

*Ivan Kuščer*

# ENAJSTA ŠOLA IZ FIZIKE

*Čuda se kažejo  
ob vsakem koraku*

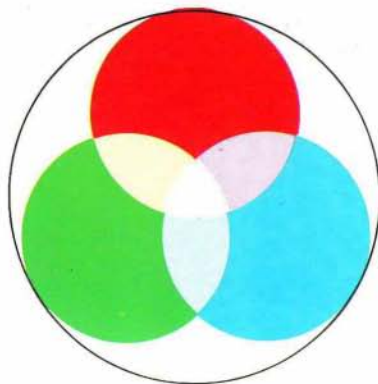
**LIST ZA MLADE**

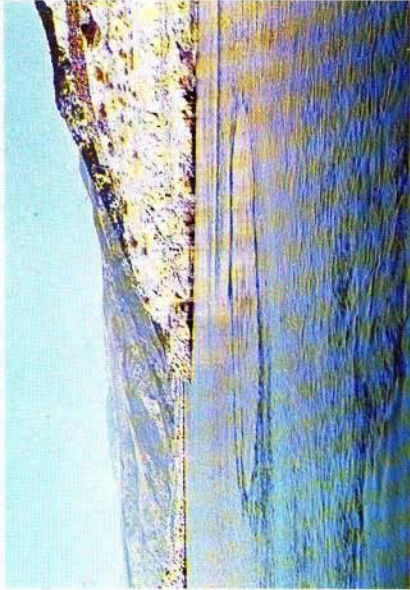
 **MATEMATIKE**

   **FIZIKE**

 **ASTRONOME**

**ZDAJA DMFA SRS**





2 7



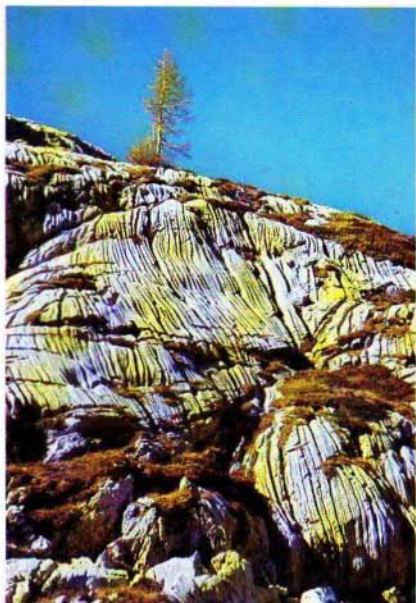
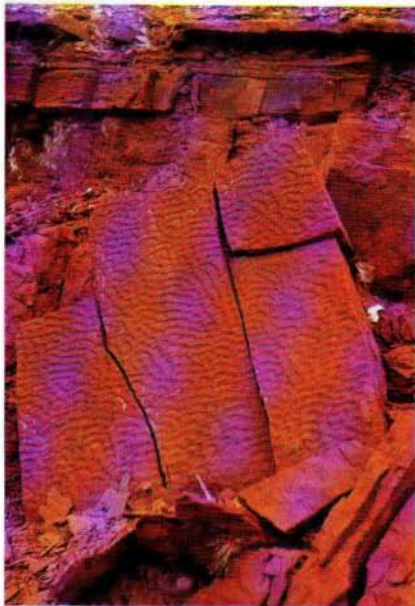
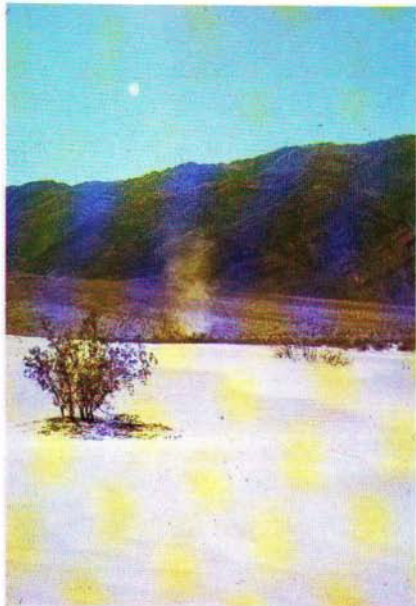
4A



11



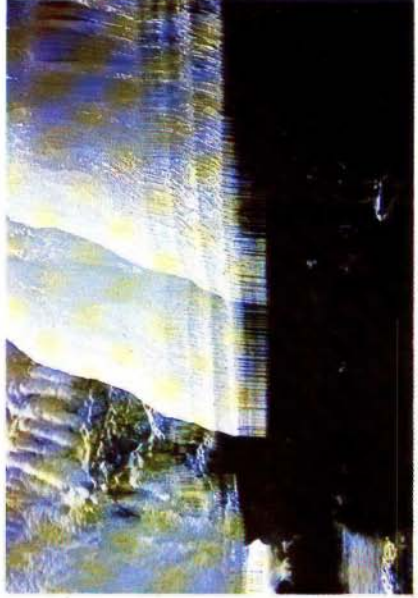
4B 6



9 12



15



18A

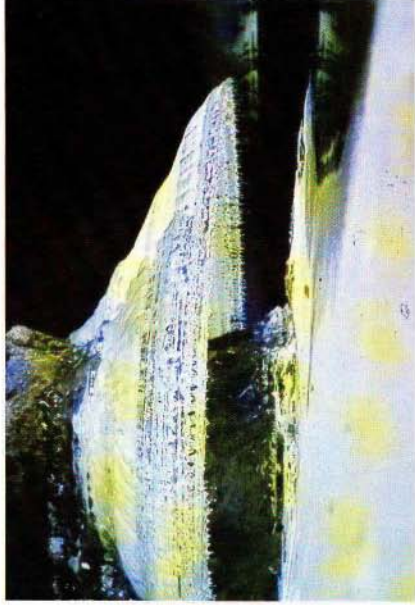


19

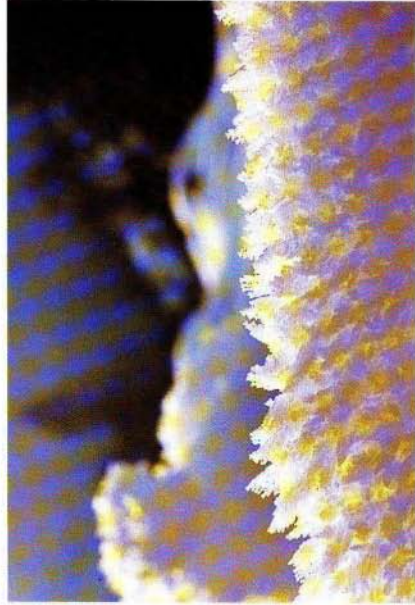


17





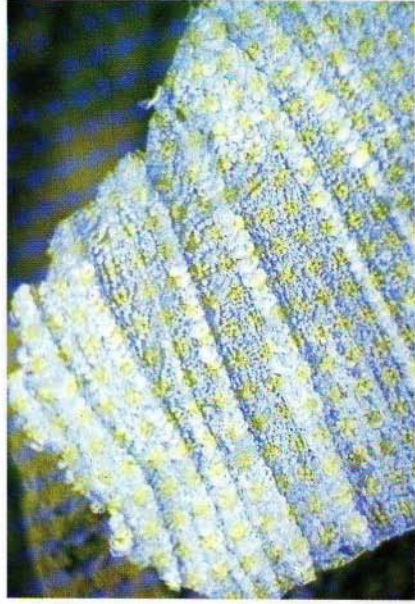
18B



23

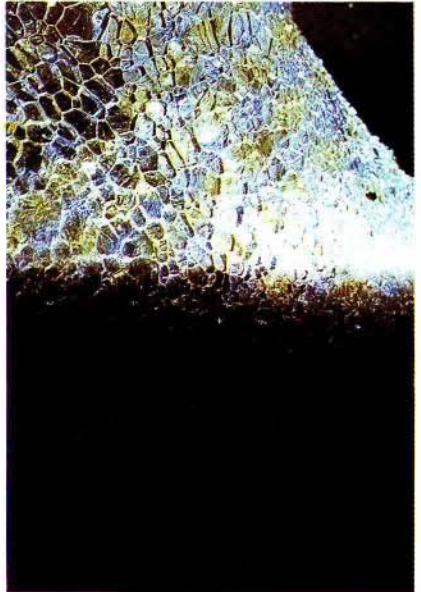


20



24

21 22



26 27B

*Kmalu pa se mi je razširilo obzorje od mesarjevih klad do enajste šole pod mostom; za dobrih sto korakov. Ob vročih poletnih dneh, ko Močilnik usahne, ko je temno Retovje skoraj prazno in ko mila zelena Ljubija sanja svoje tihe sanje globoko pod vrbami, upade Ljubljanska za cel seženj in ošabna Vrhničanka je samo še potok. Ves levi del struge je sam bel prod, od sonca spaljen. Takrat se prične enajsta šola pod mostom ter se neha ob prvih jesenskih nalivih. Mnogokaj sem študiral v svojem življenju, ali tako bogate in koristne učenosti, kakor jo daje svojim učencem enajsta šola pod mostom, nisem zadobil nikjer in nikoli. Kakšna čuda prečudna hrani ta goli, posušeni prod! Očem, ki jih iščejo, srcem, ki verujejo vanje, se kažejo čuda ob vsakem pogledu, ob vsakem koraku.*

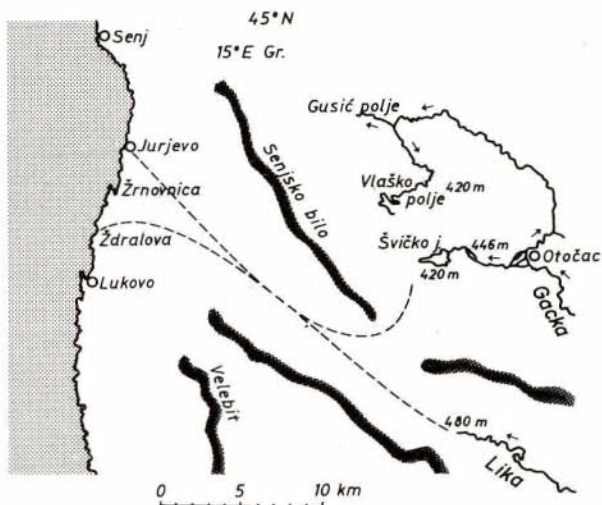
Ivan Cankar: Moje življenje

## 1. GIBANJE VODE IN ZRAKA

Vsak človek doživi svojo enajsto šolo in se je kasneje rad spomni. Moja se je začela na travniku pod šmarjetno goro, kjer je po dežju iz krtovih lukenj izvirala voda. Za bosonoge fantiče ni bilo lepše igrače, kot z ilovico mašiti luknje in čakati, kje bo voda spet privrela na dan. Čeprav se nam ni sanjalo o kakih zakonih za gibanje vode po ceveh in čeprav za fiziko sploh še slišali nismo, se nam je vendarle zdelo, da pojav razumemo.

