

**Nascholingsmiddag
Stralingsbescherming voor
coördinerend
stralingsbeschermingsdeskundigen**

28 november 2024

Vraagstukken

In dit document treft u twee vraagstukken aan die overgenomen zijn uit (vraagstuk 1) of gebaseerd zijn op (vraagstuk 2) het examen voor coördinerend stralingsbeschermingsdeskundigen van 13 mei 2024 aan. In het eerste vraagstuk staat de herziening van een RI&E van een afdeling interventiecardiologie centraal. Het tweede vraagstuk gaat over aspecten van een ^{55}Fe kalibratiebron.

U kunt ter voorbereiding op het maken van de vraagstukken eerst de onderdelen uit de hoofdstukken 3, 5, 11 en 14 uit het boek 'Stralingshygiëne voor stralingsbeschermingsdeskundigen' lezen die als cursusmateriaal zijn bijgevoegd.

Vraagstuk 1: Interventiecardiologie [15 punten]

Op een afdeling Cardiologie vinden behandelingen plaats waarbij gebruik wordt gemaakt van röntgendoorlichting. In het kader van een herziening van de risico-inventarisatie en –evaluatie (RI&E) maakt u een schatting van de effectieve dosis voor de cardioloog.

Gegevens

- De afstand van het focus van de röntgenbuis tot de huid van de patiënt – het intreepunt – bedraagt 65 cm
- Het röntgenveld heeft een afmeting van 22 cm × 22 cm op een afstand van 1 meter van het focus
- De gemiddelde doorlichtingstijd per behandeling bedraagt 10 minuten
- De buisspanning tijdens de behandeling bedraagt 100 kV
- De buisstroom bedraagt 1 mA
- Tijdens de behandeling bevindt de cardioloog zich op een afstand van 0,8 m van het röntgenveld op de patiënt
- De conversiefactor tussen K_{lucht} en D_{weefsel} is 1 [Gy]/[Gy]
- Als er geen loodschoort zou worden gedragen veroorzaakt de verstrooide straling een homogene geabsorbeerde dosis bij de cardioloog. De geabsorbeerde dosis is dus hetzelfde in elk orgaan, inclusief de ooglenzen
- **Bijlage:** Transmissiecurve van brede bundels röntgenstraling door lood voor de gebruikte röntgenbuis (ICRP-33)

Vraag 1.1 [3 punten]

Bereken de luchtkerma vrij-in-lucht op de plaats van het intreepunt, dus op 65 cm afstand van het focus, ten gevolge van één behandeling.

Een vuistregel in de röntgendiagnostiek voor een schatting van de luchtkerma veroorzaakt door verstrooide straling luidt:

$$K_s = 0,1 \cdot \frac{K_p \cdot A}{r^2}$$

waarbij:

- K_s = luchtkerma vrij-in-lucht ten gevolge van verstrooide straling op afstand r van het verstrooiende oppervlak (s komt van *strooistraling*)
- K_p = luchtkerma vrij-in-lucht ten gevolge van de primaire bundel ter plaatse van het verstrooiende oppervlak
- A = oppervlak röntgenveld (m^2) ter plaatse van de patiënt
- r = afstand (m) van de cardioloog tot het centrum van het röntgenveld op de patiënt.

U mag ervan uitgaan dat deze vuistregel voor de blootstelling van de cardioloog mag worden toegepast.

Vraag 1.2 [3 punten]

Bereken de gemiddelde geabsorbeerde entreedosis (op een diepte groot genoeg voor geladen-deeltjesevenwicht) voor de cardioloog voor één behandeling, zonder rekening te houden met persoonlijke beschermingsmiddelen.

Tijdens de behandeling draagt de cardioloog een loodschort. De dikte van het loodschort is 0,35 mm loodequivalent. Andere mogelijke beschermingsmaatregelen zijn niet genomen.

Vraag 1.3 [3 punten]

Bereken de transmissie van de verstrooide straling door het loodschort. Neem aan dat voor de verstrooide straling de transmissiecurve voor de bijbehorende primaire straling uit de bijlage mag worden gebruikt.

