

Jaderná fyzika

Struktura atomu

- atomy - jádro - protony a neutrony
 - obal - elektrony
- Jaderná fyzika - procesy na úrovni atomových jader
- atomová fyzika - procesy na úrovni elektronových obalů atomů
- protony - kladný elementární elektrický náboj
- elektrony – záporný elementární elektrický náboj
- neutrony – bez elektrického náboje
- počet protonů v jádře - protonové číslo Z - jednoznačně určuje, o který prvek se jedná
- počet neutronů v jádře - neutronové číslo N - může se u jednotlivých atomů stejného prvku lišit, pak se jedná o různé izotopy stejného prvku

Jaderná fyzika

- součet protonů a neutronů - nukleonové číslo A
- schematické označení jádra prvku: A_ZX
- neutrální atom - počet elektronů v obalu je stejný jako počet protonů v jádře
- kladný iont - méně elektronů než protonů – převládá kladný náboj jádra a atom se jeví jako kladně nabitý
- záporný iont - více elektronů než protonů – převládá záporný náboj obalu a atom se jeví jako záporně nabitý
- hmotnost protonu a neutronu cca 1800-krát větší než hmotnost elektronu \Rightarrow téměř celá hmotnost atomu je soustředěna v jádře
- průměry atomů – cca 10^{-10} m
- průměry jader – cca 10^{-15} m

Jaderná fyzika

Radioaktivita

- nuklid - soubor atomů se stejným počtem protonů a stejným počtem neutronů
- nuklid – např. soubor atomů ${}^{235}_{92}\text{U}$ s 92 protony, 143 neutrony
- izotopy - nuklidy stejného prvku (tj. se stejným počtem protonů), které se liší počtem neutronů
- jednotlivé izotopy prvků se vyskytují v přírodě nebo je lze vyrobit uměle
- izotopy se liší ve fyzikálních vlastnostech, jako je například stabilita jádra
- stabilita jádra – schopnost jádra udržet si neměnný stav
- neutrony ovlivňují vzdálenosti mezi jednotlivými protony, a tím i poměry sil v atomovém jádru – jsou-li silové podmínky nepříznivé, je jádro nestabilní a v průběhu času se spontánně přemění na stabilnější jádro

Jaderná fyzika

- radionuklidy – nestabilní nuklidy, jejichž jádra procházejí spontánní přeměnou doprovázenou emisí záření
- radioaktivita – schopnost nestabilních jader spontánně se přeměňovat
- přeměna může vést k vzniku jádra, které je opět nestabilní, nebo zcela stabilní

Obecné zákony radioaktivní přeměny

- přirozeně se vyskytující radioaktivní radionuklidy – vyskytující se v přírodě x umělé radionuklidy
- při přeměně radionuklidů dochází k emisi alfa částic (jader helia), elektronů nebo pozitronů a fotonů s vysokou energií (gama záření)
- radioaktivní přeměny – v jádrech atomů, nezávislé na vnějších podmínkách
- náhodné procesy – řízené statistickými zákony; u jednotlivých jader nelze předpovědět, zda se v určitém časovém intervalu promění, či nikoli

Jaderná fyzika

- pokles počtu nepřeměněných radioaktivních jader $-dN$ z původního počtu N v čase dt : $-dN = N \lambda dt \Rightarrow$

