

## Struktura atoma

- Osnovni uzrok brzog napretka kemije u 19. st

**Daltonova atomska teorija** 1808.

**Avogadrova hipoteza** o molekulama 1811.

- Eksperimenti krajem 19. stoljeća pokazuju da su atomi sastavljeni od sitnijih čestica - atom ima svoju strukturu

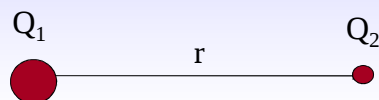
## ELEKTRICITET

- **Stari Egipćani pr.n.e**  
jantar natrljan vunom privlači male predmete
- **Williams Gillbert 16. st.**  
električni fenomen (elektron - jantar)
- **Benjamin Franklin 18. st**  
(+) pozitivni  
(-) negativni



isti naboji se odbijaju, a različiti privlače

Charles Augustin Coulomb - mjerenjima  
odredio silu između dva naboja



$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$\epsilon_0$  = dielektrična konstanta vakuuma (permitivnost)

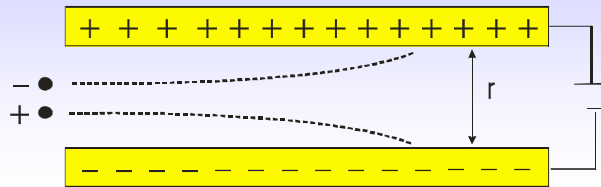
$$\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$$

$\epsilon_r$  = dielektrična konstanta medija (permitivnost medija)

SI jedinica električnog naboja je coulomb (kulon), C

C je količina električnog naboja koja u sekundi prođe kroz presjek vodiča kojim teče stalna električna struja od 1 A.

$$1\text{C} = \text{As}$$



Električno polje djeluje na nabijenu česticu analogno djelovanju gravitacijskog polja na masu.

Magnetsko polje djeluje na nabijenu česticu koja se kreće

$$F = BQv$$

$F$  = sila

$B$  = gustoća magnetskog toka

$Q$  = naboj čestice

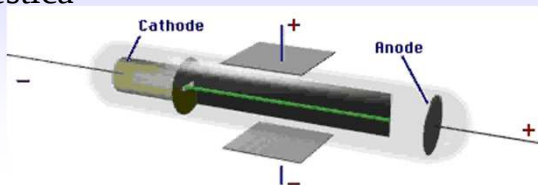
$v$  = brzina čestice

Sila koja djeluje na nabijenu česticu koja se kreće u magnetskom polju okomita je na ravninu koju čine smjer kretanja čestice i smjer magnetno polja.

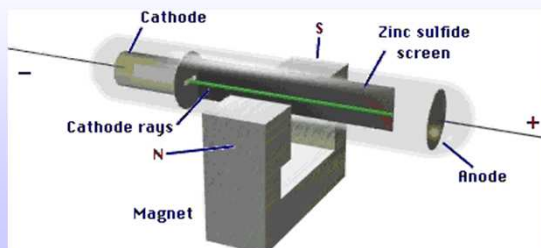
## Otkriće elektrona

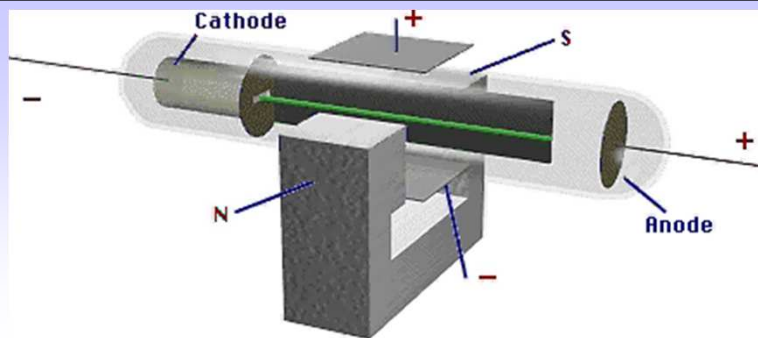
- Početkom 19. st. H. Davy, J.J.Berzelius i M. Faradey kemijske spojeve pod utjecajem električne struje rastavljaju na elemente
- Faradey - za razvijanje 1.008 g vodika iz vode uvijek je bilo potrebno 96485 C
- 1874. G.J.Stoney - elektrika je sastavljena od sitnih djelića vezanih za atome: ako je za 1.008 g vodika potrebno 96485 C onda je za svaki atom vodika vezano  $96485/6.022 \times 10^{23} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
- 1891. predloženo da se ta elementarna jedinica nazove elektron

- **1897. J.J. Thomson** - provođenjem elektrike kroz Crooksovu cijev nastaju nevidljive zrake - katodne zrake
- J. Perrin - katodne zrake su sastavljene od negativno nabijenih čestica



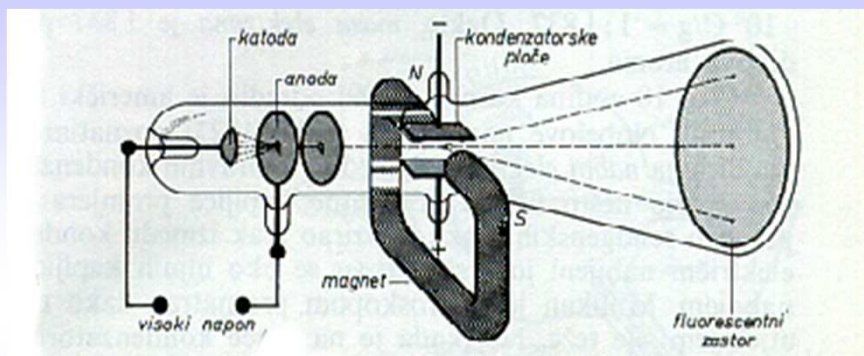
- Cijev je premazana fluorescentnim materijalom (ZnS), koji pokazuje emisiju svjetla kada elektroni padnu na njega





