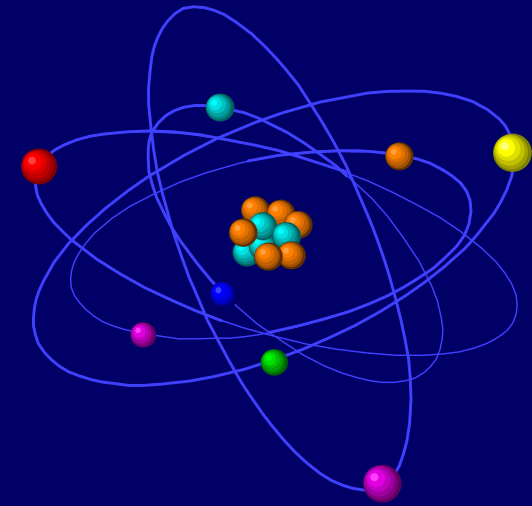


krátké vlnové délky

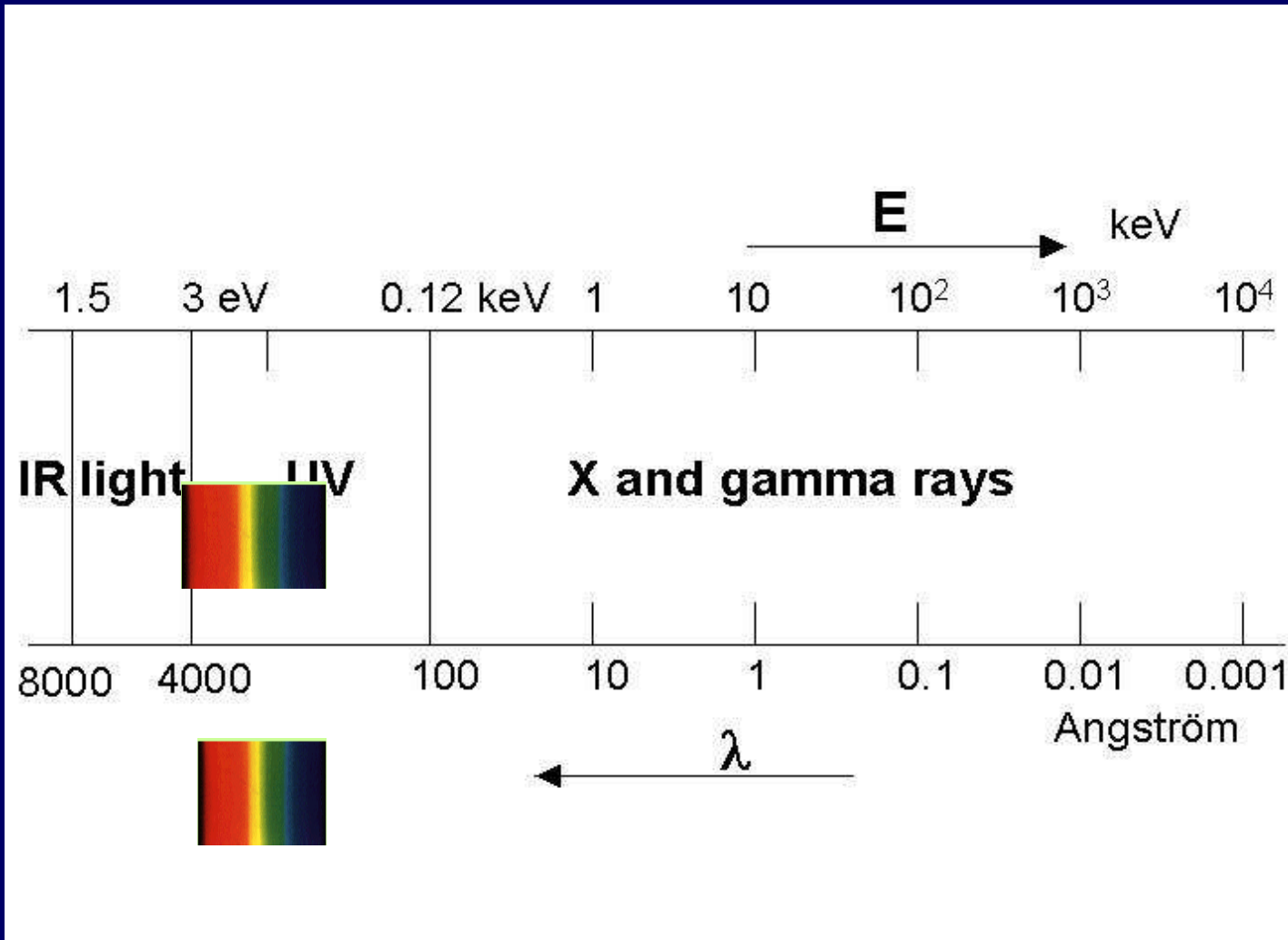
dlouhé vlnové délky

ATOM

- nukleony
 - Z proton.číslo
 - N neutrony
 - A hmotnostní číslo

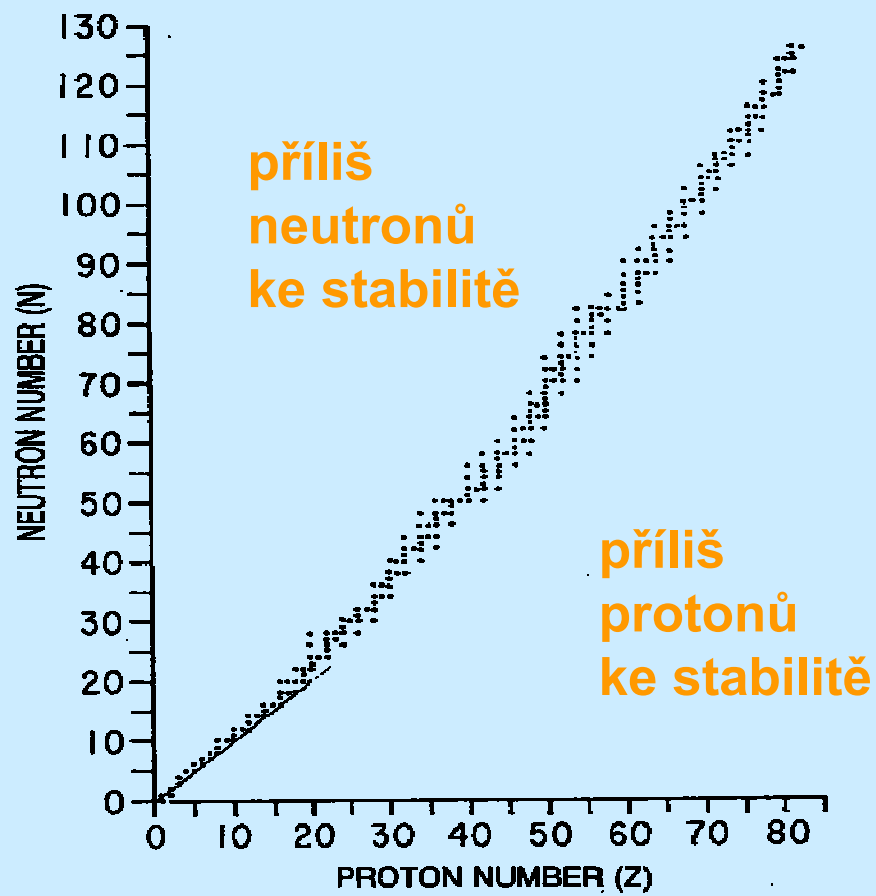


Název	symbol	hmotnost (kg)	Energie (MeV)	náboj
Proton	p	$1.672 \cdot 10^{-27}$	938.2	+
Neutron	n	$1.675 \cdot 10^{-27}$	939.2	0
Electron	e	$0.911 \cdot 10^{-30}$	0.511	-

