

Senca in polsenca, redka gosta v višjih razredih

dr. Mojca Čepič

Oddelek za fiziko in tehniko, Pedagoška fakulteta Univerze v Ljubljani

V prvem prispevku o besednih in drugih predstavitev v šoli smo se ob »letu svetlobe« posvetili svetlobi. Ker pa sta svetloba in senca nerazdružljivi prijateljici ali nasprotnici, odvisno od obravnave ali osebnega nagnjenja, je smiselno, da nekaj razprave posvetimo tudi senci.

V učnih načrtih se s senco učenci srečujejo na razredni stopnji. Kasneje se s senco srečujejo še pri obravnavi bližnjega vesolja in obeh mrkov – Sončevega in Luninega, ob obravnavi obeh mrkov pa v učbenikih pri razlagah najdemo tudi omembo polsenca. Senca sama je v vseh obdobjih dokaj površno obravnavana. Zakaj, ne vem, a naivno se zdi, da imamo prebivalci Zemlje s senco toliko izkušenj, da se je pisec učbenikov na vseh stopnjah senca zdela nekaj, kar vsak dovolj izkustveno pozna in zato zanjo ne potrebujemo razlag.

V tem prispevku se bomo ukvarjali s senco in polsenco in z vsem, kar je povezano z njima. Poskusimo najprej odgovoriti na vprašanje, kaj imenujemo v fiziki »senca«? Naša razprava naj bo omejena na vidno svetlobo, čeprav govorimo o senci pogosto tudi v drugih okoliščinah, povezanih z valovanji. V tem drugem primeru se senca navadno nanaša na območja, kjer so valovanja oziroma signali, ki jih valovanja nosijo, šibkejši in manj razločni ali pa jih sploh ni.

Navedimo najprej nekaj trditev, ki jih najdemo v različnih strokovnih publikacijah, a žal tudi v učbenikih:

- Senca se pojavi na zaslonu za predmetom kot področje, ki NI osvetljeno.
- Senca ima obliko predmeta.
- Prozorni predmeti nimajo senc.

Morda bi se našlo še kaj podobnega. Bralci, prosim, sporočite.

Senca je pojav, ki je povezan z *dvema akterjema* – s *svetilom in s predmetom*, za katerim nastane senca. V vsakdanjem življenju se le redko srečamo z okolišči-

nami, v katerih prostor osvetljuje eno samo svetilo. Zato se običajno ne srečujemo s sencami, za katere bi veljalo, da gre za področja, ki NISO osvetljena. Senca je torej področje, ki NI NEPOSREDNO osvetljeno s svetlobo opazovanega svetila – torej: senca predmeta zaradi cestne svetilke ali senca predmeta zaradi Sonca. Svetloba iz natančno opredeljenega svetila se bodisi absorbira v predmetu, katerega senco opazujemo, bodisi se od njega odbije. Zato je področje za predmetom manj osvetljeno. Na ta način je senca opredeljena s *pasivnim* opazovanjem. Opazovalec opazuje osvetljenost zaslona in opredeli del zaslona, kjer senca obstaja, in ostale dele zaslona, kjer sence ni. A prisotnost zaslona ne opredeljuje sence. Na zaslonu senco le posredno zaznamo oziroma vidimo, da je del zaslona šibkeje osvetljen. Zato je mnogo ustrežneje govoriti, da je senca del prostora za predmetom, ki ga svetloba svetila ne osvetljuje neposredno, in da gre za pojav, ki ga moramo obravnavati v treh dimenzijah. Na zaslonih opazujemo le presek osenčenega prostora z ravnino zaslona in oblika sence se z orientacijo zaslona običajno spreminja. Opazovanje sence pa je lahko tudi *aktivno*. Opazovalec iz celotnega področja sence ne more videti svetila neposredno. Z besedo »opazovalec« poimenujemo opazovalčeve oči, ki zaznavajo okolico, kamero, fotoaparati in podobno.

