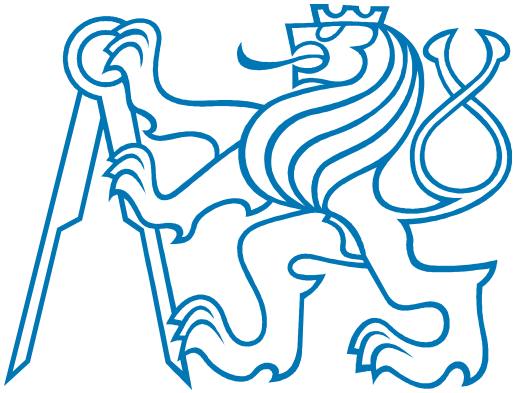


Radioterapie

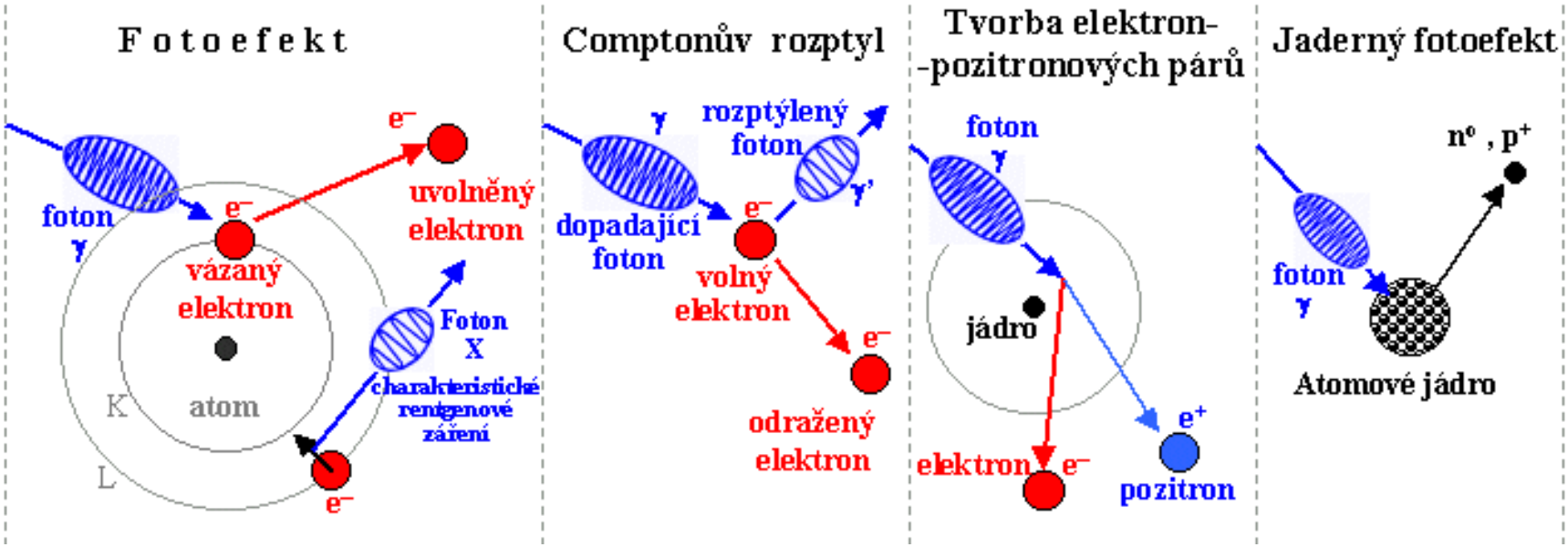
X31LET Lékařská technika

Jan Havlík | Katedra teorie obvodů | xhavlikj@fel.cvut.cz

Radioterapie

- je klinický obor využívající účinků ionizujícího záření v léčbě jak zhoubných, tak nezhoubných nádorů
- je využívána jak samostatně, tak v kombinaci s dalšími léčebnými metodami

1. Fyzikální princip



Ionizující záření

- záření s energiemi zhruba 0,1 – 10 MeV
- elektromagnetické záření
  - záření X (RTG) – vlnová délka 10^{-8} – 10^{-10} m
  - záření γ – vlnová délka kratší než 10^{-10} m
- svazky částic
  - e^-, p^+, n^0, ionty apod.

