

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik **30** (2002/2003)

Številka 3

Strani 164–168

Jože Pahor:

BINE UGOTAVLJA RADIOAKTIVNOST

Ključne besede: fizika, radioaktivnost, razpad jeder, delci alfa.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/30/1519-Pahor.pdf>

© 2002 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA – založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

BINE UGOTAVLJA RADIOAKTIVNOST



Bine Umnik je, skrit za časopisom, nabadal zadnje rezine kumarične solate.

“Poslušaj, Urša, Bush bo napadel Irak. Potem bo Sadam na Izraelce – dlje mu kanoni ne nesejo – ustrelil uši, okužene s tifusom. Šaron bo na biološki napad odgovoril z atomsko bombo. Potlej bodo kumare radioaktivne!”

Urša je iskala rešitev. “Jutri lahko vložim dvajset kozarcev kumar...”

“Kumare že. Kaj pa solata? Boš tudi solato vlagala?” se je obregnil Bine, ki je imel

drugačne načrte. Sevanja ne vidimo, ne slišimo, ne čutimo in ne vohamo. Treba bo napraviti nova čutila! Naredil bo merilnik radioaktivnosti, s katerim bo sam nadziral užitnost solate ali kumar. Po neuspehih v preteklem letu se je namreč Bine lotil spoznavanja fizike. V bližnjo knjižnico si je hodil sposojat učbenike, leksikone in različne priročnike ter se marsičesa naučil.

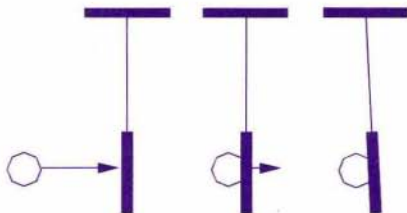
Na lov torej za delci alfa in beta in tako naprej! Bine je bil član lovske družine in ga je privlačila velika divjad. Gremo torej nad delce alfa, ki so v atomskem svetu kot medvedje proti polhom – elektronom.

Delec alfa ima maso. Ko odleti iz jedra, ima hitrost in zato gibalno količino ter energijo, nosi pa tudi električni naboj. Vsaka od teh lastnosti Binetu lahko koristi, da ga bo odkril. Ko se delec končno ustavi, najde nekje dva elektrona in postane helijev atom. Ne nosi več naboja in, ker je ob vso hitrost, nima energije ter gibalne količine. Je samo še navaden, dokaj redek državljani atmosfere.

Bine se je potil in računal. Delec alfa, majhna kroglica, odleti iz jedra polonija 210 s hitrostjo okoli 10^7 m/s. S tolikšno hitrostjo bi v štirih sekundah obkrožil Zemljo, če bi imel prosto pot. Če pa se kam zaleti, se ustavi. Podobno izstrellek iz puške, ki obtiči v kladi, le-to potisne naprej. Klada in izstrellek si zdaj delita gibalno količino, ki jo je imel prej samo izstrellek. Klada odpotuje naprej, vendar s precej manjšo hitrostjo od izstrelkove. Če visi klada na vrvicah, zaniha. Tudi delec alfa je tak izstrellek. Bine bi vzel meter dolgo nit, na katero bi obesil približno desetmiligramsko utež. Tarča bo torej kvadratni centimeter papirja. Seveda bi morala biti nihalo in vir sevanja v brezračnem prostoru, sicer bi delec alfa nihala niti ne dosegel. Minila je ura, ko se je Bine še vedno sklanjal nad papir.

Ni bil videti dobre volje. Če je račun pravilen, bo največji odklik klade nekajkrat 10^{-9} m. To pa je le nekaj deset atomskih premerov. Tolikšnega odklika ne bo zaznal.

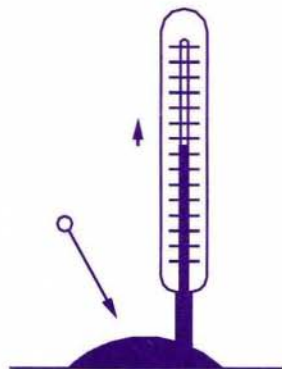
Slika 1. Binetov prvi izum. Delec alfa leti proti nihalu. V njem obtiči in potisne nihalo naprej. Nihalo zaniha, kar je znak, da je nihalo zadel delec alfa. Iz največjega odklona pa lahko celo razberemo energijo delca alfa.



Ampak v slogi je moč. Kar ne zmore en sam delec, jih zmore več. Koliko delcev mora prestreči tarča vsako sekundo, da bo odklon nihala vsaj ena stopinja? Delci prihajajo v curku. Zato nihalo ne more nihati, ampak kaže stalen odklon. Bine se je spet potil. Šment, v sekundi je potrebnih 10^9 delcev. Solata, ki bi oddajala toliko delcev alfa, bi bila zanesljivo neužitna, saj je praktično škodljiv vsak alfa delec. Ne, z gibalno količino ne bo nič.

