

6. MODERNA FIZIKA

6. 1. FOTON

Energija elektromagnetnega valovanja je kvantizirana. Kvant te energije imenujemo foton.

Energija fotonov: $W = h\nu$

Planckova konstanta: $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ Js}$

Čim večja je frekvenca elektromagnetnega valovanja ali čim manjša je valovna dolžina, tem večja je energija fotonov, ki sestavljajo energijo valovanja, tem manj fotonov je potrebnih za dan energijski tok valovanja.

Energijski tok: $P = NW = Nh\nu$

Elektronvolt: $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$

Radijski fotoni – majhna energija (veliko fotonov za spremembe).

Fotoni rentgenskih žarkov in žarkov gama – precejšnja energija (pomembnost posameznega).

Vsak foton potuje s svetlobno hitrostjo.

Fotone ni mogoče usmerjati ali jim spreminjati hitrosti.

Foton se ali giblje s hitrostjo ali pa ga ni.

Gibalna količina fotona: $G = mc = \frac{W}{c} = \frac{h\nu}{c}$

Če foton zadene v snov, izgine (njegovo energijo in gibalno količino prevzame zadeti atom ali elektron).

FOTOELEKTRIČNI POJAV

Fotoelektrični pojav je zbijanje elektronov iz kovine z osvetljevanjem.

Kovina vsebuje proste elektrone (pripadajo celotni kovinski kristalni mreži).

Da prosti elektron zapusti kovino, potrebuje energijo – izstopno delo (da premaga privlak kovine).

Z največjo kinetično energijo izleti elektron, ki ne izgublja svoje energije zaradi trkov z drugimi

elektroni: $W_{kin} = W - W_i = h\nu - W_i$

Čim krajša je valovna dolžina vpadnega elektromagnetnega valovanja, tem večja je kinetična energija izbitih elektronov.

Fotocelica je steklena vakuumsko cev z dvema elektrodama (fotokatodo in anodo). V tokovni krog fotocelice je vključen vir stalne napetosti ter občutljiv merilec toka.

Fotokatoda je prevlečena s plastjo, ki ima nizko izstopno delo (priključena na negativni del napetosti).

Anoda je v obliki žičnega obroča, da prepušča svetlobo, ki vpada na fotokatodo, in iz nje zbija elektrone. Iz fotokatode izbite elektrone priteguje anoda, tako da skozi tokovni krog teče šibak električni tok (fotoelektrični tok).

S fototelici merimo energijski tok vpadne svetlobe (svetlomer, fotometer). Z njo lahko spreminjamo svetlobne signale v električne.

Fotoelektrični tok je pri dani anodni napetosti in vrsti (barvi) vpadne svetlobe premo sorazmeren z osvetljenostjo fotokatode.

6. 2. ELEKTRONSKA ENERGIJSKA STANJA V ATOMIH

Elektronska energijska stanja atoma – stacionarna stanja, v katerih je energija atoma točno določena in stalna (dano stanje zasede le en elektron).

Vsakemu vezanemu elektronu pripada energija, ki je večinsko negativna. (Energija je sestavljena predvsem iz negativne električne potencialne energije zaradi privlaka pozitivnega atomskega jedra ter iz pozitivne kinetične energije.)

Čim manjša je energija stanja elektrona, tem močnejše je vezan na atomsko jedro. Čim višja je energija stanja, tem bolj so stanja energijsko zgoščena, tem manj se energije sosednjih stanj razlikujejo.

Prost elektron,

- * ki miruje, ima energijo 0.
- * ki se giblje, ima večjo energijo kot mirujoč.
- * ima poljubno (pozitivno) energijo, vezan elektron v atomu pa je lahko le v določenih stanjih.

Vezan elektron ima zaradi vezave na atomsko jedro manjšo energijo.

2

Atom:

- * v osnovnem stanju ne seva fotonov
- * prejme energijo s trki z drugimi atomi ali elektroni ali z obsevanjem
- * se vzbudi, če atom absorbira energijo, pri tem pa njegov elektron preskoči v višje (prazno) energijsko stanje
- * premer atoma je nekaj desetink nm
- * vrstno število elementa pove število elektronov v električno nevtralnem atomu

$$W = W_n - W_m \quad (W_n > W_m) \quad W = W_n - W_m \quad (W_n > W_m)$$

Valovna dolžina sevanega elektromagnetnega valovanja:
$$\lambda = \frac{hc}{W_n - W_m} \quad \lambda = \frac{hc}{W_n - W_m}$$

Obstajajo različne kombinacije prehodov v osnovno stanje.

