

Člověk a ionizující záření

ionizující záření

- nabitě i nenabitě částice, které:
- jsou schopné **ionizovat** molekuly nebo atomy,
- jsou vysoce energetické, takže i přes tyto energetické ztráty pronikají několik um až desítek metrů do pevné látky.

energetické poměry mikrosvěta

- jednotka energie SI 1 Joule, rozměr $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$
- Praktická jednotka 1 eV
- 1 eV je energie, kterou by získal elektron při průchodu potenciálovým rozdílem 1 V. Například při průchodu elektronu mezi elektrodami (deskami kondenzátoru) ve vakuu s napěťovým rozdílem 1 V získá elektron kinetickou energii 1 eV. $1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

- Energie kvanta zeleného světla 550 nm je 2.25 eV
- Energie potřebná k vystoupení elektronu z kovu do vakua, tzv. výstupní práce je 1,9-6 eV
- Ionizační energie atomu Cs 3.9 eV
- Vazební energie H-O v H₂O je 4.7 eV
- Průměrná energie získaná při rozštěpení 1 atomu ²³⁵U 200MeV

- RTG záření (paprsky X)- fotony s energií jednotek až stovky keV jsou typickým příkladem ionizujícího záření.
- Přes ultrafialové záření k viditelné oblasti spektra ionizační schopnost prudce klesá
- Mikrovlnné záření (mikrovlnka, energie fotonu 10^{-5} eV) a radiové vlny nejsou ionizující záření.

Ionizující záření z různých hledisek

- Ionizující záření z hlediska částicového složení
- Interakce ionizujícího záření s látkou
- Měření ionizujícího záření
- Ionizující záření z hlediska zdrojů, z kterých pochází
- Vliv ionizujícího záření na živé organizmy a na člověka
-

částice ionizujícího záření

- energetické fotony
- částice α ,
- elektrony, pozitrony,
- protony
- neutrony
- jádra atomů.
- další elementární částice. (Kosmické záření, záření z urychlovače)

Fotony

- Fotonová složka kosmické záření 70-1000 MeV
- Radionuklidy čárové spektrum příklad ^{40}K 1.45 MeV, ^{60}Co γ 1.17 a 1.33 MeV, ^{137}Cs γ 661 keV
- Lékařský rentgen 50 -100 keV
- Mammograf 16 -60 KeV

elektrony

- Klidová hmotnost $9,1095 \cdot 10^{-31} \text{kg}$
- radionuklidy spojité spektrum, energie až $16,6 \text{ MeV}$ pro ^{12}N
- Kosmické záření $511 \text{ keV}-100 \text{ MeV}$
- Radioterapeutické urychlovače $4-15 \text{ MeV}$
- Radioizotop ^{40}K , β 1.38 MeV

pozitrony

- $^{11}\text{C} \rightarrow ^{11}\text{B} + \beta^+ + \nu_e$
- Anihilace elektronu a pozitronu \rightarrow dva fotony 511keV
- $E=mc^2 = 2 * 9.1 * 10^{-31} * (3 * 10^8)^2$
- $E=2*511 \text{ keV}$

Alfa částice

- Jádro hélia
- Hmotnost $6.656 \cdot 10^{-27}$ kg
- Náboj $2e^+$
- Kosmické záření energie 500 MeV
- Radionuklidy, čárové spektrum
Energie od 4 MeV do 9 MeV
- Na vytvoření jednoho páru iontů ve vzduchu
potřebuje alfa částice 32,5 eV
- Alfa zářiče ^{226}Ra , ^{239}Pu , ^{241}Am , ^{210}Po 5.4 MeV

