

VSEBINSKO ZNANJE IN NARAVOSLOVNO RAZMIŠLJANJE

JANEZ STRNAD

Fakulteta za matematiko in fiziko
Univerza v Ljubljani

PACS: 01.40.fk, 01.40.G–

Zapis na kratko poroča o poskusu, pri katerem so ocenili zmožnosti ameriških in kitajskih novincev na univerzi pri fiziki. Pri tem so v prvem koraku ugotavljali vsebinsko znanje mehanike in elektromagnetizma ter v drugem zmožnost naravoslovnega razmišljanja. V prvem koraku so se Kitajci, ki so imeli v srednji šoli veliko fizike, odrezali veliko bolje od Američanov. V drugem koraku pa med obojimi ni bilo razlike. Ali izidi lahko dajo koristne namige za učitelje fizike na naših srednjih šolah?

CONTENT KNOWLEDGE AND SCIENTIFIC REASONING

An experiment in which the abilities of American and Chinese freshmen in physics were assessed is briefly reported. Thereby in the first step content knowledge in mechanics and electromagnetism and in the second step the ability of science reasoning were established. In the first step the Chinese, who have had much more physics in high school, scored much better than Americans. In the second step there was no difference. Can the results give useful clues for physics teachers in our high school?

V *naravoslovnih metodah*, ki jo fiziki uporabljamo pri raziskovanju narave, novo zamisel navadno oblikujemo kot kvantitativno napoved. Napoved preizkusimo z merjenjem pri poskusih v nadzorovanih okoliščinah. Zamisel, ki se ne sklada z dobljenimi izidi, zavržemo ali prilagodimo. Objavljen članek o tem omogoči, da poskus v enakih okoliščinah ponovijo v drugem laboratoriju. Zamisli, ki ustrezajo tem zahtevam, dodamo obstoječemu znanju, ki nikoli ni dokončno. Nekateri posebej poudarjajo, da je za naravoslovje značilno, da v njem trditve ni mogoče dokazati, lahko jih le ovržemo.

Na vseh stopnjah poučevanja danes izvajajo *poučevalske poskuse*, da bi izboljšali učinkovitost poučevanja, in o njih poročajo v strokovnih revijah. Pri poskusih ugotavljajo – „merijo“ – odziv učencev, dijakov in študentov na poučevanje, njihovo znanje, razumevanje in navade ter drugo, kar je povezano s poučevanjem. Izidi poskusov naj bi omogočili boljše razumevanje poučevanja in učenja ter pripeljali do izboljšav. Poskusi te vrste se med seboj znatno razlikujejo in segajo od anket in izpolnjevanja vprašalnikov

prek reševanja pisnih računskih nalog in kvalitativnih vprašanj do študentskih poskusov v laboratoriju in pogovorov s posameznimi zastopniki skupin. To so *poskusi z ljudmi*, ki sodijo v znanosti o ljudeh in družbi, kot so psihologija, sociologija ter pedagogika in specialna pedagogika ali didaktika (poimenovanje ni enotno). Teh poskusov ni mogoče izvajati podobno, kot poskuse izvajajo raziskovalci v fiziki.¹ Izide ponavadi statistično obdelajo in navedejo povprečja.

Poskusi z ljudmi so povezani z značilnimi težavami. Poskusi naj ne bi škodili udeležencem. Pojavi se vprašanje, kako izbrati sestavo in število udeležencev v glavni in v kontrolni skupini. Kdo naj v njiju uči ter kdo in kako ocenjuje izide? Izidi so lahko odvisni od številnih dejavnikov, od načina postavljanja nalog in vprašanj do pričakovanj in vneme izvajalcev, od njihovih namenov ter od družbenega okolja. Ali bi drugi izvajalci z drugačnim načinom dobili podobne izide? Izidov ni mogoče naravnost prenesti v drugo okolje. Ni jih mogoče smiselno ponoviti z istimi udeleženci. Odmiki od povprečij utegnejo biti pri njih precej veliki. Tako ne preseneča širok razpon pogledov na razne vrste poučevalskih poskusov, ki sega od načelnega dvoma do trdnega zaupanja. S tem je povezana krilatica, da vsak poučevalski poskus sicer nekaj meri, manj jasno pa je, kaj meri. Najbrž je tudi v tem primeru smiselno uravnovešeno stališče: poskusi so pogosto koristni, njihove izide pa kaže sprejemati zadržano, posebej ko gre za vključevanje novosti v učne načrte. Za učitelje utegne biti predvsem koristno, da premislijo o dobro zasnovanih poučevalskih poskusih in vsakega presodijo na podlagi lastnih izkušenj.

