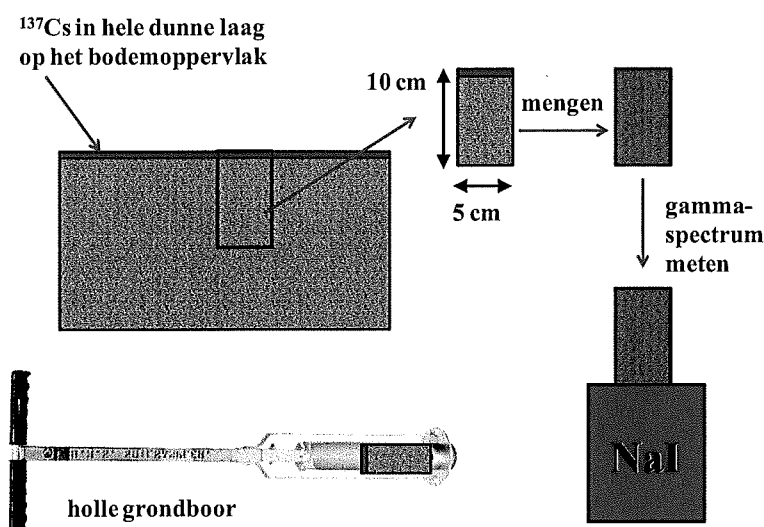


## OPGAVE: Dosis ten gevolge van $^{137}\text{Cs}$ besmetting in de buurt van Fukushima

Normering:  $(0+a+b+c+d+e=1+2+2+1+3+1=10)$

Een onderzoeker neemt een grondmonster in de buurt van de Fukushima reactoren. Het grondmonster wordt uit de bodem geboord met een holle boor en is cilindervormig met een diameter van 5 cm en een hoogte van 10 cm (zie onderstaande figuur). Dit monster wordt daarna gemengd zodat alle initieel aan het oppervlak aanwezige activiteit homogeen door het monster is verdeeld. Van dit monster wordt op een gammadetector (NaI scintillatiedetector) een energiespectrum gemeten (zie gegevensbijlage).



a) In het spectrum zijn twee structuren door een rode pijl aangegeven, namelijk de 'Full energy peak' en de 'Compton edge'. Beschrijf hoe deze structuren tot stand komen, ga hierbij in op de verschillende processen die een rol spelen bij de wisselwerking tussen de door  $^{137}\text{Cs}$  uitgezonden gammastraling en het materiaal van de detector. Gebruik hierbij ook het vervalschema uit de gegevensbijlage.

b) Bereken uit de in het spectrum gegeven aantal netto tellingen (counts) in de 'Full energy peak' de  $^{137}\text{Cs}$  activiteit in het grondmonster ten tijde van de meting. De 'Full energy peak' efficiëntie van de gebruikte detector en monstergeometrie is 4%.

Nb: Het is niet nodig om te corrigeren voor radioactief verval tijdens de meting.

c) Bereken de oppervlakte besmetting (in  $\text{Bq m}^{-2}$ ) van het gebied waar het grondmonster genomen is. Ga er hierbij vanuit dat alle activiteit in het genomen grondmonster oorspronkelijk (voor het mengen) aan het bovenoppervlak van het monster zat.

*Mocht je het antwoord bij vraag b) niet gevonden hebben neem dan aan dat de activiteit in het monster 392 Bq is.*

d) Bereken de effectieve dosis (in Sv) die een persoon ontvangt die een heel jaar in het besmette gebied op de grond ligt. Hierbij mag je de volgende veronderstellingen maken:

- De persoon is rechthoekig met de volgende maten: lengte: 180 cm; breedte: 30 cm en dikte: 15 cm. De persoon bestaat geheel uit water met dichtheid  $1 \text{ g cm}^{-3}$ .
- De persoon ligt op de rug, dus met het oppervlak  $180 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$  op de grond.
- Alleen de door  $^{137}\text{Cs}$  uitzonden gammastraling hoeft meegenomen te worden.
- Het  $^{137}\text{Cs}$  zit alleen aan het grondoppervlak en de uitzonden gammastraling gaat voor 50% loodrecht omhoog en 50% loodrecht naar beneden.
- Fotonen die wisselwerken met de persoon staan hun volledige energie af.
- De massieke verzwakkingscoëfficiënt van water voor fotonen van 662 keV is  $0.01 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ .
- Voor deze 'whole body' bestraling met fotonen kan je de conversie  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Sv}$  gebruiken.
- $1 \text{ MeV} = 1.6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ .

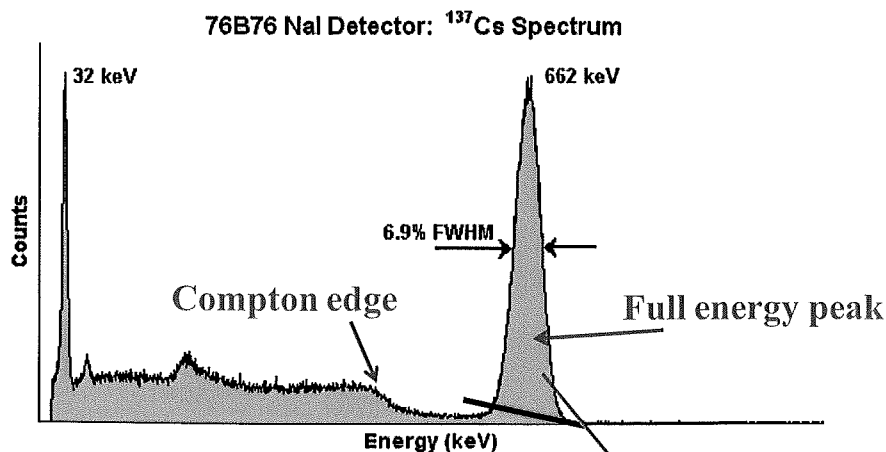
e) Gedurende het jaar dat de persoon in het besmette gebied op de grond ligt drinkt deze 3 liter water per dag. Dit water wordt lokaal gewonnen en heeft een  $^{137}\text{Cs}$  concentratie van 100 Bq per liter. Bereken de 'committed effective dose' (effectieve volg dosis)  $E(50)$  van deze persoon ten gevolge van de waterinname in dat jaar.

Gegevens die gebruikt kunnen worden:

- Gemeten spectrum van het gemengde grondmonster
- Vervalschema  $^{137}\text{Cs}$
- Effectieve dosis coëfficiënten

### *Gamma spectrum van het gemengde grondmonster*

*Meettijd: 4000 s*

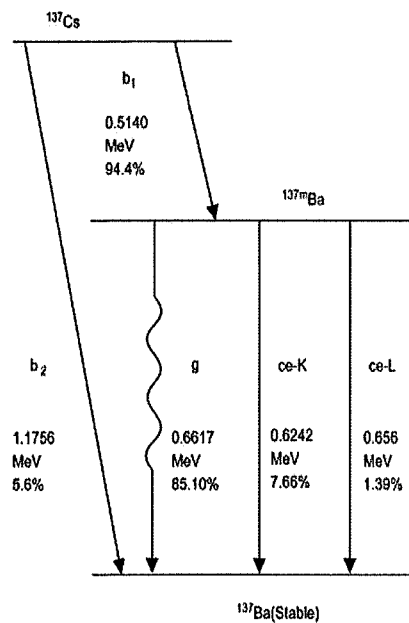


**Netto piek inhoud: 26690 counts**

## Vervalschema van $^{137}\text{Cs}$

De percentages in het vervalschema zijn per vervallende  $^{137}\text{Cs}$ -kern. De letters, b, g en ce betekenen dat respectievelijk beta-straling, gamma-straling en een conversie-electron uitgezonden worden.

