

Jaderná fyzika

Radioaktivní rozpad, přeměnový zákon,
detektory jaderného záření, absorpce
jaderného záření, vazebná energie jádra,
dávka a ekvivalentní dávka záření.

Jaderná fyzika

Jaderná fyzika je specializovaná na vlastnosti atomového jádra

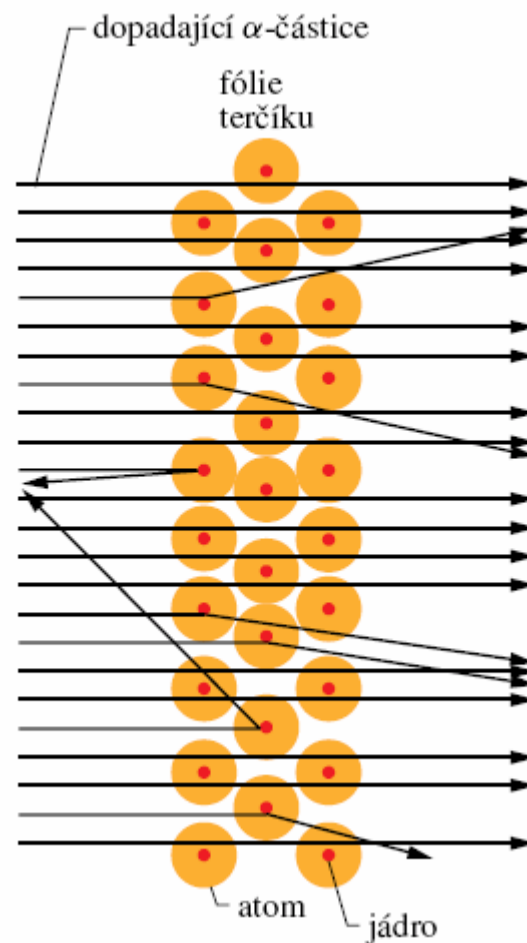
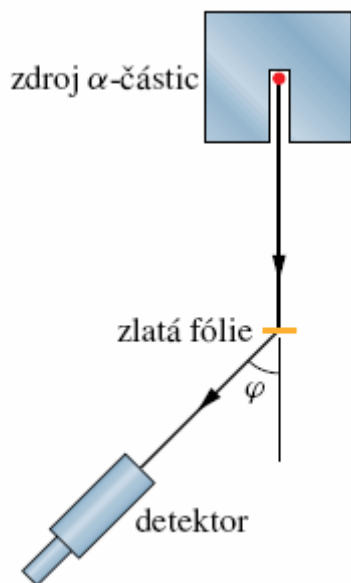
- rozpad jader a jejich transformace
- fúze jader
- složení jádra z elementárních částic
- reakce mezi elementárními částicemi
- ...

Složení atomu

- Jádru (10^{-15}m), složeno z nukleonů (protony, neutrony), obsahuje většinu hmoty atomu
- Elektronový obal (10^{-12}m), obsahuje elektrony s diskontinuálními energiemi (elektronové sloupky, podsloupky), elektrony zodpovědné za charakteristiky vyzařovaného záření, uspořádání v tabulce

Atomové jádro

Rutherford 1911
rozptyl α -částic na Au-folii



Velikost jádra

Rozptylové experimenty E.Rutherforda určily velikost jádra na $5 \cdot 10^{-14} \text{m}$

Elektron se nachází v oblasti $5 \cdot 10^{-11} \text{m}$ kvůli Heisenbergovu principu neurčitosti

Rozptylové experimenty nedávají žádnou informaci o struktuře jádra

Vlastnosti jader

- Hmotnost – relativní atomová hmotnost $A=Z+N$
- Elektrický náboj – protonové číslo Z



Nuklidy - radionuklidy

Např. ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C – liší se hmotností jader

