

12 Radioaktivnost

je naravni pojav, pri katerem nestabilna atomska jedra razpadajo in pri tem sproščajo energijo v obliki visoko-energijskih delcev oziroma žarkov, ti pa se absorbirajo v snovi in lahko vplivajo na organizme.

12.1 Uvod

Izotopi nekaterih elementov so nestabilni in zato razpadajo, pri tem pa oddajajo sevanje v obliki različnih visoko-energijskih osnovnih delcev in žarkov. Pojav imenujemo radioaktivnost. Energija oddanega sevanja je dovolj velika, da lahko v snovi, skozi katero to sevanje potuje, razbija atome in molekule ter s tem ustvarja ione in proste radikale; to sevanje zato uvrščamo med *ionizirajoča sevanja*. Nekaterе vrste tega sevanja brez težav prodirajo skozi biološko tkivo. Radioaktivnost je po eni strani tako pojav, ki je lahko škodljiv, po drugi strani pa omogoča mnoge postopke v medicini (obsevanje tumorjev, diagnostika, sterilizacija hrane in medicinske opreme. . .).

V okolju je radioaktivnost stalno prisotna, saj večina snovi (kamnine, zrak. . .) vsebuje radioaktivne izotope določenih elementov; večina kalijevih atomov v naravi, na primer, ima v jedru 19 protonov in 20 nevtronov, kar je stabilna oblika kalija (zapišemo jo lahko tudi kot $^{39}\text{K}_{19}$, kjer je 39 masno, 19 pa vrstno število tega izotopa). Če pa ima kalijevo jedro 21 nevtronov, le-to ni stabilno in bo prej ali slej razpadlo. V naravi je 93,26 % kalija v stabilni obliki z 20 nevtroni (oznaka jedra ^{39}K), 6,73 % v stabilni obliki z 22 nevtroni (^{41}K) in samo 0,012 % v nestabilni obliki z 21 nevtroni (^{40}K). Snov, ki vsebuje kalij, je zaradi deleža ^{40}K radioaktivna. Poleg radioaktivnosti zaradi vsebnosti nestabilnih izotopov na naš planet stalno pršijo kozmični žarki, to so visoko-energijski delci iz vesolja (90 % protoni, 9 % helijeve jedra, 1 % elektroni). Radioaktivna jedra lahko nastanejo tudi pri obstreljevanju stabilnih jeder z visokoenergijskimi delci, ki jih dobimo iz jedrskih reaktorjev in pospeševalnikov. Pri takih jedrih govorimo o umetni radioaktivnosti. Vrednosti radioaktivnosti v okolju tako niso povsod enake, kar pa je v glavnem posledica tega, da se v kamninah zemeljske skorje nahaja radioaktivni uran, iz katerega nastaja radij (^{226}Ra), iz njega pa radioaktivni plin radon (^{222}Rn), ki skozi razpoke v zemeljski skorji ali skozi bolj porozne kamnine pronica iz zemlje; če se stavbe nahajajo na takšnih območjih, je treba prostore redno zračiti.

Radioaktivni izotopi se kemijsko ne razlikujejo od ne-radioaktivnih, zato se vgrajujejo v snovi in preko prehranjevalne verige tudi v živa bitja. V telesu človeka je od naravnih radioaktivnih snovi največ že omenjenega dolgoživega kalijevega izotopa ^{40}K , prisotni pa so tudi radij ^{226}Ra , ogljik ^{14}C in tritij ^3H .

12.2 Jedrski razpadi

Ali so vse radioaktivne snovi enako aktivne?

