# FPT – otázky pro zápočtový test ZS 2023

### 1. Bohrův kvantový model atomu

- navazuje na Rutherfordův model atomu (u něj elektrony obíhají po kružnicích)
- u Bohrova modelu elektrony obíhají po kvantovaných diskrétních drahách
- 2 Bohrovy postuláty:
  - 1) elektron se pohybuje po stabilních kvantovaných drahách na nichž nevyzařuje žádnou energii
  - 2) při přechodu k jedné stabilní dráhy do druhé (u vyšší na nižší dráhu) vyzařuje energii jako kvantum elmag. záření (foton)

### 2. Protonové číslo, nukleonové číslo

- počet protonů Z (číslo vlevo dole u prvku)
- počet nukleonů A (číslo vlevo nahoře u prvku)
  - nukleony = protony + neutrony
- <sup>A</sup>He
- prvek stejné Z
- nuklid stejné Z i stejné N (N = neutronové číslo)
- izotop nuklid (v rámci souborů nuklidů), kde jsou stejná Z, ale různá N
- izobar nuklid, kde je stejná A, jiná Z
- izoton nuklid, kde je stejná N, jiná Z
- izomer nuklid s jádry v excitovaném stavu

### 3. Radioaktivita a její jednotka

- spontánní jaderné přeměna radionuklidů (mateřského jádra na dceřiné / vnitřní přeměna atomových jader) při níž dochází k emisi radioaktivního záření (emise vysokoenergetického záření)
- jednotka aktivity A je Becquerel [Bq]
  - aktivita = počet jader, který se přemění za jednotku času  $A=rac{dN}{dt}$  (rychlost rozpadu)
  - 1 Bq ... 1 jaderný rozpad / 1 sec
  - případně stará jednotku Curie (Ci) zavedena jako aktivita 1 gramu Radia



### 4. Poločas rozpadu

- T<sub>1/2</sub> čas, za který se rozpadne právě polovina jader (původního množství)
- řídí se **exponenciálním rozpadovým zákonem**  $N(t) = No \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ 
  - s λ jako rozpadovou konstantou pravděpodobnost daného jádra, že se rozpadne za jednotku času
  - N ... počet atomů (v daném čase/ v čase t=0)
- tzn. za poločasy rozpadu se rozpadne (½ + ¼) \* N\_0
- vztah mezi poločasem rozpadu  $T_{1/2}$  a rozpadovou konstantou je přes ln2  $\rightarrow T_{1/2} = ln2 * \lambda$

### 5. Druhy radioaktivity

- alfa, beta+, beta-, elektronový záchyt, gama
- radioaktivita alfa
  - vyzáření jádra helia se 2 protony a 2 neutrony
  - například přeměna radia na radon
  - alfa záření = proud jader helia <sup>4</sup>/<sub>2</sub>He
  - tzn. dceřinému jádru budou chybět 2 protony a 2 neutrony → Z-2, N-4
  - "radioaktivitou alfa se těžká jádra zbavují nadbytečných nukleonů, aby se staly lehčími a stabilnějšími"

### radioaktivita beta -

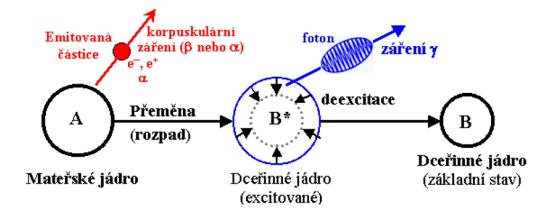
- vyzáření elektronu a elektronového antineutrina
- neutron se přemění na proton, elektron a (anti)neutrino
  - u dceřiného prvku se zvýší počet protonů (Z+1)
- například vodík na helium
- záření beta = proud elektronů
- radioaktivita beta +
- vyzáření pozitronu e+ a elektronového neutrina
- proton se přemění na neutron, pozitron a neutrino
- "pozitronová přeměna"

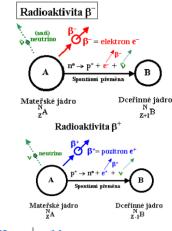
### radioaktivita beta – elektronový záchyt

