

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 3 (1975/1976)

Številka 2

Strani 67-74

Janez Strnad:

O ZGRADBI SNOVI

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/3/3-2-Strnad.pdf>

© 1975 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2009 DMFA - založništvo

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



O ZGRADBI SNOVI

I. DEL

Zgradbi snovi so fiziki že od nekdaj posvečali največjo pozornost. Z malo pretiravanja bi lahko rekli, da je to sploh hrbenica fizike.

Najprej si osvežimo spomin in si oglejmo začetne uspehe v zgodovini raziskovanja zgradbe snovi. Tankovestni zgodovinar bi najbrž vihal nos nad našim početjem. Z zgodovino namreč ne bomo ravnali dosti bolje kot pisec, v čigar igri javijo Edvardu III., da se je pravkar začela stoletna vojna. Nekatera spoznanja bomo zares omenili v zgodovinski zvezi, na druga dejstva pa bomo gledali z današnjimi očmi.

Ze nekateri filozofi v antični Grčiji so bili prepričani, da sestavljajo snov neustvarljivi, neuničljivi in nedeljivi *atomi*. Prvi je menda besedo atom uporabil Levkip, najbolj pa je to zamisel razvil Demokrit. Oba sta živel v petem stoletju pred našim štetjem. Čeprav teh filozofov ne gre podcenjevati, so bila njihova prizadevanja s fizikalnega gledišča gola ugibanja. V fiziki je namreč edino merilo za uspešnost še tako lepe zamisli ujemanje z rezultati merjenj.

Zamisel o atomski zgradbi snovi so oživili kemiki v 19. stoletju. Poprej so razčistili nekaj pomembnih pojmov. Ugotovili so, da so med čistimi snovmi nekatere - *elementi* - preprostejše od drugih - *spojin*. Sledila so odkritja osnovnih zakonov kemije: zakona o stalnih utežnih razmerjih, zakona o večkratnih utežnih razmerjih in zakona o kilomolski prostornini plinov. Po prvem zakonu, ki ga je izoblikoval J.L.Proust (1799), se spoji dana masa elementa vedno z dano maso drugega elementa; na primer 1 g vodika se spoji vedno z 8 g kisika v vodo in nikdar s 7,9 g ali z 8,1 g. Po drugem zakonu, ki ga je izoblikoval J.Dalton (1808), se spojijo z dano maso elementa lahko mase drugega elementa, ki

so v razmerju malih celih števil, na primer z 28 g dušika se spoji 16 g kisika v didušikov oksid, z $2 \times 16 \text{ g} = 32 \text{ g}$ kisika v dušikov oksid, s $3 \times 16 \text{ g} = 48 \text{ g}$ kisika v didušikov trioksid, s $4 \times 16 \text{ g} = 64 \text{ g}$ kisika v dušikov dioksid in s $5 \times 16 \text{ g} = 80 \text{ g}$ kisika v didušikov pentoksid. Tretji zakon pravi, da ima kilomol kateregakoli plina pri temperaturi 0°C in tlaku 1 kp/cm^2 enako prostornino $22,4 \text{ m}^3$.