Zdroje ionizujícího záření

- radionuklidy
  - přirozené (např. ^{266}Ra)
  - umělé (např. ^{60}Co, ^{192}Ir)
  - $^{60}Co \rightarrow {}^{60}Ni^{*} + e^{-} + \nu_e$
    $^{60}Ni^{*} \rightarrow {}^{60}Ni + \gamma$
- urychlovače částic
- zdroj je charakterizován druhem emitovaného záření, energetickým spektrem a úhlovou emisí

Aktivita radionuklidového zdroje

- aktivita zdroje klesá exponenciálně s časem

$$A = A_0 \, \mathrm{e}^{-\lambda t}$$

- kde
  - A_0 je počáteční aktivita zdroje
  - l je rozpadová konstanta
  - t je čas

- poločas rozpadu

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Interakce ionizujího záření s hmotou

- absorpce záření
  - excitace atomů a molekul
  - rozrušení vazeb mezi atomy, štěpení jader
- rozptyl
  - změna směru záření (může být spojena se ztrátou nesené energie)

Formy interakce
elektro-magnetického záření s hmotou

- fotoefekt
  - předání veškeré energie elektronu v atomovém obalu a uvolnění tohoto elektronu
  - fotony s energií do 50 keV
- Comptonův jev (rozptyl)
  - interakce fotonu s volným nebo slabě vázaným elektronem; předání části energie, zbytek energie je vyzářen formou fotonu
  - fotony s energií 100 keV – 10 MeV
- vznik elektron – pozitronového páru
  - spotřeba 1,02 MeV, zbytek je kinetická energie vzniklého páru
  - anihilace pozitronu při vyzáření dvou gama fotonů s energií po 511 keV

Formy interakce nabitých částic s hmotou

- vznik brzdného záření
  - záření vyvolané interakcí lehkých nabitých částic (např. elektronů) s těžkým materiálem
- nepružné srážky
  - ionizace atomů a molekul lehkého materiálu proudem lehkých nabitých částic
- pružné srážky
  - srážky s nepatrným úbytkem energie

Pohlcování elektromagnetického záření hmotou

- Lambertův – Beerův zákon (absorpce i rozptyl)

$$J = J_0 \, \mathrm{e}^{-\mu d}$$

- kde
  - J_0 je počáteční hustota proudu fotonů
  - m je součinitel zeslabení
  - d je tloušťka absorpční vrstvy

