

## Uvodni čas

**Udžbenici** koji se koriste tokom ove školske godine su:

**Fizika** za IV razred gimnazije, Milan Raspopovi

**Zbirka zadataka i testova** iz fizike za IV razred gimnazije, Nataša Galukovi

**Učenik je obavezan da ima svesku na svakom času!**

Nastavne teme koje se po planu i programu ove školske godine obrađuju su:

-relativistička fizika

-toplotno zračenje i kvantna priroda elektromagnetnog zračenja

-talasna svojstva čestica i pojam o kvantnoj mehanici

-kvantna teorija vodonikovog atoma

-fizika vrstog stanja

-laseri

-fizika atomskog jezgra

-fizika elementarnih čestica

-astrofizika

## **Osnovni postulati Specijalne Teorije Relativiteta (STR)**

### **Granice primenljivosti Njutnove (klasične) mehanike**

1. Njutnova (klasična) mehanika se može primenjivati na makro objekte dok kada je u pitanju kretanje atoma, elektrona i sitnijih čestica moramo da pređemo na kvantnu mehaniku koja je bazirana na teoriji verovatnoće.
2. Ako se objekti kreću u brzinama uporedivim sa brzinom svetlosti mora se primeniti Ajnštajnova Specijalna Teorija Relativiteta (STR).

### **Ajnštajnova Specijalna Teorija Relativiteta**

Ajnštajnova Specijalna Teorija Relativiteta (STR) je savremena fizička teorija prostora i vremena koju je pokrenuo Albert Ajnštajn 1905. godine. Često se još naziva relativistička teorija. Specifični relativistički efekti se ispoljavaju pri brzinama uporedivim sa brzinom svetlosti. Ona važi samo u inercijalnim sistemima reference. To su sistemi koji miruju ili se kreću sa konstantnom brzinom bez rotacije u odnosu na neki sistem koji miruje. U njima važi prvi Njutnov zakon.

U osnovi STR su samo dva Ajnštajnova postulata.

Prvi postulat je Ajnštajnov princip relativnosti: svaki fizički zakon u svim inercijalnim sistemima reference izražava se jedinstvenim istog oblika.

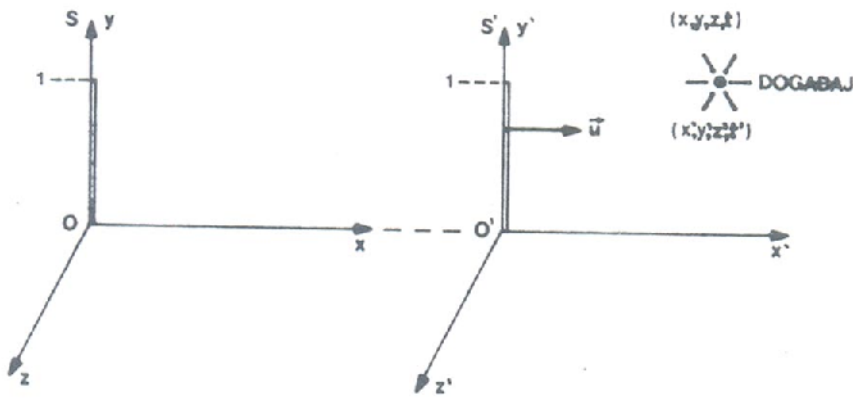
Drugi postulat je princip invarijantnosti brzine svetlosti u vakuumu: brzina svetlosti u vakuumu je ista u svim inercijalnim sistemima reference.

Brzina svetlosti je ista bilo da izvor svetlosti miruje ili se kreće u proizvoljnom pravcu.

Dakle, brzina svetlosti u vakuumu je maksimalna brzina u prirodi.

## Lorencove transformacije

Do pojave Specijalne teorije relativiteta koristila se pretpostavka da vreme te e samo po sebi bez obzira na kretanje tela. Neka imamo dva sistema referencije koji se kre u tako da im se x-ose poklapaju. U klasi noj mehanici koristile su se takozvane Galilejeve transformacije za veze izmedju koordinata i vremena i u prvom i u drugom sistemu. Ovo je važiilo do 1905. kada je Albert Ajnštajn pokazao da su prostor i vreme povezani. Ajnštajnova teorija podržiava takozvane Lorencove transformacije koje povezuju prostorno - vremenske promenljive jednog istog doga aja u 2 inercijalna referentna sistema. Ove transformacije su univerzalne kada je re o brzinama kretanja, a za male brzine svode se na Galilejeve.



