

# **MODERNA FIZIKA**

**Predavač: Izv. prof. dr. sc. Željana Bonačić Lošić**

---

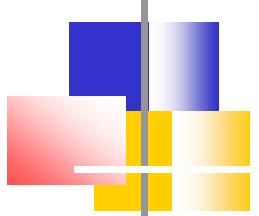
Odjel za fiziku, ured B306

Tel: 619-275

e-mail: [agicz@pmfst.hr](mailto:agicz@pmfst.hr)

web: [www.pmfst.hr/~agicz](http://www.pmfst.hr/~agicz)

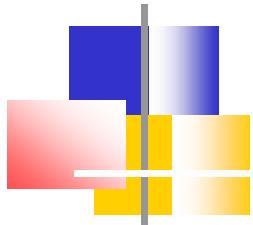
Konzultacije: srijedom 10-12h



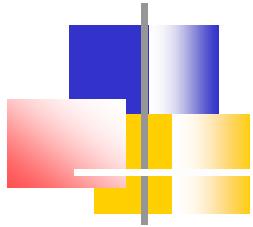
## Sadržaj

---

- Uvod
- Rutherfordovo raspršenje i Rutherfordov model atoma
- Planckov zakon zračenja crnog tijela
- Bohrov model atoma vodika
- Franck- Hertzov eksperiment
- Fotoelektrični efekt
- Comptonovo raspršenje
- De Broglieva hipoteza o valovima materije
- Davisson - Germerov eksperiment
- Bohrov princip komplementarnosti i Heisenbergove relacije neodređenosti
- Schrödingerova valna mehanika
- Tunel efekt
- Harmonički oscilator
- Atom vodika



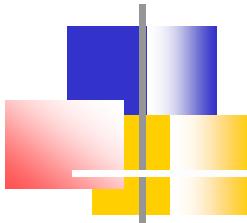
- Stern - Gerlachov eksperiment
- Spin
- Spektar x-zraka
- Atomske jezgre
- Radioaktivnost
- Modeli jezgara
- Fisija
- Nuklearni reaktori
- Fuzija. Kontrolirana termonuklearna fuzija
- Elementarne čestice. Hadroni. Leptoni. Stranost. Kvarkovi, barioni i mesoni.
- Temeljne sile i njihovi mediatori
- Širenje svemira
- Pozadinsko zračenje
- Tamna tvar. Veliki prasak i nastanak svemira.



## Cilj

Cilj kolegija je da studenti nakon položenog ispita razumiju glavne koncepte moderne fizike i da mogu objasniti te koncepte drugima, da mogu primjeniti ideje moderne fizike na neke osnovne probleme, te da razumiju gdje je fizika danas i kamo ide.

Namijenjena je kolegiju Moderna fizika (preddiplomski studiji fizika, inženjerska fizika, matematika i fizika i fizika i informatika).



## Opis kolegija

### ■ Moderna fizika

(preddiplomski studiji fizika, inženjerska fizika, matematika i fizika i fizika i informatika)

[www.pmfst.unist.hr/blog/portfolio/fizika/](http://www.pmfst.unist.hr/blog/portfolio/fizika/)

[www.pmfst.unist.hr/blog/portfolio/inzenjerska-fizika-termodinamika-mehanika/](http://www.pmfst.unist.hr/blog/portfolio/inzenjerska-fizika-termodinamika-mehanika/)

[www.pmfst.unist.hr/blog/portfolio/matematika-i-fizika/](http://www.pmfst.unist.hr/blog/portfolio/matematika-i-fizika/)

[www.pmfst.unist.hr/blog/portfolio/fizika-i-informatika/](http://www.pmfst.unist.hr/blog/portfolio/fizika-i-informatika/)

