



UNIVERZITET U NOVOM SADU
ПРИРОДНО - МАТЕМАТИЧКИ
ФАКУЛТЕТ
ДЕПАРТАМЕНТ ЗА ФИЗИКУ



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ	
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ	
ПРИМЉЕНО:	2 - 07 2010
ОРГАНІЗЕР	БРОЈ
0603	9/850

Obrada teme:

Atmosferske pojave kao primeri u nastavi fizike

- diplomski rad -

Mentor:
prof. dr Dušanka Obadović

Kandidat:
Milica Ranisavljević

Novi Sad, 2010.

*Zahvaljujem se svojim roditeljima, bratu i svim priateljima, kao i profesorima Prirodno-matematičkog fakulteta na ukazanoj podršci.
Posebno se zahvaljujem mentoru prof. dr Dušanki Obadović na strpljenju i ukazanom poverenju tokom izrade ovog diplomskog rada.*



Sadržaj:

1. Uvod.....	4
1.1. Metodičke napomene	4
2. Atmosfera-Zemljina pluća.....	7
2.1. Atmosferski slojevi	9
2.2. Kretanje vazdušnih masa	11
2.2.1. Horizontalno kretanje vazduha.....	11
2.2.2. Vertikalno kretanje vazduha	13
2.3. Oblaci	13
2.4. Magla	15
2.5. Padavine	16
2.6. Jednostavni ogledi.....	17
1. <i>Kako nastaje vетar – I.</i>	17
2. <i>Kako nastaje vетар – II</i>	17
3. <i>Kako toplota pretvara tečnost u gas</i>	17
4. <i>Tornado u krčagu</i>	18
5. <i>Oblak u boci..</i>	18
6. <i>Napravi maglu</i>	18
7. <i>Napravi kišu..</i>	19
8. <i>Zgnječena limenka</i>	19
9. <i>Magla u flaši</i>	20
3. Električne pojave u atmosferi	22
3.1. Istorijski razvoj nauke o elektricitetu.....	22
3.2.Osnovni pojmovi o elektricitetu.....	24
3.2.1. <i>Količina elektriciteta (naelektrisanje)</i>	25
3.2.2. <i>Priroda elektriciteta</i>	26
3.2.3. <i>Uzajamno dejstvo naelektrisanih tela</i>	27
3.2.4. <i>Električno polje</i>	28
3.2.5. <i>Influencija</i>	29
3.3. Električne pojave u atmosferi	29
3.3.1. <i>Atmosferski elektricitet</i>	29
3.3.2. <i>Održavanje električnog polja u atmosferi</i>	29
3.3.3. <i>Električno praznjenje u grmljavinskom oblaku</i>	30
3.3.4. <i>Vrste munja</i>	31
3.4. Demonstracioni ogledi	33
1. <i>Model Frenklinovog gromobrana</i>	33
2. <i>Simulacija nepogode</i>	34
4. Optičke pojave u atmosferi	35
4.1. Istorijski razvoj nauke o prirodi svetlosti.....	35
4.2. Svetlost u optici	37
4.2.1. <i>Osobine svetlosti</i>	37
4.2.2. <i>Zakoni geometrijske optike</i>	37
4.3. Optičke pojave u atmosferi.....	40
4.3.1. <i>Plavetnilo neba i crvena boja zalazećeg Sunca</i>	40
4.3.2. <i>Duga</i>	42
4.3.3. <i>Halo</i>	43
4.3.4. <i>Fatamorgana</i>	44
4.3.5. <i>4.3.5. Polarna svetlost</i>	45
4.4. Jednostavni ogledi.....	46
1. <i>Eksperiment plavog neba</i>	46
2. <i>Napravi dugu I</i>	46
<i>Napravi dugu II</i>	46

5. Ozonski omotač	47
6. Efekat staklene bašte	48
6.1. Jednostavni ogledi	49
1. Napravi svoju staklenu baštu	50
2. Efekat staklene bašte i koka – kola	50
7. Zaključak	51
8. Literatura	52

1. Uvod

Izučavanje fizike prirodnih pojava, ima pre svega, ogromnu saznanju vrednost. U današnje vreme čovek, naoružan kompleksom savremenih naučnih saznanja i osetljivim mernim instrumentima i aparatima, u mogućnosti je da zaviri u najskrivenije tajne prirode. Od prirode čovek ima mnogo toga da uzme, ali i mnogo toga da nauči.

Shvatajući fiziku prirodnih pojava, čovek objedinjuje emocionalna opažanja sa racionalnim, a kao rezultat, uči se da vidi lepotu u fizici, i više od toga, uči se uopšte da dublje oseća lepotu. U tome se ogleda estetska vrednost izučavanja fizike prirode.

Ovaj rad za cilj ima otkrivanje lepote fizike i mogućnosti da i nastavni proces bude takav. Nakon opšte priče o atmosferi, koja predstavlja pluća naše planete, izložena je teorija o fizičkim veličinama karakterističnim za pojam atmosfere, kao i procesima koji se u njoj odvijaju. Posle osvrta i podsećanja na slojevitu strukturu atmosfere, pažnja se pripisuje karakterističnim meteorološkim elementima i dešavanjima, kao što su kretanje vazdušnih masa (horizontalnih – vetrovi i vertikalnih), nastanak i vrste oblaka, magle, padavina . . . Za potvrdu i demonstriranje fizičkih zakona, sledi nekoliko jednostavnih demonstracionih ogleda, za nivo Osnovne i Srednje škole.

Postepeno, prolazivši kroz istorijske ekskurzije, dalje u radu se razmatraju osnovne osobine elektriciteta i svetlosti. Razumevanjem predhodnih, svaka za sebe, počinju pažljivo da se promatraju i razotkrivaju te fascinirajuće pojave u atmosferi – električne i optičke. Sa tačke gledišta posmatrača, prelazi se na analizu pojava, na pretresanje fizičkih mehanizama koji se nalaze u osnovi ovih pojava. Priroda je neobično raznovrsna, ona je zaista neiscrpna . . .

Shvatanje procesa koji nastaju u prirodi predstavlja garanciju pažljivog odnosa prema prirodi, što je u današnje vreme vrlo značajno, kada je čovek, opremljen moćnom tehnikom, u stanju ne samo da obogalji, već i da potpuno uništi prirodu na Zemlji.



Nakon dosezanja atmosferskih visina, neophodno je vraćanje u realnost i svakodnevni život. Buđenje ekološke svesti kod učenika je od velike važnosti, te je u ovom radu moralo biti reči i o ugroženosti ozonskog omotača naše planete i efektu „Staklene baštice“.

Navođenjem primera iz života i dešavanjima u prirodi, uz sprovođenje adekvatnih zanimljivih demonstracionih ogleda, učenicima se omogućuje da kroz individualni rad, razmišljanje i logičko zaključivanje, lakše usvoje gradivo. Demonstracioni ogledi časove fizike čine interesantnijim, a gradivo razumljivijim i lakše primenljivim.

1.1. Metodičke napomene

Opšti cilj nastave fizike jeste da učenici upoznaju prirodne pojave i osnovne prirodne zakone, da steknu osnovnu naučnu pismenost, da se osposobe za uočavanje i raspoznavanje fizičkih pojava u svakodnevnom životu i za aktivno sticanje znanja o fizičkim pojavama kroz istraživanje, oforme osnovu naučnog metoda i da se usmere prema primeni fizičkih zakona u svakodnevno životu i radu. Ostali ciljevi i zadaci nastave fizike su:

- razvijanje funkcionalne pismenosti
- upoznavanje osnovnih načina mišljenja i rasuđivanja u fizici
- razumevanje pojava, procesa i odnosa u prirodi na osnovu fizičkih zakona
- razvijanje sposobnosti za aktivno sticanje znanja o fizičkim pojavama kroz istraživanje
- razvijanje radoznalosti, sposobnosti racionalnog rasuđivanja, samostalnosti u mišljenju i veštine jasnog i preciznog izražavanja
- razvijanje logičnog i apstraktног mišljenja
- shvatanje smisla i metoda ostvarivanja eksperimenta i začaja merenja
- rešavanje jednostavnih problema i zadataka u okviru nastavnih sadržaja

- razvijanje sposobnosti za primenu znanja iz fizike
- shvatanje povezanosti fizičkih pojava i ekologije i razvijanje svesti o potrebi zaštite, obnove i unapređivanja životne sredine
- razvijanje radnih navika i sklonosti ka izučavanju nauka o prirodi
- razvijanje svesti o sopstvenim znanjima, sposobnostima i daljoj profesionalnoj orientaciji.

Pri izradi programa fizike, najpre se sadržaj, obim i metodsko prezentovanje prilagođavaju određeom uzrastu učenika. Iz fizike kao naučne discipline odabiraju se samo oni sadržaji koje na određenom nivou mogu da usvoje svi učenici Osnovne ili Srednje škole. Obim odabranih programskih sadržaja prilagođava se godišnjem fondu časova fizike.

Programski sadržaji se prikazuju u formi koja zadovoljava osnovne metodske zahteve nastave fizike:

- postupnost (od prostijeg ka složenijem) pri upoznavanju novih pojmoveva i formulisanju zakona
- očiglednost pri izlaganju nastavnih sadržaja (uz svaku tematsku celinu pobrojano je više demonstracionih ogleda)
- induktivni pristup (od pojedinačnog ka opštem) pri uvođenju osnovnih fizičkih pojmoveva i zakona
- povezanost nastavnih sadržaja (horizontalna i vertikalna)

Stoga, prilikom ostvarivanja programa je poželjno da se svaka tematska celina obrađuje onim redosledom koji je naznačen u programu. Time se omogućuje da učenik lakše usvaja nove pojmove i spontano razvija sposobnost za logičko mišljenje.

Unutar svake veće tematske celine, posle postupnog i analitičkog izlaganja pojedinačnih nastavnih sadržaja, kroz sistematizaciju i obnavljanje izloženog gradiva se izvršava sinteza bitnih činjenica i zaključaka i kroz njihovo obnavljanje se omogućuje da ih učenici u potpunosti razumeju i trajno usvoje.

Veoma je važno da se kroz rad u razredu ispoštuje ovaj zahtev programa jer se time naglašava činjenica da su u fizici sve oblasti međusobno povezane i omogućuje se da učenik sagleda fiziku kao koherentnu naučnu disciplinu u kojoj se početak proučavanja nove pojave naslanja na rezultate proučavanja nekih predhodnih. Takođe, važno je da redosed izlaganja gradiva fizike bude usaglašen sa gradivom iz matematike.

Ciljevi i zadaci nastave fizike ostvaruju se kroz sledeće osnovne oblike:

- izlaganje sadržaja teme uz odgovarajuće demonstracione oglede
- rešavanje kvalitativnih i kvantitativnih zadataka
- laboratorijske vežbe
- korišćenje i drugih načina rada koji doprinose boljem razumevanju sadržaja teme (domaći zadaci, čitanje popularne literature iz istorije fizike i sl.)
- sistematsko praćenje rada svakog pojedinačnog učenika

Veoma je važno da nastavnik pri izvođenju prva tri oblika nastave naglašava njihovu objedinjenost u jedinstvenom cilju: otkrivanje i formulisanje zakona i njihova primena. U protivnom, učenik će steći utisak da postoje tri različite fizike: jedna se sluša na predavanjima, druga se radi kroz računske zadatke, a treća se koristi u laboratoriji. Ako još nastavnik ocenjuje učenike samo na osnovu pismenih vežbi, učenik će s pravom zaključiti: *U školi je važna samo ona fizika koja se radi kroz računske zadatke*. Nažalost, često se dešava da učenici Osnovne i Srednje škole o fizici kao nastavnoj disciplini steknu upravo takav utisak. Da bi se ciljevi i zadaci nastave fizike ostvarili u celini, neophodno je da učenici aktivno učestvuju u svim oblicima nastavnog procesa.

Nastavnik je dužan da kontinuirano prati rad svakog učenika kroz neprekidnu kontrolu njegovih usvojenih znanja, stečenih na osnovu svih oblika nastave: demonstracionih ogleda, predavanja, rešavaju kvantitativnih i kvalitativnih zadataka i laboratorijskih vežbi. Ocjenjivanje učenika samo na osnovu rezultata koje je on postigao na pismenim vežbama neprimereno je fizici kao naučnoj disciplini. Nedopustivo je da nastavnik od učenika traži samo formalno znanje umesto

da ga podstiče na razmišljanje i logičko zaključivanje. Učenik se kroz usmene odgovore navikava da koristi preciznu terminologiju, razvija sposobnost da svoje misli jasno i tečno formuliše i ne doživljava fiziku kao naučnu disciplinu u kojoj su jedino formule važne. Stalnim obnavljanjem najvažnijih delova iz celokupnog gradiva se postiže da stečano znanje bude trajnije i da učenik bolje uočava povezanost raznih oblasti fizike.

Jednostavni eksperimenti u nastavi fizike

Uvođenje jednostavnih eksperimenata za demonstriranje fizičkih pojava ima za cilj vraćanje ogleda u nastavu fizike, razvijanje radoznalosti i interesa za fiziku i istraživački pristup prirodnim naukama. Jednostavne eksperimente mogu da izvode i sami učenici na času ili da ih ponove kod kuće, koristeći mnoge predmete i materijale iz svakodnevnog života.

Određena pojava se može prikazati a različite načine, putem različitih ogleda. Na nastavniku je da odabere oglede kojima će opisati određene pojave, pridržavajući se opštih zahteva za izvođenje ogleda. Uloga jednostavnih eksperimenata se ne ogleda samo u demonstraciji određene fizičke pojave, već ovi eksperimenti mogu predstavljati i test spremnosti učenika da na bazi poznavanja fizičkih fenomena i određenog matematičkog aparata dublje obrazlože jednostavno demonstrirane pojave.

Obzirom na specifičnost teme, ogledi, koji su, u fizici kao eksperimentalnoj nauci, od neizmerne važnosti, a u vezi su sa pojavama u atmosferi, mogu se obrađivati na različitim nivoima obrazovanja učenika, što je pred samo navođenje demonstracionih ogleda i naglašeno. Takođe, specifičnost teme diktira i raznovrsnost pojmove koji se kroz oglede mogu demonstrirati.

U okviru ove teme, potrebno je skrenuti pažnju da, ne postoji nastavna oblast koja u potpunosti obraduje navedene sadržaje, ni na nivou Osnovne, ni na nivou Srednje škole. Učenicima su, ipak, svi ovim pojmovi poznati, delom iz školskih sadržaja, delom iz života i vanškolskih interesovanja. Želja za produbljivanjem već stečenih znanja i upoznavanjem karakteristika ovih fenomena zasigurno postoji među svim uzrastima . . .

2. Atmosfera-Zemljina pluća

Zemljina atmosfera je sloj gasova koji okružuju planetu Zemlju u vidu omotača visokog oko 1600 km, a koji zadržava Zemljina gravitacija. Ovaj gasoviti sloj ne završava se naglo. Ona polagano postaje ređa i postepeno nestaje u svemiru. Ne postoji konačna granica izmedju atmosfere i spoljašnjeg svemira. 75 % mase atmosfere nalazi se unutar 11 km od površine planete. Visina od 120 km označava granicu gde atmosferski uticaji postaju vidljivi tokom ulaska svemirske letelice u atmosferu. Takodje se često za granicu izmedju atmosfere i svemira uzima Karmanova crta na udaljenosti od 100 km od površine Zemlje.

Pod uticajem Sunca, Zemlje i sezonske razlike, atmosferu čini kompleks komponenti Zemljjanog vremenskog sistema i klime. Atmosfera štiti život na Zemlji apsorbujući ultraljubičasto sunčeve zračenje i smanjujući temperaturne ekstreme izmedju dana i noći.

Atmosfera apsorbuje toplotu od solarne radijacije koja prolazi kroz njen debeli sloj. Solarna radijacija koja dopire do Zemljine površine odbija se nazad naviše i dalje se apsorbuje u atmosferi. Atmosferska toplota utiče na mnoge vremenske faktore, uključujući kretanje vazduha, kao i na padavine. Isparavanjem vlage okeana stvara se vodena para. Posle ovakvih dešavanja vodena para se na Zemlju vraća u vidu kiše, snega, grada i drugih oblika padavina.

Temperatura i vlažnost vazduha takođe imaju uticaj na mnogobrojne faktore: raspodela kopna i mora, topografiju regiona i sezonske razlike u solarnoj radijaciji.

Atmosferski gas

Atmosferu uglavnom čini smeša raznih gasova. Najveći deo otpada na vazduh i vodenu paru. Pored ovih sastojaka u atmosferi su prisutni mikroskopski delići čvrste i tečne materije različitog porekla, higroskopska jezgra kondenzacije, kapljice vode, zrnca leda, bakterije i drugi mikroorganizmi.

Najvažniji činilac atmosfere jeste vazduh, odnosno mešavina raznih gasova. Čist, suv vazduh je bez mirisa, boje i ukusa. U njegovom sastavu dominiraju azot (oko 4/5) i kiseonik (oko 1/5), dok su količine ostalih gasova neznatne ili u tragovima. Uloga ozona (O_3), čija je zastupljenost 0-0,07% u vazduhu, je od velike važnosti. On upija ultraljubičasto zračenje Sunca (to su zračenja malih talasnih dužina) koje poseduje vrlo snažnu antibiološku moć, razredjujući svaki oblik života.

Vlažnost gasova određena je koncentracijom vodene pare koja varira od 0 do 4 %, a sa rastom nadmorske visine naglo opada.

Atmosfera, dakle, sloj vazduha koji opkoljava Zemljinu loptu, zajedno sa najvišim delovima litosfere i hidrosfere, čini biosferu tj. sferu života gde se razvija život ljudi, biljaka i životinja. Visina sloja u kojem je moguć život iznosi 10-13 km iznad površine Zemlje.



Atmosferski pritisak

Vazduh ima težinu, iako je to skoro neprimetno. Težina vazduha izaziva pritisak koga nismo ni svesni, pošto u našem organizmu postoji sličan pritisak suprotnog delovanja. Pritisak atmosfere je direktna posledica težine vazduha. Atmosferski pritisak se definiše kao težina stuba atmosfere čija je osnova jedinične površine. Specijalna okolnost za prihvatanje ove definicije atmosferskog pritiska je činjenica da postoji ravnoteža, poznata kao hidrostatička ravnoteža, između naniže

Obrada teme: Atmosfera i atmosferske pojave u prirodi

delujuće gravitacione sile (sile teže) i naviše delujuće sile nastale opadanjem pritiska sa povećanjem visine.

Atmosferski pritisak se meri barometrom. Reč barometar je grčkog porekla i bukvalno znači mera za težinu. Pritisak koji atmosfera vrši na morskoj površini, a pri temperaturi od 0°C , jednak je pritisku koji vrši živin stub visine 760 mm. Barometarska merenja viša od 760 mm karakterišu povišen pritisak, a merenja ispod 760 mm karakterišu snižen pritisak. Atmosferski pritisak opada sa povećanjem visine, ali isto tako opada i sa povećanjem temperature i vlažnosti. Topao vazduh je lakši od hladnog, a vlažan je lakši od suvog.

Jednačina koja opisuje pritisak u zavisnosti od visine se naziva *barometrijska jednačina*. Kako pritisak opada sa visinom, barometrijska jednačina ima izgled:

$$p(z) = p_0 e^{-z/z_0} \quad (2.1)$$

gde su : p_0 – pritisak na nivou mora – 101,3 kPa (to je 1 bar); z_0 – referencijska visina – oko 8500 m

Temperatura, topota, specifična topota? A šta sa njima?

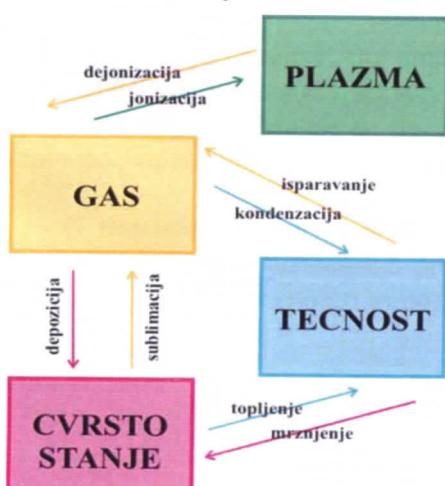
Temperaturom nekog tela označeno je u fizici njegovo toplotno stanje, i kada se govori o promenama temperature ustvari se pod tim podrazumevaju promene u toplotnom stanju nekog tela.

Toplotno stanje nekog tela posledica toplotne količine u njemu. Kada telo primi određenu količinu toplotne energije, temperatura mu se poveća za određen stepen; a temperatura mu se smanji za izvestan stepen, ako se telu oduzme izvesna količina toplote. Pored toga se, pri uspoređivanju raznih tela, pokazalo da između primanja toplote i povećanja temperature ne postoji prava сразмерa. Nekom telu će biti potrebna dvostruka, pa i trostruka količina toplote da bi mu se temperatura, u istoj zapremini, povećala isto onoliko, kao kod drugog ili trećeg tela. Uzrok tom nejednakom ponašanju između količine energije i toplotnog stanja jeste nejednakost u specifičnoj toploti raznih tela.

Fizički odnos između toplote i temperature je izražen jednačinom: $Q = c_p m \Delta t$, gde je Q količina primljene ili izdate toplote, Δt odgovarajuća razlika u temperaturi, m masa tela, a c_p specifična toplota.

Fazni prelazi

Obično iskustvo i ogledi pokazuju da sve supstancije promenom temperature mogu da menjaju agregatna stanja. Na primer, čvrsta tela se tope pri zagrevanju. Daljim povišenjem temperature, ona isparavaju. Hlađenje tela dovodi do obrnutih procesa - pretvaranje pare u tečnost i tečnosti u čvrstu supstanciju. Mogući su slučajevi kada se pri povišenju temperature čvrsta tela neposredno pretvaraju (prelaze) u gasovito stanje (paru). Takav oblik promene agregatnog stanja naziva se sublimacija.



Supstanca se može nalaziti u tri agregatna stanja: **čvrstom, tečnom i gasovitom**. Pored ova tri opštepoznata agregatna stanja supstancije, postoji i četvrti agregatno stanje koje se naziva **plazma**. Ovo specifično agregatno stanje supstancije karakteriše visok stepen jonizacije (velika koncentracija nanelektrisanih čestica: pozitivnih jona, elektrona i drugih).

Umesto agregatnog stanja često se koristi izraz **faza**. Faza bi se mogla definisati kao homogeni deo nekog sistema koji u svim svojim tačkama ima iste osobine i koji je određenom granicom odvojen od ostalih delova sistema. U jednom agregatnom stanju može biti i više faza. Prelaz supstance iz jedne faze u drugu, uz apsorpciju ili oslobođanje toplote (latentna toplota transformacije), a bez promene temperature, naziva se *fazni prelaz prvog reda*.

