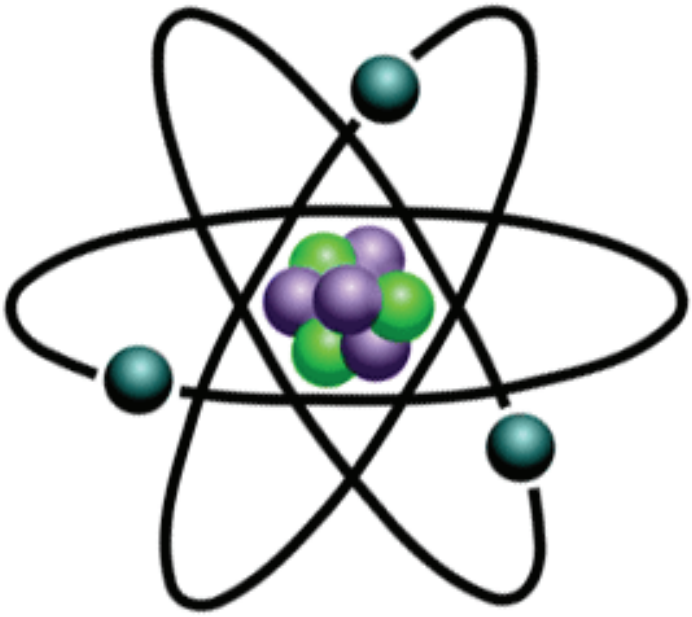


Nebezpečné rádioaktívne materiály a možnosti ich detekcie

Ján Kurucz

BELIANUM

2016

NEBEZPEČNÉ RÁDIOAKTÍVNE MATERIÁLY A MOŽNOSTI ICH DETEKCIE

Autor : © prof. Ing. Ján Kurucz, PhD.

Recenzovali :
plk. Ing. Miloslav Ivica – MV SR
plk. Ing. Miroslav Ofčarovič GŠ OS SR

Anotácia:
Vysokoškolské skriptá sú venované problematike zhodnotenia fyzikálnych a chemických vlastností rádioaktívnych chemických prvkov a ich zlúčenín a to v širokej škále ich možného zneužitia proti civilnému obyvateľstvu. V skriptách sú objasnené základné súvislosti spojené s chápaním rizík rádioaktívnych látok pre zdravie človeka, ale aj spôsoby možnej detekcie týchto látok súčasnými prostriedkami.

Vydavateľ: © BELIANUM , Vydavateľstvo Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici,
Edícia: Fakulta prírodných vied

ISBN 978-80-557-1128-7

Obsah

	Úvod	5
1.	**Základné pojmy**	7
2.	**Základné legislatívne normy SR a rádioaktívny materiál**	15
3.	**Poškodenie zdravia účinkami ionizujúceho žiarenia**	19
3.1	Účinky ionizujúceho žiarenia na základe bunkových strát	20
3.2	Deterministické účinky (zákonité, pravidelné)	20
3.3	Stochastické účinky (náhodné, pravdepodobné)	21
3.4	Mechanizmus biologického účinku žiarenia	22
3.5.	Základné údaje o rádioaktivite a jej účinkoch na ľudí a životné prostredie podľa správy OSN	23
3.6	Kvantifikácia rádioaktívneho žiarenia	26
4.	**Charakteristika vybraných rádioaktívnych materiálov**	27
4.1	Aktínium	27
4.1.1	Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti aktínia	27
4.2	Kobalt	30
4.2.1	Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti kobaltu	30
4.3	Stroncium	35
4.3.1	Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti stroncia	36
4.4	Technécium	40
4.4.1	Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti technécia	40
4.5	Ytrium	45
4.5.1	Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti ytria	45
4.6	Cézium	49
4.6.1	Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti cézia	50
4.7	Jód	58
4.7.1	Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti jódu	58
4.8	Irídium	60
4.8.1	Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti irídia	61
4.9	Polónium	64
4.9.1	Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti polónia	65
4.10	Amerícium	70
4.10.1	Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti amerícia	70
4.11	Plutónium	75
4.11.1	Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti plutónia	76
4.12	Kalifornium	78
4.12.1	Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti kalifornia	79
4.13	Urán	81
4.13.1	Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti uránu	81

5. Detekcia a meranie rádioaktívneho žiarenia 88
5.1 Scintilačné metódy 89
5.2 Ionizačné komory 91
5.3 Geigerov - Müllerov počítač 92
5.4 Wilsonova hmlová komora 93
5.5 Polovodičové detektory 94
5.6 Prístroje na zisťovanie radiácie 96
5.6.1 Merač rádioaktivity HS-107 96
5.6.2 Geigerov čítač pre kontrolu rádioaktivity GAMMA SCOUT Rechargeable 97
5.6.3 Geigerov čítač pre kontrolu rádioaktivity Radex RD1503 PLUS 98
5.6.4 TRACERCO^{TM} Radiačný dozimeter 99
5.6.5 TRACERCO^{TM} T401 Radiation Contamination Monitor 100
5.6.6 Fluke 481 - Merač rádioaktívneho žiarenia 101
5.6.7. Intenzimeter IT- 65 102
5.6.8 Prístroj pre radiačný prieskum MKS-U 104
5.6.9 Prístroj pre radiačný prieskum MKS-U Fire 105
5.6.10 Detekčná jednotka DRG-T 106
5.6.11 Analyzátor FoodTester-G 106
5.6.12 SPECTRA (MKS-11) 107
5.6.13 STORA-TU (RKS-01) 108
5.6.14 POSHUK (MKS-07) 109
5.6.15 CADMIUM Search (DKS-02PN) 110
5.6.16 aGent-R 110
5.6.17 Ďalšie prístroje pre monitoring ionizujúceho žiarenia 111

Záver 112

Literatúra 113

Úvod

Pomerne často môžeme počuť o rôznych nebezpečenstvách, ktoré nám hrozia. Jedným z nich je nebezpečenstvo vysokej rádioaktivity. Predovšetkým pri uvádzaní jadrových elektrární do prevádzky sa zdôrazňuje vplyv tohto rizika. Vieme však, prečo je rádioaktivita nebezpečná? Odkiaľ sa berie, a čo to vlastne je? A či sa s ňou dá žiť?

Azda najčastejším nedorozumením spojeným s rádioaktivitou je to, že rádioaktivitu chápeme ako pomerne nový jav, ktorý súvisí s činnosťou ľudí. Rádioaktivita však bola na Zemi už dávno predtým, ako sa tu objavili ľudia. A samozrejme aj počas celého ich vývoja. Je súčasťou nášho okolia rovnako ako Slnko či dážď. Rádioaktívny rozpad uránu tak intenzívne zohrieva vnútro našej Zeme, že toto je až roztavené.

Veľmi nebezpečné sú aj tie rádioaktívne prvky, čo sa môžu zabudovať do živých organizmov. Najznámejšie je asi stroncium, ktoré je chemicky podobné vápniku. Rádioaktívnym spádom sa dostáva na trávu, po jej spasení kravou sa dostáva do mlieka, a napokon do človeka. Hlavne u detí môže spôsobiť rakovinu kosti alebo leukémiu.

A aké sú v súčasnosti možnosti pre jadrový terorizmus ?

Jadrový terorizmus môže mať mnoho podôb. Najjednoduchšou možnosťou by bolo vypustenie rádioaktívneho materiálu v husto obývaných oblastiach.

V roku 1987 blízko brazílskeho mesta Goiania sa vlámalo niekoľko zberateľov železného šrotu do opustenej rádiologickej nemocnice a odnieslo nádobu s vysoko rádioaktívnym céziom. V nasledujúcich týždňoch niekoľko ľudí zomrelo, mnoho ďalších utrpelo vážne zdravotné problémy a niekoľko kontaminovaných budov bolo treba zdemolovať.

Prípad v Goianii bol nehodou, nie teroristickým činom. Ale naznačuje, čo by sa mohlo stať, keby teroristi mali k dispozícii rádioaktívny materiál. Vzhľadom na významný objem takéhoto materiálu, ktorý zmizol z nemocníc, elektrární atď., niektorí experti si myslia, že isté teroristické skupiny by už mohli disponovať dostatočným množstvom materiálu na vykonanie podobného útoku.

Podľa AP pašeráci chcú predať rádioaktívny materiál teroristom.

Úrady vo východoeurópskom Moldavsku v spolupráci s americkým FBI prekazili za posledných päť rokov štyri pokusy gangov s podozrivými kontaktmi na Rusko, keď chceli predať rádioaktívny materiál extrémistom z Blízkeho východu. O prípadoch sa dozvedela a v stredu informovala tlačová agentúra AP.

Najnovší prípad sa stal tento rok vo februári, keď pašerák ponúkal obrovské zásoby smrtiaceho cézia – ktoré by dokázalo zamoriť niekoľko mestských blokov budov – a hľadal kupujúceho konkrétne z Islamského štátu (IS).

Zločinecké organizácie, niektoré napojené na ruskú tajnú službu – nástupkyňu KGB, pôsobia na prekvitajúcom čiernom trhu s jadrovými materiálmi v malom, chudobnom Moldavsku, ako uviedli tamojší vyšetrovatelia.

Spomínaný štvrtý prípad sa stal začiatkom tohto roka v exkluzívnom tanečnom klube v Moldavsku: dvaja muži uzavreli dohodu o predaji vysoko rádioaktívneho materiálu extrémistickej organizácii Islamský štát (IS). Predávajúci žiadal 2,5 milióna eur za cézium dostatočne rádioaktívne na to, aby zamorilo niekoľko mestských blokov.

„Dá sa z toho vyrobiť špinavá bomba, ktorá by sa dokonale hodila Islamskému štátu," povedal pašerák. Lenže kupujúcim bol nasadený policajný agent a išlo o tajnú operáciu amerického Federálneho úradu pre vyšetrovanie (FBI) – keď sa skončila, za mrežami sa nachádzali traja ľudia.

Moldavské policajné a justičné úrady sa o výsledky vyšetrovania podelili aj s agentúrou AP, aby upozornili, že čierny trh s jadrovým materiálom je čoraz nebezpečnejší a že prípady budú zrejme pribúdať. Zdôraznili tiež, že narušenie spolupráce medzi Ruskom a Západom sťažuje vyšetrovanie.

Hoci Moldavci zatkli dôležitých podozrivých a stiahli nebezpečné materiály z trhu, ich úspech zatienili zvláštne nedostatky – kľúčoví podozriví ušli, zatknutí nedostali dlhé tresty odňatia slobody a v niektorých prípadoch sa dokonca vrátili k pašovaniu jadrového materiálu.

Napriek odhodlanému úsiliu dostať pod kontrolu nelegálne obchodovanie s rádioaktívnymi materiálmi vo svete tieto prípady ukazujú, že čierny trh s jadrovým materiálom nie je ani zďaleka pod kontrolou, napísala agentúra AP.

Zdroj: SITA | 07.10.2015 07:24

Ďalšou teoretickou možnosťou by bol útok na jadrovú elektráreň. Od roku 1972, keď únoscovia amerického civilného lietadla pohrozili jeho zrútením na jadrový reaktor v Tennessee, tento scenár nadobudol značnú dôveryhodnosť. A 11. september ďalej podčiarkol toto riziko.

Ďalším možným scenárom je použitie tzv. rádiologickej "špinavej bomby", v ktorej sa zmieša neštiepny, ale vysoko rádioaktívny materiál s konvenčnou výbušninou, napr. TNT. Výbuch rádioaktívny materiál rozšíri a spôsobí pomerne nízky počet obetí, ale čo je závažné, kontaminuje rozsiahle územie. Keby takáto bomba vybuchla vo veľkom meste, dlhodobé účinky radiácie by spôsobili celé časti mesta neobývateľnými, čím by spôsobili ohromné hospodárske škody.

V skriptách sú rozpracované len niektoré nebezpečné zdroje rádioaktívnej kontaminácie ako napríklad ^{60}Co, ^{90}Sr (^{90}Y), ^{99m} Tc, ^{131}I, ^{137}Cs (^{137m} Ba), ^{192}Ir, ^{210}Po, ^{239}Pu, ^{252}Cf, ^{235}U, ^{243}A, a to pre pomerne veľkú rozsiahlosť rádioaktívnych materiálov.

Autor

1. Základné pojmy

Prvok – presnejšie chemický prvok, je látka, ktorej atómy (respektíve ich jadrá) majú rovnaké protónové číslo.

Atómové jadro – je kladne nabitá vnútorná časť atómu, obsahujúca až 99,9 % hmotnosti atómu. Pozostáva z nukleónov – protónov (kladne nabitých) a neutrónov (bez náboja). Hmotnosť protónu je 1,672 648.10^{-27} kg. Hmotnosť neutrónu je o niečo väčšia - 1,674 954.10^{-27}.kg. Obidva údaje sú pokojové hmotnosti daných častíc.

Protónové číslo Z – (predtým atómové číslo) určuje počet protónov v jadre.

Nukleónové číslo A – (predtým hmotnostné číslo), určuje počet nukleónov (protónov a neutrónov) v jadre, niekedy sa okrem toho uvádza aj neutrónové číslo N = A - Z, ktoré udáva počet neutrónov.

Rádioaktivita – je dej, pri ktorom sa jadro atómu mení za vzniku lúčov alebo častíc – rádioaktívneho žiarenia – pričom sa zvyčajne vytvorí jadro iného prvku. Je výsledkom spontánneho rozpadu nestabilných atómových jadier. Nemajú na ňu vplyv chemické procesy, tlak, teplota ani pôsobenie elektrického poľa.

Prirodzená rádioaktivita – je rádioaktivita prvkov, ktoré sa nachádzajú v prírode a je vyvolaná prirodzenou nestabilitou jadier. Tu môžeme započítať aj rádioaktivitu, ktorá k nám prichádza v podobe kozmického žiarenia.

Umelá rádioaktivita – je rádioaktivita umelo vytvorených jadier atómu. Umelé rádioizotopy sa získavajú pri bombardovaní nerádioaktívnych izotopov urýchlenými časticami alebo ožarovaním neutrónovými lúčmi najčastejšie v jadrových reaktoroch. Niektoré spôsoby rádioaktívneho rozpadu sa vyskytujú len pri umelo vytvorených rádioizotopoch.

Rádioaktívna látka je každá látka, ktorá obsahuje jeden alebo viac **rádionuklidov**, ktorých aktivita alebo hmotnostná aktivita, alebo objemová aktivita **nie je z hľadiska radiačnej ochrany zanedbateľná**.

Rádioaktívny materiál – je pevná alebo kvapalná látka alebo predmet obsahujúci rádionuklidy, môže byť nim rádionuklidový žiarič, jadrový materiál alebo materiál typu NORM.

Jadrové materiály – sú prírodný urán, ochudobnený urán, tórium, obohatený urán, ^{239}Pu, ^{233}U.

NORM – medzinárodne používaná skratka pre rádioaktívne materiály prírodného pôvodu (naturally occurred radioactive material).

Záchyt rádioaktívneho materiálu – označuje odhalenie výskytu rádioaktívneho materiálu alebo podozrenie na jeho výskyt pri preprave tovaru cez monitorované miesto napr. hraničné prechody.

Nález rádioaktívneho materiálu – znamená odhalenie výskytu rádioaktívneho materiálu alebo podozrenie na jeho výskyt na ľubovoľnom mieste v životnom prostredí.

Nuklid – látka, ktorej všetky atómy majú jadrá s rovnakým *protónovým* a tiež rovnakým *nukleónovým* číslom.

Rádionuklid – je nestabilný nuklid, ktorý sa premieňa niektorým typom rádioaktívnej premeny.

Rádioizotop (rádioaktívny izotop) – všeobecný termín pre rádioaktívnu látku. Je len niekoľko prirodzene sa vyskytujúcich rádioizotopov, napr.: uhlík – 14 ostatné rádioizotopy sú umelo pripravené rôznymi spôsobmi.

Nukleóny – sú protóny a neutróny.

Izotopy – sú nuklidy s rovnakým *Z* a odlišným *N*.

Izotony – sú *nuklidy* ktoré majú zhodné *neutrónové číslo* a líšia sa *nukleónovým* (a tiež *protónovým) číslom.*

Izobary – sú *nuklidy,* **ktoré majú zhodné *nukleónové číslo a* líšia sa *protónovým* (a tiež *neutrónovým) číslom.***

Izodiafry – sú *nuklidy,* kde *počet protónov* a *neutrónov* sa odlišuje vždy o pevné číslo I = konštanta (N-Z = I) a volá sa *izotopické číslo*.

Rádioaktívne žiarenie – dej pri ktorom nastáva samovoľná premena atómov za súčasnej emisie žiarenia sa volá prírodná rádioaktivita a sprievodné žiarenie je rádioaktívne žiarenie.

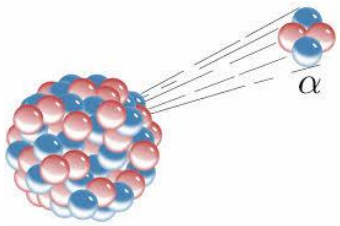
Rádioaktívny žiarič – je rádioaktívna látka, ktorej **aktivita a hmotnostná aktivita** presahujú hodnoty aktivity a hmotnostnej aktivity uvedené v prílohe č. 2 v tabuľke č. 1. Nariadenia vlády 345/2006 Z. z. SR z 10. mája 2006 o základných bezpečnostných požiadavkách na ochranu zdravia pracovníkov a obyvateľov pred ionizujúcim žiarením.

Rádioaktívna látka je **rádioaktívny žiarič** ak obsahuje:

a) jeden rádionuklid, ktorého **aktivita** a súčasne **hmotnostná aktivita** sú väčšie ako hodnoty aktivity a hmotnostnej aktivity uvedené v legislatíve, alebo

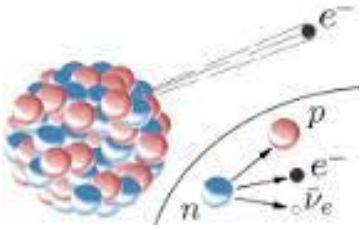
b) niekoľko rádionuklidov, ktorých súčet podielov **aktivít** a hodnôt aktivít uvedených v legislatíve a súčasne súčet podielov **hmotnostných aktivít** a hodnôt hmotnostných aktivít uvedených vo Vyhláške je väčší ako jeden.

Žiarenie α – je prúd jadier hélia (α - častíc) ktoré sa pohybujú rýchlosťou 20 000 $km.s^{-1}$ a nesie kladný elektrický náboj, má najkratší dosah (zastaví ho napr. i list papiera). Alfa častice sú vysielané z jadra rýchlosťou 1.10^7 až 2.10^7 $m.s^{-1}$ pri vysielaní energie 2- 8 M_eV.



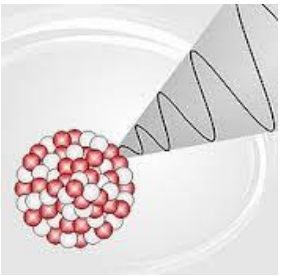
Obr.1 Žiarenie α

Žiarenie β – je prúd záporne nabitých elektrónov, ktoré sa pohybujú rýchlosťou 280 000 km.s^{-1}. Niekedy sa rozlišuje žiarenie β− (elektróny) a β^{+} (kladne nabité pozitróny), zachytí ho 1 cm plexiskla alebo 1 mm olova.
Pri β− rozpade sa β− častice (elektróny) uvoľňujú z neutrónu v jadre rozpadajúceho sa prvku. Neutrón v jadre sa mení na elektrón e−, ktorý emituje z jadra (nemá tam čo hľadať) a protón, ktorý v jadre ostáva. β− premena je charakteristická pre prvky s nadbytkom neutrónov.
Rozpad β^{+} je charakteristický pre jadrá s nadbytkom protónov. Pri tejto premene sa protón v jadre mení na pozitrón e+, ktorý sa z jadra vyžiari a neutrón.



Obr.2 β− žiarenie

Žiarenie γ – je elektromagnetické žiarenie vysokej frekvencie, resp. prúd veľmi energetických fotónov s vlnovou dĺžkou (10 $^{-11}$ až 10^{-13} m).
Nemá elektrický náboj, a preto nereaguje na elektrické pole. Jeho prenikavosť je veľmi vysoká, pre zatienenie sa používajú veľmi tlsté štíty z kovov veľkej hustoty (napr. olovo) alebo zliatin kovov veľkej hustoty. Platí, že čím vyššia hustota a hrúbka štítu, tým viac je žiarenie zatienené. Tvorí ho prúd fotónov (častíc bez náboja), ktoré sa pohybujú približne rýchlosťou svetla 300 000 km. s $^{-1}$). Zvyčajne sprevádza žiarenie β a niekedy aj α.



Obr.3 Žiarenie γ

Neutrónové žiarenie – je prúd neutrónov. Nemá elektrický náboj, pohltí ho hrubá vrstva vody alebo betónu.

Jadrové reakcie – jadrová reakcia je jadrovou premenou, ktorá je vyvolaná vonkajším zásahom - spravidla interakciou s ďalšou časticou (napr. ľahké jadro, protón, neutrón, fotón).

Existujú dva druhy jadrových reakcií – štiepenie jadra a fúzia jadier. Obidve reakcie uvoľňujú väzbovú energiu, ktorá drží atómové jadro pospolu. Atómy sa nazývajú stabilné ak je ich väzbová energia kladná a nestabilná ak je ich väzbová energia záporná a pri rozpade sa uvoľňuje.

Jadrové štiepenie – ak zasiahne neutrón jadro nestabilného uránu ^{235}U, jadro sa rozštiepi na dva ľahšie jadrá. Súčasne sa uvoľnia tri nové neutróny a energia. Nové uvoľnené neutróny bombardujú ostatné jadrá, čím vzniká reťazová jadrová reakcia.

Reťazová reakcia – je sled na seba nadväzujúcich jadrových reakcií rovnakého typu, u ktorých časť produktov (častíc) uvoľnených pri predchádzajúcej jadrovej reakcii vstupuje opäť do reakcie s ďalšími jadrami.

Štiepna jadrová reakcia – je jadrovou reakciou, pri ktorej dochádza k rozdeleniu (t.j. rozštiepeniu) pôvodného atómového jadra na najmenej dve častice alebo nové ľahšie jadrá, tzv. fragmenty – štiepne produkty a uvoľňujú sa i iné elementárne častice napríklad neutróny

Jadrová fúzia (syntéza) – ide o jadrovú reakciu, pri ktorej sa spájajú atómové jadrá ľahších prvkov, čím vznikne nové, ťažšie jadro. Vďaka tomu sa uvoľňuje veľké množstvo energie. Na slnku sa spájajú dve jadrá vodíka a vzniká jadro hélia. Uvedená reakcia je zdrojom slnečnej energie. Vedci dúfajú, že nájdu bezpečný spôsob, ako jadrovú fúziu uskutočniť na Zemi.

Rozpad – je štiepenie nestabilného jadra na dve časti, obvyklé iné jadro a alfa alebo beta častice. Atómové číslo sa zmení, takže je vytvorený atóm nového prvku. Ak vznikne stabilný atóm ďalší rozpad sa neuskutoční. V prípade vzniku nestabilného atómu proces rozpadu pokračuje – ako rozpadový rad – až pokiaľ sa nevytvorí stabilný atóm.

Rádioaktívny rozpad – je proces série rozpadov (rozpadový rad) jadra rádioaktívneho prvku. Konečný výsledok je vznik nového stabilného atómového jadra.

Rozpadový rad (rádioaktívny rad) – séria štiepení, spojená s rozpadom rádioaktívneho prvku na iné prvky, až pokiaľ novovzniknuté atómy prvkov nie sú stabilné.

Rozpadové rady:

- tóriový,
- uránový (rádiový),
- neptúniový,
- aktíniový.

Polčas rozpadu – čas, za ktorý sa rozpadne práve polovičné množstvo atómov rádioaktívneho prvku. Hodnota radiačnej emisie klesne na polovicu. Doba rozpadu sa mení v širšom rozmedzí, napr.: ^{238}urán má polčas rozpadu 4,5 miliardy rokov, zatiaľ čo rádium ^{221}Ra iba 30 sekúnd.

Aktivita – rýchlosť rádioaktívnej premeny charakterizuje aktivita A. Je to počet rádioaktívnych rozpadov za jednotku času v danom množstve rádioaktívnej látky. Jednotkou aktivity je *becquerel*. Jeden *becquerel* (Bq) predstavuje jeden rozpad za sekundu.

Jadrová sila – drží pohromade nukleóny. Musí prekonať elektrostatické odpudzovanie protónov. Je krátko dosahová (to sa dá nahliadnuť z väzbovej energie) s dosahom asi jednej protónovej vrstvy (1 fm). Je prejavom silnej interakcie ktorá viaže kvarky v nukleónoch.

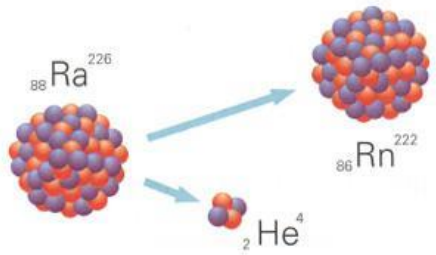
Väzbová energia Q – je energia, ktorú treba jadru dodať, aby sme ho rozobrali na protóny a neutróny.

Absorbovaná dávka D – je energia pohltená jednotkou hmotnosti, jednotka 1 J. kg^{-1} = 1gray (Gy).

Posunové pravidlá – vyjadrujú zmenu poradového čísla prvku v PSP pri ich rádioaktívnej premene. Pri rádioaktívnej premene atómov sa menia niektoré ich vlastnosti a konštanty. Väčšinou sa mení aj chemický charakter pôvodnej látky. Zmena poradového čísla prvku sa prejaví posunom jeho polohy v periodickej sústave prvkov. Týkajú sa len alfa, beta a gama premien.

Rádioaktívna premena jadra – spontánne jadrové premeny sú exotermické procesy a ich základné formy sú *alfa*, *beta* a *gama* rádioaktívne premeny jadra. Rádioaktívna premena sa tiež označuje ako rádioaktívna transmutácia.

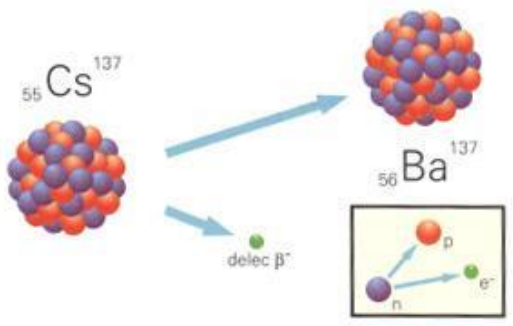
Premena α – Premena alfa je rádioaktívna premena nuklidov, pri ktorej jadrá vysielajú častice alfa, t. j. jadrá atómov $^{4}{}_{2}He$. Alfa rozpad je charakteristickou vlastnosťou nestálych atómových jadier s vysokým protónovým číslom.



Obr.4 Príklad premeny α

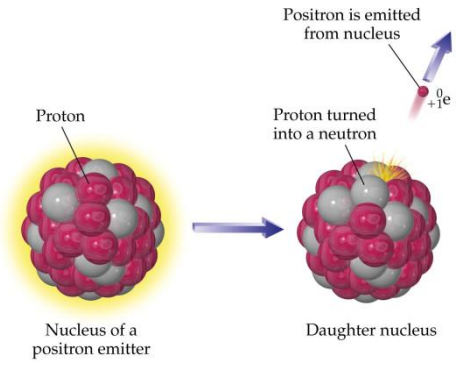
Premena β – Premena beta je rádioaktívna premena atómov, pri ktorej sa nemení počet nukleónov v jadre atómu, ale o jednotku sa mení počet protónov. Najznámejšie sú tri druhy rozpadu beta:

a) Rozpad beta mínus (β−) predstavuje premenu, pri ktorej sa neutrón v jadre premení na protón, pričom sa vyžiari častica β − (elektrón −e) a elektrónové antineutríno ν(ný).



Obr.5 Rozpad β−

b) Rozpad beta plus (β+) znamená, že v jadre sa uskutoční premena protónu na neutrón a vyžiari sa častica β+(pozitrón +e) a neutríno ν(ný).



Obr.6 Rozpad β+

c) Zachytenie elektrónu z elektrónového obalu, tzv. elektrónové zachytenie (niekedy nazývaný tiež ako inverzný beta rozpad) znamená premenu, pri ktorej jadro atómu strhne (zachytí) elektrón z elektrónovej sféry, (najčastejšie zo sféry K), pričom protón v jadre sa premení na neutrón a v súlade so zákonom zachovania energie sa vyžiari elektrónové neutríno.

Gama premena (γ) – je nestabilita, ako dôsledok elektromagnetického pôsobenia. Gama žiarenie je prúd fotónov s veľkou energiou a spravidla sprevádza alfa a beta rozpad. Pri gama rozpade jadro prechádza zo vzbudeného stavu do stavu základného, pri súčasnom vyžiarení fotónov elektromagnetického žiarenia, t.j. kvánt gama. Vyslaným fotónom gama sa zníži energia vybudeného jadra.

Premena gama je teda samovoľná premena atómov, pri ktorej sa nemení hmotnostné ani protónové číslo.

Excitovaný stav jadra – je to stav atómu alebo atómového jadra s vyšším energetickým stavom ako je základný energetický stav daného atómu. Tento prebytok energie sa obyčajne uvoľňuje vo forme elektromagnetického žiarenia.

Životnosť excitovaného jadra – priemerná životnosť excitovaného stavu atómového jadra býva extrémne krátka, 10^{-13} až 10^{-14} sekundy preto gama fotón sa vyžiari súčasne s jeho alfa alebo beta premenou.

Jadrový reaktor – je zariadenie, ktoré slúži na spustenie a riadenie jadrovej reťazovej reakcie. Jadrové reaktory sú používané v atómových elektrárňach, ale aj ako pohon plavidiel. Niektoré reaktory sa používajú na produkciu izotopov pre lekárske a priemyselné použitie, alebo na produkciu plutónia, ktoré sa používa na vojenské účely. Niektoré reaktory slúžia iba na výskumné účely.

Jadrové palivo – palivové články (obohatený ^{235}U, neobohatený ^{238}U), ^{235}U sa nazýva štiepnym (energetickým) materiálom - zachytením neutrónu dochádza k rozštiepeniu na dve časti. ^{238}U sa nazýva množivý materiál - zachytením neutrónu nedochádza k rozštiepeniu, atómové číslo sa zvyšuje a následnými rádioaktívnymi premenami jadro prechádza na Pu, ktorý sa využíva najmä na vojenské účely.

Palivový cyklus – je zložitý technologický proces zaobchádzania s jadrovým palivom od ťažby uránovej rudy až po uloženie vyhoreného jadrového paliva.

Ionizujúce žiarenie (IŽ) – ionizujúcim žiarením nazývame také žiarenie, ktorého kvantá majú tak vysokú energiu, že sú schopné vyrážať elektróny z atómového obalu a tým danú látku ionizovať.

Zdroj ionizujúceho žiarenia – je rádioaktívna látka, prístroj alebo zariadenie schopné emitovať ionizujúce žiarenie alebo produkovať rádioaktívne látky.

Prírodný zdroj ionizujúceho žiarenia – je zdroj IŽ prírodného zemského alebo kozmického pôvodu.

Umelý zdroj ionizujúceho žiarenia – je zdroj IŽ iný ako prírodný zdroj ionizujúceho žiarenia.

Uzavretý rádioaktívny žiarič – je rádioaktívny žiarič, ktorého konštrukcia zabezpečuje tesnosť a ktorý za podmienok bežného používania vylučuje únik rádioaktívnych látok zo zdroja ionizujúceho žiarenia.

Otvorený rádioaktívny žiarič – je rádioaktívny žiarič, ktorý nespĺňa podmienky uzavretého rádioaktívneho žiariča.

Ožiarenie – je vystavenie pôsobeniu ionizujúceho žiarenia.

Radiačná ochrana je ochrana ľudí a životného prostredia pred ožiarením a pred jeho účinkami vrátane prostriedkov na jej dosiahnutie.

Jadrová bomba – skladá sa z dvoch alebo viacerých spočiatku od seba oddelených kusov čistého štiepneho materiálu (^{235}U alebo ^{239}Pu) v podkritickom množstve. Pomocou vyvolanej explózie (pomocou zvyšných častí bomby nazývaných „konvenčná trhavina“ a „zariadenie na vyvolanie jadrovej nálože“) sa tieto kusy spoja do jedného celku, čím sa dosiahne nadkritické množstvo a lavínovitou reakciou sa vyvolá atómový výbuch.

^{235}Urán sa vyskytuje v prirodzenom uráne na 0,71 %, preto sa musí vyrábať v špeciálnych zariadeniach. ^{239}Plutónium sa získava v špeciálnych reaktoroch. Vyššie spomenuté kritické množstvo je pri 100% ^{235}uráne 10-15 kg, pri 100 % plutónia 5- 6 kg (čo je guľa s polomerom 4 cm).

Špinavá bomba alebo **rádiologická zbraň** – je zbraň, ktorá spôsobuje zamorenie územia rozmetaním či rozprášením rádioaktívnych látok klasickou výbušninou alebo iným spôsobom. Jej účinok ako zbrane hromadného ničenia, je založený skôr na panike z choroby z ožiarenia a chaose pri evakuácii zo zamoreného

prostredia ako na samotnom výbuchu, ktorý sotva spôsobí väčšie priame škody ako výbuch klasickej nálože.

Tab. 1 Niektoré rádioaktívne látky vhodné na výrobu špinavej bomby

Izotop	Zvyčajné použitie
^{244}Plutónium	univerzity, nukleárne inžinierstvo, nukleárna fyzika
^{243}Amerícium	univerzity, detektory dymu, zariadenia pre hľadanie naftových ložísk, naftové vrty
^{137}Cézium	ožarovače potravín, sterilizácia zdravotníckeho vybavenia, liečba rakoviny
^{60}Kobalt	dezinfekcia potravín, sterilizácia zdravotníckeho vybavenia, liečba rakoviny
^{90}Stroncium	termoelektrické generátory
Urán	jadrové elektrárne, reaktory ponoriek

Veľmi nákladná však môže byť asanácia územia zasiahnutého rádioaktívnymi látkami, pretože môže mať veľmi veľký rozsah. Výbušná špinavá bomba sa skladá z nálože konvenčnej trhaviny a rádioaktívneho materiálu (napríklad vyhorené palivo z jadrovej elektrárne).

Ide o zbraň, ktorá sa dá zostrojiť relatívne ľahko, pokiaľ sa teroristi zmocnia rádioaktívneho materiálu – pričom vôbec nemusí ísť priamo o veľmi dobre kontrolovaný a strážený štiepny materiál. Preto panuje obava, že sa môže stať zbraňou predovšetkým teroristov. V roku 1995 čečenskí teroristi umiestnili, ale neodpálili bombu z dynamitu a cézia 137 v Moskovskom parku Izmailovsky.

Rádioaktívne odpady –sú rádioaktívnym materiálom v plynnej, kvapalnej alebo pevnej forme, ktoré už nebudú použité, a ktoré sú sledované dozorným orgánom podľa národnej legislatívy.

2. Základné legislatívne normy SR a rádioaktívny materiál

a) Zákon č. 541/2004 Z. z. o mierovom využívaní jadrovej energie (atómový zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov

Tento zákon mimo iné upravuje:

a) podmienky mierového využívania jadrovej energie,

b) podmienky výkonu štátnej správy, podmienky výkonu štátneho dozoru a pôsobnosť Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky (ďalej len „úrad“)

1. v oblasti jadrovej bezpečnosti jadrových zariadení,

2. pri mierovom využívaní jadrovej energie,

3. pri preprave rádioaktívneho materiálu,

4. pri fyzickej ochrane jadrových zariadení, jadrových materiálov, vyhoretého jadrového paliva,

5. pri fyzickej ochrane pri preprave rádioaktívneho materiálu a

6. pri havarijnom plánovaní,

c) kategorizáciu jadrových materiálov, podmienky nakladania s jadrovými materiálmi,

d) podmienky zodpovedného a bezpečného nakladania s rádioaktívnym odpadom a s vyhoretým jadrovým palivom tak, aby sa zabránilo neprimeranému zaťaženiu budúcich generácií a zabezpečovala sa ochrana pracovníkov**)** a verejnosti aj za splnenia podmienok podľa osobitných predpisov,
e) podmienky sústavného zvyšovania úrovne jadrovej bezpečnosti aj za splnenia podmienok podľa osobitných predpisov,**)**
f) podmienky overovania osobitnej odbornej spôsobilosti zamestnancov držiteľov povolení podľa § 5 ods. 3 a odbornej spôsobilosti zamestnancov držiteľov povolení podľa § 5 ods. 3,
g) systém havarijnej pripravenosti,
h) zodpovednosť za škodu spôsobenú jadrovou udalosťou,
i) práva a povinnosti fyzických osôb a právnických osôb pri mierovom využívaní jadrovej energie,
j) priestupky a iné správne delikty na úseku jadrového dozoru.

b) Vyhláška 57/2006 Z. z. Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky z 12. januára 2006, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách pri preprave rádioaktívnych materiálov.

Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky (ďalej len „úrad“) podľa § 15 ods. 4 a 14 zákona č. 541/2004 Z. z. o mierovom využívaní jadrovej energie (atómový zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov (ďalej len „zákon“) ustanovuje mimo iné v ods. 4:
(4) Rádioaktívnym materiálom s nízkou mernou aktivitou (ďalej len „rádioaktívny materiál NMA“) je materiál patriaci do jednej z týchto troch skupín:
a) rádioaktívnym materiálom NMA-I je
1. pevný neožiarený prírodný alebo ochudobnený urán alebo prírodné tórium, alebo ich pevné alebo kvapalné zlúčeniny alebo zmesi, alebo
2. rádioaktívny odpad obsahujúci rádionuklidy, pre ktoré je hodnota A_2 podľa prílohy č. 3 neobmedzená, alebo
3. rádioaktívny odpad, v ktorom je aktivita rozptýlená v celom objeme a odhadnutá priemerná merná aktivita nepresahuje 30-násobok limitnej mernej aktivity určenej podľa prílohy č. 3,
b) rádioaktívnym materiálom NMA-II je
1. voda s koncentráciou trícia do 0,8 $TBq.l^{-1}$ alebo
2. iný rádioaktívny materiál, v ktorom je aktivita rozptýlená v celom objeme a odhadnutá priemerná merná aktivita nepresahuje 10^{-4} $A_2.g^{-1}$ pre pevné látky a plyny a 10^{-5} $A_2.g^{-1}$ pre kvapaliny,
c) rádioaktívnym materiálom NMA-III sú pevné látky okrem prachov, v ktorých
1. je rádioaktívny materiál rozptýlený v celom objeme pevnej látky alebo v pevných predmetoch alebo je rovnomerne rozptýlený v kompaktnej spojovacej látke (napríklad betón, bitúmen, keramika a pod.) a
2. je rádioaktívny materiál relatívne nerozpustný alebo je viazaný v relatívne nerozpustnej látke tak, že ani v prípade porušenia obalu by úbytok rádioaktívneho

materiálu z jednej zásielky vylúhovaním vo vode počas siedmich dní nepresiahol hodnotu 0,1 A_2, a

3. odhadnutá priemerná merná aktivita pevnej látky bez tieniaceho materiálu nepresahuje 2 x 10^{-3} $A_2.g^{-1}$.

c) Zákon č. 300/2005 (Trestný zákon). Nedovolená výroba a držanie jadrových materiálov, rádioaktívnych látok, vysoko rizikových chemických látok a vysoko rizikových biologických agensov a toxínov:

§298

(1) Kto bez povolenia vyrobí, dovezie, vyvezie, prevezie, kúpi, predá, vymení, upraví, použije, dá na prepravu alebo inak sebe alebo inému zadováži alebo prechováva jadrový alebo iný obdobný rádioaktívny materiál alebo vysokorizikovú chemickú látku, alebo vysoko rizikový biologický agens alebo toxín, alebo veci určené na ich výrobu, potrestá sa odňatím slobody na jeden rok až päť rokov.

§299

(1) Kto vyrobí, sebe alebo inému zadováži alebo prechováva predmet určený na nedovolenú výrobu jadrovej alebo obdobnej rádioaktívnej látky, alebo vysokorizikovej chemickej látky, alebo vysoko rizikového biologického agensu a toxínu, potrestá sa odňatím slobody na jeden rok až päť rokov.

Tab. 2 Nebezpečné zdroje ionizačného žiarenia

Rádionuklid	**Typ žiarenia**	**T 1/2**	**Aktivita (TBq)**	
			Uzavretý žiarič	Otvorený žiarič
^{60}Co	β, γ	5,27 r	30	30 000
^{90}Sr-90 (^{90}Y)	β	29,1 r	4000	1000
^{99m} Tc	β, γ	6,0 hod.	700	700 00
^{131}I	β, γ	8,0 dní	200	200
^{137}Cs (^{137m} Ba)	β, γ	30,2 r	100	20 000
^{192}Ir	β, γ	73,8 dní	80	20 00
^{210}Po	α	138,4 dní	8000 000	60
^{239}Pu	α, β, γ	2,41E+4 r	1000	60
^{252}Cf	α, γ, n	2,65 r	20	100

d) Zákon NR SR č. 355/2007 Z.z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia

- Tento zákon ustanovuje o.i. výkon štátneho zdravotného dozoru v oblasti radiačnej ochrany
- Povolenie úradu verejného zdravotníctva je potrebné na vykonávanie činností vedúcich k ožiareniu:

a) prevádzka jadrových zariadení a etapy vyraďovania jadrových zariadení,
b) ťažba a spracovanie materiálov....
c) pridávanie rádionuklidov do spotrebných výrobkov ...
d) odber, skladovanie a používanie zdrojov ionizujúceho žiarenia ...
e) ....

e) Nariadenie vlády SR č. 345/2006 Z.z. o základných bezpečnostných požiadavkách na ochranu zdravia pracovníkov a obyvateľov pred ionizujúcim žiarením

Toto nariadenie vlády o. i. ustanovuje

a) základné princípy radiačnej ochrany a požiadavky na obmedzovanie ožiarenia,
b) požiadavky na vymedzovanie a označovanie sledovaných pásem, kontrolovaných pásem a pásem s obmedzeným prístupom, opatrenia na obmedzenie ožiarenia,
c) požiadavky na radiačnú ochranu pri vykonávaní činnosti vedúcej k ožiareniu,
d) požiadavky na zabezpečenie radiačnej ochrany pracovníkov, praktikantov a študentov,
e) požiadavky na monitorovanie,
f) podrobnosti o usmerňovaní ožiarenia zvýšeným prírodným ionizujúcim žiarením
g) požiadavky na obmedzovanie ožiarenia obyvateľstva,

podrobnosti o vykonávaní zásahov.

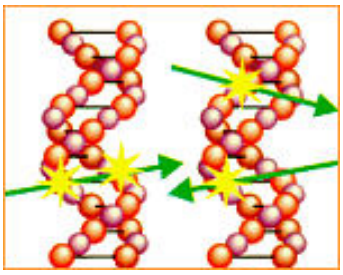
f) VYHLÁŠKA Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 545/2007 Z.z. zo 16. augusta 2007, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na zabezpečenie radiačnej ochrany pri činnostiach vedúcich k ožiareniu a činnostiach dôležitých z hľadiska radiačnej ochrany

a) zabezpečenie kvality radiačnej ochrany,
b) zabezpečenie radiačnej ochrany pri činnostiach vedúcich k ožiareniu,
c) zabezpečenie radiačnej ochrany pri preprave rádioaktívnych žiaričov a rádioaktívnych látok,
d) zabezpečenie radiačnej ochrany pri nakladaní s rádioaktívnymi odpadmi a vyhoretým jadrovým palivom,
e) uvádzanie rádioaktívnych látok do životného prostredia pri činnostiach vedúcich k ožiareniu,
f) zabezpečenie radiačnej ochrany pri činnostiach dôležitých z hľadiska radiačnej ochrany,
g) na odbornú prípravu osôb vykonávajúcich sústavný dozor nad dodržiavaním požiadaviek na zabezpečenie radiačnej ochrany,

h) údaje a informácie, ktoré treba hlásiť do centrálneho registra zdrojov ionizujúceho žiarenia a centrálneho registra dávok,
i) dokumentáciu pri činnostiach vedúcich k ožiareniu.

3. Poškodenie zdravia účinkami ionizujúceho žiarenia

Základnou štrukturálnou a funkčnou jednotkou živých organizmov je bunka, pričom nové bunky vznikajú delením. Bunkové delenie je zložitý proces, charakterizovaný najmä nápadnými zmenami bunkového jadra. Účinky ionizujúceho žiarenia na bunku možno rozdeliť na účinky, ktoré vedú k usmrteniu bunky, a účinky vedúce k zmene jej dedičnej informácie. Dedičná informácia je uložená v bunkovom jadre v chromozómoch, ktoré nesú zakódované vlastnosti v tzv. génoch.



Obr.7 Ionizujúce žiarenie a bunka

Ionizujúce žiarenie môže vyvolať zmeny genetickej informácie bunky - mutácie. Obecne platí, že mimoriadne vysokú citlivosť na ožiarenie vykazujú tie tkanivá, v ktorých prebieha intenzívne bunkové delenie. Orientačne možno zoradiť orgány a tkanivá z hľadiska klesajúcej citlivosti na ožiarenie takto:

- aktívna kostná dreň, pohlavné žľazy, črevo,
- koža, hltan, žalúdok, močový mechúr, očná šošovka,
- jemné cievy, rastúca chrupavka, rastúca kosť,
- zrelá chrupavka, zrelá kosť, dýchacie ústrojenstvo, žľazy zažívacieho ústrojenstva,
- svaly, centrálny nervový systém.

Okrem rozdielov citlivosti medzi jednotlivými druhmi tkanív existujú podstatné rozdiely i medzi jednotlivými druhmi organizmov. Zhruba možno povedať, že čím je organizmus vývojovo nižší, tým je odolnejší voči ionizujúcemu žiareniu.

Pôsobenie patogenetických mechanizmov uplatňujúcich sa pri vzniku a rozvoji somatického alebo genetického poškodenia vplyvom žiarenia vychádza zo štúdie a získaných poznatkov o účinkoch ionizujúceho žiarenia na živý organizmus. Ľudský organizmus je integrovaným súhrnom tkanív s rôznymi biologickými vlastnosťami a parametrami.

Náš organizmus počas celého života prechádza rôznymi fázami rastu a vývoja, to znamená, že odozva na ožiarenie sa môže meniť. Môžeme povedať, že človek patrí k senzitívnym druhom.

Z výsledkov štúdií o pôsobení ionizujúceho žiarenia a následných účinkoch žiarenia na bunku môžeme hovoriť o dvojitom charaktere dôsledkov bunkových zmien.

Ožiarenie spôsobí buď zánik bunky, alebo zmení cytogenetickú informáciu, a to v prípade zachovania schopnosti ďalšieho bunkového delenia.

3.1 Účinky ionizujúceho žiarenia na základe bunkových strát

Ožiarenie organizmu môže vyvolať chorobné zmeny rôzneho charakteru, ktoré sa môžu prejaviť v priebehu niekoľkých dní, týždňov, iné naopak v priebehu rokov až desiatok rokov.

Účinky ionizujúceho žiarenia sa z hľadiska integrovaného organizmu delia na účinky deterministické, kde efekt nastáva zákonite po dosiahnutí určitej dávky žiarenia a stochastické, kde pravdepodobnosť poškodenia stúpa pri zvyšovaní dávky žiarenia.

Účinky deterministické sú podmienené bunkovými stratami v dôležitých bunkových populáciách. Kategória deterministických účinkov predpokladá existenciu prejavov zistených vonkajším pozorovaním. Klinické prejavy deterministických účinkov sú veľmi rozmanité, pretože proces deplecie bunkových populácii sa realizuje v závislostí na geometrii ožiarenia v rôznych častiach tela, to znamená v rôznych tkanivách a orgánoch alebo ich častiach. Môžu sa tu uplatniť reparačné mechanizmy ak je dávka žiarenia rozložená na dlhší časový interval.

Stochastické účinky sa delia na somatické alebo dedičné a to podľa toho, či sa prejavia priamo na ožiarenom jedincovi alebo je postihnutý potomok ožiareného jedinca. Ľudský organizmus toleruje malé bunkové straty, to znamená, ak nie je odpovedajúca funkcia porušená. Ak dosiahne bunková strata určitú kritickú hodnotu, zisťuje sa prítomnosť deterministických účinkov.

3.2 Deterministické účinky (zákonité, pravidelné)

Do tejto kategórie účinkov žiarenia patria akútne poškodenia deterministického typu, ako je napríklad akútna choroba z ožiarenia, akútne poškodenie kože, poškodenie zárodočného epitelu a k neskorým prejavom poškodenia patrí chronická radiačná dermatitída, zákal očnej šošovky, chronické ochorenie z ožiarenia atď.

Z akútneho poškodenia deterministického typu by sme podrobnejšie uviedli akútnu chorobu z ožiarenia. Jej vznik obvykle podmieňuje pôsobenie veľkého vonkajšieho ožiarenia. Ide o komplex patologických zmien v organizme po vystavení organizmu veľkej dávke ionizujúceho ožiarenia.

Charakter ochorenia je závislý na druhu žiarenia, spôsobu expozície atď.

Akútna choroba z ožiarenia prebieha obvykle v štyroch fázach:

-**prvá fáza** - ide o obdobie počiatočných príznakov. Hneď po ožiarení alebo v priebehu niekoľkých hodín sa u postihnutých prejavuje slabosťou, nutkaním na zvracanie, vracaním, smädom, bolesťami hlavy atď. Nie je vylúčená ani porucha vedomia a spánku.

-druhá fáza - obdobie bez klinických príznakov. Ide o fázu ochorenia s rôznou dĺžkou trvania.
Postihnutý buď netrpí žiadnymi príznakmi, alebo príznaky z prvého štádia tohto ochorenia ustupujú. Rozvoj ochorenia však pokračuje.

-tretia fáza - je obdobie plného rozvoja ochorenia. Klinické prejavy v tomto období sú horúčky trvajúce niekoľko dní až týždňov, zápalové zmeny na sliznici v dutine ústnej, prejavy poškodenia tráviaceho traktu, kardiovaskulárne poruchy. Vracanie, hnačky, neskôr so značnou prímesou krvi. Postihnutí prudko strácajú hmotnosť. Toto obdobie trvá dva až tri týždne. Príčinou smrti pri chorobe z ožiarenia môže byť infekcia a sepsa, ťažká anémia, obehové zlyhanie alebo kombinácia akéhokoľvek z uvedených príznakov.

K tomuto ochoreniu parí aj obdobie rekonvalescencie. U postihnutých, ktorí neboli vystavení smrteľnej dávke žiarenia, môže nastúpiť rekonvalescencia. U osoby, ktorá bola vystavená menšej dávke žiarenia, môže nastať dokonca úplné uzdravenie.

K neskorým poškodeniam deterministického typu je treba uviesť chronickú radiačnú dermatitídu, ktorá má dva typy.

Atrofický typ sa prejavuje suchou, tenkou a hladkou pokožkou, poruchami pigmentácie a lámavosťou nechtov. Ak je koža taká krehká, ako je v tomto prípade, často vznikajú trhlinky a neskôr vredy. Hypertrofický typ sa prejavuje zhrubnutím kože. Vzniká pri celkovej lokálnej dávke aspoň 30 – 50 Gy.

3.3 Stochastické účinky (náhodné, pravdepodobné)

Ide o účinky podmienené mutáciami. Patria sem nádory majúce vzťah k mutáciám somatickým a ku gametickým mutáciám majú vzťah zasa dedičné poruchy vyvolané žiarením. Genetická charakteristika človeka je určená pri oplodnení. Spoločným znakom pri obidvoch kategóriách stochastických účinkov
je, že aj v neožiarenej populácii sa nádory a geneticky nepriaznivé prejavy vyskytujú bežne.

Existuje dostatok dôkazov o tom, že pôsobenie ionizujúceho žiarenia na živý organizmus zvyšuje pravdepodobnosť výskytu vyššie uvedených prejavov. Pri posúdení týchto zmien je potrebné poukázať na to, že hodnotíme dávku, ktorej bol človek vystavený na dlhšie časové obdobie. Do tejto skupiny patria nádory vyvolané ionizujúcim žiarením, kde mechanizmy prostredníctvom ionizujúceho žiarenia ovplyvňujú vznik a rozvoj nádorového ochorenia a dedičné dôsledky ožiarenia rodičov.

Stochastické účinky sú teda účinky vyvolané zmenami v genetickej informácii bunky. Pravdepodobnosť účinku rastie s obdržanou dávkou. Predpokladá sa bezprahový lineárny vzťah medzi dávkou a účinkom, avšak táto súčasná hypotéza lineárnej extrapolácie z vysokých na nízke dávky ožiarenia bez akéhokoľvek prahu je stále viac spochybňovaná z rádiobiologických, epidemiologických i sociálnoekonomických a etických dôvodov.

Napriek ohromnému rozsahu údajov neexistuje ani jediný dôkaz, ktorý by potvrdil neexistenciu prahu. Vedecká analýza prínosov a nákladov vychádzajúca zo skutočného radiačného rizika v porovnaní s inými prirodzenými a civilizačnými rizikami by viedla k podstatnému zvýšeniu dovolenej úrovne "umelých" dávok ožiarenia, k veľkému zníženiu nákladov a k širšiemu prijímaniu využitia žiarenia vrátane jadrovej energetiky.

Poškodenie dávkami žiarenia oveľa nižšími, než sú úrovne, pri ktorých sa dajú zistiť akékoľvek účinky, sa nenašlo napriek 40 rokom hľadania. Keď porovnáme zdravie ľudí v lokalite s vyššou radiačnou expozíciou so zdravím ostatných s nižšou úrovňou expozície, žiadne pozorovateľné poškodenie sa nepreukáže.

Navyše existuje rastúci počet dôkazov, ktoré nie je možné ignorovať, že nízke hladiny ožiarenia nie sú len jednoducho neškodné, ale v skutočnosti sú užitočné.

Pri porovnávaní radiačných účinkov vonkajšieho a vnútorného ožiarenia rovnakým zdrojom s rovnakou aktivitou je vnútorné ožiarenie (spôsobené napr. vdychom alebo požitím kontaminovaných látok) nebezpečnejšie ako vonkajšie (napr. priamy dotyk s kontaminovanými látkami).

3.4 Mechanizmus biologického účinku žiarenia

V dôsledku ožiarenia biologického väziva dochádza k pohlcovaniu energie a nastáva ionizácia a excitácia atómov a molekúl ožarovanej látky. Radiačne - chemické a radiačne biologické zmeny môžu byt vyvolané priamym a nepriamym účinkom žiarenia.

Pod priamymi účinkami žiarenia sa rozumie jeho priamy vplyv na štrukturálny útvar organizmu (molekula, bunka, orgán).

Nepriamy účinok je sprostredkovaný funkčnými poruchami spôsobenými mimo postihnutej jednotky (voľnými radikálmi, kyslíkovým efektom a pod.).

Pri priamom účinku ionizujúce častice, ktoré zasiahli jednotlivé atómy molekuly uvoľnia chemické väzby a umožnia rozpad, prípadne inaktiváciu zasiahnutej molekuly. Pri látkach s nízkym obsahom vody je to pravdepodobne hlavný spôsob, ako vzniká poškodenie ožiarením.

Keďže podstatnú časť tela organizmov tvorí voda, prvotné procesy sú v značnej miere určované absorpciou žiarenia vodou nachádzajúcou sa v bunkách. V dôsledku ionizácie molekula vody disociuje, pričom vznikajú agresívne radikály a silné oxidanty typu OH^-, H_2O_2, HO_2, H^+. Vysoká reaktivita radikálov je podmienkou chemických reakcií medzi nimi a aktívnymi skupinami biologicky dôležitých proteínových makromolekúl, nachádzajúcich sa v ich bezprostrednej blízkosti. V týchto reakciách sa realizuje prevažne deštrukcia zložiek biologických látok, čo vedie k zmenám tých metabolických procesov, ktorých sa tieto zložky zúčastňujú.

Biologický účinok žiarenia treba chápať ako súhrn čiastkových dejov prebiehajúcich v určitom časovom slede:

1. excitácia a ionizácia molekúl vody, tvorba molekulového vodíka a peroxidu vodíka, vznik radikálových produktov rádiolýzy vodných sústav, ionizácia a excitácia biomolekúl priamym a nepriamym pôsobením,
2. chemické zmeny, ktoré zapríčinia stratu alebo zmenu špecifických vlastností zasiahnutej molekuly,
3. modifikácia biochemických a fyziologických procesov v latentnej perióde,
4. pozorovateľné zmeny.

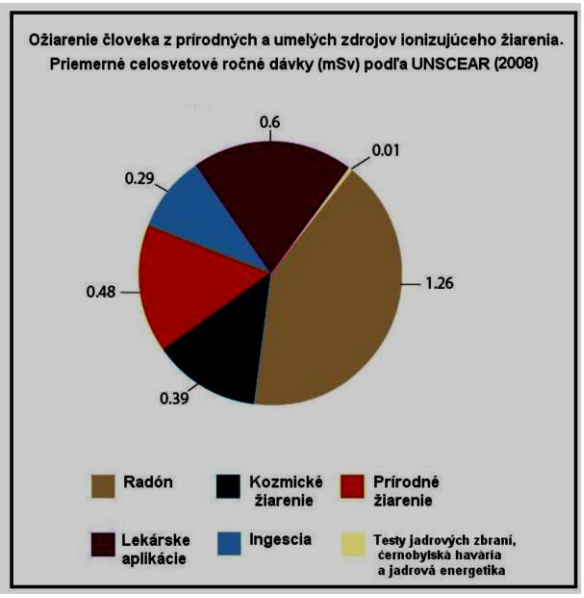
3.5. Základné údaje o rádioaktivite a jej účinkoch na ľudí a životné prostredie podľa správy OSN

Správa výboru OSN pre účinky ionizujúceho žiarenia (UNSCEAR) z roku 2008 udáva priemerné celosvetové ročné efektívne dávky , ktoré v človeku spôsobujú jednotlivé prírodné a umelé zdroje ionizujúceho žiarenia. Sú uvedené na obrázku pod textom.

Celkový ročný priemerný príkon efektívnej dávky zo všetkých prírodných zdrojov je približne 2,4 mSv. Toto odpovedá príkonu dávky 6,5 µSv/deň, respektíve 270 nSv/hod.

Obrázok zobrazuje tiež rozdelenie, ako sa jednotlivé zdroje podieľajú na celkovom ožiarení človeka. Napriek tomu, že sa jedná o priemerné hodnoty, od ktorých sa môžu skutočné hodnoty u rôznych osôb niekoľkonásobne líšiť je treba uvažovať s dvomi skutočnosťami.

Tou prvou je, že ide o veľmi malé dávky žiarenia a druhou je, že celosvetová dávka z umelých zdrojov ionizujúceho žiarenia je podstatne menšia než dávka z prírodných zdrojov, pričom dávka z umelých zdrojov pochádza prevažne z lekárskych aplikácií ionizujúceho žiarenia.



Obr.8 Priemerné celosvetové ročné dávky

Rádioaktívne nuklidy, či už prírodne alebo umelé, spôsobujú podľa svojich vlastností, výskytu a pohybu v jednotlivých zložkách životného prostredia vonkajšie alebo vnútorne ožiarenie.

Vonkajšie ožiarenie spôsobujú zdroje ionizujúceho žiarenia, ktoré sa nachádzajú mimo ožiarenú osobu.

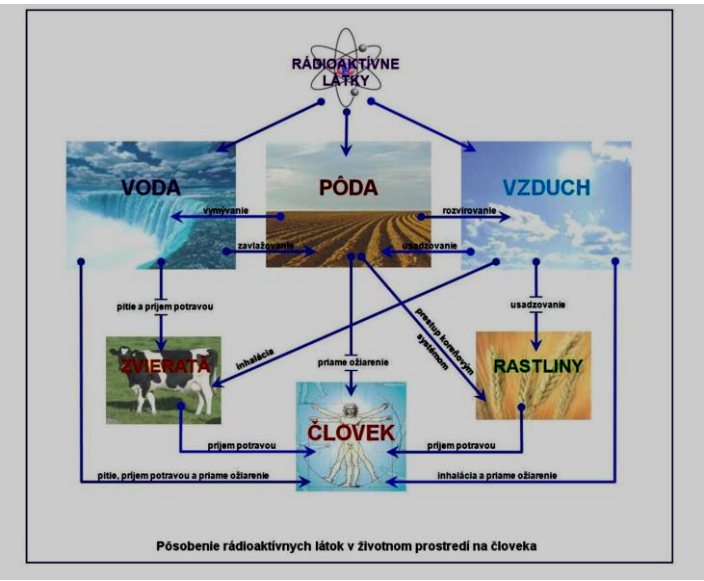
Vnútorne ožiarenie je spôsobené žiarením z rádioaktívnych nuklidov, ktoré sa nachádzajú v ľudskom organizme.

Do ľudského organizmu sa rádioaktívne nuklidy dostávajú za normálnych okolností dýchaním (inhalácia) a príjmom potravy a nápojov (ingescia). Dýchaním sa do tela dostávajú plynné rádioaktívne látky rádioaktívne aerosóly. Z plynných rádioaktívnych látok sa v životnom prostredí vyskytujú rádioaktívne izotopy vzácnych plynov, vodná para (obsahuje $^{1}H^{3}HO$), oxid uhličitý $^{14}CO_2$ a tiež niektoré chemické formy rádioaktívnych izotopov jódu.

Rádioaktívne aerosóly sú malé prachové častice, na ktorých sú zachytené rádioaktívne nuklidy. Pri dýchaní sa aerosólové častice väčšie ako 10 µm zadržujú v horných dýchacích cestách, častice s rozmerom 1-5µm prenikajú do pľúc, kde zostávajú dlhú dobu.

Do potravy sa rádioaktívne nuklidy dostávajú z rastlín a živočíchov (obrázok č.9). Rádioaktivita rastlín pochádza prevažne z pôdy, usadzovanie rádioaktívnych nuklidov na nadzemných častiach rastlín má význam iba pri väčších haváriách jadrových zariadení, v skorších dobách k tomu dochádzalo po nadzemných explóziách jadrových zbraní.

Nuklidy ^{14}C a ^{3}H sú rastlinami prijímané z atmosféry, ostatné rádioaktívne nuklidy sú z pôdnej vody. Niektoré rastliny majú schopnosť hromadiť rádioaktívne nuklidy z primanej vody, podobne aj niektoré živočíchy akumulujú rádioaktívne nuklidy z vody alebo rastlín.



Obr.9 Pôsobenie rádioaktívnych látok v životnom prostredí

Pri vnútornom ožiarení závisí poškodenia hlavne od absorbovanej dávky žiarenia, ktorú rádioaktívny nuklid v organizme vyvolá a tieto opäť na jeho aktivite v konkrétnom orgáne alebo tkanive, prípadne v celom tele. Prírodné rádioaktívne nuklidy (^{40}K, ^{14}C, ^{226}Ra) sú v ľudskom organizme prítomné v približne stálej koncentrácii, pretože sa tu vytvorila rovnováha medzi ich prímom potravou a vylučovaním.

V prípade jednorázového prímu rádioaktívneho nuklidu, k čomu môže dôjsť v prípade neopatrnej manipulácii s rádioaktívnymi látkami a pri haváriách jadrových zariadení, je podstatné to ako rýchlo aktivita klesá od okamžiku príjmu. Pokles aktivity časom je v tomto prípade daný polčasom premeny rádioaktívneho nuklidu (T) a tiež rýchlosťou jeho metabolického vylučovania z organizmu, vyjadrenou biologickým polčasom(T_B). je to doba, po ktorej sa zníži množstvo rádioaktívneho nuklidu metabolickými procesmi na polovicu pôvodného množstva. Celkový úbytok vyjadruje efektívny polčas, definovaný vzťahom $T_{ef}=TT_B/(T+T_B)$. Pri vnútornom ožiarení nedochádza z pravidla k rovnomernému ožiareniu všetkých orgánov, pretože niektoré rádioaktívne nuklidy sa v organizmu nerozptyľujú rovnomerne, ale jednotlivo sa hromadia v určitom orgáne alebo tkanive. Orgán v ktorom rádioaktívny nuklid vyvolá najväčšie ožiarenie, sa nazýva kritický orgán pre konkrétny nuklid. Efektívne polčasy a kritické orgány niekoľkých významných rádioaktívnych nuklidov sú uvedené v tabuľke 3.

Tabuľka 3 : Efektívne polčasy a kritické orgány pre niektoré rádioaktívne nuklidy

Nuklid	**T (poločas premeny)**	**T_{ef} [a]**	**kritický orgán**
^{3}H	12,35 rokov	10-20 dní	celé telo
^{14}C	5736 rokov	35 dní	tukové tkanivo
^{90}Sr	28,1 rokov	15 rokov	kosť
^{131}I	8,05 dní	7,5 dňa	štítna žlaza
^{137}Cs	30 rokov	70 dní	celé telo
^{210}Po	138,4 dní	58 dní	celé telo
^{226}Ra	1620 rokov	45 rokov	kosť
^{239}Pu	24400 rokov	110 rokov	kosť, plúca

Nebezpečenstvo vnútorného ožiarenia vyplýva z toho, že zdroj ionizujúceho žiarenia (rádioaktívny nuklid) sa nachádza v tesnom kontakte s určitým tkanivom. Riziko z vnútorného ožiarenia nie je pre všetky rádioaktívne nuklidy rovnaké.

Závisí na fyzikálnych vlastnostiach nuklidu (druh a energia emitovaného žiarenia, polčas rozpadu), jeho chemickej forme (či je v organizme v rozpustnej alebo nerozpustnej forme) a na jeho biochemických a fyziologických vlastnostiach

(rýchlosť a rozsah vstrebávania v zažívacom trakte, následné ukladanie a vylučovanie).

Tieto vlastnosti určujú rádiotoxicitu nuklidu. Podľa celkového rizika sa rádioaktívne nuklidy rozdelujú do piatich tried, kde najnebezpečnejšia je prvá trieda (tabuľka 4).

Tabuľka 4: Rozdelenie rádioaktívnych nuklidov podľa rádiotoxicity a potenciálneho ohrozenia vonkajším ožiarením.

Trieda	Nuklidy
1	^{60}Co. ^{134}Cs. ^{137}Cs. ^{210}Pb. ^{226}Ra. ^{239}Pu. ^{241}Am
2	^{59}Fe, ^{90}Sr, ^{106}Ru, ^{131}I, ^{210}Po
3	^{123}I, ^{125}I, ^{144}Ce
4	^{14}C, ^{32}P, ^{89}Sr, ^{90}Y, ^{99}Tc
5	^{3}H, ^{45}Ca, ^{147}Pm

3.6 Kvantifikácia rádioaktívneho žiarenia

Rádioaktívne žiarenie charakterizujeme pomocou nasledovných veličín:

Aktivita (A) rádionuklidu udáva počet rozpadov rádioaktívnych jadier za sekundu. Jednotka: Bq (becquerel).

Podľa toho vo vzťahu k čomu aktivitu kvantifikujeme rozlišujeme:

Hmotnostnú aktivitu ($Bq.kg^{-1}$), objemovú aktivitu ($Bq.m^{-3}$) a plošnú aktivitu ($Bq.m^{2}$).

Absorbovaná dávka (D) charakterizuje pôsobenie žiarenia na jeden kg určitej látky.

Jednotka: Gy (gray). 1 gray znamená, že 1 kilogram látky vplyvom ožiarenia prijal energiu 1 joule ($Gy = J.kg^{-1}$).

Dávkový ekvivalent (H) charakterizuje mieru vplyvu rôznych druhov ionizujúceho žiarenia na živé tkanivo/pletivo. Jednotka: Sv (sievert). Závisí od dávky žiarenia (Gy), ktorej bol organizmus vystavený za určitý čas ($Gy.s^{-1}$).

Pri rovnakom množstve absorbovanej energie ľudským organizmom spôsobí α-žiarenie približne 20 násobné poškodenie živého tkaniva v porovnaní s γ-žiarením. Z toho dôvodu sa pri výpočte dávkového ekvivalentu zavádza koeficient biologickej účinnosti (alebo tzv. akostný faktor), Q, čiže $H = D.Q$

Pre γ žiarenie je Q = 1 a pre α žiarenie 20. Napr. pre žiarenie neutrónov s energiami 10 keV; 0,1-2 MeV; 2-20 MeV by bolo Q = 5, 10, 20.

V literatúre je možné sa stretnúť aj s ďalšími jednotkami kvantifikujúcimi rádioaktívne žiarenie 1 rad = 0,01 gray alebo 1 rem = 0,01 Sv.

4. Charakteristika vybraných rádioaktívnych materiálov

4.1 Aktínium

Aktínium (*actinium*) je chemický prvok v Periodickej tabuľke prvkov, ktorý má značku **Ac** a protónové číslo 89. Názov pochádza z gréc. slova *aktinos – lúč*.

Obr.10 Aktínium

Objavené bolo v roku 1899 francúzskym chemikom André-Louis Debierneom v smolinci, nezávisle na ňom ho objavil aj nemec Friedrich Oskar Giesel v roku 1902.

4.1.1 Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti aktínia

Chemické vlastnosti
Názov, značka, protónové číslo aktínium, Ac, 89
Elektronegativita 1,1
Ionizačná energia(e) 1: 499 kJ.mol^{-1} , 2: 1 170 kJ.mol^{-1}
Oxidačné číslo II, **III**
Fyzikálne vlastnosti
Skupenstvo pevné
Hustota 10 kg·dm^{-3}
Teplota topenia 1 323 K (1 049,85 °C)
Teplota varu 3 471 K (3 197,85 °C)

Atómové vlastnosti
Atómová hmotnosť (227) g·mol^{-1}
Elektr. konfigurácia [Rn] 6d^1 7s^2
Atómový polomer 188 pm
Kovalent. polomer 215 pm
Kovový polomer 188 pm

Aktínium je silne rádioaktívny kovový prvok, ktorý nemá žiadny stabilný izotop. V zlúčeninách sa vyskytuje iba v oxidačnom čísle Ac^{+3} a svojím chemickým správaním sa podobá prvkom skupiny lantanoidov.

Aktínium vyžaruje približne 150 krát intenzívnejšie ako rádium a v tme preto vydáva typické modrasté svetlo.

Objavil ho roku 1899 francúzsky chemik André - Louis Debierne v uránovej rude. K hľadaniu nového rádioaktívneho prvku ho nasmerovali P. a M. Curierovi. Nezávisle na ňom objavil tento prvok v Nemecku Fridrich O. Giesel v roku 1902 a nazval ho emanium.

V prírode sa vyskytuje ako ^{227}Ac, okrem toho je známych ďalších 36 izotopov.S polčasom rozpadu cez 21 rokov je izotop ^{227}Ac zároveň aj najstabilnejší, za ním nasledujú ^{225}Ac (10 dní) a ^{225}Ac (29,37 hod). Najmenej stabilný je ^{217}Ac, ktorého polčas rozpadu je len 69 nanosekúnd.

Tabuľka 5: Prehľad vybraných izotopov

Izotop	Výskyt	$t_{1/2}$	Rr	Er (MeV)	Pr
^{225}Ac	synt.	10 d.	α	5,935	^{221}Fr
^{226}Ac	synt.	29,37 h.	β^-	1,117	^{226}Th
^{226}Ac	synt.	29,37 h.	ε	0,640	^{226}Ra
^{226}Ac	synt.	29,37 h.	α	5,536	^{222}Fr
^{227}Ac	100 %	21,773 r.	β^-	0,045	^{227}Th
^{227}Ac	100 %	21,773 r.	α	5,042	^{223}Ra

Legenda

$t_{1/2}$- polčas rozpadu
Rr – typ rozpadu jadra
Er – energia rozpadu
Pr – produkt rozpadu

Predpoklady aktínia k chemickým reakciám

Aktínium sa dobre rozpúšťa v minerálnych kyselinách za vzniku aktinitej soli a vývoja vodíka, výnimku tvorí reakcia aktínia so zriedenou kyselinou dusičnou, pri ktorej sa vodík neuvoľňuje:

$$2\ Ac + 6\ HCl \rightarrow 2\ AcCl_3 + 3\ H_2$$
$$8\ Ac + 30\ HNO_3 \rightarrow 8\ Ac(NO_3)_3 + 3\ N_2O + 15\ H_2O$$

S vodou aktínium ochotne reaguje za vzniku hydroxidu:

$$2Ac + 6\ H_2O \rightarrow 2\ Ac(OH)_3 + 3\ H_2$$

Zvláštnosťou aktínia je jeho pomerne značná neochota k priamemu zlučovaniu s fluórom, reakcia za tvorby fluoridu aktinitého AcF_3 prebieha až za teploty okolo 1350 °C. Ostatné chemické vlastnosti aktínia aj jeho zlúčenín sa najviac podobajú vlastnostiam lantánu a jeho zlúčenín, iba správanie aktínia vo forme bezvodného fosforečnanu $AcPO_4$ sa viac podobá vlastnostiam vápnika.

