

BRANDUOLINĖS ENERGETIKOS FIZIKINIAI PAGRINDAI

Viktorija Tamulienė

Vilniaus universitetas
Fizikos fakultetas

2015–2018 rudenio
VI paskaita

1 Radioaktyvumas

- Radioaktyvieji virsmai
- Poslinkio taisyklė
- Kai kurių radioaktyviųjų elementų apžvalga
- Radioaktyviosios šeimos
- Radioaktyvioji pusiausvyra
- Radioaktyviosios nuosėdos
- Kiti gamtiniai radioaktyvieji elementai

1 Radioaktyvumas

- Radioaktyvieji virsmai
- Poslinkio taisyklė
- Kai kurių radioaktyviųjų elementų apžvalga
- Radioaktyviosios šeimos
- Radioaktyvioji pusiausvyra
- Radioaktyviosios nuosėdos
- Kiti gamtiniai radioaktyvieji elementai

Radioaktyvumas

- Kas atsitinka medžiagai radioaktyviojo skilimo metu?
Atsakyti į šį klausimą XX a. pradžioje nebuvo lengva. Jau pradėdant tyrinėti radioaktyvumą, išryškėjo daug keistų ir neįprastų dalykų.
- Pirma, nuostabus pastovumas, kuriuo radioaktyvieji elementai uranas, toris ir radis skleidžia spindulius. Paromis, mėnesiais ir metais spinduliavimo intensyvumas pastebimai nepakisdavo. Jam nedarė jokios įtakos nei kaitinimas, nei slėgio didinimas. Radioaktyviųjų medžiagų cheminės reakcijos taip pat neveikė radioaktyviojo skilimo.
- Antra, atradus radioaktyvumą, labai greitai paaiškėjo, kad radioaktyviojo skilimo metu išsiskiria energija. Įdėjus radžio chlorido ampulę į kalorimetrą, kuriame buvo sugeriami α , β ir γ spinduliai, o jų energija paverčiama šiluma, P. Kiuri nustatė, kad 1 g radžio per valandą išspinduliuoja 582 J. Ir šita energija nenutrūksta spinduliuojama ilgus metus.

1 Radioaktyvumas

- Radioaktyvieji virsmai
- Poslinkio taisyklė
- Kai kurių radioaktyviųjų elementų apžvalga
- Radioaktyviosios šeimos
- Radioaktyvioji pusiausvyra
- Radioaktyviosios nuosėdos
- Kiti gamtiniai radioaktyvieji elementai

Radioaktyvieji virsmai

- Iš kur gi imama energija, kurios spinduliavimo nekeičia visi žinomi poveikiai? Matyt skylančioje radioaktyvioje medžiagoje vyksta kažkokie gilūs pakitimai, kurie visiškai skiriasi nuo paprastų cheminių procesų. Buvo spėjama, kad kinta patys atomai.
- Dabar ši mintis nieko nestebina. Tačiau XX a. pradžioje ji atrodė fantastiška ir reikėjo drąsos ją pareikšti. Tuo laiku ką tik buvo neginčijamai įrodyta, kad egzistuoja atomai. Daugelio amžių senumo Demokrito idėja apie atominę medžiagos sandarą pagaliau triumfavo.
- Ir štai pradėta abejoti atomų nekintamumu. Nekalbėsime plačiau apie tuos eksperimentus, kurie galutinai įtikino, kad, skylančiam radioaktyviai medžiagai, kinta atomai. Panagrinėsime tik pirmuosius bandymus, kuriuos pradėjo E. Rezerfordas, o vėliau kartu tęsė anglų chemikas F. Sodis.

Radioaktyvieji virsmai

- Rezerfordas nustatė, kad užlydytoje ampulėje esančio torio aktyvumas (per vienetinį laiką išspinduliuojamų α dalelių skaičius) yra pastovus. Jeigu į preparatą nukreipiama net ir labai silpna oro srovė, torio aktyvumas stipriai sumažėja. Rezerfordas spėjo, kad kartu su α dalelėmis toris skleidžia kažkokias radioaktyvias dujas.
- Išsiurbdamas orą iš ampulės su toriu, Rezerfordas išskyrė tas dujas ir ištyrė jų jonizacijos gebą. Pasirodė, kas šių dujų aktyvumas (skirtingai negu torio, urano ir radžio aktyvumas) laikui bėgant labai greitai silpnėja. Kiekvieną minutę aktyvumas susilpnėja du kartus ir po dešimties minučių pasidaro lygus nuliui. Sodis tyrinėjo šių dujų chemines savybes ir nustatė, kad jos nedalyvauja jokiose reakcijose. Vadinasi, tai yra inertinės dujos. Vėliau jos buvo pavadintos radonu ir įrašytos į Mendelejevo lentelės 86 langelį.

