Popravni, ponovno celotno ...
Št. kandidatov	1.368	1.108	260	93	70

Število kandidatov na maturi iz fizike v zadnjih letih upada. Upad je primerljiv z upadom števila vseh maturantov na splošni maturi v enakem časovnem obdobju.

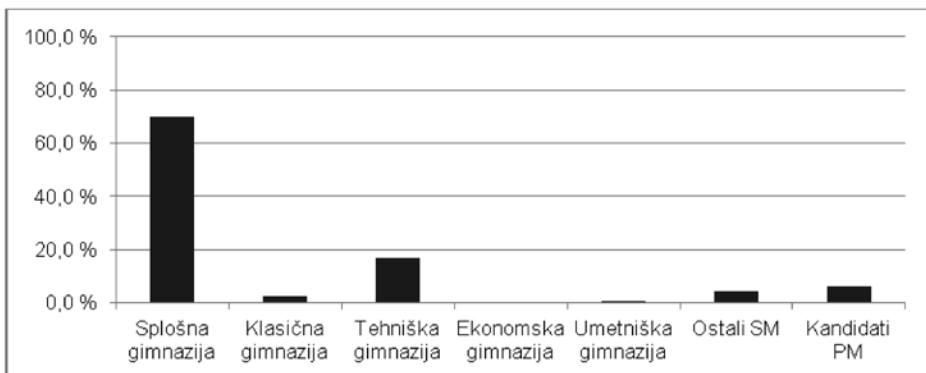
*Preglednica 2: Število kandidatov, ki so opravljali splošno maturo na spomladanskem izpitnem roku, 2008–2012*

Leto	Število kandidatov
2008	1792
2009	1720
2010	1682
2011	1685
2012	1531

Vir: Državni izpitni center, 2012

\* mag. Vitomir Babič je glavni ocenjevalec DPK SM za fiziko.





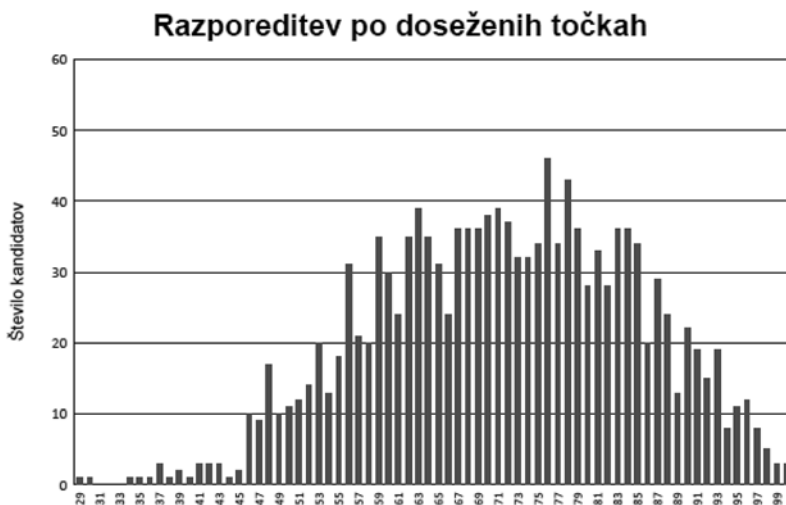
Slika 1: Število kandidatov na maturi iz fizike v letu 2012 po izobraževalnem programu.

V nadaljnji analizi (vir vseh podatkov je Državni izpitni center) so zastopani le podatki o uspehu skupine kandidatov, ki je izpit iz fizike opravljala prvič (reprezentativni vzorec). Ostali kandidati, ki so opravljali izpit iz fizike, so iz nadaljnje statistike izvzeti, razen kadar ni izrecno drugače zapisano.

## 2 ANALIZA DOSEŽKOV KANDIDATOV

### 2.1 Porazdelitev dosežkov kandidatov po odstotnih točkah v tekočem letu

Vseh kandidatov, ki so opravljali maturo (brez poklicnih maturantov), je bilo 1438. Kandidatov, ki so prvič opravljali maturo (brez maturitetnega tečaja, 21-letnikov, odraslih in poklicnih maturantov), je bilo 1368. Njihovi dosežki po točkah so predstavljeni v grafu na sliki 2:



Slika 2: Porazdelitev kandidatov po doseženih točkah (upoštevani so kandidati, ki so prvič opravljali maturo – brez maturantskega tečaja, 21-letnikov, odraslih in poklicnih maturantov).

## 2.2 Meje za izpitne ocene

Na podlagi uspeha kandidatov se je komisija odločila za mejne točke za ocenjevanje, kakor je prikazano v preglednici 3. Omeniti velja, da je Državna komisija za splošno matura naložila vsem predmetnim komisijam, naj v bodoče skušajo izpit sestavljati tako, da bo meja za pozitivno oceno enotna pri vseh predmetih – 50 točk.

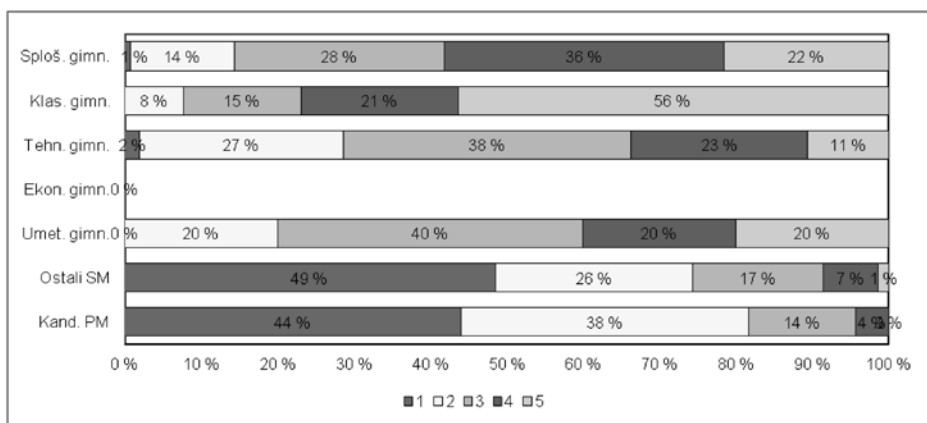
Letošnji uspeh kandidatov je omogočil, da se je DPKSM približala ciljni meji glede na lansko za eno točko.

