O NAPAKAH V UČBENIKIH FIZIKE[1]

JANEZ STRNAD

Fakulteta za matematiko in fiziko
Univerza v Ljubljani

PACS: 01.50.Zv

V učbenikih fizike naletimo na napake ali zavajajoče trditve. Nekatere so poučne in je vredno o njih poročati. Ali ponavljajoče se napake razkrivajo značilnosti poučevanja fizike?

ON ERRORS IN PHYSICS TEXTBOOKS

In physics textbooks errors or misleading statements are encountered. Some of them are instructive and it is worthwhile to report on them. Do repeated errors disclose characteristic traits of teaching?

Prispevki v poučevalskih revijah opozarjajo na nepravilnosti v učbenikih fizike od napak do zavajajočih trditev. Zaradi preglednosti jih po pojemajoči odgovornosti posameznika poskusimo razdeliti na tri skupine. V prvo štejemo ponavljajoče se resnejše napake, ki jih je treba popraviti, v drugo zgrešene trditve o razvoju fizike, ki se jim kaže izogibati, in v tretjo poimenovanje zakonov, ki ga ni smiselno spreminjati.

Napake

Najprej se spodobi pomesti pred lastnim pragom. V prvem delu *Fizike* [1] sta ostali dve napaki.

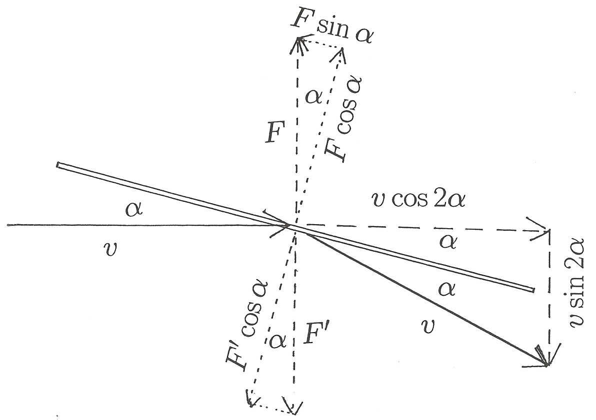
- Razlaga dinamičnega vzgona letalskega krila se je oprla na privzetek, da je zaradi krajše poti delov zraka ob spodnji ploskvi krila hitrost manjša in tlak večji kot ob zgornji. Po Bernoullijevi enačbi naj bi bil tlak zraka na spodnjo ploskev večji kot na zgornjo in bi rezultanta dala *dinamični vzgon*. Po ponavljajočih se ugovorih je razlaga, ki so jo vsebovale tudi nekatere znane knjige, prišla na slab glas. Albert Einstein je celo predlagal, da bi izboklina na zgornji strani krila poskrbela za dodatni vzgon. Po mnenju preizkusnega pilota je bilo letalo komaj mogoče voditi [2].

[1] Po prispevku na strokovnem srečanju DMFA 2012

Vzemimo, da se gostota zraka ρ ne spreminja in da del zraka ob gornji ploskvi krila potuje enak čas kot del ob spodnji ploskvi. Srednja hitrost ob zgornji ploskvi v_z je v enakem razmerju s srednjo hitrostjo ob spodnji v_s kot pot dela zraka ob zgornji ploskvi s_z s potjo dela ob spodnji s_s. Po Bernoullijevi enačbi bi bil dinamični vzgon:

$$F = \tfrac{1}{2}\rho(v_z^2 - v_s^2)S \approx \tfrac{1}{2}\rho v^2(s_z^2/s_s^2 - 1)S$$

s ploščino tlorisa krila S. Vzgon bi težo letala uravnovesil samo pri določeni hitrosti v. Z dosegljivim razmerjem s_z/s_s ne bi dobili dovolj velikega vzgona. Opazovanja v vetrovniku kažejo, da je privzetek o enakem času potovanja delov zraka zgrešen. Letalo lahko leti tudi na hrbtu in nekatera letala imajo simetrična krila s $s_z/s_s = 1$.



Slika 1. Odboj dela zraka na spodnjem delu nagnjene plošče.