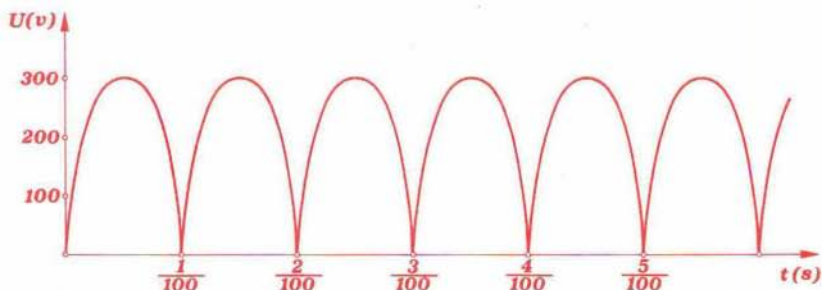
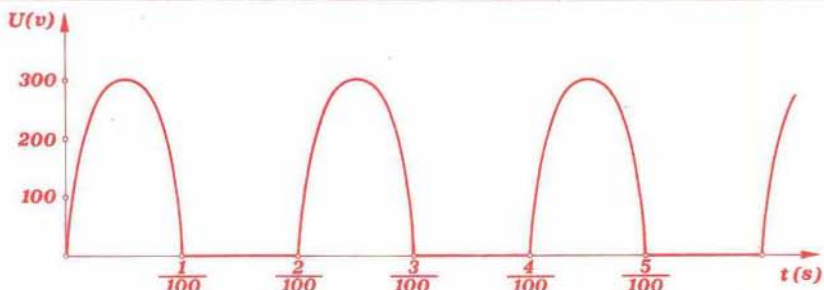
Te zakone neprisiljeno pojasnimo z *zakonom o zgradbi snovi*: Element sestavljajo enaki atomi, ki se razlikujejo od atomov drugih elementov. Dano število atomov prvega elementa se spoji z danim številom atomov drugega elementa ... v *molekulo* spojine. V plinih nastopajo elementi in spojine v obliki molekul. Nekateri elementi imajo molekulo iz enega atoma, drugi iz dveh ... Spojine pa imajo v molekuli vsaj dva atoma različnih elementov. V kilomolu kateregakoli elementa ali spojine je enako število molekul. Zadnjo trditev je postavil za pline na osnovi zakona o kilomolski prostornini plinov že leta 1811 A. Avogadro, zato je znana kot *Avogadrov zakon*.

Zakoni kemije sami še ne dokazujejo zakona o zgradbi snovi. Spočetka je bila atomska zgradba snovi samo koristen *model*. Z njim so čedalje uspešneje in zanesljiveje pojasnevali in celo napovedovali izide kemijskih pojavov in poskusov. Tako je dobival čedalje večjo veljavo. Z določitvijo velikosti in mase atomov in števila molekul v kilomolu pa je dobil značaj *zakona narave*.* Vse to je trajalo precej časa in nemogoče je navesti leto, v katerem je prevladalo današnje stališče.

Merjenja in računi, ki so dali podatke o atomih, so bili spočetka še nezanesljivi. Prvo oceno o velikosti molekul je dobil Th. Young, ki je izparevanje obravnaval kot prehod kapljevine v "kapljice" z velikostjo molekul (1816). Nekoliko zanesljivejši podatek je dobil na osnovi izmerjenih viskoznosti razredčenih plinov H. Loschmidt (1865). J. Perrin je določil velikost atomov po opazovanju smolnatih delcev, ki so lebdele v vodi (1908, 1912). Pozneje je postalo najzanesljivejše merjenje z uklonom rentgenske svetlobe na kristalih. M. v. Laue je na ta način nedvoumno dokazal, da so atomi v kristalih urejeno razporejeni (1911). Zanesljiva

* Popolnoma drugačno usodo je doživel na primer *model epiciklov*. Z njim je K. Ptolemaj v drugem stoletju zadovoljivo pojasnil gibanje planetov, za katere je vzel, da se gibljejo okoli Zemlje. Poznejša opazovanja so pokazala, da se gibljejo planeti okoli Sonca in ne okoli Zemlje. (Za to je imel največ zaslug N. Kopernik, 1543). Tako je postal model epiciklov neraben.

5. V zaprti škatli imamo električno vezje. Vhodna stran je priključena na električno omrežje. Na izhodni strani priključeni osciloskop kaže časovni potek napetosti kot je na sliki 1. Kakšno, misliš, da je vezje v škatli? Nariši še shemi za primera na slikah 2 in 3!



Izdelke je pregledala in ocenila razširjena komisija. Dijaki so dosegli naslednje rezultate:

2. razred

1.nagrada: *MATJAZ VIDMAR*, gimn.Nova Gorica; *MIŠO JENČIČ*, II. gimn.Ljubljana.