Preglednica 3: Meje med ocenami.

Ocene	5	4	3	2
2012	84	71	59	46
2011	84	71	58	45
2010	82	68	56	43
2009	84	71	58	45
2008	82	70	57	45

## 2.3 Splošni podatki o uspehu kandidatov

Opazna je pričakovana razlika med dijaki splošnih in strokovnih gimnazij. Uspeh dijakov, ki prihajajo iz splošnih (1069 kandidatov) in klasičnih gimnazij (39 kandidatov), je, kot vsa leta, boljši za približno pol ocene od uspeha dijakov, ki prihajajo iz ostalih šol (glej sliko 3). To je pričakovano glede na povprečne ocene dijakov pri fiziki ob koncu tretjega in četrtega letnika gimnazije. Upoštevati velja tudi dejstvo, da je selekcija dijakov, ki se prijavljajo k maturi iz fizike, v splošnih gimnazijah večja, kot to velja za strokovne gimnazije.



Slika 3: Relativna frekvenčna porazdelitev kandidatov po ocenah za vse kandidate na letošnji maturi S PM so označeni maturantje poklicne mature, ki so fiziko opravljali kot peti predmet.

### 3 VSEBINSKA ANALIZA NALOG IN VPRAŠANJ

#### 3.1 Analiza uspeha po posameznih delih izpita (pisni izpit, praktični del izpita, ustni izpit)

##### 3.1.1 Izbirni del (pola 1)

Letošnja matura je bila prvič izvedena v prenovljeni obliki. Po starem je prvo polo sestavljalo 40 vprašanj izbirnega tipa, po novem modelu pa je prvo izpitno polo sestavljalo le 35 vprašanj izbirnega tipa. Kandidati so izbrali enega od ponujenih možnih odgovorov na zastavljeno vprašanje. Kandidati, ki so izpit opravljali prvič, so na tem delu izpita v povprečju dosegli 26,26 točk (IT = 0,75). Lansko leto je bil uspeh na tem delu izpita po absolutni vrednosti skoraj enak (26,4 točke), a zaradi večjega števila vprašanj relativno težji (IT = 0,66). Najverjetnejši razlog, da je bil uspeh letošnjih kandidatov relativno dosti boljši od dolgoletnega povprečja, tiči najbrž v tem, da so imeli kandidati za reševanje več časa kot do sedaj (90 minut za 35 vprašanj – po starem 90 minut za 40 vprašanj), pa tudi v dejstvu, da je število izpitnih ciljev, ki jih preverjamo z vprašanji te pole, nekoliko manjše kot do sedaj (preverjajo se le cilji brez zvezdice v katalogu).



Štev.točk (od - do)	Število kandid.
8 - 11	1
12 - 15	17
16 - 19	106
20 - 23	272
24 - 27	370
28 - 31	406
32 - 35	196

*Slika 4: Porazdelitev kandidatov po doseženih točkah na Izpitni poli 1 (upoštevani so kandidati, ki so prvič opravljali maturo – brez maturantskega tečaja, 21-letnikov, odraslih in poklicnih maturantov).*

*Preglednica 4: Porazdelitev reprezentativnega vzorca kandidatov po doseženih točkah na Izpitni poli 1.*

Komisija je v polo tako kot vedno vključila nekaj težjih vprašanj in nekaj zelo lahkih vprašanj. Z indeksom težavnosti (IT)<sup>1</sup> vprašanj izpitne pole poskušamo meriti zahtevnost posameznih vprašanj. V prvem približku se postavimo na stališče, da je »lahko« vprašanje tisto, ki so ga dijaki uspešno reševali (IT je povprečen uspeh dijakov pri nekem vprašanju), »težka« vprašanja pa so tista, pri katerih je uspeh dijakov zelo slab. Seveda na zahtevnost vprašanja vpliva (poleg objektivne kognitivne zahtevnostne stopnje) še marsikaj drugega –

<sup>1</sup> IT neke naloge predstavlja povprečno število točk, ki so jih kandidati dosegli pri tej nalogi. IT je enak 1, če so vsi kandidati pravilno odgovorili na vprašanje, in 0, če ni nihče odgovoril pravilno.

npr. jasna definicija problema, hitro razumljivi in pregledni odgovori, skice pri nalogi in še kaj. Kljub temu predstavlja IT nekakšno okvirno sporočilo o uspehu kandidatov na maturi.

V poročilu predstavljamo uspeh kandidatov pri naslednjih vprašanjih:

### 3.1.1.1 Vprašanja, ki so jih kandidati slabše reševali (nizek indeks težavnosti<sup>2</sup>)

Vprašanje 21 (IT = 0,46)

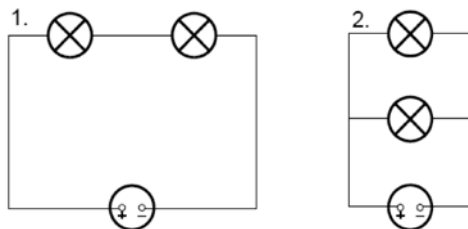
21. Dve enaki žarnici vežemo v prvem primeru zaporedno in v drugem vzporedno na enak idealen vir napetosti. Kolikšno je razmerje moči, ki ju porabljata žarnici v prvem in drugem primeru?

A  $\frac{P_1}{P_2} = 4$

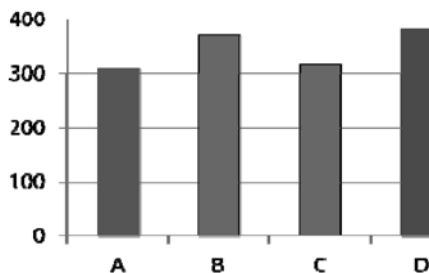
B  $\frac{P_1}{P_2} = 2$

C  $\frac{P_1}{P_2} = \frac{1}{2}$

D  $\frac{P_1}{P_2} = \frac{1}{4}$



*Komentar:* Vprašanje je sicer kompleksno, saj zahteva od kandidata, da poveže več znanj o razmerah v električnem krogu, a kljub temu predstavlja slab uspeh manjše presenečenje. Nadomestni upor zaporedne in vzporedne vezave dijaki običajno relativno dobro obvladajo. Zaskrbljuje dejstvo, da je bilo tudi lani najslabše reševano vprašanje na poli prav zelo podobno vprašanje iz iste tematike. To je najbrž za učitelje znak, da bo treba pri obravnavi razmer v električnih krogih posvetiti malo več časa problematiki porabe električne moči na posameznih elementih vezja in v vezjih nasploh.