Vzemimo ravno ploščo, ki je nagnjena za kot α, kot najpreprostejše simetrično krilo. V koordinatnem sistemu, v katerem miruje krilo, ima del zraka z maso m hitrost v v vodoravni smeri. Vzemimo, da se del na spodnji strani krila prožno odbije (slika 1). Sprememba komponente gibalne količine v vodoravni smeri je $mv\cos 2\alpha - mv = -mv(1-\cos 2\alpha)$ in v navpični smeri $-mv\sin 2\alpha - 0 = -mv\sin 2\alpha$. Po izreku o gibalni količini je navpična komponenta sunka sile F' krila na del zraka $F't = -mv\sin 2\alpha = -\rho vStv\sin 2\alpha$, tako da je $F' = -S\rho v^2\sin 2\alpha$. Sila zraka na krilo $F = -F'$ je usmerjena navzgor. Njeni komponenti pravokotno na krilo in tangentno nanj sta:

$$F_p = F\cos\alpha = \rho v^2 S\sin 2\alpha\cos\alpha \quad \text{in} \quad F_t = F\sin\alpha = \rho v^2 S\sin 2\alpha\sin\alpha. \tag{1}$$

Vodoravna komponenta sile zraka na krilo prispeva k uporu. Pri dani hitrosti je vzgon odvisen od hitrosti in od kota. Pri večji hitrosti je kot manjši, pri manjši večji. Vzgon je dovolj velik, da uravnovesi težo letala.

Merjenja pokažejo, da razlaga velja samo pri nadzvočni hitrosti [2]. Pri majhni hitrosti pa so pomembni pojavi na zgornji strani krila, ki jih nismo upoštevali. Tangentna komponenenta F_t požene zrak ob spodnji strani proti sprednjemu robu krila. Nastane tok zraka okoli krila s sklenjenimi tokovnicami. Tok se pridruži translacijskemu toku s tokovnicami, ki so v oddaljenosti vzporedne. Tokova obravnavamo kot laminarna. Podrobnejše pojasnilo ni preprosto.[2] V sestavljenem toku se na zgornji strani krila hitrosti delov zraka v translacijskem in v sklenjenem toku seštejeta, na spodnji strani pa se prva zaradi druge zmanjša. Hitrost delov zraka na spodnji strani krila je manjša kot na zgornji strani. Razlika kvadratov pa je večja, kot smo privzeli na začetku.

K razumevanju dinamičnega vzgona prispevajo slike tokovnic ob krilu [3]. Daleč pod krilom in daleč nad krilom so tokovnice preme in je tlak enak nemotenemu tlaku. Ob krilu pa se tokovnice ukrivijo navzdol. Tlak od nemotene vrednosti daleč pod krilom proti krilu narašča in je tik pod krilom večji od nemotenega tlaka. Tlak od nemotene vrednosti daleč nad krilom proti krilu pojema in je tik nad krilom manjši od nemotenega tlaka. Pri tem smo upoštevali, da se tlak spreminja prečno na ukrivljene tokovnice in narašča v smeri proč od krivinskega središča.[3] Tlak je pod krilom precej večji kot nad njim.

• Druga napaka zadeva površinsko napetost. Kapljevina 1 miruje na vodoravni trdni podlagi 3. Nad njima je para 2 v ravnovesju s kapljevino ali zrak. Površinska napetost na meji kapljevine in pare je γ_{12}, na meji pare in trdnine γ_{13} in na meji kapljevine in trdnine γ_{23}. Napetosti vzamemo za tangentne (slika 2 levo) in upoštevamo ravnovesje vodoravnih komponent:

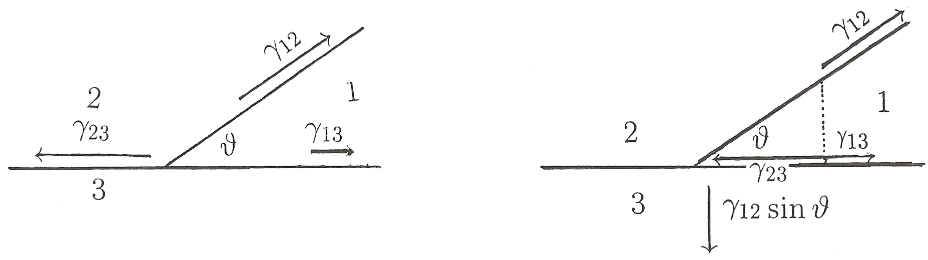
$$\gamma_{12}\cos\vartheta + \gamma_{13} = \gamma_{23} \quad \text{in} \quad \cos\vartheta = (\gamma_{23} - \gamma_{13})/\gamma_{12}.$$

Mejni kot ϑ leži med 0 in 90°, če kapljevina omoči trdnino, in med 90° in 180°, če je ne omoči. Enačba je prava, slika, ki jo vsebujejo tudi številni učbeniki, pa ni. Na njej navpične komponente sil niso uravnovešene.