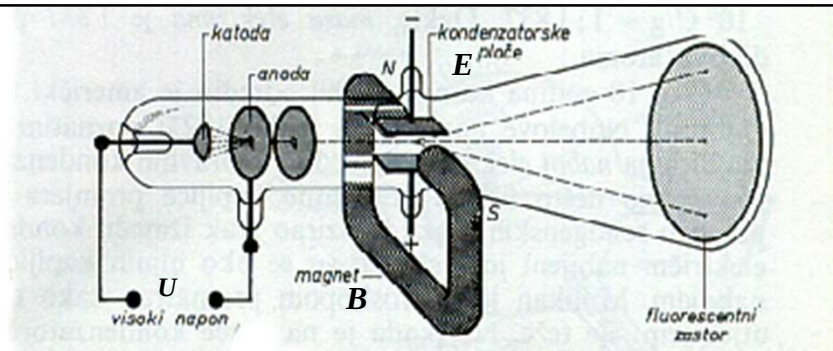
- Negativno nabijene čestice (elektroni) emitiraju se s katode i putuju prema pozitivnoj anodi pod utjecajem visokog napona  $U$
- Kondenzatorske ploče i magnet omogućavaju djelovanje električnog i magnetskog polja na zrake
- Električnim poljem uravnotežuje se magnetsko polje

### ***katodna ili Braunova cijev***



$$F_{\text{mag}} = F_{\text{el}} \quad B e v = e E \quad v = E/B$$

$E$  - jakost elek. polja;  $e$  - naboj elektrona,  $B$  - jakost magnetskog polja;  
 $v$  - brzina elektrona (rupa na anodi omogućava prolaz elektronima kroz nju brzinom  $v$ ) je ovisna o električnom polju u katodnoj cijevi i iznosi oko  $5 \times 10^7$  m/s ( $1/6 c$ )



elektron u električnom polju ima potencijalnu energiju,  $eU$  ( $U$  je napon u katodnoj cijevi) koja se pretvara u kinetičku

$$eU = m v^2/2$$

$$v = E/B$$

$$e / m_e = v^2 / 2U$$

$$e / m_e = 1.7589 \times 10^8 \text{ C / g specifični naboj elektrona}$$

$$e / m_e = v^2 / 2U$$

specifični naboj elektrona

$$e / m_e = 1.7589 \times 10^8 \text{ C / g}$$

elektrolizom vode:

za 1.008 g vodika potrebno je 96485 C

za 1,00 g vodika potrebno je 95718 C

$$e / m_H = 95718 \text{ C / g}$$

$$e / m_e : e / m_H = 1.7589 \times 10^8 : 95718$$

$$m_H : m_e = 1837$$

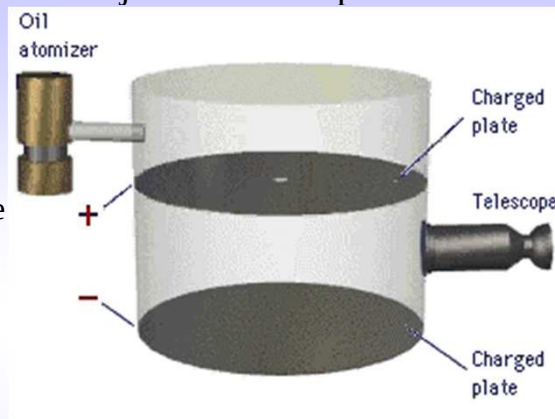
masa elektrona je 1837 puta manja od mase vodika

1909. R.A.Miliken - odredio naboj elektrona eksperimentom s uljnim kapljicama

$$F_g = F_{el}$$

$$mg = Eq$$

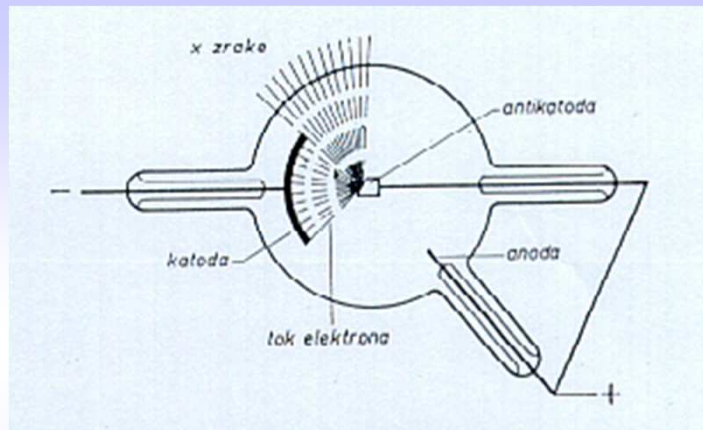
teleskopom je izmjerio  
radijus čestica, a masa kapljice  
izračuna se iz gustoće ulja i  
volumena  
utvrđeno da je  $q$  cjelobrojni  
umnožak od  
 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ , to je najmanji  
naboj koji jedna čestica može  
imati



$$\left. \begin{array}{l} e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \\ e/m_e = 1.7589 \times 10^8 \text{ C/g} \end{array} \right\} m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

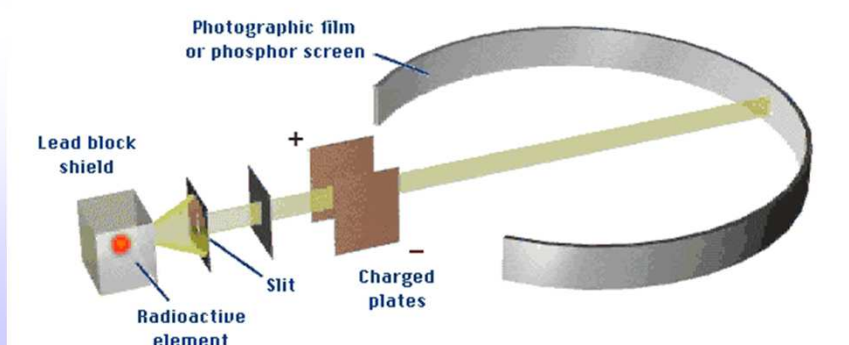
## Otkriće rendgenskih zraka i radioaktivnosti