Radioaktyvieji virsmai

- Kitais elementais virsta radioaktyvusis uranas, aktinis, radis. Bendrą išvadą, kurią padarė mokslininkai, tiksliai suformulavo pats Rezerfordas: "Radioaktyviosios medžiagos atomai spontaniškai keičiasi. Kiekvienu momentu nedidelė bendro atomų skaičiaus dalis tampa nepastovi ir suskyla. Dažniausiai dideliu greičiu išmetama atomo skeveldra – α dalelė. Kartais išlekia greitasis elektronas ir pasirodo labai skvarbūs γ spinduliai.

Išsiaiškinta, kad vieniems atomams virstant kitais, susidaro visiškai nauja medžiaga, kuri cheminėmis ir fizikinėmis savybėmis skiriasi nuo pirminės medžiagos. Tačiau ta nauja medžiaga taip pat nepastovi ir virsta kita, skleisdama tam tikrus radioaktyvius spindulius (Iš tikrųjų gali atsirasti ir stabilūs branduoliai).

Taigi tiksliai nustatyta, kad kai kurių elementų atomai spontaniškai skyla. Skylant išsiskiria energijos ir, be to, kur kas daugiau negu paprastuose molekulinuose kitimuose."

Radioaktyvieji virsmai

- Kai buvo atrastas atomo branduolys, iš karto paaiškėjo, kad būtent jis kinta radioaktyviojo skilimo metu. Juk α dalelių elektroniniame apvalkale nėra, o išlėkus iš šio apvalkalo vienam elektronui, atomas virsta jonu, bet ne nauju cheminiu elementu. Išlėkus elektronui iš branduolio, pastorojo krūvis padidėja vienu elementariu krūviu.
- Taigi, radioaktyvumas yra savaiminis vienų branduolių virsmas kitais, išlekiant įvairioms dalelėms.

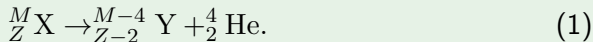
1 Radioaktyvumas

- Radioaktyvieji virsmai
- **Poslinkio taisyklė**
- Kai kurių radioaktyviųjų elementų apžvalga
- Radioaktyviosios šeimos
- Radioaktyvioji pusiausvyra
- Radioaktyviosios nuosėdos
- Kiti gamtiniai radioaktyvieji elementai

Poslinkio taisyklė

- Branduolių virsmai vyksta pagal vadinamąją poslinkio taisyklę, kurią pirmasis suformulavo Sodis: α skilimo metu branduolys netenka $2e$ teigiamo krūvio ir masės, apytikriai lygios keturiems atominės masės vienetams. Dėl to elementas pasislenka į periodinės sistemos lentelės pradžią per du langelius. Simboliškai šį poslinkį galima užrašyti taip:

α skilimas

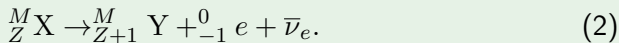


Čia, kaip ir chemijoje, elementai žymimi simboliais: branduolio krūvis užrašomas indeksu, esančiu simbolio kairėje pusėje, apačioje, o atominė masė – indeksu, esančiu simbolio kairėje pusėje, viršuje. Pavyzdžiui, helio atomo branduolys (α dalelė) – ${}^4_2\text{He}$.

Poslinkio taisyklė

- β skilimo metu iš branduolio išlekia elektronas. Dėl to branduolio krūvis padidėja vienetu, o masė beveik nepakinta:

β skilimas



Čia ${}^0_{-1} e$ žymi elektroną: indeksas "0" viršuje rodo, kad elektrono masė yra neparastai maža, palyginti su atominiu masės vienetu.

- Po β skilimo elementas pasislenka per vieną langelį arčiau periodinės sistemos galo. γ spinduliavimo metu branduolio krūvis nepakinta, o masė pakinta labai mažai.

