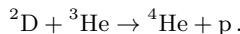
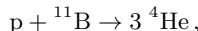
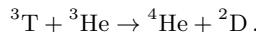
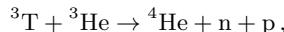
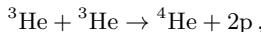
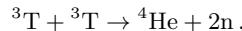
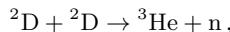
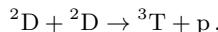
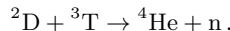


## Úloha I.S . . . seriál 1

10 bodů; (chybí statistiky)

1. Spočítejte energetický výtěžek následujících reakcí a kinetické energie produktů reakce



2. Pomocí grafu rychlosti výtěžku v textu seriálu pro vámi zvolenou teplotu odvodte Lawsonovo kritérium pro dobu udržení inerciální fúze deuteria s deuteriem, protonu s borem a deuteria s heliem 3 a pro jednotlivé případy určete součin velikosti palivové peletky a hustotu stlačeného paliva. Mají tyto reakce nějakou výhodu oproti tradiční DT fúzi?
3. Určete, jak by vypadalo Lawsonovo kritérium pro nemaxwellovské rozdělení teplot, kdyby kinetická energie částic byla:

$$(a) E_k = k_B T^\alpha,$$

$$(b) E_k = aT^3 + bT^2 + cT.$$

Byla by takováto fúze vůbec realizovatelná? Pokud ano, jaké by mělo být palivo (fúzní reakce), jak velká by měla být palivová peletka a na jakou hustotu by se měla stlačit?

Ako jednotku hmotnosti budeme používať u, Atomová hmotnostná konštantu, pričom  $1u = 931,49410242 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2} = 1,66053906660 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ . Ak je vám príjemnejšie počítať v  $\text{eV}/\text{c}^2$  alebo kg. Ako prvé si potrebujeme zistíť hmotnosti jednotlivých izotopov a hmotnosť neutronu. My jsme použili<sup>1</sup>

$$M_{^1H} = 1,007825 \text{ u},$$

$$M_{^2D} = 2,014102 \text{ u},$$

$$M_{^3T} = 3,016049 \text{ u},$$

$$M_{^3He} = 3,016029 \text{ u},$$

$$M_{^4He} = 4,002603 \text{ u},$$

$$M_{^{11}B} = 11,009305 \text{ u},$$

$$M_n = 1,008664915 \text{ u},$$

<sup>1</sup>[https://www.chem.ualberta.ca/~massspec/atomic\\_mass\\_abund.pdf](https://www.chem.ualberta.ca/~massspec/atomic_mass_abund.pdf)

Tab. 1: Tabuľka energetického zisku  $\Delta E$  pre jednotlivé reakcie, kde  $M_i$  je hmotnosť reaktantov  $M_o$  hmotnosť produktov a  $\Delta m$  je rozdiel  $M_i$  a  $M_o$

reakcia	$M_i$	$M_o$	$\Delta M$	$\Delta E$
	u	u	u	MeV
$^2D + ^3T \rightarrow ^4He + n$	5,02905384	5,010170755	0,018883085	17,58948231
$^2D + ^2D \rightarrow ^3T + p$	4,02710684	4,022776887	0,00432995347	4,033326121
$^2D + ^2D \rightarrow ^3He + n$	4,02710684	4,023596755	0,003510085	3,269623476
$^3T + ^3T \rightarrow ^4He + 2n$	6,03100084	6,01883567	0,01216517	11,33178411
$H^3He + ^3He \rightarrow ^4He + 2p$	6,02986368	6,016058773	0,01380490694	12,8591894
$^3T + ^3He \rightarrow ^4He + n + p$	6,03043226	6,017447222	0,01298503847	12,09548675
$^3T + ^3He \rightarrow ^4He + ^2D$	6,03043226	6,01505926	0,015373	14,31985884
$p + ^{11}B \rightarrow ^3He$	12,01383857	12,00451752	0,00932104653	8,682499871
$^2D + ^3He \rightarrow ^4He + p$	5,02848526	5,008782307	0,01970295347	18,35318496

ale pozor, tieto hmotnosti sú hmotnosti celého atómu, a to vrátane obalu, tj. elektrónov, ktoré sa na jadrových reakciach nezúčastňujú. Preto od týchto hmotností musíme odčítať hmotnosť príslušného počtu elektrónov<sup>2</sup>, pričom  $M_e = 5,4857990907E - 4$  u, ted dostávame

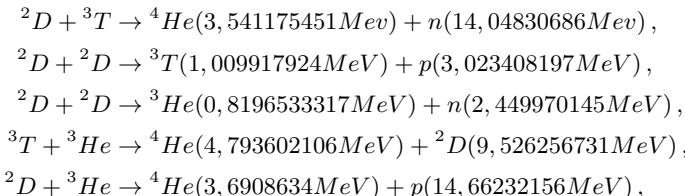
$$\begin{aligned}M_{^1H} &\doteq M_p = 1,00727642 \text{ u}, \\M_{^2D} &= 2,014102 \text{ u}, \\M_{^3T} &= 3,01550042 \text{ u}, \\M_{^3He} &= 3,01493184 \text{ u}, \\M_{^4He} &= 4,00150584 \text{ u}, \\M_{^{11}B} &= 11,0065621 \text{ u},\end{aligned}$$

Teraz nám ostáva len dosadiť do jednotlivých rovníc hmotnosti jadier a spočítať rozdiel energii vidíť

Pre výpočet kynetických energii produktov potrebujeme vedieť 2 základné pravidlá

1. hybnosť produktov pri dvoj-produktových reakciach je rovnaká  $m_1 v_1 = m_2 v_2$
2. súčet kynetických energií produktov je rovný uvolnenej energii  $\Delta E = E_{k1} + E_{k2}$

Na základe týchto pravidiel môžeme odvodiť vťah pre dvoj produktové reakcie, produkt reakcie bude mať energiu  $E_{k1} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \Delta E$ . Pre troj a viac produktové reakcie toto rozdelenie energii nie je možné numericky spočítať, a produkty majú spojité spektrum energii v ktorých sa môžu pohybovať.



<sup>2</sup>Tento postup nie je uplne správny, pretože zanedbávame vatobnú energiu elektrónu.

Do vzťahu z textu seriali

$$2nE_k < \frac{n^2}{4} \langle v\sigma \rangle \tau Q,$$

dosadíme za  $E_k$  jednotlivé zo zadania najskôr pre prípad  $E_k = k_B T^\alpha$  a upravuje

$$\begin{aligned} 2nk_B T^\alpha &< \frac{n^2}{4} \langle v\sigma \rangle \tau Q, \\ 2k_B T^\alpha &< \frac{n\tau}{4} \langle v\sigma \rangle Q, \\ n\tau &> \frac{8k_B T^\alpha}{\langle v\sigma \rangle Q}, \\ \frac{8k_B T^\alpha}{\langle v\sigma \rangle Q} &\sim \frac{T^\alpha}{10^{-16} \text{ cm}^3 \text{s}^{-1} 10^7 \text{ eV}} = \end{aligned}$$

*Michal Červeňák*  
miso@fykos.cz

---

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported. Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.