- Wilhelm Konrad Röntgen 1895 otkrio je nevidljive zrake koje izazivaju fluorescenciju, prolaze kroz materiju, zacrne fotografsku ploču, izbijaju nabijeni elektroskop, a magnet ih ne otklanja
- nazvao ih je X-zrakama ili rendgenskim zrakama
- valna duljina 0.01 do 1 nm



- Nastaju u *rendgenskoj cijevi*
- Nasuprot katode nalazi se antikatoda (bakar)
- Sudarom elektrona visoke energije s antikatodom nastaju rendgenske zrake koje se šire u prostor s antikatode

- H. Becquerel - uranove rude i spojevi zrače
- Marie i Pierr Curie izolirali polonij i radij
- Pojavu isijavanja zraka M. Curie nazvala je *radioaktivnošću*
- Ernest Rutherford otkrio je da se u radioaktivnom zračenju nalaze  $\alpha$  i  $\beta$  zrake, a P. Villard  $\gamma$ -zrake



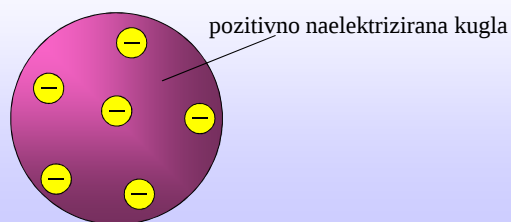
- $\alpha$  - zrake pozitivno nabijene (He)
- $\beta$  - zrake negativno nabijene (struja elektrona)
- $\gamma$  - ne otklanjaju se, identične rendgenskim zrakama ali kraće valne duljine (0.001 do 0.1 nm)

Početkom 20. st. bile su jasno prihvaćene dvije osobine atoma:

da sadrži elektrone  
da su neutralne čestice

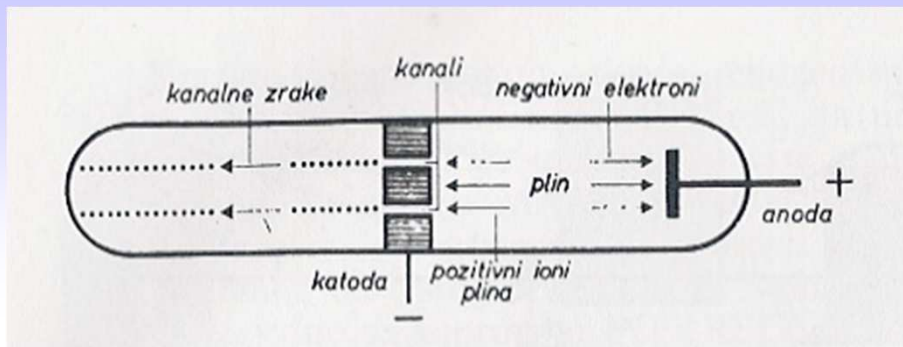
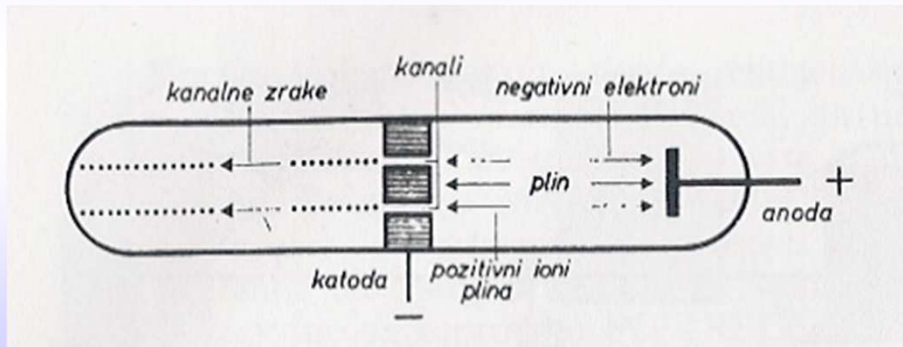
Thomsonov model atoma

atom je jednolika pozitivna kugla u kojoj su umetnuti elektroni



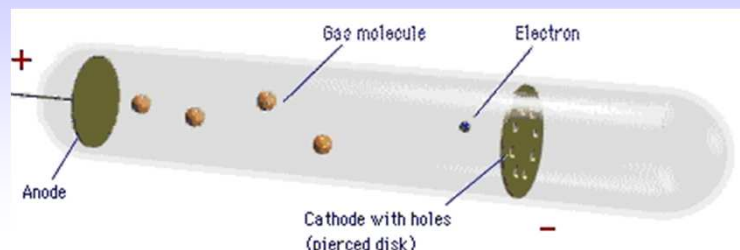
# Proton

- 1886. Goldstein je otkrio da u Crookesovoj cijevi nastaju i zrake koje se šire od anode, prolaze kroz katodu probušenu u obliku kanala (kanalne zrake).



- kanalne zrake
- pozitivno nabijene čestice
- $e/m$  (specifični naboj) manji nego kod elektrona
- masa im je puno veća od mase elektrona
- odnos  $e/m$  varira o prirodi plina u cijevi