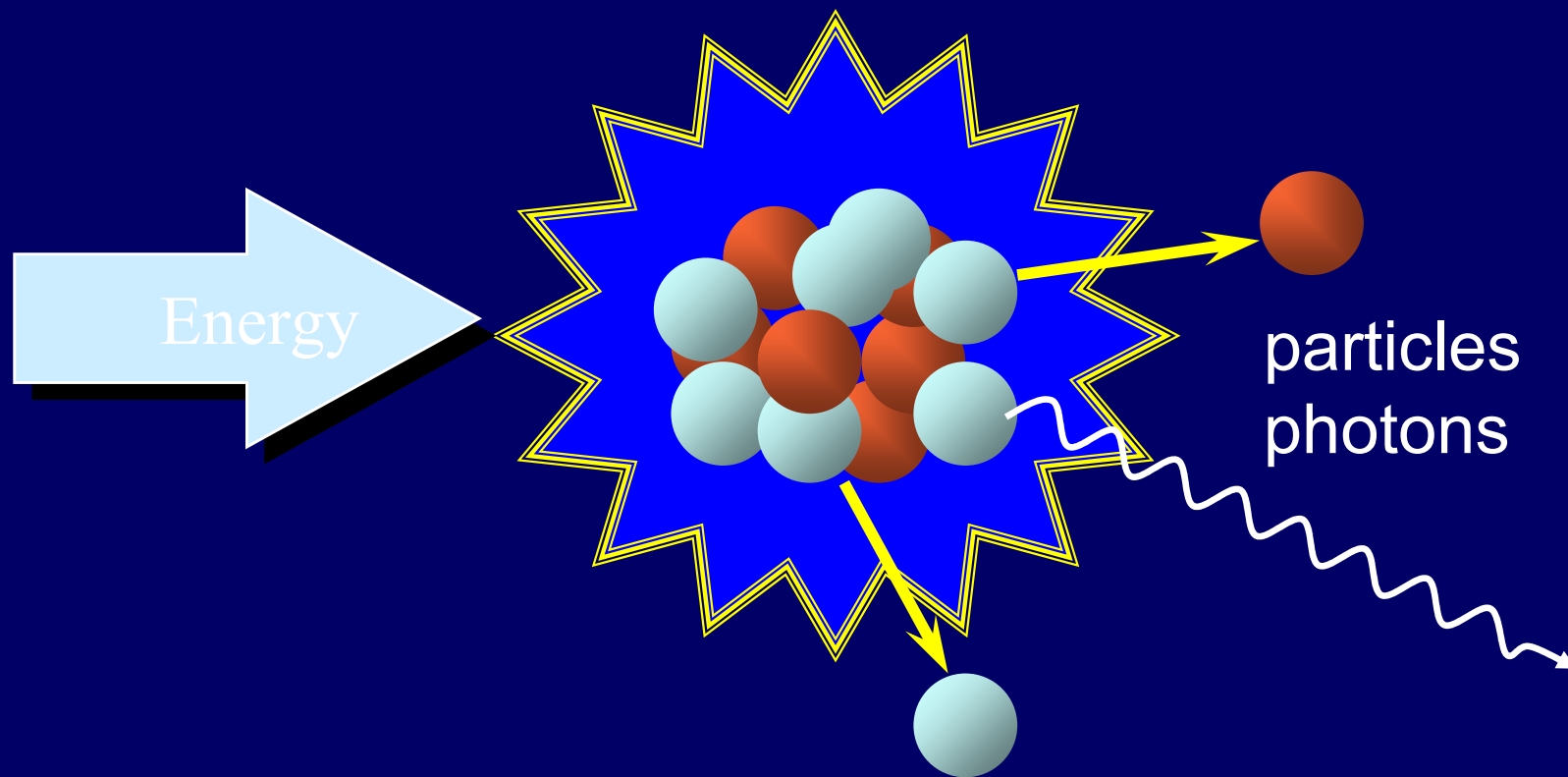


URANIUM 238 (U238) RADIOACTIVE DECAY

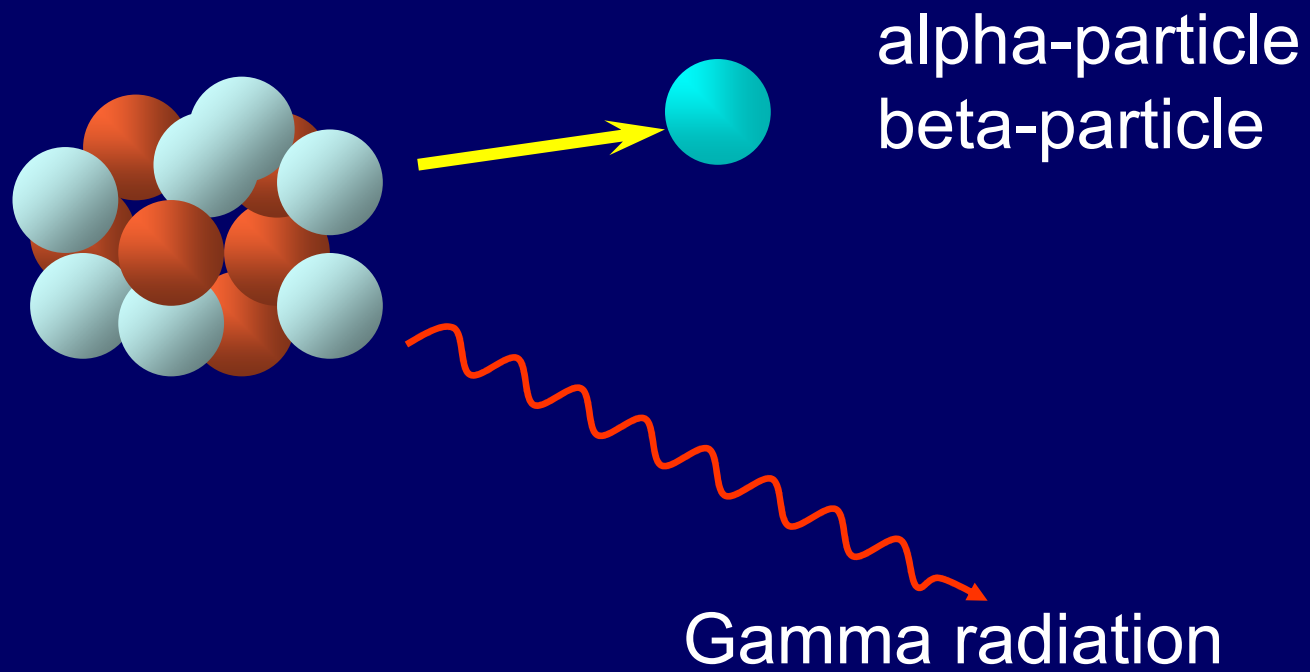
type of radiation	nuclide
	uranium-238
α	↓
	thorium-234
β	↓
	protactinium-234m
β	↓
	uranium-234
α	↓
	thorium-230
α	↓
	radium-226
α	↓
	radon-222
α	↓
	polonium-218
α	↓
	lead-214
β	↓
	bismuth-214
β	↓
	polonium-214
α	↓
	lead-210
β	↓
	bismuth-210
β	↓
	polonium-210
α	↓
	lead-206



EXCITACE JÁDRA



DEEXCITACE JÁDRA

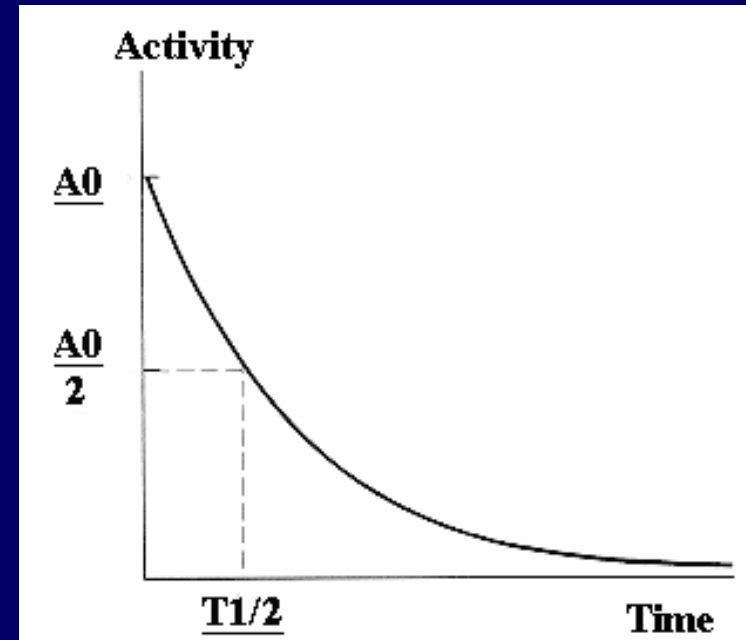


Radioaktivní rozpad

$$\frac{dN}{dt} = -N \cdot \lambda$$

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

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



1 Bq – počet rozpadů za 1s - je velmi malá jednotka

- 3000 Bq v těle z přirozených zdrojů
- 20 000 000-1000 000 000 Bq při nukleárních diagnostikách