\Rightarrow zákon přeměny (rozpadu) : $N = N_0 e^{-\lambda t}$, kde

N - okamžitý počet původních jader v čase t ,

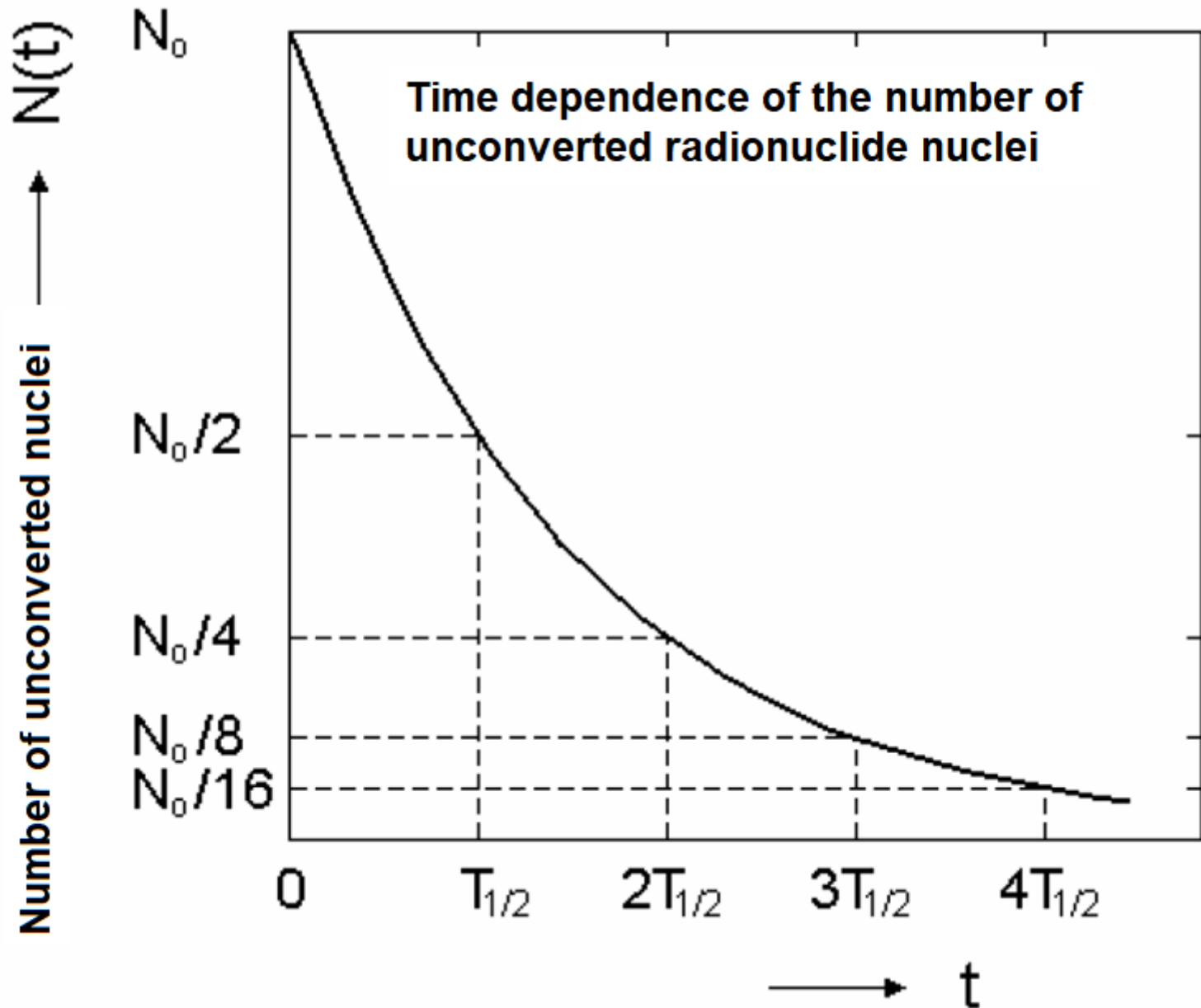
N_0 - původní počet jader v čase 0

λ - rozpadová konstanta vyjadřující rychlost přeměny daného radionuklidu

- základní vlastnost radionuklidů – poločas přeměny $T_{1/2}$ - doba, za kterou se původní počet atomů daného radionuklidu sníží na polovinu

- po dosazení do přeměnového zákona: $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

Jaderná fyzika



Jaderná fyzika

- hodnota poločasu rozpadu $T_{1/2}$ je charakteristická pro konkrétní radionuklid

Examples of half-life values for selected radionuclides:

Radionuclide	${}^{232}_{90}\text{Th}$	${}^{90}_{38}\text{Sr}$	${}^{13}_7\text{N}$	${}^6_2\text{He}$	${}^{212}_{84}\text{Po}$
Halftime of conversion	$1,4 \cdot 10^{10}$ years	28 years	0,9993 min	0,823 s	$3 \cdot 10^{-7}$ s

- podle typu radioaktivního rozpadu se rozlišuje mezi alfa rozpadem a beta rozpadem

Alfa rozpad

- částice α (jádro ${}^4_2\text{He}$) vyzařovaná z jádra

- počet nukleonů se snižuje o 4 a počet protonů o 2

- konkrétní příklad: ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$

Jaderná fyzika

- energie emitovaných α částic v rozmezí 4 - 9 MeV
- alfa rozpad se týká výhradně těžkých radionuklidů