Najjednostavniji oblik ove transformacije imaju kada se jedan referentni sistem kre e stalnom brzinom u pravcu jedne ose drugog referentnog sistema.

Sledi njihova formulacija:

$$\begin{aligned} x' &= (x - vt) / (1 - v^2 / c^2)^{1/2} ; \\ x &= (x' + vt') / (1 - v^2 / c^2)^{1/2} ; \\ t' &= (t - vx / c^2) / (1 - v^2 / c^2)^{1/2} ; \\ t &= (t' + vx' / c^2) / (1 - v^2 / c^2)^{1/2} \end{aligned}$$

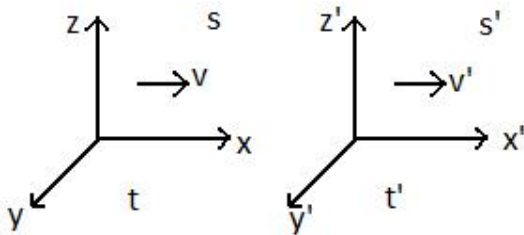
gde je v brzina kretanja jednog referentnog sistema u odnosu na drugi.

## Kontrakcija dužina i dilatacija vremena

Kontrakcija dužina je jedan relativistički efekat kretanja. Posmatrač u jednom inercijalnom referentnom sistemu dužina predmeta koji se kreće u odnosu na njega može izgledati kraća nego što to zaista jeste. U stvarnosti predmet se ne deformiše već ga posmatrač vidi skraćeno i to samo dimenziju predmeta u pravcu kretanja, dok se ostale dimenzije ne skraćuju. Treba znati da je predmet **najduži za onog posmatrača u odnosu na koga miruje**, a za ostale je kraći:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$L$  je dužina predmeta za posmatrača u odnosu na koga se on kreće,  $L_0$  je dužina predmeta za posmatrača u odnosu na koga on miruje, a  $v$  je brzina jednog posmatrača u odnosu na drugog.



Izraz za kontrakciju dužine se izvodi preko Lorencovih transformacija:

Ako imamo štap dužine  $L_0$  u sistemu S duž x-ose to znači da je u sistemu S' početak štapa  $x_1' = 0$ , a kraj  $x_2' = L_0$ . Dužina tog štapa je:

$$L_0 = x_2' - x_1' = (x_2 - vt) / (1 - v^2/c^2) - (x_1 - vt) / (1 - v^2/c^2) = (x_2 - x_1) / (1 - v^2/c^2) = L / (1 - v^2/c^2)$$

$$L = L_0 (1 - v^2/c^2)$$

## Dilatacija vremena

### Relativnost istovremenosti

Dva događaja su istovremena ako sinhronizovani posmatraci, koji se nalaze u istom mestu gde se oni dešavaju, pokazuju isto vreme. Istovremenost događaja u jednom inercijalnom sistemu reference ne znači da su oni istovremeni i u nekom drugom inercijalnom sistemu.

U jednom sistemu reference događaji A i B mogu biti istovremeni a u nekom drugom se događaj A desi pre događaja B, a u nekom trećem sistemu se prvo desi događaj B pa onda događaj A. Ali, ako je događaj A uzrok a događaj B posledica, u svakom referentnom sistemu se događaj A desi pre događaja B.

### Dilatacija (produženje) vremena

Sopstveno vreme  $T_0$  je vreme između dva događaja u onom referentnom sistemu u kojem se oni dešavaju na istom mestu.

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

U odnosu na nepokretnog posmatrača, vreme sporije teče u referentnim sistemima koji se kreću.

Izraz za dilataciju vremena se izvodi preko Lorencovih transformacija:

$$\Delta t_0 = t_2' - t_1' \quad x_2' = x_1' = x'$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = (t_2' - x v/c^2) / (1 - v^2/c^2) - (t_1' - x v/c^2) / (1 - v^2/c^2) = (t_2' - t_1') / (1 - v^2/c^2) =$$

$$\Delta t_0 / (1 - v^2/c^2)$$

$$\Delta t = \Delta t_0 / (1 - v^2/c^2)$$

## Izrada zadatka: kontrakcija dužine i dilatacija vremena

1. Sopstvena dužina štapa je 1m. Kolika je dužina tog štapa u sistemu u kojem se on kreće brzinom 0,6 c u pravcu svoje dužine?

Rešenje: 80 cm

2. Pri kojoj brzini kretanja relativistička kontrakcija dužine iznosi 1% a pri kojoj 50%?

Rešenje:  $v=0.14c$   $v=0.87c$

3. Kolikom brzinom treba da se kreće čestica u odnosu na Zemlju da bi njeno sopstveno vreme života bilo 10 puta manje od vremena izmerenog posmatračem na Zemlji?