Neutrony

- Klidová hmotnost $m_n = 1,67495 \cdot 10^{-27}$ kg
- Energie

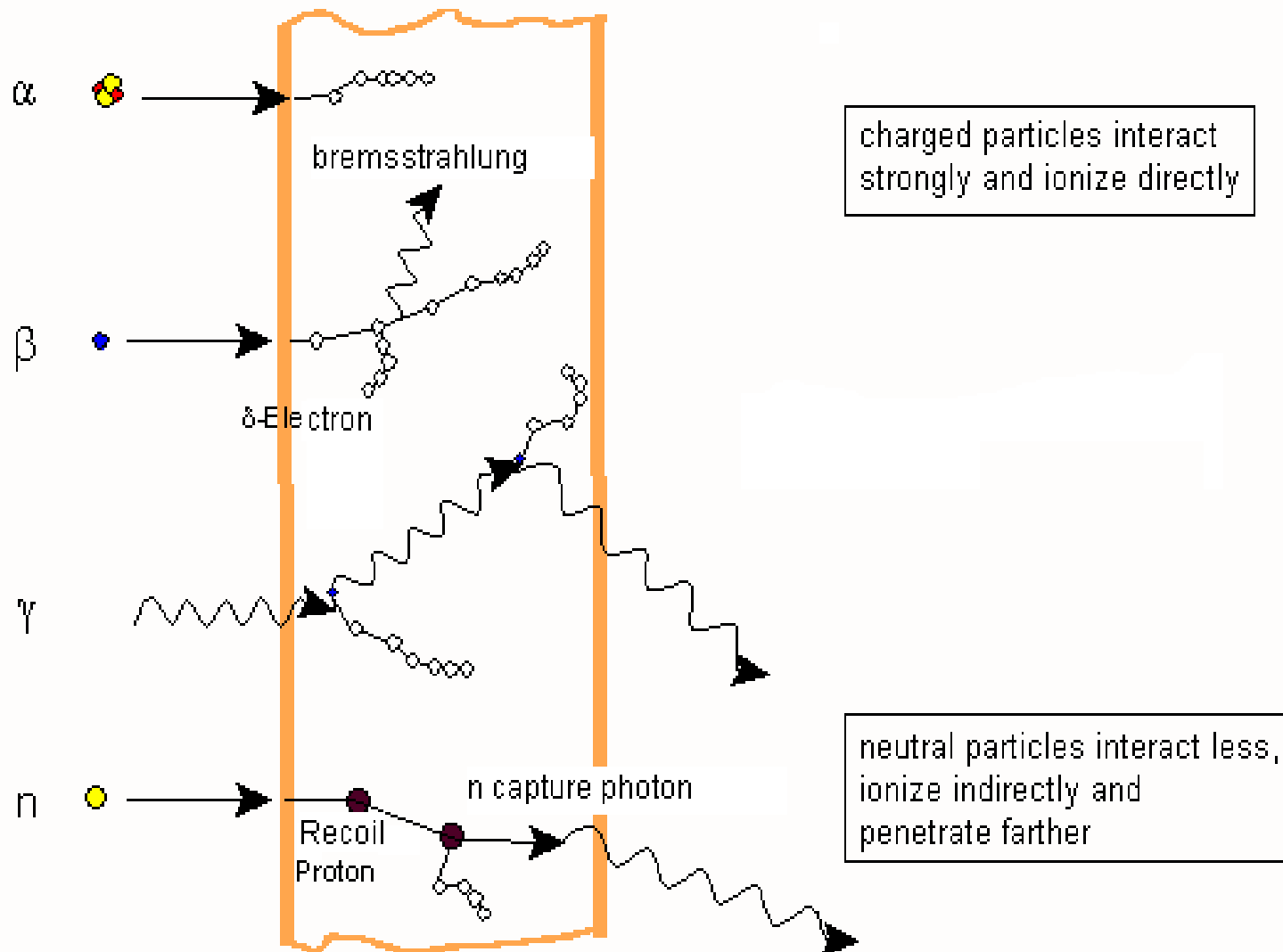
Chladné	0.002 eV
Tepelné	0,002-0,5 eV
Rezonanční	0,5-1000 eV
Středních en.	1-500 keV
Rychlé	0,5-10 MeV
Vysokých en.	10-50 MeV
Velmi vysokých en.	Nad 50 MeV

^{252}Cf (poločas rozpadu 2,6 r), reaktor

Kosmické záření

Interakce IZ s látkou

Interaction of ionizing Radiation with Matter



Měření IZ záření

- **dávka** D je určena jako podíl energie ΔE absorbované v určitém dostatečně malém objemu látky a hmotnosti Δm tohoto objemu.
- Jednotka Gy, J kg^{-1}