Graf 1: Število kandidatov, ki so izbrali posamezen odgovor. Pravilen je odgovor D.

Razpršena porazdelitev odgovorov morda nakazuje, da so kandidati pravilen odgovor večinoma iskali z ugibanjem.

Vprašanje 13 (IT = 0,43)

13. Kolikšno je razmerje med vzgonom zraka na človeka na površju Zemlje in njegovo težo? Gostota zraka je  $1,2 \text{ kg m}^{-3}$ , manjkajoče podatke ocenite sami.

A 0,001

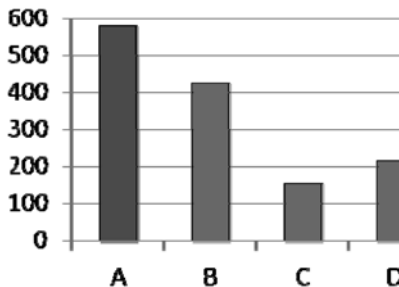
B 0,01

C 0,05

D 0,1

<sup>2</sup> Pravilni odgovor je označen z rdečim stolpcem.

*Komentar:* Vprašanje na prvi pogled ni težko, saj sprašuje po kvalitativnem razumevanju vzgona. Slabši uspeh pri tem vprašanju je mogoče pripisati dejstvu, da gre za novejši tip vprašanja, pri katerem morajo kandidati sami oceniti nekatere v nalogi manjkajoče podatke (v tem primeru morajo oceniti prostornino svojega telesa). Opozoriti velja, da so morda kandidati izbirali odgovor A zato, ker je bila tu navedena najmanjša vrednost – večinoma se najbrž zavedajo, da je vzgon zraka na kapljevine in trdnine zanemarljiv, s kvantitativnim izračunom bi imeli morda več težav.



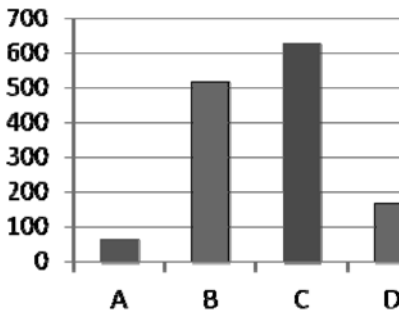
Graf 2: Število kandidatov, ki so izbrali posamezen odgovor.

Vprašanje 30 (IT = 0,46)

30. Kakšna slika nastane pri preslikavi z razpršilno lečo?

- A Realna.
- B Povečana.
- C Pomanjšana.
- D Obrnjena.

*Komentar:* Vprašanja iz optike se redno uvrščajo na maturo in praviloma je mogoče opaziti, da predstavljajo preslikave z razpršilnimi elementi (zrcalo, leča) kandidatom večjo težavo kot preslikave z zbiralnimi elementi. Vzrok temu najbrž tiči v dejstvu, da v šoli običajno vpeljemo preslikave tako, da najprej preučimo lastnosti preslikave z zbiralnim elementom, nato se (neredko na hitro) lotimo še preslikave z razpršilnim elementom. Razveseljuje dejstvo, da je večina kandidatov vedela, da je slika z razpršilno lečo navidezna (majhna frekvenca odgovorov A), pri velikosti preslikave pa se je zataknilo. Morda bi jim svetovali, da naj si v bodoče pri takih vprašanjih narišejo hitro skico, ki jih bo pripeljala do pravilnega odgovora. Relativno visok indeks diskriminativnosti<sup>3</sup> (ID = 0,32) kaže, da je to vprašanje dokaj dobro ločevalo med kandidati z dobrim in kandidati s slabim uspehom na maturi.



Graf 3: Število kandidatov, ki so izbrali posamezen odgovor.

<sup>3</sup> ID naloge – statistični parameter, s katerim skušamo meriti, ali so nalogo bolje reševali dijaki, ki so imeli v celoti boljši uspeh na maturi. Naloge z visokim ID so uspešno reševali večinoma le dijaki, ki so tudi sicer dosegli zelo dober rezultat na maturi – »dobri« dijaki. Nizek ID pomeni, da so nalogo dobro reševali tako »dobri« kot »slabi« kandidati.

3.1.1.2 Vprašanja z dobrim uspehom (visok IT) ter vprašanja, ki ločujejo med »boljšimi« ter »slabšimi« dijaki (visok ID)

Vprašanje 18 ( IT = 0,98 )

18. V vodniku je električni tok 1,6 A . Koliko naboja se pretoči v dveh minutah?

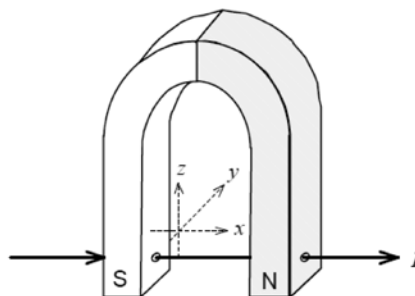
- A 0,053 A s
- B 0,80 A s
- C 3,2 A s
- D 192 A s

*Komentar:* Zelo visok IT je presenečenje, saj ne gre za prav zelo trivialno vprašanje. A že vsa leta se na maturah izkazuje, da so vprašanja, pri katerih je treba izvesti le enostaven račun, med zelo dobro reševanimi. Seveda mora kandidat znati enačbo za definicijo toka oz. jo mora poznati vsaj toliko, da jo lahko najde v priloženi zbirki enačb, a to kandidatom očitno ne predstavlja težav..

Vprašanje 23 ( IT = 0,53 , ID = 0,45 )

23. Skozi podkvast magnet izvrtamo luknji in skozi napeljemo žico, kakor kaže spodnja slika. Po žici teče električni tok. Katera od spodnjih izjav o sili magnetnega polja na del žice, ki je znotraj magnetna, je pravilna?

- A Magnetna sila je 0 .
- B Magnetna sila kaže v smeri osi  $x$  .
- C Magnetna sila kaže v smeri osi  $y$  .
- D Magnetna sila kaže v smeri osi  $z$  .



