

# Fyzika

- Úvodný kurz pre poslucháčov prvého ročníka bakalárskych programov v rámci odboru geológie
- 10. prednáška – atómová fyzika a rádioaktivita

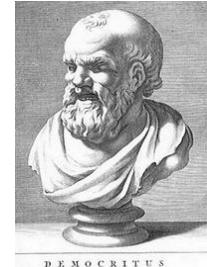


# **Obsah prednášky:**

- stavba atómu: historický vývoj
- elementárne častice, jadrové sily
- jadrové reakcie, väzbová energia jadra
- rádioaktivita – rádioaktívne premeny, žiarenie
- zákon rádioaktívnej premeny, rozpadové rady
- využitie merania rádioaktivity v geológii

# Atómová fyzika – historický vývoj (1/11)

6.stor. pred Kristom - Democritus, spolu s Leucippusom a Epicurusom (starí grécki filozofi spred Sokrata) - pohľad na štruktúru hmoty; kde prvý krát použili pojem atoma, (grécke slovo pre „nedeliteľný“),



2. stor. pred Kristom - text filozofickej školy Vaisheshika (India),

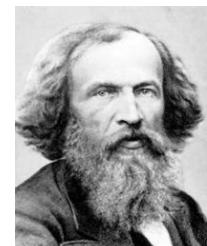
18. stor. – britský chemik a fyzik John Dalton – zaviedol pojem atóm pre základnú jednotku chemických prvkov,

19. stor. – viaceré dôležité objavy: atómy sú stabilné objekty; majú svoju vnútornú štruktúru ; boli odhadnuté ich rozmery,

1869 – periodický systém prvkov - Dmitriev Mendeleev (veľký krok)



1891 – zavedenie pojmu elektrón - G.J. Stoney, anglo-írsky fyzik, ako základnej častice pre elektrinu, ako prvý odhadol jeho elementárny náboj  $e$ , (avšak si mysel, že elektrón je pevne naviazaný na atóm a nemôže sa voľne pohybovať),

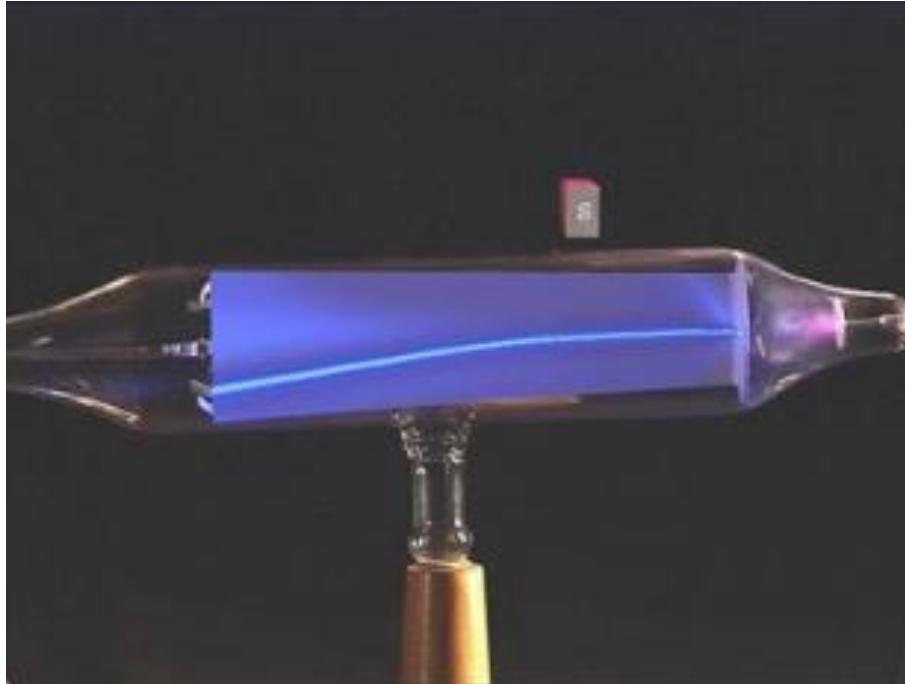
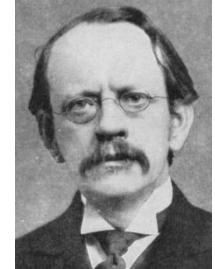


1897 – britský fyzik J.J. Thomson ukázal, že katódové lúče sú zložené z negatívne nabitých častíc a taktiež ich nazval elektrónmi (kedže atómy sú elektricky neutrálne, musia obsahovať aj kladne nabité zložku).



# Atómová fyzika – historický vývoj (2/11)

J. J. Thomsonov pokus z 1897:  
(okrem iného aj odhadol hmotnosť elektrónu)



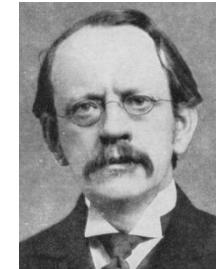
katódové lúče (volné elektróny) menia smer pôsobením permanentného magnetu

experiment:

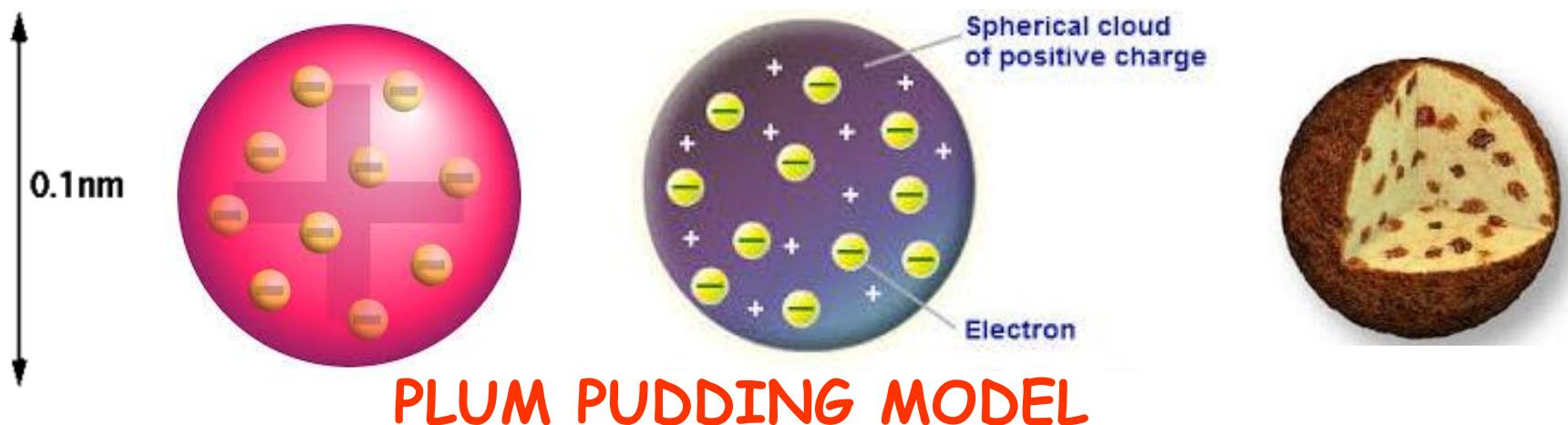
<https://www.youtube.com/watch?v=O9Goyscbazk>

# Atómová fyzika – historický vývoj (3/11)

J. J. Thomsonov model atómu z 1904:  
tzv. plum pudding model (pudingový)



Jeden z prvých modelov atómu – v elastickej guli sú rovnomerne rozmiestnené elektróny, okolo ktorých sa nachádza kladne nabitá „polievka“ – ako hrozienka v pudingu alebo koláči.



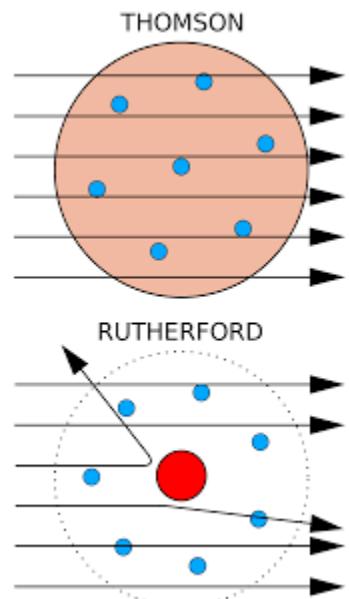
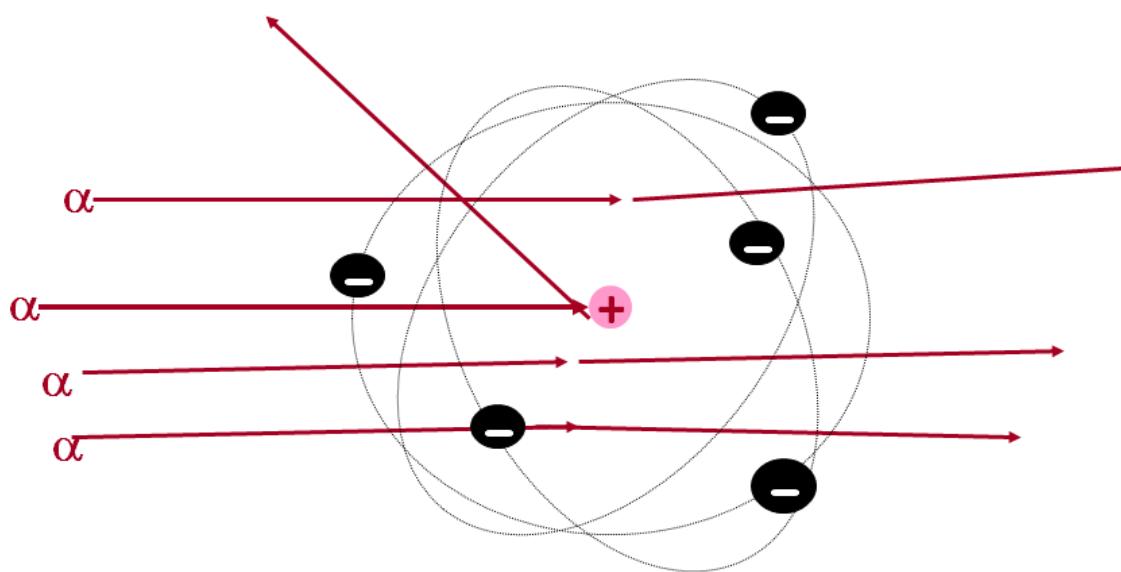
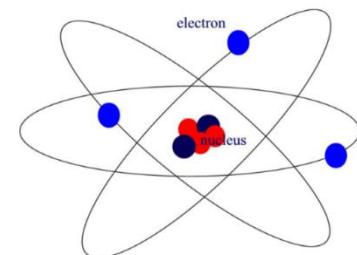
prvé odhady rozmeru atómu: na úrovni  $0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$