Z merjenjem energije vseh vrst fotonov, ki jih sevajo vzbujeni atomi danega elementa, določimo energije posameznih možnih elektronskih energijskih stanj v atomih.

Namesto posameznih, ostro določenih stanj, imajo atomi, ki vsebujejo več elektronov, skupine več stanj. Njihove energije se med seboj ne razlikujejo veliko – energijske lupine ali oble. Energijska stanja so še bolj prepletena, če se atomi spojijo v molekule.

Valenčni elektroni so zunanji elektroni, prek katerih se atomi medsebojno povezujejo.

6. 3. ATOMSKI SPEKTRI



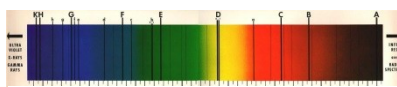
Slika 1 Emisijski spekter

Emisijski spekter elementa dobimo, če emitirano sevanje pošljemo skozi spektroskop. Sestavljen je iz posameznih črt, katerih valovne dolžine so značilne za vrsto elementa (element lahko prepoznamo). Črte spektra so razdeljene v posamezne serije.

[Črtasti spekter sevajo enoatomni plini (npr. vodik, žlahtni plini).]

ABSORPCIJSKI SPEKTER

V absorpcijskem spektru manjkajo črte, ki sestavljajo emisijski spekter (manjkajo črte, ki jih presvetljeni atomi sami sevajo; temne proge spektra se ujemajo s svetlimi progami emisijskega spektra). Atomi absorbirajo samo fotone, katerih energije se ujemajo z razlikami energij posameznih elektronskih stanj.



Slika 2 Absorpcijski spekter

Z absorpcijo fotonov vzburjeni atomi sicer skoraj takoj preidejo nazaj v osnovno stanje in pri tem v vse smeri emitirajo fotone (črte emisijskega spektra).

Fraunhoferjeve črte so temne proge spektra sončne svetlobe (merjeno na Zemlji).

6. 4. RENTGENSKI ŽARKI

Rentgenski žarki so elektromagnetni valovi z valovnimi dolžinami od 10^{-8} m do 10^{-12} m. Pridobivamo jih tako, da obstreljujemo kovine s hitrimi elektroni.

Rentgenska cev je vakuumna cev s katodo in anodo, ki sta priključeni na vir stalne napetosti.

6. 5. ATOMSKO JEDRO

Atomska jedra so sestavljena iz nukleonov, ki imajo približno enako maso. Razlikujejo se predvsem po naboju (protoni in nevtroni).

Proton je drugo ime za vodikovo jedro. Če proton pritegne elektron, nastane vodikov atom.

Masa nukleonov:

$$m_p = 1,007\,825\,u \quad m_n = 1,008\,665\,u$$

Velikost atomskega jedra je 0,01% velikosti atomov. Vsebuje ves pozitivni naboj in skoraj vso maso atoma.

$$\text{Velikost jedra: } r = r_1 A^{1/3}$$

Gostota jedrske snovi: $\rho = \frac{m}{V} = \frac{Au}{4\pi r^3} = \frac{3u}{4\pi r_1^3} = 3 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$

Jedrska snov je najgostejša snov in je sestavljena iz samih atomskih jeder.

Masno število jedra (A) se ujema z relativno atomsko maso elementa in pove število vseh nukleonov.

Z je število protonov.

${}_Z^AX^A$

Kemična narava elementa je odvisna od števila protonov v jedru.

Izotopi nekega elementa imajo skoraj enake kemične lastnosti in različne relativne atomske mase.

MASNI DEFECT ATOMSKEGA JEDRA

Vsota mas nukleonov v jedru je večja od mase samega jedra. Čim večji je masni defekt reakcije, tem večja reakcijska energija se sprosti ali tem višji je prag reakcije.

Izgubljena masa se spremeni v energijo, ta pa se sprosti ob nastanku jedra.

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{nastalega jedra}}$$

VEZAVNA ENERGIJA NUKLEONA V JEDRU

Pri sprostitvi nukleonov v atomsko jedro se energija sprošča na račun masnega defekta. (Čim večji je masni defekt, tem več energije se sprosti.)

