

Začetki uklona

Janez Strnad

V Mednarodnem letu svetlobe je zanimivo spremljati, kako so naravoslovci spoznavali nove pojave s svetlobo. Uklon je sredi 17. stoletja prvi raziskal Francesco Maria Grimaldi. Na svoj način je malo pozneje pojav opisal Isaac Newton. Nazadnje ga je na začetku 19. stoletja z valovanjem pojasnil Thomas Young. S tem podrobneje pogledamo v *Malo zgodovino svetlobe*.

Jezuit Francesco Maria Grimaldi za življenja ni objavil nobene knjige. Izdatno pa je prispeval k obsežni knjigi *Novi Almagest* dvajset let starejšega jezuita Giovanni Battiste Ricciolija, ki je izšla leta 1651. Pozneje je Grimaldi samostojno raziskoval svetlobo. Njegovo delo *Fiziko-matematična teza o svetlobi, mavrici in o drugih sorodnih zadevah v dveh knjigah* je izšlo leta 1665, dve leti po smrti. Razmišljal je o možnosti, da je svetloba snov, vendar je to možnost in možnost, da jo sestavlja tok delcev, odklonil. Obravnaval je potovanje svetlobe, njen odboj in lom ter barve in mavrico. Sončno svetlobo je spustil skozi stekleno prizmo in opazil barve. Pojasnil jih je z neenakomernostmi v prizmi.

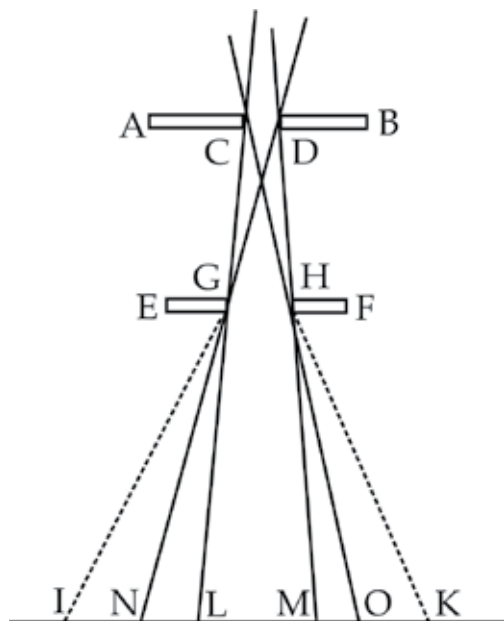


Uklon je opazil, ko je sončno svetlobo spustil skozi drobno krožno odprtino v zate-

Francesco Maria Grimaldi je bil rojen leta 1618 v Bologni. Leta 1632 je stopil v jezuitski red. Po končanem študiju leta 1638 v Bologni je sodeloval pri Ricciolijevih poskusih z nibali in padanjem teles in mu pomagal pri astronomskih opazovanjih. Do leta 1642 je poučeval v Bologni in leta 1647 postal doktor. Potem je predaval filozofijo, a je po kratkem času presedlal na matematiko. Leta 1651 je bil posvečen v duhovnika. Umrl je leta 1663 v Bologni.

mnjen prostor. Curek je prestregel z belim zaslonom. Na nagnjenem zaslonu je nastala podolgovata slika s povečanimi razdaljami v vzdolžni smeri. Nato je v curek postavil tanko palico in na zaslonu opazoval njeno senco. Ugotovil je, da je senca večja, kot bi bila, če bi bili žarki premi. Tako je spoznal, da žarki niso vedno premi, kakor so mislili, odkar je to okoli leta 300 pred našim štetjem trdil Evklid. Na podlagi te ugotovitve Grimaldi ni mogel sprejeti zamisli, da svetlobo sestavlja tok hitrih delcev. Sklepal je, da ima svetloba podobno lastnost kot tekočina, katere tok se sklene za oviro. Pojavu je dal ime *difrakcija* po besedi, ki v latinščini pomeni razdelitev na dele. Ob senci je opazil ozke barvaste proge. Tik ob senci je bila širša bela proga, ki ji je sledila ožja vijoličasta proga, tej pa ožja rdeča proga. Na mesto palice je postavil druge ozke predmete in oblikoval prvi predlog: »Svetloba ne potuje samo naravnost in z lomom in odbojem, ampak tudi s četrtrim načinom, uklonom.« Grimaldi je na zaslonu opazil tudi temnejši del na območju, na katerem sta se sliki dveh odprtini prekrili. Domneval je, da »osvetljeno telo lahko postane temno, če dodamo svetlobo svetlobi, ki ga je že osvetljevala«. To spominja na poskus, pri katerem je Thomas Young veliko pozneje opazoval interferenco.