Príprava aktínia

Príprava aktínia sa vykonáva z ^{226}Ra bombardovaním neutrónmi. Výroba kovového aktínia z prírodných zdrojov sa vykonáva redukciou fluoridu aktinitého AcF_3 parami lítia pri teplote 1100 - 1300 °C.

Rádioaktívne aktínium vyžaruje najprv častice β a premieňa sa na rádioaktínium (RdAc), z ktorého žiarením α vzniká aktínium X (AcX), izotop rádia. Ten sa potom ďalej premieňa úplne obdobne ako rádium, teda najskôr za vzniku plynného produktu (aktíniová emanácia AcEM), z ktorého sa potom vylučujú opäť tuhé rádioaktívne látky (AcA, AcB atď.).

Aktínium nie je vlastným počiatočnom členom tohto rádioaktívneho radu, ale vzniká samo rádioaktívnou premenou izotopu uránu, tzv. aktinouránu. Ako prechodné produkty vystupujú pri tom urán Y a protaktínium. Z protaktínia vzniká

aktínium premenou sprevádzanou žiarením α. Pretože protaktínium má pomernú atómovú hmotnosť 231, vyplýva z toho podľa teórie rádioaktívnej premeny pre protaktínium pomerná atómová hmotnosť 227.

Lúče β vysielané aktíniom sú energeticky veľmi chudobné, meriame zvyčajne jeho rádioaktivitu tak, že zisťujeme, aké množstvo žiarenia α vysielajú produkty jeho premeny po ustanovení rádioaktívnej rovnováhy medzi nimi a aktíniom.

Čisté aktíniové preparáty dnes môžeme pripraviť ľahšie umelo, jadrovými reakciami, než z aktínia prírodného. Ak totiž vystavíme rádium neutrónovému žiareniu atómového reaktora, vytvorí sa z neho aktínium podľa tejto jadrovej reakcie:

$$^{226}\mathrm{Ra} + \text{neutrón} \rightarrow {}^{228}\mathrm{Ra} \xrightarrow{\beta} {}^{227}\mathrm{Ac}$$

Týmto spôsobom pripravil F. Hagemann (1950) 1,3 mg čistého aktínia z 1 g rádia (v podobe $RaBr_2$). Od rádia bolo možné aktínium kvantitatívne oddeliť jeho extrakciou v podobe vnútornej komplexnej soli rozpustnej v benzéne.

Zlúčeniny aktínia

V čistom stave bolo pripravených niekoľko zlúčenín aktínia, väčšinou v množstve niekoľkých miligramov, bola tiež preskúmaná ich štruktúra. Ukázalo sa, že sú rovnakého typu ako obdobné zlúčeniny lantánu. Len bezvodý fosforečnan $AcPO_4$ (na rozdiel od hemihydrátu $AcPO_4.1/2\ H_2O$) bol odlišného typu od obdobné zlúčeniny lantánu.

Halogenidy:

Fluorid aktinitý AcF_3 kryštalizuje v šesťuholníkovej sústave. Je izotypický s LaF_3 a s fluoridmi ostatných vzácnych zemín, ako aj s UF_3, NpF_3 a PuF_3. To isté platí o chloride aktinitom a bromide aktinitom. Oxidofluorid aktinitý AcOF kryštalizuje v kubickej sústave; tvorí mriežku typu kazivca. Naproti tomu má oxidochlorid aktinitý AcOCl štvorcovú vrstevnatú mriežku typu PbFCl.

Chalkogenidy:

Oxid aktinitý Ac_2O_3 kryštalizuje v šesťuholníkovej sústave podľa vzoru oxidu lantanitého.

Sirník aktinitý Ac_2S_3 kryštalizuje v kubickej sústave a je izotypický s La_2S_3 a Ce_2S_3.

Výskyt v prírode

V prírode aktínium vzniká rádioaktívnym rozpadom protaktínia a tória a vyskytuje sa ako nepatrná prímes v uránových rudách. Avšak nie v čistej forme, ale spoločne so železom a lantanoidmi. Známym nerastom aktínia je **vicanit** $(Ca,Ce,La,Th)_{15}As(AsNa)FeSi_6B_4O_{40}F_7$.

4.2 Kobalt

Kobalt (*Cobalt*) je chemický prvok v Periodickej tabuľke prvkov, ktorý má značku Co a protónové číslo 27. Kobalt je feromagnetický, tvrdší a pevnejší ako oceľ a veľmi húževnatý. Chemickými vlastnosťami sa podobá železu a niklu.

Objavil ho v roku 1735 chemik George Brandt. Patrí medzi prechodné prvky, ktoré majú valenčné elektróny v d- sfére. V zlúčeninách sa vyskytuje najmä s mocnosťou Co^{+2} a Co^{+3}, vzácne sa môžeme stretnúť aj s Co^{+1} a Co^{+4}.

V silných minerálnych kyselinách je kobalt rozpustný za vzniku plynného vodíka. Je pomerne stály voči atmosférickej korózii a pôsobeniu vody.

Obr.11 Kobalt

4.2.1 Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti kobaltu

Chemické vlastnosti
Názov, značka, protónové číslo cobalt, Co,27
Elektronegativita 1,88
Ionizačná energia(e) 1: 760,4 $kJ.mol^{-1}$, 2: 1 648 $kJ.mol^{-1}$
3: 3 232 $kJ.mol^{-1}$
Oxidačné číslo **II**, **III**, IV, V

Fyzikálne vlastnosti
Skupenstvo pevné
Farba modrosivá kovová
Hustota 8,90 $kg \cdot dm^{-3}$
Teplota topenia 1 768 K (1 494,85 °C)
Teplota varu 3 200 K (2 926,85 °C)

Atómové vlastnosti
Atómová hmotnosť 58,93 $g \cdot mol^{-1}$
Elektr. konfigurácia [Ar] $3d^7$ $4s^2$
Atómový polomer 125 pm
Kovalent. polomer 126 pm
Kovový polomer 125 pm

Keď sir Robert Walpole, prvý predseda vlády Veľkej Británie, nastupoval do svojho nového úradného sídla, nemohol tušiť, že adresa 10 Downing Street sa stane synonymom britskej vládnej moci. Bolo to 22. septembra 1735 – to bol rok, ktorý bol mimoriadne významným aj pre svetový obchod so surovinami.

V Štokholme, hlavnom meste Švédska, chemik Georg Brand objavil a pomenoval nový prvok kobalt, ktorý sa dodnes pokladá za veľmi zriedkavý. Kobalt sa získava hlavne z medených a niklových rúd. Jeho meno je odvodené od Kobold, to je duch domu, ktorý hnevá ľudí. V dávnych rozprávaniach Koboldi jedli striebro a vylučovali bezcenné strieborne sfarbené rudy. Na kobalt je jednoznačný názor: Kobaltová oceľ je jednou z najtvrdších zliatin a používa sa okrem iného na vrtákové nadstavce a frézy.

Používa sa však aj v strojárenstve na vysoko namáhané súčiastky, napr. na lodné skrutky a letecké turbíny. Môže sa používať ako legovací prvok a v kobaltových zlúčeninách, takže je strategicky mimoriadne dôležitým kovom. Používa sa

v mnohých katalyzátoroch i v lítiovo-iónových akumulátoroch; ako pigment sa používa na farbenie porcelánu a keramiky.

Kobalt patrí medzi prechodné prvky, ktoré majú valenčné elektróny v d- sfére. V zlúčeninách sa vyskytuje najmä s mocnosťou Co^{+2} a Co^{+3}, vzácne sa môžeme stretnúť aj s Co^{+1} a Co^{+4}. V silných minerálnych kyselinách je kobalt rozpustný za vzniku plynného vodíka. Je pomerne stály voči atmosférickej korózii a pôsobeniu vody.

Výskyt kobaltu

Oproti príbuznému niklu je zastúpenie kobaltu na Zemi aj vo vesmíre výrazne nižšie. V zemskej kôre je priemerný obsah kobaltu okolo 25 $mg.kg^{-1}$. V morskej vode sa jeho koncentrácia pohybuje na úrovni 0,27 mikrogramu v jednom litri. Predpokladá sa, že vo vesmíre pripadá na jeden atóm kobaltu približne 15 miliónov atómov vodíka. V prírode nie sú známe náleziská rúd s prevažujúcim množstvom kobaltu. Ten vždy iba sprevádza niklové rudy a nájdeme ho aj ako sprievodný prvok v sulfidických rudách medi alebo olova.

Najviac kobaltu, 25 000 ton, to je viac než 40 % svetového trhu, sa získava v baniach v Demokratickej republike Kongo. Pokiaľ ide o rafinérie, ďaleko vedie Čína, ktorá dodáva 18.200 ton, to viac ako 31 % spotreby.

Cena kobaltu je vďaka jeho pomerne nízkemu výskytu aj zložitosti výroby dosť vysoká a v niektorých obdobiach dosahuje burzová cena kobaltu úroveň striebra. Preto sa najmä v metalurgii využíva iba v prípadoch, keď sa nedá nahradiť niektorým lacnejším kovom a do zliatin je legovaný iba v relatívne nízkom množstve.

Použitie kobaltu

V oceliarskom priemysle kobalt slúži ako zložka špeciálnych nástrojových ocelí, ktoré musia vykazovať vynikajúce mechanické vlastnosti – tvrdosť, pevnosť a odolnosť. Z ocelí tohto typu sa vyrábajú nástroje a prípravky na obrábanie kovov (rýchlorezná oceľ), ale aj napr. turbíny plynových generátorov a leteckých motorov, vrtné hlavice pre geologický prieskum. Na výrobu veľmi silných permanentných magnetov sa používa typ zliatin s obchodným názvom Alnico, ktoré sa skladajú zo železa, kobaltu, niklu, hliníka a medi. Pre pacientov, ktorí si nemôžu dovoliť uhradiť bežné dentálne zliatiny z drahých kovov sa ako lacný variant používa niekoľko typov zliatin na báze kobaltu, molybdénu, volfrámu a niklu. Tento materiál veľmi dobre odoláva koróznym vplyvom, ale ťažko sa spracováva pre veľmi vysokú tvrdosť a vysoký bod tavenia.

Zaujímavý je chlorid kobaltnatý - sympatetický atrament, čiže atrament milencov. Písmo napísané jeho ružovým roztokom je na papieri neviditeľné a objaví sa až po nahriatí nad plameňom, keď sa odparí kryštalická voda a vynikne modrá farba bezvodého chloridu kobaltnatého. Zlúčeninami kobaltu farbili sklo na modro už starí Egypťania.

Kobalt je veľmi dôležitý prvok pre krvotvorbu. Telo dospelého 70 kilového človeka obsahuje 0,0007 g kobaltu (rozsah je od 0,7 do 10 mg), a to najmä v pečeni a obličkách. Fyziologická hodnota v krvnom sére u zdravých dospelých je 2,5 $nmol.\ l^{-1}$.

Výdaj kobaltu sa uskutočňuje žlčou (cca 2,5 mikrogramov denne), izotopický kobalt sa vylučuje obličkami.

Tento prvok je dôležitou súčasťou vitamínu B12 . V ľudskom organizme plní úlohy predovšetkým vo forme kobaltamínu, spolu s vitamínom B12.

Chemické reakcie kobaltu

Alkalické sírniky a žltý sírnik amónny zrážajú, čierny sírnik kobaltnatý, ktorý je nerozpustný v kyseline octovej. V horúcej kyseline dusičnej a v lúčavke kráľovskej je ľahko a v zriedenej HCl a kyseline sírovej len čiastočne rozpustný:

$$3\ CoS + 8\ HNO_3 \rightarrow 3\ Co(NO_3)_2 + 3S + 2\ NO + 4\ H_2O$$

Kobaltnaté soli okyslené minerálnou kyselinou sírovodík nezráža.

Z neutrálnych roztokov za prítomnosti octanu sodného sa kobalt vylučuje kvantitatívne v podobe čierneho sírnika kobaltnatého:

$$CoSO_4 + H_2S + 2\ CH_2COONa \rightarrow CoS + Na_2SO_4 + 2\ CH_2COOH$$

Alkalické hydroxidy zrážajú za studena modrú zrazeninu zásaditých solí, ktoré sa povarením rozpadnú a vznikne ružovočervený hydroxid kobaltnatý:

$$CoSO_4 + 2\ KOH \rightarrow Co(OH)_2 + K_2SO_4$$

Účinkom brómovej a chlórovej vody a peroxidu vodíka a po dlhšom čase aj vzdušného kyslíka oxiduje sa ružovočervený hydroxid kobaltnatý na čierny hydroxid kobaltitý:

$$2\ Co(OH)_2 + 2\ NaOH + Br_2 \rightarrow 2\ Co(OH)_3 + 2\ NaBr$$

Amoniak zráža z neutrálnych roztokov solí kobaltu za neprítomnosti NH_4^+ modré zásadité soli, ktoré sa rozpúšťajú v nadbytku amoniaku a v amónnych soliach v podobe hnedo sfarbených komplexných zlúčenín kobaltu $[Co(NH_3)_6]Cl_2$. Na rozdiel od niklu alkalické lúhy nevylučujú z týchto roztokov za studena hydroxid kobaltnatý.

Alkalické uhličitany vylučujú zásadité solí červenofialovej farby, ktoré sa v nadbytku činidla nerozpúšťajú:

$$CoSO_4 + 2\ Na_2CO_3 + H_2O \rightarrow Co_2(CO_3)(OH)_2 + Na_2SO_4 + CO_2$$

Uhličitan amónny zráža spočiatku červenkastý zásaditý uhličitan, ktorý sa ďalším prídavkom uhličitanu amónneho rozpustí.

Uhličitan bárnatý za studena a za neprístupu vzduchu nezráža roztoky solí kobaltnatých, za tepla sa vylúči zásaditá soľ a v prítomnosti oxidovadiel, ako peroxidu vodíka alebo chlórnanov, vypadne hydroxid kobaltitý.

Z roztokov solí kobaltu okyslených kyselinou octovou vylučuje nasýtený roztok dusitanu draselného žltý hexanitritokobaltitan draselný. Pri reakcii kyselina octová

uvoľňuje z dusitanu draselného kyselinu dusitú, ktorá oxiduje katión dvojmocného kobaltu na trojmocný, a potom vznikne hexanitritokobaltitan draselný:

$$CoSO_4 + 7\ KNO_2 + 2\ CH_3COOH \rightarrow K_3[Co(NO_2)_6] + NO + K_2SO_4 + 2\ CH_3COOK + H_2O$$

S rodanidom amónnym poskytujú soli kobaltu intenzívne modro sfarbené, vo vode rozpustné komplexné zlúčeniny, ktoré pri trepaní s amylalkoholovo - éterovou zmesou prechádzajú do amylalkoholovej vrstvy:

$$CoSO_4 + 4\ NH_4SCN \rightarrow NH_4[Co(SCN)_4] + (NH_4)_2SO_4$$

Kyanid draselný zráža najprv červenohnedý kyanid kobaltnatý, ktorý sa ďalším prídavkom kyanidu draselného rozpustí ako komplexná soľ. Táto soľ zahrievaním na vzduchu alebo prídavkom oxidačného činidla, napr. chlórovej alebo brómovej vody, prechádza na komplexnú soľ trojmocného kobaltu. Aj tieto soli sú vo vode rozpustné a na rozdiel od solí niklitých nerozkladajú sa v alkalickom prostredí prídavkom chlóru alebo brómu, takže z nich nevznikne hydroxid kobaltitý:

$$CoSO_4 + 2\ KCN \rightarrow Co(CN)_2 + K_2SO_4$$

$$Co(CN)_2 + 4\ KCN \rightarrow K_4[Co(CN)_6]$$

$$CoSO_4 + 6\ KCN + Br \rightarrow K_3[Co(CN)_6] + K_2SO_4 + KBr$$

Kobalt ako zdroj rádioaktívneho žiarenia

Ožiarením stabilného izotopu kobaltu ^{59}Co energetickými neutrónmi (napr. v jadrovom reaktore) vzniká nestabilný ^{60}Co:

$$^{59}_{27}Co + n \rightarrow {}^{60}_{27}Co \rightarrow {}^{60}_{28}Ni + e^- + \nu_e + \gamma$$

Jadrový rozpad

Rádionuklid kobaltu ^{60}Co sa samovoľne premieňa na ^{60}Ni. Premenu jedného atómu kobaltu sprevádza emisia uvoľnenia (z jadra kobaltu) jedného elektrónu a dvoch fotónov **γ** žiarenia o blízkej energii.

Jedná sa teda o rozpad β−, elektrón vzniknutý touto premenou získa energiu maximálne E_{MAX} = 0,32 MeV.

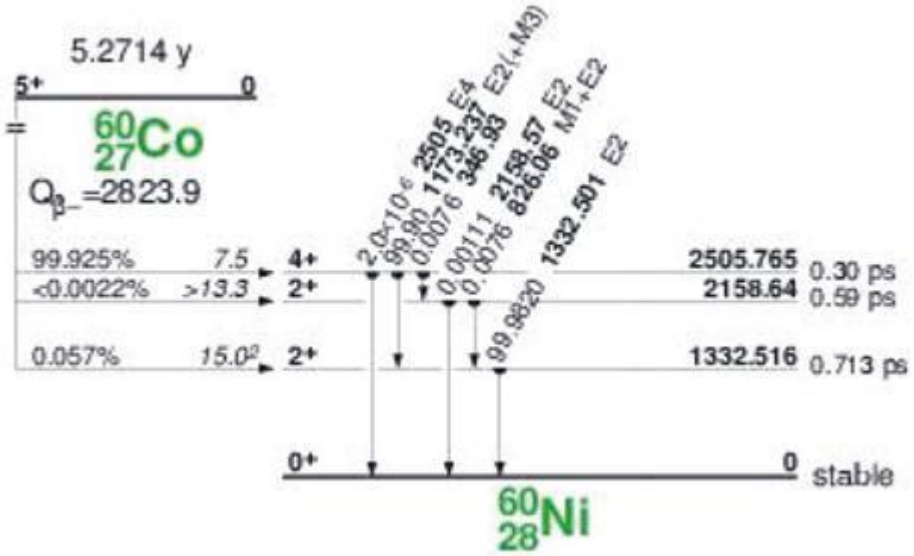
Fotóny **γ** žiarenia majú energiu 1,173 MeV a 1,332 MeV. Pretože na každé premenené jadro kobaltu pripadá vždy jedna dvojica týchto fotónov, často sa udáva stredná energia uvoľneného **γ** žiarenia ako aritmetický priemer týchto energií, t.j. približne 1,25 MeV.

Polčas rozpadu (t.j. doba, za ktorú sa premení polovica prítomných jadier daného izotopu na príslušné produkty rozpadu) kobaltu ^{60}Co je $T_{1/2}$ = 5,24 - 5,2717 rokov (podľa rôznych zdrojov).

Rozpadové schéma ^{60}Co

$$^{60}_{27}\mathrm{Co} \rightarrow {}^{60}_{28}\mathrm{Ni}^{*} + e^{-} + \bar{\nu}_e \rightarrow {}^{60}_{28}\mathrm{Ni}^{*} + \gamma_1 \rightarrow {}^{60}_{28}\mathrm{Ni} + \gamma_2 ,$$

kde γ_1 = 1,173237 MeV a γ_2 = 1,332516 MeV.



Obr.12 Podrobnejšia premenová schéma ^{60}Co

Zo schémy je dobre vidieť, s akou pravdepodobnosťou sú jednotlivé kvantá energia vyžarované. Pre g1 (prechod zo 4+ na 2+) je to 99,90% a pre g2 (prechod z 2+ na 0+) je to 99,820%, čo sú pravdepodobnosti dostatočne vysoké na to, aby sme ostatné možnosti vyžarovania energie pri premene ^{60}Co na ^{60}Ni zanedbali.

Kobalt sa tiež niekedy používa ako vrchný plášť atómovej bomby (takzvaná kobaltová bomba), po výbuchu dochádza k vyššie zmienenej transmutácii a zamoreniu oblasti rádioizotopom ^{60}Co.

Pretože ^{60}Co možno pomerne ľahko pripraviť a manipulácia s ním nie je zložitá, využíva sa v medicíne ako zdroj **γ** lúčov na ožarovanie rakovinových nádorov. Prístroj na ožarovanie sa nazýva kobaltové delo a jeho podstatou je silná olovená ochranná schránka valcovitého tvaru, ktorá prepúšťa potrebné **γ** žiarenie iba v úzkom lúči určeným smerom.

Izotop ^{60}Co sa využíva aj v defektoskopii na vyhľadávanie vnútorných skrytých chýb materiálov. Uvoľneným žiarením sú prežarované kovové súčasti dôležitých aparatúr – zariadení pre jadrový priemysel, chemické reaktory pre vysoké tlaky, časti kozmických rakiet a pod. Citlivý detektor sníma množstvo gama lúčov, ktoré prejdú materiálom a výskyt chyby (trhliny, chybného zvaru) sa prejaví zmenou intenzity meraného žiarenia.

Ožarovanie γ lúčmi slúži aj na likvidáciu húb, plesní a drevokazného hmyzu v historicky cenných drevených predmetoch, ktoré nie je možné ošetriť klasickými chemickými prípravkami kvôli zachovaniu ich vzhľadu.

Tab.6 Vybrané izotopy kobaltu

Izotop	Výskyt	$t_{1/2}$	Rr	Er (MeV)	Pr
^{56}Co	synt.	77,27 d.	ε	4,566	^{56}Fe
^{57}Co	synt.	271,79 d.	ε	0,836	^{57}Fe
^{58}Co	synt.	70,86 d.	ε	2,307	^{58}Fe
^{59}Co	100 %	stabilný s 32 neutrónmi			
^{60}Co	synt.	5,2714 r.	β^-, γ	2,824	^{60}Ni

Legenda

$t_{1/2}$- polčas rozpadu
Rr – typ rozpadu jadra
Er – energia rozpadu
Pr – produkt rozpadu

4.3 Stroncium

Stroncium (*strontium*) je chemický prvok v Periodickej tabuľke prvkov, ktorý má značku Sr a protónové číslo 38. Stroncium je pomerne mäkký, ľahký kov, ktorý búrlivo reaguje s kyslíkom i vodou a v prírode sa s ním preto stretávame iba vo forme zlúčenín.

Reaktivita stroncia je natoľko vysoká, že sa môže dlhodobo uchovávať iba pod vrstvou alifatických uhľovodíkov (petrolej, nafta) s ktorými nereaguje. Na vzduchu sa okamžite pokrýva vrstvou žltého oxidu, práškové stroncium sa na vzduchu môže samovoľne vznietiť. Soli stroncia farbia plameň karmínovo červeno.

Stroncium objavil v roku 1790 Adair Crawford a v roku 1973 M. H. Klaproth v mineráli stroncianit, odkiaľ pochádza jeho slovenské i latinské pomenovanie. Čisté stroncium ako prvý izoloval sir Humphry Davy v roku 1808 pomocou elektrolýzy.

Obr.13 Stroncium

4.3.1 Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti stroncia

Chemické vlastnosti
Názov, značka, protónové číslo stroncium, Sr, 38
Elektronegativita 0,95
Ionizačná energia(e) 1: 549,5 kJ.mol^{-1} 2: 1 064,2 kJ.mol^{-1}
3: 4 138 kJ.mol^{-1}
Oxidačné číslo II

Fyzikálne vlastnosti
Skupenstvo pevné
Hustota 2,64 kg·dm^{-3}
Teplota topenia 1 050 K (776,85 °C)
Teplota varu 1 655 K (1 381,85 °C)

Atómové vlastnosti
Atómová hmotnosť 87,62 g·mol^{-1}
Elektr. konfigurácia [Kr] 5s^2

Atómový polomer 215 pm
Kovalent. polomer 195 pm
Kovový polomer 215 pm

Chemické reakcie stroncia

Chemický prvok stroncium je šedobiely, lesklý a pomerne mäkký kov. Kovové stroncium sa na vzduchu rýchlo pokrýva žltkastou vrstvou oxidu strontnatého. Sú známe tri kryštalografické modifikácie, kubický α - Sr prechádza pri teplote 233 °C na šesťuholníkovú β - Sr, pri teplote nad 540 °C existuje v kubickej modifikácii ako γ - Sr. Práškové stroncium je pyroforické.

Stroncium reaguje s neoxidujúcim kyselinami za vzniku strontnatej soli a vývoja vodíka:

$$Sr + 2\ HCl \rightarrow SrCl_2 + H_2$$

So zriedenou kyselinou dusičnou reaguje za vzniku strontnatej soli a vývoja oxidu dusného, s veľmi zriedenou kyselinou vzniká dusičnan amónny:

$$4\ Sr + 10\ HNO_3 \rightarrow 4\ Sr(NO_3)_2 + N_2O + 5\ H_2O$$
$$4\ Sr + 10\ HNO_3 \rightarrow 4\ Sr(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3\ H_2O$$

Za normálnej teploty reaguje s vodou za vzniku hydroxidu strontnatého, pri teplote nad 200 °C reaguje s vodnou parou za vzniku oxidu a hydridu stroncia:

$$Sr + 2\ H_2O \rightarrow Sr(OH)_2 + H_2$$
$$2\ Sr + H_2O \rightarrow SrO + SrH_2$$

Stroncium je chemicky značne reaktívny prvok, s radom ostatných prvkov sa priamo zlučuje. V zlúčeninách vystupuje stroncium takmer výhradne ako dvojmocný katión Sr^{2+}, za zvláštnych podmienok môže stroncium v zlúčeninách existovať aj v oxidačnom stupni -II ako stroncidový anión. Stroncidy sú veľmi nestabilné zlúčeniny, ktoré pôsobia ako silné redukčné činidlá.

Vodné roztoky solí stroncia sú bezfarebné, nerozpustné zlúčeniny stroncia sú biele látky, medzi farebné výnimky patrí žltý chróman strontnatý $SrCrO_4$.

Analytické stanovenie stroncia je možné uskutočniť komplexometrickou titráciou na indikátor eriochrómová čerň. V alkalickom prostredí (pH = 10 - 11) je bod ekvivalencie indikovaný farebným prechodom indikátora z červenej na modrú.

Výskyt stroncia v prírode

V prírode sa voľné stroncium nenachádza. Obsah stroncia v zemskej kôre je 0,037%. Najdôležitejšie minerály stroncia celestín $SrSO_4$ a stroncianit $SrCO_3$ sa vyskytujú v rôznych typoch ložísk, najmä ako hydrotermálne žily, infiltračné polohy vo vápencoch aj ako sedimentárne chemogénne vrstvy.

Najvyšší obsah stroncia (69,75 % Sr) zo všetkých minerálov má nerast názvom IMA2009-014, chemicky sa jedná o fluorid strontnatý SrF_2. Celkom je známych približne 120 nerastov s obsahom stroncia.

V roku 2011 sa najviac nerastov stroncia vyťažilo v Číne 210 kt, v Španielsku 120 kt a v Mexiku 35 kt. Najväčšie overené zásoby stroncia vo výške 6,8 Mt sú v Číne, celosvetové zásoby sa odhadujú asi na 1 miliardu ton.

Príprava stroncia

Hlavným zdrojom stroncia pre priemyselnú výrobu je dusičnan strontnatý Sr $(NO_3)_2$, ktorý sa získava ako vedľajší produkt pri výrobe kombinovaných hnojív typu NPK rozkladom prírodných fosfátov kyselinou dusičnou.

Z rozložené brečky sa dusičnan oddeľuje kryštalizáciou, konverziou s uhličitanom amónnym sa prevádza na uhličitan strontnatý, ktorý je základnou látkou pre prípravu všetkých ďalších zlúčenín stroncia.

Výroba kovového stroncia sa uskutočňuje elektrolýzou tavenín jeho halogenidov alebo aluminotermickou redukciou oxidu stroncia:

$$3\ SrO + 2\ Al \rightarrow 3\ Sr + Al_2O_3$$

Praktické využitie

Kovové stroncium je súčasťou niektorých ľahkých zliatin, prídavok stroncia sa používa pre výrobu ferryto - keramických magnetov. Chlorid strontnatý $SrCl_2$ sa používa do zubných pást na citlivé zuby, oxid strontnatý SrO je súčasťou glazúr a skiel.

Titaničitan strontnatý $SrTiO_3$ má veľmi vysoký index lomu svetla a používa sa v optike a ako náhrada diamantu, sulfid strontnatý SrS je súčasťou depilačných prostriedkov a luminiscenčných farieb, chróman strontnatý $SrCrO_4$ slúži ako žltý pigment stronciovej žlte k prefarbovaniu PVC a ako inhibítor korózie náterových hmôt na zliatiny horčíka, hliníka a zinku.

Dusičnan strontnatý Sr $(NO_3)_2$, bromid strontnatý $SrBr_2$ a chlorečnan strontnatý Sr $(ClO_3)_2$ sa využívajú v pyrotechnike - farbí plameň intenzívne červeno. Peroxid strontnatý SrO_2 sa používa ako bielidlo, antiseptikum a najmä ako súčasť značkovací svetelnej munície. Uhličitan strontnatý $SrCO_3$ sa používa ako tavivo do keramických glazúr.

Rádioaktívny izotop stroncia ^{90}Sr sa ako silný zdroj beta žiarenia využíva v rádioterapii a ako trvanlivý a ľahký energetický zdroj pre satelity, automatické meteostanice a navigačné bóje.

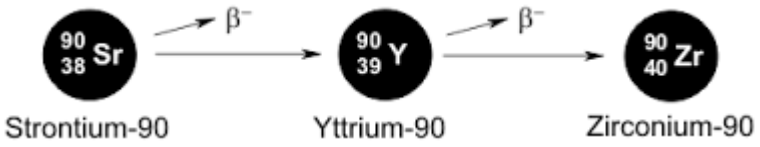


Schéma rozpadu ^{90}Sr

Stroncium ako zdroj rádioaktívneho žiarenia

Stroncium tvorí celkom 28 izotopov s hmotnostnými číslami 75 až 102, z toho štyri (^{84}Sr, ^{86}Sr, ^{87}Sr a ^{88}Sr) sú stabilné a sú súčasťou prírodného stroncia, v ktorom má najvyšší podiel (82,6%) izotop ^{88}Sr.

Stroncium ^{90}Sr je rádioaktívny izotop stroncia, vzniká jadrovou premenou pri rozpade uránu, teda aj pri výbuchu atómovej bomby a v jadrových reaktoroch, za polčasu rozpadu 28,8 rokov.

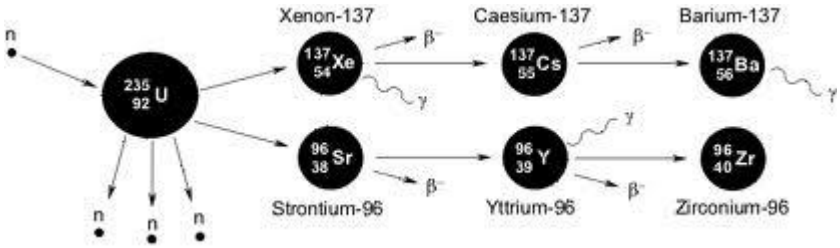
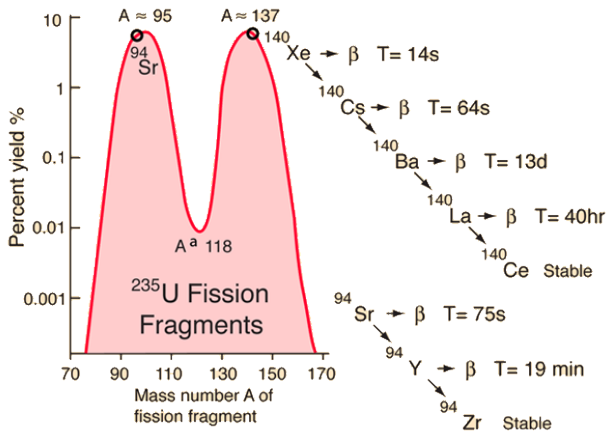


Schéma fragmentácie uránu ^{235}U

^{94}Stroncium sa rozpadá s polčasom 75 sekúnd, nakoniec sa produkuje stabilný izotop ^{94}zirkónia. Tieto fragmenty nie sú tak nebezpečné, ako je ^{137}cézium.



Obr.14 Fragmenty štiepenia ^{235}U

Ide o pomerne silný beta žiarič, ktorý sa u človeka najčastejšie po požití kontaminovaných potravín alebo vody môže usadzovať v kostnom tkanive a spôsobovať tak rakovinové bujnenie. Časť požitého ^{90}Sr tiež zostáva v krvi, kde môže spôsobiť leukémiu.

Prítomnosť tejto látky sa dá zistiť vďaka biotestom, najčastejšie moču. Ďalej sa ^{90}Sr používa na výrobu jadrových zbraní, dokonca je pravdepodobne ich najnebezpečnejšou súčasťou.

^{90}Sr má však aj pozitívne využitie v lekárstve - v rádioterapii pri liečbe niektorých druhov rakoviny, napríklad rakoviny kosti.

Stroncium s polčasom rozpadu 28,7 rokov pri premenách vyžaruje β častice, čiže elektrón, ktorý sa obrovskou rýchlosťou odpudí a vo voľnom priestore doletí na vzdialenosť cca 1cm. V ľudskom tkanive ide o maximálny dolet do jedného cm - elektrón tu totiž brzdia iné častice.

Izotop stroncia ^{90}Sr je ako silný zdroj β žiarenia.

Tab.7 Vybrané izotopy stroncia

Izotop	Výskyt	$t_{1/2}$	Rr	Er (MeV)	Pr
^{82}Sr	synt.	25,36 d.	ε	-	^{82}Rb
^{83}Sr	synt.	1,35 d.	ε β^+ γ	- 1,23 0,76	^{83}Rb
^{84}Sr	0,56 %	stabilný s 46 neutrónmi			
^{85}Sr	synt.	64,84 d.	ε γ	- 0,514	^{85}Rb
^{86}Sr	9,86 %	stabilný s 48 neutrónmi			
^{87}Sr	7,00 %	stabilný s 49 neutrónmi			
^{88}Sr	82,58 %	stabilný s 50 neutrónmi			
^{89}Sr	synt.	50,52 d.	ε	-	^{89}Rb
^{83}Sr	synt.	50,52 d.	β^-	0,909	^{89}Y
^{90}Sr	stopy	28,90 r.	β^-	0,546	^{90}Y

Legenda
$t_{1/2}$- polčas rozpadu
Rr – typ rozpadu jadra
Er – energia rozpadu
Pr – produkt rozpadu

4.4 Technécium

Technécium (*technetium*) je chemický prvok v Periodickej tabuľke prvkov, ktorý má značku Tc a protónové číslo 43. Je to striebrosivý rádioaktívny kov kryštalizujúci v hexagonálnej sústave. Technécium je umelo pripravený prvok, ktorý sa v prírode takmer vôbec nevyskytuje.

Obr.15 Technécium

4.4.1 Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti technécia

Chemické vlastnosti
Názov, značka, protónové číslo technécium, Tc, 43
Elektronegativita 1,9
Ionizačná energia(e) 1: 702 kJ.mol^{-1}, 2: 470 kJ.mol^{-1}
3: 850 kJ.mol^{-1}
Oxidačné číslo II, **III**

Fyzikálne vlastnosti
Skupenstvo pevné
Hustota 11 kg·dm^{-3}
Teplota topenia 2 430 K (2 156,85 °C)
Teplota varu 4 538 K (4 264,85 °C)

Atómové vlastnosti
Atómová hmotnosť 98 g·mol^{-1}
Elektr. konfigurácia [Kr] $4d^5\ 5s^2$
Atómový polomer 136 pm
Kovalent. polomer 147 pm
Kovový polomer 135 pm

Chemické reakcie technécia

Technécium sa rozpúšťa iba v koncentrovanej kyseline dusičnej a koncentrovanej kyseline sírovej za vzniku kyseliny technecistej $HTcO_4$:

$$3\ Tc + 7\ HNO_3 \rightarrow 3\ HTcO_4 + 7\ NO + 2\ H_2O$$
$$2\ Tc + 7\ H_2SO_4 \rightarrow 2\ HTcO_4 + 7\ SO_2 + 6\ H_2O$$

Reakcia technécia s lúčavkou kráľovskou prebieha za vzniku komplexnej kyseliny hexachlorotechnecitej:

$$3\ Tc + 18\ HCl + 4\ HNO_3 \rightarrow 3\ H_2[TcCl_6] + 4\ NO + 8\ H_2O$$

Zahriate v atmosfére kyslíka zhorí za vzniku prchavého, žlto sfarbeného oxidu technecistého Tc_2O_7.