Poročajmo o široko zasnovanem poučevalskem poskusu v Združenih državah in na Kitajskem, katerega izid utegne biti splošno zanimiv [1]. Za poskus so izbrali fiziko, ker so v njej zadeve razmeroma dobro opredeljene. Podobne izide pa je mogoče pričakovati tudi v drugih vejah naravoslovja. Šolska sistema od vstopa v šolo do dvanajstega šolskega leta, ki mu sledi vstop na univerzo, se v ZDA in na Kitajskem izrazito razlikujeta. V ZDA ni enotnega učnega načrta, srednješolci se sicer s fiziko delno srečajo pri naravoslovju, a samo vsak tretji od njih izbere dvosemestrsko fiziko. Fiziki posvečeni čas je za različne srednješolce zelo različen. Prav tako v zelo

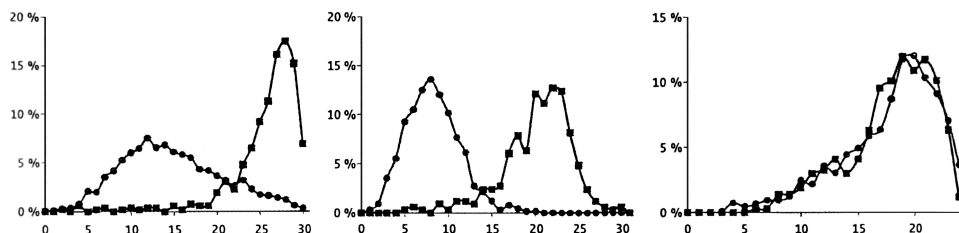
¹Še najbolj se jim približajo *dvojno slepi poskusi* pri preizkušanju zdravil. Glavna skupina ljudi dobiva učinkovino, kolikor mogoče enakovredna kontrolna skupina pa placebo. Ne izvajalci ne udeleženci poskusa ne vedo, v kateri skupini je kdo. To razkrijejo šele ob obdelavi izidov. Poučevalskih poskusov ni mogoče izvajati slepo.

različnem obsegu uporabljajo matematiko in delajo računske vaje. Na Kitajskem pa velja enoten učni načrt za vse srednješolce. Fizika se začne v osmem šolskem letu in traja vseh nadaljnjih pet šolskih let. Vse srednješolce čaka enak sprejemni izpit na univerzo.

Skupina sedmih poučevalcev z ameriških univerz in petih s kitajskih univerz je v obeh državah raziskovala odziv novincev v prvem letniku univerze, preden so prišli v stik s fiziko na univerzi. Poskusov se je v celoti udeležilo več kot 5 tisoč novincev naravoslovnih in tehniških usmeritev s štirih ameriških in treh kitajskih univerz s srednjim ugledom. Izvajalci poskusov so dobro poznali razmere v šolstvu obeh držav. Pri novincih so v prvem koraku ugotavljali vsebinsko znanje izbranih fizikalnih poglavij mehanike in elektrike in v drugem zmožnost naravoslovnega razmišljanja. V prvem koraku so uporabili *Pregled pojma sile FCI* [2] in *Kratko ocenjevanje elektrike in magnetizma BEMA* [3]. Za drugi korak so izbrali Lawsonov *Preizkus naravoslovnega razmišljanja v razredu LCTSR* [4]. Vse tri načine so že prej razvili in velikokrat preizkusili v ZDA ter prevedli in preizkusili na Kitajskem.

Po pričakovanju so se kitajski študenti odrezali veliko bolje (slika 1): (86 ± 14) -odstotni uspeh pri mehaniki in (66 ± 13) -odstotni pri elektriki – od ameriških vrstnikov: (49 ± 19) -odstotni uspeh pri mehaniki in (27 ± 10) -odstotni pri elektriki (navedena so na dve mesti zaokrožena povprečja in efektivni odmiki). Uspeh pri mehaniki, ki je tesneje povezana z vsakdanjimi izkušnjami, je bil pri obojih boljši. Razmerje dosežkov pri elektriki, ki velja za bolj zapleteno, je bilo večje ($66/27 = 2,4$) kot pri mehaniki ($86/49 = 1,8$). Pri ugotavljanju zmožnosti naravoslovnega razmišljanja je bilo čisto drugače. Oboji študenti so se izkazali skoraj povsem enako: pri 74-odstotnem uspehu je bila razlika manjša od pol odstotne točke (Kitajci so dosegli $74,5 \pm 15,8$ odstotkov in Američani $74,2 \pm 18,0$). Ali ta razmeroma velik uspeh v primeri s prejšnjimi ne kaže, da so bila v tem primeru vprašanja s fizikalnega stališča razmeroma nezahtevna?

