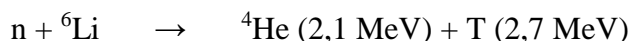
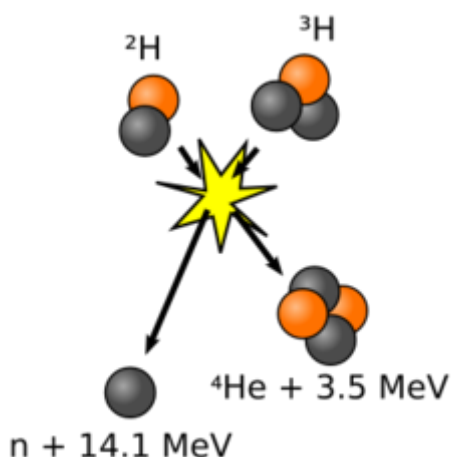



Nejdůležitější syntézy, které mohou mít praktický význam a jejich porovnání s jinými reakcemi:

<u>Reakce</u>	<u>Min. potřebný ohřev</u>	<u>Energetický výtěžek</u>
$D+D \rightarrow {}^3\text{He} (0.82 \text{ MeV}) + n (2.45 \text{ MeV})$	35 keV	27 000 kWh*g ⁻¹
$D+D \rightarrow T (1.01 \text{ MeV}) + p (3.02 \text{ MeV})$	35 keV	22 000 kWh*g ⁻¹
$D+{}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} (3.5 \text{ MeV}) + p (14.67 \text{ MeV})$	30 keV	94 000 kWh*g ⁻¹
$D+T \rightarrow {}^4\text{He} (3.5 \text{ MeV}) + n (14.1 \text{ MeV})$	4 keV	98 000 kWh*g ⁻¹
Štěpení U ²³⁵		24 000 kWh*g ⁻¹
Hoření vodíku $H_2+O \rightarrow H_2O$		0.0044 kWh*g ⁻¹



Termonukleární fúze (přesměrováno z hesla Termonukleární fúze)



 schematické znázornění fúze jádra tritia a deuteria

Termonukleární reakce, či **jaderná fúze**, je proces při kterém dochází ke sloučení [atomových jader](#) a tvorbě těžšího jádra. Během této reakce se uvolňuje velké množství [energie](#). Pokud by se ji podařilo efektivně využít, potřeby energie lidstva by byly na dlouhou dobu vyřešené. [Průmyslové](#) využití termonukleární reakce je kvůli řadě problémů zatím nemožné.

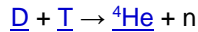
Někteří vědci se snaží realizovat [studenou fúzi](#), která by probíhala za podstatně příznivějších podmínek, většina vědců je však k tomuto výzkumu skeptická.

Obsah

- [1 Palivový cyklus D-T](#)
- [2 Vědecké pokusy](#)
- [3 Podívejte se také na](#)
- [4 Externí odkazy](#)

