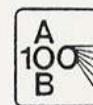


УДК 551.583.7:551.793

**РЕШАВАЊЕ КОРАК ПО КОРАК ЗАГОНЕТКЕ
О ЛЕДЕНОМ ДОБУ НА ЗЕМЉИ**



Божидар Поповић

Астрономско друштво „Руђер Бошковић”, Београд

УВОД

Ледено доба великог дела северне полулопте настало је пре много милијана у Европи, северној Азији и северију Америци. Уствари је ледена камата око северног пола Земље почела да расте пре неких 25 милиона година, услед сталног опадања средње температуре. Процес је у почетку био врло спор, али је пре више од хиљаду милијенија постао значито бржи и ускоро је снежни слој почeo да расте не само у ширину већ и у висину. Под сталним мразом снег се не само није топио преко лета већ се потпуно ледио — постао је огроман ледени континент.

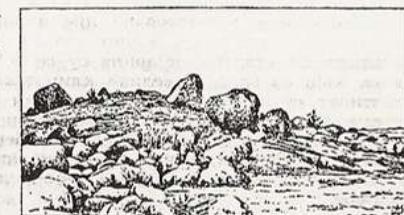
Стварни глечери су силазили у долине, ту су се спајали и све јужније ширити ледену империју. Чак су Алпи и високи врхови јужних планина постали изолована острва те империје. У свом најјачем стадију ледена империја је покривала северну и Средњу Европу, северне делове Азије (Сибир и северну Кину) и северне делове Северне Америке.

Постојећи билини покривач је делом пропадао делом се келио све јужније — на пример поларна маховина и поларна врба, патуљаста бреза такође, „доселиле су се” тада чак у средњу Европу. Исто се збило са животињама — неке врсте су пропале, неке се „преселиле” на југ, тако да су у средњој Европи дуго живели поларни јелени и лисице, рунасти носорози и пењачински медведи. У процесу прилагођавања настале су многе нове врсте биљака и животиња.

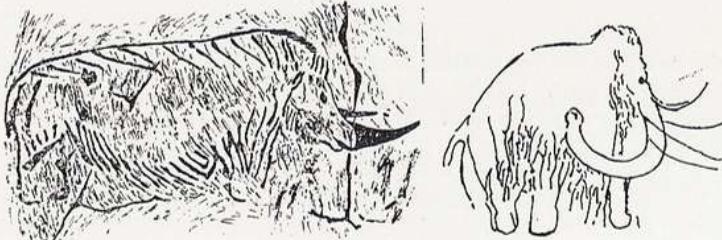
Дебљина леда је била око хиљаду метара над Скандинавијом, јужније нешто мање. Али дебљина и распрострањеност су се мењали зависно од климе. У топлијим периодима настајале су водом богате ледене реке које су са собом носиле велике количине муља и песка, камење, стене, таложених их нешто ниже. До сличног транспортовања тла долазило је и онда када је подлога глечера (услед снажног вертикалног притиска леда) „ваљала” камење под собом.



Сл. 1. Ледени континент у време своје највеће распрострањености. Посебно се могу видети његово „велико алпско острво” и изоловане тачке „острвица” (највиши планински врхови са Пиринеја, Алпина и Балкана).



Сл. 2. Морене — предели са типично остацима ледничких таложења у време леденог континента.



Сл. 3. Цртежи (рунасти носорог и мамут) на зидовима пећина у којима су становали људи за време последњег периода леденог доба.

Такви седименти (делимично оштећени у касније време) су омогућили геолозима да објасне њихово порекло и да утврде да су за време последњих хиљаду милиони настајале многе „мајеџе“ и „ловлачења“ леденог континента. Услед тога се често говорило да је постојало више ледених доба у прошлости Земље. Али с друге стране, из чињеница којима се располагало, није се могло дефинисати нешто заједничко за период између тих ледених доба, већ је долазило до пропизорних периода великих промена климе различитог интензитета и трајања — јако ледене периоде смењивали су нешто топлији и обратно. Услед тога се почeo користити израз **ледено доба** (само једно) са различитим фазама — тапли и ледени екстреми са мање и јаче израженим леденим периодима између њих. Услед тога и ја, након извесног колебања, употребљавам само **тај израз**.

За време таквог, вишевршног, леденог доба цео живот је у тим крајевима пролазио кроз страховите промене животних услова, услед чега је и сам опстанак био под упитником. Многе врсте су изумрле (сасвим или деломично) на једном месту, јављајући се поново и прилагођено на другом месту, настале су многе нове врсте, између осталог и људска врста, способна да се активно бори са тешкоћама свих врста, да преживи под сваковрсним животним условима. Због последње чињенице је сасвим разумљив и израз "антропоген" за последњи геоолшки период, који се скоро поклапа са леденим добом.

ПРВИ КОРАЦИ У ОБЈАШЊАВАЊУ ЗАГОНЕТКЕ

Чињенице, констатоване пре више од 200 година и постепено геолошки описане, требало је научно објаснити. Почетком 19. столећа, још јасније на прагу 20. столећа, појавила су се већ прва недоказана астрономска објашњења, која су за тако велике климатске промене окривљавала најпре неконстантност сунчеве радијације, а затим променљивост положаја Земље према Сунцу. Али су покушаји да се израчуна тзв. математичка клима, чак и у облику тада најкоректнијих рачуна, Траберг-а, јако одступала од стварних температуре на Земљи, толико да их се није могло узети ни као популарни основи, којој би се додавале корекције услед занемарених утицаја Земљине атмосфере.

Али тадашњи професор Примењене математике у Београду, Др Милутин Миланковић, (сл. 4) није се сложио са таквим комплетним одбацивањем покушаја израчунавања математичке климе. Он је поново анализирао проблем, најпре квалитативно са различитих страна, чиме је утврдио да је урачуне већ ушла у извесној мери Сунчева радијација и зрачење земљине површине, али никако није узето у обзир простирање топлоге кроз земаљску кору (до неких 10 m у дубину), где се налази слој скоро сталне температуре)

У ту сврху он је искористио (Миланковић 1912) одговарајућу познату једначину Фурје-а (Fourrier)

$$\frac{\delta u}{\delta t} = a^2 \frac{\delta^2 u}{\delta x^2}$$

где је u количина топлоте а x дистанција од почетните тачки.

Узев у обзир периодичност непознате функције $u(x, t)$ — дневна и годишња периода, Миланковић је тражио такву функцију (променљивих параметара) која би изражавала суштину простирања топлоте и одговарајуће граничне услове околине. Прва нађена функција $u(x, t)$, упућена само најнужнијим занемаривањима и са параметрима прилагођеним најновијим емпириским резултатима, омогућила је израчунавање средње температуре у разним тачкама на Земљи, као и промене количина топлоте на површини (услед ширења топлоте). Ако се дода и количина топлоте која се добија осушчавањем а губи радијацијом, имаћемо укупне промене дневне и годишње. Интеграционих дневних промена (узев у обзир разлике у трајању осушчавања на разним ширинама) имаћемо температуре у току разних дана у години. Оне су се склапале са стварним стањем много боље него у свим рачунима пре Миланковића.

Суштински исте теоријске резултате, са мање детаља, М. је дао у чланку (М., 1913), али ускоро (М., 1913а) он је нешто општије расмотрio проблем математичке климе наиме из поменуте једначине потражио је решење које ће на површини планете (не само Земље) задовољавати граничне услове у којима су већ узети у обзир осунчавање и зрачење (не само простирање топлоте). Посебно је расмотрio три специјална случаја: константно осунчавање, запемарљива простирања топлоте кроз кору и мале амплитуде осунчавања (око стапне величине).

УТИЦАЈ ОСУНЧАВАЊА

Након ове степенице, која се односи на (чисто физички) проблем прос-тирања топлоте, он је преузeo детаљно (М., 1920) проблем осуничавања, са циљем да нађе изразе за секуларне промене осуничавања планете, подесне за многа (чак много хиљада) стогодина. Ту он поново полази од самог почетка, развијајући најпре непосредно осуничавање од утицаја атмосфере и тел.

Он је најпре нашао како диференцијални количине између количине топлоте Q и кратког временског размака зависи од зенитне даљине Сунца и од раздаљине између Сунца и посматране површинске јединице на Земљи. Узевши површину јединицу на одређеном упореднику, М. је могао да интегрира дуж упоредника и да уведе нови појам **средње осунчавање упоредника**, а Узев притом у обзор и трајање дневног осунчавања одређеног упоредника, избегао је прекид који се јавља у формулама услед смењивања светле и тамне стране Земље.

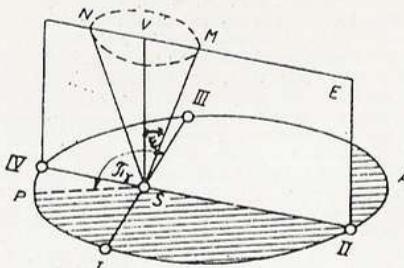
Да би имао промене осунчавања у току једног дана, М. полази од средње даљине до Сунца и од средње деклинације Сунца додајући им касније мале линеарне корекције. За више дана (иза целу годину) ово није довољно, па он користи подесна развијања у ред, могућа услед малог ексцентричитета Земљине путање. После тога, интеграцијом дуж било ког лука путање (узев наравно у обзир могуће промене за то време), добио је израз за средњу количину топлоте која долази на одређени упоредник док Земља пређе тај лук своје путање. Он се посебно задржава на оним луцима који се односе на годишња доба северне и јужне хемисфере, истичући неједнакост трајања годишњих доба и компликације које та неједнакост ствара код приказивања топлотног стања двеју хемисфера.