*Komentar:* Gre za vprašanje, ki je na tej poli najboljše ločevalo med kandidati, ki so dosegli na maturi v celoti dober uspeh, in kandidati s slabšim uspehom. Vprašanje gotovo ni najtežje – kandidati so pri tem vprašanju dosegli nekako polovičen uspeh. Najbrž pa sodi med nekoliko težja, saj spada poglavje o magnetizmu med zahtevnejša, ki jih obravnavamo v šoli, potrebno je tudi imeti nekaj občutka za prostorsko sliko obravnavanega pojava.

### 3.1.2 Strukturirani del (pola 2)

V skladu z novim modelom je bilo letos prvič kandidatom na voljo 6 strukturiranih nalog (iz vnaprej znanih in v katalogu definiranih področij), ki so bile ovrednotene s po 15

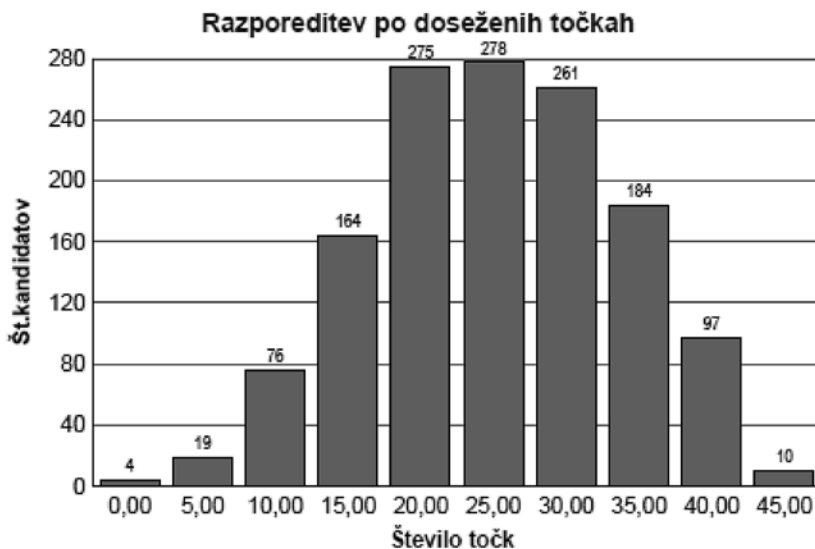
točkami. Kandidat je lahko izbral in reševal tri naloge – tako je lahko skupaj pridobil 45 točk. Do sedaj je bilo v veljavi, da so kandidati izbrali za reševanje štiri naloge od petih, vsaka naloga je bila vredna 10 točk – skupaj torej 40 točk.

Primerjava med lanskim uspehom (IT = 0,63) in letošnjim uspehom (IT = 0,60) kaže, da so bili kandidati malo (morda celo statistično nepomembno?) manj uspešni pri reševanju nalog strukturiranega tipa. Morda je razlog temu krajši čas, ki ga imajo na voljo za reševanje te izpitne pole (do sedaj 105 minut, od letos dalje po 90 minut). Sicer velja, da se kandidati lahko vnaprej podrobno pripravijo na reševanje naloge iz izbranega področja (izpitni cilji z zvezdico v katalogu), in gre zato pričakovati uspešnejše in hitrejšo reševanje, a zdi se, da imajo kandidati kljub temu premalo časa za razmislek pri malo bolj kompleksnih nalogah.

Frekvenca izbora nalog in uspeh pri njihovem reševanju je zbran v preglednici 4. Videti je, da kandidati (pričakovano) najpogosteje izbirajo prve naloge iz področij Merjenje, Mehanika in Toplota. Razveseljuje dejstvo, da je polno število točk (45 točk) doseglo več kandidatov, kot jih je doseglo najslabši možen uspeh (od 0–4 točke).

Preglednica 5: Deleži izbranih nalog.

	1. naloga	2. naloga	3. naloga	4. naloga	5. naloga	6. naloga	Skupaj:
IT	0,70	0,60	0,52	0,61	0,58	0,56	27,1 točke
Zastopanost	76,5 % <sup>4</sup>	44,5 %	63%	26 %	39 %	31 %	(IT 0,60)



Slika 5: Porazdelitev kandidatov po doseženih točkah na 2. izpitni poli (upoštevani so kandidati, ki so prvič opravljali maturo – brez maturantskega tečaja, 21-letnikov, odraslih in poklicnih maturantov).

<sup>4</sup> Podatek pove, koliko odstotkov kandidatov je izbralo določeno nalogo.

### 3.2.2 Sestava nalog

Naloge so pokrivala naslednje fizikalne teme:

1 naloga: »Merjenja« – kandidati so obdelali in analizirali rezultate neke meritve števila radioaktivnih razpadov radioaktivnega Cezijevega izotopa.

2 naloga: »Mehanika« – izstrelek iz otroške pištole usmerimo enkrat navpično, drugič vodoravno, da trči v kocko, s katero se sprimeta. Naloga se je nadaljevala z analizo vzgona na kocko, ki plava v tekočini.

3 naloga: »Toplota« – električni grelec greje spodnjo ploskev valja, analizirati je treba toplotni tok proti zgornji, hlajeni ploskvi.

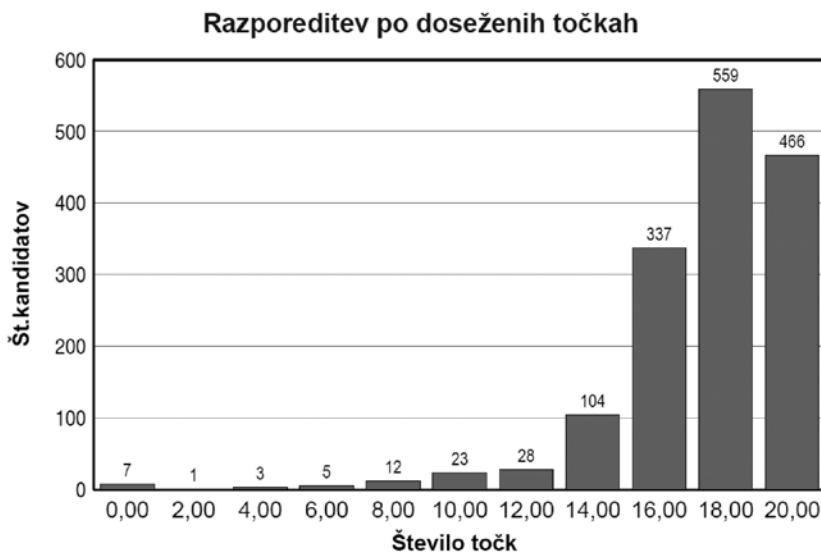
4 naloga: »Elektrika in magnetizem« – prenos električne energije, model daljnovoda.