### Kompetencije koje se stječu

Izložiti povijesni razvoj ideje o strukturi atoma. Rastumačiti nužnost zamjene determinističkog opisa prirode s probabiliističkim. Objasniti i primjeniti osnovne koncepte i principe kvantne fizike u rješavanju jednostavnih problema: Schrödingerovu jednadžbu, valnu funkciju i njenu fizikalnu interpretaciju, spin i Paulijev princip isključenja. Riješiti Schrödingerovu jednadžbu u jednostavnim slučajevima (npr. slobodna čestica, čestica u kvadratnoj jami u različitim dimenzijama). Opisati strukturu jezgre. Opisati princip rada nuklearnih reaktora. Izložiti osnovne koncepte fizike elementarnih čestica i kozmologije. Primjeniti kritičko razmišljanje za ocjenu fizikalnih teorija.

# Održavanje

- Moderna fizika (PMP008)

<b>Godina studija</b>	II.
<b>Bodovna vrijednost (ECTS)</b>	3,0
<b>Način izvođenja nastave (broj sati u semestru)</b>	P      S      V      T
	30      5      10      0

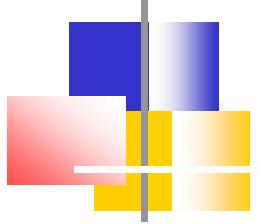
## Obveze studenata:

Svi studenti moraju biti prisutni na 70% sati predavanja, 70% sati vježbi i 70% sati seminara, te napisati i izložiti seminar u dogovoru s asistentom.



## Vrste izvođenja nastave:

- Predavanja
- Demonstracijski eksperimenti
- Interaktivna pitanja
- Domaći radovi
- Auditorne vježbe
- Seminari
- Diskusije
- Moodle (upisti se na kolegij Moderna fizika)



## Ocenjivanje

---

Kolokviji teorija 2 puta                            50% ocjene

Kolokvij zadaci i seminar                            50% ocjene

Ocjene po bodovima:

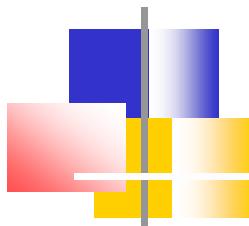
[50-60> ----- 2

[60-70> ----- 3

[70-85> ----- 4

[85-100] ----- 5

Bonus bodovi za aktivnost na predavanjima i domaće radove



## Uvod

# Atomi, elektroni i ioni

## Mendeljejev sistem periodičnih svojstava elemenata

1861. **Dmitrij Mendeljejev** je prvi uočio periodično ponavljanje svojstava kemijskih elemenata i na temelju toga napravio prvi **sistem periodičnih svojstava elemenata**.

Neka mesta su bila prazna, jer u to vrijeme svi elementi još nisu bili poznati. On je ispravno predvidio svojstva tih, u to vrijeme nepoznatih elemenata.

## Ioni

Oko 1810. Humphry Davy

je otkrio da se otopljene soli ili kiseline razlažu. Ako se u otopinu kuhinjske soli postave dvije metalne ploče i povežu s izvorom električne struje, natrij se taloži na negativno navijenu elektrodu (**katodu**), a klor se skuplja oko pozitivne ploče (**anode**) - **elektroliza**

Nešto kasnije Michael Faraday

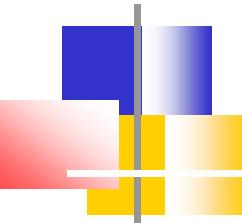
je otkrio da ista količina elektriciteta izluči istu količinu materije u molovima, bez obzira na vrstu tvari. **Faradeyjev zakon elektrolize** ukazao je da postoji određena, konačno mala, količina elektriciteta koja prelazi s nabijenih čestica u elektrodu, na kojoj se atomi izlučuju.