Rešenje:  $v=0.995c$

Koristiti formule:

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$L$  je dužina predmeta za posmatrača u odnosu na koga se on kreće,  $L_0$  je dužina predmeta za posmatrača u odnosu na koga on miruje, a  $v$  je brzina jednog posmatrača u odnosu na drugog.

$T_0$ - sopstveno vreme

Brzina svetlosti  $c= 3 \cdot 10^8$  m/s

## Dinamika specijalne teorije relativnosti

Jedan od glavnih stavova klasične fizike bio je da je masa konstantna u svim procesima. Specijalna teorija relativnosti tvrdi da postoji zavisnost mase od brzine, tj. promenljivost mase.

Relativistička masa i impuls

Razlikujemo masu mirovanja  $m_0$  i relativističku masu koja zavisi od brzine kretanja tela.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Svako telo koje ima masu poseduje energiju mirovanja :  $E_0 = m_0 c^2$

Ova fizika veli inače nema značaj kada se vrše proračuni u Njutnovoј fizici - dakle kada se tela kreću u mnogo manjim brzinama od brzine svetlosti, ali postaje aktuelna u mikrosvetu.

Relativistički impuls

Kada su brzine kretanja nerelativističke, impuls je jednak proizvodu mase i brzine tela  $p = mv$

U relativističkoј mehanici impuls tela je jednak proizvodu relativističke mase i brzine tela

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

i ova jednačina za izražavanje impulsa je univerzalna. Kada se telo kreće nerelativističkom brzinom, ova jednačina svodi se na  $p = mv$  u skladu sa principom korespondentnosti. U skladu sa drugim Ajnštajnovim postulatom osnovni zakon dinamike ima isti oblik kao u klasičnoј Njutnovoј teoriji samo što je impuls relativistički.

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

## Ukupna mehani ka energija

Svako telo koje ima masu poseduje energiju mirovanja

$$E_0 = mc^2$$

U relativisti koj fizici ukupna mehani ka energije izražava se jedna inom

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

gde je  $m_0$  masa tela ija je energija  $E$  u odnosu na posmatra a,  $v$  je brzina tela u odnosu na posmatra a. Ova relacija se naziva relacijom ekvivalencije energije i mase.

esto je u zadacima jedan referentni sistem vezan za telo, pa u odnosu na takav sistem telo poseduje samo energiju mirovanja.

Prilikom rešavanja zadatka od koristi je jedna ina koja povezuje energiju i impuls tela :

$$E = (p^2 c^2 + m^2 c^4)^{1/2}$$

Ako se telo kre e brzinom bliskoj brzini svetlosti – ultrarelativisti ki slu aj, poslednja jedna ina se svodi na  $E = pc$  jer ultrarelativisti ke estice nemaju masu.

## Izrada zadataka : relativisti ka energija, impuls

1. Kolikom brzinom treba da se kre e estica da bi njena kineti ka energija bila jednaka energiji mirovanja?

Rešenje :  $V=0.866 c$

2. Na i brzinu i impuls estice ija je ukupna energija 1,5 MeV. Masa estice je  $9,1 \cdot 10^{-31}$  kg.

Rešenje :  $V=0.94 c$   $P= 7.5 \cdot 10^{-22}$  kg m/s

3. Na i impuls elektrona ija je ukupna energija tri puta ve a od energije mirovanja. Masa elektrona je  $9.1 \cdot 10^{-31}$  kg.

Rešenje :  $P= 7.7 \cdot 10^{-22}$  kg m/s

4. Na i impuls estice cija je energija mirovanja 0,5 MeV a kineti ka energija 1 MeV.

Rešenje :  $P= 4.7 \cdot 10^{-22}$  kg m/s

5. Izra unati kineti ku energiju i brzinu elektrona ija je ukupna energija 11 puta ve a od energije mirovanja. Masa elektrona je  $9.1 \cdot 10^{-31}$  kg.

Rešenje :  $E_k= 8.19 \cdot 10^{-13}$  J  $v= 0.995 c$

6. Kolikim naponom treba da se ubrza elektron iz mirovanja da bi njegova kineti ka energija bila 10 puta ve a od energije mirovanja? Masa elektrona je  $9.1 \cdot 10^{-31}$  kg a naelektrisanje  $1.6 \cdot 10^{-19}$  C.