Latentna topota

Latentna topota (λ) označava količinu energije (Q) koju hemijska supstanca primi ili preda okolini tokom faznog prelaza u drugo agregatno stanje, pri čemu temperatura supstancije ostaje nepromenjena.

$$\lambda = \frac{Q}{m} \left[\frac{J}{kg} \right]. \quad (2.2)$$

U opštem slučaju latentna topota je funkcija temperature, $\lambda = \lambda(T)$.

Dve najvažnije latentne topote su *latentna topota topljenja* i *latentna topota isparavanja*:

- Topota topljenja predstavlja količinu energije potrebnu da se istopi jedinica mase date supstancije. U SI sistemu jedinica topote topljenja je J/kg.
- Topota isparavanja je količina energije koja je potrebna za isparavanje jedinice mase date supstance. U SI sistemu jedinica topote isparavanja je J/kg. Topota isparavanja se smanjuje sa povećanjem temperature i potpuno nestaje pri kritičnoj temperaturi za određenu supstancu.

Dakle, latentna topota topljenja i latentna topota isparavanja opisuju protok energije kada supstanca menja svoju fazu: čvrsto telo \rightarrow tečnost \rightarrow gas. U oba slučaja promena je endotermička, što znači da sistem apsorbuje energiju pri promeni od čvrstog stanja ka gasovitom. Ako se promena odvija u suprotnom pravcu, ona je egzotermička (proces oslobađa energiju). U slučaju kondenzacije (fazni prelaz iz gasovite u tečnu fazu oduzimanjem topote-hlađenjem do kritične temperature) ili očvršćavanja, oslobodi se ista količina topote. Latentna topota se još naziva i „skrivenom“, jer ne dovodi do promena temperature supstance.

2.1. Atmosferski slojevi

Kao što već znamo, u atmosferi postoje različita područja, pa tako, Zemljina atmosfera je, računajući pravac od Zemljine površine, podeljena na:

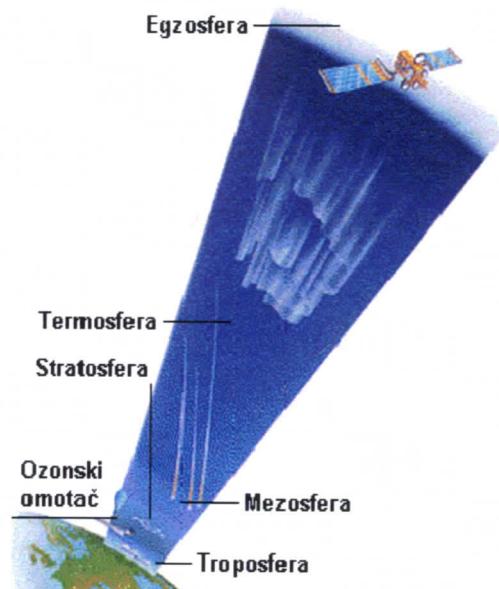
1. Troposferu
2. Stratosferu
3. Mezosferu
4. Termosferu

Temperatura Zemljine atmosfere se menja sa visinom. Između različitih atmosferskih slojeva menja se matematički odnos temperature i visine.

Granice između ovih slojeva nazivaju se: tropopauza, stratopauza i mezopauza. Prosečna temperatura atmosfere na površini Zemlje iznosi 14°C .

Troposfera je najniži sloj atmosfere. U ovom sloju se događaju sve vremenske pojave, nastaju i izčeščavaju oblaci, stvaraju se padavine, nastaju i nestaju vetrovi, itd. Proteže se do 13 km visine. Ona sadrži oko $3/4$ ukupne mase vazduha, a verovatno svu vodenu paru.

U troposferi postoje dve oblasti. Niža oblast od oko 3500 m visine, ima srednji sastav atmosfere, središte je vremenskih promena koje se manifestuju u vidu vetra, kiše, oblaka, snega, grada i grmljavine. Viša oblast troposfere je vremenski mirnija.



Između troposfere i stratosfere se nalazi tropopauza. Njena visina nije ista sa različitim tačaka na Zemlji. Idući od polova prema ekvatoru visine tropopauze se menja i to od 9 – 17 km. Radio-sondama je utvrđeno da tropopauza iščezava u antarktičkoj oblasti za vreme zime.

Stratosfera je vazdušni pojas iznad troposfere. On se odlikuje uglavnom horizontalnim kretanjima i aktivnostima. Temperatura ovog sloja je uvek daleko ispod tačke smrzavanja, ali bez izrazite zavisnosti od visine. Temperatura se ovde menja, ali u horizontalnom pravcu. Usled gotovo nepromenljive temperature sa visinom, stratosfera predstavlja sloj velike stabilnosti. Iznad stratosfere, čija visina dostiže i 50 km, nalazi se prelazna oblast stratopauza. Nju karakteriše progresivno opadanje temperature. Na oko 60 km visine prelazi u jonosferu.

Mezosfera je sloj atmosfere između stratopauze i mezopauze. U tom sloju se beleži pad temperature sa porastom visine. Temperaturni minimum mezosfere je oko -90 °C. Visina i debljina sloja nisu precizno definisane, zbog učestalih i opsežnih promena u relativno kratkom vremenskom periodu. Najčešće se uzima da je donja granica mezosfere 50 km, a gornja na 80 km visine.

Termosfera se prostire između 80 km i 800 km iznad Zemljine površine. Smeštena je između mezosfere, od koje je odvaja mezopauza, i egzosfere, od koje je odvaja termopauza. Odlikuje se naglim porastom temperature. Naime, na visini od oko 250 km ona dostiže +250 °C. Taj temperaturni skok vezan je za apsorbovanje Sunčevog kratkotalasnog zračenja.

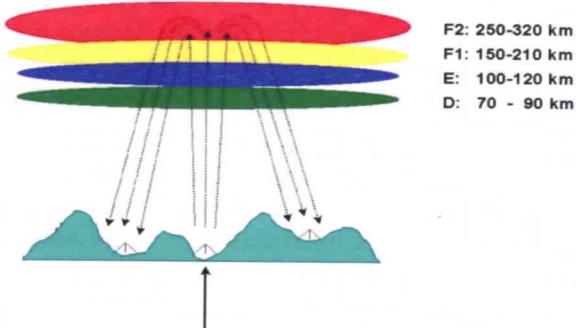
U okviru termosfere, na osnovu gustine i stepena ionizacije, izdvajaju se dva sloja:

- jonosfera – je deo Zemljine atmosfere gde količina jona, ili nanelektrisanih čestica, nastalih delovanjem uglavnog Sunčeve radijacije na neutralne atome i molekule vazduha, je dovoljno velika da utice na prostiranje radiotalasa. Jonosfera počinje na visini od 50 km od površine Zemlje, ali se lakše uočava na visini od 80 km. Čine je smeše gasa neutralnih atoma i molekula (uglavnom kiseonik i azot) i kvazineutralna plazma (broj negativno nanelektrisanih čestica je otprilike jednak broju pozitivno nanelektrisanih). U jonosferi se javljaju jonosferne magnetske bure i polarna svetlost.

Dakle, jonosfera se sastoji od nanelektrisanih čestica (jona i elektrona) i ona sadrži četiri ionizovana sloja (E, D, F₁ i F₂) od kojih se odbijaju elektromagnetični talasi.

Egzosfera – je najviši sloj Zemljine

atmosfere. Smešten je iznad mezosfere od koje ga odvaja mezopauza na visini od 800 do 3000 km. U egzosferi ima malo gasova, vodonika i helijuma i ona predstavlja kontakt Zemlje i svemira. Temperatura dostiže do +1500 °C. Vazduh je izuzetno razređen, a njegove čestice se kreću brzinom od 11 km/s, a nalaze se na međusobnoj udaljenosti od nekoliko stotina metara. Usled toga, joni azota i kiseonika odlaze u međuplanetarni prostor.

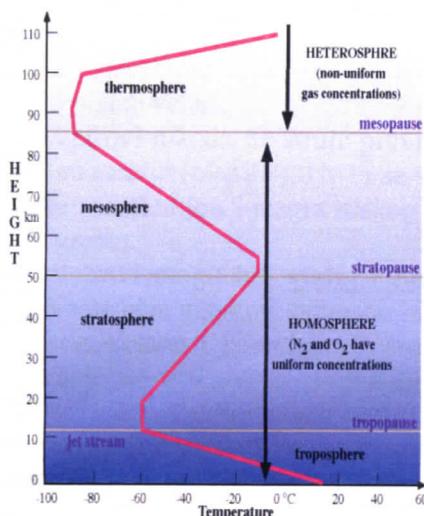


Na visini od oko 1000 km počinje oblast magnetosfere, u kojoj kretanje jona (najviše vodonikovih) kontroliše magnetno polje Zemlje.

Iznad egzosfere se može izdvojiti još jedan sloj - geokorona, na visini od oko 20000 km. On se pretežno sastoji od atoma vodonika.

Atmosferu možemo podeliti na još jedan način. Ova druga podela se izvodi na osnovu načina mešanja sastojaka atmosfere.

Prvi sloj, od oko 90 km visine, naziva se homosfera. Ujednačenog je sastava i stalnog odnosa sadržaja azota, kiseonika i inertnih gasova. Smeša ovih gasova predstavlja vazduh.



Drugi sloj se naziva *heterosfera* i u njemu je prisutno sporo difuzno kretanje čestica (atoma i jona). Sa povećanjem visine u atmosferi postepeno prevladava helijum, molekulski i atomski vodonik. Precizna visina heterosfere i slojeva od kojih je sastavljena, menja se značajno sa temperaturom.

2.2. Kretanje vazdušnih masa

Atmosfera se nalazi u neprekidnom kretanju. Osnovni uzrok kretanja vazdušnih masa jeste nejednako zagrevanje Zemljine površine, dok gravitaciona sila i rotacija Zemlje i još neke

druge sile utiču na tokove kretanja vazdušnih masa. Vazduh teži da se kreće iz zone višeg ka zoni nižeg pritiska, a do razlike u pritiscima dolazi usled nejednog zagrevanja različitih slojeva vazduha. Naime, kako se i Zemljina površina nejednako greje, više zagrejani deo više će zračiti toplotu i zagrejati sloj vazduha iznad sebe. Taj vazduh se usled zagrevanja širi, postaje razređeniji (lakši) i podiže se, izazivajući vertikalno strujanje vazduha (konvekcije). Kako se topao vazduh podiže, okolini hladniji vazduh horizontalnim strujanjem zauzima njegovo mesto, greje se, podiže. Delovanjem gravitacione sile vazduh koji se podiže će se vremenom spustiti nazad ka Zemljinoj površini. Delovanje sila koje sa jedne strane dovode do podizanja vazduha (termalne sile), a potom do njegovog spuštanja (gravitaciona sila) usloviće horizontalna strujanja vazduha.

Zajedno sa vazduhom dolazi i do kretanja vodene pare koja je u vazduhu dospela evaporacijom iz zagrejane Zemljine površine. Vodena para (zbog jedinstvenih karakteristika vode) u sebi sdrži veliku količinu latentne energije koja se oslobođa kao toplota kada se vodena para kondenzuje do tečnog ili čvrstog stanja. Na ovaj način, zajedno sa vazduhom koji cirkuliše, u atmosferi se transportuju i ogromne količine energije (toplote) i na taj način se vrši redistribucija toplote od nižih ka višim nadmorskim visinama (vertikalnim strujanjem vazduha) i horizontalnim strujanjima ka različitim delovima atmosfere (sa mora na kopno, na primer). Kada se topao, vlažan vazduh zatreće, on se diže i širi (zbog nižeg pritiska na većoj nadmorskoj visini). Podizanjem u hladnije delove sam vazduh se hlađi, vodena para se postepeno kondenzuje, pri čemu dolazi do oslobođanja latentne količine toplote, prouzrokujući da se vazduh još više podiže, više hlađi i gubi više vodene pare kondenzacijom. Vazduh koji se podiže i širi formira zonu reaktivno visokog vazdušnog pritiska na vrhu tog vertikalnog stuba strujanja. Iz te zone visokog pritiska vazduh struji ka zoni niskog pritiska gde je vazduh hladniji, suv i spušta se ka Zemljinoj površini. Spuštanjem, vazduh se kompresuje, nagomilava što je bliže Zemljinoj površini, pri čemu se formira zona visokog pritiska pri površini zemlje. Iz te zone visokog pritiska vazduh struji ka zoni niskog pritiska formiranoj usled podizanja zagrejanog vazduha i tako se zatvara ciklus.

Dakle, vazdušne mase su stalno u pokretu, bilo da je to u horizontalnom ili vertikalnom smeru.

2.2.1. Horizontalno kretanje vazduha

Horizontalno kretanje vazduha u odnosu na površinu Zemlje, zovemo **vetar**. Vetar nastaje usled razlike vazdušnog pritiska, odnosno temperature. Vetar je vektorska veličina, jer je za njegovo puno definisanje potrebno znati njegov intenzitet, pravac i smer.

Instrument za merenje brzine vetra se zove *anemometar*. Jačina vetra se procenjuje pomoću **Boforove skale**, koja je podeljena, na osnovu brzine vetra, na 12 stepeni:

0 – mirno vreme, bez vetra	4 – umeren vetar	8 – olujni vetar	12 - uragan
1 – lak povetarac	5 – umereno jak vetar	9 - oluja	

2 – povetarac

6 – jak vетар

10 – јестока олуја

3 – slab vетар

7 – врло јак ветар

11 – орканска олуја

Vetrovi nikada ne struje pravilno u jednom smeru. Na njih deluje rotacija Zemlje i trenje o površinu zemlje (planine). Uz to se stvaraju i mase rotirajućeg vazduha (vrtloženje), jezgra visokog pritiska – anticiklon i jezgra niskog pritiska – ciklon. U principu, anticiklon donosi lepo, a ciklon ružno vreme.

Vetrovi mogu biti **stalni** i **povremeni**. Stalni vetrovi su *pasati*, koji nastaju pod uticajem stalnih područja visokog, odnosno niskog pritiska. Poznati su još i **monsuni** koji duvaju u području Indijskog okeana i Himalaja. Povremeni vetrovi su lokalnog karaktera, a uzrokuje ih nejednako zagrevanje tla nad nekim područjem. U Alpima je poznat **fen**. U principu nastaje ako sa jedne strane planine planine vlada područje niskog pritiska. Ono iz okoline usisava vazduh da bi se ispunilo. Ako je usisavanje snažno, može zahvatiti vazduh i sa druge strane planine. Tada vazduh sa jedne strane, npr. južne, struji prema severu. Dolazi do južnih rubova planine, tu se uzdiže, rashlađuje i odbacuje vlagu u obliku kiše. Vazduh preko planine prelazi svu tako da upija oblake sa neba i spušta se u dolinu u obliku snažnog vetra. Pri spuštanju se zagreva. U tim krajevima zato vlada lepo i toplo vreme. Fen je u Alpima opasan zato što naglo otapa sneg i uzrokuje lavine. Najčešće se javlja između oktobra i maja.

Kada preko planina duvaju vetrovi, postižu se velike brzine na mestima kao što su grebeni, useci, prevoji. U dolinama i nižim predelima, brzina se znatno smanjuje, a može i da se desi da u nekim uvalama vlada potpuna tišina. Sve to zavisi od reljefa planine. U visokim planinama susrećemo tzv. **planinski**, odnosno **dolinski vетар**. Od jutra pa do zalaska Sunca duva vетар iz doline, a noću sa vrhova. U toku dana taj vетар je blag i topao. Topao planinski vazduh zagrejan suncem uzdiže se u vis, a na njegovo mesto dolazi svež vazduh iz doline. Taj ciklus traje sve dok sunce obasjava padine. U toku dana vazdušna struja postaje sve jača, pa povlači za sobom mirujuću hladani vazduh između stena. Vazduh koji se uzdiže nastoji da se osloboди vlage. Tako nastaju oblaci iznad vrhova. Uveče i u toku noći ritam se menja. Vazduh se hlađi, postaje teži i spušta se u dolinu. Vетар sada duva u dolinu. Kada taj ritam između dana i noći prestane, znači da će nastati promena vremena.

Najčešći vetrovi u našoj zemlji su: Košava, Severac, Jugo i zapadni vетар. **Košava** je najsnažniji vетар iz ove grupe i nastaje usled vazdušnih strujanja iz južnih delova Rusije prema Sredozemnom moru. Dolazi dolinom Dunava i prolazi kroz Đerdapsku klisuru. To je hladan i jak vетар koji može da nanese velike materijalne štete i da isuši zemljište. **Severac** je hladan vетар koji duva sa severa i zimi oštro briše padinama. Tada je vrlo povoljan vетар zato što snižava temperaturu i na taj način ledi sneg, koji je tada povoljan za penjanje. **Jugo** je topli vетар koji duva sa juga. Zimi je vrlo nepovoljan zato što otapa sneg i led, dok leti dolazi kao pravo osveženje, ali može i da donese loše vreme. **Zapadni vетар** je nepovoljan jer donosi kišu, sneg i loše vreme.

Ciklonske oлује predstavljaju jedan fenomen poremećaja vremenskih uslova, a nastaju u zoni niskog pritiska koji se nalazi iznad toplog tropskog okeana. Formiraju se u blizini ekvatora. Brzina veta pri centru vrtloga može da bude i nekoliko hiljada km/h, noseći jaku kišu i formirajući olujne plime koje izazivaju ogromnu štetu i odnose veliki broj života.

Tornado i srodne cirkulacije - Tornado je јестоки rotirajući stub vazduha koji se stvara ispod oblaka tipa Cumulonimbus. Tornado i njemu slične pojave spadaju u ciklostrofski tip cirkulacije, a ovakve cirkulacije se javljaju u ciklonima u čijem je centru veoma snižen pritisak. Tornado koji ne doseže tlo naziva se **levast oblak**.

Tornado je pojava koja se prvenstveno javlja u Severnoj Americi u toku aprila, maja i juna meseca. Oni stvaraju najveće brzine veta, a maksimalne vrednosti su procenjene na 460 km/h. Razmere tornada se kreću od 90 m do 600 m u prečniku, mada su u ekstremnim slučajevima bili procenjeni prečnici od oko 1800 m. Životni vek tornada je tipično oko nekoliko minuta, ali bili su dokumentovani slučajevi tornada koji su trajali i tri sata. Tornadima velike snage, koji proizvode velike štete, obično su pridružene i velike grmljavinske nepogode. Zbog razornog dejstva tornada, mesta na tlu koja on dodirne pretvaraju se u pravu pustoš. U njemu se javlja jaka uspona struja koja je u stanju da podigne iznad tla čitave manje zgrade, stvari i ljude u njima. U centru tornada su

zabeleženi slučajevi pada pritiska od 60 kPa i više, u odnosu na pritisak van tornada. Zbog toga, njegov prolazak često izaziva prskanje predmeta u kojima pritisak ne stigne dovoljno brzo da se izjednači, kao što je, na primer, pucanje staklenih boca ili izletanje čepova iz njih. Mnoge štete koje se pripisuju tornadu, uzrokovane su prisustvom jednog ili više **usisavajućih vrtloga**. To su mali (oko 10 m u prečniku), vrlo intenzivni levkovi koji rotiraju unutar velikog levka tornada. Tornado koji se pojavljuje iznad vodenih površina naziva se **vodena pijavica**. Vodena pijavica u proseku ima manju snagu od tornada iznad kopnenih površina, kratko traju i sporo se kreću. **Hladni vazdušni levak** je slab vrtlog koji se povremeno razvija uz pljusak kiše u slabijim grmljavinskim nepogodama i retko doseže tlo.

2.2.2. Vertikalno kretanje vazduha

Kada se delić vazduha kreće od jednog ka drugom mestu, njegovo ukupno kretanje se može podeliti na horizontalnu komponentu (vetar) i vertikalnu komponentu koja se naziva **vertikalno kretanje**. Vertikalno kretanje je, kao i verat, vektorska veličina koja je potpuno definisana ako joj se zna intenzitet ili tzv. vertikalna brzina, pravac i smer kretanja (može biti nadole, kada se govori o nisponom kretanju - spuštanju, ili nagore, kada se govori o usponom kretanju - spuštanju).

U atmosferi uglavnom vlada hidrostatička ravnoteža, pa su vertikalna kretanja manje zastupljena od horizontalnih. Za pojavu vertikalnog kretanja dovoljna je mala neravnoteža između gravitacione sile i vertikalne komponente gradijentne sile pritiska. Iz ove neravnoteže nastaju raznorodni fenomeni, kao što su; razni oblaci, grmljavinske nepogode, planinski talasi, itd.

2.3. Oblaci

Oni čine najvidljiviji meteorološki element. Oblaci se formiraju hlađenjem vazduha koji prelazi tačku nadzasićenja, kada se vodena para kondenzuje u kapljice ili ledene kristale mikroskopskih dimenzija. Određenim procesom spajanja oni rastu, pa usled gravitacionih sila moraju i da padnu, te tako imamo kišu, grad, ili sneg.

Oblaci nastaju pod dejstvom složenih termodinamičkih procesa, koji dovode vodenu paru do kondenzacije i sublimacije. Ako su oblaci sastavljeni od *vodenih kapljica* prečnika 4-25 μm, sadrže 100-600 kapljica/cm³. Ako su sastavljeni od *kristala leda*, pri niskim temperaturama imaju oblik *šestougaonih pločica ili prizmi* prečnika 10-20 μm, a u procesu sublimacije, u procesu rasta, obrazuju se šestokrake zvezdice, pahuljice, ili kristali složenog oblika, veličine nekoliko m, sa 0.1 krist./cm³.

Vodnost oblaka je osobina koja karakteriše sadržaj tečne i kristalne vlage oblačne mase, a izražava se u g/m³. Ako su oblaci sastavljeni od vodenih kapljica, vodnost je 0.1-1g/m³, a ako su sastavljeni od kristala leda, vodnost je 10⁻³ g/m³. U zavisnosti od temperature na (-15)-(-20°C) vodnost je 0.03 g/m³, a pri temperaturi ispod -30°C, 0.006 g/m³.

Podela oblaka se može izvršiti po spoljašnjem izgledu (morphološka) i procesu stvaranja (genetička). Na osnovu morfološke klasifikacije, dakle, po spoljašnjem izgledu, postoji deset osnovnih oblaka. Po visini, oblaci mogu biti: visoki, srednji, niski i oblaci vertikalnog razvića (oblaci čija je donja osnova u oblasti niskih, a gornja u oblasti srednjih ili visokih oblaka). Prema obliku, oblaci mogu biti: grubasti (u nazivu imaju *cumulus*), slojeviti (*stratus*), kovrdžavi (*cirrus*), vlaknasti (*fibratus*), kukičasti (*uncinus*), nazubljeni (*castellanus*), kišni (*nimbus*), talasasti (*undulatus*) itd...