Najprej se je treba dogovoriti, kateri sistem opazujemo. Izberemo prizmatični del kapljevine med mejnima ploskvama s paro in s trdnino ter z

[2]Nemški matematik Martin Wilhelm Kutta (1867–1944) je hitrostno polje okoli letalskega krila raziskal leta 1902 v doktorskem delu. Ruski fizik Nikolaj Jegorovič Žukovski (1847–1921) ga je neodvisno izpeljal leta 1906 [2].

[3]Nekateri menijo, da je v dinamični vzgon vpleten Coandov pojav (J. Strnad, *Presneti čaj*, Obzornik mat. fiz. **57** (2010) 176–182).

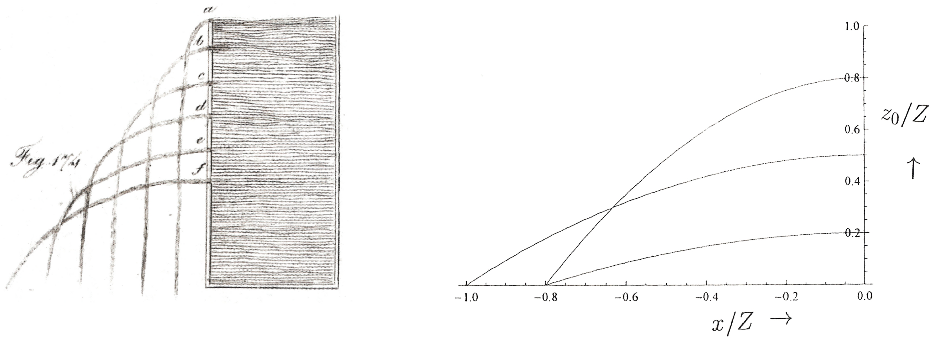


Slika 2. Sile pri mirujoči prizmatični kaplji na trdni podlagi niso uravnovešene (levo). Uravnovesimo jih tako, da dodamo komponento sile trdne podlage na kapljevino in premaknemo drugo komponento v kapljevino.

namišljeno mejo v kapljevini. Teže ne upoštevamo. Mejne ploskve sistema niso enakovredne. Trdnina deluje na kapljevino tudi s komponento sile, pravokotno na mejno ploskev, ki uravnovesi navpično komponento površinske napetosti $\gamma_{12}\sin\vartheta$. Vodoravna komponenta te sile prijemlje v kapljevini (slika 2 desno) [4], [5]. Opazovani del kapljevine mora biti dovolj velik, zato ne moremo opazovati samo roba, v katerem se stikajo vse tri faze. Razlaga je približna, ker smo sile, porazdeljene po ploskvi, nadomestili s silami, ki prijemljejo v črti [5].

• Razvpita napaka zadeva iztekanje kapljevine skozi odprtine v navpični steni [6], [7]. Leonardo da Vinci je mislil, da curek zadene tla tem dlje od posode, čim nižja je odprtina (slika 4). Evangelista Torricelli, ki se je razumel na tlak v kapljevini in hitrost iztekanja, je že leta 1640 zadevo spravil v red. Vodoravna komponenta hitrosti iztekanja je taka, kot da bi del kapljevine padel za višinsko razliko med gladino Z in višino odprtine z_0, torej $v_0^2 = 2g(Z - z_0)$. Del kapljevine se giblje po paraboli $z = z_0 - \frac{1}{2}gt^2$ in $x = v_0 t$, tako da velja $z - z_0 = -\frac{1}{2}gx^2/v_0^2$. Za $z = 0$ sledi $x = 2\sqrt{z_0(Z - z_0)}$. Doseg je največji pri $z_0 = \frac{1}{2}Z$. Okvirne razvrstitve dosegov v odvisnosti od višine odprtin ni težko opazovati. Odprtine v steni pa je treba skrbno izdelati, če naj se izid poskusa približa napovedi. Učbeniki so nekaj časa upoštevali Torricellijev račun, v 19. stoletju pa se je napaka zopet pojavila [7].