- polohloubka průniku

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

Pokles intenzity záření
související se vzdáleností od zdroje

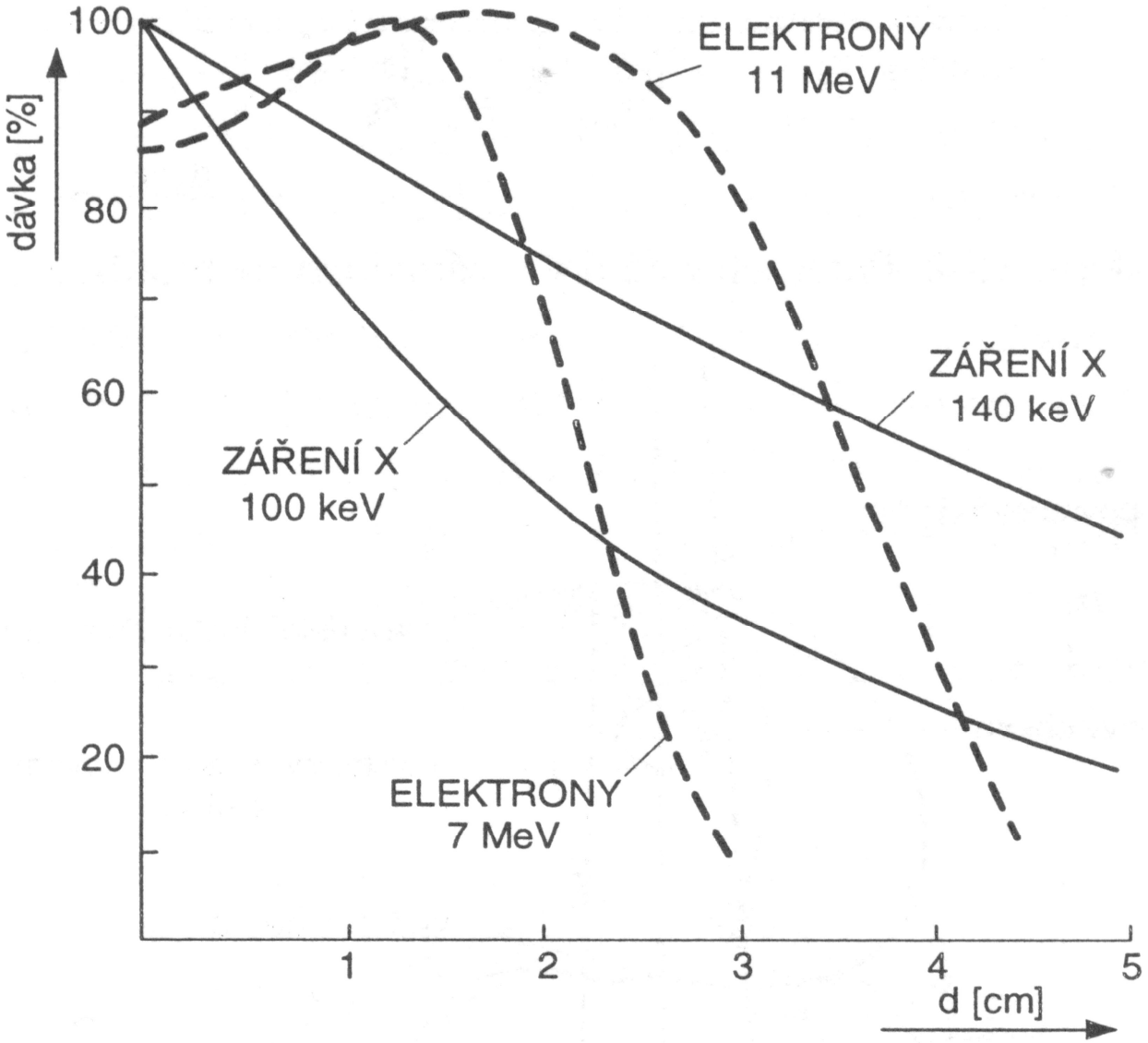
- intenzita záření emitovaného bodovým zdrojem klesá se čtvercem vzdálenosti od tohoto zdroje

$$J = J_0 \frac{1}{4\pi r^2} \mathrm{e}^{-\mu d}$$

- výše uvedené vztahy platí pouze v ideálním případě, např. pro proudy nabitých částic je nutné ve skutečnosti započítat i interakce ovlivňované coulombovskými silami

