

Izraz ali formula

dr. Mojca Čepič

Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta, Oddelek za fiziko in tehniko

Včasih se mi dozdeva, da sem mnogo preveč pikolovska, a v želji po sporočevalni preciznosti vseeno odpiram debato. Kako v posredovanju fizike poimenujemo povezave med fizikalnimi količinami, ki omogočajo napovedi izidov poskusov ali izračune posredno merjenih fizikalnih količin?

Najprej pomislimo na fiziko nekoliko splošneje. Kaj fizika pravzaprav je? Dogajanje v naravi poteka v skladu z nekimi zakonitostmi, ki jih udeleženci v teh procesih pravzaprav ne poznamo. Fiziki ta dogajanja opazujemo, ugotavljamo povezave med različnimi spremenljivkami in oblikujemo »pravila« oziroma »modele«, ki naj bi te povezave opisovali. Meni najljubša primerjava fizikovih muk je opis, ki ga je ponudil Richard Feynman v svojih slavnih predavanjih na Caltechu [1]. Predstavljajte si nekoga, ki opazuje šah, a ne pozna pravil igre. Ko dalj časa opazuje igralca, ugotovi, da oblika figur določa tudi, kako se figure gibljejo. Čim dlje opazuje, tem več podatkov o gibanju figur ima. Vedno bolj se mu dozdeva, da ve, kakšna pravila veljajo za gibanje figur. A vseeno ga rokada preseneti in mora k zbirki že odkritih pravil dodati novo pravilo. Na podoben način potekajo odkrivanja naravnih zakonitosti. Iz množice podatkov se izlušči neko »pravilo«, ki omogoči predvidevanja v podobnih okoliščinah.

»Pravila«

Fiziki se dobro zavedamo, da je treba ta »pravila« preverjati s poskusi. Uporabimo jih za napoved izidov, in če so napovedi skladne z izidi, menimo, da »pravilo« dobro opisuje dogajanje, poleg tega pa se zavedamo, da tudi tisoče s »pravilom« skladnih napovedi ne ponuja absolutne potrditve, da »pravilo« velja. Drugače je z neuspešnimi napovedmi. Pogosto je že ena napačna napoved dovolj, da »pravilo« »pade« in ne velja več.

»Pravila«, ki so bila mnogokrat preverjena in omogočajo pomembne napovedi in obravnave pojavov, si sčasoma lahko prislužijo bolj »pomembna« poimenovanja, npr. Newtonovi zakoni ali Einsteinova teorija. Zakon pove, kakšne povezave veljajo, teorija pa poleg tega razloži še vzroke zanje.

V vsakdanjiku je drugače. Ljudje smo navajeni na pravne zakone, ki ravnanja v različnih okoliščinah predpisujejo in zapovedujejo. Če ne ravnamo v skladu z zakoni, nas doleti kazen, če nas ujamejo, seveda. Laiki pogosto prenesejo podoben način razmišljanja na zakone, s katerimi opisujemo pojave v naravi. Tako pogosto slišimo, da dogajanje v naravi določajo naravni zakoni, da dogajanja v naravi ubogajo ali sledijo zakonom. Pomen mnogokrat potrjenih fizikalnih modelov se spremeni v zakon, ki si ga narava ne upa več kršiti.

Še slabše se godi teoriji. V naravoslovju je teorija razlaga pojava, ki je dobro preverjena, in so napovedi, ki temeljijo na njej, zanesljive v smislu, kot smo razpravljali zgoraj. V vsakdanji govorici pa ima »teorija« pravzaprav slabšalni pomen. Javnost jo obravnava kot nekaj, kar je treba še preveriti, in zanjo še zdaleč ne velja, da se bodo napovedi uresničile. Beseda »teorija« v laični govorici ima pravzaprav enak pomen kot v besednjaku fizika »(utemeljena) napoved«. Zakaj je »utemeljena« v oklepaju? Ko fizik napoveduje izide poskusov, navadno preveri kupe podatkov, razmisli o povezavah med različnimi fizikalnimi količinami, o vplivih različnih drugih okoliščin in podobnem, preden napove izid poskusa. »Teorija« v javnosti pa je bolj povezana z napovedjo, ko se govorcu nekaj dozdeva, to dozdevanje pa je treba še temeljito premisliti in preveriti, kar pa še ni bilo storjeno.