• V številnih učbenikih so entropijo pojasnili kot mero za nered. Menda je k temu prispevala Boltzmannova statistična pot. Predstava se je zdela posrečena, ker je abstraktno entropijo povezala z vsakdanjim pojmom. Vendar v splošnem nereda ni mogoče smiselno opredeliti. Po dobrih sto letih je predstava prišla na slab glas. Kos snovi s prostornino $2V$ ima dvakrat

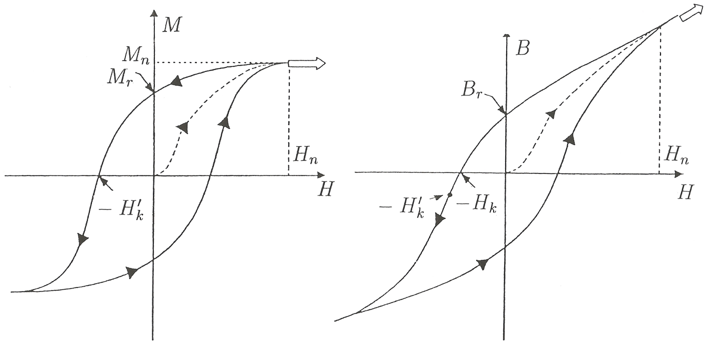


Slika 3. Curki pri iztekanju iz posode po Leonardu da Vinciju (levo) in po računu $z/Z = z_0/Z - (x/Z)^2/(4(1 - z_0/Z))$ (desno). Da Vincijevo delo *O gibanju in meri vode* je leta 1828 izdal Francesco Cardinali in ga je mogoče najti na spletu. Spodnji curki so podobni parabolam.

večjo entropijo kot kos iste snovi s prostornino V v enakih okoliščinah. Ali večjemu kosu ustreza večji nered? Težko je uvideti, da se pri reverzibilnih pojavih nered ne spremeni. Kako naj razumemo, „da je „nered“ v podhlajeni vodi manjši potem, ko ustrezni del vode ireverzibilno zmrzne?“ [8] Vzemimo, da pri navadnem zračnem tlaku vodo z maso m podhladimo do temperature T. V toplotno izoliranem sistemu del vode z maso m_l zmrzne in odda talilno toploto. Preostala voda se segreje do tališča T_0 in velja $m_l q_t = mc_p(T_0 - T)$. Delu vode, ki zmrzne, se entropija zmanjša za $m_l(q_t/T_0 - c_p \ln(T_0/T))$, delu vode, ki se segreje do tališča, pa poveča za $(m - m_l)c_p \ln(T_0/T)$. V celoti se entropija poveča za $mc_p(\ln(T_0/T) - 1 + T/T_0)$, ker je sprememba ireverzibilna. Podobno je pri rjavenju železa, ki je zgled za razpadanje. Pri navadnem zračnem tlaku in sobni temperaturi meri po enačbi $4Fe + 3O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3$ entropija začetnih snovi za 4 mole železa 725 J/K, končnih pa 176 J/K. Entropija se zmanjša za 549 J/K. Z njo se zmanjša „nered“. Zaradi oddane reakcijske toplote 168,4 kJ se v celoti entropija poveča za 1684 kJ/(298 K) = 5650 J/K [9],[10].

Predstava o neredu spregleda zvezo entropije z energijo. Predlagajo, da bi povečanje entropije povezali s širjenjem energije na večjo prostornino ali z dodatkom energije dani prostornini. Povezava entropije z razpršitvijo (dispersal) [10] ali širjenjem (spreading) [11] naj bi nadomestila povezavo z „neredom“. Morda se bo predlog uveljavil.

