



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Základní poznatky z jaderné fyziky

Ing. Stanislav Jakoubek

Přehled studijních materiálů

Číslo DUMu	Název DUMu
<u>III/2-1-3-11</u>	<u>Stavba a vlastnosti atomového jádra</u>
<u>III/2-1-3-12</u>	<u>Přirozená radioaktivita</u>
<u>III/2-1-3-13</u>	<u>Jaderné reakce</u>
<u>III/2-1-3-14</u>	<u>Štěpení jádra uranu. Řetězová reakce</u>
<u>III/2-1-3-15</u>	<u>Termonukleární reakce</u>
<u>III/2-1-3-16</u>	<u>Příklady využití jaderné energie</u>

Stavba a vlastnosti atomového jádra

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Vybrané partie z fyziky pro IV. ročník středních technických škol
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-1-3
Číslo DUMu	III/2-1-3-11
Anotace	V tomto úvodním DUMu se seznámíme se základními stavebními kameny atomového jádra. Poznáme základní charakteristiky atomových jader, jako je elektrický náboj, vazebná energie, hmotnostní schodek atd. Rovněž porozumíme základní terminologii v jaderné fyzice.

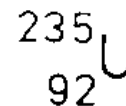
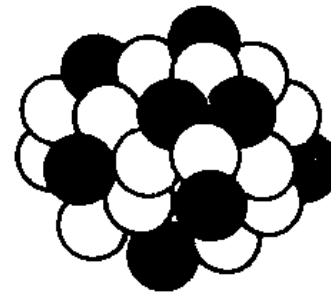
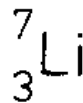
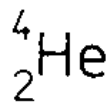
Úkoly jaderné fyziky

- ▶ Zkoumá složení a strukturu atomových jader
- ▶ Zkoumá zákonitosti přeměn jader (přirozené i umělé jaderné reakce)
- ▶ Využití jaderné fyziky v praxi (výroba elektřiny, využití v lékařství, v průmyslu, v archeologii, ...)

Atomové jádro

- ▶ Soustava částic, z nichž nejzákladnější jsou protony a neutrony.
- ▶ Protony + neutrony = nukleony
- ▶ Nejdůležitější veličiny jádra:
 - Elektrický náboj
 - Hmotnost jádra
 - Hmotnostní schodek
 - Vazebná energie

Atomové jádro – schéma



Elektrický náboj jádra

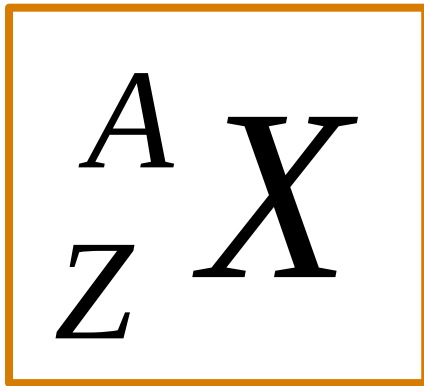
$$Q_j = Ze$$

Z ... protonové číslo
e ... elementární náboj

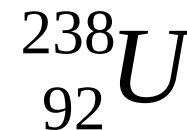
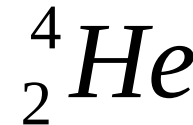
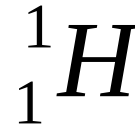
V současné době (2012) je prokázána existence 118 prvků.

Označení jádra

- ▶ Z ... protonové číslo
- ▶ N ... neutronové číslo (udává počet neutronů v jádře)
- ▶ $A=Z+N$... nukleonové číslo (udává počet všech nukleonů v jádře)



Například:



Nuklid, izotop, prvek

- ▶ Nuklid je látka složená ze stejných jader (se stejným Z i A)
- ▶ Prvek je látka složená z atomů se stejným protonovým číslem Z . Nukleonové číslo se může lišit. Všechny tyto atomy mají stejné chemické vlastnosti.
- ▶ Izotopy se liší pouze nukleonovými čísly.

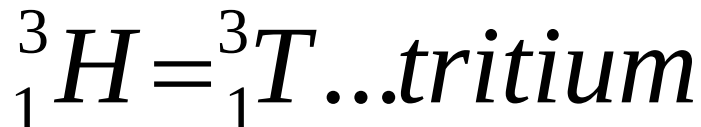
Izotopy vodíku



$$Z=1, A=1, N=0$$



$$Z=1, A=2, N=1$$



$$Z=1, A=3, N=2$$

Poznámky:

- Deuterium a tritium se někdy nazývají **těžký vodík**.
- D_2O , T_2O ... tzv. **těžká voda** a **tritiová voda**
- Existuje i **polotěžká voda** HDO

Jaderné síly

- ▶ V jádře jsou stejně nabitě protony $\Rightarrow$ odpuzují se
- ▶ Jádra ale drží pohromadě $\Rightarrow$ musí existovat nějaké další přitažlivé síly, které jsou silnější, než elektrické síly plynoucí z Coulombova zákona
- ▶ Nazývají se **jaderné síly**

Vlastnosti jaderných sil

- ▶ Jsou přitažlivé
- ▶ Nezávisí na druhu nukleonu (jsou stejné mezi dvěma protony, dvěma neutrony i mezi protonem a neutronem)
- ▶ Mají velmi krátký dosah (řádově 10^{-15} m)

Poznámka:

$$R_{\text{jádra}} \doteq 1,3 \cdot 10^{-15} \cdot \sqrt[3]{A}$$

Hmotnost jádra, hmotnostní schodek

- ▶ Předpoklad: hmotnost jádra se rovná součtu hmotností částic, ze kterých je složeno.
- ▶ Ve skutečnosti: hmotnost jádra **je o něco menší**, než součet hmotností jeho částic
- ▶ Rozdíl předpokládané a skutečné hmotnosti se nazývá **hmotnostní schodek**. Označuje se B .

Vysvětlení hmotnostního schodku

- ▶ Pomocí teorie relativity a vzorce pro ekvivalenci mezi energií a hmotou (známý vzorec $E=mc^2$)

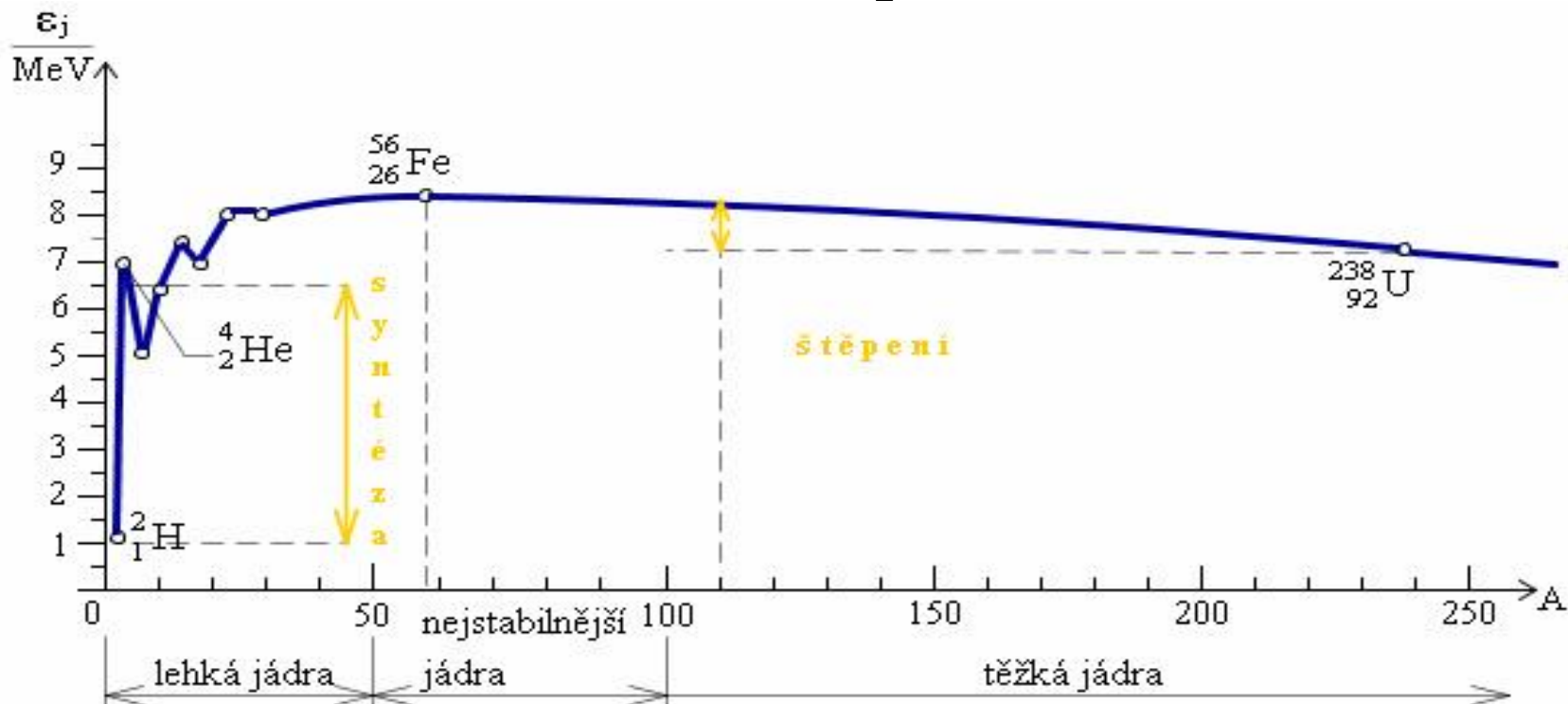
$$E_j = Bc^2$$

E_j ... **vazebná energie jádra**. Díky této energii drží jádro pohromadě. Čím je hmotnostní schodek (tím pádem i E_j větší, tím je jádro stabilnější.

Vazebná energie připadající na jeden nukleon

$$\varepsilon_j = \frac{E_j}{A}$$

Pro různá jádra je různý. Je to energie potřebná k vytržení nukleonu z jádra.



Příklad

- Určete vazebnou energii připadající na jeden nukleon deuteria.

$$m_j \doteq 3,34340932 \cdot 10^{-27} \text{ kg}, m_p + m_n \doteq 3,3473743 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$B = 3,96408 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

$$E_j = Bc^2 = 3,96408 \cdot 10^{-30} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \text{ J} = 3,567672 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$\varepsilon_j = \frac{E_j}{A} = \frac{3,567672 \cdot 10^{-13}}{2} \text{ J} = 1,783836 \cdot 10^{-13} \text{ J} \doteq 1,11 \text{ MeV}$$

Literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan et al. *Fyzika IV pro studijní obory středních odborných učilišť*. 2. vyd. Praha: SPN, 1989. 212 s. Učebnice pro střední školy.
- ▶ [2] AUTOR NEUVEDEN. *Atomové jádro* [online]. [cit. 6.2.2013]. Dostupný na WWW:
http://www.studopory.vsb.cz/studijnimaterialy/Sbirka_Fyzika/4_5_Atomove_jadro.pdf



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Přirozená radioaktivita

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Vybrané partie z fyziky pro IV. ročník středních technických škol
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-1-3
Číslo DUMu	III/2-1-3-12
Anotace	V této kapitole se seznámíme s přirozenou radioaktivitou. Dozvíme se, za jakých okolností byla objevena. Poznáme tři, i když vlastně čtyři druhy radioaktivního záření a jeho vlastnosti. Pochopíme pojem přeměnová řada. Vysvětlíme si aktivitu zářiče a na ukázce z archeologie si ukážeme, k čemu také může být dobré o radioaktivitě něco vědět.

Přirozená radioaktivita

- ▶ Pro stabilní nuklidy platí, že na rozložení jejich jader na nukleony je potřeba vynaložit značné množství energie.
- ▶ Existují však takové nuklidy, jejichž jádra se přeměňují samovolně.
- ▶ Tato vlastnost se nazývá **přirozená radioaktivita**.

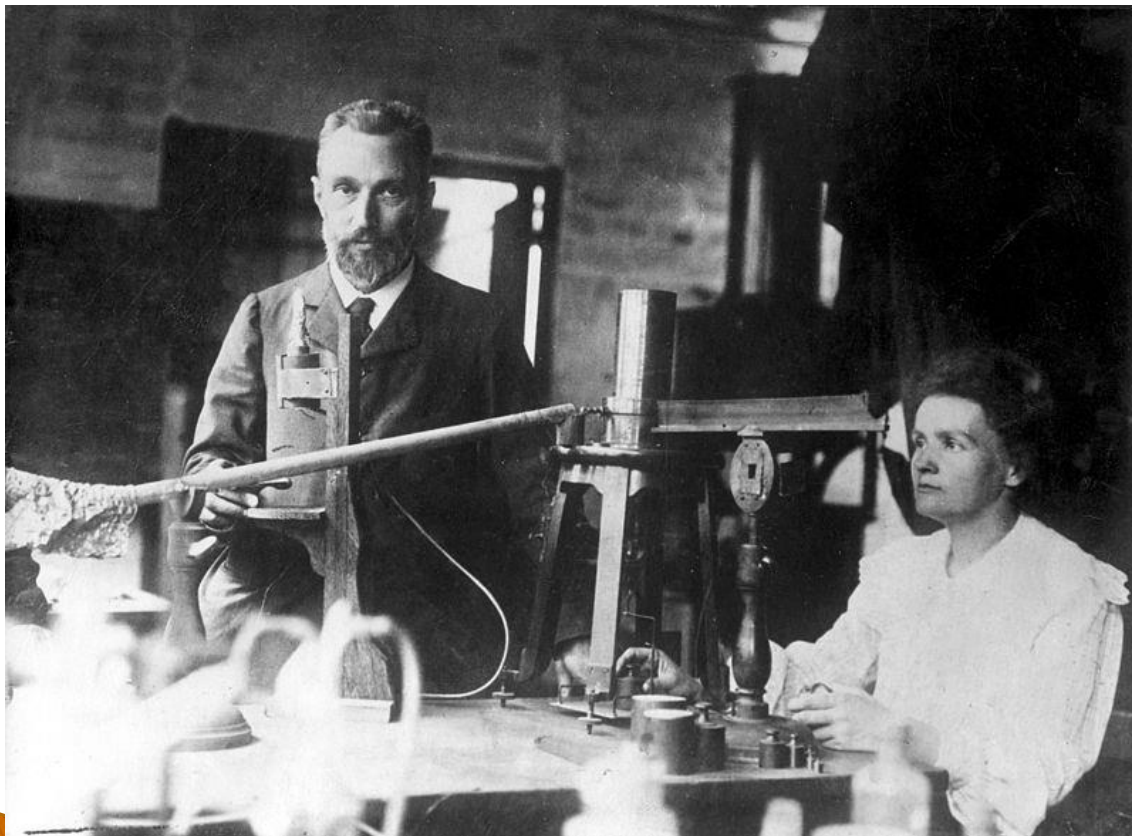
Henry Becquerel (1852 – 1908)



1896 – objev
radioaktivity

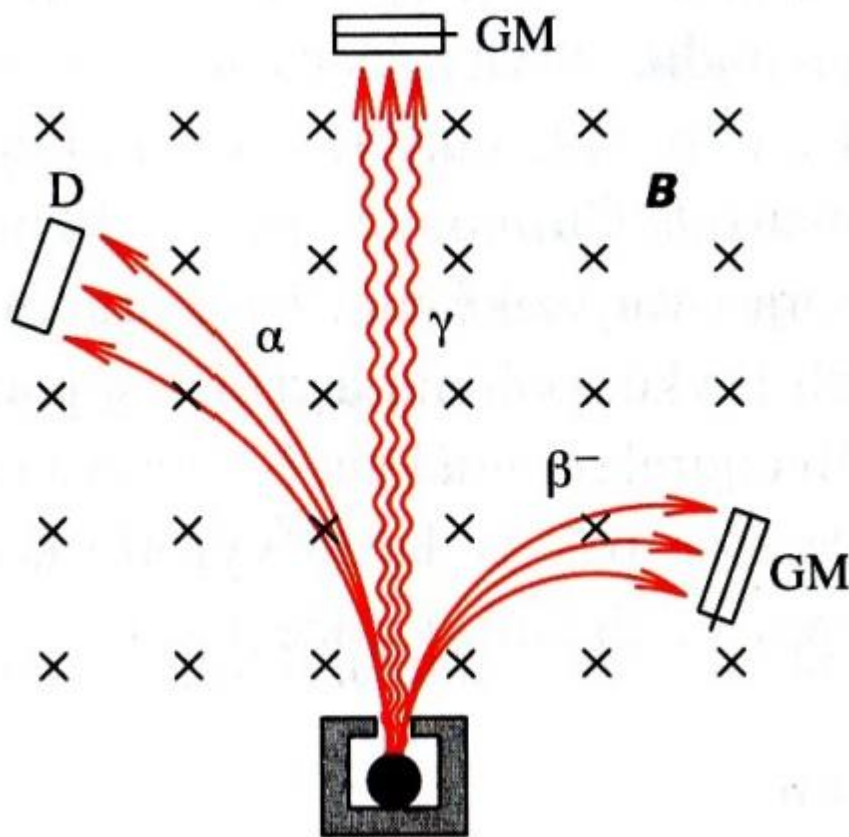
Pierre Curie (1859 – 1906)

Marie Curie – Skłodowská (1867–1934)



- Od roku 1897 zkoumali radioaktivitu.
- Za tím účelem si nechali vozit horninu smolinec z uranových dolů v Jáchymově.
- Pojem radioaktivita pochází od Marie Curie.

Druhy radioaktivního záření



- Pokus provedl Rutherford.
- Detekoval tři druhy záření.

Úkol

- ▶ Prohlédněte si předchozí obrázek a rozhodněte: a) jaký elektrický náboj mají jednotlivé druhy záření. b) Jsou těžší α nebo β částice?
- ▶ a) dle Flemingova pravidla levé ruky jsou α částice kladné a β částice záporné. γ záření nenese žádný elektrický náboj.
- ▶ b) α částice mají větší poloměr zakřivení, jsou proto těžší.

$$\frac{mv^2}{r} = BQv \Rightarrow r = \frac{mv}{BQ}$$

Záření alfa

- ▶ Jsou to jádra helia ${}_2^4\text{He}$ (někdy nazývané heliony).
- ▶ Nesou kladný náboj.
- ▶ Mají energii 2 – 8 MeV.
- ▶ Způsobuje ionizaci plynu.
- ▶ Značně pohlcováno látkami.
- ▶ Doběh 9 – 10 cm.

Záření beta⁻

- ▶ Je tvořeno rychle letícími elektrony
- ▶ Je pronikavější, než záření α

Záření gama

- ▶ Není vychylováno v magnetickém poli $\Rightarrow$ nenese žádný elektrický náboj
- ▶ Je to elektromagnetické záření s vlnovou délkou $\lambda < 300 \cdot 10^{-12} \text{m}$ (tedy s frekvencí $f > 1 \cdot 10^{18} \text{Hz}$)
- ▶ Silně ionizuje atomy
- ▶ Je značně pronikavé.

Poznámky

- ▶ Existují uměle vytvořené radionuklidy, které místo elektronů vyzařují kladně nabitě pozitrony.
- ▶ Pozitron je antičástice k elektronu (to znamená, že má všechny vlastnosti stejné, jako elektron, jen náboj je elementární kladný, tedy $Q = +e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}$).

Poznámky

- ▶ Existuje i tzv. neutronové záření.
- ▶ Vzniká z jaderných reakcí, při kterých se uvolňují neutrony.
- ▶ Je elektricky neutrální
- ▶ Je značně pronikavé (díky elektrické neutralitě neztrácí energii při interakci s elektronovými obaly atomů)
- ▶ Reaguje pouze s atomovými jádry.

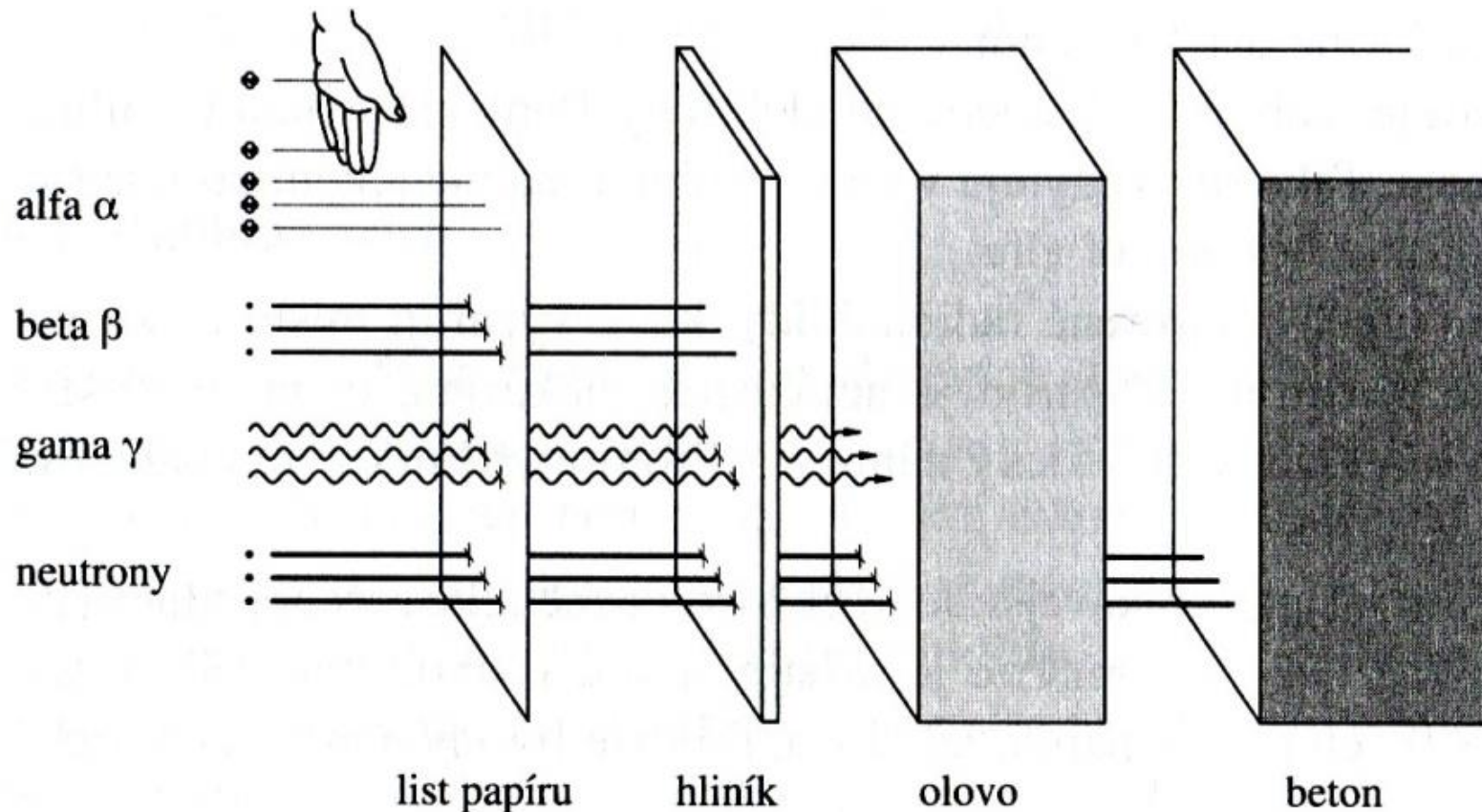
Poznámky

- ▶ Kde se v atomovém jádře berou elektrony a pozitrony?
- ▶ Ze vzájemných přeměn nukleonů v jádrech.

$$p \rightarrow n + e^{+} + \nu$$

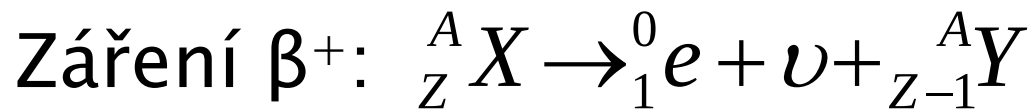
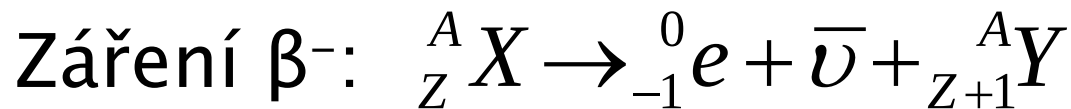
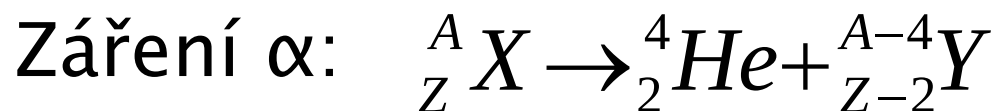
$$n \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}$$

Schéma pronikavosti záření



Posouvací pravidla

- ▶ Radionuklid vyzáří záření α , β^- nebo β^+ . Jaké jádro vznikne?



Přeměnové (=rozpadové) řady

- ▶ Mějme radionuklid. Vyzáří α , β^- nebo β^+ částici a vznikne další nuklid. Pokud je i tento radioaktivní, opět vyzáří α , β^- nebo β^+ a to se opakuje, dokud nevznikne stabilní nuklid.
- ▶ Vzniklé posloupnosti radionuklidů se říká přeměnová nebo rozpadová řada.

Existující přeměnové řady

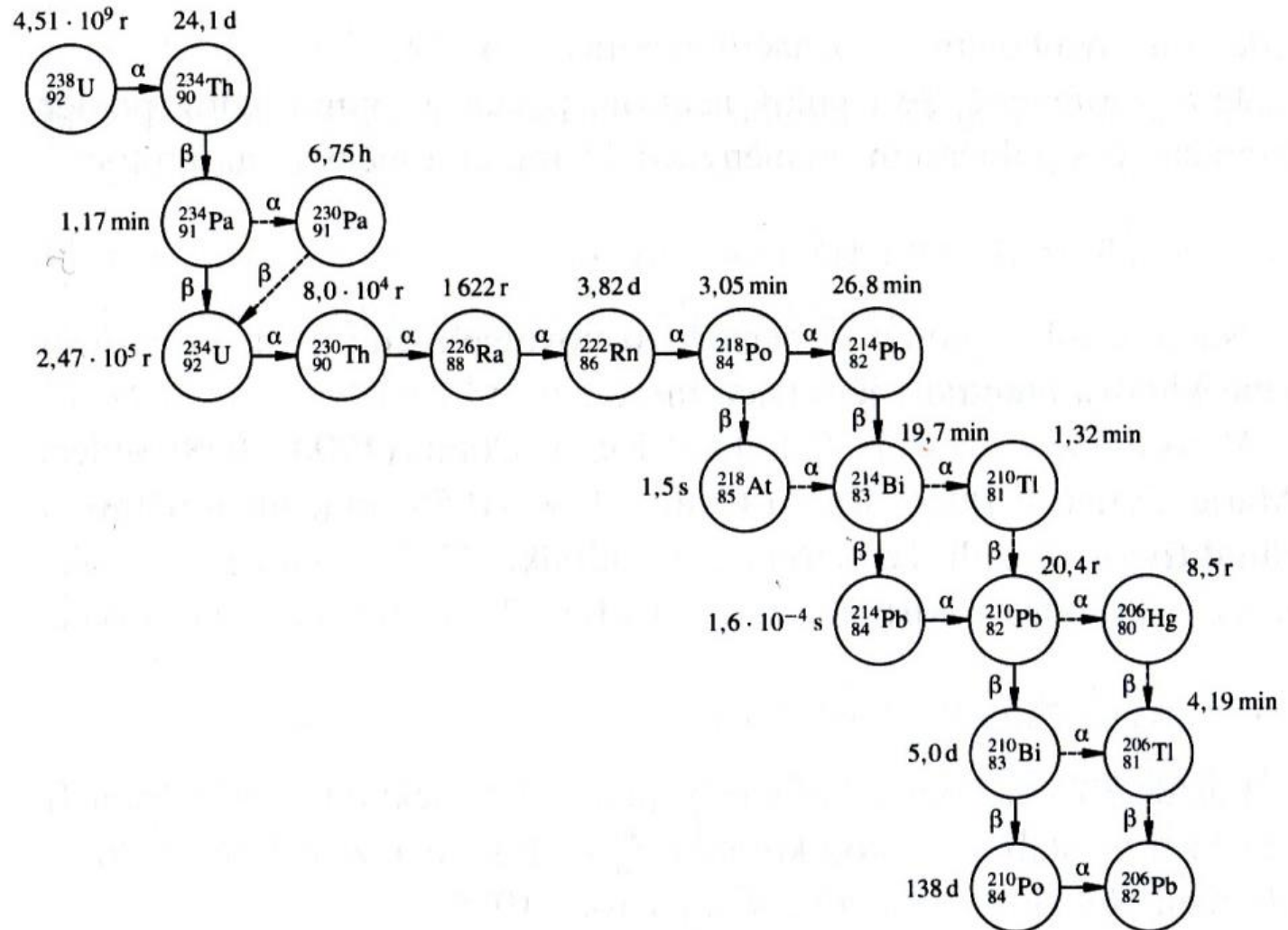
Uran – radiová řada ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow \dots \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb}$

Thoriová řada ${}_{90}^{232}\text{Th} \rightarrow \dots \rightarrow {}_{82}^{208}\text{Pb}$

Aktiniová řada ${}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow \dots \rightarrow {}_{82}^{207}\text{Pb}$

Neptuniová řada ${}_{94}^{241}\text{Pu} \rightarrow \dots \rightarrow {}_{83}^{209}\text{Bi}$

Uran – radiová přeměnová řada



Aktivita zářiče

- ▶ Vyjadřuje počet přeměn za 1 s.
- ▶ Označení: A
- ▶ Jednotka: becquerel, Bq
- ▶ Například: $A = 2 \cdot 10^7 \text{ Bq}$
- ▶ Aktivita zářiče se s časem mění

Poločas přeměny (rozpadu); Přeměnová konstanta

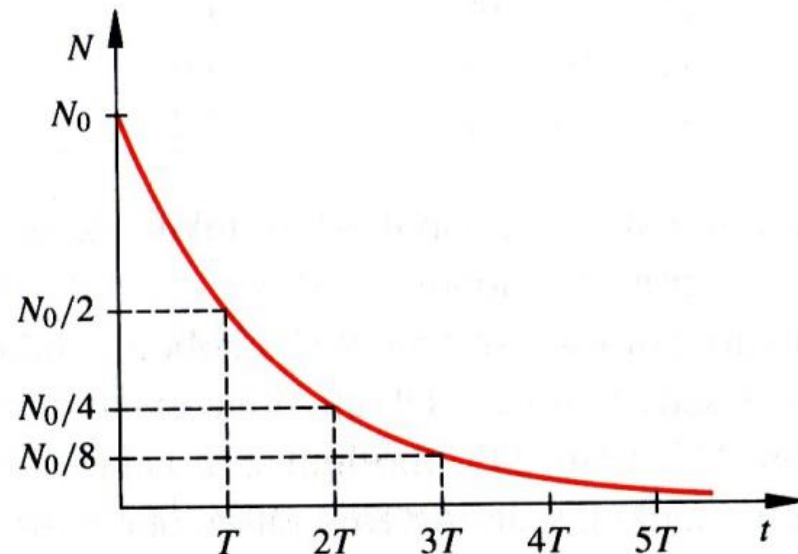
- ▶ T ... je to doba, za kterou se z počátečního počtu atomů radionuklidu přemění právě polovina.
- ▶ λ ... přeměnová konstanta

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

Zákon radioaktivní přeměny

- ▶ Určuje, jak klesá počet aktivních jader radionuklidu.
- ▶ $N(t)$... počet zbývajících nepřeměněných jader

$$N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda t}$$



Příklad

- ▶ Vypočtete přeměnovou konstantu $_{88}^{226}\text{Ra}$.
- ▶ Z tabulek nebo ze schématu uran – radiové řady zjistíme poločas rozpadu 1622 let.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{\ln 2}{1622 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} \text{ s}^{-1} \doteq 1,355 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$$

Radiouhlíková metoda

- ▶ Určuje stáří biologického materiálu.
- ▶ Každý organismus v sobě během života kumuluje radioaktivní ${}_6^{14}\text{C}$.
- ▶ Po smrti organismu se přísun zastaví a ${}_6^{14}\text{C}$ se přeměňuje na stabilní ${}_6^{12}\text{C}$.
- ▶ Porovnáním jeho množství s živými organismy se dá určit, kdy začala přeměna (tedy kdy organismus zemřel).

Příklad

- ▶ 19. září 2001 byla na ledovci v Ötztalských Alpách objevena mumie člověka, dnes známého jako Ötzi. Radiouhlíkovou metodou bylo zjištěno, že poměr nerozpadnutého ${}_6^{14}\text{C}$ v jeho těle a v těle dnešních lidí je 0,5268. Poločas rozpadu ${}_6^{14}\text{C}$ je $T=5730$ roků. Určete přibližně, kdy Ötzi zemřel.

Ötzi



Výpočet příkladu

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \Rightarrow \ln 0,5268 = -\lambda t \Rightarrow t = -\frac{\ln 0,5268}{\lambda}$$

$$t = -\frac{\ln 0,5268}{\frac{\ln 2}{T}} = -\frac{T \cdot \ln 0,5268}{\ln 2} \text{roků} = -\frac{5730 \cdot \ln 0,5268}{\ln 2} \text{roků}$$

$$t \doteq 5298 \text{roků}$$

Ötzi zemřel kolem roku 3300 př.n.l., tedy v době měděné (v eneolitu).

Literatura

- ▶ [1] AUTOR NEUVEDEN. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 11.2.2013]. Dostupný na WWW:
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a3/Henri_Becquerel.jpg
- ▶ [2] AUTOR NEZNÁMÝ. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 11.2.2013]. Dostupný na WWW:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Pierre_and_Marie_Curie.jpg
- ▶ [3] BEDNAŘÍK, Milan et al. *Fyzika IV pro studijní obory středních odborných učilišť*. 2. vyd. Praha: SPN, 1989. 212 s. Učebnice pro střední školy.
- ▶ [4] HESTERIC, Roman. *Rádioaktivita* [online]. [cit. 12.2.2013]. Dostupný na WWW: <http://www.priklady.eu/sk/Fyzika/Radioaktivita.alej>
- ▶ [5] 120. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 12.2.2013]. Dostupný na WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Otzi-Quinson.jpg>
- ▶ [6] ŠTOLL, Ivan. *Fyzika pro gymnázia – Fyzika mikrosvětla*. Praha: Prometheus, 2002, ISBN 80-7196-241-4.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Jaderné reakce

Ing. Stanislav Jakoubek

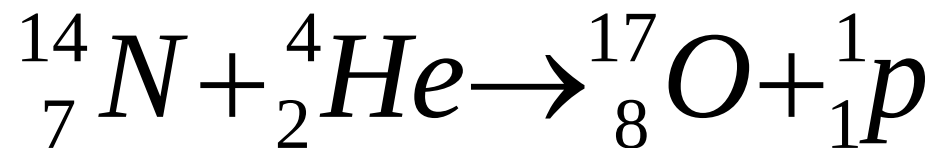
Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Vybrané partie z fyziky pro IV. ročník středních technických škol
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-1-3
Číslo DUMu	III/2-1-3-13
Anotace	Po prostudování DUMu budeme znát pojem jaderná reakce. Poznáme, jaké základní zákony zachování při jaderných reakcích platí. Seznámíme se s neutronem. A v neposlední řadě budeme umět zapisovat jaderné reakce.

Pojem „jaderná reakce“

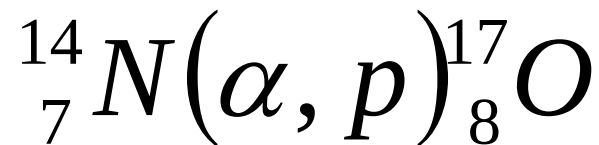
- ▶ Všechny děje, které probíhají při srážkách atomových jader a mikročástic.
- ▶ Jádra stabilního prvku (umístěné v terčíku, který je pevně spojený s experimentálním zařízením) ostřelujeme částicemi s velkou kinetickou energií
- ▶ Bombardující částice: protony, neutrony, částice α , γ , těžké ionty,...

První umělá jaderná reakce

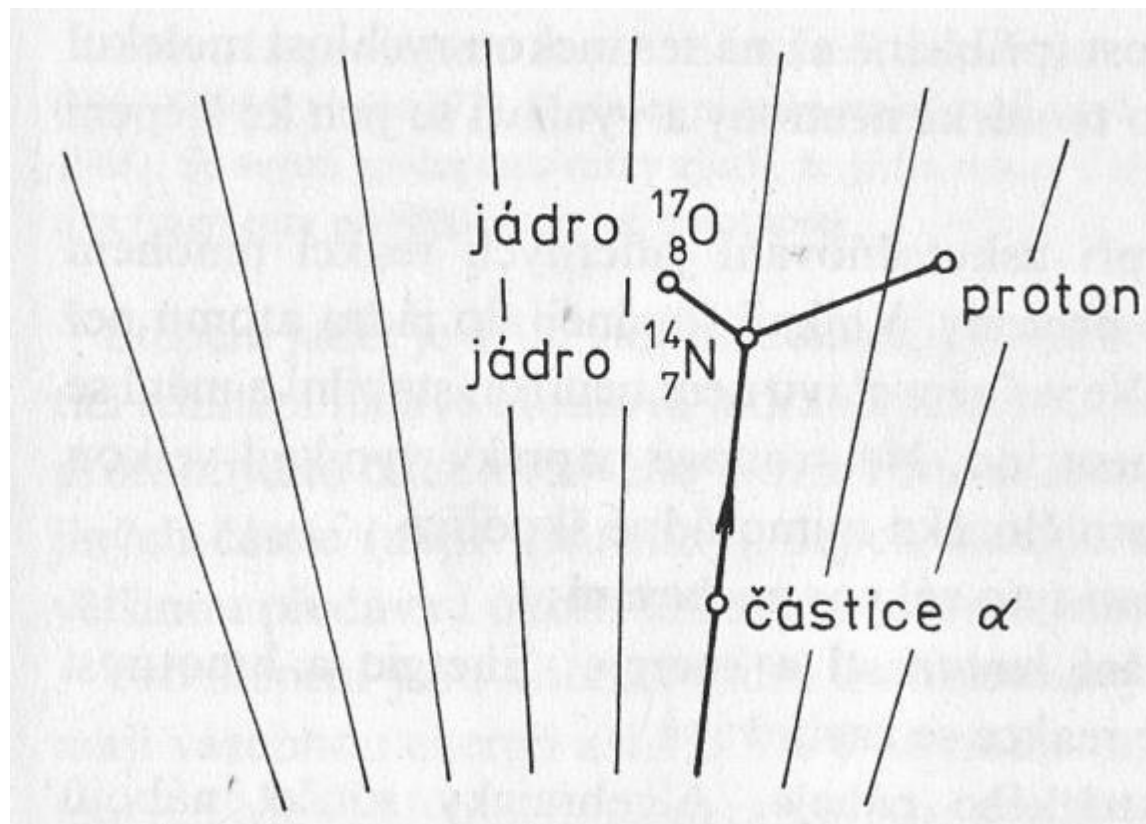
- ▶ 1919 – Rutherford



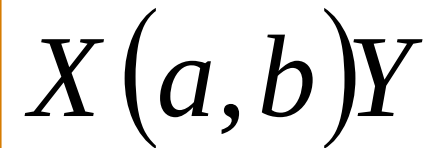
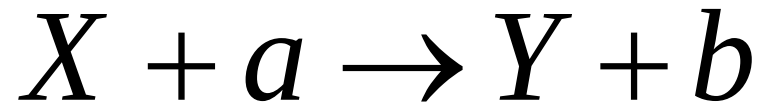
Jiný (méně obvyklý) zápis téhož:



Schématický náčrt trajektorií částic



Symbolický zápis jaderných reakcí



X ... terčové jádro

Y ... výsledné jádro po reakci

a ... ostřelující částice

b ... částice vzniklá při reakci

Energie reakce Q

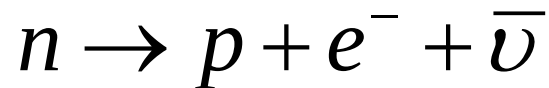
- ▶ $Q > 0$... exotermická reakce ... energie se uvolní ve formě kinetické energie výsledného jádra Y a částice b
- ▶ $Q < 0$... endotermická reakce ... aby reakce proběhla, je nutno energii dodat

Neutron

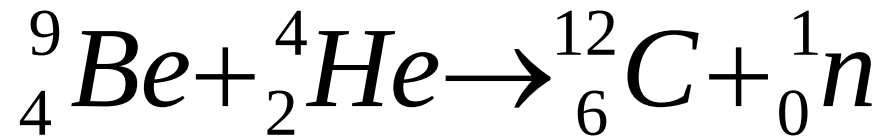
- ▶ Objeven Jamesem Chadwickem v roce 1932
- ▶ Nemá elektrický náboj
- ▶ Hmotnost je podobná, jako hmotnost protonů
- ▶ Pro jaderné reakce jsou mnohem účinnější, než α částice nebo protony
- ▶ Neutronové paprsky jsou velmi pronikavé a tedy pro organismy škodlivé

Neutron

- ▶ V přírodě se volně nevyskytují
- ▶ Je to nestabilní částice, samovolně se přeměňuje



- ▶ Byl objeven při reakci:



James Chadwick (1891 – 1974)



1932 – objev
neutronu

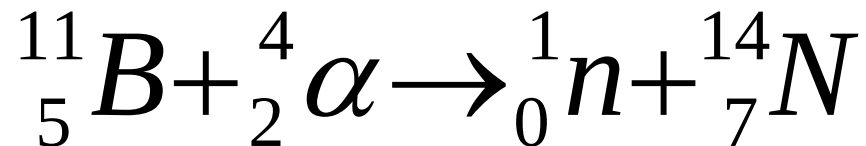
1935 – Nobelova
cena za tento objev

Zákony zachování platné pro jaderné reakce

- ▶ Spojený zákon zachování hmotnosti a energie
- ▶ Zákon zachování elektrického náboje
- ▶ Zákon zachování hybnosti
- ▶ Zákon zachování nukleonů

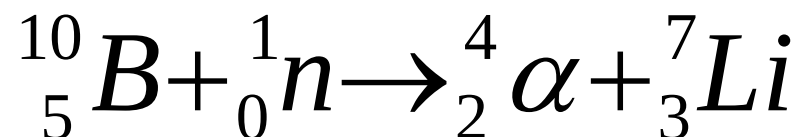
Příklad

- ▶ Ostřelováním jader boru ${}_{5}^{11}\text{B}$ částicemi α dochází k reakci provázené vyzařováním neutronů. Zapište rovnici reakce.



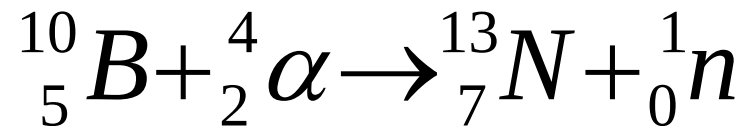
Příklad

- ▶ Při ostřelování jader boru ${}_5^{10}\text{B}$ neutrony se uvolňují částice α . Napište rovnici jaderné reakce.



Příklad

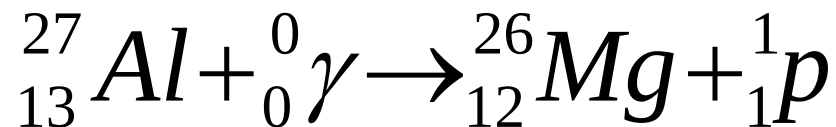
- ▶ Ostřelováním boru ${}^{10}_5\text{B}$ částicemi α získáme dusík ${}^{13}_7\text{N}$. Které částice se uvolňuje?



Uvolňuje se neutron.

Příklad

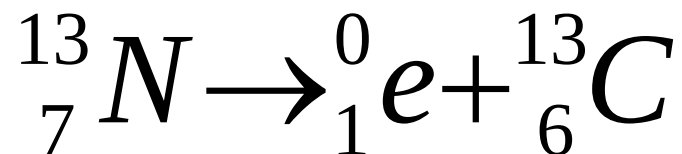
- ▶ Hliník ${}_{13}^{27}\text{Al}$ se po ostřelování fotony mění na hořčík ${}_{12}^{26}\text{Mg}$. Která částice se uvolňuje?



Uvolňuje se proton.

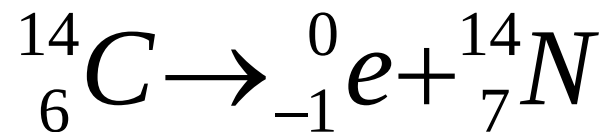
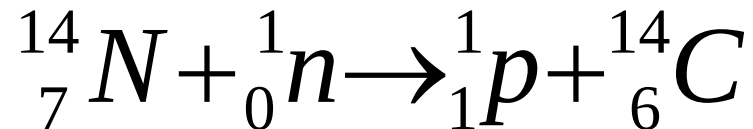
Příklad

- ▶ Dusík ${}^7_{13}\text{N}$ je radioaktivní a vykazuje pozitronový rozpad. Na který nuklid se přeměňuje?



Příklad

- Po ostřelování jader dusíku ${}_7^{14}\text{N}$ neutrony se uvolňují protony. Jádra vzniklá touto přeměnou se opětovně přeměňují a uvolňují elektrony. Zapište rovnice obou přeměn.



Literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan et al. *Fyzika IV pro studijní obory středních odborných učilišť*. 2. vyd. Praha: SPN, 1989. 212 s. Učebnice pro střední školy.
- ▶ [2] BORTZELLS, Esselte. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 15.2.2013]. Dostupný na WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Chadwick.jpg>
- ▶ [3] BARTÁK, František a kol. *Sbírka úloh z fyziky pro studijní obory SOU a SOŠ*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha,n.p., 1988, ISBN 14-423-88.

Štěpení jádra uranu. Řetězová reakce.

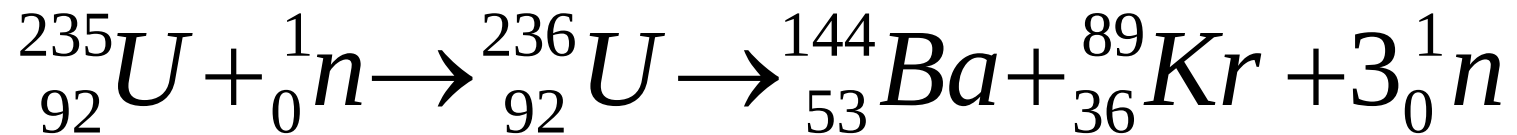
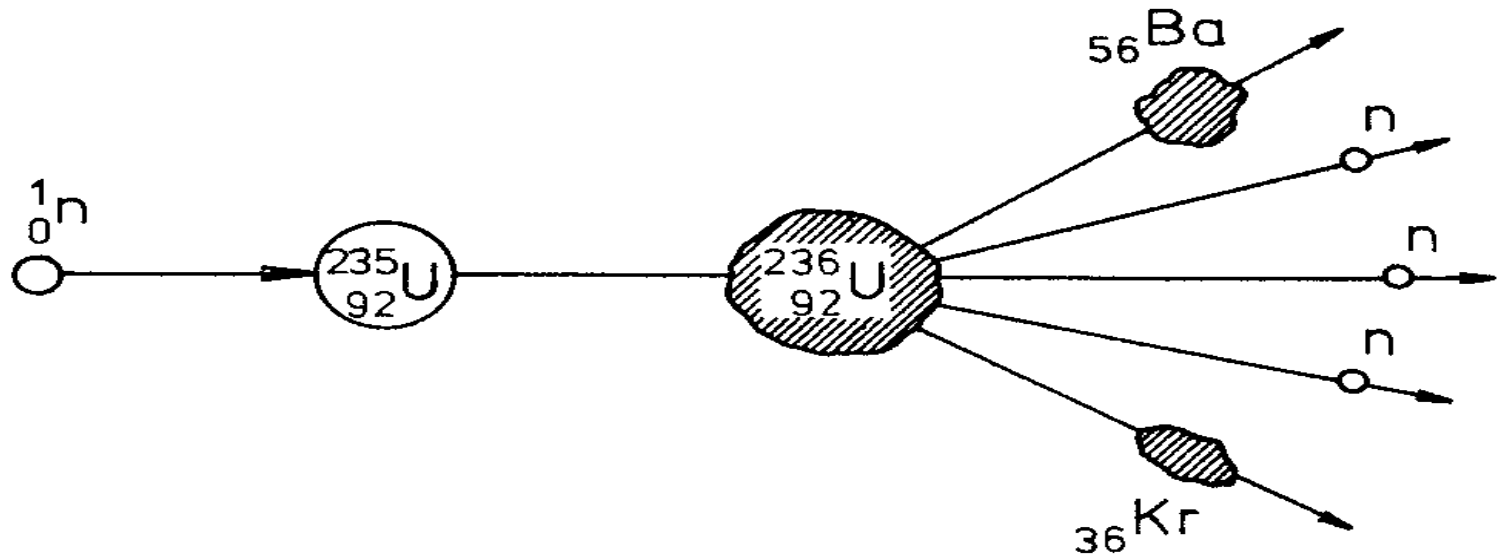
Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Vybrané partie z fyziky pro IV. ročník středních technických škol
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-1-3
Číslo DUMu	III/2-1-3-14
Anotace	Štěpení uranu patří k velmi důležitým jaderným reakcím. Může při něm dojít k řetězové reakci, která je zásadní pro využití v energetice. Pochopíme, kdy dochází k řetězové reakci a v čem spočívá její výhoda i její nebezpečí.

Štěpení jádra

- ▶ Terčové jádro se po zásahu částicí rozštěpí na dvě atomová jádra, jejichž protonové číslo se výrazně liší od protonového jádra terče
- ▶ Uvolní se energie a jiné částice (neutrony, ...)
- ▶ Vhodná jádra s nukleonovým číslem kolem 240 (vazebná en. cca $\epsilon_j = 7,6$ MeV na nukleon)
- ▶ Odštěpky mají cca 8,5 MeV na nukleon)
- ▶ Uvolněná energie je dána rozdílem vazebných energií

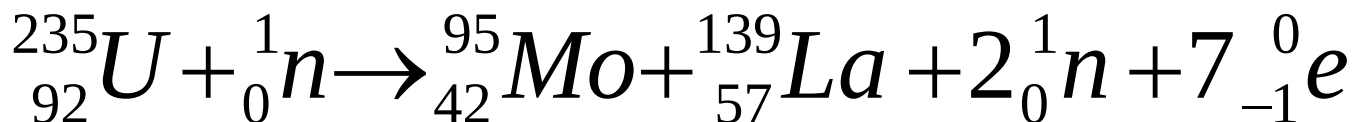
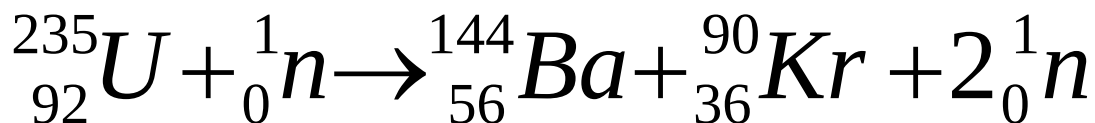
Schéma jaderného štěpení



Uvolněná energie: $Q \doteq 200\text{MeV}$

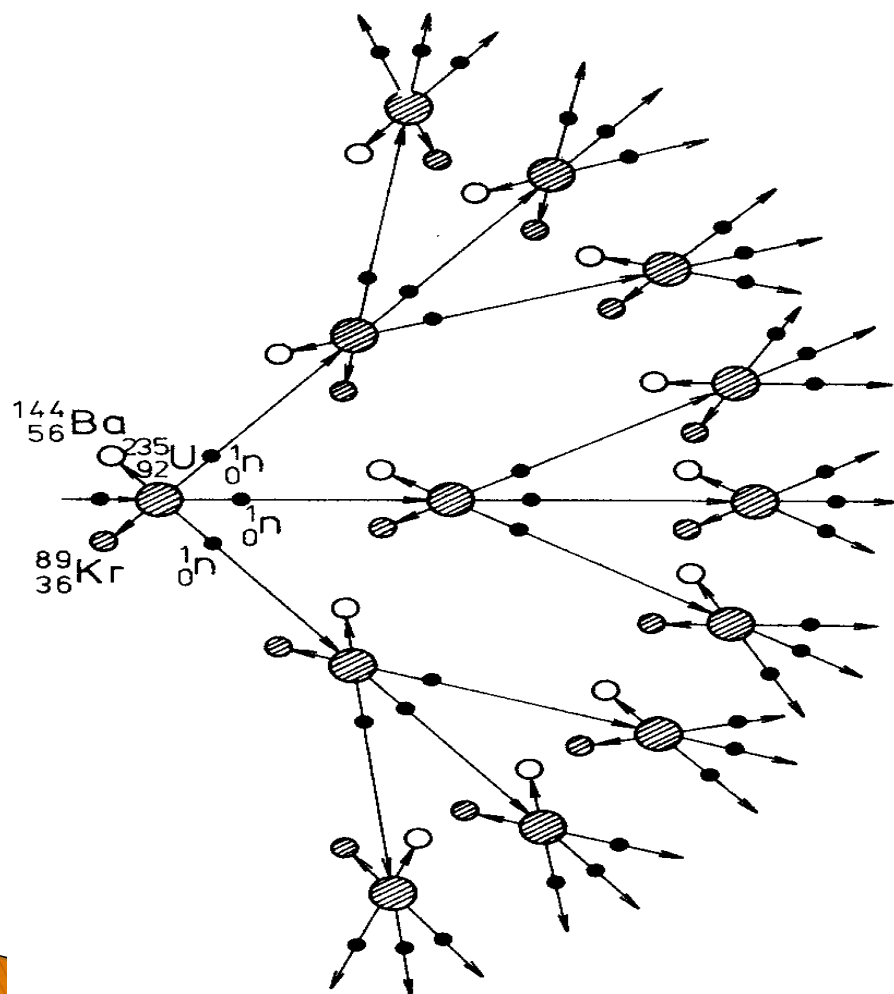
Štěpení uranu neutronem

- ▶ Existují i další možné štěpné reakce, než jaká byla uvedena.



Podstatné je, že i zde vznikají další volné neutrony.

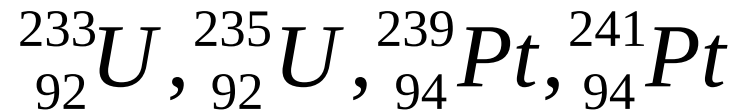
Řetězová jaderná reakce



- ▶ Uvolněné neutrony mohou začít štěpit další jádra uranu atd. při současném uvolňování energie.

Nuklidy vhodné pro řetězovou reakci

- ▶ Existují pouze 4 nuklidy vhodné pro řetězovou jadernou reakci.



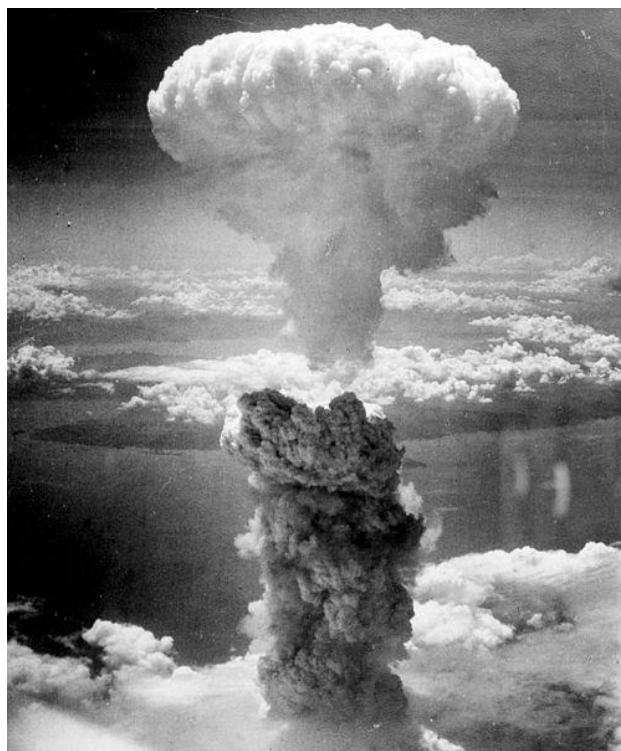
Poznámka: Je veliká náhoda a štěstí, že se v přírodě nachází ${}_{92}^{235}\text{U}$ a lze ho těžit (tvorí 0,72% směsi přírodního uranu s ${}_{92}^{238}\text{U}$). A dále že nemá kratší poločas přeměny (kdyby ano, z přírody by již vymizel). Bez těchto šťastných okolností by neexistovala např. jaderná energetika, jak ji známe.

Kritické množství

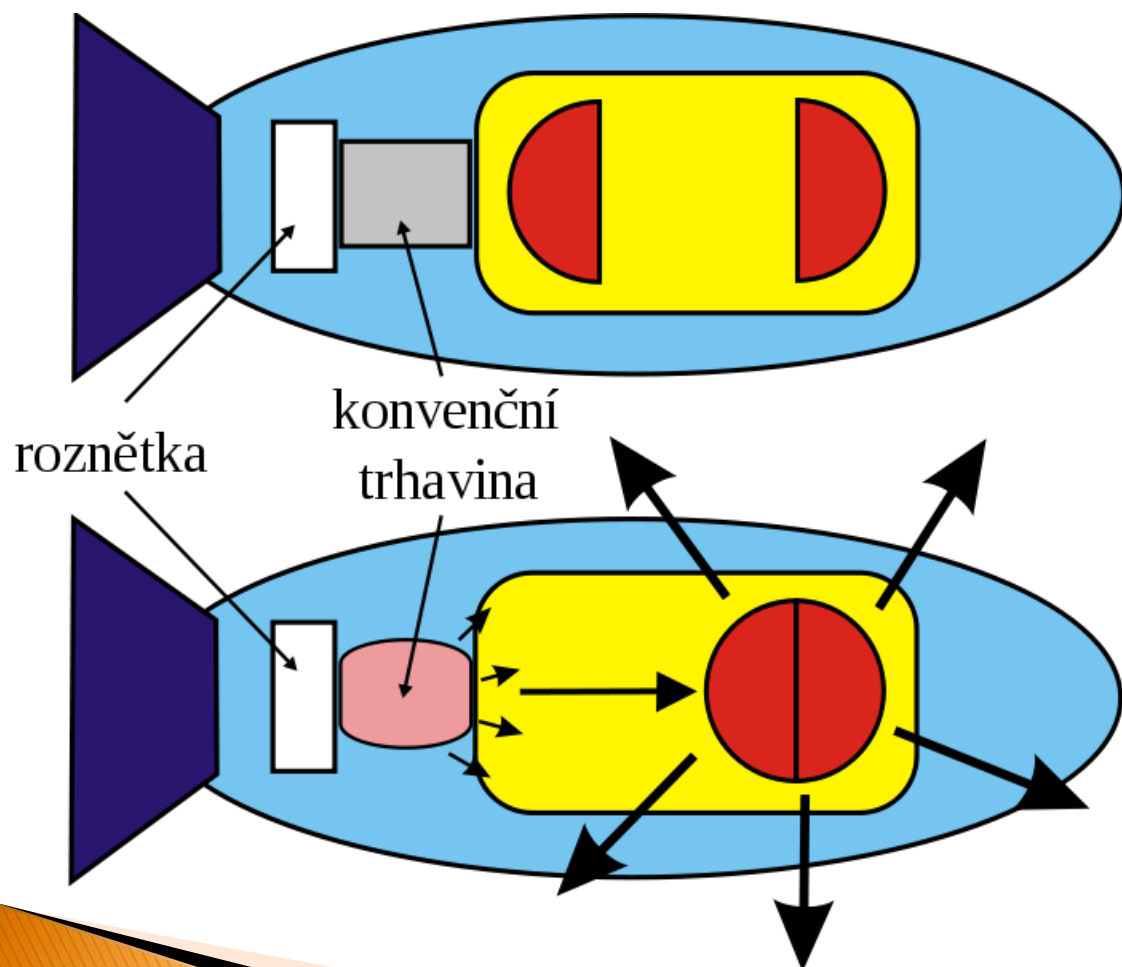
- ▶ Uvolněné neutrony se pohybují materiálem a nakonec ho opustí. Aby došlo k řetězové reakci, musí „stihnout“ uvolnit dostatečné množství energie a tedy materiál musí být dostatečně veliký.
- ▶ Závisí na tvaru a na objemu
- ▶ Čistý ${}_{92}^{235}\text{U}$... koule o hmotnosti 44,5kg ... průměr přibližně 16,8 cm

Jaderný výbuch

- ▶ Při velmi rychlém průběhu řetězové reakce (uvolní se obrovské množství energie za krátký čas)



Jaderná (nesprávně *atomová*) bomba



- Dvě oddělená podkritická množství štěpného materiálu
- V součtu tvoří nadkritické množství
- Spojí se díky explozi klasické výbušniny

Příklad

- Vypočtete množství energie získané přeměnou všech atomů v 1 kg ${}_{92}^{235}\text{U}$. Kolik uhlí o výhřevnosti 20000 kJ.kg^{-1} by se muselo spálit, aby se získalo stejné množství energie?

$$m = 1\text{kg}, A_r(U) = 238,03, H = 20000\text{kJ.kg}^{-1}; E = ?, m_{\text{uhlí}} = ?$$

$$N = n.N_A = \frac{m}{M_m}.N_A = \frac{m}{A_r(U).10^{-3}}.N_A = \frac{1}{0,23803}.6,022.10^{23} \doteq 2,53.10^{24} \text{ částic}$$

$$E = N.Q \doteq 2,53.10^{24}.200\text{MeV} \doteq 5,06.10^{26} \text{ MeV} \doteq 8,1.10^{13} \text{ J}$$

$$m_{\text{uhlí}} = \frac{E}{H} \doteq \frac{8,1.10^{13}}{20.10^6} \text{ kg} \doteq 4050000 \text{ kg}$$

Pozn.: 50 – 60
vagónů uhlí!!!

Literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan et al. *Fyzika IV pro studijní obory středních odborných učilišť*. 2. vyd. Praha: SPN, 1989. 212 s. Učebnice pro střední školy.
- ▶ [2] MIRACETI. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 18.2.2013]. Dostupný na WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Princip_jadern_e_naloze.svg
- ▶ [3] AUTOR NEUVEDEN. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 18.2.2013]. Dostupný na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Nagasakibomb.jpg>



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Termonukleární reakce

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Vybrané partie z fyziky pro IV. ročník středních technických škol
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2–1–3
Číslo DUMu	III/2–1–3–15
Anotace	Existují dvě možnosti realizace jaderných reakcí. Jaderné štěpení již známe, jadernou syntézu poznáme v tomto DUMu. Pochopíme, za jakých podmínek k ní může dojít. Vysvětlíme si, že je zcela běžná v nitrech hvězd a realizovatelná (i když zatím ne řízeně) i podmínkách na Zemi.

Syntéza jader

- ▶ Značnou energii lze získat i při slučování (tedy *syntéze*) lehkých jader na jádra těžší.
- ▶ Aby proběhlo slučování jader, je třeba je k sobě přiblížit natolik, aby působily jaderné síly.
- ▶ Problém: tomu brání elektronové obaly atomů.

Jak problém vyřešit?

- ▶ Obrovské stlačení materiálu (dosud technicky nerealizováno. Např. 1 m³ vodíku by měl hmotnost 10¹⁵ kg).
- ▶ Obrovské zahřátí – řádově 10⁷ K. Při tak velké teplotě je plyn úplně ionizovaný, tedy jeho atomy jsou zbaveny svých elektronových obalů (vzniká plazma)
- ▶ Jaderné reakci probíhající za těchto podmínek se říká **termonukleární reakce**

Příklady reakcí jaderné fúze

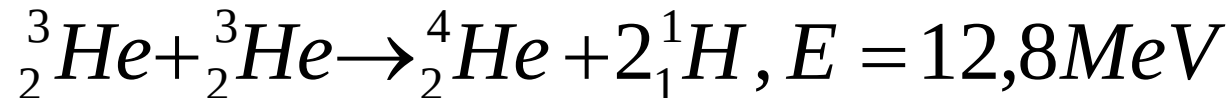
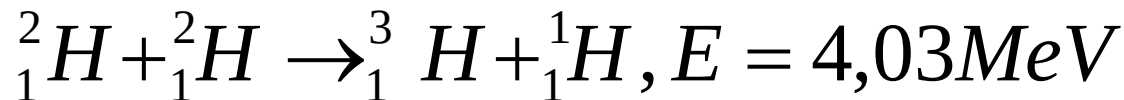
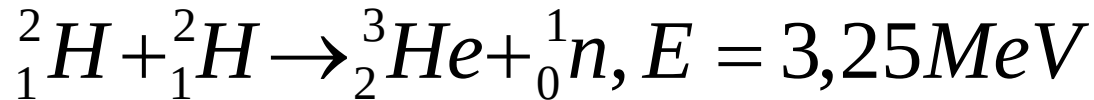
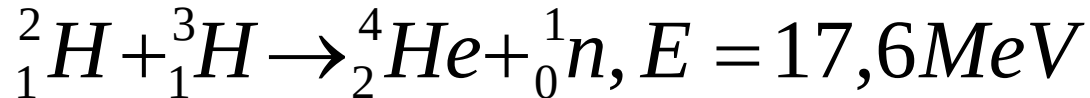
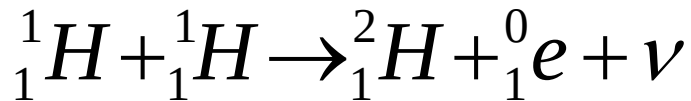
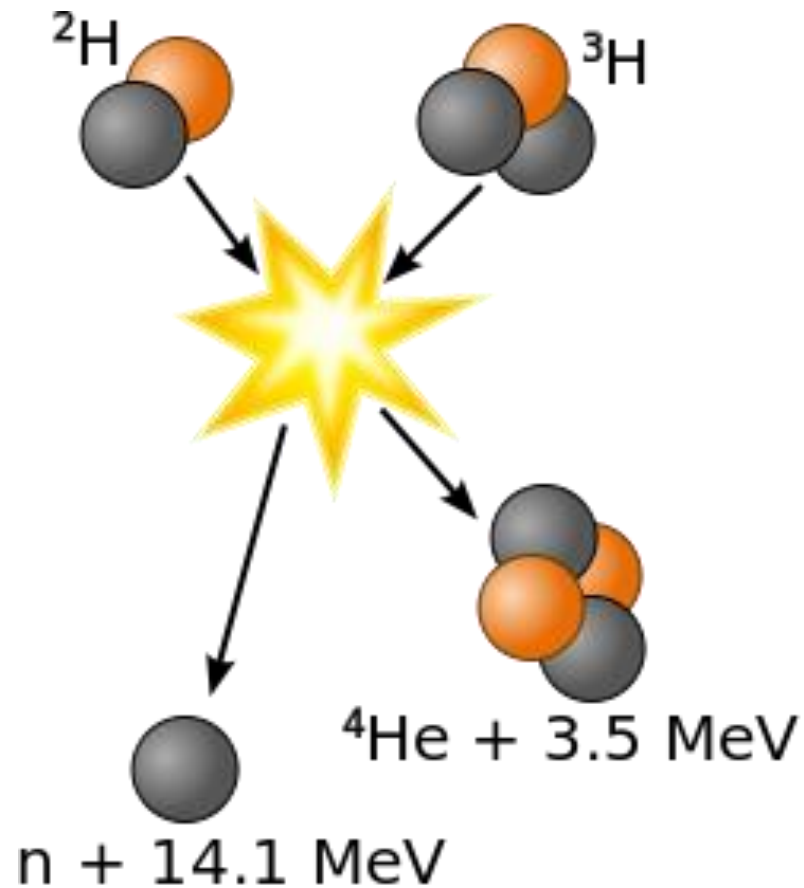
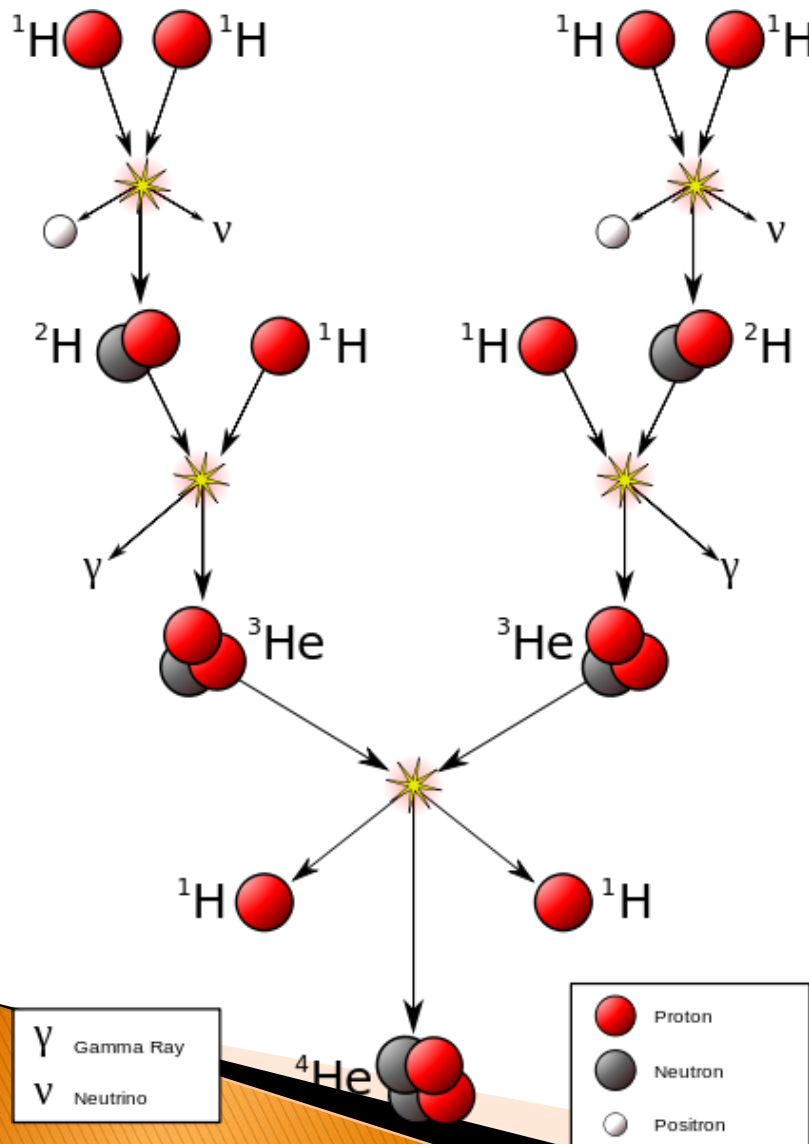


Schéma jaderné fúze



Proton – protonový cyklus



- Základní cyklus jaderných reakcí ve hvězdách podobné hmotnosti, jako má Slunce
- Je základním zdrojem jejich zářivé energie
- Ukazuje, jak z vodíku nakonec vznikne helium

Budoucí využití

- ▶ Pro energetiku; deuteria je na Zemi prakticky nevyčerpatelné množství
- ▶ Problém: obrovská teplota plazmy odpaří jakýkoliv materiál. Udrží se v uzavřeném prostoru pomocí magnetických polí (v tzv. TOKAMKu)
- ▶ Umíme provést uměle neřízeně (vodíková bomba)
- ▶ Zatím neumíme provést řízeně, ale usilovně se na tom pracuje

Literatura

- ▶ [1] BORB. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 18.2.2013]. Dostupný na WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:FusionintheSun.svg>
- ▶ [2] BEDNAŘÍK, Milan et al. *Fyzika IV pro studijní obory středních odborných učilišť*. 2. vyd. Praha: SPN, 1989. 212 s. Učebnice pro střední školy.
- ▶ [3] WYKIS. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 18.2.2013]. Dostupný na WWW:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Deuterium-tritium_fusion.svg



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Příklady využití jaderné energie

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Vybrané partie z fyziky pro IV. ročník středních technických škol
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-1-3
Číslo DUMu	III/2-1-3-16
Anotace	Jaderná fyzika je nejenom značně zajímavá, ale i značně užitečná. Poznáme některé z mnoha možností, kde se poznatků jaderné fyziky úspěšně využívá. Půjde o využití v energetice, ve zdravotnictví, v průmyslu, v zemědělství atd.

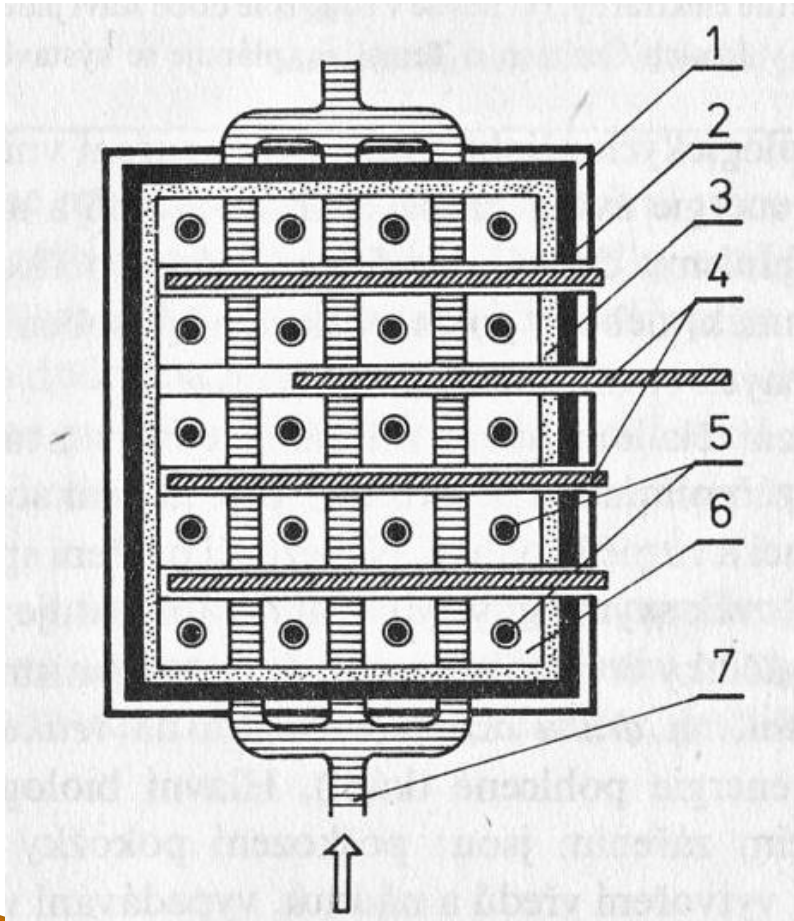
Jaderný reaktor

- ▶ Jaderný reaktor – zařízení, v němž se udržuje řetězová jaderná reakce a uvolňuje se přitom jaderná energie
- ▶ Podstatná věc: řetězová reakce musí jít řídit (tj. v případě potřeby urychlit, zpomalit a nebo zastavit)

Řízení jaderné reakce

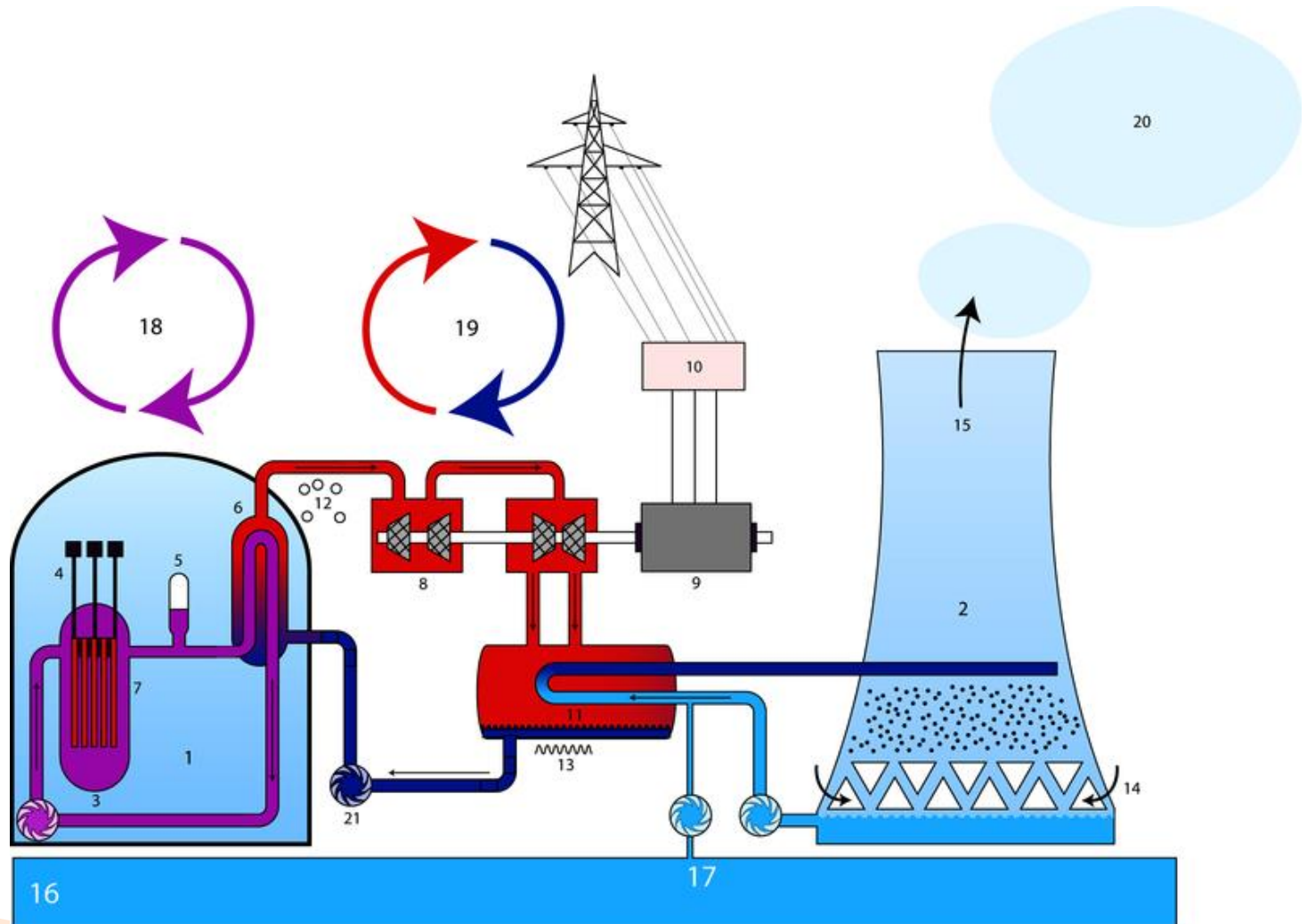
- ▶ Aby jaderná reakce v reaktoru proběhla, je nutné výrazně zpomalit neutrony (až na rychlost přibližně $2,5 \text{ km.s}^{-1}$)
- ▶ K tomu se používá tzv. moderátor
- ▶ Moderátorem může být např. těžká voda D_2O , uhlík ve formě grafitu atd.

Schéma jaderného reaktoru



1. Stínící obal
2. Tlaková nádoba
3. Reflektor – odráží neutrony zpět do reaktoru
4. Regulační tyče – pohlcejí neutrony, řídí se jimi rychlost reakce
5. Palivové články
6. Moderátor
7. Chladivo

Schéma jaderné elektrárny



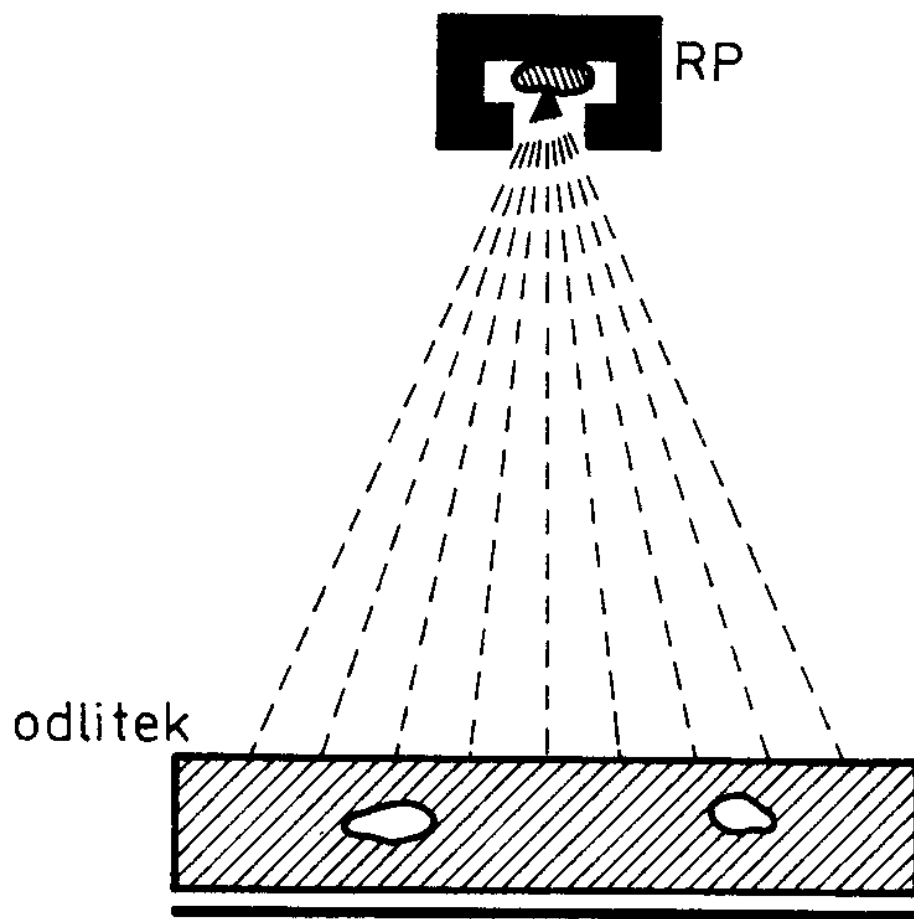
Popisky k obrázku

- 1.Reaktorová hala, uzavřená v nepropustném kontejnmentu.
- 2.Chladicí věž.
- 3.Tlakovodní reaktor.
- 4.Řídící tyče.
- 5.Kompenzátor objemu.
- 6.Parogenerátor. V něm horká voda pod vysokým tlakem vyrábí páru v sekundárním okruhu.
- 7.Aktivní zóna.
- 8.Turbína – vysokotlaký a nízkotlaký stupeň.
- 9.Elektrický generátor.
- 10.Transformační stanice.
- 11.Kondenzátor sekundárního okruhu.
- 12.Plynný stav
- 13.Kapalný stav
- 14.Přívod vzduchu do chladicí věže.
- 15.Odvod teplého vzduchu a páry komínovým efektem.
- 16.Řeka
- 17.Chladicí okruh
- 18.Primární okruh (voda pouze kapalná pod vysokým tlakem).
- 19.Sekundární okruh (červeně značena pára, modře voda).
- 20.Oblaka vzniklá kondenzací vypařené chladicí vody.
- 21.Pumpa

Vyhořelé jaderné palivo

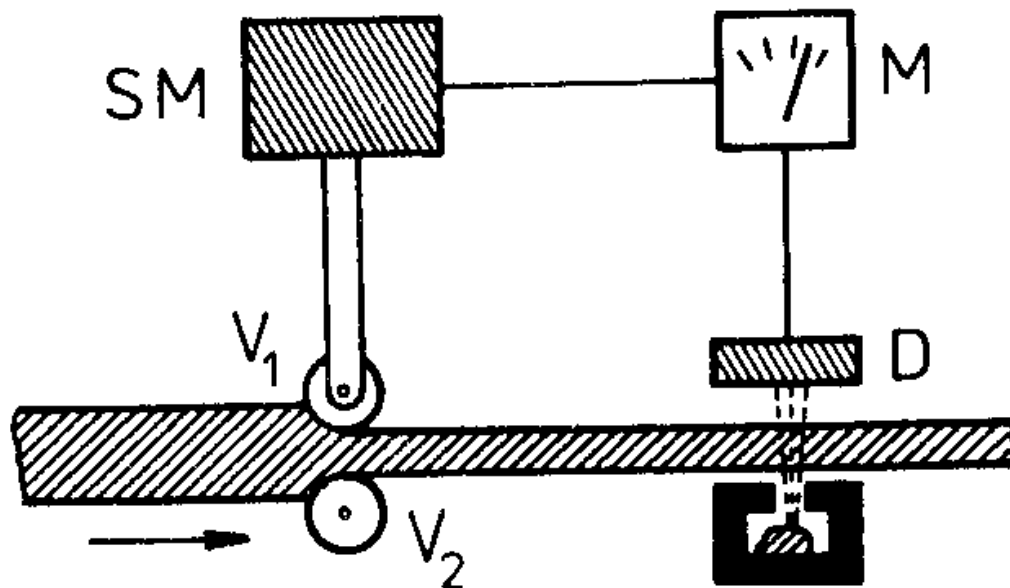
- ▶ Je ukládáno do úložišť jaderného paliva
- ▶ Mezisklady u jaderných elektráren
- ▶ Hlubinná úložiště
- ▶ <http://www.surao.cz/cze/Informacni-koutek>

Radiová defektoskopie



- $^{60}_{27}\text{Co}$
- Zdroj záření γ
- Fotografický papír pod defekty a trhlinami zčerná víc

Bezdotykové měření tloušťky materiálu



- SM – servomotor
- M – měřič
- D – detektor
- Měření tloušťky papíru, plechu, vrstvy laku na podkladovém materiálu,...

Využití v zemědělství

- ▶ Stimulátory růstu
- ▶ Zamezení klíčivosti uskladněných brambor
- ▶ Likvidace hnilobných mikroorganismů u uskladněných potravin
- ▶ Ničení škůdců obilí
- ▶ Při křížení rostlin (ozařováním semen může docházet k žádoucím mutacím)
- ▶ ...
- ▶ Využívá se především záření β

Využití ve zdravotnictví

- ▶ Diagnostika – radionuklid se vpraví do organismu a sleduje se kde je více či méně pohlcován
- ▶ Radiofarmaka – při léčbě zhoubných nádorů; lék se vpravuje přímo do nemocného místa
- ▶ Radioterapie – ozařování vnějšími zdroji při léčbě rakoviny
- ▶ Sterilizace materiálů
- ▶ Koupele v radioaktivním bahně
- ▶ ...

Literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan et al. *Fyzika IV pro studijní obory středních odborných učilišť*. 2. vyd. Praha: SPN, 1989. 212 s. Učebnice pro střední školy.
- ▶ [2] KUNTOFF, Steffen. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 11.3.2013]. Dostupný na WWW:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Nuclear_power_plant-pressurized_water_reactor-PWR.png
- ▶ [3] KUSALA, Jaroslav. *Radioaktivita slouží* [online]. [cit. 20.3.2013]. Dostupný na WWW:
<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k23.htm>