Коначне формуле нађене за топлотне количине које примају северна (N) и јужна (S) полуулота Земље, у току летње (N_L, S_L и зимске (N_W, S_W) половине године, су

$$N_s = S_s = \frac{T}{4} \cdot \frac{\mathcal{I}_0 R^2}{\sqrt{1 - e^2}} (\pi + 2 \sin \epsilon)$$

$$N_w = S_w = \frac{T}{4} \cdot \frac{J_0 R^2}{\sqrt{l - e^2}} (\pi - 2 \sin \epsilon)$$

Цела Земља у току целе године прими количину топлоте $T\pi J_0 R^2 \sqrt{1 - e^2}$ при чему је T дужина године а R радијус Земље. Слични изрази (наравно много компликованији) нађени су за појединачне упореднике, одвојено за ванарктичке појасеве.



Сл. 5. Елиптична путања Земље и елементи од којих зависе добијене количине топлоте у току дугих временских периода.

Сл. 4. Милутин Миланковић (Даљ, 1879 — Београд, 1958).

СЕКУЛАРНЕ ПРОМЕНЕ

За све ове количине дати су касније (М., 1941) и бројчани износи (стр. 326) за сваки 5. степен северних латитуда, према тадашњем стању величине које улазе у формуле. Али кад формуле треба применити за далекоу прошлост, треба узети у обзир секуларне промене елемената путање (оних који улазе у формуле).

Анализираши формуле, М. је показао да примане количине топлоте зависе секуларно само од ексцентричитета путање (e), лонгитуде перихела (π_Y , од пролећне тачке) и од нагiba осе ротације (ϵ). Зависност од промена првог два елемената се је показала једноставном (била је довољна линеаризација), а да је зависност од трећег елемента нешто компликованија, јер и неки кофицијенти у формулама такође зависе од нагiba. За, Миланковића, као научника, оваква препрека није била тешка и као резултат обраде настале су формуле које су изражавале секуларне промене осунчавања у зависности од секуларних промена елемената путање.

Због неједнакости астрономских годишњих доба, рачуни у вези са секуларним осунчавањима су врло компликовани и врло зависни од секуларних промена које су насталаје на почетку и у току годишњих доба. Из ових тешкоа М. се извукao (М., 1923) тиме што је увео појам **калорично полугође** — делови године за време којих одређени упоредник осунчавањем прими једнаке количине топлоте (следствено томе појавио се и појам **калорична годишња доба**).

Многим трансформацијама, М. је дошао до врло простих формула за промене количине топлоте коју осунчавањем добијамо у летње и зимско доба

$$\Delta Q_s = \frac{TJ_0}{4\pi} \left\{ \Delta e \cos \epsilon_0 \mp 2\Delta(e \sin \Pi_Y) \right\}$$

$$\Delta Q_w = \frac{TJ_0}{4\pi} \left\{ -\Delta e \cos \epsilon_0 \pm 2\Delta(e \sin \Pi_Y) \right\}$$

при чemu је горњи предзнак за северну а доњи за јужну хемисферу. У вези са тим био је потребан и појам **калорични екватор** (упоредник у односу на који северна и јужна хемисфера добијају једнаке количине топлоте).

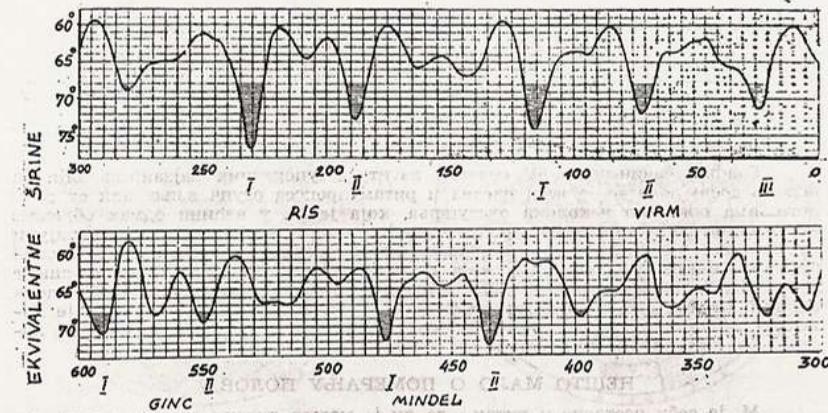
УТИЦАЈИ ПЛАНЕТНЕ АТМОСФЕРЕ

Што се тиче већ поменутих утицаја атмосфере, М. је ту применио истраживања слична простирању топлоте кроз кору планете. Наиме он је посматрао танке слојеве изнад површинске јединице као основе, применивши на њих одговарајуће законе о апсорцији и одбијању (светлосних и тамних зрака), са граничним условима на једном и другом крају атмосфере. Изразе за даљину ће он интегри и корак по корак решава разне физичке проблеме, задржавајући се врло често на условима планете Марс — најпростијим и у оно време најзанимљивијим (М., 1916, 1916a).

Особито у делу (М., 1916a), објављеном у току првог светског рата, у првом делу, М. описује и разматра утицаје атмосфере уопште (на било којој планети), а у другом делу се концепције на Марсу и на условима његове атмосфере, у мери у којој су били познати или реално претпостављиви. Тако је он срачнао конкретне табеле средњих годишњих температуре на различним латитудама Марса (посебно на тлу, посебно у атмосфери). Средња годишња температура од -17° на Марсу показала је да је жива, високо организована, бића не могу да живе тамо. Али маште многих (научника и лаика) да ипак није тако, биле су јаче него Миланковићеви резултати. Многи од њих пису то прихватили и онда када је (десетак година након овог дела М.) астрофизичким мерењима утврђено да су климатски услови тамо доиста врло неповољни.

ОДЈЕЦИ ПРВИХ РЕЗУЛТАТА

Већ прва монографија (М. 1920) о топлотним променама на планетама, објављена после Првог светског рата, побудила је интересовање неколико палеонтолога, иако су се у њима налазила само прва израчунавања о топлотним променама насталим због секуларних промена елемената путање Земље (не као комплетни прилаз проблему леденог доба, већ само као примери — особито у екстремним случајевима — о могућем утицају тада познаним

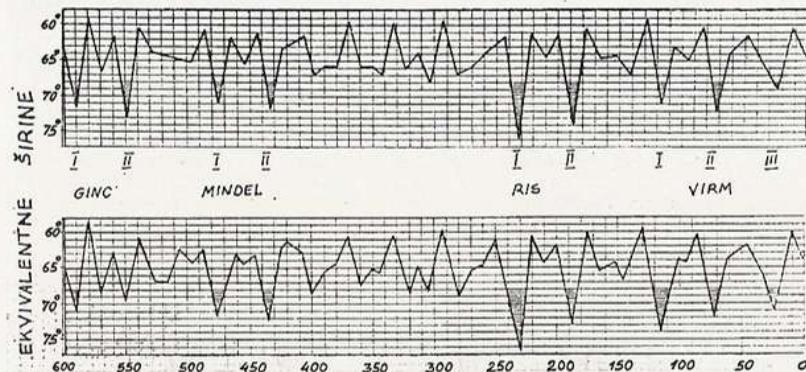


Сл. 6. Ток летњег осунчавања на латитуди $+65^\circ$ представљен односом између секуларних и латитудних девијација (у току 600 000 година) (Испод графика су назначени одговарајући геолошки периоди).

тих промена на осунчавање Земље. Светски познат климатолог Кепен (Коерреп) је сам правио рачуне на бази Миланковићеве теорије, али је замолио М. да израчуна прецизније послате количине сунчане топлоте која је у току последњих 600 000 година доспевала до упоредника 55° , 60° и 65° северне латитуде. Миланковић није публиковао ове рачуне, већ је то учинио сам Кепен (а преузело их је неколико других публикација). Показало се да минимуми и максимуми добијене топлоте бивају у складу са оним што су геолози знали за ледено доба.

ПРЕ него што ће сам публиковати овај „први календар Земљине прошлости“ М. је продубио истраживања — не само у астрономском већ и физичком погледу. Нашао је потребна решења за: везу између осунчавања и температуре хидросфере, утицај брзине ротације планете на температурну њену површину, средњу количину водене паре и термичку структуру атмосфере, рефлекску моћ атмосфере и леденог покривача (в. М., 1930, 1941).

У астрономском погледу тражио је могућности да побољша израчунања секуларних елемената путање. Раније рачуне је вршио без решења неких геофизичких проблема, а на бази Стоквелове (Stockwell) теорије поремећених масама планета. Израчунао је и публиковао (М., 1930, 1930a) детаљне табеле секуларних промена у распореду сунчане топлоте на Земљиној површини за одређене латитуде (25° , 35° , 45° , 55° , 65° и 75° северне и јужне хемисфере), посебно за свако од(већ поменутих) калоричних полугођа — у току 600 милијенија (пре 1800 године).



Сл. 7. Амплитуде секуларних промена летњег осунчавања на 65° северне латитуде (горе по методи поремећаја Стоквела доле Леверјеа).

График сачињен за 65° северне латитуде (упоредник најзанимљивији за ледено доба) показао је исти изглед и ритам процеса осунчавања, али су се у детаљима показала неколика одступања, која је М. у већини одмах објаснио — различитошћу приступа проблему и полазним подацима, наглашавајући да су нови резултати још боље сагласни са палеонтолошкима. Најзанимљивија је разлика у дијаграмима која се односила на последњи део годишњег доба. Наиме нови рачуни су показали неке изјаве, поделу последњег дела на три делића, што дотада геолошки није било познато. Ова чинилица је помогла палеонтологима да нађу објашњења за неке податке (које су већ поседовали али дотад нису могли да их објасне).