2.nagrada: *FRANCI PADEŽNIK*, gimn.M.Zidanška Maribor.

3.nagrada: *MIRAN MARTINŠEK*, gimn.Celje; *MIRKO ŠKOF*, gimn.Kočevje; *MARKO MIKUŽ* in *IGOR KONONENKO*, oba I.gimn.Ljub-

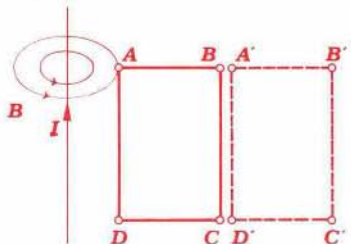
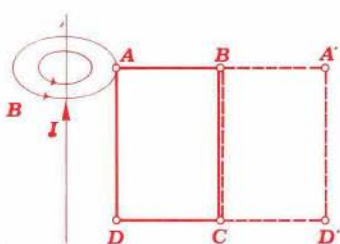
5. V steklenici radenske se navpično dvigajo mehurčki. Ali si že opazoval to gibanje? Kaj veš povedati o njem (kakšno je, zakaj je tako) ?

3. razred

1. V temi niha nihalo. Osvetljujemo ga s stroboskopsko lučjo, ki utripa s frekvenco 2 s^{-1} . V tej luči vidimo, da je frekvenca nihala $0,1 \text{ s}^{-1}$. Določimo vse možne frekvence tega nihala, če veš, da nihalo pri dani amplitudi ne more nihati s frekvenco, ki je večja od $12,5 \text{ s}^{-1}$!
2. Hladilnik z motorjem, ki ima moč 250 W , odpremo. Čez koliko časa se temperatura sobe, v kateri je hladilnik, spremeni za 1°C ? Toplotna kapaciteta sobe je 10 kcal/st .
3. V železnem cilindru se pomika bat brez trenja. Na dnu cilindra je ampula, v kateri je 5 g etra. Tlak zraka v cilindru je zanemarljiv, bat pa je najprej ob dnu cilindra. Ampulo razbijemo in nato bat zelo počasi dvigamo, tako da je temperatura etra v cilindru ves čas stalna in enaka zunanji temperaturi. Bat dvigamo, dokler ne izpari ves eter. Koliko dela smo pri tem procesu pridobili? Ali smo mar s tem napravili stroj, ki se ne pokorava entropijskemu zakonu? Tlak je 1 atm , temperatura pa 20°C .
4. Imamo daljnogled s podatki 8×50 . To pomeni, da daljnogled poveča osemkrat in da je premer objektiva 50 mm . Zakaj sta pomembna oba podatka?
5. Kako bi se astronom stehtal, če njegova ladja kroži okrog Zemlje?

4. razred

1. Upornika sta povezana zaporedno in priključena na izvir brez notranjega upora. Z voltmetrom namerimo na prvem uporniku napetost 4 V , na drugem 6 V , za skupno napetost pa dobimo 12 V . Kolikšni sta napetosti v nemotenem krogu?
2. V bližini dolge, ravne žice, po kateri teče tok, leži kovinski okvir, kot kaže slika. Prvič zavrtimo okvir okoli stranice BC, tako da preide v lego, ki je črtkano narisana. Drugič pa premaknemo okvir vzdolž ravnine, v kateri leži, v lego, ki je črtkano narisana. V katerem primeru bo po okviru stekel večji naboj?



3. Vzbujeni atomi železa z maso 57 a.e.m. imajo na voljo 14 keV energije. Kolikšno energijo imajo fotoni, ki jih sevajo prosti atomi železa?
4. Okrog vodikovega jedra kroži namesto elektrona mezon z maso 200 elektronskih mas. Kakšna je in kolikšno valovno dolžino ima svetloba, ki jo sevajo taki atomi pri prehodu iz prvega vzbujenega v osnovno stanje?

