

22. Meranie β – rádioaktivity vzduchu

1. Všeobecná časť

Už na začiatku nášho storočia, čoskoro po objavení rádioaktivity, sa zistilo, že rádioaktívne prvky sa v relatívne malom množstve nachádzajú aj vo vzduchu. Dnes pri praktickom využívaní jadrovej energie a používaní rádionuklidov sa rádioaktivita vzduchu miestami pomaly, ale ustavične zväčšuje. V závislosti od podmienok vzniku a charakteru agregátneho stavu možno všetky rádioaktívne látky, ktoré sa nachádzajú v ovzduší, zdeliť do nasledujúcich skupín:

- rádionuklidy, ktoré vznikajú pod vplyvom kozmického žiarenia,
- rádionuklidy, ktoré prenikajú do vzduchu ako plynné látky zo zemskej kôry,
- rádionuklidy, ktoré sa dostávajú do zemskej kôry spolu s kozmickým prachom,
- rádionuklidy, ktoré sa dostávajú do vzduchu v dôsledku činnosti človeka (jadrová energia, spracovanie rádioaktívnych látok, jadrové výbuchy, využívanie rádionuklidov a pod.).

Množstvo rádioaktívnych látok sa vo vzduchu značne mení nezávisle od podmienok ich vzniku a v mnohom závisí od meteorologických faktorov. V najnižších vrstvách atmosféry sa nachádzajú predovšetkým plynné rádionuklidy, ktoré sa do vzduchu dostávajú uvoľňovaním zo zemskeho povrchu a ktoré sú vlastne produktmi rozpadajúcich sa prvkov rádia, tória a aktínia a taktiež v dôsledku prenikania tuhých a kvapalných rádionuklidov z povrchu zeme spolu s časticami prachu. Značná časť týchto rádionuklidov sa dostáva do ovzdušia aj pri spaľovaní uhlia. Merná rádioaktivita vzduchu sa môže podstatne líšiť v závislosti od miesta pozorovania, počasia, ročných období, a to najmä v dôsledku zmien meteorologických, klimatických, geochemických a pod.

Vykonané experimenty svedčia o tom, že hlavným rádionuklidom, ktorý najviac ovplyvňuje rádioaktivitu vzduchu, je plyn radón ($^{222}_{86}\text{Rn}$, $^{220}_{86}\text{Rn}$, $^{219}_{86}\text{Rn}$), ktorý je dcérskym produktom rádia Ra. V rôznych druhoch pôdy sa rádium nachádza v množstve od $3 \cdot 10^{-13}$ do $6 \cdot 10^{-12}$ g na 1 g pôdy. Pri rozpade rádionuklidu $^{226}_{88}\text{Ra}$ vyletuje α -častica, čím sa rádium mení na emanáciu – radón $^{222}_{86}\text{Rn}$. Radón je inertný plyn, ktorý difunduje z pôdy do ovzdušia. Jeho rozpad vo vzduchu sa pohybuje (v závislosti od jeho koncentrácie) v rozmedzí 10^{-3} až 10^{-4}

rozpadov za sekundu na liter vzduchu. Počet rádionuklidov $^{220}_{86}\text{Rn}$ a $^{219}_{86}\text{Rn}$ ako produktov postupného rozpadu tória a aktínia je vo vzduchu asi 10-krát menší ako $^{222}_{86}\text{Rn}$.

2. Zadanie

Cieľom tejto úlohy je experimentálne zistiť prítomnosť β – rádioaktívnych nuklidov v atmosfére vzduchu, stanoviť ich rozpadovú krivku a určiť mernú β – aktivitu ovzdušia. Pri riešení tejto úlohy možno využiť skutočnosť, že všetky prvky ako produkty rozpadu radónu sú kovy, ktorých atómy sa nemôžu vo voľnom stave nachádzať ľubovoľne dlho v atmosfére. Pri stretnutí s tuhými časticami dymu, prachu, kvapôčkami hmly, ktoré sú vždy prítomné v ovzduší, sa usadzujú na ich povrchu. Ak sa prečerpá väčší objem vzduchu cez aerosólový filter, ktorý zachytáva vo vzduchu prítomné tuhé častice, možno spolu s nimi skoncentrovať prirodzené rádionuklidy z tohto objemu atmosferického vzduchu v malom objeme filtra a zmerať ich aktivitu.