Nasproten proces je razbijanje jedra na sestavne nukleone. (Pri tem se poveča masa, zato je za razbitje potrebna energija.)

Stabilnost jedra merimo z energijo, ki je potrebna za njegovo razbitje. Ob razbitju jedra se masa poveča za masni defekt. (Da se to zgodi, je potrebna vezavna energija jedra.)

Einsteinova energijska enačba: $W = \Delta mc^2$

Vezavna energija nukleona v jedru: $\Delta m \frac{c^2}{A}$

Specifična vezavna energija je vezavna energija na nukleon in je merilo, kako trdno je nukleon vezan v jedro.

6. 6. JEDRSKE REAKCIJE

Jedrske reakcije so reakcije med atomskimi jedri, med nukleoni in drugimi osnovnimi delci, pri katerih so udeleženi jedrske sile.

Na račun izgubljene mase se sprošča energija (ali na račun energije povečuje masa).

REAKCIJSKA ENERGIJA

EKSOTERMIČNA REAKCIJSKA ENERGIJA

* energija se sprošča $Q = c^2 \Delta m$

* masa se zmanjša $\Delta m = m_a + m_x - m_b - m_y$

ENDOTERMIČNA REAKCIJSKA ENERGIJA

* energija se porablja $Q = c^2 (-\Delta m)$

* masa se poveča

Zapis jedrske reakcije: $X + a \rightarrow Y + b$ ali $X(a, b)Y$

Ohranitveni zakoni:

- 1) Gibalna in vrtilna količina se ohranjata.
- 2) Celotni električni naboj pred reakcijo je enak celotnemu naboju po njej.
- 3) Število nukleonov se z jedrsko reakcijo ne spremeni.

6. 7. RADIOAKTIVNOST

Jedro je stabilno, če je sestavljeno iz pravišnjega števila protonov in nevtronov (majhna notranja energija).

Jedra z veliko notranjo energijo so radioaktivna, nestabilna (ne vzdržijo dolgo v svojem stanju).

Pri razpadu radioaktivnega jedra hitro razpade, pri tem nastane novo lažje jedro, sprostijo se delci in fotoni.

AKTIVNOST

5

Z aktivnostjo izotopa izrazimo učinkovitost, razpad jeder v enoti časa.

Aktivnost izotopa: $A_c = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \lambda N$ [Bq = razpad/s]

Čim več radioaktivnih jeder vsebuje izotop in čim hitreje ta razpadajo, tem večja je aktivnost izotopa.

Eksponentno pojevanje aktivnosti izotopa: $A_c = A_c(0)2^{-\frac{t}{\tau}} = A_c(0) \exp(-\lambda t)$

$$A_c = A_c(0)2^{-\frac{t}{\tau}} = A_c(0) \exp(-\lambda t)$$

RAZPOLOVNI ČAS

Razpolovni čas je čas, v katerem razpade polovica radioaktivnih jeder.

$$N(t) = N_0 2^{-n} = N_0 2^{-\frac{t}{\tau}} \quad N(t) = N_0 2^{-n} = N_0 2^{-\frac{t}{\tau}}$$

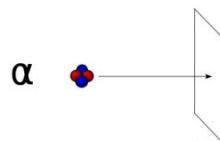
Število radioaktivnih jeder se eksponentno zmanjšuje s časom.

Če je razpolovni čas (τ) kratek, jedra hitro razpadajo. Če je razpolovni čas dolg, jedra počasi razpadajo.

Razpadna konstanta: $\lambda = \frac{\ln 2}{\tau}$

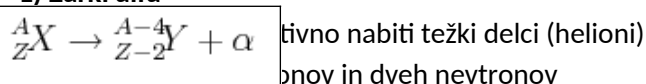
Eksponentno zmanjševanje števila radioaktivnih jeder: $N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$

Kratkoživi radioaktivni izotopi imajo veliko razpadno konstanto, dolgoživi pa majhno. Stabilen izotop ima razpadno konstanto nič.



