

## HÁLO, ČUDOVITI NARAVNI POJAV – 1. del

Optični pojavi nas nemalokrat presenetijo s svojo lepoto in obliko. Med njimi imajo posebno mesto tisti, ki nastanejo v zemeljskem ozračju – v atmosferi: mavrica, venec okoli sonca ali lune, irizacija, glorijska, zelena črta, polarni sij in pojavi hála.

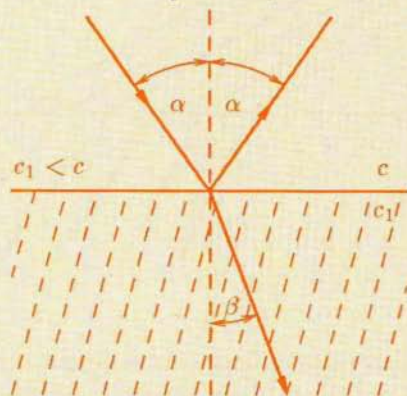
Ljudje so jih opazovali že od nekdaj. S svojim prvinskim znanjem so si njihov nastanek poskušali tudi razložiti, vendar je njihova razlaga često obtičala v slepi ulici. Povezovali so jih z naravnimi nesrečami in iz njih napovedovali vojne ter bolezni. Z napredovanjem ved, kot sta fizika in z njo meteorologija, smo dobili dovolj znanja in pripomočkov, da jih lahko zadovoljivo razložimo. V tem prispevku bomo podrobneje spoznali pojave hála. Ti niso tako poznani kot npr. mavrica, vendar so v svoji popolni pojavnosti vsaj tako zanimivi in privlačni. Vidimo jih v obliki barvnih krogov, lokov in peg okoli sonca ali lune, če svetita skozi tanke cirusne oblake.

Fotografija na naslovnici kaže nekatere sočasno nastale pojave hála. Manjši krog okoli z loparčkom zastrtega sonca se imenuje mali ali 22-stopinjski hálo. Na levi in desni strani njegovega oboda vidimo dve svetlejši pegi, imenovani sosonci. V družino malega hála spadajo še zgornji tangencialni lok in Parryjev lok, ki ju najdemo na temenu malega hála, ter Lowitzovi loki, ki se nahajajo v okolici sosonc, vendar na naši sliki niso izraziti. Večji krog okoli sonca se imenuje veliki ali 46-stopinjski hálo in je viden skupaj s svojimi tremi tangencialnimi loki. Žal pojave hála v tako veličastni podobi le redko opazimo. Pogosteje vidimo le enega ali sočasno dva. Dva hkrati je posnela tudi avtorica fotografije na naslovnici 3. številke Preseka v lanskem letu.

Kako nastanejo pojavi hála? Celovito odgovoriti na to vprašanje je za Presek prezahtevna naloga. Poglejmo razloge za njihov nastanek le v grobem.

Cirusni oblaki, predvsem cirostratusi, so sestavljeni iz mikroskopsko majhnih ledenih kristalčkov, ki imajo obliko šestrane prizme in so v prostoru poljubno orientirani. Med počasnim padanjem se obračajo, vrtijo in nihajo. Hálo nastane zaradi loma in odboja sončne svetlobe na takih kristalčkih. Pri naključni smeri njihove glavne osi žarki kristalčke prebadajo pod različnimi koti skozi različne ploskve prizme.

Za nadaljne razumevanje ponovimo dve pomembni lastnosti svetlobe. Prva je lom svetlobe. Svetloba pri prehodu iz ene v drugo prozorno snov spremeni smer – pravimo, da se lomi (slika 1).



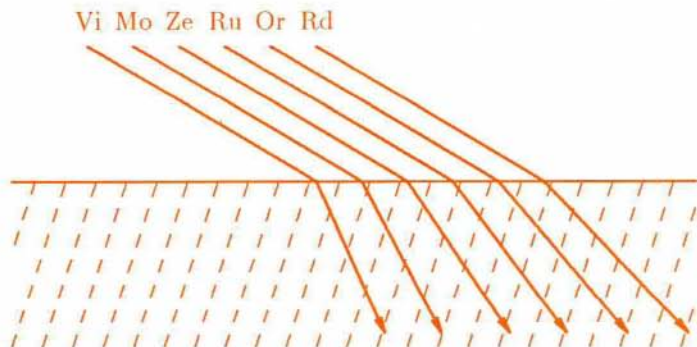
Slika 1. Žarek svetlobe se lomi na meji dveh različnih prozornih snovi. Kot  $\alpha$  je vpadni kot,  $\beta$  lomni kot,  $c$  hitrost svetlobe v prvi,  $c_1$  hitrost svetlobe v drugi snovi.

