

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik **30** (2002/2003)

Številka 6

Strani 354-359

Jože Pahor:

POGLED V ČASE, KO JE BILA ZEMLJA ŠE MLADA

Ključne besede: fizika, zgradba snovi, radioaktivnost, števci, silvin, določanje starosti.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/30/1531-Pahor.pdf>

© 2003 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

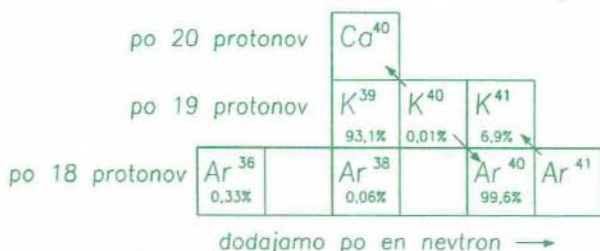
© 2010 DMFA - založništvo

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

POGLED V ČASE, KO JE BILA ZEMLJA ŠE MLADA

Doktor Ksenon je pogledal na uro in rekel Janezu: "Kmalu dobiva vzorec. Imava vse pripravljeno?" Doktor in njegov mladi pomočnik sta se namenila določiti starost kristala silvina. Menda naj bi nastal pred nekaj sto milijoni let.

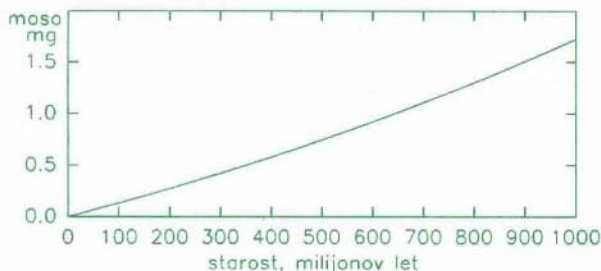
Silvin je kristaliziran kalijev klorid KCl. V naravi ga najdemo marsikje, a kako ga pripravimo do tega, da izda svojo starost? Pomaga nam radioaktivnost, ki se je bojimo, a se ji nikjer ne moremo popolnoma izogniti. Kemijski element kalij sestavlja pretežno kalijev izotop K^{39} , čigar jedro sestavlja 19 protonov in 20 nevtronov. Znatno manj je v naravi K^{41} . V jedrih tega izotopa dela družbo devetnajstim protonom dvaindvajset nevtronov. S tem pa kalijeve družine še ni konec. Med vsakimi 100 000 jedri prve in druge vrste najdemo tudi 12 kalijevih jeder z 19 protoni in 21 nevtroni. To so jedra kalija 40. Kalij 40 ni zadovoljen s svojo sestavo. Prej ali slej se spremeni v kalcij 40 ali pa v argon 40. Vendar pa so take spremembe silno redke. V povprečju se zgode morda enkrat v milijardi let. Sprememba kalija 40 v kalcij 40 je devetkrat bolj verjetna kot sprememba v argon 40. Doktor Ksenon pa se je odločil, da gre loviti natanko argonove atome. Le kako mu bodo koristili pri določanju starosti (slika 1)?



Slika 1. Pri radioaktivnem razpadu prehajajo elementi drug v drugega. Kadar jedro pogoltne nevtron, postane težje in marsikdaj nestabilno.

Nekoč, v pradavnih časih, so po nekaterih jezerih plavali kalijevi in klorovi ioni. Sem pa tja se je kakšen atom kalija 40 spremenil v argon 40. Argon je odplaval stran in se nazadnje pridružil atomom v ozračju. Voda je izparevala in se gostila. V vodi so začeli rasti kristali kalijevega klorida, silvina. Atom argona, ki je nastal v kristalu, je ostal v njem ujet. Z milijoni let se je v kristalu nabrala množica takih ujetnikov. Če bi jih znali prešteti in če bi vedeli, kako hitro nastajajo, bi lahko izračunali starost kristala.

