

Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

redakce nakladatelství BEN – technická literatura
redakce@ben.cz



kapitola **3**

ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Ionizujícím zářením se rozumí záření způsobující ionizaci látky, kterou prochází, a to jednak přímo, jednak prostřednictvím sekundárního záření. Ionizující záření lze dále dělit na:

- **Přímo ionizující** záření je tvořeno nabitými částicemi (elektrony, pozitrony, protony, částicemi alfa apod.), jejich kinetická energie je dostatečně velká k tomu, aby vyvolala ionizaci.
- **Nepřímo ionizující záření** je tvořeno nenabitými částicemi (neutrony, fotony), které vzhledem k tomu, že nemají elektrický náboj, nemohou ionizovat. Procházejí-li nenabitě částice látkou, pak interakci s atomy této látky uvolňují v ní nabitě částice nebo způsobí jadernou přeměnu provázenou emisí přímo ionizujícího záření.

Z jiného hlediska lze ionizující záření rozdělit na korpuskulární záření (záření alfa, beta, neutronové záření apod.) a na elektromagnetické (záření gama, rentgenovo záření X).

Radioaktivní záření je záření, které se uvolňuje při rozpadu atomových jader. Dle charakteristických vlastností se dělí na záření α , β , γ a některé další.⁴⁶⁾

46 **X-záření (Rentgenové záření)**, rentgenové paprsky, paprsky X – neviditelné krátkovlnné pronikavé elektromagnetické záření ve vlnovém oboru asi 10–11 až 10–12 m. Přirozenými zdroji jsou hlavně hvězdy; uměle lze rentgenové záření získat v rentgenové trubici dopadem urychlených elektronů na anodu rentgenky (primární rentgenové záření). Dalším zdrojem jsou urychlovač, některé radionuklidy. Rentgenové záření působí druhotné záření látek v optickém oboru (luminiscence), zčernání fotografické emulze, ovlivňuje živou i neživou hmotu.

Záření α – záření alfa je přímo ionizující záření tvořené částicemi alfa – jádra helia. Zdrojem záření alfa jsou těžké radionuklidy. Při průchodu prostředím silně ionizují a velmi rychle ztrácejí svoji energii. Dosah záření alfa je proto značně omezen. Ve vzduchu činí jenom několik milimetrů, ve vodě nebo tkáni jenom zlomky milimetrů.

Záření β – záření beta je tvořeno rychlými elektrony. Vzniká při přeměně mnoha přírodních i umělých radionuklidů. V porovnání se zářením alfa jsou částice beta mnohem lehčí, pohybují se při stejné energii podstatně rychleji. Při průchodu prostředím daleko méně ionizují. S tím souvisí i výrazně větší dosah záření beta – ve vzduchu činí až několik metrů, ve vodě nebo tkáni jednotky až desítky milimetrů a u těžších materiálů desetiny až jednotky milimetrů.

Záření γ – záření gama je elektromagnetické záření obvykle jaderného původu. Vzniká při radioaktivním rozpadu řady radionuklidů, často současně se zářením beta nebo alfa. Záření gama obsahuje emitované fotony. Při průchodu prostředím uvolňuje záření gama elektricky nabitě částice a předává jim energii dostatečnou k tomu, aby byly schopny ionizovat. Jedná se tedy o nepřímo ionizující záření. Dosah gama záření je ve vzduchu řádově několik set metrů a v kompaktních materiálech jako např. zemina, hornina, beton je řádově několik centimetrů až desítek centimetrů.

Reliktní záření – izotropní mikrovlnné záření vesmíru na frekvencích 10^8 – 10^{12} Hz. Jeho spektrum odpovídá záření absolutně černého tělesa s teplotou 2,7 K. Je pozůstatkem (reliktem) éry záření z počátku expanze vesmíru.

Záření kosmické – tok částic vysokých energií, které dopadají na Zemi z kosmického prostoru. Primární záření kosmické tvoří především protony a lehká atomová jádra s energií až 10^{20} eV. Interakci primárního záření kosmického s atomy atmosféry vzniká sekundární záření kosmické, ve kterém jsou zastoupeny fotony a další elementární částice.

Záření brzdné – záření, jehož zdrojem jsou elektricky nabitě částice v coulombickém poli jádra. Při průchodu rychlých elektronů látkou dochází k podstatné ztrátě jejich kinetické energie v důsledku vznikajícího záření brzdného při energii elektronů větší než asi 1 GeV.