НЕШТО МАЛО О ПОМЕРАЊУ ПОЛОВА

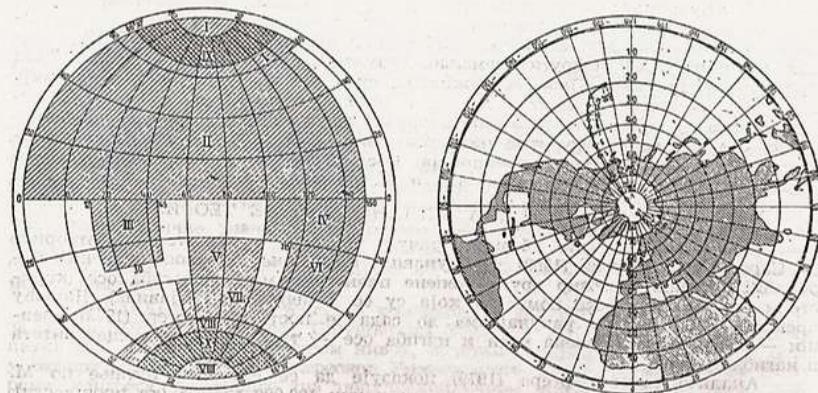
М. је себи поставио и питање да ли је можда лутање полове у врло даљкој прошлости могло утицати на настанак леденог доба (у пределима где је оно бивало), шта више можда је већ постојао друго ледено доба пре овог? Због тога је он, каснијих година, врло детаљно приступирао проблем лутања северног пола Земље (чиме је кретање јужног већ одређено).

Он је најпре показао да ни једначине ротационог кретања са разним брзинама појасева Земље (течно агрегатно стање Земља је већ давно прошло), ни једначине ротације уз једнажу брзину свуда, не могу дати селутање полове — услед услова нужних за стабилну фигуру Земље. После је доказао да ћи теорија ротације чврстог тела са нешто еластичности (укључиво и Дарвинову теорију о кретању полове), не може да доведе до кретања довољног да се објасне познате климатске промене.

Са своје стране Миланковић је кренуо од претпоставке да је цела Земља у некаквом флуидном стању (чврста, али мало еластична под великим притисцима). Такав њен унутрашњи део називају „сима“. По њој се креће, нешто зароњен, спољни (чврсти и течни) слој „сиал“ (СИ, МА, АЛ су скраћенице за силициј, магнезиј, алуминиј). Висина сиала и његовог уроњеног дела је различита зависно од планинско-океанског распореда и од тежине материјала. Он је теоријски нашао дејство притиска малог призматичног стуба у бази сиала и силу потребну да се попово власноста изостатичка равнотежа. Интеграљењем је нашао да постоји стална сијушна сила (мада релативно врло мала, она је ипак 12,7 пута већа него снага плиме-осеке), која настоји да стално гура континенте ка екватору.

Тим путем нађену једначину кретања северног пола није жељео да користи само теоријски већ је пробао да нађе и линију којом се секуларно крећао пол. Ради тога је „уравнао“ континенте и од њих створио 10 сферних четвороуглава са различитим физичким својствима. У формуле које важе само за океански покривач он је унес (бројчано) и количине које долазе због сферних четвороуглава и корак по корак нашао нумеричка решења секуларне једначине кретања.

Не могу овде да узлим у та решења, али наглашавам да је одговарајућа (овим путем нађена) крива кретања северног пола показала да предели које је покривао наш ледени континент у врло даљкој прошлости нису били близу пола (дакле ледено доба није могло раније бити ту). Сем тога је сама крива одговорила на некад загонетно питање: како се мотају створити камени угљи који се већ дugo експлоатише у Шпицбергену? Наиме са полуслуне криве Миланковића може да се прочита да је у геолошко доба карбона, кроз територију острва Шпицберген пролазио географски екватор Земље (дакле тада је тамо била тропска клима). Ледено доба су тада имали предели око тадашњег јужног пола, као што показују и нађене геолошке морене Африке.



Сл. 8. Приправни континенти и њихова подела нумеричког налажења притиска „сиал“ и „сима“.

Сл. 9. Секуларна крива кретања северног пола према рачунима Миланковића.

СУМИРАЊЕ РЕЗУЛТАТА

Скоро 20 година је трајало Миланковићево решавање загонетке леденог доба (постепено и са више враћања на не сасвим добра решења делимичног проблема). Многа значајна решења одговарајућих физичких и астрономских проблема изашли су као посебни истраживачки чланци. С времена на време Миланковић је сумирао резултате сродних проблема (напр. М., 1920, 1930, 1933, 1938), али било је већ потребно да се тако створена теорија прикаже као целовито дело. Тако је настало (М., 1941) животно дело Миланковића: »Kanon der Erdbelehrung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem«. Нажалост штампано је управо пред окупацију Београда, али се није стигло да га се повеже. Повез (са поновним штампањем оштећених табака) и разшиљање су обављени тек после рата.

На крају је Миланковићева теорија леденог доба комплетна дошла пред научну јавност на оцену. Јавно изречена мишљења су била веома различита — од пуне подршке теорији до пуног одбацивања њене основе (због непоклапања са геолошким чињеницама у неким детаљима).

Највећи део Миланковићеве теорије су, хтело се то или не, остала ван разматрања: многе релевантне чињенице проузроковане самим осунчавањем Земље: утицај маса леда огромних дебљина, мењања нивоа океана у време огромних топљења леда, океанске струје (тоталска и остале), промене температуре океанских вода итд. С друге стране, после објављивања теорије М., појавили су се (особито у САД и Канади) научни радови који су давали чињенице о тамошњим климатским променама за време леденог доба, које нису у потпуности били укључене у фазе криве осунчавања Миланковића.

После тога су срећом почели да делују научници који су разумно размишљали у правцу да је теорија сасвим природна и добра, али да ниједна општа теорија не може да узме у обзир различитост последица у различитим регионима Земље, зависно од ранијих и каснијих климатских услова и зависно од географске латитуде. С друге стране непотпуна сагласност са чињеницама могла би настati из нужних апроксимација током израчунавања секуларних промена елемената путање. М. није распolaгао, није могao чак ни да замисли могућност распolaтања, савременим врло моћним средствима рачунања. Због тога је он морао да се задовољи секуларним перемењима који су обухватали само утицај до првог степена планетних маса, међу њима само са првим степеном ексцентричитета (e), нагиба (i) и нагиба осе (ε). За мале временске интервале ово сасвим задовољава, али можда не за 600 000 година.

У међувремену је настала нова ера у геолошким истраживањима уопште, па и у климатским променама геолошке прошlosti. Отворила су их бушења у океанском дну, са добро снабдевеним екипама (најпре из САД а одмах затим из СССР и других земаља). Резултати су за геолошку науку били врло револуционарни. Прва истраживања су изгледала неповољна за теорију М., могло се рећи чак против ње. Али детаљнија, методолошки зрелија, истраживања су често показала противуредочја са првим резултатима а и међусобно, све док се методологија није усавршила толико да су се могле објаснити разлике и привидна противуредочја. После тога су се могли миријије употребљавати резултати са океанског дна и М. теорија леденог доба.

НОВА КОРИШЋЕЊА МИЛАНКОВИЋЕВЕ ТЕОРИЈЕ

Серију нових врло обимних рачуна везаних за М. теорију отвориле су Сараф и Будникова (1969) израчунавши секуларне (и дугопериодичне) поремењаје, узвеши у обзор друге степене планетних маса и нагиба осе (коришћени наравно рачунска помагала која су се у међувремену јавила). Највећу прецизност у оваквим рачуначњима до сада је постигао Бергер (1978) узвеши — осим другог степена маса и нагиба осе — треће степене ексцентритета и нагиба путање.

Анализа самог Бергера (1979) показује да се елементи путање по М. поклапају са каснијим рачунима само за првих 100 000 година (ка прошlosti). После тога настају разлике које (узето уопште, не увек) расту, идући ка прошlosti. Али с друге стране највећи утицај на промене осунчавања се знатно губи са временом и разлике температура постaju незнатне у далекoj прошlosti.

Сама чињеница да се у рачунима о осунчавању Земље користи теорија М., побољшавајући по потреби само њен рачунски део, доказ је да је астрономско решење загонетке леденог доба прихваћено. И они геолози, осо-бито, палеонтолози, који се раније нису слагали са астрономским решењем, сада се скоро не појављују са супротним мишљењима. Још више: теорија се проширије у другим правцима. На пример, испитују се посебно не само зимски и летњи екстреми топлоте, већ се настоји да се ови сагледавају у свако годишње доба, бар у периодима када се они знатно разликују један од другога.

Постоје и покушаји да се предвиди нови хладни период леденог доба. Наиме ледено доба још није завршено, већ се ледени континент само екстремно повукao услед врло топле климе. Налазимо се дакле у међуљедном периоду и питање је само када ће почети нова „поплава“ леда. Предсказање је тражено не само на основи рачуна за будуће миленије, већ и коришћењем екстраполационе криве за будућих 10^5 година, на бази већ добро утврђене криве осунчавања за прошлих 10^6 година — прецизније и веродостојније: за следећих 60 000 година на бази 500 000 протеклих година (Бергер и др., 1979). Према овом научном предсказању ми већ полако улазимо у хладни (али не много хладни) део леденог доба, који ће такав бити између година 3 000 и 23 000 (од сада), после чега долази нешто топлији део (око 30 000 година од сада) и нови дубоко хладни период, чија ће средина бити код године 57 000 (Исто следи такође из рачуна М., само не тако детаљно и прецизно).

КОНАЧНИ ДОКАЗ АСТРОНОМСКЕ ТЕОРИЈЕ ЛЕДЕНОГ ДОБА

Најбезприговорнији доказ је дошао из великог међународног интердисциплинарног пројекта, који се односио управо на потврду резултата М. Пројекат је био сачињен 1971. г. врло обиман (трошкови између 15 и 20 милијарди долара) и базиран на дубоком бушењу океанског дна. Заправо ту (чак и ту не свуда већ само далеко од континента) сачувани су неопштећени словјеви седимената, без прекида стварани за време свих епоха и климатских услова (приближно 3 см у 1000 година). Испитивања тих седиментних словјева, са гледишта разних наука, довео је до низа научних чланака мноштва истраживача свих врста. Изашао је следио завршни извештај-синтеза (Hays, Imbrie, Shackleton, 1976). У завршном закључку се налази најдеџиција тврдња да је Hays-ова научна група „сасвим сигурно проглашовала да је Миланковићева теорија искушана“ (како од речи до речи стоји у »Scienca News, Vol. 10, 1977.«)

Завршавајући, да додам још (недовољно запажену) занимљивост о буђућем положају северног пола. Наиме М. једначина кретања да се је пол кретао (по кривој на Сл. 9) раније брже него сад, а брзина асимптотски опада. Стварно се пол асимптотски (са периодичним и дуготериодичним отклонима) приближава секуларно стабилном положају, у чијој близини остаје стално. Подвлачим да је приближавање пола секуларно (тј. остали су ван разматрања периодични отклони од главне линије кретања) и да је асимптотско (тј. коначни положај не може никада бити достигнут, боље рећи: био би достигнут после бесконачно времена). Дакле будући положај северног пола неће много одступати од његовог садашњег положаја.