1 Radioaktyvumas

- Radioaktyvieji virsmai
- Poslinkio taisyklė
- Kai kurių radioaktyviųjų elementų apžvalga
- Radioaktyviosios šeimos
- Radioaktyvioji pusiausvyra
- Radioaktyviosios nuosėdos
- Kiti gamtiniai radioaktyvieji elementai

Kai kurių radioaktyviųjų elementų apžvalga

Atom. skaičius Z	Masės skaičius A	Nuklido pavadinimas	Pusamžis T	skilimo konst. $\lambda \text{ s}^{-1}$
90	232	Th (Toris)	$1,4 \cdot 10^{10} \text{ m.}$	$1,57 \cdot 10^{-18}$
92	238	U (UI)	$4,5 \cdot 10^9 \text{ m.}$	$4,88 \cdot 10^{-18}$
88	226	Ra	1602 m.	$1,38 \cdot 10^{-11}$
82	210	Pb (RaD)	20,4 m.	$1,07 \cdot 10^{-9}$
84	210	Po (Ra F)	138 d.	$5,8 \cdot 10^{-8}$
86	222	Rn	3,82 d.	$2,1 \cdot 10^{-6}$
84	218	Po (RaA)	3,05 min.	$3,79 \cdot 10^{-3}$
84	211	Po (AcC')	0,52 s	1,33
84	214	Po (RaA')	$1,64 \cdot 10^{-4} \text{ s}$	$4,23 \cdot 10^3$
84	212	Po (ThC')	$3 \cdot 10^{-7} \text{ s}$	$2,31 \cdot 10^6$

lentelė: Kai kurių labiau žinomų radioaktyviųjų gamtinių nuklidų lentelė.

- Atkreiptinas dėmesys į didelę pusamžių ir skilimo konstantų įvairovę. Lentelėje yra net 5 nuklidai su atominiu skaičiumi $Z = 84$. Visi jie yra polonio izotopai, skiriasi tik masės skaičiais. Tačiau, greta šių gamtinių izotopų, dabar iš viso yra žinomi 25 polonio izotopai su masės skaičiais nuo 194 iki 218. Tie papildomi, gauti branduolinių reakcijų metu, suprantama, tradicinių vardų neturi ir žymimi tik masės skaičiais.

Kai kurių radioaktyviųjų elementų apžvalga

- Iš visų 44 gamtinių (sunkiųjų) radioaktyviųjų nuklidų 3 yra dujiniai, o visi kiti – kietieji kūnai. Dujiniai priklauso inertinių dujų grupei, jų pavadinimai ir pusamžiai:

radonas	${}_{86}^{222}\text{Rn}$	$T = 3,82 \text{ d}$
toronas	${}_{86}^{200}\text{Tn} = {}_{86}^{200}\text{Rn}$	$T = 55,3 \text{ s}$
aktinonas	${}_{86}^{219}\text{An} = {}_{86}^{219}\text{Rn}$	$T = 4,00 \text{ s}$

lentelė: Dujiniai radioaktyvieji nuklidai.

- Seniau šios radioaktyviosios dujos buvo vadinamos emanacijomis, jų cheminis ženklas buvo Em. Iš tų dujų ypač didelę reikšmę turi radonas, nes kaip inertines dujas jį galima lengvai (be cheminių operacijų) atskirti nuo kitų elementų, o jo pusamžis yra pakankamai ilgas (3,82 d.) ir, be to, iš radono atsiranda kitų radioaktyviųjų elementų.

Kai kurių radioaktyviųjų elementų apžvalga

- Įprastiniai sunkiausiai gamtiniai radioaktyvieji elementai periodinėje lentelėje užima vietas nuo $Z = 81$ (talis) iki $Z = 92$ (uranas), t.y. 12 langelių. Tarp jų yra izotopų ir izobarų. Būtent šie izotopai ir izobarai buvo pirmiausia aptikti. Po daugelio įvairių skilimų visi šie nuklidai virsta trim įvairiais švino izotopais.