Čerenkovovo záření – záření vznikající při průchodu nabitých částic látkou, pokud jejich rychlost je vyšší než fázová rychlost světla v daném prostředí. Úhel mezi svazkem procházejících částic a směrem emise Čerenkovovo záření závisí na rychlosti částic a využívá se k jejich detekci.

3.1 Druhy zdrojů ionizujícího záření

Zdrojem ionizujícího záření jsou přirozeně radioaktivní látky, uměle vyrobené radionuklidy, a speciální zařízení jako rentgenky, urychlovače nabitých částic, jaderné reaktory apod.

Zdroje radioaktivního záření je možno dělit do tří skupin a to na:

- **uzavřené radioaktivní zářiče**
- **otevřené radionuklidy** (jedná se např. o radioaktivní roztoky, plyny)
- **radioaktivní aerosole**

3.1.1 Uzavřené radioaktivní zářiče

Uzavřené radioaktivní zářiče představují radioaktivní látku uzavřenou do pouzdra, zamezujícího její přenesení na povrch pouzdra, případně mimo pouzdro. Pouzdro však nezabrání pronikání radioaktivního záření stěnou pouzdra, pouze jej může omezit, případně transformovat na jiný typ radioaktivního záření (např. na brzdné záření). Mezi uzavřené zářiče lze zařadit např. rentgenovy přístroje, jaderná energetická a experimentální zařízení (objekty jaderných zařízení) a podobná zařízení.

Předností uzavřených radioaktivních zářičů je skutečnost, že jejich radioaktivní záření lze snížit nebo docela pohltil vhodnou ochranou (např. olovněné kryty, kovové stěny a podobné). Tím zamezit nebo alespoň omezit vnější **ozáření** radioaktivním zářením.

3.1.2 Otevřené radioaktivní zářiče

U těchto radioaktivních zářičů je možné, že radioaktivní látka se může rozptýlit mimo vymezený prostor (pracoviště) nebo se volně šířit prostorem např. u kapalných nebo plyných radionuklidů. Přenesení (šíření) se radioaktivní látky mimo vymezený prostor se nazývá kontaminací, přičemž se rozlišují dva druhy kontaminace:

- **povrchová kontaminaci**, při které dojde přenesení radioaktivní látky na povrch uvažovaného předmětu, osoby apod. V tomto případě je možné vhodnou „dekontaminací“ radioaktivní látku odstranit (např. oplachem).
- **vnitřní kontaminace**. V tomto případě dojde ke vniknutí radioaktivní látky do organismu ať již v rámci fauny⁴⁷⁾ nebo flory.⁴⁸⁾

47 **Vnitřní kontaminace** člověka a živých organismů je nejnebezpečnější, protože při ní je organismus zářením zatěžován dlouhodobě a „zevnitř“. Radionuklid vstoupí do metabolismu a podle své chemické povahy se může hromadit v určitých „cílových“ orgánech, které jsou pak bezprostředně vystaveny účinkům záření. K vnitřní kontaminaci může docházet zažívacím ústrojím, dýchacím ústrojím nebo průnikem přes pokožku.

3.1.3 Radioaktivní aerosole⁴⁹⁾

Obsahují jak přirozené radionuklidy, tak umělé radionuklidy. Do radioaktivních aerosolů lze zahrnout rovněž radon. Aerosol je představován koloidní soustavou složenou z kapalných či pevných (popřípadě obou) částic rozptýlených v plynném prostředí, lze ji uvažovat jako suspenzi pevných a kapalných nebo pevných částic v plynném prostředí, mající zanedbatelnou pádovou rychlost.

Kondenzační jádra jsou velmi drobné aerosolové částice v atmosféře Země, které mají vhodné fyzikální a chemické vlastnosti k přechodu vody z fáze plynné do fáze kapalné. Nejvýznamnějšími kondenzačními jádry jsou kapičky mořské vody, které se uvolňují z moří a oceánů.

Radionuklidy, které jsou obsaženy v aerosolech:

- přirozené radionuklidy (především radon)
- umělé radionuklidy
- radionuklidy obsažené v radioaktivních odpadech
- štěpením jaderného paliva – ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{85}Kr , ^{131}I
- neutronovou aktivací prvků v konstrukčních materiálech – ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{60}Co a jiné
- neutronovou aktivací prvků a nečistot obsažených v chladivu – ^3H , ^2H , ^4Li , ^{24}Na , ^{17}N a jiné

3.1.4 Radon a jeho výskyt

Většina prvků, z nichž jsou složeny všechny minerály, horniny i zeminy v přírodě, je stabilních a během geologického vývoje Země se nemění. Avšak existuje část prvků, které stabilní nejsou, mají takzvané nestabilní jádro a během doby se samovolně rozpadají na stabilnější prvky. Tento proces, který probíhá po celou geologickou historii, se

48 Známy je případ v období po Černobylské katastrofě a vzniku **radioaktivního mraku** nad Českou republikou, kdy došlo k výraznému jeho spadu nad Českomoravskou vysočinou, že po tomto období se silně zvýšil obsah radioaktivních látek v lesních houbách a v kravském mléku.