Hipoteza

Najslabše pa se dogaja »hipotezi«. Čeprav je hipoteza močno doma v raziskavah, jo fiziki cenimo nekoliko manj. Običajno v raziskavah oblikujemo napovedi izidov poskusov in jih tako tudi imenujemo. Tudi v znanostih je »hipoteza« obravnavana različno.

V družboslovnih znanostih lahko hipotezo potrdimo ali ovržemo z določenimi postopki. Na nekem vzorcu lahko npr. ugotovimo, da imajo moški črne lase, ženske pa rdeče. Če je bila za ta vzorec postavljena hipoteza, da imajo moški drugačne barve lase kot ženske, je hipoteza za ta vzorec potrjena. Seveda pa je njena splošna veljavnost vprašljiva. A tudi za prenos dognanj, ki se nanašajo na neko omejeno skupino, v večjo skupino oziroma na celotno populacijo, veljajo pravila, za katera pa lahko ugotovimo/izračunamo tudi verjetnosti, da bodo tako prenesene trditve tudi veljale.

V naravoslovnih znanostih ima hipoteza enake lastnosti kot zakoni, teorije, modeli in napovedi. Ne moremo je dokazati ali potrditi, lahko je le v skladu z izidi poskusov. Ne moremo pa trditi, da potrjena hipoteza nujno pomeni tudi absolutno veljavnost modela, iz katerega je hipoteza izhajala.

Stakim zavedanjem oziroma odnosom do pogosto uporabljenih pojmov v fiziki v šolo pridejo tudi učenci, zato je še kako pomembno, da jim privzgojimo »znanstveni dvom«. Prav tako je pomembno, kako se pogovarjamo s starši, kadar je to potrebno. Tudi oni imajo najpogosteje enak odnos do teh pojmov in pogosto menijo, da poznavanje in uboganje zakonov že zadošča za uspeh pri predmetu.

Matematični zapisi povezav med fizikalnimi količinami

Vrnimo se k naslovni temi članka. V fiziki nam matematični zapisi povezav med fizikalnimi količinami omogočajo analizo eksperimentalnih rezultatov ali njihove napovedi. Ker je fizika eksperimentalna znanost, je ta del najpomembnejši in si ga želimo ozaveščati. Računanje najrazličnejših nalog, ki so vsebinsko poleg tega še oddaljene od vsakdanjika, npr. računanje sil, ki jih povzroča tlak na izbrano površino v taki in taki globini, brez opisa razloga, zakaj bi to želeli vedeti in kaj nam bo poznavanje rezultata lahko omogočilo, ne vodi k temu.

Kako pa take povezave med poučevanjem imenujemo? Srečamo lahko različna poimenovanja: definicija, izraz, zveza, odvisnost, enačba, formula, obrazec in morda še kaj, česar se ta trenutek ne morem spomniti.

Poglejmo si, v kakšnih okoliščinah naj bi posamezno poimenovanje, seveda po mojem mnenju, uporabljali.

Definicija: V abstraktnem matematičnem jeziku zapisana povezava med fizikalnimi količinami, ki definira novo fizikalno količino.

Primer: Tlak p je razmerje med komponento pravokotno na izbrano površino rezultante vseh sil $F_{R\perp}$ in ploščino

obravnavane površine S . To v matematičnem jeziku zapišemo mnogo krajše kot

$$p = \frac{F_{R\perp}}{S}. \quad (1)$$

Tako je nova količina *definirana*.

Izraz: Simbolni matematični zapis.

Primer: Izraz imenujemo zapis na desni strani definicije (1). Npr. definicijo tlaka podaja izraz.

Izraz lahko uporabimo tudi za opisovanje zvez ali odvisnosti, odvisno od okoliščin.

