

# PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 30 (2002/2003)

Številka 1

Strani 41-45

Jože Pahor:

## KAKO STARI SO SANDALI?

Ključne besede: fizika, radioaktivnost, razpad jeder, razpolovni čas, ogljik 14.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/30/1502-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.

## KAKO STARI SO SANDALI?

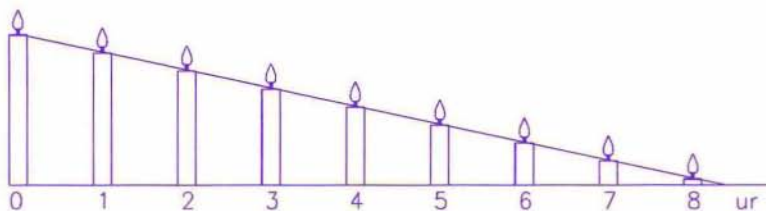
Miha koraka skozi prostore Egiptovskega muzeja v Kairu in obstoji pred zanimivim predmetom z napisom *Sandali iz leta 2300 pred Kristusom*.

“Oče, kako vedo, od kdaj so sandali? Saj Egipčani niso vnaprej vedeli, da se bo Kristus rodil in kdaj bo to.”

“Drži. Ampak sandali imajo vgrajeno naravno uro. Fiziki znajo pogledati na to uro in povedati zgodovinarjem, kaj naj napišejo o starosti.”

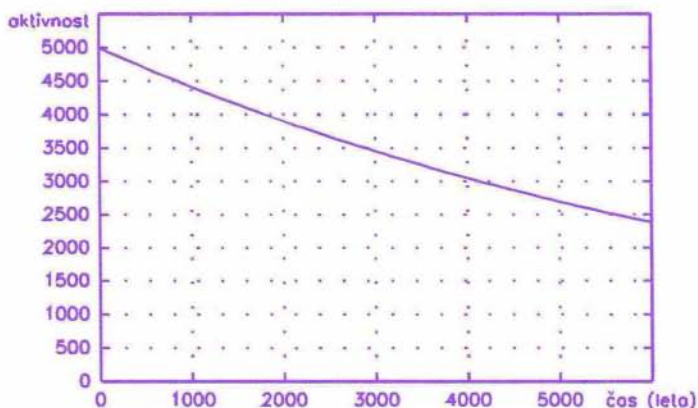
Mihu je bilo jasno čedalje manj, zato mu je oče obljubil daljšo razlago.

Pozabi na sandale. Začela bova s svečo. Misliva si, da inava pol metra dolgo svečo, o kateri veva, da pogori vsako minuto za milimeter. Ta sveča gori lahko le 500 minut, to je 8 ur in 20 minut. Če najdemo ob desetih zvečer tako gorečo svečo, ki je dolga le še 30 centimetrov, si prav lahko izračunamo, da je morala goreti 200 minut, da je je toliko pogorelo. Nekdo jo je prižgal torej 20 minut pred sedmo. Ta račun velja seveda le tedaj, če je sveča res ves čas gorela. Najdaljši čas, ki ga s tako uro lahko še izmerimo, je osem ur in dvajset minut. Potem je s svečo konec.



Slika 1. Svečo lahko uporabimo kot uro.

Podobno kot opisana sveča se obnašajo tudi viri radioaktivnega sevanja. V njih razpadajo atomska jedra, zato vsebujejo čedalje manj radioaktivnih atomov in zato polagoma usiha njihova sposobnost oddajanja sevanja. Ta sposobnost, ki je odvisna od njihovega razpolovnega časa in začetne aktivnosti, pa ne pada enakomerno kot dolžina sveče, ampak kot kaže za radiaktivni  $^{14}\text{C}$  slika 2. Ker znaša njegov razpolovni čas približno 5600 let, pade torej v tem času aktivnost na polovico. Za vir ogljika  $^{14}\text{C}$  lahko napravimo podoben račun kot za gorenje sveče. Če ugotovimo v viru 3000 razpadov v sekundi, povedali pa so nam, da je v viru ob pripravi razpadlo vsako sekundo povprečno po 5000 jeder, lahko iz naše slike ugotovimo, kdaj so ga pripravili. Od naše izmerjene vrednosti 3000 napravimo korak v desno do krivulje, od nje pa korak navzdol. Tako pridemo do vrednosti 4130 let, kar je starost vira (slika 2).