Aanvullende gegevens

U mag uitgaan van de volgende veronderstellingen:

- Als er een loodschort wordt gedragen worden alleen de volgende organen *niet* door het loodschort afgeschermd: ooglenzen, schildklier, speekselklieren en hersenen
- Voor de berekening van de effectieve dosis mag u voor de niet-afgeschermden organen uitgaan van de afschermende werking van het loodschort zoals dat bij vraag 3 is berekend.
- De weefselweegfactoren voor de schildklier, speekselklieren en hersenen bedragen respectievelijk 0,04, 0,01 en 0,01 (ICRP-103)

Vraag 1.4 [3 punten]

Bereken de effectieve dosis voor de cardioloog ten gevolge van één behandeling.

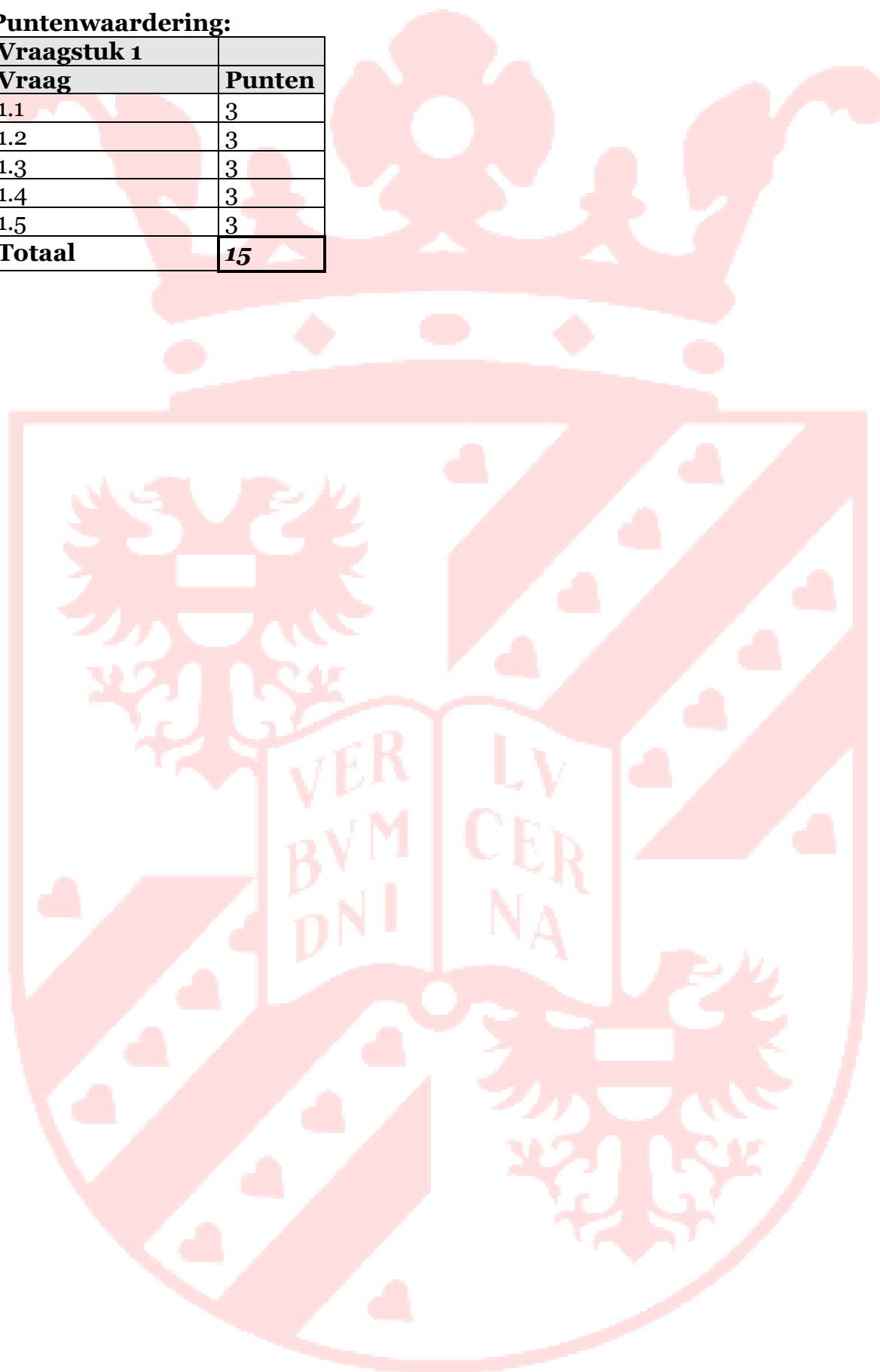
De cardioloog is ingedeeld als blootgestelde werknemer categorie A en voert geen andere behandelingen uit dan in dit vraagstuk beschreven. Uit de RI&E blijkt dat de bijdrage ten gevolge van voorziene onbedoelde gebeurtenissen aan de jaarlijkse dosis van de cardioloog een waarde heeft van 1,5 mSv.

