



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

JADERNÁ ENERGIE

Jaderné reakce, které slouží k uvolňování jaderné energie, jsou jaderná syntéza a jaderné štěpení.

1. Jaderná syntéza (termonukleární reakce):

- Je děj, při němž složením dvou lehkých jader vznikne jádro těžší (za pomoci vysoké teploty nebo tlaku).
- Probíhá uvnitř hvězd, například na Slunci a při výbuchu vodíkové bomby.
- Aby nastala, je nutné přiblížit k sobě kladně nabitá jádra na dosah jaderných sil, čemuž brání odpuzivé elektrostatické síly mezi jádry $\Rightarrow$ jádra se musí nejdříve urychlit zahřátím na vysokou teplotu.
- Při této reakci se uvolňuje značná energie.
- Příklady termonukleárních reakcí: ***

Reakce deuteria a tritia: ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$ $E = 17,6 \text{ MeV}$

Reakce mezi jádry deuteria – probíhá dvěma způsoby: ${}_1^2\text{H} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_2^3\text{He} + {}_0^1\text{n}$ $E = 3,25 \text{ MeV}$

${}_1^2\text{H} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_1^3\text{H} + {}_1^1\text{H}$ $E = 4,03 \text{ MeV}$

Deuterium:

- značka: ${}_1^2\text{H}$... jádro atomu obsahuje jeden proton a jeden neutron
- je součástí molekul tzv. těžké vody D_2O
- těžká voda je obsažena v přírodní vodě oceánů (v koncentraci 0,015%)
- zásoby na Zemi jsou téměř nevycerpitelné (v oceánech je přibližně $2,6 \cdot 10^{13}$ tun deuteria)

Tritium:

- značka: ${}_1^3\text{H}$... jádro atomu obsahuje jeden proton a dva neutrony
- nejtěžší izotop vodíku
- v přírodě se vyskytuje vzácně
- je radioaktivní, poločas rozpadu $T = 12$ let

Technické problémy uskutečnění řízené jaderné syntézy na Zemi: ***

- K získávání energie se předpokládá využití reakce mezi jádry deuteria nebo reakce deuteria a tritia (problém-tritium se vyskytuje na Zemi vzácně).
- Je zapotřebí obrovské teploty ($\approx 10^8 \text{ K}$) ... látka se nachází ve stavu plazmatu $\Rightarrow$ je třeba najít způsob, jak udržet plazma v nádobě (každá látka se při takové teplotě odpaří).
- Pokud by se použily k přiblížení jader urychlovače $\Rightarrow$ většina urychlených jader těžkého vodíku nezasáhne deuterium v terčíku, aby došlo k jaderné syntéze.

Budoucnost jaderné syntézy na Zemi:

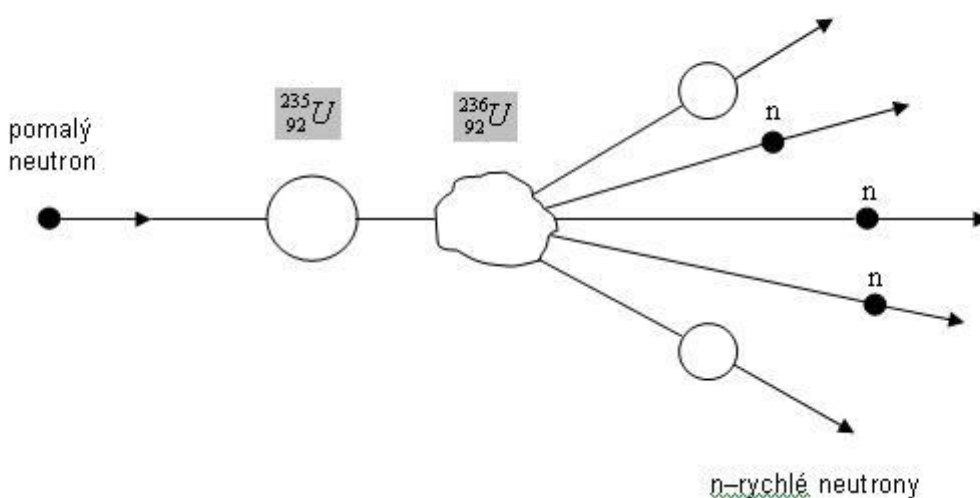
- Řízené termojaderné reakce jsou ve stadiu nákladných výzkumů.
- Kdyby se podařilo zvládnout jadernou syntézu deuteria, získalo by lidstvo zdroj energie na několik tisíciletí.
- Uvažuje se, jakým způsobem přiblížit jádra bez zahřátí na termodynamickou teplotu.
- Předpokládá se, že kolem roku 2050 by tento zdroj energie mohl sloužit lidstvu.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

