

Ionizující záření

Ionizující záření je souborné označení pro záření, jehož kvanta mají energii na to, aby přímo či nepřímo odtrhovaly (tj. ionizovaly) podél své dráhy elektrony z elektronového obalu atomů. Tímto procesem vzniká z daného atomu kladný iont, zatímco uvolněný elektron reaguje s dalším atomem a dává iont záporný – vzniká **iontový pár**.

Iontové záření je tedy **přenos energie**, který může být buď ve formě hmotných částic, či ve formě vln elektromagnetického záření. Nicméně z hlediska Einsteinova principu duality je možné každé částici připsat i vlnovou délku (u mikročástic nacházíme chování částicové i vlnové), takže název ionizující záření zahrnuje obě entity.

Do ionizujícího záření se tradičně zařazuje:

- rentgenové záření (fotony, v anglicky hovořících zemích *X-radiation* nebo *X-ray*),
- záření α (proud heliových jader ${}^4_2\text{He}$),
- záření β (proud elektronů nebo pozitronů),
- záření γ (fotony),
- neutronové záření.



Symbol ionizujícího záření

Dělení

Podle náboje

- **elektroneutrální** – fotony (RTG, záření gamma), neutrony, ionizují sekundárně (prostředníkem bývají elektrony)
- **polární** – elektrony, pozitrony, protony, štěpné produkty primární ionizace

Podle částic

- **elektromagnetické, fotonové** – rentgenové záření, záření gamma
- **korpuskulární** – elektrony, pozitrony, neutrony, produkty štěpení jader



Nové doplňující označení *Nebezpečí neviditelného, zdraví škodlivého záření*

Přímo ionizovat mohou jen nabitě částice, tj. **částice alfa** (heliová jádra) či **beta** (což jsou elektrony nebo pozitrony jaderného původu), dále elektrony a pozitrony nejaderného původu (třeba z urychlovače), aj. s energií dostatečnou k ionizaci.

Nepřímo ionizují nenabitě částice, tedy **neutrony, fotony a záření gama** (tj. fotony jaderného původu). Nenabitě částice při interakcích s atomy či jejich jádry uvolňují přímo ionizující částice nebo vyvolávají jaderné přeměny provázené emisí takových částic.

Ionizující částice jsou vyzařovány **zdrojem záření** – například radionuklid a v něm probíhající radioaktivní přeměny. Hlavním zdrojem tohoto záření je v mírových podmínkách **přírozené pozadí**, dále jaderná energetika a likvidace jaderných odpadů. Zdrojem ionizujícího záření mohou být i technicky urychlené částice – elektrony a ionty atomů původem z urychlovačů, rentgenek a neutronových generátorů.

Stejně dávky různých druhů ionizujícího záření vyvolávají **odlišné biologické účinky**. Příčinou je odlišné množství energie předané tkáni na jednotku dráhy (jeden mikrometr) částice. Rentgenové paprsky, gama záření a beta částice vytvářejí ionizaci asi 100 iontových párů na jeden mikrometr tkáně, kterou procházejí. Rychlé neutrony, protony a alfa částice vytvářejí asi 2000 iontových párů na jeden mikrometr tkáně a jsou proto 20x biologicky účinnější. Říkáme, že rentgenové, gama a beta záření mají nízký **lineární přenos energie** a neutrony, protony a alfa záření vysoký lineární přenos energie.

Charakteristiky radionuklidů

Radionuklidové zdroje mohou být charakterizovány čtyřmi veličinami – absorbovanou dávkou, dávkovým příkonem, dávkovým ekvivalentem a aktivitou.

Dávka je střední energie přenesená ionizujícím zářením na látku o určité hmotnosti. Je udávána v **joulech na kilogram ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)**, příslušnou jednotkou je **gray (Gy)**. Přírůstek dávky za určitý časový interval se nazývá dávkový příkon. **Dávkový ekvivalent** se také týká toho, kolik látka absorbuje. Jedná se pouze o korekci absorbované dávky jakostním faktorem Q. Jakostní faktor Q vyjadřuje různou biologickou účinnost různých druhů záření. Na rozdíl od jednotky becquerel, která udává hodnotu aktivity radioaktivní látky, nevyjadřuje fyzikální intenzitu záření, ale jeho následky na organismus.

Veličina zvaná **aktivita** nám udává kolik radionuklid prodělá radioaktivních přeměn za jednotku času. Je to frekvence dějů vyjádřená v reciprokých sekundách a je pro ni zavedena jednotka **Becquerel ($\text{Bq} = \text{s}^{-1}$)**. Jednotka becquerel se používá také v jednotkách aktivity vztažené na jednotku hmotnosti, objemu, plošného obsahu, nebo času a plochy (např. objemová aktivita, plošná aktivita).

Efektivní dávkový ekvivalent (vztahující se k stochastickým účinkům záření) se vyjadřuje v **Sieverttech [Sv]**. 1 Sievert je taková absorbovaná dávka, která při jakémkoliv typu ionizujícího záření vyvolá stejný biologický účinek.

Mechanismus působení ionizujícího záření

Účinek ionizujícího záření se na buněčné úrovni projeví klinicky jen při poškození makromolekuly DNA. Poškození bílkovin a enzymů může sice alterovat některé buněčné funkce, ale zřídka má závažné účinky pro makroorganismus, neboť buňka při intaktní genetické informaci v DNA většinou rychle obnoví porušenou funkci např. syntézou nových bílkovin. K poškození DNA ionizujícím zářením dochází jednak **přímo** – ionizací a excitací atomů těchto makromolekul, čímž dojde ke štěpení vazeb až rozlomení DNA, a jednak **nepřímo** – radiolýzou vody za vzniku reaktivních radikálů, které jsou vysoce aktivní a transformují tak množství organických látek.

