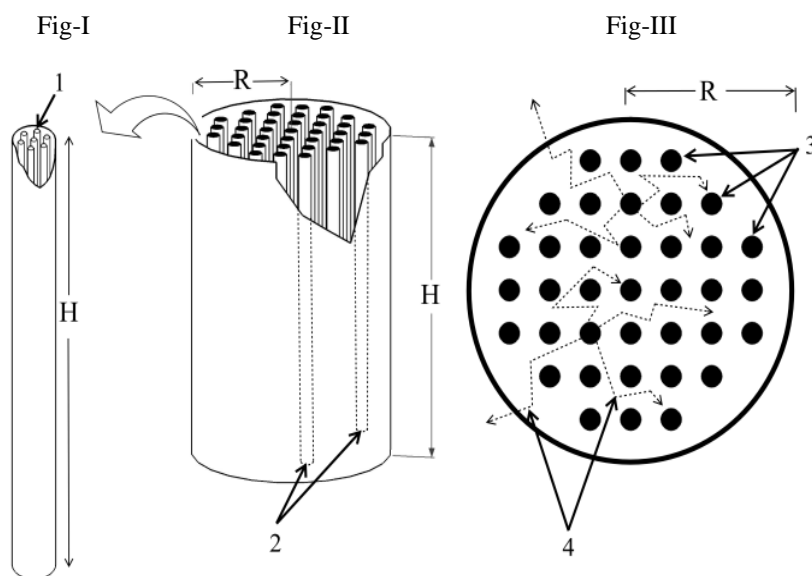


Jadrový reaktor

(Celkove : 10 b.)

Urán sa v prírode nachádza ako UO_2 , pričom iba 0,720 % atómov uránu je izotop ^{235}U . K neutrónmi vyvolanému štiepeniu dochádza iba u ^{235}U za vzniku 2–3 neutrónov s vysokou energiou. Pravdepodobnosť vyvolania ďalšej štiepnej reakcie rastie pri použití neutrónov s nízkou kinetickou energiou. Spomalením neutrónov vznikajúcich štiepením sa tak dá vyvolať reťazová reakcia ostatných jadier ^{235}U . To je podstata energetického nukleárneho reaktora (NR).

Typický NR pozostáva z valcovej nádoby s výškou H a polomerom R naplnenou látkou nazývanou moderátor. Valcové trubice nazývané palivové kanály, ktoré obsahujú niekoľko palivových tyčí z prírodného UO_2 v pevnom stave, majú výšku H , majú zvislý smer a sú usporiadané v pravouhlej mriežke (Obr. III). Rýchle štiepne neutróny vychádzajúce z palivových kanálov sa spomaľujú v moderátore a vstupujú do iných kanálov a tam vyvolávajú štiepenie, obr. III. Teplo uvoľnené v palive sa odvádza chladiacou kvapalinou prúdiacou pozdĺž kanálov. V tejto úlohe budete skúmať fyzikálne deje spojená s (A) palivovými tyčami, (B) moderátorom a (C) valcovým NR.



Schematický náčrt nukleárneho reaktora (NR)

- Obr-I: Palivový kanál (1-Palivové tyče)
- Obr-II: Pohľad na NR (2-Palivové kanály)
- Obr-III: NR zhora (3-Pravouhlé usporiadanie kanálov a 4-Typická dráha neutrónu).

Zobrazené sú iba súčasti potrebné na riešenie úlohy (napr. riadiace tyče a chladienie nie sú zobrazené)

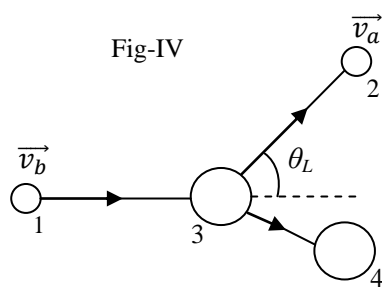
A Palivová tyč

Údaje o UO_2	1. Molárna hmotnosť $M_w = 0,270 \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$	2. Hustota $\rho = 1,060 \times 10^4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
	3. Teplota topenia $T_m = 3,138 \times 10^3 \text{ K}$	4. Tepelná konduktivita $\lambda = 3,280 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

