

Opgave 1: Bereken de vermenigvuldigingsfactor k_∞ voor een reactor die een mengsel van uranium, verrijkt tot 1.7% in ^{235}U , en grafiet bevat, met een verhouding $N^m/N^f = 500$, met N^m de dichtheid van de grafiet moderator in aantal deeltjes per volume-eenheid. Zie de tabel 1 in de bijlage voor materiaaleigenschappen.

- a) Bereken de waarschijnlijkheid voor snelle neutronen om niet door de resonanties geabsorbeerd te worden (de '*resonance escape probability*').

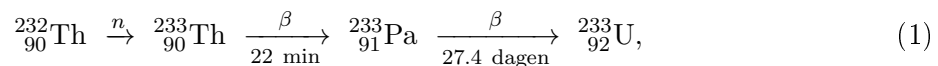
(Hint: in het geval van dominante verstrooiing aan de moderator en dominante absorptie in ^{238}U , gebruik dan $p \approx \exp\{-2.4[N^f/(N^m\sigma_m)]^{1/2}/\xi\}$, met ξ het logaritmisch decrement van de moderator.)

- b) Bereken de waarschijnlijkheid voor thermische neutronen om door de brandstof geabsorbeerd te worden (de '*thermal utilization factor*').
- c) Bereken de verhouding η van het aantal door kernsplijting geproduceerde neutronen en de thermische neutronen die geabsorbeerd worden. Merk op dat er gemiddeld per splijting $\nu = 2.42$ neutronen geproduceerd worden.
- d) Maak een schatting van de relatieve bijdrage van neutronen door splijting van ^{238}U (de '*fast fission factor*').
- e) Wat is de fractie van neutronen die mag ontsnappen uit de reactorkern (dat is gerelateerd aan de '*non-leakage probability*')?

Opgave 2: Een kernreactor wordt bedreven met ^{235}U . Bereken de vermenigvuldigingsfactor k die nodig is om een tijdconstante van 300 s te krijgen. Hoe lang duurt het om het reactorvermogen te veranderen van 1 W tot 1 GW? Zie tabel 2 in de bijlage voor de benodigde gegevens.

Opgave 3: Hoe groot is de vrije weglengte van neutronen in een 1:1 (in gewichtsprocenten) mengsel van koolstof en ^{238}U ? Koolstof heeft een soortelijke massa van 1600 kg/m^3 en uranium 18.900 kg/m^3 . De gemiddelde thermische werkzame doorsnede voor koolstof is 0.003 barn en voor uranium 2.4 barn.

Opgave 4: Thorium-232 is een "fertile" materiaal dat door transmutatie kan overgaan in het slijtbare uranium-233 via de reactie



waar de halfwaardetijden zijn aangegeven. Neem aan dat we een "verse" reactor core in bedrijf hebben genomen die enkel thorium-232 en uranium-235 bevat. Daarna vindt neutron capture plaats in het thorium met een constante rate van $\Sigma_a^{\text{th}}\bar{\phi}$.

- a) Neem aan dat de halfwaardetijd van ${}_{90}^{233}\text{Th}$ verwaarloosd kan worden. Leid dan de differentiaalvergelijking af voor de concentratie van ${}_{91}^{233}\text{Pa}$ en los deze op.
- b) Leid de differentiaalvergelijking af voor de concentratie van ${}_{92}^{233}\text{U}$ en los deze op.

Neem aan dat $N^{02}(t) = N^{02}(0)$ en $\phi(t) = \phi(0)$.

BIJLAGE:

$N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
 $e = -1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$
 $\tau_P = 1 \text{ ms}$
 $1 \text{ b} = \text{barn} = 10^{-28} \text{ m}^2$
Tabel met materiaaleigenschappen.

Constante van Avogadro
Lading van het elektron
Levensduur van de ‘prompt’neutronen.
Eenheid van werkzame doorsnede.

Material	Density (kg m ⁻³)	n (10 ²⁸ m ⁻³)	$\sigma_f(\text{b})$	$\sigma_s(\text{b})$	$\sigma_a(\text{b})$	ξ	$\Sigma_s(\text{m}^{-1})$	$\Sigma_a(\text{m}^{-1})$
Graphite (C)	1600	8.23	–	4.7	0.0045	0.158	37.7	0.037
²³⁵ U	18700	4.79	579	10	680		47.9	3229
²³⁸ U	18900	4.79	–	8.3	2.72		39.8	13.0

*σ are at thermal energies: 0.025 eV

Tabel met halfwaardetijden en opbrengten van beta-vertraagde neutron-emitters die ontstaan in de reactie $n+^{235}\text{U}$.

Half-lives and yields of beta-delayed neutron emitters following $n + ^{235}\text{U}$

t _{1/2}	Yield (%)
55.7	0.0215
22.7	0.1424
6.22	0.1274
2.30	0.2568
0.61	0.0748
0.23	0.0273

Kernenergie definities pagina

Nuclide density	N	$= \frac{\rho N_0}{A}$ [nuclei/cm ³]
Microscopic cross-section	σ	[cm ² , barns]
Macroscopic cross-section	Σ	$= N\sigma$ [1/cm]
Elastic scattering E loss ratio	α	$= \frac{E'}{E} = \frac{(A-1)^2}{(A+1)^2}$
Slowing down decrement	ξ	$= 1 + \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln \alpha \approx 6/(3A + 1)$
Slowing down power	$\xi \Sigma_s$	
Slowing down ratio	$\xi \Sigma_s / \Sigma_a$	
Fission neutron production	ν	# neutrons produced per fission
Neutron multiplication (infinite medium)	k_∞	$\frac{\text{neutron productie door splijting in generatie } i}{\text{neutron absorptie in generatie } i - 1}$
Fast fission factor	ϵ	$\frac{\# \text{ snelle neutronen geproduceerd door alle splijtingen}}{\# \text{ snelle neutronen geproduceerd door thermische splijtingen}}$
Resonance escape probability	p	$\frac{\# \text{ neutronen die thermische energie bereiken}}{\# \text{ snelle neutronen die met slow down beginnen}}$
Thermal utilization factor	f	$\frac{\# \text{ thermische neutronen geabsorbeerd in fuel}}{\# \text{ thermische neutronen geabsorbeerd in alles}}$
Reproduction factor	η_T	$\frac{\# \text{ snelle neutronen geproduceerd in thermische splijting}}{\# \text{ thermische neutronen geabsorbeerd in de fuel}}$