Kemiki ne znajo prešteti atomov, zato pa so zelo spretni s tehtnico. Morda bi argonove atome stehali, namesto da jih štejemo? Premislimo, kako narašča s časom masa ujetega argona. Vzemimo kos silvina, težkega 40 gramov. Vsak kubični centimeter tehta skoraj natanko 2 grama, torej zavzema prostornino 20 cm^3 . Iz poznanih atomskih tež kalija in klora hitro izračunamo, da vsebuje tak kos poleg 19,2 gramov klora tudi 20,8 gramov kalija. Vendar pa je delež kalija 40 majhen, njegova celotna teža znesle 2,4 miligrama. V knjigah lahko najdemo razpolovni čas kalija 40, ki je $1,28 \cdot 10^9$ let. Če torej počakamo milijardo let, se bo nekaj manj kot polovica kalija spremenila v argon. Masa argona, ujetega v silvinu, bo potemtakem okoli 1,1 miligrama. Pred milijardo leti bi našli v kaliju skoro dvakrat več kalija 40. Ko upoštevamo vse te zakonitosti, pridemo do grafa (slika 2), ki kaže maso ujetega argona v našem kosu silvina v odvisnosti od starosti. Mislimo si, da je naš vzorec star 500 milijonov let. Iz grafa razberemo, da lahko pričakujemo v njem 0,72 miligrama argona.



Slika 2. Množina ujetega argona 41 v 40 gramov težkem kristalu silvina je odvisna od njegove starosti.

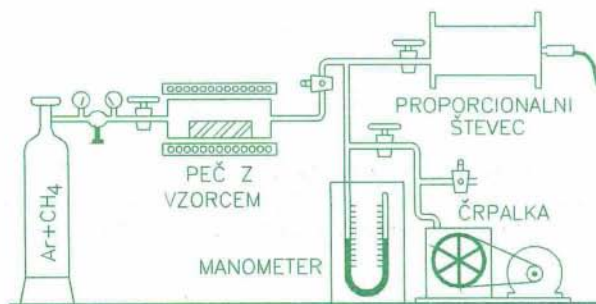
Kako torej izgnati argon iz kristala, ga pretočiti v izčrpano posodo, ki smo jo stehali povsem prazno, in kako potem ugotoviti razliko med prazno in polno posodo? Očitno s tehtanjem ne bo uspeha. Teža nastalega argona je premajhna.

Kemiki ugotavljajo množino snovi tudi prek meritve tlaka. Če v posodo s prostornino 100 cm^3 spravimo svoj vzorec, izčrpamo zrak in vzorec raztalimo, se bo argon sprostil in se razširil po preostali prostornini 80 cm^3 . Manometer, ki je prej kazal tlak 0, bi v našem primeru pokazal tlak približno 5 milibarov. Tolikšne tlake sicer znamo meriti, vendar nimamo zagotovila, da so vsega namerjenega tlaka krivi ravno sproščeni argonovi atomi. Morda so se sprostili tudi drugačni plini, ki so bili slučajno ujeti v kristalu? Morda smo s segrevanjem posode odlepili tanko plast dušika in kisika, ki se je utegnili držati na steni posode? Vsekakor bi bilo zanesljiveje, če bi atome argona prešteli. To pa zmore sodobna fizika.

Jedrski reaktorji nam poleg nevšečnosti prinašajo tudi koristi. Vsak jedrski reaktor je mravljišče, v katerem namesto mravelj mrgole nevtroni. Fiziki, ki so se igrali s takimi reaktorji, so ugotovili, da večina snovi, ki jo nekaj časa pustimo v delujočem reaktorju, postane radioaktivna. To pomeni, da snovi oddajajo različna sevanja tudi potem, ko smo jih potegnili iz reaktorja. V atomska jedra so namreč prodirali nevtroni in marsikdaj v njih obtičali.

Doktor Ksenon je svoj kos silvina vložil v jedrski reaktor dan poprej. Nevtroni, ki jih prestrežejo jedra argona 40, le-tega spremenijo v argon 41. Prej ali slej se bo nastalo jedro vnovič spremenilo. Iz jedra bo izletel elektron, eden od nevtronov pa se bo spremenil v proton. Novo jedro, s protonom več, je zadovoljno s svojo sestavo in novim imenom kalcij 41. Sprememb je konec. Elektron, oziroma delec beta, kot ga tudi imenujemo, pa je mogoče odkriti s primernim detektorjem radioaktivnosti. Najpreprostejši je že geigerski števec. Čim več takih delcev najavlja geigerski števec, tem več je bilo v kosu silvina ujetih argonovih atomov in tem starejši je vzorec.