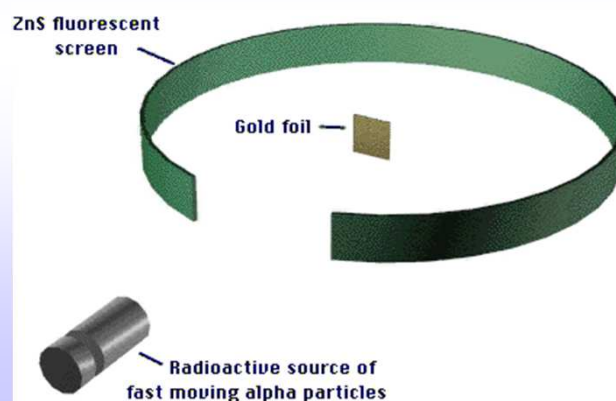
## vodik u cijevi

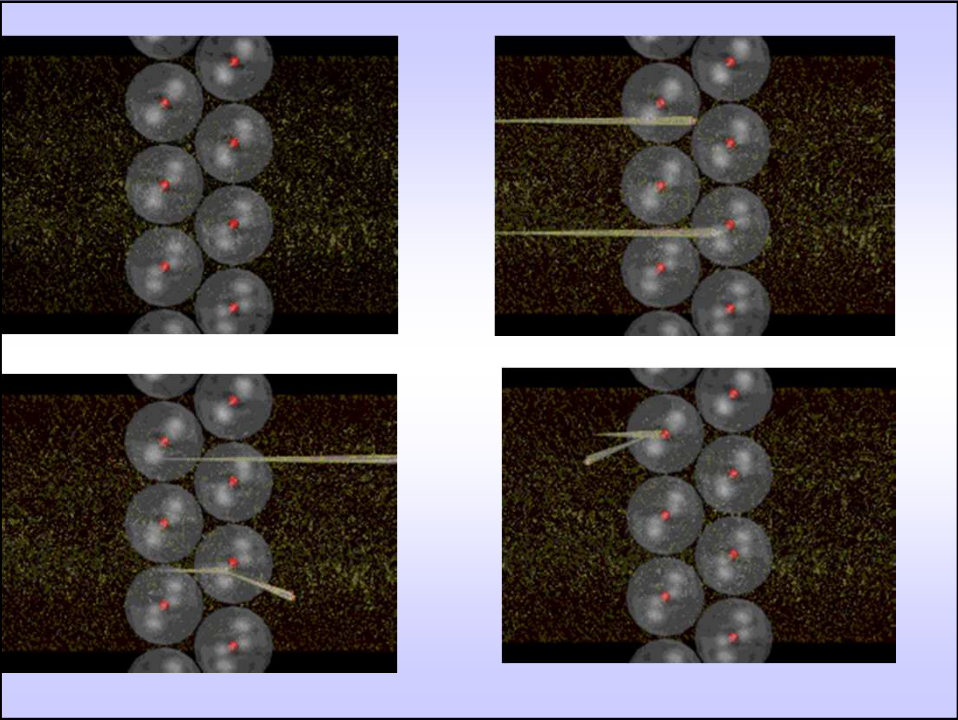
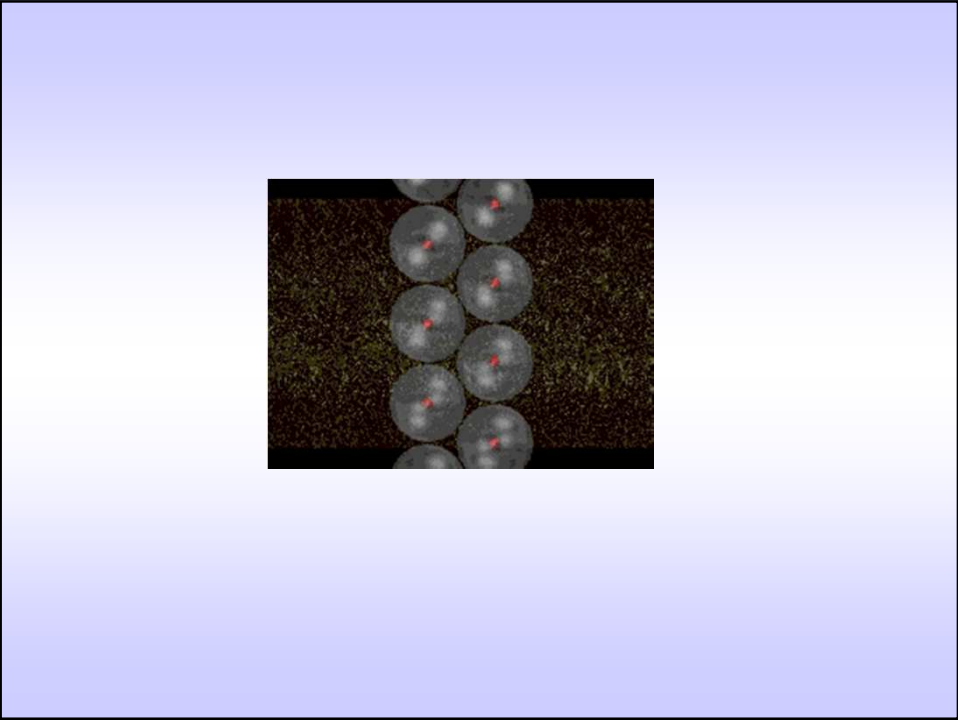


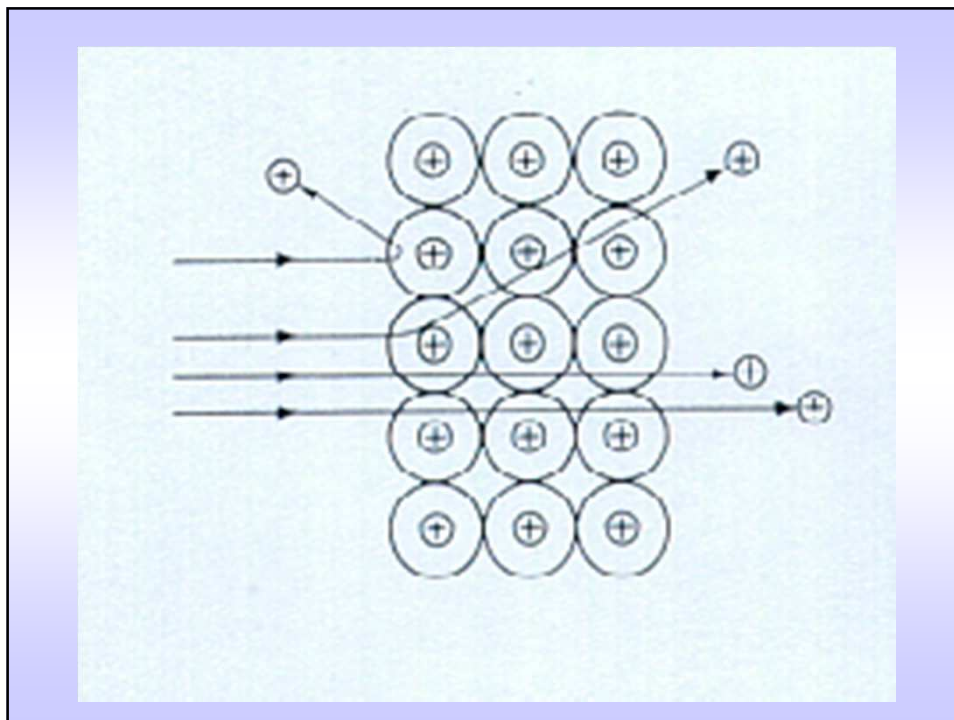
- čestice kanalnih zraka imaju pozitivan naboj koji je jednak, ali suprotan naboju elektrona
- masa čestice jednaka je masi vodika
- zaključilo se da je riječ o atomskoj jezgri vodika koju je Rutherford nazvao protonom.
- vodikov atom sastoji se od protona kao jezgre i jednog elektrona