Zveza: Tehnično gledano je matematični zapis zveze ali povezave enačba. A vendar enačenje zveze in enačbe lahko včasih pomensko zavaja, saj je zveze mogoče ubesediti tudi takrat, kadar ne moremo dogajanja opisati z izrazom. Povezave med neodvisnimi in odvisnimi spremenljivkami so lahko kvalitativne, semikvantitativne in kvantitativne. Kvalitativna zveza zgolj ugotavlja, da sta dve spremenljivki povezani in da se kot posledica spremembe ene spremenljivke spremeni tudi druga, oziroma obratno, da se je zaradi spremembe opazovane posledice moral spremeniti tudi vzrok. Semikvantitativna zveza pa pove več in opiše tudi soodvisnost: če se poveča količina, ki opisuje vzrok, se poveča/zmanjša tudi količina, ki opisuje posledico. Semikvantitativne zveze opisujemo v slovenščini z obliko »čim ... tem ...« ter z uporabo primernikov. Ne uporabljamo oblik »tem ... tem ...« oziroma stavkov brez teh dveh besed.

Primer:

Čim večja je tedenska količina padavin, tem vlažnejša je prst.

Čim večja je vlažnost zraka, tem nižji je zračni tlak.

V prvem primeru sploh ne poznamo izraza, ki bi to zvezo opisal, saj je vlažnost odvisna še od tega, kako jo merimo (npr. kolikšno je razmerje med suho in vlažno prstjo, če merimo z merilnikom vlažnosti ali kako drugače), vrste prsti oziroma njene sposobnosti zadrževanja vlage, drugih okoliščin, kot so temperature in število sončnih ur v času, ko ni deževalo ... V drugem primeru izraz poznamo, a ni zelo zelo enostaven in ga v šoli običajno ne obravnavamo.

Obe gornji trditvi tudi nista ubesedeni premo ali obratno sorazmerni soodvisnosti. Treba ju je brati dobesedno: če se poveča ena količina, se poveča tudi druga, a lahko se prva količina poveča dvakrat, druga pa ne. Takšna so npr. vsa eksponentna približevanja končnim vrednostim, med take zveze pa sodijo tudi vse nelinearne odvisnosti, pa tudi linearne, če je njihova vrednost ob ničelni vrednosti vzroka različna od nič, npr. dolžina vzmeti, ki se z raztegovanjem povečuje. Sorazmernost je učencem privzgojena, v nekem smislu pa je tudi naravna, saj je v skladu z vsakdanjimi izkušnjami. Premo sorazmerje srečujemo pogosto, npr. pri vpeljavi tlaka velja ... čim večja je obremenitev enake površine, tem večji je tlak, ali obratno ... čim manjša je ploskev, ki je obremenjena, tem večji je tlak. Ti soodvisnosti sta premo in obratno sorazmerje

in še mnogo jih lahko najdemo med zapisi fizikalnih zakonitosti. A obratno ne velja in je zato treba zveze »čim ... tem ...« obravnavati širše in s premislekom.

Odvisnost: Besedo sem že nekajkrat uporabila v gornjih opisih, a vseeno jo omenimo še posebej. Odvisnosti ene količine od druge so običajno ubesedene. Odvisnost lahko zapišemo tudi z matematičnim izrazom, še več, če matematični izraz izpeljemo, lahko iz njega sklepamo na semikvantitativne odvisnosti, ki jih pričakujemo v eksperimentalnih rezultatih. Taka odvisnost je kvantitativna in omogoča tudi kvantitativna predvidevanja. Semikvantitativno ubesedene odvisnosti so pogosto začetek zapisov kvantitativnih povezav v oblikovanju teoretičnih modelov. V takih primerih pogosto eksperimentalne rezultate na različne načine obdelamo, npr. analiziramo raje spremembe namesto vrednosti meritev, v pričakovanju eksponentne odvisnosti grafično raje predstavimo logaritmirane vrednosti itd. in upamo, da bo tako obdelane rezultate mogoče opisati s preprostim matematičnim izrazom za povezavo med merjenimi količinami.

Enačba: Nazadnje se med priporočenimi izrazi posvetimo še enačbi. Enačba pomeni enakost, po matematično navadno leve in desne strani. Enačbe običajno imenujemo izraze, ki predstavljajo začetni nastavek računskega problema, enakosti med izrazi na obeh straneh enačbe med računskim postopkom samim in tudi rezultat izpeljave oziroma rešitev pri simboličnih matematičnih zapisih. Enačba običajno opisuje zgodbo nekega fizikalnega problema v zelo zelo strnjeni obliki.