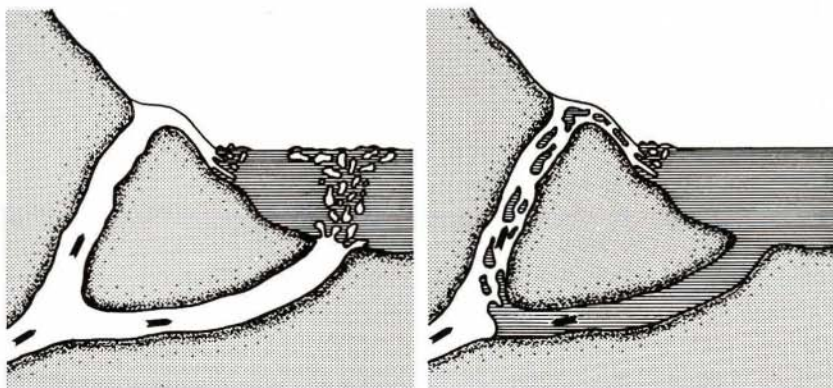
Kakih deset let kasneje se je igra ponovila v večjem merilu. S prijatelji sem se utaboril na morju, in sicer na srečo ravno tam, kjer prihajata podzemeljska Lika in Gacka na dan v velikem številu izvirov (Sl.1). Nekaj jih je na sami obali, nekaj pa tudi na dnu morja. Ob suši so skoraj vsi izviri več ali manj slani, tudi tisti, ki izvirajo po več decimetrov ali še više nad





Sl. 1. Reki Lika in Gacka ter njun domnevni podzemeljski tok do izvirov pri Jurjevu.

Sl. 3. Sistem vrulje in izvira na obali. Zg.: ob veliki vodi vre studenčnica iz obeh odprtin. Sp.: Ob suši se vrulja sprevrže v morski požiralnik; izvir na obali daje tedaj slanasto vodo.





morsko gladino. Včasih vsebuje tak izvir celo več kot 50% morske vode.

Stvar nam ni dala miru in smo začeli izvire na vse načine preiskovati. Izkazalo se je, da se njihova slanost spreminja s plimo in oseko, še bolj pa, ko ob deževju narastejo ali ob suši usihajo. Posebno so nas mikale vrulje - to so izviri na dnu morja, ki se na gladini vidijo kot nekakšna kolesa (Sl.2). Skupino močnih vrulj v zalivu pri Jurjevu, s katero smo se največ ukvarjali, imenujejo domačini Kola, medtem ko pravijo zalivu Na Koli-ma (= "pri kolesih").

S preprosto potapljaško opremo smo si ogledali, kako vre voda iz lukenj na dnu morja. Čeprav je voda čista, se zdi neprozorna, kot kak migetajoč dim. To je zato, ker se svetloba pri prehodu skozi vrtince sladke in slane vode neenakomerno lomi, tako da se žarki zveržijo.

Presenečenj še ni bilo konec. Lepega dne so Kola brez sledu izginila. Gladina je bila mirna, kot da vrulj nikoli ni bilo tam. Pod morjem smo ugotovili, da so se dovčerajšnje vrulje sprevrgle v morske požiralnike. Pol metra široko žrelo, ki je še prejšnji dan bruhalo steber mrzle studenčnice, je zdaj požiralo po kak hektoliter morja na sekundo.

Izviri na drugi strani zaliva so še isti dan izdali skrivnost te vode: čez noč so postali bolj slani. Zadnji dvom pa smo pregnali z barvanjem. Barvilo, ki smo ga dobili od jamarskega društva, smo spustili v morski požiralnik in potem čakali na drugi strani. Res se je čez 4 ure barva pokazala v obalnih izviroh, ki so bili potem zeleni še do naslednjega jutra.

Po vsem tem ni bilo več težko ugotoviti, kako vse skupaj deluje. Nekje globoko pod hribom se vodna žila, ki pelje k izviroh na obali, odcepi od tiste, ki napaja vrulje (Sl.3). Ob povodnji je v žilah tolikšen tlak, da vre iz vseh lukenj čista studenčnica. Ko se ob suši voda skoraj ustavi, pa ni ravnovesja. Težja morska voda vdere skozi žilo vrulje in izpodrine lažjo studenčnico prav do razvodja obeh žil. Tam se potlej meša morje s studenčnico.

Več poletij smo vneto opazovali te izvire. Ne vem, ali je bila to geologija ali zemljepis ali fizika; vsakega nekaj smo se naučili. Všeč nam je bilo, da smo razvozlali uganko jurjevskih vrulj, čeprav je še marsikaj ostalo nerazrešenega. Saj je ob ju-

goslovanski obali na tisoče izvirov in najbrž na stotine morskih požiralnikov. Kdo ve, kako so med seboj povezani? Nihče tudi ne ve, kam zgineva voda, ki občasno teče v skalno razpoko pri Ičićih blizu Opatije, čeprav je bil ta morski požiralnik v literaturi opisan že pred sto leti.

Drobnih problemov je še in še. Inženir me je nekoč vprašal, koliko vode menim, da izvira iz posamezne vrulje. Ali se ne bi dalo to oceniti iz velikosti kolesa na gladini in iz globine dna? Nisem mu znal odgovoriti in še danes ne znam. Študent fizike, ki začinja z diplomskim delom, pa pravi, da bo to poskusil izračunati. Nemara mu bo uspelo, čeprav naloga ni lahka.

Tudi kadar se voda ne skriva pod zemljo, je njeno gibanje dostikrat zamotano in težko razumljivo. Rad postojim na mostu in se čudim vrtincem v reki, kako se vedno znova porajajo, se zaganjajo sem in tja in zginevajo. Povsod srečuje človek takšno vrtilinčeno gibanje. Bral sem pa, da pojava nihče do konca ne razume, čeprav verjamemo, da je povsem določen z na videz preprostim Newtonovim zakonom  $F = ma$ .

Dim, ki se vije iz tovarniškega dimnika, in raznovrstne oblike oblakov nas prepričujejo, da tudi gibanje zraka ni nič manj zamotano. Včasih se razločno vidijo posamezni vrtinci, če vzdigujejo sneg v hribih ali mivko v puščavi (Sliki 4).

Kdor je že hodil po Križni jami, se je gotovo ustavil ob stenah, ki jih je zlizala voda. Taka stena ni povsem gladka, ampak je polna plitvih vdolbin, s premerom po nekaj centimetrov. V planinah najdemo poleti na ostankih snežnih plazov čisto podobne vdolbine, le da so deset do dvajsetkrat večje (Slike 5). Značilno je, da se črna nesnaga iz zraka najraje nabira na robovih vdolbin, česar pa ne znam pojasniti.

Polovičarska razlaga za nastanek vdolbin je hitro pri roki. Obakrat imamo opravka s sledovi vrtincev ali pravzaprav z vzajemnim učinkovanjem. Vrtinci ližejo vdolbine in le-te pospešujejo nastanek vrtincev. Ne znamo pa povedati, zakaj so vdolbine na plazu večje kot v jami. Dokler tega ne znamo, se zdi razlaga še na trhlih nogah.

Vodi in zraku se pri klesanju teh vdolbin godi nemara podobno kot kamionu na cesti. Ker se kamion trese, koplje s kolesi luknje v tla, tako da sčasoma zapiše v cesto podobo svojega nihanja. Luknjasta cesta pa le še bolj vzbuja tresenje. Gotovo se cestni



Sl. 5. Vdolbine, ki jih naredijo vodni vrtinci na steni v jami (foto Marjan Richter), avtomobili na cesti in zračni vrtinci na ostanku snežnega plaz.

inženirji s problemom resno ukvarjajo in znajo o njem kaj več povedati. V sodelovanju s fizikom se bo nemara dala hkrati s cestarskim problemom razrešiti še skrivnost vdolbin na snežnem plazu in v Križni jami. V tem je fizika, da prepoznaš podobnost pojavov, ki so na videz čisto različni.

Ni treba dolgo iskati, da najdemo še kak soroden pojav. Pomislimo, kako vrtinci vetra vzdigujejo valove na morju! Saj valovi gotovo pomagajo vzbujaati vrtince. Dosti učenih razprav in lepih diferencialnih enačb so o tem ljudje že zapisali. V Sovjetski zvezi so celo zgradili velik laboratorij, v katerem s pihalniki burkajo vodo.

Kar naredita voda v Križni jami z raztapljanjem apnenca in zrak s topljenjem plazu, opravita lahko tudi s premikanjem peščenih zrn ali snežink. Kdor hodi pod morje, je gotovo že videl v mivki na plitvem dnu nekakšne kodraste valove. Dogaja se, da se takšni kodrčki sčasoma strdijo in da jih pokrijejo druge plasti,



tako da so v veselje geologom, ki jih čez milijon let odkrijejo v skladih peščenjaka (Sl.6).

Prav podobne kodre oblikuje veter v puščavski mivki in v svežem snegu. Poleg drobnih kodrov pa najdemo tu tudi večje oblike, namreč v snegu zamete in v puščavi sipine. Zamet se rad naredi ob kaki oviri, kjer zrak zastaja, tako da se snežinke sesedajo. Nastali zamet si sam naredi zavetrje in si s tem omogoča nadaljnjo rast in počasno napredovanje. Vprašanje je le, kako se spočnejo zameti ali sipine na ravnem, kjer ni ovir. Resnejše raziskovanje teh pojavov se je šele začelo.

Nenavadno skupino peščenih sipin najdemo v dolini reke Rio Grande v ZDA. Ravno dno široke doline je čez in čez puščavsko, vendar ga pokriva le tanka plast mivke. Samo v kotu pod hribi se je mivka nagrmadila visoko kot Šmarna gora in več kilometrov na široko (Sl.7). Z vetrom se te sipine le čisto malo selijo sem in tja, ne da bi se mivka razgubila po širni dolini. Ali je temu krivo bližnje sedlo med hribi?

Snežni zamet in puščavska sipina v svoji notranjosti nista povsem enakomerna. Ko vihar obrusi že sprijeti zamet, se v njem pokažejo plasti. Plasti niso enakomerno debele, tako da se vidijo valovite črte, kot če bi jih začrtal otrok, ki še ne zna ri-



Sl. 8. Peščenjak, ki je nastal iz puščavskih sipin.

Sl. 10. Jamice v apnencu ob morski obali.

Sl. 13. Podobne oblike kot v snegu naredi veter tudi iz posušene blatne naplavine v puščavi.

sati vzporednic. Ravno takšne črte najdemo v posebnem peščenjaku, za katerega trdijo geologi, da je nastal iz strjenih puščavskih sipin (Sl.8).