Ker so v prostorih najpogosteje še druga svetila ali pa se svetloba svetila, ki je vzrok za nastanek senc, odbija od sten in od ostalih predmetov, skoraj nikoli ne naletimo na »popolno« senco oziroma na prostor, ki NI osvetljen. Senca je zato področje, v katerem je svetlobe manj. Še vedno pa lahko v senci razpoznamo predmete, beremo, pišemo itd. Kaj je lepšega, kot poleti v ležalni mreži v senci pod drevesom brati dobro in/ali napeto knjigo?

Trditev (a) torej napeljuje k napačnemu sklepu, da je senca področje, ki ni osvetljeno. Tako izkušnja popolne sence je zelo težko zagotoviti, in prav zaradi pomanjkanja izkušenj s popolno senco so imeli težave tudi prvi obiskovalci Lune [1]. Šele, ko so že

stopili v senco lunarnega modula, so ugotovili, da za gibanje po senci potrebujejo svetilko. Zaradi odsotnosti atmosfere, v kateri se svetloba siplje, in odprtega ravnega prostora je bila v senci »popolna« tema.

Tudi trditev (b), da ima senca obliko predmeta, ni pravilna. Tudi če se omejimo na preseke zaslonov s prostorsko senco, sta oblika in velikost sence odvisni od lege in orientacije zaslona glede na svetilo in predmet, ki meče senco. Z načrtno pokrčenimi prsti lahko na zidu »ustvarimo« senco »psa« ali česa drugega (slika 1). Na prevari oblike in velikosti temeljijo senčne lutke, na spletu [2] pa najdemo številne predloge za izdelavo predmetov, katerih sence, če so osvetljeni iz določene smeri, spominjajo na to ali ono, samo na predmet, kot je videti neposredno, ne.

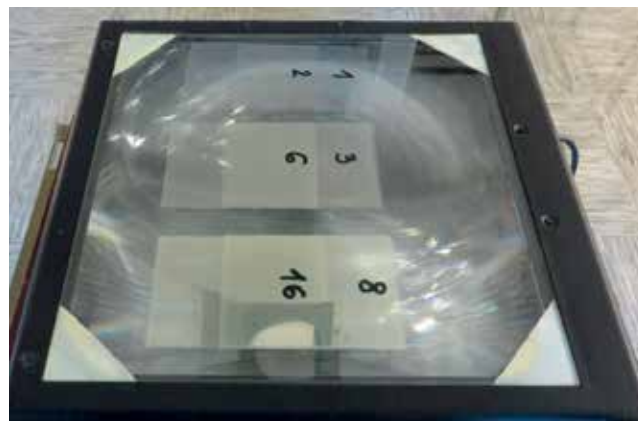


Slika 1: Senca rok je podobna senci psa, če pravilno pokrčimo prste.

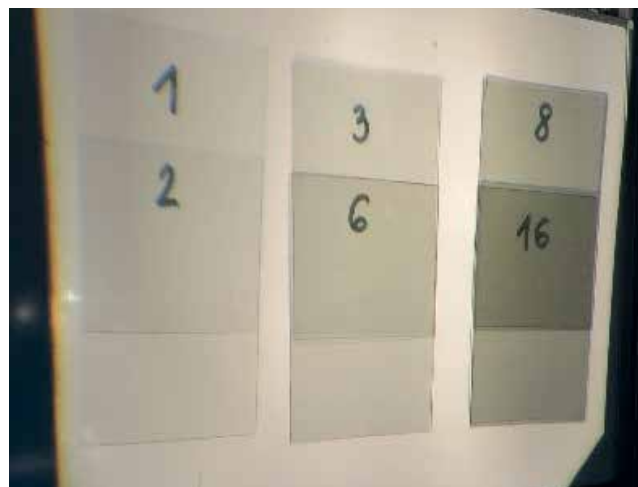
Razmislimo še o izjavi (c). Ali za prozornimi predmeti nastane senca ali ne? Če se strinjamo z opredelitvijo, da je senca prostor, v katerega svetloba iz svetila zaradi določenega predmeta NE pada neposredno, potem lahko zaključimo, da je izjava (c) ustrezna. A vendar, če prozoren predmet del svetlobe absorbira in del odbije, je intenziteta neposredne svetlobe iz svetila za predmetom manjša. Na zaslonu zato opazimo obris prozornega predmeta, ki ima vse značilnosti sence, le kontrast med osvetljenim in manj osvetljenim delom zaslona, kjer je »senca prozornega predmeta«, je manjši. Ali to področje potem lahko imenujemo senca?