Na pojav, da svetloba »zavije okoli ogla«, je pred Grimaldijem postal pozoren Leonardo da Vinci. Uklon so poznali pri zvoku, ki so ga opisali kot valovanje. Zvok »zavije okoli ogla«, saj za drevsom ali drugo ozko oviro slišimo, da nas kličejo. Mislili so, da svetloba ne more biti valovanje, ker pri njej niso opazili, da bi »zavila okoli ogla«.



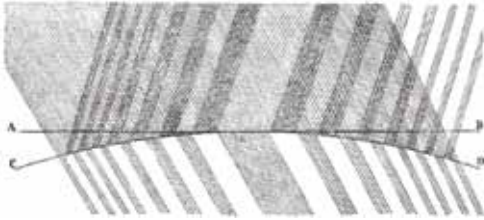
V Grimaldijevi knjigi preberemo pod sliko: »Če svetloba pade na gladko belo ploskev, se bo pokazala osvetljena osnovnica IK opazno daljša, kot bi jo naredili žarki, ki v premih črtah izhajajo iz odprtin. To ugotovimo pri vsakem poskusu in opazimo, kako dolga je osnovnica IK, ter izpeljemo, kako dolga naj bi zares bila osnovnica NO, ki bi jo naredili premi žarki. Dalje ne zamolčimo, da se zdi svetla osnovnica IK na sredi osvetljena z belo svetlobo, na obeh robovih pa je svetloba obarvana.«

Grimaldijeva razprava ni zbudila veliko pozornosti. Njegova dognanja so razširili drugi. Jezuit Honoré Fabri je leta 1669 o Grimaldijevih poskusih obširno pisal v *Fizikalnih dialogih*. Robert Hooke je začel opazovati uklon, ko je v angleški reviji prebral poročilo o Grimaldijevi knjigi. Isaaca Newtona pa je na uklon opozorila Fabrijeva knjiga.

Isaac Newton je prve preproste poskuse s svetlobo naredil leta 1666. Glavni del poskusov pa je izvedel med letoma 1669 in 1672, ko je kot profesor matematike na camabriški univerzi predaval o optiki. Zaradi kritike Roberta Hooke je odložil natis knjige. Knjiga *Optika* je izšla leta 1704, leto po Hookovi smrti. V njej se je Newton

sicer vprašal, ali bi bilo mogoče nekatere pojave, na primer odboj in lom svetlobe ter prenos toplote po praznem prostoru, opisati z *etrom*, tekočino, veliko redkejšo od zraka in veliko bolj prožno, ki bi prežemala vsa telesa in se raztezala do zvezd. Vendar je odločno odklonil možnost, da eter obstaja in da je svetloba povezana z njegovim gibanjem. Oprl se je na spoznanje, da se planeti in kometi okoli Sonca gibljejo brez upora. Trdno se je oprijel predstave, da svet sestavljajo atomi, ki se gibljejo po praznem prostoru. Pri tem se je skliceval na »najstarejše in najbolj slavljene filozofe Grčije in Fenicije, ki so prazen prostor in atome ter medsebojno delovanje atomov razglasili za prva načela svoje filozofije«. Stare Aristotlove zamisli o etru ni omenil, čeprav jo je v tistem času po svoje povzel René Descartes. Newton je imel svetlobo za tok zelo hitrih delcev, *korpuskul*, in je pri tem vztrajal.

V drugem delu *Optike* je Newton podrobno obdelal *Newtonove kolobarje*. Na vodoravno ravno ploskev plankonveksne leče je postavil bikonveksno lečo in leči od zgoraj osvetlil z enobarvno svetlobo. Na beli podlagi so se pokazali temni in svetli kolobarji v nespremenjeni barvi. Tudi v odbiti svetlobi je opazil podobne svetle in temne kolobarje, le da je bil na mestu svetlega kolobarja v prepuščeni svetlobi v odbiti svetlobi temen kolobar in obratno. Vzrok za opazovano periodičnost je iskal v plasti zraka s spremenljivo debelino med lečama. S svojo predstavo svetlobe s tokom delcev kolobarjev ni mogel naravnost pojasniti. Zmožnost plasti, da na nekem mestu odbije svetlobo, je imenoval »lastnost lahkega odboja«, zmožnost, da na sosednjem mestu svetlobo prepusti, pa »lastnost lahkega prehoda«. (Lastnost je imenoval »fit«, kar lahko prevedemo kot »muhavost«.) Periodičnost je pojasnil z valovanjem. To je bila prva teorija, ki je za razlago kakega pojavnega uporabila hkrati valovanje in delce.

