



**1-4**

# **FIZIKA**

**ZA UČENIKE SREDNJIH ŠKOLA**



MR. FIZIČAR

# FIZIKA

UČENICIMA SREDNJIH ŠKOLA

Copyright © 2019 Mr. Fizičar

OBJAVLJENO UČENICIMA SREDNJIH ŠKOLA

[HTTPS://GITHUB.COM/RUMI55/FIZIKA](https://github.com/RUMI55/FIZIKA)

Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License"); you may not use this file except in compliance with the License. You may obtain a copy of the License at <http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>. Unless required by applicable law or agreed to in writing, software distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS, WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied. See the License for the specific language governing permissions and limitations under the License.

*Zadnja izmjena, 28. 1. 2019.*

# Sadržaj

*Uvod*      1

*Fizika atomsfere*      7

*Elektrostatika*      13



# Napomena

Ova FIZIKA je projekat započet od strane učitelja fizike iz BiH koji su željni promjena. Knjiga je pisana u  $\text{\LaTeX}$ u koristeći se otvorenim kodom tufte-book i tufte-handout za pisanje.

<https://github.com/rumi55/Fizika>





# Predgovor

...

Treba napisati

## Kako se rješavaju zadaci?

Fizika predstavlja većini jedan od najstrašnijih predmeta u osnovnoj i srednjoj školi. Posebno takvom mišljenju doprinose zadaci, koje vrlo često ne znamo kako da počnemo. Ovaj tekst daće vam nekoliko glavnih smjernica za rješavanje zadataka iz fizike.

Prvo i možda najvažnije pravilo jeste da se zadatak dobro pročita, s ovim dobro mislim na pažljivo i studiozno čitanje koje obično ide u tri etape. Prva etapa (ili prvo čitanje) je čisto da se informišemo o čemu naš zadatak govori. Mnogi se plaše dugih zadataka, tj zadataka sa puno teksta, no obično su oni najlakši, jer sa puno teksta dolazi puno informacija koje nam kasnije pomažu da tak zadatak pravilno riješimo. Druga etapa (čitanje) nam služi da zabilježimo sve podatke koje smo dobili u tekstu. Uobičajeno je da se pišu jedan ispod drugoga, te da se na kraju povuče linija ispod koje pišemo šta se zapravo traži od nas da se uradi u tom zadatku. Treće čitanje (etapa) je vrlo važno, jer u njemu povezujemo sve podatke koje smo dobili. Kada smo završili sa iščitavanjem red je da se bacimo na rješavanje problema. Moj savjet je da se na papiru ispišu sve formule koje znamo, a da su relevantne za dati nam zadatak. Relevantne su one koje u sebi sadrže neke od podataka koje smo dobili, a pored toga moraju da odgovaraju i uslovima opisanim u problemu. Kad smo to uradili, sad je na nama da ih spojimo kao slagalicu. Da na jednoj strani imamo podatak koji se traži od nas, a na drugoj sve poznate informacije iz opisa zadatka.

Ne zaboravite provjeriti cjelokupan zadatak još jednom, nakon proračuna. Provjerite rješenje i kompletan računski dio zadatka, jer se po pravilu uvijek potkrade neka sitna greška, koja nas na kraju košta vrlo važnih bodova. Važno je istaći i to koliko sam rezultat ima smisla. Npr. za rezultat ste dobili temperaturu sobe od 1000 stepeni celzijusa, ili automobil se kreće brzinom 3000 km na čas. Ovakve rezultati trebali bi da vas upozore da ste negdje pogriješili i da bi trebali još jednom da se vratite kroz čitav zadatak.

Autor

# Uvod

## Vektori



MSŠ Travnik

# Fizika atmosfere

[Priručnik za učenike drugog  
razreda]

Pripremio:

Refik Umihanić, prof.  
fizike



Priručnik služi isključivo za internu uporabu za učenike MSŠ Travnik u svrhu materijala za nastavu, ali se može koristiti i za pripreme za polaganje prijemnog ispita na svim fakultetima na kojima se piše prijemni test iz fizike. Dozvoljeno je kopiranje ovog materijala ili njegovih dijelova.



# Fizika atmosfere

## Uvod u meteorologiju

**Meteorologija** je nauka koja proučava zakonitosti koje vladaju u Zemljinom vazдушnom omotaču, i sva fizikalna događanja koja se u njemu realizuju. Zajedno sa seizmologijom, koja proučava nemire u Zemljinoj kori, hidrologijom, koja proučava podzemne i površinske vode na Zemlji, te zajedno sa naukom o Zemljinom magnetizmu, meteorologija spada u grupu geofizičkih nauka. Pošto su sve pojave i promjene koje se zbivaju u atmosferi rezultat fizikalnih zakonitosti, te se one mogu jedino objašnjavati i proučavati valjanom primjenom fizičkih zakona, pa zbog toga meteorologija predstavlja posebnu oblast fizike, koju, nazivamo fizikom atmosfere.