Vraag 1.5 [3 punten]

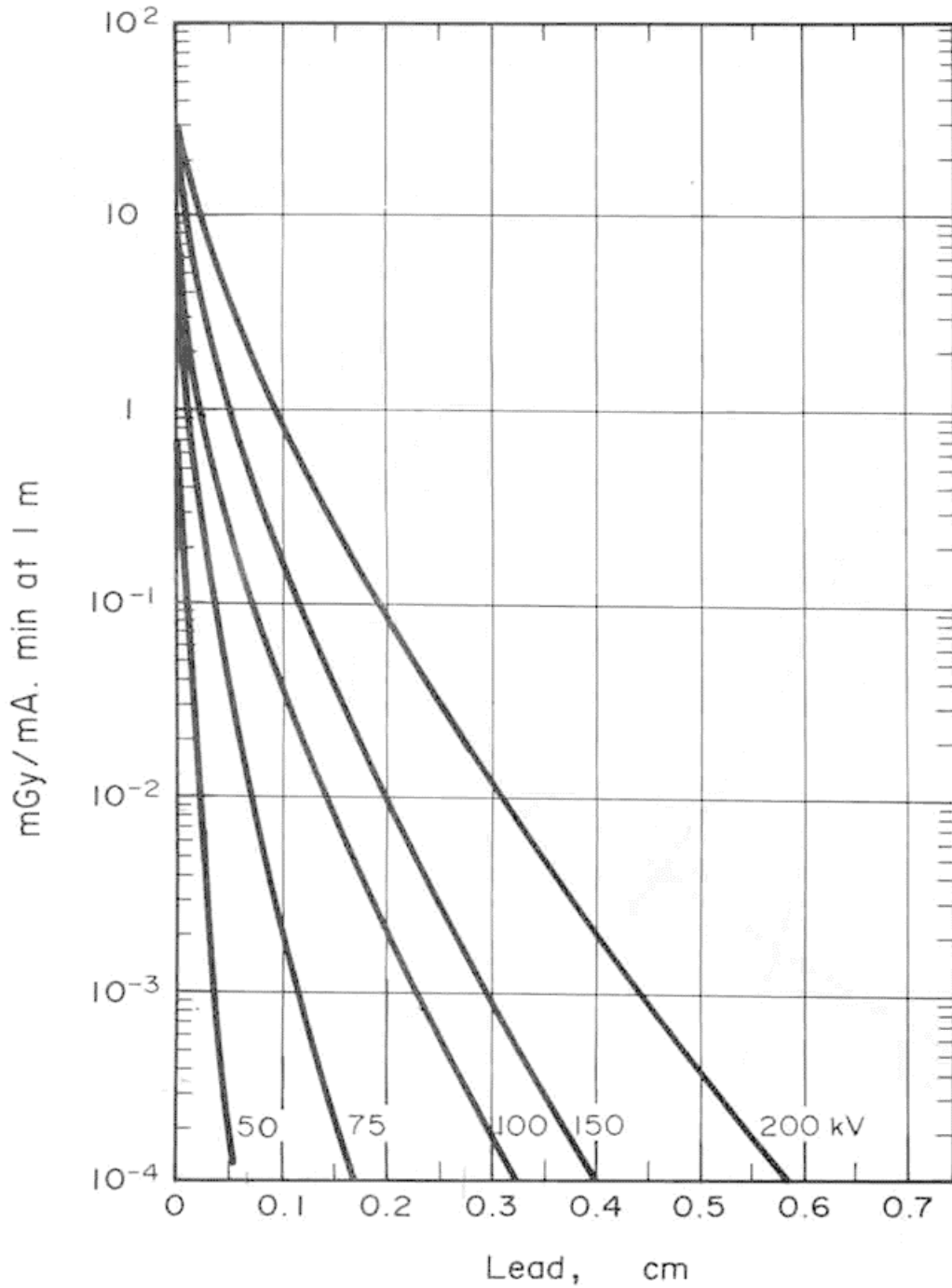
Hoeveel behandelingen mag de cardioloog jaarlijks uitvoeren? Houd in uw beantwoording rekening met de grenswaarden voor zowel de effectieve dosis als de equivalente ooglensdosis.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 1	
Vraag	Punten
1.1	3
1.2	3
1.3	3
1.4	3
1.5	3
Totaal	15