Porodica I Visoki oblaci (iznad 600m)

Cirus (Ci)	perjasti oblak
Cirokumulus (Cc)	gomilasti oblak
Cirostratus (Cs)	slojasti oblak

Porodica II Srednji oblaci (od 6000 – 2000 m)

Altokumulus (Ac)	srednji gomilasti oblak
Altostratus (As)	srednji slojasti oblak

Porodica III Niski oblaci (ispod 2000m)

Stratokumulus (Sc)	slojasto – gomilasti oblak
Stratus (St)	slojasti oblak
Nimbostratus (Ns)	slojasto-kišni oblak

Porodica IV Oblaci vertikalnog razvića

Kumulus (Cu)	gomilasti oblak
Kumulonimbus (Cb)	gomilasto-kišni oblak

Visoki oblaci

Cirusi (Ci) - satavljeni su od kristala leda, jer je temperatura okoline niža od 0° C. Mogu biti vlaknasti ili talasastog sklopa, bele su boje, velike providnosti i ne daju padavine. Vide se kao tanke i srednje pruge koje izgledaju visoke i daleke, u obliku pramenova, peraja, izvučenih linija po plavom nebu . . . Kada dolaze sa zapada obično su predznak kiše.

Cirokumulus (Cc) - sastoje se od malenih ledenih kristala, koji imaju dugine boje na krajevima. Izgledaju kao nagomilani klupčići, a često ih zovemo "ovčice". Ne donose padavine, a ukazuju na veliku brzinu veta u visokim slojevima atmosfere.

Cirostratus (Cs) - beličasti oblaci, u obliku vela, a na nebu izgledaju kao belkasta mreža ili tanki listovi. Slabe sjaj Sunca ili Meseca, a kada se u njih gleda oko njih se pojavljuje prsten. Debljine su od 100 metara do nekoliko kilometara. Ne donose padavine, ali su znak skorog pogoršanja vremena.

Srednji oblaci

Altokumulus (Ac) - izgledaju kao skup klupčića ili skupina pravilno poređanih grudvi. Sivo-bele su boje, slični cirokumulusima, ali su više rašireni. Sastoje se od kapljica vode. Ispred Sunca ili Meseca se obično vide kao dva koncentrična prstena. Nalaze se na visini 2 – 6 km, a debljina im je 200 – 700 m. Donose padavine u obliku odvojenih kapljica ili snežnih pahuljica. Ukazuju na pojačani vjetar u srednjim slojevima atmosfere.

Altostratus (As) – izgledaju kao mreža sive ili plavkaste boje. Sastavljeni su od čestica vode ili snega. Kroz njih se Sunce vidi kao svetla ploča, a senke na Zemlji su oslabljene. Donja baza im se nalazi na visini 3 – 5 km, a debljina im je 1 – 2 km. Donose padavine, zimi sneg.

Niski oblaci

Stratokumulus (Sc) – sastoje se od grudvastih skupova oblaka koji sa donje strane izgledaju kao izbočena vreća. Sive su boje, prekriveni tamnim paralelnim senkama. Donja baza im se nalazi na visini 600 – 1500 m, a debljina im je 200-800 m. Donose slabu kišu ili sneg.

Stratus (St) - slojeviti oblaci slični magli, tamno sive boje. Sastoje se od prehladenih vodenih kapljica i ledenih kristala. Donja baza im je na visini 100-700 m, a debljina im je 200-800 m. Uzrokuju sipeću kišu, meki sneg ili snežna zrna.

Nimbostratus (Ns) – pravi kišni oblaci. Niski su, tamno-sive boje. Sastoje se od prehladenih vodenih kapljica i ledenih kristala. Donja baza im se nalazi na visini 100-1000 m, vertikalna rasprostranjenost im je 2-3 km, a nekada i više od 5 km. Donose neprekidnu kišu ili sneg.

Oblaci vertikalnog razvića

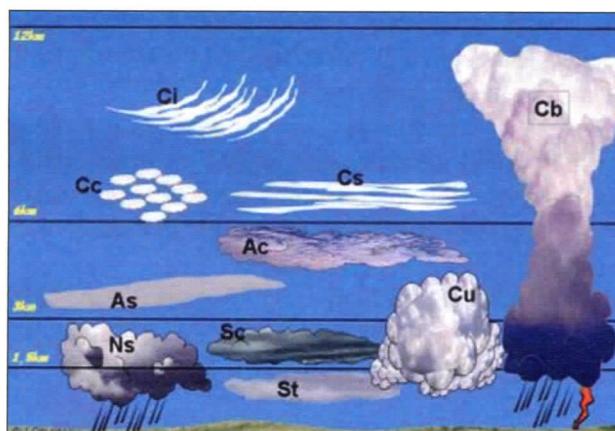
Kumulusi (Cu) - izgledaju kao rascvetali cvetovi ili veliki bregovi. Razvijeni su po vertikali, vrhovi su im svodasti sa gomilastim zaobljenjima. Donja baza im je skoro vodoravna. Ujutru se povećavaju, a uveče se smanjuju, dok noću nestaju. Sastoje se od vodenih kapljica i prehlađenih vodenih kapljica. Donja baza im je na visini 800-1500 m, a debljina im je od nekoliko stotina metara do nekoliko kilometara. Znak su lepog vremena, ali ako ih je mnogo, znak su nevremena.

Kumulonimbusi (Cb) – su gigantski oblaci uslovljeni uzlaznim i silaznim strujama vazduha. Veoma su razvijene mase, mogu biti visoki, a vrhovi su im vlknastog oblika i podsećaju na nakovanj, brda i tornjeve. Donja baza im je sa izraženim padavinskim prugama, visine 1-2 km. Vrhovi im dosežu do tropopauze. Gornji delovi im se sastoje od čestica kristala i prehlađenih vodenih kapljica, a niži delovi od vodenih kapljica sa primesama snežnih pahuljica, kiše, krupe i grada. Kada se ovi oblaci spuste, izazivaju snažne oluje sa grmljavinama.

Nimbi su sivo crni oblaci koji, kada se spuste, uzrokuju pljuskove kiše na proleće, leti ili na jesen. Nad planinama možemo sresti i posebne oblake: oblaci oko vrhova ili oblaci slični zastavi. Oblaci oko vrhova skupljaju se kao pojas oko planinskih vrhova, a kada je jak vetar poprimaju oblik zastave. Ponekad srećemo izolovane kumuluse, nepomične, a kada je jak vetar brzo menjaju položaj. Ako se nagomilaju nastaje oluja. Brzina oblaka je različita, a može dostići i 400 km/h. Leti su oblaci uvek na većim visinama nego za vreme ostalih godišnjih doba.

Sedefasti oblaci - sličnog su izgleda kao cirusi, ali sočivastog oblika. Maksimum sjaja imaju kada je Sunce nekoliko stepeni iznad horizonta. Najverovatnije se sastoje od sićušnih kapljica i sfernih čestica leda. Nalaze se na visini 21-30 km.

Noćni svetleći oblaci - plavičaste ili srebrnaste su boje, nekad narandžaste ili crvene. Ocrtavaju se na noćnom nebu. Najverovatnije se sastoje od kosmičke prašine. Nalaze se na visini 75-90 km.



2.4. Magla

Kada je oblačnost niska, prizemni sloj vazduha se ohladi ispod tačke rosišta i tako se formira magla. Magla se stvara uveče, a nestaje sa pojavom Sunca.

Magla predstavlja nagomilavanje postojećih kapljica vode u vazduhu ili kristala leda u blizini Zemljine površine, koje smanjuje horizontalnu vidljivost ispod 1km. Magle mogu biti:

- veoma jake (vidljivost manja od 50m);
- jake (vidljivost od 50-200m);
- slabe (vidljivost od 500-1000m).

Glavni uzročnik nastanka magle ili oblaka na tlu je kontaktno hlađenje. Ono najviše dolazi do izražaja u dva slučaja. U prvom slučaju, topao vazduh se advektira preko hladne podloge i ako

postoji dovoljno vlage najčešće se formira tzv. **advektivna magla**. U drugom slučaju, noću u uslovima kada je nebo vedro, a vетar slab, posle hlađenja podloge zbog dugotalasne radijaciјe, često se formira tzv. **radijaciona magla**. U oba slučaja magla se formira u trenutku kada se usled hlađenja, temperatura vazduha smanji na temperaturu tačke rose.

2.5. Padavine

Padavine su proizvodi kondenzacije vlažnog vazduha, koje zbog gravitacionih sila padaju na zemlju. One se mogu stvoriti iznad zemlje ili u višim atmosferskim slojevima.

Oblici padavina pri zemljinoj površini

Rosa nastaje za vreme vedrih i mirnih noći kada se zbog hlađenja tla višak vlage iz prizemnog sloja vazduha kondenzuje na ravne površine u obliku kapljica.

Slana nastaje kada snežne pahulje prođu kroz sloj vazduha koji je iznad 0°C, gde se zaobljuje u neprovidnu belu kuglicu.

Inje nastaje kada se vlažni vazduh sudara sa hladnim predmetima. Sitni kristalići hvataju se na isturenim pločama i rastu u smeru odakle duva vетar.

Poledica je gladak i jednoličan sloj leda koji nastaje kada kiša padne na jako hladno tlo.

Oblici padavina iz oblaka

Kiša pada u obliku vodenih kapljica nastalih u oblacima, skupljanjem manjih kapljica u veće. Prepoznaće se po kapima čiji su prečnici veći od 0.5 mm, a mogu da se kreću i do 5.8 mm. Kapi kiše su veće u toplim, nego u hladnim predelima i veće su leti nego zimi; sve zbog prisutne veće količine vlage u toplom, nego u hladnom vazduhu i zbog veće konvekcije leti, nego zimi.

Pljusak kiše predstavlja tečne padavine iznenadnog početka, promenljivog intenziteta i naglog prestanka. Veličina kapi je oko 5 mm.

Rosulja (sipeća kiša) pada ravnomerno i polagano u obliku sitnih kapljica prečnika manjih od 0.5 mm. Nastaje u tanjim oblacima ili magli.

Ledena rosulja i ledena kiša se najbolje mogu definisati kao rosulja i kiša koje se zalede u dodiru sa vrlo hladnim tlom.

Sneg nastaje kada je temperatura oblaka ispod 0°C, procesom depozicije. Tada vodena para direktno prelazi u čvrsto stanje formirajući ledene kristale, čija struktura podseća na pero ili iglice. Kada je temperatura vazduha ispod -20 °C, sneg pada u pojedinačnim kristalima, ali iznad ove temperature ledeni kristali se sjedinjuju stvarajući snežne pahuljice.

Sugradica nastaje kada kišne kapljice dođu u sloj vazduha iznad zemlje gde je temperatura ispod 0°C. Tada ne postoje slojevi neprehladenih kapi u nižim delovima oblaka, zbog čega kristali grada ne dobijaju slojeve tvrdog leda, već se sastoje od mekog belog leda. To su prozirna zrna zaledene vode.

Grad se sastoji od tvrdih zrna (kristala) leda, različitih oblika i veličina. Grad je često povezan sa grmljavinskim nepogodama, a najčešće pada u letnjim popodnevnim satima. Zrna grada mogu da dostignu veličinu koja prelazi 50 mm u prečniku, ali uglavnom su prečnika oko 6 mm do 12 mm.

Mraz nastaje za vreme vedrih i mirnih noći kada vazduh zasićen vodenom parom dodiruje hladne predele zemlje / ispod 0°C/. Vodena para direktno prelazi u kruto stanje u obliku kristala leda.

Intenzitet padavina se definiše kao količina padavina u jedinici vremena. Postoje tri kategorije intenziteta padavina:

- slabe padavine – kada je količina padavina manja od 2.5 mm/m^2 u toku jednog sata;
- umerene padavine – od 2.5 do 7.5 mm/m^2 vode po satu i
- jake padavine – one čine više od 7.5 mm/m^2 vode po satu.

2.6. Jednostavni ogledi

U Osnovnoj školi, u okviru obrade nastavne teme „Toplota“, koja se obrađuje u VII razredu, pogodno je izvesti oglede vezane za nastanak vetra, kondenzaciju vodene pare, nastanak oblaka, magle, kiše.

1. Kako nastaje vetr – I

- Isprati jednu teglu jako topлом, a drugu jako hladnom vodom. Dobro ih osušiti.
- Sa kartonom postavljenim između njih postaviti otvor jedne na otvor druge tegle, tako da je topla tegla dole. Zamoliti nekoga da dune dim cigarete u donju teglu pod karton. Pustiti da dim ispuni teglu i zatim izvući karton.
- Zapažanje: Dim će se iz donje podići u gornju teglu.
- Objašnjenje: Dim se podiže kako se podiže topao lakši vazduh, a hladan teži se spušta dole. Ponoviti eksperiment sa hladnom teglom postavljenom dole i topлом postavljenom gore. Šta se sada dešava?

2. Kako nastaje vetr – II

- Posuti puder u prahu na krpnu. Posuti malo praha u blizini sijalice koja nije uključena. Uočiti šta se dešava sa prahom.
- Uključiti sijalicu i ostaviti je nekoliko minuta da svetli da bi se zagrejala. Posuti ponovo malo pudera.
- Zapažanje: Dok sijalica nije bila uključena, prah je polako padaо. Kada je sijalica bila topla prah se kretao naviše.
- Objašnjenje: Kada se vazduh ugreje sijalicom, penje se naviše i podiže lake čestice pudera. Hladniji teži vazduh se kreće naniže. Takvo kretanje hladnjeg vazduha da zauzme mesto toplijeg se dešava i u prirodi. Ta pojava je poznata kao vetr.



3. Kako toplota pretvara tečnost u gas

- Zagrijati malo vode i nastaviti sa njenim zagrevanjem, mereći s vremena na vreme temperaturu.
- Zapažanje: Uočava se para, voda u gasovitom stanju, a temperatura na termometru ne prelazi 100°C
- Objašnjenje: Molekuli se ubrzavaju dok ne napuste vodu i formiraju gas. Temperatura se povećava do tačke ključanja koja iznosi 100°C , ali ne prelazi tu tačku, dozvoljavajući da sva voda ispari na njoj.
- Postaviti hladnu čašu iznad lonca dok još isparava voda. Uočiće se kapljice vode koje se formiraju u čaši. Snižavanje temperature ispod 100°C dozvoljava da se deo vode vrati iz gasovitog u tečno stanje.



4. Tornado u krčagu



- Cilj ogleda jeste da se zapazi vrtložno kretanje kakvo ima i tornado
- Za izvođenje ogleda je potreban sledeći materijal: tegla od majoneza, tečni sapun, sirće, voda i skuvano povrće (grašak, boranija, šargarepa . . .)
- Napunimo teglu do oko $\frac{3}{4}$ vodom. Stavimo kašikicu tečnog sapuna u teglu. Dodamo kašikicu sirćeta. Dodamo skuvano povrće (grašak, šargarepa, boranija . . .). Zatorimo teglu i tresemo da se sastojci izmešaju. Zavrtimo teglu u krug. Tečnost će formirati mali tornado.
- *Objašnjenje:* Vrtložno kretanje koje nastaje kada zavrtimo bocu u krug je lak način da napravimo sopstveni tornado. Uz pomoć skuvanog povrća prikazali smo kako nastaju ruševine koje tornado izaziva.

5. Oblak u boci

- Cilj ogleda je da se stvore uslovi potrebni za formiranje oblaka.
- Za izvođenje ogleda potreban je sledeći materijal: providna boca od 2 litra, jedan list crne hartije, šibica i voda
- Sipati 6 cm vode u bocu od 2 litre. Potom postavimo usta preko otvora i duvamo u bocu desetak sekundi, a onda je dobro zatvorimo. Tresemo snažno bocu oko jednog minuta da bi se molekuli vode u vazduhu distribuirali. Upalimo šibicu, ostavimo je da gori oko 2 sekunde i ubacimo je u bocu. Bocu okrenemo na stranu i stavimo na crni papir. Pritisnemo snažno bocu i držimo oko 10 sekundi. Pustimo da se oblaci pojave. Posmatramo i ponovimo postupak u slučaju da se oblaci ne pojave.

Kada se oblaci pojave, brzo odvrnemo čep. Videćemo oblake kako se šire iz boce.

- *Objašnjenje:* Na ovaj način smo kreirali uslove neophodne za formiranje oblaka: vodena para u vazduhu, čestice dima koje voda skupi i hlađenje vazduha snižavanjem vazdušnog pritiska unutar boce. Oblaci se formiraju kada se usled konverzacije sakupičestice prašine, koje su proizvedene dimom šibice.

6. Napravi maglu



- Cilj ogleda je da se stvore uslovi potrebni za formiranje magle
- Za izvođenje ogleda je potreban sledeći materijal: staklena tegla, cediljka za čaj, voda i kockice leda
- Na 1-2 minute napunimo do vrha staklenu teglu topлом vodom. Iz tegle prospimo vodu, ali ne u potpunosti, neka u njoj ostane oko 5 cm vode. Preko tegle sada postavljamo cediljku u koju ćemo staviti 3-4 kockice leda. Posmatrajmo šta se događa!

- **Objašnjenje:** Hladan vazduh koji se formira oko kockica leda se meša sa toplim vazduhom. Veći deo vazduha u tegli prouzrokuje kondenzaciju vodene pare i formira se gusta magla.



7. Napravi kišu

- Cilj ogleda je da se zapaze i stvore uslovi potrebni za nastanak kiše
- Za izvođenje ogleda je potreban sledeći materijal: staklena tegla od pekmeza, tanjirić ili nešto slično kao poklopac, vruća voda i kockice leda
- U staklenu teglu sipamo vruću vodu do oko 1/3 njene zapremine. Poklopcem prekrijmo teglu, sačekamo nekoiko minuta, a zatim kockice leda stavimo preko poklopca. Šta se događa?
- **Objašnjenje:** Hladan tanjirić prouzrokovao je kondenzovanje vazduha unutar tegle i formiranje kapljica.

Isto se događa i u atmosferi. Topao vlažan vazduh se izdiže i susreće sa hladnim vazduhom visoko u atmosferi. Vodena para se kondenzuje i formira kapljice koje padaju u vidu kiše na Zemljinu površinu.

Ukoliko se ogledi izvode u II razredu Srednje škole, u okvirima nastavne teme „Termodinamika“, gde se izučavaju pojmovi: toplota, temperatura, pritisak, toplotni kapacitet i agregatna stanja, pogodno je izvesti jednostavne oglede koji za detaljno obrazloženje zahtevaju, pored već usvojenih baznih pojmoveva iz fizike, i određena znanja iz matematike, eksponencijalne funkcije.

8. Zgnječena limenka

- Cilj ogleda je da se prikaže zavisnost pritiska od temperature, kao i delovanje atmosferskog pritiska.

Svako je od nas sigurno već rukom gnječio prazne limenke nekog osvežavajućeg napitka. I naravno da to nije bilo teško učiniti jer je limenka prazna i proizvedena je od tankog aluminijskog lima, pa lako popušta pod pritiskom ruke.

Međutim jedan zanimljiv i jednostavan ogled pokazaće nam da se limenka može zgužvati na posve neočekivan način usled atmosferskog pritiska.

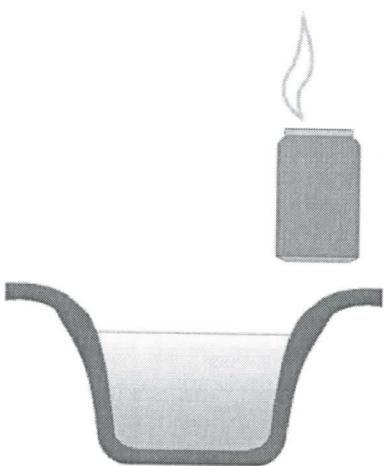


- Za izvođenje ogleda je potreban sledeći materijal: prazna limenka, voda, rešo, plitka posuda i krpa
- U praznu limenkiju sipamo vodu, ali ne više od jednog prsta (oko 0,3 dl). Zatim limenku s vodom stavimo na plinsko kuvalo ili rešo i pustimo da voda provri. Da voda u limenci vri videćemo po oblaku kondenzirane vodene pare koja izlazi kroz otvor. Neka vri 20 do 30 sekundi, tako da se unutrašnjost limenke ispunji vrućom vodenom

- parom.

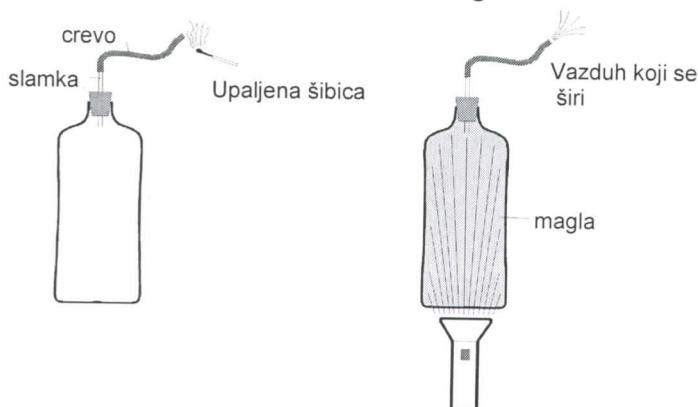
U međuvremenu dok čekamo da voda provri, u plitku posudu sipamo hladnu vodu do dubine 2-3 cm. Da se ne opečemo, krpom skinemo limenku sa rešoa i brzo je uronimo u hladnu vodu, ali tako da joj pri tome otvor okrenemo prema dole. Istog časa kad limenka dođe u dodir sa hladnom vodom, neka nevidljiva sila tako će je brzo zgužvati, da će nam gotovo ispasti iz ruke.

- *Objašnjenje:* Naglo kondenzovanje vodene pare uzrokuje pad temperature u unutrašnjosti posude. Kako su pritisak i temperatura u uzajamnoj vezi, smanjuje se i pritisak. Smanjenje pritiska dovelo bi do usisavanja vode u limenku, ali pad pritiska se dešava mnogo brže nego što voda, zbog svoje viskoznosti, uspeva da uđe kroz relativno uski otvor. Zato nastaje razlika u pritisku vazduha iznutra i spolja, koja je dovoljna da zgnjeći limenku.



9. Magla u flaši

- Cilj ogleda je da se zapaze i stvore uslovi potrebni za nastanak magle: adijabatsko širenje paralelno sa hlađenjem gasa stvara maglu.



- Za izvođenje ogleda je potreban sledeći materijal: providna boca sa odgovarajućim zatvaračem, gumeni čep sa rupom koji odgovara otvoru boce, staklena ili metalna cevčica koja tačno odgovara otvoru u gumenom čepu, savitljivo gumeno crevo, šibica i džepna lampa
- Boca se napuni do jedne četvrtine jedva zagrejanom vodom (do 40°C), zatvori odgovarajućim čepom i dobro protrese. Boca se ponovo otvor i u grlić se postavi gumeni čep sa cevčicom provučenom kroz njega (kao na slici). Preko cevčice se navuče gumeno crevo. Ustima se isisa vazduh iz boce i zatvori gumeno crevo. Istovremeno se otvori gumeno crevi i stavi se upaljena šibica ispred njega, čime čestice dima bivaju usisane u flašu. Rukama se flaša spolja snažno pritisne i nakon pola minuta, kratkim udarcem, pusti se da vazduh istekne. Dok vazduh ističe, u flaši se stvara magla, koju je moguće videti ako se flaša osvetli džepnom lampom.

