

Výfučení: Radioaktivita

Velkou část prvků v přírodě tvoří atomy, které se samovolně nijak nemění. Jejich jádro je tvořeno určitým počtem nukleonů,¹ který zůstává stejný. Pokud se ale mění počet protonů, dochází pak ke změně atomu jednoho prvku na atom jiného prvku. Tuto samovolnou přeměnu prvků označujeme jako radioaktivitu a radioaktivní prvky označujeme jako nestabilní. Navíc při této proměně vzniká záření, které si popíšeme v další části. K tomuto jevu může docházet v přírodě, děje se tak pro prvky těžší (tzn. obsahující více nukleonů) než uran a jedná se o přirozenou radioaktivitu. O umělé radioaktivitě hovoříme, pokud je způsobena nějakými vnějšími vlivy, je důsledkem řetězové reakce nebo ji způsobily urychlené částice, které „narazily“ do jádra a rozbily ho.

Protože při výpočtech veličin charakterizujících rozpady, budeme často používat funkce exponenciála a logaritmus, pojďme se na ně nějdříve podívat trochu blíže.

Funkce \exp a \log

Exponenciální funkce jsou funkce ve tvaru

$$f(x) = a^x,$$

kde a je nějaké reálné číslo. Logaritmus je k této funkci inverzní funkce. Inverzní funkce znamená, že je to funkce, která obrazům přiřazuje jejich vzory. Přesně řečeno, máme-li funkci $y = f(x)$ s definičním oborem D a oborem hodnot H ,² pak k funkci f můžeme najít její inverzní funkci g . Pro funkci g bude platit $x = g(y)$, definičním oborem bude H a oborem hodnot D . Každému y z H tedy tato funkce přiřadí takové x , aby platilo $y = f(x)$.

Číslo a v exponenciální funkci se nazývá základ logaritmu (např. pokud je základ roven 10, nazýváme logaritmus dekadický). Máme-li určit logaritmus o základu a z čísla x , tj. $\log_a(x)$, hledáme číslo y takové, že platí $a^y = x$.

Je-li základem logaritmu Eulerovo číslo $e = 2,71828\dots$ nazývá se tento logaritmus přirozený. Na kalkulačkách tento logaritmus nalezneme označen jako \ln . Eulerovo číslo má nekonečný a neperiodický rozvoj a v praktických výpočtech používáme jen několik prvních desetinných míst. A proč zrovna toto číslo? Hledal se základ exponenciální funkce takový, aby tečnou této funkce v bodě $(0; 1)$ byla přímka $y = x + 1$.

Inverzní k přirozenému logaritmu je funkce $f(x) = e^x$, kterou často značíme jako $\exp(x)$. Platí-li tedy $y = \exp(x)$, pak $\ln(y) = x$.

¹Nukleon je společný název pro proton a neutron.

²Definiční obor je množina všech čísel x , které můžeme do předpisu funkce dosadit. Obor hodnot je pak množina všech čísel y , které funkce poskytuje. Například do kvadratické funkce $y = x^2$ můžeme dosadit libovolné reálné číslo, tj. definiční obor jsou reálná čísla: $D \in \mathbb{R}$. Na výstupu ale dostaneme jenom kladná čísla nebo 0, tedy obor hodnot je interval $H = (0; +\infty)$.

Základní vlastnosti logaritmů

Při počítání s logaritmickými funkcemi se nám můžou hodit následující vzorečky

$$\log_a(b \cdot c) = \log_a(b) + \log_a(c),$$

$$\log_a\left(\frac{b}{c}\right) = \log_a(b) - \log_a(c),$$

$$\log_a(1) = 0,$$

$$\log_a(a) = 1,$$

$$\log_a(x^p) = p \cdot \log_a(x).$$

Podotýkáme, že všechny vztahy platí i pro přirozené logaritmy. Navíc, uděláme-li z posledního uvedeného vztahu exponenciálu, dostaneme další užitečný vztah

$$\exp[x \ln(b)] = \exp[\ln(b^x)] = b^x.$$

Tyto vztahy popisují chování řady fyzikálních systémů a rozhodně se s něma ještě potkáte.

Radioaktivní rozpady

Máme-li atom nestabilního prvku, tak to neznamená, že se určitě rozpadne hned. Je pouze nějaká pravděpodobnost, že se právě rozpadne. Pokud máme ale vzorek velkého počtu radioaktivních částic, umíme jejich rozpady popsat statisticky, pomocí pravděpodobnosti. Jádra různých prvků mají různé pravděpodobnosti, že se rozpadnou. Toto charakterizujeme pomocí veličin poločas rozpadu $T_{1/2}$, rozpadová konstanta λ a střední doba života τ .

Poločas rozpadu $T_{1/2}$

Jako poločas rozpadu se označuje doba, za kterou se rozpadne polovina jader z původního počtu atomů ve vzorku. Máme-li tedy vzorek, který obsahuje n_0 jader daného prvku, pak v čase $t_1 = T_{1/2}$ se jich rozpadne $n_0/2$ a zbyde totéž množství. V čase $t_2 = 2T_{1/2}$ se ze zbytku rozpadne další polovina, tedy nerozpadlých zůstane $n_0/4$. V čase $t_3 = 3T_{1/2}$ zůstane už jenom $n_0/8$ atd. Počet zbylých jader tedy můžeme v čase t určit jako

$$n = n_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T_{1/2}} = n_0 2^{-t/T_{1/2}}.$$

Použijeme-li výše uvedený vzoreček pro exponenciálu logaritmu, dostaneme

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{t}{T_{1/2}} \ln 2\right).$$

Rozpadová konstanta λ

Předpokládanou rychlost radioaktivního rozpadu charakterizuje rozpadová konstanta λ . Její jednotkou je s^{-1} . Máme-li na začátku n_0 částic, pak počet částic v čase t můžeme vyjádřit jako

$$n = n_0 \exp(-\lambda t).$$

Vidíme tedy, že mezi poločasem rozpadu a rozpadovou konstantou platí vztah

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$

Střední doba života

Jiná veličina, kterou můžeme charakterizovat radioaktivní rozpad, je střední doba života τ . Její vztah k rozpadové konstantě λ je $\tau = 1/\lambda$. Můžeme ji vyjádřit i pomocí poločasu rozpadu jako $\tau = T_{1/2}/\ln 2$. Jednotka této veličiny je s.