Separace v hmotovém spektrometru – umožňuje změřit měrný náboj nabitých částic

Neutronové číslo N = počet neutronů v jádře

Struktura jádra

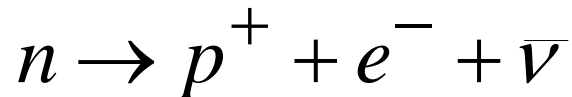
Vodík – jediný proton v jádře

Helium ${}^4_2\text{He}$ - mělo náboj $+2e$, ale hmotnost větší, než by odpovídalo dvěma protonům

1932 – J.Chadwick navrhl existenci další jaderné částice – neutron

Elektricky neutrální, hmotnost zhruba stejná jako proton, spin $\frac{1}{2}$

Neutron není mimo jádro stabilní, během 10.8 min se rozpadá



Stabilita jádra

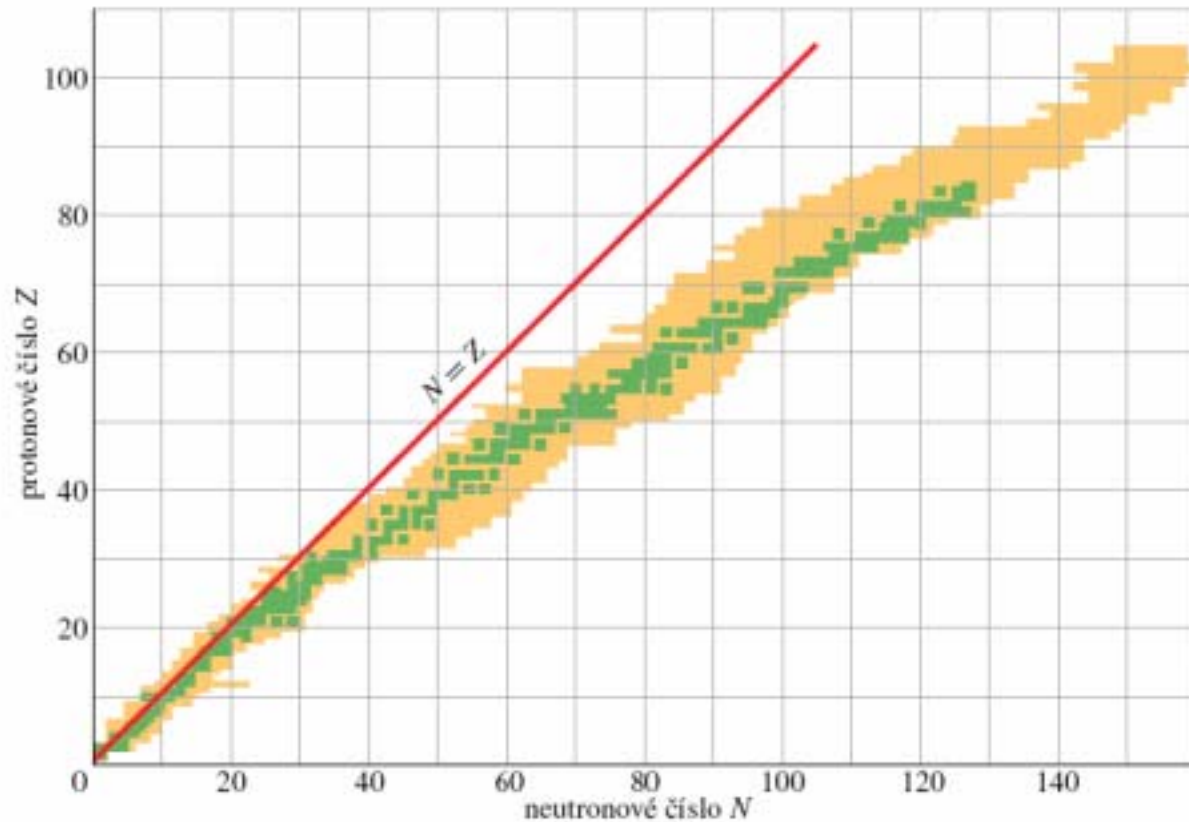
Blízké uspořádání stejně nabitých protonů v jádře zajišťují velmi silné jaderné síly krátkého dosahu – kompenzace sil elektrostatického odpuzování