Beta rozpad

- počet nukleonů v jádře A se nemění, mění se pouze počet protonů Z
- dvě různé možnosti beta rozpadu:

1) rozpad β^- - emise elektronu a antineutrína z jádra

- neutron se proměnil v proton a elektron (elektron je částice β^-)

- konkrétní příklad: ${}_{27}^{60}\text{Co} \rightarrow {}_{28}^{60}\text{Ni} + {}_{-1}^0\text{e} + \bar{\nu}$, $T_{1/2} = 5,26$ roku

Jaderná fyzika

Beta rozpad

2) rozpad β^+ - emise pozitronu a neutrina z jádra

- pozitron – antičástice elektronu

- proton se přeměnil na pozitron a neutron (pozitron je částice β^+)

- konkrétní příklad: ${}_{11}^{22}\text{Na} \rightarrow {}_{10}^{22}\text{Ne} + {}_1^0e + \nu$, $T_{1/2} = 2,58$ roku

- energie emitovaných β částic max. jednotky MeV

- beta rozpad se vyskytuje v případě lehčích radionuklidů

Jaderná fyzika

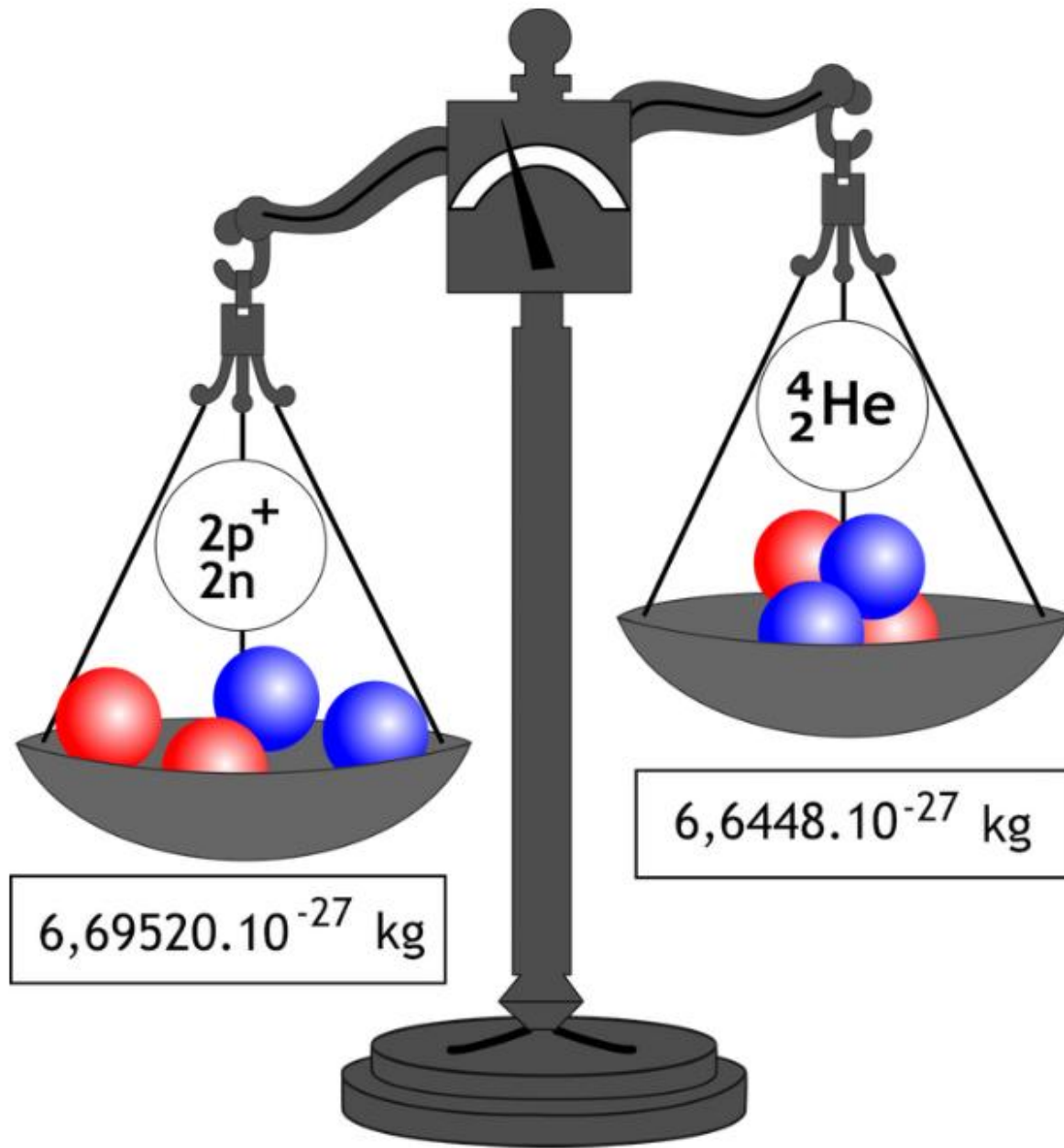
Izotopy kyslíku, jejich výskyt v přírodě a typy přeměn u nestabilních izotopů:

Isotope	$^{13}_8\text{O}$	$^{14}_8\text{O}$	$^{15}_8\text{O}$	$^{16}_8\text{O}$	$^{17}_8\text{O}$	$^{18}_8\text{O}$	$^{19}_8\text{O}$	$^{20}_8\text{O}$
% representation in nature	0	0	0	99,40	0,40	0,20	0	0
Type of conversion	β^+	β^+	β^+	stable			β^-	β^-

Jaderná fyzika

Emise gama záření

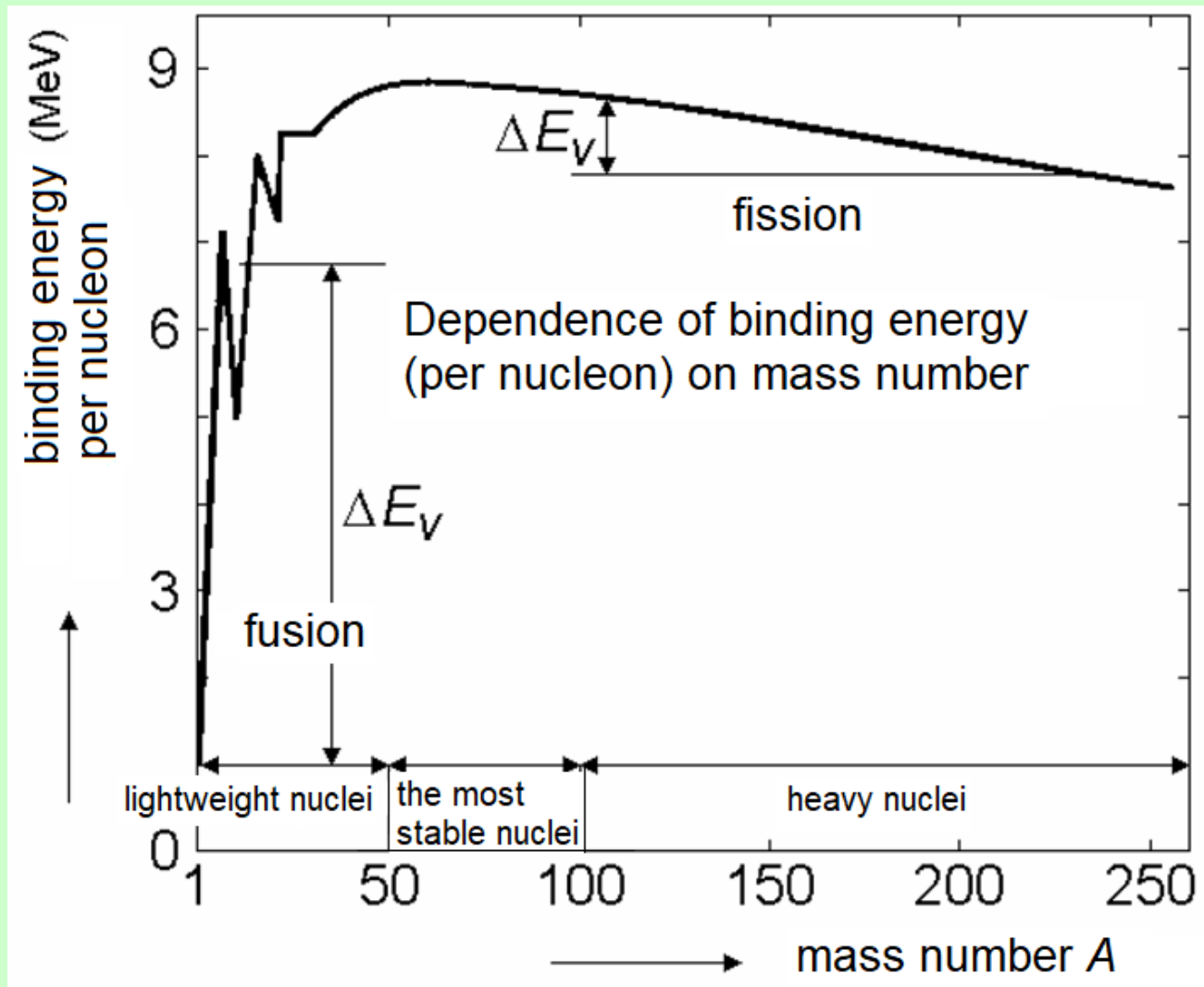
- obvykle doprovází alfa nebo beta přeměny
- přebytečná energie je po přechodu do základního stavu vyzářena ve formě gama záření, tj. fotonů s velmi krátkými vlnovými délkami a energiemi až několika MeV
- konkrétní příklad: ${}^{222}_{86}\text{Rn}(\text{excitovaný stav}) \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn}(\text{základní stav}) + \gamma$