Aktivita

Aktivita udává počet rozpadů ve vzorku za jednotku času. Jednotkou je 1 Bq (Becquerel):

$$1 \text{ Bq} = \frac{1 \text{ rozpad}}{1 \text{ s}}.$$

Aktivita nám tedy říká, kolik jader se rozpadlo za daný časový úsek, což závisí jednak na rychlosti rozpadu a pak na velikosti pozorovaného vzorku.³ Aktivitu lze vyjádřit pomocí rozpadové konstanty λ jako

$$A = \lambda n,$$

kde n je aktuální počet jader. Jelikož n s časem klesá, musí rovněž klesat i aktivita. Je-li počáteční aktivita A_0 , pak aktivita A v čase t je

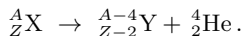
$$A = A_0 \exp(-\lambda t).$$

Druhy záření

V radioaktivitě pod pojmem záření myslíme kromě klasických fotonů i proudy časté velmi rychlých částic. Rozlišujeme tři druhy záření, které značíme řeckými písmeny α , β a γ .

Záření α

Tvoří ho proud heliových jader, tzv. α -částic, což jsou dva protony a dva neutrony. Protony jsou kladně nabitě částice a neutrony jsou neutrální, celkově tedy α -částice nese kladný elektrický náboj. Částice jsou velké, pohybují se relativně pomalu a mají krátký dosah. Lze je zastavit například již listem papíru. Pokud se prvek rozpadá α -rozpadem, jeho jádro přichází o 2 protony a 2 neutrony a mění se tedy v prvek s protonovým číslem o 2 menším, tedy ležícím o dvě místa vlevo v periodické tabulce prvků. Nukleonové číslo se zmenšuje o 4.⁴ Při rozpadu také dochází k uvolnění energie.



Záření β

Tvoří ho proud elektronů, jedná se tedy o záporně nabitě částice (značíme β^-) nebo proud pozitronů, což jsou antičástice k elektronům.⁵ Ty jsou nabitě kladně (značíme β^+). Částice se pohybují velmi rychle a záření je pronikavější než α záření, může pronikat materiály s nízkou hustotou nebo malou tloušťkou, zastavit ho lze např. 1 m vzduchu nebo 1 mm kovu. Jelikož dochází pouze k uvolňování elektronů, nemění se celkové nukleonové číslo atomu. Mění se však

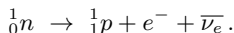
³Mohli bychom očekávat, že ve dvakrát větším vzorku budeme pozorovat dvojnásobný počet rozpadů.

⁴Nukleonové číslo udává celkový počet nukleonů v jádře, tedy počet protonů a neutronů dohromady. Protonové číslo udává počet protonů.

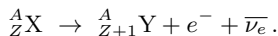
⁵Antičástice mají stejnou hmotnost, ale opačný náboj jako jim příslušející částice.

poměr protonového čísla k nukleonovému, jelikož dochází ke změně neutronu na proton (β^-) nebo naopak (β^+). Rozepišme si podrobněji, jak vypadá β rozpad.

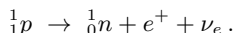
Rozpad β^-



Z neutronu tedy vzniká proton, elektron a elektronové antineutrino.⁶ V jádře tato reakce vypadá následovně



Rozpad β^+



Z protonu vzniká neutron, pozitron a elektronové neutrino. V jádře



Záření γ

Jedná se o elektromagnetické záření, je tvořeno proudem fotonů. Nemá elektrický náboj. Penetrace je velmi vysoká, na odstínění je potřeba velké množství materiálu, používají se materiály s vyšším atomovým číslem a velkou hustotou, např. olovo. Právě toto záření je pro lidský organizmus velmi nebezpečné.

Rozpadové řady

Těžké prvky jsou nestabilní a rozpadají se. Jejich produkty však také mohou být také nestabilní a dále se rozpadat. Tím vzniká rozpadová řada, která končí, až se rozpadne na stabilní prvek. Existují čtyři rozpadové řady

- uranová (začíná uranem ${}^{238}\text{U}$ a končí olovem ${}^{206}\text{Pb}$)
- aktinuranová (začíná uranem ${}^{235}\text{U}$ a končí olovem ${}^{207}\text{Pb}$)
- thoriová (začíná thoriem ${}^{232}\text{Th}$ a končí olovem ${}^{208}\text{Pb}$)
- neptuniová (začíná neptuniem ${}^{237}\text{Np}$ a končí thalliem ${}^{205}\text{Tl}$).

V rozpadové řadě dochází k α a β rozpadům. Řady jsou čtyři, protože při α rozpadu se mění nukleonové číslo o 4 a při β rozpadu se nemění.

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.

⁶Neutrino a antineutrino jsou velmi lehké částice, pohybující se téměř rychlostí světla. Tyto částice se nedávno zviditelnily, protože italský vědecký projekt jim naměřil nadsvětelnou rychlost. Jak se ale pak ukázalo, toto překvapivé měření bylo způsobeno chybou aparatury.