IONIZAČNÍ RADIACE

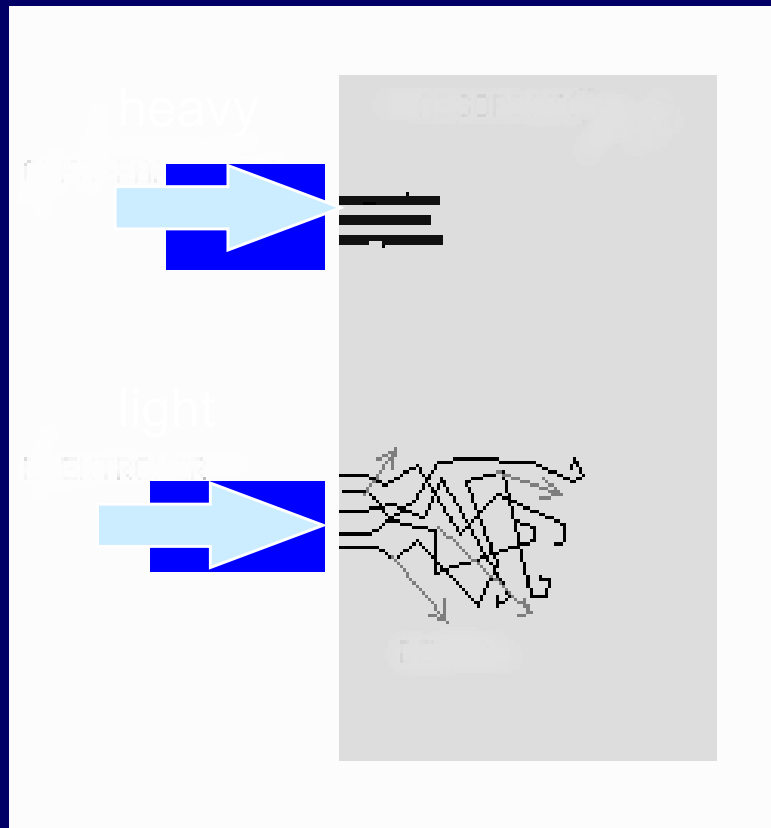
Nabité částice

- alpha
- beta+: pozitrony, beta-: elektrony
- protony

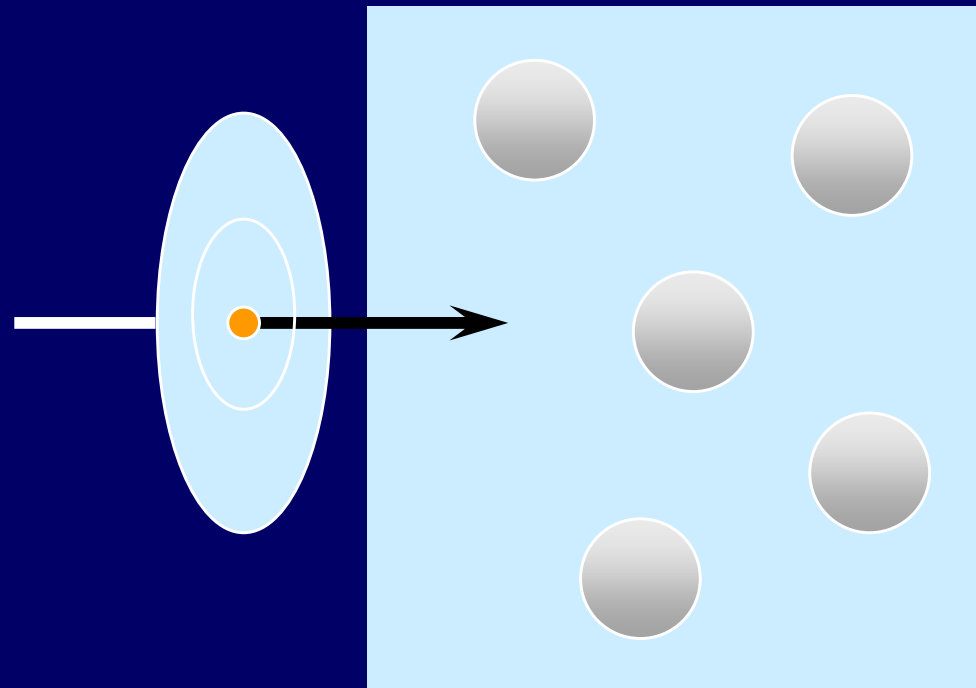
Nenabité

- fotony (gama, X)
- neutrony

Nabité částice interagují s látkou (elmg)

