

Noteer niet uitsluitend de antwoorden, maar ook je redeneringen (in correct Nederlands) en de formules die je gebruikt hebt! Maak daar waar nodig een schets van de situatie. Let op het juiste aantal significante cijfers en vergeet de eenheden niet! Maak de opgaven in de juiste volgorde en werk netjes.

**Met potlood geschreven tekst wordt niet gecorrigeerd!
Het gebruik van Tipp-Ex is niet toegestaan.**

Opgave 1

In de James Bond film Goldfinger is de gelijknamige slechterik van plan de gehele, in fort Knox opgeslagen, goudvoorraad ($m = 1,05 \cdot 10^7 \text{ kg}$) door middel van een niet nader beschreven nucleair apparaat zo te behandelen dat de goudvoorraad voor tientallen jaren onbruikbaar zou worden. In deze opgave worden drie scenario's onderzocht voor de werkingwijze van een dergelijk nucleair apparaat.



In het nucleaire apparaat bevindt zich een sterke neutronenbron.

Als het stabiele ^{197}Au met neutronen wordt bestraald kan neutronenvangst optreden. Hierdoor ontstaat een ander isotoop. Deze isotoop is radioactief en vertoont β -verval.

- a) Geef de vergelijking voor de neutronenvangst.
- b) Geef de vergelijking voor het aansluitend optredende β -verval.
- c) **Bereken** de energie die vrijkomt bij het β -verval. De benodigde atoommassa staan in nevenstaande tabel.



Bij het doordringen van een goudlaag van 1,0 nm dik is de kans dat een neutron wordt ingevangen door een goudkern $5,0 \cdot 10^{-8}$.

- d) **Bereken** hoeveel procent van een neutronenbundel door een goudstaaf van 5,0 cm dik heen kan dringen. Neem daarbij aan dat de bundel loodrecht op de goudstaaf valt.

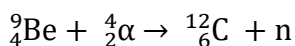
Om neutronen in noemenswaardige aantallen te produceren zijn kernreacties geschikt waarbij neutronen vrijkomen.

Bij elke kernreactie wordt 210 MeV vrijgemaakt.

Het totale vermogen van de bron bedraagt 20 MW.

- e) **Bereken** het aantal kernreacties dat in de bron plaats moet vinden en **bereken** daarmee hoe lang Goldfinger erover doet om 70% van alle goudatomen in Fort Knox te bestralen. Neem daarbij aan dat elk neutron een goudatoom omzet.

Als alternatief zou Goldfinger als neutronenbron kunnen uitgaan van onderstaande reactie:



De gemiddelde atoommassa van α -stralers bedraagt zo'n 200 u.

- f) **Leg uit** dat een dergelijk alternatief niet erg praktisch is.

Atoommassa in u	
^{198}Hg	197,966769
^{198}Au	197,968216
^{239}Pu	239,05215
^{144}Ba	143,92294
^{94}Sr	93,91536

Het nucleaire apparaat als nucleaire bom.

Als een neutron door een ^{239}Pu -atoom wordt ingevangen kan dit tot een kernsplijtingsreactie leiden waarbij ^{144}Ba en ^{94}Sr ontstaan. Daarnaast ontstaan er neutronen die tot nog meer splijtingen kunnen leiden. Op die manier kan in korte tijd een grote hoeveelheid energie vrijkomen.

g) Geef de reactievergelijking van deze kernreactie.

h) **Bereken** de hoeveelheid energie die bij één zo'n reactie vrijkomt.

Gedurende de explosie van de bom wordt ongeveer 1,0 kg ^{239}Pu gesplitst. Bij elke splijtingsreactie komt ongeveer 208 MeV vrij.

i) **Bereken** de energie die gedurende de explosie vrijkomt.

j) Schat hoeveel energie nodig is om de gehele goudvoorraad te verdampen.

- Om 1,0 kg goud 1,0 °C in temperatuur te doen stijgen is 0,13 kJ nodig.
- Om 1,0 kg goud te smelten, verder te verhitten tot het kookpunt en uiteindelijk te verdampen is 2,1 MJ nodig.

Het nucleair apparaat besmet de goudvoorraad van Fort Knox.

k) **Beredeneer** op basis van de gegevens in onderstaande tabel dat met name ^{60}Co een bedreiging vormt.

Isotoop	^{60}Co	^{131}I	^{144}Nd
Vervaltype	β^- , γ	β^- , γ	α
Halveringstijd	5,3 y	8,0 d	$2,3 \cdot 10^{15}$ y
Vervalenergie (MeV)	2,8	0,97	1,7

Fort Knox zou pas weer toegankelijk zijn als de activiteit tot $3,0 \cdot 10^{11}$ Bq zou zijn gedaald.

l) **Bereken** hoeveel ^{60}Co nodig zou zijn om fort Knox voor 50 jaar ontoegankelijk te maken.

m) **Bereken** hoeveel vermogen aan warmte het apparaat zou produceren.

n) **Beredeneer** welk van de drie scenario's de meest realistische bedreiging vormt.