- vyzáření neutronu a elektronového neutrina
- protonové číslo Z se zmenšuje o jedna
- jádro prvku, který má dost protonů absorbuje elektron z nižších energetické dráhy
- po zachycení elektronu jádrem se vytvoří místo pro elektron, na jeho místo skočí elektron z vyšší
  energetické dráhy, to je doprovázeno emisí charakteristického elmag. vlnění
- proces absorpce elektronu (záchyt) tím změní proton v jádře na neutron a zároveň je vyzářeno elektronové neutrino
- přitom se vyzáří charakteristické X-záření (rentgenové)
- někdy je doprovázeno emisí tzv. Augerových elektronů
  - **nějaký elektron je vypuzen** z elektronového obalu, kvůli interakcím mezi elektrony při hledání nejnižšího energetického stavu

### • radioaktivita gama

- záření gama = vysokoenergetické záření (nad 10 keV) vznikající deexcitací vzbuzených hladin atomového jádra
- často vzniká spolu s alfa nebo beta zářením
- dceřiné jádro po radioaktivní přeměně (rozpadu, kdy vznikne alfa nebo beta záření) vzniká v energeticky excitovaném stavu
- pak nukleony přeskakují do nižších energetických stavů deexcitace → proud fotonů
- energetický rozdíl se vyzáří ve formě kvant (fotonů) tvrdé elmag. záření gama
- tím se stabilizují poměry v jádře a na konci máme dceřiné jádro v základním stavu





# 6. Anihilace pozitronu (e+)

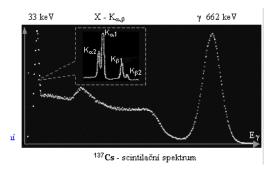
- $e^- + e^+ o 2\gamma$
- anihilace obecně = zánik částice a její antičástice při jejich vzájemném setkání
- když se setká pozitron a elektron, vzniká dvojice fotonů záření gama
- z místa anihilace vyletí přesně v protilehlých směrech
- nutně musí vzniknout dva fotony, kvůli zákonu zachování energie a hybnosti
- využívá se v **pozitronové emisní tomografii (PET)** ukazuje ochotu tkáně vychytávat příslušné radiofarmakum
  - detekce gama záření o energii 511 keV v opačných směrech
- o anihilaci se bavíme např. po beta+ radioaktivitě, kdy je právě pozitron vyzářen
  - osud pozitronu v látce je takový, že se setká s elektronem a vzájemně se zlikvidují (anihilace)

### 7. Energie fotonu

- $E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$
- $p = \frac{h}{\lambda}$
- foton = kvantum elmag. vlny
- částice s hybností p se může chovat jako vlna o vlnové délce  $\lambda = \frac{h}{n}$

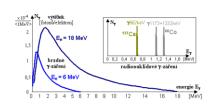
### 8. Charakteristické záření a jeho energetické spektrum

- vzniká při vyražení elektronu z obalu, na jeho místo skočí jiný elektron
  z vyšší energetické dráhy (deexcitace) -> charakteristické záření X
- vzniká např. při elektronovém záchytu
- energetické spektrum má několik peeků důsledek vnitřní konverze (deexcitace)



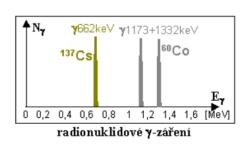
# 9. Brzdné záření a jeho energetické spektrum

- průchod rychlých nabitých částic látkou vlivem Coulombické interakce s elektronovými obaly a jádry atomů dochází ke změnám rychlosti a směru pohybu částic (rozptyl částic)
  - rozptyl nabité částice atomem způsobí velké zrychlení, a to vede k emisi fotonů brzdného záření X (nebo gama)
- energetické spektrum má spojitý charakter, obsahuje fotony všech vlnových délek (počínaje mezní vlnovou délkou)
  - od energii blízké 0 po maximální hodnotu energie (téměř kinetická energie dopadajících částic)
  - energie závisí na rychlosti s jakou dochází k zabrzdění elektronů při interakci s látkou
  - různá místa zabrzdění elektronů vyvolá směs záření různých vlnových délek
- ztráty energie brzdným zářením budou podstatně větší v těžkých látkách s velkým protonovým číslem, brzdné záření se bude uplatňovat především u lehkých nabitých částic



# 10. Energetické spektrum radioaktivních izotopů

- čárové spektrum gama záření radionuklidů Cs a Co >
- rozpadová schémata některých radionuklidů jsou značně složitá řada kaskádových přeměn, excitované energetické hladiny atd. → složitá spektra
- podobné rysy gama-spekter všech radionuklidů:
  - na začátku spektra jsou patrné peeky charakteristického X-záření