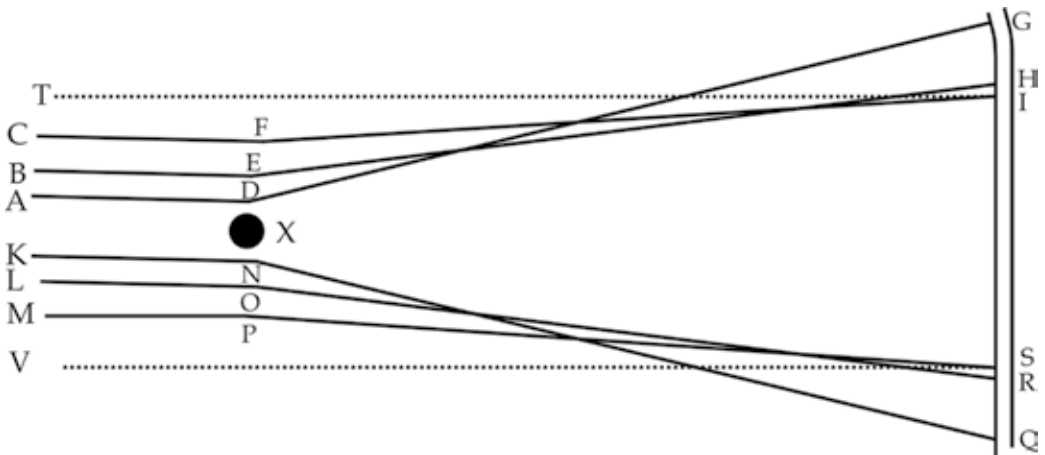


Risba v Newtonovi Optiki kaže zračno plast med ukrivljeno mejo spodnje leče in ravno mejo zgornje. Na nekaterih mestih se svetloba na plasti odbije, na sosednjih pa jo plast prepusti. To sta Newtonovi »lastnosti lahkega odboja« in »lahkega prehoda«.

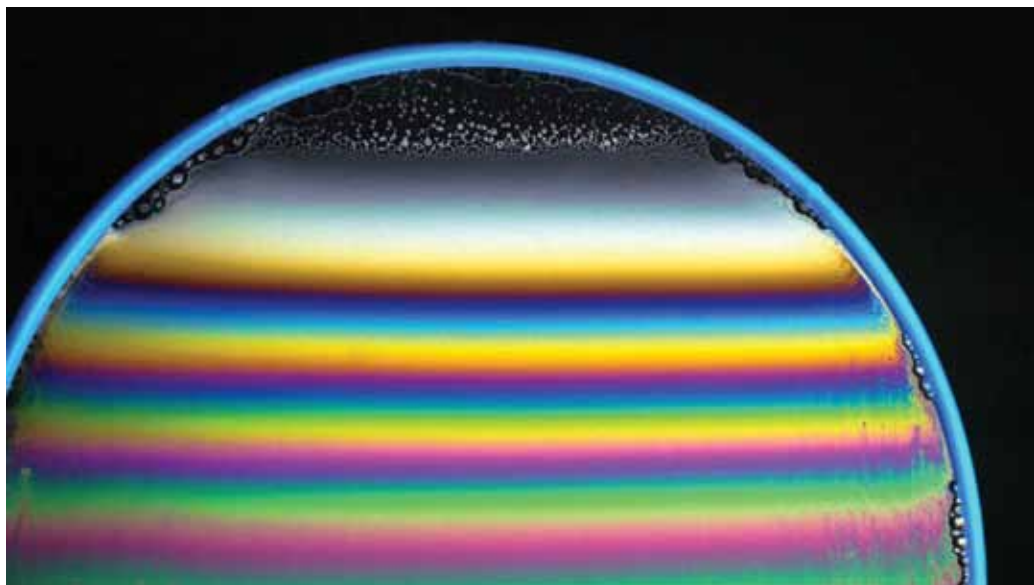
Predstavljal si je, da udarec svetlobnega delca na površje zračne plasti sproži nihanje zraka, ki v plast potuje kot valovanje. Pomislil je na kamen, ki pade v vodo in sproži krožne valove. Valovi v zračni plasti naj bi bili hitrejši od delcev. Če je delec v delu valovanja, ki podpira njegovo gibanje, preide čez mejo in dobi plast »lastnost lahkega prehoda«. Če je delec v delu valovanja, ki nasprotuje njegovemu gibanju, pa ne preide čez mejo, se odbije in dobi plast »lastnost lahkega odboja«. Zamisel se je ujemala z njegovo razlago vida. Mislil je, da udarec svetlobnega delca na mrežnico v očesu povzroči valovanje, ki se prenese do vidnega živca. Vidni živec naj ne bi neposredno zaznal delca, saj je vidni vtis zakasnjjen. Kos žerjavice, ki ga vihtimo v krogu, namreč vidimo kot sklenjen obroč. Omenimo, da je