* *Objašnjenje:* Flaša se puni topлом водом тако да је relativна влаžност vazduha u boci 30 - 50 %. Pri tome parcijalni pritisak vodene pare u vazduhu, p_V , brzo dostiže maksimalну vrednost $p_M(T_1)$ na temperaturi T_1 . Usisavanjem vazduha temperatura, usled adijabatske kompresije, raste do vrednosti T_2 . Pri tom pritisak $p_M(T_2)$ je nešto veći od p_V . Posle nekog vremena usled hlađenja $p_V \approx p_M(T_0)$ za $T_1 < T_0 < T_2$. Usled brzog širenja sa vazduhom se događa sledeće:

- adijabatska ekspanzija koja dovodi do paralelnog hlađenja pare i snižavanja postojećeg pritiska vodene pare,
- negativni priraštaj postojećeg pritiska proizvodi smanjivanje parcijalnog pritiska vodene pare.

Magla nastaje kada pritisak pare, pri ovakovom procesu, brže opada od parcijalnog pritiska vodene pare, a kada je relativna vlažnost vazduha 100%. Pretpostavlja se da su početni uslovi : temperatura, T_0 , pritisak, P_0 , $p_V(p_0) = p_M(T_0)$ uz smanjenje pritiska od P_0 na $P_0 - dp$, i da je:

dp_V , priraštaj parcijalnog pritiska pod pretpostavkom da nema kondenzacije

dp_M , priraštaj pritiska pare, pod pretpostavkom, da vazduh adijabatski ističe, i da se ne dovodi toplota usled kondenzacije.

Pritisak pare predstavimo izrazom:

$$p_M(T) = p^* e^{-\frac{\lambda}{RT}} \quad (2.3)$$

(p^* - konstanta; - molarna konstanta toplotnog širenja; -univerzalna gasna konstanta).

Parcijalni pritisak p_V u odnosu na $p_M(T_0)$ odnosi se kao:

$$\frac{p_V(p)}{p_M(T_0)} = \frac{p}{p_0} \quad (2.4)$$

$$p_V(p) = \frac{p}{p_0} p_M(T_0) = \frac{p}{p_0} p^* e^{-\frac{\lambda}{RT_0}} \quad (2.5)$$

Za dp_V parcijalni pritisak pri $p = p_0$:

$$\left. \frac{dp_V}{dp} \right|_{p=p_0} = \frac{p^*}{p_0} e^{-\frac{\lambda}{RT_0}} \quad (2.6)$$

$$dp_V \approx 0,037 dp \quad (\text{za } p^* = 441 \cdot 10^3 \text{ bar}, p_0 = 2 \text{ bar}, T_0 = 313 \text{ K})$$

Prilikom hlađenja posle adijabatskog procesa:

$$T(p) = T_0 \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad (2.7)$$

gde je κ - odnos c_p/c_v za vazduh, dobija se:

$$p_M(p) = p_M(T(p)) = p^* e^{-\frac{\lambda}{RT_0} \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1-\kappa}{\kappa}}} \quad (2.8)$$

$$\left. \frac{dp_M}{dp} \right|_{p=p_0} = - p^* e^{-\frac{\lambda}{RT_0} \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1-\kappa}{\kappa}}} \frac{\lambda}{RT_0} \frac{1-\kappa}{\kappa} \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1-2\kappa}{\kappa}} \left. \frac{1}{p_0} \right|_{p=p_0} = \frac{\kappa-1}{\kappa} \frac{\lambda}{RT_0} \frac{p^*}{p_0} e^{-\frac{\lambda}{RT_0}}$$
(2.9)

za smanjenje pritiska pare, dp_M na mestu :

$$dp_M \approx 0,16 dp \quad (\text{za } p^* = 441 \cdot 10^3 \text{ bar}, p_0 = 2 \text{ bar}, T_0 = 313 \text{ K})$$

Pritisak pare opada veoma brzo, dolazi do prezasićenosti pare i ona se kondenzuje. Ukratko, kada se flaša napuni toplom vodom, u njoj je relativna vlažnost vazduha 30 - 50 %. Ako se ustima isisa vazduh iz flaše i otvoru prineće šibica, dim biva usisan u flašu. Posle nekog vremena, kada se flaša otvoriti, vazduh izlazi iz nje, širi se i hlađi, a usled njegovog hlađenja, u flaši se obrazuje magla.

3. Električne pojave u atmosferi

Na električnoj energiji i mogućnostima njenog korišćenja bazira se savremena civilizacija, savremeni život i celokupno čovekovo okruženje.

Sa pojmom nanelektrisanja tela i elektricitetom, učenici se u školi prvi put sreću u VI razredu Osnovne škole, i to samo jedan čas, u okviru nastavne teme „Materijali i njegove odlike“. U VIII razredu Osnovne škole i II razredu Srednje škole, njihova znanja o elektricitetu se produbljuju. U VIII razredu Osnovne škole obrađuje se tema „Elektricitet“ kroz nastavne jedinice koje obuhvataju: nanelektrisanje tela, uzajamno dejstvo nanelektrisanih tela, električno polje, Kulonov zakon, elektrostatička indukcija, električni potencijal, napon i kapacitet. U II razredu Srednje škole, kroz teme „Elektrostatika“ i „Stalna električna struja“ znanja se produbljuju kroz nastavne jedinice: „Elektrostatičko uzajamno delovanje“, „Električni kapacitet i energija elektrostatičkog polja“, „Zakoni električne struje“, „Električna provodljivost elektrolita“, „Električna struja u vakuumu“ i „električna struja u gasovima“. Paralelno sa uzrastom, raste i složenost pojmova koje treba usvojiti.

3.1. Istorijiski razvoj nauke o elektricitetu

Električne pojave u atmosferi su, prvo bitno, kod ljudi bile prihvaćane kao izraz volje bogova, kao izliv božanskog gneva. Međutim, radoznali um čoveka je od davnih vremena nastojao da shvati prirodu ovih pojava, da shvati njihove prirodne uzroke. U Starom veku, o tome, razmišljao je i Aristotel, a osim njega, prirodu ovih pojava pokušavao je da razazna i Lukrecije. U ta davana vremena, odgonetanje te prirode premašivalo je snage naučnika.

Sve do procvata grčke civilizacije, iako davno uočene, električne pojave ostaju nepovezane i ne postoje zapisi o njihovom proučavanju i tumačenju. Prema Aristotelovim zapisima, još oko 590. p.n.e., Tales iz Mileta, jedan od sedam velikih mudraca grčke civilizacije, raspravljao je o prirodi privlačne sile koja deluje na daljinu, pri čemu je na umu imao delovanje cílibara na sitne predmete i delovanje magneta na gvožđe.

I mnogi kasniji starogrčki filozofi, kao i njihovi sledbenici iz helenističkog i rimskog perioda, bavili su se ovom temom, ali ishod u razumevanju električnih pojava nije urodio plodom. Iz Starog veka, ipak, ostalo je samo ime koje je, doduše mnogo kasnije, pripisano pojavama koje mi danas nazivamo „električnim“. Ime elektricitet potiče od grčke reči *elektor* – Sunce. Grci su kasnije od te reči prešli na reč *elektron*, naziv za cílibar, koji po svojoj boji podseća na Sunce.

Iako su električne pojave ljudima bile poznate, Mračni period u Srednjem veku trajao je više od 2000 godina. Nikakvog suštinskog napretka u razumevanju električnih pojava nije bilo, sve se svodilo na prepisivanje i komentarisanje antičkih tekstova. U srednjovjekovnoj Evropi je, zbog munja, biti zvonar u crkvi bilo izuzetno opasno. Tokom oluja s grmljavinom bio je običaj da se zvoni što jače jer se smatralo da će se time sprječiti da munje udare u vrh crkvenog tornja. Verovalo se da zvonjava rasteruje zle duhove koji vatrom žele uništiti crkvu, a mislilo se i da buka zvonjave lomi munje. O tome i danas svedoče natpisi „*Fulgura frango*“ (Ja lomim munje) na srednjovekovnim zvonima. Od 1753. Do 1786. godine u Francuskoj su munje 386 puta udarile u crkvene tornjeve. U navedenom razdoblju u Francuskoj su, nastojeći „*slomiti*“ munje zvonjavom, nastradala 103 zvonara. Znači da je skoro svaka treća munja koja je udarila u neku crkvu bila za nekoga kobna. Te katastrofalne brojke dovele su do toga da je francuska vlada 1786. zabranila zvonjavu tokom grmljavine.

Krajem Renesanse i početkom Novog veka, uz dalja razmatranja o delovanju na daljinu, slede pokušaji sistematskog beleženja sakupljenog eksperimentalnog iskustva. Najviše uspeha u tome imao je *William Gilbert* (1544-1603.), lekar na engleskom dvoru, koji, pored ogromnog angažovanja za magnetizam, pravi zapise i o električnim pojavama. U njegovim knjigama se prvi put koristi ime „elektricitet“ (ćilibarnost), ali Gilbert sistematizuje i neke *nove električne pojave*:

- pored ćilibara navodi i nova “električna tela”: staklo, vosak, sumpor, dijamant, ...
- uvodi “nelektrična tela”, ona koja se ne mogu nanelektrisati: metali, drvo, kremen, mermur, smaragd,
- tvrdi da električna tela privlače sva, pa i nelektrična tela,
- koristi primitivni indikator nanelektrisanosti – *elektroskop* – u obliku rotirajuće igle, nalik kompasu. .

Italijan *Nicolo Cabeo* (1585-1650), pored toga što nanelektrisana tela privlače razne predmete, uočava odbijanje nanelektrisanih tela. Smatrajući da svako telo može da ima samo jedno prirodno nanelektrisanje, odbijanje mu biva neprihvatljivo.

Grey Stephan (1670-1736.) zaslужan je za otkriće da elektricitet može da se kreće od jednog tela do drugog, a njegove radove dopunjaju Šarl Dife i, nešto kasnije, Robert Simer.

Polovinom 18. veka, u Nemačkoj, Engleskoj i Francuskoj, daljim proučavanjem elektriciteta, dolazi do usavršavanja električnih mašina i njihovog razvoja, kao i do otkrića aparata za skladištenje elektriciteta – kondenzatora.

Benjamin Frenklin (1706-1790.) je tokom 18. veka intenzivno izučavao elektricitet i najzaslužniji je za objašnjenje električnih pojava u atmosferi. Naime, on je izveo ogled sa letećim zmajem i tako dokazao da munja ima električnu prirodu. Takođe, Frenklin je zaslужan za otkriće gromobrana, jer je otkrio da visoke šipke sa oštrim vrhovima mogu da sprovedu struju iz groma u zemlju.

Svojim radovima, *Charles Augustin Koulon* (1736-1860.) je dao opšti zakon međusobnog delovanja nanelektrisanih tela na nekom rastojanju, što je bilo uslovljeno činjenicom da postoje dve vrste nanelektrisanja, pozitivno i negativno, kao i privlačenjem i odbijanjem nanelektrisanih tela.

Italijan *Alessandro Volta* (1745-1827.) izumeo je bateriju za čuvanje elektriciteta. Dalji radovi usmeravali su se na kretanje elektriciteta kroz provodnik i vezu sa magnetnim pojavama, tj. ustanovljeni su zakoni elektromagnetizma, a zasluzni za to su: *Christian Oersted* (1777-1851), *Andre-Marie Ampere* (1775-1836.), *Michael Faraday* (1791-1867.), *Aleksándr Stepanovič Popov* (1859 – 1905.), *Georg Simon Ohm* (1787-1854.) i *James Clerk Maxwell* (1831-1879.). Pre saznanja o električnoj strukturi supstance i o nosiocu nanelektrisanja, formulisani su zakoni elektriciteta i magnetizma, koji u prvobitnom obliku važe i danas, ali su im objašnjenja nešto drugaćija nego onda.

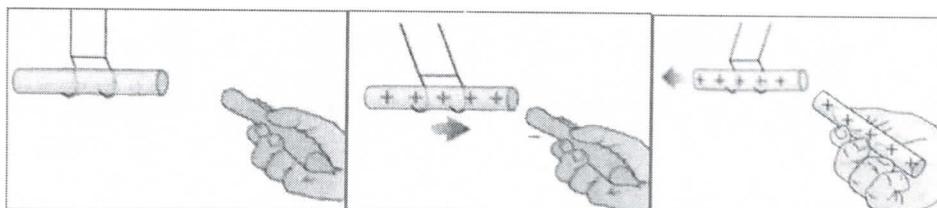
Krajem 19. veka, elektricitet dobija primenu u industriji i domaćinstvu. Nastupa velika ekspanzija industrije i mnogih tehnologija zasnovanih na elektricitetu. Upotreba električne energije postaje osnov modernog industrijskog društva . . .

3.2. Osnovni pojmovi o elektricitetu

Iz elementarne moderne fizike je poznato da je elektricitet sastavni deo supstancije koja se sastoji od atoma, molekula, jona, elektrona.

Izvođenjem raznih kvalitativnih eksperimenata (pomoću staklene šipke i svilene krpe, plastične šipke i krvna, električnog klatna i elektroskopa), dolazi se do sledećih zaključaka:

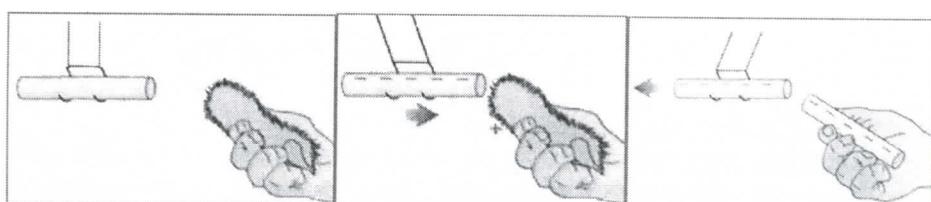
- ✓ Elektricitet postoji u dva oblika: kao pozitivan i kao negativan.
- ✓ Neutralna tela sadrže jednake količine pozitivnog i negativnog elektriciteta.
- ✓ Oba oblika elektriciteta se ponašaju kao fluidi (bez merljive mase) koji mogu da prelaze sa jednog tela na drugo trenjem ili dodirom, pri čemu neka tela zadržavaju višak jednog, a manjak drugog fluida, što predstavlja nanelektrisavanje.
- ✓ Nanelektrisana tela deluju na druga tela električnom silom. Tela nanelektrisana istoimenim elektricitetom se odbijaju, a nanelektrisana raznoimenim elektricitetom se privlače.
- ✓ Tela kroz koja elektricitet može da prolazi sa jednog tela na drugo su provodnici; električni fluidi se neometano prostiru kroz njih. Dodirom sa nanelektrisanim telom provodno telo se nanelektriše kao celina.
- ✓ Tela koja ne mogu da posreduju u prenošenju elektriciteta sa jednog tela na drugo su izolatori; električni fluidi se na njima zadržavaju i orijentišu, ali ne mogu slobodno da se kreću. Dodirom sa nanelektrisanim telom izolator se nanelektriše samo u dodirnoj tački, a veća oblast izolatorskih tela može se nanelektrisati trenjem sa drugim izolatorom.



Sl. 3.1. Bez prethodnog trljanja između staklene šipke i svilene krpe nema sile

Sl. 3.2. Staklena šipka i svilena krpa kojom je ona protrljana se privlače

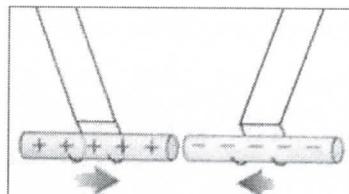
Sl. 3.3. Dve staklene šipke protriiane svilom se odbijaju



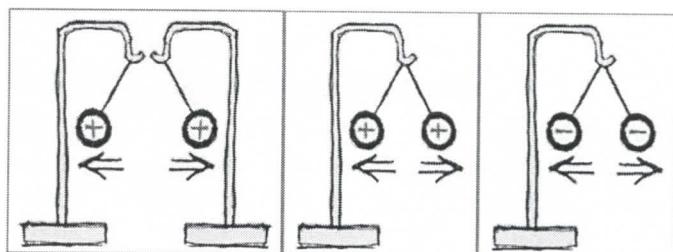
Sl. 3.4. Bez prethodnog trljanja između plastične šipke i krvna nema sile

Sl. 3.5. Plastična šipka i krvno kojim je ona protrljana se privlače

Sl. 3.6. Dve plastične šipke protriiane krvnom se odbijaju



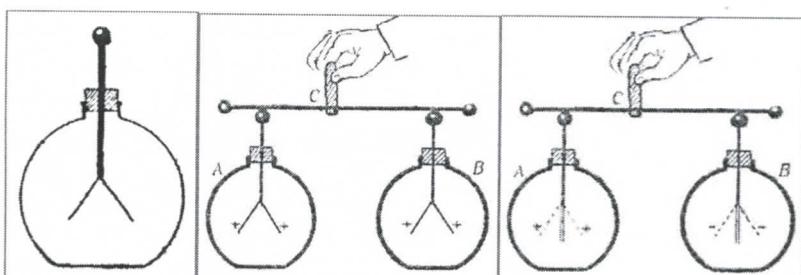
Sl. 3.7. Staklena šipka protrljana svilom i plastična šipka protrljana krznom se privlače



Sl. 3.8. Dva električna klatna nanelektrisana pozitivno se odbijaju

Sl. 3.9. Dvojno električno klatno nanelektrisano pozitivno

Sl. 3.10. Dvojno električno klatno nanelektrisano negativno



Sl.3.11. Konstrukcija jednostavnog elektro-skopa

Sl. 3.12. Elektroskopi nanelektrisani istom vrstom elektriciteta ostaju nanelektrisani i posle spajanja provodnikom

Sl. 3.13. Elektroskopi nanelektrisani raznoi-menim nanelektrisanjima posle spajanja provodnikom se razelektrišu

3.2.1. Količina elektriciteta (nanelektrisanje)

Količina elektriciteta ili nanelektrisanje (eng. *charge*) predstavlja kvantitativnu količinu elektriciteta. Usavršavanjem elektroskopa, mogućnost kvantitativnog opisivanja elektriciteta se postepeno povećavala, a kada su gradiuisani, elektroskopi dobijaju ime *elektrometri*. U školskim demonstracijama najčešće se koristi *Braun*-ov elektrometar.

Prema SI sistemu, fizička veličina "količina elektriciteta" nije osnovna, već izvedena veličina iz osnovnih fizičkih veličina - jačine struje (I) i vremena (t):

$$q=It \quad (3.1)$$

U ovoj definiciji podrazumeva se da je jačina struje konstantna u toku vremena.

Jedinica za količinu elektriciteta ima posebno ime u sistemu jedinica: kulon, (eng. *coulomb*), sa oznakom C, i prema definiciji SI je:

$$[C] = [A] \cdot [s]$$

gde je A – amper, jedinica za jačinu struje, a s – sekunda, jedinica za vreme.

3.2.2. Priroda elektriciteta

Diskretna struktura elektriciteta i nosioci naelektrisanja

Mnogobrojna eksperimentalna iskustva dovela su do zaključka da elektricitet nema u potpunosti odlike kontinuiranog fluida, već da postoji neka najmanja nedeljiva količina elektriciteta, **elementarno naelektrisanje e**, jedna od univerzalnih fizičkih konstanti, čija je tačna vrednost

$$e = 1,60217653(14) \times 10^{-19} \text{ C}$$

Naelektrisanje je fundamentalna osobina većine elementarnih čestica. Proton, p, ima naelektrisanje +e, a electron, e, nanelektrisanje -e, dok su neutron, n, bez nanelektrisanja.

Supstancija se sastoji od atoma, a atomi se sastoje od pozitivno nanelektrisanog jezgra (pozitivno nanelektrisanje potiče od protona) i negativno nanelektrisanog elektronskog omotača (negativno nanelektrisanje potiče od elektrona). Broj protona u jezgru $Z = n_p$, jednak je broju elektrona u omotaču $Z = n_e$, tako da je atom u celini neutralan.

Kada atom X *izgubi* jedan ili više elektrona (recimo z njih), nastaje *pozitivni jon* koga označavamo sa X^+ . Ako se atomu X *pridruži* jedan ili više elektrona (recimo z njih), nastaje *negativni jon*.

Transport nanelektrisanja je uvek vezan za transport nanelektrisanih čestica koje zovemo *nosioci nanelektrisanja*. Elementarni nosioci nanelektrisanja u običnoj supstanciji mogu biti elektroni, protoni i joni (uključujući i molekul-jone).

Može se zaključiti da elementarno nanelektrisanje, e , ima vrlo malu vrednost u odnosu na makroskopska nanelektrisanja. Potrebno je spomenuti i to da se u školskim eksperimentima barata sa nanelektrisanjima reda veličine $1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$, a ona pri tom sadrže oko $10^{-6} / 10^{-19} = 10^{13}$ elementarnih nanelektrisanja (zato su makroskopski fenomeni vezani za nanelektrisanja smatrani kontinuiranim fluidima – diskretna struktura elektriciteta je zanemarena).

Provodne osobine i nanelektrisavanje tela

Tela od različitih supstancija imaju različitu sposobnost da provode elektricitet. Kvantitativno tu sposobnost karakteriše fizička veličina *specifična provodljivost*. Vrednost specifične provodljivosti za razne supstancije se kreće u rasponu reda veličine 10^{-25} , pa se supstance razvrstavaju u sledeće kategorije:

- Izolatori su neprovodnici, nanelektrisanja su, u idealnom slučaju, potpuno nepokretna, vezana (vakuum). Realni izolatori imaju vrlo male koncentracije nosilaca nanelektrisanja, sa vrlo malom pokretljivošću, tako da je transport nanelektrisanja vrlo slabo izražen.
- Poluprovodnici su između izolatora I provodnika po specifičnoj provodljivosti. *Pravi kristalni poluprovodnici*, kao što su Si I Ge, kod kojih postoji mala koncentracija kvazislobodnih nosilaca nanelektrisanja, se najčešće smatraju poluprovodnicima.
- Provodnici su supstancije velike specifične provodljivosti. Imaju veliku koncentraciju nosilaca nanelektrisanja, veliku pokretljivost, pa kažemo das u slobodni.

- Ipak, ne mogu lako da napuste provodno telo, iako po njemu mogu lako da se kreću, pa kažemo da su *kvazislobodni*. U poluprovodnike spadaju i nehomogene supstancije čiju osnovnu strukturu čini porozni izolator, a u čije pore se uvlači voda (drvo, slama, mermer i sl.) - *slabi provodnici ili loši izolatori*.
- *Superprovodnici* imaju vrlo veliku provodljivost, na niskim temperaturama pokazuju osobine idealnih provodnika. Transport naelektrisanja u njima nije zasnovan na čestičnim nosiocima naelektrisanja, već se ispoljavaju mikrofizičke talasne osobine nosilaca naelektrisanja superponirane na periodičnu strukturu kristalne rešetke.