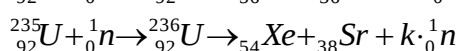
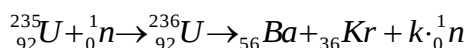
2. Jaderné štěpení:

- Je děj, při němž se jádro s velkou hmotností štěpí na jádra se střední hmotností.
- Pro štěpení jsou vhodná jádra s nukleonovým číslem kolem 240.
- Štěpení jádra uranu $^{235}_{92}\text{U}$ nastává tehdy, když jeho jádro zachytí neutron. Tím se poruší stabilita jádra a jádro se přemění na 2 nuklidy středně těžkých prvků. Přitom se uvolní 2 až 3 neutrony a obrovská energie.
Aby neutron jádro rozštěpil, musí být pomalý (musí se pohybovat přibližně stejnou rychlostí jakou se pohybují atomy v látce).

Schéma štěpení uranu:



Štěpení může proběhnout například takto: ***



Nukleonové číslo lze doplnit až podle toho, kolik neutronů se uvolní.

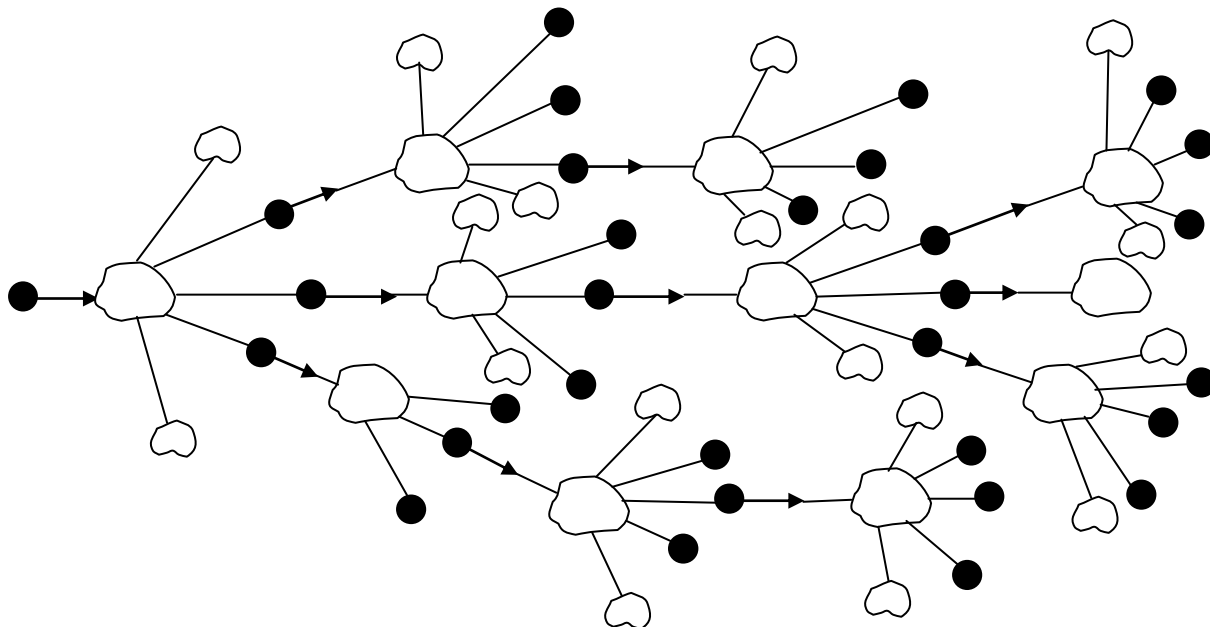
Nová lehčí jádra nejsou určena jednoznačně, jejich Z a A ale musí splňovat zákon zachování počtu nukleonů.