Krajem 19. st.: Svante Arrhenius

iznio je teoriju otopina prema kojoj se molekula kuhinjske soli cijepa na pozitivan ion natrija i negativan ion klora



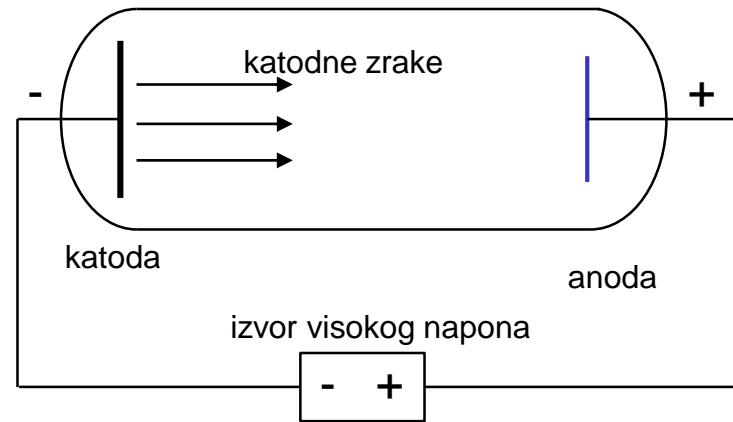
Električne struje u otopinama čine struje iona. No još je ostao nejasan mehanizam prijenosa naboja s atoma natrija na atom klora.



## Katodne i kanalne zrake

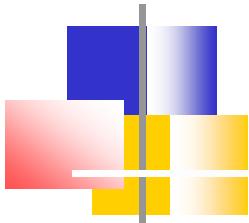
1858. Julius Plücker (1801-1868)

je proučavao staklene cijevi s dvjema elektrodamama ispunjene plinom pri niskom tlaku. Na krajeve elektroda priključio je napon. Neposredno uz katodu pojavile su se zrake koje su se pravocrtno širile prema anodi - „katodne zrake“



1870. William Crookes (1832-1919) (London)

potvrđuje da se katodne zrake zakreću u magnetskom polju i zaključuje da se sastoje od negativno nabijenih čestica



1897. Joseph John Thomson (1856-1940) (Cambridge)

je izmjerio da je masa novih čestica, elektrona, 1837 puta manja od mase atoma vodika.

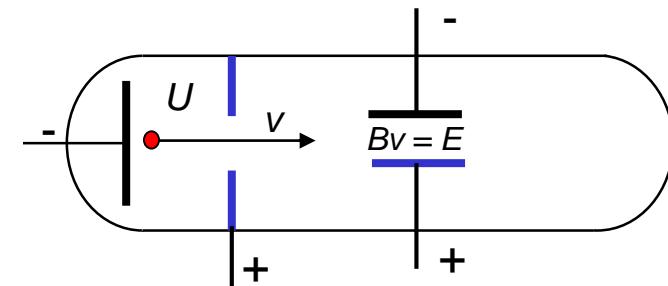
J.J. Thomson je odredio brzinu kretanja katodnih zraka i odnos između naboja i njihove mase,  $e/m$ . Upotrijebio katodnu cijev koja omogućuje djelovanje električnog  $E$  i magnetskog polja  $B$  na čestice. Sila zbog utjecaja magnetskog polja je  $F=B e v$ , dok je električna sila  $F=eE$ . U ravnoteži su obje sile jednake, te vrijedi

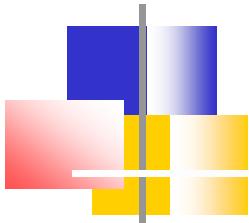
$$B e v = E e .$$

Stoga je brzina čestica  $v = E/B$ .