The free nucleons are heavier than the nucleus formed from them.

Jaderná fyzika

Uvolnění jaderné energie



Příklad fúze: ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He}$

Příklad štěpení: ${}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{144}_{57}\text{La} + {}^{89}_{35}\text{Br} + 2{}^1_0\text{n}$

Jaderná fyzika

- energie může být uvolněna spojením lehkých jader do těžších, která se nacházejí v oblasti nejstabilnějších jader, nebo rozštěpením těžkých jader na lehčí, opět v oblasti nejstabilnějších jader – viz obr. na předchozí str.
- fúze lehkých jader – termonukleární reakce neboli jaderná fúze – probíhá samovolně v jádrech hvězd
- hmota Slunce se skládá převážně z jader vodíku a volných elektronů; malou část tvoří jádra helia a stopové množství jader lithia
- vysoká teplota řádově 10^7 K je nezbytná pro jadernou fúzi, protože jádra jsou kladně nabitá a musí mít dostatek energie, aby překonala odpuzivé elektrostatické síly a dostala se do dosahu jaderných sil, tj. na vzdálenost 10^{-15} m

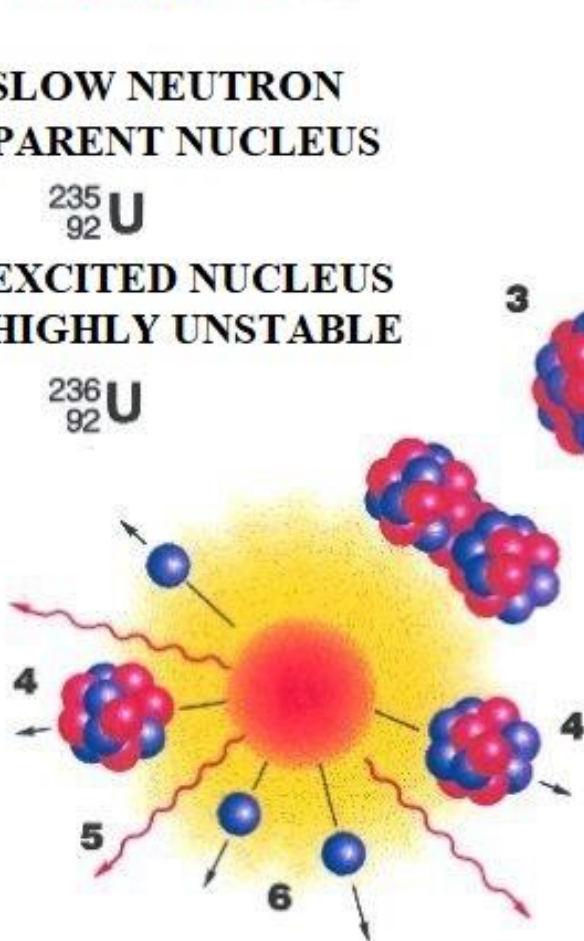
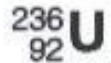
NUCLEAR FISSION AND FUSION