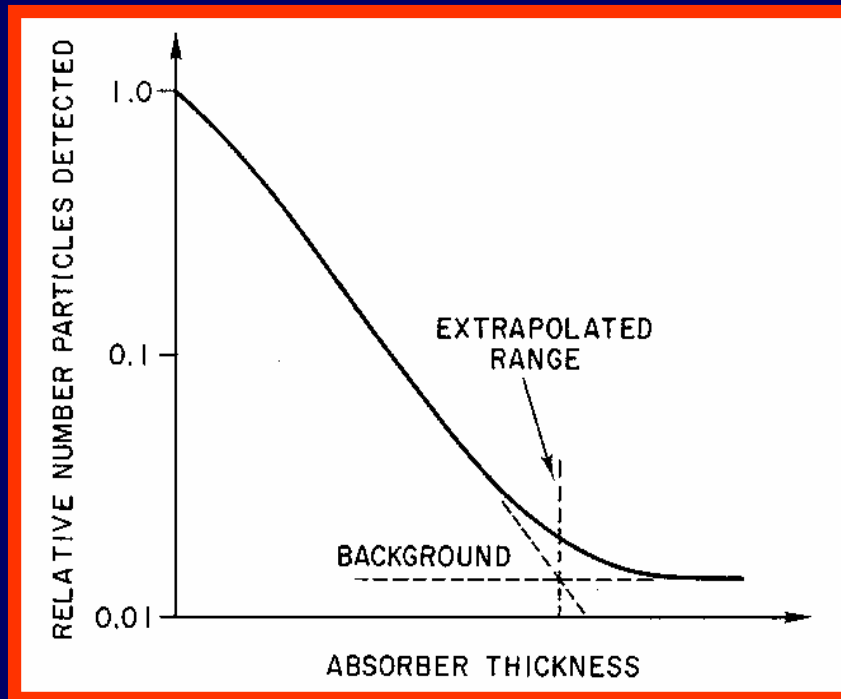


Makroskopicky

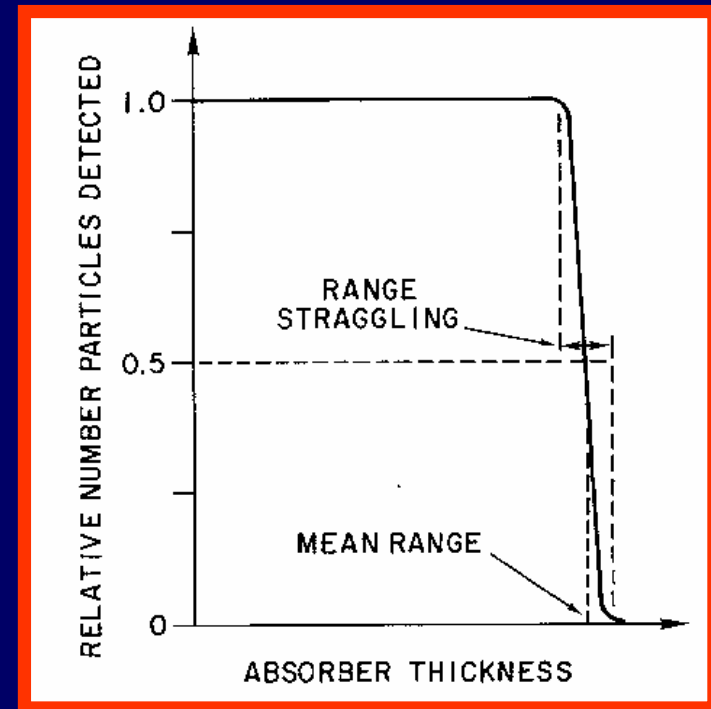


Mikroskopicky

Transmise nabitých částic

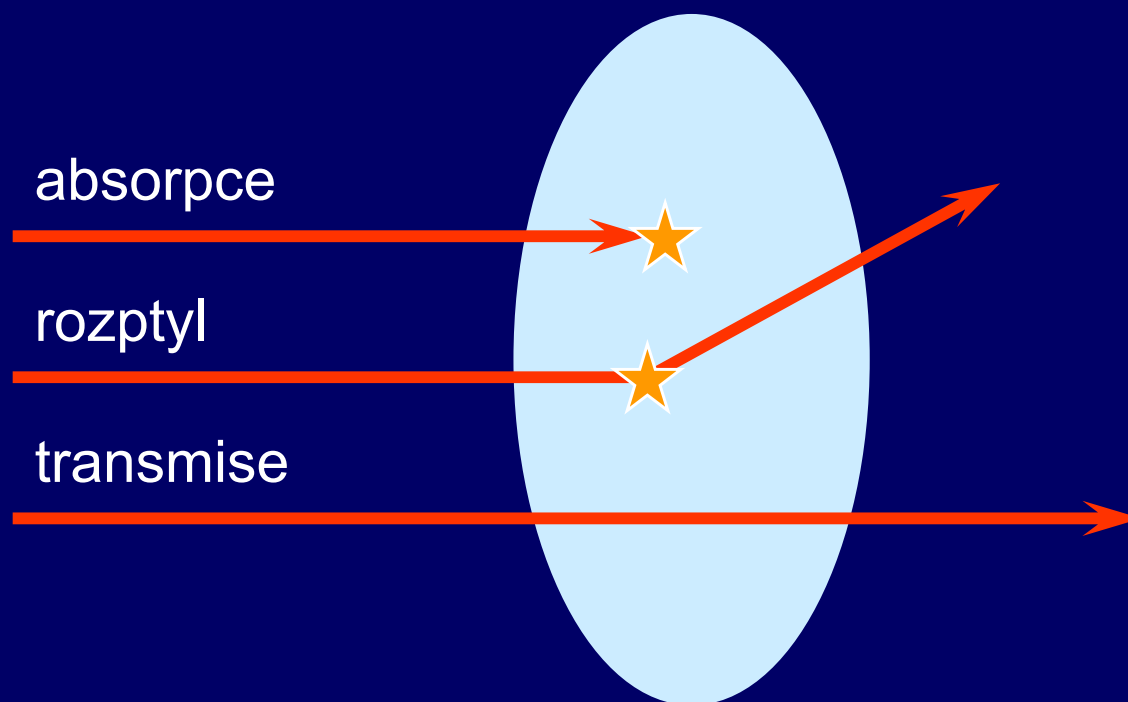


Beta



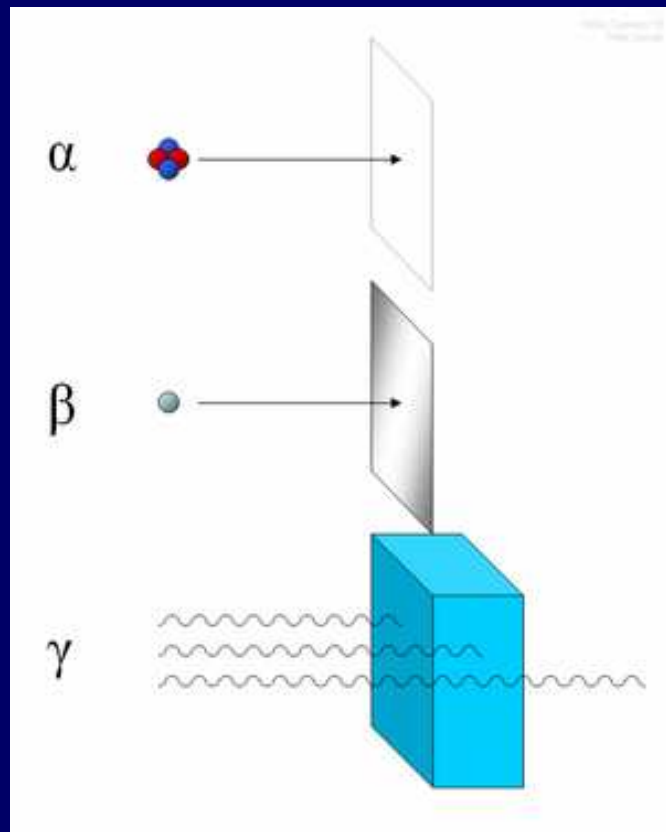
Alpha

Fotony interagují s látkou podle energií a typu látky

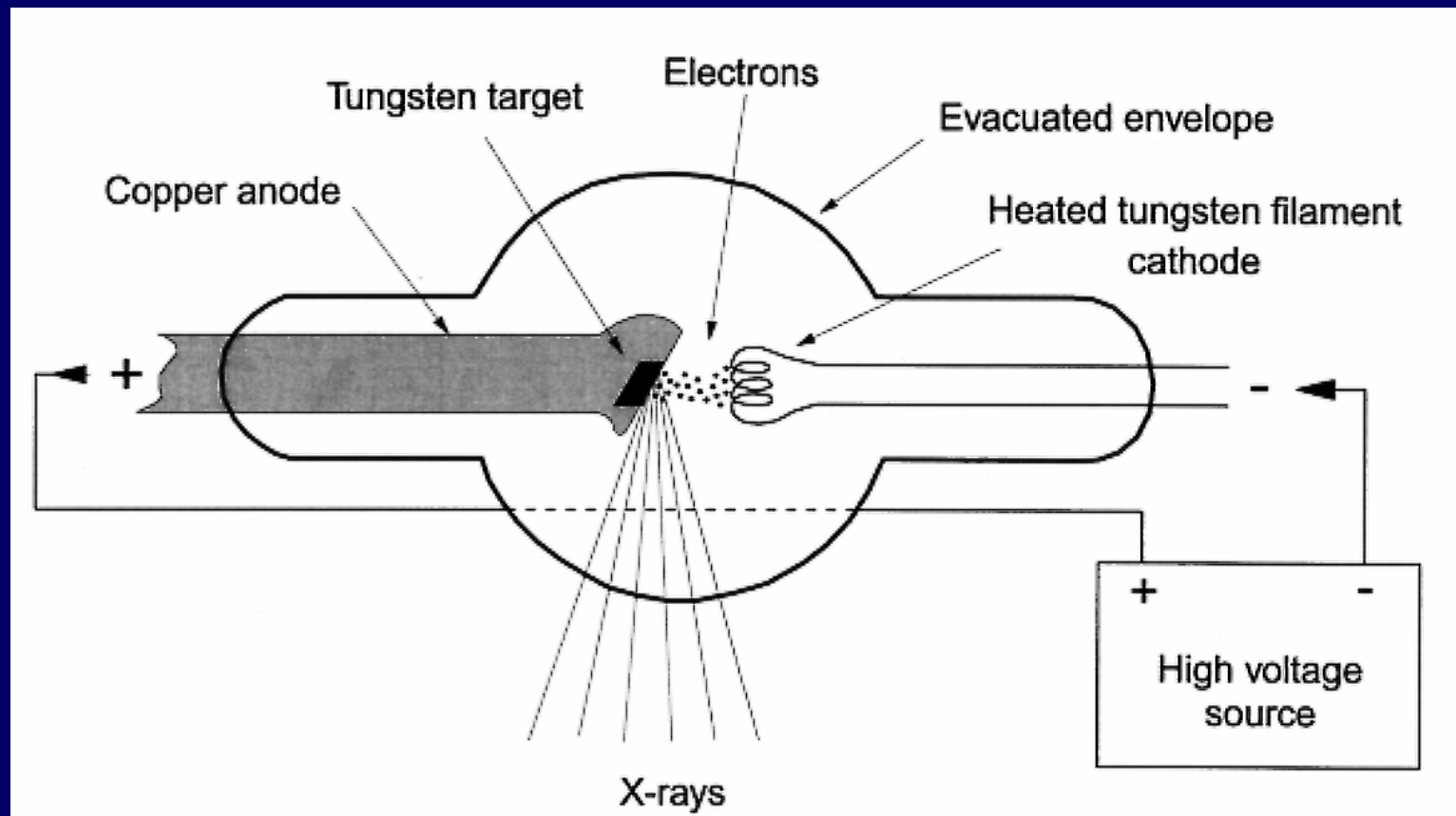


★ energiová depozice

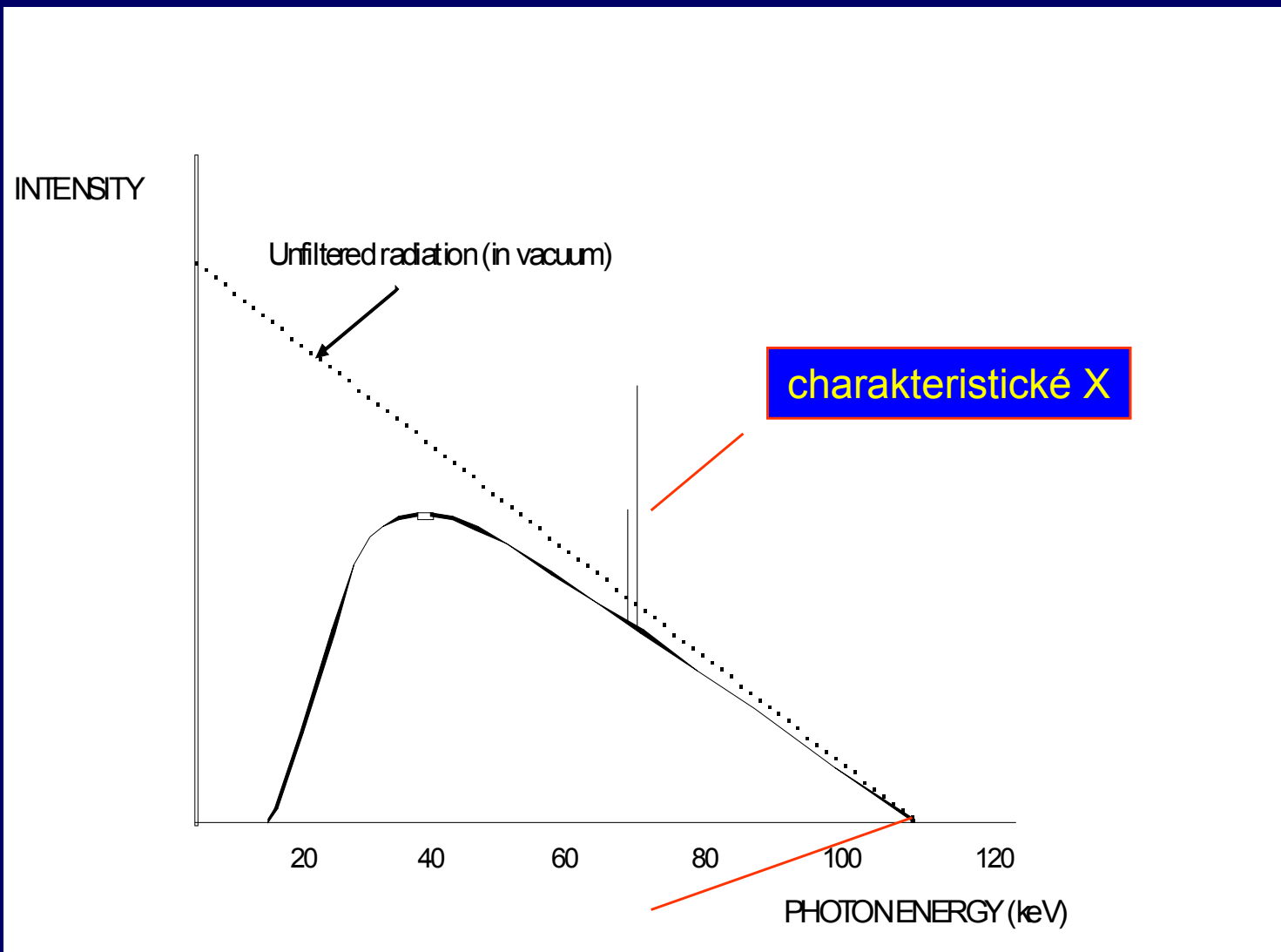
Interakce radioaktivního záření se hmotou



Rentgenka, X-Ray



X-Ray spektrum



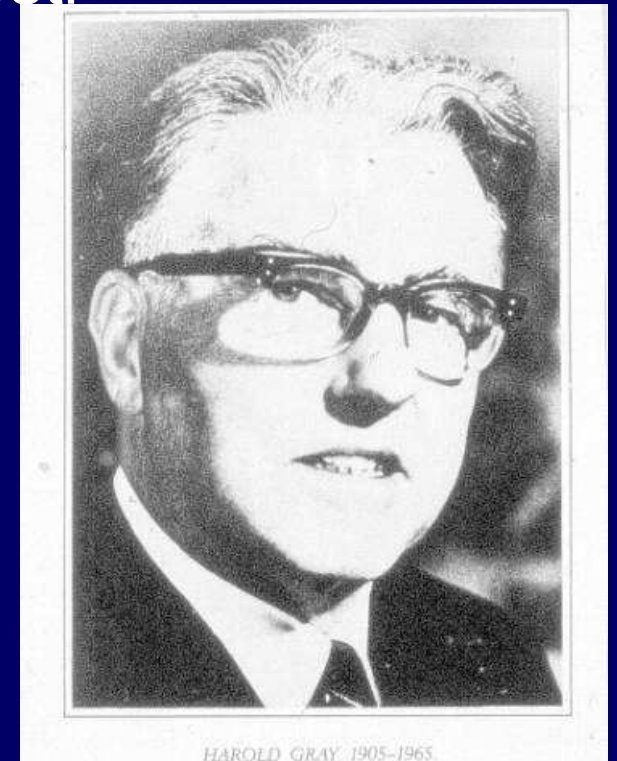
ABSORBOVANÁ DÁVKA

Absorbovaná energie v jednotce hmotnosti

$$1 \text{ Gy (gray)} = 1 \text{ J/kg}$$

1 Gy je relativně velká jednotka

- Radioterapeutické dávky $> 1 \text{ Gy}$
- Dávka z nukleární diagnostiky typicky $0.05\text{-}0.001 \text{ Gy}$
- Roční radiační pozadí (terrestické, kosmické,...)
 $0.002\text{-}0.004 \text{ Gy}$