Radioaktivní mrak po výbuchu v Černobylu obsahoval především cesium 137 a jód 131. Poločas rozpadu ^{137}Cs je 30 roků a bude tedy trvat několik set let, než se jeho hodnota sníží na zanedbatelné hodnoty. Naopak poločas rozpadu jódu ^{131}I je jen 8 dní a dlouhodobě nepředstavuje velké nebezpečí. O to větší ohrožením ale byl v prvních týdnech po havárii, kdy pronikl především do mléka.

49 **Aerosol**, koloidní soustava složená z kapalných či pevných (popř. obou) částic rozptýlených v plynném prostředí. Chemicky stabilní systém. V přírodě z technického hlediska jsou to mraky, mlha nebo kouř. V meteorologii označení pro pevné nebo kapalné částice rozptýlené ve vzduchu.

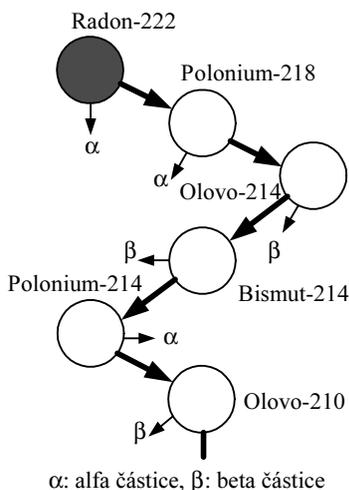
Aerosol atmosférický, soubory tuhých a kapalných částic v atmosféře Země. Aerosol atmosférický může být původu přirozeného (vodní kapičky, ledové částice, částičky mořských solí, půdní a prachové částice, pylová zrna, bakterie, spory, produkty vulkanické činnosti, hoření meteoritů v ovzduší atd.) nebo antropogenního (kouř, popílek, městské a průmyslové aerosoly atd.).

Fotochemický smog, atmosférický aerosol vznikající v letních měsících vlivem silného slunečního záření na exhalace (zejména ze spalovacích motorů). Má silné oxidační účinky, neboť obsahuje vysoké koncentrace ozónu a organických peroxidů.

nazývá radioaktivní rozpad. Při tomto rozpadu vznikají nové stabilnější radioaktivní prvky a jaderné záření.

Jedním z přírodních radionuklidů, přítomných ve stopovém množství ve všech horninách a zeminách, je uran (^{238}U). Rozpadem uranu vznikají další radioaktivní prvky s postupně se zvyšující stabilitou jádra. Tyto prvky tvoří takzvanou uranovou rozpadovou řadu, jejíž součástí je i plyn radon.⁵⁰⁾ Uran (^{238}U) je obsažen ve stopovém množství ve všech horninách zemské kůry a vzhledem k jeho dlouhodobému poločasu rozpadu je produkce radonu prakticky konstantní, neodstranitelná. Všechny prvky uranové rozpadové řady, kromě plynu radonu, jsou těžké kovy. Zdrojem radonu je podloží objektu, stavební materiály, ze kterých je objekt postaven, a podzemní voda, ve které se radon rozpouští. Podzemní voda, která proudí skrz horniny a zeminy obsahující radon, je tímto plynem nasycována. Nejvyšší obsah radonu z tohoto důvodu vykazuje spodní voda v geologickém profilu tvořeném vyvěřelými horninami (žula, pegmatit, porfýr, syenit). Při využití této vody dochází k uvolňování tohoto plynu.