Ko se pogovarjamo o medsebojnem učinkovanju vode ali zraka in trdne podlage, moramo pomisliti še na erozijo, to je na pojave razjedanja zemeljske površine. Na vsakem planinskem izletu se lahko čudimo oblikam, ki jih je v kamen izklesala voda. Škrape, ki jih zliže deževnica v apnenec, so vsakomur znane (Sl.9). Kemik bi najbrž znal povedati, kako hitro se apnenec topi in od česa je to odvisno. Zakaj voda ne liže enakomerno in od česa je odvisna širina škrap, pa s tem še ni pojasnjeno.

Še bolj nenavadne so oblike apnenčevih skal ob morski obali. Včasih je skala skoraj gladka, včasih pa hudo nazobčana. Ponekoda sta dež ali morje izdolbila lične jamice, kot da bi kaplje venomer zadevale na ista mesta (Sl.10).

Tudi veter grize, ne samo voda. Zimski viharji v gorah obrusijo strjen sneg v prečudne oblike (Sl.11,12). Podobne umetnije dela veter v puščavi. Zlasti uspešen je s posušenim blatom, ki je kje preostalo od zadnjega deževja (Sl.13).



Sl. 14. Led na jezeru. Posamezni kristali so temno obrobljeni, ker vsebujejo tam manj mehurčkov.

## 2. ČUDODELNA ZIMA

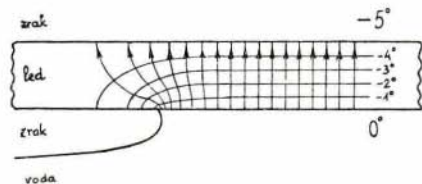
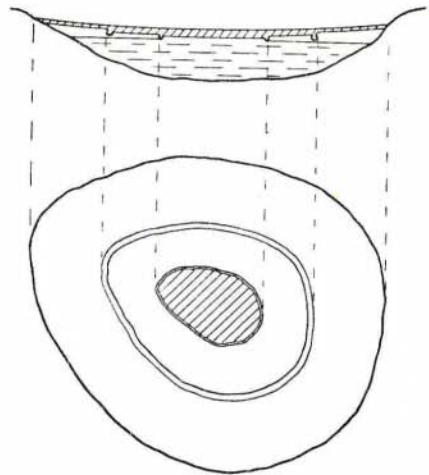
Dosti nenavadnega doživimo pozimi, ko je narava uklenjena v led in sneg. Vsaka snežinka in vsak kos ledu sta čudo zase, kajti to so sami kristali. Oglejmo si jih od blizu!

Lovci na minerale se včasih hvalijo, če najdejo nekaj centimetrov velike kristale kremenca ali česa drugega. Rekordov pa ni težko potolči z ledenimi kristali, ker najdemo na zamrzlem jezeru lahko po meter velike primerke. Kdor tega še ni videl, naj se poda pozimi na Bled. Treba je samo, da takrat, ko je že zero zmrzovalo, ni padal sneg. Kristali ledu se vidijo že od daleč, ker so obrobljeni s temnejšimi pasovi (Sl. 14). Sredica kristala je namreč polna mehurčkov, ki so se vzdignili iz vode, medtem ko je obrobni pas skoraj bister. Zakaj je tako, še vedno ne vem, čeprav je bila slika posneta pred 30 leti.

Drugo posebnost opazimo na zamrznjenih cestnih lužah. Zaradi usihanja preostale vode se pod ledom pojavijo veliki mehurji, ki so obrobljeni s čudnimi rebri (Sl. 15). Nekaj dni star ledeni pokrov luže je na spodnji strani ves okrašen s kačastimi rebri, ki so včasih po več centimetrov debela.

Za razlago moramo vedeti, da voda in led dosti bolj prevajata toploto kot zrak.

Sl. 16. Tako si razlagamo nastanek reber na ledu na lužah. Zgoraj: luža v prerezu in v tlorisu. Spodaj: toplotne tokovnice in izoterme v ledenem pokrovu.





Ob robu mehurja naredijo zato toplotne tokovnice ovinek, kot kaže slika. Na ovinku se toplotne tokovnice zgostijo (Sl. 16), tako da uhaja tam z vsakega  $\text{cm}^2$  vodne površine več toplote na sekundo kot dalj stran od mehurja. Zato tam voda posebno hitro zmrzuje.

Ob gorskem potoku rastejo nenavadne ledene gmote na visečih vejah in koreninah, po katerih škropi voda. Umetnik si jih ne bi mogel bolje izmisliti in težko da bi vedel kdo pojasniti, zakaj so oblike ravno takšne in ne drugačne. Nikjer drugod pa ni toliko teh ledenih čudes kot v Rakovem Škocijanu. Tja je treba priti v mrzli zimi, ko reka počasi usiha. Na skalah in stenah ob bregovih se najprej naredi ledena skorja, na katero se obešajo venci ledenih sveč (Sl. 17). Pri nadaljnjem usihanju vode se sveče podaljšujejo in končno razrastejo v ogromne ledene zvonove (Sl. 18).

Ob jamskih vhodih je pozimi dovolj mraz, da naredi kapljajoča voda ledene kapnike, na stenah pa skorjo ledu. Oblike so včasih presenetljivo podobne tistim iz sige, le da rastejo milijonkrat hitreje (Sl. 19).

Iz ilovnatih tal raste led v obliki tankih lasastih kristalov (Sl. 20). Zanesljive razlage ne poznam; vendar se zdi, da je krivo zvečanje prostornine ob zmrznjenju vode. Tlak vode, ki pod že zmrznjeno skorjo naraste, nemara iztiska led iz luknjic kot kako zobno pasto. Včasih so nastali ledeni lasje po cel decimeter visoki. Rastejo s tolikšno silo, da privzdigujejo vrhnjo suho plast zemlje z drobnimi kamenčki vred.

V jasni zimski noči se na tleh naredi slana. Nekaj drugega je ivje, ki nastaja le v megli (Sl. 21-23). Oboje so kristalčki ledu, le da so tisti v ivju ponavadi daljši in bolj razraščeni. Megla, iz katere se dela ivje, vsebuje podhlajene kapljice, ki same od sebe zlepa ne zmrznejo. Ko takšna kapljica trči ob ledeni kristal, pa v hipu zmrzne in s tem kristal poveča.

Zanimivo je, da na podoben način delajo umetne kristale korunda ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) in njegove obarvane inačice: rubin, safir. Prah iz te snovi sipljejo skozi plamen, pod katerega nastavijo že narejen kristalček. Ko nanj prileti kapljica raztaljenega korunda, se strdi, in sicer vselej tako, kot to narekuje zgradba že obstoječega kristala. Po več centimetrov ali celo decimetrov dolge kristale naredijo na tak način.

Znano je, da so kristali lepši, če rastejo počasi. Potem ko se pod ledom na luži naredi mehur, toplejša voda počasi prehlapuje na spodnjo površino ledu. Tam najdemo slano iz več milimetrov velikih šesterkotnih kristalčkov. Zrastejo vzporedno, kot to narekuje ledena podlaga (Sl. 24).

Sneg je poglavje zase. Kadar v hudem mrazu po malem naletava, je narejen iz pravilnih šesterkotnih zvezdic. Vendar je lepota kratkotrajna, kajti kljub mrazu osti zvezdic kmalu otopijo. V nekaj dneh se kristali snega preoblikujejo v zrnca. Celo s čevlji lahko čutimo, da je tak sneg čisto drugačen. Pojav je znan z imenom rekristalizacija in je zlasti pomemben pri kovinah, ker so od tega odvisne spremembe mehaničnih lastnosti pri pregrevanju.

V gorah lahko obleži sneg vse leto ali celo tisočletja. Kristali se sčasoma še dalje preoblikujejo in tudi rastejo eden na račun drugega. Tako nastane sren in nazadnje ledeniški led (Sl. 25). Ta je ves iz nepravilno oblikovanih kristalov, ki so večkrat po nekaj centimetrov veliki in zagozdeni drug v drugega. Še marsikatero zanimivost odkrijemo ob izletu na alpski ledenik, ki nas v marsičem spomni na kraški svet. Na ledeniku naletimo na izvire in požiralnike (Sl. 26); pod njim pa teče ledeniška reka.

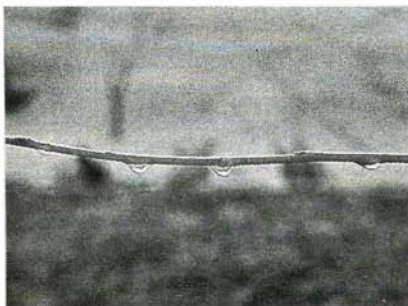
Ko se zima začne obračati v pomlad, si oglejmo ledeno svečo ali ledenik v jami, kako kopnita! Površina je vsa razbrazdana in vzdolž teh brazd začne led razpadati na kose (Sl. 27). Blejci pravijo, da je tak led gnil. Brazde so tam, kjer so meje med kristali. Zdaj pravzaprav šele vidimo, da je sveča res narejena iz kristalov. Na meji med kristali so molekule šibkeje povezane, tako da se začne led tam najprej tajati. Podoben pojav izkoriščajo metalurgi pri preiskovanju kovinskih površin. Ko površino jedkajo s kislino, nagriže ta kovino najprej na meji med kristalnimi zrni. Pod mikroskopom se potem meje razločno vidijo.

List, ki ga je veter zanesel na sneg, se ob sončni pripeki globoko vdere. Vsi vemo zakaj: zato, ker list svetlobo močneje absorbira kot sneg. Tudi okrog kamna sneg hitreje kopni in ravno tako okrog drevesa (Sl. 28).

Na planinski senožeti je zrak še mrzel, čeprav pripeka sonce. Dogaja se, da sneg kopni, v tem ko se ob robu, za kako ped od tal, strjuje v tanko skorjo ledu. Skorja varuje premrlo rastlinje, podobno kot steklo tople grede.

### 3. POVRŠINSKA NAPETOST

O mirujoči vodi bi človek mislil, da skoraj ni vredno razpravljati. Pa si oglejmo kapljice, kako se v dežju obešajo na telefonsko žico ali na vodoravno vejico drevesa (Sl. 30). Vsi znamo povedati, da kapljice obstanejo zaradi površinske napetosti, ki spada med osnovne lastnosti vsakršne kapljevine. Površina kapljice deluje kakor prožna kožica in drži ravnovesje teži. - Za-



Sl. 30. Kapljice na vejici

kaj pa se voda ne porazdeli enakomerno po žici ali veji, tako da bi na njej visela kot kaka podolgasta vreča? - To je zato, ker je vrečasta oblika labilna. Že pri najmanjši neenakomernosti v debelini vreče se ravnovesje podre. Kjer je vreča tanjša, površinska napetost vodo močnejše stiska in jo zato od tam izrine. V trebuhih pa se vreča še bolj napihne, tako da nastanejo kaplje.

