

Opgave 3 Plutonium voor de Engelse atoombom

Lees eerst onderstaande tekst.

Direct na de Tweede Wereldoorlog besloot de Engelse regering om een atoombom te ontwikkelen. Wetenschappers beschikten daarvoor over natuurlijk uranium dat voor 0,7% uit het splijtbare U-235 bestaat en voor 99,3% uit het niet splijtbare U-238. In een atoombom zou het gehalte U-235 veel hoger moeten zijn.

Natuurlijk uranium kan men echter wel in een kernreactor gebruiken om plutonium te maken. Dit plutonium is ook geschikt voor een atoombom.

In 1947 werd in Windscale met de bouw van zo'n kernreactor begonnen. De reactor bestond uit een enorm blok grafiet. In het grafiet was een groot aantal kanalen geboord waarin aan de voorkant blikjes met natuurlijk uranium werden geduwd (zie de foto hiernaast). In de reactor werd niets gedaan met de energie die vrijkwam bij de kernreacties; die werd via luchtkoeling afgevoerd naar buiten.



In de reactor werd een kettingreactie in stand gehouden waarbij U-235-kernen worden gespleten door het invangen van een neutron. Daarbij vervulde het grafiet de rol van moderator.

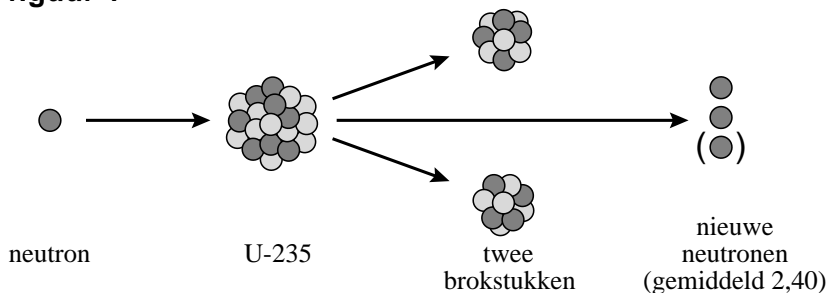
1p **11** Waarvoor dient een moderator in een kernreactor?

Het blok grafiet was 15 m breed, 15 m hoog en 7,5 m diep. Van het volume van dit blok grafiet werd 6,0% ingenomen door de kanalen die er in zijn geboord.

5p **12** Bereken de massa van het blok grafiet in Windscale.

Figuur 1 geeft schematisch de splijting van een U-235-kern weer.

figuur 1



Bij de splijting ontstaan twee middelgrote kernen en twee of drie nieuwe neutronen. Gemiddeld komen er per splijting 2,40 neutronen vrij. Om de reactor op constant vermogen te laten werken, moeten er neutronen worden geabsorbeerd. Er moeten wel voldoende neutronen overblijven om de kernreactie op gang te houden. In tabel 1 is weergegeven hoeveel neutronen er per 100 splijtingen in de verschillende onderdelen van een grafietreactor worden geabsorbeerd.

tabel 1

absorptie door	aantal neutronen
grafiet	25
regelstaven
U-238	85
overige onderdelen	20

- 3p **13** Hoeveel neutronen worden er per 100 splijtingen door de regelstaven geabsorbeerd als de reactor een constant vermogen levert? Licht je antwoord toe.

Het plutonium wordt gevormd doordat een U-238-kern een neutron invangt. Hierbij ontstaat een instabiele kern die vervalst onder uitzending van een β^- -deeltje. De kern die dan wordt gevormd, zendt eveneens een β^- -deeltje uit; daarbij ontstaat plutonium.

- 3p **14** Leg uit welke isotoop van plutonium op deze manier ontstaat.

Tabel 1 laat zien dat er per 100 splijtingen 85 neutronen door U-238 worden ingevangen. Uit elke U-238-kern die een neutron invangt, ontstaat een plutoniumkern. Voor een atoombom had men 5,0 kg plutonium nodig. De reactor van Windscale stond zo ingesteld dat er per seconde $5,8 \cdot 10^{18}$ splijtingen plaatsvonden.

- 5p **15** Bereken hoeveel dagen de reactor moest werken om voldoende plutonium te produceren voor één atoombom. Bereken daartoe eerst hoeveel kg plutonium er per seconde gevormd wordt.

Om te voorkomen dat het grafiet te heet werd, moest de warmte die bij de kernreacties vrijkwam door ventilatoren worden afgevoerd. Per splijting komt gemiddeld 193 MeV energie vrij.

- 2p **16** Bereken de hoeveelheid warmte in Joule die per seconde door de ventilatoren moest worden afgevoerd.