## Jezgra atoma

- Rutherford (1911.) je pokazao da je masa atoma skupljena u čestici koja je 10000 puta manja od atoma.
- Pukus s  $\alpha$  - zrakama i listićem zlata







- Ako je atom čvrst po cijelom svom volumenu, ni jedna  $\alpha$ -čestica ne bi prošla kroz metalni listić bez otklona zbog sudara s atomom
- Obratno, većina je prošla
- Masa atoma skupljena je u vrlo malu česticu - jezgru atoma
- $\alpha$ -čestica mala, mala je vjerojatnost sudara s malom jezgrom atoma
- kut otklona  $\alpha$ -čestice ukazuje da je jezgra pozitivno nabijena
- uspoređujući broj otklonjenih  $\alpha$ -čestica s debljinom listića zlata odredio je promjer atomske jezgre
- promjer atomske jezgre  $10^{-12}$  cm
- promjer atoma  $10^{-8}$  cm

## Rutherfordov model atoma

- Atom je sastavljen od pozitivno nabijene jezgre, oko koje brzo kruže elektroni, kao planeti oko Sunca
- broj elektrona je toliki da neutralizira naboj jezgre
- Jezgra vodikova atoma ima jedan proton
- jezgre ostalih atoma imaju pozitivan naboj koji je višekratnik broja protona

- ☞ jezgra atoma veličine pribadače (1mm)
- ☞ atom promjera 10 m
- ☞ cijela masa atoma je u jezgri

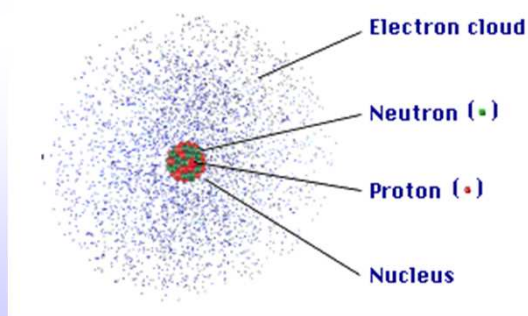
- vodik ima jedan proton
- helij ima dva protona
- odnos masa atoma bi trebao biti  $m_{\text{He}} : m_{\text{H}} = 2:1$
- stvarni odnos 4:1
- Rutherford pretpostavlja postojanje još jedne subatomske čestice
- 1932 James Chadwick bombardira tanku ploču berilija  $\alpha$ -zrakama
  - izazvano zračenje slično  $\gamma$ -zrakama
  - zračenje električni neutralnih čestica
  - masa čestice malo veća od mase protona
  - čestica je nazvana neutron
- znači da helij u jezgri ima 2 protona i 2 neutrona

## Struktura atomske jezgre

- sastoji se od nukleona: **protona** i **neutrona**
- masa atoma jednaka je masi protona i neutrona (stvarno je nešto manja - defekt mase)
- o broju protona ovisi naboj jezgre, to je **atomski broj** ( $Z$ )
- zbroj protona i neutrona u jezgri naziva se **masenim brojem** ( $A$ )

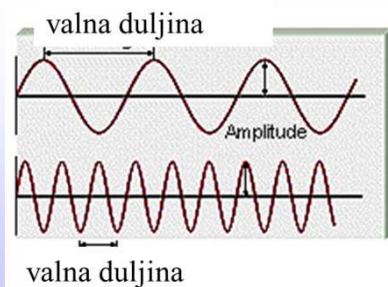
- Vrsta atoma određenog sastava jezgre (s određenim brojem protona i neutrona), odnosno određenog atomskog broja  $Z$  i određenog masenog broja  $A$  naziva se nuklid.
- Atomi s istim atomskim brojem, a međusobno različite mase zovu se izotopi
- Element je smjesa nuklida istog atomskog broja ( $Z$ ), tj. smjesa izotopa.

| Particle | Mass (g)                   | Mass (amu)   | Charge | Symbol       |
|----------|----------------------------|--------------|--------|--------------|
| Electron | $9.109389 \times 10^{-28}$ | 0.0005485799 | -1     | ${}^0_{-1}e$ |
| Proton   | $1.672623 \times 10^{-24}$ | 1.007276     | +1     | ${}^1_1p$    |
| Neutron  | $1.674929 \times 10^{-24}$ | 1.008665     | 0      | ${}^1_0n$    |



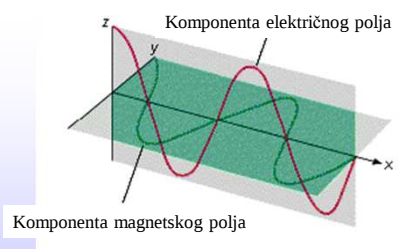
## Elektromagnetsko zračenje

- Zračenje je emisija i prijenos energije kroz prostor u obliku valova
- Postoji puno vrsta valova: vodeni, zvučni, svjetlosni...