Group→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↓Period																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
			*	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
			**	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

1 Radioaktyvumas

- Radioaktyvieji virsmai
- Poslinkio taisyklė
- Kai kurių radioaktyviųjų elementų apžvalga
- **Radioaktyviosios šeimos**
- Radioaktyvioji pusiausvyra
- Radioaktyviosios nuosėdos
- Kiti gamtiniai radioaktyvieji elementai

Radioaktyviosios šeimos

- Sutvarkius visus radioaktyviusius elementus pagal jų giminystės ryšius paaiškėjo, kad gamtoje yra 3 radioaktyviosios šeimos, prasidedančios sunkiaisiais elementais: uranu $Z = 92$, toriu $Z = 90$ ir aktiniu $Z = 89$.
- Po daugelio α ir β skilimų šie nuklidai virsta švino branduoliais. Kadangi α skilimas mažina masės skaičių 4 vienetais, o β skilimas jo nekeičia, kiekvienai šeimai galioja masės skaičiaus formulė:

Masės skaičius

$$A = 4n + k; \quad (3)$$

čia n yra tam tikras sveikas skaičius (galima sakyti, kad tai yra α dalelių branduolyje skaičius), o $k = 0, 1, 2, 3$ yra tam tikra liekana. Pasirodo, kad gamtoje yra radioaktyviosios šeimos su skaičiais $k = 0, 2, 3$. Galėjo egzistuoti ir šeima su $k = 1$, tik ji buvo mažiau patvari ir per geologinius Žemės amžius išnyko.

Radioaktyviosios šeimos

- Šeima su $k = 1$ buvo su visomis smulmenomis numatyta dar 1940 m. o jos visi elementai dirbtinai sukurti vykdant branduolinius reakcijas iki 1945 m.
- Taigi dabar yra žinomos 4 radioaktyviosios šeimos, o jų charakteristikos pateiktos lentelėje.

Šeima	Pirmapradžio elemento duomenys				Šeimos masės skaičiaus formulė	Galutinis stabilusis nuklidas
	Pavad.	Z	A	$T, \text{m.}$		
Urano	U I	92	238	$4,5 \cdot 10^9$	$4n + 2$	${}_{82}^{206}\text{Pb}$
Torio	Th	90	232	$1,4 \cdot 10^{10}$	$4n$	${}_{82}^{208}\text{Pb}$
Aktinio	AcU	92	235	$7,1 \cdot 10^8$	$4n + 3$	${}_{82}^{207}\text{Pb}$
Neptunio	Np	93	237	$2,14 \cdot 10^6$	$4n + 1$	${}_{83}^{209}\text{Bi}$

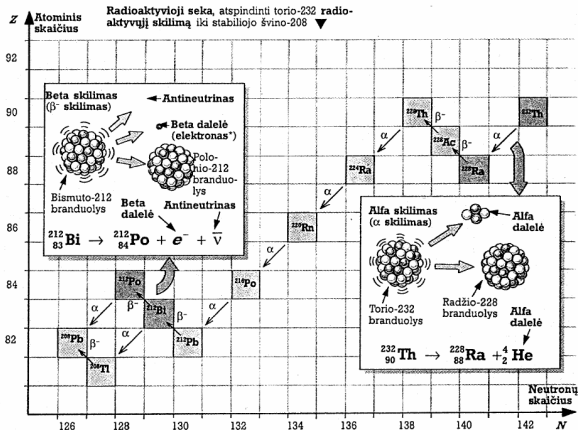
lentelė: Radioaktyviosios šeimos.

Radioaktyviosios šeimos

- Šioje lentelėje pastebimas lyginių ir nelyginių skaičių vaidmuo branduolių struktūroje: nuklidai su nelyginiais masės skaičiais A yra mažiau stabilūs, greičiau skyla, jų pusamžiai trumpesni. Žinodami, kad Žemės plutos amžius apie $4,5 \cdot 10^9$ metų, matome, kad torio kiekis per tą laiką nedaug sumažėjo, urano kiekis sumažėjo perpus, aktinio kiekis sumažėjo labai ir nedaug jo beliko, neptunis ir jo skilimo produktai, turėdami apie 100 kartų trumpesnius pusamžius, visai išnyko.
- Toliau panagrinėsime vienos šeimos pavyzdį.

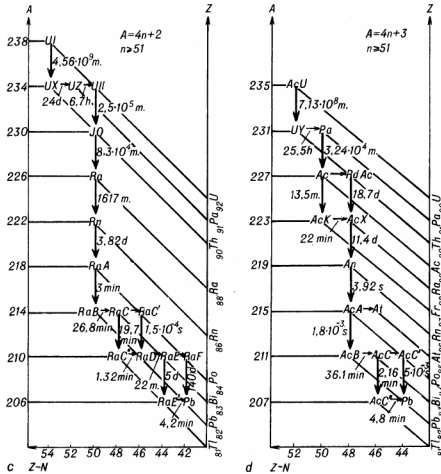
Radioaktyviosios šeimos

Šakojimosi santykis 99,96 ir 0,04 proc. (atitinkamai β ir α skilimai) parodo, kokia dalis skilimų tenka pagrindinei šakai ir kokia – šalutinei. Tokių šakojimosi reiškinių yra visose šeimose.