[\[editovat\]](#) **Palivový cyklus D-T**

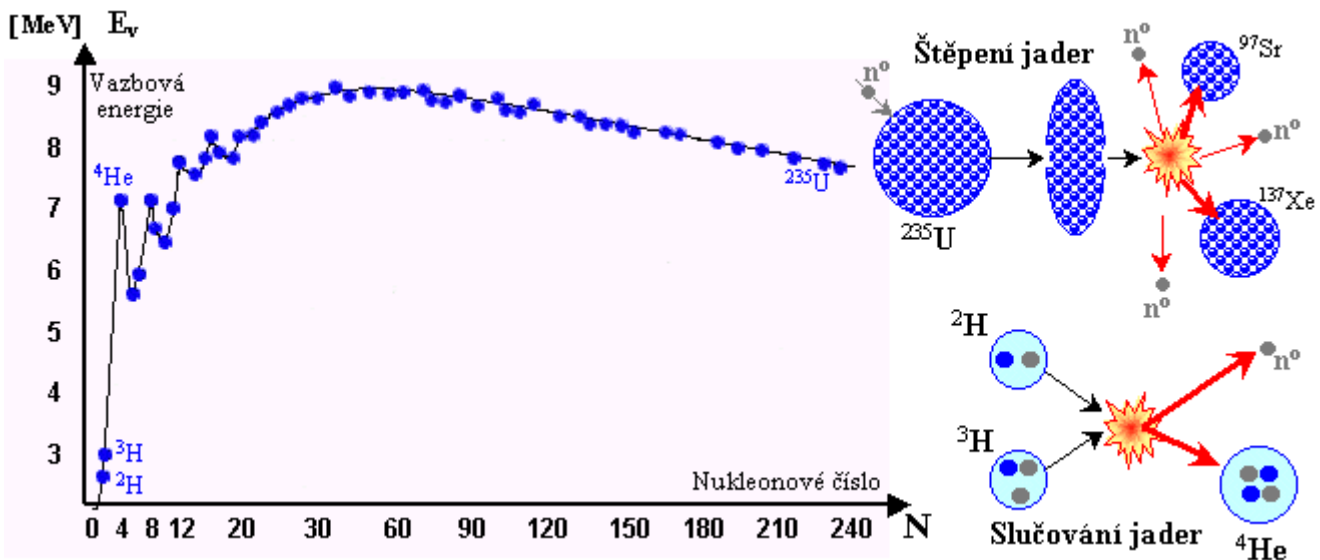
Nejjednodušší a nejslibnější reakce použitelná pro jadernou fúzi je tato:



Deuterium je v přírodě běžně se vyskytující [izotop](#) vodíku. Tritium je také izotop vodíku, ale vyskytuje se poměrně vzácně, protože jeho poločas rozpadu je 12 let.

[\[editovat\]](#) **Vědecké pokusy**

Jaderná fúze funguje na bázi jaderného slučování popsaného výše, při které se uvolňuje velké množství energie. Aby se však mohla dvě stejně elektricky nabitá jádra podobného složení sloučit, je potřeba velmi velká teplota, 250 - 300 milionů °C. Tak vysokou teplotu může snést hmota jen ve formě [plazmatu](#). Navíc žádné těleso není schopno tuto teplotu udržet, vypařilo by se. Proto vyvinuli v 50. letech 20. století američtí, britští a sovětsí vědci přístroj na bázi tak silného magnetismu, že se plazma nebude moct „dotknout“ stěny přístroje. Nejdál došli sovětsí vědci, kteří vyvinuli tzv. **tokamaky**. Tokamak má 2 magnetická pole, jež jedno z nich je torodiální (tvar pneumatiky, vytváří jej měděná stočená cívka) a druhé je polodiální, generováno elektrickým proudem, který teče plazmatem. Tyto pole se sčítají a vytvářejí magnetické šroubovice. Plazma se však nedaří udržet dostatečně dlouho v magnetickém poli, snaží se z magnetického pole uniknout. Plazma přestává být také stabilní, když vzroste elektrický proud nebo hustota nad tzv. mezní hodnotu, pak náhle vyhasne. Tomuto jevu se říká *disrupce*.



Pro fúzní reaktory "první generace" bude jako palivo použito těchto látek:

Reakce $D + T \rightarrow {}^4\text{He} (3.5 \text{ MeV}) + n (14.1 \text{ MeV})$

Tato reakce se v současnosti jeví jako nejsnáze dosažitelná a z předchozí tabulky je evidentní, že je i energeticky velice výhodná.

Palivo :

Deuterium (izotop vodíku se jedním neutronem)

Jeho zastoupení v přírodní směsi je asi 0.015%

Deuterium se bude získávat separací z vody, v níž tvoří frakci $\sim 3.3 \cdot 10^{-5}$.

Tritium tzv. supertěžký vodík

Pro svůj krátký poločas rozpadu (12,5 roku) se v přírodě téměř nevyskytuje.

Rozpadá se dle $T \rightarrow {}^3\text{He} + e^- + \nu$

Bude se získávat z Lithia při fúzní reakci dle ${}^6\text{Li} + n \rightarrow {}^4\text{He} + T + 4.6 \text{ MeV}$ nebo ${}^7\text{Li} + n \rightarrow {}^4\text{He} + T + n - 2.47 \text{ MeV}$

Lithium se v dostatečné míře vyskytuje v zemské kůře a je také ve velké míře obsaženo v mořské vodě (cca $170 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$).