Kaplje, ki pri veslanju škropijo na vse strani, včasih še nekaj časa drčijo po gladini, preden potonejo. Lahen veter pomaga, da se drseča kaplja obdrži dalj časa. Videti je, da kaplja neko jaha na tanki zračni blazini, ki jo ima pod seboj. S tanko pipeto se dajo tudi doma v kozarcu narediti drseče kaplje. Vendar je za ta namen 50%-na mešanica alkohola in vode boljša kot sama voda. (Ne vem, zakaj.)

Površinska napetost vpliva tudi na razširjanje drobnih valov po vodni gladini. Zaradi nje potujejo hitreje, kakor če bi vplivala samo teža, kot je to pri dolgih valovih. Namesto da bi pisali enačbe, pa si raje oglejmo valove, ki jih naredi tanka vejica na gladini potoka (Sl. 31)! Slika je ravno takšna, kot če





Sl. 33. Razpokana skorja posušenega blata. Na desni sliki je veter že obrusil robove posameznih kosov skorje, tako da so ostali le nekakšni čepi.

bi vejico enakomerno pomikali po stoječi vodi. Za vejico dobimo klinaste valove, pri katerih znamo iz kota izračunati hitrost valovanja.

Opazimo, da kót ni za vse valove enak, iz česar sklepamo, da je njihova hitrost odvisna od valovne dolžine. Takemu pojavu pravimo disperzija. Tudi pred paličko je nekaj prav drobnih valov, z valovnimi dolžinami samo po nekaj milimetrov. Sklepamo, da potujejo taki valovi hitreje kot nekoliko daljši. Iz površinske napetosti vode so izračunali, da so valovi z valovno dolžino 1,7 cm najbolj počasni, in sicer imajo hitrost 23 cm/s. Še bolj počasnih valov na vodi sploh ni.

Natančen opazovalec odkrije na gladini potoka še kako posebnost. Kjerkoli zadeva tekoča voda ob pregrajo, se na gladini pojavi nekakšna plavajoča nitka, ki se zviija sem in tja (Sl. 32a). Včasih izgine, a se takoj spet pojavi. S potrpljenjem kmalu najdemo pojasnilo. Drobne smeti, ki plavajo na vodi, ob nitki sunkoma zastanejo. Če zapira pregraja gladino čez vso strugo, se za nitko kmalu nabere cela smetana drobne nesnage. Da ni treba čakati, potresemo potok z aluminijevim prahom, ki se ves nakopiči za nitko in pokrije ta del gladine. Očitno se tu gladina sploh ne giblje, kot se pred nitko.

Spomnimo se, da mnoge nečistoče močno zmanjšajo površinsko napetost vode! Takšna snov se rada kopiči na gladini in deluje kot nekak dvodimenzionalni plin, ki gladino razganja. Ko mu pregrada zapre pot, se "dvodimenzionalni plin" kopiči pred njo, ker ga stiska dotekajoča voda. Ko je "plina" dovolj, se vzpostavi ravnovesje. Zamazani del gladine pokriva potem potok kot kaka odeja; voda odteka pod njo. Sprednji rob odeje se zaradi naleta tekoče vode nalahno privzdigne. Ta rob vidimo kot nitko (Sl. 32b).

S površinsko napetostjo pojasnjujemo, zakaj pivnik pije vodo in zakaj zleze voda med zrnca prahu, ko ga namoči dež. Če je prah pravšne vrste, nastalo blato nabrekne, ker voda njegove delce razmakne. Ko se osuši, pa se mora spet skrčiti. Najprej se strdi v skorjo, potem pa razpoka (Sl. 33).

Posebno vlogo ima površinska napetost tudi pri drobnih kapljicah, kakršne so v megli in v oblakih. Preden se lotimo te razprave, pa moramo pogledati, kako kapljice sploh nastanejo. En način je, da se vlažen zrak vzdigne, pri čemer se raztegne in zato ohladi. Ko se ohladi do rosišča, tako da je dosežena nasičana vlažnost, se začnejo delati kapljice. Kadar čez gorski vrh piha južni veter, se mu na vrhu rada naredi kapa. Kljub vetru se kapa nikamor ne gane (Sl. 34). Spredaj namreč venomer nastaja, medtem ko zgineva na drugi strani, kjer se zrak ob spuščanju stiska in zato segreva.

Ko privzdignemo pokrov lonca, v katerem se kuha kosilo, se tudi naredi megla. Ko se para iz lonca pomeša z mrzlim okolnim

zrakom, nastane prenasičeno vlažna zmes. Višek vodne pare se takoj kondenzira v kapljice. Toda, ko se primeša več in več okolnega zraka, ki ni nasičeno vlažen, kapljice spet izhlapijo, tako da se megla razgubi (Sl. 35).

Na prav podoben način nastane megla na meji dveh različno toplih zračnih plasti, če sta zadosti vlažni. Z vrha hriba vidimo pravcato megleno morje (Sl. 36).

V jasni zimski noči se tla in zrak pri tleh zaradi sevanja hitreje ohlajata kot višje plasti ozračja. Če je ohladitev dovolj huda, se zjutraj zbudimo v megli. Z vrha hriba pa spet vidimo megleno morje (Sl. 37).

Marsikaj o nastanku megle zvemo pri opazovanju sledi, ki jih po nebu rišejo letala. Sled nastane v dvojnem vzdolžnem vrtincu, ki ga puščata krili za seboj (Sl. 38). Znotraj vrtinca je zaradi zmanjšanega tlaka zrak nalahko ohlajen, tako da se naredi megla, če je prvotna vlažnost že skoraj nasičena. Ko se vrtinec umiri, se zrak segreje na prvotno temperaturo in meglena sled se razkadi. Letalo vleče tedaj za seboj le razmeroma kratko sled.

Veliko težje je razumeti, da sled včasih sploh noče izginiti, ampak sega čez vse nebo. Kar naprej se sled debeli, da dobimo nazadnje klobasast oblak (Sl. 39). Še celo uro ga lahko gledamo, dokler ga ne odnese veter. Sklepati moramo, da je bil zrak, ki ga je letalo preletelo, ne le nasičen z vlago, ampak celo malce prenasičen. Če je tako, pa spet ni jasno, zakaj se že sam od sebe ni naredil oblak. Človek bi mislil, da se mora iz prenasičeno vlažnega zraka takoj izločiti toliko kapljic, da je preostali zrak ravno nasičeno vlažen.

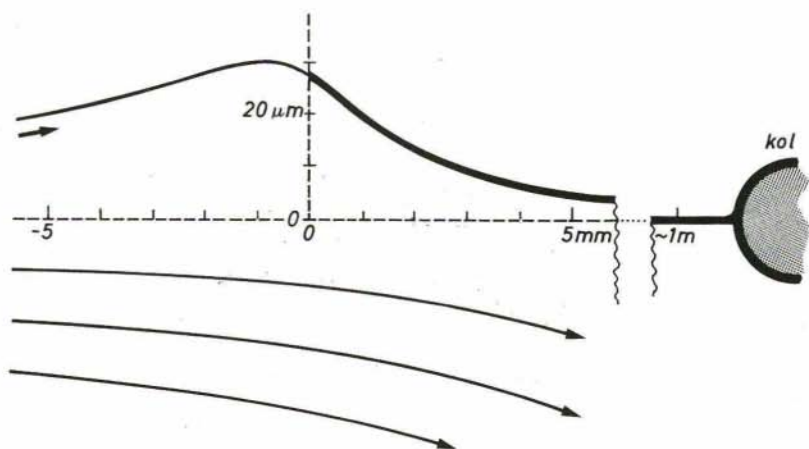
Tu pride na vrsto površinska napetost, ki kapljico stiska, in sicer tem bolj, čim manjša je. Zato majhna kapljica raje izhlapeva kot velika, tako kot se človek poti, če ga kdo stiska. Natančneje povedano: majhna kapljica je v ravnovesju z zrakom samo, če je ta z vlago primerno prenasičen. Kapljica z radijem  $1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm}$  zahteva za ravnovesje vlažnost 100,1%. Pri samo 100%-ni vlažnosti takšna kapljica že v nekaj sekundah izhlapi. Le če vlažnost preseže 100,1%, se bo kapljica začela rediti.

Zdaj nam ne gre več v glavo, da je na svetu sploh kaj oblakov



in megle. Kako neki lahko nastanejo v vlažnem zraku prvi zametki kapljic, ki zahtevajo zaradi svoje majhnosti veliko prenasičenost? Kapljica z radijem  $0,1 \mu\text{m}$  zahteva vlažnost 101%, takšna z radijem  $0,01 \mu\text{m}$  že 110% in takšna z radijem  $0,001 \mu\text{m} = 1 \text{ nm}$  celo 200%. Tako strašno prenasičen z vlago pa zrak v naravi nikdar ni.

Pomagajo kondenzacijska jedra, to so delci prahu in soli, ki delujejo kot zametki kapljic. V nižjih plasteh ozračja je več teh jeder in večja so, tako da se naredi megla, kakor hitro zraste relativna vlažnost preko 100%. V veliki višini, kjer letajo letala, pa je zrak izredno čist in vsebuje le prav drobna kondenzacijska jedra. Relativna vlažnost sme tam narasti malo čez 100%, ne da bi se začele delati kapljice. Letalo s svojim vrtincem in izpušnim dimom pa zaplodi debelejšje kapljice, ki ne morejo več izhlapeti, ampak pritegujejo nase višek vodne pare. Tako nastane trajen oblak.



Sl. 32b Izračunani profil plavajoče nitke, ki se pojavi na tekoči vodi, ko gladino pregradimo s kolom. Zamazani mirujoči del gladine pred kolom je narisano debelo, čisti del, ki teče skupaj s spodnjo vodo ( $v = 0,1 \text{ m/s}$ ), pa tanjše. Višina nitke je stokrat bolj povečana kot širina, zato da je slika razločna. Tokovnice spodaj pa so skicirane nepopačeno.

#### 4. SVETLOBA IN BARVE NA NEBU

Svetlobni pojavi na nebu so bili od nekdaj v veselje pesnikom in drugim umetnikom, pa tudi fizikom. Če hočemo te pojave razumeti, moramo nekaj vedeti o odboju in lomu svetlobe ter še o uklonu in interferenci.

Človek bi mislil, da odboja v zraku nikjer ne vidimo, ker ni ravnih površin. Pa se vendarle včasih motimo. Pri vožnji z letalom se dogaja, da se na plasti koprenastih oblakov (cirrusov) pod nami razločno zrcali Sonce. Vemo, da so taki oblaki iz ledenih kristalčkov in domnevati moramo, da so kristalčki ploščati, kot kake majhne snežinke. Ko počasi padajo, se sami od sebe postavijo v približno vodoravno lego, da pričarajo videz ogledala.