Torio šeimos radioaktyviųjų skilimų schema.

Radioaktyviosios šeimos



Urano-radžio (c) ir urano-aktinio (d) šeimų radioaktyviųjų skilimų schemas.

1 Radioaktyvumas

- Radioaktyvieji virsmai
- Poslinkio taisyklė
- Kai kurių radioaktyviųjų elementų apžvalga
- Radioaktyviosios šeimos
- **Radioaktyvioji pusiausiasvira**
- Radioaktyviosios nuosėdos
- Kiti gamtiniai radioaktyvieji elementai

Radioaktyvioji pusiausvyra

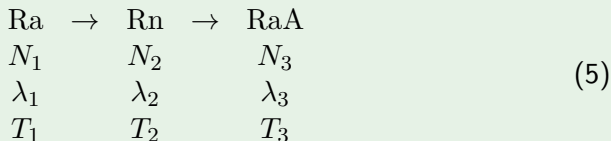
Skilimo dėsnis

Skilimo dėsnis

$$-dN = \lambda N dt \text{ arba } N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (4)$$

apibrėžia radioaktyviųjų nuklidų skaičiaus kitimą, jei yra tik viena radioaktyvioji medžiaga. Praktikoje labai dažnai tiriamas spinduliavimas elemento, kuris ne tik skyla, bet kartu jo kiekis pasipildo iš jo šaltinio – pirminio elemento. Imkime, pavyzdžiui, atvejį (urano-radžio šeima):

Skilimo schema



Radioaktyvioji pusiausvyra

Čia tuo pat metu visi elementai skyla, o antras ir trečias pasipildo iš kairės. Panagrinėkime tą avejį dviem elementams. Kadangi, kiek pirmojo elemento išnyksta, tiek antrojo naujai atsiranda, tai

Dif. lygtys

$$\begin{aligned}\frac{dN_1}{dt} &= -\lambda_1 N_1, \\ \frac{dN_2}{dt} &= -\lambda_2 N_2 + \lambda_1 N_1.\end{aligned}\tag{6}$$

Šių diferencialinių lygčių sprendiniai yra

Sprendiniai

$$\begin{aligned}N_1 &= N_{10}e^{-\lambda_1 t}, \\ N_2 &= \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10}e^{-\lambda_1 t} + \left(N_{20} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} \right) e^{-\lambda_2 t}.\end{aligned}\tag{7}$$

N_{10} ir N_{20} yra integravimo konstantos – pradiniai abiejų nuklidų skaičiai.

Radioaktyvioji pusiausvyra

Praktikoje labai svarbus yra toks atvejis, kada pirminis elementas skyla labai lėtai (pvz., Ra), o antrinis – sparčiai (pvz. Rn):

Skilimo konstantos

$$\lambda_2 \gg \lambda_1. \quad (8)$$

Tuomet antrasis paskutiniojo reiškinio narys išnyksta ir lieka

Sprendiniai

$$\begin{aligned} N_1 &= N_{10}e^{-\lambda_1 t}, \\ N_2 &= \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_{10}e^{-\lambda_1 t} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1, \end{aligned} \quad (9)$$

t.y. antrinio elemento nuklidų skaičius pasiekia tam tikrą pastovią vertę. Šitokia būseną vadinama *sekuliarine pusiausvyra* su pirminiu elementu.

Radioaktyvioji pusiausvyra

Tokiu atveju abiejų medžiagų keikiai yra atvirkščiai proporcingi skilimo konstantoms arba tiesiog proporcingi pusamžiams ir vidutinėms gyvavimo trukmėms:

Santykiai

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2}. \quad (10)$$

Arba

Sekuliarinė pusiausvyra

$$N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2. \quad (11)$$

Tai rodo, kad esant sekuliarinei pusiausvyrai abiejų medžiagų aktyvumai (skilimų skaičius per sekundę) yra vienodi. Šie sąryšiai galioja ne tik dviem gretimoms nuklidams, bet ir daugumai antrinių nuklidų, jei jų pirminio elemento pusamžis yra daug ilgesnis ir praėjo pakankamai daug laiko, kad nusistovėtų sekuliarinė pusiausvyra.