Newton imel težavo, kako naj na meji dveh območij pojasni, da se nekateri delci lomijo v drugo območje, drugi, popolnoma enaki delci, pa se na meji odbijejo. Pri valovanju ni te težave.

Tretji, zadnji del *Optike* z naslovom *Opazovanja, ki zadevajo upogibanje žarkov svetlobe, in barve, ki pri tem nastanejo* je začel takole: »Grimaldi nas je poučil, da so sence reči večje, kot naj bi bile, če bi šli žarki mimo teles v premih črtah, in da se teh senc dotikajo tri vzporedne proge ali trakovi, če pramen sončne svetlobe spustimo v temno sobo skozi zelo majhno odprtino. Če pa odprtino povečamo, proge postanejo široke in se zlijejo druga z drugo, tako da jih ne moremo razločiti.«



Ob sliki v Newtonovi Optiki je zapisano: »Naj krog X predstavlja sredino lasu: ADG, BEH, CFI tri žarke na prvi strani lasu v različnih razdaljah od lasu, KNQ, LOR, MPS tri druge žarke na drugi strani lasu v podobnih razdaljah ter D, E, F in N, O, P točke, v katerih so žarki upognjeni, in G, H, I in Q, R, S točke, v katerih žarki zadenejo papir; GQ, IS je širina sence lasu na papirju in TI, VS dva žarka, ki gresta mimo lasu neupognjena, če las odstranimo.« Po sliki sklepamo na Newtonovo misel, da se svetlobni delci odklonijo zaradi odbojne sile lasu, ki z naraščajočo razdaljo pojema.



Navpična plast milnice je zaradi teže na spodnji strani debelejša kot na zgornji. Osvetlimo jo z belo svetlobo in dobimo obarvane Newtonove »kolobarje« kot vzporedne obarvane proge.

V kos svinca je z iglo naredil krožno odprtino s premerom 0,6 milimetra in skozi njo spustil sončno svetlobo v temen prostor. Naredil je enajst premišljenih poskusov, v katerih je natančno premeril sence las, niti, igel, slamic in drugih predmetov iz kovine, kamna, stekla, lesa, roževine in ledu. Sence so bile v vseh primerih širše, kot če bi žarki tekli premo. Senca lasu s premerom 0,09 milimetra je v razdalji 4 metre od odprtine bila na zaslonu v razdalji od lasu 10 centimetrov štirikrat širša od lasu, v razdalji 60 centimetrov desetkrat širša in v razdalji 3 metre 35-krat širša. Po tem je sklepal, da so se žarki ukrivili v hiperbole. Slika se ni spremenila, ko je las omočil in stisnil med stekelci.

Ob robu senc je opazil tri obarvane proge. Barve je zasledoval na nagnjenem belem papirju. V prvi progji so bile najizrazitejše, v tretji najmanj izrazite. Natanko je opisal, kako si sledijo proge. Poskus je ponovil z noževno ostrino in z režo med dvema noževima ostrinama. Nadaljnjega Newtonovega vestnega opazovanja in merjenja pri

poskusih ne kaže podrobneje opisovati. Ker je vztrajal pri razlagi, da svetlobo sestavlja tok hitrih delcev, uklona ni mogel pojasniti, kakor ga pojasnimo danes. To velja tudi za Grimaldija. Oba sta opazila obarvane proge ob robu na zunanji strani sence, nista pa opazila prog ob robu znotraj sence.

Uklon in Newtonove kolobarje je na začetku 19. stoletja pojasnil Thomas Young, ki je svetlobo opisal kot valovanje. Prej je moral premagati precejšen odpor. Zapisal je: »Čeprav močno občudujem Newtona, ga nimam za nezmotljivega. Z obžalovanjem ugotavljam [...], da se je bil v stanju motiti in da je njegova avtoriteta morda včasih celo zavrla napredek znanosti.« Najprej so postali pozorni na *barve tankih plasti*, kakršne opazimo na primer pri milnih mehurčkih ali sledih olja na vodni gladini. Hooke je v svoji *Mikrografiji* leta 1665 v zvezi z barvo pavjih peres omenil interferenco svetlobe, ki se odbije na prvi mejni ploskvi, in svetlobe, ki se odbije na drugi. Mislil je torej na valovanje, a njegova razlaga ni bila jasna.