Harold Gray 1905-1965

Ekvivalentní dávka

$$H_e = w_r * D$$

D: absorbovaná dávka (Gy), w_r : jakostní faktor (1-20)

Efektivní dávka

$$H_{\text{eff}} = w_T * H_e$$

H_e : ekvivalentní dávka (Sv), w_T : tkáňový váhový faktor (0.05-0.20)

$$1 \text{ Sv (sievert)} = 1 \text{ J/kg}$$

Efektivní dávka

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

<i>Tkáň, orgán</i>	<i>váhový faktor</i>
Gonády	0.20
Kostní dřeň	0.12
Tlusté střevo	0.12
Plíce	0.12
Měchýř	0.05
Prsa	0.05
Játra	0.05
Jícen	0.05
Štítná žláza	0.01
Kost	0.01

Efektivní dávka (mSv)

X-ray		Nuclear medicine	
Kardioangiography	10	thyroid	I-131
CT pánve střevo		myocard	Tl-201
CT břicha	1	CBF	Tc-99m
urografie		thyroid	I-123
lumbar spine		Kost	Tc-99m
hrudník	0.1	thyroid	Tc-99m
		játra	Tc-99m
		plíce	Tc-99m
končetiny	0.01	ledviny	I-131
		krev volume	I-125
zubní		vyučování	Cr-51

Radiosenzitivita (davka LD₅₀ v Gy) pro RTG a γ -záření

Druh	Dávka
Ovce	1.5-2
Člověk	2.5-3.5
Pes	2.5-3
Myši různých linií	5.5-12
Ptáci, hadi	8-20
Členovci	10-1000
Kvasinky	300-500
Rostliny	10-1500
Micrococcus radiodurens	10 ⁵ Gy/den

Kritické tkáně

- ⌘ **Pro přežití organismu je rozhodující poškození rychle proliferujících tkání, tedy:**
- ⌘ **krvetvorby (především kmenových buněk),**
- ⌘ **buněk epitelů (hlavně zažívacího traktu);**
- ⌘ **oproti tomu je většina somatických buněk velmi radiorezistentních, výjimku tvoří neurony.**

Účinky ionizujícího záření

⌘ NESTOCHASTICKÉ:

- jsou důsledkem poškození velkého počtu buněk
- projevují se jen při dávkách nad prahovou dávkou
- stupeň poškození roste s dávkou
- většinou mají krátké latentní období

⌘ STOCHASTICKÉ:

- mohou být důsledkem postižení jediné buňky
- mohou vzniknout i při nejmenších dávkách
- s dávkou roste pravděpodobnost vzniku defektu
- projevují se až po více (mnoha) letech

Základní typy nestochastických účinků:

- ⌘ **Akutní nemoc z ozáření (sem je řazena i chronická forma):**
 - krevní forma (1 - 5 Gy)
 - střevní forma (kolem 10 Gy)
 - nervová forma (asi kolem 100 Gy)
- ⌘ **Akutní lokalizované poškození:**
 - radiační dermatitida
 - vyvolání neplodnosti (u mužů dočasné při 0.5 Gy, trvalé u obou pohlaví asi po 3 Gy)
 - poruchy jemného cévního zásobení
- ⌘ **Poškození plodu in utero**

Ozáření obyvatelstva z různých zdrojů

ZDROJE		Dávka ($\mu\text{Sv/r}$)
PŘÍRODNÍ ZDROJE		
Prostředí	Kosmické záření	280
	Záření zemské kůry	260
Vnitřní radioisotopy v těle		260
UMĚLÉ ZDROJE		
Prostředí	Technolog. zvýšení (uhlí atd.)	40
	Spad z jaderných výbuch	40
	Jaderné elektrárny	3
Lékařství	Diagnostika	780
	Radioizotopy	140
Profesionální expozice		10
Spotřební zboží a další		50

Korpuskulární záření a hmota

Ionizující radiace

3 hlavní druhy: alfa, beta, gama

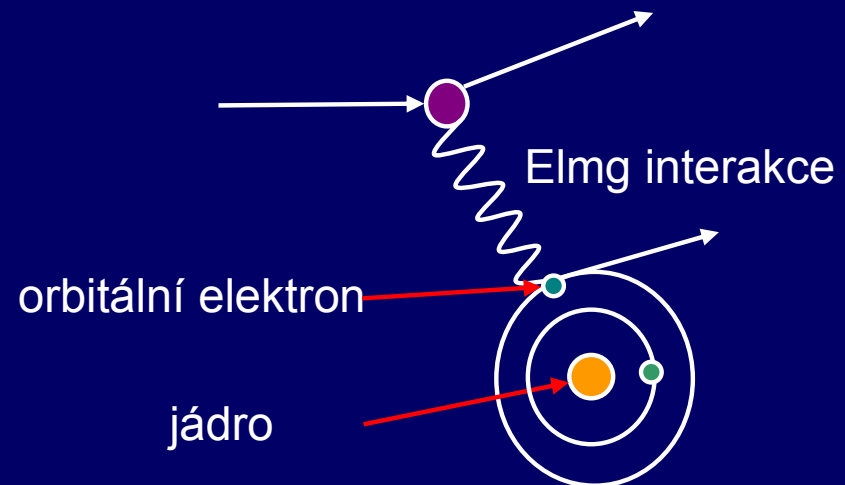
dále neutrony, protony, příp. těžší částice

1. Korpuskulární záření nesoucí náboj

α radiace - ${}^4\text{He}$

β radiace - e^- , e^+

2



Nabité částice interagují při průchodu materiálem především s orbitálními elektrony of atomů látky **electromagneticky**.

Vytrhávají elektrony z jejich orbitů, čímž vytvářejí kladně nabitě **ionty** a volné **elektrony**.

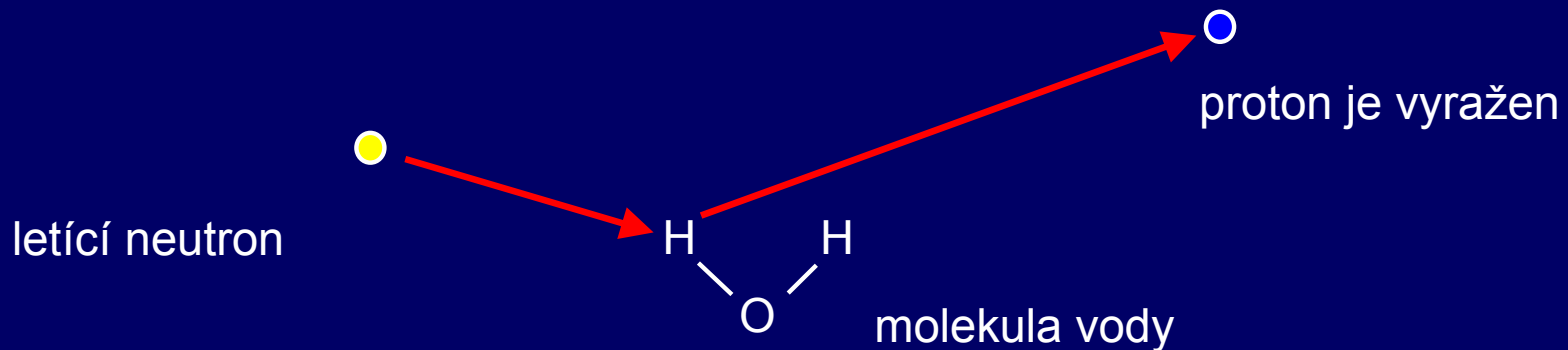
Tento ionizační proces ubírá kinetickou energii radiačním částicím (nepružné srážky).

Tedy α , β částice ztrácejí energii průběžně a tak nepronikají **moc hluboko do materiálu**.

α je zastaveno již papírem a běžná β radiace asi 1cm lidské pokožky.

Neutronové záření

Neutrony jsou bez náboje, tedy nemohou elektromagneticky ionizovat materiál. Nicméně, pokud se neutron srazí s **protonem** v jádře atomu, dokáže jej vyrazit ven a takto vytvořit sekundárně ionty. To se daří v látkách se srovnatelnými jádry, kdežto v příp. těžkých jader se neutron pouze pružně odrazí.



Vyražený proton nese náboj a tak může snadno ionizovat.

Lidské tělo je hlavně z vody, tedy podobné reakce by nastaly často. Ztráta pár molekul vody by sama o sobě neškodila, ale tímto procesem jsou vytvořeny chemicky reaktivní **volné radikály** jako H^+ a OH^- , které difundují v buňce a způsobují poškození.

Dokonce neutrony mohou přímo zasáhnout a poškodit báze DNA, což má fatální důsledky.