Dokler so na šolah še na voljo grafoskopi, izvedimo naslednji poskus.¹ Na grafoskop položimo prosojnico velikosti A6 ali A7. Ali lahko nežne obrise prosojnice na zaslonu imenujemo senca? Nato na prvo prosojnico položimo še eno enako prosojnico, in še eno, in še eno (slika 2a). Koliko prosojnic

moramo položiti, da področje na zaslonu z manjšo intenziteto svetlobe z grafoskopa imenujemo senca (slika 2b)? Pet, deset, dvajset, sto? Zelo težko bomo prepričali učence, da področja za šestnajstimi prosojnicami ne moremo imenovati senca. A vsaj del svetlobe s svetila pada na to področje neposredno. Zelo težko se bomo tudi dogovorili, kdaj je področje dovolj »temno«, da ga že imenujemo senca. Definicija sence, kot smo jo predlagali prej, za prozorne predmete ni popolnoma ustrezna, zato jo je za prozorna telesa treba dopolniti. Kako? Morda lahko predlagamo poimenovanje delna senca? Predlagam, da sklenemo dogovor: *delna senca* je področje, ki ga opazovano svetilo slabše osvetljuje skozi prozoren predmet, ker se del svetlobe absorbira in odbije od tega predmeta.



Slika 2 a) Na grafoskop smo položili 1, 2, 3, 6, 8 in 16 plasti navadnih prosojnic velikosti A7.



b) Na grafoskopski projekciji lahko vidimo že eno samo plast prosojnic. Za področje, ki je osvetljeno skozi 16 plasti, se bomo težko izognili poimenovanju, povezanemu s senco.

¹ Grafoskopi, še posebej tisti z osvetlitvijo od spodaj, iz učilnic izginjajo. Grafoskopi so odlični za številne poskuse v optiki pa tudi pri drugih vsebinah. Zato, fiziki, ne pustite odpisati starih grafoskopov, shranite jih med svoje zaloge učil. Proizvajalci učil že prodajajo stare tipe grafoskopov po mnogo višjih cenah kot nekoč.

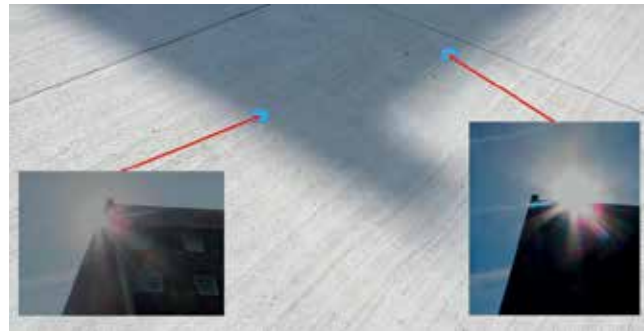
Senco pa lahko opazujemo tudi aktivno. Področje sence je tam, kjer opazovalec (oko) ali fotoaparater svetlobe iz svetila ne zazna neposredno. Področje delne sence pa je tam, kjer opazovalec ali fotoaparater zazna manj neposredne svetlobe iz svetila, ker se je delno absorbirala in delno odbila.