A1	Uvažujte štiepnu reakciu nasledujúcu po zachytení neutrónu s veľmi malou kinetickou energiou jadrom ^{235}U $^{235}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{94}\text{Zr} + ^{140}\text{Ce} + 2 ^1_0\text{n} + \Delta E$ Určte ΔE (v MeV) – celkovú uvoľnenú energiu pri štiepení. Hmotnosti jadier: $m(^{235}\text{U}) = 235,044 \text{ u}$; $m(^{94}\text{Zr}) = 93,9063 \text{ u}$; $m(^{140}\text{Ce}) = 139,905 \text{ u}$; $m(^1_0\text{n}) = 1,00867 \text{ u}$ a $1 \text{ u} = 931,502 \text{ MeV}\cdot\text{c}^{-2}$.	0.8
A2	Určte počet N atómov ^{235}U pripadajúcich na jednotku objemu v prírodnom UO_2 .	0.5
A3	Uvažujte, že hustota neutrónového toku $\phi = 2,000 \times 10^{18} \text{ m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ smerujúceho na palivo je homogénna. Účinný prierez (efektívna pričná plocha ostreľovaného jadra) jadra ^{235}U je $\sigma_f = 5,400 \times 10^{-26} \text{ m}^2$. Ak 80,00% energie štiepenia sa premení na teplo, určte Q ($\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$) – tepelný výkon vyrobený v palivovej tyči na jednotku jej objemu. ($1 \text{ MeV} = 1,602 \times 10^{-13} \text{ J}$)	1.2
A4	Ustálený rozdiel teploty medzi stredom (T_c) a povrchom (T_s) palivovej tyče $T_c - T_s = k F(Q, a, \lambda)$, kde $k = 1/4$ je bezrozmerný factor a a polomer tyče. Odvodte $F(Q, a, \lambda)$ pomocou rozmerovej analýzy. Uvedomte si, že λ je tepelná konduktivita UO_2 (merná tepelná vodivosť).	0.5
A5	Požadovaná teplota chladiča je $5,770 \times 10^2 \text{ K}$. Určte hornú medzu a_u polomeru a palivovej tyče.	1.0

B Moderátor

Uvažujte dvojrozmernú elasticú zrážku neutrónu s hmotnosťou $1 \times u$ a atómu moderátora s hmotnosťou $A \times u$. Atóm moderátora je pred zrážkou v pokoji v sústave laboratória (LF–laboratory framework). Označme \vec{v}_b a \vec{v}_a rýchlosti neutrónu pred zrážkou a po nej v rámci LF. \vec{v}_m je rýchlosť vzťažnej sústavy spojenej s hmotným stredom (CM–center of mass) vzhľadom na LF a θ uhol rozptylu neutrónu v sústave CM. Všetky častice sa pohybujú nerelativistickými rýchlosťami.

B1	<p>Na obr. IV je znázornená zrážka v LF, pričom θ_L je uhol rozptylu. Nakreslite obrázok znázorňujúci zrážku v CM vzťažnej sústave. Označte častice 1, 2 a 3 pomocou rýchlostí \vec{v}_b, \vec{v}_a a \vec{v}_m. Označte uhol rozptylu θ.</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Fig-IV</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-left: 20px;"> <p style="text-align: center;"><i>Zrážka v sústave laboratória</i></p> <p>1-Neutrón pred zrážkou 2-Neutrón po zrážke 3-Atóm Moderátora pred zrážkou 4- Atóm Moderátora po zrážke</p> </div> </div>	1.0
B2	Určte v a V – rýchlosti neutrónu a atómu moderátora v CM vzťažnej sústave po zrážke pomocou A a v_b .	1.0
B3	Odvodte vzťah pre $G(\alpha, \theta) = E_a/E_b$, kde E_b a E_a sú kinetické energie neutrónu v LF pred zrážkou a po nej a $\alpha \equiv [(A - 1) / (A + 1)]^2$.	1.0
B4	Použite predchádzajúci vzťah pre molekulu D_2O . Určte maximálnu možnú pomernú stratu energie $f_t \equiv \frac{E_b - E_a}{E_b}$ neutrónu pre moderátor D_2O ($20 \times u$).	0.5

C Jadrový reaktor

Na udržanie konštantného toku neutrónov ψ (ustálený stav) je únik neutrónov z reaktora kompenzovaný nadbytočnou produkciou neutrónov v reaktore. Pre reaktor valcového tvaru je únikový tok $k_1 [(2.405/R)^2 + (\pi/H)^2] \psi$ a tok nadbytočnej produkcie $k_2 \psi$. Konštanty k_1 a k_2 závisia od materiálových vlastností NR.

C1	Uvažujte NR s $k_1 = 1,021 \times 10^{-2} \text{ m}$ a $k_2 = 8,787 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$. Určte rozmery reaktora s daným objemom tak, aby bol únikový tok neutrónov minimálny.	1.5
C2	Palivové kanály sú v pravouhlom usporiadaní (Obr. III). Vzdialenosť medzi susednými kanálmi je $0,286 \text{ m}$. Efektívny polomer palivového kanálu (ako keby bol plný) je $3,617 \times 10^{-2} \text{ m}$. Určte počet kanálov F_n v reaktore a hmotnosť M paliva UO_2 potrebného na prevádzku reaktora v ustálenom stave.	1.0