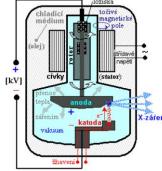
- pokud radionuklid obsahuje více energií gama záření bývá nejsilnější gama linie v oblasti nižších a středních energií
- (https://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika4.htm)

### 11.Zdroje ionizujícího záření

- zdroj ionizujícího záření je každý předmět, který emituje ionizující záření
- rozdělení na **přírodní** x **umělé** / podle **mechanismu vzniku** (elektronické zdroje, radioaktivní zářiče, záření vesmírného původu, elektrické výboje v atmosféře)
- elektronické zdroje vznik záření v důsledku elmag. urychlování nabitých částic
  - rentgenova trubice brzdné záření X
  - urychlovače částic
  - laserové zdroje vysoká koncentrace energie v krátkých pulzech dopadající na vhodný terčík

### RENTGENKA

- vakuová trubice, katoda (-), anoda (+)
- v podstatě klasická dioda v obvodu s vysokým napětím (20–200 kV)
- katoda emituje elektrony, které jsou urychlovány vysokým napětím k anodě
- pronikají do materiálu anody, a přitom jsou zbrzděny a tím vytvářejí různé typy záření (charakteristické X, brzdné X)
- zjednodušený princip: katoda je wolframové vlákno, která je rozžhavena a tím dokáže emitovat elektrony (termoemise)
  - na anodě je dostatečně vysoké kladné napětí, aby odváděla termoemisní elektrony od katody (elektrony jsou k ní přitahovány a silným elektrickým polem urychlovány – před dopadem mají velkou rychlost)
  - po dopadu na anodu elektrony prudce zabrzdí část jejich kinetické energie se přemění na tvrdé elmag. záření X
  - takové záření opouští anodu a vylétá z trubice ven
- konstrukční provedení robustní provedení kvůli dvěma okolnostem
  - vysoké napětí (stovky kV) a tepelný ohřev (převážná většina kinetické energie se přeměňuje na teplo – anoda se zahřívá, nutné ochlazování)



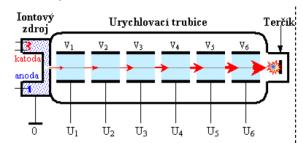
Rentgenka s excetrickou katodou a s anodou rotující uvnitř vakuové trubice

- rentgenka s excentrickou katodou a s anodou rotující uvnitř vakuové trubice
  - není potřeba fokusace elektronů do téměř bodového ohniska
  - anoda je aktivně chlazena průtokem chladícího média jejím vnitřkem
  - pro průmyslové ozařování a radioterapeutické použití
- rentgenka rotující jako celek s čelní anodou a magnetickým vychylováním elektronového svazku (lepší chlazení)
  - elektronový svazek se fokusuje do ohniska
  - rotující anoda zabraňuje přehřívání ohniska
  - pro rentgenovou diagnostiku
  - např. mamografie
    - nízké energie rentgenového záření (20-40 keV)
    - anoda z molybdenu
    - na druhé straně zobrazovací detektor nebo rtg film

### RADIOAKTIVNÍ ZÁŘIČE

- přírodní radionuklidy (thorium, uran235)
- uměle vyrobené Co-60, Ir-192, Cs-137
  - Co60 poločas rozpadu 5,27 let
    - rozpadem vzniká gama záření
    - určené pro hloubkovou radioterapii

- kobaltová hlavice, gama nůž (Leksellův)
- Ir192
  - použití na brachyterapii (zavedení přímo do nádoru nebo do oblasti okolo něj)
  - gama zářič
  - poločas rozpadu 74 dní
- I (jód) 125
  - malý dosah, neohrožuje okolní lidi
  - permanentní brachyterapie
- GENERÁTORY ZÁŘENÍ
  - rentgenky, lineární urychlovače, cyklotrony, synchrotrony, betatrony
  - lineární urychlovač
    - působením silných elektrických a magnetických polí urychlují nabité částice
    - zlatý standard v radioterapii
    - uměle urychlit lze pouze elektricky nabité částice
    - urychlovací trubice (elektrostatické vysokonapěťové)
    - elektrostatická urychlovací soustava
      - částice vstupují do urychlovacího systému z iontového zdroje
      - urychlovací soustava je tvořena kovovými válcovými elektrodami (V1, V2, ...)
      - mezi elektrodami postupně vzrůstá napětí (U1, U2, ...)
      - nabité částice jsou urychlovány elektrostatickým polem na energii danou součtem napětí na jednotlivých elektrodách
      - napájení urychlovacích elektrod je od několika kV do 5 MV



- vysokofrekvenční urychlovací soustava (lineární urychlovače)
  - válcové elektrody jsou připojeny ke střídavému napětí
  - liché válce jsou připojeny k jednomu pólu a sudé válce k druhému pólu
  - k vlastnímu urychlení dochází v mezerách mezi elektrodami

Fotoefekt, Comptonův rozptyl a tvorba elektron-pozitron pár jsou ionizační procesy (interakce záření gama nebo X s látkou, vedoucí k ionizačním účinkům).