Dokler opazujemo senco in delno senco, razlika med pasivno in aktivno opredelitvijo sence ni tako zelo pomembna. Postane pa pomembna takrat, ko opazujemo polumeso.

Kako se razlikujeta delna senca in polumesa? Delna senca nastane zaradi delne absorpcije svetlobe na osvetljenem predmetu, svetilo pa je lahko točkasto ali razsežno, bližnje ali oddaljeno. Polumesa pa nastane le pri osvetljevanju z razsežnimi svetili. Ključen pogoj za nastanek polumese je različna smer oddane svetlobe iz različnih delov razsežnega svetila. Vsak delček difuznega svetila, kot so neonske luči ali mat žarnice, oddaja svetlobo v prostor v vseh smereh. Smer svetlobe iz posameznega dela sončeve ploskve je na Zemlji vzporedna oziroma se njena smer razlikuje za $5 \cdot 10^{-3}$ stopinj od južnega do severnega pola Zemlje [3]. Za približno 0,5 stopinje se razlikuje smer svetlobe iz nasprotnih robov Sonca, kar je dovolj za nastanek polumese. Podobno je tudi pri svetilih, kot so baterijske svetilke ali grafoskopi. Svetloba ni difuzna, je pa blago divergentna in se po smeri znotraj svetlobnega snopa nekoliko razlikuje. Tudi v tem primeru nastanejo polumese (slika 3).

Običajno območje polumese opredelimo kot področje, ki ga ne osvetljuje celotno svetilo. Polumesa obdaja področje sence predmeta kot prehodno območje, v katerem se intenziteta svetlobe zvezno spreminja iz intenzitete v področju sence do intenzitete v področju, kjer predmet razsežnega svetila ne zakriva več. Na zaslonu to področje vidimo kot zvezan prehod med svetlim in temnim področjem oziroma kot zabrisan neoster rob sence. Preko opazovanja območij, ki so osvetljena z delom svetila, je polumesa opredeljena pasivno. Iz opazovanja takega področja opazovalec namreč ne ve, kateri del svetila je s predmetom zastrt in kateri ne.

Odgovor na to nam ponudi šele neposredno opazovanje svetila z očesom ali s fotoaparatom oziroma kamero iz področja polumese. Šele tedaj vidimo, kateri del svetila osvetljuje področje, ki nas zanima (sliki 4 in 5). Tisti del svetila namreč, ki ga iz območja polumese vidimo neposredno. Aktivna opredelitve polumese je v nekem smislu močnejša, natančno namreč opredeli tudi del svetila, ki območje osvetljuje.



Slika 3 a) Polumesa na tleh zaradi Sonca za visoko stavbo. Modra kvadratka kažeta položaj fotoaparata med fotografiranjem s puščicami označenih fotografij. Vidimo, da je v obeh legah del Sonca zakrit s stavbo.



b) Loparček osvetljuje okroglo svetilo z mat površino. Robovi sence so zabrisani.

Podrobneje analizirajmo nastanek sence in polumese na sliki 4. Razsežno difuzno svetilo v obliki okrogle buče, svetla lisa na levi strani slike 4, je dober pripomoček za prikaz polumese. Na tabli desno vidimo temno liso popolne sence loparčka in okoli nje širok difuzen obroč, kjer polumesa počasi prehaja v popolno osvetljenost na straneh in v popolno senco na sredini. V vrsti pod postavitvijo poskusa vidimo fotografije, posnete iz linije vodoravnice križca na sredini sence. Fotografije so bile posnete iz leg 1 do 7, označenih na tabli. V legi 1 je področje popolne sence in svetilo je popolnoma zakrito z loparčkom. Svetilo je v področju polumese zakrito le delno, in čim bolj je osvetljeno področje, iz katerega fotografiramo, tem manj je zakrito svetilo. Še v legi 6 loparček nekoliko zakriva svetilo in šele v tej legi se področje polumese nehuje. Ker oko zaznava intenziteto svetlobe logaritmčno, področja polumese v celotnem območju s pasivnim opazovanjem ne zaznamo. Potrebno je neposredno aktivno opazovanje svetila iz področja polumese.

