

**BIJLAGE bij Examen
Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van
coördinerend deskundige**

Nuclear Research and consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboudumc	RUMC

examendatum:
9 december 2024
examenduur: 13.30 - 16.30 uur

Instructie:

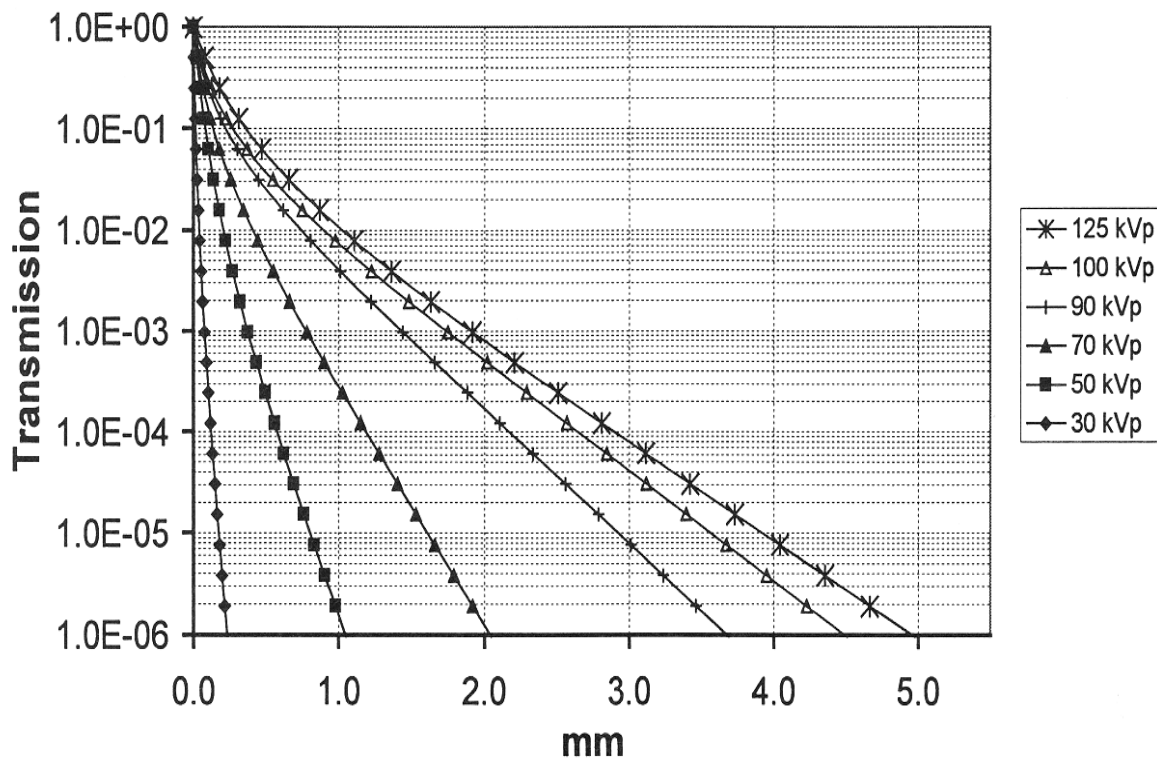
- ❑ Wanneer u andere gegevens gebruikt dan in deze bijlage zijn genoemd, vermeld dan de herkomst!
- ❑ Deze bijlage omvat 12 doorlopend genummerde pagina's. Controleer dit!

INHOUDSOPGAVE

Bladzijde

- 3 Transmissie van röntgenstraling door lood als functie van de looddikte
- 4 Verstrooiingspercentages van loodrecht op beton invallende röntgen- en gammastraling
- 5-6 Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 24 en 25, gegevens ¹⁴C
- 7-8 Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 94 en 95, gegevens ⁸¹Rb
- 9 Netto meetwaarden HVK-monitor
- 10 Besmettingsgraad per count per seconde voor diverse radionucliden, van toepassing op de AD-17
- 11 Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 214, gegevens ¹⁹²Ir
- 12 Relatieve respons van de AD-17

Transmissie van röntgenstraling door lood als functie van de looddikte



Transmissie van röntgenstraling door lood als functie van de looddikte (in mm).

