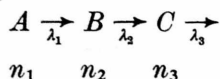


16.7. Rádioaktívna rovnováha. Keď sa rádioaktívny prvok ponechá dlhší čas v pokoji, nahromadia sa v ňom ďalšie členy jeho rozpadového radu. Uvažujeme o rádioaktívnom rade



v ktorom sa prvok A mení na prvok B rýchlosťou určenou rozpadovou konštantou λ_1 , prvok B ďalej na prvok C rýchlosťou určenou rozpadovou konštantou λ_2 atď. Keď n_1, n_2, n_3 atď. sú napríklad počty gramatómov jednotlivých prvkov v rádioaktívnej zmesi, množstvo prvku B , ktorý sa súčasne tvorí aj zaniká, zväčšuje sa rýchlosťou

$$v_2 = \frac{dn_2}{dt} = \lambda_1 n_1 - \lambda_2 n_2$$

Keď sa prvý člen rozpadového radu vyznačuje malou rozpadovou konštantou, po dostatočne dlhom čase množstvo druhého a všetkých ďalších prvkov v rozpadovom rade sa s časom už nemení, rýchlosť ich prírúdenia sa stáva rovnou nule. Pre druhý a všetky ďalšie členy rozpadového radu potom platí:

$$v_2 = \frac{dn_2}{dt} = \lambda_1 n_1 - \lambda_2 n_2 = 0$$

$$v_3 = \frac{dn_3}{dt} = \lambda_2 n_2 - \lambda_3 n_3 = 0 \text{ atď.}$$

Za rádioaktívnej rovnováhy platí teda:

$$\lambda_1 n_1 = \lambda_2 n_2 = \lambda_3 n_3 \dots$$

alebo

$$n_1 : n_2 : n_3 \dots = \frac{1}{\lambda_1} : \frac{1}{\lambda_2} : \frac{1}{\lambda_3} \dots = T_1 : T_2 : T_3 \dots \quad (1)$$

Množstvá prvkov v zmesi, ktorá je v rádioaktívnej rovnováhe, sú úmerné recipročným hodnotám ich rozpadových konštánt, a tiež ich polčasom.

Keď zistíme, v akom pomere sú prítomné v rovnovážnej zmesi dva rádioaktívne prvky, a keď poznáme rozpadovú konštantu jedného z nich, môžeme z príslušnej úmery vypočítať rozpadovú konštantu druhého prvku alebo jeho polčas. Týmto spôsobom bolo možné, skúmaním obsahu nerastov na rádioaktívne prvky, zistiť rádioaktívne polčasy aj veľmi veľké.

16.8. Izotopia. Posledným členom rádioaktívneho rozpadového radu uránového — rádiového je Pb_{82}^{206} , prvok chemický totožný s obyčajným olovom, ktorého atómová hmotnosť je však 207,2. Práve tak aj poslednými členmi rozpadových radov uránového — aktíniového a tóriového sú prvky chemicky

totožné s olovom, ktoré však, ako to vyplýva z priebehu týchto radov, musia mať inú atómovú hmotnosť, olovo aktíniové atómovú hmotnosť približne 207 a olovo tóriové atómovú hmotnosť 208.

Aj mnoho iných členov rádioaktívnych radov má rôznu atómovú hmotnosť aj pri rovnakých atómových číslach a rovnakých chemických vlastnostiach. Tieto látky patria preto na to isté miesto periodickej sústavy prvkov a nazývajú sa, ako už vieme, *izotopmi* toho istého prvku v zmysle chemickom.

Ale aj naopak: niektoré členy rádioaktívnych radov sa vyznačujú rovnakou atómovou hmotnosťou, pričom ich atómové čísla, a tým aj chemické vlastnosti, sú rôzne, napríklad dva susedné členy rozpadového radu, z ktorých druhý vzniká z predchádzajúceho β -premenou. Nazývajú sa *izobary*.

