

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 20 (1992/1993)

Številka 3

Strani 186-190

Janez Strnad:

ZRCALCE, ZRCALCE NA STENI...

Ključne besede: fizika, optika.

Elektronska verzija:

<http://www.presek.si/20/1137-Strnad-zrcalce.pdf>

© 1992 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

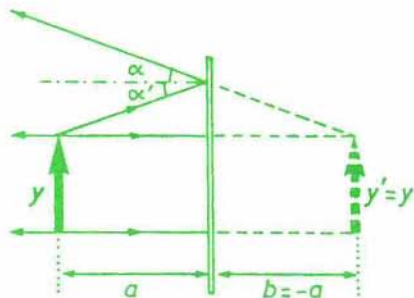
Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

ZRCALCE, ZRCALCE NA STENI...

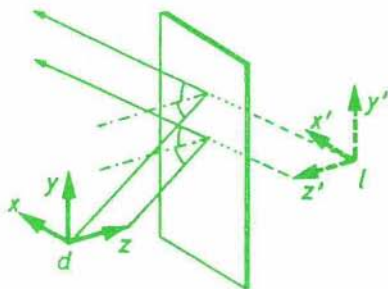
Od vseh optičnih naprav najpogosteje uporabljamo *ravno zrcalo*. Tako preprosto je, da mu učbeniki fizike ne posvečajo veliko pozornosti. Sliko je mogoče narisati zgolj z odbojnim zakonom. Odbojni kot je enak vpadnemu. Vpadni in odbiti žarek ter vpadna pravokotnica ležijo v isti ravnini. Pred zrcalo postavimo usmerjeno daljico, ki je vzporedna z zrcalom. Ugotovimo, da je njena slika *pokončna*, ker puščici slike in predmeta kažeta v isto smer; *enako velika*, ker je slika enako velika kot predmet, in *navidezna*, ker se v točki slike sekajo podaljški žarkov iz točke predmeta (slika 1). Navidezno sliko vidimo z očesom, ne moremo pa je opaziti na zaslonu, s katerim prestrežemo svetlobo.

Nekateri učbeniki omenjajo, da sta leva in desna stran na sliki zamenjani. Temu brez razmišljanja pritrdimo. Ali ni slika desne roke v zrcalu leva roka? A zakaj na sliki ni zamenjano zgoraj in spodaj? Ali zato, ker imamo levo in desno oko in ne spodnje in zgornje? A kako to, da se zdita desna in leva stran zamenjani, ko opazujemo sliko z enim očesom? Vprašanja kažejo, da zadeva le ni tako preprosta. Raziščimo jo nekoliko podrobneje.

Izhajamo iz odbojnega zakona, ki je zrasel iz izkušenj in ki ga je mogoče tudi izpeljati, tako da mu povsem zaupamo. Predmetu damo tri razsežnosti: izberemo tri med seboj pravokotne robove kocke. Vsak izmed njih je daljica in se preslika v daljico. Obe daljici x in y , ki sta vzporedni z zrcalom, sta enakopravni in njuni sliki x' in y' sta pokončni. Tudi daljico z , ki je pravokotna na zrcalo, preslikamo tako, da preslikamo njeni krajišči. A slika z' je *obrtnjena* (slika 2). Predmeta ne moremo prevesti v njegovo sliko v zrcalu s sukanjem



Slika 1. Slika vzporedne daljice pri odboju na ravnem zrcalu. Navidezne slike in podaljške žarkov rišemo črtkano.



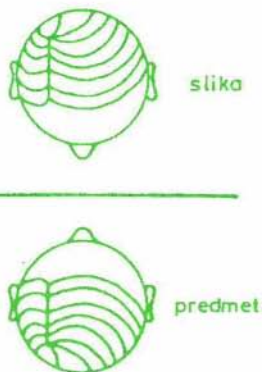
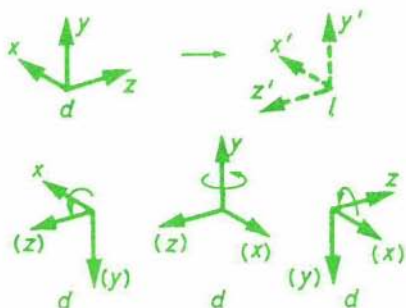
Slika 2. Robovi kocke in njihova slika v zrcalu.