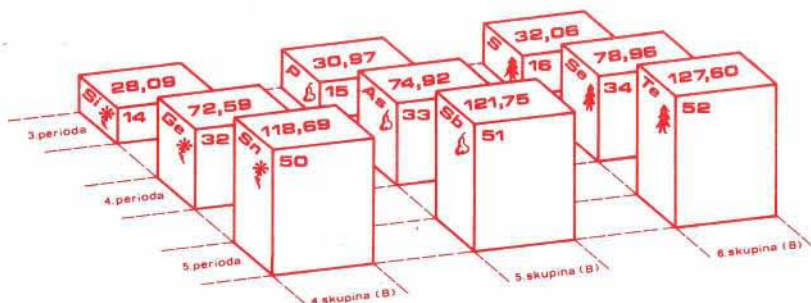
		$Ti = 50$	$Zr = 90$	$? = 180$
		$V = 51$	$Nb = 94$	$Ta = 182$
		$Cr = 52$	$Mo = 96$	$W = 186$
		$Mn = 55$	$Rh = 104,4$	$Pt = 197,4$
		$Fe = 56$	$Ru = 104,4$	$Ir = 198$
		$Ni = Co$	$Pd = 106,6$	$Os = 199$
		$Cu = 63,4$	$Ag = 108$	$Hg = 200$
		$Zn = 65,2$	$Cd = 112$	
$H = 1, Be = 9,4$	$Mg = 24$	$? = 68$	$U = 116$	$Au = 197?$
$B = 11$	$Al = 27,4$	$? = 70$	$Sa = 118$	
$C = 12$	$Si = 28$	$As = 75$	$Sb = 122$	$Bi = 210?$
$N = 14$	$P = 31$	$Se = 79,4$	$Te = 128?$	
$O = 16$	$S = 32$	$Br = 80$	$I = 127$	
$F = 19$	$Cl = 35,5$	$Rb = 85,4$	$Cs = 133$	$Tl = 204$
$Li = 7 Na = 23$	$K = 39$	$Sr = 87,6$	$Ba = 137$	$Pb = 207$
	$? = 45$	$Ce = 92$		
	$?Er = 56$	$La = 94$		
	$?Yt = 60$	$Di = 96$		
	$?In = 75,6$	$Th = 118?$		

Sl.4 "Poskus sistema elementov na osnovi njihovih atomskih tež in njihove kemijske sorodnosti" z začetka *Osnov kemije* D.I.Mendelejeva (1869). Kot vidimo, je Mendelejev postavil periode navpično in skupine vodoravno. Poučna je primerjava s sodobno periodno preglednico, na primer v knjigi T. Pretnar, *Anorganska kemija za 7.razred osnovnih šol*, Maribor (Obzorja) 1971, str.185.

nih trojic (1829), J.A.R.Newlands pa v vrste sorodnih osmerk (1864). Tik pred Mendelejevim je bil L.Mayer zelo blizu uspeha. Nekateri kemiki so se temu prizadevanju smejali in v šali predlagali, naj raje urejajo elemente po abecedi.

Mendelejev je okoli šestdeset tedaj znanih elementov uredil v *periodno preglednico*. V pravokotni preglednici narašča po vrsticah (*periodah*) atomska masa, stolpci (*skupine*) pa vsebujejo kemijsko sorodne elemente. V preglednici so bile vrzeli. Mendelejev jim je priredil tedaj še neznane elemente skandij, germanij in galij in napovedal njihove lastnosti. Za germanij je na primer napovedal atomsko maso okoli 72, gostoto 5,5 g/cm³, oksid Ge₂O z gostoto 4,7 g/cm³, klorid GeCl₄ z gostoto 1,9 g/cm³ in vreliščem pod 100°C. Pozneje so zares odkrili tri napovedane elemente in potrdili napovedi. Za germanij so potrdili navedene podatke.