U kontaktu jednog tela sa drugim, proces naelektrisanja se može objasniti različitim energijskim stanjima nosilaca naelektrisanja u različitim supstancijama. Ako se dva električno neutralna tela dovedu u tesni kontakt, nosioci naelektrisanja će prelaziti na ono telo u kome će biti u nižem energijskom stanju, pri čemu dolazi do razdvajanja naelektrisanja – naelektrisanja. Naelektrisanje će povećavati niže energijsko stanje, a smanjivati više, dok se među njima ne uspostavi ravnoteža. Ova pojava se naziva i *triboelektrični efekt*, iako je ovde trenje samo način da ostvarimo tesan kontakt na većoj površini, a ne izvor energije za prebacivanje naelektrisanja sa jedne supstancije na drugu.

Kod provodnika preovlađuje naelektrisanje dodirom, a kod izolatora obično trenjem jednog izolatora o drugi.

Sve supstancije se mogu poredati u niz naelektrisanja, tako da se prethodnik u nizu uvek naelektriše pozitivno u kontaktu sa nekim od sledbenika, a sledbenik negativno; što je veća razlika u poziciji članova – to je efekt izraženiji. Takav niz se naziva i *triboelektrični niz* (staklo se u kontaktu sa svilom naelektriše pozitivno, a svila negativno; krvno se u kontaktu sa smolom naelektriše pozitivno, a smola negativno, itd.).

Zakon održanja količine elektriciteta

1750. B. Franklin je postavio jednofluidni model elektriciteta, po kome je:
pozitivno naelektrisanje višak električnog fluida, negativno nakelektrisanje njegov manjak, a elektroneutralnost balans viška i manjka.

Upravo od ovog modela potiču neke ideje o tome da se količina elektriciteta održava.

Izolovani sistem u elektromagnetizmu je takav sistem koji sa okolinom nema promet supstancije (elektrona, atoma, jona, ...), a dozvoljen je promet zračenja (elektromagnetskih talasa).

Svo dosašnje eksperimentalno iskustvo u svim granama i na svim nivoima fizike pokazuje da, pored zakona održanja energije, impulsa i momenta impulsa, važi i zakon održanja naelektrisanja:

~*Ukupno naelektrisanje izolovanog sistema se održava~*

3.2.3. Uzajamno dejstvo naelektrisanih tela

Mehanizam delovanja sile među naelektrisanim telima je sve do sredine 18. veka bila glavna preokupacija nauke o elektricitetu. Smenjivale su se različite ideje, od "vrtloga" koji nastaju oko naelektrisanih tela, do Franklinovih "električnih atmosfera" ...

1785. godine C. A. Coulomb je pomoću osetljive torzionale vase ispitivao prirodu ovih sila, pri čemu je mogao da meri силу između dva mala naelektrisana tela menjajući njihovo međusobno rastojanje i količinu elektriciteta na njima (naelelektrisanu kuglicu je dodirnuo nenaelektrisanom, istih dimenzija i tako je količina elektriciteta na obe kuglice bila polovina početnog naelektrisanja). Razdeljivanjem jedne kuglice i ponovnim dodirivanjem sa nenelektrisanom kuglicom, nenelektrisanje se smanjuje na četvrtinu, osminu itd. Na taj način je ustanovio zakon koji se po njemu zove Kulonov zakon za elektrostatičke sile. Taj zakon glasi: Među dva nenelektrisana tela

deluje sila koja je srazmerna količinama elektriciteta na tim telima, a obrnuto srazmerna kvadratu njihovog međusobnog rastojanja.

Ako sa q_1 i q_2 označimo količine elektriciteta na prvom i drugom telu, a sa r njihovo međusobno rastojanje, onda ovaj zakon ima oblik:

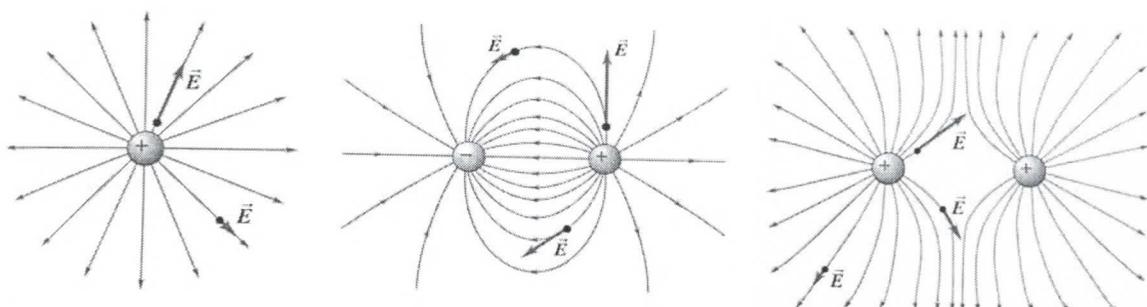
$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (3.2)$$

gde je ϵ_0 električna propustljivost, a takođe se još naziva dielektrična konstanta.

3.2.4. Električno polje

Naelektrisano telo svojim prisustvom, na određeni način, menja električne osobine okолног prostora, ono proizvodi specijalno fizičko polje - električno polje. Kao i ostala fizička polja, ono dejstvuje određenim silama na onu vrstu kvantuma koja to polje izaziva. Kako električno polje nastaje oko količine elektriciteta, dejstvo tog polja se manifestuje na neku drugu količinu elektriciteta. Električno polje je, svakako, jedan od oblika kretanja materije.

Od oblika nanelektrisanog tela i od rasporeda okolnih tala zavise pravac i intenzitet električnog polja. Električno polje, u opštem slučaju, može da ima vrlo složen raspored u prostoru. Sa druge strane, električno polje se formira i u bezvazdušnom prostoru u kome nema vizuelnih pojava odnosno pojava koje bi bile pristupačne direktnom posmatranju. Iz tog razloga, neophodno je bilo uvesti simboličko predstavljanje polja pomoću linija sile.



Sl. 3.14. Pravac i smer linija sile električnog polja

Jačine električnog polja tačkastog nanelektrisanja q na rastojanju r iznosi:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}. \quad (3.3)$$

Jedinica za jačinu električnog polja je: $E = \frac{F}{q} = \left[\frac{\text{N}}{\text{C}} \right]$

3.2.5. Influencija

Ako se u električnom polju, ili u blizini nanelektrisanog tela, nađe nenelektrisani provodnik, doćiće do razdvajanja nanelektrisanja u njemu. Ako se provodnik udalji iz električnog polja, on će ponovo postati neutralan. Nastala pojava se naziva influencija.

Ovakvo ponašanje provodnika objašnjava se činjenicom da se u svakom neutralom provodniku nalaze jednakе količine pozitivnog i negativnog elektriciteta i da u provodnicima, odnosno metalima, ima slobodnih elektrona.

Kada se provodnik unese u električno polje, na obe vrste nanelektrisanja će delovati elektrostatičke sile suprotnog smera, odnosno te sile će težiti da razdvoje suprotne vrste elektriciteta. Negativno nanelektrisanje, odnosno slobodni elektroni, će pod uticajem ovih sila moći da se pomjeraju u provodniku, dok pozitivna nanelektrisanja, vezana za jezgro atoma nemaju takve mogućnosti. Elektrosatička sila deluje na negativne elektrone u smeru koji je suprotan smeru polja. Pod dejstvom te sile, javiće se tendencija povećanja koncentracije elektrona u tom smeru. Ovo znači da će se na tom kraju javiti višak elektrona, tj. taj deo tela će biti negativno nanelektrisan. Na suprotnom kraju tela će ostati u višku pozitivni elektricitet, te će taj deo tela biti pozitivno nanelektrisan. Ove dve količine suprotnih vrsta nanelektrisanja moraju biti jednakе. Ovakvo stanje na provodniku može da se smatra kao neka vrsta električne napregnutosti. Ukoliko je električno polje većeg intenziteta, utoliko će i ova napregnutost biti veća, te će i indukovane količine elektriciteta biti veće.

3.3. Električne pojave u atmosferi

3.3.1. Atmosferski elektricitet

Ponekad, kada je dan sasvim vedar, bez ijednog oblaka i bez vетра, čini se kao da je atmosfera savršeno mirna, nepokretna. Takav mir je prividan. Kroz ceo vazdušni prostor iznad zemljine površine teku električne struje, odozdo na dole.

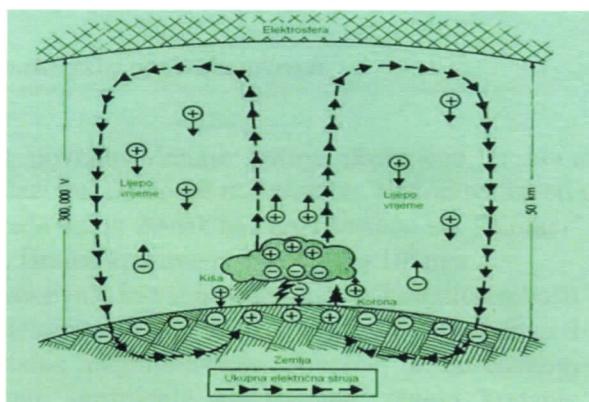
Ako kroz atmosferu teče električna struja, to pre svega znači, da u njoj postoji električno polje, usmereno po vertikali, i da atmosfera poseduje elektroprovodljivost. Usled jonizacije vazduha kosmičkim zracima, elektroprovodljivost atmosfere se brzo povećava sa visinom. Već na visini od 50 km od površine Zemlje, vazduh postaje dobar provodnik, pa se ta visina može smatrati donjom granicom jonosfere. Između zemljine površine i donje granice jonosfere, postoji razlika potencijala od oko $4 \cdot 10^5$ V, pri čemu je jonosfera nanelektrisana pozitivno, a zemljina površina negativno. Ukupno negativno nanelektrisanje Zemlje, kao i pozitivno nanelektrisanje jonosfere, iznosi oko 10^5 C.

3.3.2. Održavanje električnog polja u atmosferi

Zemljinu površinu i donju granicu jonosfere, uprošćeno, možemo posmatrati kao obloge ogromnog kondenzatora, čija je jedna ploča negativno nanelektrisana Zemljina površina, a druga ploča je pozitivno nanelektrisana donja strana jonosfere. Ovaj "kondenzator" se prazni u oblastima lepog vremena, a puni u oblastima olujnih aktivnosti.

Karakteristične veličine električnog polja zavise od meteoroloških parametara: magla, vlažnost vazduha, vrsta i razvijenost oblaka, koncentracija organskih i drugih primesa (prašina, čađ, pepeo...).

U uslovima intenzivnog razvoja olujnih oblaka, električno polje postaje vrlo promenljivo: površinsko nanelektrisanje postaje mestimično pozitivno, prostorno nanelektrisanje opada sa visinom, a smer električnog polja poprima smer suprotan onom koji preovlađuje nad područjem lepog vremena.



Sl. 3.15. Shema grmljavinskog oblaka kao baterije za održavanje elektrostatičkog polja I strujnog ciklusa u atmosferi

Vremenski poremećaji u obliku grmljavinskog nevremena su glavni generator trajnog održavanja električnog polja donje atmosfere. U olujnim oblacima jakog vertikalnog razvića, donja baza oblaka je uglavnom negativno nanelektrisana, što indukuje pozitivno nanelektrisanje na tlu ispod oblaka, sa velikom razlikom potencijala između oblaka i tla. To znači da se prostorno nanelektrisanje preraspodeljuje suprotno onome u području lepog vremena. Posledica je snažno **električno pražnjenje**, a električna struja potećiće uzlazno, zatvarajući na visini i kroz tlo, strujni tok sa slabom silaznom električnom strujom nad područjem Zemlje bez vremenskih poremećaja, koje je znatno većeg rasprostiranja.

3.3.3. Električno pražnjenje u grmljavinskom oblaku

Nanelektrisanje u grmljavinskom oblaku raspoređuje se na elementima oblaka (jezgra kondenzacije i sublimacije, kapi kiše, ledene čestice i snežni kristali). Područje unutar oblaka, sa preovladavajućim nanelektrisanjem istog predznaka, čine pozitivne ili negativne ćelije unutar oblaka. Slika 3.16. pokazuje skicu oblaka sa dve ćelije suprotnog nanelektrisanja. Nanelektrisane ćelije i ćelije nanelektrisanja istog predznaka u oblaku, su prostorno odvojeni neutralnim vazduhom između, a on je loš provodnik elektriciteta. Turbulencija približava ili udaljava pojedine čestice i područja istoimenog nanelektrisanja unutar oblaka, što izaziva promenljivost jačine električnog polja. Kad momentalna vrednost polja premaši kritičnu vrednost jačine ($> 1 \text{ MV/m}$), dođe do udarne jonizacije i izbijanje električne varnice, odnosno do pojave munje. U početnoj fazi pozitivni joni ostaju praktično na mestu (veći su i slabije pokretljivi), a negativni joni i elektroni, znatno veće pokretljivosti, napreduju prema području indukovanih suprotnih nanelektrisanja.



Sl. 3.16. Primer raspodela električnog nanelektrisanja u grmljavinskom oblaku kumulonimbus-u, sa snažnom ćelijom negativnih nanelektrisanja u srednjem delu oblaka i s dve ćelije pozitivnog nanelektrisanja, od kojih je donja slabo razvijena

Munja iz oblaka prema površini Zemlje putuje postepeno, u koracima, prema području suprotnog nanelektrisanja. Prelazi put 20 do 50 m i zastane. Nakon pauze od oko $5 \mu\text{s}$ (10^{-6} s), naglo nastavi put uz svetlucanje, pređe daljih 20-tak m i opet zastane itd. "Koraci" slede jedan za drugim, sve do neposredne blizine tla. Brzina kretanja je oko 10^5 do 10^6 m/s .

Dakle, vrlo jaka konvektivna kretanja vazduha u kumulonimbusu uzrok su, što se u raznim delovima ovog oblaka nagomilava pozitivni i negativni elektricitet. To stalno nagomilavanje doveće, u određenom trenutku, do toga da nastane pražnjenje elektriciteta. Naglo kretanje elektriciteta kroz vazduh izazove u njemu vrlo veliko zagrevanje i učini ga vidljivim, kao kod električne varnice. Ta vidljiva pojava električnog pražnjenja zove se **munja**.



Sl.3.17. Munja

U prirodi se pražnjenja dešavaju između oblaka i Zemljine površine (rastojanje oko 2 km) ili između dva oblaka (rastojanje oko 10 do 15 km). Energija pražnjenja munje iznosi oko $1.6 \cdot 10^{10} \text{ J}$.

Izvesna sličnost između munje i električne varnice navodila je ljude, koji su otkrivali tajne elektriciteta, na pomicao da je munja električna pojava u atmosferi. Godine 1752. Bendžamin Frenklin je eksperimentalno dokazao, da je munja snažno električno pražnjenje.

Frenklinov ogled sa zmajem:

Naučnik je izvršio poznati ogled sa letećim zmajem, koji je bio pušten u vazduh neposredno pre oluje. Na drvenom krstu zmaja je bila učvršćena zašiljena žica, za koju su preko kanapa bili privezani ključ i svilena vrpca. Naučnik je traku držao u svojoj ruci. U pismu jednom svom prijatelju, Frenklin je pisao: "Samo što se olujni oblak ukaže nad zmajem, zašiljena žica počinje da izvlači iz oblaka električnu vatu (električni naboj), i zmaj se zajedno sa uzicom nanelektriše... A kada kiša smoči zmaja zajedno sa uzicom, načinivši ih tako sposobnim da lako provode električnu vatu, primetićete kako ona obilno ističe sa ključa, čim mu približite Vaš prst".

Uporedo sa Frenklinom, istraživanjima električne prirode munje bavili su se M. V. Lomonosov i G. V. Riman, koji je za vreme jednog ogleda bio usmrćen munjom. Zahvaljujući istraživanjima Frenklina, Lomonosova i Rimana, sredinom 18. veka je bila dokazana električna priroda munje.

Jako zagrevanje vazduha na putanji munje prouzrokuje u njemu vrlo naglo širenje, skoro sa eksplozivnom žestinom. To su zvučni zraci koji se kreću u svim pravcima i čuju se kao **grom**. Kako se svetlost kreće, u praznom prostoru, brzinom od 299.860 km/s , zvuk pri vazdušnoj temperaturi od 17° brzinom od 342 m/s , prođe uvek neko vreme između viđenja munje i čujenja groma. Gromom je označen samo trenutni zvuk, a onaj dugotrajniji se naziva **grmljavina**. Ta veća dugotrajnost se može objasniti činjenicom, što munja ima uvek znatnu dužinu, te zvuk sa njenih raznih delova ne dospe istovremeno do naših čula sluha, nego traje nekoliko sekundi.

Sevanjem se naziva svetlost munja sa udaljenih oblaka nepogode, kod kojih gromovi nisu više čujni. Pri tome, kumulonimbusi mogu biti nevidljivi, bilo da su još ispod horizonta ili da su na znatnom rastojanju od posmatrača, a sevanje se ipak opaža dosta dugo.

3.3.4. Vrste munja

Razgranata munja – Električno pražnjenje oblak → tlo, kao na slici, prikazuje vrlo razgranatu munju.



Sl.3.18. Razgranata munja



Sl.3.19. Trakasta munja

Trakasta munja - vidi se kao svetleća traka od baze oblaka, do tla. Izgleda kao da je nastalo nekoliko skoro jednakih linijskih munja, pomerenih relativno jedna u odnosu na drugu.



Sl.3.20. Višestruka munja

Višestruka munja – Slika pokazuje munje iz dva odvojena oblaka. Početni delovi obe munje su sakriveni u unutrašnjosti izvornih oblaka.



Sl.3.21.



Sl.3.22.

Atmosfersko električno pražnjenje – električno pražnjenje iz oblaka, ali koje ne dospe do tla (sl.3.21. i 3.22.). Jonizujući kanal se širi horizontalno i može da dostigne dužinu od više desetina kilometara. Ponekad takav kanal munje ponovo ulazi u isti oblak ili u drugi susedni grmljavinski oblak.



Vatra sv. Nikole, vatra sv. Ilike ili vatra sv. Elma

Sl.3.23. Munja iz objekta pri tlu, nije razgranata

Tiho luminiscentno električno pražnjenje iz istaknutih zašiljenih objekata na Zemljinoj površini je još u 18 veku protumačeno kao električna pojava u prirodi (B. Franklin, 1749). Šiljati predmeti izazivaju deformaciju električnog polja u svojoj okolini. Linije polja električnog potencijala su nad zašiljenim objektima gušće, pa električno polje može da premašiti kritičnu vrednost (3 MV/m) i dolazi do električnog pražnjenja elektrona u mlazu, do sekundarne ionizacije, praćene svetlucanjima u obliku **venca** ili **korone** oko predmeta, koji je izazvala pojava. Veličina venca zavisi od jačine naelektrisanja oko šiljka. Pri pozitivnom naelektrisanju je veći, a boja svetlucanja je ljubičasta. Pri negativnom naelektrisanju venac je manji, a svetlucanje je svetlijе i plavkasto. Područje svetlucanja je zapravo plazma, male gustine, izazvana razlikom potencijala iznad vrednosti dielektričnog praga električnog probijanja u vazduhu.

Prema mnogim opisima posmatrača, to je sjajna svetlost, koja poput plavkaste vatre u jednostrukom, dvostrukom ili trostrukom mlazu izlazi iz šiljatih objekata, stubova, tornjeva, dimnjaka, iz avionskih krila i sl. Pojava se može videti i u loptastoj formi, a viđena je, iako vrlo retko, i od pojedinačnih osoba. Zapisano je i da je viđena za vreme oluje i kod stada ovaca na

vrhovima njihovih rogova. Često je viđana na vrhovima brodskih jarbola u vreme kad grmljavinsko nevreme na moru već pomalo jenjava. Po tome pojava nosi naziv sveca, zaštitnika pomoraca.

Loptasta munja

Ima dosta zapisa te neobične pojave kao i crteža (sl. 3.24.). Loptasta munja nastaje iznenada, traje kratko i dosada postoji tek mali broj fotografija, nastalih slučajno. Prva fotografije je nastala tek u drugoj polovini 20. veka, kad se pojava javila iznenada, a posmatrač je imao fotoaparat kod sebe.

Loptasta munja se javlja kao svetleća kugla, dimenzija 10 do 20 cm, ali viđena je veličine



Sl.3.24. Loptasta munja

prečnika 1 do 2 m. Nastaje nakon udara groma, pomerajući se polako, paralelno sa tlom ili slobodno kroz vazduh. Ponekad tiho nestane, a nekad eksplodira u dodiru sa nekim tvrdim predmetom (stablo, zid). Ponekad se opisuje da sledi metalne vodiče, kao npr. električne vodove ili železničke šine. Viđeno je i opisano da je loptasta munja ušla u kuću, kroz otvoren prozor ili kroz dimnjak, a zatim se raspala u dodiru sa zidom ili je čak zaokrenula i izašla kroz prozor. Viđeno je kako je loptasta munja usmrtila životinje i ljude ili ih je onesvestila.

Loptasta munja je vrlo retka pojava, ali se čini da je češća u visokim predelima Alpa. Malo je stručnjaka atmosferskog elektriciteta do sada videlo loptastu munju zbog već navedenih činjenica: javlja se u neočekivano vreme, na neočekivanom mestu, a traje kratko.

3.4. Demonstracioni ogledi

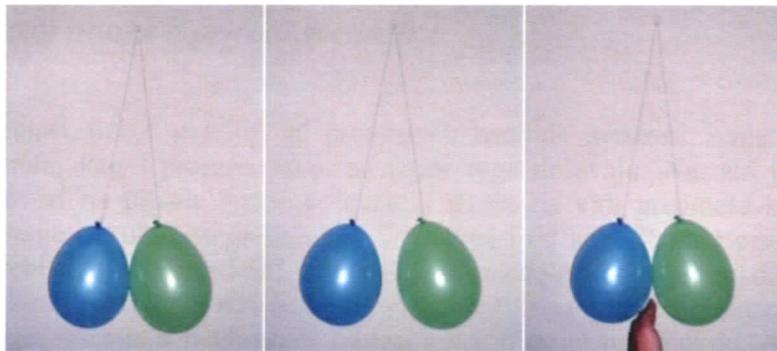
Ukoliko se ogledi izvode u Osnovnoj školi, u VIII razredu, kada se uvode osnovni pojmovi o elektricitetu, pogodno je izvesti sledeći ogled:

1. Model Frenklinovog gromobrana

- Cilj ovog ogleda je da se prikaže nanelektrisanje tela trenjem, odnos istoimenih i raznoimenih nanelektrisanja, kao i način na koji „radi“ gromobran.
- Za izvođenje ovog ogleda, potrebno je: dva balona, konac dužine 1m, vunena tkanina, igla ili čioda, selotejp.
- Naduvati dva balona, zavezati ih koncem, a potom oba konca vezati za treći i pričvrstiti selotejpom za zid ili orman (slika 3.6 – 1). Ako se oba balona protrljaju istim materijalom, npr. kosom ili vunenom tkaninom odbijaće se i stajati na određenom rastojanju jedan od drugog. Ako se metalni šiljak, igla ili čioda, rukom prinesu između balona, baloni se kreću jedan prema drugom. Ako se igla udalji oni ostaju u istom položaju, blizu jedan drugom. Ako se želi prikazati samo uzajamno odbijanje balona, potrebno je jedan balon koncem pričvrstiti za čebe. Ako se nanelektrisani balon približi nenanelektrisanom, nenanelektrisani balon se pomera iz položaja mirovanja, odnosno biva odbijen.

