

OPGAVEN WEEK 3

Opgave 1: In een Rutherford-verstrooiingsexperiment wordt lood (^{208}Pb met $Z_{\text{Pb}} = 82$) onderzocht. Aan een 0.1 mm dun loden trefplaatje wordt een bundel α -deeltjes (met $Z_{\alpha} = 2$) verstrooid. De α -deeltjes hebben een energie van 20 MeV. De stroom bedraagt $1 \mu\text{A}$. Een detector met een oppervlakte van 25 mm^2 bevindt zich onder een hoek van 30° op 1.5 meter afstand van de trefplaat.

Opgave 1a. Bereken de werkzame doorsnede voor Rutherfordverstrooiing met behulp van

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Z_{\alpha} Z_{\text{Pb}} \alpha h c}{8\pi T_{\alpha}} \right)^2 \sin^{-4} \frac{\theta}{2}. \quad (1)$$

Opgave 1b. Bereken het aantal loodatomen per vierkante meter in de trefplaat.

Opgave 1c. Bereken de telsnelheid in de detector (het aantal gedetecteerde deeltjes per seconde).

Opgave 2: Een thermische reactor met een core volume van $V = 30 \text{ m}^3$ heeft een neutronenflux van $\phi = 2 \times 10^{17} \text{ s}^{-1}\text{m}^{-2}$. De macroscopische werkzame doorsnede voor kernsplijting bedraagt $\Sigma_f = 5 \text{ m}^{-1}$.

- Bereken de power output P van de reactor.
- Hoeveel kilogram ^{235}U zit er in de reactor?
- Hoeveel kilogram ^{235}U wordt er per seconde geconsumeerd door kernsplijting (dat is de zogenaamde *burn-up rate*)?

Opgave 3: Na het stoppen van een kernreactor (een ‘*shutdown*’) ontstaat er xenon in de kern. Het aantal ^{135}Xe kernen n_X en ^{135}I (jodium) kernen n_I wordt gegeven door

$$dn_X/dt = \lambda_I n_I - \lambda_X n_X \quad \text{en} \quad dn_I/dt = -\lambda_I n_I. \quad (2)$$

- Verklaar de betekenis van de verschillende termen in bovenstaande gekoppelde differentiaalvergelijkingen.
- Het aantal ^{135}Xe kernen groeit tot een maximum in de uren na de shutdown. Verwaarloos het evenwichtsaantal ^{135}Xe kernen in verhouding tot het evenwichtsaantal N_0 jodiumkernen dat zich in de kern bevindt, direct na de shutdown (snap je waarom dat mag?). Bereken hoeveel uur na de shutdown het maximum aantal ^{135}Xe kernen bereikt wordt.
- ^{135}Xe is een sterke absorber van neutronen (de werkzame doorsnede voor absorptie is ongeveer 3 miljoen barn voor thermische neutronen). Hierdoor kan het moeilijk tot onmogelijk zijn om de reactor weer snel op te starten. We dienen regelstaven uit de reactor te trekken om de reactiviteit van de kernreactor te verhogen. Indien de maximum hoeveelheid ^{135}Xe waarvoor gecompenseerd kan worden, door regelstaven (de ‘*control rods*’) uit de kern te trekken, gelijk is aan $0.2N_0$, hoelang is de reactor dan buiten gebruik na de shutdown?

Voor ^{135}I geldt $t_{1/2} = 6.7$ uur; Voor ^{135}Xe , $t_{1/2} = 9.2$ uur.

Opgave 4: Een reactor wordt bedreven met uranium dat met 2% verrijkt is in ^{235}U . De gemiddeld geproduceerde energiedichtheid bedraagt 176 MW m^{-3} . De dichtheid van uranium is 18.900 kg m^{-3} en de werkzame doorsnede voor door neutronen geïnduceerde kernsplijting is 579 b . Bereken de neutronenflux in de reactor. (Hint: per splijting komt er 200 MeV aan energie vrij.)

BIJLAGE:

$$N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$e = -1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg/s}$$

$$1 \text{ b} = \text{barn} = 10^{-28} \text{ m}^2$$

Constante van Avogadro

Lading van het elektron

Constante van Planck

Eenheid van werkzame doorsnede

Tabel met materiaaleigenschappen.

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