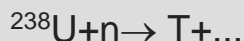
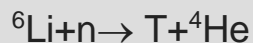
Způsoby vzniku tritia a jeho inventář v přírodě[8]

Kosmické záření	${}^{14}\text{N} + n \rightarrow T + {}^{12}\text{C}$ ${}^{16}\text{O} + n \rightarrow T + {}^{14}\text{N}$ ${}^{14}\text{N} + p \rightarrow T + \dots$ ${}^{16}\text{O} + p \rightarrow T + \dots$	$4 \cdot 10^{25} \text{ atomů} \cdot \text{rok}^{-1}$
Zemská kůra	${}^6\text{Li} + n \rightarrow T + {}^4\text{He}$ ${}^{238}\text{U} + n \rightarrow T + \dots$	≈ 0
Produkty spotřeby		$0.4 \text{ EBq} \cdot \text{rok}^{-1}$
Jaderné elektrárny		$0.02 \text{ EBq} \cdot \text{rok}^{-1}$
Jaderné testy		$240 \text{ EBq} \cdot \text{rok}^{-1}$
Jaderná fúze		$1 \text{ EBq} \cdot \text{rok}^{-1}$
Celkový inventář		$1 + 52 \text{ (s testy) EBq} \cdot \text{rok}^{-1}$

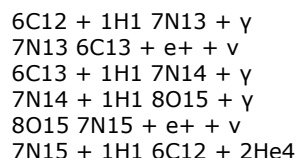
Produkty:

Helium - tento plyn se na zemi vyskytuje v horních vrstvách atmosféry a předpokládá se jeho využití jako technického plynu. Izotop ${}^4\text{He}$ není radioaktivní ani chemicky toxický.

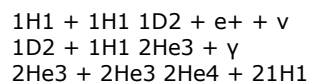
${}^{14}\text{N} + n \rightarrow T + {}^{12}\text{C}$ ${}^{16}\text{O} + n \rightarrow T + {}^{14}\text{N}$ ${}^{14}\text{N} + p \rightarrow T + \dots$ ${}^{16}\text{O} + p \rightarrow T + \dots$
--



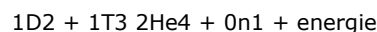
Termonukleární fúze obecně je reakce, kdy se spojují jádra lehkých atomů za vzniku značného množství energie a jádra těžšího. Tyto reakce probíhají běžně ve vesmíru jako zdroje energie hvězd. Energie může být uvolňována několika cestami. Jednou z nich je tzv. uhlíko-vodíkový cyklus, navržený r. 1939 H. Bethem:



Výsledkem proběhnutí celého cyklu je syntéza jednoho jádra hélia ze čtyř jader vodíku. Množství uhlíku se nemění; uhlík je katalyzátorem. Tento cyklus probíhá stacionárně po milióny let při teplotách desítek miliónů stupňů, a to uvnitř žhavých hvězd. V nitru chladnějších hvězd (Slunce) může probíhat jiný cyklus, tzv. proton-protonový cyklus:



Pro nás zatím nejpravděpodobnější je reakce jader deuteria a tritia za vzniku jádra hélia a jednoho neutronu:



Zdroje použitých informací:

Bystrov, K. N., Karjakin N. I., Kirjev, P. S. – Přehled fyziky, Moskva 1964 (č. překlad RNDr. Lubomír Sodomka, – Praha 1970)

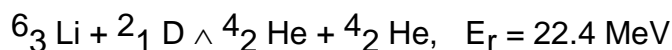
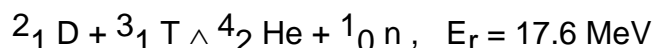
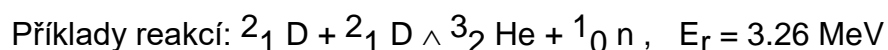
<http://www.ipp.cas.cz/tokamak/fuze/texty.pdf>

<http://server.ipp.cas.cz/~rieqer/texty/html/index.html>

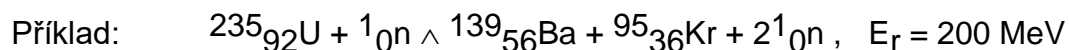
<http://vega.fifi.cvut.cz/docs/sfbe/tokamak/index.html>

<http://www.ipp.cas.cz/cgi-bin/csaczech/toASCII.cgi/tokamak/fuze/tt.htm>

<http://www.ereferaty.cz/index.asp?c=view&ID=332>



řetězová štěpná reakce.