Lom nastane, ker potuje svetloba v različnih prozornih snoveh z različnimi hitrostmi. Velja lomni zakon, ki pravi: vpadni, lomljeni žarek in pravokotnica na mejno ploskev v vpadni točki leže v isti ravnini. Hitrost svetlobe v zraku je večja kot v vodi, ledu ali steklu. Zato pravimo, da so te snovi optično gostejše od zraka. Približno merilo za to gostoto je lomni kvocient snovi (označen z  $n$ ). V katero smer in za kolikšen kot se bo žarek lomil ob prehodu iz ene snovi v drugo, je odvisno od razmerja lomnih kvocientov obeh snovi. Velja:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c}{c_1} = \frac{n_1}{n}$$

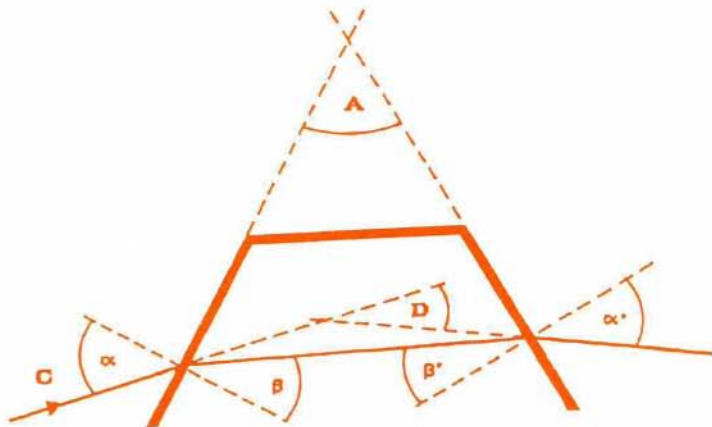
Lomni kvocient za zrak je približno 1, za vodo 1,33 in za led 1,31.

Druga lastnost svetlobe izhaja iz njene valovne narave. Belo svetlobo, kakršno sevajo sonce in nekatera umetna svetila, sestavlja več barv: rdeča, rumena, oranžna, zelena, modra in vijolična. Vsaka teh barv se nekoliko drugače lomi. Najmanj je od prvotne smeri odklonjena rdeča, najbolj vijolična barva (slika 2). Posledica tega je, da se curek bele svetlobe pri prehodu iz ene prozorne snovi v drugo razkloni. Pojav imenujemo disperzija.



Slika 2.

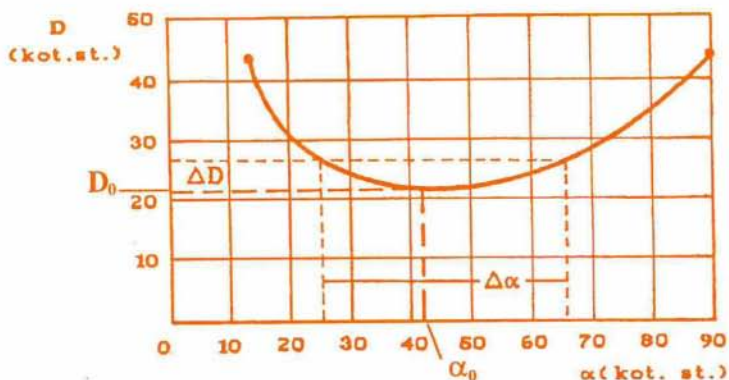
Sončni žarek se pri prehodu skozi ledeno prizmo dvakrat lomi. Prvič iz zraka v led, ko v prizmo vstopa, in drugič iz ledu v zrak, ko prizmo zapušča (slika 3). Pri tem se žarek odkloni od svoje prvotne smeri za kot  $D$ .



Slika 3. Odklon svetlobnega žarka zaradi loma skozi ledeni kristal. Z  $A$  je označen kot med dvema nesosednjima stranskima ploskvama ledene prizme in je enak  $60^\circ$ .