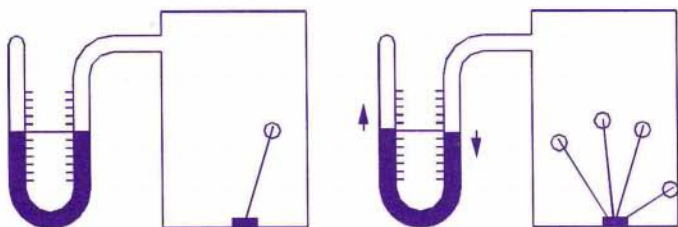
Torej k energiji. Delec alfa, ki bi zadel vodno kapljico in v njej obtičal, bi ji prinesel nekaj energije. Zato bi se kapljica neznatno segrela. Če bi kapljico zadelo dovolj delcev, bi morda lahko izmeril prirastek temperature z zelo občutljivim termometrom. Poskusimo izračunati prirastek. Delec naj ima energijo 5 MeV, kar je $8 \cdot 10^{-13}$ J. Petnajst kapelj vode napolni kubni centimeter, ki tehta 10^{-3} kg.

Približno 4300 J toplote potrebujemo, da segrejemo kilogram vode za stopinjo, tisočkrat manj za kubni centimeter, še petnajstkrat manj za kapljo. Najbrž bi še lahko zaznali spremembo stotinke stopinje. Ko delimo torej zadnji rezultat s sto, zvemo za potrebno toploto, ki je $3 \cdot 10^{-3}$ J. Tolikšno toploto prinese kaplji vode približno $4 \cdot 10^9$ delcev alfa. Res je, da ni treba, da prilete v isti sekundi. Lahko jih zbiramo daljši čas, če se le ne bo kaplja sproti tudi preveč hladila. Vendar tudi termometer ukrade nekaj toplote, preden kaj pokaže. Ker pa je Bine poznal le živo-srebrni termometer, ki je gotovo pogoltnejši od kaplje vode, se je vdal. Poskusil bo drugače.



Slika 2. Delec alfa obtiči v kaplji vode in jo neznatno segreje. Koliko delcev potrebujemo, da bi lahko zaznali temperaturni dvig? Narisani termometer ne bo dober, ker pogoltne preveč toplote, da jo pokaže.

Ko odda delec alfa vso energijo in ukrade v okolici dva elektrona, postane helijev atom. S helijem polnijo balone, da se ti dvignejo. Morda bi napolnil s solato gumast balonček in ga tesno zadrnil. Iz solate bi izhajali delci alfa, se spreminjali v helijeve atome in polnili balonček. Ko bi bil balonček lepo napihnjen, bi odletel v nebo in rešil Bineta radioaktivne solate. Preveč lepo, da bi bilo res. Verjetno nobena solata ne bi premogla toliko helija.



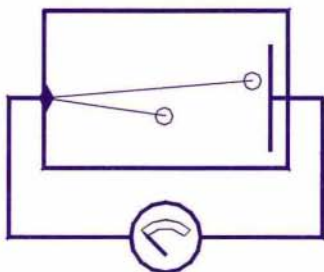
Slika 3. V prazni posodi je vir delcev alfa. Med razpadom se v posodi nabira helij. Tlak v posodi raste. Pokaže ga živosrebrni manometer.

Pa saj ni treba, da imamo helija na litre. Poskusimo z neznatno posodico. Na posodico pritrdimo živosrebrni manometer. V povsem prazni posodici je le vir sevanja alfa. Delci izletavajo, postajajo atomi helija in ustvarjajo tlak v posodici. Čez nekaj časa je v levem kraku nad živim srebrom še vedno brezračni prostor, v desnem kraku pa potiskajo živo srebro navzdol helijevi atomi, ki se jih nabira čedalje več. Razliko med gladinama živega srebra na levi in na desni, recimo 1 mm, pa lahko lepo vidimo. Le koliko delcev alfa bo potrebnih, da se gladini razmakneta za toliko? Bine se je odločil za zelo majhno posodo, morda 5 cm^3 .

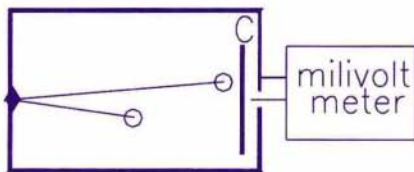
Kaj? Več kot 10^{20} delcev alfa naj bi nabral? Spet neuspeh.

Morda bi mu lahko koristile električne lastnosti delca alfa? Vsak delec nosi električni naboj. V posodo brez zraka bi torej na eno stran postavil vir sevanja, na drugi strani bi na izolirano elektrodo prestrezal delce. Ko bi povezal elektrodo z virom delcev prek ampermetra, bi ta pokazal električni tok vsakokrat, ko bi delec alfa treščil v elektrodo. Le kolikšen utegne biti tok? Naboj, ki ga delec alfa nosi, je $3,2 \cdot 10^{-19}\text{ As}$.

Če prileti vsako sekundo delec, pomeni to tok $3,2 \cdot 10^{-19}\text{ A}$. Ampermeter ne bi pokazal nič, miliampermeter tudi ne, celo mikroampermeter bi bil premalo občutljiv. Za nanoampermetre pa Bine še ni slišal. Mogoče bi pomagala elektronika? Tudi z njeno pomočjo bi lahko zaznal tokove le tja do 10^{-15} A . Tak tok bi zagotavljalo po 10 000 elektronov vsako sekundo. Solata, ki bi oddajala toliko delcev, bi bila zanesljivo škodljiva. Vendar je zdaj Bine zaznavi precej bliže kot pri uporabi čutil, ki so temeljila na mehaniki in toploti.