Nukleony se řídí Pauliho vylučovacím principem, jádra s velkým počtem nukleonů mají částice ve vyšších energetických stavech

Neutrony stabilizují strukturu jádra, stabilní jsou jádra se zhruba stejným počtem neutronů jako protonů

Nuklidový diagram

Stabilita (až do $Z=83$, Bi) – nestabilita nuklidů



Jaderná vazební energie

Určena rozdílem energií jednotlivých nukleonů a jádra po sloučení

$$Q = \Delta mc^2$$

Můžeme porovnávat tuto energii přepočtenou na jeden nukleon

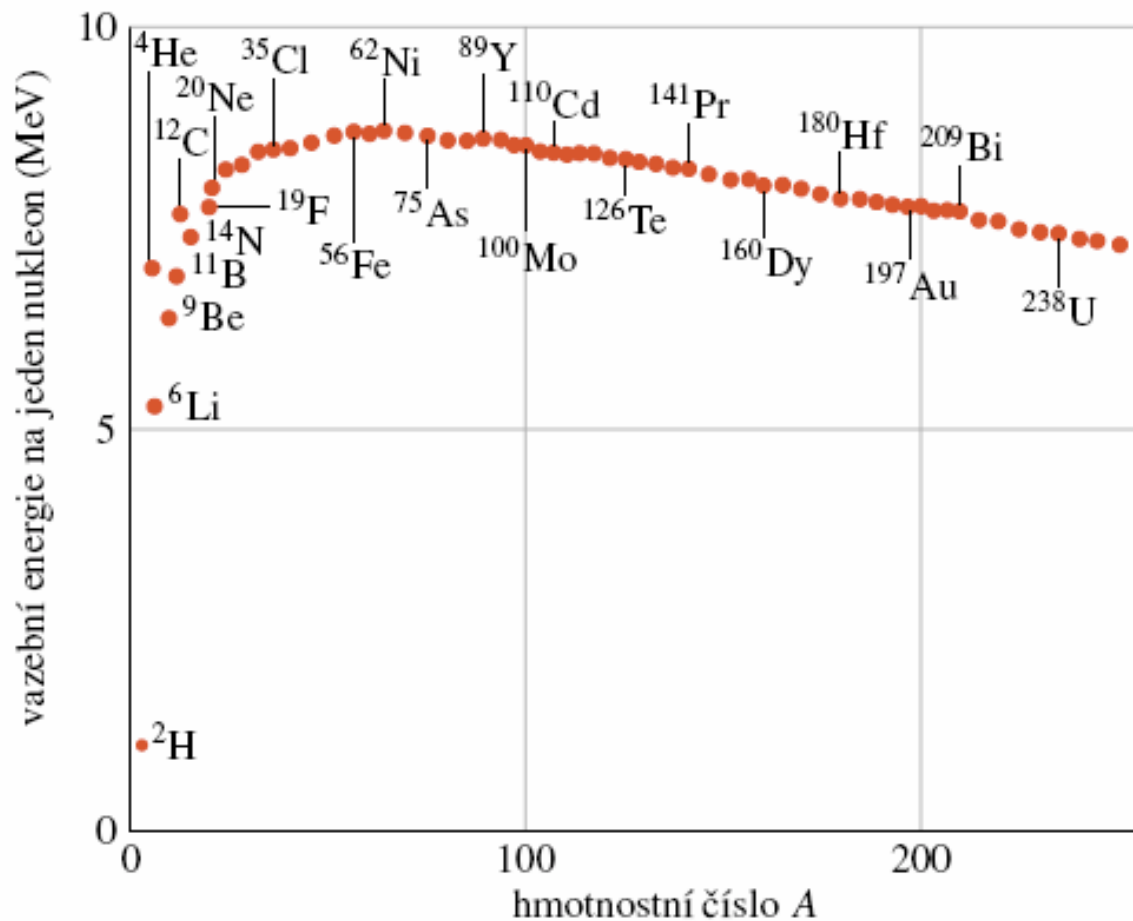
Nejstabilnější ^{62}Ni , $Q = 8.8\text{MeV/nukleon}$

Jaderná vazební energie

${}^{62}\text{Ni}$

Rozpad
(fission)

Fúze
(fusion)



Jaderný rozpad

Jádra mění svoji energii

Rychlost rozpadu $-\frac{dN}{dt} = \lambda N$

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

Aktivita

$$R = -\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

1 becquerel = 1 Bq = 1 rozpad za sekundu

Neexistuje vůbec žádný způsob, jak předpovědět, jestli určité jádro ze vzorku bude mezi jedním z malého počtu jader, která se rozpadnou v následující sekundě. U všech jader je pravděpodobnost rozpadu stejná.