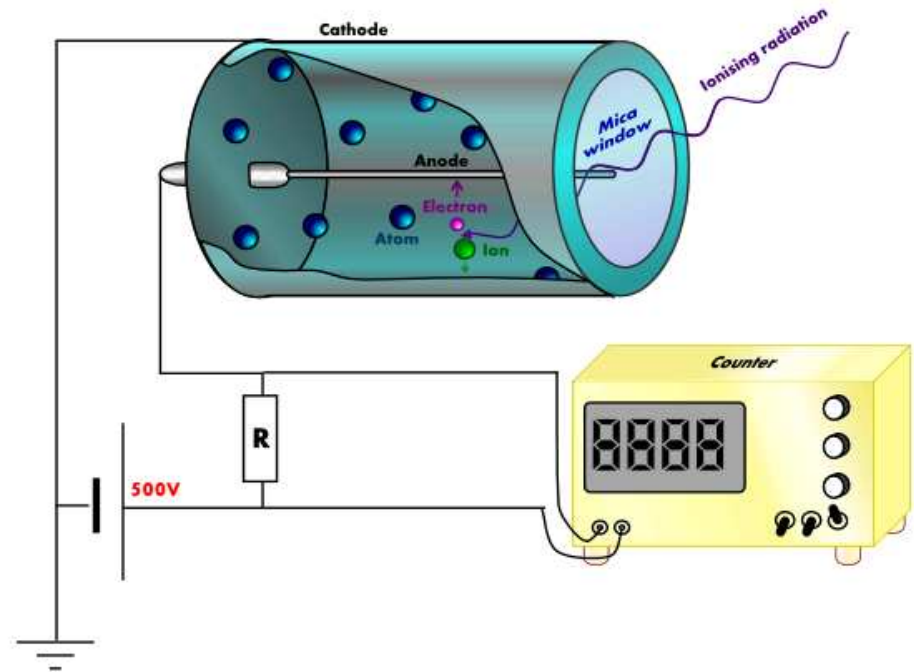
Principy měření IZ

- Počítání jednotlivých částic
- Měření celkového účinku velkého počtu částic
- Měření kumulativní dávky- dosimetry

Počítání částic

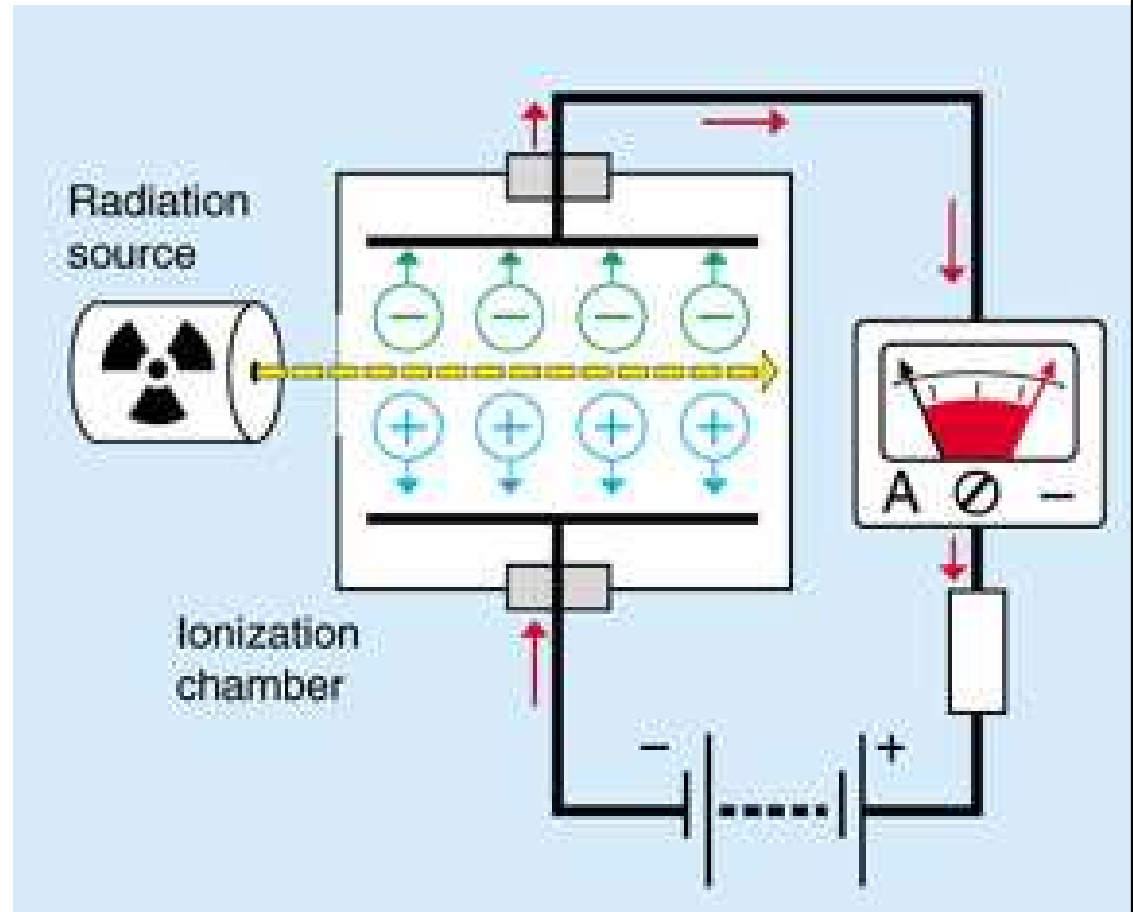
- Geiger-Muller trubice
- Geiger-Muller počítač
- 1908-1928

- Scintilační detektor



Ionizační komory

- měření náboje vzniklého ionizací elektrometrem.
- Použití



dosimetry

- filmové
- termoluminiscenční
- elektronické scintilační

Zdroje ionizujícího záření

- Kosmické
- Terestrické
- Antropogenní

Kosmické záření

Jezuitský kněz Theodor Wulf 1910

Viktor Hess 1912- 1913 výstup balónem až
do 5 km

Robert Millikan

Carl D. Anderson objev pozitronu 1932

Arthur.H.Compton 1930-1940

Primární složka kosmického záření

solární složka

- Solární složka, protony, α částice, lehká jádra

proměnné se slunečním cyklem (11,27 let)

erupce 10^{13} protonů/m² s energií $> 30\text{Me}$

4,8 Gy

Primární složka kosmické záření- galaktická složka

- Galaktická složka
- protony, 87%
- α částice, 12%
- jádra $Z > 2$ 1%
- elektrony fotony 1%
- energie 10 GeV i víc