Slika 2. Tudi aktivnost ogljika  $^{14}\text{C}$  služi kot ura.

Če bi torej kdo ob smrti vsakega drevesa vložil vanj tak radioaktivni vir, bi lahko z ugotavljanjem števila razpadov vsak trenutek ugotovili, koliko časa je že preteklo od tedaj. Lahko bi rekli, da je v drevo vgrajena ura. Tako nekako merjenje starosti tudi v resnici poteka. Natančno določene vire radioaktivnega  $^{14}\text{C}$  je v vse žive organizme vložila že narava. Na to uro je že leta 1946 opozoril ameriški fizik Libby. Seveda pa ti viri še zdaleč niso tako močno aktivni, kot je bil naš namišljeni vir. To je celo dobro, saj bi bila sicer vsaka lesena klop mnogo preveč aktivna, da bi mogli brez nevarnosti sedeti na njej.

Poglejmo, kaj se je dogajalo že davno, morda pred deset tisoč leti.

Atom dušika 14 se je trdno oklepal drugega atoma dušika in opazoval Zemljo, ki je zelenela petnajst tisoč metrov pod njim. Počutil se je popolnoma varno, saj je tako lebdel že milijone let. Poleg tega se je držal za roke z drugim atomom dušika. Čez približno deset tisoč let bodo znanstveniki na Zemlji take skupke poimenovali molekule. Kdaj pa kdaj si je s trkom v drug atom ali molekulo izmenjal pozdrav. Vendar pa je nenadoma treščilo kot strela z jasnega povsem drugače kot pri trkih. Ko se je naš atom spet zavedel, je bil sam. Nič več ni bil atom dušika. Zadel ga je bil nevtron in obtičal v njem, iz jedra pa mu je odneslo proton. To mu je spremenilo ime v ogljik, pa tudi usodo. Prej je bil praktično nesmrten, če se je le izogibal kozmičnim žarkom, ki bombardirajo Zemljo. Zdaj, ko je postal atom ogljika 14, bo umrl po povprečno 5600 letih. Prazaprav ne bo umrl, prek radioaktivnega razpada se bo preobrazil v atom dušika 14 in pri tem izseval elektron, ki mu pravimo tudi delec beta.

Naš atom pa ni edini doživel take usode. Nova jedra ogljika 14 ves čas nastajajo in ves čas umirajo. Pri enakomernem obsevanju Zemlje s kozmičnimi žarki se je že davno vzpostavilo ravnovesje. Vsako sekundo nastane prav toliko ogljika 14, kolikor ga razpade. Zato ostaja množina radioaktivnega ogljika v ozračju ves čas enaka. V gramu ogljika razpade vsako minuto približno 16 jeder ogljika 14.

Novonastali atom ogljika 14 pa ni dolgo ostal sam. Srečal je dva atoma kisika in se spojil z njima v molekulo ogljikovega dioksida  $\text{CO}_2$ . Spet bo preteklo precej časa, da bo novo molekulo zaneslo v nižje plasti ozračja. Tam jo bo morda preko fotosinteze pogoltnil drevesni list, travna bilka ali smrekova iglica. Kisik bo izšel, ogljik pa si rastlina prisvoji. Živali se hranijo z rastlinami, torej se bo radioaktivni ogljik znašel tudi v živalih. Volk požre srno, zato bo tudi volk deležen radioaktivnega ogljika. Ljudje uživamo hrano rastlinskega in živalskega izvora ter tako postanemo tudi sami radioaktivni. Ogljikova jedra v vsej živi naravi razpadajo, obenem pa se s presnavljanjem obnavlja njihova koncentracija. Ko pa katerikoli organizem umre, jedra ogljika 14 le še razpadajo. Premog, ki je nastal iz pradreves pred nekaj sto milijoni let, ne kaže več znakov radioaktivnosti. Šota, ki leži pod zemljo deset tisoč let, je precej manj radioaktivna kot svež les. Če torej uspemo izmeriti število razpadov, ki se zgode v gramu ogljika vsako sekundo, lahko povemo, kdaj je organizem umrl.