Poločas rozpadu

Doba za kterou klesne počet nerozpadlých částic na polovinu

Stejně tak aktivita vzorku

Vztah k rozpadové konstantě

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

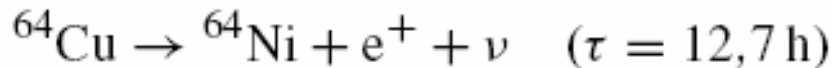
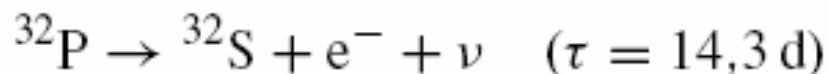
Druhy jaderných rozpadů

- α -rozpad

Nabité α -částice He^{2+} $^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{Th} + ^4\text{He}, \quad Q = 4,25 \text{ MeV}$

- β -rozpad (β^+ , β^-)

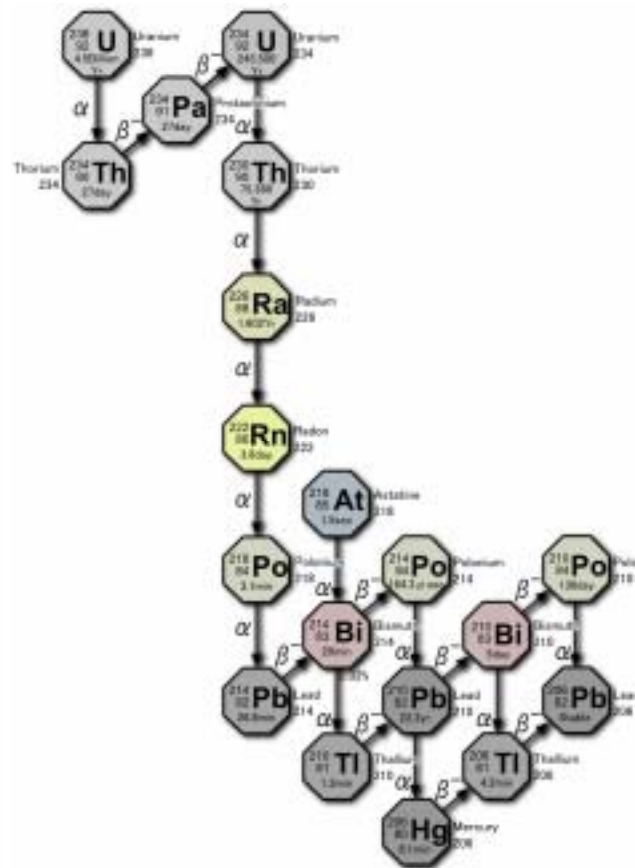
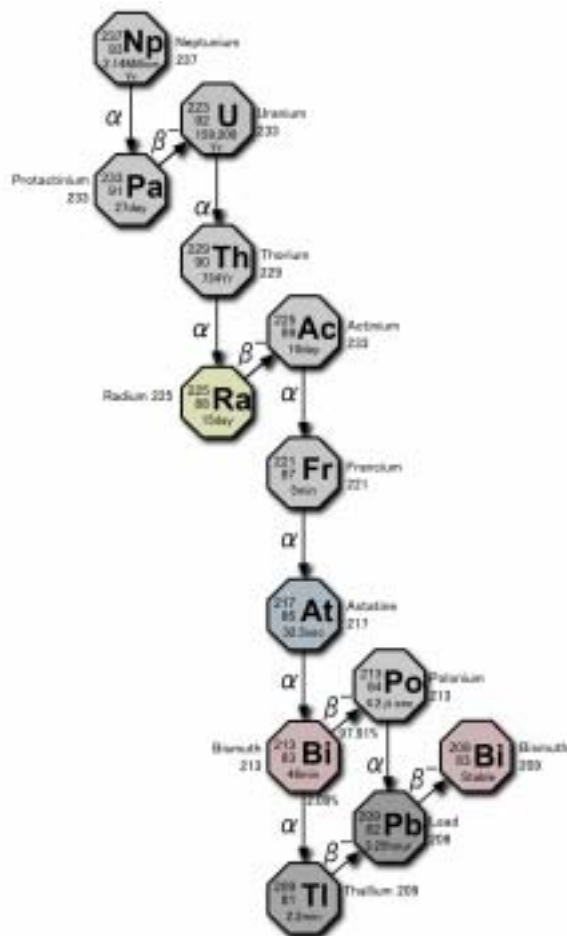
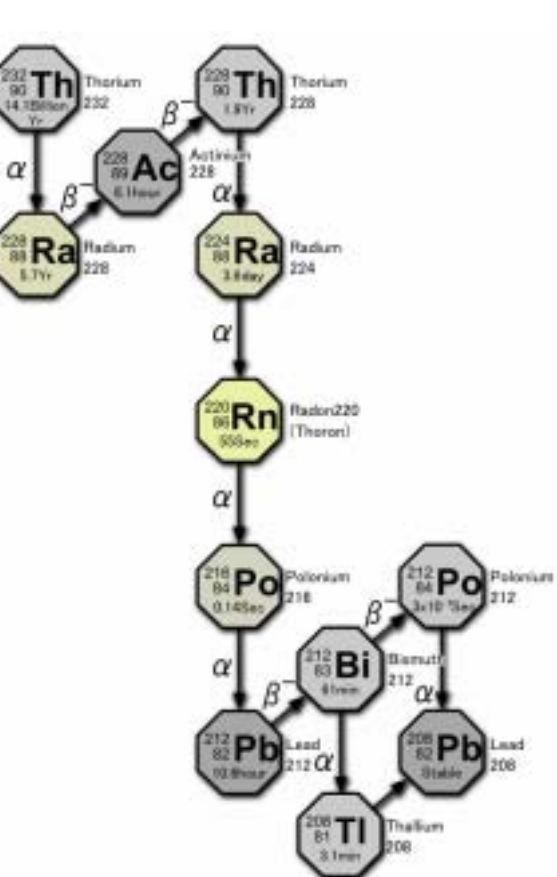
Nabité částice – elektron, pozitron



- γ -rozpad

Neutrální záření – fotony krátkovlnného elmg. záření

Rozpadové řady



Radioaktivní datování

Založeno na organickém izotopu ^{14}C a měření jeho poměru k izotopu ^{12}C

Poločas rozpadu ^{14}C je 5730 let

Běžně se vyskytuje 1 atom ^{14}C na 10^{13} atomů běžného ^{12}C

^{14}C vzniká z dusíku ostřelováním částicemi kosmického záření

Radiační dávka

- Pohlčená dávka = pohlčená energie záření na jednotku hmotnosti

Pozadí = 0.002Gy

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad.}$$

- Ekvivalentní dávka = pohlčená dávka násobená faktorem relativní biologické účinnosti (RBE) - RBE=1 (RTG, elektrony), RBE=5 (neutrony), RBE=10 (α -záření)

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem.}$$

Detekce záření

Např.: Geigerův-Millerův detektor

Nabitý kondenzátor, který se vybíjí svodovým proudem vznikajícím při interakci záření s plynem v kondenzátoru

Mlžná komora – kondenzace v nasycené páře kolem trajektorie částice

Detektory specifické pro různá záření

Jaderná energetika

- Umělá radioaktivita – ostřelování neutrony
- Rozpad těžkých jader – štěpné produkty, radioaktivita, odpad
- Slučování lehkých jader (dosud ve stadiu laboratorních pokusů)