# Atómová fyzika – historický vývoj (4/11)

Model atómu od Ernesta Rutherforda z 1911:  
tzv. planetárny (nukleárny) model

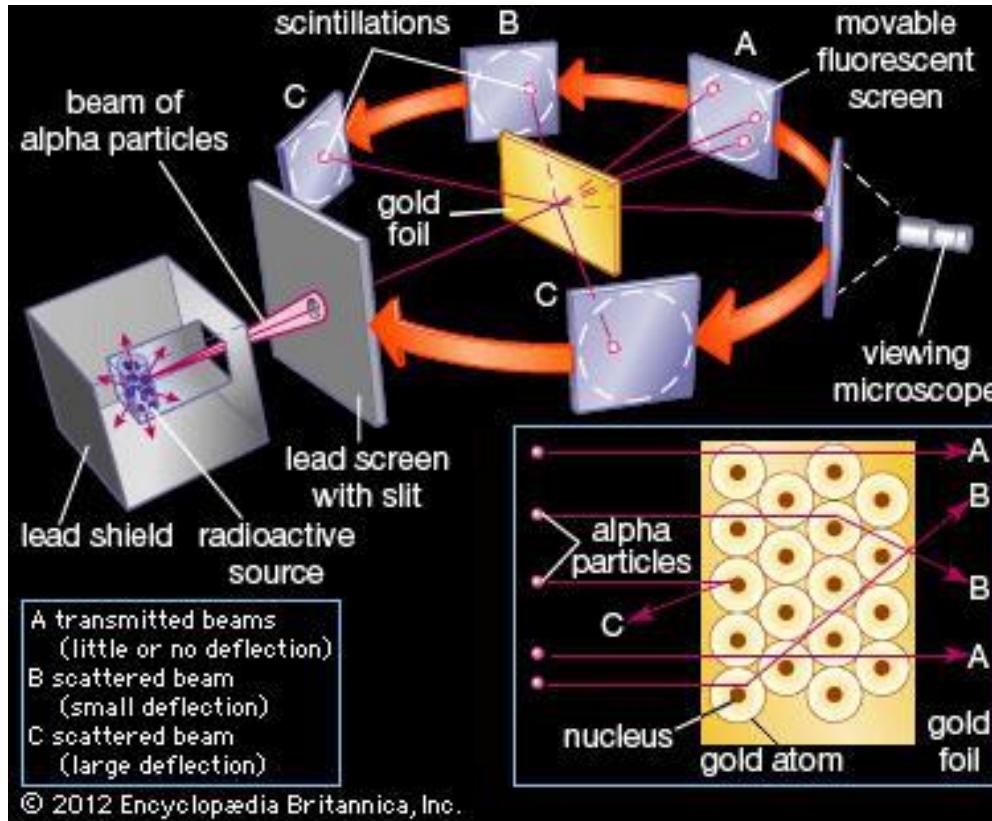


1911 Ernest Rutherford prezentoval známy **pokus so zlatou fóliou** (pokus realizovali jeho spolupracovníci Hans Geiger a Ernest Marsden), ktorú ostrelovali prúdom alfa-častíc, pričom niekoľko z nich sa odrazilo späť (tým vyvrátili Thomsonov model atómu). Rutherford interpretoval výsledok tohto pokusu tak, že atóm musí mať hmotu skoncentrovanú v jeho strede – **v jadre**.



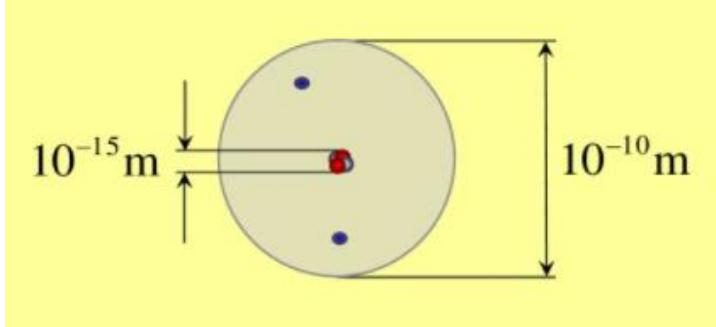
# Atómová fyzika – historický vývoj (5/11)

Model atómu od Ernesta Rutherforda z 1911:  
tzv. planetárny (nukleárny) model



Rutherford zistil, že približne alfa čästice s násobkami 10,000 sú odrážané späť, a tak odhadol veľkosť jadra na cca  $10^{-14}$  až  $10^{-15}$  m.  
experiment reconstruction:  
<https://www.youtube.com/watch?v=XBqHkraf8iE>

# Atómová fyzika – historický vývoj (6/11)



štadión amerického futbalu



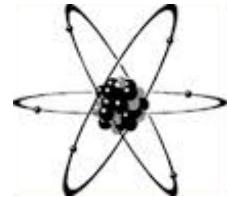
atóm

golfová loptička



jadro  
(99.97% hmotnosti atómu)

# Atómová fyzika – historický vývoj (7/11)

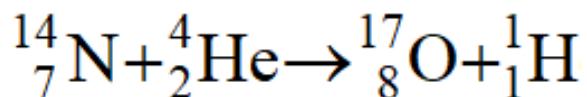
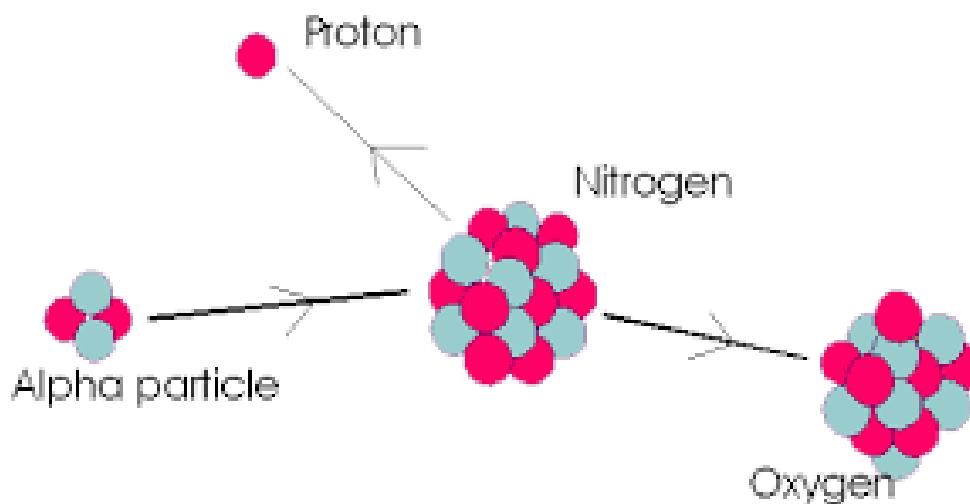


- rádioaktivita prvkov naznačovala, že jadro nie je jednoduché, ale má vnútornú štruktúru,
- 1904: Rutherford a Sody zistili, že rádioaktivita je spojená s premenou prvkov, začalo byť zrejmé, že rádioaktivita je vlastnosťou jadier,
- 1911: Rutherford zavádza pojem atómového jadra,
- 1919-1920: Rutherford zistil, že pri ostreľovaní jadier časticami a vznikajú častice ľahšie ako a nazval ich **PROTÓNY**,
- 1920: Rutherford vyslovil hypotézu, že v jadrách sú okrem protónov aj neutrálne častice a dal im názov **NEUTRÓNY** – dokázané boli neskôr angl. fyzikom Chadwickom v r. 1932,
- 1932: Heisenberg a Ivanenko vyslovili hypotézu, že jadrá sú tvorené protónmi a neutrónmi – dostali spoločný názov **NUKLEÓNY**.

# Atómová fyzika – historický vývoj (8/11)

## Protóny:

Začiatkom roku 1920 Rutherford a ďalší vykonali množstvo pokusov s transmutáciou (vznik iného atómu po ostreľovaní alfa časticami – jadrami hélia). Vo väčšine prípadov boli popri tom emitované vodíkové jadrá. Tieto museli teda hrať v stavbe atómov veľmi dôležitú úlohu (boli **kladne nabité**) – neskôr ich v tomto roku nazvali ako **protóny**.

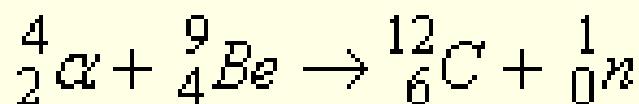
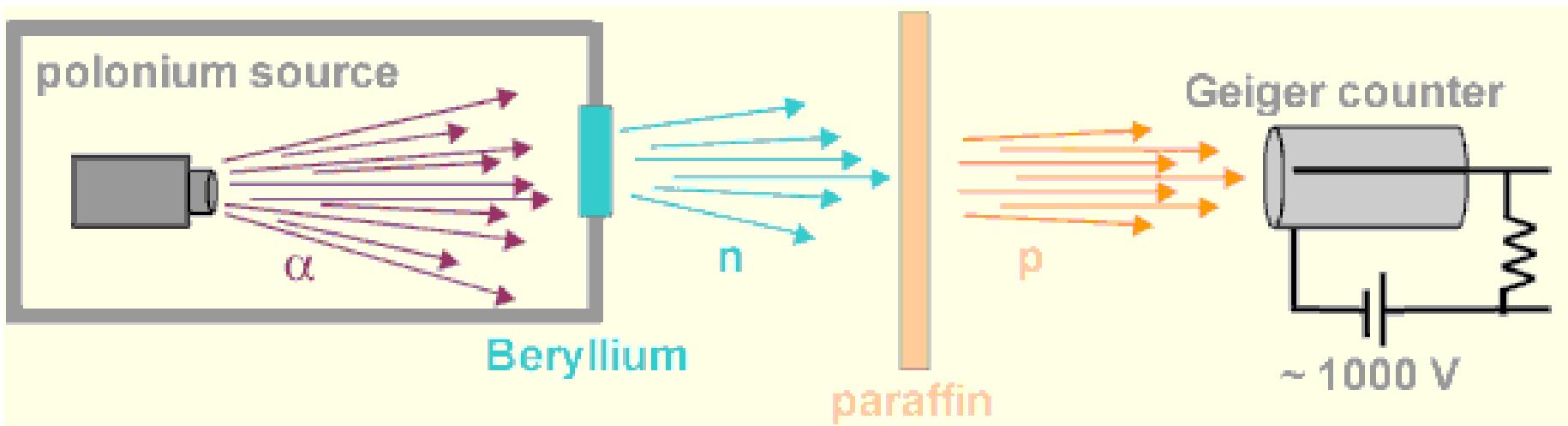


# Atómová fyzika – historický vývoj (9/11)

## Neutróny:

V roku 1920, Ernest Rutherford vyslovil tóriu, že v jadre sa musia nachádzať aj ďalšie častice, ale bez náboja (neutrálne). Vyplývalo to z nezrovnalosti medzi rovnosťou počtu elektrónov = protónov a celkovou atómovou hmotnosťou niektorých atómov.

