

Opgave 1: Het ontwerp van de kernfusiefaciliteit ITER heeft de volgende parameters

Plasma volume V	837 m^3
Toroidal magnetic field B	5.3 T
Volume-averaged density $\langle n_e \rangle$	$1.019 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$
Radiated power P_{rad}	48 MW
External heating power P_h	40 MW
Averaged fusion reactivity $\langle \sigma v \rangle$	$6.8 \times 10^{-23} \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$
Plasma major radius R	6.2 m
Plasma minor radius a	2.0 m
Averaged ion temperature $\langle T_i \rangle$	8.1 keV
Averaged electron temperature $\langle T_e \rangle$	8.9 keV

- Het dichtheidprofiel in ITER is nagenoeg vlak. Neem dit aan en gebruik de gemiddelde reactivity zoals hierboven gegeven, en bereken dan het geproduceerde kernfusievermogen (neem een mengsel aan van 50 - 50% D - T).
- Bepaal het fusievermogen P_α dat gedragen wordt door de alfa-deeltjes en dat dus direct het plasma verwarmt (zogenaamde 'alpha heating power').
- Bepaal de kwaliteitsfactor $Q = P_{\text{fusie}}/P_{\text{ext}}$.
- Bereken de opsluitingstijd (zogenaamde 'energy confinement time') τ_E .
- Bereken de plasmadruk.
- Voor ITER is een tritium voorraad van 3.0 kg voorzien. Neem aan dat deze voorraad op één enkele lokatie in twintig afzonderlijke containers wordt opgeslagen. Gegeven dat de gemiddelde energie die vrijkomt in een gemiddeld beta-verval 5.5 keV is, en de levensduur van tritium 12.3 jaar, hoeveel warmte wordt dan in een van deze containers gegenereerd?
- Neem aan dat de deeltjeslevensduur in de machine 10.0 s is. Hoe lang kan de machine dan in gebruik blijven met een 50 - 50% mengsel van D - T zonder recyclen van tritium?

Opgave 2: Maak een schatting van de elektrische stroom die nodig is om een plasma in een tokamak op te sluiten bij een temperatuur van 10^8 K , een dichtheid van $n = 10^{20} \text{ m}^{-3}$, en een oppervlakte doorsnede van 1 m^2 .

Opgave 3: Een plasma heeft een temperatuur van 10 keV en een deeltjesdichtheid $n = 10^{20} \text{ m}^{-3}$, typisch voor kernfusie. Bereken de plasmadruk en de Debye lengte. Is dit plasma zwak gekoppeld (dus zogenaamd "collisionless")?

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	$\frac{\# \text{ snelle neutronen geproduceerd in thermische splijting}}{\# \text{ thermische neutronen geabsorbeerd in de fuel}}$