Nekatere kombinacije števil protonov in nevtronov v jedru nekaterih izotopov so energijsko neugodne in jedra razpadejo v stabilnejše oblike. Jedrski razpad je naključen dogodek in za posamezno jedro ne moremo napovedati, kdaj bo razpadlo, tako kot na primer ne moremo napovedati, katera kocka iz množice igralnih kock, ki smo jih vrgli na mizo, bo pokazala šest pik; lahko pa govorimo o verjetnosti za razpad za posamezno vrsto izotopa. Verjetnost za razpad napoveduje, kolikšen delež jeder tega izotopa bo v nekem času razpadel (oziroma po analogiji z igralnimi kockami: kolikšen delež kock iz množice bo pokazal šestico). Število razpadlih jeder v nekem času je definirano kot aktivnost vzorca (A). Enota za aktivnost je becquerel (izgovori *bekere*l), $1 \text{ Bq} = 1$ razpad na sekundo. Aktivnost nekega vzorca je sorazmerna s številom vseh radioaktivnih jeder v tistem vzorcu - več kot je jeder in večja kot je verjetnost za razpad za tisto vrsto izotopa, več bo tudi razpadov - iz česar sledi, da se število preostalih radioaktivnih jeder s časom zmanjšuje eksponentno (izpeljava eksponentne odvisnosti je v okvirčku spodaj). S tem se v času eksponentno niža tudi radioaktivnost (oziroma aktivnost) celotnega vzorca. Razpolovni čas, to je čas, v katerem se število radioaktivnih jeder prepolovi, je za različne radioaktivne snovi zelo različen, kar je povezano z različnimi verjetnostmi za razpad posameznih elementov: medtem ko je npr. za izotop joda ^{131}I , ki se ga uporablja v kliniki za zdravljenje ščitnice, razpolovni čas enak 8 dni, je za ^{40}K približno 1,27 milijarde let.

Izpeljava

Kako lahko opišemo upadanje radioaktivnosti s časom? Če imamo v nekem vzorcu N radioaktivnih jeder, se bo njihovo število v določenem času zmanjšalo zaradi razpadov. Hitrost zmanjševanja števila radioaktivnih jeder opiše razpadna konstanta λ , ki je povezana z verjetnostjo za razpade določenega izotopa in je torej značilna za posamezno vrsto jeder. Sprememba števila jeder v časovni enoti je odvisna od tega, kolikšna je razpadna konstanta in koliko jeder je sploh v vzorcu:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N. \quad (12.1)$$

Pojav, pri katerem je sprememba količine (dN) v časovnem intervalu sorazmerna s samo količino oziroma številom jeder (N) v opazovani snovi, izkazuje eksponentno odvisnost opazovane količine od časa:

$$N(t) = N(0)e^{-\lambda t}. \quad (12.2)$$

Število radioaktivnih jeder se s časom zmanjšuje, kar neposredno vpliva na aktivnost vzorca (A), ki je odvisna od števila razpadov na časovno enoto:

$$A = \frac{dN}{dt} = -\lambda N. \quad (12.3)$$

Aktivnost torej s časom ravno tako eksponentno upada:

$$A(t) = A(0)e^{-\lambda t}. \quad (12.4)$$

Bolj pogosto kot razpadna konstanta λ pa se v praksi uporablja podatek, koliko časa mora preteči, da se radioaktivnost vzorca zmanjša za polovico – to je razpolovni čas ($t_{1/2}$) radioaktivne snovi. V tem času razpade ravno polovica začetnega števila radioaktivnih jeder:

$$N(t_{1/2}) = \frac{N(0)}{2} = N(0)e^{-\lambda t_{1/2}}. \quad (12.5)$$

Po logaritmiranju lahko povežemo razpadno konstanto in razpolovni čas: $\lambda = \ln 2 / t_{1/2}$.

Ker je razpad jedra naključen, pri merjenju števila razpadov v nekem vzorcu ne dobimo vedno iste vrednosti aktivnosti vzorca, kar se še posebej pozna, če merimo v kratkih časovnih intervalih. V nekem relativno kratkem obdobju bodo rezultati meritev števila razpadov v vzorcu na časovno enoto raztreseni okrog povprečja. Na podlagi dovolj velikega števila meritev pa lahko to povprečje dokaj natančno določimo in na podlagi tega z ustrezno (ne)gotovostjo govorimo tudi o izmerjeni aktivnosti vzorca (A), ki jo določimo kot razmerje povprečnega števila zaznanih razpadov s časovnim intervalom, v katerem smo razpade šteli.

12.3 Sevanje pri jedrskih razpadih

Ali so vsa sevanja enaka?