Izotopy vodíku

Vodík má 3 izotopy:

Vodík

Klasický atom vodíku (někdy nazývaný protium), tvořený jedním protonem a jedním elektronem. Tento izotop

je nejjednodušší atom ve vesmíru a tvoří jeho převažující část.

Deuterium

Atom s jádrem 2H , který obsahuje v jádře jeden proton a jeden neutron a od běžného vodíku se liší především atomovou hmotností, která činí 2,01363 amu, se označuje jako deuterium. Někdy mu bývá přiřazována i chemická značka D, přestože se nejedná o jiný prvek. Deuterium je stabilní izotop, který nepodléhá radioaktivní přeměně. V přírodě se běžně vyskytuje namísto lehkého vodíku. V průměru připadá na jeden atom deuteria 7 000 atomů normálního vodíku. Ve spojení s kyslíkem tvoří deuterium tzv. těžkou vodu, D_2O . Tato sloučenina má významné využití v jaderném průmyslu. Je velmi účinným moderátorem, tedy látkou zpomalující rychlost neutronů. Této vlastnosti se již od druhé světové války využívá v určitém typu jaderných reaktorů k přípravě plutonia z uranu. Německá armáda se za druhé světové války intenzivně snažila vyvinout jadernou bombu na bázi plutonia. V norském Rjukanu existoval průmyslový komplex společnosti Norsk Hydro, vyrábějící těžkou vodu. Spojenci tento komplex zničili operací zvláštních jednotek (bombardování po jeho opravě způsobilo těžké ztráty na životech místních obyvatel, ale továrnu poškodilo jen mírně), přesto se však nacistům podařilo vyrobit dostatečné množství těžké vody pro další experimenty s jadernou zbraní.

Dnes je deuterium využíváno také jako účinný stopovač biochemických reakcí. Pokud je na počátku výzkumu distribuce určité sloučeniny v organismu použita látka, která má atomy vodíku nahrazeny deuteriem, lze vysledovat její cestu biochemickou přeměnou analýzou všech možných vzniklých produktů.

Tritium

Jako tritium se označuje vodík 3H , který má jádro složeno z jednoho protonu a 2 neutronů a bývá někdy označován chemickou značkou T. Jeho atomová váha má hodnotu 3,01605 amu. Na rozdíl od deuteria je jádro tritia nestabilní a rozpadá se s poločasem rozpadu 12,4 roku za vyzáření pouze málo energetického beta záření.

V přírodních podmínkách vzniká tritium především v horních vrstvách atmosféry při kolizi kosmického záření s jádrem atomu deuteria. Uměle je tritium získáváno v těžkovodních jaderných reaktorech při výrobě plutonia z přírodního uranu. Tritium slouží přitom jako jedna ze složek náplně termonukleární bomby, doposud nejničivějšího destruktivního prostředku, jaký člověk vyrobil.

Tritium je také jedním ze základních meziproductů jaderné fúze, která je pokládána za energetický zdroj všech hvězd v pozorovatelné části vesmíru

Stručný přehled transuranů :