Ker pada svetloba pod različnimi vpadnimi koti na različno orientirane kristale, bi pričakovali, da se po lomu odkloni na vse strani. Vendar to ne more biti res. Če bi se žarki odklanjali v vse smeri, bi bila sončna svetloba po lomu na kristalih razpršena po celotnem nebu! Torej se krogi in loki zgoščene svetlobe ne bi pojavili. Odgovor na to navidezno proti-

slovje daje pomembna lastnost prehoda svetlobnega žarka skozi prizmo. Izkaže se, da obstaja neki mejni vpadni kot  $\alpha_0$ , pri katerem je odklon žarka najmanjši. Ta odklon imenujemo minimalni odklon  $D_0$ . Z odmikanjem kota  $\alpha$  od  $\alpha_0$  narašča odklonski kot  $D$ , kot kaže slika 4.



Slika 4. Graf, ki kaže odvisnost odklona  $D$  od vpadnega kota  $\alpha$  za ledni kristal z lomnim kvocientom 1,31.

Z grafa razberemo, da se žarki iz sorazmerno velikega razpona vpadnih kotov  $\Delta\alpha$  odklanjajo v približno isto smer  $\Delta D$ . Zato je gostota svetlobnega toka svetlobe, odklonjene blizu  $D_0$ , precej večja kot v drugih smereh; svetlobna energija je veliko bolj skoncentrirana v smereh minimalnega odklona kot v ostalih smereh.

Iz pogojev za minimum:

$$\frac{dD}{d\alpha} = 0 \quad \text{in} \quad \frac{d^2D}{d\alpha^2} > 0$$

dobimo razširjen lomni zakon:

$$\sin \frac{D_0 + A}{2} n = n_1 \sin \frac{A}{2},$$

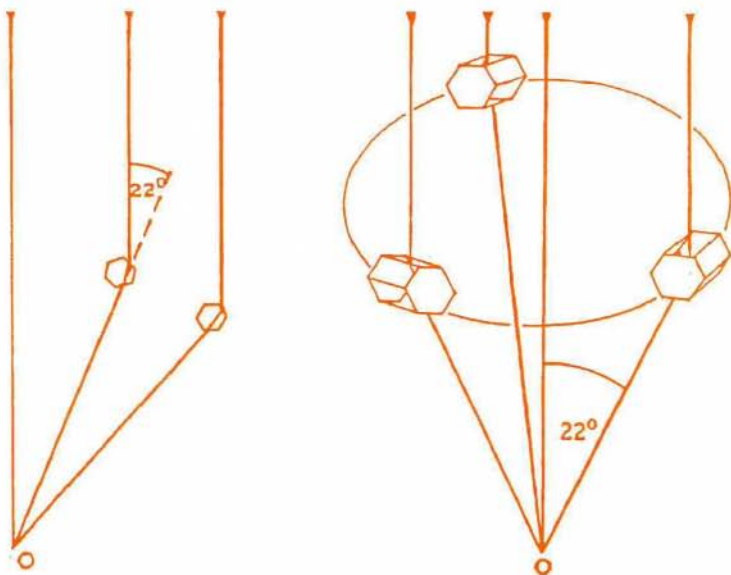
pri tem je  $n$  lomni kvocient zraka, ki je približno 1, in  $n_1$  lomni kvocient ledu.

Iz enačbe vidimo, da je minimalni odklon odvisen le od medsebojnega kota obeh ploskev in lomnega kvocienta. Izračunamo lahko, da je za opisani prehod skozi prizmo približno enak  $22^\circ$ .

Pripravljeni smo, da posebej pogledamo nekatere pojave hála.

## Mali ali 22-stopinjski hálo

Če so cirusni oblaki enakomerno porazdeljeni po nebu, je mali hálo viden v obliki zaključenega kroga okoli sonca ali lune, kot ga vidimo na naslovnici. K njegovemu nastanku prispeva tista svetloba, ki prebada prizmo tako, da so žarki vzporedni njeni osnovni ploskvi. Glavna os kristalov je v naključni legi, vendar pravokotna na smer žarkov (slika 5).



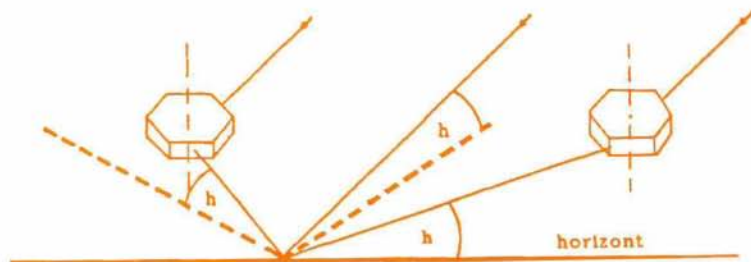
Slika 5. Nastanek malega ali 22-stopinjskega hála. Mesto opazovalca, kjer se zbere lomljena svetloba, je označen z  $O$ .