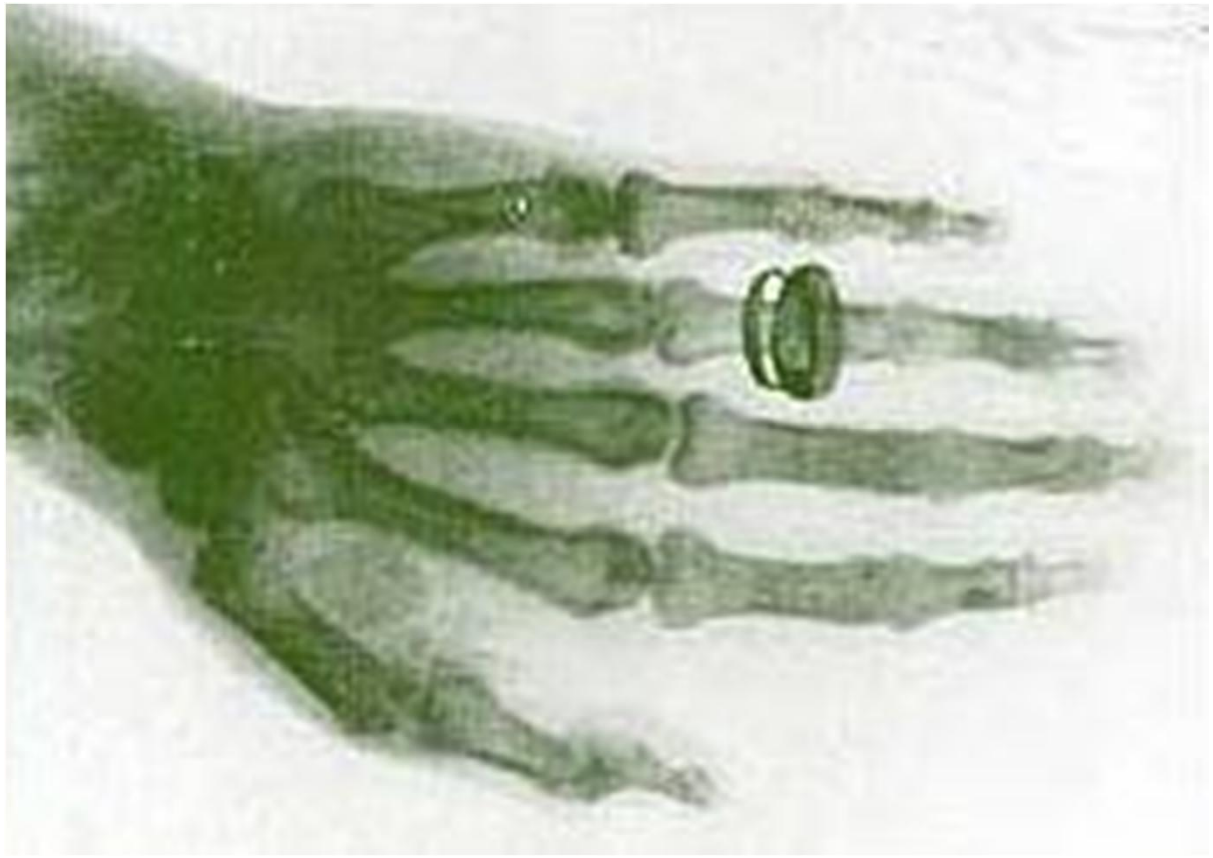
Interakce záření s hmotou
z hlediska účinků na živou tkáň

- vždy se jedná o kombinaci elektromagnetického a elektronového záření, ať už je prvotní kterékoli z nich
- při ozařování elektrony se většina energie uvolní při povrchu ozařovaného objektu
- elektromagnetické záření proniká do větší hloubky



Rozman J. a kol.: Elektronické přístroje v lékařství. Academia, Praha, 2006.

2. Biomedicínské účinky ozáření



Účinky záření na živou tkáň

- excitace atomů a molekul, vznik volných radikálů H^+, OH^-, případně HO_2^-; dochází ke změnám pH, ve stopě záření klesá, v okolí se zvyšuje
- přímá interakce záření s DNA v chromosomech, vznik mutací
- celkové účinky záření na tkáň se vyjadřují pomocí *letální dávky* LD_{50} (dávka záření, při které polovina ozářené tkáně nekrotizuje)
  - pro člověka $LD_{50} = 5\ Gy\ (1\ Gray = 1\ J \cdot kg^{-1})$
- opakované dávky mají kumulativní charakter