Verstrooiingspercentages van loodrecht op beton invallende röntgen- en gammastraling

56

REPORT OF COMMITTEE 3

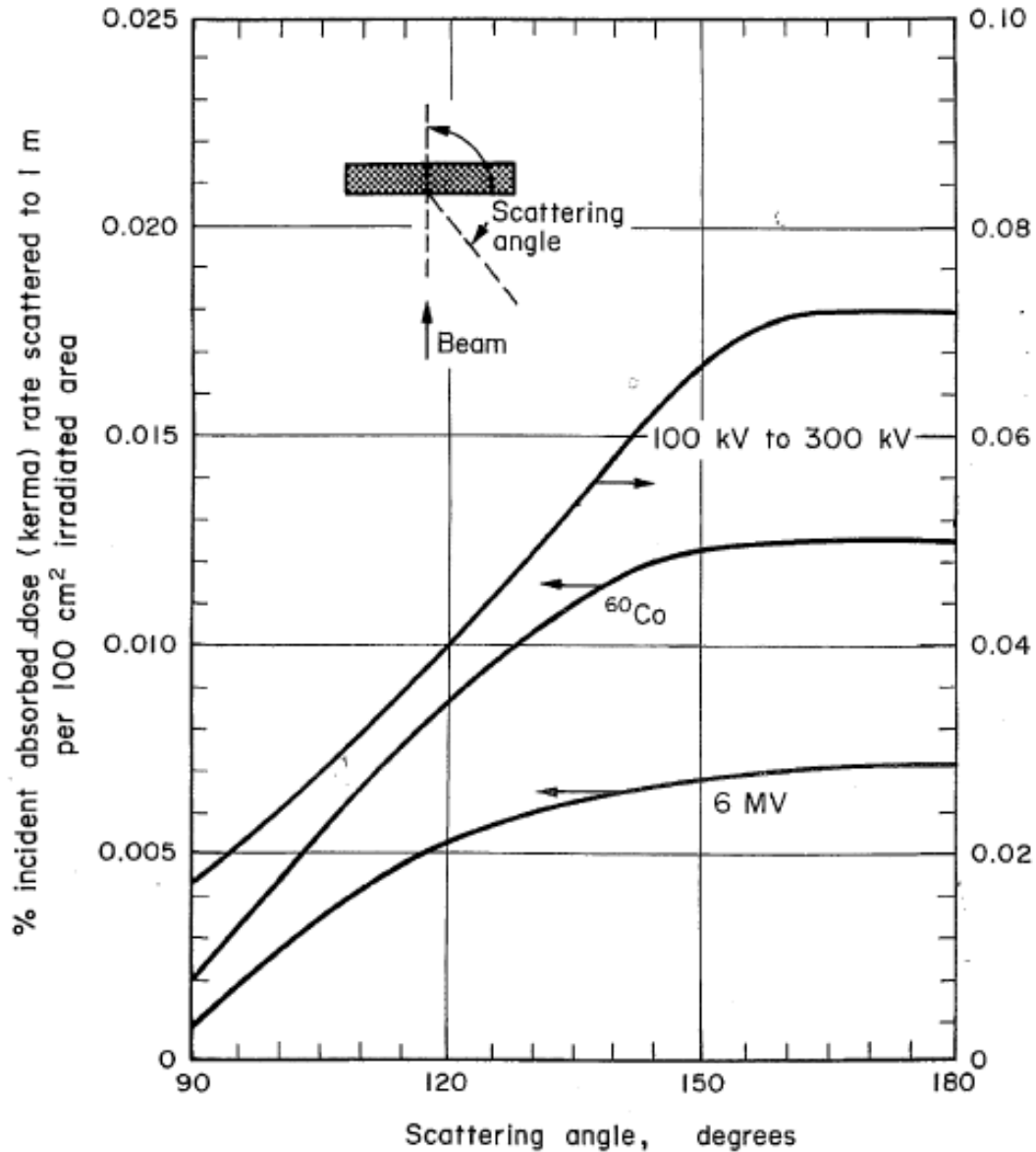


Fig. 22. Scattering patterns of diverging x-ray and gamma-ray beams normally incident on a concrete shield. Per cent scatter is related to primary beam measurements in free air at the point of incidence.