Radon je přírodní radioaktivní plyn. Je bez barvy, chuti a zápachu, chemicky netečný. Radon se s poločasem rozpadu 3,82 dne následně rozpadá na takzvané dceřinné produkty rozpadu radonu: radioaktivní kovy polonium, vizmut a olovo. Tyto kovy mají tu vlastnost, že se usazují na povrchu prachových částic a tvoří takzvané radioaktivní aerosoly, které se volně pohybují prostorem nebo sedají na předměty v objektech.⁵¹⁾



Obr. 3.1 Rozpad radonu ^{222}Rn

50 Kromě uranové rozpadové řady existují i další **rozpadové řady**, např. thoriová s výchozím členem ^{232}Th .

51 Jsou-li **radon** a jeho rozpadové produkty vdechnuty ať už samotné, či usazené na aerosolové nebo prachové částice, zůstávají v dýchacích cestách, respektive v plicních sklípcích, kde se dále rozpadají, přičemž „bombardují“ tenkou plicní výstelku s matečnými buňkami (sliznici) vysokými rozpadovými energiemi. Tyto matečné buňky, které průběžně a po celý život člověka dělením zajišťují regeneraci výstelky, jsou zásahem záření poškozeny nebo usmrceny.

Radon (*obr. 3.1*), značka Rn – radioaktivní plynný prvek ze skupiny inertních plynů. Protonové číslo 86, relativní atomová hmotnost 222; teplota tání 71 °C, teplota varu 61,8 °C. Objeven v roce 1900. V přírodě se vyskytuje spolu s radiem, z něhož vzniká a uniká do ovzduší ^{222}Rn .

^{222}Rn je nejvýznamnějším zdrojem radioaktivity ovzduší. Při dlouhodobém pobytu v nevětraných místnostech, jejichž zdi jsou z materiálů obsahujících radon, se zvyšuje riziko onemocnění karcinomem plic.

Vlastní děj rozpadu rádia je přibližně následující. Nejdříve dochází k migraci atomu radonu po krystalové mřížce materiálu k jeho povrchu a konečně přechod atomu Rn do pórů a trhlin horniny. Koncentrace radonu v půdním vzduchu tedy tvoří ty atomy Rn, které pronikly až do pórů hornin a zemin.

Radon migruje z geologického podloží, kde vznikl, do atmosféry a zde se rozptyluje a postupně se rozpadává na stabilní neradioaktivní prvky (^{206}Pb). Koncentrace radonu v ovzduší ve volné přírodě činí jen několik málo $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.⁵²⁾

Při detekci radonu v interiérech objektů a v půdním vzduchu je používána veličina objemová aktivita radonu, která se vyjadřuje v jednotkách $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (becquerel na m^3) či odvozených jednotkách $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$.

Principem metod měření radonu a jeho dceřiných rozpadových produktů⁵³⁾ je detekce ionizujícího záření. Částice alfa a beta, vznikající při radioaktivních rozpadech, vyvolávají v určitých chemických látkách elektrický náboj či světelné jevy, které mohou být zachycovány citlivým detektorem. Existuje řada typů detektorů (polovodičové, scintilační, stopové), které ve spojení s vhodným zesilovačem (násobičem) měří energii i počet fotonových záblesků vznikajících v detekční látce. Z tohoto údaje se výpočtem, po zadání patřičných veličin pro daný přístroj, získá objemová aktivita radonu.

52) Při **detekci radonu** v interiérech objektů a v půdním vzduchu používá se veličina objemová aktivita radonu, kterou vyjadřujeme v jednotkách $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (becquerel na m^3). Proběhne-li v radioaktivní látce (jeden m^3) jedna radioaktivní přeměna (rozpad) za jednu sekundu, má objemová aktivita dané radioaktivní látky hodnotu 1 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.

53) a) **Stopové detektory**, které pracují na principu detekce stop vytvořených alfa částicemi z radonu a jeho dceřiných produktů ve speciálním materiálu podobném fotografickému filmu. Tyto detektory jsou určeny pro roční měření průměrné hodnoty ekvivalentní objemové aktivity radonu

b) **Elektretové detektory**, které pracují na bázi postupného vybíjení tzv. elektretu umístěného v plastové vodivé ionizační komoře. V této komoře je od náboje elektretu vytvořeno elektrostatické pole, ve kterém se rozpadá radon na své rozpadové produkty za vzniku ionizujícího záření alfa a beta. Toto záření ionizuje okolní plyn (vzduch) a vzniklé záporné ionty jsou přitahovány na elektret, který postupně vybíjí. Míra vybíjení elektretu (tj. rozdíl napětí před a po měření) je přímo úměrná množství radonu v objektu. Tyto detektory jsou určeny především ke střednědobému měření průměrné koncentrace radonu (od jednoho do několika týdnů).

c) **Kontinuální monitory**, které pracují na principu kontinuálního odběru vzduchu a měření koncentrace radonu a jeho dceřiných produktů ve zvolených časových intervalech. Tyto monitory jsou určeny pro sledování časových změn v koncentraci radonu, měření rychlosti přísunu radonu do objektu, kontrolu účinnosti větrání apod.