



/ rijksuniversiteit
 groningen

/ arbo, milieu en
 duurzaamheid

/ garp

Proefexamen

ToeziChthouder Stralingsbescherming VRS-C

examenduur: 10:00 - 13:00 uur

- **Dit examen omvat 13 genummerde pagina's. Controleer dit!**
- Schrijf uw oplossingen en antwoorden op de daartoe verstrekte uitwerkbladen. Ook alle niet gebruikte uitwerkbladen dient u in te leveren.
- Vermeld **alleen uw examenummer** op de uitwerkbladen (dus niet uw naam en adres).
- Het is geoorloofd boeken, persoonlijke aantekeningen en ander documentatiemateriaal te raadplegen voor het beantwoorden van de vragen.
- Met nadruk wordt erop gewezen dat u ook dient aan te geven via welke **berekeningsmethode** en/of volgens welke **beredenering** u tot de oplossing komt.
- Indien u een onderdeel van een vraagstuk niet kunt uitrekenen en het antwoord nodig is voor het oplossen van de rest van het vraagstuk, mag u uitgaan van een fictief antwoord.
- Niet alle gegevens noodzakelijkerwijs te worden gebruikt.
- In totaal kunt u 67 punten behalen bij het goed oplossen van de vraagstukken. De puntenverdeling over de vraagstukken is:
 - Vraagstuk 1: 17 punten
 - Vraagstuk 2: 17 punten
 - Vraagstuk 3: 17 punten
 - Vraagstuk 4: 16 punten
- U bent voor dit examen geslaagd als u tenminste 55% van het totaal aantal punten hebt behaald.

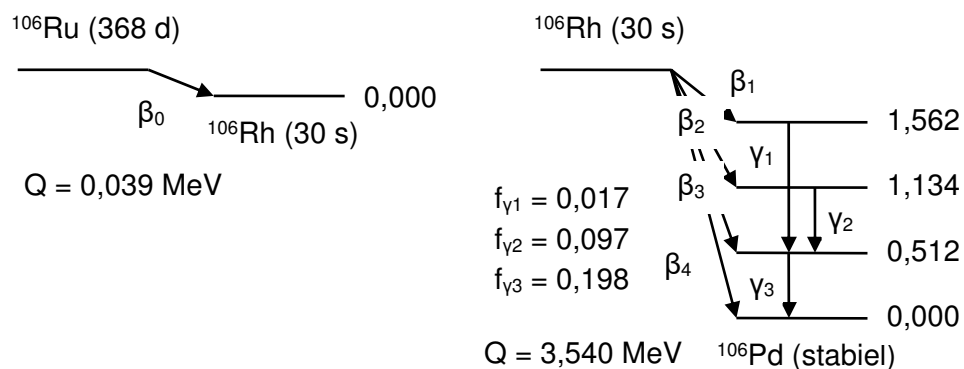
Vraagstuk 1: Lekttest van $^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$ -bron

De activiteit van een $^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$ -bron is opgedampt op een zeer dun folie. Bij de jaarlijkse lekttest wordt niet het folie zelf met tissue geveegd, maar de houder waarop het folie is bevestigd. De verantwoordelijk toezichthouder beschikt over een met xenon gevulde besmettingsmonitor met een groot oppervlak en een dun venster.

De activiteit op het tissue blijkt aanleiding te geven tot een netto teltempo van 35 telpulsen per seconde (tps). Bij deze meting wordt het tissue vlakbij het venster van de besmettingsmonitor gehouden.

Gegevens

- De vervalschema's van ^{106}Ru en de dochter ^{106}Rh (zie figuur 1).
- Er treedt geen interne conversie op.
- Het detectierendement ϵ is gedefinieerd als het aantal telpulsen per seconde (tps) gedeeld door de activiteit van de bron (in Bq).
- Het detectierendement voor β - en γ -straling is gegeven in tabel 1.
- Volgens de ANVS-verordening Basisveiligheidsnormen Stralingsbescherming moet de bron als "lek" worden beschouwd als de afgeveegde activiteit groter is dan 185 Bq. Wordt niet de bron zelf maar de houder geveegd, dan is het criterium 18,5 Bq.



Figuur 1. Vervalschema's van de radionucliden ^{106}Ru en ^{106}Rh . Energieën zijn gegeven in MeV.

Vraag 1 [6 punten]

Bepaal de maximale β -energieën en de γ -energieën van alle overgangen die in de bron optreden.