V zlúčeninách vystupuje technécium najčastejšie ako sedemmocný katión Tc^{7+}, v silne oxidačnom prostredí sa vyskytuje vo forme technecistého aniónu TcO^{4-}. Chemické vlastnosti technecistých zlúčenín sa najviac podobajú vlastnostiam zlúčenín sedemmocného rénia. Chemické vlastnosti zlúčenín štyri a šesťmocného technécia sa najviac podobajú vlastnostiam zlúčenín mangánu.

Využitie technécia

Veľmi významné je využitie metastabilného rádionuklidu ^{99m}Tc ($T_{1/2}$ = 6 hod.) vo forme technecistanu sodného, ako čistého gama žiariča s energiou fotónov 140 keV, v nukleárnej medicíne. Technécium má v jadrovej medicíne dominantné postavenie, viac než 80% všetkých rádiofarmák vychádza z technécia.

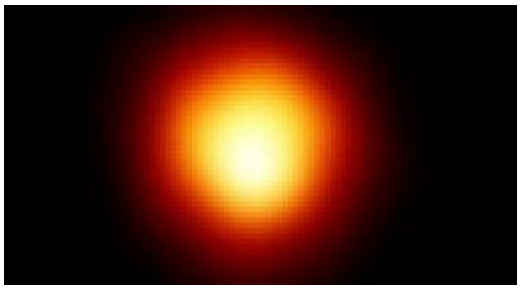
Medzi najpoužívanejšie rádiofarmaká značené technéciom patrí napr. ^{99m}Tc makroagregovaný albumín (MAA) pre detekciu priechodnosti žilového systému dolných končatín, fosfonátové rádiofarmaká (pyrofosfát - PYP, metylén difosfonát - MDP a hydroxymetylén dyfosfonát - HDP) pre zobrazovanie skeletu, srdcového infarktu a značenie červených krviniek, ^{99m}Tc sulfurkoloid pre vyšetrovanie hornej časti tráviacej trubice, ^{99m}Tc hexametylpropylén amín oxím (HMPAO) pre značenie bielych krviniek a celá rada ďalších.

Príprava technécia

Technécium je umelo pripravený rádioaktívny prvok, ktorý sa v prírode takmer nevyskytuje. Technécium sa získava bombardovaním molybdénu neutrónmi v jadrovom reaktore, pri ktorom najprv vznikne nestály izotop molybdénu ^{99}Mo, ktorý sa beta rozpadom premieňa na ^{99}Tc :

$$^{99}_{42}Mo \xrightarrow{\beta-} {}^{99}_{43}Tc \xrightarrow{\beta-} {}^{99}_{44}Ru \text{ – stabilný izotop}$$

Najstálejším izotopom technécia je ^{99}Tc ($T_{1/2}$ = 2,12 . 10^5 rokov), ktorý bol v roku 1962 v stopovom množstve izolovaný z afrických uránových rúd (B.T. Kena a P.K. Kuroda) ako produkt rádioaktívne premeny ^{238}U. Jeho výskyt bol tiež zistený vo spektrách niektorých hviezd (hviezdy spektrálneho typu S, N, M).



Obr.16 Spektrálne čiary technécia pozorované u hviezd

Technécium je supravodič I. typu (supravodiče 1. typu sa niekedy nazývajú ako mäkké supravodiče. Tieto látky boli skúmané ako prvé, a vyžadujú najnižšie teploty pre vznik supravodivosti. Vykazujú veľmi ostrý prechod do supravodivého stavu a tiež perfektný diamagnetizmus (Meissner-Ochsenfeldov efekt).), veľmi silne pohlcuje pomalé neutróny a je účinným inhibítorom korózie ocele, uhlíková oceľ s prídavkom technecistanu draselného $KTcO_4$ v množstve okolo 50 ppm, má vynikajúcu koróznu odolnosť aj za veľmi vysokých tlakov a teplôt. Praktický význam technécium ako technický kov nemá.

Tab.8 Vybrané izotopy technécia

Izotop	Výskyt	$t_{1/2}$	Rr	Er (MeV)	Pr
^{95}Tc	synt.	61 d.	ε γ	- 0,204	^{95}Mo
^{96}Tc	synt.	4,3 d.	ε γ	- 0,778	^{96}Mo
^{97}Tc	synt.	2,6x10 r.	ε	-	^{97}Mo
^{98}Tc	synt.	$4{,}2\times10^{6}$ r.	β^- γ	- 0,745	^{98}Ru
^{99}Tc	stopy	$2{,}111\times10^{5}$ r.	β^-	0,294	^{99}Ru

Legenda

$t_{1/2}$- polčas rozpadu
Rr – typ rozpadu jadra
Er – energia rozpadu
Pr – produkt rozpadu

Príprava technecia ^{99m}Tc

Technécium 99m bolo objavené v roku 1938 pri ostreľovaní molybdénu 99. Tento spôsob prípravy už v komerčných aplikáciách zostal, pretože je najekonomickejšie. Spravidla to, ale nie je tak, že by sa v jednom podniku ožiaril urán a odvážalo by sa z neho rovno rádiofarmakum do nemocnice, kde potom následne bude použité.

Celý proces výroby je skomplikovaný krátkym polčasom rozpadu ^{99m}Tc, ktorý činí 6 hodín. Kvôli tomu nie je možné technécium skladovať a prepravovať na veľké

vzdialenosti. Preto je najskôr v reaktore ožiarený vysoko obohatený urán a vznikne ^{99}Mo s polčasom rozpadu 66 hodín, čo už v zásade umožňuje transport a krátkodobé prechovávanie.

V inom zariadení umiestnenom v blízkosti nemocnice potom prebieha premena molybdénu 99 na technécium 99m. Tá môže vďaka polčasu rozpadu 2,75 dňa prebiehať raz za dva dni, čo stačí pre vykonávanie diagnostiky po celý týždeň:

^{99}Mo ($T_{1/2} \approx 67$ hodín, $\uparrow\beta^-$) $\rightarrow$ ^{99m}Tc ($T_{1/2} \approx 6$ hodín, $\uparrow\gamma$) $\rightarrow$ ^{99}Tc ($T_{1/2} \approx 2{,}1.10^5$ rokov, $\uparrow\beta^-$)

Chemicky sa získava vo forme technecistanu TcO_4^-. Izomér ^{99m}Tc prechádza z najväčšej časti na stabilnejšiu formu ^{99}Tc a následne sa premieňa na ^{99}Ru podľa jadrovej reakcie:

$$^{99m}_{43}Tc \xrightarrow[6\ \mathrm{h}]{\gamma\ 141\ \mathrm{keV}} {}^{99}_{43}Tc \xrightarrow[211\ 000\ \mathrm{let}]{\beta^-\ 249\ \mathrm{keV}} {}^{99}_{44}Ru$$

Postup ožarovania v reaktore

Ožarovanie čohokoľvek v reaktore nie je jednoduchá úloha, nemôžeme do neho nič len tak hodiť a zase vytiahnuť. Je potrebné starostlivo merať dávky, aby sme dostali vo výsledku to, čo potrebujeme, proces musí byť dostatočne rýchly (kvôli krátkym polčasom rozpadu), personál nesmie byť ohrozený žiarením.

Navyše, pri ožarovaní materiálu môže dôjsť k tomu, že sa z nerádioaktívnych jadier atómov stanú jadra rádioaktívne (napríklad prechodom do vyššieho excitovaného stavu).

Tomuto javu sa hovorí indukovaná rádioaktivita. Celý proces má preto jasne dané pravidlá a bezpečnostné opatrenia. Pozrime sa na postup ožarovania terčov z vysoko obohateného uránu.

Terče z vysoko obohateného uránu sú vkladané do aktívnej zóny reaktora v špeciálnych puzdrách. Samotné terče majú tvar trubičky s vonkajším priemerom 2,2 cm a dĺžkou 16 cm. Počas jednej prevádzkovej kampane je do reaktora umiestnené maximálne 24 terčov, ktoré spolu predstavujú 96 g ^{235}U. Ožarovanie trvá 144 - 180 hodín.

V jednom puzdre sú umiestnené 3 terče. Puzdro je vyrobené zo zliatiny hliníka a je ukončené výstupkom, ktorý umožňuje uchopenie zakladacím zariadením DORA 1 alebo manipulačnej tyče.

Puzdrá je možné používať viackrát, avšak nie hneď po predchádzajúcom použití kvôli skutočnosti, že ožarovanie niekedy robí rádioaktívnym samotný materiál (takzvaná indukovaná rádioaktivita). Najskôr je potrebné počkať jeden rok, než poklesne rádioaktivita puzdrá na úroveň umožňujúce priamu manipuláciu obsluhy. Ožiarené puzdrá sú teda po túto dobu skladované. Počas jedného roka prejde reaktorom až 360 puzdier.

Obr.17 Ožarovacie puzdrá v komore
(Zdroj: www.cvrez.cz)

Priebeh ožarovania

Počas ožarovania, ktoré trvá 6 - 7,5 dňa, získa terč ohromnú aktivitu, a to 200 TBq. Prípadný kontakt obsluhy s takou látkou je smrtiaci. Preto je nutné s ožiareným terčmi zaobchádzať s veľkou opatrnosťou v duchu bezpečnostných predpisov. Po ožiarení a odstavení reaktora sú terče dochladzované po dobu šiestich hodín.

Technécium v pôdach a sedimentoch

Odhaduje sa, že ^{99}Tc tvorí 6% všetkých produktov jadrových štiepnych reakcií; do polovice 80-tych rokov bolo uvoľnených do prostredia 25 až 30 ton ^{99}Tc, čo zodpovedá približne 1% z celkovej uvoľnenej aktivity. Predpokladá sa, že ^{99}Tc kontaminovalo vody v arktickej časti Atlantického oceánu, v dôsledku úniku rádioaktivity zo zariadení v továrňach na úpravu rádioaktívnych materiálov vo Francúzku a Veľkej Británii (Sellafield, La Hague).

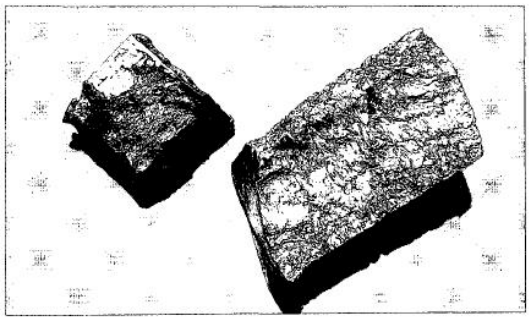
Pri neutrálnom pH sa Tc vyskytuje v dvoch oxidačných stavoch: ak je Eh < 220 mV prevažuje Tc^{IV}; ak Eh > 220 mV je stabilnejšia oxidovaná forma $Tc^{VII}O_4^-$ - tá patrí k najmobilnejším rádionuklidom vôbec; na druhej strane Tc^{IV} má tendenciu sorpcie na povrchoch s ktorými prichádza do kontaktu; uvedené zmeny v mobilite môžu byť pritom pomerne náhle v podmienkach Eh 170 ± 60 mV a pri pH 7 ± 0,5.

^{99}Tc je mäkký β žiarič s energiou častíc E_β = 0,293 MeV.

4.5 Ytrium

Ytrium (*yttrium*) je chemický prvok v Periodickej tabuľke prvkov, ktorý má značku Y a protónové číslo 39. Je to šedý až strieborne biely vzácny prechodný kovový prvok, chemicky veľmi príbuzný prvkom skupiny lantanoidov. Ytrium je zahrnutý medzi supravodivé materiály.

Ytrium bolo objavené v roku 1794 švédskym chemikom Johanom Gadolinom a po prvý raz bolo v čistej forme izolované Friedrichom Wohlerom v roku 1828. Názov získalo podľa obce Ytterby v blízkosti Štokholmu, kde geológ Carl Axel Arrhemius našiel v roku 1787 do tej doby neznámy nerast, ktorý poskytol Gadolinovi na preskúmanie.



Obr.18 Vzorky ytria

4.5.1 Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti ytria

Chemické vlastnosti
Názov, značka, protónové číslo ytrium Y, 39
Elektronegativita 1,2
Ionizačná energia(e) 1: 600 $kJ.mol^{-1}$, 2: 1180 $kJ.mol^{-1}$
3: 1980 $kJ.mol^{-1}$
Oxidačné číslo III

Fyzikálne vlastnosti
Skupenstvo pevné
Hustota 4,472 $kg \cdot dm^{-3}$
Teplota topenia 1 799 K (1 525,85 °C)
Teplota varu 3 609 K (3 335,85 °C)

Atómové vlastnosti
Atómová hmotnosť 88,9 $g \cdot mol^{-1}$
Elektr. konfigurácia [Kr] $4d^1\ 5s^2$
Atómový polomer 180 pm
Kovalent. polomer 190 pm
Kovový polomer 178 pm

Predpoklady ytria k chemickým reakciách

Voči pôsobeniu vzdušného kyslíka je pomerne stále, len v práškovej forme podlieha za vyšších teplôt spontánnej oxidácii. Odoláva i pôsobeniu vody, ale jednoducho sa rozpúšťa v zriedených minerálnych kyselinách, predovšetkým v kyseline chlorovodíkovej (HCl). V zlúčeninách sa vyskytuje prakticky iba v mocenstve Y^{3+}.

Kompaktné kovové ytrium je na vzduchu stále, dobre sa rozpúšťa v zriedených minerálnych kyselinách, kyseline octovej a šťaveľovej za vzniku ytria soli a vývoja vodíka:

$$2\ Y + 6\ HCl \rightarrow 2\ YCl_3 + 3\ H_2$$

Reakcia ytria sa zriedenou kyselinou dusičnou prebieha bez vývoja vodíka:

$$8\ Y + 30\ HNO_3 \rightarrow 8\ Y(NO_3)_3 + 3\ NH_4NO_3 + 9\ H_2O$$

S vodou reaguje už za laboratórnej teploty za vzniku hydroxidu ytritého:

$$2\ Y + 6\ H_2O \rightarrow 2\ Y(OH)_3 + 3\ H_2$$

Pri zahriatí na 470 °C na vzduchu horí červeným plameňom, v atmosfére chlóru sa vznieti už pri teplote 200 °C za vzniku chloridu ytritého YCl_3.

Pri teplote okolo 700 °C reaguje s dusíkom za vzniku nitridu YN, s amoniakom reaguje za vzniku nitridu už pri teplote 450 °C. Práškové ytrium veľmi rýchlo podlieha samovoľnej oxidácii a ochotne reaguje aj s oxidmi dusíka za vzniku dusičnanu ytritého $Y(NO_3)_3$.

Za vysokej teploty sa priamo zlučuje s bórom za vzniku veľkej rady boridov, napr. YB_2, YB_4 alebo YB_6, existujú aj boridy ytria YB_{25} alebo YB_{66}.

Chemické vlastnosti ytria aj jeho zlúčenín sa najviac podobajú vlastnostiam lantánu a jeho zlúčenín. V zlúčeninách vystupuje v oxidačnom stupni III ako bezfarebný katión Y^{3+}.

S niektorými nekovmi tvorí ytrium tiež zlúčeniny nestechiometrickej povahy, napr. silicid YSi_2, s uhlíkom tvorí acetilid YC_2 , v ktorom vystupuje ako formálne dvojmocný.

Príprava ytria

Výroba ytria sa vykonáva lúhovaním lantanidových rúd zmesou minerálnych kyselín s následnou separáciou ytria pomocou chromatografickej iónovej výmeny. Pôsobením kyseliny šťaveľovej vznikajú šťaveľany, ich oxidačným pražením vznikne oxid ytritý Y_2O_3, ktorý sa pôsobením kyseliny fluorovodíkovej prevedie na fluorid ytritý YF_3, z ktorého sa kovové hubovité ytrium vyredukuje v elektrickej peci vápnikom alebo draslíkom:

$$2\ YF_3 + 3\ Ca \rightarrow 2\ Y + 3\ CaF_2$$
$$YF_3 + 3\ K \rightarrow Y + 3\ KF$$

Separácia jednotlivých prvkov sa uskutočňuje rôznymi postupmi – kvapalinovou extrakciou komplexných solí, iónovou chromatografiou alebo selektívnym zrážaním nerozpustných komplexných solí.

Príprava čistého kovu sa zvyčajne uskutočňuje redukciou solí ytria kovovým vápnikom.

Redukciu fluoridu ytritého popisuje rovnica:

$$2\ YF_3 + 3\ Ca \rightarrow 2\ Y + 3\ CaF_2$$

Výskyt ytria v prírode

Priemerný obsah ytria v zemskej kôre je 33 ppm. Prírodné ytrium tvorí stabilný izotop ^{89}Y. Umelo bolo pripravené 24 rádioaktívnych izotopov s nukleónovými číslami od 79 do 103.

V prírode sa ytrium nachádza veľmi zriedkavo a iba vo forme svojich zlúčenín, často v sprievode skandia, lantánu, céru a ďalších, najmä ťažších lantanoidov. Relatívne vysoký obsah ytria bol zistený v horninách na Mesiaci.

Tab.9 Vybrané izotopy ytria

Izotop	Výskyt	$t_{1/2}$	Rr	Er (MeV)	Pr
^{87}Y	synt.	3,35 d.	ε γ	- 0,48	^{87}Sr
^{88}Y	synt.	106,6 d.	ε γ	- 1,83	^{88}Sr
^{89}Y	100 %	stabilný s 50 neutrónmi			
^{90}Y	synt.	2,67 d.	β^- γ	2,28 2,18	^{90}Zr
^{91}Y	synt.	58,5 d.	β^- γ	1,54 1,20	^{91}Zr

Legenda

$t_{1/2}$- polčas rozpadu
Rr – typ rozpadu jadra
Er – energia rozpadu
Pr – produkt rozpadu

Známymi minerálmi ytria sú napr. xenotim YPO_4, bastnäsit (Y, Ce) (CO_3) F, gadolinitý $Y_2O_3 \cdot 3\ FeO \cdot 2SiO_2$, fergusonit $YNbO_4$, gagarinit NaCaY $(F, Cl)_6$, wakefieldit YVO_4 alebo formanit $YTaO_4$.

V roku 2010 bol v Jáchymove v Krušných horách objavený doposiaľ neznámy minerál ytria, nový nerast má chemický vzorec $Y_2\ [(UO_2)_8O_6\ (OH)_2\ (SO4)_4]\ (H_2O)_{26}$ a dostal názov sejkorait.

Najvyšší obsah ytria (53,9% Y) má limorit $Y_2\ (SiO_4) \cdot (CO_3)$. Celkovo bolo opísané okolo 160 nerastov ytria. Pre priemyselnú ťažbu má rozhodujúci vplyv ložisko xenotimu a bastnäsitu v lokalite Bayan Obo na severovýchode Číny.

V roku 2012 dosiahla svetová ťažba ytria 8,9 kt Y_2O_3, z toho bolo 8,8 kt sa vyťažilo v Číne, medzi ďalších producentov ytria patrí Brazília, India a Malajzia. Svetové zásoby ytria činia asi 540 kt Y_2O_3, z toho pripadá na Čínu 220 kt, v USA sú zásoby 120 kt, v Austrálii 100 kt a v Indii 72 kt.

Použitie ytria

Praktické využitie nachádza ytrium doplnené európiom alebo terbiom, ako súčasť červených luminofórov farebných obrazoviek. V metalurgii sa ytrium používa ako zložka kujnej liatiny a ľahkých zliatin, prídavok ytria podstatným spôsobom zvyšuje pevnosť zliatin hliníka a horčíka a ako deoxidačné činidlo pri výrobe titánu, vanádu a ďalších neželezných kovov. Používa sa ako legovacia prísada pre zjemnenie štruktúry zliatin chrómu, molybdénu a zirkónia.

Oxid Y_2O_3 sa používa v sklárstve pre úpravu bodu topenia a ako súčiniteľ tepelnej rozťažnosti skla a na výrobu supravodičov YBCO (ytrium, bárium, oxid medi). Kovové ytrium aj niektoré jeho zlúčeniny sa používajú ako katalyzátory pri polymerizácii etylénu.

Oxidy $Y_3Fe_5O_{12}$ a $Y_3Al_5O_{12}$ sa ako umelé granáty používali ako lacná náhrada diamantu, vďaka svojej schopnosti účinne pohlcovať niektoré zložky mikrovlnného žiarenia sa dnes používajú ku konštrukcii ochranných krytov radarov.

Oxid ytritý je súčasťou elektrolytov vo vysokoteplotných kyslíkovo-uhľovodíkových palivových článkoch MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell) alebo SOFC (Solid Oxide Fuel Cell).

Fluorid ytritý YF_3 sa používa na povrchovú úpravu keramiky.

Vanadičnan ytritý YVO_4 slúži na výrobu polarizačných hranolov a využíva sa ako luminofór vo vysokotlakových ortuťových výbojkách.

Wolframan draselno-ytritý $KY(WO_4)_2$ doplnený yterbiom sa používa ku konštrukcii zosilňovačov pulzných laserov.

Rádioaktívny izotop ^{90}Y a jeho príprava

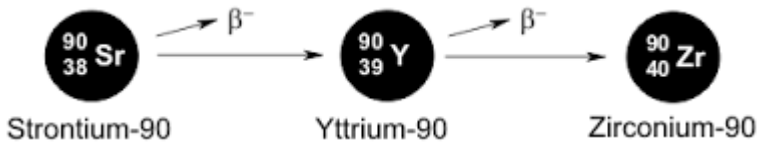
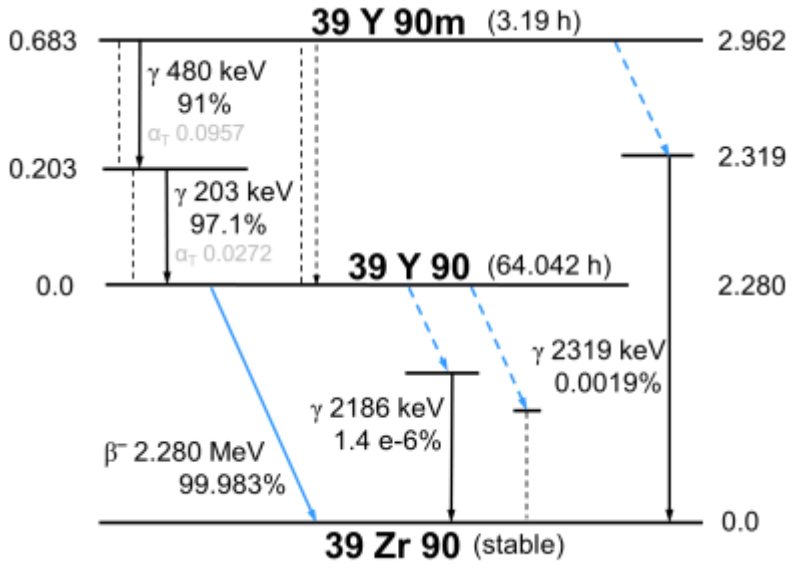


Schéma rádioaktívneho premeny jadra ^{90}Sr



Obr.19 Premenové schéma rozpadu ytria

Základné údaje

Polčas rozpadu izotopu ^{90}Y je 64,24 +/- 0,30 hodín. (2,67dní)

^{90}Y je čistý žiarič β^- s najväčším zastúpením energie β = 2,25 MeV.

Obr.20 Ytrium-90 je významnou surovinou pre liečbu rakoviny

4.6 Cézium

Cézium (lat. caesium) je chemický prvok v Periodickej tabuľke prvkov, ktorý má značku Cs a protónové číslo 55. Patrí medzi alkalické kovy, vyznačuje sa veľkou reaktivitou a mimoriadne nízkym redoxným potenciálom.

Cézium objavili v roku 1860 pomocou spektrálnej analýzy R. W. Bunsen a G. R. Kirchhoff. Pomenovanie získal podľa dvoch charakteristických modrých čiarach v emisnom spektre (lat. Caesius = sivomodrý). Cézium sfarbuje plameň do modra λ = 455,5 nm.

Je to veľmi vzácny kov, ktorý sprevádza draslík v stassfurtských soliach. Taví sa pri teplote dlane, v styku s vodou sa vznieti a zlučuje sa za vzniku najsilnejšej zásady - hydroxidu cézneho.

Cézium je prvok, ktorý nie je významne zastúpený v zemskej kôre. Na celom svete sa ho ročne získava len asi 5000 kg a to ešte ako vedľajší produkt pri výrobe lítia.

Spolu s franciom a gáliom je cézium jedným z mála kovov, ktoré sa nachádzajú v tekutom stave takmer pri izbovej teplote. Cézium reaguje explozívne v studenej vode a reaguje aj s ľadom pri teplotách nad −116 °C. Hydroxid cézia (CsOH) je silne zásaditý a rýchlo leptá povrch skla. Soli cézia farbia plameň do fialova.

Obr.21 Cézium

4.6.1 Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti cézia

Chemické vlastnosti
Názov, značka, protónové číslo cézium Cs, 55
Elektronegativita 0,79
Ionizačná energia(e) 1: 375 $kJ.mol^{-1}$, 2: 2234 $kJ.mol^{-1}$
3: 3400 $kJ.mol^{-1}$
Oxidačné číslo I

Fyzikálne vlastnosti
Skupenstvo pevné
Hustota 1,93 $kg \cdot dm^{-3}$
Teplota topenia 301,5 K (28,44 °C)
Teplota varu 944 K (670,8 °C)

Atómové vlastnosti
Atómová hmotnosť 132,9 $g \cdot mol^{-1}$
Elektr. konfigurácia [Xe] $6s^1$
Atómový polomer 265 pm

Kovalent. polomer 244 pm
Kovový polomer 267 pm

Typické vlastnosti cézia sú:

- striebrobiela tuhá látka,
- má najtesnejšiu kubickú priestorovo centrovanú štruktúru,
- malá teplota topenia a malá teplota varu,
- mäkkosť,
- malá hustota,
- malá atomizačná entalpia,
- veľká tepelná a elektrická vodivosť.

Predpoklady cézia k chemickým reakciám

Reakcia cézia so vzdušným kyslíkom:

$$Cs(s) + O_2(g) \rightarrow CsO_2(s) \text{ – superoxid cézia}$$

Reakcia cézia s vodou:

$$2Cs(s) + 2H_2O \rightarrow 2\ CsOH(aq) + H_2(g)$$

Obr.22 Explozívna reakcia cézia s vodou

Reakcia cézia s halogénmi:

$$2\ Cs + F_2 \rightarrow CsF$$
$$2\ Cs + Cl_2 \rightarrow CsCl$$
$$2\ Cs + Br_2 \rightarrow CsBr$$
$$2\ Cs + I_2 \rightarrow CsI$$

Reakcia cézia s kyselinou:

$$2\ Cs + H_2SO_4 \rightarrow 2\ Cs^+ + SO_4^{2-} + H_2$$

Reakcia cézia s vodíkom:

$$2\ Cs + H_2 \rightarrow 2\ CsH$$

Príprava cézia

Elementárne cézium sa vyrába elektrolýzou roztaveného chloridu cézneho na železnej katóde. Na grafitovej anóde pritom vzniká plynný chlór alebo redukciou uhličitanu cézneho kovovým horčíkom.

$$2\ Cs^+ + 2e^- \rightarrow 2Cs$$
$$2\ Cl^- - 2e^- \rightarrow Cl_2$$

Vďaka svojej veľkej reaktivite sa v prírode stretávame iba so zlúčeninami cézia a to len s oxidačným číslom Cs^+.

Izotopy cézia

Po jadrových výbuchoch spojených s výskumom jadrových zbraní a po haváriách jadrových elektrární sa životné prostredie obohacuje o rádionuklidy cézia, najmä ^{134}Cs a ^{137}Cs. Pri černobyľskej havárii v roku 1986 sa do ovzdušia, okrem krátkodobých rádionuklidov (^{131}I, ^{132}Te), dostali aj dlhožijúce rádionuklidy, ^{137}Cs s polčasom rozpadu 33 rokov a ^{134}Cs s polčasom rozpadu 2,06 roka.

Ich zastúpenie vo vzduchu po havárii bolo v pomere 2 : 1. V súčasnosti sa v ovzduší vyskytujú najmä nuklidy cézia ^{137}Cs, ktorý je ß a γ žiaričom. V období rokov 1989 – 1994 nameraná aktivita rádionuklidu ^{137}Cs vo vzduchu nad naším územím dosahovala hodnoty v intervale $3.10^{-7} – 6.10^{-5}$ $Bq.m^{-3}$.

Kontaminácia potravín a poľnohospodárskych produktov rádionuklidom cézia ^{137}Cs klesá od roku 1991 vo väčšine sledovaných zložiek pod úroveň 1 $Bq.m^{-3}$. V súčasnosti sa pohybuje na úrovni hodnôt monitorovaných pred haváriou černobyľskej jadrovej elektrárne.

Ak sa v ľudskom organizme nakumuluje cézium ^{137}Cs v koncentrácii menšej jako 0,2 $mg.g^{-1}$ tkaniva, môže nastať smrť človeka už za jeden deň. Pre dospelého človeka (hmotnosť 70 kg) to znamená 1,4 g cézia ^{137}Cs v celom organizme.

Rádionuklidy cézia ^{137}Cs, ktoré sa do ľudského organizmu dostali predovšetkým potravou, vstrebávajú sa prevažne v tenkom čreve a v dvanástorníku (50 – 80 %).

Biologický polčas nuklidu cézia ^{137}Cs je 70 dní. Ako už bolo uvedené, je rozptýlený v celom organizme, kde sa môže viazať miesto draslíka. Rádionuklid cézia ^{137}Cs je teda antagonistom draslíka, môže ho nahradiť v molekulách živých organizmov.

Tab.10 Vybrané izotopy cézia

Izotop	Výskyt	$t_{1/2}$	Rr	Er (MeV)	Pr
^{133}Cs	100 %	stabilný s 78 neutrónmi			
^{134}Cs	synt.	2,0648 r.	ε	1,229	^{134}Xe
	synt.		β^-	2,059	^{134}Ba
^{135}Cs	synt.	$2{,}3 \times 10^6$ r.	β^-	0,269	^{135}Ba
^{137}Cs	synt.	30,07 r.	β^-	1,174	^{137}Ba

Legenda

$t_{1/2}$- polčas rozpadu
Rr – typ rozpadu jadra
Er – energia rozpadu
Pr – produkt rozpadu

Charakteristika najdôležitejších izotopov cézia

Izotop ^{134}Cs

V roku 1986 sa nad Slovenskom „prehnal“ černobyľský rádioatívny mrak, z ktorého sa uvoľňovali prvky ohrozujúce ľudské zdravie. Najväčšie obavy boli z kontaminácie izotopmi cézia ^{134}Cs a ^{137}Cs, ktoré majú polčas rozpadu okolo dva, respektíve tridsať rokov.

Tieto rádionuklidy sa z povrchu postupne dostávali do hlbších vrstiev pôdy a absorbovali ich aj rastliny, hmyz či huby. Požieraním a spásaním rastlín, húb a hmyzu primárnymi a sekundárnymi konzumentmi sa stávajú súčasťou potravového reťazca. Pre kratší polčas rádioaktívnej premeny sa dnes už izotop ^{134}Cs z havarovaného reaktora v Černobyle v životnom prostredí Európy nevyskytuje, ale dlhšie pretrvávajúci izotop ^{137}Cs sa vyskytuje.

Úniky rádioaktívneho cézia (^{137}Cs polčasom 30 rokov a ^{134}Cs polčasom 2,1 roku) začínajú pri teplotách nad 400 °C (významné okolo 600 °C). Cézium sa v tele správa podobne ako draslík, dostáva sa do všetkých buniek tela. Vylučuje sa pomalšie ako jód, jeho množstvo v tele klesne na polovicu približne za 3 mesiace.

Izotop ^{137}Cs

Izotop cézia ^{137}Cs sa premieňa β^- premenou na izotop bárya ^{137}Ba a uvoľňuje sa veľké množstvo energie.

Schéma β^- premeny ^{137}Cs:

$$^{137}Cs \rightarrow {}^{137}Ba + \beta^- + \upsilon$$

^{137}Cs je rádioaktívny prvok s polčasom rozpadu 30 rokov. Jeho rozpad vytvára dcérsky prvok ^{137}Ba s veľmi krátkym polčasom rozpadu. Obidva prvky majú rovnakú atómovú hmotnosť, ale cézium má atómové číslo 55 a bárium 56. Nakoľko

sa jedná o rôzne chemické prvky, majú iné chemické vlastnosti a možno ich oddeliť chemickými procesmi.

Chemický rozpad ^{137}Cs sa uskutočňuje v dvoch krokoch. Najprv neutrón vo vnútri jadra ^{137}Cs sa rozpadne beta rozpadom, pričom sa premení na protón, β^- časticu (elektrón) a neutríno.

Jadro ^{137}Ba, ktoré je vytvorené týmto procesom, sa nachádza v excitovanom stave a má o 662 keV vyššiu energiu ako v základnom stave. Keď dôjde k deexcitácii, vyžiari sa γ častica s energiou 662 keV. Toto je proces, ktorý určuje polčas rozpadu $^{137}Ba^m$. (Pozn. stav "m" znamená metastabilný).

Správa z tlače aktuality.sk 03.09.2014, 06:30 (Zdroj TASR)

Kazašské úrady sú v stave najvyššej pohotovosti po tom, ako na západe krajiny zmizol prepravný kontajner obsahujúci rádioaktívne ^{137}Cs. Informoval o tom denník The Guardian, citujúc policajné zdroje.

Kontajner s predmetnou látkou, ktorá sa zvyčajne využíva na vojenské alebo lekárske účely, pravdepodobne skĺzol z vozidla počas jeho prepravy, tvrdí polícia v Mangystauskej oblasti.

"Kontajner s rádioaktívnym izotopom ^{137}Cs sa dosiaľ nepodarilo nájsť," uviedol policajný hovorca Azamat Sarsenbajev s tým, že úrady zistili jeho absenciu minulý týždeň v stredu. Intenzívne vystavovanie sa účinkom ^{137}Cs, ktorého polčas rozpadu je 30 rokov, môže vyústiť do vážnych popálenín alebo aj smrti.

Úrady miestnych obyvateľov varovali, aby v prípade nájdenia kontajnera s ním v žiadnom prípade nemanipulovali. Do pátrania po rádioaktívnom náklade sa zapojili bezpečnostné zložky, špeciálne sily aj armáda. Kontajner má hmotnosť približne 50 až 60 kilogramov. Pôvod hľadanej látky úrady nezverejnili. Kazachstan po rozpade Sovietskeho zväzu zdedil arzenál jadrových bojových hlavíc a vojenských testovacích zariadení.

Zdroj: TASR streda 7. 10. 2015 6:16

Pašeráci sa snažia predať rádioaktívny materiál teroristom

Predávajúci žiadal 2,5 milióna eur za cézium dostatočne rádioaktívne na to, aby zamorilo niekoľko mestských blokov.

KIŠIŇOV. Úrady vo východoeurópskom Moldavsku v spolupráci s americkým FBI prekazili za posledných päť rokov štyri pokusy gangov s podozrivými kontaktmi na Rusko, keď chceli predať rádioaktívny materiál extrémistom z Blízkeho východu.
O prípadoch sa dozvedela a informovala tlačová agentúra AP. Najnovší prípad sa stal tento rok vo februári, keď pašerák ponúkal obrovské zásoby smrtiaceho cézia - ktoré by dokázalo zamoriť niekoľko mestských blokov budov - a hľadal kupujúceho konkrétne z Islamského štátu (IS).

Vysoko rádioaktívny materiál

Zločinecké organizácie, niektoré napojené na ruskú tajnú službu - nástupkyňu KGB, pôsobia na prekvitajúcom čiernom trhu s jadrovými materiálmi v malom, chudobnom Moldavsku, ako uviedli tamojší vyšetrovatelia.

Spomínaný štvrtý prípad sa stal začiatkom tohto roka v exkluzívnom tanečnom klube v Moldavsku: dvaja muži uzavreli dohodu o predaji vysoko rádioaktívneho materiálu extrémistickej organizácii Islamský štát (IS).

Predávajúci žiadal 2,5 milióna eur za cézium dostatočne rádioaktívne na to, aby zamorilo niekoľko mestských blokov.

"Dá sa z toho vyrobiť špinavá bomba, ktorá by sa dokonale hodila Islamskému štátu," povedal pašerák. Lenže kupujúcim bol nasadený policajný agent a išlo o tajnú operáciu amerického Federálneho úradu pre vyšetrovanie (FBI) - keď sa skončila, za mrežami sa nachádzali traja ľudia.