Rtg = X, γ -radiace

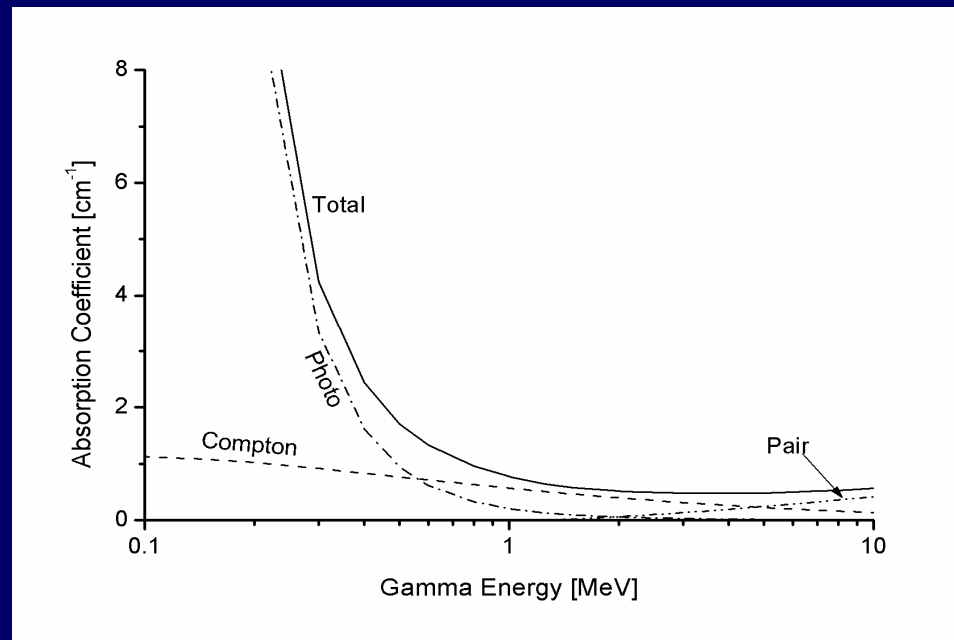
Rtg a γ -radiace jsou fotony.

Rtg	0.03nm	!	3nm
γ	0.003nm	!	0.03nm

Foton má malou pravděpodobnost, že by byl zachycen orbitálním elektronem, takže tato radiace je velmi **pronikavá**.

Pokud kolize nastane, foton předá celou nebo část energie vazebnému elektronu a vyrazí jej z atomu (fotoefekt – nižší energie a Compton jev – na volněji vázaných e při vyšších energiích (1.02 MeV) dochází ke vzniku páru elektron pozitron , $h\nu=2m_e c^2$ v blízkosti jádra).

Uvolněné elektrony ve všech případech mohou dále ionizovat material podobně jako β radiace.



Radiační dávka

Poškození tkáně lidského těla je úměrné četnosti proběhlých ionizačních procesů. Mohli bychom tedy radiační účinky vyjadřovat jako počet ionizací produkovaných v jednotce ozařované tkáně.

Energie potřebná k vytvoření iontového páru je ovšem nezávislá na typu radiace, takže se nabízí konvenčně vyjádřit radiační dávku jako **energii absorbovanou** v jednotce ozařované hmoty.

$$1 \text{ Gray} = 1 \text{ J/kg}$$

[starší "rad" je 1 Gray = 100 rad.]

Ovšem počet ionizací (nebo absorbované energie) není jediným faktorem. Pokud radiace vytváří velmi hustou stopu ionizace, pak bude biologicky škodlivější.

Tedy každý typ of radiace má přiřazen **Quality Faktor (jakostní faktor)**, který bere do úvahy právě tento efekt rozprostření účinku.

Radiace	Quality Factor
Rtg, γ	1
β	1
α	20
Neutrony	20

← Závisí na energii neutron

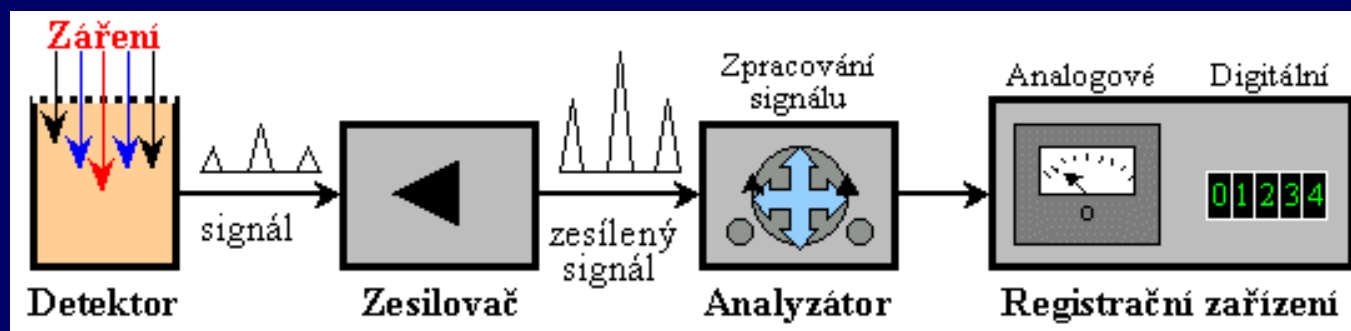
α and neutrony jsou 20krát ničivější v tkáni než β , Rtg, γ -radiace !

Chceme-li měřit poškozuující efekt radiace na organismus, užíváme:

Eqivalentní Dávka = Absorbovaná dávka (Gray) * Quality factor

↖
Sieverts (Sv)

[starší jednotkou je "rem", 1 Sv = 100 rem.]



Blokové schema

<i>Typy interakcí záření</i>		
<i>Druh</i>	<i>Interakce</i>	<i>Výsledek interakce</i>
Neutrony	Pružné srážky Nepružné srážky (záchyt) jaderné reakce	protony gama fotony kladné částice
Elektromagnetické záření	fotoelektrický jev Comptonův jev tvorba párů	elektrony elektrony Elektrony pozitrony
Nabitě částice Alfa, beta	nepružné srážky pružné srážky	ionty a excitované útvary brzdné záření

Detekce vychází z toho, že radiace způsobí v okolní hmotě **přeskupení elektronů** v atomech a molekulách. To pak zapříčiňuje ionizační nebo excitační efekty.

Na **primárních** účincích jsou založeny nejdůležitější metody detekce - **ionizační a scintilační** metody.

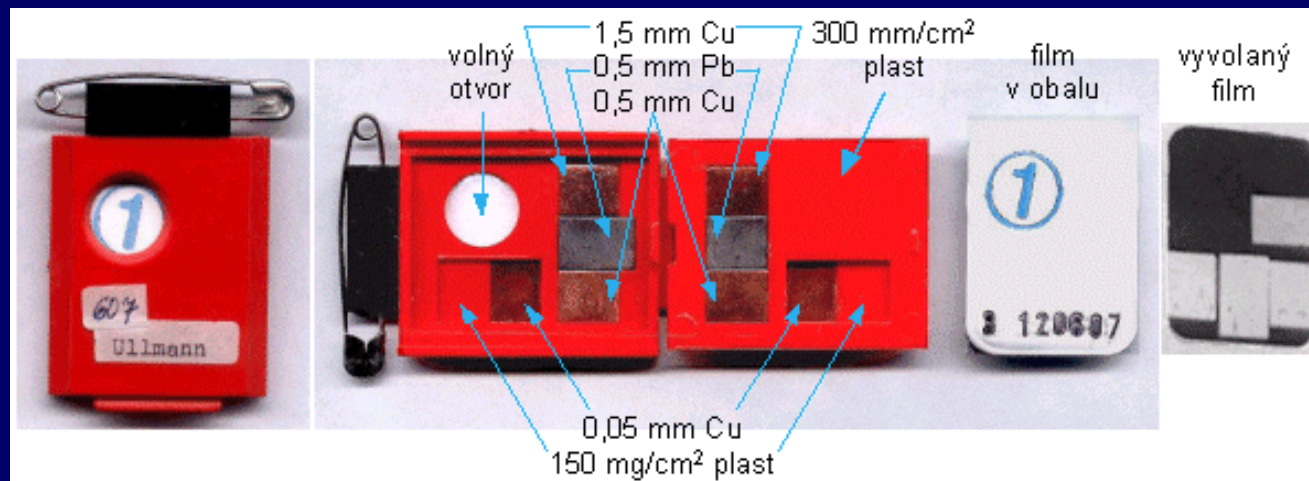
Na **sekundárních** účincích záření jsou založeny metody *fotografické* a další např. na chemických, resp. tepelných účincích.