Par elementov telur in jod je moral Mendelejev razvrstiti po padajočih atomskih masah. Pozneje so našli še taka para: argon in kalij ter nikelj in kobalt. To kaže, da atomska masa sama ne določa kemijskih lastnosti elementa. Pač pa je dobil vsak element v ta namen po svojem mestu v periodni preglednici nekakšno hišno številko - *vrstno število*. Precej pozneje se je pokazalo celo, da sestavljajo nekatere elemente v naravi različki - *izotopi* -, ki imajo različno atomsko maso.



Sl.5 Izsek iz sodobne periodne preglednice (na sl.4 ga kaže črtkana črta). Elemente ponazarjajo hiše. Na strehah so navedene atomske mase, hišne številke so vrstna števila, vinjete pa označujejo kemijske lastnosti elementov. Pozabi na podatek za atomsko maso germanija in jo poskušaj napovedati iz podatkov za sosednje elemente.

Urejenost elementov v periodni preglednici namiguje, da atomi niso nedeljivi, temveč imajo notranjo zgradbo. Lastnosti elementov so odraz te zgradbe. Precej časa je bilo treba čakati na potrditev te zamisli. Najprej je H.Becquerel (1896) ugotovil, da oddajajo nekateri elementi sami od sebe žarke. Ob *radioaktivnem razpadu* se spremenijo atomi v atome drugih elementov. J.J.Thomson je odkril (1894-1899) *osnovni delec - elektron*, ki je 1830-krat lažji od najlažjega atoma in ima en negativni *osnovni naboj*. Osnovni naboj je najmanjši električni naboj v naravi. Elektrone dobimo v snovi, torej izvirajo iz atomov. Ti morajo imeti tedaj še pozitivno nabit del. Razpravo o razporeditvi pozitivnega naboja v atomu je končal E.Rutherford (1911). Po obstreljevanju tankih kovinskih lističev zlata in drugih kovin z delci iz radioaktivnih elementov je ugotovil, da je pozitivni naboj omejen na zelo majhno *jedro* sredi atoma. V jedru, ki je več kot desettisočkrat manjše od atoma, je zbrana skoraj vsa masa atoma. Vrstno število se ujema s številom elektronov v atomu. To je zelo prepričljivo pokazal H.G.J.Moseley z merjenjem valovne dolžine značilne rentgenske svetlobe, ki jo oddajajo elementi (1913). Vrstno število se hkrati ujema s številom pozitivnih osnovnih nabojev jedra.

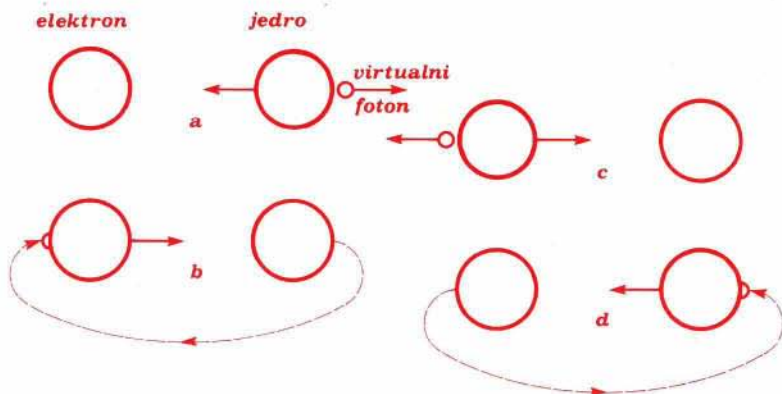
Po vsem tem lahko izrečemo zakon o zgradbi atoma: Atom sestavljajo elektroni in jedro.

Elektroni se gibljejo okoli jedra, ker jih veže na jedro *električna privlačna sila*, podobna sili med podrgnjenim glavnikom in papirčki. Za gibanje elektronov okoli jedra pa ne veljajo zakoni, ki veljajo za gibanje velikih teles, recimo planetov okoli Sonca. Z električno silo in s *kvantno mehaniko*, ki obsega tudi zakone za gibanje elektronov, je mogoče pojasniti lastnosti elementov in lastnosti njihovih spojin in kristalov.