za 180° ne okoli osi x ne okoli osi y ne okoli osi z (slika 3). V ravnem zrcalu ne vidimo zasukanega predmeta, ampak popačen predmet. Če se opazuje v zrcalu nekdo s prečo na levi, je tudi na sliki v zrcalu preča na levi, tako da se slika ne sklada z zasukano glavo (slika 4). Tega se je zavedal pesnik John Updike, ki ga je nekajkrat pritegnila fizika. Njegovo pesem *Zrcalo* navedimo v fizikalni prepesnitvi ("a kind of apish error posed in fearful symmetry" nekoliko omilimo):

V zrcalu
ne vidiš sebe,
popačenost simetrična
zre v tebe.

Izjava o tem, da sta na sliki v zrcalu zamenjani desna in leva stran, se ne sklada s tem, kar smo ugotovili. Zakaj mislimo, da zrcalo zamenja desno in levo stran? Zakaj se *zdita* leva in desna stran slike zamenjani? Tega ne more pojasniti samo fizika. Razlaga je povezana s posebnostmi naših možganov, ki obdelajo to, kar zaznajo oči. Ploskovno sliko, ki jo da zrcalo, primerjajo s prejšnjimi izkušnjami. Zasukati se moramo za 180° okoli osi, ki je vzporedna z zrcalom, če želimo videti predmet.

Slika 3. Robov kocke ne moremo prevesti v njihovo sliko v zrcalu s sukanjem. Robovi x, y, z sestavljajo spočetka in po zasukih desni koordinatni sistem (d), robovi slike x', y', z' pa levega (l).

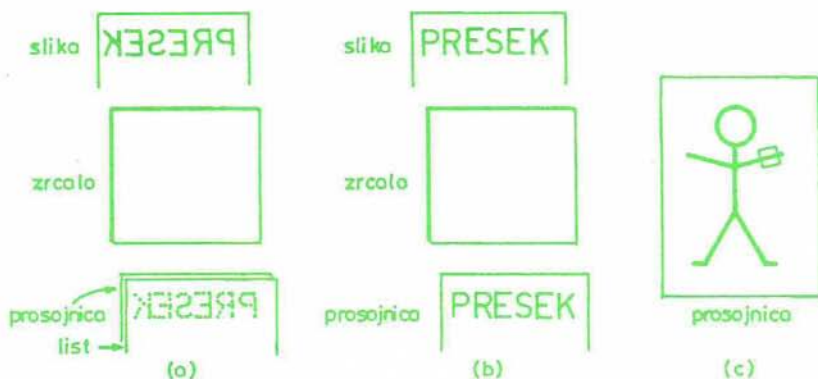


Slika 4. Glava s prečo in njena slika v zrcalu. Risba je vzeta iz članka E.C.Horsfielda *Perception and the lateral inversion fallacy*, *European Journal of Physics* 12 (1991) 207. Članku je posvetil urednik John Maddox uvodnik *The semantics of plane-mirror inversion* v *Nature* 353 (1991) 791.

Na državni univerzi v San Diegu v ZDA znajo prepričati študente, da zrcalo ne zamenja leve in desne strani. O tem so poročali I. Galili, F. Goldberg in S. Bendall v članku *Some reflections on plan mirrors and images* (Nekaj razmišljanj o ravnih zrcalnih in slikah), *The Physics Teacher* **30** (1990) 70.

Na prosojnico napišimo PRESEK in jo pripnimo na list papirja. Najprej obrnimo prosojnico proti študentom in nato proti zrcalu. Študenti bodo rekli, da zrcalo zamenja levo in desno stran (slika 5a). Nato obrnimo prosojnico zopet proti študentom in odstranimo papir. Zdaj se napis PRESEK sklada s svojo sliko (slika 5b). Prejšnjo sliko dobimo, ko zasučemo prosojnico za 180° okoli navpične osi.