Kako se pravzaprav razlikujeta sliki 4 in 5? Na postavitvi na sliki 5 je loparček bolj oddaljen od zaslona kot na postavitvi na sliki 4. Vidimo, da je senca

skupaj z obročem polsence širša in da je tudi v središču samem bolj svetla kot na sliki 4. Senca loparčka na sliki 5 ni nikoli popolna. Pri tej oddaljenosti od zaslona za loparčkom nastane le polsenca. V legi 1 vidimo, da loparček svetila ne pokrije v celoti. Fotoaparata lahko nekoliko premikamo, površina svetila, ki osvetljuje področje okoli sredine polsence, pa ostaja enaka. Intenziteta svetlobe na tem področju je enaka, a manjša, kot če bi loparčka ne bilo. Na tak način astronomi zaznavajo planete, ki krožijo okoli oddaljenih zvezd. Planet, ki je mnogo manjši od zvezde, namreč nekoliko zasenči svetlobo zvezde in današnje merilne naprave lahko zaznajo te male spremembe [4]. Ko se premikamo s fotoaparatom v vodoravni smeri kot pri sliki 4, loparček vedno manj zakriva svetilo in intenziteta svetlobe se zvezno povečuje do področja, kjer loparček svetila ne zakriva več.

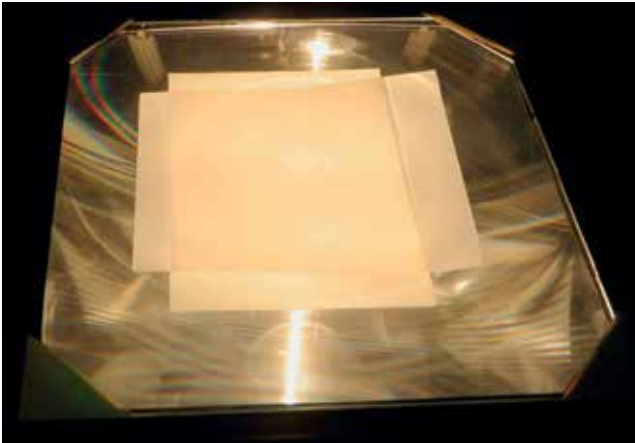


Slika 4: Postavitev poskusa za proučevanje plosence in popolne sence. Senca za loparčkom na tabli je v sredini popolna. Pod sliko so z enakimi številkami označeni položaji, iz katerih je bil narejen posnetek, kot na tabli.

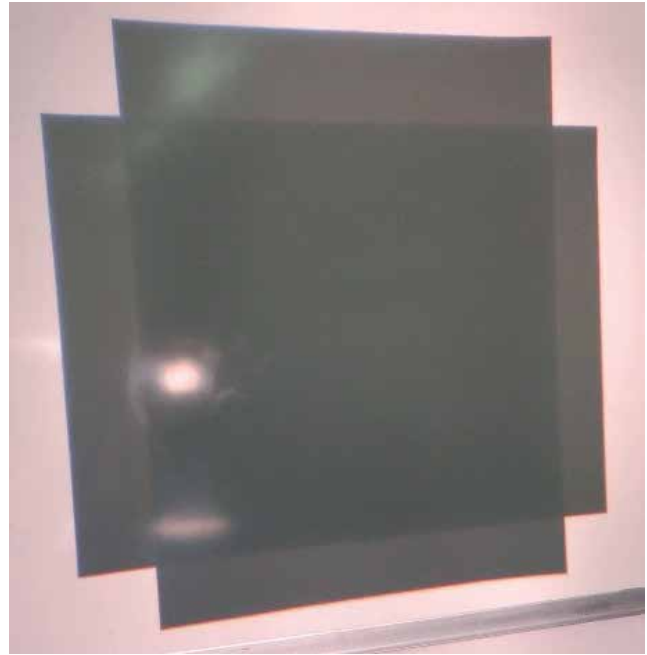


Slika 5: Nekoliko spremenjena postavitve poskusa. Na tabli za loparčkom nastane le plosenca. Enako kot pri sliki 4 so s številkami označene lege, iz katerih so bile posnete fotografije v spodnji vrsti.