Metodi ispitivanja, pa i zaključci koji se iz toga izvode, ne zasnivaju se isključivo na eksperimentu, kakav je slučaj u eksperimentalnoj fizici, gdje se eksperimenti izvode u laboratorijama pod idealiziranim uslovima. U meteorologiji laboratoriju predstavlja atmosfera, gdje se dešavaju promjene zasnovane na zakonima fizike, ali se te promjene izvode pod drugačijim okolnostima nego kad ih izvodimo u laboratorijama, jer se u ovom slučaju radi o laboratoriji gotovo neograničenih dimenzija. Svi procesi, pa čak i oni najkomplikovaniji, koji se odigravaju u atmosferi, mogu se ispravno objasniti jedino primjenom fizikalnih zakona. Riječ **meteorologija** vuče svoj korijen od grčkih riječi meteoron i logos, što znači: nauka o onome što je iznad Zemlje, dakle, nauka o atmosferi. Sto se tiče njene starosti, možemo reći da je ova nauka stara gotovo toliko koliko je star i sam čovjek, jer je čovjeka uvijek zanimalo taj gasoviti omotač Zemlje bez koga ne bi bilo života.

S obzirom na veliku širinu problematike koju danas meteorologija izučava, kao i s obzirom na sve veće zahtjeve koji su se ovoj nauci počeli postavljati, došlo je i u meteorologiji, kao i u ostalim naukama, do podjele na čitav niz naučnih meteoroloških disciplina. Sve brži tempo razvoja privrednih grana, nagli uspon medicinskih i drugih nauka zahtijevao je sve detaljnija proučavanja pojedinih oblasti meteorologije, pa su se te oblasti danas razvile i sve se više razvijaju u



Slika 1: Ilustracija meteorologije i Zemlje



Slika 2: Ilustracija prognoze vremena



posebne naučne i praktične discipline.

Meteorologija se uglavnom može podijeliti na dinamičku meteorologiju, sinoptičku meteorologiju i aerologiju. Dinamička meteorologija se bavi proučavanjem kretanja vazdušnih masa, služeći se fizikalnim dinamičkim i termodinamičkim zakonitostima. Sinoptička meteorologija je u stvari primijenjena meteorologija, i glavni joj je zadatak predskazivanje vremena, dok se aerologija bavi proučavanjem procesa u slobodnoj atmosferi.

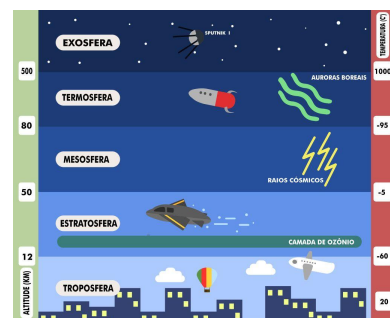
## Pojam i podjela atmosfere

Prve naučne rasprave o Zemljinoj atmosferi pojavile su se još u starom vijeku, ali je tempo razvoja i napredovanja te naučne misli bio spor, da bi napredovanjem fizike i astronomije to se promijenilo. Vazdušni gasoviti omotač koji obavija Zemlju sa svih strana i koji se okreće i pokreće zajedno sa njom u svemiru, zove se atmosfera. Visina atmosfere nije do danas tačno utvrđena, a prema zakonima kinetičke teorije ona i ne može imati jasno definisanu gornju granicu, ali sa druge strane, ta granica bi ipak teorijski morala postojati, i to na onoj visini na kojoj Zemljina teža i centrifugalna sila, koje djeluju na vazdušne čestice, imaju iste vrijednosti. Prema proračunima izvedenim na toj osnovi izlazi da bi se gornja granica atmosfere nalazila na udaljenosti od 5.6 Zemljinih poluprečnika.

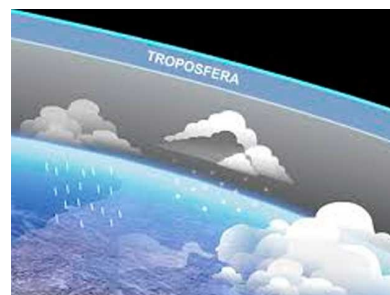
Tako bi njena visina na ekvatoru iznosila 35711km, a na polovima 21644km. Najnovija mjerenja vazdušnog pritiska na visini od 200km su pokazala da je vazduh na toj visini toliko razrijeđen da vazdušni pritisak tamo iznosi nešto oko jednog stotog dijela  $mmHg$ . Prilikom mjerenja visine na kojoj se pojavljuje polarna svjetlost, ustanovljeno je prisustvo vazduha, prvenstveno azota i ozona, na visinama i od 1000km, pa i nešto većim. Prema tome, Zemljina atmosfera nije na gornjem dijelu ograničena već ona postepeno prelazi u »atmosferu« međuzvezdanog prostora koji nigdje nije potpuno prazan. No, visina atmosfere u kojoj je još moguć život čovjeka i velikog broja živih bića sigurno ne prelazi 10km, jer je ustanovljeno da čovjek veoma teško podnosi visine veće od 6km.