Radioaktyvioji pusiausvyra

1 pavyzdys Urano ($T_U = 4,5 \cdot 10^9$ m.) rūdose randami visi jo skilimo produktai (jonis, radis ir kt.) tokiais kiekiais, kurie proporcingi šių elementų pusmažiams, nes per ilgus geologinių erų amžius praėjo pakankamai daug laiko tokiai pusiausvyrai nusistovėti.

Kiekis radžio ($T_{Ra} = 1,6 \cdot 10^3$ m.), susijusio su 1 g urano, randamo Žemės plutoje, lygus

Sprendimas

$$\frac{1,6 \cdot 10^3}{4,5 \cdot 10^9} \cdot \frac{226}{238} = 3,38 \cdot 10^{-7} \text{g.} \quad (12)$$

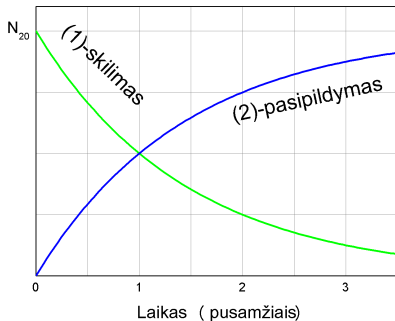
Daugiklis 226/238 atsirado dėl to, kad radžio ir urano atominės masės yra nevienodos, o atitinkamai 226 ir 238. Rezultatas rodo, kad 1g radžio randamas trijose tonose urano.

Radioaktyvioji pusiausvyra

2 pavyzdys Panagrinėkime radono atsiradimą iš radžio. Radžio pusamžis ($T_{Ra} = 1,6 \cdot 10^3$ m.) yra pakankamai ilgas, palyginus su radono ($T_{Rn} = 3,82$ d.), todėl galima laikyti, kad per radono pusamžį radžio nuklidų skaičius nepakinta. Tarkime, kad radis ir radonas buvo pakankamai ilgai laikomi uždareme inde be jokio sąlyčio su išore, t.y. radono nuklidų skaičius galėjo pasiekti sekuliarinės pusiausvyros skaičių. Jei laiko momentu $t = 0$ visas radonas būtų atskirtas nuo radžio (tai nesunku, nes radonas yra dujos, o radis – kietasis kūnas), tai kokiu nors laiko momentu t atskirtoje radono porcijoje jo nuklidų būtų $N_{20}e^{-\lambda_2 t}$. Vadinasi, $N_{20}(1 - e^{-\lambda_2 t})$ radono nuklidų suskilo. Tačiau bendras radono nuklidų skaičius turi būti visą laiką pastovus, nes yra sekuliarinė pusiausvyra, todėl inde prie radžio per tą patį laiką turėjo atsirasti tiek pat radono nuklidų: $N_{20}(1 - e^{-\lambda_2 t})$.

Radioaktyvioji pusiausvyra

Dvi kreivės, kurių (1) aprašo atskirto radono nuklidų skaičiaus eksponentinį mažėjimą, o (2) – radono prie radžio gausėjimą, pavaizduotos grafike. Laiko vienetai – Rn pusamžis $T_{Rn} = 3,82$ dienų.



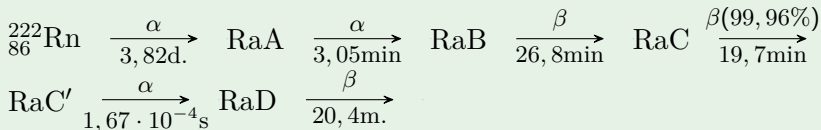
1 Radioaktyvumas

- Radioaktyvieji virsmai
- Poslinkio taisyklė
- Kai kurių radioaktyviųjų elementų apžvalga
- Radioaktyviosios šeimos
- Radioaktyvioji pusiausvyra
- **Radioaktyviosios nuosėdos**
- Kiti gamtiniai radioaktyvieji elementai

Radioaktyviosios nuosėdos

Radonui skylant, ant indo sienelių atsiranda plonytis sluoksnis vadinamųjų radioaktyviųjų nuosėdų, susidedančių iš radono skilimo produktų, esančių kietoje būsenoje. Jų skilimo sparta yra gan artima, matuojama atvirkštinėmis minutėmis, o skilimo eiga yra tokia (urano-radžio šeima):