Bijlage: Transmissie van brede bundels röntgenstraling door lood voor de gebruikte röntgenbuis



Vraagstuk 2: Een ijzer-55 kalibratiebron [aangepast, 15 punten]

Een instituut voor ruimteonderzoek heeft een ^{55}Fe -kalibratiebron aangeschaft. De stralingsbeschermingsdeskundige heeft de bron bij een buitenlandse leverancier besteld. Zodra het collo met de bron in een loodpot bij het instituut arriveert, wordt de bron geregistreerd.



Figuur 1 - ^{55}Fe -kalibratiebron naast euromuntstuk

Gegevens:

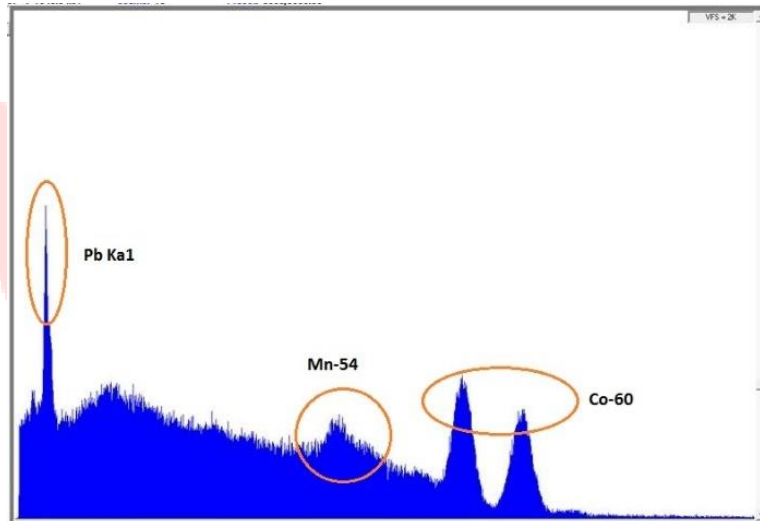
- De activiteit van de ^{55}Fe -bron bedraagt 200 MBq.
- De dikte van de wanden van de loodpot bedraagt 2 mm.
- **Bijlage:** ADR tabel 2.2.7.2.2.1
- **Bijlage:** Uitsnede nuclidenkaart
- **Bijlage:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 64, gegevens ^{59}Fe .

Na het uitpakken van de bron voert de stralingsbeschermingsdeskundige een meting uit met een dosistempomonitor boven de gesloten loodpot waarin zich de bron bevindt. Tot zijn verrassing geeft de detector een uitslag boven de achtergrondwaarde.