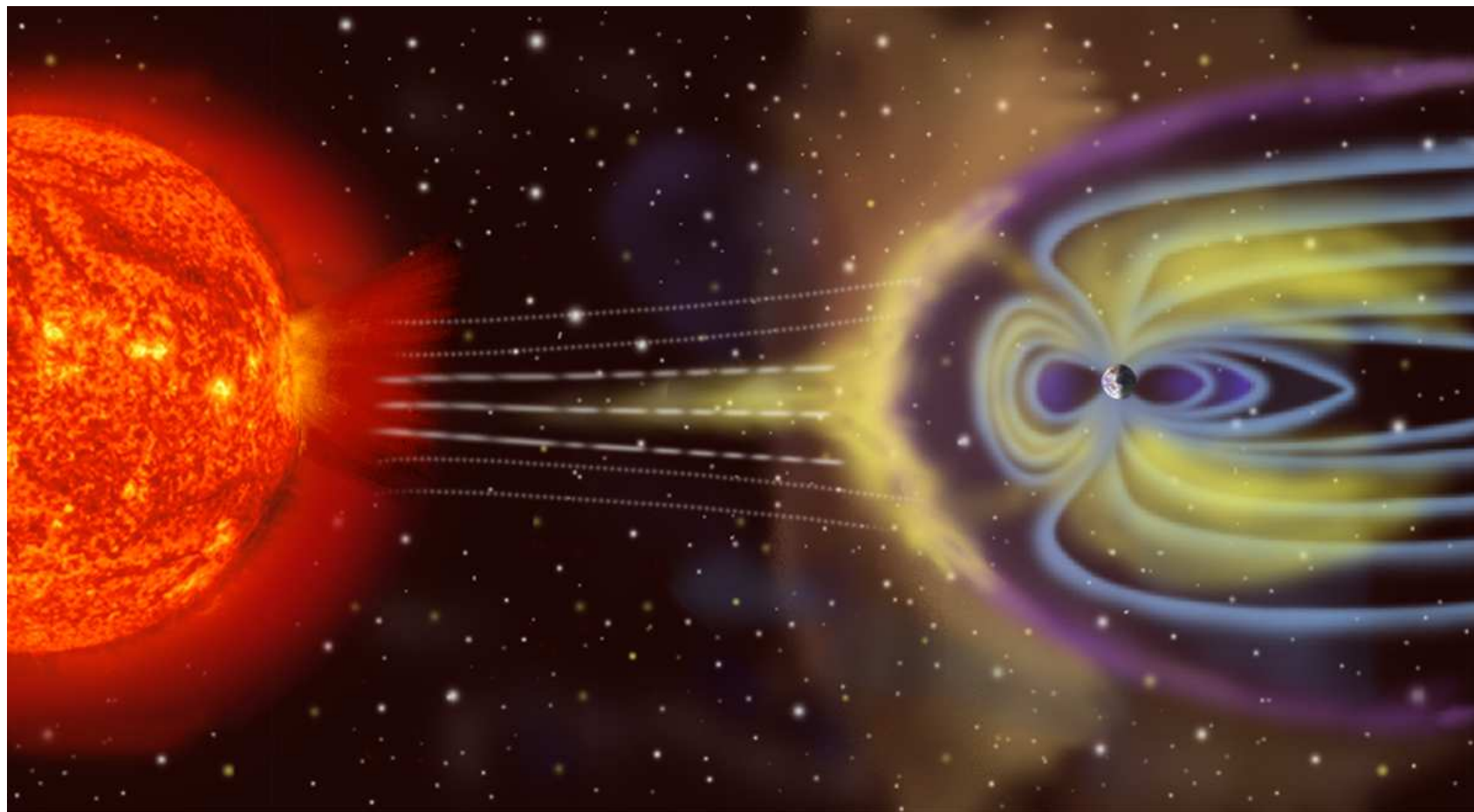
proměnné se slunečním cyklem v důsledku stínění
magnetickým polem

$2.5 - 5 \cdot 10^4$ částic/(m² s)

Složení KZ v atmosféře

- v závislosti na energii vznikne větší množství hadronů převážně pionů
- interakce s jádry – hadronová kaskáda
- pronikavá komponenta miony a neutrina
- povrch země - energetické miony 75% částic do 1 GeV
- Elektron pozitronové páry
- n, p, α , d, ^3H , (kolem 10 MeV), n různých energií
- β^+ , β^- , p, γ , (kolem 100 MeV)
- max. dávkový příkon pól 20 km 15 mSv/hod