Slika 4. Delce alfa prestreza desna elektroda. Bo mogoče izmeriti električni tok?



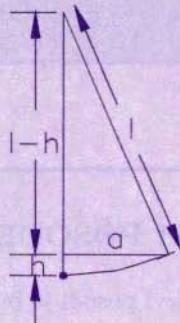
Slika 5. V kondenzatorju C nekaj časa zbiramo naboj. Med elektrodama kondenzatorja raste napetost. Bi jo lahko izmerili po dovolj dolgem času?

Kaj, če ne bi naboja sproti izgubljal prek ampermetra, ampak bi ga nekaj časa zbiral? Zbirna elektroda in ohišje škatle sta kondenzator. Naboj, ki ga prinašajo delci alfa, polni kondenzator. Med ploščama narašča električna napetost. Prirastek je tem večji, čim manjša je kapaciteta kondenzatorja. Pri kapaciteti 20 pF bo vsak prestreženi delec povečal napetost za kondenzatorju za $1,5 \cdot 10^{-8} \text{ V}$. Da bo Bine napetost lahko meril, naj zraste do enega milivolta. Če oddaja vir 100 delcev alfa vsako sekundo, bo moral čakati 1 500 sekund, kar je skoraj pol ure.

Bine je izčrpan obupal. Če je že z delci alfa toliko preglavic, kako naj najde še drobnejše elektrone? Da bi vsaj Bush ne začel vojne!

Binetu smo pokukali prek rame v njegove račune. Pri ujetju delca alfa v kladu je zapisal ohranitev gibalne količine, $mv = (M + m)v_1$. Hitrost delca alfa v je izračunal iz njegove energije E , torej $E = mv^2/2$. Masa klade in masa delca alfa sta M in m .

Zdaj Bine pozna maksimalno hitrost nihala v_1 , zato lahko izračuna njegovo kinetično energijo. Masa niti je zanemarljiva v primerjavi z maso obeska. Ko se nihalo giblje proti skrajni legi, se hkrati dviga. Zato se mu večja potencialna energija, manjša pa kinetična in z njo hitrost. V skrajni legi velja $mv_1^2/2 = mgh$. Dvig h pa povezuje z odklonom a Pitagorov izrek, $a^2 + (l - h)^2 = l^2$. Pri računanju je Bine zanemarlil člen h^2 , ki je gotovo mnogo manjši od člena hl .



Pri računanju tlaka si je Bine pomagal z nekaterimi podatki, s katerimi ga je seznanila kemija. Mol kateregakoli plina, ki zavzema 22,4 litra pri sobni temperaturi in ima tlak približno enak atmosferskemu, šteje približno $6 \cdot 10^{23}$ atomov. Mol helija tehta 4 grame. Razlika gladin živega srebra 760 mm ustreza atmosferskemu tlaku. Bine mora napolniti s helijem le prostornino 5 cm^3 do tlaka, ki je 760-krat manjši od atmosferskega. Do rezultata je Bineta pripeljal le sklepni račun.

Tudi z megaelektronvolti (MeV) ni bilo težav, čeprav so enota iz atomskega sveta. Kadar pade kamen z maso 1 kg v težnostnem polju Zemlje za en meter, pridobi na energiji 9,81 J. Tolikšno energijo bi lahko razglasili za enoto energije, če ne bi že imeli dobrih starih joulov. Podobno kot deluje težnostno polje na maso, deluje električno polje na naboj. V atomskem svetu, kjer se igramo z elektroni in s precej težjimi protoni, ki oboji nosijo električni naboj e_0 , enak 10^{-19} As, pa je novi način zapisave energije običajen. Elektron, ki v električnem polju pade za volt, pridobi energijo 1 elektronski volt ali 1 eV. Nova enota, mnogo manjša od joula, je zelo pripravna v atomskem svetu. Elektron pa ima tudi maso m_e , zato deluje nanj privlačna sila Zemlje. Elektron torej pridobiva na energiji tudi tedaj, ko pada v težnostnem polju Zemlje. Zato izračunajmo energijski prirastek pri padcu za meter: $\Delta E = m_e g \cdot 1 = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9,81 \approx 10^{-29}$ J, kar je zanemarljivo malo proti energiji, ki jo dobi, kadar pade v električnem polju za volt: $\Delta E = e_0 \cdot 1 = 10^{-19}$ J. To pa pomeni, da lahko vpliv težnosti na gibanje elektronov zanemarimo. Proton, ki je približno 2000-krat težji od elektrona, pridobi pri padcu za meter v težnostnem polju Zemlje tolikokrat več. Kljub temu je težnostni vpliv še vedno milijonkrat manjši od vpliva najneznatnejšega električnega polja. Zanimivo je, da na prostem izmerimo električna polja nekaj sto voltov na meter zaradi atmosferske elektrike.