Podoben razmazan odboj dobimo na rahlo valovitem morju, na katerem se pokaže nekakšna zlata cesta. Takšno "cesto" vidimo tudi na lastnih vekah, če na pol zamižimo, ko gledamo v luč. Lahko jo tudi naredimo na urnem steklu, s tem da čezenj potegnemo s potno dlanjo. Odsev luči na steklu je potem prekrižan s svetlo črto, ki stoji pravokotno na potnih sragah. Črta je sestavljena iz drobnih zrcalnih slik luči, ki jih naredijo posamezne srage. Podobno je z valovi na morju.

Ob prvem spomladanskem dežju pogledjmo skozi še golo vejevje proti luči! Zdi se, kot da bi bile veje razporejene v kolobarjih (Sl. 41). Razlaga je podobna kot prej: luč odseva vselej s tistega dela veje, ki stoji v tangentski smeri na namišljen krog okoli luči. Če kdo razlagi ne verjame, naj pogleda v luč skozi šop steklene volne. Tudi če so vlakna še tako pomešana, se zdijo zvita v kroge.

Z lomom svetlobe znamo razložiti, zakaj je zahajajoče Sonce na videz ploščato. Žarki s spodnjega robu Sonca se močneje lomijo, tako da je ta rob videti bolj privzdignjen kot zgornji.

Tudi mavrico, ki je nemara najbolj imenitni svetlobni pojav

na nebu, si v glavnih potezah razložimo z odbojem in lomom. Sončna svetloba se lomi, ko vstopi v kapljico, se zadaj odbije in se spet lomi ob izstopu. V določenih smereh se zbere posebno dosti te svetlobe - ta nam priča o mavrici. Barve se kažejo zaradi disperzije, se pravi zato, ker ima svetloba z različno valovno dolžino v vodi različno hitrost in se zato različno močno lomi.

Starodavna razlaga z lomom ne more pojasniti vseh značilnosti mavrice. Drobni pisani pasovi na notranjem robu glavne mavrice se na tak način že ne dajo razložiti. Ti pasovi so odvisni od velikosti deževnih kapelj in nastanejo zaradi uklona in interference svetlobe. O odbojem se moramo natančneje pomeniti.

Najprej nekaj besed o interferenci! Najlaže jo razumemo, če si ogledamo svetlobo, ki odseva s tankega milnega mehurčka ali z razpoke v ledu ali s plasti olja na vodi. V odbiti svetlobi je plast videti baryasta. Barva se spremeni, če spremenimo debelino ali če plast nagnemo, tako da se spremeni vpadni kot.

Veliko lepši kot na milnem mehurčku ali oljni plasti je interferenčni pojav pri odboju svetlobe na krilih nekaterih zelenih hroščev (Sl. 42). Ko hroščča nagnemo, se zelena barva prelije v modro, kar dokazuje, da imamo res opraviti z interferenco in ne s kakim zelenim barvilom. Hroščeva krila so narejena iz enakomerno razmaknjenih tankih plasti, ki so ločene z zrakom. Razmik je tolikšen, da je za pravokotno odbite žarke pot do druge plasti in nazaj ravno za valovno dolžino zelene svetlobe daljša kot pot do prve plasti. Zato se zelena svetloba ojačeno odbije. Ojačenje je izredno močno, ker prispevajo k temu tudi nadaljnje plasti.

Dolgo so ljudje zavidali hroščem, katerih živozeleni odsev niso znali ponarediti z nobenimi poskusi. Šele v novejši dobi so se naučili izdelovati enakomerne skladovnice tankih plasti, ki učinkujejo podobno kot hroščeva krila. Naredijo jih z izmeničnim naparevanjem dveh različnih snovi v vakuumu. Med takšne izdelke spadajo interferenčni filtri, ki prepuščajo samo svetlobo določene barve, čeprav v njih ni nobenega barvila. Ko filter nagnemo, se barva spremeni.



Uklon je ime za pojav, da gre valovanje lahko okrog ovir. Pri zvočnem valovanju se ne zdi to nič čudnega, ker okrog ogla dobro slišimo. Da bi kaj videli okrog ogla, si pa ne upamo trditi. Vendar pogledjmo previdno proti Soncu, ki ga zastremo z ostrino noža! Zares: ostrina se blešči, čeprav je Sonce zakrito. Svetlobni valovi se uklanjajo ob ostrini. Uklanjajo se dosti manj kot zvok, ker je valovna dolžina tolikokrat krajša. Oglej si še sliko 43!

Zdaj se lahko povrnemo k pojavom na nebu. Ko smo se prej pogovarjali o kapljicah v megli, smo pozabili vprašati, kako velike so pravzaprav. Včasih ugotavljajo to tako, da jih lovijo v plast olja in jih potem gledajo pod mikroskopom. Nekaj pa zvemo tudi z opazovanjem svetlobe, ki se uklanja na kapljicah. Ker se uklanja na vse strani, pravimo, da kapljice sipljejo svetlobo. Zaradi te svetlobe vidimo meglo in oblake.

Debelejše kapljice sipajo bolj kot majhne, pri čemer je pomembno razmerje velikosti v primeri z valovno dolžino. Če je kapljica manjša kot valovna dolžina, siplje modro svetlobo močnejše kot rumeno ali rdečo. Zato je razsuta svetloba videti modrikasta, medtem ko je prepuščena svetloba rdečkasta. Oboje opazimo pri dimu, v katerem je obilo prav drobnih kapljic katrana. Skozi zadimljen zrak je Sonce videti rdečkasto. Ko pa si z vrha hriba ogledujemo zadimljeno plast, se zdi modrikasta (Sl. 44).

Sipanje svetlobe na prav drobnih delcih se da razložiti tudi na bolj preprost način, ne da bi bilo treba študirati uklon in interferenco. Izmenično električno polje svetlobnega valovanja vzbudi v delcu dima električno nihanje. Delec deluje zato kot majhna antena, ki oddaja elektromagnetne valove (to je svetlobo) na vse strani. Smerna porazdelitev teh valov je enaka kot pri majhni radijski anteni paličaste oblike.

Na enak način sipajo svetlobo tudi molekule v zraku. Zaradi molekul je nebo modro. Če se svetloba v zraku ne bi sipala, bi bilo nebo tudi podnevi črno kot ponoči. Večerna svetloba, ki ima daljšo pot skozi zrak, je iz že navedenega vzroka rdečkasta. Vse jutranje in večerne zarje si na ta način lahko razložimo (Sl. 45a).

Ko Sonce zaide, potemni nebo najprej na vzhodni strani. Ob zelo jasnem vremenu se vzdiguje mrak kot kaka temna zavesa. To je senca Zemlje, ki jo zadnji sončni žarki projicirajo v zrak (Sl. 45b).

Megla ima razmeroma debele kapljice in siplje zato vse sestavine bele svetlobe približno enako močno. To slišimo v šoli, tako da se že nič več ne čudimo. Pa vendar ni vse tako preprosto. Namesto megle vzemimo leskov ali kak drug cvetni prah in z njim potresimo šipo! Lisičjakovi trosi so tudi dobri za ta namen; pomembno je samo, da so zrnca prahu vsa enako velika. Pri pogledu skozi potreseno šipo v oddaljeno luč se pokažejo mavrični kolobarji.

Kolobarji se kažejo zaradi interference svetlobe, ki se uklanja na nasprotnih robovih posameznega trosa. V tisti smeri, v kateri je za svetlobo določene barve razlika poti ravno enaka celi valovni dolžini ali njenemu mnogokratniku, se ta svetloba ojači, tako da prevpije druge barve. Če je tros drobnejši, je za enako razliko poti potreben večji odklon žarkov. Razumljivo je torej, da dobimo z drobnejšim prahom večje kolobarje. Na ta način celo lahko določujemo velikost cvetnega prahu, ne da bi potrebovali mikroskop. Na mnogih področjih fizike se uporablja ta način merjenja. Na podoben način so celo določevali velikost in zgradbo protona, le da so namesto svetlobe na njih sipali hitre elektrone.

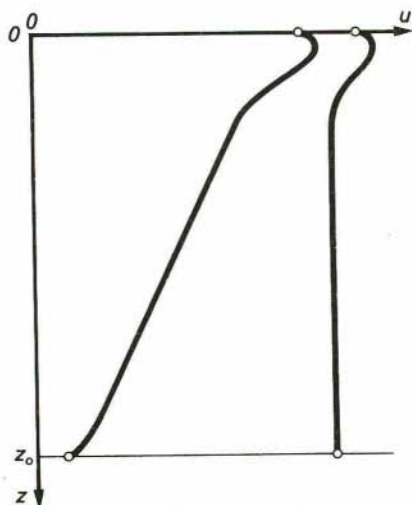
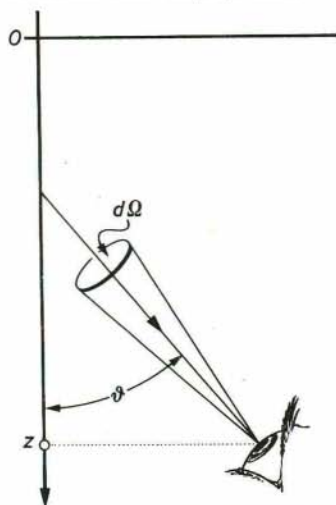
Za čudo ne dobimo prav nobenih kolobarjev, če potresemo šipo z moko namesto s cvetnim prahom. To je zato, ker so delci moke različno veliki. Za vsako velikost zrnca dobimo svoj kolobar. Številni kolobarji se prekrijejo, tako da se barve zlijejo v razmazan bel soj. Tako šele razumemo, zakaj je megla bela. Zato, ker so v njej različno velike kapljice, ki so vse precej velike v primeri z valovno dolžino.

Na misel nam prihaja, da velikost kapljic v megli morda ni vselej tako hudo različna. Izjemoma se namreč vendarle vidijo kolobarji okrog Sonca in Lune, čeprav so redkokdaj tako lepi kot tisti s cvetnim prahom. Tudi skozi šipo, ki jo z dihanjem orosimo, se vidijo kolobarji (Sl. 46). Če še malo dahnemo, se

kolobarji pomanjšajo, ker se kapljice zdebelijo. Po daljšem poskušanju pa se kolobarji razmažejo, ker so kapljice že preveč različne.

Lep kolobar okrog Lune dobimo samo, če je oblačna koprena še le pravkar nastala, kajti le v mladem oblaku so kapljice približno enako velike. Ko se oblak postara, se kolobar razmaže, kar kaže, da so kapljice postale neenake. Na svoj način se namreč gredo kapljice kapitalizem; majhne hujšajo, debele se pa na njihov račun redijo. To je že zopet zaradi površinske napetosti. Zaradi nje namreč drobnejše kapljice izhlapevajo z večjim tlakom, kot že vemo. Debelejše kapljice, ki so zadovoljne z manj prenasičeno vlažnostjo, pa si prisvajajo odvišno vodno paro.

Kadar se ob sicer jasnem zimskem dnevu pojavi tanek oblak, se včasih zaleskeče v mavričnih barvah. Takrat vemo, da ima posamezen del oblaka same približno enako velike kapljice. Prav kmalu, včasih še preden pripraviš fotografski aparat s teleobjektivom, pa barve že zbledijo, ker so se povečale velikostne razlike med kapljicami.