Čierny trh nie je pod kontrolou

Moldavské policajné a justičné úrady sa o výsledky vyšetrovania podelili aj s agentúrou AP, aby upozornili, že čierny trh s jadrovým materiálom je čoraz nebezpečnejší a že prípady budú zrejme pribúdať.

Zdôraznili tiež, že narušenie spolupráce medzi Ruskom a Západom sťažuje vyšetrovanie.

Hoci Moldavci zatkli dôležitých podozrivých a stiahli nebezpečné materiály z trhu, ich úspech zatienili zvláštne nedostatky - kľúčoví podozriví ušli, zatknutí nedostali dlhé tresty odňatia slobody a v niektorých prípadoch sa dokonca vrátili k pašovaniu jadrového materiálu.

Napriek odhodlanému úsiliu dostať pod kontrolu nelegálne obchodovanie s rádioaktívnymi materiálmi vo svete tieto prípady ukazujú, že čierny trh s jadrovým materiálom nie je ani zďaleka pod kontrolou, napísala agentúra AP.

Havária v Černobyle a kontaminácia ^{137}Cs

Kontaminácia Bieloruska ^{137}Cs je tak rozsiahla, že je s rôznou intenzitou (37 až 555 kBq.m^{-2}) kontaminovaného približne 23% jeho územia, na ktorom dnes žije 2,1 miliónov obyvateľov, vrátane 700 tisíc detí. To znamená, že každý piaty obyvateľ Bieloruska žije v zamorenej oblasti. Najviac postihnuté sú kraje Gomelský, Mohylevský a Brestský. Pre porovnanie: rovnako zamorené územie ako v Bielorusku, je na 4,8 % Ukrajiny a 0,5 % území Ruska.

Obr.23 Najviac postihnuté kraje Bieloruska ^{137}Cs

Najsilnejšie zasiahnuté boli priľahlé oblasti Bieloruska, Ukrajiny a Ruska. Z tridsaťkilometrovej zóny okolo elektrárne bolo evakuovaných 130 tisíc obyvateľov. Neskôr sa ale našli vysoko zamorené miesta aj vo veľkých vzdialenostiach za hranicou tejto „zakázanej zóny.“ Celková plocha územia, kde je kontaminácia vyššia ako 370,00 mBq.m^{-2} [1 Bq predstavuje jednu vyžiarenú rádioaktívnu časticu za sekundu], čo je úroveň vyžadujúca zvláštny režim, presiahla 120 000 km^2. V koncentrácii prevyšujúcej 400,0 mBq.m^{-2} zamorilo približne 40 % územia Európy.

Tab.11 Kontaminácia rádionuklidmi krátko po černobyľskej havárii v Bielorusku

Údaje sú uvedené v percentách	
Rádionuklid	**% kontaminovaného územia**
^{131}J	Prakticky celé územie
^{137}Cs	66 %
^{90}Sr	10%
$^{238, 239,240}$Pu	2%
Zdroj dát: Ministerstvo pre mimoriadne situácie Bieloruskej republiky	

Slovenská republika a Černobyl – kontaminácia ^{137}Cs

Priemerná hodnota zamorenia pôdy rádioizotopom cézia ^{137}Cs v Československu bola 420,0 mBq.m^{-2}. Na Slovensku bol najviac zasiahnutý západoslovenský kraj. Nadpriemerné zamorenie bolo zaznamenané v okresoch (priemer ČSSR bol 420,0 mBq.m^{-2}):
Zdroj: Zpráva o radiační situaci, 1987.

Dunajská Streda 122,00 mBq.m^{-2}
Komárno 105,10 mBq.m^{-2}
Žiar nad Hronom 847,0 mBq.m^{-2}
Galanta 727,0 mBq.m^{-2}
Nitra 698,0 mBq.m^{-2}
Levica 641,0 mBq.m^{-2}
Stará Ľubovňa 527,0 mBq.m^{-2}
Nové Zámky 467,0 mBq.m^{-2}
Lučenec 467,0 mBq.m^{-2}
Dolný Kubín 443,0 mBq.m^{-2}

Pre porovnanie:

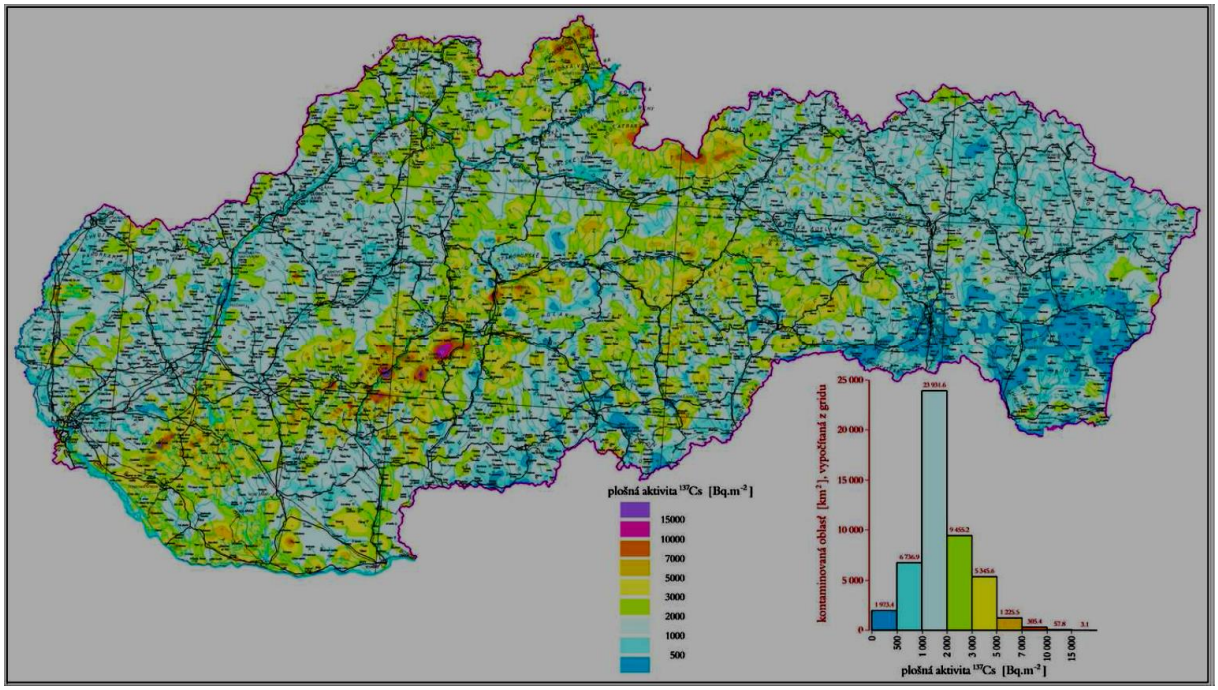
Plošná aktivita spadu meraná v roku 2000 vo vzorkách zhromažďovaných po dobu jedného mesiaca, kedy koncentrácia ^{137}Cs v analyzovaných vzorkách dosiahla v priemere 380 mBq.m^{-2}.

Slovenská republika a Fukušima

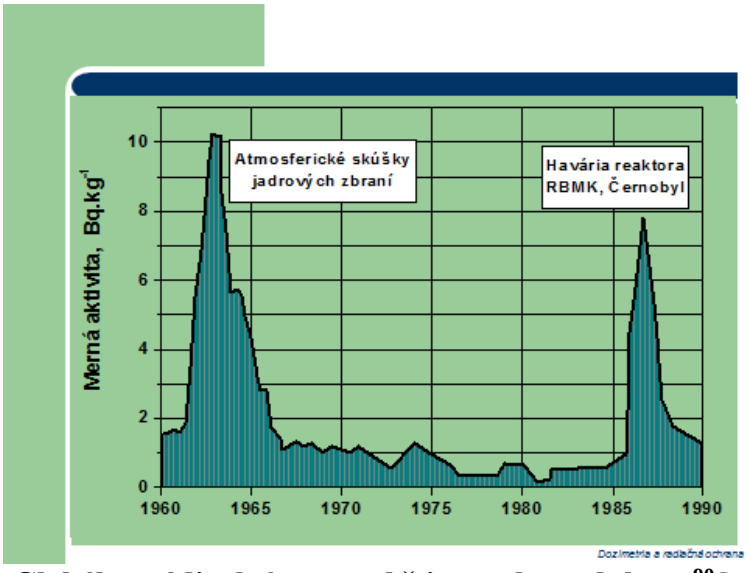
Výsledky meraní SHM 30. 03. 2011 poukazujú na skutočnosť, že sa jedná o stopové množstva rádioaktívnych látok prenášaných výškovým prúdením vzduchu a ktoré sú vo väčšine prípadov na hranici citlivosti najmodernejších detekčných zariadení.

Doteraz najvyššia nameraná hodnota koncentrácie aerosólov na území SR bola pre ^{131}J 2,5 mBq.m^{-3}, pre ^{134}Cs 0,374 mBq.m^{-3}, a pre ^{137}Cs: 0,379 mBq.m^{-3}.

Takáto kontaminácia ovzdušia bola v týchto dňoch nameraná aj v iných krajinách EU a jej porovnanie so zásahovými úrovňami platnými v európskej legislatíve pre zavedenie nápravných opatrení poukazuje nato, že akékoľvek obavy z ožiarenia sú pri súčasnej situácii absolútne neopodstatnené.



Obr.24 Mapa plošnej aktivity ^{137}Cs územia Slovenskej republiky (Gluch, Cížek, Smolárová, 2005)



Obr.25 Globálny rádioaktívny spad štiepnych produktov ^{90}Sr a ^{137}Cs

4.7 Jód

Jód, *Iodum* (gr. *iodes*), je chemický prvok v Periodickej tabuľke prvkov, ktorý má značku **I** a protónové číslo 53. Patrí do skupiny halogénov a po astáte najmenej elektronegatívny halogén. Tvorí tmavofialové dostičkovité kryštáliky. Je to dôležitý biogénny prvok a jeho prítomnosť v potrave je nevyhnutná pre správny vývoj organizmu.

Obr.26 Jód v pevnom a plynnom skupenstve

Jód sa v prírode vyskytuje len vo svojich zlúčeninách, elementárny jód sa v prírode nenachádza. Priemerný obsah jódu v zemskej kôre je 0,045%.

Elementárne jód je tmavo fialová až čierna látka, ktorá pri atmosférickom tlaku prechádza priamo do plynnej fázy, sublimuje. Jeho pary majú fialovú farbu a charakteristický dráždivý zápach. Vo vode sa rozpúšťa veľmi slabo, lepšie je rozpustný v etanole alebo nepolárnych rozpúšťadlách ako sírouhlík CS_2, chlorid uhličitý CCl_4 alebo benzén C_6H_6.

Je rozpustný v roztoku jodidu draselného, s ktorým tvorí trijodidový anión, tohto sa využíva v jodometrických titráciách:

$$I_2 + I^- \rightarrow I_3^-$$

Jód bol objavený Bernardom Courtoisom v Paríži v roku 1811, ale trvalo takmer 100 rokov kým sa zistila jeho kľúčová úloha pre funkciu štítnej žľazy. V roku 1927 Sir Charles Harrington ohlásil, že veľká časť molekuly tyroxínu (T4 - hormónu štítnej žľazy) bola tvorená jódom (65,3% hmotnosti).

4.7.1 Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti jódu

Chemické vlastnosti
Názov, značka, protónové číslo jód (*iodum*), I, 53
Elektronegativita 2,66
Ionizačná energia(e) 1: 1 008,4 kJ.mol^{-1}, 2: 1 845 kJ.mol^{-1}
3: 3180 kJ.mol^{-1}
Oxidačné čísla **-I**, I, III, V, **VII**

Atómové vlastnosti
Atómová hmotnosť 126,9 g·mol^{-1}
Elektr. konfigurácia [Kr] $4d^1\ 5s^2\ 5d^5$
Atómový polomer 140 pm
Kovalent. polomer 139 pm
Iónový polomer 216 pm

Fyzikálne vlastnosti
Skupenstvo pevné
Hustota 4,933 kg·dm^{-3}
Teplota topenia 386,85 K (113,7 °C)
Teplota varu 457,4 K (184,2 °C)

Chemické vlastnosti jódu a predpoklady k reakciám

Chemický prvok jód je sivočierna, kovovo lesklá, tuhá látka, ktorá už za normálnej teploty sublimuje. Jód je menej reaktívny ako ostatné halogény. Ľahko reaguje s fosforom, železom a ortuťou. S vodíkom reaguje jód neochotne, s kyslíkom sa priamo nezlučuje, nepriamo možno pripraviť oxid jodičný I_2O_5, ktorý je jediným známym stabilným oxidom halogénu.

Jód je obmedzene rozpustný vo vode, ale veľmi dobre sa rozpúšťa v celej rade organických rozpúšťadiel za vzniku rôzne sfarbených roztokov.

V zlúčeninách sa vyskytuje zvyčajne v oxidačnom stave -I ako jodidový anión I^-, v oxidačných stavoch V a VII ako anión jodičný$[IO_3]^-$ a jodistý $[IO_6]^{-5}$, v chloristane jódnom $IClO_4$ vystupuje jód v kladnom oxidačnom stave I ako katión jódny I^+.

Vodné roztoky jodidov bývajú obvykle bezfarebné, výnimku tvorí svetlozelený jodid nikelnatý NiI_2, tmavo zelený jodid chromitý CrI_3 a ružový jodid kobaltnatý CoI_2. Nerozpustné jodidy bývajú väčšinou žlté, oranžové alebo hnedé, jodid bizmutitý BiI_3 je čierny a jodid ortutnatý Hg_2I_2 je šedozelený.

Medzi známe minerály s obsahom jódu patrí napr. lautarit $Ca(IO_3)_2$, bruggenit $Ca(IO_3)_2 \cdot H_2O$, bellingerit $Cu_3(IO_3)_6 . 2 H_2O$ alebo salesit $Cu(IO_3)(OH)$. Najväčší obsah jódu (66,63% I) zo všetkých nerastov má marshit CuI. Celkom je známe 25 minerálov jódu.

Príprava jódu

Výroba jódu sa vykonáva redukciou z kryštalizačného lúhu čílskeho liadku. Jodičnany obsiahnuté v kryštalizačnom lúhu sa redukujú na elementárny jód pôsobením siričitanu a síranu sodného alebo samotným siričitanom v prostredí kyseliny chlorovodíkovej:

$$2\ NaIO_3 + 2\ NaHSO_3 + 3\ Na_2SO_3 \rightarrow I_2 + 5\ Na_2SO_4 + H_2O$$
$$2\ NaIO_3 + 5\ Na_2SO_3 + 2\ HCl \rightarrow I_2 + 5\ Na_2SO_4 + 2\ NaCl + H_2O$$

Surový jód sa rafinuje sublimáciou. Ďalším zdrojom jódu vo forme jodidov je popol morských chalúh a niektoré naftové vody. Výroba jódu z jodidov sa vykonáva oxidáciou jodičnanmi, chrómanmi alebo oxidom manganičitým v kyslom prostredí:

$$2\ NaI + 3\ H_2SO_4 + MnO_2 \rightarrow I_2 + 2\ NaHSO_4 + MnSO_4 + 2H_2O$$

Získaný jód sa zachytáva na aktívnom uhlí a rafinuje sa chemickými postupmi.

Izotopy jódu

Prírodný jód je zo 100% tvorený stabilným izotopom ^{127}I, umelo bolo pripravené ďalších 33 nestabilných izotopov jódu s hmotnostnými číslami od 108 do 141.

Tab.12 Vybrané izotopy jódu

Izotop	Výskyt	$t_{1/2}$	Rr	Er (MeV)	Pr
^{123}I	synt.	13 h.	ε, γ	0,16	^{123}Te
^{127}I	100 %	stabilný s 74 neutrónmi			
^{129}I	stopy	$15,7 \times 10^6$ r.	β^-	0,194	^{129}Xe
^{131}I	synt.	8,02070 d.	β^-, γ	0,971	^{131}Xe

Legenda

$t_{1/2}$- polčas rozpadu
Rr – typ rozpadu jadra
Er – energia rozpadu
Pr – produkt rozpadu

Príprava I^{131}

Príprava sa uskutočňuje v jadrových reaktoroch ožarovaním nerádioaktívnych prvkov neutrónmi, ktoré vznikajú pri štiepení obohateného uránu ^{235}U alebo separáciou štiepnych produktov obohateného uránu ^{235}U.

Príklady jadrových reakcií prípravy ^{131} I:

$^{130}Te\ (n,\gamma)\ ^{131m}Te \xrightarrow{\beta,\ 30\ hod.} {}^{131}I$ $\qquad$ $^{130}Te\ (n,\gamma)\ ^{131}Te \xrightarrow{\beta,\ 25min.} {}^{131}I$

$^{235}U\ (n,f)\ ^{131}Te \xrightarrow{\beta,\ 30\ hod.} {}^{131}I$ $\qquad$ $^{235}U + n \rightarrow {}^{236}U \rightarrow {}^{131}I + {}^{102}Y + 3n$

Pretože ^{131} I emituje beta a gama žiarenia, je využívaný ako pre terapeutické účely (post -terapeutická scintigrafia), tak na **diagnostické** účely. Pri diagnostike karcinómu štítnej žľazy podávame menšiu dávku, ako pri terapii.

Rozpadá sa emisiou gama žiarenia s energiami 364 keV (81,6 %), 637 keV (7,1 %), 284 keV (6,2 %) a žiarenia beta s maximálnou energiou Emax 606 keV na stabilný xenón (^{131}Xe).

4.8 Irídium

Irídium (lat. *iridium*) je chemický prvok v Periodickej tabuľke prvkov, ktorý má značku **Ir** a protónové číslo 77. Často sa mu hovorí aj "vesmírny prvok", lebo na Zemi sa nachádza prevažne v meteoritoch.

Irídium objavil v roku 1803 S. Tenaut. Pre rozmanité sfarbenie svojich zlúčenín dostal pomenovanie podľa gréckej bohyne Iris, ktorej znamením bola dúha. Svojím výskytom v zemskej kôre (0,001 ppm) je zaradené medzi vzácne prvky.

Obr.27 Irídium

4.8.1 Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti irídia

Chemické vlastnosti
Názov, značka, protónové číslo irídium , Ir, 77
Elektronegativita 2,2
Ionizačná energia(e) 1: 880 kJ.mol^{-1}, 2: 1 600 kJ.mol^{-1}
Oxidačné čísla III, **IV**, VI

Atómové vlastnosti
Atómová hmotnosť 192,2 g·mol^{-1}
Elektr. konfigurácia [Kr] $4f^{14}$ $5d^{7}$ $6s^{2}$
Atómový polomer 136 pm
Kovalent. polomer 141pm

Fyzikálne vlastnosti
Kovový polomer 136 pm
Skupenstvo pevné
Hustota 22,56 kg·dm^{-3}
Teplota topenia 2 739 K (2 465,85 °C)
Teplota varu 4 701 K (4 427,85 °C)

Chemické vlastnosti irídia a predpoklady k reakciám

Irídium sa nerozpúšťa v žiadnej z bežných kyselín, pri teplote 125 °C sa rozpúšťa v koncentrovanej kyseline chlorovodíkovej (HCl) nasýtenej kyslíkom, produktom reakcie je komplexný kyselina hexachloroiridičitá:

$$Ir + 6\ HCl + O_2 \rightarrow H_2[IrCl_6] + 2\ H_2O$$

Pri vysokej teplote reaguje irídium s fluórom(F), chlórom (Cl), sírou (S) a fosforom (P), v zlúčeninách vystupuje irídium najčastejšie v 3 a 4 oxidačnom stupni.

$$2\ Ir + 6\ KHSO_4 \rightarrow 2\ K_3[Ir(SO_4)_3] + 3\ H_2$$

Pri teplote okolo 350 °C reaguje s taveninami solí:

$$Ir + Na_2CO_3 + 2\ NaNO_3 \rightarrow Na_2IrO_3 + 2\ NaNO_2 + CO_2$$

Pri teplote cez 800 °C prudko reaguje s peroxidom bárnatým:

$$Ir + 2\ BaO_2 \rightarrow IrO_2 + 2\ BaO$$

Zlúčeniny irídia v iných mocenstvách nie sú príliš obvyklé, jednomocné irídium tvorí napr. chlorid iridný (IrCl), päťmocné irídium tvorí prudko reaktívny fluorid iridičný (IrF_5) a hexafluoroiridičnan cézny $Cs[IrF_6]$, šesťmocné irídium tvorí fluorid iridový (IrF_6),
jednoduché zlúčeniny irídia nie sú príliš obvyklé, irídium má však sklon k tvorbe mnohých komplexných zlúčenín, trojmocné irídium tvorí zlúčeniny s komplexným aniónom i katiónom, štvormocné irídium tvorí iba zlúčeniny s komplexným aniónom., v tetraedrických komplexoch typu $[Ir(PF_3)_4]^-$ vystupuje irídium v oxidačnom stave -I.

Príprava irídia

Hlavným zdrojom pre priemyselnú výrobu irídia sú odpadové anódové kaly po elektrolytickej rafinácii medi alebo niklu. V súčasnosti sa obvykle používa mokrý spôsob výroby irídia, pri ktorom sa anódové kaly s obsahom irídia a ostatných kovov oxidujú peroxidom sodným a potom rozpúšťajú v lúčavke kráľovskej. Z roztoku je irídium extrahované pomocou roztokov organických amínov, alebo je vyzrážané ako hexachloroiridičitan amónny $(NH_4)_2[IrCl_6]$, z ktorého je kovové irídium vyredukované ako irídiová huba vodíkom:

$$(NH_4)_2[IrCl_6] + 2\ H_2 \rightarrow Ir + 2\ NH_4Cl + 4\ HCl$$

V minulosti prevažoval pražno - oxidačný postup výroby irídia, pri ktorom sa odpadový kal alebo rudný koncentrát podroboval tavnej oxidácii pomocou dusičnanu draselného v silne alkalickom prostredí. Produktom oxidácie bol oxid iridičitý, ktorý sa pôsobením chloridu amónneho prevádzal na hexachloroiridičitan amónny.

Výskyt irídia v prírode

V prírode sa irídium vyskytuje väčšinou rýdze alebo v zliatine s platinou alebo osmiom. Medzi známe nerasty s obsahom irídia patrí napr. chengdeit Ir_3Fe, cuproiridsit $CuIr_2S_4$, kashinit $(Ir, Rh)_2S_3$, tolovkit IrSbS, gaotait Ir_3Te_8 alebo malanit $Cu\ (Pt, Ir)_2S_4$.

Celkom je známe cca 25 minerálov irídia. Najvyšší obsah irídia (91,17% Ir) má nerast chengdeit Ir_3Fe.

Izotopy irídia

Prírodné irídium je zmesou stabilných izotopov ^{191}Ir a ^{193}Ir. Umelo bolo pripravené 32 rádioaktívnych izotopov s nukleonovými číslami 165 ~ 198.

Tab.13 Vybrané izotopy irídia

Izotop	Výskyt	$t_{1/2}$	Rr	Er (MeV)	Pr
^{188}Ir	synt.	1,73 d.	ε	1,64	^{188}Os
^{189}Ir	synt.	13,2 d.	ε	0,532	^{189}Os
^{190}Ir	synt.	11,8 synt.	ε	2,000	^{190}Os
^{191}Ir	37,3 %	stabilný s 114 neutrónmi			
^{192}Ir	synt.	73,827 d.	β^-	1,460	^{192}Pt
	synt.		ε	1,046	^{192}Os
^{193}Ir	62,7 %	stabilný s 116 neutrónmi			
^{194}Ir	synt.	19,3 h.	β^-	2,247	^{194}Pt

Legenda

$t_{1/2}$- polčas rozpadu
Rr – typ rozpadu jadra
Er – energia rozpadu
Pr – produkt rozpadu

Izotop ^{192}Ir

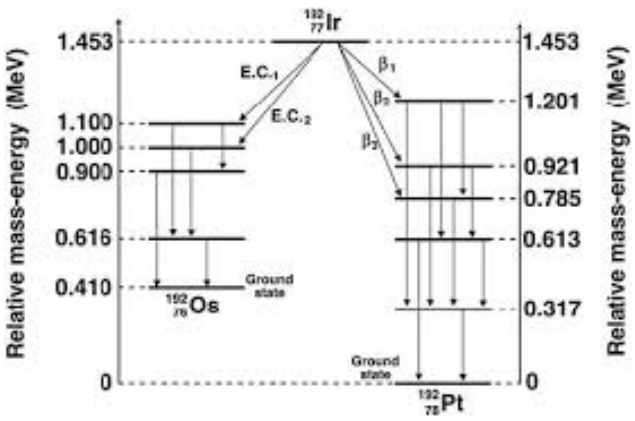
Izotop ^{192} Ir sa rozpadá β^- rozpadom podľa schémy za vzniku γ žiarenia:

$$^{192}Ir \rightarrow {}^{192}Pt + \beta^- + \gamma$$

Základné údaje:
Teplota topenia 2446 °C
Teplota varu 4428 °C
Polčas rozpadu 73,828 dní

Príprava izotopu ^{192} Ir

Stabilný izotop $^{191}Ir + {}^{1}n \rightarrow {}^{192}Ir$



Obr.28 Premenové schéma rozpadu irídia ^{192}Ir

Poznámka

Zdroj: Denník Sme štvrtok 2. 4. 1998

ČADCA (SME - jf) - Prepravu rádioaktívneho materiálu v kontajneri veľkosti 20x20x40 cm v služobnom vozni v rýchliku č. 431 Petrov na linke Brno - Košice zistili včera ráno o 2.55 h príslušníci Colnej kontroly SR v Čadci. Meraním zistili, že vo vozni je 8,5 krát vyššie žiarenie, ako je normou prípustná hodnota, a preto vagón okamžite odstavili na vedľajšiu koľaj, uzavreli ho a začali ho strážiť príslušníci Železničnej polície v Čadci.

Zatiaľ sa polícii podarilo zistiť, že ide o nebezpečný rádioaktívny, toxický a dokonca reaktívny izotop pod názvom irídium ^{192}Ir, ktorý sa okrem iného môže použiť aj v nízkoenergetických zdrojoch gamarádiografie. Tento izotop podľa slov hovorcu KR PZ v Žiline Radovana Kyselicu patrí medzi známe a vyhľadávané radioaktívne látky na svetovom čiernom trhu, akými sú aj urán, plutónium, cézium, stroncium alebo kalifornium.

Zásielka v Čadci zaisteného irídia^{192}Ir bola adresovaná košickej firme Humalab a podľa doterajších informácií prepravu zabezpečovala poľská firma, ktorej zástupca sa z Prahy už včera popoludní na KR PZ v Žiline telefonicky zaujímal o osud prepravovanej a zaistenej nebezpečnej zásielky.

4.9 Polónium

Polónium (*polonium*) je chemický prvok v Periodickej tabuľke prvkov, ktorý má značku **Po** a protónové číslo 84. Polónium je zriedkavý rádioaktívny prvok, vyskytujúci sa v uránovej rude. Polónium objavila Mária Curie – Sklodowská v roku 1898 pri skúmaní rádioaktivity v jáchymovskom smolinci a pomenovala ho na počesť svojej vlasti Poľska.

Za tento objav získala v roku 1911 Nobelovu cenu za chémiu. Na získanie 250 mg Po bolo potrebné spracovať vyše 1 000 000 kg smolinca.

Obr.29 Polónium

Polónium sa získavalo z roztokov elektrolýzou na striebornej elektróde. V súčasnosti sa vyrába umele v jadrových reaktoroch ožarovaním bizmutu elektrónmi. Polónium vyžaruje žiarenie alfa viac ako rádium a mení sa na neaktívne. Polónium, vzhľadom k svojej rádioaktivite (138,38 dňa) sa v prírode takmer

nevyskytuje a preto nie je známy ani jeho výskyt v ľudskom organizme. V prírode sa vyskytuje len izotop ^{210}Po, ktorý je predposledným členom rozpadového radu rádia:

$$^{210}Pb \rightarrow(\beta)\ ^{210}Bi \rightarrow(\beta)\ ^{210}Po \rightarrow(\alpha)\ ^{206}Pb$$

Polónium je takmer čistý α žiarič (E_a = 5,30 MeV) a iba 0,011 % jeho aktivity spôsobuje žiarenie γ (E_{max} = 0,803 MeV). Častice α majú krátky dolet a preto rádioaktívne ožiarenie ľudského organizmu je nebezpečnejšie z vnútra ako z vonku.

4.9.1 Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti polónia

Chemické vlastnosti
Názov, značka, protónové číslo polónium Po, 84
Elektronegativita 2,0
Elektr. konfigurácia [Kr] $4f^{14}\ 5d^{10}\ 6s^2\ 6p^4$
Ionizačná energia(e) 1: 812,1 $kJ.mol^{-1}$
Oxidačné čísla -II, **II**, **IV**, VI

Atómové vlastnosti
Atómová hmotnosť 209 $g \cdot mol^{-1}$
Atómový polomer 168 pm
Kovalent. polomer 140 pm

Fyzikálne vlastnosti
Skupenstvo pevné
Hustota 9,1 $kg \cdot dm^{-3}$
Teplota topenia 527 K (253,85 °C)
Teplota varu 1 235 K (961,85 °C)

Príprava polónia

Polónium vzniká redukciou chloridu poloničitého chloridom cínatým:

$$PoCl_4 + 2\ SnCl_2 \rightarrow Po + 2\ SnCl_4$$

Ročná produkcia polónia sa pohybuje okolo 100 g.

Chemické vlastnosti a reakcie

Polónium sa veľmi dobre rozpúšťa v zriedených minerálnych kyselinách. Produktom reakcie s kyselinou chlorovodíkovou je komplexná kyselina hexachloropoloničitá a vodík, s oxidujúcimi kyselinami reaguje za vzniku poloničitej soli a bez vývoja vodíka:

$$Po + 6\ HCl \rightarrow H_2[PoCl_6] + 2\ H_2$$
$$Po + 4\ H_2SO_4 \rightarrow Po(SO_4)_2 + 2\ SO_2 + 4\ H_2O$$
$$Po + 8\ HNO_3 \rightarrow Po(NO_3)_4 + 4\ NO_2 + 4\ H_2O$$

Reakcia polónia s alkalickými hydroxidmi prebieha za teplôt nad 450 °C pomerne pomaly za vzniku alkalických poloničitanov:

$$Po + 2\ (NaOH.H_2O) \rightarrow Na_2PoO_3 + 2\ H_2 + H_2O$$

Už za laboratórnej teploty sa ochotne zlučuje s vodíkom na polonovodík:

$$Po + H_2 \rightarrow H_2Po$$

S fluórom sa priamo nezlučuje, s ostatnými halogénmi reaguje od teploty 150 °C za vzniku halogenidov polonatých PoX_2, pri teplotách nad 300 °C tvorí halidy poloničité PoX_4. Všetky halidy polónia sú kryštalické látky temne červenej farby, výnimku tvorí žltý chlorid poloničitý $PoCl_4$ a čierny jodid poloničitý PoI_4.

So sírou sa priamo nezlučuje, sulfid polónia PoS je možné získať nepriamym spôsobom, reakciou polónia s koncentrovanou kyselinou sírovou a sírovodíkom:

$$Po + H_2SO_4 + H_2S \rightarrow PoS + SO_2 + 2\ H_2O$$

Pri teplote nad 330 °C sa priamo zlučuje s ortuťou a olovom na polonid ortutnatý HgPo a polonid olovnatý PbPo. S radom ďalších kovov tvorí polonidy až pri teplote nad 1000 °C. Všetky polonidy kovov sú kryštalické látky, zvyčajne kryštalizujúce v kubickej sústave, iba polonid platnatý PtPo a polonid horečnatý MgPo sú hexagonálne. Polonidy patria medzi najstabilnejšie zlúčeniny polónia.

Ostatné chemické vlastnosti polónia sú podobné bizmutu a telúru. Polonaté soli sú rozpustné, tvoria ružové roztoky, ľahko podliehajú autooxidácii a prechádzajú na poloničité soli, ktoré majú žltú farbu. Polónium aj všetky jeho zlúčeniny sú silne toxické.

Zlúčeniny polónia

Hydrid (H_2Po)

H_2Po je zo všetkých hydridov chalkogénov najmenej stály, dá sa pripraviť iba v stopových množstvách (10^{-10} g). Pripravuje sa redukciou polónia zriedenou kyselinou chlorovodíkovou na horčíkovej fólii.

Polonidy

Pripravujú sa priamou reakciou z prvkov, patria medzi najstálejšie zlúčeniny polónia, väčšina polonidov sa rozkladá pri teplote (600 ± 50) °C, výnimkou je stály HgPo, ktorý sa rozkladá pri teplote 300 °C.

Veľmi stabilné polonidy lantanoidov sú stabilné do teploty 1000 °C (napr. teplota topenia PrPo je 1253 °C a teplota topenia TmPo je až 2200 °C).

Polonid hlinitý vzniká syntézou hliníka s polóniom:

$$2\ Al + 3\ Po \rightarrow Al_2Po_3$$

Halogenidy

$PoCl_2$ - má farbu tmavo rubínovo červenú, $PoBr_2$ - je farby purpurovo hnedej, obe zlúčeniny vznikajú priamym zlučovaním príslušných prvkov. Lepším spôsobom ich prípravy je redukcia $PoCl_4$ oxidom siričitým a redukcia $PoBr_4$ sulfánom pri teplote 25 °C.

PoI_2 - vzniká iba znečistený rozkladom PoI_4 pri teplote 200 °C, PoF_4 - je pomerne málo preštudovaný halogenid, je to tuhá látka, vzniká rozkladom PoF_6.

$PoCl_4$ - tvorí jasne žlté, monoklinické kryštály, ktoré je možné v atmosfére chlóru roztaviť, pri teplote nad 200 °C sa rozkladá na $PoCl_2$.

$PoBr_4$ - je červený s plošne centrovanou kubickou mriežkou, PoI_4 - je čiernej farby. Tetrahalogenidy sa pripravujú priamou syntézou z prvkov alebo nepriamo napr. chlórovaním PoO_2 kyselinou chlorovodíkovou.

Oxid poloničitý (PoO_2)

Pripravuje sa buď priamou syntézou z prvkov pri teplote 250 °C alebo tepelným rozkladom hydroxidu, dusičnanu, síranu alebo selénanu poloničitého, má nízkoteplotnú žltú formu s plošne centrovanou mriežkou:

$$Po(NO_3)_4 \rightarrow PoO_2 + 4\ NO_2 + O_2$$
$$Po(SO_4)_2 \rightarrow PoO_2 + 2\ SO_2 + O_2$$
$$Po(SeO_4)_2 \rightarrow PoO_2 + 2\ SeO_2 + O_2$$

Táto forma pri zahrievaní hnedne a môže byť pri teplote 855 °C v prúde kyslíka presublimovaná. Za zníženého tlaku sa pri teplote 500 °C rozkladá na prvky, má amfoterný charakter, je zásaditejší než TeO_2.

Hydratovaný oxid poloničitý ($PoO(OH)_2$)

Získava sa ako svetlo žltá vločkovitá zrazenina po pridaní zriedeného roztoku hydroxidu k roztoku obsahujúcom Po^{IV}:

$$PoO(OH)_2 + 2\ KOH \rightarrow K_2PoO_3 + H_2O\ (t = 22\ °C)$$

Roztoky $PoO(OH)_2$ sú značne kyslé.

Hydroxid ($Po(OH)_2$)

Je čiernohnedý hydratovaný oxid, zráža sa po zalkalizovaní čerstvo pripraveného roztoku Po^{II} , toto je určitá výnimka, pretože ostatné zlúčeniny majúce charakter lúhu alebo oxokyselín sú len pre oxidačné stavy IV a VI.

Koncentrácia zlúčenín polónia vo vzduchu musí byť nižšia než $4 \cdot 10^{-11}$ $mg \cdot m^{-3}$.

Izotopy polónia

Tab.14 Vybrané izotopy polónia

Izotop	Výskyt	$t_{1/2}$	Rr	Er (MeV)	Pr
^{208}Po	synt.	2,898 r.	α	5,215	^{204}Pb
	synt.		ε, β^+	1,401	^{208}Bi
^{209}Po	synt.	103 r.	α	4,979	^{205}Pb
	synt.		ε, β^+	1,893	^{209}Bi
^{210}Po	stopy	138,376 d.	α	5,307	^{206}Pb

Legenda

$t_{1/2}$- polčas rozpadu
Rr – typ rozpadu jadra
Er – energia rozpadu
Pr – produkt rozpadu

Všetky izotopy polónia (je ich vyše 30) sú rádioaktívne. Najbežnejší izotop polónia je ^{210}Po (číslo 210 znamená, že v jeho jadre je 210 nukleónov, konkrétne 84 protónov a 126 neutrónov).