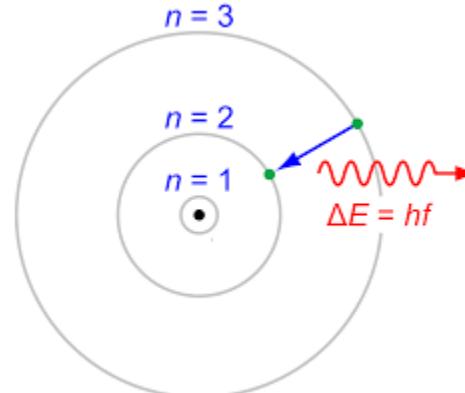
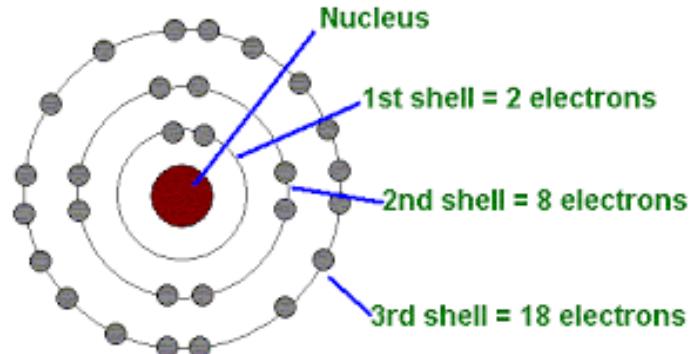
Experiment v 1930 ukázal, že berýlium, bombardované alfa časticami emituje prúd častíc s vysokou energiou. V roku 1932 **J. Chadwick** nazval túto časticu ako Rutherfordov neutrón.



# Atómová fyzika – historický vývoj (10/11)

## Dôležitý posun – Bohrov model atómu:

1913: Niels Bohr prezentoval model atómu (s kvantovými vlastnosťami). Tento model vvriešil hlavné protiklady, vyplývajúce z EM interpretácie Rutherfordovho modelu.

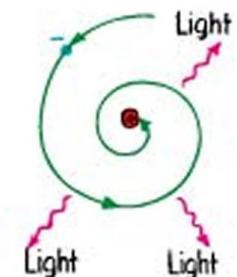


### Základné vlastnosti Bohrovoho modelu:

1. Elektróny sa pohybujú po stacionárnych dráhach (v diskrétnych vzdialenosťach od jadra) bez straty energie.
2. Elektrón stráca alebo získava energiu po kvantoch a to iba pri prechode z jednej energetickej hladiny na inú. Kvantum energie sa popisuje pomocou Planckovej konštanty  $h$ .
3. Je presne určené, ktorá hladina môže obsahovať koľko elektrónov.
4. Spoločne s Rutherfordom vysvetlil atóm vodíka, bol však použitý aj na ďalšie.

Aký bol vlastné problém pri EM interpretácii...?

Ten, že Rutherfordov model by vydržal asi tak  $10^{-12}$  sekundy...  
(elektrón by bol pritiahnutý kladne nabitému jadrom...)

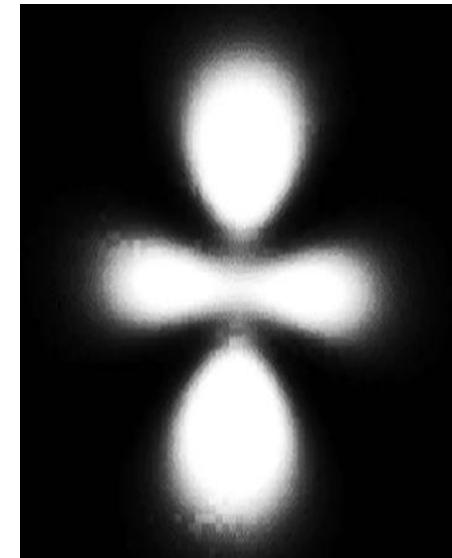
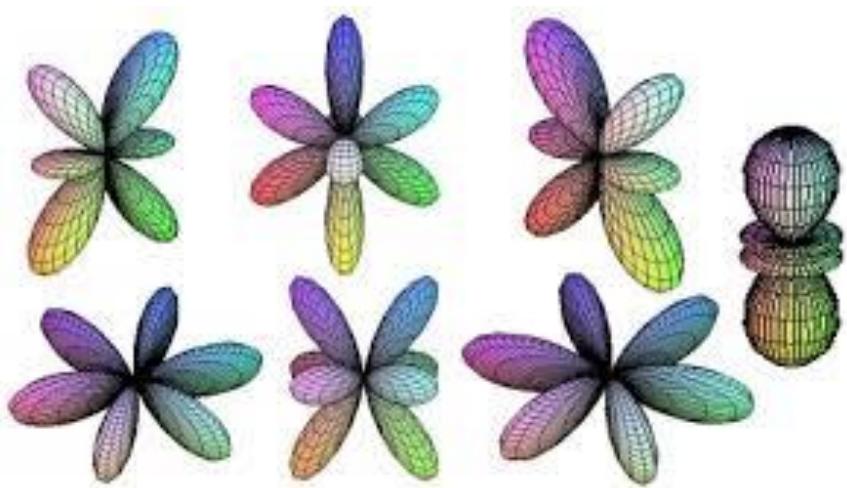


# Atómová fyzika – historický vývoj (11/11)

## Kvantovo-mechanický model atómu:

- 1925-1926 – nemecký fyzik [W. Heisenberg](#) a rakúsky fyzik [E. Schrödinger](#) založili novú fyzikálnu teóriu – tzv. kvantovú mechaniku:

- existujú mikroobjekty, ktoré majú aj časticové aj vlnové vlastnosti a ich stav popisuje tzv. vlnová funkcia  $\psi(x,y,z,t)$ ,
- kvantovo-mechanický model: je to vlastne matematický pravdepodobnostný model

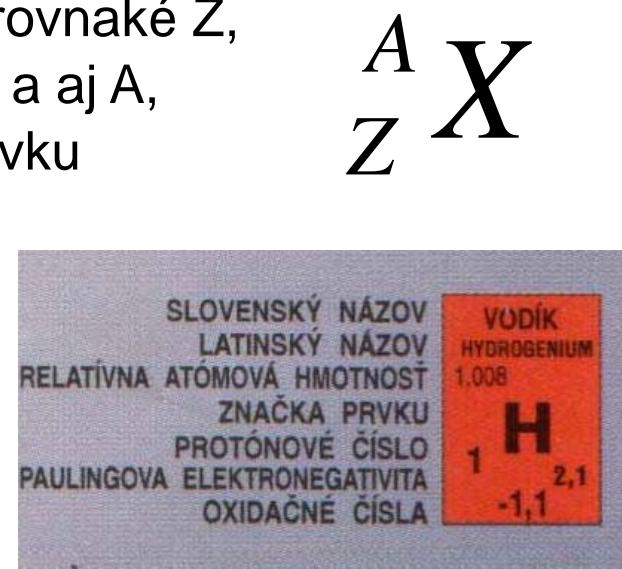
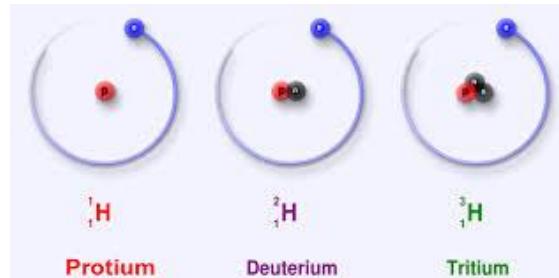


## Atóm - základné charakteristiky:

	atóm	jadro	protón	neutrón	elektrón
priemer	$10^{-10}$ m	$10^{-15}$ m	-	-	-
hmotnosť	$10^{-27}$ kg	$\approx 10^{-27}$ kg	$\approx 1,673 \cdot 10^{-27}$ kg	$\approx 1,675 \cdot 10^{-27}$ kg	$\approx 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg
náboj	0	$+ Z \cdot e$	$+1,602 \cdot 10^{-19}$ C	0	$-1,602 \cdot 10^{-19}$ C

Počet protónov v jadre udáva **protónové číslo** Z, počet neutrónov v jadre udáva **neutrónové číslo** N a počet nukleónov v jadre je **nukleónové číslo** A.

- chemický prvok – látka, ktorej všetky atómy majú rovnaké Z,
- nuklid – látka, ktorej všetky atómy majú rovnaké Z a aj A,
- izotopy – rôzne nuklidy toho istého chemického prvku s rovnakým protónovým, ale rozdielnym nukleónvým číslom (napr.  $^{12}\text{C}$  a  $^{14}\text{C}$ ),



## Jadrové sily:

- 1) odpudivé elektrické sily medzi protónmi (vychádza z elektromagn. interakcie)
  - sú slabé,
- 2) príťažlivé (gravitačné) sily medzi nukleónmi:
  - sú krátkodosahové (do vzdialenosťi  $10^{-15}$  m),
  - sú nezávislé od elektrického náboja, t.j. sú rovnaké medzi p-p, n-n aj p-n,
  - sú nasýtené – nukleón pôsobí iba na istý počet najbližších nukleónov, nie na všetky,
- 3) silná interakcia - drží pohromadé nukleóny, pôsobí iba v jadre atómov – na relatívne malé vzdialenosťi (femtometre,  $10^{-15}$  m)
  - 1932: Heisenberg – hypotéza, že sily sú výmenné = nukleóny si vymieňajú isté častice (menšie ako nukleóny),
  - 1960: Začala sa „nabúravat“ teória o tom, že nukleóny sú elementárne častice (nedeliteľné). A začala sa éra kvarkov... a zavedenie tzv. silnej interakcie.

## Poznámka: Silové interakcie definované v súčasnej fyzike

1. Gravitačná interakcia: pôsobenie hmotných telies navzájom
2. Elektro-magnetická interakcia: pôsobenie elektricky nabitých a zmagnetizovaných častíc (telies)
3. Silná interakcia: vzájomné pôsobenie medzi protónmi a neutrónmi (väčšia mierka) a kvarky a gluóny (menšia mierka)
4. Slabá interakcia: sily, ktorými pôsobia ľahké elementárne častice (leptóny) medzi sebou, má krátke dosah

## Jadrové reakcie:

- **jadrová premena** = proces zmeny v jadre, ktorý nastáva samovolne alebo vonkajším zásahom,
- **jadrová reakcia** = jadrová premena vyvolaná interakciou jadier navzájom alebo s inými mikročasticami (napr. ostreľovaním jadra urýchlenými mikročasticami),
  - platia zákony zachovania:

zákon zachovania hmotnosti a energie,

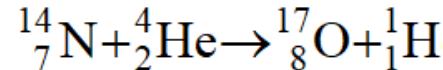
zákon zachovania elektrického náboja,

zákon zachovania počtu nukleónov,

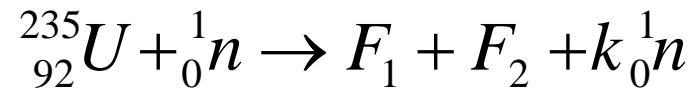
zákon zachovania hybnosti,

- delenie jadrových reakcii podľa priebehu:

**transmutácia** = Z a A nového vzniknutého jadra sa iba málo líši od terčového jadra



**štiepenie** = terčové jadro sa rozštiepi na 2 jadrá, ktorých Z a A sa výrazne odlišujú od terčového



**trieštenie** = terčové jadro sa rozpadne na veľa častíc a nové jadro, ktoré sa podstatne líši od terčového

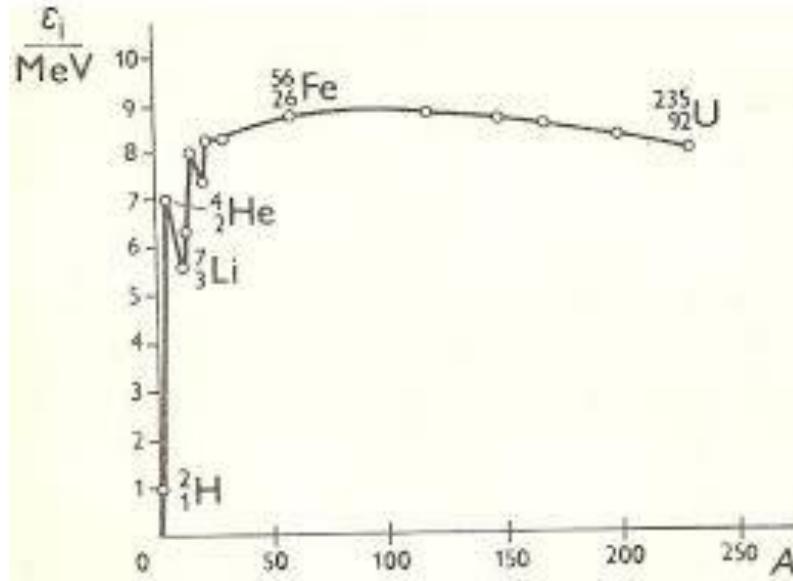


## Väzbová energia jadra:

- pri vzniku jadra pôsobia medzi nukleónmi príťažlivé sily, ktoré konajú prácu, preto sa pri zmene energie sústavy nukleónov zmenší,
- zmenšeniu energie  $\Delta E$  zodpovedá podľa Einsteinovho vzťahu zmenšenie hmotnosti  $\Delta m$ :  
$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$
, kde  $c$  je rýchlosť svetla (bolo dokázané presnými meraniami),
- presné merania dokázali, že existuje **hmotnostný úbytok jadra**, t.j. že pokojová hmotnosť jadra  $m_j$  je vždy menšia ako súčet pokojových hmotností nukleónov
- z toho vyplýva, že **pri vzniku jadra z jednotlivých nukleónov sa uvoľňuje energia** → celková energia  $E_j$ , ktorá sa uvoľní pri vytváraní jadra, sa nazýva **väzbová energia jadra**.
- Platí aj opačne, že túto energiu treba dodat' na rozloženie jadra na jednotlivé nukleóny
- veľkosť väzbovej energie: od 2,23 MeV u najľahšieho deuterónu do 1640 MeV pre najťažšie stabilné jadro  $_{83}^{209}\text{Bi}$  (väzbová energia pre H je 13,6 MeV)

Pozn.: **Elektrónvolt** (značka eV) je fyzikálna jednotka energie. Jeden elektrónvolt je rovný kinetickej energii, ktorú získa jeden neviazaný elektrón pri prechode medzi dvomi bodmi s rozdielom elektrostatického potenciálu rovným jednému voltu, vo vákuu.  
 $1\text{ eV} = 1,602\ 176\ 53 \cdot 10^{-19}\text{ J}$  (veľmi malé množstvo energie).

## Väzbová energia jadra:



Prirovnanie veľkosti väzobnej energie k uvoľnenému teplu:

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}, \quad 1 \text{ J} = 2,39 \cdot 10^{-4} \text{ kcal}, \quad 1 \text{ MeV} = 3,83 \cdot 10^{-17} \text{ kcal}$$

Napr. typická väzbová energia  $8 \text{ MeV/nukleón} = 1,85 \cdot 10^{11} \text{ kcal/kg}$

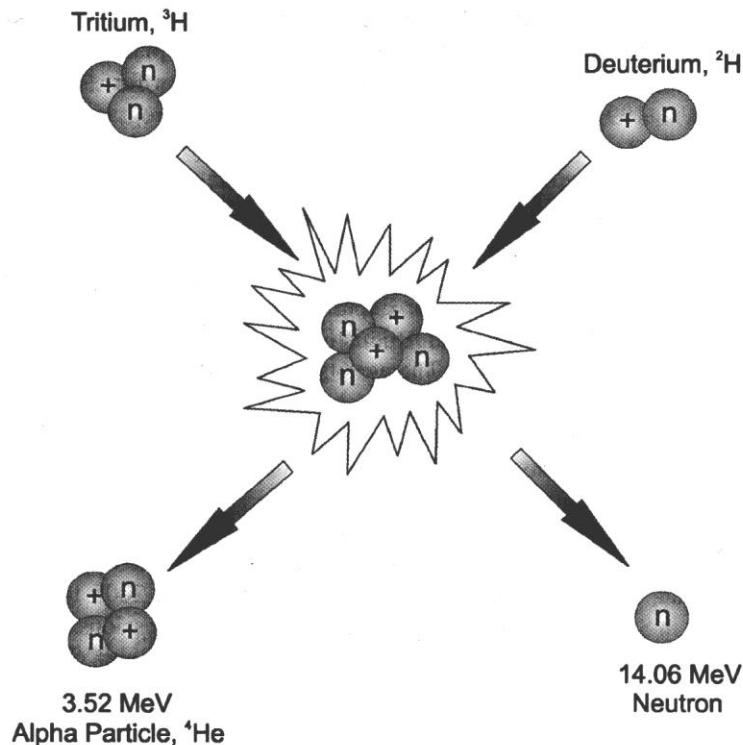
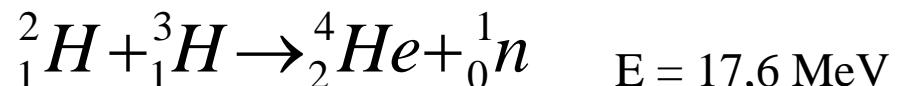
Pre porovnanie: výparné teplo vody =  $540 \text{ kcal/kg}$ ,  
teplo zo spal'ovania benzínu =  $1,13 \cdot 10^4 \text{ kcal/kg}$ .

## Jadrové premeny ako zdroj energie:

- jadrová energia = energia uvoľnená pri jadrovej reakcii, čo nastáva vtedy, ak vznikajúce jadrá majú väčšie väzbové energie ako jadrá vstupujúce do reakcie,

## Spôsoby uvoľnenia jadrovej energie:

1. Syntéza ľahkých jadier (fussion) = jadrová reakcia, pri ktorej sa spoja jadrá s malým A, pričom vznikne jadro s väčším A.



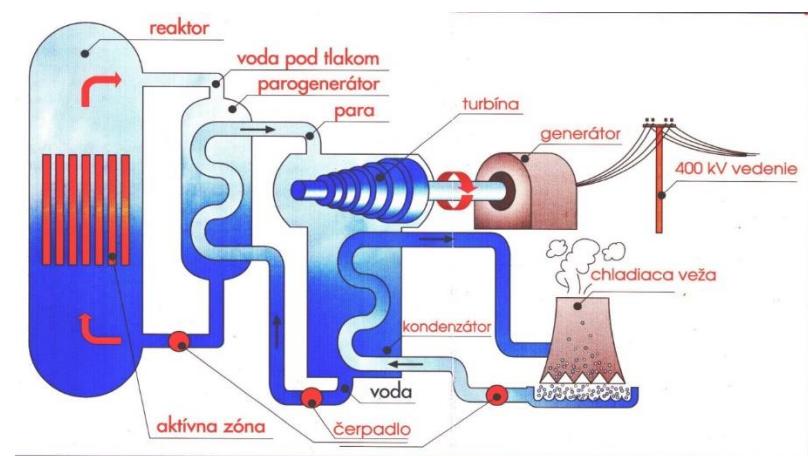
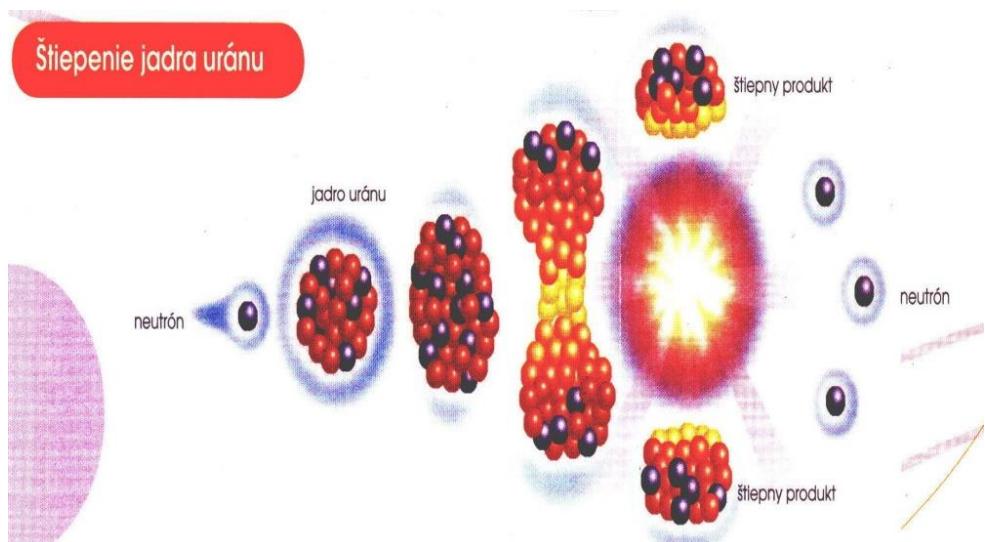
- energia na prekonanie odpudivých elektrostatických síl jadier pri priblížení na vzdialenosť  $10^{-15} \text{ m}$  sa dodá zvýšením teploty na  $10^7 \text{ K}$  a viac = **termojadrová reakcia** (zdroj energie hviezd)
- neriadená = vodíková bomba
- riadená – perspektívny zdroj energie (ešte nerealizovaná v praxi)

## Jadrové premeny ako zdroj energie:

2. štiepenie ľažkých jadier (jadrový rozpad, fission) = jadrová reakcia, pri ktorej sa jadro s veľkým A premení na 2 stredne ľažké jadrá (štiepne produkty – väčšinou rádioaktívne).



- z jadra uránu sa uvoľní asi 200 MeV,
- vznikajúce neutróny môžu vyvolat' ďalšie štiepenie = **ret'azová štiepna reakcia**
- riadená ret'azová štiepna reakcia prebieha v jadrovom reaktore jadrovej elektrárne; neriadená v jadrovej (atómovej) bombe



## Rádioaktivita:

Rádioaktivita = proces, pri ktorom nestabilné atómové jadro samovoľne podlieha premene (rozpadu), ktorá je sprevádzaná vysielaním (emisiou) jadrových častíc a/alebo elektromagnetického žiarenia do okolia.