Morda je smiselno dodati še en primer predmetov, pri katerih nastanek sence tudi ni nedvoumen. To so *prosojni* predmeti. Kako se prosojni predmeti razlikujejo od prozornih? Svetloba po prehodu skozi prozoren predmet ohrani smer oziroma se na manjših območjih lomi v enaki smeri. Zato se informacije o smeri svetlobe iz svetila ali odbiti na predmetih ohranijo in jih lahko prepoznamo kot nespremenjene npr. skozi okensko steklo, se zdi, da imajo predmeti drugačno lego od pričakovane npr. kamenje pod vodno gladino, ali celo prepoznamo predmete pri opazovanju skozi zbiralno lečo npr. njihove prave slike, ki imajo drugačno smer in lego kot neposredno opazovani predmeti. Prosojni predmeti pa imajo hrapavo površino vsaj na eni strani. Takšna so npr. mat stekla pa mat papir ali mat lepilni trak. Svetloba se zato na hrapavi površini lomi in odbija v vse smeri. Prosojni predmeti zato prepuščajo podobno intenziteto svetlobe kot enaki prozorni predmeti z gladko površino, le po prehodu je ta razpršena v celoten



Slika 6 a) Prosojen mat papir prepušča svetlobo skoraj v celoti. Ker se svetloba razprši po celotnem prostoru, je videti papir iz vseh smeri enako svetel.



b) Čeprav prepušča svetlobo, pa za papirjem na zaslonu nastane »globoka« delna senca.

prostor. Zato je v območju za prosojnim predmetom osvetljenost mnogo manjša in je tam delna, a precej temna in dobro definirana senca. Tovrstno senco v šoli enostavno pokažemo s prijateljem grafoskopom. Na grafoskop položim dve plasti mat papirja, zamaknjeni eno glede na drugo. Čeprav neposredno opazovanje papirjev pokaže, da prepuščata svetlobo, je na zaslonu videti področje, ki je zelo slabo osvetljeno že pri enem samem mat papirju. Pri dveh je senca tako rekoč popolna.

Naj sklenem. O sencii se pri pouku fizike običajno ne pogovarjamo poglobljeno. Poznavanje sencii in

razumevanje nastanka sencii se zdita samo po sebi umevni. Upam, da pričujoči prispevek, ter prispevek Marjance Komar v tej številki [5], kažeta, da se je sencii smiselno posvetiti. Spoznavanje sencii, polsencii [5] in delne sencii, potem pa še morda antisencii, kot tudi lahko imenujemo svetlobne lise [5], ponuja obilico aktivnosti za naravoslovni dan v osnovni in za projektno delo v srednji šoli. Glede na različna poimenovanja pa sencii omogočajo tudi argumentirano razpravo z učenci in ostrenje ušesa za natančno izražanje.

Viri

- [1] http://www.nasa.gov/exploration/home/03jan_moonshadows.html (29. 9. 2016).
- [2] <http://www.moillusions.com/amazing-shadow-illusions-collection/> (3. 10. 2016).
- [3] Susman, K., Čepič, M. (2010). Can the full Moon and the Sun be observed on the same side of the sky? *Physics Education*, 45(5), str. 469–474.
- [4] http://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/multimedia/images/kepler-transit-graph.html (3. 10. 2016).
- [5] Komar, M. (2016). Sence razsežnih svetil, *Fizika v šoli*, 21(2), str. 26–31.