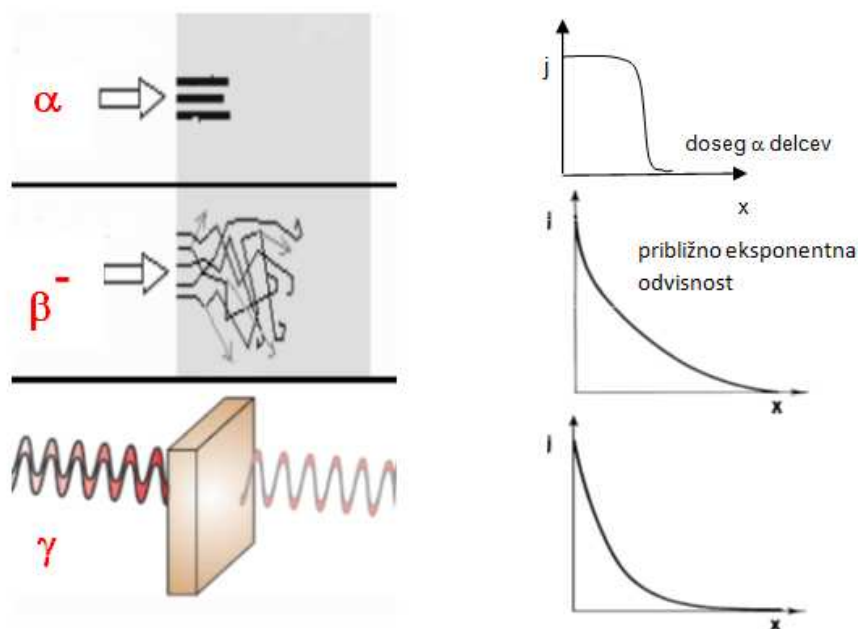
Radioaktivno jedro torej prej ali slej razpade, od vrste jedra pa je odvisno, na kakšen način bo razpadlo in kateri delci bodo izsevani ob razpadu. Poznamo 3 vrste radioaktivnega sevanja: alfa (α), beta (β) in gama (γ) sevanje, in tudi izsevane delce poimenujemo glede na tip sevanja. Pri razpadu α so iz jedra izsevana helijeva jedra (skupki dveh protonov in dveh nevtronov se v tem primeru imenujejo α delci), pri β sevanju ločimo dva podtipa: pri β^- sevanju so izsevani elektroni (β^- delci), pri β^+ sevanju pa pozitroni (ki se tu imenujejo β^+ delci in imajo enako maso, a nasproten naboj kot elektroni). Pri vseh opisanih razpadih se izvirno radioaktivno jedro spremeni v drugo vrsto jedra, saj se mu spremeni število protonov. Sevanje γ je še en način, kako lahko jedro preide v bolj stabilno stanje: jedro izseva visoko-energijski foton, ki mu rečemo tudi γ žarek ali γ delec, pri tem pa se sestava jedra ne spremeni.

Velikostni red energije γ žarkov se delno prekriva z energijami rentgenskih (X) žarkov. Kakšna je razlika med γ in rentgenskim žarki?

12.4 Absorpcija v snovi

Kaj se zgodi, ko izsevani delci vstopajo v snov? Kako sevanje vpliva na organizme?

Pri jedrskih razpadih izsevani delci in žarki imajo dovolj veliko energijo, da lahko med potovanjem skozi snov iz atomov in molekul izbijajo elektrone in tako ustvarjajo ione oz. molekule s prostimi radikali. Ta pojav imenujemo ionizacija, sevanje radioaktivne snovi pa zato spada med ionizirajoča sevanja. Alfa (α) delec je od izsevanih delcev najtežji in najbolj električno nabit. Na svoji poti skozi snov α delci naključno trkajo ob molekule (oziroma v elektrone teh molekul) in jim oddajajo energijo, pri čemer se upočasnjujejo. Počasnejšim delcem se bistveno poveča verjetnost za trk z elektronom v snovi, tako da se α delec naposled na neki globini ustavi. Povečevanje števila ionizacij na poti α delca skozi snov ob upadanju njegove hitrosti pomeni, da bo delec največ energije izgubil tik preden se bo ustavil, kar opisuje t.i. Braggova krivulja (glej skripto, poglavje „Atomsko jedro“). Tipična razdalja, do katere lahko izsevani α delci prodrejo v snov, se imenuje „doseg“ (za ilustracijo glej sliko 12.1, zgoraj), ki je za vse α delce z enako začetno energijo v neki snovi približno enak – za delce z energijo 1 MeV v zraku približno 1 cm, v tekočinah in trdni snovi pa okrog 0,01 mm; α delci se praviloma ustavijo že v vrhnji, poroženeli plasti kože.