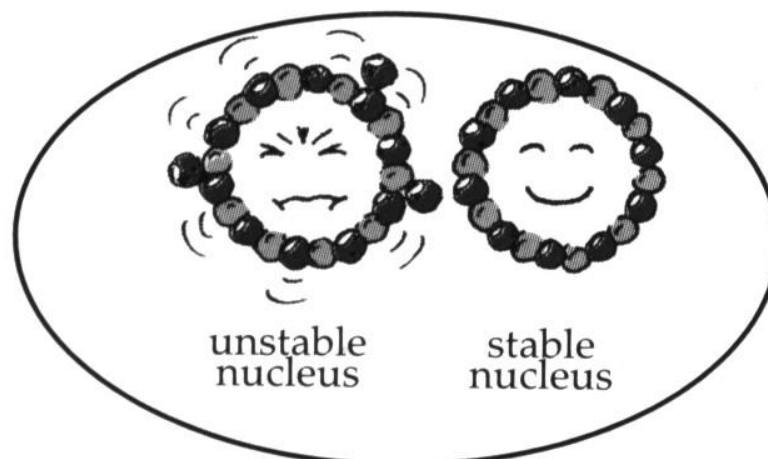
Prirodzená (prírodná) rádioaktivita = ak sa príslušné nestabilné rádioaktívne izotopy chemických prvkov vyskytujú v prírode,

- 1896 – objavil ju H. Becquerel,
- intenzívne ju skúmali manželia Mária Skłodowská-Curie a Pierre Curie.

Umelá rádioaktivita = ak rádioaktívne jadrá vznikajú umelou cestou pri jadrových reakciach

- 1934 – objavili ju manželia Joliot-Curie.

Rádioaktívne (jadrové) žiarenie = tok jadrových častíc (korpuskulárne, časticové) a/alebo tok elektromagnetického žiarenia uvoľnených pri jadrových premenách.

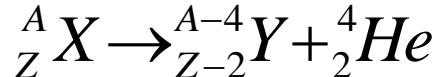


## Rádioaktívne (jadrové) premeny:

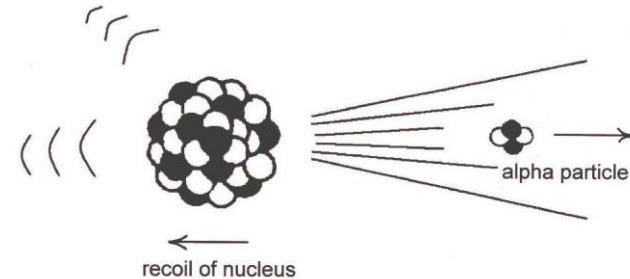
Jadrové premeny – vznikajú v dôsledku vnútornej nestability jadier atómov alebo pôsobením externého žiarenia na atómy hmoty.

### Typy jadrových premení:

1. premena (rozpad, emisia) alfa ( $\alpha$ )



žiarenie sú alfa čästice (héliové jadrá)



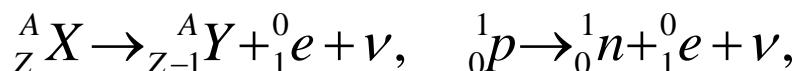
2. premena (rozpad, emisia) beta ( $\beta$ )

žiarenie sú emitované elektróny plus antineutrína

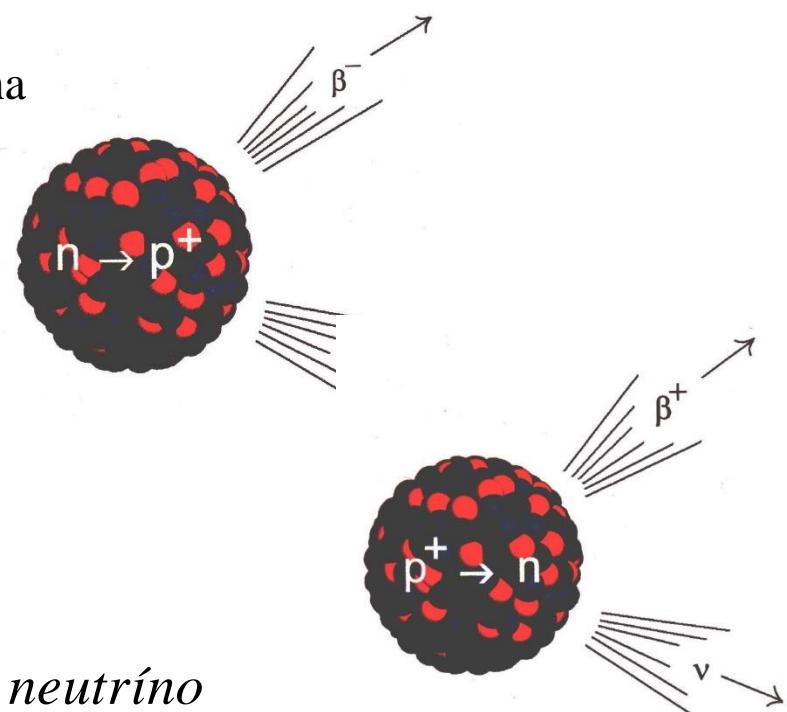


kde  $\tilde{\nu}$  je antineutríno

- premena  $\beta^+$

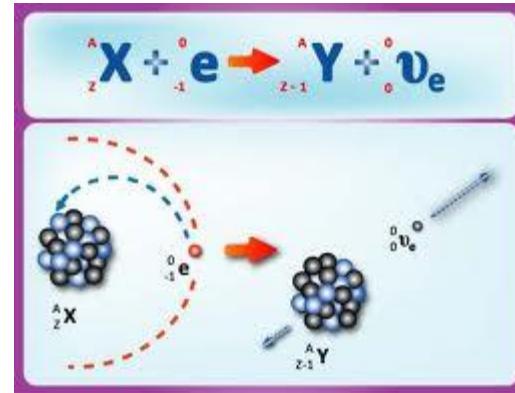
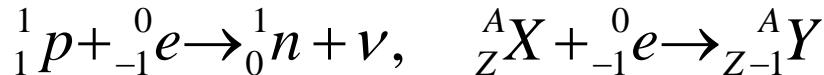


kde  ${}^0_1 e$  je pozitrón(anti-elektrón) a  $\nu$  je neutríno

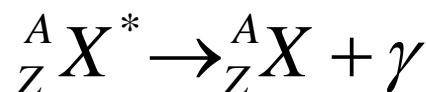


## Rádioaktívne (jadrové) premeny:

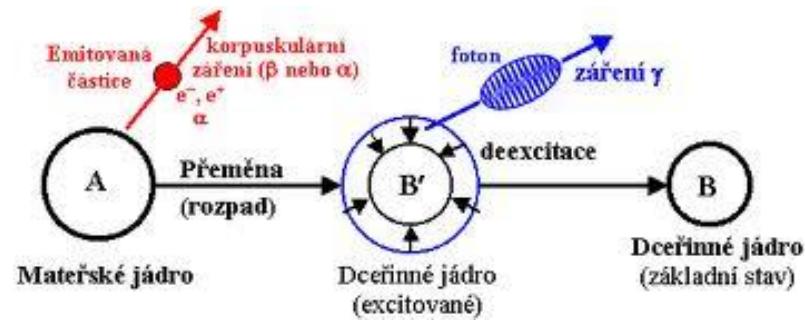
### 3. K-záchyt elektrónu



4. **izomérny prechod** = je to rozpad izomérneho stavu, t.j. vzbudeného stavu s dlhou dobou života u jadier niektorých nuklidov
5. **štiepenie jadier** = je to rozštiepenie jadra na dve časti s nerovnakou hmotnosťou, pričom dochádza k uvoľneniu neutrónov alebo iných častíc
6. **premena gama ( $\gamma$ )** – môže sprevádzat' ostatné premeny



kde X je jadro v nižšom energetickom stave ako  $X^*$



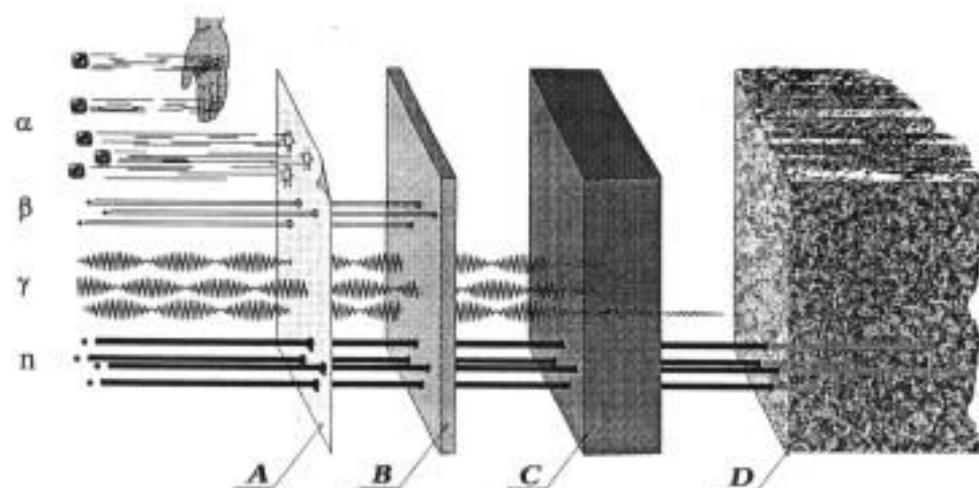
## Rádioaktívne (jadrové) žiarenie:

Rádioaktívne (jadrové) žiarenie = prúd (tok) nabitých častíc, neutrónov alebo kvánt gama žiarenia, ktoré doprevádzajú premeny rádionuklidov.