● *Objašnjenje:* Baloni su protrljani istim materijalom znači oni su nanelektrisani istoimenim nanelektrisanjima. Ako su nanelektrisani negativno, kad se približi igla između njih, tada se elektroni u metalu, usled indikacije, skupe na donji kraj igle i preko ruke odlaze u zemlju. Vrh igle je pozitivno nanelektrisan i privlači negativno nanelektrisane balone. Na pozitivno nanelektrisanom špicu dolazi do pražnjenja. Linije električnog polja u blizini špica

- su velike gustine, odnosno oko špica se obrazuje jako električno polje. U vazduhu su prisutni nosioci nanelektrisanja, (nastali kosmičkim zračenjem), koji u jakom polju imaju dovoljnu energiju da vrše dalju ionizaciju. Nastali joni razelektrišu balone, tako da se posle hlađenja igle oni više ne odbijaju.



Sl.3.25. Model Frenklinovog gromobrana

Ukoliko se ogledi izvode u Srednjoj školi, u II razredu, u okviru nastavne teme Elektrostatika, kada se izučavaju osnovni pojmovi o elektricitetu, pogodno je izvesti sledeći ogled:

2. Simulacija nepogode

- Cilj ovog ogleda je da se prikaže proces nanelektrisanja, nanelektrisanja trenjem i proces nastajanja nepogode
- Nanelektrisanje trenjem u olujnom oblaku može se simulirati neutralnom smešom dve nanelektrisane supstancije, koje se usled trenja delića različite težine nanelektrišu. Za izvođenje ogleda je potreban sledeći pribor: elektroskop sa listićima, metalna šolja ili posuda koja se može postaviti na elektroskop, staklena čaša, gvozdene kuglice (prečnika 3 mm), sumporni prah, fen
- Metalna posuda se postavi na elektroskop. Staklenu čašu, u kojoj su metalne kuglice i sumpor u prahu prodrmamo. Neprovidnim štapom (staklenim) promešaju se gvozdene kuglice i sumporni prah. Stavimo staklenu čašu oko 10 cm iznad metalne posude i sipamo njenu sadržinu u posudu. Pri tom usmerimo fen tako da sadržaj čaše prolazi kroz struju toplog vazduha, koja oduva skoro sav sumporni prah iz smeše, tako da u metalnu posudu upadnu metalne kuglice sa veoma malo sumpornog praha. Listići elektroskopa se razmaknu pokazujući postojanje nanelektrisanja u metalnoj posudi.
- Objašnjenje:* Atomi sumpora formiraju osmougaoni prsten. Kada se čaša u kojoj se nalaze metalne kugle i sumpor prodrma, prsten se razara i nastaju radikali sa nesparenim elektronima, koji se prenose sa sumpora na metalne kugle. Sumpor postaje pozitivno nanelektrisan, a metalne kugle negativno nanelektrisane. Kada se sadržaj čaše promeša nenelektrisanim staklenim štapom, samo se deo nanelektrisanih četica razelektriše. Obzirom da su gvozdene kuglice teže od čestica sumpora, topla struja vazduha koju proizvodi fen manje utiče na njihov put nego što je to u slučaju lakih čestica sumpora. Čestice sumpora bivaju oduvane, a u metlju posudu padaju samo negativno nanelektrisane gvozdene kuglice. Razmaknuti listići elektroskopa pokazuju nanelektrisanje gvozdenih kuglica.

4. Optičke pojave u atmosferi

4.1. Istoriski razvoj nauke o prirodi svetlosti

Optika je oblast fizike u kojoj se proučavaju osobine svetlosti i njena interakcija sa materijalnom sredinom, kao i promene koje se usled toga dešavaju. Nastala je prvobitno kao pokušaj da se odgovori na pitanje zašto je čovek u stanju da vidi predmete koji ga okružuju. Odgovor na ovo pitanje pokušali su da daju još Stari Grci i od tada datiraju prve naučne osnove optike. Oni su upotrebljavali reč "svetlost", smatrajući da ona dolazi od tela i da, dejstvujući na naše oko, izaziva subjektivni osećaj vida. Kao osnovno svojstvo svetlosti, naučnici stare Grčke su isticali njen pravolinijsko prostiranje u homogenoj sredini i zakon refleksije. Euklid, Arhimed, Heron i Ptolomej su izučavali ove zakonitosti. Pored pomenutih, Grci su se bavili i izčavanjem boja. Da su sve boje izvedene iz Sunčeve svetlosti i da su njen sastavni deo, izjavio je Aristotel. On je, takođe, imao zasluga u pokušajima da objasni nastajanje duge.

Daljim razvojem optike bavili su se Arapi. Oni su znali da se pomoću staklenih sočiva mogu smanjivati i povećavati likovi predmeta. Alhazen (965-1039.) je bio jedan od istaknutih naučnika tog vremena. Izučavao je svetlost i oko i uveo je neke fiziološke termine, koji se i danas koriste. U svojim radovima, pisao je i o optičkim iluzijama, o odbijanju i prelamanju zraka i formiranju slike u ogledalima. Brzinu svetlosti smatrao je konačnom. Na osnovu svojih istraživanja pravi i prvi optički instrument, lupu.

Prekid istraživanja nastupa u mračnom Srednjem veku . . . Ali, i za ovaj period vezuju se imena koja su svojim zalaganjima unela "svetlosti" u nastalu tamu. Izučavajući sferna ogledala, *Roger Bacon* (1214-1294.) uvodi fundamentalni koncept fokusa. *Giambattista della Porta* (1535-1615.) zaslužan je za otkriće tzv. mračne komore, u kojoj je dobijena obrnuta slika predmeta, što je bio dokaz pravolinijskog prostiranja svetlosti. Krajem 13. i početkom 14. veka pronađene su naočare, u početku samo za dalekovide, a u 16. veku i za kratkovide.

U 17. veku *Willebrord Snell* (1591-1625.) je verovatno prvi našao zakon prelamanja, ali nikada nije objavio svoje beleške. *René Descartes* (1596-1650.) matematičkim putem izvodi zakon prelamanja, koji je danas poznat pod imenom Snel-Dekartov zakon.

Sve do 19. veka, razvitak optike se bazirao na predstavama o svetlosnim zracima koji se prostiru pravolinijski, iako su još u 17. veku bile poznate činjenice koje su ukazivale na to da postoje odstupanja od pravolinijskog prostiranja svetlosti (na primer difrakcija). Prostiranje svetlosti po liniji navodilo je na misao da svetlost predstavlja fluks (protok) čestica koje izleću iz izvora i kreću se u homogenoj sredini pravolinijski i ravnomerno. Takva teorija o svetlosti nazvana je korpuskularna ili teorija isticanja. Njen tvorac je *Isaac Newton* (1642-1727.), engleski fizičar, matematičar, astronom i jedan od najvećih ličnosti u istoriji nauke. On je smatrao da se svetlost sastoji od čestica i predstavio je kao protok vrlo brzih čestica čije kretanje podleže zakonima klasične fizike. Njutn je pokušao da objasni rastavljanje bele svetlosti u dugine boje. Po njemu, svaka boja ima česticu određene mase, zbog čega, pri propuštanju bele svetlosti kroz prizmu, gravitacija jače deluje na čestice veće mase, pa će iste jače skretati od svoje putanje. Tako će se izdvajati razne boje i prelamaće se pod različitim uglom. Njutn je možda uspeo da objasni odbijanje, prelamanje i rasipanje svetlosti, ali nedostatak ove teorije je bila nemogućnost objašnjenja interferencije i difrakcije.

Uporedno sa korpuskularnom teorijom razvijala se i talasna teorija svetlosti, po kojoj svetlost predstavlja talasni proces. Tu teoriju postavio je 1677. godine holandski naučnik *Christian Huygens* (1629-1697.). On je smatrao da svetlost predstavlja prostiranje talasa u etru. Hajgensovim principom može se objasniti zakon prostiranja svetlosti. Pobornik talasne teorije je bio i *Mikhail Vasilyevich Lomonosov* koji je prvi pokušao da nađe direktni dokaz te teorije 1753. godine. Moguće objašnjenje pojava difrakcije i interferencije svetlosti postavili su tek *Thomas Young*

(1773-1829.) i Augustin Fresnel (1788-1827.) početkom 19. veka. Oni su dokazali da svetlost predstavlja talase veoma male dužine.

Nerešeno je ostalo pitanje da li je svetlosni talas longitudinalne ili transverzalne prirode. Hajgens, Frenel i Jang su pretpostavili da je svetlost longitudinalni talas. Priroda svetlosti jeste takva. Svetlost se jednakom ponaša u svim pravcima, nepolarizovana je. U nekim slučajevima, svetlost pokazuje drugačija svojstva, a ta pojava se naziva polarizacija. Potvrda polarizacije je pojava dvojnog prelamanja kod kristala islandskog kalcita, za koju je Hajgens znao, ali nije mogao da objasni zašto iz kalcita izlaze dva prelomljena zraka koja se ponašaju drugačije od upadnog zraka. Tek 1808. je dokazano da je uzrok tome polarizacija.

James Clerk Maxwell (1831-1897.) je napravio sledeći veliki korak u teoriji svetlosti. Sve do prve polovine 19. veka svetlosne oscilacije predstavljane su u vidu mehaničkih elastičnih oscilacija kontinualne sredine, a ovaj engleski fizičar, dokazao je 1865. godine da svetlost poseduje elektromagnetne osobine. Posle otkrića elektromagnetnih talasa postalo je jasno da su svetlosni talasi u stvari elektromagnetni talasi male dužine. Heinrich Hertz (1857-1894.), nemački fizičar, potvrdio je Maksvelovu teoriju 1888. godine, kada je uspeo da proizvede talase malih talasnih dužina, danas poznati kao mikro-talasi, koji su nesumnjivo elektromagnetne prirode i imaju sve osobine elektromagnetičnih talasa. Mogu biti odbijeni, prelomljeni i polarizovani. Ovo je predstavljalo "triumf" talasne optike.

Ipak, talasnom teorijom nije mogla da se objasni pojava da svetlost koja pada na površinu provodnika iz njega izbacuje elektrone. Ova pojava je poznata pod imenom fotoelektrični efekat. Albert Einstein (1879-1955.) je 1905. godine proširio ideju, koju je pet godina pre predložio Max Planck (1858-1947.). Plank je uveo 1900. godine pojam o kvantu energije po kojoj svetlosni izvori emituju kvante. Kvanti svetlosti nazivaju se fotoni. Talasna priroda svetlosti zadržana je u tome što foton ima frekvenciju i što je njegova energija proporcionalna njegovoj učestanosti.

Komptonovim efektom, 1921. godine, potvrđena je fotonska priroda svetlosti. A. H. Compton (1892-1962.) je uspeo da odredi kretanje fotona i jednog elektrona, kako pre, tako i posle sudara među njima i zaključio je da se oni ponašaju kao materijalna tela koja imaju kinetičku energiju i impuls, i pri tome, ove veličine ostaju sačuvane. Ove dve pojave, fotoelektrični efekat i Komptonov efekat, zahtevale su povratak korpuskularne teorije svetlosti.

Da je svetlost istovremeno i čestične i talasne prirode, dokazuju sve ove pojave. I danas važi činjenica da je svetlost dualističke prirode. Elektromagnetnom teorijom svetlosti se mogu bolje objasniti pojave prostiranja svetlosti, dok se uzajamno dejstvo svetlosti sa materijom u procesima apsorpcije i emisije, bolje objašnjava korpuskularnom teorijom.

Francuski fizičar Louis de Broglie je 1924. godine izvršio sintezu Maksvelove elektromagnetne teorije svetlosti i Plankove teorije kvanta.

Pored složene dualističke strukture svetlosti, neke pojave se mogu vrlo jednostavno prikazati primenom geometrijskih zakona: zakon o pravolinjskom prostiranju, zakon o međusobnoj nezavisnosti prostiranja, zakon odbijanja i zakon prelamanja svetlosti, kojima se objašnjava ponašanje svetlosti, pri čemu se zanemaruje njena priroda, a posmatra samo pravac kretanja.

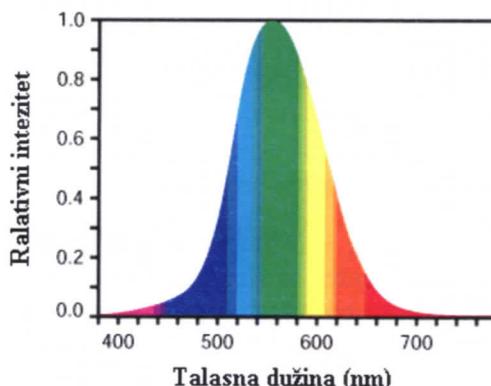
4.2. Svetlost u optici

"Zelim da razmislijam o svetlosti do kraja života"

(Albert Einstein, 1879.-1955.)

Spektar elektromagnetskog Sunčevog zračenja sastoji se od ultraljubičastog, vidljivog i infracrvenog dela. Ultraljubičasti deo nosi oko 9%, vidljivi oko 41,5% i infracrveni oko 49,5% ukupne energije Sunčevog zračenja.

Svetlost je pojam pod kojim se podrazumeva deo elektromagnetskog zračenja koji možemo da vidimo-vidljiva svetlost. Deo spektra elektromagnetskih talasa koji predstavljaju vidljivu svetlost nazivamo vidljiva oblast. Za vidljivu oblast, grubo, najčešće navodimo da je u intervalu talasnih dužina od 400 nm do 800 nm. Zračenje u oblasti talasnih dužina većih od vidljive svetlosti (frekvencije su nize), naziva se infracrvena svetlost, a sama oblast je infracrvena oblast. Za oblast talasnih dužina infracrvenog zračenja, grubo, najčešće se navodi od 0.8 μm do 1 mm. Zračenje u oblasti talasnih dužina kraci od vidljive svetlosti (frekvencije su više), naziva se ultraljubica svetlost, a odgovarajuća oblast-ultraljubica oblast.



Sl. 4.1. Spektar vidljive svetlosti

4.2.1. Osobine svetlosti

Brzina svetlosti je jedna od najvažnijih fizičkih karakteristika svetlosti. Brzina svetlosti je univerzalna konstanta i njeno precizno određivanje imalo je veliki značaj. Prema najnovijim merenjima brzina svetlosti je 299 792 458 m/s. To je najveća poznata brzina u prirodi. U drugim sredinama brzina je manja, na primer u vodi iznosi 225 000 km/s, u staklu 200 000 km/s, a u gasovima 300 000 km/s.

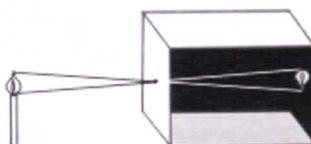
4.2.2. Zakoni geometrijske optike

Geometrijska optika je optika svetlosnih zraka (zrak je linija duž koje se prostire svetlost). Uslov za njenu primenu je da $\lambda < d$, tj. talasna dužina svetlosti λ treba da je zanemarljivo mala u odnosu na dimenzije optičkih nehomogenosti sredine d , odnosno od dužine na kojima se ispoljavaju promene makrofizičkih optičkih osobina sredine. Geometrijska optika zasniva se na sledeća četiri zakona:

- Zakon pravolinijskog prostiranja svetlosti
- Zakon međusobne nezavisnosti prostiranja svetlosnih zraka
- Zakon odbijanja svetlosti
- Zakon prelamanja svetlosti.

Navedeni zakoni mogu da se izvedu i iz Fermatovog principa, koji kaže da se između dve tačke u prostoru svetlost kreće onom putanjom za koju joj je potrebno najmanje vremena.

Zakon pravolinijskog prostiranja svetlosti - Svetlost se u homogenoj sredini prostire pravolinijski. Do ovog zaljučka se došlo posmatranjem senki koje prave neprovidni predmeti pri malom izvoru svetlosti. Svetlosne pojave u mračnoj komori mogu poslužiti kao dokaz za to:



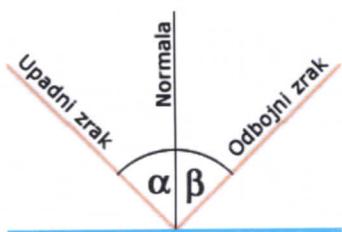
Sl. 4.2. Mračna komora

Svetlosni zraci, sa svetlosnog izvora (sveća), padaju na prednju stranu komore i prolaze kroz uzani otvor u njoj. Usled pravolinijskog prostiranja svetlosti na zidu komore formira se obrnut lik svetlosnog izvora.

Posledica ovog zakona je pojava senke i polusenke raznih objekata na površini Zemlje. Poznate pojave u prorodi, pomračenje Sunca i Meseca, direktnе su posledice pravolinijskog prostiranja svetlosti.

Zakon međusobne nezavisnosti svetlosnih zraka - Ukoliko jedan svetlosni snop prolazi kroz drugi svetlosni snop, jedan na drugog ne utiču tj. svetlosni zraci ne ometaju jedan drugog, pri presecanju. Svaki zrak se prostire nezavisno od ostalih. Odstupanja od ovog zakona nastaju u slučaju kada zraci pripadaju koherentnim talasima, kada može doći do interferencije.

Zakon odbijanja svetlosnih zraka (refleksija) - govori o promeni pravca prostiranja svetlosti na graničnoj površini dve optičke sredine gde se jedan deo odbija a drugi prelama. Ako se snop svetlosti odbija o ravnu glatkou površinu, onda dolazi do usmerenog odbijanja (sl. 4.3.), a ako je površina neravna, zraci se odbijaju u različitim pravcima, difuzno odbijanje svetlosti (sl. 4.4.). Koji će deo svetlosti biti odbijen a koji će preći u drugu sredinu zavisi od prirode sredine, upadnog ugla i talasne dužine svetlosti.



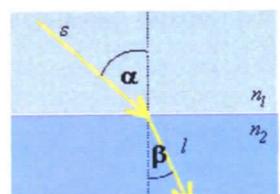
Sl. 4.3. Pravilno odbijanje svetlosti



Sl. 4.4. Difuzno odbijanje svetlosti

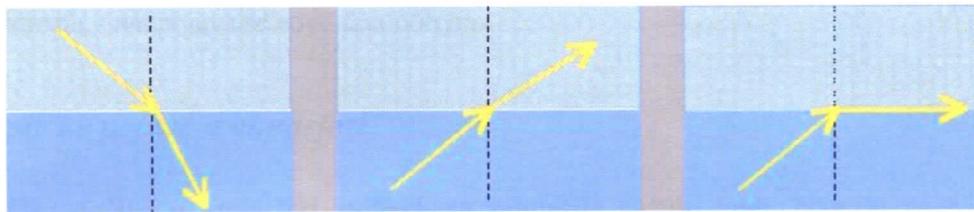
Zakon prelamanja svetlosnih zraka (refrakcija) - odnos sinusa upadnog i sinusa prelomnog ugla za dve sredine je stalna veličina i jednak je odnosu apsolutnih indeksa prelamanja druge i prve sredine pri čemu upadni zrak, normala i prelomni zrak leže u istoj ravni.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \text{const.} \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4.1)$$



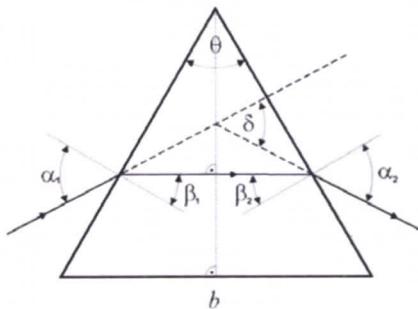
$\alpha < \beta$; $n_1 < n_2$
Sl. 4.5. Prelamanje svetlosti

Upadni α i prelomni β uglovi su uglovi koji upadni i prelomni zraci grade sa normalom na graničnu površinu, kroz tačku u kojoj se zrak prelama. Apsolutni indeks prelamanja za neku sredinu je odnos brzine prostiranja svetlosti u vakumu i brzine prostiranja svetlosti u toj sredini.



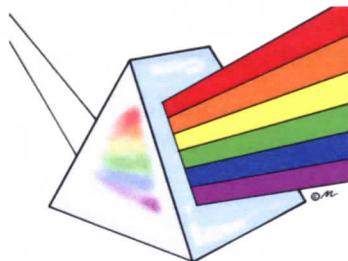
Sl. 4.6. Dekart – Snelijusov zakon:
 a) prelamanje svetlosti pri prelazu iz optički ređe u optički gušću sredinu
 b) prelamanje svetlosti pri prelazu iz optički gušće u optički ređu sredinu
 c) granični ugao

Prelamanje svetlosti kroz prizmu - optička prizma je providno telo, koje ima bar dve neparalelne uglačane površine, na kojima se svetlost dva puta prelama i skreće ka širem delu (osnovi) prizme. Lik je imaginaran, na istoj strani kao i predmet, ali pomeren ka prelomnoj ivici. θ je ugao prizme, δ se naziva ugao skretanja, α_1 i β_1 su upadni uglovi dok su α_2 i β_2 prelomni uglovi. Ugao skretanja ili devijacije jednak je zbiru upadnog i izlaznog ugla, umanjen za prelomni ugao prizme (sl. 4.7.).



Sl. 4.7. Optička prizma

Svetlost jedne talasne dužine, jedne boje, naziva se monohromatska. Većina svetlosnih snopova je polihromatska (sl. 4.8.), što znači da se satoje od talasa različitih talasnih dužina. Disperzija je pojava razlaganja složene bele svetlosti na svetlost različitih boja (talasnih dužina) pri prolasku kroz prizmu.



Sl. 4.8. Disperzija bele svetlosti

Kombinacijom prelamanja, disperzije i unutrašnjeg odbijanja Sunčeve svetlosti na kapima kiše nastaje duga.

Totalna refleksija - u slučaju kada svetlost prelazi iz optički gušće u optički ređu sredinu (na primer iz vode u vazduh) prelomni ugao je veći od upadnog. U tom slučaju postoji takav upadni ugao, manji od 90° , za koji je ugao prelamanja jednak 90° . Tada prelomni zrak "klizi" po graničnoj površini, a upadni ugao se naziva granični ugao totalne refleksije, α_g . Granični ugao totalne refleksije može da se izračuna iz Dekart-Snelijusovog zakona (uzimajući da je prelomni ugao 90°):

$$\sin \alpha_g = \frac{n_2}{n_1}, n_1 > n_2 \quad (4.2)$$

Prelamanje svetlosti i totalna refleksija su pojave na osnovu kojih se objašnjavaju neke pojave u atmosferi. Pod određenim uslovima (na Zemlji ili u vazduhu) moguće je videti obrnute likove predmeta. Ova pojava se zove fatamorgana.