Sl. 47 K pojmu svetlost megle.

Sl. 48 Odvisnost svetlobne gostote  $u$  od globine  $z$  v megli. Desna črta velja za bela in leva za črna tla. Os  $z$ , ki predstavlja neodvisno spremenljivko, je zasukana navzdol, odvisno ( $u$ ) pa nanašamo v desno.



## 5. SVETLOBA V MEGLI

Megla se zdi vsakomur na moč dolgočasna in na prvi mah si težko predstavljamo, da bi se dalo o njej kaj mikavnega povedati. Vendar resnih vprašanj tudi tu ne manjka, če si le upamo spraševati brez predsodkov.

Ko buljimo v debelo plast megle, Sonca ne vidimo skoznjo, čeprav je okrog nas še kar svetlo. Kako neki pride svetloba do nas, če naravnost ne more? Na misel nam pride, da gre svetloba skozi meglo po hudo zverženih poteh. Na vsaki kapljici se je nekaj razsuje, tako da si jo kapljice podajajo druga drugi. V vseh smereh potujejo svetlobni valovi, česar si ni lahko predstavljati. Lahko se spomnimo, kakšni so valovi na morju, kadar v vihnem vremenu butajo ob obalne čeri. Kdor bi si upal risati žarke, to je pravokotnice na valove, bi moral postreči z nepregledno množico cikcakastih črt od kapljice do kapljice ali od čeri do čeri.

Ali se da takšno neurejeno valovanje sploh opisati? - Ne da se, če vztrajamo pri verni podobi vsake potankosti, se pravi, če bi hoteli poznati vsak svetlobni val, ki izhaja iz posamezne kapljice. Ne samo, da bi bil opis nepregleden in zato povsem neuporaben, ampak zanj niti nimamo dovolj podatkov. Saj ne poznamo lege posameznih kapljic, ampak kvečjemu lahko ugotovimo, približno koliko jih je v prostorninski enoti in kako debele so.

Da bomo mogli razpravljati o porazdelitvi svetlobe v megli, se bomo morali odpovedati natančnemu opisu svetlobnega valovanja in računati s primernimi povprečji. Še na mnogih področjih fizike tako delamo in neredko je to edini način, da sploh napredujemo. Gibanja vode v cevi nihče ne opisuje tako, da bi za vsako molekulo povedal, kako se giblje. Vprašamo le za hitrosti namišljenih vodnih kapljic, to je tolikšnih delov vode, da je v vsakem na milijone molekul. Opazovana hitrost vode je le

povprečna hitrost molekul v takšni množici. Gibanje posameznih molekul je kar se da neurejeno in še na misel nam ne pride, da bi ga hoteli nadrobno opisovati. Tudi pri električnem toku ne vprašamo za gibanje posameznih elektronov, ampak le za število, ki gre na sekundo skozi namišljen presek žice. To število pove, kolikšen je tok.

V šoli smo se čudili vrvenju maščobnih kapljic v mleku ali sajnih zrnč v tušu, ki so nam jih kazali pod mikroskopom. Ob tem smo si lahko predstavljali, kako neurejeno je individualno gibanje molekul v snoveh. Pravimo, da je to termično gibanje (ali Brownovo gibanje, če so delci dovolj veliki, da jih razločimo pod mikroskopom). Zaman bi ga skušali verno opisati. Pač pa je nad vse pomembno vedeti, kako živahno je to gibanje v povprečju, kar opredelimo s temperaturo.

Pri megli lahko vprašamo, kolikšen svetlobni tok, npr. koliko wattov vidne svetlobe dobiva oko opazovalca iz vseh smeri znotraj ozkega stožca, ki ima vrh v zenici (Sl. 47). Povedati moramo, kako velik prostorski kot stožec ( $d\Omega$ ) objema, to je, kolikšno površino odreže na krogli z enotnim radijem in s središčem v vrhu stožca. Ko sprejeti svetlobni tok v mislih delimo z omenjenim prostorskim kotom in še s ploščino zenice, dobimo tako imenovano svetlost megle. Ne da bi razčlenjevali definicijo te količine, že razumemo njen pomen: svetlost pove, kako svetla se zdi megla.

Ko se ob meglenem vremenu vzpenjamo v hrib, postaja svetloba vse močnejša. Svetlost megle je torej odvisna od koordinate  $z$ , s katero merimo globino v megli. Razen tega ugotovimo, da je megla nad nami videti bolj svetla kot v poševnih ali vodoravnih smereh. Potemtakem je svetlost megle odvisna tudi od naklonskega kota  $\theta$  proti navpičnici (Sl. 47). Simbolično bomo zapisali  $I = I(z, \theta)$ , pri čemer pomeni  $I$  svetlost, v oklepaju pa sta napisani spremenljivki, od katerih je svetlost odvisna. Kakšna je ta odvisnost, nam za zdaj ni mar.

Seveda ni vseeno, kako gosta je megla. Včasih je tako razredčena, da se vidi do konca ulice, drugič pa še sosednjo hišo komaj razločimo. Posvetimo ponoči v meglo z žarometom, da vrže

vanjo tanek curek močne svetlobe! Ko curek spremljamo v njegovi smeri, slabi, kajti svetloba se iz njega izgublja zaradi kapljic, ki se sipajo na vse strani. Dobro je vedeti, kako daleč moramo iti s curkom, da se svetlobni tok v njem  $e$ -krat, to je 2,718-krat, pomanjša. Ta razdalja ( $l$ ) se imenuje povprečna prosta pot svetlobe v megli. Kdor si malo preveč nazorno predstavlja fotone (svetlobne delce), poreče, da je  $l$  povprečna razdalja, ki jo prepotuje foton, preden ga kapljica v megli vrže v drugo smer.

(Število  $e$  bralca najbrž ni vznemirilo. Saj se z njim pogosto srečamo pri razpravah o povprečni usodi množice enakih delcev. Znan primer: Jedro radija ( $^{226}\text{Ra}$ ) živi v povprečju 2300 let, preden razpade. Če imamo zdajle milijon takih jeder, jih bo čez 2300 let  $e$ -krat manj, to je 370 000.)

Za bolj nazorno predstavo povežimo pojem proste poti z razdaljo vidljivosti, ki jo včasih omenjajo v vremenskih poročilih! To je razdalja, do katere še ločimo drevesa in druge temne predmete od svetlejšega meglene ozadja. Izračunati se da, da meri ta razdalja približno 4 povprečne proste poti. Če vidimo v megli 100 m daleč, je torej prosta pot kakih 25 m dolga.

Povsod v megli gre svetloba v vseh smereh. Radi bi vedeli, kolikšna je gostota svetlobe, recimo koliko joulov vidne svetlobe je v kubnem metru megle. Pri vzporednem curku svetlobe je račun kaj lahek. Če je  $j$  gostota svetlobnega toka, izražena npr. v wattih na  $\text{m}^2$ , gre skozi pravokotno stoječ okvir s ploščino  $S$  svetlobni tok  $jS$ . V času  $t$  preteče svetloba s hitrostjo  $c$  razdaljo  $ct$ . Skozi okvir pride pri tem energija  $jSt$  in napolni prizmo z osnovno ploskvijo  $S$  in višino  $ct$ , torej s prostornino  $Set$ . Z deljenjem dobimo gostoto svetlobe  $u$  (npr. v joulih na  $\text{m}^3$ ), torej:  $u = jSt/Set = j/c$ .

Pri megli je račun bolj zamotan, ker je treba upoštevati vse smeri širjenja svetlobe. Najprej upoštevamo gostoto svetlobnega toka  $I d\Omega$ , ki prihaja k nam iz smeri znotraj majhnega prostorskega kota  $d\Omega$ . Ko opravimo prejšnje sklepanje, seštejemo vse dobljene prispevke k svetlobni gostoti. Takšno drobno seštevanje zaznamujemo s podolgasto črko  $S$  (=suma), takole:



$$u = \int \frac{1}{c} I d\Omega .$$

S tujo besedo se takšna vsota drobnih prispevkov imenuje integral. Ni treba, da bi bralce prestrašila, ker se ne bomo lotili nobenega takšnega seštevanja, ampak bi le radi razumeli fizikalne pojme. Če smo pri tem zagrešili kakšno matematično površnost, tudi ni treba imeti slabe vesti. Brez takšnih grehov današnje fizike sploh ne bi bilo.

Ko pronica svetloba skozi meglo, nekako teče v smeri navzdol. Zamislimo si, da smo v balonu sredi megle in da držimo v rokah vodoraven okvir! Ker ima megla nad nami večjo svetlost kot spodaj, gre večji svetlobni tok od zgoraj navzdol kot od spodaj navzgor. Razlika, ki naj se imenuje neto svetlobni tok, nas zdaj zanima. Delili jo bomo s ploščino okvira, da bomo dobili neto gostoto svetlobnega toka, za katero bomo spet uporabili znamenje  $j$  in enoto watt na  $m^2$ .

Pri pravilni definiciji moramo podobno kot prej upoštevati svetlobne tokove v vseh smereh. Nagnjene curke v mislih razstavimo v navpične in vodoravne komponente. Samo navpične gredo skozi okvir. Dobimo jih tako, da vsak svetlobni tok pomnožimo s kosinusom naklonskega kota proti navpičnici. Kar pogledajmo: če je curek vodoraven, sploh ne gre skozi okvir, kar faktor  $\cos 90^\circ = 0$  pravilno upošteva. Pri navzgor usmerjenih curkih pa negativni kosinus avtomatično poskrbi za odštevanje. Tako, zdaj pa že lahko zapišemo zamišljeno vsoto:

$$j = \int I d\Omega \cos\theta$$

Kako zgovoren je takle izraz, četudi ustreznega poglavja matematike še nič ne znamo! Človek je včasih sposoben razumeti tudi stvari, ki jih še ne zna.

Iz svetlosti  $I(z, \theta)$  smo s seštevanjem po smereh izpeljali dve novi količini, gostoto svetlobe  $u$  in neto gostoto svetlobnega toka  $j$ , ki sta odvisni le še od koordinate  $z$ . Samo s tema podatkom je seveda opis svetlobne porazdelitve v megli hudo pomanjkljiv, vsekakor dosti bolj površen, kot prejšnji s svetlostjo  $I$ , ki natančno prikazuje tudi porazdelitev po smereh. Vendar je skrčeni opis priljubljen, ker je bolj preprost in

zato tudi bolj nazoren.

Razprava postane razburljiva šele, ko vprašamo za povezavo med obema količinama. Pomislimo najprej, kako je pozimi, ko sneg na tleh svetlobo odbija! V idealnem primeru gre tedaj v vsaki plasti megle ravno toliko svetlobe navzgor kot navzdol, tako da je neto svetlobni tok povsod enak nič. V notranjščini megle je tedaj v vseh smereh enako svetlo in tudi z globino se gostota svetlobe ne spreminja. Zapišimo:  $u = \text{const}$  in  $j = 0$ .