Účinky ionizujícího záření

Škodlivost ionizujícího záření závisí na tom, jaký orgán je ozářen. Podle toho rozlišujeme tkáně **radiosenzitivní** (tj. vnímavé k poškození zářením) a **radiorezistentní**. Obecně by se dalo říct, že rychle se dělící buňky jsou daleko citlivější k ionizujícímu záření než buňky, které mají delší buněčný cyklus. Radiosenzitivní jsou:

- kostní dřeň,
- střevní epitel,
- embryo.

Stochastický účinek představuje pozdní, náhodný účinek záření. Je to účinek bezprahový; se stoupající dávkou neroste závažnost poškození, ale pravděpodobnost jeho výskytu. Buněčným podkladem stochastických účinků jsou mutace a maligní transformace jedné nebo několika buněk. Stochastické účinky nemají charakteristický klinický obraz.

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Stochastické účinky ionizujícího záření.*

Deterministické (nestochastické účinky) jsou oproti tomu nenáhodné a mají prahovou hodnotu (1–3 Gy); nad prahovou dávkou roste závažnost poškození přibližně lineárně. Vyvolávají charakteristický klinický obraz – např. akutní nemoc z ozáření, akutní lokální poškození, nenádorová pozdní poškození a poškození plodu v děloze.

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Deterministické účinky ionizujícího záření.*

Základní principy ochrany před zářením

Cílem ochrany je vyloučit organizačními a technickými opatřeními možnost ohrožení pracovníků i obyvatelstva účinky deterministického typu a snížit na přijatelnou úroveň riziko stochastických účinků.

Přijatelnost ozáření lidí musí být doložena splněním tří **principů systému limitování dávek**:

1. Žádná činnost vedoucí k ozáření lidí se nesmí provozovat, pokud z ní neplyne dostatečný prospěch ozářeným jedincům nebo společnosti, aby se vyrovnala zdravotní újma způsobovaná ozářením (**princip zdůvodnění**).
2. V rámci určité činnosti musí být výše individuálních dávek, počet exponovaných osob a pravděpodobnost expozic (není-li jisté, že k nim dojde) udržovány tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout s uvážením ekonomických a sociálních hledisek (**princip optimalizace**).
3. Expozice jednotlivců musí být podřízena dávkovým limitům, představujícím nepřekročitelný strop kontrolovatelné expozice (**princip nepřekročení limitů**).

Splnění požadavků na ochranu pracovníků se ověřuje **systémem monitorování**, který zahrnuje s použitím především radiometrických a dozimetrických postupů jednak monitorování pracovního prostředí a jednak monitorování samotných pracovníků. Systém **osobního monitorování** slouží k určení individuálního zevního i vnitřního ozáření jednotlivých osob.

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Ochrana před ionizujícím zářením.*

Typické dávky ionizujícího záření

Vyšetření	Efektivní dávka [mSv]
Skiografie srdce + plíce	0,02-0,10
Skiografie bederní páteře předozadní snímek	0,8
Skiografie bederní páteře boční snímek	1,5
Skiografie břicha či pánve	0,3-0,4
Intravenózní vylučovací urografie	1,6
Mamografie	0,3
Skiografie kolenního kloubu	0,005
Intraorální skiografie	0,005
CT mozku	1-2
CT hrudníku	5-6
CT břicha	10
CT pánve	7-8
CT dentální	6
CT-angiografie koronárních tepen	8-15
CT stanovení koronárního kalciového skóre	1-2
Intervenční angiografie hlavy či krku	5
Intervenční koronarografie	5-12
Intervenční výkon PTCA	15
Intervenční výkon radiofrekvenční ablace	15
Intervenční břišní angiografie	12
Intervenční aortografie	12
Intervenční výkon transjugulárního zavedení porto-hepatálního stentu	70
Intervenční embolizace v pánvi	60

Odkazy

Související články

- Elektromagnetické ionizující záření
- Záření alfa
- Záření beta
- Záření gama
- Radionuklid
- Ochrana před ionizujícím zářením
- Neionizující záření

Zdroj

- BENCKO, Vladimír, et al. *Hygiena : Učební texty k seminářům a praktickým cvičením*. 2. přepracované a doplněné vydání vydání. Praha : Karolinum, 2002. 205 s. s. 126 – 128. ISBN 80-7184-551-5.

Externí zdroje

- ULLMANN, Vojtěch. Jaderná fyzika, radiační fyzika, radioisotopy: Ionizující záření (<http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika6.htm>)
- Ionizující záření (na serveru Fyzika v moderním lékařství) (<http://cz7asm.wz.cz/fyz/index.php?page=iozar>)

Reference

1. HORÁKOVÁ, Ivana. *Základy radioační ochrany obecné* [přednáška k předmětu Mimořádný specializační e-kurz – Radiační ochrana, obor Radiační ochrana pro indikující lékaře, Radiační hygiena Institut postgraduální vzdělávání ve zdravotnictví]. Praha. 2020-04-15. Dostupné také z <https://moodle.creativeconnections.cz/course/view.php?id=94>.
2. Státní úřad pro jadernou bezpečnost. *HERCA kampaň* [online]. ©2019. [cit. 2020-04-15]. <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/lekarske-ozareni/herca-kampan/>.