V chémii bolo dávno známe, že atómové hmotnosti mnohých, najmä ľahších prvkov, sú približne celé čísla. To viedlo už na začiatku minulého storočia Prouta — ako sme sa o tom zmienili už v čl. 15.1 — k domnienke, že jednotlivé prvky nie sú vytvorené z matérie kvalitatívne odlišnej, ale že sú z tej istej spoločnej hmoty, ktorej najmenšie množstvá sú totožné s atómami vodíka. Ale podľa tejto predstavy atómové hmotnosti všetkých prvkov mali by byť celé čísla, čo sa však nezhoduje so skutočnosťou; napríklad atómová hmotnosť chlóru je 35,457. Pre túto príčinu sa neskoršie od Proutovej domnienky najprv upustilo. Objav izotopie pri výskume rádioaktívnych látok však viedol k obnoveniu Proutovej domnienky, lebo jestvovanie izotopov odlišnosť atómových hmotností od celých čísiel umožňuje vysvetliť tým, že prvky, ktorých chemicky určené atómové hmotnosti nie sú celé čísla, sú zmesi svojich ťažších a ľahších izotopov. Tomu nasvedčovali aj pokusy J. J. Thomsona z r. 1913, ktorý pomocou odchýlok neónových kanálových lúčov v poli elektrickom a magnetickom zistil, že neón (atómová hmotnosť 20,2) sa skladá z dvoch izotopov Ne_{10}^{20} a Ne_{10}^{22} . Otázku izotopie pri nerádioaktívnych prvkoch s konečnou platnosťou rozriešil však až r. 1919 F. W. Aston pomocou svojho hmotnostného spektrografu, ktorým mohol pomerne ľahko a spoľahlivo určovať atómové hmotnosti izotopov všetkých prvkov.

Zloženie jednotlivých nerádioaktívnych prvkov z ich stabilných izotopov podáva *tabuľka 16.2*, v ktorej atómové hmotnosti izotopov tvoriacich viac ako 20 % daného prvku, sú vytlačené polotučne. Kyslík sa skladá z troch svojich izotopov s atómovými hmotnosťami približne 16, 17 a 18, pričom medzi asi 10 000 atómami kyslíka je 20 atómov O_8^{18} a 4 atómy O_8^{17} . Izotóp vodíka s atómovou hmotnosťou približne 2 objavil r. 1932 H. C. Urey vo zvyšku, ktorý ostal po skoro úplnom odparení väčšieho množstva kvapalného vodíka; v spektre tohto zvyšku bola každá vodíková čiara sprevádzaná slabšou čiarou posunutou smerom ku kratším vlnovým dĺžkam. Toto posunutie značí, že príslušné atómy majú jadrá s hmotnosťou väčšou, než je hmotnosť jadier

Stabilné izotopy prvkov

Prvok	Atomová hmotnosť	Izotopy	Prvok	Atomová hmotnosť	Izotopy
1 H	1,008	1 2 3	48 Cd	112,41	106 108 110
2 He	4,003	4 3			111 112 113
3 Li	6,940	6 7	49 In	114,76	114 115 116
4 Be	9,012	8 9	50 Sn	118,70	113 115
5 B	10,82	10 11			112 114 115
6 C	12,011	12 13			116 117 118
7 N	14,008	14 15			119 120 121
8 O	16,000	16 17 18	51 Sb	121,76	122 124
10 Ne	20,183	20 21 22	52 Te	127,61	121 123
12 Mg	24,32	24 25 26			122 123 124 125
14 Si	28,09	28 29 30			126 127 128
16 S	32,066	32 33 34	54 Xe	131,3	130
17 Cl	35,457	35 37			124 126 128
18 Ar	39,944	36 38 40	56 Ba	137,36	129 130 131
19 K	39,100	39 41	58 Ce	140,13	132 134 136
20 Ca	40,08	40 42 43 44	60 Nd	144,27	135 136 137 138
22 Ti	47,90	46 47 48 49 50			140 142
24 Cr	52,01	50 52 53 54	62 Sm	150,43	142 143 144 145
26 Fe	55,85	54 56 57			146
28 Ni	58,69	56 58 60 61 62	63 Eu	152,0	144 147 148 149
29 Cu	63,54	63 65	64 Gd	156,9	150 152 154
30 Zn	65,38	64 66 67 68 70	66 Dy	162,46	151 153
31 Ga	69,72	69 71	68 Er	167,2	155 156 157 158
32 Ge	72,60	70 72 73 74 76	70 Yb	173,04	160
34 Se	78,96	74 76 77 78			161 162 163 164
		80 82	72 Hf	178,6	166 167 168 170
35 Br	79,916	79 81			171 172 173 174
36 Kr	83,80	78 80 82 83			176
		84 86	74 W	183,92	176 177 178 179
37 Rb	85,48	85 87	75 Re	186,31	180
38 Sr	87,63	86 87 88	76 Os	190,2	182 183 184 186
40 Zr	91,22	90 91 92 94			185 187
		96	78 Pt	195,23	186 187 188 189
42 Mo	95,95	92 94 95 96 97			190 192
		98 100	80 Hg	200,61	192 194 195 196
44 Ru	101,7	96 98 99 100			198
		101 102 104	81 Tl	204,39	196 197 198
46 Pd	106,7	102 104 105 106	82 Pb	207,21	199 200 201
		108 110			202 203 204
47 Ag	107,880	107 109			203 205
					203 204 205 206
					207 208 209 210