Účinky záření na živou tkáň

- časné účinky
  - nemoc z ozáření
  - akutní lokální změny kůže
  - poškození plodu
- pozdní účinky
  - lokální změny (oko, kůže)
  - vznik zhoubných nádorů
  - genetické změny

Vliv záření na zhoubné nádory

- radioterapie využívá vyšší citlivosti zhoubných nádorů na ionizační ozáření k jejich léčbě
- radioterapie se zpravidla kombinuje s chemoterapií a případně chirurgickým zákrokem
- radioterapeutická léčba
  - radikální radioterapie (léčba nádoru)
    dávky po 2 Gy, celková dávka 40 – 80 Gy
  - paliativní radioterapie (tišení bolesti)
    dávky po 2 Gy, celková dávka 20 – 40 Gy

3. Technika radioterapie

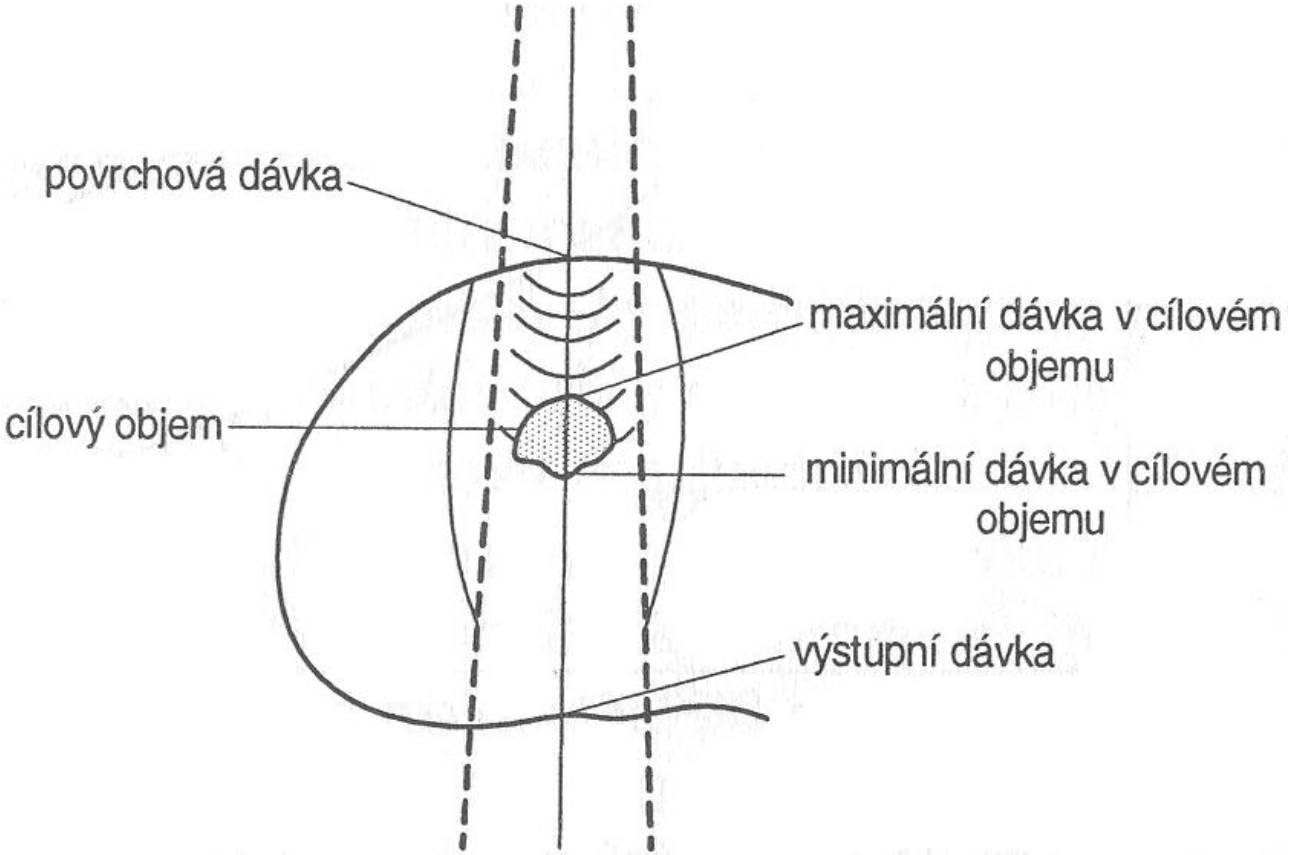
Princip ozařování

- teleterapie
  - zdroj záření je umístěn vně pacienta
  - radionuklidové zářiče, urychlovače, rentgeny
- brachyterapie
  - zdroj záření je umístěn přímo uvnitř pacienta
  - radionuklidové zářiče
    - otevřené (roztoky, suspenze)
    - uzavřené (pevné)

Definice ozařovací dávky

- povrchová dávka
  - dávka na vstupu svazku částic do pacienta
- maximální dávka v cílovém objemu
  - dávka na vstupu svazku do cílového objemu
- minimální dávka v cílovém objemu
  - dávka na výstupu svazku z cílového objemu
- výstupní dávka
  - dávka na výstupu svazku z pacienta

Definice ozařovací dávky



Rozman J. a kol.: Elektronické přístroje v lékařství. Academia, Praha, 2006.

Nastavení parametrů dávky

- je třeba vhodně zvolit použitou vlnovou délku záření
- je třeba správně zvolit vzdálenost zdroje záření od kůže

$$D_d = \frac{k}{(l+d)^2} \qquad D_p = \frac{k}{l^2}$$

$$\frac{D_d}{D_p} = \frac{l^2}{(l+d)^2}$$

kde l je vzdálenost zdroje od kůže a d je hloubka cílového objemu pod povrchem