- Nekateri učbeniki ne upoštevajo, da se histerezna krivulja feromagnetne snovi za magnetizacijo $M = B/\mu_0 - H$ razlikuje od krivulje za gostoto magnetnega polja B [12]. Krivulja $M(H)$ ob nasičenju postane vodoravna, krivulja $B(H)$ pa ne (slika 3). Remanentna magnetizacija M_r pri jakosti $H = 0$ ustreza remanentni gostoti $B_r = \mu_0 M_r$. Koercitivna jakost H'_k, pri kateri je $M(H'_k) = 0$ in ji ustreza gostota $B'_k = \mu_0 H'_k$, pa se razlikuje od jakosti H_k, pri kateri je $B(H_k) = 0$ in ji ustreza magnetizacija $M_k = H_k$. Pri magnetno mehkih snoveh z ozko histerezno zanko so razlike majhne in jih na diagramih ne opazimo. Pri magnetno trdih snoveh s široko histerezno zanko pa jih kaže upoštevati. Del težav izvira tudi od nedoslednega poimenovanja. Nekateri H'_k imenujejo pripadajoča koercitivna jakost, drugi notranja koercitivna jakost, pogosto pa je ne razločijo od H_k.



Slika 4. Histerezni krivulji za magnetizacijo M (levo) in gostoto magnetnega polja B v odvisnosti od jakosti magnetnega polja (desno). Krivulji ustrezata magnetno trdi snovi [12].

- V učbenikih včasih še naletimo na „relativistično maso“ $m_r = m/\sqrt{1 - v^2/c^2}$ [13]. Zares klasična gibalna količina mv preide v relativistično, če m zamenjamo z m_r. Toda relativistična kinetična energija $mc^2(1/\sqrt{1 - v^2/c^2} - 1)$ se razlikuje od $\frac{1}{2} m_r v^2$. Einstein je zapisal: „Ne kaže uvajati pojma mase m_r gibajočega se telesa, ki je ni mogoče jasno definirati [...] bolje je omeniti izraz za gibalno količino in energijo gibajočega se telesa.“ Fiziki, ki se ukvarjajo z delci, uporabljajo samo lastno maso m [13]. Vendar so se celo ti včasih oprli na relativistično maso, ko so govorili ali pisali za nefizike. Namesto relativistične mase je veliko bolje izhajati od predstave, da čas vselej merimo z uro, ki se giblje skupaj z opazovanim delcem.

- Atomski model Nielsa Bohra iz leta 1913 se je dolgo časa obdržal v učbenikih, čeprav je vsaj od leta 1927 jasno, da elektronom ni mogoče prirediti tirnic. Tudi sicer je s kvantno mehaniko povezanih več zgrešenih trditev. Včasih valovno funkcijo poskusijo obravnavati kot klasično valovanje, čeprav to ni mogoče.

Zgrešene trditve

- Nekateri učbeniki zagotavljajo, da je Ole Rømer izmeril hitrost svetlobe. Ukvarjal se je z mrki Jupitrove lune Io, ki so jih na pariški zvezdarni zasledovali, da bi z njimi določili zemljepisno dolžino. Spoznali so neenakomernosti in pomislili, da bi utegnile biti povezane s končno hitrostjo svetlobe. Rømer je ugotovil, da časovni razmik med mrki narašča, ko se Zemlja oddaljuje od Jupitra, in zmanjšuje, ko se mu približuje. Leta 1676 je napovedal zakasnitev, ki so jo opazovanja podprla. Po tem je sklepal, da svetloba potuje s končno hitrostjo. Hitrosti pa ni navedel [14], čeprav bi jo z razpoložljivimi podatki lahko ocenil na 210 tisoč km/s.
- Pogosto zgrešijo vsebino Newtonove trditve o ohlajanju iz leta 1701 [15]: „Če vzamemo enake čase ohlajanja, bodo stopnje toplote v geometrijskem razmerju [. . .].“ To pomeni, da temperatura pojema eksponentno. Ni jasno, s kakšnim namenom je Newton delal poskuse, pri katerih je uporabil termometer na laneno olje. Morda mu je šlo le za vpeljavo „stopnje toplote“, naše temperature. Odvisnost velja le, če se telo ohlaja v stalnem toku zraka. Temperaturo telesa mora označevati en sam podatek in temperatura v toku daleč od telesa se ne sme spreminjati. Prav tako ne sme biti drugih izvirov toplote in sevanje mora biti zanemarljivo.
- Henry Cavendish ni ugotovil gravitacijske konstante. Leta 1798 je s torzijsko tehtnico izmeril gravitacijo med laboratorijskima telesoma in z dobljenim podatkom izračunal gostoto Zemlje [16]. Gravitacijsko konstanto so vpeljali pozneje. Iz dobljenih podatkov bi lahko izračunal gravitacijsko konstanto in maso Zemlje. Učbeniki pogosto zagotovijo, da je „izmeril gravitacijsko konstanto“ ali „stehtal Zemljo“. V tem se kaže razlika med „zgodovinarjevo zgodovino fizike“ in „fizikovo zgodovino“, v kateri pogosto nekdanje dosežke presojamo z današnjim znanjem. V naštetih in podobnih primerih ne kaže ponarejati razvoja. Zadostuje pripomba, da bi to in ono lahko naredili, pa niso.