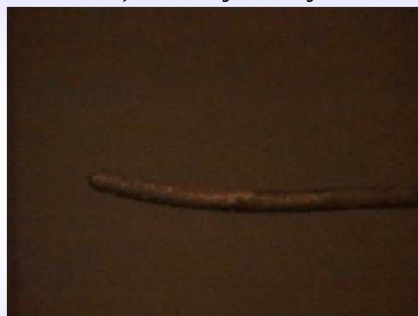


James Maxwell je 1873. teorijski pokazao da se vidljiva svjetlost sastoji elektromagnetskih valova

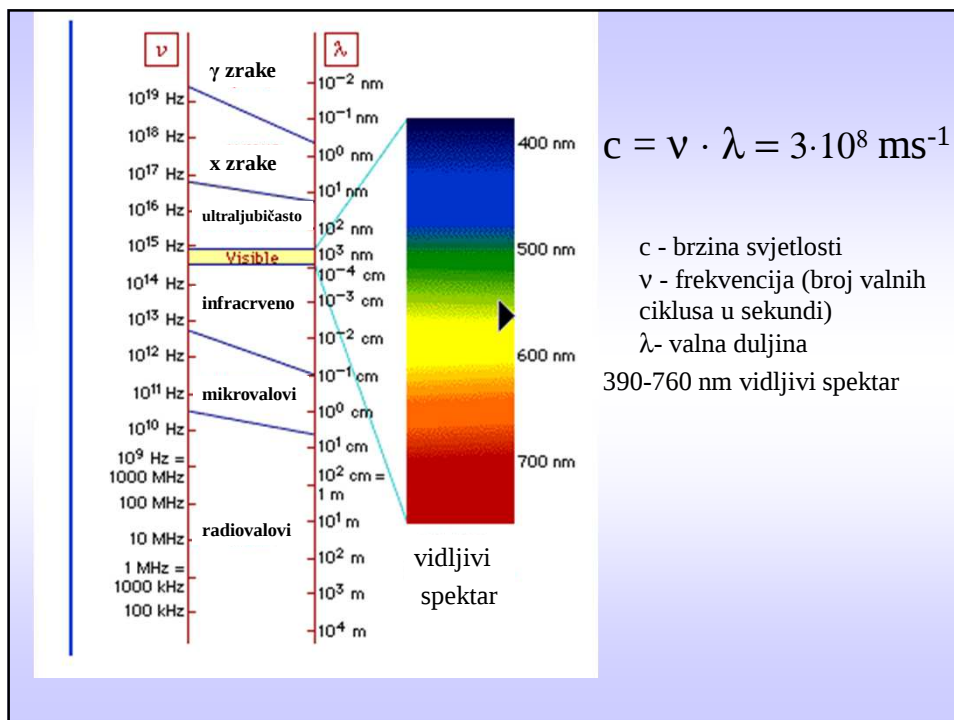
Elektromagnetski valovi sastoje se iz električnog i magnetskog polja koja imaju istu valnu duljinu i istu amplitudu, time i brzinu, a putuju u međusobno okomitim ravninama.



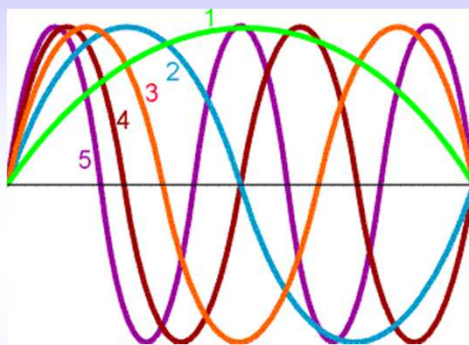
- Vidljiva svjetlost je dio elektromagnetskog spektra u području valnih duljina od 380 nm do 780 nm. Svjetlost možemo shvatiti kao zračenje koje djeluje na mrežnicu oka i izaziva osjet vida.
- Ostale vrste elektromagnetskih zračenja (toplinsko, ultraljubičasto, mikrovalove, radiovalove) naše tijelo osjeća na drugi način.



- Ponekad kažemo kako svjetlošću nazivamo svo zračenje koje emitiraju izvori svjetlosti pa kažemo da svjetlost obuhvaća ultraljubičasto, vidljivo i infracrveno zračenje.
- Rendgenske zrake su također elektromagnetski valovi poput svjetlosti, samo puno manje valne duljine



## Stojni val

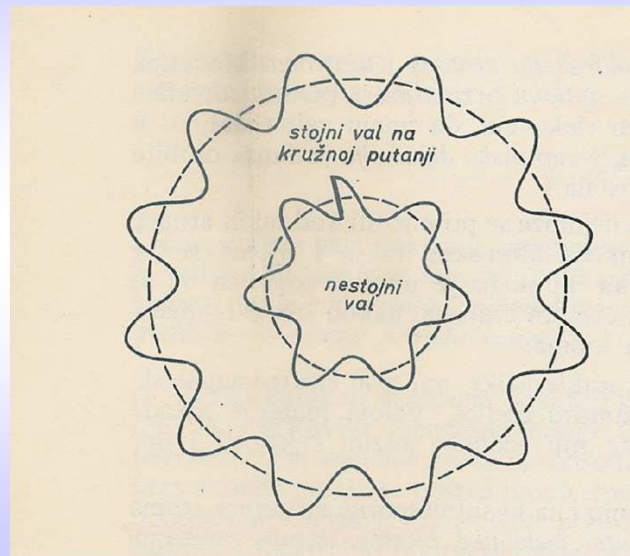


Stojni val je val koji cijeli broj puta stane na određenu putanju.  
Svako slijedeći val ima jedan polual više i  $\lambda$  je manja.

$$n\lambda = d$$

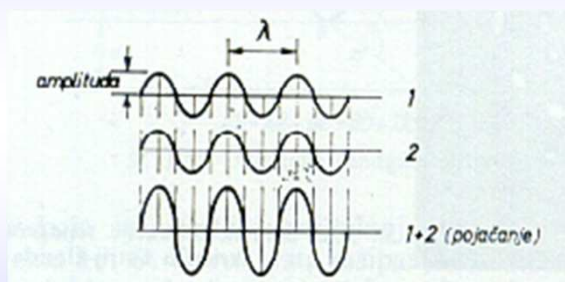
## Stojni val na kružnici

$$n\lambda = 2\pi r$$

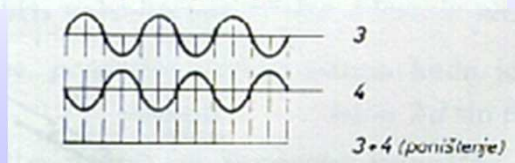


- Pojave koje ukazuju da je svjetlost val su interferencija, difrakcija i polarizacija
- Interferencija**