U odnosu na ponašanje pojedinih meteoroloških elemenata i pojava na raznim visinama atmosfera ima slojevitou strukturu. Sa porastom visine najizraženije ponašanje ima temperatura. Baš po ovom elementu usvojena je šema vertikalne podjele atmosfere na Zasedanju Međunarodne geodezijske i geofizičke unije 1951. godine. Prema toj šemi atmosfera se dijeli na pet osnovnih sfera ili slojeva, i to: troposferu, stratosferu, mezosferu, termosferu i egzozferu.

**Troposfera** je najniži i najtanji sloj atmosfere. Prostire se od Zemljine površine do 8-10km, odnosno 10 – 12 i 16 – 18km iznad polarnih,



Slika 3: Podjela atmosfere



Slika 4: Ilustracija troposfere

odnosno umjerenih i tropskih širina. U ovom sloju, iako je najtanji, nalazi se oko 3/4 mase atmosfere. U njemu se nalazi skoro cjelokupna količina vodene pare, stvaraju se oblaci i magle, dolazi do pojave padavina u tečnom i čvrstom obliku, razvijaju se grmljavinske nepogode, javljaju se horizontalna i vertikalna kretanja vazduha, turbulencija, mlazna struja i druge meteorološke pojave.

Najbitnija osobina troposfere je opadanje temperature sa porastom visine, koje u proseku iznosi  $6.5^\circ$  na jedan kilometar. Najveći broj aeroloških mjerenja izvršen je u troposferi. Zbog svega toga, troposfera je do danas najviše proučeni sloj atmosfere.

Između troposfere i stratosfere nalazi se prelazni sloj koji se naziva tropopauza. On je relativno vrlo tanak i prosječno iznosi  $1 - 2\text{ km}$ . U njemu temperatura obično raste sa porastom visine (inverzija, a u manjem broju slučajeva je konstantna (izotermija) ili, pak, sporo opada. Za vertikalna kretanja ona predstavlja snažan zadržavajući - kočeci sloj. U neposrednoj blizini donje granice tropopauze često se nalazi mlazna struja. Teoretski, a i empirijski, dokazano je da je visina javljanja mlazne struje u neposrednoj vezi sa visinom javljanja tropopauze. Tropopauza obično ne obavlja cijelu Zemljinu kuglu.

**Stratosfera** se rasprostire od gornje granice tropopauze do visine od 35 do 40 km. U njoj se temperatura sa porastom visine ne mijenja ili, pak, slabo raste.

Raspodjela temperature u stratosferi zavisi od Sunčeve toplote. U njoj se, za razliku od troposfere, ne javljaju vertikalna kretanja ili su, pak, vrlo slabo izražena. Pored toga, nalazi se neznatna količina vodene pare. Na visini između 22 – 27 km ponekad mogu da se vide oblaci, koji su verovatno sastavljeni od vrlo sitnih kapljica prehladene vode. Postanak ovih oblaka tumači se dovodenjem određene količine vodene pare pri povoljnim uslovima (prekid tropopauze) iz troposfere u stratosfera.

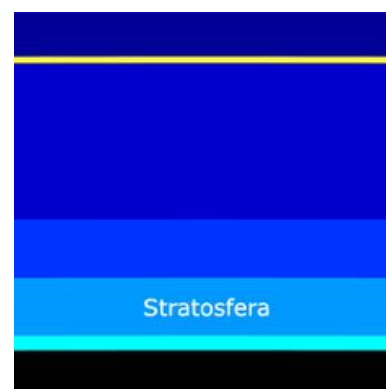
**Mezosfera** obuhvata sloj atmosfere od stratosfere pa do visine od oko 80 km. Pogраниčni sloj između stratosfere i mezofere naziva se stratopauza. Načelno, mezosfera se odlikuje sa dva sloja, i to prvim — toplim, i drugim — hladnim. Topli sloj se rasprostire od stratopauze pa do visine 50 – 55 km. U njemu temperatura brzo raste sa porastom visine, tako da na visini 40 – 50 km iznosi prosjecno  $0^\circ\text{C}$ , a u pojedinim slučajevima može da bude i preko  $+40^\circ\text{C}$ .