5 naloga: »Nihanje, valovanje in optika« – majhen zvočnik niha na vzmeti. Najprej analiziramo njegovo nihanje, nato še zvok, ki ga med nihanjem oddaja.

6 naloga: »Moderna fizika« – energijski procesi v notranjosti zvezde – zlivanje. Sevanje zvezde v prostor. Analiza gibanja planeta, ki kroži okrog zvezde.

### 3.3 Laboratorijske vaje

Pri ocenjevanju laboratorijskih vaj je situacija podobna kot prejšnja leta. Glede na veliko število ur, ki jih učni načrt namenja laboratorijskim vajam, in glede na dokaj redno obnavljanje eksperimentalne opreme na večini srednjih šol je lahko najbrž nivo znanja in spretnosti dijakov na tem področju pričakovano visok.



Slika 6: Razporeditev po točkah interne ocene. (Upoštevani so kandidati, ki so prvič opravljali maturo – brez maturantskega tečaja, 21-letnikov, odraslih in poklicnih maturantov). Kar 456 kandidatov je imelo 20 točk, 559 jih je imelo 18 ali 19 ...



### 3.3 Mnenje zunanjih ocenjevalcev

Analiza vprašalnikov o kvaliteti maturitetnega gradiva, ki so jih izpolnili zunanji ocenjevalci (ZUOC), je pokazala, da so bili vsi »zelo zadovoljni« ali vsaj »zadovoljni« s kvaliteto izpitnega gradiva, prav tako niso imeli večjih pripomb glede moderacije navodil in izvedbe ocenjevanja.

V vprašalnik smo letos vključili tudi vprašanja o spremembah, ki jih prinaša novi model mature. Izkazalo se je, da cca 75 % anketiranih ZUOC spremembe podpira. Glede števila poglavij, na katera se morajo dijaki v 4. letniku poglobljeno pripraviti za maturo, je bila večina ZUOC mnenja, da je število teh poglavij premajhno, a skoraj enako mnogo jih meni, da je ravno pravšnje – mnenja o tem vprašanju so zelo deljena. Manjši del (20 % ZUOC) jih meni, da je število poglobljenih poglavij celo preveliko.

Glede težavnosti izpitnih pol so bili ZUOC mnenja, da je prva pola enako zahtevna ali celo manj zahtevna kot do sedaj. Mnenja o zahtevnosti druge pole so deljena – polovica ZUOC meni, da je reševanje enako zahtevno, polovica pa, da je nekoliko zahtevnejše kot do sedaj – predvsem zaradi relativno krajšega časa in zato, ker današnji dijaki težko držijo koncentracijo (»rdečo nit«) skozi celotno, za njih zelo dolgo nalogo.

## 4 UGOVORI KANDIDATOV NA OCENO

V junijskem roku je bilo pri fiziki (od 1531 vseh kandidatov) podanih 84 zahtev za vpogled v izpitno gradivo in nato vloženi 15 ugovorov na oceno. Pole je še enkrat pregledal izvedenec, ki je po pregledu 5 kandidatov zvišal doseženo število točk, kar je pri 4 kandidatih (0,26 % vseh oziroma 27 % tistih, ki so vložili ugovor) pomenilo tudi spremembo (zvišanje) ocene. Število vpogledov in podanih ugovorov je primerljivo s stanjem v preteklih letih.

## 5 POVZETEK

Matura iz fizike 2012 je prva, ki je potekala po prenovljenem modelu. Izkazalo se je, da so kandidati dobro sprejeli novost v prvi izpitni poli, saj so dosegli rezultat, ki je precej boljši od rezultatov v preteklih letih. Z drugo izpitno polo je bilo več težav. Kandidatom se je bilo sicer treba pripraviti na manjše število izpitnih ciljev kot do sedaj, a kljub temu niso bili posebej uspešni pri reševanju izbranih nalog. Morda tiči vzrok v krajšem času pisanja, morda v njihovi nezmožnosti vzdržati koncentracijo skozi daljši čas, ki ga zahteva reševanje dokaj dolge strukturirane naloge. Upoštevati velja, da se jim kljub pripravi na določeno fizikalno področje dogodi, da nalogo iz izbranega področja nekoliko slabše obvladajo (npr. pri elektriki je bil za nalogo model daljnovoda, kar najbrž pri pouku redko obravnavamo).

Kljub vsemu je skupni rezultat boljši, kot je bil v preteklih letih, kar jemlje DPKSM za fiziko kot znak, da je bila reforma pozitivna in da kaže s tem modelom nadaljevati. Zago-

tovo se bodo člani komisije v prihodnjih letih učili iz izkušenj, ki si jih je mogoče pridobiti v preteklih maturah, in upati je, da bodo kandidati dosegali vsaj take uspehe, kot so jih letos.

Omenimo še kadrovske spremembe v DPKSM za fiziko. Od članstva v komisiji se je poslovil prof. Ruben Belina, ki je bil član DPKSM v več zaporednih mandatih. Vmes je eno leto opravljal dela in naloge Glavnega zunanjega ocenjevalca za fiziko. Ruben je bil ena od gonilnih sil reforme Učnega načrta za pouk fizike v srednjih šolah in posledično tudi Maturitetnega kataloga ter s tem spremembe formata pisnih izpitov na maturi. Zagotovo mu je uspeh kandidatov na prvi maturi po novem katalogu v veliko veselje in zadoščenje. Poslavlja se tudi prof. Ivica Tomič, ki je DPKSM v preteklem mandatu obogatil z izkušnjami in pogledi dolgoletnega uspešnega profesorja fizike na strokovni gimnaziji, ki je bogat vir maturantov iz fizike. Nova člana komisije bosta v prihodnjem mandatu mag. Mirijam Pirc in prof. Peter Gabrovec.