**pozitivna**

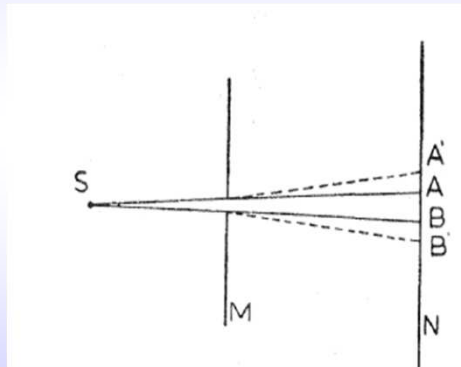


**negativna**

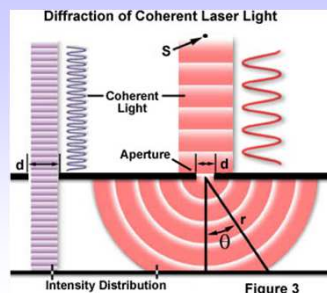


Padom zraka vidljive svjetlosti na finu rešetku (optičku rešetku) s uskim pukotinama nastaje

**DIFRAKCIJA** (ogib) svjetlosti - skretanje vala svjetlosti iza prepreke i njegovo odstupanje od pravocrtnog širenja

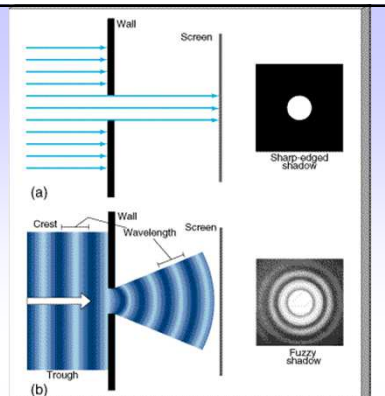


Što su zrake manje valne duljine potrebna je finija rešetka.



<http://www.olympusmicro.com/primer/java/diffraction/index.html>

$$\lambda \ll d$$



$$\lambda \approx d$$

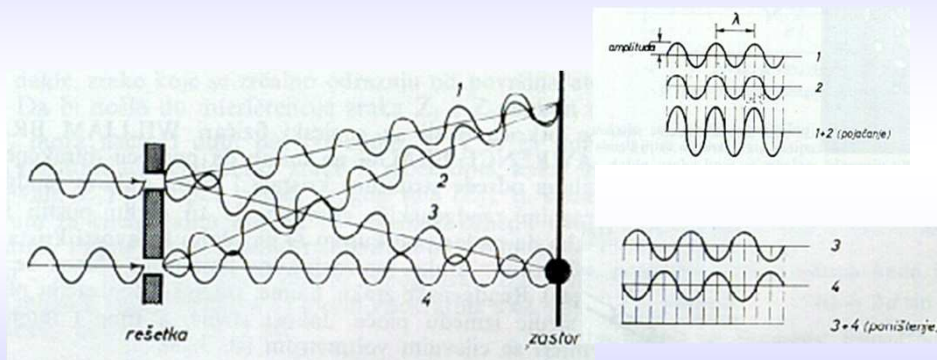
Kada val prolazi kroz otvor na zaslonu rezultat difrakcije ovisi o odnosu valne duljine svjetlosti i veličine otvora

ako je otvor puno veći od valne duljine svjetlosti val putuje jednostavno ravno naprijed (lijevi dio slike 3 i a druge slike, vrlo je oštra granica svjetla i tame na zastoru)

ako je otvor manji od valne duljine svjetlosti (desni dio slike 3 i b druge slike, granica svjetla i tame je nejasna i pokazuje difrakcijski uzorak)

dolazi do difrakcije prema jednadžbi  $\lambda / d = \sin \theta$

Difrakcijom nastaju svjetlosni valovi iste valne duljine koji se mogu međusobno pojačavati ili smanjivati - INTERFERENCIJA

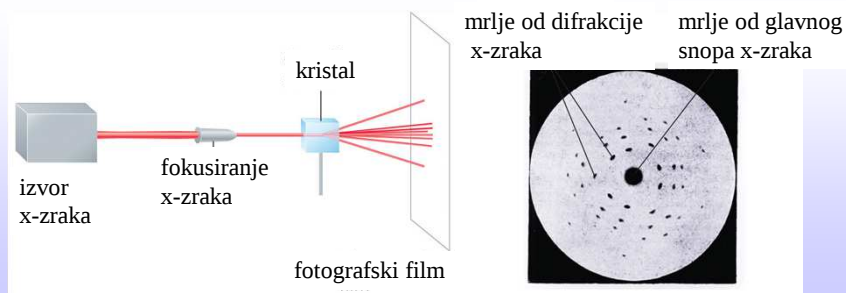


## Rendgenske zrake i struktura kristala

Ako su rendgenske zrake elektromagnetski valovi onda moraju pokazivati pojavu interferencije kao i svjetlosne zrake

Max von Laue je 1912. (Nobelova nagrada za fiziku 1914.) došao na ideju da bi se difrakcija rendgenskih zraka koje imaju jako malu valnu duljinu (0.01 do 1 nm) mogla izvesti pomoću vrlo fine rešetke koju čine atomi u kristalu.

W. Friedrich i P. Knipping su prvi izveli takav eksperiment s kristalom bakrovog(II) sulfata i cinkovog sulfida.



# Braggova jednađžba

W.H.Bragg i W.L. Brag – Nobelova nagrada za fiziku 1915.

- koristi se za analizu kristalnih struktura.