Svetloba se pri takem prehodu lomi v različne smeri, vendar se, kot smo videli, večji del svetlobe odkloni v smeri blizu kota minimalnega odklona, ki je približno enak  $22^\circ$ . Večina lomljenih žarkov, ki jih zazna opazovalčevo oko, torej prihaja iz smeri, ki oklepajo s smerjo proti soncu kot  $22^\circ$ . Zato je v teh smereh navidezna slika sonca najsvetlejša. Ker te smeri sovpadajo s tvorilkami stožca, ki ima vrh v opazovalčevem očesu in os v smeri proti soncu, vidimo navidezno sliko sonca v obliki kroga. Zaradi razklona svetlobe je notranji rob hála rdeč – rdeča svetloba se namreč najmanj lomi, proti vijoličnemu zunanjemu robu sledijo rumena, zelena in modra barva. Notranji rob je oster, ker je  $22^\circ$  kot minimalnega odklona in se torej v notranjost 22-stopinjskega kroga ne lomi noben žarek. To je

tudi razlog, da je notranjost kroga temnejša kot zunanost. Zunanji rob je delno razpršen in ga ne moremo natančno določiti.

### Sosonci

Ob vzhajajočem ali zahajajočem soncu pogosto opazimo, da se na levi in desni strani malega hála pojavita dve svetlobni pegi. Podobno kot mali hálo, se tudi sosonci začneta z ostrim robom rdeče svetlobe – pri kotu minimalnega odklona – in končata z blago vijolično barvo pri večjih odklonih. Pojav nastopi, če vsebuje oblak zadostno število ledenih kristalov, ki lebdiijo tako, da je njihova osnovna ploskev vodoravna, oziroma je njihova glavna os v navpični legi. Do pretežno take orientacije kristalčkov pride, ker je hitrost njihovega padanja relativno majhna (pravimo, da lebdiijo) in se zaradi vpliva okoliškega vrtinčastega zraka postavijo v vodoravni položaj. Večji del kristalčkov je tako orientiran z osnovno ploskvijo vodoravno, manj je takih, ki so orientirani v ostale smeri in prispevajo k nastanku ostalega dela 22-stopinjskega hála. Ko je sonce natanko na horizontu, se sosonci pojavita na obodu 22-stopinjskega hála. Nastaneta na enak način, kot na tem mestu nastali lok malega hála. Žarki se lomijo v bližini poti minimalnega odklona v ravnini, vzporedni osnovni ploskvi. Lahko rečemo, da sta sosonci v tem primeru del 22-stopinjskega hála. Z naraščanjem višine sonca nad horizontom opazimo, da se sosonci oddaljujejo od malega hála. Kot minimalnega odklona žarkov skozi vodoravno ležeče kristalčke ni več  $22^\circ$ , pač pa narašča z višino sonca nad horizontom. Vzrok za nastanek sosonc so sedaj poševni žarki, ki ležijo pod nekim kotom  $h$  glede na vodoravno ležečo osnovno ploskev prizme (slika 6) in se lomijo po poti blizu minimalnega odklona. Tisti bralci, ki nosite očala z negativno dioptrijo, lahko to sami preizkusite. Očala rahlo nagnete, da leči očal nista več vzporedni z očesnimi lečami, in ugotovili boste, da se vam je ostrina slike oddaljenih predmetov nekoliko spremenila.



Slika 6. Nastanek sosonc –  $h$  je višina sonca nad horizontom.

Novo vrednost minimalnega odklona izračunamo po enačbi:

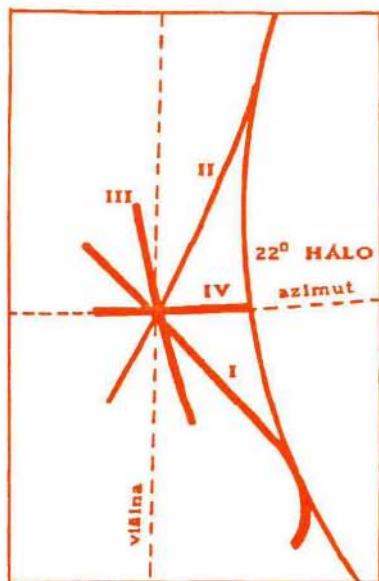
$$D_0 = 2(\text{arc sin } \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 h}}{\sqrt{1 - \sin^2 h}} \sin \frac{A}{2}),$$

kjer je  $\frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 h}}{\sqrt{1 - \sin^2 h}}$  novi lomni kvocient in je odvisen od kota  $h$ , torej od višine sonca nad horizontom. Sicer ima enačba podobno obliko kot prejšnja.