То практично значи да ће ледено доба остати везано за исте пределе Земље, али с другим интервалима топлије климе. Трајање температурних екстрема топлих и хладних периода ће и убудуће зависити од секуларних промена елемената путање Земље.

ПРИМЕДВА: Горњи текст је комбинација два предавања. Прво је било за време SUS-2 (Sammarinaj Universitatetaj Semajnoj 2) Међународне Академије наука (на нешто вищем научном нивоу, почетком јануара 1986). Друго је било у оквиру Међународног Конгресног Универзитета на 71. Универзалном Есперанто-конгресу у Пекингу (на популарнонаучном нивоу, крајем јула 1986). Оригинални текст се ускоро појављује у »Geologio Internacia«, Vol. 7, а превод је извршио сам аутор.

(Због простора, не наводимо литературу коју је исти аутор објавио у »Васиони« 1979/4 — Редакција)

LITERATURA

- Milanković M.: 1913, *Über ein Problem der Wärmeleitung...*, Z. für Math. und Physik, Band 62, Heft 1, 63—77.
- Milanković M.: 1916, *Über die Verringerung der Wärmeabgabe durch die Marsatmosphäre*, Annalen der Physik, Band 44, 623—638.
- Milanković M.: 1933a, *Das Problem der Verlagerungen der Drehpole der Erde in den exakten und in den beschreibenden Naturwissenschaften, Errinnerungen an A. Wegener*, Publ. Math. de l'Univ. de Belgrade, Tome II, 166—188.
- Šaraf i Burdnikova (1969), *Pri sekulaj sangoj de terorbitaj elementoj influintaj la klimaton en geologia pasinteco*, Bulteno de la Instituti por teoria astronomio (Leningrad, on la rusa), Tom XI, № 4, 231—261.
- Berger A. L.: 1978, *Théorie astronomique des paléoclimats, une nouvelle approche*, Bull. Soc. Belge de Géologie, 87(1), 9—25.
- Berger A. L.: 1979, *Milankovitch Theory of Climatic Changes, the Mounth Insolation Approach*, La vie et l'oeuvre de M. Milankovich, Conférences scientifiques, Vol. XII, 9—21. (Part I).
- Berger, Guiot, Kukla: 1979, *Milankovitch Theory of Climatic Changes, the Monthly Insolation Approach, Part II (Insolation Index)*, La vie et l'oeuvre de M. Milankovich, Conférences scientifiques, Vol. XII, 23—28.
- Popović B.: 1979, *Kontribuo de Milutin Milankovic at cielmekaniko (en la serbo-kroata)*, La vie et l'oeuvre de M. Milankovich, Conférences scientifiques (de l'Ac. serbe des sciences, Beograd), Vol. XII, 83—98.

LA SOLUTION PAS A PAS DE L'ENIGME SUR L'EPOQUE GLACIALE DE LA TERRE

Sans succès les essais premiers de donner une théorie astronomique pour les causes de l'époque glaciaire. M Milanković, professeur de mathématique appliquée à l'Université de Belgrade a repris le problème et donné les calculs sur les phénomènes thermiques produits par la radiation solaire et par la propagation de la chaleur, en considérant aussi les changes séculaires des éléments d'orbite de la Terre. Déjà les résultats préliminaires étaient acceptés en faveur. En poursuivant les recherches, Milanković a résolu beaucoup des problèmes liés au problème capital et il a donné une théorie complète sur l'époque glaciaire. Les calculs beaucoup plus larges et beaucoup des sédiments géologiques prises de la profondeur des océans ont parfaitement confirmé la théorie de Milanković.

UDC 551.576

OBLACI I NJIHOVI OSNOVNI OBLICI

Ljiljana Džingalašević

Republički hidrometeorološki zavod SRS, Beograd

Oblaci predstavljaju skup vodenih kapljica i ledenih kritala u slobodnoj atmosferi. Nastaju pri snaznom kretanju vazdušnih masa u vis. Vazduh koji nije zasićen vodenom parom pri strujanju u vis hlađi se, na svakih 100 m za približno 1 °C, dok ne dostigne tačku rose. Pri daljem penjanju vazduh nastavlja da se hlađi i postaje prezasaćen vodenom parom. Mnoge čestice koje se nalaze u vazduhu (prušina, gar, itd.) doprinose procesu kondenzacije — na njima se taloži vodena para u vidu vodenih kapljica.

Pri kondenzaciji vodene pare oslobada se toplota koja uzlaznim vazdušnim strujama daje novu energiju za njihovo dalje penjanje. Ova toplota usporava hlađenje vazduha te opadanje njegove temperature na svakih 100 m iznosi oko 0.6 °C. Dalje uzdizanje vazduha dovodi do kondenzacije vodene pare u njemu i stvaranja i razvijanja oblaka.

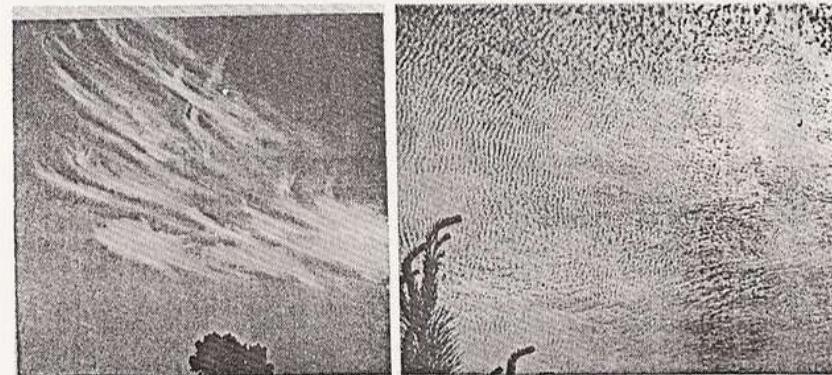
Latinski nazivi oblaka imaju sledeća značenja: cumulus (gomila) za oblake vertikalnog razvića, stratus (sloj) za slojevite oblake, cirrus (čuperak) za perjaste oblake i nimbus (kiša) za kišne oblake; i različite kombinacije. Upotrebljavaju se i druge složenice, npr. altostratus, gde prefiks alto označava srednje oblake.

KLASIFIKACIJA OBLAKA PREMA VISINI I OSNOVNIM OBLICIMA

I. Visoki oblaci se, u polarnim širinama, nalaze na visini od 3 do 8 km, u umerenim od 5 do 13 km, u tropskim od 6 do 18 km.

1. CIRRUS (Ci). Cirrus-i se još nazivaju i perjastim oblacima, jer liče na snežno-belo perje. Imaju lepe oblike: javljaju se kao pojasevi, talasasta vlakna, crte, zarezi, povijeni pramenovi ili liće na razbarušene konjske grive, itd. Ovi oblaci ne daju sopstvenu senku. Sastoje se od ledenih kristala. U svako doba dana, kada su dovoljno visoko na horizontu, cirrus-i su belji nego bilo koji drugi oblik koji se nalazi u istom predelu. Kada Sunce zade za horizont, boja cirrus-a prelazi od žute u ružičastu, zatim u crvenu i najzad u sivu. Pri izlasku Sunca ovaj red boja je obratan. U cirrus-ima može da se javi halo; međutim, usled njihove male širine, kružni halo se ne javlja gotovo nikad u obliku potpunog prstena.

2. CIRROCUMULUS (Cc). Visoki oblaci mogu da se javi u vidu malih belih pahuljica, bora i loptica bez senki, koje podsećaju na kraljušti srebrenih riba. Zato se nazivaju i perjasto-gomilastim oblacima. Elementi ovakvih oblika mogu biti raspoređeni više ili manje uredeno, u vidu nizova ili sloja; njihova prividna širina je manja od jednog stepena (širina od jednog stepena odgovara širini male log prsta pri ispruženoj ruci). Često se opažaju zajedno sa cirrus-ima i cirrostratus-ima. Sagradeni su, pretežno, od ledenih kristala. Cirrocumulus-i su uvek dovoljno providni da se može videti položaj Sunca ili Meseca. Halo, venac ili irizacija se, ponekad, zapažaju u ovim oblacima.



Sl. 1. Cirrus-i u obliku kukica i vlakana (postepeno osvajaju nebo).

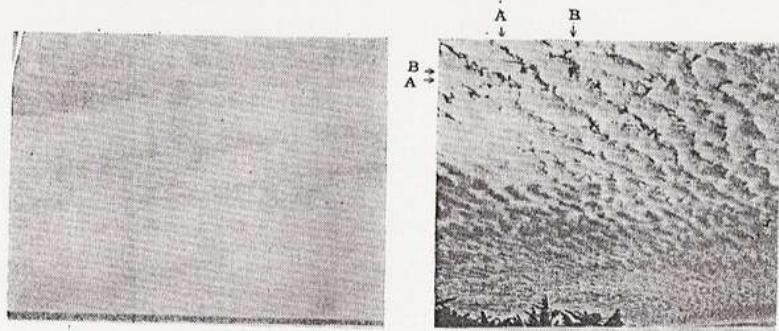
Sl. 2. Tipičan primer cirrocumulus-a, koji se javlja u obliku neprekidnog sloja.