Vsebinsko znanje mehanike ali elektrike je mogoče dokaj dobro opredeliti. Tudi ta poskus je pokazal, da je pri tem uspeh boljši, če srednješolci in njihovi učitelji vložijo več dela. Naravoslovno razmišljanje pa je težje opredeliti in zahteva drugačne zmožnosti. Načrtno je treba razmisliti o nalogi, spoznati količine, ki se spreminjajo, in ugotoviti povezave med njimi, opazovati, oblikovati domnevo in jo preizkusiti, kritično premisliti o posledicah. Vključene so tudi osnovne matematične predstave kot sorazmernost in po-



Slika 1. Porazdelitev študentov po doseženem uspehu (v točkah) v znanju mehanike (levo), elektrike in magnetizma (sredina) ter zmožnostjo naravoslovnega razmišljanja (desno). Krožci kažejo uspeh Američanov, kvadratki pa uspeh Kitajcev. (Profesor Lei Bao je ljubeznivo dovolil ponatis slik iz [1].)

dobnost. V tem primeru vprašanja pogosto nimajo določenega odgovora ali nimajo enega samega odgovora. Naravoslovnega razmišljanja v šoli ne poučujejo neposredno. Srednješolci naj bi ga usvojili posredno pri fiziki in drugih naravoslovnih predmetih. Zmožnost naravoslovnega razmišljanja je pomembna za poklicno pot v naravoslovju in tehniki. Pri mehaniki in elektriki je treba pokazati vsebinsko znanje, na primer, da je z vzrokom gibanja sorazmeren pospešek, ne hitrost, in da ima elektron negativni naboj. Pri naravoslovnem razmišljanju ni tako. Zato se pojavi nevarnost, da je to, kar naj bi bilo naravoslovno razmišljanje, v resnici povezano z vsakdanjimi izkušnjami in treznim razmišljanjem, kar včasih imenujejo „zdrava pamet“. Opisani poskus je podprl misel, da naravoslovno razmišljanje zahteva drugačne zmožnosti kot vsebinsko znanje.

Razmere pri nas niso niti tako enobarvne kot na Kitajskem niti tako pisane kot v ZDA. Zato spoznanj, ki so jih dobili za ameriške in kitajske srednješolce, ni mogoče naravnost prenesti k nam. Vseeno pa je o njih smiselno razmisliti. Po mnenju piscev članka se zdi za višje zmožnosti pri naravoslovnem razmišljanju pomembneje, kako učimo, kot kaj učimo [1]. V splošnem se naravoslovno razmišljanje zdi pomembno, ker tudi zunaj šole vzpodbuja razločevanje med tem, kaj je mogoče preizkusiti in kaj je le osebno mnenje. Zavesti o tem, da je preizkušene izjave smiselno in koristno razločevati od osebnega mnenja, pa je v družbi nasploh premalo.

Ali je vsebinsko znanje šibkeje povezano z zmožnostjo naravoslovnega razmišljanja, kot pričakujemo? Ali morda to pomeni, da z izboljšanjem vsebinskega znanja lahko le malo vplivamo na zmožnost naravoslovnega razmišljanja? Ali sega naravoslovno razmišljanje v globlje plasti mišljenja, ki so manj dostopne poučevanju? Ali ima smisel sicer pretirana misel, da

poučevanje fizike in naravoslovja lahko izboljša znanje o naravi, ne more pa spreobračati? Poučevalski poskusi so razkrili, da nekateri dijaki sploh ne usvojijo Newtonove mehanike. Na pamet se naučijo, kar je potrebno, da zadostijo obveznostim v šoli, ostanejo pa prepričani v „mehaniko“ s potezami Aristotelove slike. Da je vsebinsko znanje šibko povezano z zmožnostjo naravoslovnega razmišljanja, namiguje še spoznanje, da nekateri zelo uspešni raziskovalci v fiziki izvirajo iz različnih okolij in šolskih sistemov in tudi zaradi posebnih okoliščin, na primer vojne, v srednji šoli niso imeli dosti fizike. Ali je to povezano z ugotovitvami, da mladostnik že pri 10 do 14 letih izbere svoj pogled na naravoslovje? Pri tem je, kot kaže, šola manj pomembna kot okolje, posebno vlogo pa naj bi pri tem imela podoba o sebi, o lastnih zmožnostih, zahtevah in pričakovanjih.