Primer: Svinčnik z ostro konico s površino $0,1 \text{ mm}^2$ pritisemo med kazalca obeh rok. S kolikšno silo lahko pritismo na topo stran svinčnika, če v prstu začutimo bolečino pri tlaku 10 bar (podatek je ocenjen)?

Pri ugotavljanju sile moramo enačiti dvoje, tlak, ki pod ostro konico nastane zaradi sile, in podatek iz popolnoma drugega vira, npr. iz medicinske revije, pri katerem tlaku se pojavi bolečina. Zapišemo torej enačbo, ker enačimo dva (različna) tlaka.

Poimenovanja iz zgornje debate pri pouku uporabljamo v različnih okoliščinah. Smiselno je, da v računskih nalogah opozarjamo na celovito zgodbo o dogajanju, ki je vzrok za »enačbo«. Matematični izrazi so pač ena od oblik fizikalne govorice in čim boljše bodo učenci usvojili tudi njegovo sporočilno vrednost, tem lažje bodo sledili razpravam.

Sedaj se pa lotimo še zadnjih dveh besed, »formula« in »obrazec«, za kateri pa menim, da v fiziki, še posebej v poučevanju, nimata prostora in se jima je treba zavestno izogibati.

Formula: Besedo uporabljamo v kemiji in predstavlja predpis, kako simbolično zapisati spojino, vrste elementov in število atomov, ki sestavljajo molekulo te spojine. Beseda formula hitro privzame pomen predpisa tudi v fiziki, npr. silo izračunamo po formuli, to nam pove formula, tu nam pomaga formula ... Z uporabo besed »formula« še poudarjamo vtis, da narava uboga zakone, zapisane s formulami. Zato se ugriznimo v jezik in jo zamenjajmo z neopredeljenima »zvezo« ali »izrazom«.

Obrazec: Obrazec je bolj doma v matematiki. Obrazci se uporabljajo kot pripomoček za različne izračune, npr. trigonometrični obrazci, obrazci za izračune prostornin in površin teles itd. V pogovoru s kolegi matematiki so mi enoznačno trdili, da ne govorijo o obrazcih in jih le redko uporabljajo. Razmislek o obrazcih pravi naslednje. Matematika je logična struktura. Če izpeljemo izraz za npr. površino kvadra, bo ta izpeljani izraz veljal za vse kvadre in ponovna izpeljava ne bo več potrebna. Lahko si privoščimo obrazec za bližnjico.

V fiziki je drugače. Zveze, odvisnosti, definicije, izrazi in enačbe imajo v vsakem problemu drugačen pomen, opisujejo namreč zgodbo obravnavanega problema. Zato ni vnaprej določenega predpisa za pot do rešitve problema, temveč je o problemu treba razmisliti in se odločiti, s katerim modelom, ki ga opisujejo zveze ali izrazi, se bomo lotili reševanja problema. Neredko so poti do rešitev različne in jih je mogoče opisati z drugačnim zaporedjem v razmisleku.

Tudi beseda obrazec ima določen zapovedovalni ton oziroma jo je mogoče razumeti kot predpis. V fiziki bi se predpisovanju brez razumevanja zgodbe želeli izogibati. Če k temu pripomoremo z izogibanjem besedi »obrazec« oziroma z njeno zamenjavo z »izrazom« ali »zvezo«, kot je bilo predlagano že za »formulo«, smo morda naredili majhen korak k dojetju fizike in njenih lepot.

Naj še zaključim. V pričujočem razmišljanju me je zaneslo v besednjak fizike in njegovo dojetje v javnosti. Ker je v predstavah fizikalnih dognanj javnosti pogosto prisotna velika mera skepse s strani prejemnikov informacij, je morda dobro, da tudi fiziki malo razmislimo, ali ne govorimo v veter zaradi drugačnega razumevanja besed, ki jih uporabljamo. Pri tem se ne postavimo na stališče, kdo ima prav in kdo ne, temveč se vprašajmo, kako bi isto sporočilo posredovali z rabo drugih bolj razumljenih besed. Majhen korak lahko morda naredimo že pri pouku z izgonom »formule« in »obrazca«, saj imajo druge besede, uporabljene za isti namen, drugačen sporočilni poudarek.

Literatura

- [1] R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands (1970). *The Feynman Lectures on Physics*, 1. knjiga, Pearson P. T. R.; 1. izdaja.