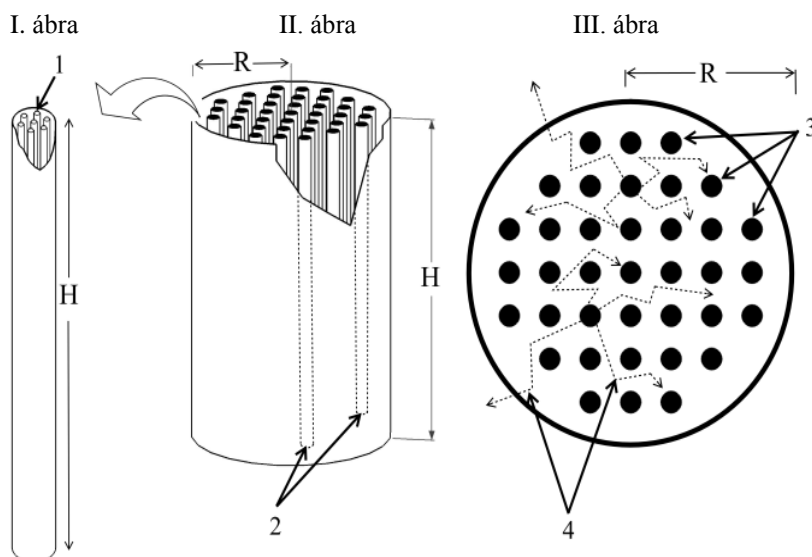


Nukleáris reaktor tervezése

(Összpontszám: 10)

Az urán a természetben UO_2 formájában fordul elő, és az uránatomoknak csupán 0,720%-a ^{235}U . Neutron hatására az ^{235}U könnyen elhasad, melynek során 2-3 nagy kinetikus energiájú hasadványneutron is kibocsátódik. Ennek a hasadásnak a valószínűsége megnő, ha a hasadást kiváltó neutronok kinetikus energiája kicsi. Tehát a hasadványneutronok kinetikus energiájának csökkentésével az ^{235}U magok láncszerű hasadása idézhető elő. Ez képezi az energiatermelő nukleáris reaktor (NR) elvét.

Egy tipikus NR egy H magasságú, R sugarú hengeres tartályból áll, ami az ún. moderátor anyaggal van feltöltve. Ebben tengelyirányban hengeres csövek, az ún. üzemanyag-kazetták helyezkednek el négyzettrácsba rendezve, melyek belsejében H magasságú, szilárd állapotban lévő, természetes UO_2 üzemanyagrudak találhatók. A kazettából kilépő hasadványneutronok ütköznek a moderátorral, így energiát veszítenek, hogy aztán a környező kazettákat a hasításhoz szükséges kicsi energiával ériék el (lásd az I-III. ábrákat). A hasadás miatt az üzemanyagrudakban fejlődő hő a hosszirányban áramló hűtőközegnek adódik át. Ebben a feladatban az (A) üzemanyagrudakban, a (B) moderátorban és a (C) hengeres geometriájú NR-ben zajló fizikai folyamatokat tanulmányozzuk.



A nukleáris reaktor vázlatos rajza (NR)

I. ábra: Egy üzemanyag-kazetta nagyított képe (1 - üzemanyagrúd)
II. ábra: Az NR képe (2 - üzemanyag-kazetta)
III. ábra: NR felülnézetben (3 - az üzemanyag-kazetták négyzettrácsba rendezve; és 4 - tipikus neutronpályák).
Csak a feladat szempontjából releváns alkatrészek láthatók (pl. a szabályozórudak és a hűtőközeg nem).

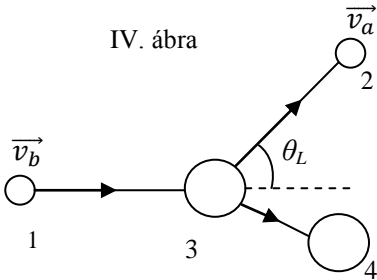
A Az üzemanyagrúd

Az UO_2 adatai	1. moláris tömeg: $M_w = 0,270 \text{ kg mol}^{-1}$	2. sűrűség: $\rho = 1,060 \times 10^4 \text{ kg m}^{-3}$
	3. olvadáspont: $T_m = 3,138 \times 10^3 \text{ K}$	4. hővezetési tényező: $\lambda = 3,280 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