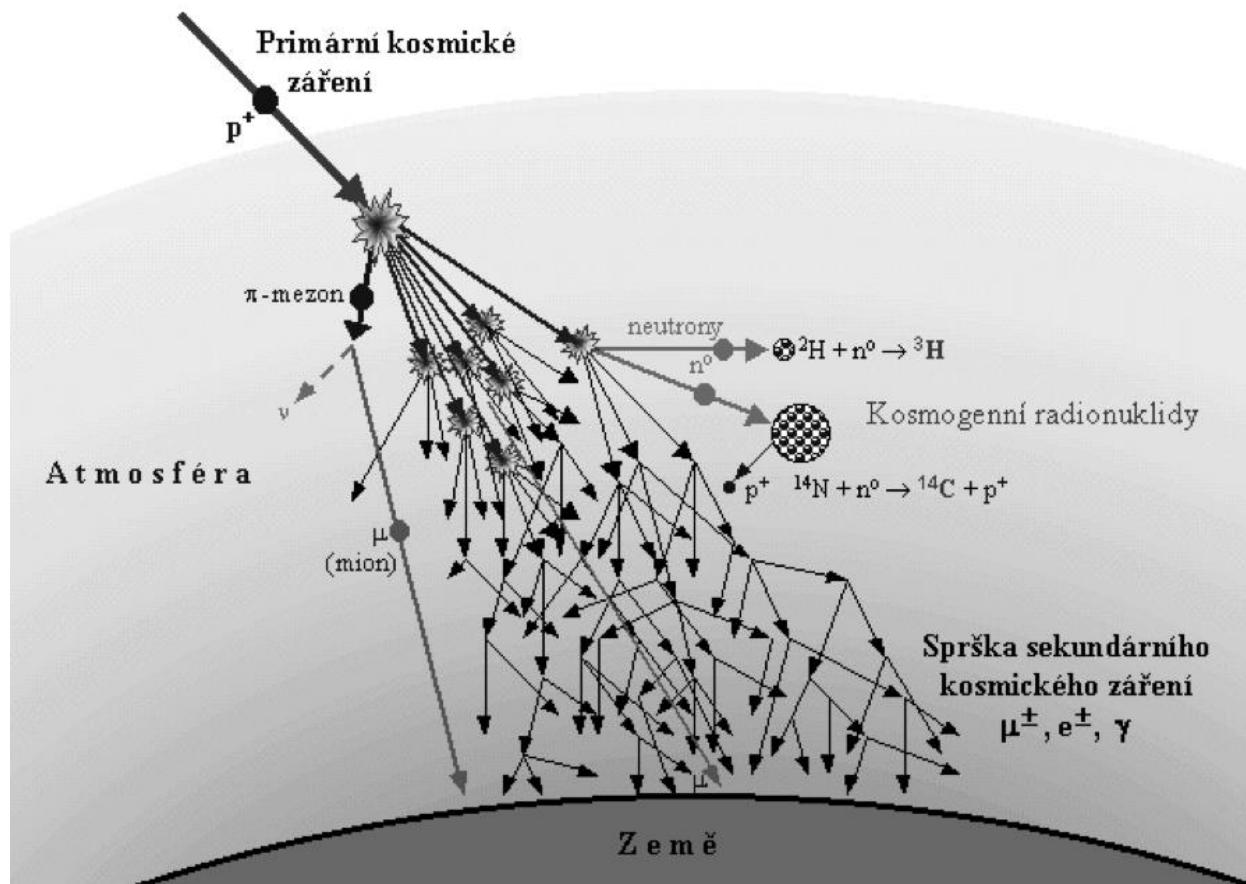
### Druhy jadrového žiarenia:

1. **žiarenie alfa ( $\alpha$ )** (1899, Rutherford) – časticové žiarenie tvorené kladnými jadrami hélia  
- veľká hmotnosť, veľké rozmery, veľký kladný náboj ( $2+$ ), silná ionizácia okolia, malý dolet
2. **žiarenie beta ( $\beta$ )** (1899, Rutherford) – časticové žiarenie tvorené bud' elektrónmi  $e^-$  ( $\beta^-$ ) alebo pozitrónmi  $e^+$  ( $\beta^+$ )  
- malá hmotnosť, malé rozmery, jednotkový – alebo + náboj, slabšia ionizácia prostredia, až rýchlosť svetla, väčší dolet
3. **žiarenie gama ( $\gamma$ )** (1900, Villard) – elektromagnetické žiarenie, bez náboja, rýchlosť svetla, slabá ionizácia prostredia, veľký dolet a dobrá priechodnosť hmotou



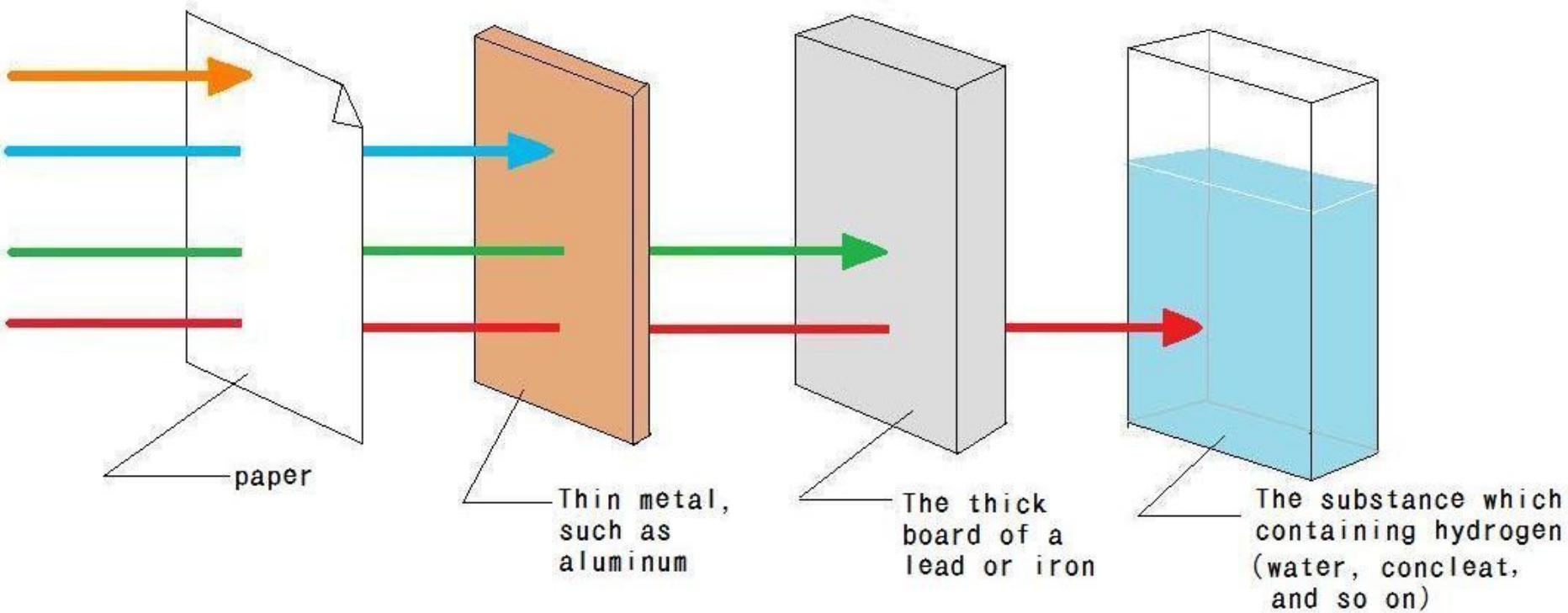
## Rádioaktívne (jadrové) žiarenie:

4. žiarenie neutrónové (1932, Chadwick) – časticové žiarenie tvorené neutrálnymi neutrónmi - väčšia hmotnosť ako u  $\beta$ , malé rozmery, bez náboja, energetické vybudenie (excitácia) prostredia, široký interval rýchlosťí a energií, veľký dolet a dobrá priechodnosť hmotou
5. žiarenie kozmické – prúd nabitych častíc ( $\alpha$ ,  $p$ ), ktoré podmieňujú pri prechode zemskou atmosférou vznik sekundárneho žiarenia rôzneho druhu.

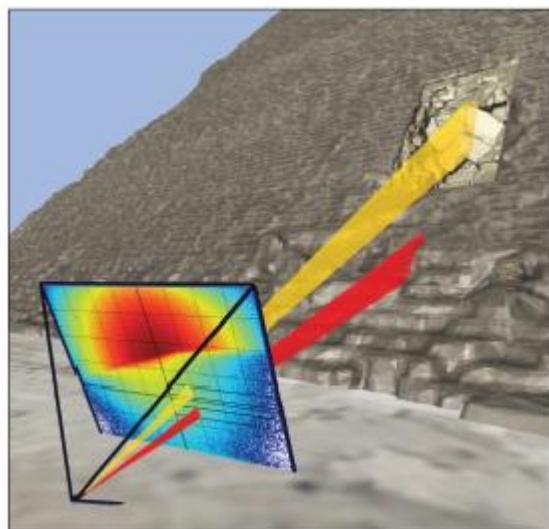
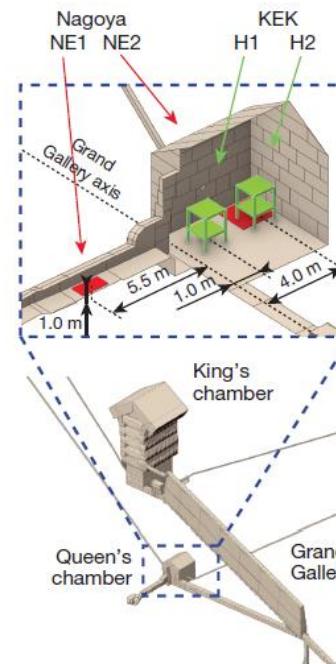


### Prienik rôznych druhov rádioaktívneho žiarenia:

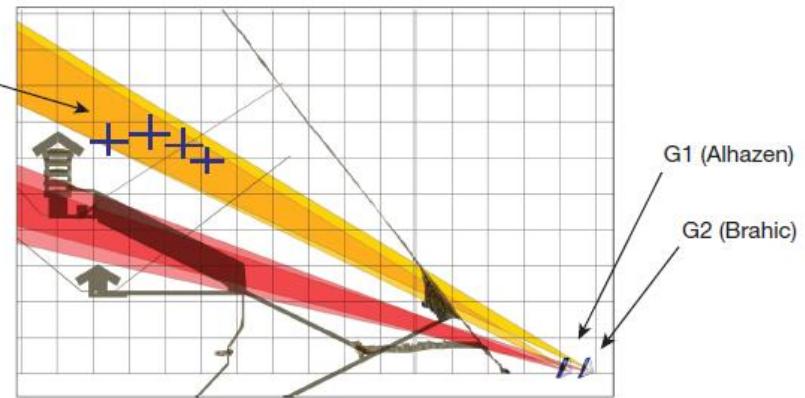
- Orange arrow: Alpha rays
- Blue arrow: Beta rays
- Green arrow: Gamma rays and X-ray
- Red arrow: Neutron radiation