Poimenovanje zakonov

Neustrezno poimenovanje zakonov, izrekov, enačb, konstant ni omejeno na učbenike in je povezano z vprašanjem prvenstva. V tej zvezi strezni *ničti izrek iz zgodovine naravoslovja* zgodovinarja naravoslovja Ernsta Petra Fischerja iz leta 2006: „Odkritja (pravila, zakona, spoznanja), ki nosi ime po kaki osebi, ni naredila ta oseba.“ Fizik Michael Berry je šel še dlje: „Nikoli ni nič odkrito prvič.“ Fischerjev izrek velja tudi zase. Že leta 1980 ga je navedel statistik Stephen Stigler kot *zakon o eponimih*: „Nobenega znanstvenega odkritja ne imenujemo po pravem odkritelju.“ [4] Do podobnega spoznanja so prišli večkrat že prej. Izjave te vrste nakazujejo težave, na katere lahko naletimo, ko bi radi odkritje poimenovali po eni sami osebi.

Nekatere zakone so odkrivali postopno. Nekdaj je bilo obveščanje težavno in je odkritje večkrat zašlo v pozabo, da so ga pozneje ponovno naredili. Značilen zgled je lomni zakon za svetlobo. Ibn Sahl ga je poznal že konec 10. stoletja, dolgo pred Snelom in drugimi na začetku 17. stoletja [17], [18]. Omeniti kaže še neodvisna odkritja. Na misel pridejo s konca 19. stoletja odkritja katodnih žarkov, rentgenske svetlobe in elektrona, pri katerih je sodelovalo več raziskovalcev. C. F. Bohren, sicer oster kritik učbeniških napak, je zapisal: „Če smo pošteni, je pogosto zelo težko ugotoviti, kdo je kaj naredil prvi, in zato navadno napačno pripišemo zakone, konstante, izreke in merjenja [. . .] Komu pripišejo zasluge, je v veliki meri odvisno od sreče, časovnega poteka, popularnosti in državne pripadnosti.“ [19] Pomembno je tudi, kako je svoje odkritje cenil in objavil odkritelj.

- Isaac Newton leta 1687 ni odkril *drugega Newtonovega zakona* [20]. Njegov zakon bi se glasil $\vec{F} \propto \Delta\vec{G}$, če bi ga zapisali z današnjimi znaki. Enačbo $\vec{F} = m\vec{a}$ je izpeljal Leonhard Euler leta 1752 v članku z naslovom *Odkritje novega načela mehanike.*

- James Clerk Maxwell ni odkril *Maxwellovih enačb.* Najbrž jih v današnji obliki ne bi prepoznal [19]. V tej obliki jih je zapisal Oliver Heaviside. Avogadrove konstante ni uvedel Amedeo Avogadro, Boltzmannove ne Ludwig Boltzmann, Diracovega delta ne Paul Dirac. . .

- Hubblovega zakona o širjenju vesolja ni odkril Edwin Hubble. Leta 1922 je Vesto Slipher izmeril relativni rdeči premik galaksij. Leta 1926 je Hubble po siju ugotovil oddaljenosti oddaljenih galaksij. Leta 1927 je Georges Lemaitre v Analih bruseljske naravoslovne družbe objavil članek *Homogeno vesolje s konstantno maso in naraščajočim polmerom pojasni radialno hitrost zunajgalaktičnih meglenic.* Navedel je rešitve enačb splošne teorije relativnosti, ki jih je Aleksander Friedmann objavil že leta 1922. Drugače od Friedmanna, ki ni upošteval astronomskih podatkov, je Lemaitre po Slipherjevih in Hubblovih podatkih hitrosti oddaljevanja povezal z oddaljenostjo: $v = Hd$. Ugotovil je, da se vesolje širi in za koeficient sorazmernosti, današnjo Hubblovo konstanto H, navedel 575 ali 670 km/(s·Mpc) glede na to, kako je razvrstil podatke. Leta 1929 je tudi Hubble spoznal sorazmernost in za H navedel 500 km/(s·Mpc) (današnja vrednost je (74,3 ± 2,1) km/(s·Mpc)). Uporabil je domala iste podatke kot Lemaitre, le po-