Porast temperature uslovljen je apsorpcijom kratkotalasne Sunčeve radijacije od strane ozona, kao i toplotnim zračenjem Zemlje. U ovom sloju se ne pojavljuju vertikalna kretanja. Iznad visine 50 – 55 km temperatura naglo opada i u blizini gornje granice mezofere dostiže vrijednost od  $-70^\circ\text{C}$  do  $90^\circ\text{C}$ . Hladni sloj, za razliku od toplog, karakteriše se turbulencijom i većim brzinama vjetra.

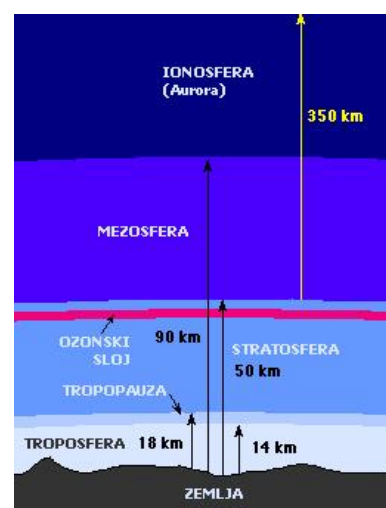
**Termosfera** je sloj atmosfere koji se nalazi iznad mezofere. U njoj

Detaljna proučavanja su pokazala da troposfera može da se podijeli u tri sloja:

- prizemni — neposredni sloj nad površinom Zemlje visok do 100m; u njemu se najjače ispoljava neposredni toplotni utjecaj zemljine površine (zagrijavanje odnosno hlađenje vazduha);
- pogranični sloj — sloj trenja ili poremećaja, prostire se od 100 do 1500m, a odlikuje se mehaničkim miješanjem vazduha; u ovom sloju stvaraju se niski oblaci, naročito u hladnoj polovini godine; ljeti, u umjerenim geografskim širinama, temperatura vazduha je pozitivna, a zimi najčešće negativna;
- sloj slobodne atmosfere — prostire se od pograničnog sloja (1500m) do stratosfere, preciznije rečeno — do donje granice tropopauze; neposredan uticaj spoljašnjeg trenja o neravnine na zemljinoj površini u ovom sloju, načelno, ne postoji;



Slika 5: Položaj stratosfere



Slika 6: Položaj mezofere

temperatura neprekidno raste sa porastom visine i pretpostavlja se da na visini 200km dostiže vrednost od  $200^{\circ}\text{C}$  do  $250^{\circ}\text{C}$ . Prelazni sloj između mezofere i termosfere naziva se mezopauza. Gornja granica termosfere nalazi se na visini od 800 do 1000km. U termosferi gustina vazduha je vrlo mala. Tako na visini 500km ona u prosjeku iznosi  $2.28 \cdot 10^{-15} \text{g/cm}^3$ , a na visini od 800km iznosi  $6.63 \cdot 10^{-17} \text{g/cm}^3$ .

Donja polovina termosfere u osnovi se sastoji od ogromnog broja jona, pa se zbog toga i naziva jonosferom. Ovaj se sloj karakteriše vrlo velikom električnom provodljivošću. U poređenju sa vazduhom pri neposrednoj površini Zemlje, električna provodljivost na visini od 100km je za nekoliko milijardi puta veća. Ipak, u jonosferi se izdvađa nekoliko slojeva, koji, u odnosu na okolnu sredinu, posjeduju znatno veću koncentraciju jona, a time i veću sposobnost da odbijaju, apsorbuju i prelamaju, u većem ili manjem stepenu, radiotalase. Na broj jona u pojedinim jonosferskim slojevima utiče i Sunčevo ultraljubičasto i X-zračenje.

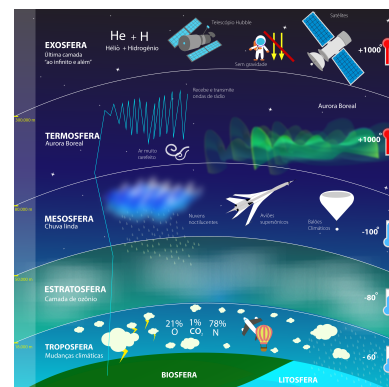
**Egzosfera** je najviši sloj atmosfere, a rasprostire se od termosfere ka međuplanetarnom prostoru. Između termosfere i egzosfere nalazi se prelazan granični sloj termopauza. Rastojanje između čestica gasa u egzosferi toliko je veliko da pojedine čestice (uglavnom helijuma i vodonika), savlađujući silu Zemljine teže, odlaze u međuplanetarni prostor, i obrnuto iz međuplanetarnog prostora ulaze u egzosfera.