NARAVNI RADIOAKTIVNI RAZPAD

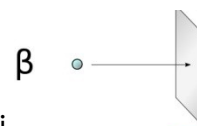
1) Žarki alfa



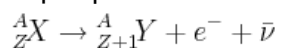
- * odda 4 nukleone
- * njegovo masno število se zmanjša za 4
- * njegovo vrstno število se zmanjša za 2
- * nastanek jedra elementa, ki je v periodnem sistemu dve mesti

levo od prvotnega

- * sprostitve energije, ki jo večinoma odnese sevani delec alfa v obliki kinetične energije

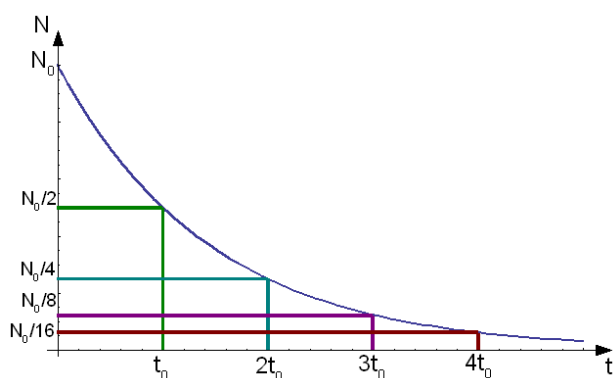
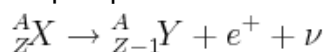


Razpad β^-



elektroni – tanki negativni delci

Razpad β^+



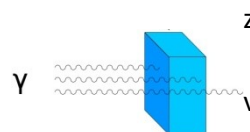
Slika 3 Število radioaktivnih jeder se eksponentno zmanjšuje s časom

- * masno števila jedra se razpadom ne spremeni

- * nastane element, ki je v periodnem sistemu za eno mesto desno od prvotnega

- * število protonov v jedru se poveča za 1
- * število protonov se zmanjša za 1

- * nevtron se spremeni v proton, pri čemer se sprosti en elektron

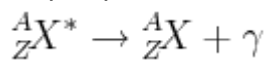


3) Žarki gama

- * kratke valovne dolžine
- * visoke energije

- * jedro se »pomiri« tako, da odda odvečno notranjo energijo v obliki fotona gama
- * sestava se ne spremeni
- * jedro je pred reakcijo bolj vzbujeno kot po njej

Razpad γ



6. 8. JEDRSKI REAKTOR

V jedrskem reaktorju se z verižno reakcijo jeder uranovega izotopa kontrolirano sprošča jedrska energija in se povečini spreminja v toploto. Kot stranski produkt nastajajo različni radioaktivni izotopi in emitirajo se različna sevanja.

CEPITEV JEDER (FISIJA)

Nestabilno jedro se razcepi na srednji težki jedri, ki si povsem naključno razdelita nevtrone in protone prvotnega jedra. (Ob tem se sprostijo še fotoni gama in nekaj nevtronov.)

Spontana cepitev težkih jeder se zgodi redko.

Izotopi, katerih jedra se po absorpciji nevtronov razcepijo, imenujemo cepljivi ali fisijski izotopi.

Jedra se po absorpciji nevtronov močno vzburi (notranja energija se poveča).

VERIŽNA REAKCIJA

V snovi s fisijskimi jedru nastane verižna reakcija cepljenja fisijskih jeder, ki je lahko nadkritična, kritična ali podkritična.

Nadkritična verižna reakcija:

Pri vsaki cepitvi se sprostita dva nova nevtrona in vsak od njuju sproži nove reakcije. Število cepitev se s časom zelo hitro poveča. Sprosti se ogromne notranje energije (povišanje temperature).

Podkritična verižna reakcija:

Večina nevtronov, sproščenih ob cepitvah, se porazgubi in cepitve se ne morejo nadaljevati.

Kritična verižna reakcija:

Število jeder nastalih nevtronov se s cepitvami v povprečju izenači s številom nevtronov, ki se v enakem času izgubijo. Jedra se cepijo enakomerno, toplota se sprošča enakomerno.

ZGRADBA IN DELOVANJE JEDRSKEGA REAKTORJA

(slika reaktorja: Svet elektronov in atomov, stran 204)

Reaktorska sredica, ki jo obdaja posoda z debelimi jeklenimi stenami, je osrednji del reaktorja z gorivnimi elementi, moderatorjem in kontrolnimi palicami. V njej se cepijo fisijska jedra in sprošča energija.