[4] Eponim je oseba, po kateri kaj imenujemo.

datke za oddaljenost galaksij je izboljšal z merjenji, ki sta jih on in Milton Humason naredila s kefeidami in novimi zvezdami. Širjenja vesolja ni omenil in ga menda tudi pozneje ni zagovarjal [21].

Angleški prevod Lemaitrovega dela je izšel leta 1931 v Mesečnih objavah Kraljeve astronomske družbe. V njem so manjkali odstavek o sorazmernosti, podatki o koeficientih in nekaj opomb. Nekateri so v tem videli zaroto. M. Livio pa je po pismih ugotovil, da je članek prevedel in spustil odstavke Lemaitre sam [22]. Ni mu šlo za prvenstvo in je skromno menil, da so Hubblovi podatki boljši.

Raziskovanje in poučevanje

Napakam v raziskovanju se godi drugače kot napakam v učbenikih: „Sprememba v raziskovanju je hitra, lahko jo je sporočiti in jo na široko upoštevajo. Sprememba v poučevanju pa rabi veliko časa, mogoče jo je slabo sporočiti in ji na splošno nasprotujejo razni posebni interesi v skupnosti poučevalcev fizike.“ [23] V raziskovanju se dokopljejo do novih spoznanj, medtem ko se zdi, da se poučevanje pogosto vrti v krogu: „Kaj dovoljuje, da gradimo znanje fizike tako, da se nabira, medtem ko se v poučevanju fizike zdi, da smo prekleti na večne kroge, [...] Zakaj nikoli ne moremo naslednjemu rodu izročiti, kar smo se naučili v poučevanju fizike.“ [24]

V tej zvezi razločujejo „kulturo raziskovanja“ in „kulturo poučevanja“ [7]. Za prvo naj bi bilo značilno širjenje novega znanja, iskanje osebnega uspeha in razvito ocenjevanje del, za drugo pa širjenje starega znanja, iskanje uspeha drugih in nerazvito ocenjevanje del. Razloček je zares opazen. Pri tem pa ni mogoče spregledati, da je fizika del naravoslovja, v katerem uporabljamo naravoslovni raziskovalni način. Trditev preizkusimo z opazovanjem in merjenjem in neustrezno završemo ali prilagodimo. Tako pridemo do enotnega ali vsaj do jasnega večinskega mnenja. Poučevanje pa zajema sestavine znanosti o ljudeh in družbi, v katerih ne uporabljajo naravoslovnega raziskovalnega načina. Pogosto obstaja več različnih mnenj, ki utegnejo biti odvisna od okolja in se spreminjati s časom. Tako ni mogoče pričakovati, da bi poučevanje fizike oblikovali povsem po kopitu raziskovanja. Pretirana težnja v tej smeri bi poučevanju utegnila škodovati.

Zagotovo je treba biti pozoren na napake, posebno v učbenikih. Na drugi strani ne gre spregledati, da mora pisec učbenika obvladati široko, čeprav morda ne globoko, znanje, ki mu čas ostre specializacije ni naklonjen. Zdi se, da so lahko zaradi napak v srednješolskih učbenikih fizike zaskrbljeni predvsem v Združenih državah. Pri nas osnovnošolski in srednješolski učbeniki ne zbujajo tolikšne skrbi, ker jih pišejo fiziki ali pri pisanju sodelujejo.[5] S tega stališča si je smiselno prizadevati, da bi se študij bodočih učiteljev fizike čim manj oddaljil od študija bodočih fizikov.