## Sastav i gustina vazduha

Glavni sastojci atmosfere su: azot, kiseonik, inertni gasovi i ugljen-dioksid, ne računajući primjese, koje se gotovo redovno javljaju samo u tragovima. Od primjese spomenućemo samo neke najglavnije kao: amonijak, azotni oksidi, jedinjenja sumpora, hloridi, prašina, vodena para, razni mikroorganizmi itd. Srazmjera glavnih sastojaka vazduha je dosta postojana, pa možemo reći da ona vrijedi za cijelu troposferu.

Poseban značaj među dodacima suhom vazduhu ima vodene para. Ona učestvuje vrlo aktivno u mnogim vremenskim procesima, a pored toga ona znatno slabi Sunčevo zračenje i izračivanje toplote od strane Zemlje. Njezina količina u atmosferi je veoma promjenljiva, a u atmosferi se može pojaviti u sva tri agregatna stanja. U nižim slojevima atmosfere ona može pri toplom i vlažnom vremenu dostići i do 4% zapremine, a u toku jako hladnih zimskih dana ona može da spadne i do blizu 0%.

Gustina vazduha (masa u jedinici zapremine) zavisi od vazdušnog pritiska i temperature vazduha, a može se odrediti iz jednačine



Slika 7: Položaj termosfere i egzosfere

## Vazduh

je smjesa, nekih stalnih gasova i ostalih primjesa, koje se tu nalaze u vidu raznih hemijskih jedinjenja te raznih čvrstih, tečnih i gasovitih tvari.

| Gas            | Procentat % |
|----------------|-------------|
| Azot           | 78.03       |
| Kiseonik       | 20.99       |
| Inertni gasovi | 0.95        |
| Ugljen dioksid | 0.03        |

Table 1: Procentualni sastav najvažnijih vazdušnih sastojaka

Iz tabele se jasno vidi da su glavni sastojci atmosfere u stvari azot i kisik i da oni zauzimaju više od 99% cijele zapremine.

gasnog stanja:

$$pV = nRT$$

Ako gustinu vazduha označimo sa  $\rho_v$ , onda zamijenivši u specifičnoj zapremini  $V = \frac{1}{\rho_v}$ , dobivamo da je:

$$\rho_v = \frac{p}{RT}$$

Ova jednačina nam jasno govori da gustina vazduha stoji u upravnom odnosu sa vazдушnim pritiskom, a u obrnutom odnosu sa temperaturom, što znači da gustoća vazduha nije stalna veličina, nego se ona mijenja sa promjenom vazdušnog pritiska i temperature vazduha.

Gornja jednačina vrijedi samo za izračunavanje gustoće suhog vazduha, tj. takvog vazduha u kome uopšte nema nimalo vodene pare. Pošto vazduh uvijek ima stanovite količine vodene pare u sebi, a vodena para je lakša od suhog vazduha.

## Atmosferski pritisak

### Pojam i promjena

Gaisoviti Zemljin omotač, ili vazduh, je tijelo za koje se, doduše, nije znalo da ima svoju težinu sve do Galileja, koji je 1620. godine uspio da to eksperimentalno pokaže. Specifična težina suhog vazduha je 773 puta manja od specifične težine vode, i jedan kubni centimetr suhog vazduha pod normalnim uslovima (gustina  $\rho = 1.29 \text{ kg/m}^3$ , pritisak od  $101325 \text{ Pa}$ , temp. od  $0^\circ\text{C}$ , geogr. širina  $45^\circ$ ) mase je  $1/773 = 0.001293 \text{ g}$ , a težine  $G = 12.65 \text{ N}$ .

Vazdušni ili atmosferski (a često ga naizivamo i barometarski) pritisak se mjeri barometrom, a izražava se u milimetrima visine živinog stuba ( $\text{mmHg}$ ) koji drži ravnotežu vazdušnog stuba istog presjeka. Prema tome, da bi odredili veličinu barometarskog pritiska na nekom mjestu, dovoljno je da odredimo težinu živinog stuba koji njemu drži ravnotežu. Kretanje molekula vazduha po površini uzrokuje pojavu vazdušnog pritiska, koji djeluje u svim pravcima podjednako. Pritisak vazduha na određenu horizontalnu površinu jednak je težini mirnog vazdušnog stuba iznad te površine. ( $p = 101325 \text{ Pa}$ )

Ako se za posmatranu horizontalnu površinu uzme površina od  $1 \text{ cm}^2$ , onda se pritisak vazduha na takvu površinu zove **atmosferski ili vazdušni pritisak**. To znači da je vazdušni pritisak na  $1 \text{ cm}^2$  Zemljine površine jednak težini vazdušnog stuba čiji je poprečni presjek  $1 \text{ cm}^2$ , a visina od površine Zemlje do gornje granice atmosfere.