3. CIRROSTRATUS (Cs). Ovi oblaci se javljaju u vidu beličaste poluprozračne koprene u kojoj mogu da se zapaze fine brazde. Zovu se još i perjasto-slojastim oblacima. Često se dešava da prekrivaju čitavo nebo. Granica sloja cirrostratus-a može biti pravolinjska i oštra, ali češće je nepravilna ili protkana cirrus-ima. Debljina sloja ovih oblaka kreće se od sto metara do kilometra, ali ne daju senku. Sastoje se od sitnih ledenih kristala. Sve što je rečeno za boje koje cirrus može da dobije, u velikoj meri, važi za cirrostratus-e. U tankim cirrostratus-ima se često zapažaju pojave haloa; katkada je veo cirrostratus-a toliko tanak, da je halo jedini znak njegovog prisustva.

II. Srednji oblaci se javljaju u polarnim širinama od 2 do 4 km, u umerenim od 2 do 7 km, u tropskim od 2 do 8 km.

4. ALTOCUMULUS (Ac). To su beli ili sivkasti oblaci koji se na nebu mogu videti kao nizovi ili slojevi različite prozračnosti. Izgradeni su od ploča,

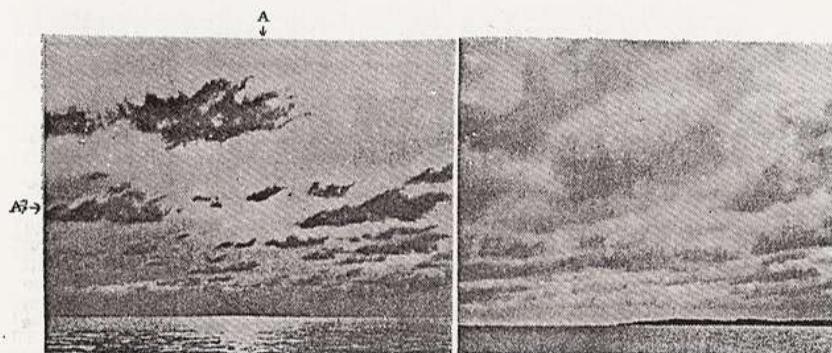
okruglastih gomila ili pramičaka. Ovi elementi oblaka obično se jasno očrtavaju, ali ponekad izgledaju kao da se prelivaju jedan u drugi; imaju prividnu širinu između jednog i pet stepeni (širina od pet stepeni je približno ista kao širina tri prsta pri ispruženoj ruci). Altocumulus-i se obično sastoje od kapljica vode, koje su pri niskim temperaturama prehladene. U ovim oblacima se često javljaju venac ili irizacija. Krstali koji padaju iz altocumulus-a mogu da izazovu pojavu haloa u obliku parhelija (lažna sunca) ili svetlosnih stubova.



Sl. 3. Sloj cirrostratus-a, čija je granica nepravilnog oblika.

Sl. 4. Altocumulus u skoro neprekidnom sloju. Kroz mnogobrojne razmake (A, B) između elemenata jasno se vidi čisto nebo.

5. ALTOSTRATUS (As). Altostratus-i čine sivkasti ili plavičasti, svetao oblačni sloj vlaknaste ili homogene strukture, koji delimično ili potpuno pokriva nebo. Sunce i Mesec se kroz ove oblake naziru kao kroz mlečno staklo. Sloj altostratus-a može imati debjinu od nekoliko kilometara i ogromno horizontalno proširjanje — na hiljade kvadratnih kilometara. Sastoje se iz smese prehladnenih kapljica i kristala. Ponekad se, zimi, dogada da padavine iz ovih oblača stignu do tla. Najčešće se altostratus-i ne javljaju sami. U altostratus-u se ne javlja halo.



Sl. 5. Prozračan sloj altostratus-a kroz koji se može oceniti položaj Sunca (A). Tamni oblaci, u prednjem planu, osvetljeni sa zadnje strane, pripadaju rodu cumulus-a.

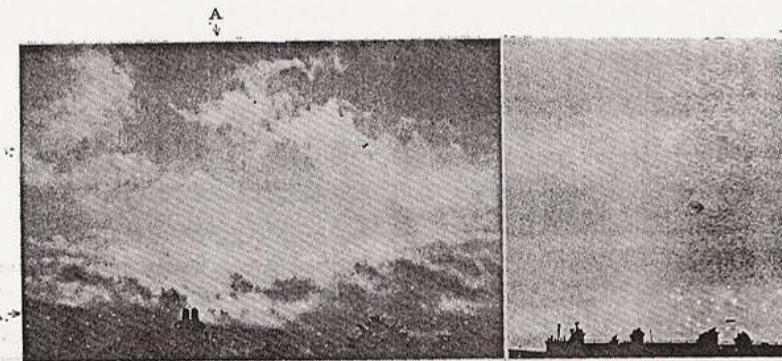
Sl. 6. Nebo pokriveno slojem stratocumulus-a.

III. Niski oblaci se u svim širinama malaze na visinama od 0 do 2 km.

6. STRATOCUMULUS (Sc). Ovi oblaci se javljaju u vidu sivih ili belih slojeva ili nizova. Skoro uvek ima delova oblaka koji su zatamnjeni. Stratocumulus-i su izgrađeni iz krupnih okruglih ili talasastih elemenata sličnim onima kod altocumulus-a. Pošto su na manjoj visini ovi elementi izgledaju veći — prividna širina im je veća od pet stepeni. Vertikalna razvijenost ovih oblaka se kreće od 500 do 1000 m. Stratocumulus-i se sastoje od kapljica, za koje se nekad vezuju krupne kapi kiše ili zrnca leda. Kadak ovi oblaci daju slabe padavine. Ako stratocumulus-i nisu gusti, može se u njima, ponekad, videti venac ili irizacija.

7. STRATUS (St). Javlja se u vidu homogenog, magličastog, sivog sloja čija je baza dovoljno niska da sakrije vrhove brežuljaka ili visokih građevina, a ponekad u vidu iskidanih nizova ili pramenova. Ponekad je stratus toliko tanak, da se kroz njega konture Sunca ili Meseca jasno očrtavaju, ali, najčešće, ovaj oblak je dovoljno neproziran da ih potpuno sakrije. Vertikalna razvijenost stratus-a se kreće od nekoliko desetina do nekoliko stotina metara. Kada je gust ili debel, stratus daje slabe padavine u obliku sitne kiše, ledenih iglica ili snežnih zrnaca. U stratus-u, kada je vrlo tanak, može da se javi venac oko Sunca ili Meseca, a na vrlo niskim temperaturama, pod izuzetnim uslovima i halo.

8. NIMBOSTRATUS (Ns). Ovaj sivi oblačni pokrivač, često tmurnog izgleda, najčešće prekriva čitav nebeski svod. Debljina i gustina tog pokrivača je, u svim njegovim delovima, dovoljno velika (debljina je obično nekoliko kilometara) da potpuno zakloni sunčev disk. Površina tla koju nimbostratus-i pokrivaju može imati nekoliko hiljada kvadratnih kilometara. Nimbostratus se sastoje od kapljica vode (kadak prehladenih) u smesi sa pahuljicama. Baza oblačnog sloja, obično je vrlo rasplinuta zbog neprekidnog padanja kiše, snega ili ledenih zrnaca.



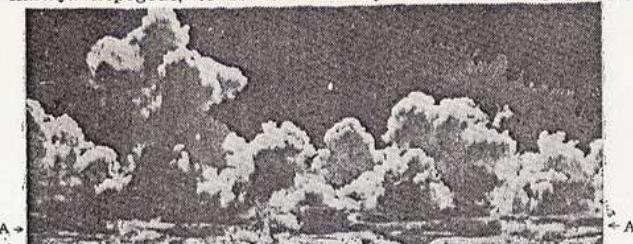
Sl. 7. Stratus u iskidanim krpama. Obod Sunca je jasno vidljiv (A).

Sl. 8. Tamnosiv oblačni sloj nimbostratus-a, koji je nejasan usled kiše koja neprekidno pada iz njega.

IV. Oblaci vertikalnog razvića imaju bazu na visini manjoj od 2 km, a vrh dostiže visinu i do 15 km.

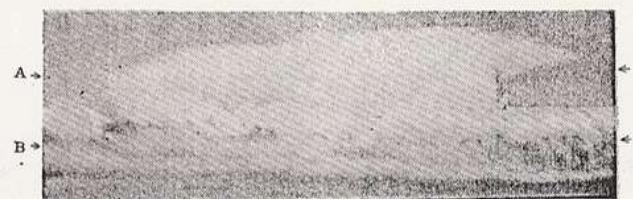
9. CUMULUS (Cu). U toplim letnjim danima često se na nebu obrazuju snežno-bele gomile oblaka. Ovi oblaci nastaju na vrhovima uzlaznih vazdušnih struja i nazivaju se gomilastim oblacima. Ako se kondenzacija vodenе pare vrši na jednom nivou, osnova gomilastih oblaka je ravna. Gotovo uvek, osnova cu-

mulus-a se javlja ispod 2 km. Gornji delovi ovih oblaka su nepravilni, lisnati ili blago zaokruženi; često imaju izgled karfiola. Gomilasti oblaci se u toku dana mogu razviti do znatnih visina, čak i do 5 km, ali iz njih nikada ne pada kiša niti nastaju nepogode, te se zato nazivaju i oblacima lepog vremena.



Sl. 9. Cumulus sa jakim vertikalnim prostiranjem. Jako osećene baze oblaka se nalaze blizu AA linije.