Za konec naj omenim še, da je zainteresirani strokovni javnosti na spletnih straneh RIC-a na voljo daljše in izčrpnije Poročilo DPKSM za fiziko, obdelano z veliko večjim številom statističnih parametrov, kot je to prikazano v tem prispevku. Toda tisti del tega spletnega Poročila, ki se nanaša na vsebinsko analizo izpita, je praktično enak pričujočemu prispevku.

# PRIZEMLJITEV INFINITEZIMALNEGA RAČUNA

Moji spomini na prvi letnik študija fizike so neizbrisljivo povezani z infinitezimalnim računom: seveda se od študentov pričakuje, da bodo znali uporabljati integrale in odvode in računati tako, kot je »prav«, ne pa več s približki. Pa vendar ... kljub solidni matematični podlagi iz srednje šole sem potrebovala kar nekaj časa, da sem infinitezimalni račun tudi ponotranjila, da sem znala smiselno uporabiti integracijo in odvod tudi takrat, ko primer ni bil eden od tistih iz učbenika. S podobnim problemom so se srečevali moji kolegi: nekaterim je prehod iz »hitrost je delta  $s$  deljeno z delta  $t$ « na » $v = ds/dt$ « uspel dokaj hitro, do prvega kolokvija, drugi pa smo se z idejo »rezanja na tanke rezine in potem seštevjanja« borili dlje časa. No, na koncu nam je seveda vsem uspelo; vsaj tistim, ki smo uspešno diplomirali.

V tistem času bi mi knjižica (pravzaprav kar knjiga, saj je delo dovolj obsežno) z naslovom »Prizemljitev infinitezimalnega računa«, ki jo je pred kratkim napisal mag. Tine Golež, prof. fizike in ki je letos izšla pri Zavodu sv. Stanislava, prišla še kako prav. V njej mrgoli različnih, a originalnih primerov, ki so povezani z uporabo infinitezimalnega računa v fiziki, pa tudi v matematiki in vsakdanjem življenju. Večina primerov je podprtih z eksperimentalno potrditvijo, kar je dodatno spodbudno za pouk v srednji šoli, pa tudi za kakšnega navdušenca, ki bi se rad lotil zadeve sam, v »domačem« laboratoriju. Uporaba sodobne, a vendar dostopne merilne opreme (ultrazvočni slednik, hitroslikovna kamera) popestrijo še tako dolgočasno (v očeh dijakov seveda) učno uro fizike.

Avtor v uvodu nakaže, komu je knjiga namenjena: pravzaprav vsem, ki jih zanima ta čudoviti dosežek človeškega uma, vsem radovednejšem in ne nazadnje tudi dijakom na prehodu iz srednješolskega izobraževanja na univerzitetni študij ter učiteljem, ki lahko v knjigi najdejo marsikateri namig za predstavitev tako zahtevne teme, kot je infinitezimalni račun v realnem svetu. Verjetno ne bi bilo napačno, če bi se knjige lotili tudi učitelji matematike (prav oni imajo v nasprotju z učitelji fizike v učnem načrtu obravnavo infinitezimalnega računa), saj delo na preprost, a vendar učinkovit način daje predloge, kako matematiko povezati z realnim svetom.

Knjiga nam torej prinaša kar nekaj svežih primerov za uporabo infinitezimalnega računa; poleg integrala in odvoda predstavi tudi nekaj zgledov za uporabo zaporedij in limit. Pri tem se izogne »larpurlartistični« nalogi, kot je: v kvadratu s stranico  $a$  je včrtan krog, v krogu kvadrat ... potem pa moramo izračunati ploščino vseh krogov. V nasprotju s tem zgledom, ki ga ne moremo preveriti, pokaže na konkretnem fizikalnem primeru pot do rešitve z uporabo limite zaporedja, potem pa še elegantnejšo rešitev, ki jo omogoča integral. Med drugim se avtor ukvarja s tem, kako izbrati optimalno debelino izolacije za hišo, kako izračunati in izmeriti prostornino ter presek jajca ter rezultat tudi preveriti z natančno meritvijo (sic!) in kako s hitroslikovno kamero opazovati izstrel ek iz zračne puške, ki potuje po kadi z vodo. V delu so obravnavani še drugi primeri iz vseh

glavnih poglavij klasične fizike: od mehanike, sil, energije ... do toplote, elektrike in magnetizma.

Privlačno je predvsem prepletanje teorije z realnimi eksperimenti, pri čemer avtor sledi Galilejevi maksimi: izmeriti vse, kar se izmeriti da, in narediti merljivo, česar še ne znamo izmeriti. Tako v knjigi poleg računov, izračunov in izpeljav lahko dobimo tudi marsikakatero idejo za domače eksperimente, podprte tako s teorijo kot tudi s praktičnimi napotki za izvedbo. Nekaj eksperimentov je posnel in objavil na YouTube, kjer si lahko bralec ogleda dejansko izvedbo eksperimentov z avtorjevim komentarjem. Tako postane fizika prav zares eksperimentalna veda, podprta z matematičnim formalizmom.

Spodbudno je, da je knjiga prevedena tudi v angleški jezik, kar kaže, da jo avtor namerava ponuditi res široki publiki. Čeprav v tuji literaturi najdemo kar nekaj knjig in knjižic s podobno vsebino, pa redko kakšna dosega avtorjevo ciljno publiko: večina je namenjena študentom naravoslovja, ki morajo razumeti in uporabljati infinitezimalni račun, na prste ene roke pa lahko preštejemo knjige in knjižice, ki želijo predvsem deliti navdušenje nad infinitezimalnim računom. Poleg tega se večina del osredotoča samo na teoretično plat infinitezimalnega računa, manj pa je takih, ki bi bili pripravljeni tudi pokazati na praktičnost in uporabnost v vsakdanjem življenju.