Gorivni elementi

Gorivni elementi, ki vsebujejo fizijski izotop, so v obliki med seboj povezanih plošč ali palic (te so razporejene v prostorsko mrežo). V njih se cepijo jedra, sproščajo se nevtroni, fotoni gama in toplota.

Moderator

Moderator je lahka snov, v katero so potopljeni gorivni elementi. Njegova naloga je prestreči hitre nevtrone, ki se sproščajo s cepitvami fisijskih jeder v gorivnih elementih in jih upočasnjevati (moderirati). Moderator poveča verjetnost, da bodo nevtroni sprožili nove cepitve.

Kontrolne palice

Kontrolne palice vsebuje izotope, ki zelo absorbirajo nevtrone. Z njimi uravnavamo verižno reakcijo (če postane nadkritična, se palice spustijo globlje v reaktorsko sredico in absorbirajo odvečne nevtrone ter znova vzpostavijo verižno reakcijo.)

Reflektor

Reflektor, ki je narejen iz podobne snovi kot moderator, z vseh strani obdaja reaktorsko sredico. Odbija nevtrone, ki bi drugače pobegnili iz sredice v okolico. Povečuje verjetnost cepitve jedra.

8

Hladilo

Hladilo teče mimo gorivnih elementov, odnaša toploto, ki se v njih sprošča, in jo oddaja toplotnemu izmenjevalcu. Pri trdnem moderatorju so okrog gorivnih elementov kanali, po katerih se pretaka kadilo.

Zaščitni oklep

Zaščitni oklep varuje okolico pred sevanjem, ki se sprošča v reaktorju. Zadrži nevtrone in fotone gama, da niso nevarni za okolico.

Toplotni izmenjevalec

Toplotni izmenjevalec prestreza toploto, ki jo hladilno prinaša iz reaktorske sredice, in jo oddaja naprej v parno turbino.

Reaktor uporabljamo kot zelo močan izvor sevanja (nevtronov in fotonov gama) za raziskave in za umetno pridobivanje različnih radioaktivnih izotopov.

Jedrska elektrarna ali nuklearka dobiva toploto s cepljenjem fisijskih jeder.

6. 9. ASTRONOMIJA

OSONČJE

- Planet je vesoljsko telo brez lastne svetlobe, ki se giblje okrog Sonca ali kake druge zvezde in odbija svetlobo.
- Satelit je vesoljsko telo brez lastne svetlobe, ki se giblje okrog planeta zaradi njegove privlačnosti.
- Asteroid je majhno, trdno vesoljsko telo v našem osončju, ki kroži okoli Sonca.
- Komet je malo vesoljsko telo Osončja (večinsko sestavljen iz ledu), ki se giblje po zelo sploščenem eliptičnem, paraboličnem ali hiperboličnem tiru okrog Sonca (v bližini Sonca se spremeni v plin).
- Meteorit je kovinsko ali kamnito telo, ki iz medplanetnega prostora pridrvi v ozračje kot svetel meteor, ne zgori povsem in pade na Zemljo.

OBJEKTI V VESOLJU

- Zvezda je velikanska razbeljena plinska krogla; je svetleče plinasto vesoljsko telo, ki proizvaja energijo zaradi jedrskih reakcij v njeni sredici.
 - Zvezdna kopica je skupina zvezd, ki so med seboj dovolj blizu (bliže kot običajne medzvezdne razdalje), da so gravitacijsko vezane.
 - Galaksija je orjaška zvezdna skupina spiralne zgradbe s središčnim jedrom. Vsebuje okoli 200 milijard zvezd.
 - Jata galaksij je združba galaksij, ki so med seboj težnostno povezane.
 - Srednja oddaljenost posameznih planetov od Sonca.
 - Ekscentričnost tira je vrednost, ki pove, koliko tir odstopa od popolne krožnice.
 - Svetlobno leto je dolžinska enota za merjenje razdalj v vesolju; ($300\,000\text{ km/s}$ v enem letu = 9,5 bilijona km).
 - Sonce je središčno telo Osončja. Temperatura fotosfere iz notranjosti do vrha pada od 6000K na 4000K; v kromosferi se temperatura dvigne od 4000K na 50 000K; temperatura na višini 75 000km je okoli milijon K.
- Gostota sprejetega Sončevega svetlobnega toka na Zemlji je $1,338\text{ kW/m}^2$ (solarna konstanta).