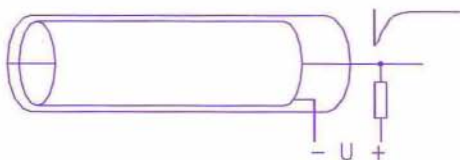
Pot do takega podatka pa ni niti lahka niti kratka. Pri meritvi namreč naletimo na celo vrsto težav in nevšečnosti.

Pri naši meritvi moramo čim natančneje ugotoviti število delcev, ki jih vsako minuto izseva ogljik znane teže, recimo enega grama. Razpadi jeder pa so naključni. To pomeni, da nikoli ne vemo, kdaj bo posamezno jedro razpadlo. Šele pri velikem številu jeder lahko natančneje napovemo število razpadov v časovni enoti, to je aktivnost. Če preštevamo delce iz grama svežega ogljika eno minuto, bo rezultat štetja le redko pričakovanih 16. Zakoni statistike pravijo, da bosta dve tretjini rezultatov med 12 in 20, tretjina pa celo več od 20 ali manj od 12. Če hočemo natančneje opredeliti starost, moramo prešteti veliko več razpadov, to pa zahteva daljše štetje ali pa več ogljika. Običajno trajajo take meritve več dni.

Za zanesljivost meritve je pomembno tudi to, da pri štetju ne prezmemo nobenega delca, saj bi se nam pri taki meritvi vsi predmeti zdeli starejši, kot so v resnici. Kosov lesa gotovo ne kaže vtikati v merilce jedrskega sevanja, ker bi lahko iz njih neovirano izstopali le delci iz ogljikovih jeder prav blizu površine. Tisti pa, ki bi se rodili globlje, bi prav gotovo ne mogli ven. Takim napakam se najlaže izognemo, če les sežgemo, torej pripravimo ogljik spet do tega, da se spoji s kisikom v ogljikov dioksid. Če s tem plinom napolnimo merilnik jedrskega sevanja, gotovo ni več



nevarnosti, da bi delce izgubljali. V ta namen sta pripravna geigerski in proporcionalni števec. Oba sta valjaste oblike s tanko žico, napeto po osi valja. Običajno ju polnimo z argonom, ki mu dodamo alkoholne pare ali metan. Kot delovni plin pa je uporaben tudi naš ogljikov dioksid. Če priključimo primerno električno napetost med cilindar in sredinsko žico, se na upor  $R$  pojavi električen sunek kot odgovor na prehod vsakega delca (slika 3).



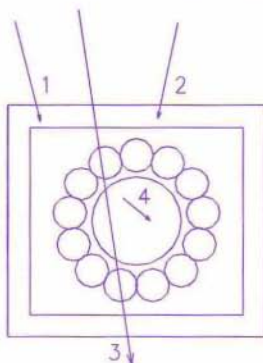
Slika 3. Sestava geigerskega ali proporcionalnega števca. Med kovinskim cilindrom in tanko žico, napeto po osi, je primerna električna napetost. Števec javi prehod delca z električnim sunkom, ki se pojavi na upor.

Tu naletimo na drugo težavo. Tudi števec, ki ga napolnimo z neaktivnim ogljikovim dioksidom, ki smo ga dobili s sežigom na milijone let starega premoga, najavlja delce. Iz vesolja nas neprestano bombardirajo kozmični žarki, sevanje pa prihaja tudi iz radioaktivnih snovi, ki jih najdemo v zemeljski skorji. Sevanje iz ogljika 14 je tako neznatno, da ga je težko zaznati v prisotnosti obeh virov.