Nadalje, ako je napon u katodnoj cijevi  $U$ , onda čestica naboja  $e$  dobije energiju  $eU$  koja se pretvara u kinetičku energiju elektrona

$$eU = \frac{mv^2}{2}, \text{ te je } \frac{e}{m} = \frac{v^2}{2U} .$$



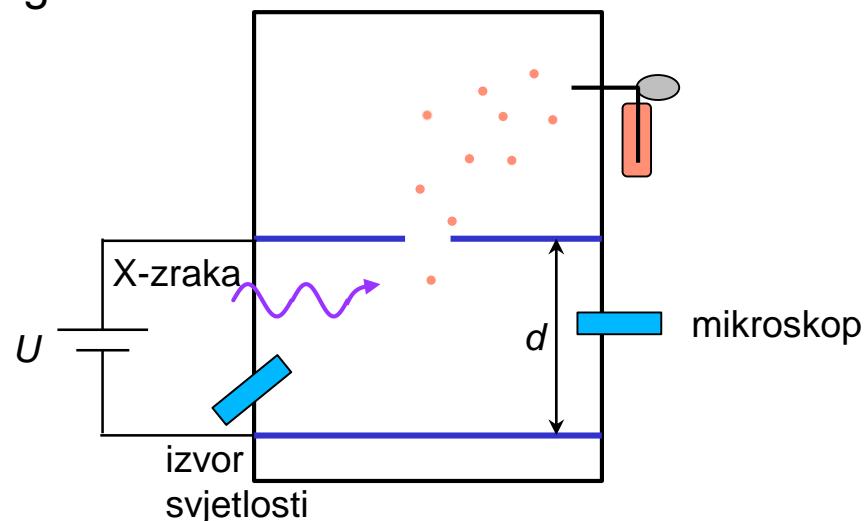


1917. Robert Millikan (1868-1963) (Chicago)

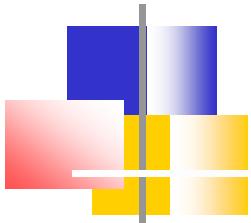
precizno je izmjerio naboje elektrona pokusom s kapljicom ulja u kondenzatoru.  
Rezultati su pokazali da se električni naboje sastoje  
od cijelobrojnog višekratnika elementarnog  
naboja koji ima vrijednost

$$e = 1.60217733 \times 10^{-19} \text{ C.}$$

U donjem dijelu komore nalazi se kondenzator. U gornji dio komore se rasprše kapljice ulja koje pod utjecajem gravitacije ulaze u kondenzator kroz otvor na gornjoj ploči. Pod utjecajem X-zraka elektroni iz zraka kojim je ispunjena komora se spajaju s neutralnim kapljicama ulja koje postaju negativno nabijene.



# Atomi, elektroni i ioni



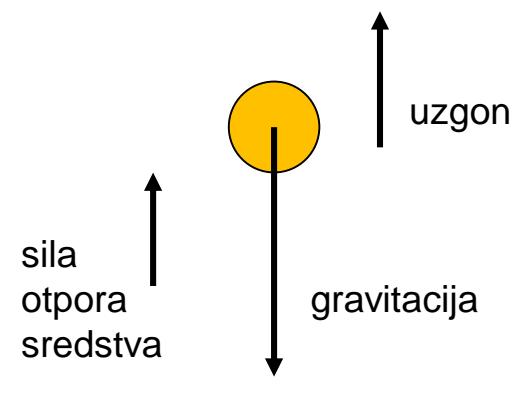
U slučaju mirovanja ili jednolikog gibanja po pravcu ukupna sila na kapljicu je 0.

Prvo, kapljica pada pod utjecajem gravitacije  $G = mg = \rho V g$ , te na nju djeluju uzgon  $F_u = \rho_z V g$  i sila otpora sredstva  $F_s = 6\pi\eta rv$ ,

$\rho$  – gustoća ulja,  $V$ -volumen,  
 $\rho_z$  - gustoća zraka,  $\eta$  - viskoznost zraka  
 $r$  - radijus kapljice,  $v$  - brzina kapljice