Slika 12.1: Shematski prikaz poti izsevanih delcev α in β v snovi oziroma prodiranja γ žarkov skozi snov (levo). V desnem stolpcu diagrami ilustrirajo upadanje gostote energijskega toka (j) α , β in gamma delcev (od zgoraj navzdol) s potovanjem skozi snov (kjer je x opravljena pot delcev), pri čemer $j(x)$ eksponentno pojema le pri potovanju gamma žarkov skozi snov (za β^- delce pa to velja le približno). Mimogrede: kako bi preverili, ali je upadanje $j(x)$ eksponentno, če bi imeli na voljo podatke oziroma meritve?

Tudi beta (β) delci so nabiti, vendar so bistveno lažji. Ob trku pozitrona (β^+) z elektronom v snovi se oba izničita, njuna masa se pretvori v energijo, pri čemer nastaneta zaradi ohranitve gibalne količine dva foton, ki letita v nasprotnih smereh in lahko ionizi-

rata atome na svoji poti; tudi elektroni (β^-) ob prodiranju skozi snov povzročajo ionizacije. Posledica sevanja β so sekundarni efekti, kot so sekundarne ionizacije, vzbujanje elektronov in izsevanje fotonov (γ žarkov). Pri sevanju β ni smiselno govoriti o dosegu, ker se β^+ delci takoj izničijo, β^- delci pa ob trkih z elektroni v snovi spremenijo smer svojega gibanja, lahko pa govorimo o povprečni razdalji, ki jo opravijo β^- delci v neki snovi – elektroni z začetno energijo 1 MeV na primer v vodi v povprečju prodrejo okrog 0,4 cm globoko. Ko delci prodirajo skozi snov, izgubljajo energijo, zato gostota energijskega toka delcev upada z razdaljo, ki so jo opravili delci; v splošnem opis upadanja gostote toka delcev ni enostavna funkcija, a ker imajo β^- delci različne začetne energije, se izkaže, da je odvisnost njihovega energijskega toka od razdalje v nekaterih snoveh zelo podobna eksponentnemu padanju (slika 12.1, sredina).

Od kod pride elektron, izsevan pri β^- razpadu?

Gama (γ) delci so fotoni - elektromagnetni žarki, ki lahko snov nespremenjeni preletijo, lahko pa med preletom po različnih scenarijih pride do absorpcije fotona v snovi, zaradi česar snov preleti le del fotonov, ki so vanjo vstopili. Delež prepuščenih fotonov izračunamo z absorpcijskim zakonom (glej okvirček), ki podaja eksponentno upadanje izmerjenega prepuščenega energijskega toka od debeline snovi (slika 12.1, spodaj). Na podlagi tega pa vpeljemo tudi razpolovno debelino snovi $x_{1/2}$, ki govori o razdalji, pri kateri se število fotonov v snopu zmanjša na polovico prvotnega, kar je povezano z absorpcijskim koeficientom snovi: $x_{1/2} = \ln 2/\lambda$. Razpolovna debelina žarkov γ z energijo 1 MeV je v vodi približno 10 cm.

Izpeljava

Gostota energijskega toka na neki globini znotraj snovi je odvisna od vpadne (začetne) gostote toka (j) na površino plasti, absorpcijskega koeficienta (μ) te snovi za izsevane delce, in od debeline snovi. Na tanki plasti v snovi (dx) se absorbira majhen delež vpadlih γ delcev, zato se energijski tok zmanjša (dj):

$$dj = -\mu j dx. \quad (12.6)$$

Gostoto energijskega toka prepuščenih delcev na določeni globini snovi (x) dobimo, če zgornjo enačbo preuredimo in z integracijo seštejemo deleže absorbiranih žarkov od začetne plasti do debeline x :

$$j(x) = j(0)e^{-\mu x}. \quad (12.7)$$

Zakovitost, da se gostota energijskega toka žarkov v snovi zmanjšuje eksponentno z globino prodiranja, povzamemo z imenom absorpcijski zakon.