Praktický význam má i izotop ^{209}Po s polčasom rozpadu 103 rokov. Izotop ^{208}Po má polčas rozpadu 2,898 roka.

Prakticky všetky znalosti o fyzikálnych a chemických vlastnostiach tohto prvku boli získané štúdiom izotopu ^{210}Po, ktorý sa najľahšie pripraví v jadrovom reaktore bombardovaním ^{209}Bi neutrónmi:

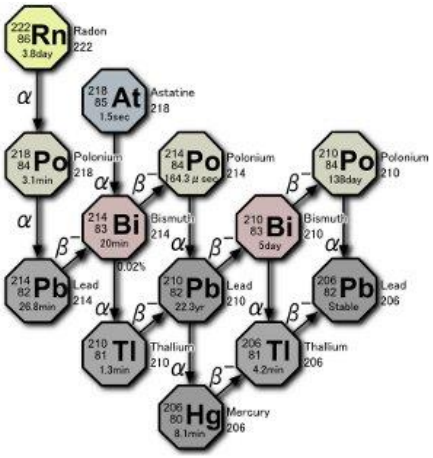
^{210}Po sa štiepi bombardovaním bismutu (izotop 209). Ten sa najskôr premení na izotop 210, ale následnou premenou neutrónu na protón (a tým pádom dôjde k vyžiareniu β^- častice) vznikne polónium (izotop 210).

Zápis jadrovej reakcie:

$$^{209}_{83}\mathrm{Bi} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{210}_{83}\mathrm{Bi} \text{ a následne } {}^{210}_{83}\mathrm{Bi} \rightarrow {}^{210}_{84}\mathrm{Po} + {}^{0}_{-1}\beta$$

^{209}Bi je v prírode hojne rozšírený a je to vôbec najťažší stabilný nuklid akéhokoľvek prvku. Pre prípravu polónia sa však musí použiť vysoko čistý bismut, aby sa zabránilo kontaminácii ^{210}Po nežiaducimi bočnými reakciami, t.j. najmä koncentrácie Se, Ag, As, Sb a Te musia byť nižšie než 0,1 ppm a koncentrácie Fe nižšie než 10 ppm. Veľmi malé množstvo polónia (rádovo miligramy) možno získať vákuovou destiláciou kovového bismutu.

^{210}Po je mimoriadne intenzívnym zdrojom α častíc (sú to vlastne jadrá hélia) a jeho polčas rozpadu je 138,376 dňa (za túto dobu sa rozpadne polovica atómov polónia). O intenzite rádioaktivity ^{210}Po svedčí napríklad to, že už jeho miligram produkuje toľko α častíc ako 5 gramov rádia (rádium tiež objavili manželia Curieovci). Pri rádioaktívnom rozpade sa generuje teplo, pričom jeden gram ^{210}Po generuje energiu 140 W.



Obr.30 Časť uránového rozpadového radu, tri izotopy polónia sú prírodné

Poznámka

Zdroj: ČTK | 12.03.2015 17:4

Polónium, ktoré zabilo Litvinenka, vraj mohlo vyrobiť len Rusko

Množstvo izotopu rádioaktívneho ^{210}Po, ktorým bol v roku 2006 zavraždený bývalý agent ruskej tajnej služby KGB Alexander Litvinenko, mohlo byť vyrobené len v Rusku.

Britským vyšetrovateľom, ktorí sa od januára znovu zaoberajú okolnosťami Litvinenkovej smrti, to oznámil britský fyzik Norman Dombey. Litvinenko zomrel v Londýne po dávke 26,5 mikrogramu tohto jedu.

Podľa Dombeya bol jed vyrobený v závode Avangard kedysi utajovaného mesta Sarov, ležiacom 500 kilometrov juhovýchodne od Moskvy. Za čias Sovietskeho zväzu sa zariadenie volalo Arzamas-16 a bolo súčasťou siete tovární na výrobu jadrových zbraní.

Dombey upozornil, že žiadna iná krajina ani polónium nevyrába. Británia a Spojené štáty prestali s jeho produkciou už v 70. rokoch. „Podľa môjho názoru je za otravu zodpovedný ruský štát alebo jeho agenti," upozornil Dombey v písomnej správe.

Dombeyovo svedectvo podľa denníka Financial Times predstavuje zatiaľ jeden z najpádnejších dôkazov o možnej zodpovednosti štátu, teda Ruska, za zabitie Litvinenka.

Britský súdny patológ Nathaniel Cary v januári vyšetrovateľom povedal, že Litvinenkovo telo bolo tak rádioaktívne, že jeho posmrtná obhliadka bolo jednou z najnebezpečnejších v dejinách. Uviedol, že on aj jeho kolegovia mali pri pitve na sebe biele kombinézy, ochranné rukavice a špeciálnu kapucňu, ktorými dýchali vzduch cez filter.

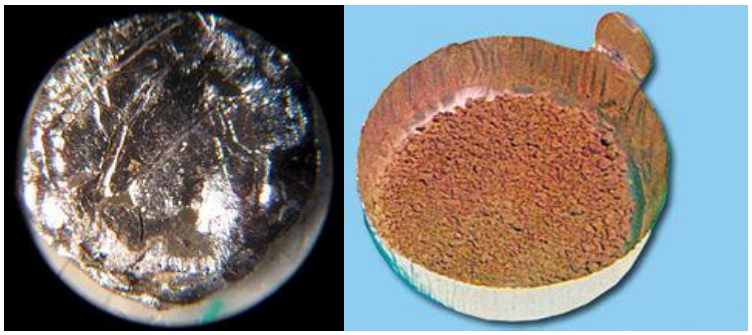
Litvinenko ako agent pracoval najskôr pre Sovietsky zväz a potom pre Rusko, neskôr ale začal kritizovať vedenie svojej krajiny aj pomery v rozviedke. Nakoniec v roku 2001 získal politický azyl v Británii, prijal britské občianstvo a pracoval pre tajnú službu MI6. Na jeseň 2006 sa zišiel s dvoma ruskými agentmi a o tri týždne zomrel.

Podľa doterajšieho vyšetrovania bol Litvinenko otrávený izotopom ^{210}Po, ktorý bol podľa všetkého v čaji podanom pri stretnutí s ruskými agentmi.

Od 23. novembra 2006 kedy Litvinenko zomrel, sa polónium, ktoré je vysoko rádioaktívnym prvkom, stalo známe širokej svetovej verejnosti - teroristov nevynímajúc. Polónium je smrtiace už pri vdýchnutí, nehovoriac už o prehltnutí, čo sa stalo osudným exšpiónovi Litvinenkovi.

4.10 Amerícium

Amerícium (lat. *Americium*) je chemický prvok v Periodickej tabuľke prvkov, ktorý má značku **Am** a protónové číslo 95. Je to 7. člen z radu aktinoidov, 3. transurán, silne rádioaktívny kovový chemický prvok, pripravovaný umelo v jadrových reaktoroch predovšetkým z plutónia.



Obr.31 Amerícium

4.10.1 Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti amerícia

Chemické vlastnosti
Názov, značka, protónové číslo Amerícium, Am , 95
Elektronegativita 1,3
Ionizačná energia(e) prvá: 5,5 eV, druhá: 10,9 eV, tretia: 23,9 eV, štvrtá: 41,0 eV
Oxidačné čísla II, **III**, IV, V, VI

Atómové vlastnosti
Rel. atómová hmotnosť 241,05
Elektr. konfigurácia [Rn] $5f^7$ $7s^2$
Atómový polomer 173 pm
Kovalent. polomer 184pm

Fyzikálne vlastnosti
Skupenstvo pevné
Hustota 13,81 $g \cdot cm^{-3}$
Teplota topenia 994 ± 4 °C (1 267 ± 4 K)
Teplota varu 2 460 °C (2 733 K)

Chemické vlastnosti amerícia a predpoklady k reakciám

Amerícium je rádioaktívny kovový prvok striebristo bielej farby, ktorá sa pôsobením vzdušného kyslíka mení sa do šedivej farby. Po mechanickej stránke je tvárnejšie ako príbuzný urán alebo neptúnium. Vyžaruje α a γ žiarenie a je preto nutné s ním manipulovať za dodržiavania bezpečnostných opatrení pre prácu s rádioaktívnymi materiálmi.

V zlúčeninách sa vyskytuje v oxidačných stupňoch od Am^{2+} po Am^{6+}, pričom najstálejšie sú zlúčeniny v oxidačnom stupni Am^{+3}.

Príprava amerícia

Amerícium bolo po prvýkrát pripravené v roku 1944 bombardovaním ^{239}Pu neutrónmi v jadrovom laboratóriu chicagskej univerzity. Za jeho objaviteľa sú označovaní Glenn T. Seaborg, Leon O. Morgan, Ralph A. James a Albert Ghiorso. Prvok bol potom pomenovaný podľa svetadielu, na ktorom bol vyrobený.

Kovové amerícium sa pripravuje redukciou fluoridu američitého AmF_3 parami bária.

Izotopy amerícia

Je charakterizované 20 izotopov amerícia, z ktorých je najstabilnejší ^{243}Am s polčasom rozpadu 7370 rokov a ^{241}Am s polčasom 432,6 rokov. Všetky zostávajúce rádioaktívne izotopy majú polčas rozpadu menej ako 51 hodín a väčšina z nich dokonca menej ako 100 minút.

Tab.15 Polčasy rozpadu izotopov amerícia

Izotop	Polčas rozpadu
^{240}Am	2,1 dní
^{241}Am	432,7 rokov
^{242}Am	16,0 hodín
^{242m}Am	141,0 rokov
^{243}Am	7370,0 rokov
^{244}Am	10,1 hodín
^{245}Am	2,1 hodín
^{246}Am	39,0 minút

Všetky izotopy amerícia sú rádioaktívne.

Tab.16 Vybrané izotopy amerícia

Izotop	Výskyt	$t_{1/2}$	Rr	Er (MeV)	Pr
^{241}Am	synt.	432,2 r.	SF α	- 5,486	^{237}Np
^{242}Am	synt.	141 r.	α SF	5,637	^{238}Np
^{243}Am	synt.	7 370 r.	SF α	- 5,275	^{239}Np

Legenda

$t_{1/2}$- polčas rozpadu
Rr – typ rozpadu jadra
Er – energia rozpadu
Pr – produkt rozpadu

Príprava ^{241}Am pomocou jadrových reakcií

$^{238}U + n \rightarrow {}^{239}U$

^{239}U sa rozpadá beta rozpadom → ^{239}Np

^{239}Np sa rozpadá beta rozpadom → ^{239}Pu

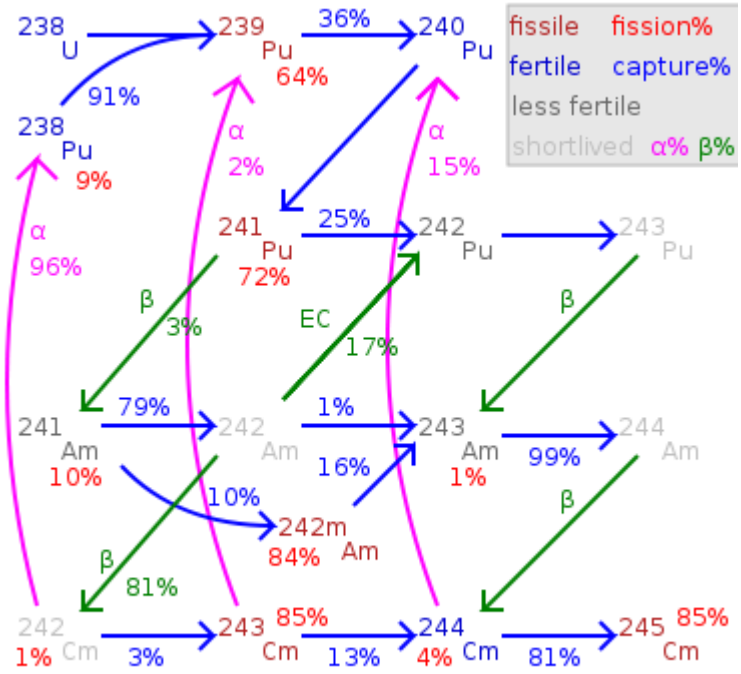
$^{239}Pu + n \rightarrow {}^{240}Pu$

$^{240}Pu + n \rightarrow {}^{241}Pu$ sa v jadrovom reaktore rozpadne na → ^{241}Am.

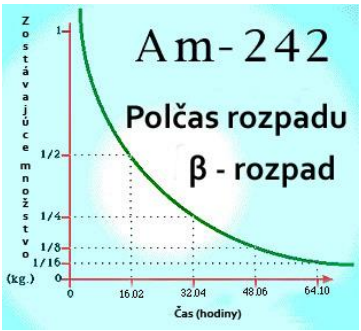
Prvý izotop, ktorý bol syntetizovaný v roku 1944 bol ^{241}Am.

Rozpadové schéma ^{241}Am:

$$^{241}Am \rightarrow {}^{237}Np + \alpha$$



Transmutačný tok medzi ^{238}Pu a ^{244}Cm v jadrovom reaktore



Obr.32 Graf polčasu rozpadu ^{242}Am

Izotop ^{242m} Am

Schéma jadrových reakcií prípravy izotopu ^{242m} Am:

$$^{241}_{94}Pu \xrightarrow{B\ rozpad} {}^{241}_{95}Am \quad (T_{1/2} = 432{,}2 \text{ rokov})$$

$$^{241}_{95}Am + n \rightarrow {}^{242\,m}_{95}Am \quad (T_{1/2} = 152 \text{ rokov})$$

Schéma jadrových reakcií prípravy izotopu ^{243}Am:

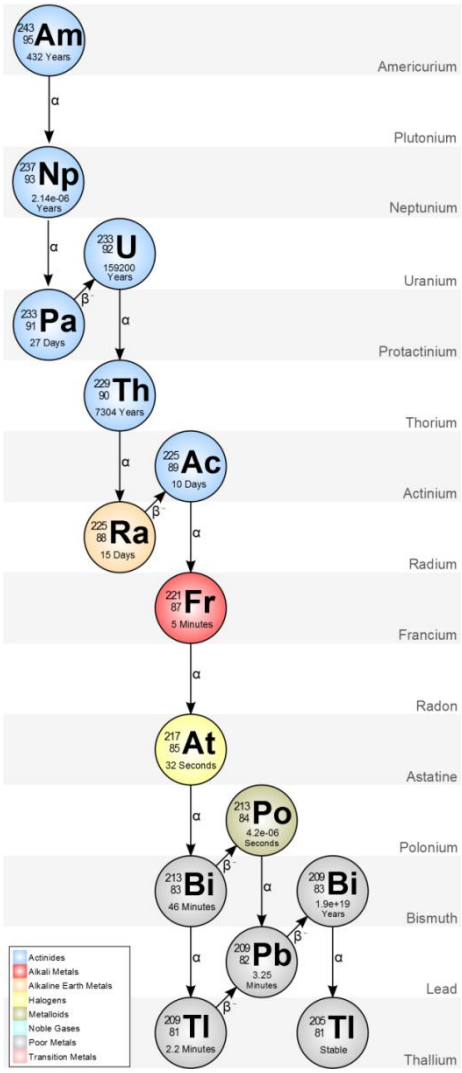
$$^{239}Pu + n \rightarrow {}^{240}Pu + \gamma$$

$$^{240}Pu + n \rightarrow {}^{241}Pu + \gamma$$

$$^{241}Pu + n \rightarrow {}^{242}Pu + \gamma$$

$$^{242}Pu + n \rightarrow {}^{243}Pu + \gamma$$

$$^{243}Pu \xrightarrow{\beta\text{-rozpad}} {}^{243}Am$$



Obr.33 Rozpadové schéma izotopu ^{243}Am

Poznámka
Zdroj: http://www.sme.sk/c/1772970/teroristi-v-britanii-pracovali-na-spinavej-bombe.html#ixzz3lEkMerX0

Teroristi v Británii pracovali na špinavej bombe

Londýn 4. októbra 2004 (TASR) - Osoby zadržané pre podozrenie z terorizmu vo Veľkej Británii pracovali na tzv. špinavej bombe, informoval v najnovšom vydaní americký magazín Time. Pri tomto druhu nálože sa mieša konvenčná trhavina s rádioaktívnym materiálom, aby sa zvýšil účinok bomby.

K cieľom útokov v Británii patrila podľa správy železničná trať z Londýna na letisko Heathrow. Ako ďalej uvádza americký časopis, z terorizmu podozrivé osoby zadržané v auguste, mali zásoby hlásičov dymu, z ktorých získavali malé množstvá izotopu amerícia ^{214}Am, umelo vytvorenej rádioaktívnej látky do náloží.

Time sa v článku odvoláva na vysokopostaveného zamestnanca amerických silových rezortov, ktoré majú k dispozícii zodpovedajúcu správu o stave vyšetrovania.

Experti tvrdia, že už malé množstvo rádioaktívneho materiálu môže na preplnenom športovom štadióne alebo veľmi frekventovanej stanici metra spustiť varovnú signalizáciu, vyvolať paniku a mať za následok dlho pretrvávajúcu kontamináciu.

Je však nepravdepodobné, že by sa z hlásičov dymu podarilo získať dostatok amerícia na usmrtenie ľudí alebo spôsobenie choroby z ožiarenia.

V počítačoch zhabaných pri zatýkaní sa podľa správy našli plány na útoky v Londýne. Skupina napríklad chcela detonovať trhavinami naložené autá v podzemných garážach výškových budov, v ktorých sídlia multinárodné firmy.

4.11 Plutónium

Plutónium (lat. *Plutonium*) je chemický prvok v Periodickej tabuľke prvkov, ktorý má značku **Pu** a protónové číslo 94. Plutónium bolo pomenované podľa bývalej planéty Pluto.

Plutónium objavili nukleárni chemici Joseph W. Kennedy, Edwin M. McMillan, a Arthur C. Wahl pod vedením Glenna T. Seaborga v roku 1941 v *University of California - Berkeley*. Ale vtedy to nanešťastie zamlčovali, lebo si nebolí istí novým objavom, až kým bol v roku 1948 prvok uznaný organizáciou IUPAC.

Obr.34 Plutónium určené pre jadrovú bombu

Plutónium je rádioaktívny kovový prvok striebristo bielej farby, ktorá sa pôsobením vzdušného kyslíka mení na šedavú. Čisté plutónium je podobne ako urán vo forme hoblín a pilín samozápalné, preto jeho spracovanie vyžaduje extrémnu opatrnosť.

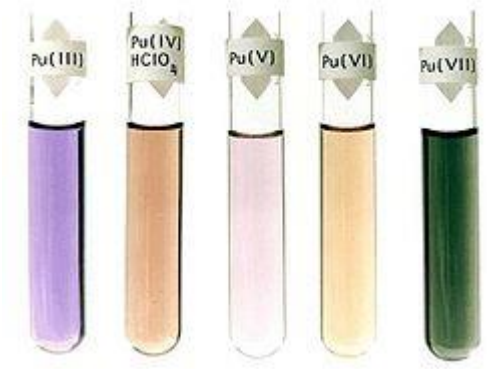
4.11.1 Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti plutónia

Chemické vlastnosti
Názov, značka, protónové číslo plutónium Pu, 94
Elektronegativita 1,28
Ionizačná energia(e) prvá: 584,7 kJ.mol^{-1}
Oxidačné čísla III, **IV**, V, VI, VII

Atómové vlastnosti
Atómová hmotnosť (244) g·mol^{-1}
Elektr. konfigurácia [Rn] 5f^6 7s^2
Atómový polomer 159 pm
Kovalent. polomer 187pm

Fyzikálne vlastnosti
Skupenstvo pevné
Hustota 19,816 g·cm^{-3}
Teplota topenia 912,5 °C (639,35 K)
Teplota varu 3505 °C (3231,85 K)

V zlúčeninách sa vyskytuje v oxidačnom stupni od Pu^{+3} po Pu^{+8}, pričom stálejšie sú zlúčeniny v nižšom oxidačnom stupni. Soli plutónia vykazujú v roztoku rozdielne zafarbenie podľa mocnosti plutoniového iónu. Najbežnejšie oxidačné číslo plutónia je $^{+\,IV}$ a v tomto oxidačnej stupni vytvára plutónium amfotérny oxid plutónia PuO_2. To znamená, že tento oxid sa v roztokoch kyselín rozpúšťa za vzniku plutoničitých solí a v zásadách za vzniku komplexného aniónu a vytvára plutoničitany. Plutoničité soli nie sú v roztokoch úplne stabilné a čiastočne alebo úplne hydrolyzujú, to je možno potlačiť znížením pH (pridaním kyseliny) do roztoku.



Obr.35 Zafarbenie roztokov solí plutónia v rôznych oxidačných číslach

Čistý kov možno pripraviť redukciou fluoridu plutónia kovovým lítiom alebo báryom pri teplote okolo 1200 °C:

$$PuF_6 + 6\ Li \rightarrow Pu + 6\ LiF$$

$$PuF_6 + 3\ Ba \rightarrow Pu + 3\ BaF_2$$

Izotopy plutónia

Plutónium patrí medzi umelo pripravené prvky a v prírode je možné sa stretnúť len sa skutočne ultrastopovými množstvami v uránových rudách, kde môžu jednotlivé atómy vzniknúť z ^{238}U po záchyte neutrónu a následných dvoch rozpadoch β.

Medzi 20 známymi izotopmi plutónia existuje niekoľko, ktoré vykazujú dostatočne veľký polčas rozpadu, aby ich bolo možné prakticky využiť. Najdlhší polčas (asi 80 miliónov rokov) má ^{244}Pu, najdôležitejšie izotop ^{239}Pu sa rozpadá s polčasom 24 110 rokov, ^{240}Pu 6561 rokov, ^{241}Pu 14,325 rokov, ^{242}Pu 375 000 rokov a ^{238}Pu má polčas rozpadu 87,7 rokov; existuje však celý rad ďalších izotopov.

Tab.17 Vybrané izotopy plutónia

Izotop	Polčas rozpadu	Druh rozpadu	Produkt rozpadu
^{228}Pu	1,1 s	α	^{224}U
^{229}Pu	67 s	α (50 %)/ ε (50 %)	^{225}U/ ^{229}Np
^{230}Pu	102 s	α	^{226}U
^{231}Pu	8,6 min	ε (99,80 %)/ α (0,20 %)	^{231}Np/ ^{227}U
^{232}Pu	33,8 min	ε (90 %)/ α (10 %)	^{232}Np/ ^{228}U
^{233}Pu	20,9 min	ε (99,88 %)/ α (0,12 %)	^{233}Np/ ^{229}U
^{234}Pu	8,8 h	ε (94 %)/ α (6 %)	^{234}Np/ ^{230}U
^{235}Pu	25,3 min	ε (100,00 %)/ α ($2{,}8\cdot10^{-3}$ %)	^{235}Np/ ^{231}U
^{236}Pu	2,858 r	α	^{232}U
^{237}Pu	45,64 d	ε (100,00 %)/ α ($4{,}2\cdot10^{-3}$ %)	^{237}Np/ ^{233}U
^{238}Pu	87,7 r	α	^{234}U
^{239}Pu	24 110 r	α	^{235}U
^{240}Pu	6 561 r	α	^{236}U
^{241}Pu	14,325 r	β^- (100,00 %)/ α ($2{,}5\cdot10^{-3}$ %)	^{241}Am/ ^{237}U
^{242}Pu	375 000 r	α	^{238}U
^{243}Pu	4,956 h	β^-	^{243}Am
^{244}Pu	$8\cdot10^7$ r	α	^{240}U
^{245}Pu	10,5 h	β^-	^{245}Am
^{246}Pu	10,84 d	β^-	^{246}Am
^{247}Pu	2,27 d	β^-	^{247}Am

Princíp výroby ^{239}Pu spočíva v reakcii ^{238}U s neutrónom za vzniku ^{239}U v jadrovom reaktore. Jadro ^{239}U je značne nestabilné a rozpadom β rýchlo vzniká izotop neptúnia ^{239}Np, ktoré sa opäť rýchlo ďalším β- rozpadom mení na ^{239}Pu. Tento izotop plutónia sa chová ako α žiarič a relatívne ľahko sa ďalej spracováva.

$$^{238}_{92}U + n \rightarrow \square^{239}_{92}U \rightarrow {}^{239}_{93}Np + e \rightarrow {}^{239}_{94}Pu + -e$$

Pri výrobe izotopu ^{238}Pu sa urán ^{238}U bombarduje jadrami deutéria:

$$^{238}_{92}U + ^{2}_{1}D \rightarrow ^{238}_{93}Np + 2\ ^{1}_{0}n \rightarrow ^{238}_{94}Pu + ^{0}_{-1}e$$

V prípade, že jadro ^{239}Pu zachytí ďalší neutrón, dôjde k jeho premene na ^{240}Pu. Tento izotop je z hľadiska ďalšej manipulácie a spracovania rizikový pretože je β-žiaričom a zároveň nie je vhodný pre výrobu atómovej zbrane. Pretože izotopy ^{239}Pu a ^{240}Pu možno len veľmi ťažko oddeľovať, je pri výrobe ^{239}Pu z ^{238}U v jadrovom reaktore nutné starostlivo voliť dobu zotrvania ^{238}U v reaktore.

Pri dlhodobom ožarovaní síce rastie množstvo ^{239}Pu, ale súčasne narastá aj podiel nechceného izotopu ^{240}Pu. Na druhej strane je ekonomicky značne nákladné oddeľovať izotopy plutónia od zvyšku jadrového paliva z reaktora a je preto otázkou komplikovaných výpočtov určiť, v akom štádiu výroby má byť reakcia prerušená a materiál chemicky prepracovaný na čisté plutónium. Ďalšou dôležitou premennou veličinou je tu pochopiteľne aj percentuálna vsádzka ^{238}U do jadrovej reakcie.

4.12 Kalifornium

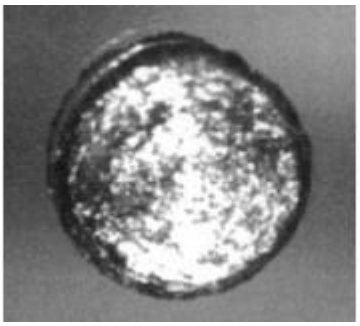
Kalifornium (lat. *californium*) je chemický prvok v periodickej tabuľke prvkov, ktorý má značku **Cf** a protónové číslo 98. Je 10. členom z radu aktinoidov, 6. transuránom, silne rádioaktívny kovový chemický prvok, pripravovaný umelo ožarovaním jadier curia.

Tento prvok zatiaľ nebol izolovaný v dostatočnom množstve na určenie všetkých jeho vlastností. Predpokladá sa, že má striebrobielu farbu a pôsobením vzdušného kyslíka na povrchu oxiduje. Kalifornium sa v prírode nevyskytuje. Je to umelo pripravený kovový prvok z radu transuránov.

Kalifornium bolo prvýkrát pripravené 17. marca 1950 bombardovaním izotopu curia ^{242}Cm časticami α v cyklotróne jadrovej laboratória kalifornskej univerzity v Berkeley. Vznikol tak izotop ^{245}Cf s polčasom rozpadu 44 minút. Za jeho objaviteľa sú označovaní Glenn T. Seaborg, Stanley G. Thompson a Albert Ghiorso, ktorí ho pomenovali podľa federálneho štátu USA, Kalifornia, v ktorom bolo prvýkrát syntetizované:

$$^{242}Cm + ^{4}He \rightarrow ^{245}Cf + n$$

Je charakterizované 20 izotopov kalifornií, z ktorých najstabilnejšie sú ^{251}Cf s polčasom rozpadu 898 rokov, ^{249}Cf s polčasom rozpadu 351 rokov a ^{250}Cf s polčasom 13 rokov. Všetky zostávajúce rádioaktívne izotopy majú polčas rozpadu menší ako 3 roky.



Obr.36 Kalifornium

Obr.37 Spektrum ^{254}Cf bolo zaznamenané v supernove
(Zdroj NASA/CXC/MIT/UMass Amherst/M.D. Stage et al.)

4.12.1 Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti kalifornia

Chemické vlastnosti
Názov, značka, protónové číslo Kalifornium, Cf, 98
Elektronegativita 1,3
Ionizačná energia(e) prvá: 608 kJ.mol^{-1}
Oxidačné čísla III, IV,

Atómové vlastnosti
Atómová hmotnosť 251 g·mol^{-1}
Elektr. konfigurácia [Rn] 5f^{10} 7s^{2}

Fyzikálne vlastnosti
Skupenstvo pevné
Hustota 15,1 kg·dm^{-3}
Teplota topenia 1 173 K (899,85 °C)
Teplota varu 1 743 K (1 469,85 °C)

Tab.18 Vybrané zlúčeniny kalifornia

Oxidačný stupeň	Vzorec zlúčeniny	Farba
+2	$CfBr_2$	žltá
+2	CfI_2	tmavo fialová
+3	Cf_2O_3	žlto zelená
+3	CfF_3	svetlo zelená
+3	$CfCl_3$	smaragdová zelená
+3	CfI_3	citrónovo žltá
+4	CfO_2	čierno hnedá
+4	CfF_4	zelená

Príprava kalifornia
Pripravuje sa v jadrovom reaktore podľa reakcie:

$$^{249}Bk\ (n,\gamma)\ ^{250}Bk \rightarrow\ ^{250}Cf + \beta^{-}$$

Tab.19 Vybrané izotopy kalifornia

Izotop	Výskyt	$t_{1/2}$	Rr	Er (MeV)	Pr
^{248}Cf	synt.	333,5 d.	SF α	- 6,361	^{244}Cm
^{249}Cf	synt.	351 r.	SF α	- 6,295	^{245}Cm
^{250}Cf	synt.	13,08 r.	α SF	6,128 -	^{246}Cm
^{251}Cf	synt.	898 r.	α	6,176	^{247}Cm
^{252}Cf	synt.	2,645 r.	α SF	6,217 -	^{248}Cm
^{253}Cf	synt.	17,81 d.	$ß^{-}$	0,285	^{253}Es
^{253}Cf	synt.	17,81 d.	α	6,124	^{249}Cm
^{254}Cf	synt.	60,5 d.	SF α	- 5,926	^{250}Cm

Legenda
$t_{1/2}$- polčas rozpadu
Rr – typ rozpadu jadra
Er – energia rozpadu
Pr – produkt rozpadu

4.13 Urán

Urán (lat. *uranium*) je chemický prvok v Periodickej tabuľke prvkov, ktorý má značku **U** a protónové číslo 92. Prvok objavil v roku 1789 Martin Heinrich Klaproth, v čistej forme bol izolovaný v roku 1841 Eugene-Melchior Peligotom. Meno dostal podľa vtedy novoobjavenej planéty Urán, ktorá bola pomenovaná podľa boha Uranos v gréckej mytológii (otec Titanov a prvý boh nebies, manžel všeplodnej bytosti Gaia).

Obr.38 Urán

V roku 1896 zistil Henri Becquerel, že urán je rádioaktívny a – ak nerátame objav röntgenových lúčov krátko predtým – vlastne tým rádioaktivitu objavil. Marie Curie-Sklodovská so svojim manželom Pierrom Curriem potom z uránovej rudy (jáchymovského smolinca) izolovali 2 nové prvky: najskôr polónium, o niečo neskôr aj rádium.

Uránové rudy boli až do 30. rokov (objav umelých izotopov) používané na výrobu rádia v nich obsiahnutého (rádium sa veľmi skoro po objave začalo v malých množstvách používať na lekárske účely). Podľa Františka Běhounka bolo však za celú túto dobu izolovaných iba okolo 1,5 kg rádia.

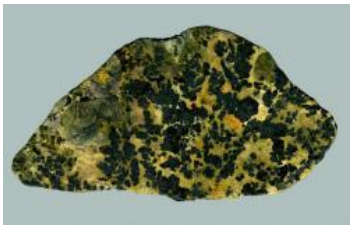
4.13.1 Charakteristika a fyzikálne chemické vlastnosti uránu

Chemické vlastnosti
Názov, značka, protónové číslo Urán, U, 92
Elektronegativita 1,38
Ionizačná energia(e) prvá:597,6 kJ.mol^{-1} ,
druhá: 1 420 kJ.mol^{-1}
Oxidačné čísla III, IV, V, **VI**

Atómové vlastnosti
Atómová hmotnosť 238 g·mol^{-1}
Elektr. konfigurácia [Rn] $5f^3 6d^1 7s^2$
Atómový polomer 156 pm
Kovalent. polomer 196 pm

Fyzikálne vlastnosti
Skupenstvo pevné
Hustota 19,1 kg·dm^{-3}
Teplota topenia 1 405,3 K (1 132,15 °C)
Teplota varu 4 404 K (4 130,85 °C)

Urán je v čistom stave striebrobiely lesklý kov, ktorý na vzduchu postupne tmavne – pokrýva sa vrstvou oxidov. Rozomletý na prášok je samozápalný. Nie je príliš tvrdý a dá sa pri normálnej teplote kovať alebo valcovať. Pri zahrievaní sa stáva najskôr krehkým, pri ešte väčšej teplote je však plastický.



Obr.39 Minerál uranit

Najznámejšou uránovou rudou je smolinec a karnotit, ale rôznych uránových nerastov je značný počet. Obsah uránu v súčasných bežne ťažených rudách sa pohybuje okolo 0,1 - 2%. Veľkosť odhadu dostupných zásob uránu závisí na spodnej koncentráciu uránu, ktorá je ešte efektívna pre získavanie uránu (závisí pochopiteľne aj na podmienkach, v ktorých prebieha ťažba).

Hustota (špecifická hmotnosť) uránu pri 20 °C je cca 19 050 kg · m^{-3} (rôzne zdroje uvádzajú údaje v rozmedzí 19 050 – 19 200 kg · m^{-3}; pri teplote varu je

hustota uránu cca 17 300 kg · m^{-3}), urán tak patrí k najťažším prvkom vôbec, je o cca 70 % ťažší ako olovo.

Z prvkov vo všeobecnosti je ťažšie napr. irídium (22 500 kg · m^{-3}), osmium (22 480 kg · m^{-3}), platina (21 450 kg · m^{-3}) či rénium (20 500 kg · m^{-3}); iba o málo menšiu hustotu má volfrám (19 300 kg · m^{-3}). Vysoká hustota uránu je dôvodom pre mnohé jeho nejadrové využitie.

Tab.20 Vybrané izotopy uránu

Izotop	Výskyt	$t_{1/2}$	Rr	Er (MeV)	Pr
^{232}U	synt.	68,9 r.	SF α	- 5,414	^{228}Th
^{233}U	synt.	159,200 r.	SF α	197,93 4,909	^{229}Th
^{234}U	0,0054 %	245,500 r.	SF α	197,78 4,859	^{230}Th
^{235}U	0,7204 %	$7{,}038 \times 10^{8}$ r.	SF α	202,48 4,679	^{231}Th
^{236}U	stopy	$2{,}342 \times 10^{7}$ r.	SF α	201,82 4,572	^{232}Th
^{238}U	99,2742 %	$4{,}468 \times 10^{9}$ r.	α SF	4,270 205,87	^{234}Th

Legenda

$t_{1/2}$- polčas rozpadu

Rr – typ rozpadu jadra

Er – energia rozpadu

Pr – produkt rozpadu

Jadrové využitie uránu

Dnes sa po tzv. obohatení uránu (zvýšení koncentrácie izotopov ^{235}U) používa ako palivo v jadrových reaktoroch alebo ako náplň atómových bômb. Pre využitie uránu ako jadrového paliva je potrebné zvýšiť koncentráciu izotopu ^{235}U z 0,72 % väčšinou na 6 – 8 %. Pre použitie v atómovej bombe je potrebné zvýšiť koncentráciu na hodnotu okolo 90 %.

Ako jadrové palivo sa dá v tzv. ťažkovodných reaktoroch využiť aj ^{238}U, je to však omnoho náročnejšie, preto sa táto možnosť zatiaľ v praxi príliš nevyužíva. Nadkriticky štiepiteľný je aj ^{234}U. Z 1 gramu ^{235}U vznikne úplným štiepením až 75 600 GJ tepelnej energie. Z izotopu ^{238}U sa v rýchlych množivých reaktoroch dá vyrábať plutónium, ktoré tiež môže slúžiť ako jadrové palivo alebo náplň atómových bômb, tento postup sa však zatiaľ príliš nepoužíva kvôli vysokým investičným nákladom a technologickej náročnosti.

Obr.40 Obohatený urán, používaný ako palivo pri štiepnej reakcii.

Izotop uránu ^{235}U

^{235}Urán je izotop uránu, ktorý tvorí asi 0,72% prírodného uránu. Na rozdiel od bežnejšieho uránu-238 je štiepny, ide o jediný prírodný štiepny nuklid.