Na koncu se je smiselno vprašati, ali morebiti spodbuja nastanek napak to, da je na dani stopnji treba upoštevati zmožnost učencev ali dijakov. Tem pogosto zmanjka matematičnega ali fizikalnega znanja. Pri tem se je treba zadovoljiti z mislijo, da učbenik lahko vsebuje „resnico in samo resnico“, a ne more vsebovati „vse resnice“. Navsezadnje tudi fizika še nima odgovorov na vsa vprašanja.

LITERATURA[6]

[1] J. Strnad, *Fizika*, 1. del, DMFA–založništvo, Ljubljana 2011.

[2] S. Knez in R. Podgornik, *Modeli dinamičnega vzgona letalskih kril*, Obzornik mat. fiz. **52** (2005) 162–182, **53** (2006) 1–17.

[3] H. Babinsky, *How do wings work?*, Phys. Educ. **38** (2003) 497–503.

[4] M. V. Berry, *The molecular mechanism of surface tension*, Phys. Educ. **6** (1971) 70–84.

[5] A. Marchand, J. H. Weijs, J. H. Snoeijer in B. Andreotti, *Why is surface tension a force parallel to the interface*, Am. J. Phys. **79** (2011) 998–1008.

[6] G. Planinšič, Ch. Ucke in L. Viennot, *Holes in a bottle filled with water: which water-jet has the longest range?* http://education.epsdimensions.org/muse/.

[7] J. Slisko, *Repeated errors in physics textbook: what do they say about the culture of teaching?*, *Physics Community and Cooperation*, GIREP 2009, University of Leicester.

[8] I. Kuščer in S. Žumer, *Termodinamika*, DMFA, Ljubjana 1974, str. 33.

[9] D. Styer, *Entropy and rust*, Am. J. Phys. **78** (2010) 1077.

[10] H. S. Leff, *Removing the mystery of entropy and thermodynamics – part V*, Phys. Teacher **50** (2012) 274–276.

[5] Pred desetletji je bilo mogoče v učbeniku za nižjo gimnazijo zaslediti dvoumnost v zvezi s centrifugalno silo.

[6] Po navedenem izboru je mogoče priti do obsežne literature o napakah.

[11] F. L. Lambert, *The misinterpretation of entropy as „disorder“*, J. Chem. Educ. **89** (2012) 310.

[12] H. W. F. Sung in C. Rudowicz, *Physics behind the hysteresis loop – a survey of mis-conceptions in magnetism literature*, J. Magn. Magn. Mater. **260** (2003) 250–260.

[13] Lev B. Okun, *The concept of mass*, Phys. Today **42** (1989) 31–36 (6).

[14] A. Wroblewski, *De mora luminis: A spectacle in two acts with a prologue and an epilogue*, Am. J. Phys. **53** (1985) 620.

[15] C. T. O'Sullivan, *Newton's law of cooling – A critical assesment*, Am. J. Phys. **58** (1990) 957–960; C. F. Bohren, *Comment on „Newton's law of cooling“*, Am. J. Phys. 59 (1991) 1044–1045.

[16] J. Slisko in Z. Hadzibegovic, *Cavendish experiment in physics textbooks. Why do authors continue to repeat a denounced error?*, Eur. J. Phys. Ed. **2** (2011) 20–32.

[17] R. Rashed, *A pioneer in anaclastics. Ibn Sahl on burning mirrors and lenses*, Isis **81** (1990) 464.

[18] J. Strnad, *Deseterica do lomnega zakona*, Fizika v šoli **11** (2003) 9.

[19] C. F. Bohren, *Physics textbooks writing: Medieval, monasteric mimicry*, Am. J. Phys. **77** (2009) 101–103.

[20] B. Pourciau, *Is Newton's second law really Newton's?*, Am. J. Phys. **70** (2011) 1015–1022.

[21] M. Way in H. Nussbaumer, *Lemaitre's Hubble relationship*, Phys. Today **564** (2011) 8 (8).

[22] M. Livio, *Mystery of the missing text solved*, Nature **479** (2011) 121–123.

[23] J. M. Wilson, *Changing the introductory physics sequence to prepare the physics student of the 1990s*, *Proc. Conf. on Computers in Physics Instruction*, North Carolina, J. Risley (ur.), Addison-Wesley, Reading, Mass. 1988.

[24] E. F. Redish, *Millikan lecture 1998: Building a science of teaching physics*, Am. J. Phys. **67** (1999) 562–573.