Nekaj zgledov za vprašanja

FCI [2]

1. Od enako velikih kovinskih kroglic tehta ena dvakrat več kot druga. Kroglici spustimo z dvenadstropne stavbe v istem trenutku. Čas, ki ga porabita kroglici do tal, bo:

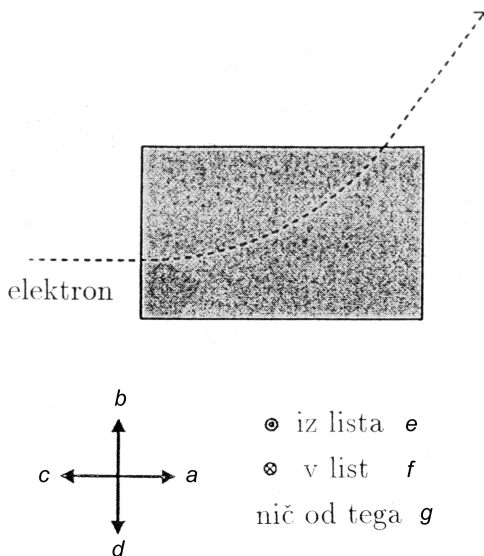
- (A) polovičen za težjo kroglico,
- (B) polovičen za lažjo kroglico,
- (C) približno enak za obe kroglici,
- (D) znatno krajši za težjo kroglico, ampak ne polovičen,
- (E) znatno krajši za lažjo kroglico, ampak ne polovičen.

17. Kamen, ki pada s strehe enonadstropne stavbe na tla:

- (A) doseže največjo hitrost kmalu po tem, ko ga spustimo, in pada potem s konstantno hitrostjo,
- (B) pada vse hitreje, predvsem zato, ker se povečuje gravitacijski privlak s približevanjem zemlji,
- (C) pada vse hitreje, ker deluje nanj konstantna gravitacijska sila,
- (D) pada zaradi notranje težnje vseh predmetov, da padajo proti zemlji,
- (E) pada zaradi kombinacije gravitacijske sile in tlaka, ki ga tišči navzdol.

BEMA [3]²

Izberi eno od mogočih smeri na sliki kot odgovor na vprašanje. Katera je mogoča smer (a–g) magnetnega polja na območju, na katerem je polje različno od nič?



LCTSR [4]

1. Denimo, da dobiš dve enaki krogli iz gline. Obe krogli tehtata enako. Eno od njiju sploščiš v tvorbo, podobno palačinki.

- (a) tvorba v obliki palačinke tehta več kot krogla,
- (b) oba kosa še vedno tehtata enako,
- (c) krogla tehta več od tvorbe v obliki palačinke.

Katera od naslednjih trditev je pravilna?

2. Ker

- (a) ima sploščena oblika večjo površino,
- (b) krogla v eni točki bolj tišči navzdol,
- (c) zgubi težo tisto, kar sploščimo,

²BEMA ni bil v celoti objavljen in na spletu ni neposredno dostopen, FCI pa je bil objavljen v celoti. V prvem primeru naj udeleženci poskusa ne bi vnaprej poznali vprašanj in odgovorov nanje – kot pri naši maturi. V drugem primeru pa obravnavanje vprašanj in odgovorov prispeva k učenju.

- (d) gline nismo dodali ali odvzeli,
- (e) pridobi težo tisto, kar sploščimo.

LITERATURA

- [1] L. Bao, T. Cai, K. Koenig, K. Fang, J. Han, J. Wang, Q. Liu, L. Ding, L. Cui, Y. Luo, Y. Wang, L. Li in N. Wu, *Learning and Scientific Reasoning*, Science **323** (2009), str. 586–587.
- [2] D. Hestenes, M. Wells in G. Swackhamer, *Force Concept Inventory*, Phys. Teacher **30** (1992), str. 141–158.
- [3] L. Ding, R. Chabay, B. Sherwood in R. Beichner, *Evaluating an electricity and magnetism assessment tool: Brief electricity and magnetism assessment*, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. **2** (2006) 1, 0101105.
- [4] A. E. Lawson, *Classroom scientific reasoning*, Revised edition, Arizona State University 2000.

NOVE KNJIGE

Lawrence Weinstein in John A. Adam: GUESSTIMATION – SOLVING THE WORLD’S PROBLEMS ON THE BACK OF A COCKTAIL NAPKIN, Princeton University Press, Princeton 2008, 320 strani.

Ena od najpomembnejših spretnosti, ki bi jih morali obvladati vsi študenti naravoslovja, tehnike in medicine, a tudi marsikatero druge vede, je hitra kvantitativna ocena kake količine ali pojava. Ta veščina je nujna za dobro opravljanje poklica. Velikost je namreč vselej pomembna, naj gre za maso planeta, za porabo goriva ali za zvišanje temperature pri bolniku. Knjiga *Guesstimation*, ki sta jo napisala Lawrence Weinstein in John A. Adam, je privlačen izbor rešenih vprašanj, v angleško govorečem svetu poznanih kot „back-of-the-envelope problems“ ter „Fermi problems“ (po Enricu Fermiju, ki so mu bili tovrstni premisleki v posebno veselje). Rešitev takega vprašanja terja predvsem tehten premislek, kaj lahko vpliva na