FISSION

1. SLOW NEUTRON
2. PARENT NUCLEUS



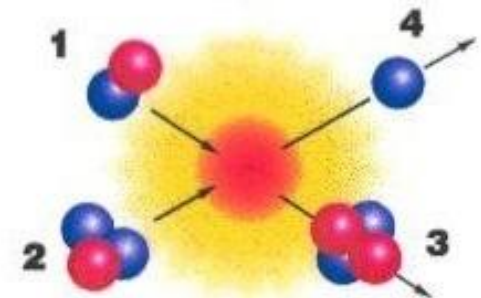
3. EXCITED NUCLEUS
HIGHLY UNSTABLE



4. TWO SUBSIDIARY PRODUCTS
5. ELECTROMAGNETIC RADIATION
6. 2-3 FAST NEUTRONS

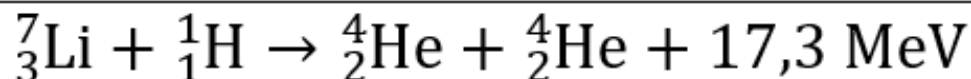
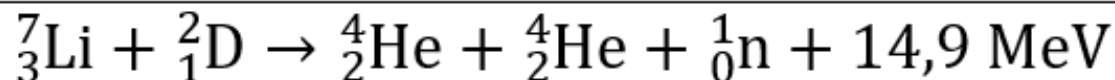
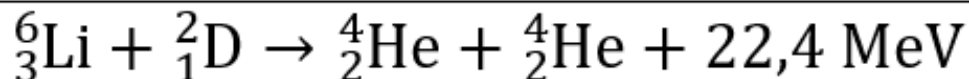
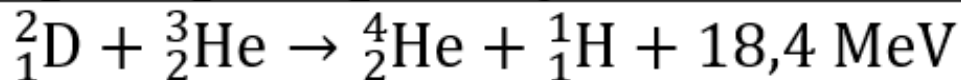
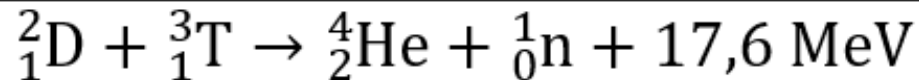
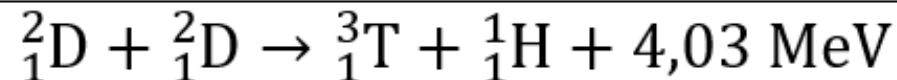
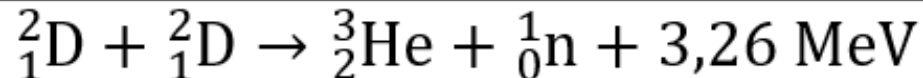
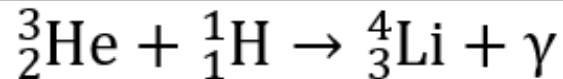
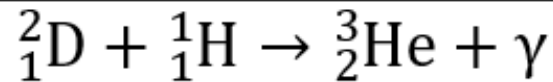
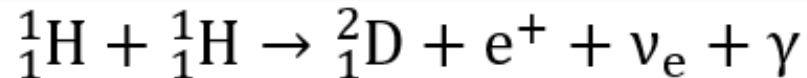
FUSION

1. DEUTERON ${}_{1}^{2}\text{D}$
2. TRITIUM NUCLEUS ${}_{1}^{3}\text{T}$
3. HELIUM NUCLEUS
(particle α) ${}_{2}^{4}\text{He}$
4. NEUTRON ${}_{0}^{1}\text{n}$



Jaderná fyzika

Příklady některých reakcí probíhajících v jádru Slunce a množství uvolněné energie:



Jaderná fyzika

- **umělé dosažení jaderné fúze:**
- **nekontrolovaná reakce – výbuch vodíkové bomby**
- **řízená reakce – v zařízeních zvaných tokamak**
- **řízená reakce zatím není technicky natolik zvládnutá, aby ji bylo možné využít k výrobě energie**

- **štěpení těžkých jader:**
- **nekontrolovaná reakce – jaderný výbuch**
- **řízená reakce – v jaderných reaktorech na štěpení**
- **řízená řetězová štěpná reakce technicky zvládnuta od r. 1942 (první jaderný reaktor v USA)**
- **jaderné štěpné reaktory – v jaderných elektrárnách pro výrobu elektřiny nebo jako zdroj neutronů pro vědecký výzkum**