- $p$  (pritisak)
- $V$  (specifična zapremina)
- $R$  (univerzalna gasna konstanta koja za suhi vazdug iznosi  $29.27$ )
- $T$  (temperatura)

Ako uzmemo da smo na barometru pročitali pritisak  $780 \text{ mm}$ , a temperatura vazduha da je  $-13^\circ\text{C}$ , (odnosno  $T = 260 \text{ K}$ ), onda izlazi da je gustina vazduha  $\rho_v = 1.395 \text{ kg/m}^3$

Kako se pritisak definiše silom koja djeluje na jedinicu površine, tako je i vazdušni pritisak definisan težinom kojom vazdušni stub djeluje na jedinicu površine. Drugačije rečeno, **atmosferski pritisak ili vazdušni jeste pritisak koji vazduh svojom težinom vrši na Zemljinu površinu**.

Vazdušni pritisak zavisi od:

- kinetične aktivnosti molekula
- temperature vazduha
- mase molekula i
- gravitacije

### Normalni atmosferski pritisak

jeste pritisak vazdušnog stuba temperature  $0^\circ\text{C}$  na površinu od  $1 \text{ cm}^2$ , mjereno na nivou mora na  $45^\circ$  sjeverne geografske širine, a koji uravnotežuje težinu živinog stuba visine ( $h$ ) od  $760 \text{ mm}$ .

$$p = \rho g h$$

Ako uzmemo da je  $\rho_{Hg} = 13595.1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  i  $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$ , dobijamo  $p = 101325 \text{ Pa}$ .

**Vertikalna raspodjela vazdušnog pritiska**

**Horizontalna raspodjela vazdušnog pritiska**

**Mjerenje atmosferskog pritiska**

**Izvori atmosferske energije**

# Elektrostatika

## Uvodna razmatranja

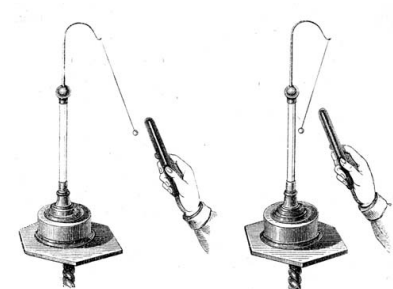
U vrijeme antičke Grčke bile su poznate četiri pojave koje su povezane sa elektricitetom. To su munja, svjetlucaње oko šiljatih predmeta, ribe koje proizvode neku vrstu električnih udara i privlačenje laganih predmeta (slama) pomoću protrljanog komada ćilibara. Ove pojave su bile uočene, a sa elektricitetom povezane čitavih 2500 godina kasnije.

Aristotel (Aristotle, 384-322, pre n.e.) je opisao ribu torpiljarku ali nije uočio električni organ. Tales iz Mileta (Thalés Miléisos, oko 625-547. pre n.e.) je znao za privlačnu moć ćilibara koji su Sirijci zvali kamen kradljivac, a Perzijanci kradljivac slame (karuba). Grčki naziv elektor ima značenje onaj koji privlači. U to vrijeme pominje se kamen linkurion, koji ima još veću moć privlačenja. Vjerovatno se radi o turmalinu ili topazu, jer se sa privlačenjem pominje i zagrijavanje kamena. U svim dokumentima iz tog perioda koji su sačuvani pominje se samo privlačenje. Odbojne sile tada nisu primijećene. Razlog za to je svuda prisutna gravitacija i znatno veće interesovanje za magnet koji privlači gvožđe, ma kako veliko bilo, dok ćilibar privlači različite, ali samo veoma lagane predmete. Takođe, pojava odbijanja nije mogla da se uklopi Aristotleovo učenje i učenje njegovih sljedbenika. Tek u šestom vijeku nove ere odbijanje kod magneta pominje Jovan Filopon.

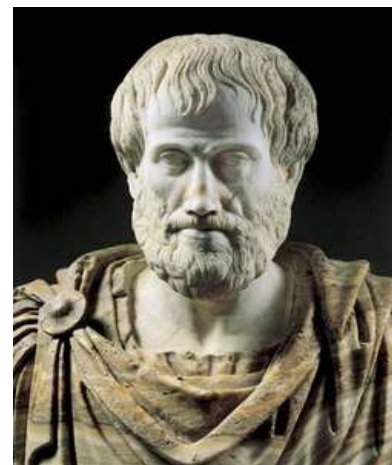
U periodu od 12, 13 vijeka Arapi su dali također veliki doprinos razvoju elektrostatike. U Evropi se značajnije pominje elektrostatika tek poslije.