Název transuranu	Poločas rozpadu	Produkce	Objevení
Neptunium Np ₉₃	^{237}Np : 2,14.10 ⁶ roků	$^{238}\text{U}+\text{n}\rightarrow^{239}\text{Np}$	1940
Plutonium Pu ₉₄	^{239}Pu : 2,44.10 ⁴ roků	$^{238}\text{U}+\text{n}\rightarrow^{239}\text{Pu}$	Berkeley, 1941
Americium Am ₉₅	^{241}Am : 458 roků	$^{239}\text{Pu}+\text{n}+\text{n}\rightarrow^{241}\text{Am}$	Berkeley, 1944
Curium Cm ₉₆		$^{239}\text{Pu}+\alpha\rightarrow^{242}\text{Cm}$	Berkeley, 1944
Berkelium Bk ₉₇		$^{241}\text{Am}+\alpha\rightarrow^{243}\text{Bk}$	Berkeley, 1949
Californium Cf ₉₈		$^{242}\text{Cm}+\alpha\rightarrow^{245}\text{Cf}$	Berkeley, 1950
Einsteinium Es ₉₉		$^{238}\text{U}+\text{n}+\dots+\text{n}(\beta^-)$	Berkeley, 1952
Fermium Fm ₁₀₀	.....doplnit	$^{238}\text{U}+^{16}\text{O}\rightarrow^{245}\text{Fm}$	Berkeley, 1952
Mendelejevium Md ₁₀₁		$^{253}\text{Es}+\alpha\rightarrow^{258}\text{Md}$	Berkeley, 1955
Nobelium No ₁₀₂		$^{244}\text{Cm}+^{12}\text{C}\rightarrow^{244}\text{No}$	Berkeley, 1958

Lawrencium Lr ₁₀₃		$^{245}\text{Cf} + ^{10}\text{B} \rightarrow ^{257}\text{No}$	Berkeley, 1961
Rudhefordium Rf ₁₀₄	.....doplnit	$^{242}\text{Pu} + ^{22}\text{Ne} \rightarrow ^{260}\text{Rf}$ $^{249}\text{Cf} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{258}\text{Rf}$	SUJV Dubna, 1964 Berkeley, 1969
Dubnium Db ₁₀₅		$^{243}\text{Am} + ^{22}\text{Ne} \rightarrow ^{260}\text{Db}$ $^{249}\text{Cf} + ^{14}\text{N} \rightarrow ^{260}\text{Db}$	SUJV Dubna, 1967 Berkeley, 1970
Seaborgium Sg ₁₀₆		$^{249}\text{Cf} + ^{18}\text{O} \rightarrow ^{263}\text{Sg}$	Berkeley+Dubna, 1974
Bohrium Bh ₁₀₇		$^{209}\text{Bi} + ^{54}\text{Cr} \rightarrow ^{262}\text{Bh}$ $^{249}\text{Bk} + ^{22}\text{Ne} \rightarrow ^{266}\text{Bh}$	SUJV Dubna, 1976
Hassium Hs ₁₀₈		$^{208}\text{Pb} + ^{58}\text{Fe} \rightarrow ^{265}\text{Hs}$	GSI, 1984
Meitnerium Mt ₁₀₉	.....doplnit	$^{209}\text{Bi} + ^{58}\text{Fe} \rightarrow ^{266}\text{Mt}$	GSI, 1982
Darmstadtium Ds ₁₁₀		$^{208}\text{Pb} + ^{62}\text{Ni} \rightarrow ^{269}\text{Ds}$	GSI, 1994
Roentgenium Rg ₁₁₁		$^{209}\text{Bi} + ^{64}\text{Ni} \rightarrow ^{272}\text{Rg}$	GSI, 1994
Ununbium Uub ₁₁₂		$^{208}\text{Pb} + ^{70}\text{Zn} \rightarrow ^{277}\text{Uub}$	GSI, 1996
Ununtrium Uut ₁₁₃	.....doplnit	$^{287,8}\text{Uup} (\alpha) \rightarrow ^{283,4}\text{Uut}$	SUJV Dubna, 2003
Ununquadium Uuq ₁₁₄		$^{244}\text{Pu} + ^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{291}\text{Uuq}$	SUJV Dubna, 1998
Ununpentium Uup ₁₁₅		$^{241}\text{Am} + ^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{187,8}\text{Uup}$	Dubna+Berkeley, 2003
Ununhexium Uuh ₁₁₆		$^{248}\text{Cm} + ^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{292}\text{Uuh}$	Berkeley+Dubna, 1999
Ununseptium Uus ₁₁₇	???	???	dosud neobjeven ...
Ununoctium Uuo ₁₁₈	< 1 ms	$^{208}\text{Pb} + ^{86}\text{Kr} \rightarrow ^{293}\text{Uuo}$ $^{249}\text{Cf} + ^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{294}\text{Uuo}$	?? Berkeley, 1999

Fyzikální vlastnosti transuranů využívaných v praxi jsou podrobněji popsány v závěru §1.4 "Radionuklidy".