Sosonci se pojavita v trenutku, ko sonce vzhaja, torej, ko je  $h = 0$ , ter zbledita skupaj z malim hálom pri višini sonca  $h = 60^\circ 45'$ . Pri tem kotu pride do totalnega odboja žarka v notranjosti kristalčka, zato se žarek v njem v celoti absorbira. Kot, ki ga sosonci medtem "prepotujeta", je približno  $21^\circ$ . To ustreza največji oddaljenosti sosonc od malega hála.

## Lowitzovi loki

Loki, ki se imenujejo po astronomu Tobiasu Lowitzu, se pojavijo redkeje kot mali hálo in sosonci. Nastanejo na podoben način kot sosonci, le da na njihov nastanek vpliva to, da med počasnim padanjem vodoravno ležeči kristali nihajo okoli ene izmed svojih vodoravnih osi. Notranji rob je rdeč, vendar loki niso tako barvno izraziti kot sosonce. Poznamo štiri vrste Lowitzovih lokov: spodnji (na sliki 7 označen z I), zgornji (7/II), poševni (7/III) in vodoravni (7/IV). Z izjemo poševnega loka ležijo tako, da povezujejo sosonce in mali hálo. Največkrat se pojavi le en, redkeje pa sočasno dva ali trije. Vidimo jih lahko pri višjih legah sonca, ko je njegova višina približno  $25^\circ$ . Izgineje skupaj s sosonci in malim hálom pri višini sonca  $60^\circ 45'$ .



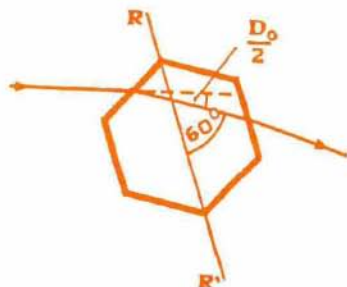
Slika 7. Štiri vrste Lowitzovih lokov. Zgornji lok je približno zrcalna podoba spodnjega Lowitzovega loka.

Vzroki za nastanek vseh štirih lokov so si na las podobni. Razlikujejo se samo v orientiranosti nihajne osi, glede na vpadni žarek. Tudi tu je pomembno, da se žarki lomijo v bližini minimalnega odklona. Na sliki 8 je narisana prehod žarka skozi kristal, ki niha okoli osi  $RR'$  in povzroči nastanek spodnjega Lowitzovega loka.

Za lažje razumevanje nastanka lokov si mislimo, da so sestavljeni iz velikega števila majhnih svetlobnih peg. Vsako izmed peg, gledano v danem trenutku, povzročijo žarki, ki se lomijo skozi kristale enake orientiranosti nihajne osi in z enako fazo nihanja. V naslednjem trenutku isti kristali povzročijo pego nekoliko više ali niže. Pego na prejšnjem mestu zdaj povzročijo kristali z isto orientiranostjo in drugo fazo nihanja. Vsaka izmed peg nastane na enak način kot sosonce. Vse pege, ki nastanejo skozi kristale iste orientiranosti nihajne osi, nastanejo vzdolž nekega loka – enega od Lowitzovih lokov.

V tem članku smo spoznali osnove nastanka hála ter opisali tri njegove pojavne oblike. V naslednji številki pa bomo predstavili poskus, v katerem bodo pojavi hála prikazani s pomočjo demonstracijskega modela v laboratoriju.

Matej Rovšek



Slika 8. Orientiranost kristala v poziciji minimalnega odklona, ko smer sončnega žarka oklepa s smerjo nihajne osi  $RR'$  kot  $60^\circ + D_0/2$ .

## ALI JE VSOTA KVADRATOV SAMIH NENIČELNIH ŠTEVIL LAHKO ENAKA NIČ?

Kvadrat realnega števila, različnega od 0, je pozitivno število. Vsota kvadratov neničelnih realnih števil torej ne more biti nič.

V množici kompleksnih števil pa je vsota kvadratov dveh neničelnih števil lahko enaka 0, npr.

$$1^2 + i^2 = 1 + (-1) = 0.$$

Poskusite izraziti 0 kot vsoto kvadratov treh neničelnih kompleksnih števil!

Jurij Kovič