Kadar ni snega, tla absorbirajo (požirajo) nekaj svetlobe, tako da imamo navzdol usmerjen neto svetlobni tok, kot smo že omenili. Ker je čista megla bela, se v njej nič svetlobe ne izgublja, tako da je skozi vso meglo  $j$  konstanten. V nižini je tedaj bolj temno kot v višjih plasteh megle. Čim bolj črna so tla, tem bolj se to pozna in tem večji neto svetlobni tok dobimo skozi meglo. Pomembno je, kako hitro z globino pojema svetlobna gostota. To opišemo s kvocientom  $du/dz$ , pri čemer je  $du$  sprememba gostote  $u$  pri majhnem premiku za  $dz$  v smeri navzdol. Matematik poreče, da predstavlja kvocient  $du/dz$  odvod svetlobne gostote  $u$ , ali še bolj učeno, da je to gradient navedene gostote.

Še enkrat pomislimo: čim bolj črna so tla, tem večja je neto gostota toka in tem bolj strmo pojema svetlobna gostota, se pravi, tem večji je (negativni) kvocient  $du/dz$ . Nad zasneženo pokrajino pa sta v notranjščini megle obe količini enaki nič. Ponuja se domneva, da ju povezuje sorazmernost. Čeprav imamo za tako drzno zamisel le skromno osnovo, jo zapišimo, preden nam uide iz spomina,

$$j = - D \frac{du}{dz} .$$

Na desni smo pristavili minus, zato da je za dano meglo značilni koeficient  $D$  pozitiven. Saj res: svetloba praviloma v megli pronica proti tlem, se pravi v smeri pojemajočega  $u$ . Odvod  $du/dz$  je negativen, neto tok pa pozitiven, če merimo koordinato  $z$  v smeri navzdol.

Prav takšno sorazmernost srečamo pri difuziji (pronicanju) snovi v zmesih, kjer je trditev znana kot difuzijski zakon,

pri čemer se  $D$  imenuje difuzijski koeficient. Enake izraze bomo rabili tudi pri svetlobi v megli. Preden se pogovorimo o veljavnosti zakona, pa ne bo napak, če se spomnimo podobnih zakonov še za druge pojave.

Namesto megle in svetlobe v njej si zamislimo hišni zid, ki ga znotraj grejemo, medtem ko ga zunaj hladi burja! Skozenj uhaja toplotni tok, za katerega velja podobna enačba kot prej zapisana. Namesto razlike svetlobnih gostot je treba vstaviti temperaturno razliko  $dT$  in namesto  $D$  koeficient toplotne prevodnosti. Ta je značilen za material, iz katerega je zid narejen. Čisto podobno se da zapisati tudi Ohmov zakon, kjer imamo električni tok namesto svetlobnega ali toplotnega ter električno napetost namesto razlik  $du$  ali  $dT$ . Kot koeficient pa se pojavi recipročni specifični upor.

Do takih zakonov so prišli sprva s približnimi opazovanji in malce tudi z ugibanjem, še davno preden je obstajala kaka teorijska utemeljitev. Šele začetki nove fizike okoli leta 1900 so vzpodbudili ljudi k razmišljanju: Zakaj veljajo takšni zakoni in zakaj so koeficienti tolikšni kot so? Kakor pravcata revolucija se je razširilo prepričanje, da se bo vse to dalo izpeljati iz osnovnih zakonov za gibanje delcev, iz katerih je materija zgrajena.

Zastavljena naloga je začuda dosti trša, kot so spočetka pričakovali. Mnogi so se namučili s takšnimi izpeljavami, a kljub temu še dandanašnji ni vse do kraja jasno. Niti za Ohmov zakon tega ne bi mogli trditi. Ob zgledu s svetlobo v megli si bomo ogledali drobec teh težav.

Začeti moramo spet s svetlostjo megle, ki nadrobno opisuje porazdelitev svetlobe. Z upoštevanjem proste poti in še podatka o sipanju na kapljicah pridemo do enačbe, ki se ji pokorava funkcija  $I(z, \theta)$ . Še v prejšnjem stoletju jo je zapisal Ludwig Boltzmann, znameniti učenec našega Jožefa Stefana. Zadoščalo bo, da zvemo za pomen enačbe: V njej upoštevamo za vsak svetlobni curek ne le že omenjene izgube zaradi sipanja drugam, ampak tudi prispevke k curku zaradi sipanja svetlobe iz drugih smeri. Mimogrede povedano: podobne Boltzmannove enač



be se dajo zapisati za prevodniške elektrone v kovini ali za molekule v plinu ali sploh za delce ali valove, ki potujejo v vseh smereh in se neprestano sipljejo.

Kdor je poskušal iz Boltzmannove enačbe z matematičnimi zvijačami izpeljati difuzijski zakon, je bil najprej razočaran. Zakon namreč ni splošno veljaven in ga zato ni mogoče kar tako dokazati. (Dokazi neresničnih trditev so ponavadi kar se da težavni.) S precejšnjimi napori pa se je vendar posrečil zaključek, da je svetlobna porazdelitev v notranjščini enakomerno goste megle takšna, da tam velja difuzijski zakon. Pri tem moramo izvzeti nekaj prostih poti debelih plasti na dnu in na vrhu megle.

Vsakdo je že opazoval, kako se svetloba na dnu megle ojači, ko pokrajino pobeli sneg. Dokler so tla kopna, je pod debelo meglo mračno. Po sneženju pa se zazdi, kot bi se vsak hip hotelo zjasniti, četudi se megla ni spremenila.

Razlago pravzaprav že poznamo in si jo na sliki 48 še enkrat oglejmo! Ko je na tleh sneg, je  $j = 0$  in zato je po difuzijskem zakonu v notranjščini megle  $u = \text{const}$ . Pri tleh je tedaj približno enako svetlo kakor pri vrhu megle, kot pove desna črta na sliki. Za črna tla pa velja leva črta:  $u$  z globino pojema in sorazmeren s hitrostjo tega pojemanja je neto svetlobni tok, ki se nazadnje v tleh absorbira. Z malo več računanja se da izpeljati, kako močno sneg ojači svetlobno gostoto pri tleh. Zelo približno dobimo faktor ojačenja, če debelino megle delimo z razdaljo vidljivosti. Pri 400 m debeli megli, za katero je razdalja vidljivosti enaka 100 m, dobimo nekako 4-kratno ojačenje. Čim debelejša je megla, tem večji je ta faktor.

Zadnje spoznanje so nekoč koristno uporabili pri sedaj že zastareli kopirni tehniki. V dobi, ko še ni bilo strojev kseroks, so si pomagali z navadnim fotografskim papirjem. Z navzdol obrnjeno svetločutno plastjo ga je treba pritisniti na spis, ki ga hočemo skopirati, in papir osvetliti s hrbtno stranjo. Svetloba pronica skozenj kakor skozi meglo. Na dnu, kjer je namazana svetločutna plast, je gostota svetlobe velika, če

je podlaga bela. Ob črki na spisu pa se gostota svetlobe občutno pomanjša, tako kot v megli nad črnimi tlemi. Lepše kopije dobimo, če na vrh fotografskega papirja položimo mlečno steklo. "Meglo" tako zdebujemo in na ta način povečamo kontrast.

Po dolgi razpravi o svetlobi v megli si privoščimo nekaj porednih in na videz preprostih vprašanj. Da imajo kaj opravka z meglo, bo pokazal šele premislek.

Zakaj se pisava z mokro kredo na tabli slabo vidi? Šele ko se tabla posuši, pisavo lahko preberemo. - Kreda je bela, ker njeni drobcici sipajo svetlobo. Plast krede na tabli je kakor plast megle nad temno pokrajino. V vodi kredni drobcici manj sipajo, ker je njihova odbojnost zmanjšana. To je zato, ker se svetloba pri prehodu iz vode v drobec krede manj lomi kot pri prehodu vanj iz zraka. Iz podatkov v priročnikih izračunamo, da je odbojnost krednega drobca v vodi nekako 8-krat manjša kot na zraku. Zato je prosta pot svetlobe v mokri kredi precej daljša kot v suhi in zato je mokra plast krede prosojna, suha pa ne.

Oglejmo si kamenje ob potoku, ki ga je oškropila voda! Moker kamen je videti temnejši kot suh. Vendar je razlika zaznavna le pri sivem kamenju, bel kamen pa je videti enako svetel, če je moker, kot če je suh. Doma lahko ponovimo poskus s klobčičem sivega in belega toaletnega papirja.

Ima nas, da bi učinek vode pojasnili kakor pri kredi na tabli. Kamen in toaletni papir sta luknjičava in ko se luknjice napolnijo z vodo, se svetloba vmes manj siplje kot pri suhem kamnu ali papirju. - Že res, toda s takšno "razlago" ne pojasnimo, zakaj pri belem kamnu ali papirju ni učinka.

Kamen in klobčič papirja sta za svetlobo zelo debela; saj sta tako suha kot mokra povsem neprozorna. Če sta bela, se jima mokrota nič ne pozna, tako kot se zelo debeli beli megli nič ne pozna, če jo malo stanjšamo. Pol kilometra debela plast goste megle ravno tako odbija skoraj 100% sončne svetlobe kot kilometer debela.

Drugače je pri sivem kamnu ali papirju, kjer se nekaj svetlobe absorbira v notranjosti. Razmere so takšne, kot če bi

megli primešali saje (kar žal včasih res delamo). Taka megla, četudi je še tako debela, odbija le del vpadle svetlobe. Pa si zamislimo, da bi v sajasti megli podaljšali prosto pot svetlobe, npr. s tem da bi zmanjšali število kapljic ob nespremenjeni množini saj! Na daljši cikcakasti poti, ki jo mora sedaj sončna svetloba prehoditi, preden se izmuzne iz objema megle, je več možnosti za absorpcijo. Zato se odbojnost megle zmanjša. Zato sta siv kamen in siv toaletni papir videti temnejša, kadar sta mokra.

Bralec naj sam razreši podobno vprašanje in naj odgovor pošlje uredništvu "Preseka": Zakaj je mokra akvarelna barva na papirju videti bolj živa kot potem, ko se posuši?