Rešenje :  $U=5.1$  MV

## Apsolutno crno telo I zakoni toplotnog zračenja

Apsolutno crno telo je model tela koje potpuno apsorbuje elektromagnetno zračenje koje pada na njega - apsorpciona moć je 1. a je najbliži ovom modelu.



Model apsolutno crnog tela

Emisiona moć tela pokazuje kolika energija  $E$  se emituje sa površine tela  $S$  u toku vremena  $t$

$$e_{\text{act}} = E / St$$

Apsorpciona moć tela pokazuje koliki deo energije elektromagnetnog zračenja koje pada na neko telo biva apsorbovan. Koeficijent se računava na sledeći način :

$$A = E_a / E_u$$

$E_u$  je ukupna energija koja pada na telo, a  $E_a$  apsorbovana energija.

### Štefan – Bolcmanov zakon

Ukupna (integralna) emisiona moć apsolutno crnog tela je proporcionalna četvrtom stepenu njegove apsolutne temperature.

$$e_{\text{act}} = \sigma T^4$$

gde je  $e_{\text{act}}$  emisiona moć apsolutno crnog tela ;

- Štefan – Bolcmanova konstanta  $\sigma$  iznosi  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W / m}^2\text{K}^4$  ;

$T$  – apsolutna temperatura

## Vinov zakon

Svako telo emituje u ve o j ili manjoj meri neku energiju. Verovatno ste primetili kako štap na grejalici menja boju tokom zagrevanja. Kada je crvene boje to zna i da najve u koli inu energije štap zra i na frekvenciji (talasnoj dužini) crvene boje (u vidljivom delu spektra). Kako se boja menja, tako se menja frekvencija na kojoj se izra i najve a koli ina energije. Treba imati na umu da štap zra i energiju i na drugim talasnim dužinama (neke od njih su nevidljive za oko i leže u IC oblasti) .

Primenjen na apsolutno crno telo ovaj zakon glasi :

$$\lambda_{\max} = b / T$$

gde je  $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{mK}$  Vinova konstanta, a  $T$  apsolutna temperatura.

Prema ovom zakonu talasna dužina koja odgovara maksimumu intenziteta zra enja apsolutno crnog tijela je obrnuto srazmjerna njegovoj temperaturi

Na osnovu gore navedene relacije može se izra unati temperatura tela ukoliko je poznata talasna dužina pri kojoj telo ima maksimalnu emisiju sposobnost i obrnuto. Vinov zakon kaže da se maksimum emisije mo i apsolutno crnog tela sa porastom temperature pomera ka manjim talasnim dužinama, s toga se esto naziva o Vinov zakon pomjeranja.

## Kirhofov zakon zra enja

Svako telo u stanju termodinami ke ravnoteže na apsolutnoj temperaturi  $T$  istovremeno emituje i apsorbuje elektromagnetno zra enje jednake energije. Za takvo ravnotežno stanje Kirhof je našao slede i zakon: odnos emisije i apsorpcione mo i nekog tela jednak je emisioj mo i apsolutno crnog tela :

$$E/A = \text{act}$$

Ovaj zakon kaže da odnos inenziteta emitovanog zra enja u odnosu na jedini ni interval talasnih dužina i apsorpcione sposobnosti tijela, na temperature  $T$  i za odredjenu talasnu dužinu , ne zavisi od prirode tela ve da je isti za sva tela i da je jednak univerzalnoj funkciji temperature i talasne dužine.

## Plankov zakon

Max Planck (Maks Plank) je teorijskim putem 1900. godine odredio oblik funkcije  $u(\lambda, T)$  koja se u potpunosti slagala sa eksperimentalnim podacima. Do ovog rezultata je došao pomoću svojih dva postulata, koja su bila potpuno nepoznata klasičnoj fizici. U prvom postulatu on je izneo pretpostavku da se elektromagnetno zračenje ne emituje stalno već da se emituje u obliku odvojenih količina energije - kvantata energije. Energija kvanta iznosi:

$$E_h = h \nu,$$

gdje je  $\nu$  frekvencija zračenja dok je  $h$  Plankova konstanta,  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  J s.