Nato obrnemo proti zrcalu dlan desne roke. Zrcalna slika ustreza dlani leve roke. Kako to, ko pa zrcalo ne zamenja leve in desne strani? Na prosojnico narišemo možiča z veliko uro na eni roki (slika 5c). Ali ima možič uro na desni ali na levi? Odvisno od tega, ali gleda nas ali zrcalo. Naj gleda zrcalo, ko ima uro na levi roki. Zrcalna slika ima uro na desni, čeprav je to seveda še vedo možičeva leva roka. Ti poskusi prepričajo študente, da spremeni zrcalo smer, ki je pravokotna na zrcalo, kot smo ugotovili. Pri taki preslikavi pa se spremeni *ročnost*: leva roka preide v desno, a ostane leva roka možiča. Besedi levo in desno uporabljamo v dveh pomenih. Najprej z njima opišemo lego glede na opazovalca in nato lego dela predmeta, to je uro, glede na druge dele predmeta.



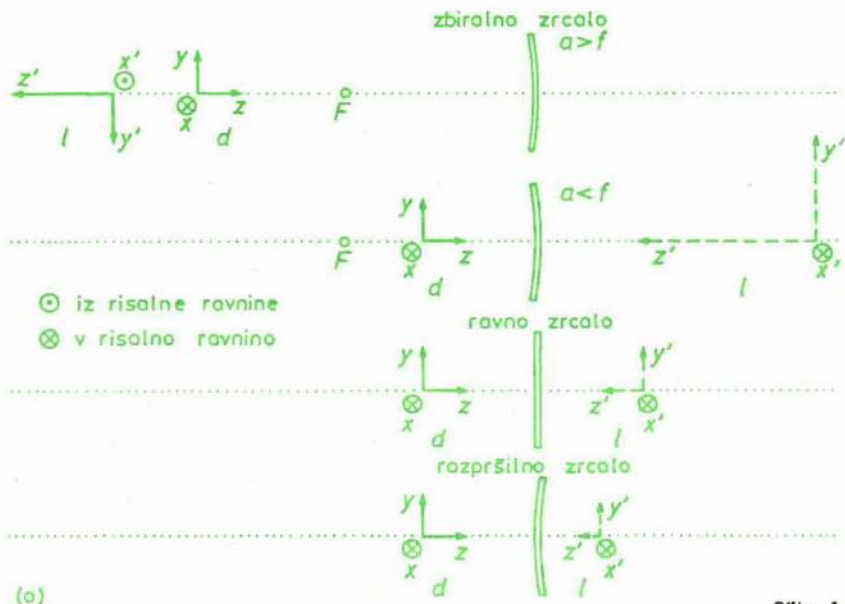
Slika 5. Opazovalec gleda v zrcalu napis PRESEK (a), opazovalec gleda v zrcalu napis PRESEK na prosojnici (b) in možič z uro (c).

Matematik odpravi ravno zrcalo na kratko. Zrcaljenje (na eni osi ali na treh oseh) je liha preslikava, ki zamenja levo in desno, zasuk za 180° pa soda, ki ne zamenja levo in desno. Sestava obeh preslikav je liha preslikava. Pri tem zadeva levo in desno (po fizikovo) zgolj lego delov predmeta glede na druge dele.