### 12.Fotoefekt

- fotoelektrický jev = jev, kdy jsou elektrony urychlovány z obalu atomu a následně emitovány z látky (z kovu) v důsledku absorpce elmag. záření látkou
  - foton gama nebo X záření interaguje s elektronem v elektronovém obalu atomu – předá mu energii a zanikne
  - energie fotonu se celá spotřebuje na uvolnění elektronu z obalu
- díky fotoefektu vzniká nepřímé ionizující záření
  - po tom, co je dopadajícím zářením emitován elektron z obalu pryč zaplní jeho místo elektrony z vyšších drah a při seskoku elektronu na nižší energetickou dráhu (deexcitace) je vyzářeno charakteristické záření X
- foton e wolněný elektron vázaný elektron X charakteristické rentgenové záření

Fotoefekt

- nejčastěji nastává u záření gama s nižšími energiemi a v látkách s velkým protonovým číslem Z
  - při gama záření s energií nad 1-2 MeV je pravděpodobnost fotoefektu minimální
- dochází k okamžité emisi, kterou neovlivňuje intenzita dopadajícího záření, ale závisí pouze na vlnové délce světla

### 13. Comptonův rozptyl

- = necháme srazit foton s elektronem a pozorujeme rozptyl
  - foton narazí do elektronu částice se rozptýlí pod nějakým rozptylovým úhlem
  - elektron má po srážce nenulovou hybnost a také se změnila vlnová délka rozptýleného fotonu (nepřímo ionizující záření)
- záření X nebo gama se srazí s elektronem volným nebo jen slabě vázaným v atomu, foton mu předá část své energie, pružně se odrazí a pokračuje ve svém pohybu ve změněném směru a s nižší energií
  - energie rozptýleného fotonu je závislá na úhlu rozptylu
- pravděpodobnost Comptonova rozptylu roste s protonovým číslem Z, klesá s rostoucí energií fotonu
- nejvíc se uplatňuje u gama záření středních a vyšších energií a v látkách s nízkým protonovým číslem Z (voda, tkáň)

# Comptonův rozptyl rozptýlený foton dopadající foton volný elektron odražený elektron

### 14. Tvorba elektron-pozitronových párů

- při **vysokých energiích gama fotonů** může docházet k interakci i s virtuálními elektrony ukrytými v kvantovém vakuu
  - foton (s dostatečně vysokou energií) vletí do látky a přemění se na dvojici částic elektron, pozitron
  - energie fotonu se spotřebuje na vytvoření elektron-pozitronového páru,
     zbytek se projeví jako kinetická energie vytvořených e- a e+ částic
- trvale zůstává v látce pouze elektron, protože pozitron je zabrzděn a anihiluje s některým jiným elektronem za vzniku dvou fotonů gama záření
- nejvíce se uplatňuje u záření gama s vysokou energií a u látek s vysokým protonovým číslem Z

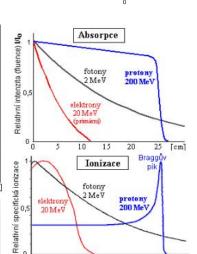
# -pozitronových párů foton jádro elektron

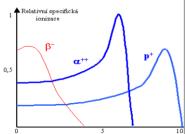
Tvorba elektron-

# 15. Hloubková závislost ionizace urychlenými elektrony, protony, fotony

- specifická (lineární) ionizace = počet iontových párů vytvořených na jednotku délky dráhy interagující částice
- Braggovy křivky závislosti ionizace na hloubce průniku nabité částice do látky
  - jak klesá rychlost částice, ionizační účinky rostou (pomalejší pohyb vede k delšímu času působení Coulombovské interakce)
- Braggovo maximum těsně před zabrzděním částice je předána největší energie
- po zabrzdění další ionizace nepokračuje