Vsako od opisanih sevanj lahko povzroči spremembe v snovi, učinki pa so odvisni od

tega, kakšno je bilo sevanje (kateri delci in kako globoko so prodrli v snov), koliko časa je sevanje trajalo in koliko se ga je absorbiralo. Če visokoenergijski delci vstopajo v tkiva, sevanje vpliva na celice in njihove funkcije: ali pride do direktnih poškodb biološko pomembnih molekul, na primer do sprememb proteinov ali prekinitev vezi v molekuli DNK (sprememba dednega materiala), ali pa pride do posrednih poškodb tkiva zaradi prostih radikalov, ki nastanejo pri ionizaciji vode. Učinki sevanj na tkiva so podrobneje opisani v skripti v poglavju „Atomsko jedro“ oziroma podpoglavju „Prehod visokoenergijskih delcev skozi snov“.

12.5 Zaznavanje sevanja

Kako izmerimo, kako intenzivno jedra v nekem vzorcu razpadajo?

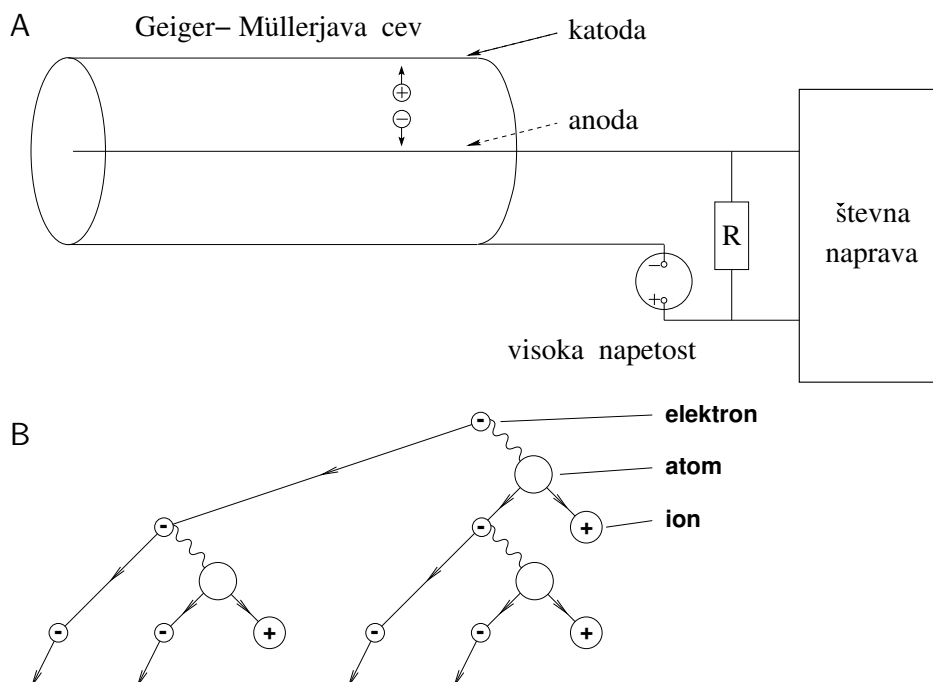
Sevanja radioaktivnih snovi s čutili ne moremo zaznati, lahko pa ga zanesljivo odkrivamo in merimo z instrumenti, ki delujejo na osnovi efektov, kot je ionizacija (pa tudi npr. počrnitev filma, scintilacija in termoluminiscenca, vendar so te tehnike izven dometa tega besedila).