Tab.21 Charakteristiky izotopu uránu ^{235}U

Názov izotopu, značka	Urán-235, ^{235}U, 235 92U
Neutrónové číslo	143
Protónové číslo	92
Prirodzený výskyt	0,720 4 %
Vznik z nuklidov	^{235}Pa ^{235}Np ^{239}Pu
Polčas rozpadu	$7{,}04 \cdot 10^8$ r
Druh rozpadu	α
Energia rozpadu	4,679 MeV
Produkt rozpadu	^{231}Th
Relatívna atómová hmotnosť	235,012 22(5)
Spin	−7/2
Väzbová energia	1783,870 285 ± 0,001 996 MeV (7,590 937 382 MeV na nukleón)

Urán-235 objavil roku 1935 Arthur Jeffrey Dempster.

Tento nuklid má polčas rozpadu 704 miliónov rokov. Jeho účinný zrážkový prierez pre pomalé neutróny má hodnotu asi 504,81 barnov. Pre rýchle neutróny je jeho hodnota približne 1 barn. Väčšina, ale nie všetky absorpcie neutrónov skončia štiepením, pri niektorých vznikne urán-236.

Pri štiepení jedného atómu ^{235}U sa uvoľní asi 202,5 MeV ($3{,}244 \cdot 10^{-11}$ J) energie, čomu odpovedá 19,54 TJ/mol alebo 83,14 TJ/kg. Jeden z mnohých spôsobov štiepenia je nasledujúci:

$$^{235}U_{92} + 1n_0 \rightarrow {}^{137}Ba_{56} + {}^{97}Kr_{36} + 2^1n_0 + Q$$

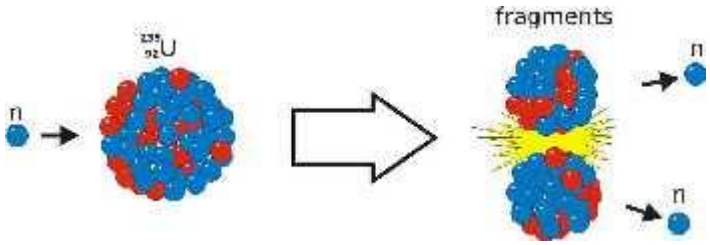
Reťazová štiepna reakcia

Reťazová reakcia je reakcia, ktorá prebieha nekontrolovane, napríklad štiepna jadrová reakcia alebo jadrová fúzia.

Pri rozštiepení jadra sa síce neutrón, ktorý štiepnu reakciu vyvolal, „spotrebuje“, avšak v priebehu reakcie emitujú ďalšie dva (alebo tri) neutróny, ktoré sú v princípe schopné vyvolať štiepenie ďalších jadier.

Pokiaľ sa tak stane, vyvolajú tieto nové neutróny rozštiepenie ďalších dvoch jadier za vzniku už celkom 4 neutrónov, tie vyvolajú ďalšie štiepenie atď. Počet neutrónov sa rýchlo násobí genetickou radou a rýchlosť reakcie štiepenia lavínovito rastie, nastáva reťazová jadrová reakcia.

Aby takáto reakcia mohla nastať, je potrebné mať v určitom objeme sústredené dostatočné množstvo štiepneho materiálu, najmenej tzv. kritické množstvo. Pri menšom množstve uniká z látky prevažne väčšina neutrónov skôr než stačia rozštiepiť nejaké jadro (napr. pre ^{235}U činí kritické množstvo cca 50 kg pri guľovom usporiadaní).



Obr.41 Mechanizmus štiepenia

Nejadrové využitie uránu

Ako odpad po obohacovaní uránu zostane tzv. ochudobnený urán – ochudobnený preto, že bol zbavený podstatnej časti izotopu ^{235}U) využiteľného ako palivo pre jadrové reaktory. V angličtine sa často označuje skratkou *DU (depleted uranium)* alebo zriedkavejšie *tuballoy*.

Ochudobnený urán je pre svoju vysokú hustotu využívaný všade tam, kde je potrebná vysoká hmotnosť (vyváženie, nutnosť dosiahnuť vysokú kinetickú energiu pri malom objeme). Tá je potrebná napr. pre výrobu protipancierových projektilov (tzv. šípovej, presnejšie podkalibernej strely – priemer strely je menší ako priemer hlavne, z ktorej je vystrelená).

Pôsobí tu síce najmä vysoká kinetická energia strely, účinok však zosiluje aj to, že po prieniku projektilu za pancier sa tlakom a trením rozžeravené častice uránu vznietia, čo zvyšuje ničivý účinok vo vnútri obrneného priestoru. K dosiahnutiu tohto efektu sa strela musí pohybovať rýchlosťou zvuku.

Je potrebné upozorniť na to, že toto použitie ako také nemá absolútne žiadnu súvislosť s jadrovým využívaním uránu, jeho dôvodom je iba vysoká hustota uránu, ľahká vznietivosť a relatívna lacnosť. Ako vedľajší produkt však napriek tomu môže dôjsť k rádioaktívnemu zamoreniu, miera jeho neškodnosti alebo škodlivosti nie je dosiaľ doriešená.

Veľkú úlohu pritom zohráva síce nízka rádioaktivita ochudobneného uránu, ale jeho veľké rozptýlenie v prostredí a možnosť dostať sa priamo do tela živých organizmov (potravou, pitím alebo vdýchnutím). Tieto strely boli použité spojencami v Iraku v roku 1991, v Kosove v roku 1999 a pravdepodobne aj v Afganistane v roku 2002.

V staršom, ale ešte používanom Boeingu B747 sa urán používa ako vyrovnávacie závažie. Uvádza sa, že bolo vyrobených okolo 600 exemplárov tohto modelu obsahujúceho ochudobnený urán, pričom jednotlivé exempláre obsahujú 400 – 600 kg ochudobneného uránu (iný prameň uvádza dokonca 400 – 1 500 kg). Podobným spôsobom sa využíva aj v amerických vrtuľníkoch McDonnell Douglas DC 10. Ako záťaž sa využíva aj v plachetniciach, rotoroch gyroskopov, ropných vrtných súpravách, údajne dokonca aj vo vozoch Formuly 1.

V niektorých amerických tankoch (napr. M1 Abrams) sa používa ako súčasť panciera. Ochudobnený urán môže byť použitý ako tienenie pred rádioaktivitou.
V zlúčenine dvojuránan sodný ($Na_2U_2O_7.6H_2O$) dodnes slúži pod názvom uránová žlť na farbenie skla a glazúr (farbí na žlto až žltozeleno). Asi sa ňou však dá farbiť aj na oranžovo až červeno. Miera tohto použitia sa však oproti minulosti výrazne znížila.

Vo fotografovaní sa zlúčeniny uránu (napr. $UO_2(NO_3)_2$ – dusičnan uranylu) používa na zosilnenie negatívov, do tónovacích kúpeľov a ako zosilňovačov svetlotlače. Kvôli chemickej toxicite sa dusičnan uranylu používa na experimentálne vyvolanie patologického stavu obličiek na pokusných zvieratách.
Urán obsahujúci svoj karbid je vhodným katalyzátorom pre syntézu amoniaku Haberovým spôsobom.

Pašovanie rádioaktívneho materiálu v SR

Zdroj: UNIVERZUM - časopis občianskeho združenia ochrancov životného prostredia a ľudských práv. Vydavateľ: ZA MATKU ZEM, Bratislava, rok: 1997, číslo: 2

Od začiatku 90 - tých rokov sa na našom území pravidelne vyskytujú prípady pašovania a nedovoleného manipulovania s rádioaktívnymi látkami. Takáto činnosť je podľa slovenského práva klasifikovaná ako trestná a upravuje ju § 187 Trestného zákona o nedovolenej výrobe a držaní jadrových materiálov. Aj napriek tomu Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky eviduje v priemere jeden takýto prípad ročne. Situácia, ktorej sa aj tí najoptimistickejší prognostici obávali, je dnes na Slovensku už realitou...

Prípad č.1

Jeden z prvých prípadov nelegálneho obchodu s rádioaktívnymi látkami na území Slovenska sa udial pred niekoľkými rokmi, keď sa 2,5 kg jadrového materiálu obsahujúceho urán ^{238}U a urán ^{235}U dostalo do rúk "podnikateľovi" Janovi F. z Rimavskej Soboty. Ten spomínaný materiál v rámci jedného zo svojich pochybných obchodov vymenil za automobil značky Mitsubishi, ktorého cena sa v tom čase pohybovala okolo jedného milióna SK.

Prípad č.2

V roku 1993 zadržala polícia skupinu troch páchateľov na diaľnici pri obci Horná Streda (okres Trnava), ako prevážali v aute značky Renault 9 viac než 860 gramov uránu ^{235}U. Následným vyšetrovaním sa zistilo, že zadržaná skupina má komplica, ktorý jadrový materiál takmer pol roka skrýval v olovenej - doma vyrobenej skrinke v lese pri istej obci v okrese Topoľčany.

Prípad č.3 - zatiaľ najväčší

Ako uviedol denník Pravda, doposiaľ najväčší prípad sa na Slovensku odohral v roku 1995. Do tohto prípadu bola zapletená medzinárodne organizovaná skupina 9 ľudí, z ktorých štyria boli Slováci, dvaja Ukrajinci a traja Maďari. Títo mali 13. apríla 1995 prevziať od doposiaľ nezistených dodávateľov na Ukrajine kontajner s hmotnosťou 52 kg a doviesť ho cez hraničný prechod Ubľa na územie SR, konkrétne do Veľkých Kapušian. Kontajner obsahujúci 18,33 kg uránu ^{235}U sa dostal na územie Slovenskej republiky. Z Kapušian bola naplánovaná trasa do Košíc, Svidníka a napokon do Popradu. Z Popradu chceli páchatelia kontajner letecky dopraviť do Maďarska, kde mal byť predaný ďalším osobám. Ich zámer zmarila polícia a páchatelia boli v roku 1996 obvinení z trestného činu nedovolenej výroby a držania jadrových materiálov.

Prípad č. 4

Predposledný prípad sa stal v novembri 1997. Pri kontrole vozidla na benzínovom čerpadle v Detve objavila polícia vyše 30 kg priemyselnej trhaviny značky Danubit, niekoľko rozbušiek a ďalších súčiastok. V aute sedeli traja muži z Rimavskej Soboty. Pri domovej prehliadke v byte jedného zo zadržaných bol objavený okrem iného aj olovený kontajner s tabletou rádioaktívneho materiálu, neskôr identifikovaného ako urán ^{235}U. Za povšimnutie stoji fakt, že išlo o materiál, z ktorého sa vyrábajú palivové články do jadrových reaktorov.

Prípad č.5

Ďalší prípad, ktorý vyvolal vlnu záujmu médií a verejnosti, sa odohral v utorok 18. februára 1997 vo Zvolene pri motoreste Rákoš. Tu polícia zadržala skupinu osôb, ktoré prekladali z osobného auta značky Ford 2,36 kg rádioaktívneho materiálu do auta značky Wartburg. Pri prehliadke Wartburgu našli policajti igelitovú tašku a v nej olovený valec s rozmermi 12 x 25 cm. Pri meraní rádioaktivity sa zistilo, že obsah valca vyžaruje 5,4 mGy za hodinu, čo predstavuje 36 - násobné prekročenie vyžarovania prirodzeného pozadia. Tato dávka podľa oficiálnych informácií údajne nespôsobila ani ožiarenie osôb, ani kontamináciu životného prostredia. Po dôkladnom rozbore bolo zistene, že rádioaktívny materiál pozostával zo 157 valčekov v ochrannom obale, pričom "podľa toho, ako materiál vyzeral, by mohlo ísť o časti, z ktorých sa konštruovali palivové články do jadrových reaktorov". Zadržaná skupina, ktorú tvorili štyria Slováci, ako motív svojho činu uviedla vidinu rýchleho zbohatnutia. Podľa odhadov by cena zadržaného kontrabandu prestavovala niekoľko miliónov korún, pričom do dnešného dňa nebolo zistene komu plánovala skupina materiál predať.

Zdroj: Aktuality.sk 09.06.2015, 15:52

Cudzinci chceli prepašovať na Slovensko rádioaktívny materiál

Dvaja muži chceli na Slovensko prepraviť rádioaktívny materiál. Colníci ich však zadržali.

Čech a Rakúšan sa pokúsili na Slovensko dopraviť rádioaktívny materiál. Informovala o tom hovorkyňa bratislavských colníkov Katarína Tehlárová. Nebezpečnú látku prepravovali v dodávke.

„Na hraničnom priechode v Jarovciach ich však mobilný detekčný systém bratislavských colníkov odhalil," dodala Tehlárová. Obaja muži skončili v rukách polície.

„V aute s českým evidenčným číslom prevážali medicínske rádionuklidy. Mobilný detekčný systém však colníkov na hraniciach upozornil na zvýšené hodnoty radiácie," opísala situáciu Tehlárová.

Muži sa podľa nej snažili hliadku Oddelenia špeciálnych technológií Colného úradu Bratislava presvedčiť, že na prevoz nepotrebujú žiadne doklady.

„Nakoľko však na prevoz nebezpečného materiálu je potrebné povolenie z Ministerstva dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR, bol tento prevoz klasifikovaný ako nelegálny," dodala.

Keďže tu je podozrenie z naplnenia skutkovej podstaty trestného činu nedovolenej výroby a držania jadrových materiálov, rádioaktívnych látok a vysokorizikových chemických látok, prípad odovzdali policajnému vyšetrovateľovi na ďalšie konanie.

5. Detekcia a meranie rádioaktívneho žiarenia

Detekcia častíc sa líši od iných meracích postupov, pretože máme do činenia s objektmi s rozmerom rádovo 10^{-15} m , prípadne s bezrozmernými (bodovými) objektmi.

Navyše, najmä vo fyzike vysokých energii, sa tieto objekty pohybujú rýchlosťou blízkou rýchlosti svetla.

Hoci všetky druhy rádioaktívneho žiarenia pri väčšej intenzite alebo pri dlhšom pôsobení majú zhubný vplyv na ľudský organizmus, bezprostredne neúčinkujú na zmysly, preto sú potrebné detektory rádioaktívneho žiarenia, ktoré nás informujú o existencii žiarenia na skúmanom mieste, a prístrojov na kvantitatívne sledovanie jej vlastností.

Metódy detekcie ionizujúceho žiarenia všeobecne vychádzajú zo skutočnosti, že toto žiarenie spôsobuje v okolitej hmote *preskupovanie elektrónov* v atómoch a molekulách. (Týka sa to aj neutrónov, aj keď ich účinok je v tomto zmysle nepriamy.) Uvedené preskupovanie elektrónov zapríčiňuje buď *ionizačné* alebo *excitačné* efekty.

Na *primárnych* účinkoch žiarenia na hmotu sú založené najdôležitejšie metódy detekcie - *ionizačné* a *scintilačné* metódy.

Na *sekundárnych* účinkoch žiarenia sú založené metódy *fotografické* a ďalšie, založené na chemických, resp. tepelných účinkoch žiarenia.

Ionizujúce žiarenie je neviditeľné, nemôžeme ho vnímať zmyslami ani detegovať, resp. zaznamenávať nijakým priamym spôsobom. Na detekciu ionizujúceho žiarenia sa a preto používajú detektory.

Všeobecne detektor častíc je zariadenie využívané pre detekciu, stopovanie, a/alebo identifikáciu elementárnych častíc vysokých energií, aké sú produkované jadrovým rozpadom, kozmickým žiarením, alebo v reakciách v časticovom urýchľovači. Moderné detektory sa využívajú aj ako kalorimetre pre meranie energie detegovaného žiarenia. Môžu byť využité aj pre meranie ďalších parametrov ako sú hybnosť, spin, náboj častíc atď.

Detektory žiarenia sú potom prístroje, ktoré transformujú ionizujúce žiarenie na inú jednoduchšie spracovateľnú a indikovateľnú veličinu. Väčšinou je to elektrický prúd, prípadne chemická energia, svetelná energia, atď. Detektory možno triediť z *hľadiska energie,* na ktorú transformujú ionizujúce žiarenie.

Je to napríklad:

- premena na elektrické veličiny (ionizačná komora. GM trubica, scintilačný a polovodičový detektor),
- premena na fyzikálne chemickú energiu (fotografické metódy, chemické dozimetre, sklené dozimetre),
- premena na svetelnú energiu (termoluminiscenčné detektory, atď.).

V prípade detektorov, ktoré transformujú žiarenie na elektrické veličiny rozoznávame: detektory, ktoré merajú celkovú ionizáciu (ionizačné komory),

- detektory pulzačné, ktoré transformujú jednotlivé častice alebo fotóny na elektrický impulz (GM trubice, scintilačný a kryštálový detektor).

Ionizačné metódy sú založené na skutočnosti, že vplyvom interakcie ionizujúceho žiarenia s hmotou vznikajú iónové páry kladný ión - elektrón (resp. elektrón - diera v pevnej fáze), ktoré sa pomocou elektrického poľa odoberajú prúdovými metódami alebo sa stávajú vhodnými centrami k fázovým premenám kvapalina – para.

Energia, potrebná na vytvorenie jedného páru kladný ión - elektrón je pre molekuly vzduchu za normálnych podmienok rovná hodnote cca 34 eV. Na rozdiel od toho v polovodičoch treba na vytvorenie páru elektrón - diera energiu len 1,1 eV (kremík) či 0,7 eV (germánium).

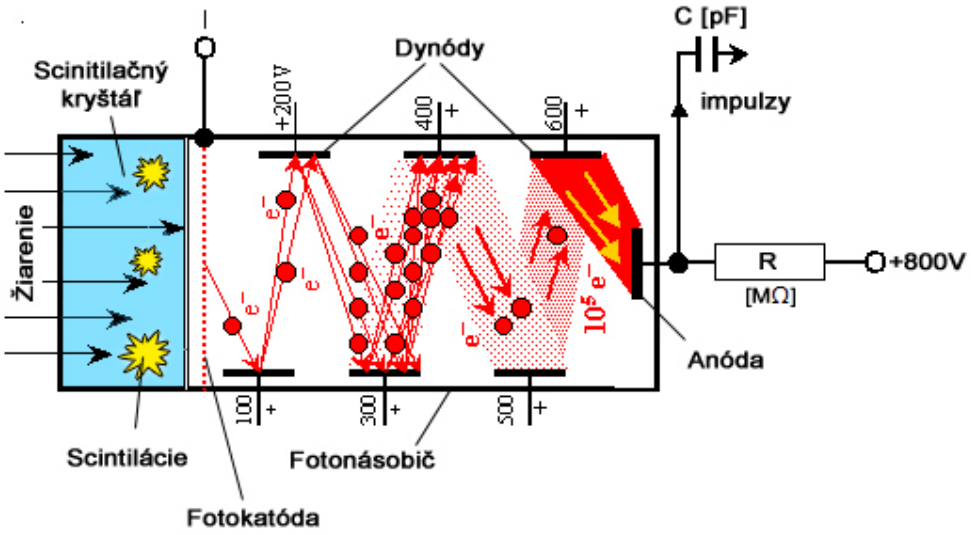
Scintilačné metódy sú založené na skutočnosti, že ak rýchlo letiace častice rádioaktívneho žiarenia dopadnú na určité látky, vznikajú v nich slabé, veľmi krátko trvajúce svetelné záblesky tzv. *scintilácie* (lat. scintilla = iskra). (Napr. záblesk, ktorý vyvolá α - častica po dopade na kryštál sulfidu zinočnatého, trvá asi 10^{-4} sekundy a je pozorovateľný cez zväčšovacie sklo). Pri nízkych aktivitách sa týmto spôsobom dajú

jednotlivé záblesky aj počítať, čo bolo základom *spintariskopu*, jednoduchého prístroja, ktorý sa voľakedy široko používal.

5.1 Scintilačné metódy

Ich základným princípom je využitie vlastnosti niektorých látok, ktoré pri vystavení ionizačnému žiareniu vyvolajú záblesky svetla (scintilácie). Scintilačný detektor je zložený zo scintilačného kryštálu (jodid sodný aktivovaný táliom, sírnika zinočnatého aktivovaným striebrom), ktorý je tesne spojený s fotonásobičom.

Fotonásobič je špeciálna trubica s vysokým vákuom, obsahujúci rad elektród (dynód, 10-12. Prvá časť fotonásobiča je katóda, ktorá je vyrobená z materiálu (cézium), ktorý má tu vlastnosť, že keď na jeho plochu dopadá svetlo produkuje elektróny. Tieto elektróny sú potom urýchľované k dynódam, ktoré sú pripojené na kladné napätie, na každú dynódu postupne vyššie a vyššie. Pri dopade elektrónu na dynódu sa z jej plochy uvoľnia najmenej 2 ďalšie elektróny. Tieto elektróny putujú k ďalšej dynóde, ktorá ma vyššie kladné napätie, kde sa opäť znásobí pri dopade počet elektrónov. Vďaka tomuto násobenia sa na poslednú dynódu, z ktorej sú elektróny zbierané na anódu, dopadne až 10^5 elektrónov, čo je dostatočný počet pre vyvolanie merateľného elektrického impulzu na pracovnom odpore R (rádovo MΩ) v elektrickom obvode, tento impulz sa cez oddeľovací kondenzátor C vedie k ďalšiemu spracovaniu.



Obr.42 Scintilačný detektor

Patria medzi historicky aj zásadne k najzaujímavejším metódam detekcie a výskumu rádioaktívneho žiarenia. V starších prístrojoch založených na tejto metóde, v tzv. spintariskopoch, sa využívala schopnosť najmä rádioaktívneho α žiarenia

spôsobovať luminiscenciu napríklad sírnika zinočnatého, diamantu alebo kyanidu platnatobarnatého.

Svetielkovanie týchto objektov je zložené z jednotlivých zaiskrení (scintilácií), ohraničených na malý priestor a dobre pozorovateľných použitím lupy alebo mikroskopu s malým zväčšením, pričom každé zaiskrenie znamená dopad práve jednej, napríklad α častice. Výhodou týchto prístrojov je, že sú menej citlivé na β a γ žiarenie, takže možno pomocou nich skúmať α žiarenie aj za prítomnosti iných žiaričov. Nevýhodou však je, že scintilácie sú veľmi slabé, takže pozorovateľ musí pracovať v úplnej tme.

Ďalším prístrojom používajúcim scintilačné metódy detekcie je tzv. scintilačný počítač. Jeho hlavnou súčiastkou je fotonásobič, v ktorom svetelné záblesky vyvolané dopadom α alebo β častíc alebo fotónov na vhodnú látku (napríklad monokryštál jodidu sodného) účinkujú na fotokatódu veľmi citlivej vákuovej fotobunky.

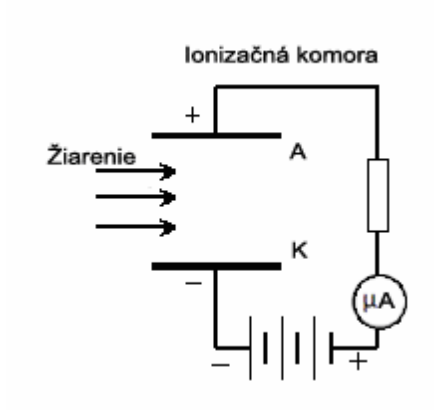
Na rozdiel od obyčajnej fotobunky sa vo fotonásobiči počet primárne uvoľnených elektrónov využitím sekundárnej emisie na systéme elektród mnohonásobne zväčší. Vo výstupnom elektrickom obvode fotonásobiča nimi vyvolaný elektrický impulz sa vhodným elektronickým zariadením zosilňuje a prípadne sa počet impulzov aj mechanicky registruje. Fotonásobič je schopný zaznamenať aj jeden jediný fotón viditeľného žiarenia.

5.2 Ionizačné komory

Ionizačná komora je najjednoduchším elektronickým detektorom ionizačného žiarenia. Základná schéma ionizačnej komory je na obr. 43

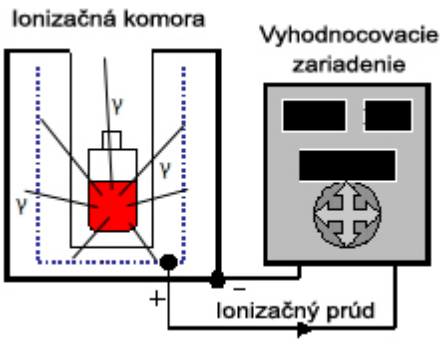
Ionizačnú komoru nám vlastne popisuje predchádzajúci pokus. Komoru tvoria dve elektródy (katóda a anóda), ktoré sú pripojené na napätie rádovo stovky voltov. Pri vniknutí ionizačného žiarenia medzi elektródy, vyráža z pôvodne neutrálnych atómov plynu elektróny a mení ich na kladné ióny. Záporné ióny prejdú ku kladnej elektróde, kladné k zápornej.

Obvodom prejde slabý elektrický prúd, spôsobený iónovou vodivosťou medzi elektródami. Prúd nameraný mikroampérmetrom je úmerný intenzite ionizačného žiarenia. Elektrický prúd pretekajúci ionizačnou komorou je veľmi slabý (10-16 až 10-9 A). Je tak realizovaná detekcia ionizujúceho žiarenia prevedením na merateľnú veľkosť elektrického prúdu (μA). Prúd je meraný mikroampérmetrom a je priamo úmerný veľkosti intenzity rádioaktívneho žiarenia- môžeme ho ociachovať v jednotkách intenzity žiarenia či dávkového príkonu Gy/S).



Obr.43 Detektor s ionizačnou komorou

Plynovou náplňou ionizačnej komory môže byť v princípe i obyčajný vzduch, lepšie vlastnosti má však majú vzácne plyny argón, kryptón, xenón.
Používa sa pre meranie rozloženia intenzity vo zväzkoch v rádioterapii. meranie dávky ionizačného žiarenia. DAP v rádiodiagnostike. Ionizačné komory v „studňovitom " (Obr.) prevedení používajú v meračoch aktivity rádioaktívnych preparátov.
Výhody:
• Lineárna závislosť prúdu i v oblasti veľkých intenzít žiarenia.
Nevýhody:
• Nízka citlivosť(účinnosť), nevhodné pre detekciu slabého žiarenia.



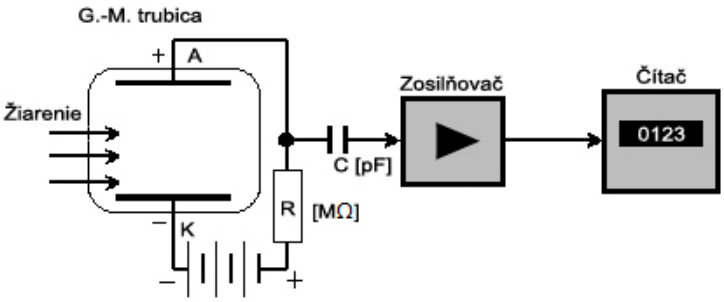
Obr.44 Ionizačná komora v studňovitom tvare

Ionizačná komora je detektor žiarenia, ktorý sa v svojej podstate skladá z dvoch vzájomne od seba izolovaných elektród vhodného tvaru a veľkosti, umiestnených v nádobe naplnenej zvyčajne suchým vzduchom alebo aj iným vhodným plynom. Pomocou dostatočne stabilizovaného zdroja konštantného napätia sa na elektródach komory udržuje napätie 100 až 1000 voltov. Toto napätie je dosť veľké, aby priviedlo na elektródy ióny vznikajúce pôsobením rádioaktívneho žiarenia. Pri použití ionizačnej komory sa meria elektrický prúd v okruhu komory. Toto je prvý známy detektor rádioaktívneho žiarenia.

5.3 Geigerov - Müllerov počítač

Najdôležitejšou časťou Geiger- Müllerov detektora je G-M trubica. V podstate je to valcová trubica, hermeticky uzavretá, naplnená plynom o tlaku nižšom ako je atmosférický.
Elektródy sú pripojené na pracovné napätie ktoré odpovedá G-M oblasti (500 -1000V podľa typu trubice). Jedna z elektród je valcová a druhú tvorí vodič umiestnený v pozdĺžnej osi trubice. Na jednej strane je okienko, pre detekciu ionizačného žiarenia a na druhej strane je tzv. pätica, ktorá slúži na pripojenie trubice s držiakom, ktorý je súčasťou detektoru.

Pri vniknutí kvanta ionizačného žiarenia do priestoru trubice nastane lavínovitá ionizácia a tým nastane výboj. Obvodom prejde pomerne silný prúdový impulz a na pracovnom odpore R tak vzniká pomerne vysoký napäťový impulz, ktorý sa cez oddeľovací kondenzátor C vedie ku spracovaniu v príslušnej elektrickej jednotke , bola tak zaznamenaná detekcia kvanta príslušného ionizačného žiarenia prevedením na elektrický impulz. Výboj ktorý vznikol je treba prerušiť aby bola trubica schopná ďalšej detekcie. Na tomto prerušení sa podieľajú dve skutočnosti. Vhodným zhášacím plynom(páry metylalkoholu, brómu), ktorý je súčasťou náplne G-M trubice alebo úbytkom napätia na pomerne vysokom pracovnom odpore R (rádovo MΩ), čím sa zníži napätie na elektródach. Čas počas ktorého G-M trubica nebola schopná detekcie sa nazýva mŕtva doba.



Obr.45 Dozimeter s G-M trubicou

G-M dozimetre patrili medzi prvé detektory, ktoré vedeli registrovať jednotlivé kvantá a nie len intenzitu, či tok žiarenia (ionizačná komora). Využívajú sa len pre pomerne menej náročné meranie. Napr. v radiačnej ochrane ako merače kontaminácie, hlásiče radiácie a monitorovacie systémy.

Obr.46 G-M detektor

5.4 Wilsonova hmlová komora

Najúčinnejším zariadením pre výskum vlastností časticových rádioaktívnych žiarení je Wilsonova hmlová komora. V roku 1897 Wilson zistil, že ióny prítomné v plyne môžu slúžiť ako kondenzačné jadrá pre nasýtené pary.

Rôzne častice zanechávajú vo Wilsonovej komore rôzne stopy. Stopy α-častíc sú krátke, rovné, len na konci niekedy zalomené, čo svedčí o náhlej zmene smeru ich letu. Stopy elektrónov sú oveľa slabšie a prerušované. Takto môžeme sledovať aj zakrivenie dráhy nabitých častíc po priložení magnetu. Z polomeru zakrivenia môžeme vypočítať energiu a náboj príslušnej častice.

5.5 Polovodičové detektory

Polovodiče sú tuhé látky, ktorých vodivosť je vyššia ako vodivosť izolantov, ale menšia než kovov. Elektrický prúd sa prenáša pomocou dvojíc elektrón - diera, ktorých koncentrácia a tým aj vodivosť veľmi závisia od teploty. Vodivosť polovodičov možno zvýšiť rôznymi prímesami.

Polovodičové detektory pracujú na princípe zmeny vodivosti polovodiča vplyvom ionizujúceho žiarenia. Nabité častice (elektróny, protóny a častice alfa), fotóny röntgenového žiarenia a gama žiarenia sú pri interakcii s polovodičom schopné priamo alebo nepriamo ionizovať atómy základného materiálu a vytvárať tým voľné nosiče nábojov.

Generované páry elektrón - diera poskytujú informácie o energetickom spektre dopadajúcich častíc a za určitých okolností aj o mieste dopadu častíc.

Princíp činnosti polovodičových detektorov je analogický princípu činnosti ionizačných komôrok. Polovodičové detektory v sebe spájajú výhody ionizačných a

scintilačných detektorov. Pri porovnaní polovodičových detektorov s ionizačnými detektormi s plynovou náplňou je ich výhodou desaťnásobne menšia energia, potrebná na vytvorenie jedného iónového páru, z čoho vyplýva ich vyššia rozlišovacia schopnosť.

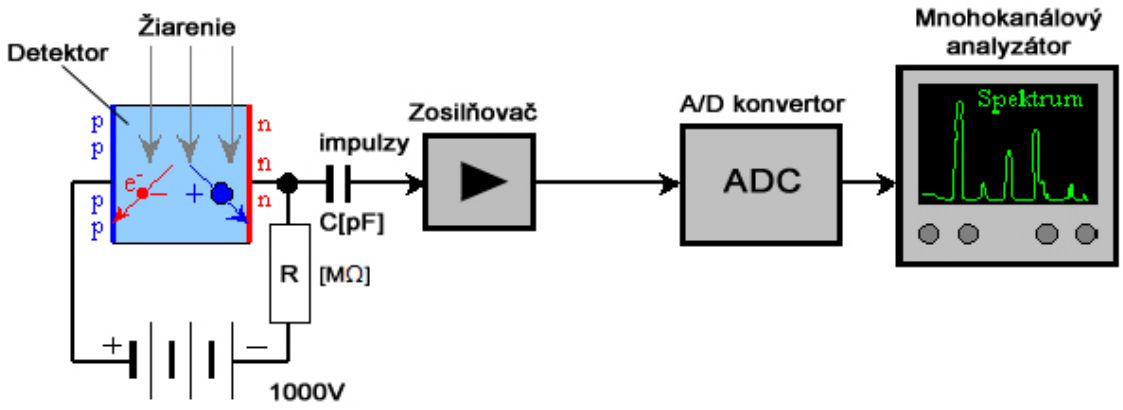
Elektróny prenikajúce do polovodiča sú vychyľované z pôvodného smeru vďaka svojej malej hmotnosti, zvyčajne vplyvom coulombovských interakcií. V prípade, že má primárny elektrón dostatočnú energiu, ionizáciou vznikajú sekundárne elektróny a diery, ktoré môžu následne ďalej ionizovať. Uvedený proces prebieha dovtedy, kým výsledná energia častíc neklesne pod hodnotu ionizačnej energie atómov polovodiča.

Medzi základné konštrukčné typy polovodičových detektorov patrí typ *diódy s p - n prechodom* alebo typ *diódy s povrchovou bariérou*.V polovodiči je p - n prechod oblasťou, v ktorej sa mení elektrická vodivosť jedného typu na opačný. Ak sa k dióde pripojí napätie s opačnou polaritou, obvodom preteká len veľmi malý záverný prúd (asi 10^{-6}A) a v látke „p“ dochádza ku vzniku vrstvy ochudobnenej o nosiče elektrického náboja.

Hrúbku p-n prechodu možno regulovať priloženým napätím. Pri dopade ionizujúcich častíc vznikajú v tejto vrstve páry elektrón - diera, ktoré sa pohybujú smerom k zodpovedajúcim elektródam a vyvolajú v obvode prúdový impulz. Vzniknutý prúdový impulz spôsobí na pracovnom odpore R napäťový impulz, ktorý sa po zosilnení zaregistruje počítačom. Detektor sa vracia do pôvodnej situácie, v dôsledku rekombinácie voľných nosičov náboja, a je znovu pripravený k ďalšej registrácii.

Pre meranie vysoko energetického γ žiarenia je potrebná veľká hrúbka citlivej vrstvy, čo možno dosiahnuť priložením čo najväčšieho záverného napätia alebo použitím polovodiča s optimálnou koncentráciou použitých prímesí.

Polovodičové detektory typu diódy s povrchovou bariérou sú tvorené „n“ alebo „p“ polovodičom, na povrchu ktorého je naparená tenká vrstva kovu napr. zlata (Au), ktorá je súčasne druhou elektródou.



Obr.47 Schéma polovodičového detektora

Čo sa týka konštrukcie, základnou zložkou polovodičových detektorov je veľmi čistý monokryštál germánia (Ge), alebo kremíka (Si), obohatený stopovým množstvom lítia, vzduchotesne uzavretý do tenkostenného teflónového puzdra. Nevýhodou polovodičových detektorov je veľká teplotná závislosť ich vodivosti.

Polovodičové detektory sa uplatňujú všade tam, kde je potrebné zisťovať väčšie množstvo rôznych gama žiaričov v zmesi, napr. pri kontrole odpadových vôd z jadrových elektrární, pri kontrole čistoty rádiofarmák používaných v medicíne a pod.

V poslednom čase sa najmä v osobnej dozimetrii na pracoviskách s ionizujúcim žiarením široko uplatňujú tzv. *termoluminiscenčné dozimetre* (TLD). Princíp ich činnosti vyplýva z vlastností niektorých tuhých látok (dielektrík). Niektoré z nich majú tú vlastnosť, že po dopade ionizujúceho žiarenia dochádza k excitácii elektrónov (prípadne aj dier) zo základného do vyššieho energetického stavu.