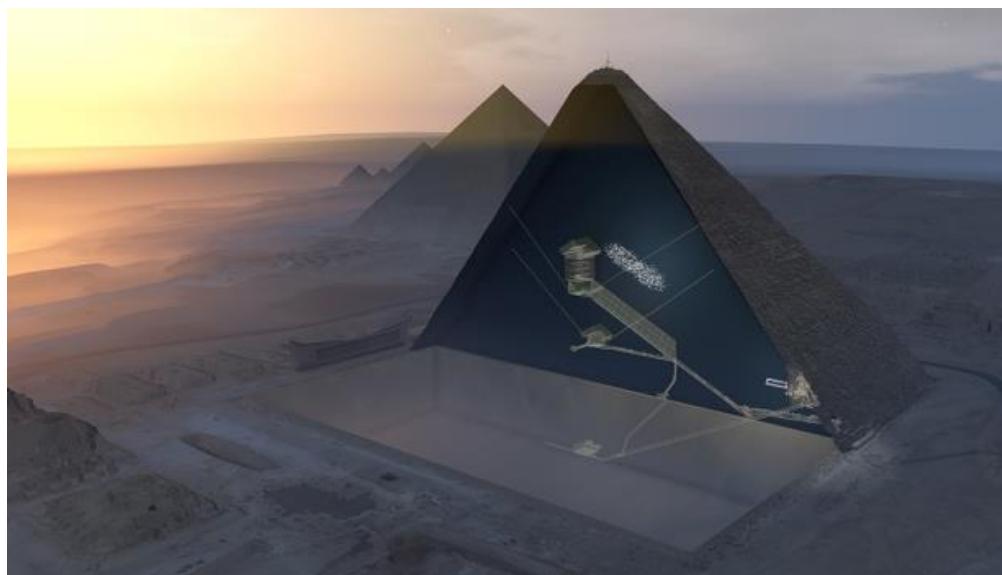
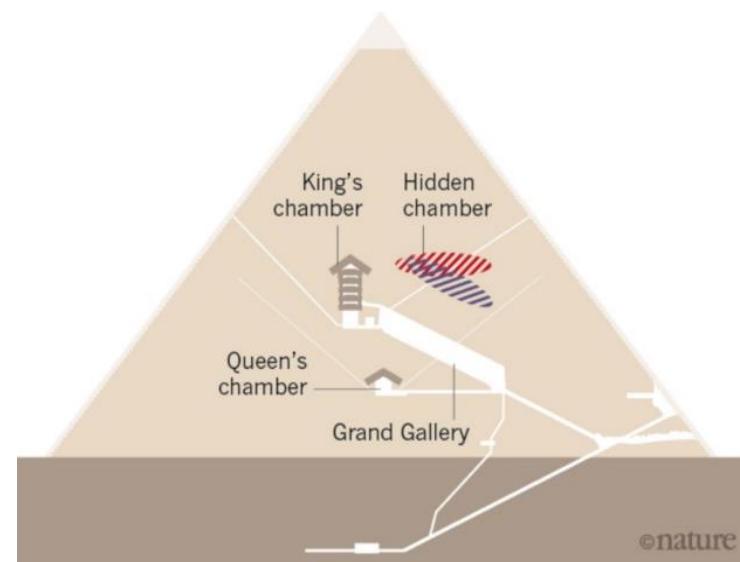
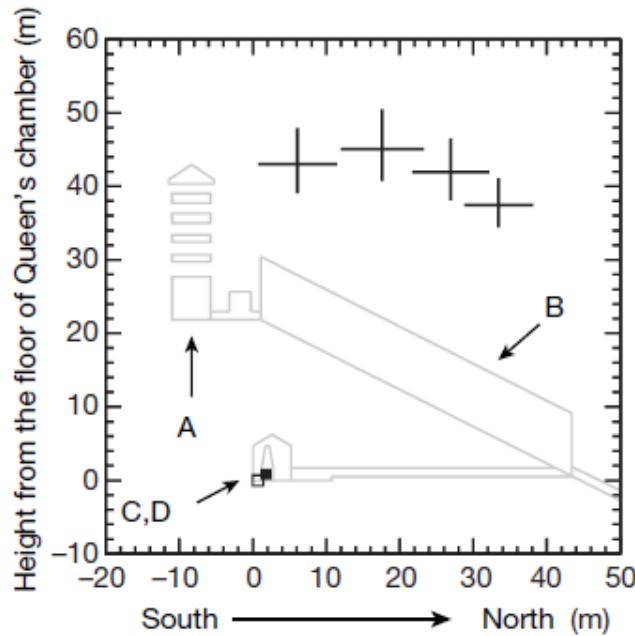
Zaujímavosť – objavenie novej dutiny (tzv. Big Void) v Cheopsovej pyramíde pomocou registrácie kozmického žiarenia (muóny).



Triangulation positions  
from Nagoya University



Zaujímavosť – objavenie novej dutiny (tzv. Big Void) v Cheopsovej pyramíde pomocou registrácie kozmického žiarenia (muóny).



## Zákon rádioaktívneho rozpadu (premeny):

- rádioaktívna premena je náhodný proces = nedá sa určiť, ktoré jadro sa v danom okamihu premení, ale možno určiť, koľko jadier sa premení v istom časovom intervale
- 1900 – E. Rutherford a F. Soddy formulovali **ZÁKON RÁADIOAKTÍVNEJ PREMENY (ROZPADU)**

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

kde  $N(t)$  je počet nepremenených jadier v čase  $t$ ,

$N_0$  je počet nepremenených jadier na začiatku v čase  $t = 0$ ,

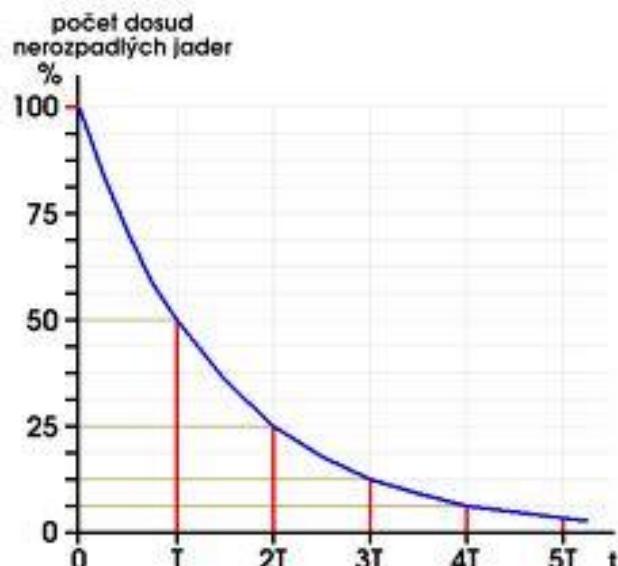
$\lambda$  je tzv. premenová (rozpadová) konštantá konkrétneho nuklidu.

**Polčas premeny (rozpadu)  $T$**  alebo  $T_{1/2} =$  je doba potrebná na premenu polovice z počiatočného počtu jadier daného nuklidu:

$$T = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda .$$

Polčas rozpadu sa mení od  $3 \cdot 10^{-7}$  s do  $5 \cdot 10^{15}$  r.

Táto skutočnosť sa využíva pri časovom datovaní látky.



## Rádioaktívne prvky:

Prírodné rádionuklidy = vyskytujú sa vo všetkých prírodných sférach, ich jadra sa samovoľne premieňajú v dôsledku vnútornej nestability, bez vonkajšieho zásahu

- cca 230: v troch prírodných rádioaktívnych rozpadových radoch alebo samostatne

Rad	Materské jadro	Polčas premeny (roky)	Stabilný konečný produkt
Tóriový	$_{90}\text{Th}^{232}$	$1,39 \cdot 10^{10}$	$_{82}\text{Pb}^{208}$
Uránový	$_{92}\text{U}^{238}$	$4,51 \cdot 10^9$	$_{82}\text{Pb}^{206}$
Aktíniový	$_{92}\text{U}^{235}$	$7,07 \cdot 10^8$	$_{82}\text{Pb}^{207}$

- samostatne:  $^{40}\text{K}$ ,  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{87}\text{Rb}$  a ďalšie

Umelé (antropogénne) rádionuklidy = vznikajú ako dôsledok činnosti človeka pôsobením neutrónov, nabitych častíc a žiarenia gama na jadra stabilných prvkov alebo pri štiepení jadier tăžkých prvkov

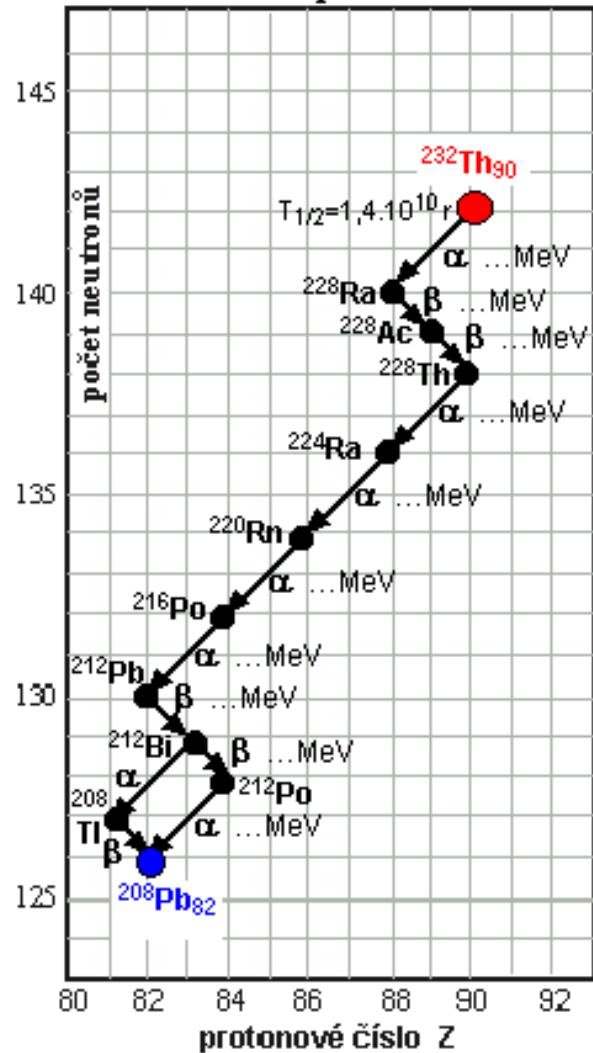
- cca 800: jeden rozpadový rad alebo samostatne

Rad	Materské jadro	Polčas premeny (roky)	Stabilný konečný produkt
Neptúniový	$_{93}\text{Np}^{237}$	$2,25 \cdot 10^6$	$_{83}\text{Bi}^{209}$

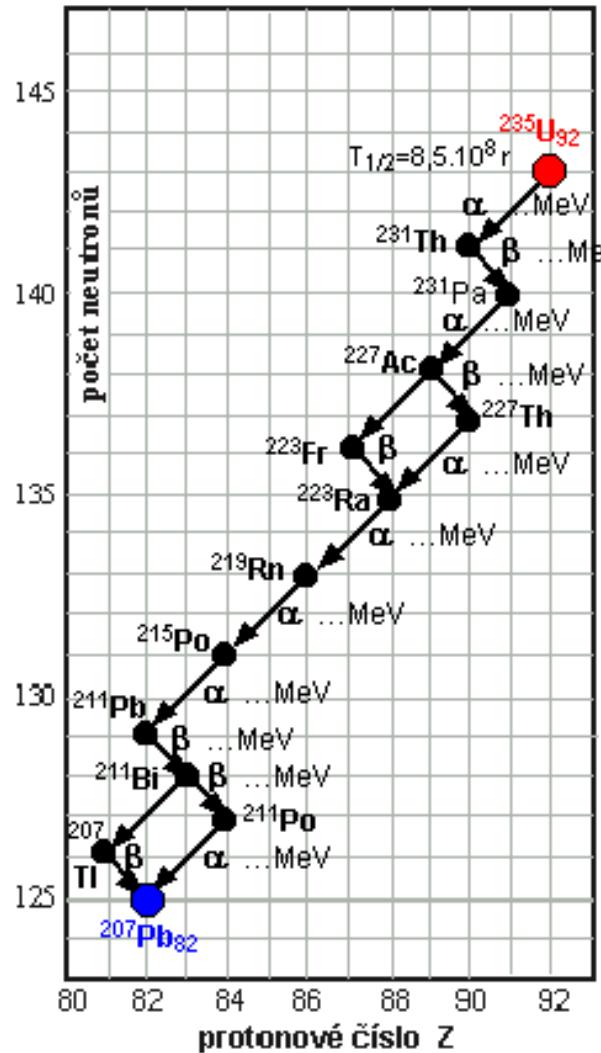
- samostatne:  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  a ďalšie

# 3 prirodzené rozpadové rádioaktívne rady: $^{232}\text{Th}$ , $^{235}\text{U}$ , $^{238}\text{U}$

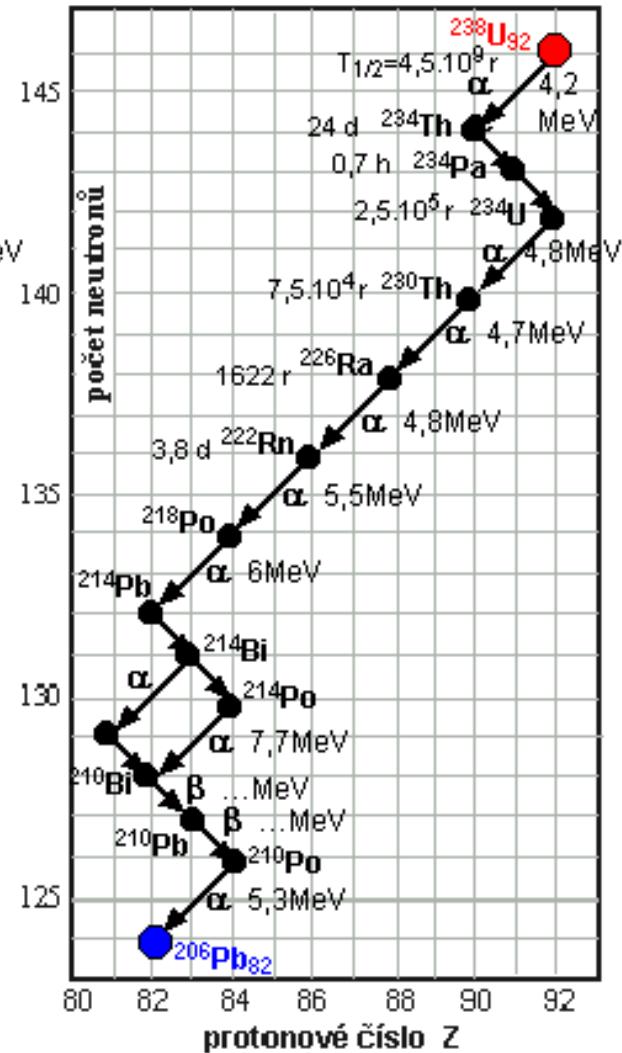
Thoriová rozpadová řada



Uranová řada  $^{235}\text{U}$



Uranová řada  $^{238}\text{U}$



# Rádionuklidové metódy v geológii

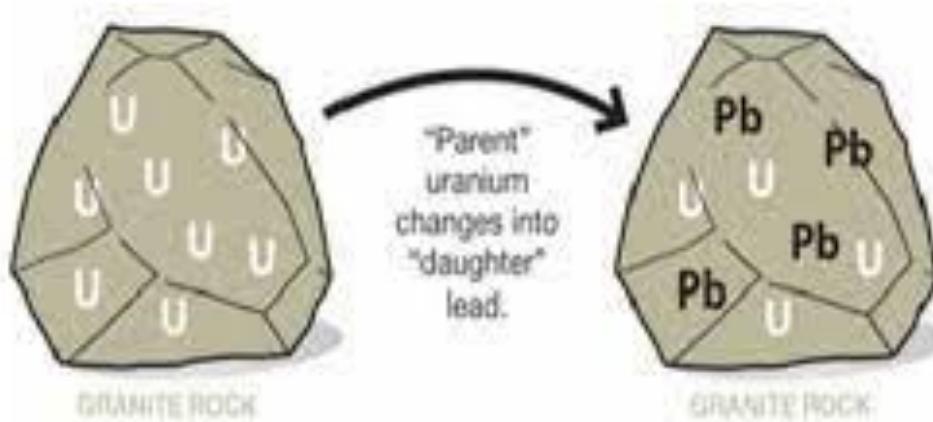
Jedna z najstarších datovacích metód v geológii: metóda Urán – Olovo.

Využíva oba prirodzené rozpadové rady uránu:

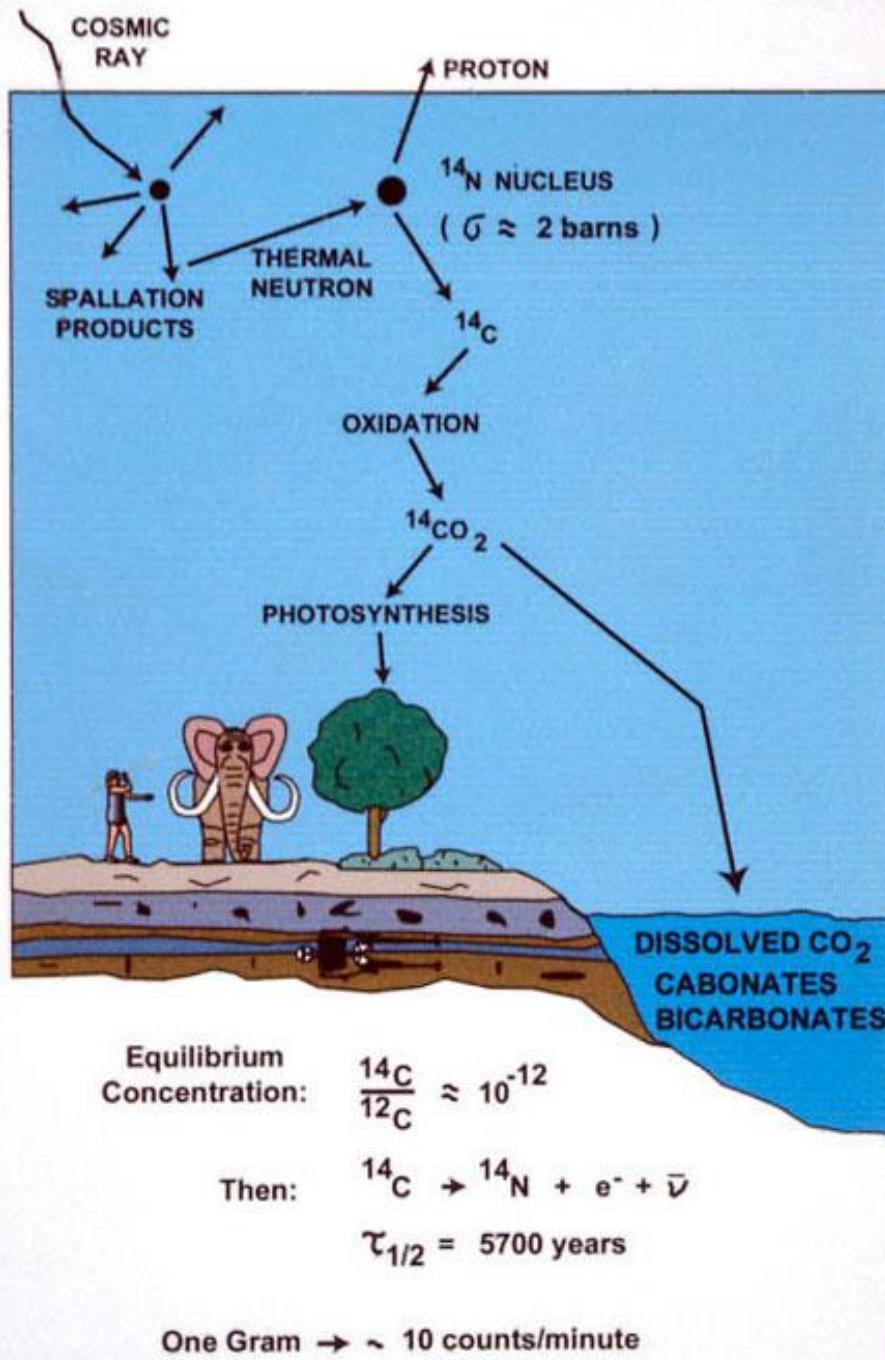
- Uránový ( $^{238}\text{U}$ ) má sumárny polčas rozpadu 4.47 miliardy rokov,
- Aktíniový ( $^{235}\text{U}$ ) má tento polčas rozpadu 710 miliónov rokov.

Je použiteľný na datovanie vzoriek (minerálov) v intervale od **1 miliónu rokov po cca. 4.5 miliardy rokov**.

Najčastejšie sa realizuje na mineráloch: zirkón, monazit, titanit...



Ďalšie rádionuklidové datovacie metódy v geológii:  
draslík-argónová metóda (K-Ar),  
rubídium-stronciová m. (Rb-Sr),  
atď.

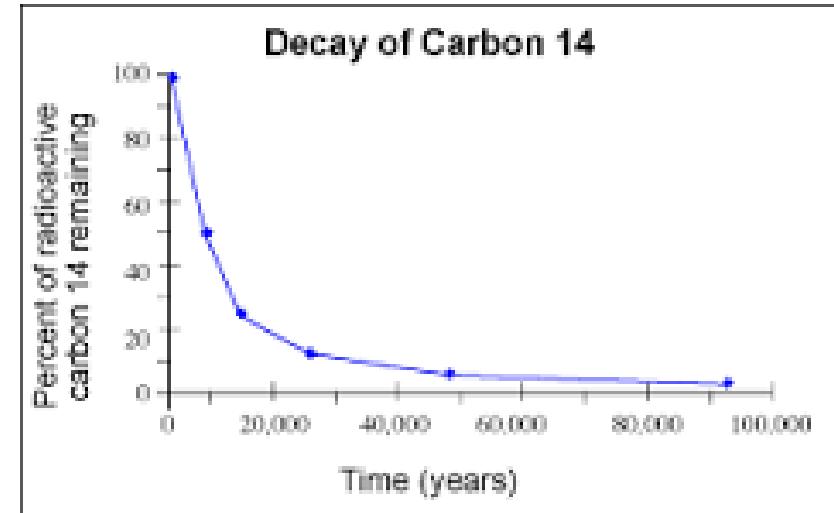


## Princíp datovania metódou $^{14}\text{C}$ (tzv. rádiokarbónová metóda)

koncentrácie izotopov uhlíka v prírode:

$^{12}\text{C}$  – 98.89 %,  $^{13}\text{C}$  – 1.11 % a

$^{14}\text{C}$  – 0.00000000010 %



Polčas rozpadu  $^{14}\text{C}$ : 5700 rokov,  
vhodná pre materiály mladšie ako  
50,000 rokov  
(len pre organické materiály).

Používa sa najmä v archeológii  
a v iných historických vedách.

# Využitie merania rádioaktivity v geológii:

- štúdium genézy a datovanie hornín,
  - geologické mapovanie,
  - vyhľadávanie a prieskum ložísk nerastných surovín,
  - vyhľadávanie a prieskum rádioaktívnych surovín,
  - odhad radiačného a radónového rizika,
  - hodnotenie kvality životného prostredia.

Najdôležitejšie prírodné rádionuklidy (mapovanie):  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  a  $^{232}\text{Th}$