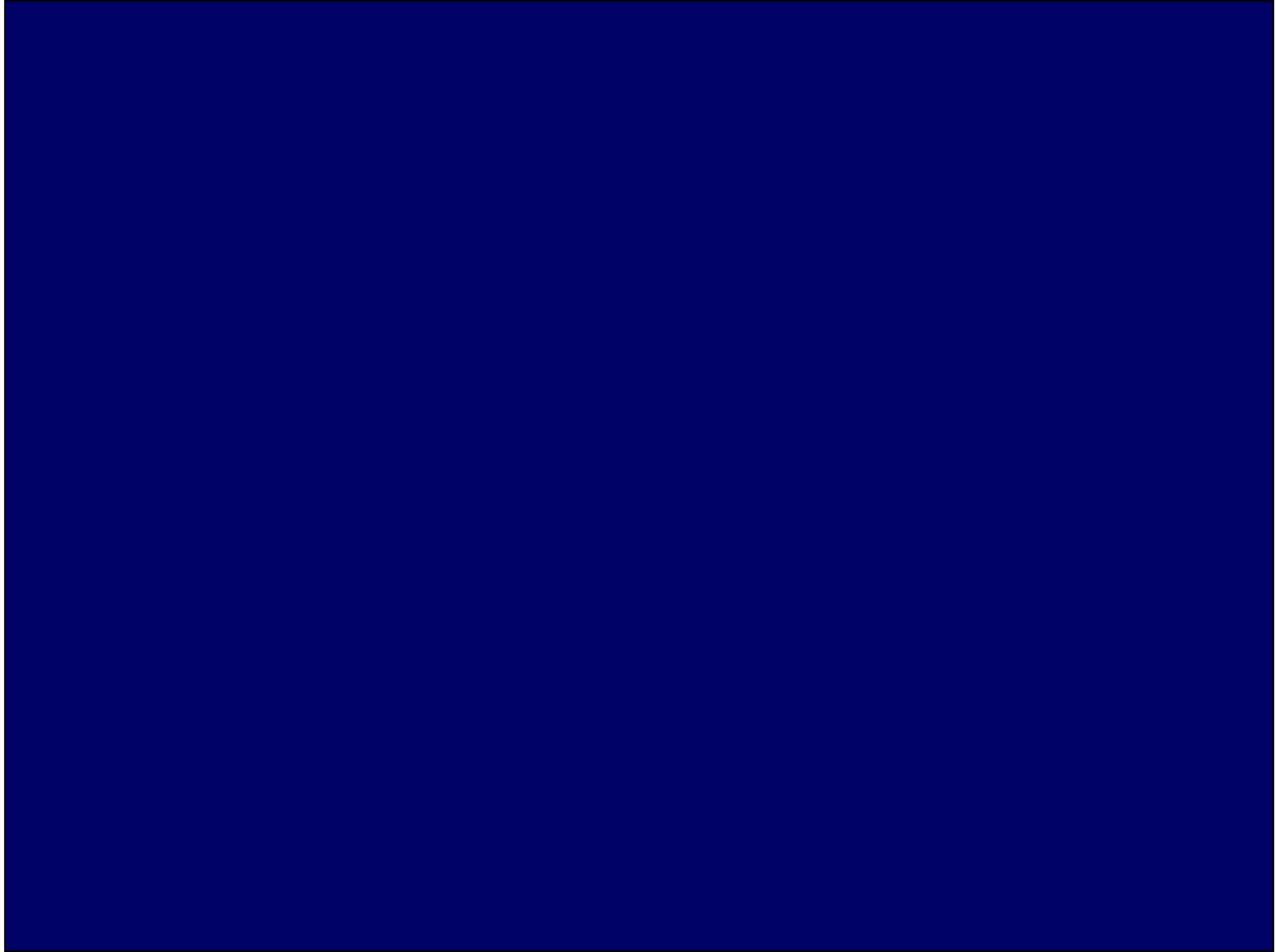
Fotografická detekce ionizujícího záření

fotochemická reakce - uvolňování stříbra ze sloučeniny a vzniku **obrazu**, který je při **vyvolání** zviditelněn.

Zčernání fotografického materiálu je úměrné množství energie ionizujícího záření, která byla v tomto místě pohlcena.

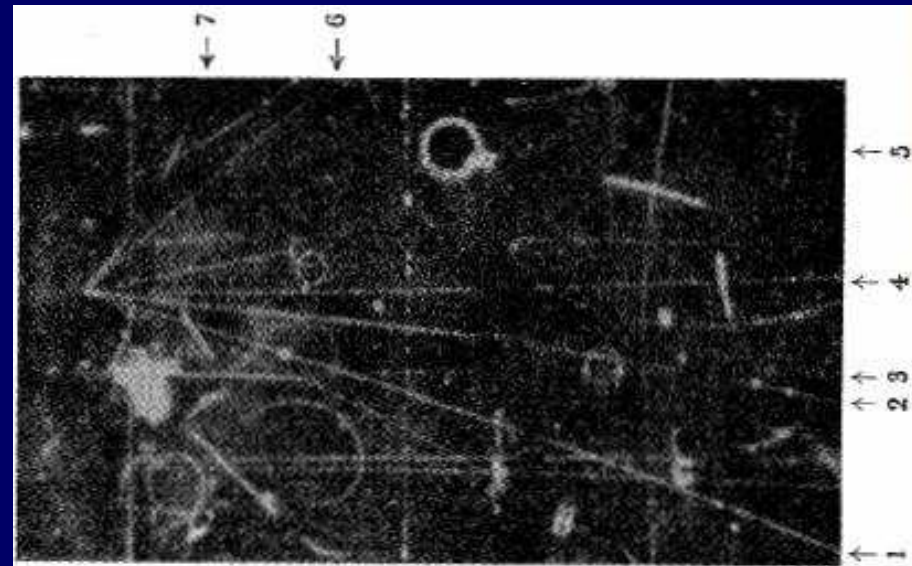
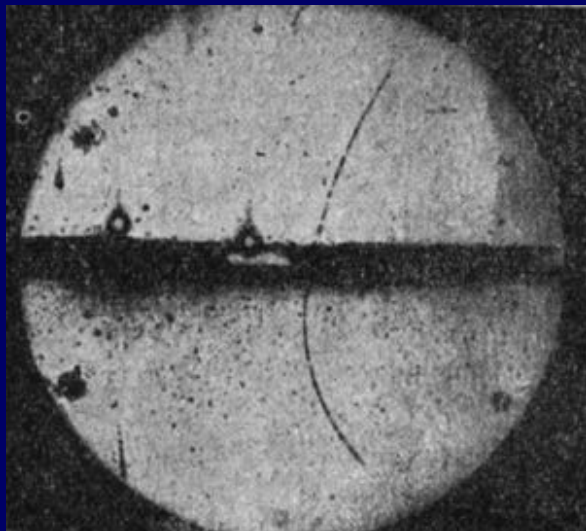
Filmové dozimetry, rtg filmy



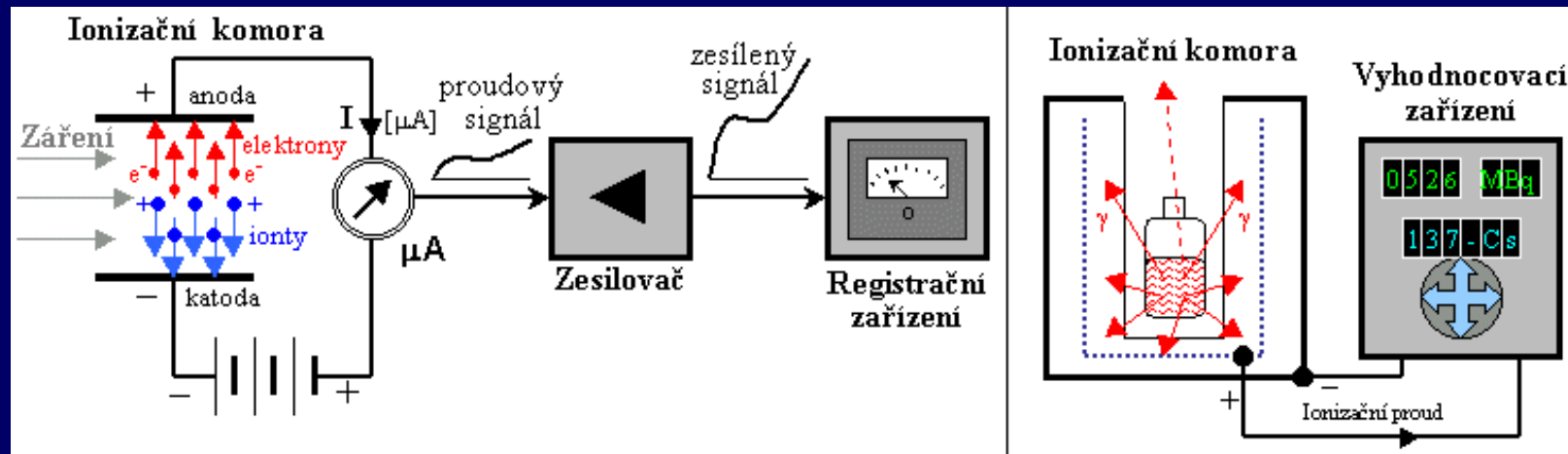


Mlžné a bublinkové komory pro detekci stop částic

- **Mlžná komora** zviditelňuje trajektorii nabitých částic prostřednictvím kapek kapaliny, které vzniknou v podchlazené páře, na základě vzniku kondenzačních jader podél dráhy průletu částice.
- **Bublinková komora** je označením pro částicový detektor obsahující přehřátou kapalinu např. přehřátý kapalný vodík. Při průchodu částice kapalinou se podél její trajektorie uvolňují bublinky páry. Jejich sled označuje viditelně dráhu částice. Umožňuje detekovat i krátké dráhy částic s velmi krátkými dobami života.