4.3. Optičke pojave u atmosferi

Optičke pojave u atmosferi, oduvek su privlačile pažnju ljudi. Nastaju na bazi loma i refleksije sunčevih zraka. Sunčevi zraci se međusobno razlikuju po talasnim dužinama. Ponekada možemo i da ih razlikujemo pojedinačno, po boji. Celokupni snop zraka nam izgleda kao da je bele boje. Ustvari, to je spektar od crvene do ljubičaste boje. Iza crvene boje je pojas talasa infracrvene svetlosti, a na njega se nadovezuju električni talasi, ultraljubičasti (ultravioletni) i drugi. Između ultraljubičastih i toplotnih zraka se nalaze zraci koje mi vidimo kao svetlost. Najmanje ima ljubičastih i plavih zraka svetlosti zato što njih najviši slojevi atmosfere ne propuštaju. Iz tog razloga mi nebo vidimo u plavoj boji. Kada je Sunce u zenitu nebo je najplavije.

4.3.1. Plavetnilo neba i crvena boja zalazećeg Sunca

Zašto nebo ima plavu boju? Zasto se zalazeće Sunce čini crvenim? U oba ova slučaja, uzrok je isti – rasejanje Sunčeve svetlosti u Zemljinoj atmosferi.



4.9. Plava boja neba



4.10. Crvena boja zalazećeg Sunca

Za objašnjenje nebeskog plavetnila, postojale su razne hipoteze: plava boja se pokušavala objasniti kao rezultat mešanja „svetlosti“ i „tame“ u određenoj proporciji; pretpostavljalo se da su čestice vazduha obojene plavom bojom; postojala je čak i pretpostavka da je plavetnilo neba svetljenje luminiscencije čestica vazduha, koja nastaje kada se čestice vazduha obasjaju Sunčevom svetlošću (luminiscencija je svetljenje tela na drugi način, a ne usled usijanosti; to je provođenje „hladne svetlosti“, zajedničko je ime za fluorescenciju i fosforescenciju).

1869. dokazana je neosnovanost ovih hipoteza, kada je Džon Tindal izveo svoj eksperiment, koji se vrlo lako može izvesti i u školskom kabinetu fizike:

Tindalov eksperiment

Akvarijum pravougaonog oblika se napuni vodom i na zid akvarijuma se usmeri uzan snop svetlosti od dijaprojektor-a. Da bi snop bio dovoljno uzan, umesto slajda se u dijaprojektor stavi komadić gustog crnog papira sa okruglim otvorom, prečnika 2-3 nm, u sredini. Eksperiment se izvodi u zamraćenoj prostoriji. Da bi se pojačalo rasejanje svetlosnog snopa pri njegovom prolasku kroz akvarijum, u vodu se doda malo mleka i tečnosti se pažljivo promešaju. Kako mleko u sebi sadrži čestice masnoće koje se ne rastvaraju u vodi, one se nalaze u stanju kovitlanja i doprinose rasejavanju svetlosti. Prošavši kroz akvarijum, svetlost dobija crvenkastu nijansu. Dakle, ako gledamo svetlosni snop u akvarijumu sa strane, on se pokazuje kao plav, dok je na izlaznom kraju crvenkast.

To se može objasniti, ako se pretpostavi da se plava svetlost jače rasejava nego crvena. Pri prolasku belog svetlosnog snopa kroz rasejavajuću sredinu, iz njega se rasejava najviše plava komponenta, pa zbog toga iz sredine izlazi snop u kojem preovlađuju crvena komponenta.

1871. Dž. S. Rejli je na ovaj način objasnio rezultate Tindalovog eksperimenta i dao teoriju rasejavanja svetlosnih talasa na česticama, koje su mnogo manjih dimenzija od talasne dužine svetlosti. Rejljev zakon glasi: *Jačina rasejane svetlosti proporcionalna je četvrtom stepenu frekvencije svetlosti, ili drugačije govoreći, obrnuto proporcionalna četvrtom stepenu talasne dužine svetlosnih talasa.*

Primenjujući Rejljev zakon na rasejavanje Sunčeve svetlosti u Zemljinoj atmosferi, lako se može objasniti i plava boja dnevnog neba i crvena boja Sunca na izlasku i zalasku. Ako se svetlosni zraci sa većim frekvencijama rasejavaju intenzivnije, spektar rasejane svetlosti će biti pomaknut u stranu viših frekvencija (bela svetlost postaje plava), a spektar svetlosti koja ostaje u snopu (pošto je pretrpela rasejavanje, svetlost je napustila snop) biće pomaknut u suprotnu stranu – ka nižim frekvencijama (bela svetlost postaje crvenkasta).

Gledajući dnevno nebo, posmatrač prima svetlost, *rasejanu u atmosferi*; prema Rejljevom zakonu, spektar te svetlosti će biti pomeren u stranu viših frekvencija, pa otuda i plava boja neba. Gledajući prema Suncu, posmatrač prima svetlost, koja je prošla kroz atmosferu *bez rasejavanja*; spektar te svetlosti pomeren je u stranu nižih frekvencija. Što je Sunce bliže liniji horizonta, duž je put kojim svetlosni zraci prolaze kroz atmosferu pre nego što stignu do posmatrača, pa se tada u većoj meri njihov spektar pomiče. Kao rezultat, izlazak (zalazak) Sunca se vidi u crvenim tonovima. Takođe, potpuno je jasno zašto je donji deo Sunčevog diska više crven, nego njegov gornji deo.

Dakle, zavisnost intenziteta rasejane svetlosti od njene frekvencije igra glavnu ulogu.

Plavetnilo neba se zapaža do visine od oko 61 000 m. Ono je izazvano rasipanjem ili difuzijom sunčeve svetlosti u atmosferi na molekulima vazduha. Pošto je ustanovljeno da je najjača difuzija svetlosti malih talasnih dužina, tj. ljubičastih i plavih komponenti, nebo nam se pokazuje u plavoj boji. Da se podsetimo, vazduh je providno telo i sam po sebi nije plave boje.

Delići zamućenosti, koji sve češće postoje u atmosferi, ponekad narušavaju pravila difusnog odbijanja. Na primer, ako su deliči zamućenosti takvih dimenzija da favorizuju rasipanje ljubičastih i/ili crvenih talasnih komponenti, nebo može poprimiti i ove boje. Međutim, vrlo često su deliči zamućenosti mnogo većih dimenzija od molekula vazduha, pa se zbog toga od njih odbijaju podjednako svi zraci, a nebo poprima beličastu boju. Tako, nebo je često tim beličastije, što je zamućenost veća.

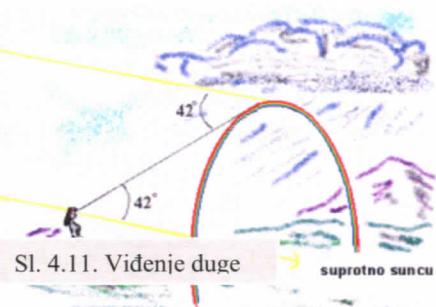
4.3.2. Duga

Jedna od optičkih pojava je duga. U vreme oluja i pljuskova, na nebu postoji „zavesa“ sitnih kapljica kiše. Kapljice lome sunčeve zrake svetlosti prema talasnoj dužini i reflektuju ih prema različitim uglovima. Tada se prepoznaju boje od jarko crvene do tamno ljubičaste. Pojava razdvajanja svetlosti na svoje komponente se zove difrakcija, a može se videti i na prizmi.

Duga se vidi samo kada Sunce tek izvire iz kišnog oblaka. Kada svetlosni zraci prolaze kroz kapljice vode raspršene u vazduhu, nastaje duga. Može se videti kad kiša pada na jednom delu neba, a Sunce sija na drugom delu. Da bi se mogla videti duga, Sunce mora biti iza posmatrača, koji je okrenut prema kiši. Centar duge je tačno nasuprot Sunca. Što je Sunce bliže horizontu, vidi se veći deo duge. Za Sunce na horizontu, videli bismo dugu kao polovinu kruga sa najvišom tačkom luka 42° iznad horizonta.

Tako je moguće posmatrati i sličnu dugu, koja nastaje na pozadini mlaza vodopada ili fontane (sl.4.12).

Do prelamanja svetlosti dolazi zato što svetlost putuje različitom brzinom u supstancama različite gustine. Pri nailasku na granicu dve sredine menja se brzina svetlosti i dolazi do prelamanja. Ugao preloma može se izračunati prema Snellovom zakonu preloma:

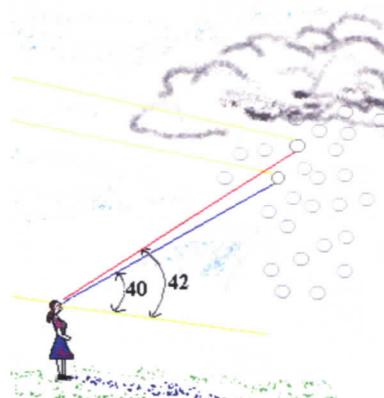


Sl. 4.12. Duga u pozadini vodopada

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \quad (4.3)$$

gde je α upadni ugao, β je ugao preloma, a n_1 i n_2 su indeksi prelamanja supstanci.

Ako je ugao između prelomnog zraka i normale na površinu kapi veći od kritičnog ugla, svetlosni zrak će se reflektovati od unutrašnje strane kapi. Kritični ugao za vodu je 48° (u odnosu na normalu). Ako svetlosni zrak padne na kap pod uglom manjim od 48° , svetlosni zrak će proći kroz kap, a ako je ugao veći od 48° , svetlosni zrak će se totalno reflektovati od unutrašnjeg dela kapi i opet prelomiti pri izlasku iz kapi. Kao i kod prizme, pri prvom prelamanju se svetlost razlaže u zrake različite talasne dužine (boje), a drugi prelom povećava razliku između zraka.



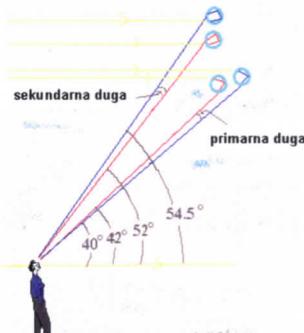
Iz svake kapi samo jedna od boja dolazi do oka posmatrača. To možemo pogledati na primeru dve kapi (sl. 4.13.) od kojih se jedna nalazi iznad druge. S obzirom da se talasi različitih boja (talasnih dužina) različito prelamaju, iz više kapi do posmatrača će doći crvena svetlost, a iz niže kapi do posmatrača će doći ljubičasta svetlost. Vidimo da se zato boje primarne duge menjaju od crvene na vrhu do ljubičaste na dnu duge.

Sl. 4.13. Primer dve kapi

Sekundarna duga

Sekundarna duga se nalazi iznad primarne i nastaje kada se svetlost u kapi dva puta reflektuje. Pri svakoj refleksiji se intenzitet svetlosti smanjuje. Broj svetlosnih zraka koji se dva puta reflektuje je manji i manjeg su intenziteta (tj. deo zraka se prelomi i čini primarnu dugu, a deo se još jednom reflektuje i čini sekundarnu dugu). Zato je sekundarna duga manje sjajna od primarne.

Boje sekundarne duge su obrnute od onih u primarnoj. Crvena svetlost dolazi do posmatrača iz nižih kapi, a ljubičasta iz viših.



Sl. 4.14. Primarna i sekundarna duga

4.3.3. Halo

Svetao prsten, koji u duginim bojama često okružuje Mesec, a ređe Sunce, naziva se „halo“ efekat. Obično se dešava kada tih vremena smenjuje vetrovito, vazdušni pritisak opada, a nebo se čini malo beličastim, tako da Sunce (ili Mesec) svetli kao kroz mlečno staklo. Konture Sunca (Meseca) se tada čine nejasnom, a sve oko njega kao da je osvetljeno naročitim svetlom. Oko Sunca u takvim danima nastaje dovoljno jarki prsten, čiji radijus posmatrač može da vidi pod uglom od 22° . Posmatrani halo može da izgleda veoma raznoliko – kao svetleći prsten, stub, krst, a dugine boje

su raspoređene tako, da je crvena u unutrašnjosti prstena, a ljubičasta na njegovoj periferiji. Potpuna struktura haloa se u stvarnosti nikada ne vidi u celini, svaki put pred posmatračem nastaju samo neki elementi te strukture.

Halo može da se posmatra kada su u pozadini cirostratusi (perjasto-slojeviti oblaci) ili drugi oblaci, koji se sastoje od sitnih ledenih kristalića.

Uzrok nastajanja haloa je prelamanje svetlosti u ledenim kristalićima i odbijanje od njihovih rubova. Usled tog prelamanja, elementi haloa su blago obojeni u duginim bojama. Da bi nastao halo, važno je da kristalići u oblacima imaju pravilan oblik, oblik šestostranih prizmi. Pošto najmanji ugao skretanja za te kristaliće iznosi 22° , oko posmatrača primiče samo prelomljene zrake za uglove veće od 22° u odnosu na Sunce (ili Mesec), dok za manje uglove neće primiti, tako da će prostor između Sunca i unutrašnje strane prstena izgledati taman. Kako crveni zraci pri prelamanju manje skreću, nalaze se na unutrašnjoj strani, dok ljubičasti više skreću i nalaze se na spoljašnjoj strani prstena.

Po svojoj prirodi, halo je srođan dugi. Duga nastaje kao rezultat prelamanja i odbijanja svetlosnih zraka u kapljicama kiše, dok je halo povezan sa prelamanjem i odbijanjem svetlosti u ledenim kristalićima oblaka. Dugu posmatrač vidi na strani nasuprot Suncu, dok za posmatranje haloa potrebno okrenuti se licem ka Suncu. Posmatrač dugu vidi pod najvećim uglom skretanja zraka za svaku boju, a sekundarnu – pod najmanjim. Glavni i veliki halo nastaju kao rezultat dvostrukog prelamanja zraka na kristalićima – prizmama. Posmatrač vidi halo pod najmanjim uglom skretanja zraka.



Sl.4.15. Halo

4.3.4. Fatamorgana

Zamislite u sebi užarenu pustinju, a oko sebe - užareni pesak . . . Odjednom, negde ispred, na ivici horizonta, pojavljuje se jezero! To čudo se predstavlja savršeno realnim. Čini se da je potrebno preći samo kilometar-dva i osveženje je tu.

Inverzijom temperature, u atmosferi nastaje fatamorgana, optička pojava (varka), u kojoj se na dalekom horizontu javlja invertovan lik udaljenog predmeta. Ponekad se vidi i lik objekta kao i nekoliko naizmeničnih likova objekta i njegovog ogledalskog lika.

U sredini, čija je optička gustina promenljiva, svetlosni zraci se kreću krivolinijski. Zbog promene optičke gustine vazduha, prouzrokovane gradijentiom temperature (optička gustina opada sa porastom temperature), posmatrač, pored direktno viđenog objekta, može da vidi i njegov lik: *gore*, zbog povišene temperature vazduha, pri tlu, posmatrač ima utisak da se objekat ogleda u vodi, pa tako, posmatrač vidi *donju fatamorganu; dole*, zbog inverzije temperature, posmatrač vidi još jedan, daleko iznad položaja objekta – *gornja fatamorgana*. Donja fatamorgana se čašće viđa od gornje, a javlja se usled totalne refleksije na sloju vrelog vazduha pri zemljinoj površini.

Gornja fatamorgana se javlja nad hladnom površinom zemlje, pri inverznoj raspodeli temperature (temperatura raste sa visinom). Donja fatamorgana se javlja pri vrlo velikom gradijentu temperature (pad temperature sa porastom visine), nad pregrejanom ravnom površinom, pustinjom ili pregrejanim asfaltom. Ogledalska refleksija neba stvara iluziju postojanja vode na površini.

U pustinjama se javljaju obe vrste fatamorgana (gornje i donje), koje stvaraju iluziju o postojanju velike vodene mase (jezera) u daljini. Tu je reč o refleksiji (dakle, nije plod maštice) slike neba sa toplog vazduha iznad peska. Na asfaltiranim putevima, fatamorgana stvara utisak da se nebo ogleda u barici vode.



Sl. 4.16. Fatamorgana na asfaltu

Do totalne refleksije dolazi pri prelasku svetlosti iz optički gušće u optički ređu sredinu. Asfalt (i pesak) upijaju Sunčeve zrake i tu toplotu prenose vazduhu iznad, zbog čega njegova gustina i indeks prelamanja postaju niži od okolnog vazduha, koji je znatno hladniji. Totalno se reflektuju samo zraci koji padaju pod vrlo malim uglom u odnosu na ravan refleksije, dakle, zraci koji dolaze iz udaljenih objekata koji su nisko na horizontu.

Govoreći striktno, fatamorgane su posledica refrakcije (prelamanja), a ne refleksije (odbijanja) svetlosti, ali je, zbog jednostavnosti, opis dat preko refleksije.

Na tamnom nebu se prvi Sunčevi zraci ukazuju (samo na horizontu) zbog superprelamanja. Nebo je tamno jer je Sunce daleko ispod horizonta. Zbog velike razlike u temperaturi vazduha dolazi do super-prelamanja, što na samom horizontu stvara iluziju da je Sunce već granulo (sl.4.17.).



Sl. 4.17. Fatamorgana Sunca



Sl. 4.18. Fatamorgana – dva Sunca

Izlazak dva Sunca je iluzija nastala dvostrukim prelamanjem svetlosti. Gornji lik Sunca je ogledalska slika Sunca koje još nije izronilo iznad horizonta (sl.4.18.).

Inverzija temperature nad morem (sl.4.19.)



Sl.4.19. Fatamorgana nad morem



Inverzija temperature nad kopnom (sl.4.20.)

4.3.5. Polarna svetlost

Polarna svetlost je pojava visoke atmosfere. Ona se javlja u obliku lukova, pruga, draperija ili zavesa. Polarna svetlost je posebno dobro vidljiva u polarnim predelima, po čemu je i dobila naziv. Pri jakoj polarnoj svetlosti celo nebo može biti osvetljeno. Ona se pojavljuje na visini iznad 61 000 m, a najčešće između 100 650 m i 91 500 m.

Postojanje polarne svetlosti najtešnje je povezano sa magnetnim poljem Zemlje. Protoni i elektroni u obliku korpuskularne radijacije dospevaju na pomenute visine. Oni tada počinju da slede linije sila magnetnog polja Zemlje i tom prilikom u sudaranju sa atomima i molekulima vazduha stvaraju polarnu svetlost. U svetu preovlađuje emisija atomskog kiseonika - zelenkasta linija na 557,7 nm i (naročito kod elektrona niže energije i na većim visinama) tamno crvena linija na 630,0 nm. Obe linije potiču od zabranjenih prelaza atomskog kiseonika sa energijskih nivoa koji su (u odsustvu sudara) stabilni čime se objašnjava

Sl.4.22.Polarna svetlost



sporo paljenje i gašenje (0,5 - 1 s) aurorinih zrakova. Mnoge druge spektralne linije takođe su zastupljene, naročito one molekulskog azota, i one se pale i gase mnogo brže, otkrivajući pravi dinamički karakter aurora. Aurore takođe mogu da se opaze u ultraljubičatom (UV) delu spektra, što se posebno dobro registruje iz svemira (ali ne i sa zemlje jer atmosfera apsorbuje UV zrake). Svemirska sonda "Polar" je registrovala auroru čak i u području X-zraka.

Na severu se naziva aurora borealis (*Aurora borealis*), a kada se javi na Južnom polu aurora australis (*aurora australis*). Pošto su obe aurore istog porekla naučnici pojavu nazivaju „polarna aurora“ ("aurora polaris" - lat. severna zora).

Pojava polarne svetlosti vezana je za magnetne bura koje su opet povezane sa jedanaestogodišnjim ciklusom aktivnosti sunčevih pega. Takođe je uočeno da do geomagnetskih bura najčešće dolazi u vreme ravnodnevice, dakle u rano proleće ili jesen što je pomalo zagonetno jer aktivnost na polovima nema mnogo veze sa godišnjim dobima.

Aurora je primećena i na Jupiteru i Saturnu, planetama čija su magnetska polja mnogo jača od Zemljinog. Pokreće ih, kao i na Zemlji, Sunčev vetar. Jupiterovi meseci, posebno Io, takođe uzrokuju snažne aurore koje se javljaju zbog električnih struja duž linija sila magnetskog polja između rotirajuće planete i meseca koji kruži oko njega. Io (koji ima aktivni vulkanizam i jonsferu) je posebno snažan izvor aurore; njegove struje emituju i radiotalase, otkrivene 1955.

Nedavno je polarna svetlost otkrivena i na Marsu; zbog nedostatka jakog magnetskog polja, ranije se verovalo da je to nemoguće.

4.4. Jednostavni ogledi

U Osnovnoj školi u VIII razredu i u Srednjoj školi u III razredu, u okvirima nastavnih tema gde se izučavaju osobine svetlosti u optici i zakoni geometrijske optike, pogodno je izvesti sledeće oglede:

1. Eksperiment plavog neba

- Cilj ovog ogleda je zapažanje uslova koji postoje u atmosferi i uslova koji stvaraju plavu boju neba.
- Za izvođenje ogleda potrebna je lampa, providna plastična boca od 2 litre, čaj ili mleko i voda.
- Boca od 2 litre se napuni vodom do $\frac{3}{4}$ njene visine. Lampa se postavi tako da osvetljava bocu sa strane. U vodu se doda kašikica mleka ili čaja, boca se zatvori i trese dok se voda i mleko (čaj) ne pomešaju. obratiti pažnju šta se vidi!
- Mleko (čaj) se i dalje dodaje, sve dok se ne zapazi plava svetlost koja se iz smeše širi. Kada se zapazi plava svetlost, dodaje se još mleka (čaja) u bocu, sve dok se ne izgubi plava boja i ne pojavi narandžasta ili crvena.
- *Objašnjenje:*

Atmosfera najviše rasejava talasne dužine svetlosti koje odgovaraju plavoj boji. Upravo iz tog razloga je i nebo plave boje. Crvena i narandžasta boja u atmosferi, pri izlasku i zalasku Sunca, nastaju iz razloga što rasejanje zavisi i od ugla pod kojim se Sunce nalazi. Isto važi i za napravljenu smešu – mnogo više od ostalih, ona rasejava talasne dužine svetlosti koje odgovaraju, upravo, plavoj boji.

2. Napravi dugu I

- Cilj ovog ogleda je da se stvore uslovi potrebni za nastanak duge. Od materijala je potrebna čaša vode, list belog papira i Sunce
- Čaša se do vrha napuni vodom i stavi na sto tako da je pola čaše na stolu, a pola van njega. Sunce treba da obasjava čašu.
- List belog papira se stavi na pod i podešava se položaj papira i položaj čaše, sve dok se na papiru ne formira duga.
- *Objašnjenje:* Sunčeva svetlost je bela i razlaže se na sledeće boje: crvenu, narandžastu, žutu, zelenu, plavu, indigo-plavu i ljubičastu. Prolazeći kroz vodu, svetlost se razlaže na boje koje možemo da vidimo i u dugi.