Tudi sile, ki vežejo atome v molekuli in atome v kristalu, so po naravi električne, vendar so precej bolj zapletene kot sile med elektroni in jedrom. Zares izravna negativni naboj elektronov v atomu pozitivni naboj jedra. Vendar lahko leži težišče naboja elektronov zunaj središča jedra. Posledica tega so sile med atomi, ki so šibkejše in ne segajo tako daleč kot sile med elektroni in jedrom. O raznoličnosti teh sil pričajo snovi okoli nas, od katerih so nekatere v navadnih okoliščinah plinaste kot kisik in dušik v zraku, nekatere kapljevinske kot voda in nekatere trdne kot kuhinjska sol, diamant, sladkor ali baker.

Na koncu omenimo še prijem, s katerim v najpopolnejši teoriji o električnih nabojih in svetlobi - *kvantni elektrodinamiki* - obvladamo silo med jedrom in elektronom in druge sile električne narave. Zapleteni računski postopek lahko samo površno opišemo z besedami. Osnovan je na dejstvu, da je energija v elektromagnetnem valovanju razdrobljena - *kvantizirana*. Ti drobci - *kvanti elektromagnetnega polja* ali *fotoni* - imajo nekatere lastnosti delcev, čeprav nimajo mase. Prepričljivo se pokaže to pri *fotoefektu*, pri katerem dovolj kratkovalovna svetloba izbiha elektrone iz kovine.

Mislimo si, da izseva jedro foton, ki ga pogoltne elektron. Tudi elektron izseva foton, ki ga pogoltne jedro. Nprestano izmenjevanje fotonov med jedrom in elektronom ima za posledico silo med njima. Foton si za svoj nastanek sposodi energijo od jedra ali elektrona. Zato pa more obstajati le tako kratek čas, da z nobenim poskusom ni mogoče ugotoviti primanjkljaja energije jedra ali elektrona. Tak foton ni prost, ampak je *virtualen*. S tem smo le drugače opisali že znano električno silo. Po novem trdimo, da sile v atomu in sile med atomi posredujejo *virtualni*



Sl.6 Zelo naivna ponazoritev pojava, s katerim pojasnimo privlačno silo med nasprotno nabitima delcema: "jedro" izseva virtualni foton (a), ki ga pogoltne "elektron" (b); "elektron" izseva virtualni foton (c), ki ga pogoltne "jedro" (d). Odriv pri izsevanju in absorpciji povzroči, da se delca postopno približujeta, če sta spočetka mirovala. Pojav lahko poteka tako, da obstaja hkrati več virtualnih fotonov. Risba ni narisana verno, jedro in elektron v resnici nista enako velika. Če sta delca v razmiku tisočine milimetra, preteče med izsevanjem in absorpcijo virtualnega fotona kvečjemu nekaj tisočbilijonin sekunde, virtualni foton pa ima energijo nekaj stotrilijonin joula.

fotoni. Pri nekaterih pojavih postanejo lahko ti fotoni prosti, na primer, ko atom seva svetlobo, če se spremeni način gibanja elektronov v atomu.

Tudi druge sile med delci bomo pojasnili z izmenjavanjem virtualnih kvantov. To nam bo prišlo prav pri poznejšem razglabljanju. O zgradbi snovi namreč še nismo rekli zadnje besede. Spoznanji o zgradbi snovi iz atomov ter atomov iz elektronov in jeder* sta šele prva dva koraka. Tretji in četrti korak pa bomo obdelali v II.delu članka.

Janez Strnad

* Prav na koncu priznajmo, da "zakon o zgradbi snovi" in "zakon o zgradbi atomov" ne po obliki ne po imenu nista v splošni rabi.