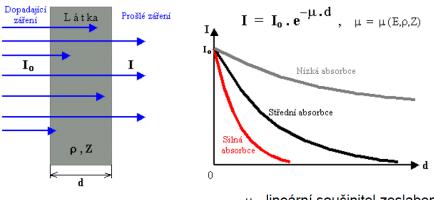
střední ionizace vysoká io





## 16. Absorpce záření v látkách. Na čem závisí lineární součinitel zeslabení?

- mechanismy interakce záření s hmotou způsobují, že určitá část kvant ionizujícího záření se při průchodu látkou absorbuje
- při průchodu záření látkou dochází k jeho **zeslabení** (intenzita prošlého záření I), často dochází i ke změně jeho spektrálního rozložení (vznik sekundárního záření)
- míra absorpce závisí na energii záření, tloušťce a hustotě ozařovaného materiálu
- exponenciální závislost závisející na tloušťce absorbující látky d a lineárním součiniteli zeslabení
- hodnota lineárního součinitele zeslabení závisí na hustotě a protonovém číslem Z absorpčního materiálu a taky na energii záření
  - je tím vyšší, čím vyšší je hustota a protonové číslo
  - a je tím nižší, čím vyšší je energie záření



μ - lineární součinitel zeslabení

### 17. Polovrstva (polotloušťka) absorpce

- polotloušťka = taková tloušťka vrstvy stínícího materiálu, která zeslabí intenzitu daného záření na polovinu
  - 2 polovrstvy zeslabí intenzitu na ¼; 3 polovrstvy zeslabí na 1/8
- tloušťka potřebného stínění závisí na hustotě (a nukleonovém číslem) stínícího materiálu, na energii záření a na požadovaném zeslabení

### 18. Detektory ionizujícího záření

- **filmové dozimetry** (hlavně jako osobní detektory)
  - rtg filmy políčko filmu se vkládá do plastového pouzdra
  - měděné a olověné plíšky slouží jako filtr pohlcující záření gama v závislosti na jeho energii
  - nosí pracovník pravidelně na sobě a jednou za čas je vyměňován a vyhodnocen (1x za měsíc)
  - čím vyšší záření, tím tmavší ozářený film
- termoluminiscenční dozimetr (TLD)
  - termoluminiscenční látka fluorid lithný LiF, fluorid vápenatý CaF2, síran vápenatý CaSO4
  - v dozimetru je zapouzdřen definovaný vzorek dané termoluminiscenční látky
  - po expozici látku zahřejeme na teplotu 160–300 °C a fotonásobič snímá emitované viditelné světlo v závislosti na teplotě
  - z toho uděláme tzv. vyhřívací křivku integrál této křivky (plocha pod grafem) je úměrný dávce
     v dozimetru
- **fotoluminiscenční dozimetr** (OSL = opticky stimulovaná luminiscence)
  - použití jako osobní dozimetr
  - obsahuje oxid hlinitý Al2O3 aktivovaný uhlíkem

- pro vyhodnocení ozáříme LED diodou (žluto-zelené světlo) vzniká luminiscence, která je detekována fotonásobičem
- luminiscence je úměrná ozáření dozimetru
- jednoduší a reprodukovatelnější vyhodnocování než TLD dá se dobře kvantifikovat

### ionizační komora

- tvořena dvěma elektrodami v plynném (inertním) prostředí
- napětí na elektrodách řádově stovky V
- když je komora vystavena ionizačnímu záření plyn se ionizuje a začne procházet proud
  - protože ionizační záření začne vyrážet elektrony z původně neutrálních atomů a tím je mění
    na kladné ionty, záporné elektrody se pohybují ke kladné anodě

### • Geiger-Müllerův detektor

- Geigerova trubice se zředěným plynem když je vystavena ionizujícímu záření zionizuje se plyn uvnitř → elektrody se začnou pohybovat k anodě
- protože je plyn zředěný, je volná dráha každého elektronu natolik dlouhá, že je schopen získat
  relativně velkou kinetickou energii na to, aby při nárazu do atomu plynu vyrazil další elektrony –
  lavinový efekt vzniká tak samovolný výboj v prostoru mezi elektrodami