Dr. Ksenon in Janez sta se odpravila v reaktorsko zgradbo, kjer so jima izročili njun vzorec. Prenesla sta ga v svoj laboratorij. Odprla sta posodo, v kateri so vzorec obsevali, in preložila kos silvina v pečico s cevkami in ventili na obeh straneh (glej sliko 3).



Slika 3. Potrebne naprave za osvoboditev ujetega argona.

Pognala sta črpalko, ki je izsesala zrak iz celotnega sistema. Tlak sta nadzorovala z manometrom. Ko sta se izenačili višini obeh krakov, sta zaprla ventila na obeh straneh cilindra. Vključila sta pečico, ogrevala ciliinder in pri 700 stopinjah se je silvin stalil. Zdaj sta odprla ventile in spustila pline, ki so izšli iz raztaljenega silvina v proporcionalni števec. Doktorji Ksenonu geigerski števec ni bil posebno pri srcu. Geigerski števec delce beta le zaznava, več pa o njih ne zna povedati. Proporcionalni števec

pa pove tudi energijo delca beta tako, da odda električni sunek z višino, ki je sorazmerna energiji zaznanega delca. Proporcionalni števec mora biti za normalno delovanje napolnjen s plinom argonom, ki mu je primešanega še okoli deset odstotkov metana (CH_4). Tako plinsko mešanico sta imela oba raziskovalca že pripravljeno v jeklenki. Mešanica iz jeklenke, ki je prek peči tekla v števec, je odplaknila tja še zadnje sledi radioaktivnega argona. Ko je tlak v proporcionalnem števcu dosegel zunanji zračni tlak, sta števec zaprla, priključila nanj visoko napetost okoli 2300 V in začela s štetjem. Pogledala sta na uro in si zabeležila čas.

Po pol ure se jima je nabralo okoli sto tisoč sunkov. Razpadlo je torej sto tisoč jeder. Pogostost štetja se je polagoma manjšala. Seveda, za argon 41 je značilen razpolovni čas 109 minut. Ksenon je ustavil štetje in zapisal rezultat.

“Zakaj ne štejeva še naprej?” je zanimalo Janeza. “Saj še niso razpadla vsa jedra.”

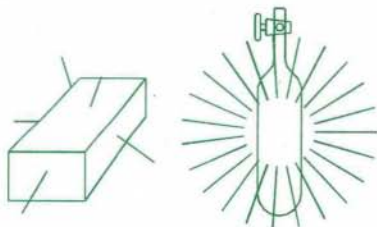
“Tako ali tako bo treba računati. Precej jeder je razpadlo, še preden sva začela s štetjem. Tudi konec razpadanja bi težko dočkala...”

“Kako pa bova računala?” je zanimalo Janeza. “So v reaktorju vsi atomi argona 40 postali radioaktivni?”

“Prav tu je težava. Spremenil se je le del teh atomov. Delež je odvisen od gostote nevtronov v reaktorju, od verjetnosti, da nevtron obtiči v jedru argona 40 in ga spremeni, pa še od časa obsevanja. Natančna napoved bi bila tvegana. K sreči pa imava tole.” Ksenon je potegnil ampulo iz posodice, v kateri je bil obseval vzorec silvina.

“S silvinom sva hkrati obsevala tudi argon v tejle ampuli, ki drži 10 cm^3 . Ampulo sva napolnila do atmosferskega tlaka, to pa pomeni, da je v njej 17,8 mg argona. Argon, ki ga najdemo v naravi, vsebuje kar 99,6 % argona 40. Poleg argona v silvinu je pri obsevanju tudi ta argon postal radioaktiven. Ker ga je več kot v silvinu, bo njegova radioaktivnost večja. Ker pa smo oba argona obsevali pri enakih pogojih, bo razmerje njunih radioaktivnosti v razmerju mas obeh argonov. Do mase argona v silvinu bomo prišli kar s sklepnim računom. Preprosto, mar ne?”

Janez se je strinjal (slika 4).



Slika 4. Poleg vzorca (levo) smo obsevali tudi ampulo z argonom (desno), pridobljenim iz zraka. Razmerje obeh aktivnosti pomaga določiti starost.