Po drugom postulatu ukupna energija elektromagnetnog talasa je predstavljena kao:

$$E_h = n h \nu,$$

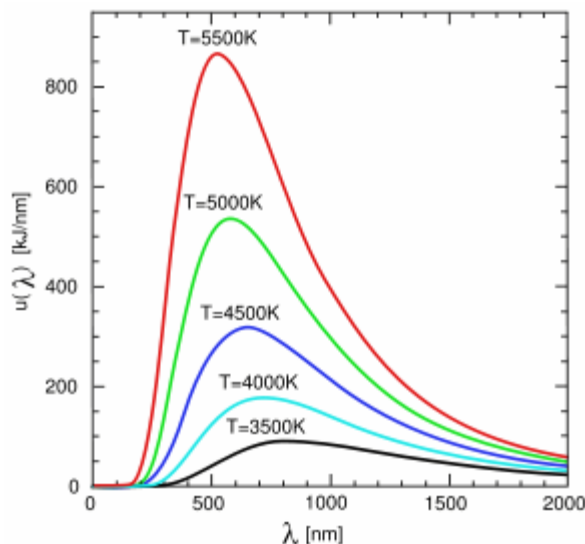
gdje  $n$  može biti samo celi broj kvantata.

Na osnovu ovih postulata Plank je došao do sledećeg oblika funkcije:

$$u(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left( e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1 \right)}$$

gdje je  $T$  apsolutna temperatura,  $c$  brzina svetlosti ( $c = 3 \cdot 10^8$  m s<sup>-1</sup>) a  $k$  Boltzmanova konstanta koja iznosi  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  J K<sup>-1</sup>.

Gore navedeni izraz predstavlja Plankov zakon zračenja za apsolutno crno telo i povezuje emisiju sposobnost tijela sa talasnom dužinom i temperaturom. Zavisnost funkcije  $u(\lambda, T)$  od talasne dužine za različite temperature je grafički prikazana na slici.



Zavisnost emisije m<sub>0</sub> i apsolutno crnog tela  $u(\lambda, T)$  od talasne dužine  $\lambda$ .

Sa slike se vidi da se porastom temperature emisija m<sub>0</sub> apsolutno crnog tela povećava dok se talasna dužina maksimuma zračenja smanjuje.

### Izrada zadatka : Toplotno zračenje apsolutno crnog tela

1. Kada se temperatura apsolutno crnog tela poveća dva puta, talasna dužina kojoj odgovara maksimum spektra zračenja promeni se za 400 nm. Odrediti početnu i krajnju temperaturu tela.

Rešenje:  $T_1 = 3625 \text{ K}$  i  $T_2 = 7250 \text{ K}$

2. Maksimum spektra Sunca odgovara talasnoj dužini od 500 nm. Smatrajući da Sunce zrači kao apsolutno crno telo, nađite njegovu emisivnu moć i snagu zračenja. Poluprečnik Sunca je  $6,95 \cdot 10^8 \text{ m}$ .

Rešenje:  $E = 6,4 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$      $P = 3,9 \cdot 10^{26} \text{ W}$

3. Koliko puta je emisivna moć apsolutno crnog tela na  $100^\circ \text{ C}$  veća nego na  $0^\circ \text{ C}$ ?

Rešenje: 3,48 puta

4. Snaga zračenja apsolutno crnog tela je 10 kW. Nađite površinu koja emituje ako maksimum spektra zračenja odgovara talasnoj dužini 700 nm.

Rešenje:  $S = 6 \text{ cm}^2$

5. Usled promene temperature apsolutno crnog tela talasna dužina kojoj odgovara maksimum spektra zračenja promeni se sa  $2,4 \text{ }\mu\text{m}$  na  $0,8 \text{ }\mu\text{m}$ . Kako se promenila emisivna moć tela pri tome?

Rešenje: Povećala se sa  $120 \text{ kW/m}^2$  na  $9,8 \text{ MW/m}^2$

## De Brojjeva hipoteza

Elektromagnetsko zračenje pri širenju kroz prostor pokazuje talasna svojstva, a pri interakciji sa materijom korpuskularna (čestica) svojstva. 1924.god. Luj de Broj je postavio pitanje dualizma mikroestice npr. elektrona.

Kao što geometrijska optika ne objašnjava sva svojstva svetlosti već su interferencija i difrakcija objašnjene talasnim svojstvima tako ni Njutnova mehanika ne objašnjava sva svojstva elektrona npr. njegova kvantna stanja. Naziv difrakcija potiče od grčke riječi difractio što znači savijanje, prelamanje. Difrakcija svetlosti nastaje kada svetlosni talas naiđe na otvor ili prepreku čije su dimenzije reda veličine talasne dužine svetlosti.