Pa poskusimo zazidati svoj števec v svinčen grad, ki naj bi ustavljal sevanje od zunaj. Svinčene opeke sicer precej sevanja oslabe, v zameno pa vsiljujejo svoje sevanje. Svinec je namreč nastal iz urana, torija in aktinija, ko so ti razpadali. Zato ne preseneča, da vsebuje še nekaj svojih aktivnih prednikov. Svinec bomo uporabljali torej le za zunanje stene gradu, za notranje je primernejše železo, ki nima radioaktivnih prednikov. Kljub skrbni zazidavi pa se zunanjšega sevanja ne moremo povsem iznebiti. Če že vsiljivcev ne moremo ustaviti, pa lahko postavimo okoli svojega števca stražo, ki nas bo posvarila vsakokrat, preden bo vsiljivec dosegel naš števec. Posvarjeni takega dogodka ne bomo šteli.

Kot stražo namestimo okoli svojega valjastega števca obroč drugih valjastih števecov. Elektronski sistem, ki zazna vdor delca od zunaj, šteje dogodek v glavnem števcu le tedaj, kadar obroč ni zaznal ničesar. Tedaj dogodek velja. Pripišemo ga razpadu jedra ogljika 14 (slika 4).

Zdaj imamo končno vse, da se lahko lotimo določanja starosti. Meja zaznavnosti sega nazaj tja do 40 tisoč let. Vzorci tako starega ogljika oddajo vsako minuto v povprečju le približno 0,1 delca, torej lahko pričakujemo v desetih minutah le en sam razpad.



Slika 4. Glavni števec varujejo svinčene stene in zaščitni obroč. Svinčene stene so ustavile delec 1 in delec 2. Zelo prodorni delec 3 je pred vstopom v glavni števec najavil obroč, zato smo ga izločili. Delec 4 je prispeval ogljik 14 v glavnem števcu. Zaradi majhne prodornosti je delec končal svojo pot v glavnem števcu. Šteli smo le njega.

Aktivnost nekega radioaktivnega vira izražamo tako, da povemo število razpadlih jeder v časovni enoti, recimo v sekundi ali pa minuti, kadar je aktivnost zelo majhna. Aktivnost  $A(t)$  ogljika  $^{14}\text{C}$  upada eksponentialno s t.i. razpolovnim časom 5600 let:

$$A(t) = A(0) \cdot 2^{-t/5600},$$

$A(0)$  je začetna aktivnost,  $t$  pa vstavimo v letih. Po 5600 letih se torej aktivnost zmanjša na polovico.

Rekli smo, da lahko negotovost pri preštevanju delcev zmanjšamo, če preštejemo več delcev. Pri preštetih  $N$  delcih je ta napaka  $\pm\sqrt{N}$ . Pri preštetih 100 delcih je potemtakem relativna napaka 10 odstotkov, na odstotek pa se zmanjša, če preštejemo 10000 delcev. Zato poskušamo pri meritvah uporabiti več ogljika kot pa le gram. Liter ogljikovega dioksida pri atmosferskem tlaku vsebuje približno 0,6 grama ogljika. Geigerski števci, ki jih je uporabljal tudi Libby, drže le 100 do 200 ml plina. Bolj pripravní so kovinski proporcionalni števci, ki jih lahko naredimo poljubno velike in jih tudi lahko polnimo s plinom do tlaka nekaj atmosfer. Seveda pa ne bomo dragocenih zgodovinskih predmetov v celoti pokurili, da bi tako pridobili čim več ogljikovega dioksida.

Groba ocena za sevanje iz vesolja – kozmične žarke – je 2 na kvadratni centimeter na minuto. Zato so tudi števci z večjim presekom bolj dovzetni zanje. Skrbna zaščita in uporaba zaščitnega števca pa lahko zmanjšata vpliv nezaželenega sevanja do 200 krat.

Danes uporabljamo za določanje starosti scintilacijske števce s tekočim scintilatorjem, ki mu dodamo primerno ogljikovo spojino. Kaj je scintilacijski števec, pa bomo morda zvedeli kdaj drugič.