Spomnim se še vprašanja, s katerim sem se v študentskih letih za dolgo zapletel v zgodbe o svetlobi v megli in o drugih takih rečeh: Zakaj je morje modro? - Lahko bi kdo rekel: Voda pač modro svetlobo bolje prepušča kot rumeno ali rdečo. Saj je modrina zaznavna že v beli kopalni kadi. - Prav, toda to je le pol odgovora. Ko z masko na obrazu plavamo pod vodo, je beli prod pod nami videti modrikast, kar prejšnja razlaga povsem pojasni. Voda je sončni svetlobi odvzela rdeči delež. Ne razumemo pa še, zakaj prihaja svetlomodra svetloba od vseh strani. Tako se počutimo, kot bi se potopili v blestečo sinjo meglo. Aha, motnost morja je temu kriva! Zaradi nje se svetloba siplje kot v megli. Nekaj prispevajo drobna živa bitja v vodi (plankton), nekaj morda umazanija in nekaj tudi same vodne molekule. Podobno kot kapljice katrana v dimu in molekule v zraku sipajo tudi majhni drobcji v vodi in vodne molekule modro svetlobo močnejše kot rdečo. Preden pride sipana svetloba do opazovalca, se barva ša ojači zaradi večje prepustnosti vode za modro svetlobo.

\* \* \*



Še in še bi se rad pogovarjal o doživetjih iz enajste šole in o vprašanjih, ki nam jih je zastavljala. Spomini nanjo so mi ljubi tudi zato, ker nisem bil sam. Imel sem čudovito družbo, ki jo je povezovala želja, da bi razkrili kako skrivnost narave, vsaj kako majhno, če že ne veliko. Drug od drugega smo se našli navdušenja in drug drugemu pomagali videti, kar bi posamezniku ostalo skrito. Pa ni bilo samo to. Tudi peti smo snagali in norčije uganjati in se veseliti vsega lepega: jutranje rose na pajkovi mreži in večerne zarje in zvezd na nebu. Prijatelj iz tistih davnih dni mi je oni dan poslal fotografijo metulja na cvetlici, s pripisom: "Včasih je bolje občudovati lepo naravo kot samo spraševati, zakaj je takšna."

Ničesar lepšega ne morem želeti mladim bralcem, kot da bi doživeli podobno navdušenje, pa najsi bo ob kakršni koli dejavnosti že. Vesel bom, če sem s svojim pripovedovanjem vzbudil kaj takih načrtov.

\* \* \*

#### SLIKE NA OVITKIH

2. Vrulja (podmorski izvir) v zalivu Na Kolima pri Jurjevu (foto Marjan Richter).
- 4a Zračni vrtinec vzdiguje meglo v hribih (foto Ciril Velkoverh).
- 4b Zračni vrtinec vzdiguje mivko v puščavi.
6. Plast peščenjaka kaže nakodrano površino, ki se je v davnih časih oblikovala v mivki na dnu plitvega morja.
7. Velike peščene sipine (Great Sand Dunes) na jugu države Colorado (ZDA).
9. Škrabe ob poti s Krnskega jezera na Krn.
11. Od vetra izklesani zameti v gorah.
12. Na gorskem sedlu je veter odnesel vrhnjo plast snega, razen kjer je bil poprej pohojen.
15. Led na cestnih lužah ima na spodnji strani rebra.

17. Ledene sveče ob reki.
- 18a, 18b. Ledeni zvonovi v Rakovem škocijanu (foto Dušan Kuščer).
19. Ledene sveče ob vhodu v Zelške jame (foto Dušan Kuščer).
20. "Ledeni lasje".
21. Macesen je ves bel od ivja.
22. Ivje na veji. Veter je pihal z leve.
23. Ivje na snegu.
24. Če je pod ledom na luži zrak, se na spodnji strani ledene plošče naredi slana iz šesterokotnih kristalčkov (foto Dušan Kuščer).
25. Ledenik Forno v švicarskih Alpah.
26. Požiralnik, ki si ga je poletel na ledeniku izjedla voda.
- 27a, 27b. Led se taja hitreje na mejah med kristali.
28. Okrog dreves sneg hitreje skopni.
29. Ko je zrak še mrzel, čeprav že greje pomladansko sonce, skopni sneg na senožeti najprej pri tleh, medtem ko na vrhu ostane tanka skorja ledu.
31. Vejica dela klinaste valove na gladini potoka.
- 32a "Plavajoča nit" na gladini potoka.
34. Oblačna kapa na vrhu otoka Stromboli.
35. Para iz lonca naredi belo meglo. Dim od ognja pa je modrikast.
36. Megleno morje na Gorenjskem.
37. Jutranje megleno morje v Bohinju.
- 38, 39. Meglena sled, ki jo nariše letalo, se včasih kmalu razkadi. Pri tem neredko opazamo, kako sled razpade v vrtinčne kolobarje.
40. Kadar je vlažnost nalahko prenasočena, pa se sled za letalom ne razgubi, ampak iz nje nastane oblak.
41. Na mokrih vejah drevesa se vidijo kolobarji okrog luči, ki stoji za drevesom.
42. Ta hrošč je zelen zaradi interference svetlobe.
43. Svetloba Sonca, ki je še za hribom, se uklanja na vejicah dreves.
44. Zadimljena spodnja plast zraka je modrikasta. Na meji obeh plasti se pojavi megla.
- 45a Zaradi sipanja svetlobe je zvečer nebo modro, zarja pa lepo rdeča (foto C. Velkovrh).
- 45b Medtem ko za hrbtom fotografa še sije zahajajoče Sonce, se na vzhodu že vzdiguje Zemljina senca, ki jo sončni žarki projicirajo v zrak. Posnetek je bil narejen z višine 3000 m ob izredno jasnem zimskem večeru. Zobček na senci je naredil hrib, na katerem stoji fotograf.
46. Skozi rosno šipo se okrog luči vidijo kolobarji.

Slika na zadnji strani ovitka: Zakaj je morje modro? (Foto Marjan Richter)



## PRESEKOVA KNJIŽNICA

1. Vidav Ivan, JOSIP PLEMELJ - Ob stoletnici rojstva (2. natis), 1975
2. Zajc Pavle, TEKMUJMO ZA VEGOVA PRIZNANJA - Zbirka rešenih nalog iz matematike s tekmovanj učencev šestih, sedmih in osmih razredov osnovnih šol SRS, 1977
3. Prosén Marijan, ASTRONOMSKA OPAZOVANJA - Kako v astronomiji s preprostimi napravami opazujemo in merimo, 1978
4. Strnad Janez, ZAČETKI SODOBNE FIZIKE - Od elektrona do jedrske cepitve, 1979
5. Strnad Janez, RELATIVNOST ZA ZAČETNIKE - Odlomki iz posebne in splošne teorije relativnosti za srednješolce, 1979
6. Landau L.D., J.B. Rumer, KAJ JE TEORIJA RELATIVNOSTI - Nobelovec predstavi spremenjene poglede na prostor, čas in maso, 1979
7. Križanič France, UKROČENA MATEMATIKA - Zapoznelo opozorilo na računske zakone ali fiziološko namesto množic, 1981
8. Ranzinger Pavla, PRESEKOVA ZVEZDNA KARTA - Fotografije Bojan Dintinjana, 1981
9. Strnad Janez, ZAČETKI KVANTNE FIZIKE - Od kvanta do snovnega valovanja, 1982
10. Kuščer Ivan, ENAJSTA ŠOLA IZ FIZIKE - Čuda se kažejo ob vsakem koraku, 1982
11. Zajc Pavle, TEKMUJMO ZA VEGOVA PRIZNANJA - Zbirka rešenih nalog iz matematike za peti in šesti razred osnovnih šol SRS, 1982

PRESEKOVA KNJIŽNICA ; 10. - Ivan Kuščer, ENAJSTA ŠOLA IZ FIZIKE - čuda se kažejo ob vsakem koraku. - Jezikovni pregled Sandra Oblak, rokopis je natipiral Metka Žitnik, slike Miha Štalec, urednik Ciril Velkovrh.

PRESEK - list za mlade matematike, fizike in astronome, 9. letnik, šolsko leto 1981/82, 5. številka, str. 1 - 32 (257-288). Odgovorni urednik Andrej Likar.

Dopise pošiljajte in list naročajte na naslov: Društvo matematikov, fizikov in astronomov SRS - Podružnica Ljubljana - Komisija za tisk - PRESEK, Jadranska c. 19, 61111 Ljubljana, pp 6, tel. št. (061) 265-061/53, št. žiro računa 50101-678-47233. List sofinancirata ISS in RSS. Tisk ČGP "Delo", Ljubljana. List izhaja 6 krat letno.

© 1982 Društvo matematikov, fizikov in astronomov SRS - 563

Poštšina plačana v gotovini na pošti Ljubljana 61102.





25



27A



28



29



31

34



32 A

35







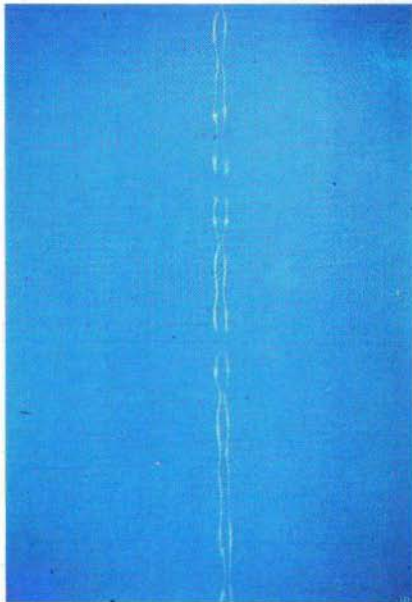
36

38



37

39





41



43

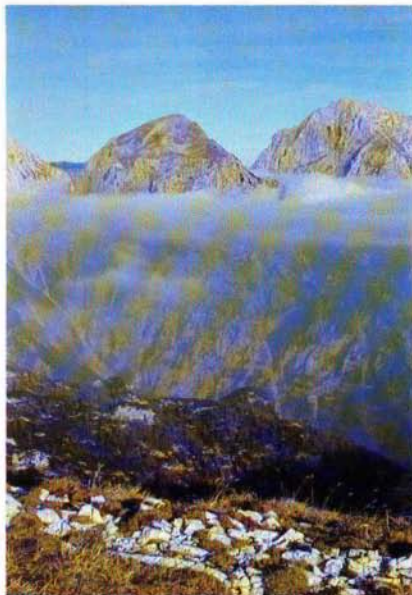


40

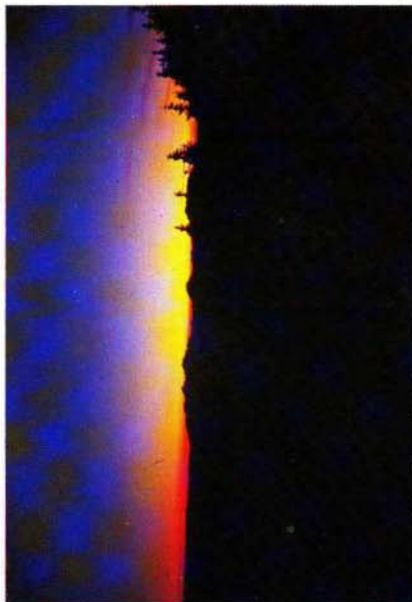


42





44



45A



45B



46

$\pi$

PRESEKOVA KNJIŽNICA