De halveringstijd van  $^{137}\text{Cs}$  is: 30.2 jaar.



Effectieve dosis coëfficiënten voor I en Cs nucliden.

46

THE REPORT OF A TASK GROUP OF COMMITTEE 2

Table B.1.—(continued)

Nuclide	$t_{1/2}$	Type	$f_1$	Effective dose coefficients (Sv Bq <sup>-1</sup> )			
				Inhalation, $e_{inh}(50)$		Ingestion	
				$1\mu\text{mAMAD}$	$5\mu\text{mAMAD}$	$f_1$	$e_{ing}(50)$
I-128	0.416h	F	1.000	1.4E-11	2.2E-11	1.000	4.6E-11
I-129	1.57E+07y	F	1.000	3.7E-08	5.1E-08	1.000	1.1E-07
I-130	12.4h	F	1.000	6.9E-10	9.6E-10	1.000	2.0E-09
I-131	8.04d	F	1.000	7.6E-09	1.1E-08	1.000	2.2E-08
I-132	2.30h	F	1.000	9.6E-11	2.0E-10	1.000	2.9E-10
I-132m	1.39h	F	1.000	8.1E-11	1.1E-10	1.000	2.2E-10
I-133	20.8h	F	1.000	1.5E-09	2.1E-09	1.000	4.3E-09
I-134	0.876h	F	1.000	4.8E-11	7.9E-11	1.000	1.1E-10
I-135	6.61h	F	1.000	3.3E-10	4.6E-10	1.000	9.3E-10
<b>Cæsium</b>							
Cs-125	0.750h	F	1.000	1.3E-11	2.3E-11	1.000	3.5E-11
Cs-127	6.25h	F	1.000	2.2E-11	4.0E-11	1.000	2.4E-11
Cs-129	1.34d	F	1.000	4.5E-11	8.1E-11	1.000	6.0E-11
Cs-130	0.498h	F	1.000	8.4E-12	1.5E-11	1.000	2.8E-11
Cs-131	9.69d	F	1.000	2.8E-11	4.5E-11	1.000	5.8E-11
Cs-132	6.48d	F	1.000	2.4E-10	3.8E-10	1.000	5.0E-10
Cs-134	2.06y	F	1.000	6.8E-09	9.6E-09	1.000	1.9E-08
Cs-134m	2.90h	F	1.000	1.5E-11	2.6E-11	1.000	2.0E-11
Cs-135	2.30E+06y	F	1.000	7.1E-10	9.9E-10	1.000	2.0E-09
Cs-135m	0.883h	F	1.000	1.3E-11	2.4E-11	1.000	1.9E-11
Cs-136	13.1d	F	1.000	1.3E-09	1.9E-09	1.000	3.0E-09
Cs-137	30.0y	F	1.000	4.8E-09	6.7E-09	1.000	1.3E-08
Cs-138	0.536h	F	1.000	2.6E-11	4.6E-11	1.000	9.2E-11

## opgave 2

Gegevens voor deze opgave: Boltzmann constante  $k=1.38 \times 10^{-23}$  J/K; massa's n,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^4\text{He}$  resp. 1.0086654, 2.0135536, 3.0155010, 4.0015062 u;  $1\text{u}=1.66044 \times 10^{-27}$  kg; lichtsnelheid  $c=3 \times 10^8$  m/s; lading elektron  $e=1.6022 \times 10^{-19}$  C; onderstaande figuur met "reaction rate"  $\langle v\sigma \rangle$ .

a) Bereken hoeveel energie Q (in MeV) er vrijkomt bij de fusie van een deuterium (D) en een tritium (T) deeltje.