**Talasna mehanika primjenjuje se na kretanje mikroestice atomskih i subatomskih dimenzija (npr. elektron, atom, jezgro).**

Za mikroesticu mase  $m$  i brzine  $v$  (odnosno energije  $E$ ) korpuskularna svojstva okarakterisana su energijom  $E$  i impulsom  $p$  a talasna svojstva frekvencijom  $\nu$ . Veza između karakteristika njih veličina je kao i kod elektromagnetskog zračenja,

$$E=h\nu$$

gde je  $h$ -Planckova konstanta.

**De Broj postulira da se čestici mase  $m$  i brzine  $v$  pridružuje talas ili talasni paket. Slobodnoj čestici mase  $m$  i brzine  $v$ , pridružuje se ravan talas koji opisuje njeno kretanje.**

Taj talas će imati De Brojjevu talasnu dužinu

$$\lambda = h/p$$

Za nerelativističke brzine je  $p=mv$  pa je tada talasna dužina

$$\lambda = h/mv$$

Smer kretanja čestice i talasa mora biti isti.

**Elektron u stacionarnom stanju može imati takve talasne dužine čiji je celobrojan umnožak jednak dužini kružne orbite po kojoj kruži.**

Od svih talasa elektrona održava se onaj kojim je  $n=2, 3, 4, \dots$ , što znači da talasna funkcija koja opisuje stacionarno stanje ima samo jednu vrednost.

I druge mikroestice (neutron, atom vodonika, alfa čestica, atomi lakih elemenata) imaju svojstva koja se opisuju de Brojjevima talasima. Kako je masa protona ili neutrona za oko 2000 puta veća od mase elektrona, to će i talasne dužine de Brojjevih talasa za proton ili neutron biti pri istoj brzini 2000 puta manje od talasnih dužina de Brojjevih talasa za elektron.

Većim objektima mogla bi se pripisati talasna svojstva, ali tada de Brojjeva jednačina gubi značenje, jer su, zbog relativno velike mase objekta talasne dužine de Brojjevih talasa male i nemoguće je uočiti difrakciju ili neka druga talasna svojstva objekta.

### Eksperimentalna potvrda de Brojjeve hipoteze

Prema de Brojju sve korpuskularne čestice posjeduju i talasna svojstva. Međutim bilo je potrebno eksperimentalno dokazati da se snopovima elektrona dešavaju interferencija i difrakcija. Difrakcija elektrona se teže ostvaruje od difrakcije fotona zbog toga što je elektron naelektrisan čestica i prolaskom kroz bilo koju sredinu gubi energiju ne samo direktnim sudarom nego i električnim interakcijama sa naelektrisanim česticama koje na svom putu sretnu, a to su atomska jezgra i drugi elektroni. Zbog toga se ovaj eksperiment mora vršiti u visokom vakuumu sa tankom metnom.

Davisson i Germer u SAD eksperimentalno su potvrdili difrakciju elektrona metodom refleksije elektrona od površine kristala.

Zbog talasnih svojstava elektrona, difrakcija elektrona može da se koristi za ispitivanje kristalne strukture materijala, kao i difrakcija x zraka. Elektroni ne prodiru duboko u kristal kao x zraci jer su naelektrisani, pa se difrakcijom elektronskih talasa prvenstveno ispituju površine materijala. Jedna od prednosti elektronskog snopa u odnosu na x zrake je što se mogu postići i veći intenziteti zračenja i time skratiti vreme ispitivanja. Energija elektronskog snopa može se kontinualno menjati a prema tome i talasna dužina čime je omogućeno jednostavno biranje najpogodnijih talasnih dužina.

## Hajzenbergove relacije neodređenosti

Verner Hajzenberg je dobio Nobelovu nagradu za fiziku 1932.godine.

U klasičnoj Njutnovoju fizici se mogu istovremeno odrediti koordinata i impuls tela. Ime je njegovo kretanje potpuno opisano. Greške merenja koordinate i impulsa su međusobno nezavisne a zavise samo od instrumenata i na druga merenja.

U mikrosvetu se ne mogu istovremeno odrediti koordinata i ekvivalentna komponenta brzine čestice :

$$\begin{aligned}x &\bullet p_x & / 2 \\y &\bullet p_y & / 2 \\z &\bullet p_z & / 2\end{aligned}$$

$x$  je neodređenost izmerene vrednosti koordinate čestice tj. greška merenja  $p_x$  je neodređenost izmerene komponente impulsa. Njihov proizvod je ograničen sa donje strane tj.njihove greške merenja su povezane. Ako precizno odredimo položaj mikroobjekta, ne možemo da odredimo impuls odnosno brzinu mikroobjekta i obrnuto.