Štěpná reakce

Štěpení uranu neutrony – řetězová (lavinová) reakce



	${}^{140}\text{Xe} \rightarrow$	${}^{140}\text{Cs} \rightarrow$	${}^{140}\text{Ba} \rightarrow$	${}^{140}\text{La} \rightarrow$	${}^{140}\text{Ce}$
τ	14 s	64 s	13 d	40 h	stabilní
Z	54	55	56	57	58

	${}^{94}\text{Sr} \rightarrow$	${}^{94}\text{Y} \rightarrow$	${}^{94}\text{Zr}$
τ	75 s	19 min	stabilní
Z	38	39	40

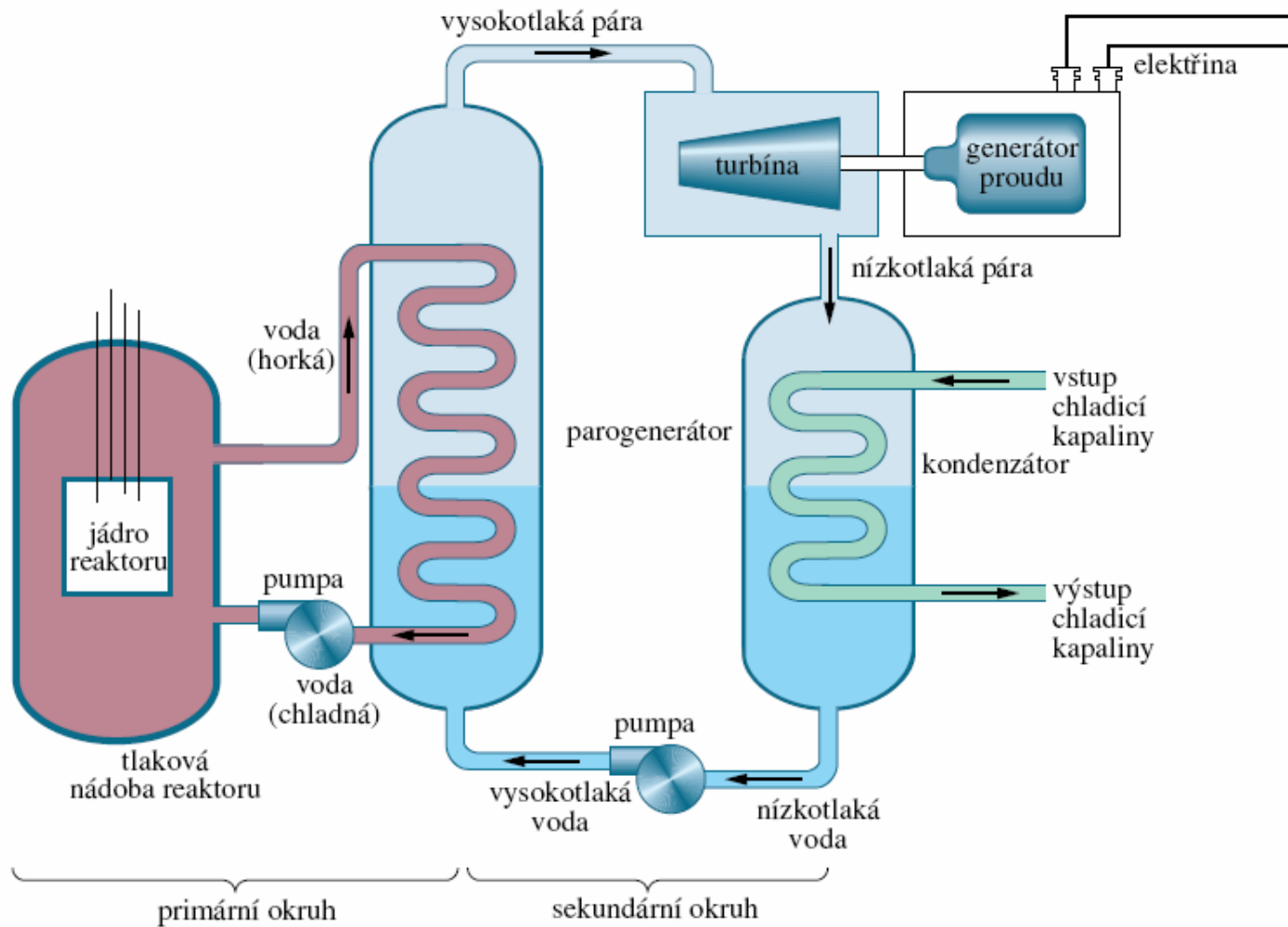
Energetický zisk $A \approx 240, 7.6\text{MeV}$, $A \approx 120, 8.5\text{MeV}$