[als je a) niet hebt neem dan 10 MeV in het vervolg]

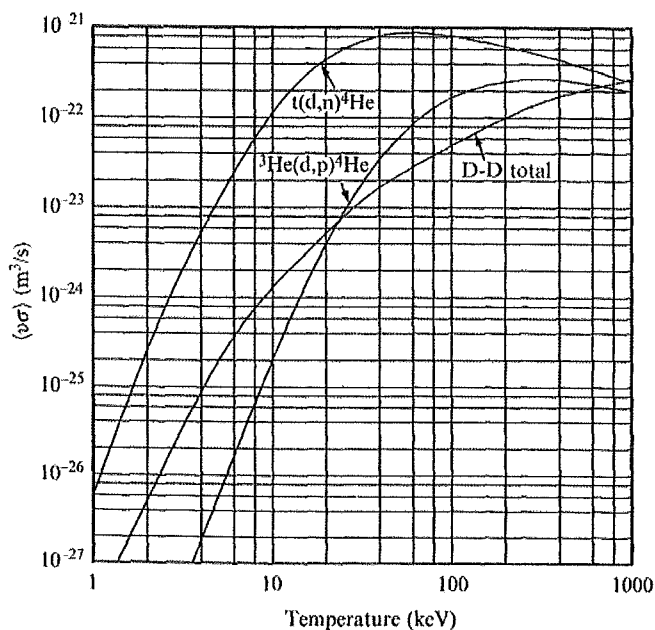
b) Voor de (D,T) fusiereactie nemen we als "total reaction rate"  $R=n_D n_T \langle v\sigma \rangle$  waarbij  $n_D$  en  $n_T$  staan voor het aantal D- en T deeltjes in het plasma, v de snelheid (m/s), en  $\sigma$  de crosssectie ( $\text{m}^2$ ), gemiddeld over de Maxwell Boltzmann verdeling.

Geef een uitdrukking voor de fusie-energie die vrijkomt gedurende een bepaalde tijd  $\tau$ ? Neem hierbij aan dat de hoeveel D en T deeltjes gelijk zijn en dat het totaal aantal waterstof-ionen gelijk is aan n.

c) Geef een uitdrukking voor de gemiddelde kinetische energie in het plasma bestaande uit n waterstof-ionen en n elektronen?

d) Leid met behulp van b) en c) een uitdrukking af voor het zogenaamde Lawson criterium voor zelfontbranding.

e) Het plasma wordt verhit tot een temperatuur van 200 miljoen graden. Bepaal met behulp van de onderstaande figuur wat het criterium is voor  $\tau$ , uitgaande van een aantal waterstof-ionen  $n=10^{20}\text{m}^{-3}$ .



### opgave 3

a)

Beantwoord de volgende 3 vragen voor elk van de volgende typen kerncentrales: PWR, BWR, CANDU, HTGR, kweekreactor, RBMK (Chernobyl-type).

a1) welk type brandstof wordt gebruikt (incl. verrijkingsgraad)

a2) wat is het koelmiddel

a3) wat is de moderator

b)

Aan welke eigenschappen moet moderator materiaal in het algemeen voldoen?

c)

Waarom zijn splijtingsfragmenten radioactief, en welke vormen van radioactiviteit komen zovoor bij splijtingsfragmenten?

d)

Wat is de rol van neutronen uitgezonden door splijtingsfragmenten in een kernreactor?

e)

Wat ging er vorig jaar mis in de reactoren te Fukushima?

f)

In een uranium mijn in Gabon (Afrika) zijn sporen aangetroffen van een 1.7 miljard jaar oude natuurlijke kernreactor. Waaruit blijkt dat er kernsplijting heeft plaatsgevonden? Waarom was dat mogelijk?

De halveringstijd van  $^{235}\text{U}$  is 704 miljoen jaar.

#### opgave 4

Bij het ongeval met de RBMK reactor in Chernobyl is een hoeveelheid  $^{131}\text{I}$  corresponderend met een activiteit van  $1.7 \times 10^{18}$  Bq in de atmosfeer uitgestoten. De halveringstijd  $T_{1/2}$  van  $^{131}\text{I}$  is 8 dagen.

a. Wat is de massa  $^{131}\text{I}$  die uitgestoten is?