Řetězová jaderná reakce:

- Vznikající neutrony mají značnou energii, ale mohou po zpomalení štěpit další jádra uranu.
- Ke zpomalení neutronů se používá moderátor – látka, která obsahuje lehká jádra (voda, grafit).
- Lavinovitě narůstá počet rozštěpených jader a vzniká řetězová jaderná reakce.
- Existují jen čtyři nuklidy, pomocí nichž lze uskutečnit řetězovou jadernou reakci. Jsou to ^{235}U , ^{233}U , ^{239}Pu a $^{241}\text{Pu} \Rightarrow$ mohou sloužit jako štěpné materiály. Jediný z nich ... ^{235}U se vyskytuje v přírodě a lze ho těžit. Je obsažen v přírodním uranu ve směsi s uranem 238 v množství 0,72%.
- Pro praktické využití je nutno řetězovou reakci regulovat, aby byl počet volných neutronů stále stejný. Řízená řetězová štěpná reakce probíhá v jaderném reaktoru.
- Neřízená řetězová reakce probíhá v jaderných bombách.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Schéma řetězové jaderné reakce:



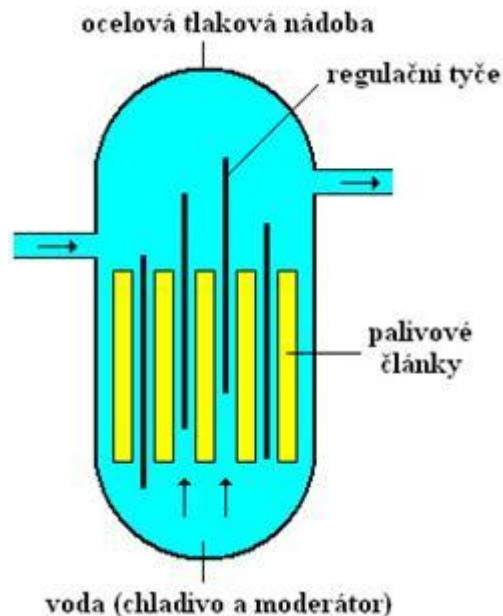
K vyvolání řetězové reakce je třeba mít k dispozici určité množství štěpného materiálu o tzv. **kritické hmotnosti**. Kritická hmotnost ^{235}U je asi 50 kg. Je to hmotnost ^{235}U obsaženého v kouli o průměru 18 cm.

Jaderný reaktor:

- Probíhá v něm řízená řetězová reakce.
- Tvar ocelové válcové nádoby, stěny jsou schopné odolat vysokému tlaku, teplotě i radioaktivitě
- palivo (obohacený U 235) je vloženo do palivových proutků.
- Proutky jsou uspořádány do svazků tvořících palivové články (kazety) a jsou chlazeny vodou, která proudí mezi nimi.
- Palivové články jsou pokryté obalem ze slitiny zirkonia (je mnohem odolnější než nerezavějící ocel) a v reaktoru musí odolávat teplotě kolem 300°C a tlaku přes 12 MPa.
- Mezi palivové proutky jsou vloženy regulační tyče z materiálu (bór nebo kadmium), který pohlcuje neutrony (při jejich zasunutí se reakce zpomalí a naopak).
- Palivo i regulační tyče jsou obklopeny materiálem, který zpomaluje, ale nepohlcuje neutrony – moderátorem (grafit, voda).
- Reaktorová nádoba je obklopena silným stíněním, které pohlcuje neutrony i záření vznikající při štěpné reakci.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obr. schéma jaderného reaktoru:



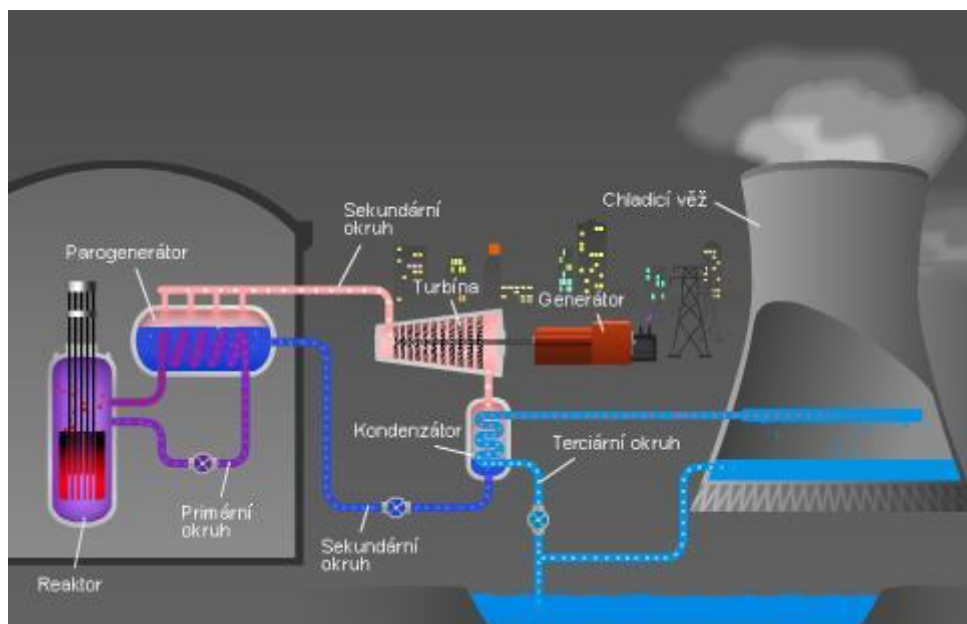
Zdroj obr: www.images.google.cz

Jaderná elektrárna:

- Pracuje na podobném principu jako tepelná elektrárna.
- V tepelné elektrárně vzniká teplo k vytvoření páry spalováním uhlí, v jaderné elektrárně vzniká štěpením jader uranu v jaderném reaktoru.
- Teplo vytvořené v reaktoru odvádí voda primárního okruhu do parogenerátoru, kde ohřívá vodu v druhém okruhu a vzniká pára, která už není radioaktivní.
- Pára je sekundárním okruhem přivedena na turbínu, kterou roztáčí.
- Turbína pohání generátor elektrické energie, v generátoru se mechanická energii mění na elektrickou.
- Pára přicházející z turbíny se ochlazuje v kondenzátoru, kde se mění na vodu a vrací se zpět do parogenerátoru.
- Kondenzátor je chlazen vodou z terciárního okruhu, která teplo odvádí do chladicí věže, do ovzduší stoupá jen čistá vodní pára.
- V případě neočekávaného zvýšení teploty v reaktoru se automaticky zasunou havarijní tyče, které pohltí neutrony a zastaví řetězovou reakci.
- Jaderná část elektrárny je stíněna tlustou vrstvou betonu obsahujícího baryt (ochrana proti záření gama) a je umístěna v hermeticky uzavřené ochranné betonové obálce, která zabrání úniku radioaktivních látek do okolí a je odolná vůči nárazům zvenčí (například pádu letadla).
- v ČR: Dukovany - jižní Morava ... v provozu od roku 1985
 - jižní Čechy ... v provozu od roku 2000