Naime, engleski ljekar Džilbert (William Gilbert 1544 – 1603) objavio je u svom djelu sistematsku raspravu o osobinama ćilibara da privlači vunu i rude magnetita da privlači gvožđe. On je Zemlju proglasio "velikim magnetom", 1630. godine je silu koja nastaje trenjem tijela nazvao *vis electrica*.

Za otkriće da elektricitet može da se kreće od jednog tijela do drugog zaslužan je Grej (Stephen Greu, 1670 – 1736), kao i za druge pojave. Godine 1733. došao je francuski fizičar de Faj (C. F. de Cisternay



Slika 8: Naboj



Slika 9: Aristotel



du Fay 1698 – 1739) do otkrića, da postoje dvije vrste elektriciteta, koje je nazivao staklasti i smolasti.

Tek 1975 godine je otkriven kondenzator u vidu staklene čaše sa naelektrisanim ekserom u njoj. Otkriće su predvodili Kleist i Mušenbruka. Ovaj eksperiment je ponovio Nole (Abbe Nollet) i dao ime uređaju Lajdenska boca. (Nikola Tesla: "Kleist i Mušenbruka su uspjeli da u bočicu zatvore tajanstvenu silu, koja iz bočice bježi uz "ljuti" prasak, razvijajući rušilačku snagu. To je bilo rođenje kondenzatora, možda najčudesnije električne naprave koja je ikada pronađena").

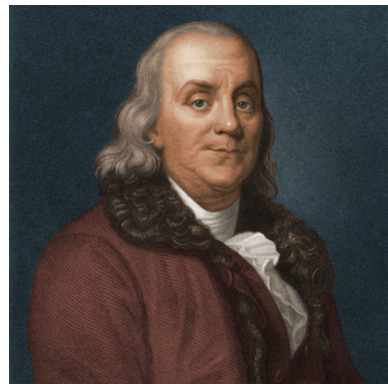
Sjevernoamerički fizičar Benjamin Frenklin (1706 – 1790) je 1750. godine postavio prvu teoriju o prirodi elektriciteta: da je elektricitet fluid kojeg sva tijela imaju u određenoj količini. Benjamin Franklin je 1752. godine opisao grom kao električno pražnjenje i godinu kasnije pronašao gromobran. Godinu dana kasnije ruski fizičar Rihmen izvodio slične eksperimente, ali je prilikom toga poginuo od udara groma.

Cijelo područje makroskopskih fenomena poznato pod nazivom elektrostatika osiguralo je istorijsku osnovu za razvitak koncepta elektrostatičkog naelektrisanja, kao mjerljive fizikalne veličine. Elektrostatika, jedno od glavnih područja nauke o elektricitetu, temelji se na samo jednom eksperimentalnom postulatu, inverznom kvadratnom zakonu, koji je jedan od fundamentalnih naučnih principa uopšte. Nije bio kreiran samo od jednog istraživača.

Prvi značajan doprinos dao mu je Benjamin Frenklin, a 1766. god. započeo je istraživanja Džozef Priestli (Joseph Priestley 1731 – 1804), na njegov podsticaj. Godine 1769. odredio je Robinson (J. Robinson 1739 – 1805) direktnim eksperimentom silu između električnih naelektrisanja, a Henri Kevendiš (Henry Cavendish 1731 – 1810) je 1773. definitivno potvrdio taj zakon.

Kako je ustanovljeno da postoje dvije vrste naelektrisanja, pozitivno i negativno, što uslovljava privlačenje i odbijanje naelektrisanih tijela Kulon (Charles Augustin Koulon 1736 - 1860) je svojim radovima dao opšti zakon međusobnog djelovanja naelektrisanih tijela na nekom rastojanju. On je 1785. godine demonstrirao inverzni kvadratni zakon, pomoću precizne torziona vage, kojom mogu da se mjere veoma male sile. Ova vaga je dobila ime po njemu Kulonova torziona vaga.

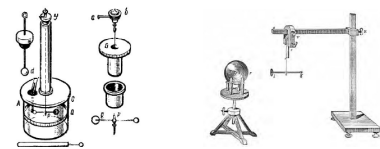
Njegova otkrića čine prvu kvantitativnu bazu za matematički prikaz zakona električne sile, koji utvrđuje da dva električno naelektrisana tijela, čija veličina je mala u odnosu na udaljenost između njih, djeluju jedno na drugo s jednakim i suprotnim silama, koje su obrnuto srazmjerne kvadratu njihove međusobne udaljenosti. Kulonova metoda eksperimentalnog određivanja inverznog kvadratnog zakona bila je direktna, kvantitativna i lahko razumljiva, pa su nje-



Slika 10: Benjamin Frenklin



Slika 11: Henry Cavedish



Slika 12: Kulonova torziona vaga i uređaj za različita naelektrisanja

govi rezultati bili spremno prihvaćeni. To su prvi rezultati iz nauke o elektricitetu, koji su bili objavljeni i široko rasprostranjeni.

