

Herkansing tentamen: Kernenergie voor natuurkundigen

Docenten: J. F. J. van den Brand en R. Aaij
Telefoon: 0620 539 484
Datum: 8 juli 2013
Zaal: WN-KC137
Tijd: 12:00 - 14:45 uur

- Maak elke opgave op een apart blad.
- Vermeld je naam op elke pagina.
- Vermeld je collegenummer.
- Gebruik van een rekenmachine is toegestaan.
- Motiveer je resultaat teneinde een maximale score te bereiken.

Opgave 1.

Op dit moment is er een verkenning gaande over energiewinning door getijdestroom in de Grevelingen door doorlaatopeningen in de Brouwersdam en de bouw van een getijdencentrale in de Grevelingendam. De energieprestatie wordt bepaald door het verschil in het waterniveau van het Grevelingenmeer (met een oppervlak van 100 km^2) en de Noordzee.



Figure 1: Artistieke impressie van een getijdencentrale in de Brouwersdam

- a) Het verloop van de waterstand in Grevelingenmeer en Noordzee met getijdencentrale wordt gegeven in Fig. 1. Onderzoek toont aan dat de gemiddelde waterstandsvariatie in het

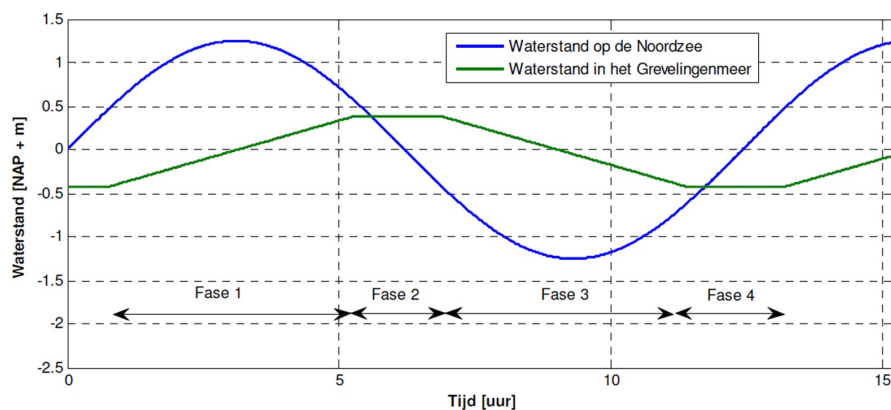


Figure 2: Waterstandsverloop in Grevelingenmeer en Noordzee met getijdencentrale

Grevelingenmeer beperkt moet blijven. Gedurende fases 1 en 3 wordt er energie gewonnen. Geef een uitdrukking voor het vermogen als functie van de tijd gedurende fase 1, dat met een dergelijke centrale kan worden opgewekt. Lees de benodigde getallen af in de grafiek.

- b) Door het vermogen te integreren over de tijd kan de energieopbrengst worden bepaald, $E = \int P dt$. Om te elektrische energieopbrengst te bepalen, dienen we te corrigeren voor de efficiëntie van de installatie ($\eta = 0,9$) en voor de efficiëntie van de gebruikte turbines. Voor deze laatste gebruiken we de zogenaamde Betz limiet ($C_p = 0,59$). Bereken de te verwachten jaarlijkse energieopbrengst.

- c) In 2011 werd er in Nederland 2865 PJ ($= 10^{15}$ J) aan energie verbruikt. Er ging 126,6 miljard kWh aan elektriciteit om (inclusief netverliezen en export). In welk percentage zou de getijdencentrale in onze gemiddelde nationale elektriciteitsverbruik kunnen voorzien?

Opgave 2.

We beschouwen de wisselwerking van neutronen met materie.

- a) Een mono-energetische neutronenbundel met flux 4×10^{10} n/(s cm²) wordt op een trefplaat geschoten met een oppervlak van 1 cm² en een dikte van 0,1 cm. De trefplaat is gemaakt van koper ($^{64}_{29}\text{Cu}$) en het soortelijk gewicht is 8,9 g/cm³. De totale werkzame doorsnede behorend bij de bundelenergie is 4.5 b. Bereken de macroscopische werkzame doorsnede.
- b) Hoeveel neutron-interacties vinden er per seconde plaats in de trefplaat?
- c) Een neutronenbundel met een energie van 2 MeV treft een laag zwaar water (D₂O). De totale werkzame doorsnede van deuterium en zuurstof bij deze energie zijn respectievelijk 2.6 en 1.6 b. Bereken de macroscopische werkzame doorsnede van zwaar water bij 2 MeV.
- d) Hoe dik moet de D₂O laag zijn om de intensiteit van de rechtdoorlopende bundel met een factor 10 te reduceren?
- e) Wanneer een invallend neutron met de D₂O laag botst, wat is dan de relatieve waarschijnlijkheid dat de botsing plaatsvindt met deuterium?

Opgave 3.

In een kritische reactor wordt natuurlijk uranium als brandstof gebruikt. Men neemt waar dat voor ieder neutron dat geabsorbeerd wordt door ^{235}U , er 0,254 neutronen worden geabsorbeerd in de resonanties van ^{238}U en 0,640 neutronen worden geabsorbeerd door ^{238}U bij thermische energieën. In essentie er er geen enkele "leakage" van neutronen uit de reactor.

- a) De conversieverhouding is het gemiddelde aantal splijtbare atomen dat gevormd wordt per kernsplijting. Bereken de conversieverhouding voor deze reactor.
- b) Het splijtbaar materiaal dat gevormd wordt is $^{239}_{94}\text{Pu}$. Geef de reactievergelijking en laat hiermee zien hoe de twee extra protonen ontstaan ($92 \rightarrow 94$) bij de vorming van plutonium uit uranium.
- c) Hoeveel $^{239}_{94}\text{Pu}$ wordt er in kilogrammen geproduceerd per 1 kg $^{235}_{92}\text{U}$ dat geconsumeerd wordt? Merk op dat $\rho_{235\text{U}} = 18,9$ g/cm³ en $\rho_{239\text{Pu}} = 19,8$ g/cm³.

Opgave 4.

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 1.2 GW? Zie tabel 2 in de bijlage voor de benodigde gegevens.

BIJLAGE:

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

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

$\tau_P = 1 \text{ ms}$

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

$1 \text{ amu} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}.$

Constante van Avogadro

Lading van het elektron

Levensduur van de ‘prompt’neutronen.

Eenheid van werkzame doorsnede.

Atomaire massa eenheid.

Tabel met materiaaleigenschappen.

De atomaire massa van ^{235}U bedraagt 235.0439 en van ^{238}U 238.0508.

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