Vraag 2.1 [2 punten]

Wat verwacht de stralingsbeschermingsdeskundige te meten en waarom?

Om te achterhalen welke verontreiniging aanwezig is, gaat de stralingsbeschermingsdeskundige een spectrumanalyse doen. Hiervoor wordt de bron (in de loodpot) in een loodkasteel geplaatst met een NaI-detector. Na een uur meten wordt een spectrum (zie figuur 2) verkregen en analyseert de deskundige dit. Er worden twee andere isotopen geregistreerd, ^{54}Mn en ^{60}Co .



Figuur 2 – Spectrum ^{55}Fe -kalibratiebron

Met behulp van een MCA (MultiChannel Analyzer) en het instellen van een ROI (Region Of Interest) worden gegevens verzameld. Zie tabel 1 voor een overzicht van de meetresultaten.

	energie fotopiek (keV)	netto counts N in ROI (meetijd 1 uur)	absolute fout in N σ_N	totaal rendement NaI-detector (% cps/Bq)
^{54}Mn	835	4056	141	0,88
^{60}Co	1173	5358	91	0,46
^{60}Co	1333	4429	72	0,38

Tabel 1 – MCA meetresultaten ^{55}Fe -kalibratiebron en rendement NaI-detector

Vraag 2.2 [2 punten]

Verklaar het ontstaan van de $K_{\alpha 1}$ -piek van lood bij 74 keV.

Vraag 2.3 [3 punten]

Verklaar dat er ^{54}Mn en ^{60}Co kan ontstaan. Geef de bijbehorende reactievergelijkingen.

De stralingsbeschermingsdeskundige is verbaasd te zien dat er ^{54}Mn en ^{60}Co in de kalibratiebron aanwezig zijn en beklagt zich bij de leverancier. Deze mailt als antwoord dat het onvermijdelijk is dat enige onzuiverheid aanwezig is in deze kalibratiebron. Het betreft voor ^{60}Co hoogstens 0,0003% van de totale activiteit en voor ^{54}Mn is dat hoogstens 0,0001%.

Vraag 2.4 [2 punten]

Bereken de ^{54}Mn -activiteit in de bron en de onzekerheid hierin, voor het 68%-betrouwbaarheidsinterval.

Vraag 2.5 [3 punten]

Verifieer of de bewering van de leverancier juist is, rekening houdend met een 95%-betrouwbaarheidsinterval van de bij vraag 2.4 berekende activiteit.

In het vervolg van dit vraagstuk mag de aanwezigheid van ^{54}Mn en ^{60}Co in de bron worden verwaarloosd.

Op het collo waarmee de kalibratiebron is vervoerd, is een gevarenklasse 7 vervoerssticker geplakt 'etiket II-geel'. Hierop staat onder andere de transportindex vermeld.

Vraag 2.6 [3 punten]

Wat zal de transportindex zijn? Licht uw antwoord toe. Geef ook aan of het juiste etiket op het collo is geplakt.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 2	
Vraag	Punten
2.1	2
2.2	2
2.3	3
2.4	2
2.5	3
2.6	3
Totaal	15

Bijlage: ADR tabel 2.2.7.2.2.1

Radionuclide (atomic number)	A ₁ (TBq)	A ₂ (TBq)
Eu-149	2×10^1	2×10^1
Eu-150(short lived)	2×10^0	7×10^{-1}
Eu-150(long lived)	7×10^{-1}	7×10^{-1}
Eu-152	1×10^0	1×10^0
Eu-152m	8×10^{-1}	8×10^{-1}
Eu-154	9×10^{-1}	6×10^{-1}
Eu-155	2×10^1	3×10^0
Eu-156	7×10^{-1}	7×10^{-1}
Fluorine (9)		
F-18	1×10^0	6×10^{-1}
Iron (26)		
Fe-52 (a)	3×10^{-1}	3×10^{-1}
Fe-55	4×10^1	4×10^1
Fe-59	9×10^{-1}	9×10^{-1}
Fe-60 (a)	4×10^1	2×10^{-1}
Gallium (31)		
Ga-67	7×10^0	3×10^0
Ga-68	5×10^{-1}	5×10^{-1}
Ga-72	4×10^{-1}	4×10^{-1}
Gadolinium (64)		
Gd-146 (a)	5×10^{-1}	5×10^{-1}
Gd-148	2×10^1	2×10^{-3}

Bijlage: Uitsnede nuclidenkaart, rondom ⁵⁹Fe.