Youngova razlaga barve tankih plasti in Newtonovih kolobarjev leta 1802 je bila jasna. Valovanje iz izvira se razdeli v dve *delni valovanji*. V točki, v kateri vrh v prvem delnem valovanju pride na vrh v drugem, se valovanji najbolj ojačita. V točki, v kateri vrh v prvem delnem valovanju pride na dolino v drugem, se valovanji najbolj oslabita. V tanki plasti se prvo delno valovanje odbije na zgornji mejni ploskvi in drugo na spodnji. Delni valovanji sta drugo proti drugemu zakasnjena, saj ima prvo za dve debelini zračne plasti daljšo pot kot drugo. Opazili so, da je na sredi Newtonovih kolobarjev v odbiti svetlobi temna pega, čeprav bi tam pričakovali svetlo pego, saj ni razlike poti. Young je spoznal, da se pri odboju na gostejši snovi pojavi dodatna zakasnitev za pol nihaja, pri odboju na redkejši snovi pa ne. V odbiti svetlobi se prvo delno valovanje odbije na redkejši in drugo na gostejši snovi, tako da je treba to dodatno razliko upoštevati. V prepuščeni svetlobi pa se prvo delno valovanje odbije na gostejši snovi in drugo tudi, tako da ni dodatne razlike. Po tem je mogoče sklepati, da v odbiti svetlobi pri pravokotnem vpadu dobimo ojačenje, če je dvojna debelina zračne plasti na tistem mestu enaka lihemu večkratniku polovične valovne dolžine. V prepuščeni svetlobi pa dobimo v tem primeru ojačenje, če je dvojna debelina plasti enaka sodemu večkratniku polovične valovne dolžine, to je kar večkratniku valovne dolžine.

Po Newtonovi ugotovitvi, da so kolobarji tanjši, če je snov v plasti gostejša, je Young sklepal, da je valovna dolžina v gostejši snovi krajša. Treba je torej upoštevati valovno dolžino svetlobe v plasti, ki jo dobimo, če valovno dolžino svetlobe v praznem prostoru (ali na zraku) delimo z lomnim količnikom plasti. Z interferenco pojasnimo barvo nekaterih hroščev in metuljev. Pojav izkoristi na primer *antirefleksna plast*. Površje leče je prevlečeno s tanko plastjo z določeno debelino prozorne snovi, ki poskrbi, da se pri

pravokotnem vpadu ne odbije nič svetlobe z določeno valovno dolžino. Young je spoznal, da je pri uklonu treba upoštevati tudi interferenco. Pojave pri prehodu svetlobe mimo ovir in skozi odprtine je smiselno obdelati posebej.

Literatura:

Grimaldi biography–Mac Tutor *History of Mathematics*, <http://www.history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/Grimaldi.html>.

Newton, I., 1704: Optics. Dover, New York 1952. Po izdaji iz leta 1730.

Sakkopoulos, S., 1988: Newton's theory of fits of easy reflection and transmission. European Journal of Physics, 9: 123–126.

Jezuiti so v 17. stoletju imeli pomembno vlogo v astronomiji in v eksperimentalni fiziki in so precej prispevali k razvoju naravoslovja. Zavrgli so geocentrično sliko Osončja iz Ptolemajevoga *Almagesta* in Kopernikovo heliocentrično sliko. Sprejeli so helio-geocentrično sliko Tycha Braheja, po kateri se Sonce giblje okoli Zemlje, planeti pa okoli Sonca. V *Novem Almagestu* so navedli 77 razlogov proti gibanju Zemlje in 49 razlogov za gibanje. Pri natančnih poskusih s padanjem teles z visokega stolpa v Bologni so podprli Galileijevo ugotovitev, da so poti v prvi, drugi, tretji ... sekundi v razmerju 1 : 3 : 5 ... Niso pa podprli njegove trditve, da padajo različno težka telesa domala enako. Čas so skrbno merili z nihali. Znan je Grimaldijev zemljevid Luninega površja. Riccioli je pogosto omenil Grimaldijeve zasluge in se zahvalil »delovnemu, modremu in zvestemu Grimaldiju«.