$$Q = 2(8,5 \text{ MeV})(120) - (7,6 \text{ MeV})(240) \doteq \\ \doteq 200 \text{ MeV}.$$

Štěpná reakce

- Kritické množství – únik neutronů z reaktoru
- Moderátor – zpomaluje vznikající neutrony, tak lépe probíhá štěpná reakce
- Palivo – obohacování směsi ^{238}U (99.3%) a ^{235}U (přirozeně jen 0.72%, zvyšuje se na 3%)
- Řídící tyče – regulace množství neutronů v reaktoru, nadkritický režim

Jaderná elektrárna



Termojaderná fúze

Slučování lehkých jader – Tokamak

Nutnost překonání potenciálové bariery mezi jádry např. vodíku (400keV) zahřátím na velmi vysokou teplotu

V přírodě probíhá ve hvězdách - Slunce

Termojaderná fúze

Reakce

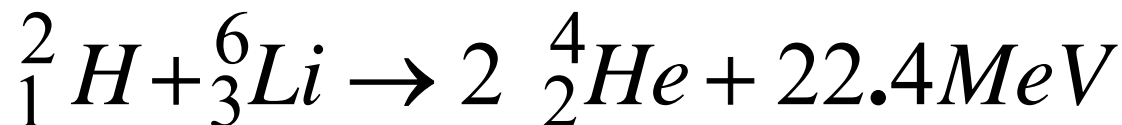
Deuterium – Tritium



Neutron – Lithium

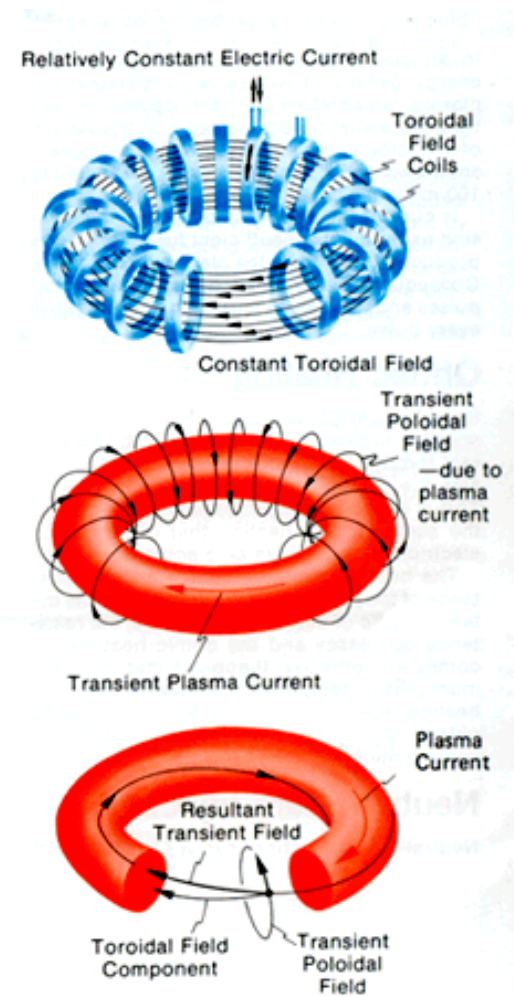


Celková bilance



Tokamak

„Toroidalna kamera s magnetnimi katuškami“



Literatura

V prezentaci byly použity materiály
z knihy:

HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER,
J.: Fyzika (část 5 – Moderní fyzika),
Vutium, Brno 2000