Zn 58 84 ms β ⁺ 203, 848 γ 1112	Zn 59 182.0 ms β ⁺ 8.1... γ 491, 914 βp 1.78, 2.09 1.82, 1.38...	Zn 60 2.38 m β ⁺ 2.5, 3.1... γ 670, 61, 273 334...	Zn 61 89.1 s β ⁺ 4.6... γ 475, 1660 970...	Zn 62 9.193 h β ⁺ 0.6... γ 597, 41, 548 508...	Zn 63 38.1 m β ⁺ 2.3... γ 670, 962 1412...	Zn 64 49.17 σ 0.74 σ _{n,α} 1.1E-5 σ _{n,p} < 1.2E-5	Zn 65 243.93 d ε, β ⁺ 0.3 γ 1115... σ 66, σ _{n,α} 2.0	Zn 66 27.73 σ 0.9 σ _{n,α} < 2E-5	Zn 67 4.04 σ 6.9 σ _{n,α} 0.0004
Cu 57 199 ms β ⁺ 7.7... γ 1112	Cu 58 3.20 s β ⁺ 7.5... γ 1454, 1448 40...	Cu 59 82 s β ⁺ 3.8... γ 1302, 878 339, 465...	Cu 60 23.7 m β ⁺ 2.9, 3.8... γ 1332, 1792 826...	Cu 61 3.339 h β ⁺ 1.2... γ 283, 656, 67 1185...	Cu 62 9.67 m β ⁺ 2.9... γ (1173...)	Cu 63 69.15 σ 4.5	Cu 64 12.7004 h ε (1346) β ⁻ 0.6, β ⁺ 0.7 σ 270	Cu 65 30.85 σ 2.17	Cu 66 5.1 m β ⁻ 2.6... γ 1039, (834...) σ 140
Ni 56 6.075 d no β ⁺ γ 158, 812, 750 480, 270...	Ni 57 36 h ε β ⁺ 0.8... γ 1378, 1920 127...	Ni 58 68.0769 σ 4.6 σ _{n,α} < 3E-5	Ni 59 7.5·10 ⁴ a ε, β ⁺ ..., no γ σ 77.7, σ _{n,α} 14 σ _{n,p} 2, σ _{abs} 92	Ni 60 26.2231 σ 2.9	Ni 61 1.1399 σ 2.5 σ _{n,α} 3E-5	Ni 62 3.6345 σ 15	Ni 63 100 a β ⁻ 0.07 no γ σ 20	Ni 64 0.9256 σ 1.6	Ni 65 2.52 h β ⁻ 2.1... γ 1482, 1115 366... σ 22
Co 55 17.54 h β ⁺ 1.5... γ 931, 477 1409...	Co 56 77.236 d ε, β ⁺ 1.5... γ 847, 1238 2598, 1771 1038...	Co 57 271.80 d ε γ 122, 136, 14... e ⁻	Co 58 9.10 h 70.86 d IT (25), e ⁻ 811... σ 140000 σ 1900	Co 59 100 σ 20.7 + 16.5	Co 60 10.467 m 5.2712 a β ⁻ 0.3 IT 59, e ⁻ 1.5... γ 1332 1173... σ 2.0	Co 61 1.649 h β ⁻ 1.3... γ 67, 918...	Co 62 13.86 m 1.54 m β ⁻ 3.0... γ 1173 1164 2302 2004... IT 7	Co 63 27.5 s β ⁻ 3.6... γ 87, 962...	Co 64 0.3 s β ⁻ 7.0... γ 1346, 931
Fe 54 5.845 ε no γ σ 2.3 σ _{n,α} 1E-5	Fe 55 2.73 a ε no γ σ 13 σ _{n,α} 0.01	Fe 56 91.754 σ 2.8	Fe 57 2.119 σ 1.4	Fe 58 0.282 σ 1.3	Fe 59 44.494 d β ⁻ 0.5, 1.6... γ 1099, 1292... σ < 10	Fe 60 2.62·10 ⁶ a β ⁻ 0.2 m	Fe 61 5.98 m β ⁻ 2.8, 4.0... γ 1205, 1027 298...	Fe 62 68 s β ⁻ 2.0 γ 506 g	Fe 63 6.1 s β ⁻ 6.7... γ 995, 1427 1299...
Mn 53 3.7·10 ⁶ a ε no γ σ 70	Mn 54 312.2 d ε γ 835 β ⁻ ..., β ⁺ ... σ < 10	Mn 55 100 σ 13.3	Mn 56 2.5789 h β ⁻ 2.9... γ 847, 1811 2113...	Mn 57 1.5 m β ⁻ 2.6... γ 14, 122, 692...	Mn 58 3.0 s 65.4 s β ⁻ 4.2... γ 811... 1953 1447 IT 72, e ⁻ 2433...	Mn 59 4.6 s β ⁻ 4.4, 4.8... γ 726, 473 571...	Mn 60 0.28 s 1.77 s β ⁻ 5.9 6.6... γ 824 1150 1969 IT 272 1532	Mn 61 0.709 s β ⁻ 6.5, 7.2... γ 629, 207... βn?	Mn 62 92 ms 671 ms β ⁻ 8.4... γ 877 1299 1139... βn?
Cr 52 83.789 ε no γ σ 70	Cr 53 9.501 ε no γ σ 18	Cr 54 2.365 σ 0.36	Cr 55 3.50 m β ⁻ 2.6 γ (1528...)	Cr 56 5.94 m β ⁻ 1.5 γ 83, 26	Cr 57 21.1 s β ⁻ 5.1... γ 83, 850, 1752 1535...	Cr 58 7.0 s β ⁻ 683, 126, 290 520... m	Cr 59 1.05 s β ⁻ 1238, 1900 112, 663...	Cr 60 0.49 s β ⁻ 6.5... γ 349, 410, 758 g, βn?	Cr 61 237 ms β ⁻ 1142, 1861 355, 2378...