Ali, zapazimo da se mogu istovremeno izmeriti, naprimer,  $x$  koordinata i  $y$  komponenta impulsa čestice :

$$x \bullet p_y = 0$$

Takođe, što je preciznije određena energija čestice ne može se precizno znati koliko dugo će ta čestica imati takvu energiju :

$$E \bullet t > / 2$$

Hajzenbergove relacije neodređenosti pokazuju da se proces merenja na mikroobjektu bitno razlikuje od merenja na makroobjektu. Kod mikroobjekta instrument utiče na proces koji se posmatra.

Posledice principa neodređenosti:

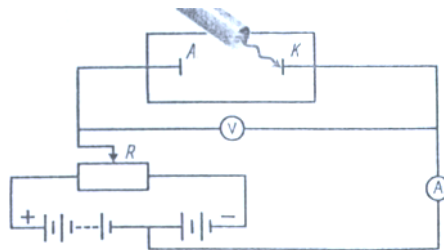
- Elektronu u atomu se ne može pripisati određena putanja
- Elektron je u prostoru raspoređen između jezgra i beskonačnosti
- Umesto putanje imamo verovatnoću nalaženja elektrona
- Orbitala je prostor oko jezgra atoma gde je najverovatnije nalaženja elektrona (oko 90%)

## Fotoelektri ni efekat

Kod fotoelektri nog efekta proces interakcije elektromagnetnog zra enja sa elektronima objašnjen je korpuskularnom prirodom elektromagnetnog zra enja. 1921. god. A. Ajnštajn dobio je Nobelovu nagradu za ovo otkri e.

Rade i na ispitivanju širenja elektromagnetskih talasa, Hertz je ve 1887. god. zapazio da padanje svetlosti na elektrodu u vakuumskoj cevi dovodi do elektri nog pražnjenja. itav niz eksperimenata je pokazao da svetlost dovoljno visoke frekvencije osloba a elektrone iz metala.

**Fotoefekat je pojava pri kojoj dolazi do osloba anja elektrona sa površine metala kada se metal osvetli ultraljubi astom svjetloš u.** Za prou avanje fotoefekta koristi emo eksperiment prikazan na slici. U vakuumskoj cevi nalaze se elektode pri emu razliku potencijala izme u njih menjamo sa potenciometrom, a merimo sa voltmetrom. Kada se katoda osvetli svetloš u, ja inu struje u kolu merimo sa ampermetrom



Pojave fotoefekta ne mogu se objasniti talasnom prirodom svjetlosti i Anštajn je pokazao da se svetlost apsorbuje u istim kvantima energije  $h\nu$  u kojima se prema Plankovoj pretpostavci emituje. Energija svetlosti nije kontinualno raspore ena po frontu talasa, nego je koncentrovana u paketima energije ija je vrijednost  $h\nu$ . Taj paket-kvant energije nazvan je fotonom. Foton je utoliko ve i, ukoliko je frekvencija svetlosti ve a.

Pri fotoefektu dolazi do sudara fotona i valentnog elektrona pri emu foton celokupnu energiju predaje elektronu, koja ako je dovoljna dovodi do osloba anja elektrona iz metala. Dobijenu energiju elektron troši na  $A_i$  - izlazni rad, a ostatak prestavlja kineti ku energiju elektrona. Na osnovu zakona održanja energije:

$$h\nu = A_i + \frac{mv^2}{2}.$$

Kineti ka energija elektrona zavisi od energije fotona. Broj oslobo enih elektrona zavisi od inteziteta svjetlosti, odnosno od broja fotona.

Izlazni rad elektrona  $A_i$  je rad koji se izvrši na osloba anju elektrona iz metala.

Postoji najmanja vrednost  $h\nu_0$ , ispod koje ne može do i do fotoefekta. Minimalna frekvencija je karakteristi na za supstancu iz koje elektroni izlaze. Ako se ona zna može se izra unati najduža talasna dužina svetlosti koja na odre enom metalu izaziva fotoefekat.