Radioaktivno sevanje najpogosteje merimo z Geiger-Müllerjevim (GM) števcem, ki deluje na podlagi ionizacije plina v GM cevi. To je števna cev z negativno nabito katodo v obliki kovinskega valja in pozitivno anodo kot tanko nitko v sredini cevi (slika 12.2). Cev je napolnjena z inertnim žlahtnim plinom. Ko visoko-energijski delec v prileti v cev, ionizira atome plina, tako da nastanejo pari ion – elektron. Če je napetost med anodo in katodo dovolj visoka, se elektroni v električnem polju med anodo in katodo tako pospešijo proti anodi, da imajo dovolj energije za nadaljnjo ionizacijo atomov plina. Tako se sproži elektronski plaz: en visokoenergijski delec, ki prileti v GM cev, sproži zaporedje ionizacij, zaradi katerih v cevi nastane plaz do 10^8 elektronov, kar povzroči dovolj velik električni tok, da ga lahko zaznamo (posamičnih elektronov ne bi mogli zaznati). Omejitev števca je t.i. „mrtvi čas“ (ponavadi med 100 in 300 μs), znotraj katerega števec ne loči med dvema razpadoma, saj težki ioni še potujejo proti katodi. Šele ko se ioni rekombinirajo s katodnimi elektroni v atome plina, v električnem krogu pa manjkajoče elektrone nadomestijo elektroni iz anode, je v cevi vzpostavljeno prvotno stanje in števec je pripravljen na novo meritev.

Izkoristek GM cevi za nabite delce je blizu 100 %, za žarke γ pa samo 1-2 %. Z GM cevjo lahko ugotovimo, koliko je bilo delcev, ki so sprožili sunek toka, ne moremo pa ugotoviti, kateri delci so bili to, ali meriti njihovih energij. Zaradi sevanja ozadja GM merilec pokaže določeno število sunkov tudi, če v neposredni bližini ni radioaktivnega izvora.

12.6 Opis in izvedba eksperimenta

Pri vaji bomo s pomočjo Geiger-Müllerjeve (GM) cevi zaznavali radioaktivno sevanje iz različnih virov ter opazovali absorpcijo v snovi. Pri analizi rezultatov bomo dobili vpogled v naravo procesa jedrskih razpadov. Radioaktivni izvor, ki ga uporabljamo pri vajah, je navadna kalijeva sol KCl. Ker majhen delež kalija v naravi predstavlja radioaktivni kalij



Slika 12.2: Shema Geiger-Müllerjeve števne naprave (A) in skicirana razlaga elektronskega plaza (B). Negativno nabiti elektroni (-) se gibajo proti anodi, pozitivno nabiti ioni (+) pa proti katodi. Vijugasta črta simbolizira trk med elektronom in atomom plina v cevi.

($^{40}\text{K}_{19}$), ga nekaj vsebuje tudi kalijeva sol. Radioaktivnega kalija je v soli tako malo, da sol ne škoduje zdravju, vseeno pa seva dovolj, da lahko njeno sevanje zaznamo z inštrumentom. ^{40}K seva β^- in γ žarke, njegov razpolovni čas pa je $1,27 \cdot 10^9$ let. (Vprašanje: se bo med vajo aktivnost izvora zaradi njegovega razpadanja kaj spremenila?)

- Naloge:**
1. Izmerite ozadje – sevanje virov v okolici Geiger-Müllerjevega števca.
 2. a) Izmerite povprečno število razpadov vzorca kalijeve soli v 10 s in določite zaznano aktivnost izvora $^{40}\text{K}_{19}$. b) Statistično obdelajte dobljene podatke (izračun povprečja \bar{N} , standardne deviacije σ , in napake povprečja σ_s). c) Grafično prikažite izmerjene podatke o razpadih v histogramu in dobljeno porazdelitev primerjajte z normalno porazdelitvijo (Gaussovo krivuljo).
 3. Ocenite razpolovno debelino aluminija za sevanje vzorca $^{40}\text{K}_{19}$.
 4. *Neobvezna dodatna naloga: Izmerite ozadje, če je v bližini Geiger-Müllerjevega števca prižgan mobilni telefon, in ga primerjajte z meritvami iz prve naloge.
 5. *Neobvezna dodatna naloga: Izmerite sevanje iz posodice z umetnim gnojilom, in ga primerjajte z meritvami iz prvih dveh nalog.

6. *Neobvezna dodatna naloga: Primerjajte razpolovni debelini aluminija in še enega materiala (papir).

Izvedba

Najprej priključite in nastavite Geiger-Müllerjev (GM) števec. Navodila za nastavitve števca so posebej na listu pri vaji (List 1: „Navodila za nastavitve Geiger-Müllerjevega števca“).

1. Pri ozadju nas zanima radioaktivnost virov v okolici števca (vključno s števcem samim in človekom, ki sedi pri števcu in opravlja meritve). Petkrat izmerite število sunkov na 100 s, pred čemer seveda preverite, da vzorca kalijeve soli ne bo v neposredni bližini GM cevi.