Vraag 2 [6 punten]

Bepaal het detectierendement voor ^{106}Ru in evenwicht met ^{106}Rh (in tps per Bq).

Vraag 3 [3 punten]

Bereken de afgewreven ^{106}Ru -activiteit.

Vraag 4 [2 punten]

Moet de bron als "lek" worden aangemerkt? Beargumenteer uw conclusie.

soort straling	energie (MeV)	rendement ϵ (tps per Bq)
β	< 0,1	0,0
β	> 0,5	0,2
γ	> 0,5	0,06

Tabel 1. Het detectierendement ϵ van de besmettingsmonitor voor β - en γ -straling in telpulsen per seconde (tps) per Bq activiteit.

Vraagstuk 2: Minimaal detecteerbare activiteit

Men beschikt over een puntvormige ^{137}Cs -bron en een GM-telbuis met een cirkelvormig eindvenster van aluminium. Het venster heeft een middellijn van 24 mm en een dikte van 50 μm . Het nuleffect van de telbuis bedraagt 45 telpulsen per minuut (tpm). De bron bevindt zich op de as van de GM-telbuis, op 30 cm van het venster.

Gegevens

- Het vervalschema van het radionuclide ^{137}Cs (zie figuur 2).
- De conversie-elektronen hebben een energie van ongeveer 0,63 MeV.
- In dit vraagstuk mag zelfabsorptie in de bron worden verwaarloosd.
- De soortelijke massa's van lucht en aluminium zijn $\rho_{\text{lucht}} = 1,2 \text{ mg/cm}^3$ respectievelijk $\rho_{\text{aluminium}} = 2,7 \text{ g/cm}^3$.
- De maximale dracht $R_{\beta, \text{max}}$ van β -deeltjes als functie van de eindpuntsenergie $E_{\beta, \text{max}}$ (zie figuur 3).
- Voor de halveringsdikte $d_{1/2}$ voor absorptie van β -straling geldt dat $d_{1/2} = R_{\beta, \text{max}} / 7$.
- Het intrinsieke detectorrendement voor β -straling is 100%.
- In dit vraagstuk mag het intrinsieke detectorrendement voor γ -straling verwaarloosd worden ten opzichte van dat voor β -straling.
- Het geometrisch rendement $f_{\text{geometrie}}$ is gedefinieerd als het aantal β -deeltjes dat het venster van de detector bereikt gedeeld door het aantal β -deeltjes dat in dezelfde tijd door de bron wordt uitgezonden.
- Het detectierendement is gedefinieerd als het aantal telpulsen per seconde (tps) gedeeld door de activiteit van de bron (in Bq).
- De minimaal detecteerbare activiteit is de activiteit die tot een significante verhoging van het teltempo leidt. Voor dit vraagstuk wordt die verhoging gesteld op een verdubbeling van de achtergrond; het bruto teltempo wordt dan tweemaal het nuleffect.

Vraag 1a [3 punten]

Bepaal de maximale dracht van de β -deeltjes en de conversie-elektronen.

Vraag 1b [4 punten]

Maak een schatting van de transmissie van lucht en telbuisvenster voor de β -deeltjes en de conversie-elektronen.

Vraag 2 [3 punten]

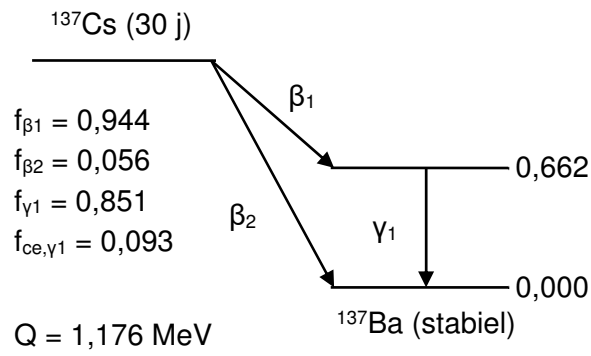
Bereken het geometrisch rendement van de meetopstelling.

