

# Tentamen: Energie, duurzaamheid en de rol van kernenergie

Docenten: J. F. J. van den Brand en R. Aaij  
Telefoon: 0620 539 484  
Datum: 28 mei 2013  
Zaal: WN-M143  
Tijd: 08:45 - 11.30 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.

Plan Lieveense is een plan voor energieopslag met behulp van een waterbuffer in het Markermeer toen het voornemen tot inpoldering tot Markerwaard van de baan was. In 1981 presenteerde ingenieur L.W. Lieveense een alternatief plan voor de Markerwaard. De kern van het plan bestond eruit van het Markermeer een buffer te maken voor de productie van elektriciteit. Dit meer zou gevuld met water moeten worden in tijden van weinig vraag en veel aanbod van elektriciteit. De overcapaciteit die er dan bestaat aan elektriciteitsproductie diende aangewend te worden om de waterstand in het meer omhoog te brengen. Wanneer er weinig aanbod was en veel vraag zouden de turbines van het meer stroom leveren. Dit plan was uitgedacht in verband met de problemen rond elektriciteitsopwekking met windenergie. Het aanbod van elektriciteit door windturbines is door de sterk variërende windsnelheden grillig en heeft weinig verband met de vraag. Door de aanleg van dit spaarbekken hoopte Lieveense dit probleem te ondervangen.

- a) In het plan zou er een vele meters hoge ringdijk worden aangelegd in het Markermeer waarop windturbines worden geplaatst. Hoeveel energie (in  $TJ = 10^{12}$  J) kan er worden opgeslagen bij een oppervlakte van  $700 \text{ km}^2$  en een stijghoogte van  $10 \text{ m}$ ?
- b) Op de ringdijk worden windturbines met een capaciteit tussen de  $1$  en  $1,5 \text{ MW}$  vermogen geplaatst. Hiermee wordt het water in het meer opgepompt als er veel wind staat. Stel dat we het meer willen vullen in  $1$  dag, maak dan een schatting van het benodigde aantal windmolens.
- c) In  $2011$  werd er in Nederland  $2865 \text{ PJ}$  ( $= 10^{15}$  J) aan energie verbruikt. Er ging  $126,6$  miljard kWh aan elektriciteit om (inclusief netverliezen en export). In hoeveel dagen stroom zou het meer in onze gemiddelde nationale elektriciteitsverbruik kunnen voorzien?
- d) Er waren ernstige voorbehouden tegen het plan door de landschappelijke implicaties en de mogelijke ecologische gevolgen voor het Markermeer.

Uiteindelijk gaven twee overwegingen de doorslag, enerzijds de prijs maar ook de veiligheid. Een dijkdoorbraak van een gevuld Lieveense bekken zou Amsterdam onder water zetten. De TU-Delft gebruikt nog steeds de case study van het plan Lieveense in haar opleiding waterbouwkunde als voorbeeld in de categorie waterrampen. Een "omgekeerd stuwmeer" voorkomt dit gevaar. Bureau Lieveense heeft samen met KEMA in  $2007$  een nieuw plan gepresenteerd, waarin het idee wordt omgedraaid: het water wordt niet het stuwmeer ingepompt, maar juist eruit, tot een diepte van  $40 \text{ m}$  onder de zeespiegel. Als het plan in de vorm van een eiland voor de kust wordt uitgevoerd, is er geen gevaar voor een mogelijke overstroming van Amsterdam. Hoeveel energie kan er bij een oppervlakte van  $40 \text{ km}^2$  en een waterdiepte variërend tussen  $32$  en  $40 \text{ m}$  onder de zeespiegel opgeslagen worden?

### Opgave 2.

De werking van de eerste fusie atoombom was gebaseerd op de reactie  ${}^7_3\text{Li}(p, \alpha)\text{X}$ .

- a) Schrijf de complete reactievergelijking op voor het proces en identificeer het product X.
- b) De atomaire massas zijn  $1,007825 \text{ amu}$  voor  ${}^1_1\text{H}$ , en  $4,00260 \text{ amu}$  voor  $\alpha$ . Voor  ${}^7_3\text{Li}$  hebben we  $7,01600 \text{ amu}$ . Bereken de energie van de reactie in  $\text{kJ/mol}$ .

Opgave 3.

Stel dat we 10 000 neutronen hebben aan het begin van een generatie. De waarden van elk van de factoren van de zes-factoren formule zijn als volgt:

de ‘*thermal fission factor*’  $\eta = 2.012$ ,

‘*fast fission factor*’  $\epsilon = 1.031$ ,

‘*resonance escape probability*’  $p = 0.803$ ,

‘*thermal utilization factor*’  $f = 0.751$ ,

*non-leakage probability*’ voor snelle neutronen  $\mathcal{L}_f = 0.889$ ,

*non-leakage probability*’ voor thermische neutronen  $\mathcal{L}_t = 0.905$ .

Bereken het aantal neutronen dat bestaat op de volgende stadia van de neutronen levenscyclus:

- a) Het aantal neutronen dat bestaat direct na kernsplijting door snelle neutronen.
- b) Het aantal neutronen dat begint met *slow down* (het moderatieproces) in de reactor.
- c) Het aantal neutronen dat thermische energieën bereikt.
- d) Het aantal thermische neutronen dat in de reactor geabsorbeerd wordt.
- e) Het aantal thermische neutronen dat in de brandstof geabsorbeerd wordt.
- f) Het aantal snelle neutronen dat ontstaat na kernsplijting door thermische neutronen.

Is het systeem subkritisch, kritisch of superkritisch?

Opgave 4.

Een kernreactor wordt bedreven met  $^{235}\text{U}$ . 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  $^{235}\text{U}$  bedraagt 235.0439 en van  $^{238}\text{U}$  238.0508.

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

\* $\sigma$  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 <sup>3</sup> ]
Microscopic cross-section	$\sigma$	[cm <sup>2</sup> , barns]
Macroscopic cross-section	$\Sigma$	$= N\sigma$ [1/cm]
Elastic scattering $E$ loss ratio	$\alpha$	$= \frac{E'}{E} = \frac{(A-1)^2}{(A+1)^2}$
Slowing down decrement	$\xi$	$= 1 + \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln \alpha \approx 6/(3A + 1)$
Slowing down power	$\xi\Sigma_s$	
Slowing down ratio	$\xi\Sigma_s/\Sigma_a$	
Fission neutron production	$\nu$	# neutrons produced per fission
Neutron multiplication (infinite medium)	$k_\infty$	$\frac{\text{neutron productie door splijting in generatie } i}{\text{neutron absorptie in generatie } i - 1}$
Fast fission factor	$\epsilon$	$\frac{\text{\# snelle neutronen geproduceerd door alle splijtingen}}{\text{\# snelle neutronen geproduceerd door thermische splijtingen}}$
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	$\eta_T$	$\frac{\text{\# snelle neutronen geproduceerd in thermische splijting}}{\text{\# thermische neutronen geabsorbeerd in de fuel}}$