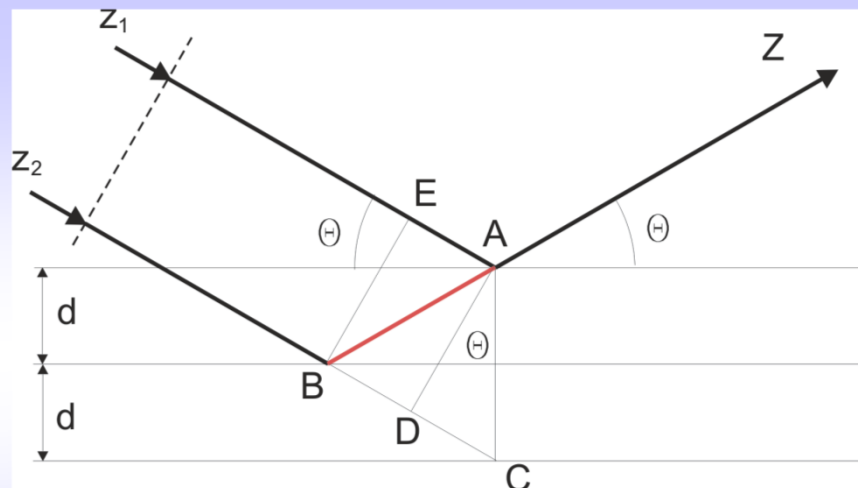
$$\bullet \ n\lambda = 2d \sin \theta$$

$d$  = udaljenost između atoma

$n$  = cijeli broj

$\lambda$  = valna duljina x-zrake

$\theta$  = Bragov kut sjaja



$$AB - AE = n\lambda \quad \text{vrijedi} \quad BC = AB \quad BD = AE$$

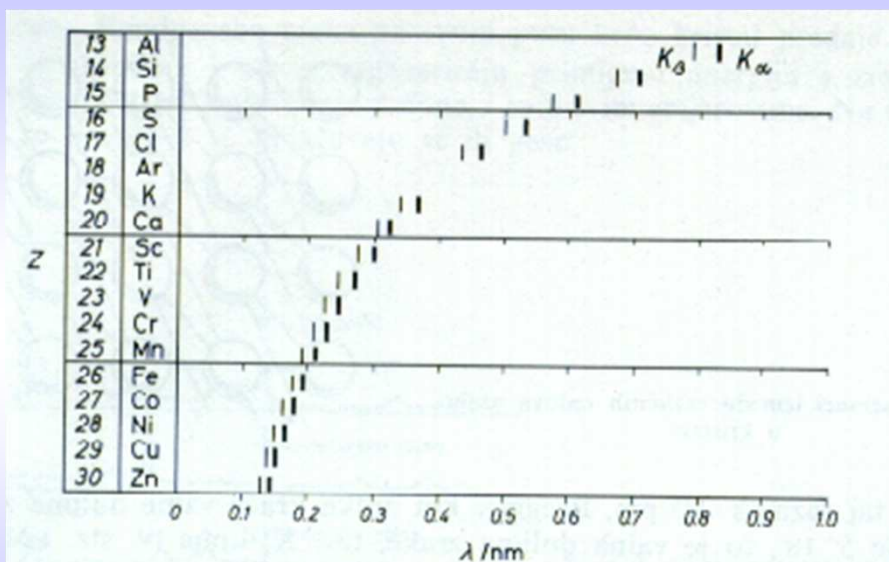
$$BC - BD = DC = AC \sin \theta = 2d \sin \theta = n\lambda$$

refleksije se ponavljaju za  $n = 1, 2, 3$

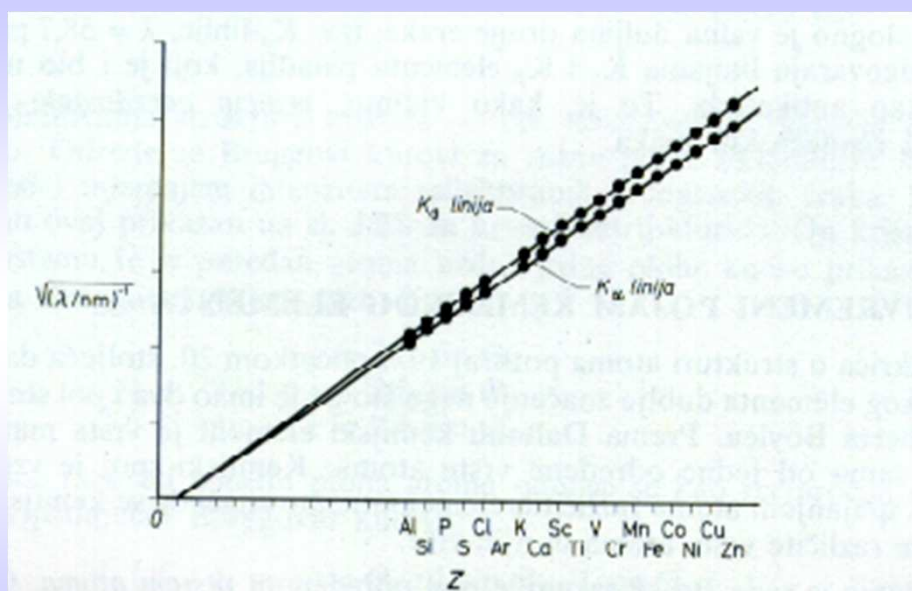
- određivanje razmaka između atoma, ako je poznata  $\lambda$
- određivanje valne duljine X-zraka, ako je poznat  $d$  i  $\Theta$

- Difrakcija rendgenskih zraka na kristalu predstavlja međusobno djelovanje rendgenskih zraka i elektrona atoma:
  - rendgenska zraka na putu kroz kristal predaje energiju elektronima u atomima
  - atomi regeneriraju primljenu energiju i zrače je u obliku elektromagnetskih valova **iste valne duljine**, i to u istim smjerovima
  - valovi se interferiraju (pojačavaju ili gase)

- Moseley (1913) Braggovom metodom izmjerio je valne duljine rendgenskih zraka dobivene s antikatodama od različitih elemenata
- Za svaki element dobio je dvije valne duljine, tzv.  $K_{\alpha}$  i  $K_{\beta}$  liniju (emisijski spektar)



- Valne duljine rendgenskih zraka pravilno se mijenjaju s rastućim atomskim masama



- svakom elementu u nizu pridružio je broj koji je nazvao **redni broj elementa (Z)**; još se naziva i **atomski broj**
- Z - atomski broj; broj protona u jezgri

$$\frac{1}{\lambda} = \text{konstanta}(Z - 1)^2$$