Po natančnem branju lahko sklenem, da je delo zelo zanimivo branje. Zdi se, kot da avtor kramlja z bralcem in ga spodbuja, da se samostojno loti tako računanja, preračunavanja in preverjanja izpeljave formul kot tudi eksperimentalnega dela in preverjanja avtorjevih rezultatov. To nakaže že v uvodu, ko zapiše: *V resnici pri (srednješolski) fiziki ni predvidenega časa za obravnavo primerov z odvodom in integralom. Kot učitelju fizike mi ni všeč, da dijakov ne utegnem popeljati v ta svet; vsaj ne v tolikšni meri, kot bi rad. Naj se ga samostojno lotijo s pričujočo knjižico!*

Končajmo z besedami mladega bralca, ki je dva meseca po svoji maturi delo preštudiral in avtorja nagovoril z besedami: *Opisani primeri uporabe limite, odvoda in integrala so nekaj povsem drugega kot tisti, ki smo jih obravnavali pri matematiki. Matematični primeri so namreč vsi izmišljeni in tako ali drugače realno skoraj nemogoči. Čisto drugačni pa so Vaši zgledi. Z logičnim sklepanjem, matematizacijo naravnih pojavov, uporabo nekaterih matematičnih orodij ter z upoštevanjem fizikalnih zakonitosti ste na izjemno enostaven in razumljiv način predstavili fiziko realnih pojavov.*

Barbara Šetina Batič

## REDUCIRANI ZRAČNI TLAK

Pred leti sem srečal učitelja iz Ljubljane, ki mi je potožil, da se mu nikakor ne posreči, da bi voda vrela pri stotih stopinjah Celzija. Poskrbel je za brezhiben termometer, tudi pri vodi se je potrudil, da ni imela primesi, pa še na tlak ni pozabil; vodo je vrel le tedaj, ko so objavili, da je zračni tlak čez tisoč milibarov.

Odgovor na njegovo zagato je dogovor o reduciranem zračnem tlaku. Če bi namreč vremenoslovci objavljali dejanski zračni tlak v Kopru, Ljubljani, Celju ..., bi zaradi velike razlike med izmerjenim tlakom poznavalec zaslutil, da mora kar naprej po Sloveniji pihati orkanski veter. Seveda je razlika v dejansko izmerjenem zračnem tlaku pogojena (predvsem) z nadmorsko višino. Zato za kraje z nadmorsko višino do nekako 700 m k dejanskemu tlaku prištejejo še tlak, ki ga povzroča tako visok stolpec zraka, kot je nadmorska višina izbranega kraja. Pri tem gostoto zraka izračunamo kar iz plinske enačbe. Za kilomolsko maso vzamemo 29 kg, temperatura pa je kar temperatura zraka v izbranem kraju.

Oglejmo si primer za Ljubljano. Če so vremenoslovci objavili, da je bil zračni tlak 1020 mbar, so izmerili manjšo vrednost. Denimo, da je bila tega dne temperatura v Ljubljani 20 °C. Zato je izračunana gostota zraka (iz plinske enačbe) enaka 1,21 kg/m<sup>3</sup>. Upoštevamo, da je nadmorska višina Ljubljane 300 metrov, in izračunamo, koliko so vremenoslovci prišteli k izmerjenemu tlaku:

$$\Delta p = \rho gh = 1,21 \text{ kg m}^{-3} \cdot 9,81 \text{ m s}^{-2} \cdot 300 \text{ m} \approx 3560 \text{ Pa}$$

Tedaj je bil torej dejanski zračni tlak v Ljubljani:

$$102000 \text{ Pa} - 3560 \text{ Pa} = 98440 \text{ Pa} \approx 984 \text{ mbar.}$$

V naši fizikalnici<sup>1</sup> imamo dokaj natančen merilnik tlaka, ki visi na steni in kaže z velikimi številkami dejanski zračni tlak. Dijakom povem, da je naprava stala več kot sto evrov. Po ogledu vrednosti, ki jo kaže, pogledamo za primerjavo tudi, kolikšen tlak kaže splet, kjer redno objavlja meritve državna agencija. Ker to storimo še pred omembo reduciranega zračnega tlaka, so nekateri dijaki prepričani, da sem zapravlil preveč šolskega denarja za tako nenatančno napravo, saj se vrednosti razlikujeta za več kot tri odstotke. V šali jih prosim, naj me ne zatožijo takoj vodstvu gimnazije, naj mi torej dovolijo še kratek zagovor. V svojem zagovoru jih seznanim z dogovorom o reduciranem zračnem tlaku, potem tudi izračunamo popravek in izkaže se, da naša naprava niti za odstotek ne kaže drugače, kot trdi spletni podatek. Naprava je bila vredna svojega denarja! Včasih omenimo še dodatno razliko, ki je posledica nadmorske višine fizikalnice glede na merilno postajo državne agencije. Po moji oceni gre za 20 metrov ( $\pm 2$  m).

Tine Golež

<sup>1</sup> Šentvid nad Ljubljano (316 m) je tudi po nadmorski višini nad prestolnico (299 m). Dodatne metre pa prinese naša fizikalnica (1. nadstropje), saj na bivšem Hidrometeorološkem zavodu (Ljubljana Bežigrad) merijo tlak v kleti.

# FIZIKA V ŠOLI - KRATKA PREDSTAVITEV IN VABILO

Revija je namenjena učiteljem fizike na osnovnih in srednjih šolah; verjamemo pa, da bo v njej kaj koristnega za poučevanje našel tudi tisti, ki uči naravoslovje na nižji stopnji, morda pa tudi predavatelj prvega letnika univerzitetnega ali sorodnega študija.

Prispevki za revijo so strokovni članki, poročila, recenzije, zanimivosti ... Pri tem naj bi bila večina napisana iz prakse za prakso. Brez dvoma bodo bralci radi prebrali poučevalske izkušnje, ki so morda delno ali v celoti celo avtorske, so pa vsekakor preizkušene v praksi. Pisec članka naj ima ob pisanju pred očmi svojega kolega in ga skuša s sestavkom navdušiti za kak pristop k poučevanju fizike ali kakšno fizikalno temo nasploh.

Ne smemo prezreti, da je rast našega znanja počasna. Tako včasih preberemo kar precej splošnega gradiva o fiziki, preden se nam utrne kakšna uporabna zamisel. Prav zato imajo domovinsko pravico v reviji tudi članki, ki ne kažejo takojšnje uporabe v praksi, so pa pomembni gradniki učiteljevega razumevanja in poznavanja fizike.

Želimo si, da bi se čim več učiteljev odločilo za pisanje. Najbrž so prvi koraki opotekajoči, a recenzenti skušamo poleg opomb jasno nakazati tudi smer, v katero naj avtor obrne svoje pisanje, če gre pri članku za več kot le lepote popravke ali manjše spodrsrljaje.