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obr. schéma jaderné elektrárny:



Zdroj obr. www.cez.cz

Vyhořelé jaderné palivo:

- Palivo vytažené z reaktoru obsahuje ještě 95% nespotřebovaného uranu, z toho asi 1% štěpitelného ^{235}U a 1% štěpitelného ^{239}Pu .
- Proč se tedy palivo nenechá úplně dohořet? Štěpné produkty, které vznikly, zachycují stále více neutronů uvolněných při štěpení, reakce se postupně sama zastaví. Aby se palivo mohlo znovu použít, musely by se z něj odstranit štěpné produkty a muselo by se obohatit štěpitelným ^{235}U na původních 3,5%. To je nevýhodné, protože nové palivo (přírodní uran) je velmi levné.
- Vyhořelé články se z reaktoru vyjmou a pod vodou kanálem převezou do bazénu vyhořelého paliva, který je v hale vedle reaktoru. Tam jsou pod vodou uloženy 3 až 4 roky. Voda je neustále chladí, protože radioaktivním rozpadem se v nich stále vyvíjí teplo. Jejich radioaktivita mezitím poklesne na 50% původní hodnoty a vyhořelé články se vloží do speciálních kontejnerů a odvezou do meziskladu vyhořelého paliva. Zde se skladují 40 až 50 let. Mezisklady jsou většinou v areálu elektrárny.
- Existují dva typy meziskladů – suché a mokré, podle toho, jsou-li kontejnery s vyhořelým palivem chlazeny vzduchem nebo vodou. Chlazení vodou je nejrozšířenější.
- Dále jsou dvě možnosti:
 1. vyhořelé palivo přepracovat na nové (to si dovolí jen ekonomicky silné země)
 2. odvézt ho do trvalého hlubinného úložiště
- Hlubinné úložiště je upravený podzemní prostor v hloubce několika set metrů a v oblasti, kde nehrozí vulkanická činnost, zemětřesení nebo zaplavení mořem. V ČR se předpokládá zahájení provozu kolem roku 2065, do té doby bude použité jaderné palivo skladováno v kontejnerech. Uložení vyhořelého paliva na dobu delší než 10 tisíc let.

Poznámka: Učivo označené symbolem *** je určeno studentům studijního oboru Technické lyceum.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



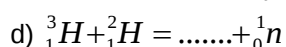
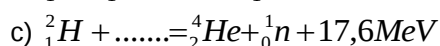
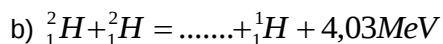
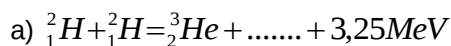
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Pracovní list 1:

1. Doplňte do rovnice, kolik neutronů se uvolní při rozštěpení jádra uranu:



2. Doplňte do rovnic chybějící údaje:



3. Jak vzniká energie Slunce?

4. Doplňte:

a) Jaderná syntéza je děj, při němž

b) Jaderná syntéza probíhá

c) Jaderné štěpení je děj, při němž

5. Čím se štěpí jádra ${}_{92}^{235}\text{U}$?

6. Načrtněte schéma štěpení uranu:

7. Jakou funkci mají v jaderném reaktoru a z jakých látek jsou zhotoveny:

a) Moderátory

b) Regulační tyče

8. Popište řetězovou jadernou reakci:



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Pracovní list 2:

9. Co je kritická hmotnost uranu?

10. Jakým způsobem a kde může probíhat jaderná štěpná řetězová reakce?

11. Jaký je rozdíl mezi tepelnou a jadernou elektrárnou?

12. Uveďte základní části jaderné elektrárny:

15. Jakou funkci plní parogenerátor, turbína a generátor jaderné elektrárny?

Parogenerátor

Turbína

Generátor

16. K čemu slouží havarijní tyče?

17. Kde se skladuje vyhořelé jaderné palivo?