Ova talasna dužina  $\lambda_{\max}$  naziva se **crvena granica** foto-efekta. Ona zavisi samo od izlaznog rada, znači od hemijske prirode supstance od koje je izrađena fotokatoda i od stanja njene površine.

$$h \nu_{\min} = A_i$$

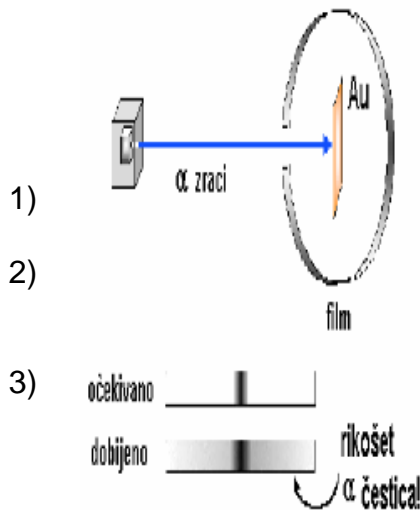
$$h \frac{c}{\lambda_{\max}} = A_i$$

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{A_i}$$

Tehnika primena fotoefekta zasniva se na korišćenju fotoelemenata (fotoelija). Nekada su fotoelije bile vakuumske cijevi. Savremeni fotoelementi reaguju ne samo na vidljivu svetlost nego i na infracrvene zrake.

## MODELI ATOMA , RADERFORDOV EKSPERIMENT

Po etkom 20-tog veka na osnovu Radefordovih eksperimenata iz 1906-e. god. i zakonitosti koje su uo ene u atomskim spektrima dolazi do spoznaje o strukturi atoma. Radeford je u svojim eksperimentima bombardovao esticama (dvostruko jonizovana jezgra atoma helijuma) tanke metalne (srebro, zlato, platina) folije.



Na osnovu prostorne raspodele rasejanih estica došao je do slede ih zaključaka:

- 1) masa i naelektrisanje su diskretno raspoređeni u foliji;
- 2) gotovo celokupna masa atoma je skoncentrisana u relativno maloj zapremini u jezgru atoma;
- 3) najveći deo zapremine atoma je prazan, odnosno ispunjen je negativno naelektrisanim elektronima (otkriveni od strane Tomsona 1897-e god.).

Na osnovu eksperimentalnih zaključaka došlo se do Radefordovog modela atoma po kome se u centru atoma nalazi pozitivno naelektrisano, teško jezgro oko koga, po itavoj zapremini koju zauzima atom, kruže negativno naelektrisani elektroni.

Model je bio u koliziji sa zakonima klasi ne fizike po kojima bi elektroni koji kruže morali postepeno gubiti energiju emituju i elektromagnetsko zra enje i usled toga bi u odre enom trenutku pali na jezgro, a što se ne dešava.

Slede a injenica koja nije bila objašnjiva je zašto pobu eni izolovani atomi u razre enom gasu ili pari metala emituju zra enja ta no odre enih talasnih dužina, tzv. linijske spektre.



Odgovor na pitanja zašto elektroni ne padaju na jezgro i zašto su spektri linijski dao je Borov model atoma 1913-te god.

## RAZVOJ MODELA ATOMA

- Dalton daje atomsku strukturu materije (1805)
- Goldstien otkriva protone (1866)
- J.J. Thompson otkriva elektron (1897)
- Thompsonov model atoma "puding od šljiva"
- E. Raderford otkriva atomsko jezgro i daje planetarni model atoma (1910)
- Borov model atoma (1913)
- Talasno-mehani ki model atoma
- Hajzenbergov princip neodre enosti (1925)
- Šredinger daje "talasnu mehaniku"(1926)
- Dirak integriše prethodna dva modela (1926)
- edvik otkriva neutron (1932)

## BOROV MODEL ATOMA

Rutherford je postavio planetarni model atoma po kome je atom izgradjen od pozitivnog jezgra i elektrona koji kruže po eliptičnim putanjama. Bor je objasnio stabilnost atoma i linijske spektre koje emituju atomi.

### BOROV POSTULATI

PRVI BOROV POSTULAT: Elektroni se u atomu oko jezgra kreću samo po određenim orbitama koje se zovu stacionarne. Dok je na stacionarnoj orbiti, elektron ne emituje elektromagnetno zračenje iako se kreće.

DRUGI BOROV POSTULAT: Moment impulsa elektrona u atomu ne može imati proizvoljnu vrednost, nego mora biti celobrojni umnožak konstante

$$L = n \frac{h}{2\pi} \quad \text{gde je } n=1,2,3,4,5,6 \text{ ili } 7$$

$n$  se zove glavni kvantni broj,  $\frac{h}{2\pi}$

TREĆI BOROV POSTULAT: Kada prelazi sa jedne na drugu stacionarnu putanju u atomu, elektron emituje ili apsorbuje kvant energije:

$$h\nu = |E_m - E_n|$$

gde su  $E_n$  i  $E_m$  energije elektrona na orbitama između kojih se dešava prelaz. Elektron apsorbuje kvant energije kada prelazi iz stanja sa manjom energijom u stanje gde mu je energija veća. U suprotnom slučaju, elektron emituje energiju.