“Pa le ni tako preprosto. Sklepni račun bi veljal le, če bi merili radioaktivnost obeh vzorcev hkrati. Tako pa bomo merili radioaktivnost naravnega argona kasneje, ko bo ta že manjša. Ker pa poznamo razpolovni čas argona 41, ne bo težko določiti popravkov. Če bi drugo meritve začeli 109 minut za prvo, bi morali rezultate pomnožiti z dva, če bi jo začeli 218 kasneje, bi morali rezultate pomnožiti s štiri. Tako ali tako je radioaktivnost drugega vzorca dosti večja od radioaktivnosti prvega. Zato je celo koristno, če drugo radioaktivnost merimo precej kasneje, ko postane primerljiva s prvo. Če bi bila pogostost štetja prevelika, bi električne sunke izgubljali. Proporcionalni števec zanesljivo šteje do pet tisoč sunkov v sekundi.”

“Torej bova po tejle meritvi nekaj časa počivala?” je zanimalo Janeza.

“To pa spet ne. Merila bova ozadje. Najin števec šteje, tudi če v njem ni nobenega radioaktivnega vira. Sevanje prihaja iz vesolja, pa tudi iz tal pod nama. Da bi vsaj del tega sevanja odpravila, imava svoj števec v svinčenem gradu. S števcem, ki bo napolnjen z običajno delovno mešanico argona in metana, bova preštevala spet pol ure in rezultat odštela od rezultata meritve, pri kateri je bil v števcu radioaktivni argon. Pogostost sunkov iz števca brez dodanega argona je stalna in jo lahko napraviva kadarkoli. Zdajle imava ravno čas.”

Potem sta merila in spet merila, da bi preverila prejšnje meritve. Slednjič sta se lotila računanja in ugotovila, da je njun vzorec silvina star približno 450 milijonov let. Vendar je silvin še mlad v primerjavi z drugimi kameninami. Opisana metoda bi pokazala starosti tudi do dveh milijard let. Tudi Janez je bil zadovoljen, čeprav si je bil opekel kazalec. Uporabil ga je kot termometer, ko se mu je zdelo, da se peč prepočasi segreva. Pa se očitno ni... Bi študiral fiziko, ko konča s srednjo šolo?

Pri radioaktivnem razpadu se manjša število jeder N_A v viru sevanja eksponentno s časom t . Razpolovni čas, značilen za razpad, je $T_{1/2}$ in zato

$$N_A(t) = N_A(t=0) \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} . \quad (1)$$

Nastajajo jedra vrste B. Ker se ne izgubi nobeno jedro, se vsota jeder A in jeder B ohranja:

$$N_A + N_B = \text{konst} = N_A(t=0) . \quad (2)$$

Od tod izračunamo število nastajajočih jeder B:

$$N_B(t) = N_A(t=0) \cdot (1 - 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}) . \quad (3)$$

Ta enačba pa velja za bodočnost. Tolikšen je danes delež kalija 40. Ob času $t = -T_0$, ko je KCl kristaliziral, je bil večji:

$$N_A(t = -T_0) = N_A(T = 0) \cdot 2^{\frac{T_0}{T_{1/2}}} \quad (4)$$

Če nesemo dobljeno vrednost v enačbo (3), dobimo

$$N_B(t) = N_A \cdot 2^{\frac{T_0}{T_{1/2}}} \cdot (1 - 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}) \quad (5)$$

Graf te funkcije, kjer smo upoštevali vsebino kalija 40 v našem kosu silvina, kaže slika 2. Zanima nas še tlak, ki ga ustvari 0,75 mg argona v 80 cm^3 . Iz plinske enačbe vemo, da zavzame mol enoatomskega plina $22,4 \text{ litra} = 22400 \text{ cm}^3$ pri normalnem tlaku in sobni temperaturi. Mol argona 41 pomeni 41 gramov. Pri normalnem tlaku, ki je 1000 mb, je torej v 1 cm^3 $41000 \text{ mg}/22400 = 1,83 \text{ mg}$ argona. Kadar razpnemo 0,75 mg argona v 80 cm^3 , namerimo gostoto $0,00937 \text{ mg/cm}^3$. Stopetindevetdesetkrat manjša gostota da tolikokrat manjši tlak, torej 5 mb. To pa pomeni v živosrebrnem manometru razliko gladin živega srebra nekaj manj kot 4 mm.

Jože Pahor