Zemská magnetosféra



Kosmogenní radionuklidy

nuklid	poločas rozpadu	emise	energie částice keV	produkce at/(cm ⁻² s ⁻¹)
¹⁴ C	5730 r	β-	156	2-2.6
³ H	11.7r	β -	18,6	0.12-0.3
⁷ Be	53d	γ, ε	477	0.03
¹⁰ Be	2,7 10 ⁶ r	β-	560	0.04-0.1

Terestrické ionizující záření, zdroj radioizotopy

- A, aktivita,
jednotka becquerel (Bq), s⁻¹
- A₀, počáteční aktivita
- A(t), aktivita radionuklidu v
čase t
- λ rozpadová konstanta
- T poločas rozpadu

$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$\frac{1}{2} A_0 = A_0 e^{-\lambda T}$$

$$T = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

Radioizotopy

- draslík K40, $1,25 \cdot 10^9$ let 8% původní aktivity
- Uran U238, $4,5 \cdot 10^9$ let 50% původní aktivity
- Thorium
- Radon
- C14

účinky ionizujícího záření na člověka

- deterministické účinky ionizujícího záření
- stochastické účinky ionizujícího záření
- časné
- pozdní
- somatické
- genetické

Poškození lidského organismu ionizujícím zářením

- Na buněčné úrovni vede ozáření k poškození DNA. Některá poškození reparační mechanismy opraví. Neopravená poškození znamenají zánik buňky, nebo poškození cytogenetické informace. (nepřesné)
- Zánik buněk tkáně
- Reakce tkáňové populace na poškození a úbytek buněk. Sebeobnovná funkce tkání je v plném rozsahu v dospělém zachována jen u některých tkáňových a buněčných systémů, (krvetvoba).

Sebeobnovné populace

- Krvetvorba. Délka buněčného cyklu 10-20 dní
- Slizniční výstelky. Příklad: výstelka střev s délkou buněčného cyklu 4-5 dnů
- Gonády
- Pokožka

Sebeobnovné populace

- Jaterní tkáň a parenchym ledvin. Buňky proliferujícího kompartmentu se nalézají v klidovém stádiu G_0 . V případě poškození tkáně jsou schopny za jistých okolností přejít do buněčného cyklu.

Příklady akutní lokální změny

(deterministický, somatický, časný)

- radiační erytém
- radiační dermatitida 1 stupně, do ~3 Gy
- radiační dermatitida 2 stupně, do ~ 10 Gy
- radiační dermatitida 3 stupně, do ~ 15 Gy

(deterministický, somatický, pozdní)

- šedý zákal, jednorázové ozáření ~ Gy

Akutní poškození kůže

- Erytematózní dermatitis, bezpříznakové období 2-4 týdny, dávka 5-6 Gy X 200 kV/ 1 dm² kůže předloktí.
- Deskvamativní dermatitis, 10-20 Gy. Časný erytém do 2 dnů, trvání asi 24 hodin. Po období 2-4 týd. latence, puchýře, mokvání. Dlouhodobé hojení.
- Nekrotická forma.

Hematologická forma nemoci z ozáření

- Hraniční dávka 1-2 Gy
- Přejídné příznaky – nechutenství zvracení průjem dehydratace. Zvracení je důsledkem přímého dráždění příslušných center v prodloužené míše nízkomolekulárními peptidy
- Následuje několikadenní latence bez příznaků
- Plný rozvoj nemoci za příznaků mikrobiálního rozsevu a zhroucení imunitních systémů s krvácením do sliznic a kůže.
- Nejhlubší pokles neurofilních erytrocytů a krevních destiček 7-9 den po ozáření dávkou 6 Gy, kolem 20 dne při dávce 4 Gy. Z bílých krvinek jsou nejcitlivější lymfocyty, při dávkách 1-2 Gy pokles na 50% za 48 hod.
- Po 6-8 týdnech pozvolné zlepšování zdravotního stavu.

Střevní forma akutní nemoci z ozáření. Neuropsychická forma

- Od dávek 6-10 Gy
- Nástup příznaků od 7-4 dne.
- Nekróza buněk střevní výstelky.
- Neuropsychická forma akutní nemoci z ozáření. 1958 Los Alamos dávka 45 Gy. 10 minut = ztráta orientace, koma, 6 hodin vymizení lymfocytů z periferní krve, 35 hod. srdeční selhání.

Radiosenzitivita

- Různý význam pojmu radiosensitivita.
- radiosensitivita tkáně ve smyslu vyvolání deterministických následků

radiosensitivita tkáně ve smyslu vyvolání zhoubného bujení

- Ovlivnění vnějšími faktory, O_2 , radoprotektivní látky: cysteamin, thiomocovina...