10. CUMULONIMBUS (Cb). U popodnevnim časovima, kada vazdušne uzlazne struje dobiju veliku brzinu, oblaci vertikalnog razvića mogu dostići visinu i do 15 km. Baza oblaka obično je vrlo mračna. Cumulonimbus-i su sastavljeni od prehladenih kapljica vode i, naročito u gornjem delu, od ledenih kristala i snežnih pahuljica. Gornji delovi oblaka često imaju oblik nakovnja ili široke perjanice bele boje. Ovi oblaci se nazivaju i nepogodski oblaci jer daju padavine koje imaju pljuskovit karakter (kiša ili sneg) sa pojavama oluje, grada, munja i grmljavine. Kada u vazduhu nastanu silazna vazdušna strujanja, čestice vode počinju da isparavaju. Oblak se postepeno rasplinjuje, dok potpuno ne isčeze.



Sl. 10. Cumulonimbus, čiji je gornji deo u obliku nakovnja (A), okružen masom oblaka kumulusnog oblika (B).

Najveći deo od deset pomenutih rodova oblaka deli se na vrste i podvrste. Podela na vrste se vrši prema obliku i unutrašnjoj strukturi oblaka. Podvrste se odnose na različite rasporede elemenata oblaka i prozračnost čitavog oblačnog sloja. Oblak, koji pripada određenom rodu, može da bude samo jedne vrste, ali, može da ima karakteristike više podvrsta.

LITERATURA

- Čobanov Z.: 1965, *Atmosferske pojave*, Naučna knjiga, Beograd.
Wallace J. M., Hobbs P. V.: 1977, *Atmospheric Science*, Academic Press, Inc.
New York.
Хромов С. П., Мамонтова Л. И.: 1974, *Метеорологический словарь*, Гидрометеоиздат, Ленинград.

Колчински И. Г., Орлов М. Я., Прох Л. З., Путач А. Ф.: 1985, *Какво може да се види на небето*, Државно издавателство „Д-Р Петър Берон“, София.
Svetiška meteorološka organizacija: 1956, *Medunarodni atlas oblaka-skráčení atlas*, Savezni hidrometeorološki zavod, 1959.

UDC 551.593

OPTIČKE POJAVE NA OBLACIMA I MAGLI

Ljiljana Džingalašević

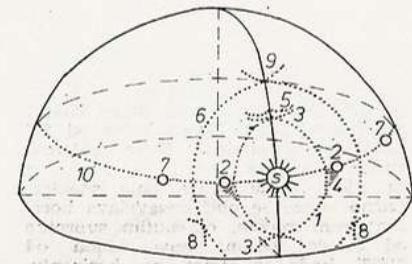
Republički hidrometeorološki zavod SRS, Beograd

Svetlosni zraci sa Sunca, Meseca i zvezda prolazeći kroz zemljinu atmosferu, na svome putu susreću se sa slojevima vazduha različitih gustina, molekulima gasova, kristalima leda, oblačnim i kišnim kapljicama, vodenom parom i mnogim drugim sitnim česticama u vazduhu. Ove čestice kao prepreke zauzimaju deo zrakova, prelamaju ih i menjaju im pravac. Sve ovo dovodi do stvaranja različitih optičkih pojava u Zemljinoj atmosferi. Ovde će biti reči samo o optičkim pojavama koje se mogu videti na oblacima i magli.

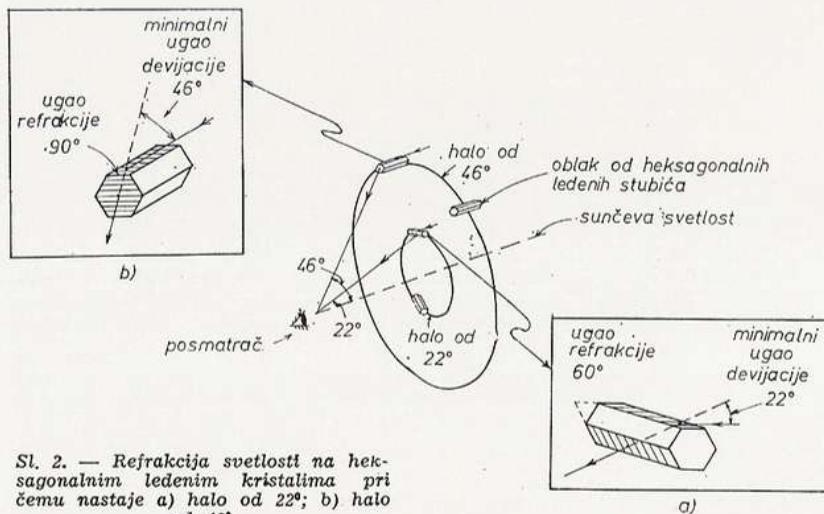
HALO

Halo („halos“ na grčkom znači krug za vršidbu) je opšti naziv za grupu optičkih pojava, oblika prstena, luka, stuža ili svetlosnih žarišta (sl. 1.), prouzrokovanih refrakcijom i refleksijom svetlosti na ledenim kristalima koji lebde u atmosferi. Ledeni kristali imaju, osim u slučaju haloa neobičnog radijusa, oblik šestougaonih prizmi, prikazanih na sl. 8e. f. Pojave tipa halo su sledeće:

1) Halo od 22° (ugaoni prečnik od 22° odgovara dužini između vrha palca i malog prsta, kada su prsti maksimalno razmaknuti, pri ispruženoj ruci) se često javlja u vidu svetlog prstena opisanog oko Sunca ili Meseca. Sa unutrašnje strane prsten je najsvetlij, ima relativno oštru granicu i crvene je boje. Prema spoljašnjoj strani boje idu ovim redom: crvena, žuta, zelena i plava. Nebo između prstena i Sunčeve difrakcione korone je tamno. Spoljašnja ivica prstena nije oštra već se neprimetno sliva sa beličastom obojenim nebom. U nekim retkim slučajevima ukrašena je ljubičastom prugom. Halo od 22° nastaje refrakcijom svetlosti na šestougaonim ledenim prizmama, kao što je prikazano na sl. 2a.



Sl. 1. — Raspored nekih pojava haloa na nebeskoj polusferi. 1-halo od 22° ; 2-parhelije ili lažna sunca haloa od 22° ; 3-horizontalni tangentni luci haloa od 22° (delovi opisanog haloa); 4-kosi luci Lovica; 5-gornji luk Parija; 6-halo od 46° ; 7-lažna sunca haloa od 46° ; 8,-9-donji i gornji tangentni luci haloa od 46° ; 10-parhelijiski krug; s-Sunce.



Sl. 2. — Refrakcija svetlosti na heksagonalnim ledenim kristalima pri čemu nastaje a) halo od 22°; b) halo od 46°.

3) **Lažno sunce ili parhelij** je oštro ograničena svetla pega na nebeskom svodu koja nam daje utisak postojanja još jednog ili više sunaca.

Najčešće se vide dva lažna sunca koja odgovaraju halou od 22°. Nalaze se na parheliskom krugu, nešto izvan haloa. Rastojanje između lažnog sunca i njegovog haloa raste kada visina Sunca raste. Kada je Sunce na horizontu lažna sunca se nalaze u preseku parheliskog kruga sa haloom od 22°. Ponekad se ova sunca vide i bez haloa. Lažna sunca haloa od 22° su sjajna i obojena živim bojama: strana okrenuta Suncu je crvena, a za njom sledi druge boje spektra. Lažno sunce se obično završava horizontalnim rehom, okrenutim suprotno od Sunca. Dužina repa opada od 21°37' kada je Sunce na horizontu, do nule, kada je visina Sunca 60°45'. Na toj visini lažna sunca nestaju.

Na parheliskom krugu se javljaju i dva slaba, neobojena lažna sunca haloa od 46°. I ova lažna sunca se nalaze izvan haloa kada Sunce nije na horizontu. Pojava parhelija se objašnjava refrakcijom svetlosti na prizmatičnim ledenim kristalima čije su refraktujuće ivice normalne na horizont posmatrača.

Registravana su lažna sunca na 90, 120 i 180° od Sunca, takođe na

parheliskom krugu. Nastanak lažnih sunaca na 120° uslovjen je refleksijom, a ne refrakcijom svetlosti pa su zato neobojena. Lažno sunce na 180° se naziva i antisunc ili antihelij. Javlja se kao sjajna, beličasta pega u tački suprotnoj Suncu, na istoj visini iznad horizonta na kojoj se nalazi i Sunce. Na rastojanju 30—40° od antisunca mogu da se jave lažna antisunca — paranthelije.

Donje lažno sunce ili slika Sunca je pojava koja se može videti iz slobodne atmosfere ili sa planina, ako se posmatrač nalazi iznad oblaka od ledenih kristala. To je bela, svetla mrlja na sunčevoj vertikali, slična slici Sunca na prostranoj površini mirne vode. Nalazi se toliko ispod horizonta koliko je Sunce iznad horizonta. Forma donjeg lažnog sunca je eliptična sa većom osom u vertikalnoj ravni.

Analogno lažnom suncu, antisuncu i lažnom antisuncu nastaju: lažni mesec ili paraselena, antismesec ili antiselena, i lažni antimesec ili parantiselena.

Istorijska starog i srednjeg veka pune je priča o pojavama dva, tri, čak i četiri sunca, kao i po dva i tri meseca i drugih optičkih pojava koje su uzimane za predznač velikih događaja.

Tako na primer, 636. godine od postanka Rima, u početku rata sa Juđurtom i malo pre no što će navaliti Cimbri i Tevtoni, videla su se u Rimu tri sunca.

U analima piše da su 1118. godine, za vreme vladavine engleskog kralja Henrika II, na nebu bila dva puna mjeseca. Iste godine kralj je pobedio svoga oca Roberta i pokorio Normandiju.