Vraag 3 [4 punten]

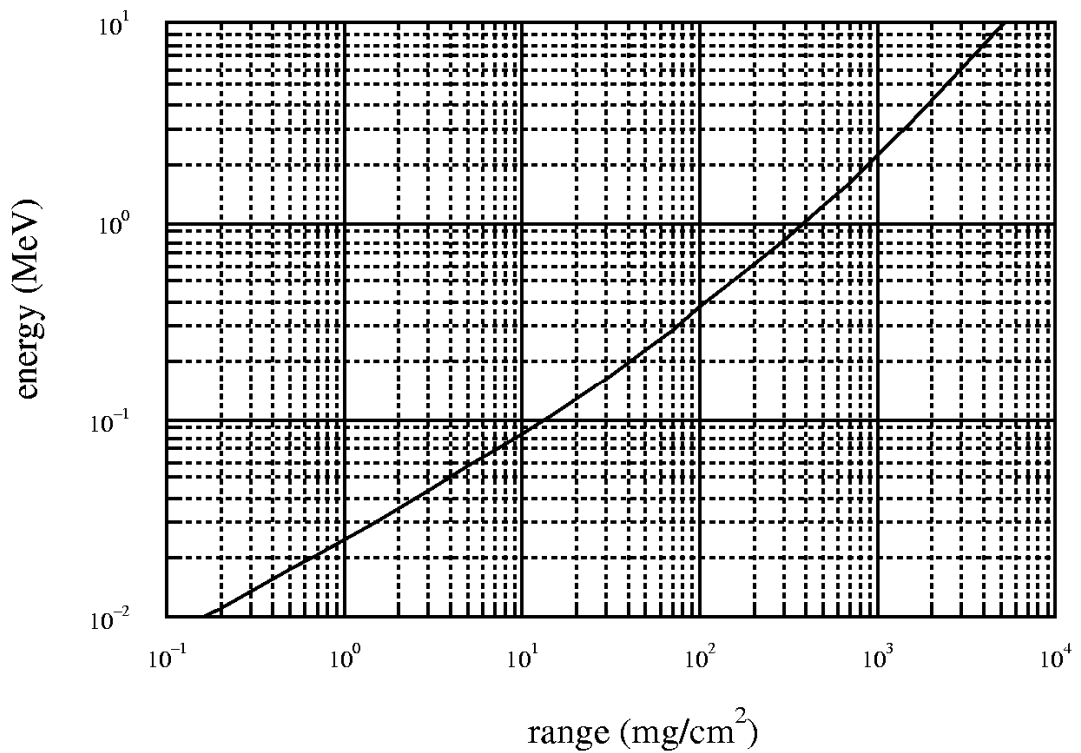
Bereken het detectierendement.

Vraag 4 [3 punten]

Bereken de minimaal detecteerbare ^{137}Cs -activiteit A_{min} .



Figuur 2. Vervalschema van het radionuclide ^{137}Cs . Energieën zijn gegeven in MeV.



Figuur 3. De maximale dracht $R_{\beta,\text{max}}$ van β -deeltjes als functie van de eindpuntsenergie $E_{\beta,\text{max}}$.

Vraagstuk 3: Afscherming van ^{177}Lu -oplossing

In een radionuclidenlaboratorium wordt een oplossing van ^{177}Lu -chloride met een activiteit van 150 GBq chemisch bewerkt om dit radionuclide geschikt te maken voor medische toepassingen. Na deze bewerkingen moet het glazen flesje met ^{177}Lu -oplossing gereed worden gemaakt voor transport naar een ziekenhuis.

Gegevens

- Stralingshygiënische gegevens van het radionuclide ^{177}Lu (zie figuren 4A en 4B).
- Halveringsdikte $d_{1/2}$ als functie van de fotonenenergie voor diverse materialen (zie figuur 5).
- De p-, q- en r-parameters volgens de voormalige Richtlijn Radionuclidenlaboratoria (zie tabel 2).
- De eisen aan het omgevingsdosisequivalenttempo \dot{H}^* tijdens het vervoer zijn:
 1. minder dan 2 mSv/uur op het oppervlak van het pakket;
 2. minder dan 0,1 mSv/uur op 1 meter afstand van het oppervlak van het pakket.

Vraag 1 [4 punten]

Bepaal welke lokale ventilatievoorziening men tenminste moet gebruiken om met 150 GBq niet vluchtig ^{177}Lu -chloride in een B-laboratorium eenvoudige labeling-experimenten te mogen uitvoeren.

Het flesje met ^{177}Lu wordt onafgeschermd geplaatst in het midden van een transportverpakking van het type A, bestaande uit een kartonnen doos met buitenafmetingen van 40 cm × 40 cm × 40 cm.