Priprava rokopisa za pisca tehnično ni zahtevna. Posebno oblikovanje dokumeta, ki naj bi bil napisan v Wordu, ni potrebno, saj je to delo stavca. Pri sami obliki besedila naj morebitni avtorji malo prelistajo revijo, kjer bodo opazili naslednje značilnosti:

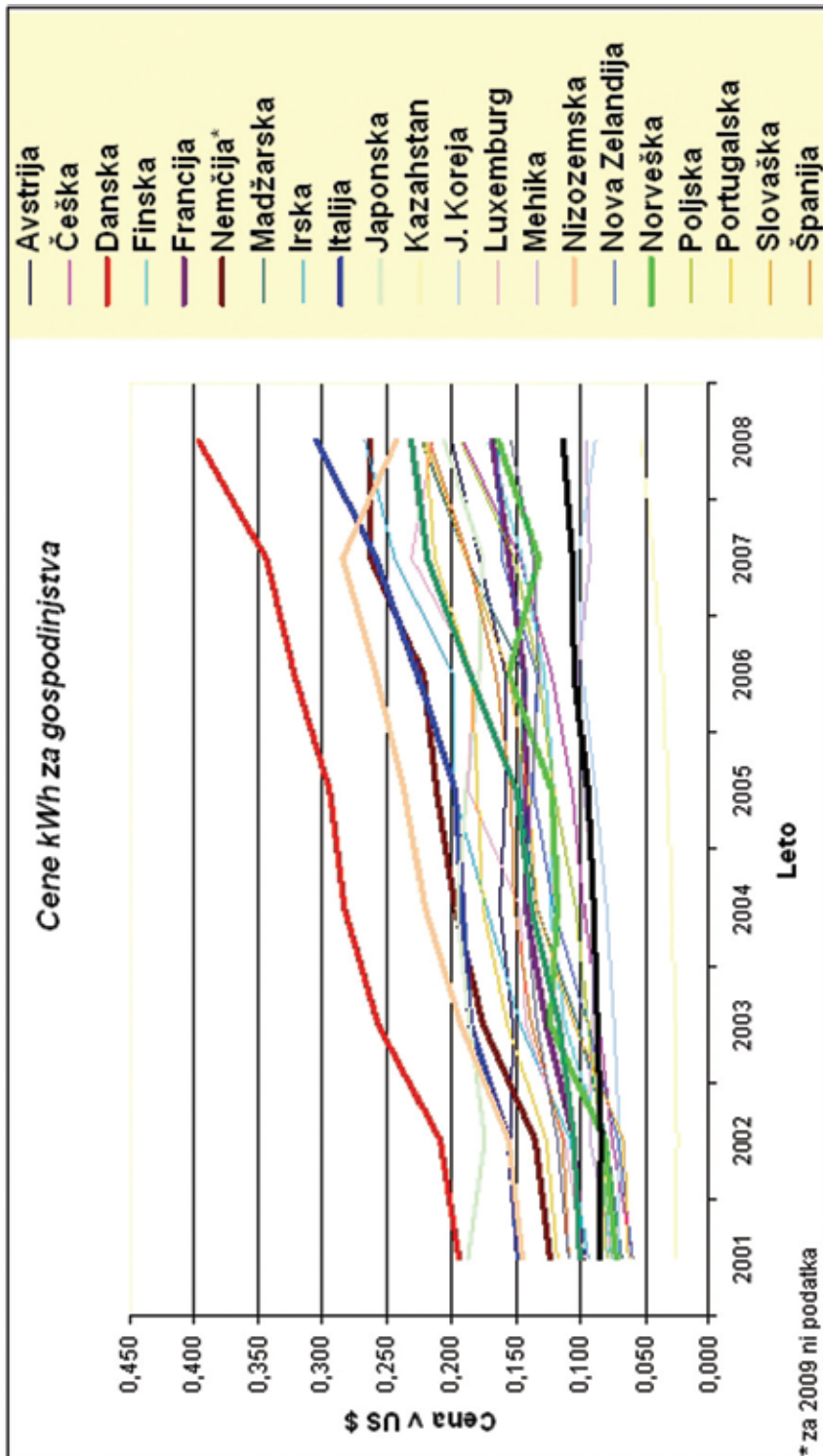
1. Prispevek se začne s povzetkom in angleškim prevodom; angleški prevod lahko doda tudi uredništvo. Poročila in recenzije povzetka ne potrebujejo.
2. Članek je smiselno razdeliti na dele, ki jih označimo z vmesnimi podnaslovi. Seveda skušamo začeti z uvodom, ki naj pritegne bralca. Zaključek naj poleg kratkih poudarkov vsebine nakaže še kakšno smer, kjer bi zapisano našlo svoje smiselno nadaljevanje.
3. V osrednjem delu bomo najbrž zapisali več enačb, dodali kakšne slike, tabele. Po potrebi, ki jo narekujeta razumevanje in preglednost, enačbe oštevilčimo. Tabele opišemo nad samo tabelo, medtem ko so napisi pod slikami. Če jih je več, jih oštevilčimo. Slike so lahko kar vključene v besedilo, lahko so dodane posebej. Pri tem je nesmiselno, da bi bila slika, ki bo velika le kakšnih deset centimetrov, dodana v velikosti več mega pikslov. Če bo izbrana za oblikovanje naslovnice, bomo avtorja že prosili za večjo ločljivost.
4. V samem besedilu vire navajamo v oglatih oklepajih s številkami [4] in jih na koncu članka izpišemo; obliko izpisov si oglejte kar v tej reviji. Pri spletnih straneh navedemo tudi, kdaj je stran še delovala.
5. Članku lahko dodate še kakšno elektronsko gradivo, ki bo objavljeno na spletni strani revije. Povezava nanj bo s strani, kjer so objavljeni povzetki posamezne številke.

Dovolj je, da članke pošljete le v elektronski obliki na naslov: [fizikavsoli@guest.arnes.si](mailto:fizikavsoli@guest.arnes.si).

Najprej boste prejeli potrdilo o prejemu, pozneje pa še opombe po pregledu članka.

Veselim se vaših prispevkov!

Uredniški odbor



Gibanje cene električne energije za gospodinjstva v nekaterih državah (stran 9)