2. a) in b) Vstavite vzorec (kalijevo sol v prozorni okrogli posodici) pod G-M cev. Pripravite si tabelo za vsaj 80 meritev, na podlagi katerih boste analizirali aktivnost vzorca kalijeve soli. Interval merjenja nastavite na 10 s in vsaj 80-krat izmerite število sunkov. Sproti beležite rezultate – število razpadov v 10 s. c) Hkrati z zapisi meritev na 10 s naj kar sproti nastaja še grafični prikaz (histogram) dobljenih rezultatov: vsako meritev vrišite v diagram, ki ima na abscisi razrede s številom razpadov/10 s, na ordinati pa označite število takšnih dogodkov. Za boljši pregled nad porazdelitvijo dogodkov za vsakih deset vrisanih rezultatov uporabite svojo barvo. Listi s karo vzorcem za lažje risanje so ob G-M cevi, prav tako primer takšnega grafa (List 2).

3. Vzorec pustite v vložišču in nastavite interval merjenja spet na 100 s. Na poličko med vzorec in števno cev vstavljajte ploščice iz aluminija in izmerite število sunkov v 100 s za 5 različnih debelin ploščic, pri čemer pri vsaki debelini merite vsaj 3-krat. Različne debeline dobite preprosto tako, da ploščice naložite eno na drugo. Debeline, pri katerih boste merili, določite sami (na vsaki ploščici je debelina napisana), optimalno vam pri največji debelini meritve že kažejo približno take vrednosti kot pri meritvah ozadja, in so torej ploščice prestregle iz vzorca izsevane delce

4. *Preverite lahko, ali se povprečna vrednost ozadja kaj razlikuje od prej izmerjenega, če je v neposredni bližini GM cevi prižgan mobilni telefon. Merite tako, da boste lahko primerjali rezultate s prvo nalogo (5-krat izmerite število sunkov na 100 s).

5. *Preverite lahko, ali je sevanje umetnega gnojila (z visoko vsebnostjo dušika, fosforja in kalija), povečano v primerjavi z ozadjem. Pod GM cev vstavite posodico z umetnim gnojilom (v obliki granul rdeče barve). Merite tako, da boste lahko primerjali rezultate s prvo nalogo (5-krat izmerite število sunkov na 100 s) in s preračunanimi vrednostmi iz druge naloge.

6. *Poskusite določiti, ali je razpolovna debelina papirja večja ali manjša od razpolovne debeline aluminija. Nad vzorec s soljo vstavljajte pripravljene lističe in beležite število zaznanih razpadov pri posameznih debelinah papirja.

Analiza

1. Izračunajte povprečno vrednost ozadja (\overline{N}_{oz}) in določite največje izmerjeno odstopanje od povprečja (ΔN_{oz}) kot oceno napake meritve, saj je meritev malo.

2. a) Izračunajte povprečje meritev (\overline{N}) iz vzorca izsevanih delcev v časovnih interva-

lih po 10 s. Kolikšna je aktivnost samega vzorca? (Upoštevajte ozadje, izmerjeno v prvi nalogi.) b) Pokažite, v kolikšni meri so meritve raztresene okrog povprečja: izračunajte standardno deviacijo (standardni odklon) porazdelitve σ (poglavje "Osnove merjenj in analiza meritev", enačba 0.2). Še en pomemben podatek o vaših meritvah je „napaka povprečja“ (σ_s), ki je mera za natančnost izračunanega povprečja \bar{N} . Na podlagi dosedanjih rezultatov lahko torej zdaj izračunate še σ_s (poglavje "Osnove merjenj in analiza meritev", enačba 0.4), da dobite oceno, v kakšnem intervalu se lahko giblje vrednost „pravega povprečja“.