Pri meraní aktivity filtra sa stretávame so zmesou postupne sa rozpadajúcich rádionuklidov z urán – rádiového radu (obr. 22.1). Vykonať analýzu všetkých rádionuklidov by v rámci úlohy bolo dosť zložité, preto úlohu zjednodušíme za cenu zvýšenia nepresnosti merania.

Na filtri sa nahromadia predovšetkým produkty rozpadu rádionuklidov radónu $^{222}_{86}\text{Rn}$, a to $^{218}_{84}\text{Po}$, $^{214}_{82}\text{Pb}$, $^{214}_{83}\text{Bi}$ a $^{214}_{84}\text{Po}$. Prvý a posledný z nich sú predovšetkým α - rádionuklidy. Pri meraní β – aktivity vzduchu ich vplyv môžeme do určitej miery vylúčiť. Prvý vylúčime tým, že po skončení hromadenia rádionuklidov (nasávanie vzduchu cez filter) chvíľu počkáme, kým sa $^{218}_{84}\text{Po}$ – vzhľadom na pomerne krátky polčas rozpadu – rozpadne. α -častice, emitované $^{214}_{84}\text{Po}$, možno zas odfiltrovať pomocou tenkej hliníkovej fólie (hrúbka asi 0,05 mm). Ďalšie produkty rozpadu polónia nemusíme uvažovať, pretože vzhľadom na veľký polčas premeny olova $^{210}_{82}\text{Pb}$ ($T_{1/2} = 22$ rokov) nemôžu dosiahnuť vo vzduchu rovnovážnu koncentráciu.

Zostane nám teda žiarenie zmesi β -rádionuklidov so sprievodným γ -žiarením. Túto zmes budeme charakterizovať efektívnym polčasom premeny $T_{1/2}$, ktorý určíme experimentálne meraním rozpadovej krivky.

$$\ln n_t = \ln n_0 - \frac{t}{T_{1/2}} \ln 2 \quad (22.4)$$

t. j., $\ln n_t$ je lineárnou funkciou času.

Polčas rozpadu krátkožijúceho rádionuklidu určíme z rozpadovej krivky. V grafe vynesieme logaritmus početnosti impulzov n_t (detektorom zaregistrovaných impulzov za časovú jednotku) ako funkciu času, t.j. $\ln n_t = f(t)$.

Polčas rozpadu rádionuklidu možno potom nájsť z dvoch ľubovoľných bodov n_{t_1} a n_{t_2} rozpadovej krivky a zo známeho časového intervalu medzi nimi:

$$T_{1/2} = \frac{|t_2 - t_1| \ln 2}{|\ln n_{t_1} - \ln n_{t_2}|} \quad (22.5)$$

ktorý súvisí, ako sme už spomenuli, s rozpadovou konštantou $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$.

Aby sme určili mernú aktivitu vzduchu, zmeriame aktivitu filtra v jednotke objemu prečerpáneho vzduchu. Pritom treba zohľadniť fakt, že počas prečerpávania vzduchu, aj v čase od jeho skončenia do začiatku merania, prebieha rozpad rádioaktívnych jadier usadených na filtri. Účinnosť filtra je 10 až 30%.

Nech je v 1l vzduchu N_0 rádioaktívnych nuklidov (ustálený rovnovážny stav). Počas čerpania sa na filtri za čas dt usadí $N_0 v dt$ rádioaktívnych nuklidov, kde v je čerpacia rýchlosť [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$]. Ak sa k niektorému okamihu času t nahromadilo N_t rádionuklidov, potom sa za čas dt z nich rozpadne $\lambda N_t dt$. To znamená, že množstvo nahromadených rádionuklidov na filtri za čas dt pri zohľadnení ich súčasného rozpadu sa bude rovnať:

$$dN_t = N_0 v dt - \lambda N_t dt \quad (22.6)$$

odkiaľ integráciou dostaneme vzťah medzi množstvom rádionuklidov N_t nahromadených na filtri k momentu skončenia prečerpávania t a koncentráciou rádionuklidov vo vzduchu N_0 :

$$N_t = \frac{N_0 v}{\lambda} [1 - \exp(-\lambda t)] \quad (22.7)$$

Keďže aktivita filtra v momente ukončenia čerpania v čase t sa rovná $A_t = \lambda N_t$ a meraná aktivita vzduchu sa určuje vzťahom $Q = \lambda N_0$, potom pre uvedenú aktivitu A_t možno napísať vzťah:

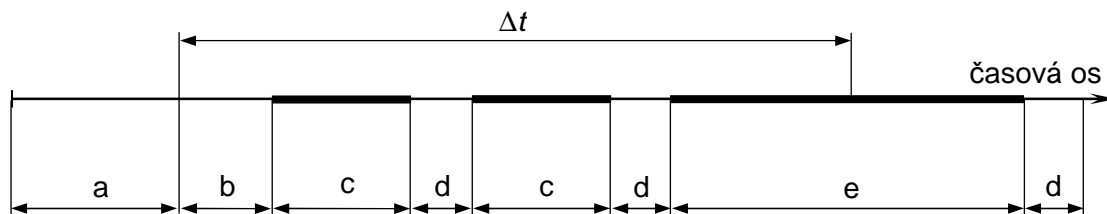
$$A_t = \frac{Q v}{\lambda} [1 - \exp(-\lambda t)] \quad (22.8)$$

$$\text{odkiaľ } Q = \frac{A_t \lambda}{v[1 - \exp(-\lambda t)]} \quad (22.9)$$

Z posledného vzťahu vyplýva, že pre určenie mernej aktivity vzduchu Q treba poznať absolútnu aktivitu filtra A_t v momente ukončenia čerpania vzduchu (v čase t), rýchlosť čerpania vzduchu v a rozpadovú konštantu λ .

V praxi aktivitu filtra určujeme až po uplynutí určitého času Δt po skončení čerpania vzduchu cez filter (aby sa rozpadol nuklid $^{218}_{84}\text{Po}$ vyžarujúci α -žiarenie). Aktivita filtra v čase merania $t + \Delta t$ je preto spojená s aktivitou filtra v čase t vzťahom:

$$A_{t+\Delta t} = A_t \exp(-\lambda \Delta t) \quad (22.10)$$



a – doba prečerpávania vzduchu cez filter, $t = 60 \div 100$ min

b – časový interval, potrebný na umiestnenie filtra pred detektor, $t = 2$ min

c – meranie aktivity filtra, $t = 2$ min

d – pauza medzi meraniami, $t = 1$ min

e – meranie aktivity filtra $A_{t+\Delta t}$ v čase $8 \div 10$ min po skončení prečerpávania,

$t = 4$ min

Δt – stred intervalu e ($\Delta t = 10$ min); Δt je čas, ktorému priradujeme

nameranú aktivitu filtra $A_{t+\Delta t}$.

Obr. 22.2 Časový priebeh merania

Konečný výraz pre určenie mernej β -aktivity vzduchu potom je:

$$Q = \frac{A_{t+\Delta t} \exp(\lambda \Delta t) \lambda}{v[1 - \exp(-\lambda t)]} \quad (22.11)$$

3. Postup merania a jeho vyhodnotenie

Prečerpávať vzduch cez filter počas $t = 60 \div 100$ min.

Určiť čerpaciu rýchlosť v (t.j. počet prečerpávaných litrov na jednotku času)

Počas $t = 2$ min umiestniť filter do detekčného zariadenia a začať meranie rozpadovej krivky. Zvoliť dĺžku merania 2 min s pauzou medzi meraniami 1 min.

Po vykonaní prvých dvoch meraní, t.j. v intervale $8 \div 12$ min po začatí merania rozpadovej krivky zmerať aktivitu filtra $A_{t+\Delta t}$. Aktivitu priradíme času Δt , t.j. stredu meraného intervalu ($\Delta t = 10$ min).

Pokračovať v meraní rozpadovej krivky (asi 60 min) a určiť rozpadovú konštantu λ .

Získané hodnoty ($A_{t+\Delta t}$, λ , Δt) a dosadiť do vzťahu 22.11 a stanoviť mernú aktivitu vzduchu Q .

4. Literatúra

[1] Hozza, V., Lipka, J.: Experimentálne metódy jadrovej fyziky. Návody na cvičenie.

Bratislava, EF SVŠT 1981.

[2] Cirák, J.: Jadrovofyzikálne metódy a prístroje. Bratislava, EF SVŠT 1986.