Napravi dugu II

- Postaviti plitko korito na jako sunce i ogledalo uspravno uz jednu stranu korita. Posmatrati zid.
- U zamraćenoj sobi držati trostranu prizmu, prema suncu ili drugom izvoru svetlosti, na primer sijalici ili lampi. Pogledati zid, plafon ili pod sobe.



- **Zapažanje:** Vide se dugine boje.
- **Objašnjenje:** Razdvojene su boje (spektar) koje čine belu svetlost. Kada svetlost iz vazduha prolazi kroz staklo ili vodu zraci menjaju pravac. Prelamaju se (refrakciju). Različite boje se različito prelambaju: najviše se prelambi ljubičasta, a najslabije crvena. Kada svetlost izlazi iz stakla ili vode različite boje se kreću u (nešto malo) različitim pravcima i padaju na zaklon na različitim mestima. Duga na nebu nastaje kada sunčeva svetlost prolazi kroz vodene kapljice u vazduhu. Vodene kapljice skreću sunčeve zrake i formiraju spektar.

5. Ozonski omotač

Ozon je alotropska modifikacija kiseonika, sa po tri njegova atoma po molekulu. Ozon je inače otrovan gas, ali za život na Zemlji je od izuzetnog značaja.

Ozonski omotač se nalazi u Zemljinoj stratosferi, na visini od 15 do 50 km i, u poređenju sa veličinom naše planete, tanak je kao ljska jabuke. Ovaj pojas ozona zadržava deo Sunčevog zračenja koji se odbija od Zemljine površine, čineći je optimalno toplom za razvoj biljnog i životinjskog sveta. Takođe, ozon apsorbuje skoro svu količinu, za organizme štetnih, ultraljubičastih zraka koje bi u protivnom štetno delovale na žive organizme na Zemlji.

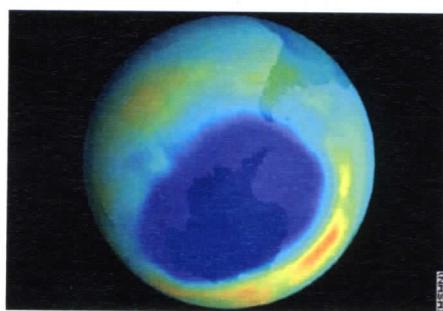
U atmosferi, ozon nastaje uz pomoć električnih pražnjenja pri visokim temperaturama ili reakcijama između atomskog i molekularnog kiseonika uz pomoć UV zračenja.

Nedostatak ozonskog omotača, odnosno njegova oštećenja, u zavisnosti od veličine, mogu prouzrokovati rak kože, očnu kataraktu i, što je od izuzetne važnosti za opstanak živog sveta - odumiranje planktona, jedne od osnovnih karika u lancu ishrane.



Oštećenja ozonskog omotača postojala su i pre čovekovog bitisanja na plavoj planeti, usled oslobađanja prirodnih gasova iz vulkana i životinjskog sveta.

Danas, međutim, upravo je čovek doprineo stalnom oštećenju ozonskog omotača. Najtanji sloj ozonskog filtera je iznad Antarktika, gde se posmatranje vrši od 1957. godine. Tamo je došlo do pojave ozonskih rupa veličine površine dve Evrope. Pored ovog, zabeleženo je postojanje i više promenljivih oštećenja, čiji se obimi menjaju po geografskim širinama i godišnjim dobima. Naime, što je temperatura manja-oštećenja su veća.



Sl.5.2.Oštećenje ozonskog omotača

Glavni mehanizam destrukcije ozonskog omotača iniciraju freoni. Freoni spedaju u hlorofluorouglovodonike koji su prvi put proizvedeni 1934. godine, a od tada se do nedavno

njihova proizvodnja stalno povećavala. Uz pomoć UV zračenja molekuli freona gube hlor, a svako atom hloru stupa u lančane reakcije sa više od 100000 molekula ozona, pretvarajući ga u kiseonik. Smanjenje ozonskog sloja za 10% manifestuje se kao povišenje intenziteta UV zračenja za oko 20%, što znači povaćanje obolelih od raka kože za oko 2% (desetine miliona potencijalno obolelih). Kod biljaka UV zračenje izaziva oštećenje hlorofila i fitohormona.

Da nada ipak postoji pokazala su najnovija istraživanja prema kojima se ozonski omotač obnavlja i ovim tempom trebalo bi da se oporavi do 2050. godine na umerenim geografskim širinama, a do 2065. godine i nad južnim polom. Razlog njegove obnove je potpisivanje i uspešno sprovođenje Montrealskog protokola iz 1987. godine, kojim je doneta odluka o smanjenju i postepenom prestanku proizvodnje svih supstanci koje oštećuju omotač. Na pet sledećih konvencija, održanih u Londonu, Kopenhagenu, Beču, Montrealu i Pekingu samo su potvrđeni potpisi novih zemalja i podaci o postignutim uspesima. Sjajan rezultat-smanjenje proizvodnje halona i freona za 89% do 2000. godine, u odnosu na nivo sa početka osamdesetih.

6. Efekat staklene bašte

Deo topote koju Sunce predaje Zemlji se odbija od površine i napušta atmosferu. Nagomilavanjem CO₂ na ozonski omotač sprečava se otpuštanje topote i dovodi do zagrevanja (efekta staklene bašte). Efekat staklene bašte je izraz za zagrevanje planete Zemlje nastalo poremećajem energetske ravnoteže između količine zračenja koje od Sunca prima i u svemir zrači Zemljina površina. Ovaj efekat predstavlja rezultat povećanja količine zračenja koje ne može od površine Zemlje da bude emitovano u svemir, već ga atmosfera upije i postane toplija. Atmosfera Zemlje odbija deo (37-39%) energije koju Sunce direktno emituje (albedo), dok ostatak (zračenje manjih talasnih dužina) pada na tlo i zagreva ga, a tlo potom emituje infracrvene zrake (manjih talasnih dužina) koji, u normalnim okolnostima, uglavnom odlaze u svemir. Međutim ukoliko u atmosferi postoje gasovi koji upijaju ovakvo zračenje, doći će do povećanja temperature atmosfere. To se dogodilo sa atmosferom Zemlje.

Ukratko, Sunce emituje energiju raznih talasnih dužina, dobar deo toga stigne do Zemljine površine, doprinosi stvaranju i održavanju svog života na Zemlji, a deo tog zračenja potom biva emitovan u svemir i priroda je u ravnoteži. Ako nešto zadrži deo tog zračenja, ravnoteža se kvari i nastaju problemi. Ono što zadrži zračenje je poznato pod nazivom gasovi staklene bašte , a problemi koji nastaju su poznati pod nazivom globalno zagrevanje.

Sunce, koje se nalazi na temperaturi od približno 6000 K, emituje zračenje svih talasnih dužina. Energija ovog zračenja na osnovu Štefan-Bolcmanovog zračenja,

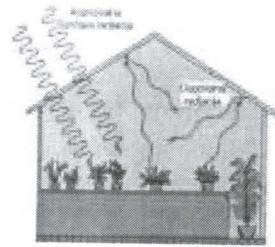
$$E = \sigma T^4, \quad (6.1)$$

proporcionalna je četvrtom stepenu temperature. Oko 30% ovog zračenja apsorbuje atmosfera, dok ostatak pada na Zemlju. Obzirom da je temperatura Zemlje oko 300 K, na osnovu Vinovog zakona,

$$\lambda = \frac{b}{T}, \quad (6.2)$$

ona reemituje zračenje čiji je maksimum talasne dužine oko 20 puta veći od Sunčevog spektra i pada u oblast infracrvenog zračenja. Gasovi staklene bašte apsorbuju ovakvo zračenje što dovodi do povećanja temperature atmosfere.

Efekat nastaje na sličan način kao u stakleniku, gde Sunčevi zraci vidljivog i ultraljubičastog dela spektra prodiru kroz staklo i greju tlo ispod stakla. Tlo potom emituje infracrveno zračenje koje ne može proći kroz staklo, zadržava se unutra i tlo ostaje zagrejano. Usled toga je u staklenicima mnogo toplije nego izvan njih. Na isti način se ponaša i planeta Zemlja ukoliko postoji neka materija koja će se ponašati kao stakleni krov. Prilikom izbacivanja iz fabričkih dimnjaka i auspuha automobila ugljenik-dioksid i ostali štetni gasovi formiraju omotač oko Zemlje koji propušta toplotu da prodre do površine ali ne i da se vrati u vasionu. Na ovaj način površina Zemlje postaje sve toplija i iz godine u godinu temperature su sve više.



Razlog koji dovodi do efekta staklene bašte, usled kojeg dolazi do zagrevanja površine Zemlje drugačiji je od onog u staklenoj bašti, gde do zagrevanja dolazi usled smanjene cirkulacije vazduha i mešanja zagrejanog vazduha, a ne zbog same apsorbacije Sunčevog zračenja. Ipak, ovaj pojam je široko rasprostranjen i opšte prihvaćen. Prilikom refleksije od površine Zemlje molekuli gasa apsorbuju energiju i prelaze u pobuđeno stanje, a prilikom povratka u osnovno stanje reemituju istu količinu energije ka Zemlji. Zemlja je na 37°C i reflektuje λ_{\max} , a energija $E = \frac{hc}{\lambda_{\max}}$ odgovara prelasku u prvo pobuđeno stanje.

Gasovi staklene bašte:

- Vodena para (H_2O)
- Ugljen dioksid (CO_2)
- Metan (CH_4)
- CFC · HCF · PHC (takođe i F gasovi, fluorisani ugljovodonici)
- Azotuboksid (N_2O)
- Sumpor heksafluorid (SF_6)

Koncentracija ovih gasova u atmosferi (osim vodene pare) raste usled čovekovog delovanja.

Posledice:

- Porast temperature za $1,5 — 4,5^{\circ}\text{C}$ na $100 — 150$ godina
- Topljenje polarnog leda
- Porast nivoa mora
- Povećanje isparavanja mora i usto i povećanje oblačnosti

Smatra se da je zbog ekstremnog povećanja temperatura živi svet na Zemlji sve ugroženiji. Sve više izumiru razne biljne i životinske vrste.

6.1. Jednostavni ogledi

Sledeće oglede pogodno je izvesti u IV razredu Srednje škole, kada se u okviru nastavne teme „Toplotno zračenje i kvantna priroda elektromagnetskih talasa“ u nastavnoj jedinici „Zakoni zračenja absolutno crnog tela“ izučavaju Vinov i Štefan-Bolcmanov zakon:

1. Napravi svoju staklenu baštu

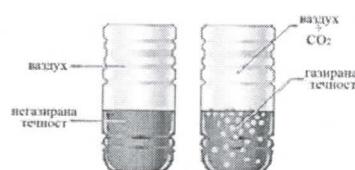
- Cilj ogleda je da se zapaze i stvore uslovi pod kojim dolazi do „efekta staklene baštice“. Takođe, potrebno je ukazati na posledice koje ovaj efekat izaziva. Za izvođenje ogleda, potrebna su predznanja osnovnih termodinamičkih veličina (temperature, topote).
- Za realizaciju ogleda je potreban sledeći materijal: dve kartonske kutije, crni papir i plastična folija, plastično zvono za pokrivanje torti, dve lampe sa dve sijalice od 100 W, zemlja i voda, milimetarski papir i olovka.



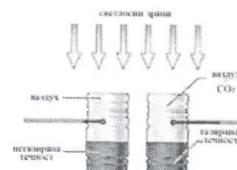
- U svaku od kutija staviti sloj zemlje debljine 2 – 3 cm. Postaviti termometre u kutije tako da ne dodiruju zemlju. Kutije umesto poklopcem zatvoriti providnom folijom. Jednu kutiju poklopiti plastičnim zvonom za torte. Izloži kutije svetlosti sijalica snage 100 W. Očitaj temperature na termometrima svakog minuta u periodu od 15 min. Predstavi grafički promenu temperature u zavisnosti od vremena. Dobijene rezultate iz obe kutije predstavi na istom koordinatnom sistemu, ali različitim linijama (punom i tačkastom) da bi se razlikovali.
- Objašnjenje:* Slično kao i u atmosferi, i u staklenoj bašti, na osnovu Štefan-Bolcmanovog i Vinovog zakona, svetlosni zraci vidljivog i ultraljubičastog dela spektra prodiru kroz staklo i greju tlo ispod njega. Nakon toga, tlo emituje infracrveno zračenje koje ne može da prođe kroz staklo, zadržava se unutra i tlo ostaje zagrejano.

1. Efekat staklene baštice i koka – kola

- Cilj ogleda je stvaranje uslova za nastanak „staklene baštice“ i podizanje ekološke svesti učenika
- Za izvođenje ogleda je potreban sledeći materijal: dve plastične boce, boca sa gaziranom i negaziranom vodom, dva osetljiva termometra, lampa.
- Iseci plastične boce kao na slici 1. Probuši otvor na zidu boce (slika 2) i kroz njega provuci termometar. Iznad boca postavi lampu. Sipaj u jednu bocu negaziranu, a u drugu gaziranu vodu. Uključi lampu i odmah počni merenje temperature. Zabeleži promenu temperature u periodu od 10 minuta na svaki minut. Nacrtaj grafik zavisnosti promene temperature od vremena, u istom koordinatnom sistemu za oba slučaja različitim linijama (puna i tačkasta).



Slika 1



Slika 2

- **Objašnjenje:** Povišena količina CO₂ u vazduhu iznad gazirane vode, izaziva efekat staklene bašte, usled čega se temperatura vazduha brže povećava u odnosu na vazduh iznad negazirane vode. Slično se događa i u atmosferi. Istraživanja su pokazala da bi zbog povećanih temperatura, proređene tropске šume mogle početi da u atmosferu emituju znatne količine ugljen-dioksida, umesto da ga apsorbuju kao do sada. Istraživanja Univerziteta Misuri rasta šest vrsta drveća u starim tropskim šumama u Kostariki, u periodu od 1984. do 2000. godine pokazuju da, rast stabla i emisija ugljen-diokida znatno variraju i to u korelaciji s temperaturom. Tokom najtoplijih godina (1997–98.) rast stabla bio je najslabiji, a apsorpcija ugljen-dioksida umanjena, u korist emisije. Iz toga sledi zaključak da su tropске šume znatno osetljivije na rast temperature nego što se smatralo, što bi moglo da izazove povrtnu spregu u podizanju temperature. Po mišljenju istraživača iz Misurija, to znači da će pluća planete u budućnosti ubrzavati efekat staklene bašte i proces globalnog otopljivanja, umesto da ga usporavaju.

7. Zaključak

Ovaj rad predstavlja pokušaj da se, sa stanovišta fizike i fizičkih procesa, dosegnu atmosferske visine, upoznaju i uoče njene karakteristike i fenomeni koji se odvijaju u njoj. Ali pre dolaska do ciljnih visina, stepenik po stepenik, upoznaju se neki novi i obnavljaju već naučeni sadržaji i pojmovi iz oblasti fizike. Razni navedeni ogledi, pomoću kojih se mogu demonstrirati pojave, koje se u okviru pojedinih nastavnih jedinica obraduju, a tiču se i ove teme, takođe doprinose i većoj zainteresovanosti učenika.

Cilj ovog rada, kao i opšti cilj nastave fizike, jeste da učenici upoznaju prirodne pojave i osnovne prirodne zakone, da steknu osnovnu naučnu pismenost, da se osposobe za uočavanje i raspoznavanje fizičkih pojava u svakodnevnom životu i za aktivno sticanje znanja o fizičkim pojavama, da kroz znatiželju i istraživanje oforme osnovu naučnog metoda i da se usmere prema primeni fizičkih zakona u svakodnevnom životu i radu.

Kao sporedni, ali nikako manje važan, cilj ovog rada je shvatanje povezanosti fizičkih pojava i ekologije i razvijanje svesti o potrebi zaštite, obnove i unapređivanja životne sredine.

Ovim su obuhvaćena dva osnovna cilja svakog nastavnog procesa: obrazovni (koji se ogleda u sticanju znanja i veština na osnovu kojih se formira pogled na svet i koja predstavljaju osnovu za neku praktičnu delatnost) i vaspitni (kojim se razvijaju osobine neophodne svakom članu društvene zajednice u kojoj živi – određena pravila ponašanja).

8. Literatura

1. Лав Васильевич Тарасов, *Физика в природе*, Просвещение, Москва, 1988.
2. Milivoj B. Gavrilov, *Vazduhoplovna meteorologija*, JAT Flight Academy, Vršac, 2001.
3. Milorad Mlađenović, Mirko Jakšić, *Istorija klasične fizike za učenike Srednjih škola*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, Zavod za udžbenike, Novi Sad, 1993.
4. Pavle Vujević, *Meteorologija*, Prosveta – izdavačko preduzeće Srbije, Beograd, 1948.
5. Agneš Kapor, Radomir Kobilarov, *Termodinamika i molekulska fizika*, Stylos-Novi Sad, 1995.
6. Escript.api-*Lokalni vetrovi-Opšta cirkulacija atmosfere*, 15. mart 2001.
7. Escript-*Pojave u atmosferi*, 15. mart 2001
8. J. I. Pereljman, *Zanimljiva fizika*, Izdavačko preduzeće narodne tehnike, Beograd, 1949.
9. Dušanka Ž. Obadović, *Jednostavni eksperimenti u nastavi fizike*, skripta, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, 2008.
10. Jaroslav Slivka, *Elektromagnetizam*, skripta, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, 2006.
11. Jaroslav Slivka, *Optika*, skripta, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, 2007.
12. Ante Vujić, *Zaštita životne sredine*, Symbol-Novi Sad, 2005.
13. Centar za kožne tumore, *UV zračenje i ozonski omotač*, Pančevo, 19. decembar 2008.
14. Magazin *Astrosvet*, *Zemljina atmosfera*, novembar 2008
15. Magazin *National Geographic*, *Ozonski omotač*, tekst:A. Milivojević, 1. oktobar 2007.
16. Marietta Enss,Ragnar Muller (redakcija), *Gasovi u staklenoj bašti*, jun 2007.
17. Marko Miladinović, Ozonski omotač, februar 2007.
18. Novinska agencija *BETA*, *Ozonski omotač i UV zračenje*, septembar 2008.
19. Internet sajtovi:
 - [www.wikipedia.org/wiki/Efekat staklene bašte](http://www.wikipedia.org/wiki/Efekat_staklene_baste), datum poslednje izmene 27. novembar 2007.
 - [www.dwelle.de/serbian/Efekat staklene bašte](http://www.dwelle.de/serbian/Efekat_staklene_baste), datum poslednje izmene 3. januar 2007.
 - www.askeric.org
 - www.b92.net/info/život/nauka/php, 1. decembar 2005.
 - www.eduref.org.
 - [www.mycity.co.yu/nauka/fizika/latentna toploata](http://www.mycity.co.yu/nauka/fizika/latentna_toplota), 1.decembar 2005.
 - www.ourenergy.com (Milenko Kusurović, Ekologija), 2007
 - [www.SerbianMeteo.com/Atmosfera po slojevima](http://www.SerbianMeteo.com/Atmosfera_po_slojevima), 20.jun 2008.
 - [www.topvita.info/Ozonski omotač](http://www.topvita.info/Ozonski_omotač), 19. maj 2005.
 - www.weatherwizkids.com
 - www.wikipedia.org/wiki/Meteorologija, datum poslednje izmene 8. januar 2009.
 - [www.wikipedia.org/wiki/Ozonski omotač](http://www.wikipedia.org/wiki/Ozonski_omotač), datum poslednje izmene 25. oktobar 2007.
 - www.wikipedia.org/wiki/toplota, datum poslednje izmene 16. mart 2006.
 - www.wikipedia.org/wiki/temperatura, datum poslednje izmene 27. novembar 2008.

Kratka biografija kandidata



Milica Ranisavljević rođena je 06.11.1986. godine u Bačkoj Palanci. Osnovnu školu „Vuk Karadžić“ završava u Bačkoj Palanci i uporedo sa njom završava i Nižu Muzičku školu „Stevan Hristić“, na odseku za žičane instrumente.

Od 2001. godine učenik je Gimnazije „20. Oktobar“ (opšti smer) u Bačkoj Palanci. Nakon završetka Srednje škole, 2005. godine, upisuje se na Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu, na Departmanu za fiziku, smer profesor fizike.

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD

Tip zapisa:

TZ

Vrsta rada:

VR

Autor:

AU

Mentor:

MN

Naslov rada:

NR

Jezik publikacije:

JP

Jezik izvoda:

JI

Zemlja publikovanja:

ZP

Uže geografsko područje:

UGP

Godina:

GO

Izdavač:

IZ

Mesto i adresa:

MA

Fizički opis rada:

FO

Naučna oblast:

NO

Naučna disciplina:

ND

Predmetna odrednica/ključne reči:

PO

UDK

Čuva se:

ČU

Važna napomena:

VN

Izvod:

IZ

Monografska dokumentacija

Tekstualni štampani materijal

Diplomski rad

Milica Ranisavljević

dr Dušanka Obadović, redovni prof.

Obrada teme: Atmosferske pojave kao primeri u nastavi fizike

srpski/latinica

srpski/engleski

Republika Srbija

Vojvodina

2010

Autorski reprint

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

8/55/19/0/61/0/0

Fizika

Demonstracioni eksperimenti u nastavi

atmosfera, električne i optičke atmosferske pojave, ozonski omotač, efekat staklene bašte

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

nema

U ovom radu prikazana je obrada teme „Atmosferske pojave kao primeri u nastavi fizike“. U cilju boljeg razumevanja ove teme, pored teorijskih objašnjenja i primera, prikazana je implementacija jednostavnih ogleda u proces obrazovanja.

Datum prihvatanja teme od NN

veča:

15.06.2010.

DP

Datum odbrane:

DO

08.07.2010.

Članovi komisije:

KO

dr Agneš Kapor, redovni prof.

član:

dr Maja Stojanović, docent

član:

dr Dušanka Obadović, redovni prof.

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT

Monograph publication

TR

Textual printed material

CC

Final paper

AU

Milica Ranisavljević

MN

Mentor/comentor:

Ph.D. Dušanka Obadović, full prof.

TI

Treatment theme: Atmospheric phenomena as examples in physics teaching

LT

Serbian (Latin)

LA

English

CP

Republic of Serbia

LP

Vojvodina

PY

2010

PU

Author's reprint

PP

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

PD

8/55/19/0/61/0/0

SF

Physics

SD

Demonstrative experiments in teaching

SKW

atmosphere, electrics and optics atmospheric phenomena, Ozone Layer, greenhouse effect

UC

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

HD

none

N

Theme "Atmospheric phenomena as examples in physics teaching" is treated in this work. In order to understand better this theme besides theoretical explanation and examples, the implementation of simple experiments ("Hands on") into the educational process is shown.

AB

15.06.2010.

Accepted by the Scientific Board:

ASB

08.07.2010.

Defended on:

DE

Ph.D. Agneš Kapor, full prof.

Thesis defend board:

DB

Ph.D. Maja Stojanović, assistant professor

President:

Ph.D. Dušanka Obadović, full prof.

Member:

Member:

