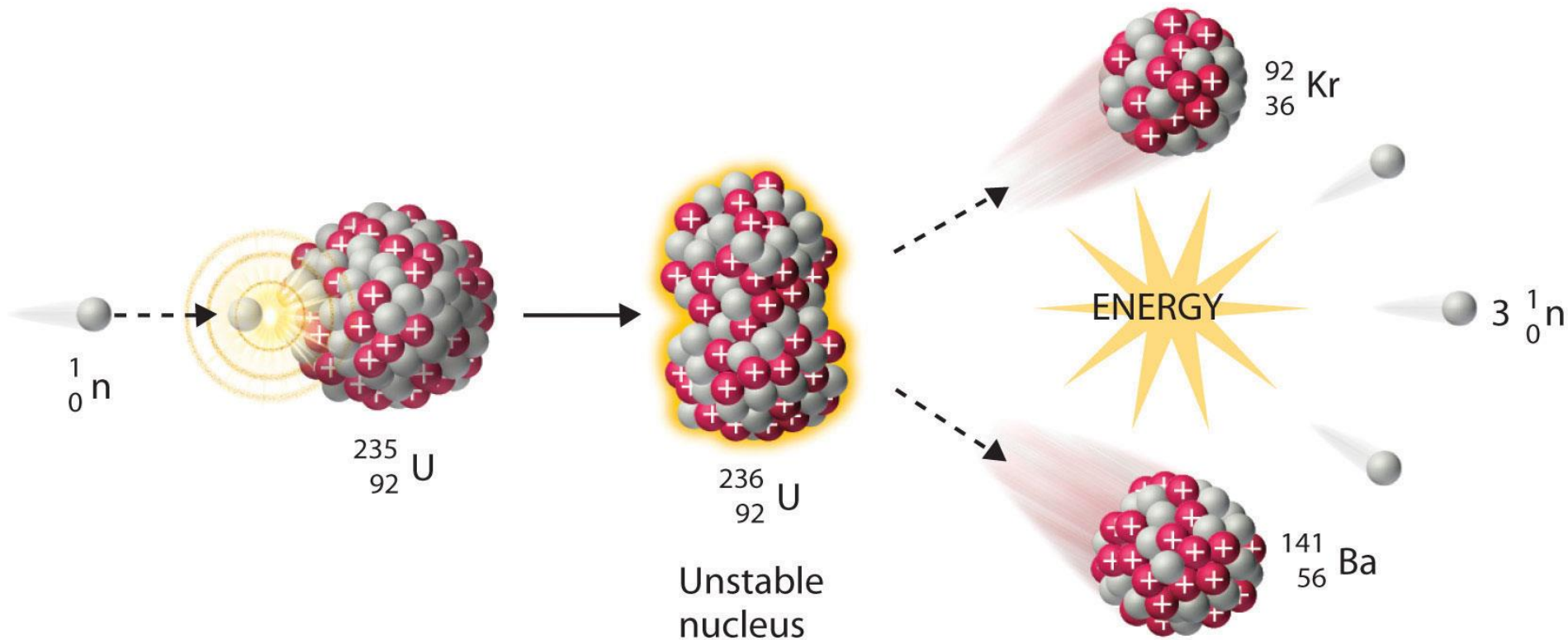


KEE/JE – Jaderné elektrárny



Fyzika jaderných reaktorů, základy jaderné fyziky

2

- **Atom**
- Složen z jádra a elektronového obalu
- Hmotnost atomu je koncentrována v jádře (přes 99,94%)
- Rozměr jádra (10^{-15} m) je řádově menší než rozměr atomu (10^{-10} m)

Čtyři základní interakce našeho světa

3

- **Gravitace** – síla mezi hmotou, dlouhý dosah, slabá
- **Elektromagnetická** – síla mezi nabitými částicemi, dlouhý dosah
- **Silná interakce** – velmi silná (100x silnější než EM síla na atomární úrovni, 1039 silnější než gravitace), krátký dosah, působí mezi p a n, drží pohromadě atomové jádro
- **Slabá interakce** – krátký dosah, zodpovědná za β rozpad (106 slabší než silná interakce)

Hmotnostní úbytek

4

- Hmotnost jádra je vždy menší než součet hmotností nukleonů
- $M_j = Z * m_p + (A - Z) * m_n - \Delta m$

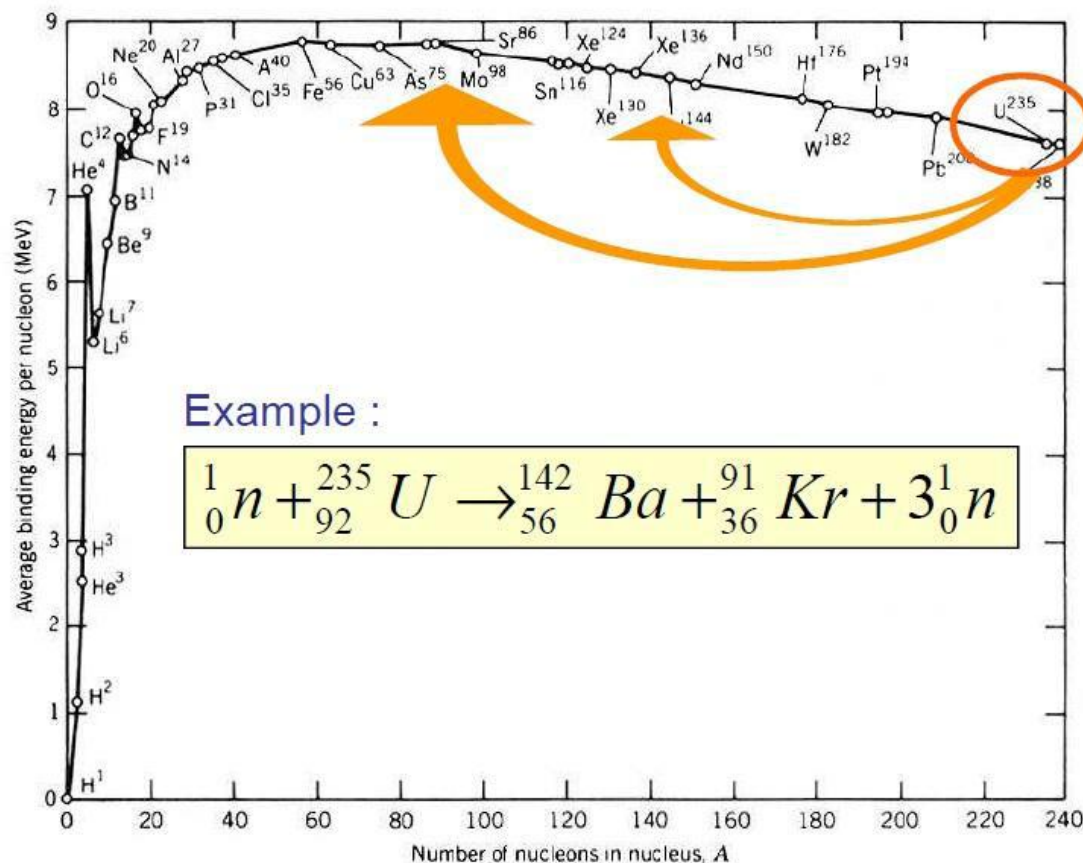
Vazebná energie jádra

5

- $E_v = \Delta mc^2$
- Energie potřebná k rozložení jádra na jednotlivé nukleony
- Jaderná vazebná energie je podstatně větší než chemická vazebná energie
- Střední vazebná energie jádra $^{58}\text{Fe} = 8,792 \text{ MeV}$
- Energie vazby C-H = 4,25 eV
- S rostoucí střední vazebnou energií roste celková síla vazby a tím i Δm

Závislost vazebné energie na počtu nukleonů

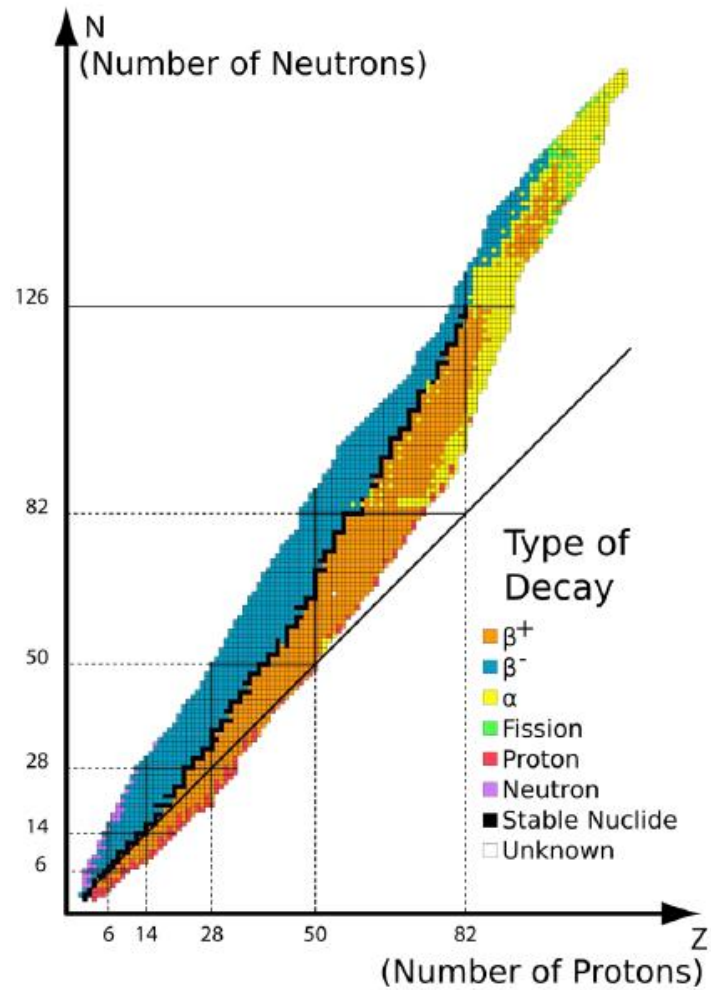
6



Stabilita jádra

7

- **Stabilita jádra** je jeho odolnost vůči radioaktivnímu rozpadu
- Reprezentována vazebnou energií jádra
- Pro region stability neplatí rovnost mezi Z a N , N roste rychleji než Z
- Způsob jakým se jádro rozpadá závisí na jeho pozici ve vztahu ke středové linii stability



Radioaktivita

9

- Schopnost jader přeměňovat se na jiné za emise částice a energie
- Čím menší je stabilita jádra, tím větší je pravděpodobnost jeho přeměny
- Trend s jakým se jádro přeměňuje (rozpadá) vyjadřuje *rozpadová konstanta λ , případně poločas rozpadu T*

$$N/N_0 = e^{-\lambda \cdot T} = 1/2$$

→

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

Ionizující záření

10

- Pomocí záření se jádro zbavuje přebytku energie po přeměně
- Různé druhy přeměn produkují různé druhy záření
 - ▣ α rozpad (jádro ^4He) – přímo ionizující, náboj $+2e$
 - ▣ β rozpad (elektron, pozitron) – přímo ionizující, náboj $\pm 1e$
 - ▣ γ (foton) – nulový náboj, nulová klidová hmotnost
 - ▣ n (neutron) – těžká nenabitá částice, nestabilní, podléhá β
- Způsob jakým se jádro rozpadá závisí na jeho pozici ve vztahu ke středové linii stability

Neutronové interakce

11

- **Pružný rozptyl (zachování hybnosti a energie)**
 - ▣ rychlé neutrony, těžké jádro
- **Nepružný rozptyl (zachování pouze hybnosti)**
- **Radiační záchyt**
 - ▣ pomalé neutrony
- **Štěpení**
 - ▣ Rozpad jádra na dvě nebo více částí se současným uvolněním několika neutronů (potenciál pro řetězovou reakci)
 - ▣ Pozorováno u těžkých jader (v roce 1939 na U)
 - ▣ Silně exoenergetická reakce – **cca 200 MeV**

Forma uvolněné energie	uvolněná energie [MeV]
kinetická energie štěpných produktů	167
okamžité gama záření	7
kinetická energie štěpných neutronů	5
gama záření při rozpadu štěpných produktů	6
beta záření při rozpadu štěpných produktů	5
neutrino	11
celková energie uvolněná při štěpení jednoho jádra U^{235}	201

Neutronová bilance v reaktoru

13

- Aby se štěpná řetězová reakce udržela, musí vzniknout na každý zachycený tepelný neutron vyvolávající štěpení alespoň jeden nový neutron, který způsobí štěpení dalšího jádra. Tato podmínka se dá vyjádřit pomocí veličiny, kterou nazýváme **koeficient násobení** (koeficient rozmnožení nebo též multiplikační koeficient).
- Je definován jako poměr počtu neutronů určité generace n_i k počtu neutronů předcházející generace n_{i-1} .

$$k = \frac{n_i}{n_{i-1}}$$

- Veličina k se rovná počtu neutronů, který získáme na konci doby života jedné generace na každý neutron, který existuje na začátku. Za jednu generaci je možné získat $k - 1$ neutronů.

Rovnice čtyř koeficientů

14

- koeficient násobení:

$$k_{\infty} = \frac{N \varepsilon p f \eta}{N} = \varepsilon p f \eta$$

- ε = štěpení rychlými
- p = pravděpodobnost úniku rezonančnímu záchytu
- f = koeficient využití tepelných neutronů
- η = regenerační faktor

Zpomalování neutronů

15

- Mechanismus = pružný rozptyl neutronů na jádrech (přenos energie z neutronu na jádro)
- Popis mechanismu analogický mechanice kulečnicku (zákon o zachování energie a hybnosti)
- Letargie: $u = \ln \frac{E_{\text{ref}}}{E}$
- Průměrná logaritmická ztráta energie při jedné srážce ξ
- Počet srážek neutronu pro zpomalení: $\ln \left(\frac{2 \text{ MeV}}{0.0253 \text{ eV}} \right) / \xi$
- Vodík/uhlík/uran 18/114/2000 srážek

Zpomalování neutronů

16

- Ideální moderátor z hlediska zpomalování:
 - ▣ Malý počet srážek nutný pro zpomalení
 - ▣ Velký účinný průřez pro rozptyl
 - ▣ Malý účinný průřez pro absorpci
- Lehká voda: nejlepší rozptyl, ale velká absorpce
- Těžká voda: malá absorpce, nejlepší moderátor, drahý
- Uhlík/grafit: lepší moderátor než voda (vyšší rozteč palivových proutků a rozměry reaktoru)
- Ostatní lehké prvky se moc nepoužívají (helium není ve sloučeninách, berylium znečištění + toxické, bór extrémní absorpce)

$$\xi \frac{\Sigma_S}{\Sigma_A}$$

Zpomalování neutronů

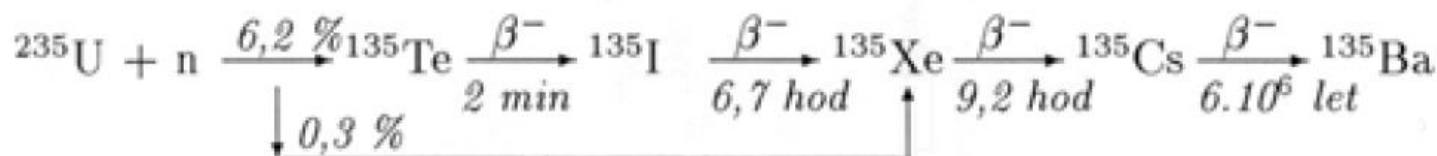
17

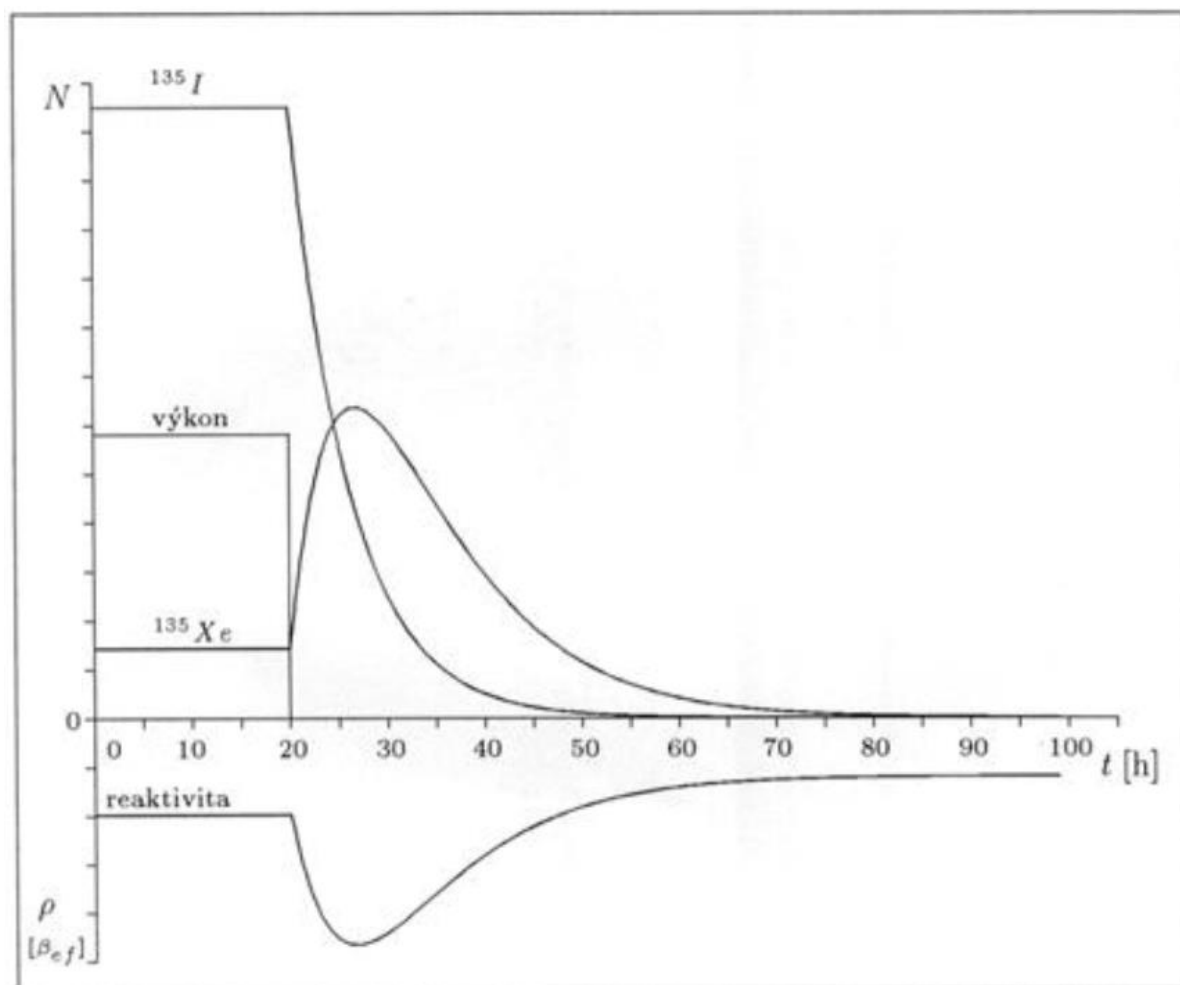
- Průměrná energie jednoho neutronu ihned po štěpení je cca **2 MeV**
- Štěpením ^{235}U vznikají na jedno rozštěpené jádro cca 3 nové neutrony
- Postupným zpomalováním pomocí moderátoru se neutrony dostávají do tzv. **tepelné oblasti – na energii 0.025 eV**
 - ▣ Jen tepelné neutrony jsou schopné ve velkém způsobovat štěpení na ^{235}U

Xenonová otrava reaktoru

18

- Vysoký účinný průřez Xe-135
- Dosažení rovnovážné koncentrace Xe-135 při provozu reaktoru (přírůstek Xe-135 z rozpadu I-135 je kompenzován absorpcí Xe-135)
- Otrava = snížení reaktivity při provozu
- Jáma = při rychlém odstavení reaktoru není po určitou dobu možné znovuspuštění





Děkuji za pozornost

20