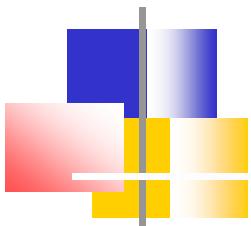
Iz uvjeta  $F_u + F_s - G = 0$ , dobivamo radijus kapljice

$$r = \sqrt{\frac{9\eta v}{2g(\rho - \rho_z)}} .$$



Nije uključeno  
električno polje

# Atomi, elektroni i ioni

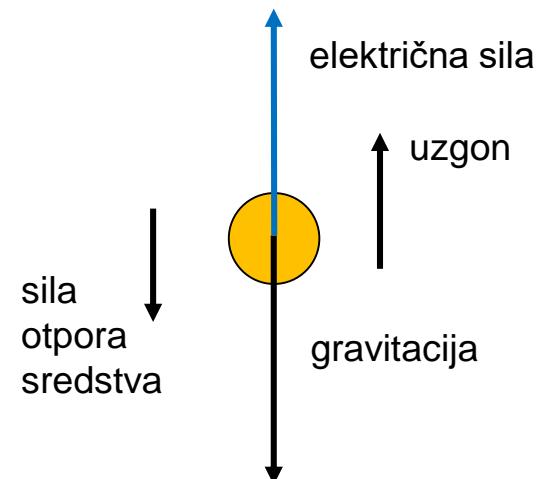


Kad se uključi električno polje prema gore na kapljicu djeluje električna sila  $F_E = qE = \frac{qU}{d}$ .

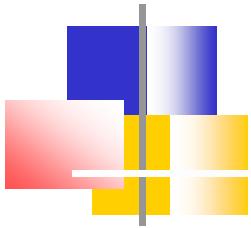
Predpostavimo da se kapljica giba prema gore.

Iz uvjeta  $F_E + F_u - F_s - G = 0$ , dobivamo naboј kapljice

$$q = \frac{\left[6\pi\eta rv + \frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho - \rho_z)\right]d}{U} .$$



Uključeno  
električno polje



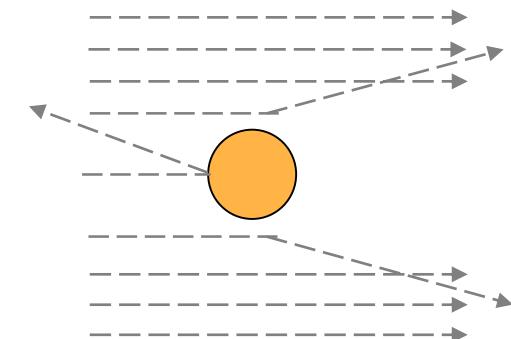
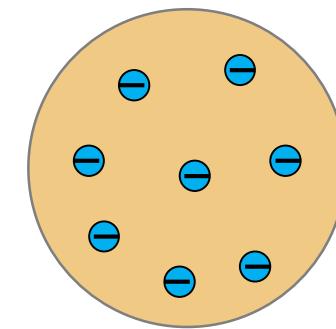
## Rani modeli atoma

- **Model pudinga**

J. J. Thomson je 1898. prepostavio da se pozitivni naboji nalaze jednoliko raspoređeni po cijelom volumenu atoma koji je sfernog oblika. U pozitivnu pozadinu ravnomjerno su utisnuti elektroni. Atom kao cjelina je neutralan.

- **Rutherfordov model**

- Planetarni model
- Zasnovan na rezultatima eksperimenata u kojima su se  $\alpha$ -čestice raspršivale na tankim listićima zlata i drugih kovina
- Rutherford je eksperimentalno provjeravao Thomsonov model



- Većina α-čestica je prošla direktno kroz listić zlata  
→ atomi su većinom prazni prostor
- Neke α-čestice su se raspršile ili odbile natrag
- Pozitivan naboj je koncentriran u centru atoma,  
nazvanom jezgra (*nucleus*)
- Jezgra dovodi do raspršenja pozitivnih α-čestica  
zbog jakog Coulombovog privlačenja
- Elektroni kruže oko jezgre kao planeti oko Sunca
- Jezgra nosi gotovo cijelu masu atoma