Ocena „napake povprečja“ je pri analizi meritev zelo pomembna: z meritvami namreč ponavadi zajamemo le vzorec dogodkov v celotni populaciji, zato se vrednost dobljenega povprečja meritev verjetno nekoliko razlikuje od njegove „prave vrednosti“. S σ_s z določeno stopnjo zaupanja ocenimo, v kako širokem intervalu okrog dobljenega povprečja se nahaja „prava vrednost“ povprečja. Seveda nam večje število meritev pomaga, da je povprečje določeno bolj natančno, kar se pozna v manjšem σ_s . Kaj pa se z večanjem števila meritev dogaja z intervalom, ki ga označuje σ ?

c) Vsako meritev ste vpisali v ustrezen razred na histogramu; tipično je v posameznem razredu malo meritev, zato grafično združite po dva ali celo po tri razrede tako, da označite povprečno število meritev v združenih razredih. S pomočjo poglavja 0, kjer so predstavljeni pristopi k merjenjem in obdelavi meritev, pogledjte, kakšni porazdelitvi najbolj ustrezajo rezultati naloge, ki so se zdaj izrisali na vašem histogramu? Izračunano standardno deviacijo označite z navpičnima črtama na histogramu. Preverite, kolikšen delež meritev pade v interval med $\bar{N} - \sigma$ in $\bar{N} + \sigma$. Označite tudi interval zaupanja za izračunano povprečje meritev – tako, da tudi interval σ_s označite na histogramu.

3. Izrišite graf odvisnosti zaznanih sunkov od debeline vstavljenih ploščic. Ne pozabite vrisati točke, ki ste jo izmerili v prejšnjem delu vaje, torej zaznanega števila razpadov, ko med vzorcem soli in števno cevjo ni bilo nobene ploščice (debelina $d = 0$ mm)! Dobljene vrednosti povežite z gladko krivuljo, na grafu pa označite tudi, kolikšen je pri vseh debelinah ploščic prispevek ozadja. Odčitajte z grafa razpolovno debelino aluminija, torej debelino, pri kateri aluminij absorbira ravno pol izsevanih delcev iz vzorca.

4. *Izračunajte povprečje meritev ozadja ob prižganem mobilnem telefonu (\bar{N}_m), določite mersko napako, in primerjajte dobljeni rezultat s tistim iz prve naloge. Lahko na podlagi meritev sklepate o tem, ali je sevanje iz mobitela ionizirajoče ali neionizirajoče sevanje? Ali lahko z GM cevjo zaznamo neionizirajoče sevanje?

5. *Izračunajte povprečje meritev razpadov (\bar{N}_g) v posodici umetnega gnojila, določite mersko napako in primerjajte dobljeni rezultat s tistim iz prve naloge. Razmislite o vzrokih za vašo opažanja.

6. *Rezultate meritev narišite na isti graf kot v nalogi 3 še za drugi izbrani material (papir) in ocenite, kateri material ima večjo/manjšo razpolovno debelino, pri čemer pa bodite pozorni na merske napake. Napake izračunanih povprečij lahko grafično označite z navpičnimi črticami ustrezne velikosti.

Meritve in analize, ki ste jih opravili, so vam ponudile zgolj kratek vpogled v področje statistike. Predstavitev in interpretacija rezultatov sta zelo pomembni, saj se moramo zavedati, da imamo za sklepanje o splošnem pojavu ali zakonitosti na voljo le omejeno število meritev na nekem vzorčnem izseku iz celote (pa naj bo to material ali skupina ljudi). Pri medicinsko naravnanih raziskavah se tipično srečujemo s primeri, v katerih se skupino pacientov z določenimi simptomi primerja s kontrolno skupino. Razviti so statistični testi, ki se jih nismo v vaji niti dotaknili, ki z določeno stopnjo verjetnosti ocenijo, ali se skupina pacientov in kontrolna skupina „statistično pomembno“ razlikujeta glede obravnavanega pojava, pa naj bo to učinek novega zdravila, nova metoda operacije, povezava (korelacija) z življenjskimi navadami... Osnova za interpretacijo rezultatov so izračunana povprečja meritev, standardna deviacija meritev in napaka povprečja, ključen za kvalitetno določene rezultate in zanesljive ocene korelacij pa je v vsakem primeru dovolj velik vzorec oziroma dovolj veliko število meritev.

Viri/predlogi za nadaljnje branje:

- skripta Poglavje 7: Atomsko jedro
- <http://www.arao.si/uploads/datoteke/raopis-14.pdf>
- Gregor Serša: Biološki učinki ionizirajočega sevanja
- Tomaž Fortuna: Življenje s sevanjem