U starom ruskom narodnom epu — »Pesme o vojevanju Igorovu« — nepoznati pisac govorio o nebeskim predznacima uoči Igorove bitke sa Polovcima 1185. godine: »Drugoga dana vrlo rano krvava zora nagovještava svitanje, crni oblaci s mora hoće da prekriju četiri sunca, a u oblaci ma drhte plave munje...«

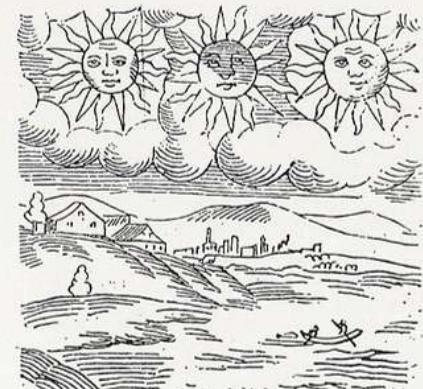
»Bilo je mračno trećega dana. Dva su se sunca pomračila, oba crvena stuba ugasi... Na reci Kajalu tama je zaklonila svetlost. Ti strašni znaci, tobože, su nagovještavali poraz Igorove vojske. I nju su, zaista, Polovci razbili.

Priložena sl. 3 pokazuje pojavu tri sunca 1492. godine.

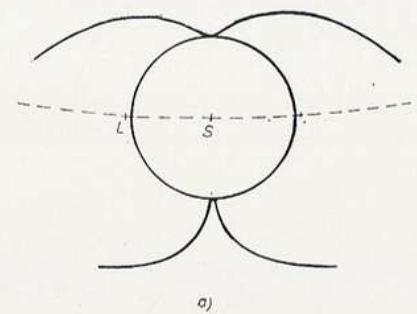
Donje lažno sunce videli su i nacrtali fizičari Baral i Biškis 27. jula 1850. godine, i to iz balona. Slika sunca bila je svetla skoro kao i samo Sunce.

4) **Parheliski krug** se zove i krug lažnih sunaca. To je horizontalni beli ili slabo obojen krug koji se nalazi na istoj uglovnoj visini kao i Sunce. Svetlosna žarišta, tj. lažna sunca, mogu da se pojave na određenim tačkama parheliskog kruga. Njegov nastanak je uslovjen odbijanjem svetlosti od bočnih strana heksagonalnih kristala, postavljenih tako da su im glavne ose vertikalne. Odgovarajuća pojava pri mesečini naziva se paraselenski krug.

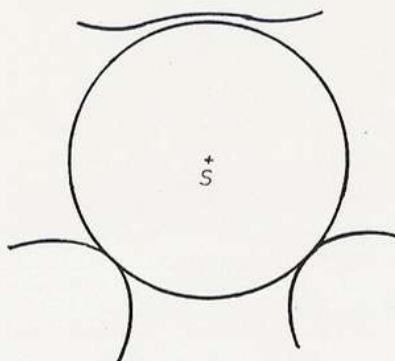
5) **Lukovi Lovica** su dobili naziv po ruskom astronomu Lovicu (1722—1774). Oni povezuju halo od 22° sa njegovim lažnim suncima. Tangencijalni su na halo u tačkama koje se nalaze nešto ispod lažnih sunaca i uobičajeno su konveksni prema Suncu. Da bi se oni jasno videli visina Sunca ne sme da bude manja od 25° i veća od 60°45'. Lukovi Lovica ne moraju da nestanu zajedno sa lažnim suncima; to zavisi od mehanizma njihovog formiranja.



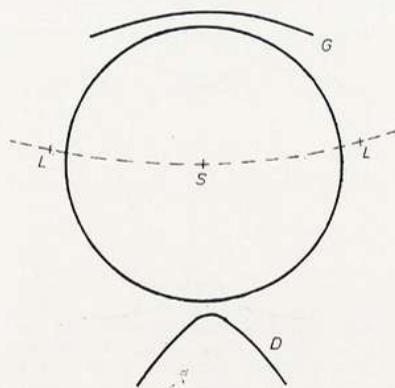
Sl. 3. Pojava tri sunca iz 1492. god. (crtež).



Sl. 4. Tangentni luci haloa od 22°. S-Sunce, L-položaj lažnog sunca. a) Visina Sunca je 10°; b) visina Sunca je 50° (opisani halo).



Sl. 5. Tangentni luci haloa od 46° pri visini Sunca od 50° .



Sl. 6. Lukovi Parija pri visini Sunca od 30° . S-Sunce, L-položaj lažnog sunca haloa od 22° , G-gornji, D-donji Parijev luk.

6) **Tangentni luci** su obojeni svetleći luci različite dužine, koji dodiruju halo od 22° ili 46° sa gornje i donje strane. Ponekad su toliko kratki da više liče na svetlosno žarište. Češće se vide gornji tangentni luci.

Tangentni luci haloa od 22° prikazani su na sl. 4 a, b. Kada Sunce dostigne visinu od 50° gornji i donji

tangentni luk se spajaju, a ova pojava se naziva opisani halo; oblik mu je eliptičan. Opisani halo često prati pojavu haloa od 22° . Kada je Sunce na visini $43^{\circ}15'$ lažna sunca su izvan ovog haloa, a na manjoj — između haloa od 22° i opisanog haloa.

Tangentni luci haloa od 46° prikazani su na sl. 1 i sl. 5. Pozicija gornjeg tangentnog luka je često maskirana cirkumzenitalnim lukom. Kada je Sunce na visini od 30° , skoro je nemoguće razlikovati ih.

7) **Lukovi Parija** prikazani su na sl. 6. Strane okrenute Suncu su obojeni crveno. Nastaju refrakcijom na heksagonalnim ledenim prizmama — stubičima čije su duže ose horizontalne. Kristali su orijentisani tako da su bočne stranice horizontalne.

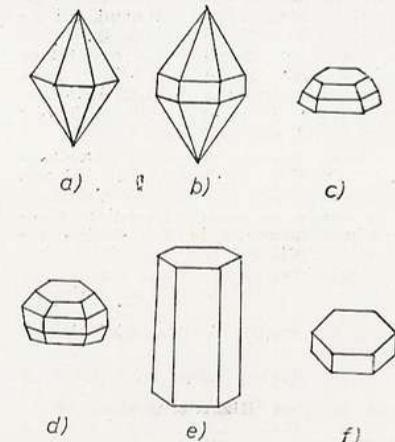
8) **Cirkumzenitalni luk** je paralelan horizontu i obojen jarkim bojama; crvena je okrenuta ka Suncu, a za njom slede druge boje spektra. Može da se javi samo onda kada je Sunce na visini manjoj od $32^{\circ}12'$. Kada je Sunce na horizontu cirkumzenitalni luk se nalazi na oko 12° iznad haloa od 46° . Sa porastom visine Sunca luk se sve više približava haloju. U formiranju cirkumzenitalnog luka učestvuju iste grupe kristala kao i kod lažnih sunaca haloa od 22° . Zato se ovaj luk može videti u isto vreme kada i lažna sunca i u istom tipu oblaka.

9) **Cirkumhorizontalni luk** je, takođe, paralelan horizontu, ali se javlja na manjoj visini i uvek ispod Sunca. Ovaj luk će biti obojen tako da je njegova gornja strana okrenuta Suncu, crvena. Cirkumhorizontalni luk će se pojaviti na horizontu kada je Sunce na visini $57^{\circ}48'$. Dostići će najveću visinu kada je Sunce u zenitu i tada će biti $32^{\circ}12'$ iznad horizonta. Nastaje refrakcijom svetlosti na istim ledenim kristalima kao i cirkumzenitalni luk; razlika je u upadnom ugлу sunčevih zraka.

10) **Svetlosni stubovi** su beli ili slabo obojeni svetlosni trasevi iznad i ispod sunčevog diska. Protežu se vertikalno do visine od 15° . Mogu da se vide kada se Sunce ili, ređe. Mesec nalazi blizu horizonta — na visi-

Najznačajnija pojava te vrste, za hrišćanski svet, bio je čuveni Konstantinov krst. U ratu protiv Maksimilijana Herkula, car Konstantin i ceća njegova vojska videli su na nebu svetao krst, znamenje pobede hrišćana. Letopisac je zabeležio da je nebo bilo pokriveno nekim sivim pokrovom i da je vreme posle toga bilo kišovito.

12) **Haloi neobičnog radijusa** su vrlo retke pojave. Ponekad se oko Sunca može, u isto vreme, videti nekoliko svetlosnih prstenova ili delova prstenova različitih radijusa. Formiranje ovih haloa se može objasniti prelamanjem svetlosti na ledenim kristalima složenih oblika koji su prisutni u atmosferi; prikazani su na sl. 8a—d.



Sl. 8. Različiti oblici ledenih kristala na kojima nastaje halo. a) — d) složene forme kristala; e), f) šestougao-ne ledene prizme-stubići i pločice.

Poznati su sledeći haloi neobičnog radijusa:

— halo Van Buzena sa radijusom $8^{\circ}18'$;

— halo Renkina sa radijusom $17^{\circ}24'$;

— halo Barnija sa radijusom 19° ;

— halo Datejla sa radijusom 24° ;

— halo Sajnera sa radijusom 28° ;

— halo Felijja sa radijusom $32^{\circ}21'$;

— halo Hevelijusa sa radijusom 90° .

Pored ovih postoje još: kosi luci koji prolaze kroz Sunce, kosi luci i svetlosni stubovi koji presecaju ant-helij, prstenovi oko anthelia, tzv. halo Bugera, sa radijusima 33, 35 i 38°. Ove pojave su vrlo retke i nedovoljno objašnjene.

VENAC

Vencem se naziva svetli oreol, koji se nalazi neposredno uz disk svetlosnog izvora, sa bojama spektra koje se menjaju od unutrašnje — plave ka spoljašnjoj — crvenoj; okružen je sa jednim ili najviše, četiri prstena sa istim rasporedom boja. Venci se javljaju kada su Sunce ili Mesec prekriveni tankim slojem oblaka — najčešće altokumulusima ili cirkumulusima. Ugaoni prečnik vanca je, obično nekoliko stepeni, ali nekad dostiže i 15°. Zbog malog prečnika teško je opaziti venac oko Sunca goliom okom, pa se ova pojava češće može posmatrati na Meseču. Vrlo retko, vence je moguće primetiti oko planeta ili sjajnih zvezda.