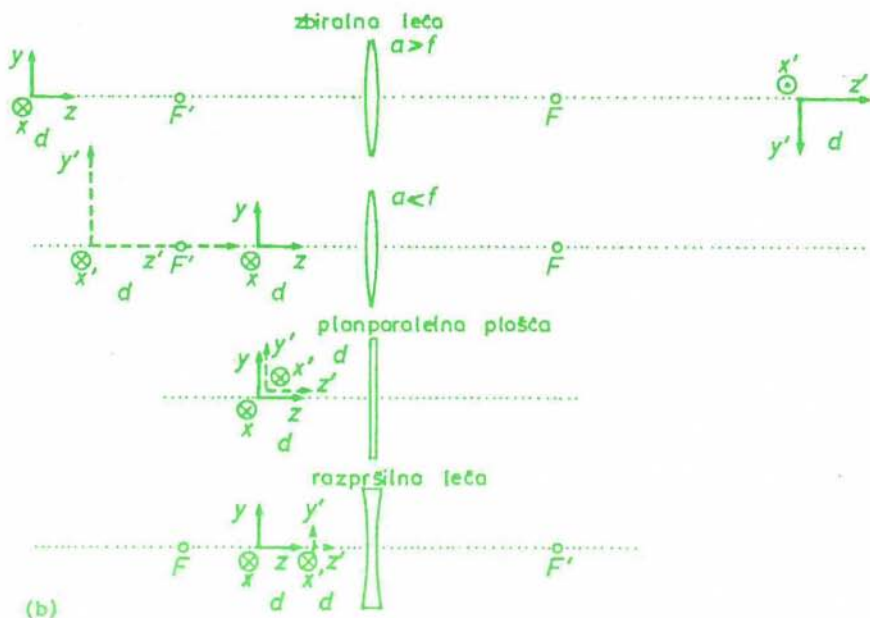
Mislím, da sloni odgovor [na vprašanje, zakaj se zdi levo in desno na zrcalni sliki zamenjano] na dveh prepletenih ugotovitvah: (1) Zrcalo prevede desno v levo, kakor opiše članek, s tem, da spremeni smer ene izmed treh pravokotnih osi glede na drugi dve. Imamo dele telesa kot roke, noge, ušesa z lastnostjo ročnosti, ki jo zrcalo zamenja. (2) Imamo simetrijsko ravnino in levo in desno sta določeni glede na naša dva dela. Mi, ne zrcalo, imamo odlikovano smer. (Za telesa brez take simetrije je vprašanje, ali zrcalo zamenja levo in desno, brez pomena ali kvečjemu semantično [semantika je nauk o pomenu besed]. Na primer, zrcalno sliko kompasa lahko opišemo ali zasukano okoli smeri sever-jug ali okoli smeri vzhod-zahod, o levem in desnem ne razpravljamo. Splošneje lahko rečemo, da zaporedje točk iz smeri urnega kazalca preide v smer nasproti urnega kazalca.

Th.H.Ansbacher, *Left-right semantics*, *The Physics Teacher* **31** (1992) 70

Do podobnega sklepa kot pri ravnem zrcalu pridemo tudi pri ukrivljenih zrcalih. Pri lečah, pri katerih ni odboja, je drugače (slika 6). Tudi sicer je koristno upoštevati trirazsežne predmete, ker navadno obravnavamo samo slike daljic, ki so pravokotne na optično os.



Slika 6a.



Slika 6. Slike robov kocke pri zbiralnem, ravnem in razpršilnem zrcalu (slika (a) na prejšnji strani) in pri zbiralni leči, planparalelni ploščici in razpršilni leči (b). Pri zrcalih je ravno zrcalo na prehodu od zbiralnih k razpršilnim, pri tankih lečah prevzame to vlogo planparalelna ploščica. Razdalja slike in predmeta a in b sta povezani z enačbo $b = a / [(a/f) - 1]$, v kateri je f goriščna razdalja. Za višino slike velja $y' = y / [(a/f) - 1]$, če je y višina predmeta (pravokotna na optično os). Dolžino slike v smeri optične osi dobimo kot $\Delta b = (a + \Delta a) / [(a + \Delta a)/f - 1] - a / [(a/f) - 1]$. Za zbiralno zrcalo in lečo je $f > 0$, za ravno zrcalo in planparalelno ploščico $1/f = 0$ in za razpršilno zrcalo in lečo $f < 0$. Pri zrcalu ustreza pozitivna razdalja b obrnjeni pravi sliki na isti strani zrcala kot predmet, negativna pa pokončni navidezni sliki na nasprotni strani. Pri leči ustreza pozitivna razdalja b obrnjeni pravi sliki na nasprotni strani zrcala kot predmet in negativna pokončni navidezni sliki na isti strani.

Iz vsega tega izhajajo še pomembna splošna ugotovitve. Naravo spoznavamo prek čutnih zaznav, ki jim, kot je znano, ne smemo preveč zaupati. Ravno zrcalo nam je pokazalo, da ne smemo vedno zaupati niti prepričanju na osnovi zaznav, ki smo jih prej vložili v spomin. Pri spoznavanju narave si ne pomagamo samo s poskusi in računanjem, ampak tudi z jezikom in logiko, v katero so vpletene tudi nazorne predstave in prepričanje.