Mezidruhové rozdíly radiosenzitivity

- LD50/30 dávka způsobující do 30 dnů úhyn 50% jedinců.
- Morče 3Gy
- Myš, krysa 5-7 Gy
- Králík 8 Gy
- Želva 15 Gy
- Člověk relativně radiosensitivní druh

Veličiny v radiační ochraně

- Dávkový ekvivalent (veličina „lokální“), jednotka Sievert (Sv)

$$H = Q \cdot D$$

D dávka, Q(L) jakostní činitel

- Osobní dávkový ekvivalent
 $H_p(d)$ -dávkový ekvivalent v daném bodě pod povrchem těla (např. pro beta záření $d=0,07$ mm, pro ozáření oka $d=3$ mm, pro pronikavé záření $d=10$ mm)
- Prostorový dávkový ekvivalent směrový dávkový ekvivalent.

Dávkový ekvivalent

L keV/ μm	Q(L)
<10	1
10-100	$0.32L^{-2.2}$
>100	$300L^{-0.5}$

Ekvivalentní dávka v orgánu (tkáni)

- Ekvivalentní dávka Sv (sievert)
- D_T střední dávka záření typu R ve tkáni nebo orgánu T(Gy).
- w_R radiační váhový faktor, vyjadřuje relativní biologickou účinnost záření vzhledem k záření fotonovému

$$H_t = w_R D_T$$

Hodnoty radiačního váhového faktoru

Typ záření, energie	Radiační váhový faktor w_r
fotony	1
Elektrony	1
Neutrony <10 keV	5
Neutrony 10<100 keV	10
Neutrony 100 keV-2MeV	20
Neutrony 2MeV-20MeV	10
Neutrony >20MeV	5
Protony	5
Alfa částice, těžká jádra	20

Efektivní dávka

- Součet vážených středních hodnot ekvivalentních dávek v tkáních a orgánech, jednotka Sv.
- H_T ekvivalentní dávka
- w_T tkáňový faktor, vyjadřuje relativní příspěvek jednotlivého orgánu k celkové „újmě“ způsobené rovnoměrným ozářením

$$E = \sum_T w_T H_T$$

$$\sum_T w_T = 1$$

Hodnoty tkáňových faktorů

Tkáň nebo orgán	Tkáňový váhový faktor
gonády	0,2
mléčná žláza	0,05
kostní dřeň	0,12
plíce	0,12
štítná žláza	0,05
povrch kostí	0,01
tlusté střevo	0,12
žaludek	0,12
játra	0,05
kůže	0,01
ostatní orgány a tkáně	0,05

Přehled zdrojů ozáření člověka r 2000

ozáření	UNSCEAR mSv/r	ČR mSv/r	
Kosmické	0.4	0.3	
γ Země	0.5	0.5	
Radon	1.2	2	
Vnitřní oz	0.3	0.3	
celkem přír.	2.4	3.1	
Medicínské	0.4	1	
A bomby	0.005	<i>0.005</i>	
Černobyl	0.002	0.2/0.01	
A. elektr.	0.0002	<i>0.0002</i>	

Radiační ochrana, princip limitování

Obecné limity. Dávka za rok	limit mSv
Efektivní dávka	1
Ekvivalentní dávka v oční čočce	15
Ekvivalentní dávka v 1cm ² kůže	50

Limity pro radiační pracovníky. Dávka za rok	Limit mSv
Efektivní dávka za 5 násl. let	100
Efektivní dávka	50
Ekvivalentní dávka v oční čočce	150
Ekvivalentní dávka v 1cm ² kůže	500
Ekvivalentní dávka na končetiny	500

Conan the Bacteria

- *Deinococcus radiodurans*
- objevena 1956, Arturem W. Andersonem
- odolnost
- 5000 Gy plná vitalita
- 15000 Gy 30% vitality
- potenciální aplikace: dekontaminace radiačně zamořené oblasti.