### scintilační detektor

- scintilace = excitace do vyššího energetického stavu zářením, návrat do původního stavu se projeví světelným pulzem (deexcitace)
- scintilace ve scintilačním krystalu krystal schopný zachytit gama a rtg záření
  - absorbuje ionizující záření → excituje elektrony scintilátoru → deexcitace → emitace fotonů
- fotony z krystalu jdou do fotonásobiče a fotokatody, kde je přes dynody světlo zesilováno a převedeno na elektrický impuls

### polovodičové detektory

- obdoba ionizační komory, ale místo plynu je tam polovodič
- při vniknutí záření dochází k přeskoku elektronů do vodivého pásma a vznik párů elektron díra → pohybem páru začne procházet proud

### 19. Osobní dozimetry.

- jako osobní dozimetry se využívají především filmové dozimetry
- nebo taky TLD termoluminiscenční dozimetry

### 20. Přibližné hodnoty energií záření používaného: a) v diagnostice, b) v terapii

- energie záření v RDG (radiodiagnostika): 20-150 keV (desítky až stovky keV)
- energie pro terapii: jednotky až desítky MeV

### 21. Vysvětlete pojem izocentrum

- = bod v prostoru, okolo kterého probíhá rotace (nebo kyv) veškerých komponent terapeutického ozařovače
- leží vždy uvnitř ozařovaného cílového objemu
- izocentrická konstrukce ozařovačů
  - hlavní strategický cíl radioterapie účinné selektivní ozáření nádorového ložiska při co nejmenším poškození okolní tkáně
    - toho dosáhneme tak, že ložisko ozařujeme z vícero směrů, tak aby průsečík paprsků (tj. ohnisko = izocentrum, kde se dávky sčítají) byl lokalizován do místa tumoru
    - okolní tkáně pak dostávají výrazně nižší dávku ozáření

 praktické provedení – pacient je uprostřed gantry, která umožňuje rotaci zdroje záření kolem pacienta

### 22. Vysvětlete pojem kolimátor

- = usměrňovač paprsků do rovnoběžného směru
- = takové mechanické a geometrické uspořádání materiálů absorbujících daný druh záření, které propouští jen záření z **určitých požadovaných směrů**, zatímco záření z jiných směrů absorbuje a nepropouští
- v praxi nelze dosáhnout perfektní ostré kolimace
- důvodem použití kolimátoru je, že gama záření (popř. X), které vzniká v radionuklidech, je emitováno do všech směrů
  - pro cílenou radioterapii je nutné propustit jen záření v požadovaném směru a zbytek difuzního záření odstínit → kolimace záření
- např. pomocí kolimátoru tvaru tubusu

### 23.Co se vždy zakresluje do ozařovacího plánu?

- plánování radioterapie předchází samotnému ozařování
  - jeho výsledkem je ozařovací plán
  - snaží se, aby ozáření patologického ložiska bylo dostatečně účinné a selektivní
- obsahuje všechny konkrétní detaily ozařovacího procesu
  - podrobné diagnostické snímky ozařované oblasti
    - snímky z CT, popř. MRI, PET nebo scintigrafií slouží pro přesnou lokalizaci nádorového ložiska
    - stanovení velikosti a tvaru, rozložení hustot tkání (stanovení cílového objemu)
    - "jaká místa se mají ozářit a jaké nemají"
  - směry a velikosti svazků záření (ozařovací pole) intenzita, energie a geometrické parametry svazku záření
  - data jsou ze simulátoru (napodobuje celý proces ozařování a umožňuje jeho optimalizaci)

# 24. Závislost procentuální hloubkové dávky na energii záření

- hloubková dávka = ?
- se zvyšující se energií svazku je závislost procentuální hloubkové dávky na velikosti pole méně výrazná
  - "čím vyšší energie, tím míň je hloubková dávka závislá na velikosti pole"

### 25. Závislost procentuální hloubkové dávky na velikosti ozařovacího pole

- **velikost ozařovacího pole** = definována 50% izodózou (=plocha v prostoru s všude stejnou velikostí absorbované dávky) v rovině kolmé k centrální ose svazku v referenční vzdálenosti od zdroje
- s rostoucí velikostí pole roste procentuální hloubková dávka kvůli vyššímu příspěvku rozptýleného záření

# 26.Způsoby ochrany před Ionizujícím zářením

 $I = \frac{I_0}{4\pi d^2}$ 

- čas obdržená dávka je přímo úměrná době expozice
- vzdálenost intenzita záření (tím pádem i dávkový příkon) se snižuje s druhou mocninou vzdálenosti
- **stínění** zeslabení ionizujícího záření
  - stínění záření gama materiály s velkou hustotou a protonovým číslem olovo, wolfram, uran
    - nebo tlustší slabší materiály beton s příměsí barytu
  - stínění záření alfa