Gegevens:

- Getal van Avogadro:  $N_{\text{Av}} = 6.02 \times 10^{23}$  atomen per mol.

Uit de analyse van het ongeval is gebleken dat de volledige hoeveelheid  $^{131}\text{I}$ , die op het moment van het ongeval in de reactor aanwezig was, uitgestoten is.

b. Wat was het gemiddelde aantal splijtingen per seconde en het thermische vermogen van de reactor in de periode voorafgaand aan het ongeval?

Gegevens:

- De per splijting vrijkomende energie is 205 MeV; hierbij is de energie ten gevolge van het verval van de splijtingsfragmenten inbegrepen.
- $1 \text{ MeV} = 1.6025 \times 10^{-13} \text{ J}$
- Bij 2.8 % van de splijtingen ontstaat  $^{131}\text{I}$  als splijtingsfragment.
- De reactor heeft een constant vermogen geleverd gedurende een periode die lang is vergeleken met de halfwaardetijd van  $^{131}\text{I}$ .
- De kans dat  $^{131}\text{I}$  in de reactor door invangst van een neutron omgezet wordt in een andere nuclide is verwaarloosbaar.
- Hint: Hoe verandert de hoeveelheid  $^{131}\text{I}$  in de reactor als deze gedurende een periode die veel langer is dan de halfwaardetijd van  $^{131}\text{I}$  een constant vermogen geleverd heeft?

Het ongeval is mede veroorzaakt door "vergiftiging" van de reactor met  $^{135}\text{Xe}$  na een sterke verlaging van het vermogen.

$^{135}\text{Xe}$  ( $T_{1/2} = 9$  uur) ontstaat door verval van  $^{135}\text{I}$  ( $T_{1/2} = 6.5$  uur), dat bij 6.3 % van alle splijtingen ontstaat.  $^{135}\text{Xe}$  heeft een grote werkzame doorsnede voor invangst van thermische neutronen, waarbij  $^{136}\text{Xe}$  ontstaat:  $\sigma = 2.66 \times 10^6$  barn ( $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$ ). De kans dat  $^{135}\text{I}$  in de reactor door invangst van een neutron omgezet wordt in een andere nuclide is verwaarloosbaar.

c. Welke fractie van de geproduceerde  $^{135}\text{Xe}$  werd via neutronvangst omgezet in  $^{136}\text{Xe}$  in de periode voorafgaand aan het ongeval.

Gegevens:

- De neutronflux in de reactor is  $2.76 \times 10^4$  neutronen  $\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Als je bij vraag b) geen antwoord gevonden hebt gebruik dan een neutronflux van  $10^{14}$  neutronen  $\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .
- De reactor heeft een constant vermogen geleverd gedurende een periode die lang is vergeleken met de halfwaarde tijden van  $^{135}\text{I}$  en  $^{135}\text{Xe}$ .

d. Wat is de verhouding tussen het aantal neutronen dat een splijting van  $^{235}\text{U}$  veroorzaakt en het aantal neutronen dat ingevangen wordt door het  $^{135}\text{Xe}$  in de reactor.

ZOZ voor vervolg van deze opgave

Gegevens:

- De werkzame doorsnede voor splijting van  $^{235}\text{U}$  door thermische neutronen is 579 barn.
  - Als je bij vraag b) geen antwoordt hebt gevonden gebruik dan een neutronflux van  $10^{14}$  neutronen  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  en bereken het aantal splijtingen per seconde op basis van  $2.76 \times 10^4$  neutronen  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{W}^{-1}$ .
  - Hint: Hoe verandert de hoeveelheid  $^{135}\text{Xe}$  in de reactor als deze gedurende een periode die veel langer is dan de halfwaardetijd van  $^{135}\text{Xe}$  een constant vermogen geleverd heeft?
- e. Wat gebeurt met de hoeveelheid  $^{135}\text{Xe}$  in de reactor als de reactor wordt uitgeschakeld. Verklaar je antwoord.