Radono skilimas

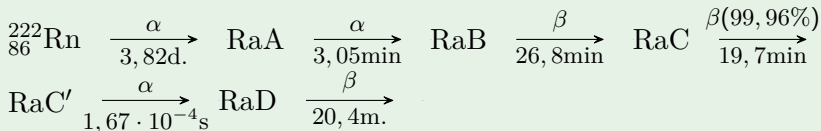


RaA (${}_{84}^{218}\text{Po}$) atomai, atsiradę iš Rn (${}_{86}^{222}\text{Rn}$), iš tikrųjų yra teigiamai įelektrinti jonai, todėl, patekus neigiamai įelektrintai plokštei į Rn atmosferą, per kelias sekundes ant jos nusėda RaA jonai, sudarydami ploną trumpo pusamžio radioaktyviųjų nuosėdų sluoksnį.

Toliau prasideda jų skilimas pagal pateiktą schemą.

Radioaktyviosios nuosėdos

Radono skilimas



Trumpo pusamžio radioaktyviosios nuosėdos A, B, C po kelių valandų virsta ilgo pusamžio RaD ($T_D = 20,4 \text{ m.}$), kurio kiekis iš pradžių laipsniškai didėja ir tik po metų pradeda pastebimai mažėti. Šis RaD (${}_{82}^{210}\text{Pb}$) sudaro vadinamąsias ilgo pusamžio radioaktyviasias nuosėdas.

RaA yra ${}_{84}^{218}\text{Po}$, RaB – ${}_{82}^{214}\text{Pb}$, RaC – ${}_{83}^{214}\text{Bi}$, RaC' – ${}_{84}^{214}\text{Po}$, RaD – ${}_{82}^{210}\text{Pb}$.

1 Radioaktyvumas

- Radioaktyvieji virsmai
- Poslinkio taisyklė
- Kai kurių radioaktyviųjų elementų apžvalga
- Radioaktyviosios šeimos
- Radioaktyvioji pusiausvyra
- Radioaktyviosios nuosėdos
- Kiti gamtiniai radioaktyvieji elementai

Kiti gamtiniai radioaktyvieji elementai

Pakankamai jautriais prietaisais registruojamas visų medžiagų labai silpnas radioaktyvumas. Tačiau jo priežastis dažniausiai yra tik užteršimas labai nedideliais sunkiųjų radioaktyviųjų elementų kiekiais. Nustatyta, kad vienas gramas kokio nors metalo turi tam tikrą kiekį radioaktyviųjų elementų priemaišų, kurių aktyvumas atitinka nuo 10^{-15} iki 10^{-14} radžio.

Greta to, turime ir kelis atvejus tikro, pačiam nuklidui priklausančio radioaktyvumo. Pvz., tokie β radioaktyvieji yra: kalis, rubidis, liutecis ir kai kurie α radioaktyvieji retųjų žemių elementų izotopai. Visų jų aktyvumas yra labai mažas, pusamžiai labai ilgi: nuo 10^{10} iki 10^{14} metų. Jų nestabilumas yra teoriškai pagrįstas, pvz., kalio ir liutecio nuklidai yra dvigubai nelyginiai, o liutecio radioaktyvumas iš pradžių buvo teoriškai numatytas ir tik po to eksperimentiškai nustatytas. Labai retas lengvesniųjų elementų α radioaktyvumas paaiškinamas atitinkamų nuklidų tendencija mažinti savo neutronų kiekį ir priartinti jį prie magiškojo skaičiaus 82.

Kitoje skaidrėje – duomenų lentelė.

Kiti gamtiniai radioaktyvieji elementai

Nuklidas	Radioaktyvumas	Pusamžis T , m.
${}_{19}^{40}\text{K}$	β^{-}	$1,3 \cdot 10^9$
${}_{37}^{87}\text{Rb}$	β^{-}	$4,8 \cdot 10^{10}$
${}_{71}^{176}\text{Lu}$	β^{-}	$2,2 \cdot 10^{10}$
${}_{62}^{148}\text{Sm}$	α	$1,7 \cdot 10^{14}$
${}_{62}^{152}\text{Sm}$	α	$1,7 \cdot 10^{11}$
${}_{64}^{152}\text{Gd}$	α	$1,1 \cdot 10^{14}$

lentelė: Kiti radioaktyvieji nuklidai.