Vraag 2 [4 punten]

Hoeveel bedraagt het omgevingsdosisequivalenttempo op het oppervlak van de doos en op 1 meter van dat oppervlak? Verwaarloos de verzwakking van fotonen door het glazen flesje, het karton en het aanwezige vulmateriaal.

Vraag 3 [4 punten]

Hoeveel moet de wanddikte van een loodpot waarin het glazen flesje wordt geplaatst tenminste bedragen om te voldoen aan de transporteisen? Kies voor de bepaling van $d_{1/2}$ zelf een fotonenergie van ^{177}Lu die vanuit het oogpunt van stralingsbescherming aan de veilige kant is en neem een dosisopbouwfactor $B = 2$. Het flesje mag als een puntbron worden beschouwd. Rond het berekende resultaat af op een hele mm.

Vraag 4 [5 punten]

Men heeft alleen een loodpot met een wanddikte van 2,5 mm. Neem een dosis-opbouwfactor $B = 1,5$. Hoelang moet men wachten voordat het ^{177}Lu in de hiervoor genoemde verpakking over de openbare weg mag worden vervoerd?

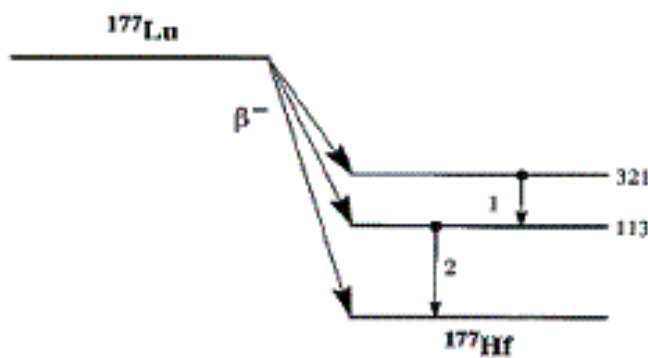
^{177}Lu $Z = 71$

Halveringstijd en vervalconstante

$$T_{1/2} = 6,71 \text{ d} = 5,80 \times 10^5 \text{ s}$$

$$\lambda = 1,20 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
β^-	0,122	47
β^-	0,091	111
β^-	0,786	149
γ_1	0,110	208
γ_2	0,064	113
K_{α}	0,047	55

Bronconstanten

Kermatempo in lucht
 Omgevingsdosistempo

$$k = 0,0043 \text{ } \mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$h = 0,0063 \text{ } \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$$

Diversen

Specifieke activiteit
 Radiotoxiciteit
 Vrijstellingsgrenzen
 Huidbesmetting
 Wondbesmetting
 Vervoer

$$A_{sp} = 4,07 \times 10^{18} \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$$

Gemiddeld (3)
 $10^5 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ en 10^7 Bq
 $H_{\text{huid}} = 4 \times 10^{-10} \text{ Sv}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{cm}^2$
 $e(50) = 5,0 \times 10^{-10} \text{ Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$
 $A_1 = 30 \text{ TBq}$
 $A_2 = 0,9 \text{ TBq}$

Figuur 4A. Stralingshygiënische gegevens van het radionuclide ^{177}Lu .

N = 106 **¹⁷⁷Lu**

Productie en toepassingen

Het radionuclide ¹⁷⁷Lu is een activeringsprodukt.

Inwendige besmetting

Metabolisch model.

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat lutetium zich vanuit het bloed als volgt verdeelt: 60% naar bot, 2% naar lever, 0,5% naar nieren en de rest wordt rechtstreeks uitgescheiden.

De biologische halveringstijd voor alle organen/weefsels wordt gesteld op 3500 dagen, met uitzondering van de nieren (10 dagen).

Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie

Alle verbindingen $f_1 = 5 \times 10^{-4}$

Inhalatie

Hydroxide, oxide, fluoride $f_1 = 5 \times 10^{-4}$ Klasse S
Overige verbindingen $f_1 = 5 \times 10^{-4}$ Klasse M

Dosisconversiecoëfficiënten na inwendige besmetting

	Ingestie $f_1 = 5 \times 10^{-4}$	Inhalatie M	Inhalatie S
$e(50)$ (Sv/Bq)	$5,3 \times 10^{-10}$	$1,0 \times 10^{-9}$	$1,1 \times 10^{-9}$
RE (Bq)	2×10^9		9×10^8