Tome su znatno doprinijela i teoretska razmatranja S. Poasona, objavljena u dva memoara 1812. i 1813. godine. U njima je on, uzimajući Kulonov inverzni kvadratni zakon kao fundamentalni postulat, znatno unaprijedio i upotpunio elektrostatiku upotrebom analogije prema gravitacionoj teoriji, koja je tada bila visoko razvijena. S. Poason je, na osnovu Kulonovog zakona, uveo funkciju  $\Phi(x, y, z)$ , kojoj doprinose sva naelektrisanja jednog električnog sistema obrnuto proporcionalno s udaljenošću. Petnaest godina kasnije u generalisanju Poasonovih radova o električnim i magnetnim pojavama, Grin (1731 – 1841) daje funkciji  $\Phi$  univerzalno ime *potencijal*.

Voltin (Alessandro Volta 1745 – 1827) pronalazak prve hemijske baterije bio je neposredan podsticaj i za studij vođenja elektriciteta. Značajne rezultate u istraživanju vođenja postigli su Hamfri Dejvi (Humphry Davy 1778 – 1829) i Om (George Simeon Ohm 1787 – 1854).

Om je 1826. godine formulisao rezulta eksperimentalnih istraživanja, da je jačina struje u žici koja ne sadrži nikakvu elektromotornu silu proporcionalna razlici potencijala na njenim krajevima. Ta činjenica, iako ne spada u posebnu klasu zakona nezavisnih od materije, nazvana je Omovim zakonom. Zakon je u suštini vrlo jednostavan, no mora se upotrebljavati s pažnjom. Upravo zbog njegove jednostavnosti, trebalo je proći oko 14 godina, pa da to veliko otkriće u naučnom svijetu bude priznato i prihvaćeno. Godine 1841. Džul (J. P. Joule 1818 – 1889) utvrđuje zakon koji povezuje struju koja protiče metalnim provodnikom s razvijenom toplotom u njemu.

Veliki napredak u istraživanju električnog strujanja u provodnicima zabilježen je 1847. godine, kada je Kirhof dedukcijom izveo i formulisao svoja dva zakona, koji spadaju u grupu temeljnih zakona klasične elektromagnetne teorije.

Prvi Kirhofov zakon govori o kontinuitetu električne struje, dok je drugi Kirhofov zakon matematički identičan sa zakonom da razlika potencijala između bilo kojih dviju tačaka ima istu vrijednost po svim putevima između njih. Ovi zakoni su vrlo korisni i mnogo su upotrebljavani u elektrotehnici. Imali su velikog značaja u njenom napretku i posebno su značajni za razvoj električnih krugova i mreža.



Slika 13: Simeon Denis Poisson 1781 – 1840



Slika 14: Alessandro Volta



Slika 15: Gustav Robert Kirchhoff 1824 – 1887



## Uzajamno djelovanje naelektrisanih čestica

Elektrostatika je oblast fizike u kojoj se izučava elektricitet u mirovanju makroskopski posmatrano u odnosu na posmatračev referentni sistem, što znači da naelektrisanja smatramo statičkim (u miru) iako u njima postoji stalno kretanje naelektrisanih čestica.

Fizikalna veličina koja opisuje stepen, odnosno mjeru naelektrisanosti neke čestice ili tijela, zove se količina elektriciteta, količina naelektrisanja, ili električno opterećenje. Količina elektriciteta je skalarna, algebarska veličina, čija numerička vrednost govori, ili o višku, ili o manjku elektrona na nekom tijelu i označava se sa  $Q$  ili sa  $q$ . Mjerna jedinica za količinu elektriciteta nosi naziv Kulon  $C$  francuskom fizičaru Kulonu.

Rezultantno naelektrisanje atoma koji sadrži jednak broj protona i elektrona jednako je nuli. Kad neko tijelo sadrži višak elektrona, u odnosu na protone, kaže se da je negativno naelektrisano. U suprotnom, za tijelo koje ima manjak elektrona, kaže se da je pozitivno naelektrisano. Naelektrisanje  $q$ , za koje se u literaturi susreću i nazivi: električno opterećenje, količina elektriciteta, električni naboj, jednako je:

$$q = ne,$$

gdje je  $e$  elementarno naelektrisanje.

### Elektroskop

### Zakon o očuvanju naboja

### Kulonov zakon

### Električno polje

### Jačina električnog polja

### Linije sile električnog polja

### Električno polje Zemlje

### Električni fluks



Slika 16: Utvrđeno je da se neko tijelo može naelektrisati, ako se dodirne tijelom koje je već naelektrisano