- je třeba přihlédnout k použité technice ozařování (statická nebo dynamická technika)

Nastavení parametrů dávky

- ozáření blízko povrchu těla
  - měkké záření
  - zdroj co nejblíže povrchu těla

- ozáření vnitřních tkání
  - vysokoenergetické záření (měkké záření lze ze svazku snadno odfiltrovat)
  - zdroj ve větší vzdálenosti od kůže

Techniky ozařování

- statická technika
  - používá se jeden nebo více zdrojů stacionárně umístěných kolem pacienta

- dynamická technika
  - používá se jeden zdroj pohybující se kolem pacienta

Zdroje záření

- pro teleterapii
  - RTG zářiče (pro povrchové lokalizace)
  - lineární urychlovače
  - radionuklidy (nejčastěji ^{60}Co)

- pro brachyterapii
  - otevřené zdroje injekčně aplikované do cílového prostoru
  - uzavřená pouzdra naplněná radionuklidem, nejčastěji ^{192}Ir

Radioaktivní kobalt ^{60}Co

- získán neutronovou aktivací ^{59}Co
- emituje bichromatické γ záření s energií 1,17 MeV a 1,33 MeV, střední hodnota 1,25 MeV
- zdroj je ve standardizovaném nerezovém pouzdře, odstíněný olovem, wolframem nebo ochuzeným uranem
- zasunutí zdroje z pracovní do klidové polohy musí být za všech okolností možné (zálohované elektrické ovládání i mechanické ovládání)

Příprava radioterapeutického zákroku

1. diagnostika pomocí všech dostupných metod
2. určení cílového objemu
   - nejčastěji pomocí virtuální prostorové rekonstrukce CT nebo MRI řezů
3. tvorba ozařovacího plánu
4. simulace budoucího ozáření
5. verifikace nastavení

Literatura

1. Rozman, J. a kol.: Elektronické přístroje v lékařství. Academia, Praha, 2006.
2. Wikipedia: Radioterapie. [5/2007]
3. Wikipedia: Rentgenové záření. [5/2007]
4. Wikipedia: Záření gama. [5/2007]