Gegevens voor totale-lichaamstelling

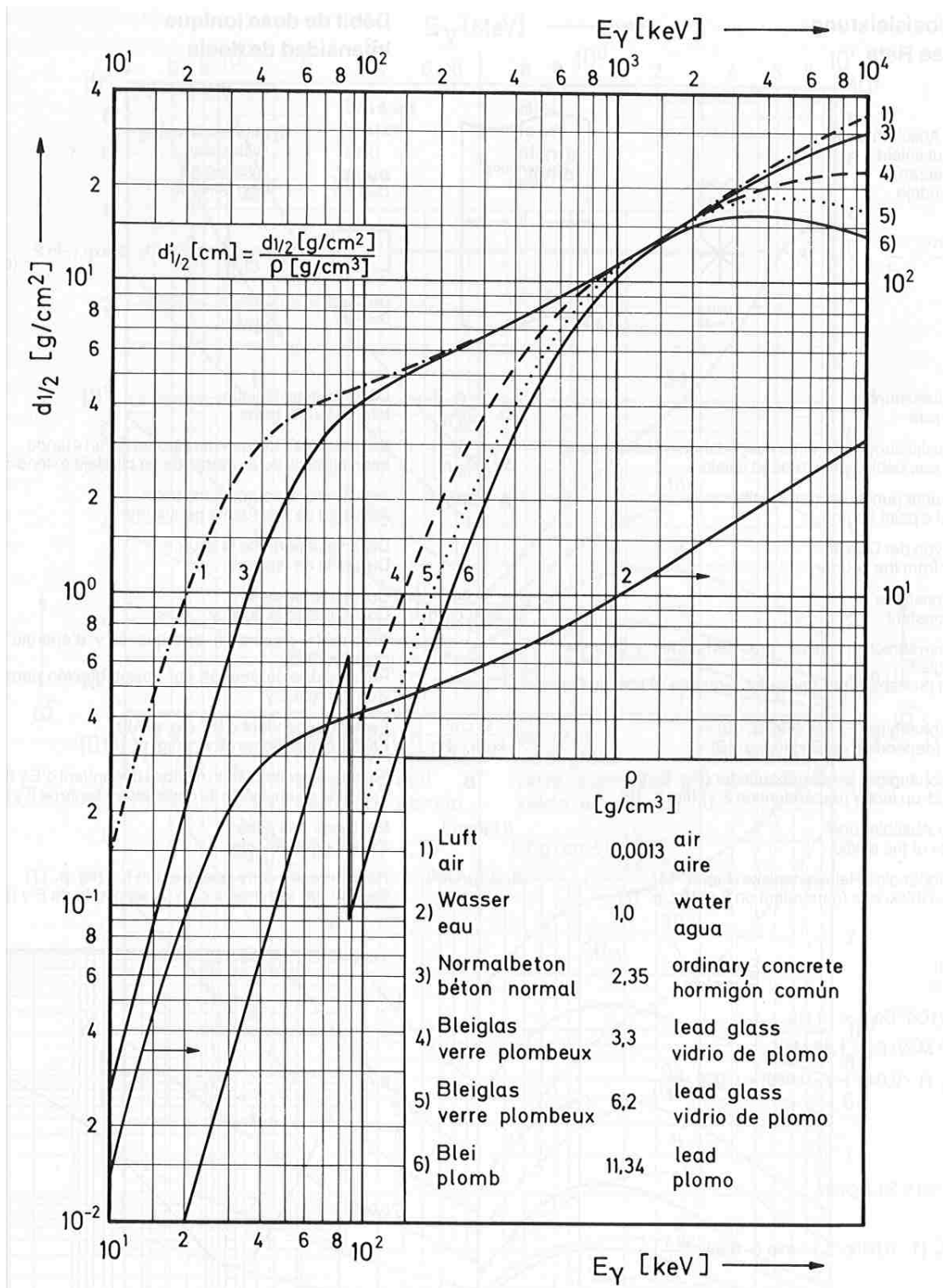
Eenmalige inname

Tijd (d)	Lichaamsactiviteit (Bq per Bq inname)		
0,25	$9,6 \times 10^{-1}$	$7,1 \times 10^{-1}$	$7,3 \times 10^{-1}$
1	$6,5 \times 10^{-1}$	$4,4 \times 10^{-1}$	$4,5 \times 10^{-1}$
2	$2,7 \times 10^{-1}$	$2,0 \times 10^{-1}$	$2,0 \times 10^{-1}$
3	$9,7 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-1}$	$1,0 \times 10^{-1}$
5	$1,1 \times 10^{-2}$	$4,4 \times 10^{-2}$	$4,3 \times 10^{-2}$
7	$1,3 \times 10^{-3}$	$2,5 \times 10^{-2}$	$2,9 \times 10^{-2}$