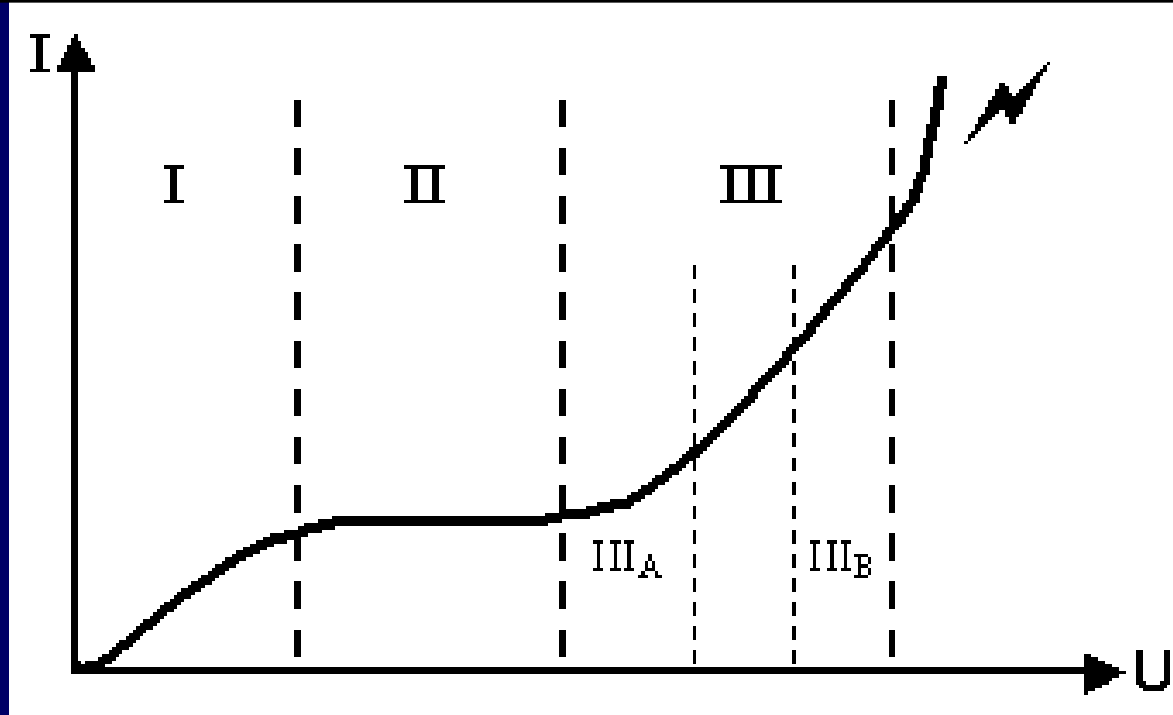


Ionizační detektory



Ionizační komora je tvořena dvěma **elektrodami** v plynu a připojenými v elektrickém obvodu na napětí řádově stovek Voltů.

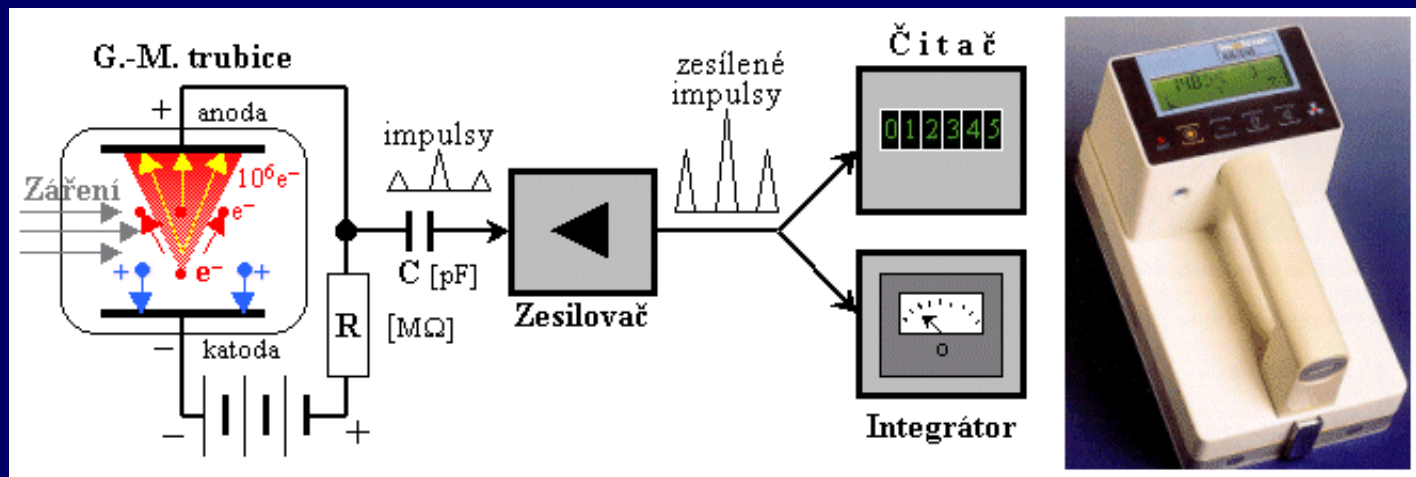
Za normálních okolností (bez přítomnosti záření) systémem neprochází žádný proud - plyn mezi elektrodami je nevodivý,



I. Oblast **Ohmova zákona** se pro detekci záření nepoužívá.

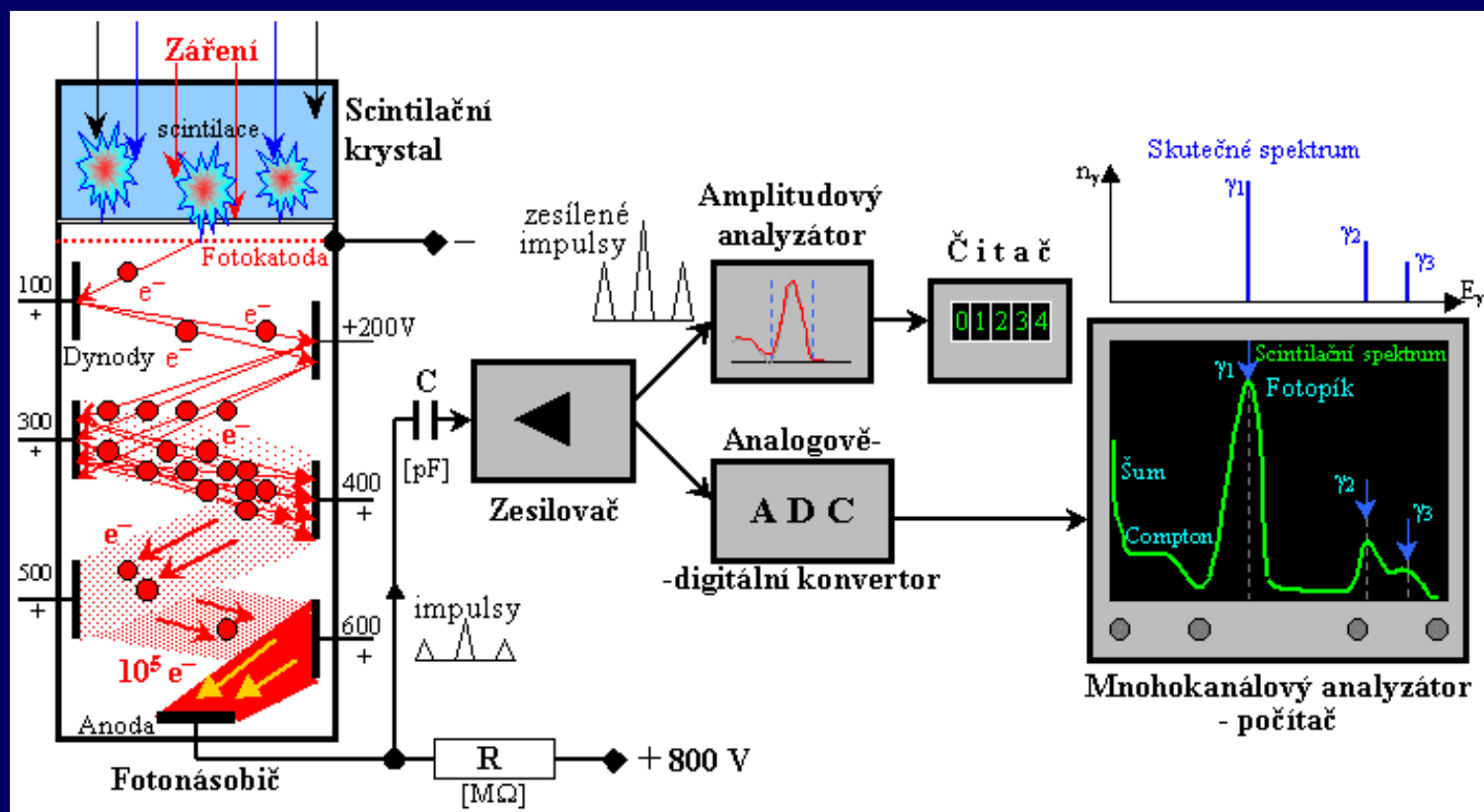
II. Oblast **nasyceného proudu** - ionty se pohybují vlivem elektrického pole natolik rychle, že nestačí zrekombinovat a všechny se účastní vedení proudu. Ionizační proud je proto nezávislý na napětí (sekundární ionty ještě nevznikají), závisí pouze na intenzitě záření. V tomto oboru pracují ionizační komory popsané výše.

III. Oblast **nárazové ionizace** - primární ionty (vyvolané zářením) jsou silným elektrickým polem urychlovány natolik, že vytvářejí další sekundární ionty **nárazem** na neutrální atomy či molekuly plynu. Při ještě vyšším napětí - oblast III_B na křivce - je sekundární ionizace nárazem již tak intenzivní, že dochází k **lavinovitému množení** elektronů a iontů (k mikrovýboji) - v této oblasti pracují **Geiger-Mullerovy detektory**.



Scintilační detektory

Scintilační detektory ionizujícího záření jsou založeny na vlastnosti některých látek reagovat **světelnými záblesky** (scintilacemi) na pohlcení kvant ionizujícího záření; tyto světelné záblesky se pak elektronicky registrují pomocí **fotonásobičů**. Látky vykazující tuto vlastnost se nazývají **scintilátory**. Nejstarším používaným scintilátorem je *sirník zinečnatý* aktivovaný stříbrem ZnS



Some Isotopes & Their Half Lives

ISOTOP	T^{1/2}	APLIKACE
U		U-238,235
C-14	5730 y	cosmic interactions, "carbon date" items and as radiolabel for detection of tumors.
Cesium-137	30.2 y	Blood irradiators, tumor treatment through external exposure.
H-3	12.3 y	Labeling biological tracers.
Iridium-192	74 d	Implants or "seeds" for treatment of cancer.
Molybden-99	66 h	Parent for Tc-99m generator.
Iodine-123, I-131	8 d	Radiopharmaceutica
Technicium-99m	6 h	(gastroenterology), bones, thyroid, and kidney regional cerebral blood flow, etc..