- velmi malá pronikavost stačí milimetrová vrstva lehkého materiálu (plast)
- často není potřeba stínit, protože se ve vzduchu samo utlumí (dolet částic několik centimetrů)
- stínění záření beta
  - lehké materiály plexisklo, hliník (5-10 mm)
  - pro tvrdší záření beta kombinace s tenkou vrstvou olova k odstínění brzdného záření
- stínění neutronů neinteragují s obalem, ale pouze s jádry
  - vrstva materiálu bohatého na vodík pro brzdění rychlých neutronů
  - 20cm vrstva parafinu, plastu; absorpce v kadmiu nebo boru
- zabránění kontaminace na pracovištích s otevřenými zářiči
  - povrchová / vnitřní kontaminace

### 27. Biologické účinky ionizujícího záření

- biologické účinky se projevují na úrovni molekulární, buněčné, tkáňové i celistvého organismu
- pro potřeby radiační ochrany rozlišujeme:
  - deterministické účinky
    - zánik buněk, ztráta funkce tkání a orgánu záhy po ozáření
    - klinicky jednoznačný projev
    - účinky nastanou až po dosažení určité prahové dávky (specifická hodnota pro jednotlivé typy účinků)
    - pod tímto prahem se účinek neprojevuje
    - ochrana před deterministickým účinkům jejich úplné vyloučení zamezení dosažení prahových dávek (stanovení závazných limitů pro tkáňové ekvivalentní dávky)
  - stochastické účinky
    - důsledky změn v buňkách, které přežili ozáření
    - vývin buňky v nádor až po časovém odstupu (letence několik let pro novotvary)
    - neexistuje prahová dávka (žádná není považována za bezpečno)
    - nelze odlišit od spontánního výskytu
    - s dávkou vzrůstá pravděpodobnost vzniku

$$D = \frac{E}{m} \left[ Gy = \frac{J}{kg} \right]$$

 $H_{\rm T} = D_{\rm T}.w_{\rm R}$  [Sv]

# 28. Veličiny a jednotky používané v radiační ochraně

- absorbovaná dávka D [Gy] = energie absorbovaná v hmotě
- ekvivalentní dávka H [Sv]
  - střední absorbovaná dávka v orgánu násobena radiačním váhovým faktorem, který udává kolikrát je daný druh biologicky účinnější než záření gama (fotonové záření)
  - koreluje s velikostí biologických účinků

$$E = \sum H_{\rm T}.w_{\rm T}$$
 [Sv]

- **efektivní dávka E [Sv]** = součet ekvivalentních dávek v ozářených tkáních vážených faktorem, který udává **riziko vzniku stochastického účinku** 
  - stanovuje celotělovou dávku

# 29. Vysvětlete princip ALARA

- princip optimalizace záření As Low As Reasonably Achievable
- pro všechny zdroje v rámci dané činnosti musí být **velikost individuálních dávek**, **počet osob** vystavených záření a **pravděpodobnost ozáření** tak nízká, jak lze rozumně dosáhnout

### 30. Základní limity radiačních dávek

- limity pro pracovníky v efektivních dávkách
  - 20 mSv/rok v 5 po sobě jdoucích letech
  - nebo 50 mSv v jednom roce s tím, že nesmí být překročena průměrná dávka 20 mSv/rok za období 5
     let
- limity pro **obyvatelstvo** v efektivních dávkách
  - 1 mSv/rok po dobu 5 po sobě jdoucích let
  - nebo **5 mSv** v jednom roce s tím, že průměrná dávka 1 mSv/rok za období 5 let není překročena
- do limitů nespadá lékařské ozáření a ozáření z přírodních zdrojů

### 31. Sledované pásmo se zdroji IZ

- tam, kde se očekává, že by efektivní dávky mohla přesáhnout 1 mSv/rok
- pouze monitoring pracoviště



### 32. Kontrolované pásmo se zdroji IZ

- tam, kde by efektivní dávka mohla překročit 6 mSv/rok (vyšší než 3/10 limitu pro radiační pracovníky – 20 mSV/rok)
- vstup pouze pro poučené osoby, musí mít u sebe osobní dozimetr, popř. ochranné pomůcky
- zákaz těhotným ženám, zákaz pití, jídla, kouření