Continue inname

	Ingestie	Inhalatie M	Inhalatie S
Bq(Bq·d ⁻¹)	1,3	1,3	1,2
Sv·j ⁻¹ ·Bq ⁻¹	$1,5 \times 10^{-7}$	$3,1 \times 10^{-7}$	$3,7 \times 10^{-7}$

Figuur 4B. Stralingshygiënische gegevens van het radionuclide ¹⁷⁷Lu.



Figuur 5. Halveringsdikte als functie van de fotonenergie voor diverse materialen.
 De rechter schaal heeft alleen betrekking op water.

p	vorm van de stof en/of aard van de werkzaamheid
-4	werken met gas / poeder in open systeem verhitten van vloeistof tegen kookpunt sterk spattende bewerking
-3	werken met vluchtig nuclide (³ H in dampvorm, jodium) werken met poeder in gesloten systeem koken in gesloten systeem schudden, vortexen, centrifugeren opslag van edelgas in gesloten systeem
-2	eenvoudige chemische bewerking (RIA) labeling met niet vluchtig nuclide
-1	kortdurend zeer eenvoudig nat werk: pipetteren van niet vluchtig nuclide bewerking in gesloten systeem: elueren van technetiumgenerator optrekken van spuit labeling in gesloten systeem meten aan gesloten ampul opslag van radioactief afval in werkruimte
q	laboratorium
0	werkruimte buiten laboratoriumbeheer
1	D-laboratorium
2	C-laboratorium
3	B-laboratorium
r	lokale ventilatie
0	tafel zonder lokale afzuiging
1	tafel met lokale afzuiging zuurkast niet volgens norm NEN-EN 14175
2	zuurkast volgens norm NEN-EN 14175 laminaire air-flow isolator (klasse 2)
3	gesloten laminaire air-flow isolator (klasse 3) handschoenenkast

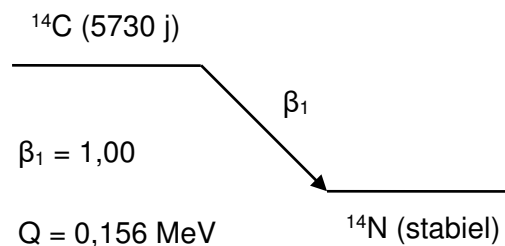
Tabel 2. Parameters p, q en r volgens de richtlijn radionuclidenlaboratoria.

Vraagstuk 4: Stralingsbelasting door ^{14}C

In de buitenste lagen van de atmosfeer wordt ^{14}C gevormd. Koolstof wordt in de atmosfeer geoxideerd tot $^{14}\text{CO}_2$ hetgeen vervolgens door de planten wordt opgenomen. Zolang planten in leven zijn, is er evenwicht tussen de ^{14}C -concentraties in CO_2 en in de plant. Via de voedselketen komt ^{14}C vervolgens ook in de mens terecht en draagt zodoende bij tot de jaarlijks stralingsbelasting.

Gegevens

- Het vervalschema van het radionuclide ^{14}C (zie figuur 6).
- De referentiemens bevat 3500 Bq ^{14}C .
- De massa van de referentiemens is 70 kg.
- De omrekeningsfactor $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$.



Figuur 6. Vervalschema van het radionuclide ^{14}C . Energieën zijn gegeven in MeV.

Vraag 1 [4 punten]

Bereken het aantal desintegraties per jaar ten gevolge van de ^{14}C -activiteit in het lichaam.

Vraag 2 [4 punten]

Bereken de energie die jaarlijks in het lichaam wordt gedeponeerd als gevolg van het verval van ^{14}C . Druk het resultaat uit in joule.

Vraag 3 [4 punten]

Bereken de effectieve jaardosis ten gevolge van de ^{14}C -activiteit in het lichaam.

Volgens gegevens ontleend aan de literatuur bedraagt de effectieve dosis 3,5 nSv per jaar bij een constante besmetting van het lichaam van 1 Bq.

Vraag 4 [4 punten]

Bereken nogmaals de effectieve jaardosis ten gevolge van de ^{14}C -activiteit in het lichaam, maar dit maal met gebruikmaking van bovenstaand gegeven.