Venci nastaju difrakcijom svetlosti na vodenim kapljicama ili ledenim kristalima. Da bi došlo do obrazovanja vanca sa jasno izraženim prstenovima, potrebitno je da veličina vodenih kapljica i ledenih kristala bude približno ista. U suprotnom slučaju, ova optička pojava se, praktično svodi na oreol. Venci se takođe, javljaju pri magli, oko veštackih izvora svetlosti.

IRIZACIJA

Delovi vanca ili haloa mogu da proizvedu pojavu koja se naziva irizacija oblaka. To su, ustvari, boje spektra koje se vide na oblacima, čas pomešane, čas kao gotova paralelne cruge na ivicama oblaka. Prevladujuće boje su crvena i zelena. Kada irizacija potiče od haloa, najčešće — haloa od 22°, onda se boje spektra mogu videti na oko 25° od Sunca, a kada potiče od vanca, onda se teško mogu uočiti golin okom zbog velike blizine Sunca — svega nekoliko stepeni. Oblačne kapljice i kristali leda su, pri tom, vrlo mali i približno iste veličine. Ime ove pojave potiče od grčke reči »iris« — duga.



Sl. 9. »Brockenske aveti.«

Ako su oblak ili magla vrlo blizu posmatrača, senka na njima je dosta uvećana; tada se naziva »Brockenski spektar« ili »Brockenski avet«, bilo da je okružena ili ne obojenom glorijom. Naziv potiče od Brockenske planine u Nemačkoj gde se ova pojava relativno često vidi. Nastanak glorie se objašnjava difrakcijom svetlosti.

GLORIJA

Gloriju je prvi opisao španski kapetan Uloa 1735. godine. Ova optička pojava se može videti kada se senka posmatrača očrtava na oblacu od vodenih kapljica, ili na magli, ili, ali vrlo retko, na rosi. Gloriju čini jedan ili više obojenih prstenova koje posmatrač vidi oko senke svoje glave. Na planini Ben Nevis u Skotskoj videna je gloria koja je imala pet prstenova. Radijus prstenova ne mora uvek da bude isti; to zavisi od veličine i gustine vodenih kapljica u oblacu. Svaki prsten se završava crvenom bojom.

Jedan očeviđac posmatrao je ovu pojavu letnjeg jutra pri radanju Sunca i pri tom je naslikao (sl. 9).

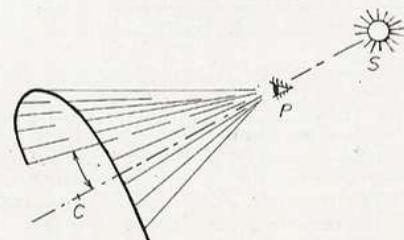
U toku Prvog svetskog rata novine su objavile vest da je ruska armija, koja je dejstvovala na Karpatima, opazila neobičnu pojavu na nebnu. Nama, pojavila se džinovska figura žene s detetom u rukama. Glava joj je bila okružena neobično svetlim, pravilnim prstenovima. Tu pojavu je opazila hiljadu ljudi. Sujeverni ljudi su to prividjenje objasnili kao pojavu Bogorodice koja je ruskim vojnicima pokazala put na zapad, proričući pobedu.

DUGA

Duga predstavlja veliki obojen luk vidljiv na površini oblaka, iz kojih pada kiša, u momentu kada na suprotnoj strani neba od nje sija Sunce. Centar duge se nalazi na liniji koja prolazi kroz Sunce i oko posmatrača, odnosno u antisolarnoj tački (sl. 10). Prema tome, čak i kada je Sunce na horizontu, vidi se samo polukrug duge. Kada je visina Sunca 42°18' duga isčezava. Pri posmatranju sa visine, npr., sa planina, iz aviona i sl., može se videti duga u vidu potpunog kruga.

Boje, intenzitet i širina dugih lukova nisu uvek jednaki, a dešava se i da nisu sve boje spektra uvek prisutne. Spoljašnja ivica, tzv. glavne duge je crvene boje i ima prečnik 42°18', a unutrašnja, ljubičasta — 40°36'. Sa spoljašnje strane glavne, često može da se vidi sporedna duga, sa obrnutim redosledom boja. Sporedna duga je koncentrična sa glavnom i manje je svetla od nje; prečnik njenog unutrašnjeg, crvenog ruba je 50°40', a spoljašnjeg, ljubičastog — 53°36'. Oblast između glavne i sporedne duge je tamna u poređenju sa ostalim delom neba.

Sa unutrašnje strane glavne duge ponekad mogu da se vide i, tzv. prekobrojne ili sekundarne duge koje su slabo obojene. Daleko redje se takve duge javljaju sa spoljne strane sporedne duge. Dešava se da se u isto vreme javi više prekobrojnih duga — registrirano je najviše šest. Tamna oblast može, ali ne mora, da razdvaja glavnu od prekobrojnih duga. Boje su im promenljive. Najčešće se javljaju ružičasta i plavičasto — zelena, ali se ponekad mogu videti žuta i ljubičasta.



Sl. 10. Položaj iz koga se vidi duga. S-Sunce, P-posmatrač, C-centar duge.

I Mesečeva svetlost može dati dugu. Ali kako je ona mnogo slabijeg intenziteta, to je mesečeva duga bleda, neki put čak i bela. Ova duga se retko javlja, jer se nepogodski obaci, pri kojima je jedan deo neba osvetljen mesečevim zracima, u noćnim časovima retko javljaju.

Na slojevima magle, koja se sastoji od kapljica vrlo malih razmera radijusa manjeg od 25 um), opaža se bela duga u vidu biještećeg belog luka. Njene ivice su obojene žutom ili narandžastom bojom sa spoljašnje strane, a plavom ili ljubičastom sa unutrašnjom.

Interesantno je napomenuti da je pre 300—400 godina bila velika smelost objašnjavati nebeske pojave. Pokušaj jednog biskupa da objasni poreklo duge povukao je za sobom stroge kazne: njegova knjiga bila je spaljena, a on se spasio lomačem time što je umro u tamnici, u koju ga je bacila inkvizicija. Početkom sedamnaestog veka ušlo se u trag zakonima o prelamanju svetlosti; pronašao ih je najpre Holandanin, Vilebort Snellius, 1621. godine, a zatim, nezavisno od njega, francuski fizičar Dekart koji ih je i uveo u nauku. Dekart je predložio prvu teoriju duge 1637. godine. Po njoj duga nastaje usled refrakcije i refleksije svetlosnih zraka na kapljicama vode; u osnovi su joj principi geometrijske op-

tičke. Kompletanu teoriju, koja objašnjava nastanak prekobrojnih duga, dao je engleski astronom Džordž Eri, 1849. Njegovo objašnjenje se zasniva na difrakciji i interferenciji svetlosnih talasa.

* * *

Na kraju pomenimo da halo, venac, kao i druge optičke pojave u atmosferi, ne zavise samo od položaja Sunca i Meseca, već i od položaja samog posmatrača. Zato posmatrači sa različitih mesta, vide svoj halo, venac ili neku drugu optičku pojavu.

LITERATURA

1. Tricker R. A. R.: 1970, *Introduction to Meteorological Optics*, American Elsevier Publishing Company, Inc., New York.
2. Wallace J. M., Hobbs P. V.: 1977, *Atmospheric Science*, Academic Press; Inc., New York.
3. Volkovinski O. A., Pavlova L. N., Petrušin A. G.: 1984, *Оптические свойства кристаллических облаков*, Гидрометеоиздат, Ленинград.
4. Hromov S. P., Mamontova L. I.: 1974, *Метеорологический словарь*, Гидрометеоиздат, Ленинград.
5. Kolchinis I. G., Orlow M. Ya., Prok L. Z., Putach A. F.: 1985, *Какво може да се види на небето*, Държавно издателство „Д-р Петър Берон“, София.
6. Cobanov Z.: 1965, *Atmosferske pojave*, Naučna knjiga, Beograd.
7. Stanojević Đ. M.: 1895, *Iz nauke o svetlosti*, Beograd.
8. Sergejev I. V.: 1945, *Neobične nebeske pojave*, Beograd.

OPTICAL PHENOMENA ON CLOUDS AND FOG

Basic data about various types of halos are given and later corona, iridescence, glory and rainbow are discussed.

Слика на III стр. корице: сарадници Астрономске опсерваторије из 1938. године.

С лева на десно.

I ред: 1. Ружица Митриновић, калкулатор, 2. Захарије Ђркић, астроном, 3. Пере М. Ђурковић, астроном, 4. Војислав В. Мишковић, директор Опсерваторије академик, 5. Петар Музек, астроном, 6. Бранислав М. Шеварлић, астроном, 7. Милорад Протић, астроном.

II и III ред: 1. Милош Ђоковић, стolarски ученик, 2. Шпиро Граовац, помоћни радник, 3. Максим Мрдаљ, дневничар-калкулатор, 4. Илија Граовац, домар, 5. Оливера Протић, калкулатор, 6. Војислав Вукашиновић, помоћни радник, 7. Живко Серафимовић, механичар, 8. Јубомир Пауновић, механичар, 9. Коста Враговић, столар, 10. Срђане Дрињевић, секретар-рачунополагач и библиотекар, 11. Петар Завитјајев, шофер, 12. Стојиша Ђукановић, посматрач, 13. Сава Кузмановић, помоћни радник, 14. Милан Симић, калкулатор и посматрач, 15. Веселин Ђугарски, помоћни радник, 16. Радмила Никић, калкулатор, 17. Милан Вукашиновић, помоћни радник, 18. Р. Ковачевић, калкулатор (у униформи), 19. Станојевић, вратар, и 20. Милан Зарић, ученик у механичарској радионици.

Slike na IV strani korice

Veliki refraktor Astronomске опсерваторије у Београду, јула 1987. године. (Snimio B. Turin).