A1	Tekintsük a következő hasadási reakciót, melyben egy álló ^{235}U elnyel egy elhanyagolható kinetikus energiájú neutron: $^{235}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{94}\text{Zr} + {}^{140}\text{Ce} + 2 {}^1_0\text{n} + \Delta E$ Becsüld meg a hasadás során felszabaduló teljes ΔE energiát MeV-ban. Az atommagtömegek: $m(^{235}\text{U}) = 235,044 \text{ u}$; $m(^{94}\text{Zr}) = 93,9063 \text{ u}$; $m(^{140}\text{Ce}) = 139,905 \text{ u}$; $m({}^1_0\text{n}) = 1,00867 \text{ u}$, és $1 \text{ u} = 931,502 \text{ MeV c}^{-2}$. A töltés megmaradásával ne foglalkozz.	0.8
A2	Becsüld meg az ^{235}U atomok térfogategységre eső N számát a természetes UO_2 -ban.	0.5
A3	Tegyük fel, hogy a neutronfluxus-sűrűség az üzemanyagban homogén, $\phi = 2,000 \times 10^{18} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Egy ^{235}U atommag hasadási hatáskeresztmetszete (a cél atommag effektív keresztmetszete) $\sigma_f = 5,400 \times 10^{-26} \text{ m}^2$. Határozd meg az üzemanyagrúdban térfogategységenként fejlődő hő Q keletkezési ütemét (W m^{-3} -ben), ha a hasadásból származó energia 80,00%-a alakul hővé. $1 \text{ MeV} = 1,602 \times 10^{-13} \text{ J}$.	1.2
A4	Az üzemanyagrúd közepének (T_c) és felületének (T_s) hőmérséklete közötti különbség állandósult állapotban $T_c - T_s = k F(Q, a, \lambda)$ alakban írható fel, ahol $k = 1/4$ egy dimenzióatlan állandó, a pedig az üzemanyagrúd sugara. Határozd meg $F(Q, a, \lambda)$ -t dimenzióanalízissel. Itt λ az UO_2 hővezetési tényezője.	0.5
A5	A hűtőközeg kívánt hőmérséklete $5,770 \times 10^2 \text{ K}$. Becsüld meg az üzemanyagrúd a sugarának a_u felső határát.	1.0

B A moderátor

Tekintsünk egy kétdimenziós rugalmas ütközést egy 1 u tömegű neutron és egy A u tömegű moderátor atom között. Az ütközés előtt mindegyik moderátor atomot tekintünk nyugvónak a laboratóriumi vonatkoztatási rendszerben (LR). Jelölje \vec{v}_b és \vec{v}_a a neutron sebességvektorát rendre az ütközés előtt (before) és után (after) az LR-ben. Legyen \vec{v}_m a tömegközépponti (TKP) vonatkoztatási rendszer sebességvektora az LR-hez képest, θ pedig a neutron szóródási szöge a TKP rendszerben. Az ütközésekben résztvevő összes részecske nemrelativisztikus sebességgel mozog.

B1	<p>A IV. ábrán látható az ütközés vázlatja az LR-ben, ahol θ_L a szóródási szög. Vázd fel az ütközést a TKP rendszerben. Tüntesd fel a részecskék sebességvektorát az 1-es, 2-es és 3-as állapotokban \vec{v}_b, \vec{v}_a és \vec{v}_m segítségével. Jelöld be a θ szóródási szöget is.</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>IV. ábra</p>  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-left: 20px;"> <p><i>Az ütközés a laboratóriumi rendszerben</i></p> <p>1 - neutron az ütközés előtt 2 - neutron az ütközés után 3 - moderátor atom ütközés előtt 4 - moderátor atom ütközés után</p> </div> </div>	1.0
B2	Add meg a neutron v , illetve a moderátor atom V ütközés utáni sebességét a TKP rendszerben A és v_b segítségével.	1.0
B3	Fejezd ki a $G(\alpha, \theta) = E_a/E_b$ mennyiséget, ahol E_b és E_a a neutron LR-beli kinetikus energiája rendre az ütközés előtt és után, valamint $\alpha \equiv [(A - 1) / (A + 1)]^2$.	1.0
B4	Tegyük fel, hogy az előző kifejezés érvényes D_2O molekulára is. Számítsd ki a neutron lehetséges legnagyobb relatív energiavesztését, az $f_l \equiv \frac{E_b - E_a}{E_b}$ mennyiséget, D_2O (20 u) moderátor esetén.	0.5

C A nukleáris reaktor

Ahhoz, hogy az NR-t állandó ψ neutronfluxussal működtessük (állandósult állapot), az elszökő neutronokat a reaktorban keletkező többletneutronoknak pótolniuk kell. Egy hengeres geometriájú reaktornál a neutronok szökési üteme $k_1 [(2,405/R)^2 + (\pi/H)^2] \psi$, a többletneutronok keletkezési üteme pedig $k_2 \psi$. A k_1 és k_2 állandók az NR anyagi tulajdonságaitól függenek.

C1	Tekintsünk egy NR-t, melyre $k_1 = 1,021 \times 10^{-2} \text{ m}$ és $k_2 = 8,787 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$. Figyelembe véve, hogy adott térfogat mellett szeretnénk minimalizálni a szökési ütemet a hatékony üzemelés érdekében, határozd meg az NR méreteit állandósult állapotban.	1.5
C2	Az üzemanyag-kazetták négyzetrácsba vannak rendezve (III. ábra), a legközelebbi szomszédok közötti távolság 0,286 m. Az üzemanyag-kazetták effektív sugara (mintha tömörek lennének) $3,617 \times 10^{-2} \text{ m}$. Becsüld meg az üzemanyag-kazetták F_n számát a reaktorban, valamint az NR állandósult állapotban történő üzemeltetéséhez szükséges UO_2 anyag M tömegét.	1.0