Bijlage: Handboek Radionucliden, A.S Keveling Buisman (3^e druk 2015), blz. 64, gegevens ⁵⁹Fe.

Handboek Radionucliden, A.S Keveling Buisman (3^e druk 2015), blz. 64, gegevens ⁵⁵Fe

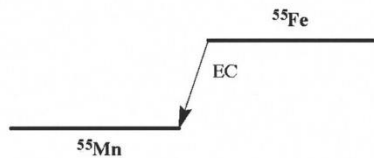
⁵⁵Fe Z = 26

Halveringstijd en vervalconstante

$T_{1/2} = 985,4 \text{ d} = 8,51 \times 10^7 \text{ s}$

$\lambda = 8,14 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	y (Bq·s) ⁻¹	E (keV)
K α	0,250	6
K β	0,033	6
KLL	0,495	5
KLX	0,112	6

Bronconstanten

Kermatempo in lucht	$k = 0,000 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,000 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 8,91 \times 10^{13} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^4 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^6 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 1 \times 10^{-12} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 3,0 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 40 \text{ TBq}$ $A_2 = 40 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Het radionuclide ⁵⁵Fe is een activeringsproduct dat ontstaat uit de reactie: ⁵⁴Fe(n, γ)⁵⁵Fe. Het nuclide zendt alleen karakteristieke röntgenstraling uit. Daarom is voor detectie een speciale detector ontwikkeld (zgn. Fe-55-detector). Het nuclide wordt gebruikt in een electroncapture-detector en bij röntgen-fluorescentie.