Historie

Paprsky X. W.C. Roentgen 18.11.1895

demonstrace RTG vyšetření EXPO Chicago 1896

Radioaktivita. Henri Becquerel 1.3.1896

Objev Ra, P. Curie, M. Curie Sklodowska 1898

Objev Rn (radonová emanace) Friedrich.Erns. Dorn 1900

R.Millikan: stanovení náboje a hmotnosti elektronu 1909

Skladba atomu 1911-1914 Rutherford

V.F.Hess: objev kosmického záření 1913

Rutherford: transmutace prvku N na O 1919

Chadwick: objev neutronu 1932

Umělá radiaktivita 1934, Frédéric Joliot-Curie, Irene Curie

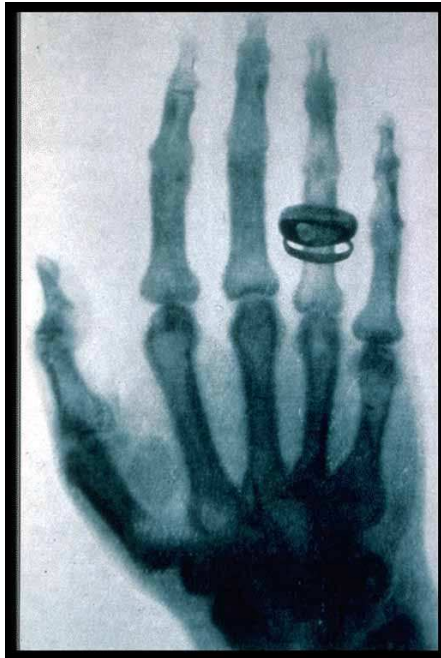
Štěpení prvků 1939

Spontání štěpení 1940

První reaktor Chicago 2.12.1942

Wilhelm Conrad Röntgen

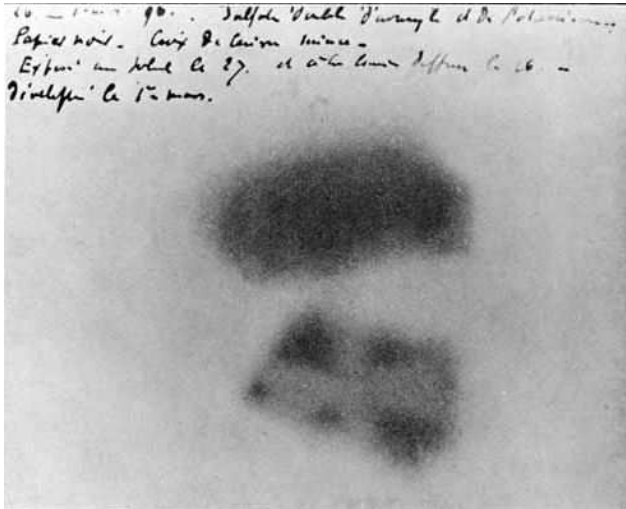
1845-1923



- 1895 Objev paprsků X při experimentování s katodovou trubicí uzavřenou ve světlotěsném obalu. V zatemnělé místnosti pozoroval světélkování platnatokyanidu barnatého

Henri Becquerel

1852-1908



- Objev přirozené radioaktivity, výzkum paprsků vyzařovaných přírodními radioizotopy
- Na snímku radiogram krystalu uranové soli