obyčajných vodíkových atómov, protónov. Mnohokrát opakovanou elektrolyzou vody podarilo sa neskoršie získať väčšie množstvo ťažšieho izotopu vodíka a zistilo sa, že má síce rovnaké chemické vlastnosti ako obyčajný vodík, ale že jeho fyzikálne vlastnosti aj fyzikálne vlastnosti jeho zlúčenín sú zreteľne odlišné. Dostal preto osobitné meno *deutérium* (chem. značka D) a jadrá jeho atómov sú tzv. deuteróny. V obyčajnom vodíku 1 atóm D pripadá asi na 6 000 atómov H. Neskoršie sa zistilo, že vodík má ešte jeden izotop H_1^3 alebo T_1^3 , nazývaný tritium, významný najmä pri umelých premenách prvkov, čím sa budeme zaoberať v niekoľkých ďalších paragrafoch.

16.9. Umelá premena prvkov, objav neutrónu a pozitronu. Po objavení (prirodzenej) rádioaktivity prvkov nachádzajúcich sa na posledných miestach v periodickej sústave prvkov konali sa rozličné pokusy, ktoré mali ukázať, či možno mať vplyv na rýchlosť a priebeh samovoľného rozpadu nestálych a preto rádioaktívnych atómových jadier. Zistilo sa, že na rýchlosť rádioaktívneho rozpadu nemá pozorovateľný vplyv ani použitie veľmi vysokých tlakov a teplôt, ani veľmi silných elektrických alebo magnetických polí. Pre túto príčinu v prvých dvoch desaťročiach nášho storočia rádioaktivita sa síce považovala za veľmi zaujímavý a pre poznanie zloženia hmoty veľmi významný prírodný jav, ale súčasne prevládalo presvedčenie, že pre nemožnosť ovládania rádioaktívnej premeny prvkov nemôže mať tento jav nijaký pozoruhodnejší praktický význam. V tejto situácii neobyčajným prekvapením bol objav Rutherfordov, ktorý r. 1919 po prvý raz pozoroval ovládateľnú premenu atómových jadier, v tomto prípade prvku o malej atómovej hmotnosti, dusíka.

Pri svojich pokusoch vzťahujúcich sa na dobeh α -žiarenia v rôznych plynch Rutherford zistil, že keď sa vhodný zdroj rádioaktívneho α -žiarenia nachádza v dusíku, pomocou spintariskopu možno pozorovať scintilácie vo vzdialenosti aj podstatne väčšej ako v prípade, keď spintariskop pri rovnakej teplote a tlaku je naplnený kyslíkom alebo kysličníkom uhličitým. Rutherford vyslovil hneď domnienku, že príčinou týchto scintilácií je nové žiarenie, vznikajúce pri zrážkach α -častíc s jadrami dusíka. Pokusy vykonané vo Wilsonovej komore za použitia aj magnetického poľa domnienku Rutherfordovu potvrdili a ukázali, že pri bombardovaní dusíkových jadier α -časticami uvoľňujú sa z jadier dusíka protóny podľa rovnice



Medzi veľkým počtom fotografií dráh α -častíc v dusíku našli sa ojedinelé prípady, keď koniec stopy α -častice bol rozvetvený a bolo možné dokázať, že dlhšia vetva takejto vidlice je stopa protónu, takže kratšia mohla značiť len