K návratu do pôvodného (základného) stavu dôjde len vtedy, ak sa látke dodá určitá energia, zvyčajne tepelná (ohriatím). Pri návrate do základného stavu sa vyžiari elektromagnetické žiarenie vo viditeľnej oblasti frekvenčného spektra, ktorého intenzita je priamo úmerná absorbovanej dávke žiarenia. Medzi látky s termoluminiscenčnými vlastnosťami, ktoré sa používajú v dozimetroch TLD patrí napr. fluorid vápenatý (CaF2) a síran vápenatý (CaSO4), ktoré môžu byť aktivované stopovými množstvami mangánu (Mn).

Výhodou termoluminiscenčných detektorov je ich lineárna závislosť od dávky žiarenia, vysoká citlivosť a presnosť, malé rozmery, možnosť mnohonásobného využitia a absorpčné vlastnosti podobné absorpčným vlastnostiam ľudského organizmu.

Nevýhody:

- oproti scintalačným detektorom majú však nižšiu detekčnú účinnosť pre žiarenie γ,
- dlhšia mŕtva doba (daná kapacitou systému detektor + predzosilňovač a hodnotou

pracovného odporu),

- zmena vodivosti v závisloslosti od teploty.

5.6 Prístroje na zisťovanie radiácie

5.6.1 Merač rádioaktivity HS-107

Určenie prístroja

Rádioaktívny merač HS -107 je ručný digitálny merač (max. hodnota ukazovateľa 999), na meranie rádioaktívneho žiarenia ako je gama a/alebo beta

žiarenie. Merač sa vyznačuje rýchlym reakčným časom, vďaka ktorému dosahuje vysokú efektívnosť.

Ukazovateľ s tekutými kryštálmi (skrátene LCD) s 14 mm veľkými číselnými údajmi umožňuje rýchle a bezpečné prečítanie. Pomocou tlačidla (BETRIEB) je možné voliť medzi žiarením gama (µSv/h), beta (I/ sekunda x cm^2) alebo špecifickou aktivitou (Bq/g x 10). Pri každej manipulácii s tlačidlom, ako na začiatku, tak aj na konci každého cyklu merania sa ozve krátky zvukový signál. Prístroj tiež hlási prekročenie medzných hodnôt (0,6 a 1,2 µSv/h) výkonu ekvivalentných dávok gama žiarenia.

Meranie a zistenie slabého rádioaktívneho žiarenia z potravín, predmetov, okolitého prostredia v meracích jednotkách 0,1 až 999 µSv/h (ekvivalent dávky) pre gama žiarenie a/alebo 0,1 až 999 I (sekunda x cm^2) (indukcia beta žiarenia, z neho rádionuklidného stroncia ^{90}Sr a ytria ^{90}Y) alebo 2 až 9990 Bq/g (špecifická aktivita rádionuklidu cézia ^{137}Cs). Prístroj hlási aj prekročenie medzných hodnôt (0,6 a 1,2 µSv/h) výkonu ekvivalentných dávok gama žiarenia.

Na prekročenie hodnôt upozorňuje prístroj výstražným signálom.

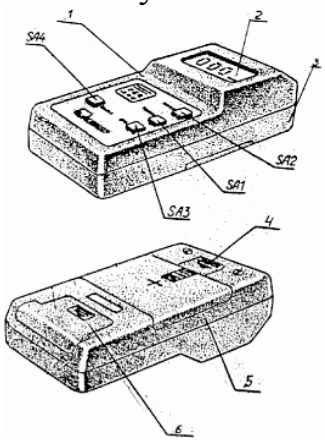
Meranie za zlých podmienok prostredia nie je povolené. Pričom zlé okolité podmienky sú napríklad:

- mokro alebo príliš vysoká vzdušná vlhkosť,
- prach a horľavé plyny, výpary alebo riedidlá, búrka príp. podmienky búrke podobné ako je silné elektrostatické pole atď.

Popis ovládacích prvkov

Vyobrazenie prístroja je na obrázku č.48

1. vrchná strana krytu,
2. ukazovateľ s tekutými kryštálmi (skrátene LCD), max. hodnota ukazovateľa 999,
3. spodná strana krytu,
4. rozširovacia zdierka pre pripojenie externého detektoru (externý detektor nie je zahrnutý v rozsahu dodávky),
5. úložný priestor pre Geiger – Mullerove - meracie trubičky s kovovou krycou doskou,
6. priestor na batérie na spodnej strane krytu.



Obr. 48 Merač rádioaktivity HS-107
(Zdroj:www2.produktinfo.conrad.com/.)

5.6.2 Geigerov čítač pre kontrolu rádioaktivity GAMMA SCOUT Rechargeable

Určenie prístroja

Umožňuje nepretržité meranie a záznam (ukladanie dát) rádioaktivity na mieste merania (nepretržité monitorovanie). Rozsah merania je od slabého žiarenia okolitého prostredia až po veľké dávky žiarenia v rozsahu 0,01 µSv / h až 1000 µSv / h (zákonná limitná hodnota je 20 mSv za rok). Prístroj zaznamenáva alfa, beta a gama lúče. Geigerov čítač je vybavený alarmom.

Vlastnosti prístroja

- Prístroj umožňuje zobrazovanie rôznych informácií 10 tlačidlami,
- prevádzka prístroja je bez výmeny batérií až 12 a viac rokov (v závislosti na spotrebe prúdu),
- prístroj má na CD priložený nový vyhodnocovací program ovládaný z ponuky od firmy Windows,
- prístroj má i funkciu dozimetra: zobrazuje kumulované dávky žiarenia,
- prístroj umožňuje akustickú indikáciu počítaných impulzov (tikač) - funkciu tikanie možno vypnúť,
- akustická výstraha funguje pri prekročení zadanej prahovej úrovne radiácie (µSv / h),
- akustická výstraha funguje pri prekročení zadanej prahovej úrovne pre kumulovanú dávku (mSv),
- prístroj je zvlášť vhodný pre školenia, skupinovú prácu, bezpečnostné služby, nepretržitej kontroly na miestach s gama žiarením v zdravotníctve, priemysle a vedeckých ústavoch,
- prístroj má špeciálne funkcie ako: okienkový počítač (GM) pre žiarenie alfa, beta a gama,
- prístroj má systém clonenia alfa a beta žiarenia,
- meria malé zmeny v žiarení okolitého prostredia, umožňuje zvoliť súhrnné ukladanie impulzov v intervaloch 1 min, 10 min, 1 h, 1 deň a 7 dní,
- prístroj umožňuje variabilnú kalibráciu podľa úrovne radiácie,
- prístroj je vybavený USB rozhraním.

Obr.49 Prístroj GAMMA SCOUT Rechargeable
Zdroj:http://www.rr-naradie.sk/geigerov-citac-pre-kontrolu-radioaktivity-gamma-scout-rechargeable

5.6.3 Geigerov čítač pre kontrolu rádioaktivity Radex RD1503 PLUS

Určenie prístroja

Geigerov čítač je určený pre kontrolu rádioaktivity, Radex RD1503 meria rýchlo a jednoducho rádioaktívnu kontamináciu a ponúka tak rýchly odhad možného zamorenia potravín, zariadení a stavebných materiálov. Prítomnosť gama žiarenia môže merať v µSv / h alebo µrem / h.

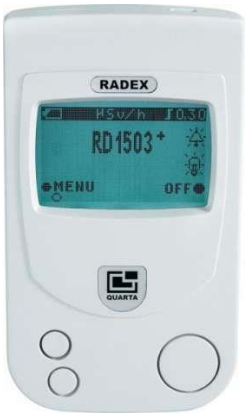
Parametre prístroja

- Výška prístroja: 26 mm,
- dĺžka prístroja: 105mm,
- šírka prístroja: 60 mm,
- beta žiarenie: 0,25 MeV - 3,5 MeV,
- rozlíšenie: 0,1 µSv / h,
- napájanie: Batéria AAA,
- rozsah merania: 0,05 - 9,99 µSv / h,
- žiarenie gama: 0,1 MeV - 1,25 MeV,
- röntgenové žiarenie: 0,03 MeV - 3,0 MeV,
- hmotnosť prístroja: 90 g.

Vlastnosti prístroja

- Malé a kompaktné prevedenie prístroja,
- menu prístroja je v anglickom jazyku,
- je možný nastaviteľný prah hodnôt,
- umožňuje nastavenie rozličných meracích cyklov,
- zvukový signál a vibrácie varujú pred rádioaktívnym žiarením,
- prístroj má LCD displej s podsvietením,
- prístroj má svoj ukazovateľ stavu batérie,
- skontroluje rýchlo a jednoducho rádioaktívnu kontamináciu kvapalín, potravín, domácich predmetov a stavebných materiálov,

- prevádzková doba prístroja je minimálne 500 hodín,
- doba merania prístrojom trvá cca 40 sekúnd,
- jednotky: mikrosievert za hodinu (µSv / h) / mikrorem za hodinu (µrem / h),
- prístroj je vybavený prídavnou funkciou alarmu Vibra-Call-Signal.



Obr.50 Prístroj Radex RD1503 PLUS

(Zdroj:http://www.rr-naradie.sk/geigerov-citac-pre-kontrolu-radioaktivity-radex-rd1503-plus)

5.6.4 TRACERCO^{TM} Radiačný dozimeter

Určenie prístroja

TRACERCO^{TM} Radiačný dozimeter bol špeciálne navrhnutý tak, aby bol iskru vzdorný s pogumovanou a ľahkou konštrukciou a vykonával kľúčové operácie ako napríklad personálne meranie radiácie.

Parametre prístroja

Prístroj TRACERCO^{TM} Radiačný dozimeter ponúka nasledujúce dôležité parametre:

- Je iskru vzdorný pre prácu v potenciálne výbušných prostrediach,
- zisťuje X- žiarenie a gama žiarenie do 60 keV,
- digitálny panel displeja je v rozsahu: 0.1 – 1000 µSv/h,
- digitálna indikácia dávkového príkonu: 0 – 10,000 µSv/h,
- zobrazenie prebieha po 0.1µSv/h,
- prístroj má integrovanú funkciu dozimetra – je možné ho taktiež využiť ako osobný dozimeter,
- prístroj má pamäť najvyšších hodnôt – umožňuje ukladať maximálne hodnoty merania prostredia,
- prístroj zobrazuje dátum kalibrácie,
- má podsvietený display,
- prístroj je vybavený zvukovými signálmi s výstražnými znameniami,
- pogumovaná nylonová konštrukcia umožňuje prístroj využiť vo všetkých poveternostných podmienkach.

Obr.51 TRACERCO^{TM} Radiačný dozimeter
(Zdroj:http://www.meranie.sk/sk/product/contamination-monitor-t202/)

5.6.5 TRACERCO^{TM} T401 Radiation Contamination Monitor

Určenie prístroja

TRACERCO^{TM} T401 Radiation Contamination Monitor je iskru vzdorný prístroj na meranie radiácie, ktorý kombinuje vysokú úroveň funkčnosti a toleranciu voči prostrediu, čo z neho robí vysoko efektívne zariadenie. Prístroj je vhodný najmä na detekciu rádioaktívneho zamorenia, ktoré sa môže prejaviť v rôznych priemyselných odvetviach, kde sa vyskytujú voľné izotopy, ako napríklad jadrová energetika, sanácia pôdy, výskum a vývoj, ale i v medicíne.

TRACERCO^{TM} T401 Contamination Monitor bol navrhnutý tak, aby plnil úlohy pri dosiahnutí prevádzkovej spoľahlivosti s vynikajúcou citlivosťou a radou ďalších kľúčových funkcií.

Charakteristika prístroja

- Výborná citlivosť prístroja pri detekcii alfa/ beta žiarenia,
- prístroj má dvojitý zobrazovací graf displeja: 0 – 1000cps,
- digitálny číselný displej prístroja vykonáva automatický priamy prevod do Bq/cm^2 pre 14 predprogramovaných nuklidov (prírodných a umelo vytvorených),
- prístroj má odnímateľnú radiačnú sondu s predlžovacím káblom dlhým 1,5 metra,
- prístroj je vybavený dodatočnou predlžovacou rukoväťou pre meranie v kontaminovanom potrubí, laboratórnych podlahách, a pod.,
- sonda je otočná v uhle 90° pre meranie vnútorných priestorov,
- prístroj má zobrazovanie kalibračného termínu,
- podsvietenie zariadenia,
- prístroj je vybavený zvukovou odozvou pomocou nastaviteľných zvukových signálov,
- pogumovaná nylonová konštrukcia a modulovo integrovaná elektronická sonda umožňuje prístroj využiť pri všetkých poveternostných podmienkach.

Obr.52 TRACERCO™ T401 Radiation Contamination Monitor
(Zdroj:http://www.meranie.sk/sk/product/contamination-monitor-t401/)

5.6.6 Fluke 481 - Merač rádioaktívneho žiarenia

Určenie prístroja

Fluke 481 je prenosný a praktický prostriedok pre zisťovanie ožiarených produktov, pomáha pri kontaminačnom riziku a bezpečnostných otázkach bez toho, aby zasahoval do bežných pracovných procesov. Prístroj umožňuje identifikovať zdroje žiarenia, monitorovať ich a namerané výsledky porovnať s platnými normami. Prístroj je určený pre meranie rádioaktívneho beta a gama žiarenia.

Vlastnosti prístroja

- Odolný, praktický a prenosný merací prístroj,
- deteguje rôzne typy rádioaktívneho žiarenia,
- vysoká citlivosť prístroja pre väčšiu bezpečnosť,
- deteguje už veľmi nízke úrovne žiarenia, tak aby užívateľ neprišiel do styku s nebezpečným silným ožiarením,
- prístroj má jednoduché ovládanie vďaka dvom tlačidlám,

Parametre prístroja

- Detekcia beta žiarenia > 100 keV,
- detekcia gama žiarenia > 7 keV,
- prístroj umožňuje meranie v rozsahu 0...50 R/h - 5 rozsahov,
- rýchlosť odozvy v rozsahu 2...8 sekúnd,
- zobrazenie údajov je pomocou LC displeja s bargrafom 100 segmentov,
- napájanie batérie 9 V / 200 hodín prevádzky,
- rozmery prístroja 100x200x150 mm,
- hmotnosť prístroja 1,11 kg.

Obr.53 Fluke 481 - Merač rádioaktívneho žiarenia
(Zdroj:http://www.ghvtrading.sk/meracie-pristroje/neelektricke/merace-radiacie/fluke481.html)

5.6.7. Intenzimeter IT- 65

Určenie prístroja

IT-65 je starší vojenský intenzimeter /rádiometer/. Tomu odpovedá jeho vybavenie, presnosť a celková konštrukcia. Základná chyba merania pri teplote 15 °C až 25 °C a pri relatívnej vlhkosti 65 % je ± 20%, pri teplotách -30 °C až 15 °C a 25 °C až 50 °C je prídavná chyba ± 30 %. Prístroj je určený na použitie v zamorenom priestore po alebo počas jadrového konfliktu. To je jeho primárne určenie.

Obr.54 Intenzimeter IT-65

Charakteristika prístroja

Intenzimeter IT-65 je prenosný dozimetrické prístroj určený na meranie úrovne radiácie v zamorenom teréne a na dozimetrickú kontrolu stupňa kontaminácie povrchov osôb, výzbroje, techniky, potravín, vody, rôznych predmetov, objektov a terénu rádioaktívnymi látkami.

Súpravu intenzimetru IT-65 tvoria:

- intenzimeter IT-65,

- sonda,
- taška so zabudovaným kontrolným žiaričom (stroncium izotop ^{90}Sr),
- gumené ochranné návleky na sondu (5 ks),
- slúchadlo,
- pripojovací kábel pre pripojenie prístroja k palubnej sieti,
- žiarovka 27 V (2 ks),
- záznamník s návodom na obsluhu prístroja.

Prístroj je vodotesný a znesie ponorenie do hĺbky 0,5 m. Napájanie je riešené buď z vnútorného zdroja dvoma monočlánkami (typ 5044 alebo 142) alebo z vonkajšieho zdroja - z palubnej siete mobilných prostriedkov 12 V alebo 24 V. Nepretržitá pracovná doba prístroja napájaného z jednej sady čerstvých monočlánkov je 30 hodín. Rozmery tašky sú 265 x 160 x 115 mm. Hmotnosť celej súpravy činní 2,8 kg.

Spôsoby merania prístrojom

Na panely sú dva rozsahy merania:
Na panely sú dva rozsahy merania:
1. mR/h: rádiometrický 0,05 - 500mR/h
2. R/h: rentgenometrický 0,05 – 500R/h

Obr.55 Pohľad na panel prístroja

Na 1. rozsahu meria pomocou GM (Geiger-Müllerovej) trubice umiestnenej v sonde, na 2. rozsahu meria pomocou ionizačnej komory zabudovanej v prístroji. Úroveň radiácie je zobrazovaná ručičkovým prístrojom.

Na 1. rozsahu je tiež indikovaná praskaním v slúchadle, ktoré sa pripája na konektor označený SL. Pre meranie na 2. (rentgenometrickom) rozsahu je potrebné vykonať kalibráciu prístroja stlačením tlačidla KAL. a nastavením potenciometra KAL tak, aby rúčka ukazovala na rysku KAL.

Znamená to že: Na 1. rozsahu do 500mR/h meriame pomocou Geiger-Mulleroveho počítača zamorenie osôb, vecí, zbraní, techniky, potravín a podobne. Tento detektor meria v zavretom stave gama žiarenie, v otvorenom gama aj beta. GM

trubica je typ Philips 18504. Má sľudové okienko, takže je pravdepodobne schopné merať okrem žiarenia gama a beta i žiarenie alfa.

Obr.56 Pohľad na G-M trubicu prístroja

Detektorom žiarenia gama na 2.rozsahu /rentgenometrickom/ je ionizačná komora. Na tomto rozsahu sa meria úroveň radiácie kontaminovaného. Prúd ionizačnej komory, úmerný úrovni radiácie, je zosilnený a potom meraný mikroampérmetrom.

2. R/h: rentgenometrický 0,05 – 500R/h

5.6.8 Prístroj pre radiačný prieskum MKS-U

Obr.57 Prístroj MKS-U

Určenie

Zariadenie je určené pre radiačný prieskum za takmer ľubovoľných podmienok, bol vyvinutý na základe poznatkov z havárie v Černobyle. Prístroj má extrémnu odolnosť aj rozsah merania.

Vlastnosti prístroja:

Automatické nastavenie meracích rozsahov, audio signalizácia s možnosťou vypnutia, displej a ovládacie tlačidlá sú podsvietené pre prácu v tme a za zníženej viditeľnosti, možnosti nabíjania akumulátora (päť NiCd aku, typ AA):

- zo solárneho článku;
- 12V z palubnej siete vozidla;
- 230V / 50Hz priemyselnou sieťou, cez menič napätia.

Prístroj pracuje za atmosférických zrážok aj v prašných podmienkach, externý detektor gama žiarenia je vodotesný do hĺbky 0,5 m. Externý detektor s káblom je možné použiť až do vzdialenosti 30 m. Prístroj má analógový ukazovateľ intenzity žiarenia. Energeticky nezávislá pamäť pre je určená pr 4096 výsledkov meraní. Prenos do PC je umožnený cez IR port.

Prehľad zaznamenaných výsledkov merania je na osobnom digitálnom displeji. Prístroj je ovládateľný v prostriedkoch individuálnej ochrany (gumové rukavice). Použitie prístroja je možné v širokom rozsahu prevádzkových teplôt (- 40 ... +50 °C).

Digitálny displej je odolný až do teploty 95 °C.

5.6.9 Prístroj pre radiačný prieskum MKS-U Fire

Obr. 58 Prístroj MKS-U Fire

Určenie

Odľahčená verzia prieskumného detektora MKS-U Fire je určená predovšetkým pre hasičské jednotky.

MKS-U Fire je funkčne zhodný so štandardnou verziou. Súprava je odľahčená o doplnky určené najmä do extrémnych podmienok.

Oproti štandardnej verzii MKS-U sa verzia MKS-U Fire líši nasledovne:

V možnosti nabíjania akumulátora (päť NiCd aku, typ AA):

- 12V z palubnej siete vozidla;
- 230 V / 50Hz z priemyselnej siete, cez menič napätia.

Súprava neobsahuje "Emergency detecting unit kit" a solárny článok.

5.6.10 Detekčná jednotka DRG-T

Obr. 59 Detekčná jednotka DRG-T

Určenie

Detekčná jednotka je určená do špeciálnych vozidiel. Zaisťuje kontinuálny monitoring stavu radiačnej situácie a automaticky spúšťa ochranné mechanizmy vo vozidle.

Vlastnosti:

Vysoká odolnosť proti otrasom a vibráciám; prístroj generuje signály pre zobrazenie informácií na dátovom paneli vozidla; môže spolupracovať s palubným počítačom vozidla; iniciuje spustenie automatických ochranných prvkov pre ochranu posádky;

Testovacie tlačidlá pre kontrolu funkcie so spustením ochranných funkcií alebo aj bez ich spustenia;

Rozmery: 160 x160 x110 mm
Hmotnosť: do 4 kg
Trieda ochrany: IP 54
Napájanie: 9,0 až 28,5 V
Rozsah pracovných teplôt: - 40 až + 60 °C

5.6.11 Analyzátor FoodTester-G

Obr.60 Analyzátor FoodTester-G

Určenie prístroja

Revolučný analyzátor, ktorý bol vyvinutý pre kontrolu potravín a pôdy na prítomnosť izotopov cézia. Vhodný pre domáce potreby i profesionálnu prácu s maximálnym dôrazom na jednoduchosť obsluhy.

Výhody:

Nie je nutné špeciálne školenie pre užívateľov prístroja, pracuje v interaktívnom režime v spolupráci so zariadeniami na OS Android.
Nie je potrebný osobitný kontajner na potraviny, meranie sa vykonáva priložením analyzátora k samotným potravinám.

Nie je nutná špeciálna príprava potravinárskeho výrobku, jedlo zostáva vo vnútri kontajnéra alebo obalu.

Použitie:

Meranie ekvivalentnej dávky okolitého žiarenia (DER).
Detekcia izotopov cézia v potravinách a vyhodnotenie ich aktivity.
Detekcia izotopov cézia v pôde s vyhodnotením ich špecifickej a povrchovej aktivity.
Ovládanie, zobrazenie:

Pomocou zariadení pracujúcich na OS Android, pripojenie pomocou BlueTooth.
Hmotnosť prístroja: 0,4kg
Rozmery: 110 x 36 x 83mm
Trieda ochrany: IP54
Rozsah pracovných teplôt: -20 až + 40 °C
Výdrž akumulátorov: do 40 hod.

5.6.12 SPECTRA (MKS-11)

Obr.61 SPECTRA (MKS-11)

Určenie prístroja

Profesionálny, vysoko citlivý rádiometer určený na vyhľadanie rádioaktívneho a nukleárneho materiálu a jeho následnej identifikácii podľa špecifikácií IAEA.

Možnosti využitia pre colné správy a ochranu hraníc, ozbrojené bezpečnostné zbory (ministerstvo vnútra, polícia), pre kontrolu vozidiel, prístavísk a letiskových priestorov, ekologický prieskum a výskum, hygienické a epidemiologické stanice, ale aj pre úložiská rádioaktívneho odpadu.

Funkcie:

Prístroj je osadený vysoko citlivým oscilačným detektorom (gama), GM počítačom a oscilačným detektorom neutrónového žiarenia. Dátová komunikácia medzi detekčnou a zobrazovacou / ovládacou jednotkou (alebo PC) je pomocou Bluetooth.

Možnosť uložiť a následne preniesť do osobného počítača až 128 kompletných gama radiačných spektier.

Identifikácia rádionuklidov podľa špecifikácie IAEA pozri zoznam:

- zdravotnícke rádionuklidy: ^{18}F, ^{67}Ga, ^{99m}Tc, ^{111}In, ^{123}I, ^{131}I, ^{201}Tl;
- priemyselné rádionuklidy: ^{57}Co, ^{60}Co, ^{133}Ba, ^{137}Cs, ^{192}Ir, ^{152}Eu a ^{241}Am;
- špeciálne jadrové materiály: ^{233}U, ^{235}U, ^{240}Pu;
- prírodné rádioaktívne materiály: ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{238}U.

Tento zoznam je možné rozšíriť podľa požiadaviek.

5.6.13 STORA-TU (RKS-01)

Obr.62 STORA-TU (RKS-01)

Profesionálny ručný rádiometer / dozimeter na presné meranie gama a beta žiarenia a to aj v náročných podmienkach, je osadený štvoricou GM počítačov.

Vlastnosti:

Prístroj je vodotesný a má prachu odolný obal (trieda ochrany IP-54). Bluetooth pripojenie k PC. Veľký displej s luminiscenčným podsvietením. Súčasná indikácia meraných jednotiek, chýb merania, prahových úrovní a reálneho času.

Analógový dvanásť segmentový ukazovateľ registrovanej intenzity žiarenia. Možnosť vykonávať meranie s prednastavenou chybou. Vstavaná pamäť, ktorá umožňuje uložiť do pamäte až 1200 meraní až pre 999 meraných objektov (číselné označenie).

5.6.14 POSHUK (MKS-07)

Obr.63 POSHUK (MKS-07)

Charakteristika

Profesionálny vyhľadávací rádiometer je vybavený samostatnými detekčnými jednotkami pre rýchle a presné meranie alfa, beta aj gama žiarenia, doplniteľný i o jednotku na detekciu neutrónového žiarenia.

Popis:

Prístroj má G-M počítače s filtrom spätného rozptylu, má analógový ukazovateľ intenzity žiarenia.

Prístroj umožňuje až 4096 výsledkov merania zaznamenaných v energeticky nezávislej pamäti s možnosťou prenosu do PC cez infračervený port. Prehľad zaznamenaných výsledkov meraní sa zobrazuje na digitálnom displeji.

Prístroj umožňuje detekciu mäkkého žiarenia beta, tiež zaznamenáva programovateľné prahové úrovne ekvivalentnej dávky gama žiarenia a hustoty toku beta - častíc.

Audio signalizácia zistených gama, beta častíc a prekročení naprogramovanej prahovej hodnoty ekvivalentnej dávky alebo hustoty toku beta - častíc.

Prístroj má digitálny podsvietený displej, a indikáciu stavu batérie. Módy prevádzky prístroja:

- Meranie na prednastavenú presnosť - užívateľ nastaví požadovanú presnosť merania a prístroj meria tak dlho než ju dosiahne.
- Meranie v časovom intervale - od 1 do 99 minút.
- Merania "Start - Stop" - používateľ ručne spúšťa a zastavuje meranie, prístroj následne zobrazí priemer nameraných hodnôt.

Súčasťou súpravy je aj teleskopická tyč pre prácu s detekčnými jednotkami a IR adaptér pre PC.

5.6.15 CADMIUM Search (DKS-02PN)

Obr.64 CADMIUM Search (DKS-02PN)

Určenie prístroja

Profesionálny vyhľadávací dozimeter je určený pre detekciu a vyhľadávanie rádioaktívneho a nukleárneho materiálu s určením pre colnú správu a ochranu hraníc, ozbrojené bezpečnostné zbory (ministerstvo vnútra, polícia), na kontrola vozidiel, prístavísk a letiskových priestorov, ale i pre ekologický prieskum a výskum, pre hygienické a epidemiologické stanice, pre úložiská rádioaktívneho odpadu.

Funkcie prístroja:

Dozimeter je primárne určený pre detekciu a vyhľadávanie rádioaktívneho a nukleárneho materiálu na základe ich gama a neutrónového žiarenia. Nález je indikovaný vibráciou zvukovým signálom, na zápästnej jednotke prepojenej s dozimetrom prostredníctvom BlueTooth.

Vlastnosti:

- Rozsah pracovných teplôt: od -20 do 50 °C;
- Relatívna vlhkosť: do 90 % pri teplote 35 °C, bez kondenzácie;
- Atmosférický tlak od 84 do 106,7 kPa;

5.6.16 AGENT-R Gamma Radiation Warning Dosimeter

Obr.65 Prístroj AGENT-R

Charakteristika prístroja

Výstražné zariadenie AGENT-R bolo vyvinuté na základe požiadavky bezpečnostných zborov. Je určené pre nosenie laickými používateľmi pre ich osobnú ochranu a pre detekciu prítomnosti rádioaktívneho žiarenia. V prípade že zariadenie deteguje prítomnosť žiarenia, je jeho užívateľ povinný opustiť priestor, zabezpečiť ho proti vstupu civilných osôb a privolať odborný orgán, ktorý vykoná presné merania a zaistí ďalšie účinné opatrenia.

Obr. 66 Výstražné zariadenie AGENT-R

5.6.17 Ďalšie prístroje pre monitoring ionizujúceho žiarenia

Monitorovanie ionizujúceho žiarenia sa zaoberá prírodnou a umelou rádioaktivitou vo všetkých zložkách prírodného prostredia. Monitorovanie prírodných zdrojov žiarenia a globálnej kontaminácie životného prostredia rádioaktívnymi látkami (v dôsledku pokusov s jadrovými zbraňami) sa vykonáva celoplošne.

Zvlášť dôležité miesto náleží monitoringu ionizujúceho žiarenia v okolí jadrových elektrární.

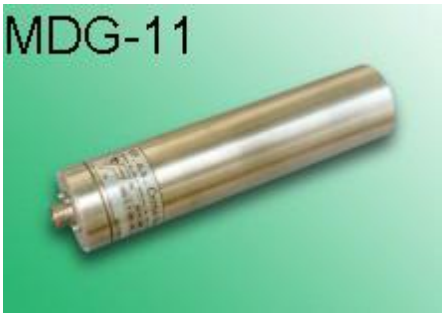
Pri monitoringu životného prostredia sa používajú tieto monitorovacie zariadenia:

a) monitory dávkového príkonu

Zariadenie MDG-02 je určené na meranie dávkového príkonu v prostredí s dávkovými príkonmi v rozsahu od prirodzeného pozadia až do 10 mGy/h.

Obr.67 MDG-02

Zariadenie MDG-11 je určené pre meranie a riadenie technológie, často s využitím umelého zdroja ionizujúceho žiarenia. Príkladom použitia môže byť snímanie výšky hladiny a iné priemyselné aplikácie. Nie sú určené pre meranie úrovne dávkového príkonu v prostredí.



Obr.68 Zariadenie MDG-11

SDP-11 signalizátor prevýšenia dávkového príkonu je určený na signalizáciu prevýšenia nastavenej signalizačnej úrovne dávkového príkonu gama žiarenia s možnosťou použitia externej signalizačnej jednotky.

Obr. 69 Signalizátor SDP-11

b) monitory kontaminácie

SKDP-1 je signalizátor kontaminácie drobných predmetov určený pre kontrolu a signalizáciu kontaminácie drobných predmetov gama rádioaktívnymi látkami.

SKDP-2 je signalizátor kontaminácie drobných predmetov určený pre kontrolu a signalizáciu kontaminácie drobných predmetov beta a gama rádioaktívnymi látkami.

Obr. 70 Signalizátor SKDP-1

c) monitory vzduchu

MAA-12 je monitor aerosólov určený na meranie celkovej objemovej aktivity alfa, beta aktívnych aerosólov v ovzduší. Môže sa používať ako súčasť rozsiahlych monitorovacích systémov, alebo ako autonómny monitor.

d) monitory odpadov

KDOR, kolimátor detektora a otočná rampa KDOR je určený k meraniu kontaminácie materiálov, uzavretých do štandardných sudov.

Obr. 71 Detektor KDOR

e) elektronická osobná dozimetria

DMC 2000, elektronické dozimetre radu DMC 2000 (DMC 2000 S, DMC 2000 X a DMC 2000 XB) sú určené na meranie, ukladanie a zobrazovanie osobného hĺbkového dávkového ekvivalentu Hp (10).

Obr.72 Elektronický dozimeter DCM 2000

Elektronické osobné d**oz**imetre MGP radu SOR (SOR/T a SOR/R) boli vyvinuté špeciálne pre použitie v armáde a civilnej ochrane. Sú určené na meranie, ukladanie a zobrazenie osobného hĺbkového dávkového ekvivalentu Hp (10) a jeho príkonu.

Obr. 73 Dozimeter MGP radu SOR

Záver

Rádioaktívne materiály patria k nebezpečným látkam, ktoré majú vplyv na zdravie človeka a životné prostredie. Dokážu spôsobiť závažné zmeny v organizme a kontaminovať životné prostredie na dlhú dobu.

Znalosť účinkov rádioaktívnych materiálov, ale i spôsoby ich detekcie a nakladania s nimi vytvárajú predpoklady pre ich bezpečné využitie v rozličných oblastiach spoločenského života.

Určité znepokojenie vyvolávajú snahy o neoprávnené získavanie nebezpečných rádioaktívnych materiálov z dôvodu ich možného zneužitia.

Literatúra

1. J.GAŽO a kol.: Všeobecná a anorganická chémia, 3.vyd., str.740-749, Alfa Bratislava 1981.
2. BARBALACE, K.: Periodic Table of Elements - Actinium - Ac. In: *Environmental Chemistry.com* 1995-2013. Dostupné z: http://environmentalchemistry.com/
3. http://agreenroad.blogspot.com/2012/12/radioactive-cobalt-60-properties.html
4. ANGULO, Marc. Strontium. In: U.S. GEOLOGICAL SURVEY. *Mineral Commodity Summaries* [online]. 2012 [cit. 2012-09-29]. Dostupné z: http://minerals.usgs.gov/
5. J.HÁLA a kol: *Jaderná chemie*, Academia Praha 1985.
6. Radiological Agent: Strontium-90 www.cbinfo.com
7. J. T. ARMSTRONG: Technetium, 2003, American Chemical Society
8. Materiály Centra výzkumu Řež u Prahy
9. astronuklfyzika.cz/Fyzika-NuklMed.htm
10. BARTHELMY, David. Mineral Species containing Yttrium. In: *Mineralogy database* [online]. 2010 [cit. 2012-06-20]. Dostupné z: http://webmineral.com/
11. http://www.nucleide.org/DDEP_WG/Nuclides/Y-90m_tables.pdf
12. http://chernobylzone.sk/belorusko-obet-jaderne-havarie/
13. Stanovisko ÚVZ SR k nameranej rádioaktivite na území SR. Dostupné na internete: www.uvzsr.sk
14. http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika4.htm.
15. www.ujd.gov.sk/ujd/web.nsf/Zakladne_udaje.pdf
16. www.zones.sk/studentske-prace/.../7927-jadrova-fyzika-nuklearna-fyzik
17. ŠÁRO, Štefan - TÖLGYESSY, Juraj. 1985. Rádioaktivita prostredia. 1. vyd. Bratislava: Alfa. 1985. 304 s.
18. ZPRÁVA O RADIAČNÍ SITUACI. 1987. Zpráva o radiační situaci na území ČSSR po havárii jaderné elektrárny Černobyl. Praha: Institut hygieny a epidemiologie, 1987, 168 s.
19. Mapy plošnej aktivity ^{137}Cs územia Slovenska v mierke 1 : 200 000. [online]. ŠGUDŠ. Dostupné na: http://www.geology.sk/?pg=download.mapy_cs
20. Nariadenie vlády SR z 10.5.2006 č. 345/2006 Z.z. o základných bezpečnostných požiadavkách na ochranu zdravia pracovníkov a obyvateľstva pred ionizujúcim žiarením
21. www.nuc.elf.stuba.sk/lit/doz/005%20prirodne%20pozadie.pps
22. BARTHELMY, David. Mineral Species containing Iridium. In: *Mineralogy database* [online]. 2010. Dostupné z: http://webmineral.com/
23. Polonium - Element information, properties and uses. In: *Royal Society of Chemistry* [online]. 2014. Dostupné z: http://www.rsc.org/
24. http://www.prvky.com/84.html
25. http://periodic.lanl.gov/elements/95.html
26. 158.193.212.66/ivana/biomedici/site/materialy/8.../5_prednaska.pdf
27. ULLMANN, V: Jaderná fyzika http://astronuklfyzika.cz/strana2.htm
28.ŠAJTER,V a kolektív: Biofyzika, biochémia a rádiológia. Bratislava, OSVETA, 1998
29. http://www.radiometry.cz/cms/?dozimetry-%28radiometry%29-pro-radiacni-pruzkum,19
30. (http://www.vf.cz/html_sk/produkty_kontrola.php?item=kontrola, on-line, 11.2.2006).

Názov: Nebezpečné rádioaktívne materiály a možnosti ich detekcie

Rozsah: 114 strán
Vydanie: prvé, 2016
Náklad: 100 ks
Vydavateľ: BELIANUM, Vydavateľstvo Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici,
Edícia: Fakulta prírodných vied, 2016
Tlač: Equilibria,s.r.o., Košice

ISBN 978-80-557-1128-7