Marie Curie-Sklodowska 1867-1934

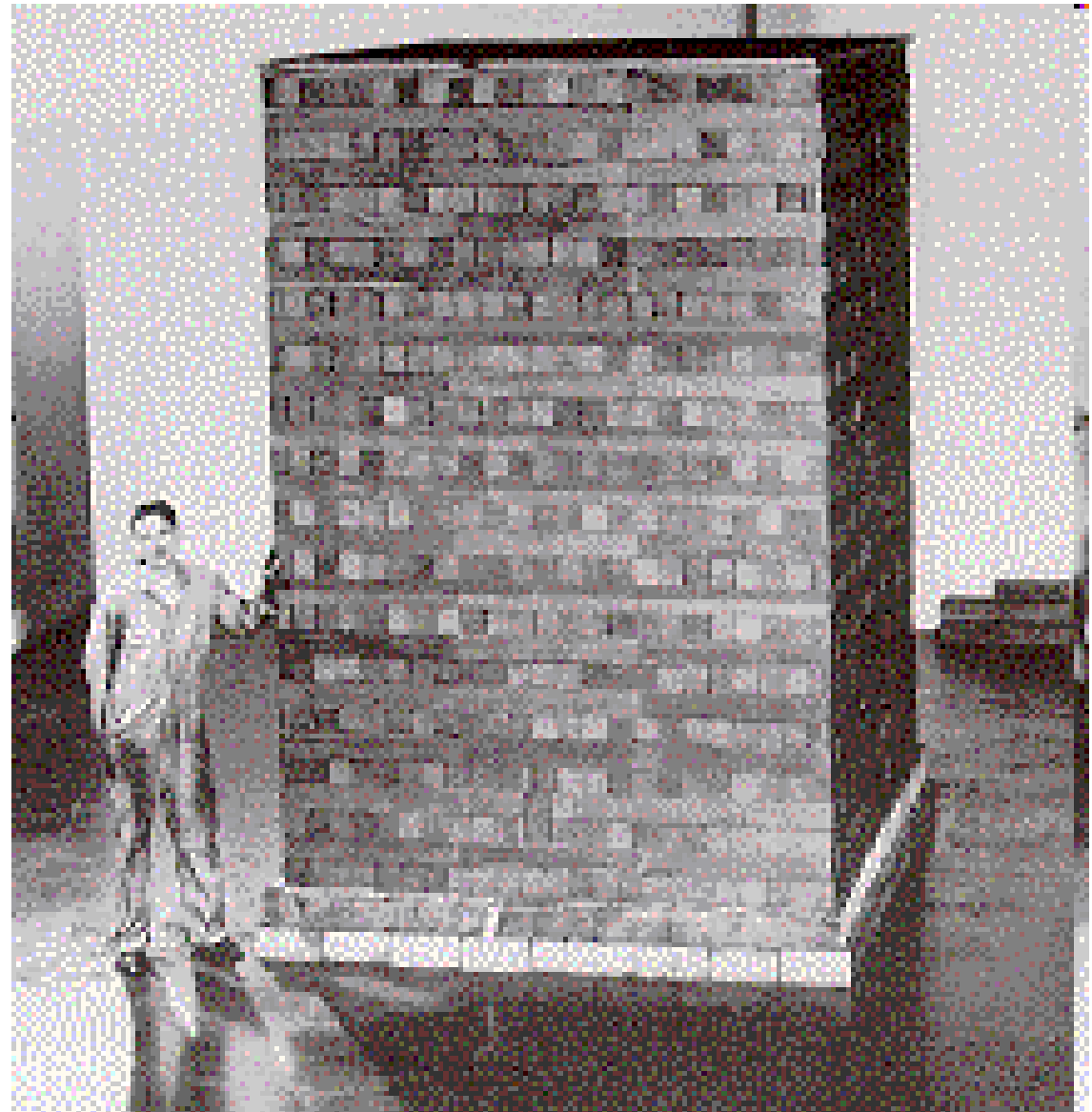
Pierre Curie 1859-1906



- 1898 objev Ra, Po
 - studium vlastností radioaktivity
 - Nobelovy ceny 1903, za fyziku 1911 za chemii
- jednotka aktivity Cu = $3.7 \cdot 10^{10}$ Bq na počest P. Curie

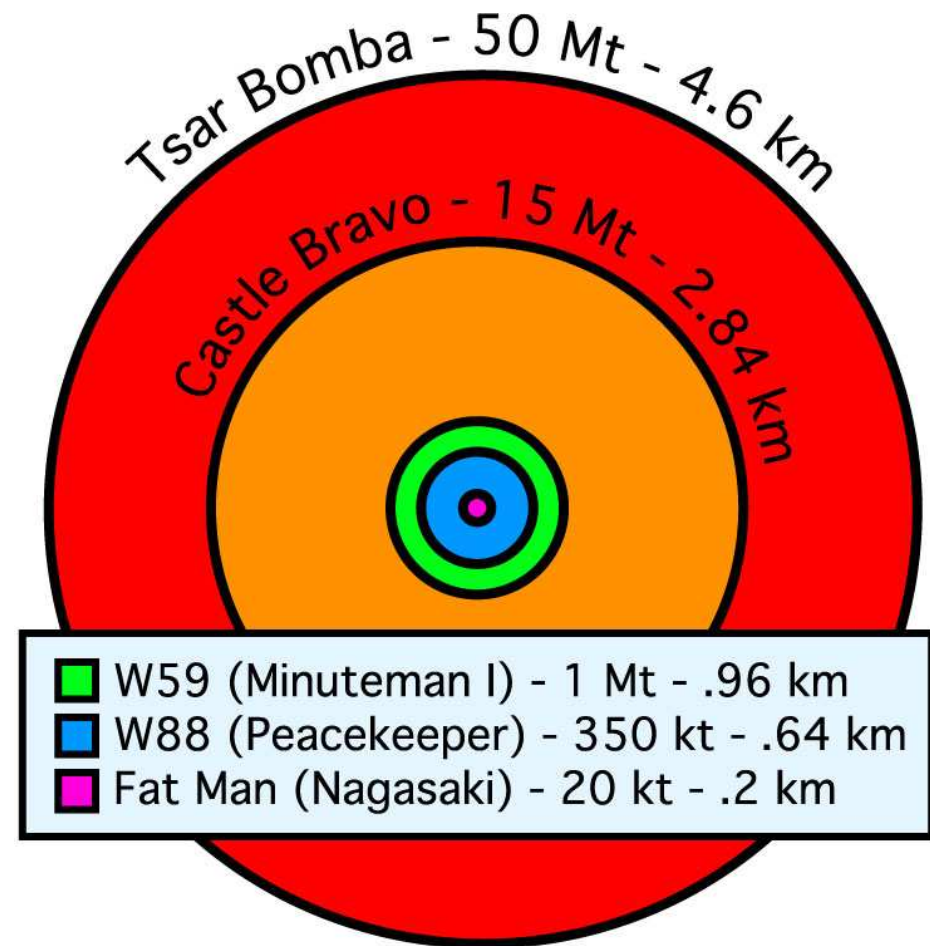
Fermiův jaderný reaktor v Chicagu

- 2. prosince 1942



Car bomba

- třístupňová
termonukleární puma
- Svržena na střelnici
Nová země dne 30.
října 1961
- hmotnost 27 t
- $50\text{MtTNT} = 2.1 \cdot 10^{17} \text{ J}$
- 39 ns (1% výkonu S)



Car bomba