Verstrooiingspatronen van loodrecht op beton invallende röntgen- en gammastraling. Het verstrooiingspercentage is ten opzichte van de Kerma-vrij-in-lucht van de invallende bundel (bron: ICRP-33).

Deze figuur mag ook gebruikt worden voor verstrooiing door de patiënt.

Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 24 en 25, gegevens ¹⁴C

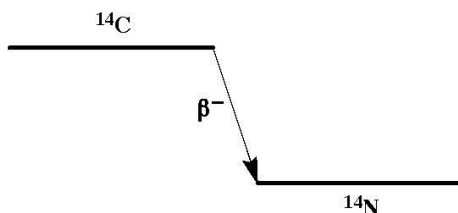
¹⁴CZ = 6

Halveringstijd en vervalconstante

$T_{1/2} = 5730 \text{ j} = 1,81 \times 10^{11} \text{ s}$

$\lambda = 3,83 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1}$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
β^-	1,000	49 156

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 1,65 \times 10^{11} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^8 \text{ Bq/g (CO)}$
	$= 10^7 \text{ Bq/g (CO}_2)$
	$= 10^4 \text{ Bq/g (overige)}$
	$A_v = 10^{11} \text{ Bq (CO, CO}_2)$
	$= 10^7 \text{ Bq (overige)}$
Huidbesmetting	$H_{huid} = 5 \times 10^{-11} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 5,8 \times 10^{-10} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 40 \text{ TBq}$
	$A_2 = 3 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Het radionuclide ¹⁴C wordt gevormd in de buitenste lagen van de atmosfeer, voornamelijk door de (exotherme) reactie ¹⁴N(n,p)¹⁴C. De concentratie van ¹⁴CO₂ in de biosfeer is hierdoor ongeveer 220 Bq/kg C. De stofwisseling van planten (CO₂ in en O₂ uit) maakt dat plantaardige stoffen dezelfde ¹⁴C-concentratie bevatten als in de atmosfeer. Na de dood van de plant neemt de ¹⁴C-concentratie af met de halveringstijd van 5730 jaar. Door meting van deze concentratie kan dus de ouderdom van plantaardige stoffen worden bepaald: de koolstofdateringsmethode. Door het verbranden van (zeer oude) fossiele brandstoffen neemt de ¹⁴C-concentratie de laatste jaren geleidelijk af. De mens bevat enig ¹⁴C: de referentiemens is opgebouwd uit 16 kg koolstof en bevat

N = 8 **¹⁴C**

zodoende 3500 Bq ¹⁴C. Door bovengrondse kernproeven is sinds 1945 ongeveer 0,2 EBq in de atmosfeer terechtgekomen. Het radionuclide wordt verder gebruikt als merker van biologische verbindingen en als zeer stabiele lichtbron.

Metabool model

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat koolstof zich na ingestie en inhalatie momentaan en homogeen over het lichaam verdeelt. Er gelden verschillende biologische halveringstijden zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie		Biologische $T_{1/2}$
Alle verbindingen	$f_1 = 1$	40 d
Inhalatie		
Organische aerosolen	M	40 d
Organische dampen	SR-2	40 d
CO	SR-1, 40% dep.	200 min
CO ₂	SR-2	5 d (18%), 60 d (81%), 40 d (1%)

**Dosisconversiecoëfficiënt en radiotoxiciteitsequivalent
zowel voor werknemers als voor leden van de bevolking**

	Ingestie	Inhalatie	Inhalatie	Inhalatie	Inhalatie	
	$f_1 = 1$	M	Damp	CO	CO ₂	
$e(50)$	$5,8 \times 10^{-10}$	$2,0 \times 10^{-9}$	$5,8 \times 10^{-10}$	$8,0 \times 10^{-13}$	$6,2 \times 10^{-12}$	Sv/Bq
A_{Re}	$1,7 \times 10^9$	$5,0 \times 10^8$	$1,7 \times 10^9$	$1,3 \times 10^{12}$	$1,6 \times 10^{11}$	Bq

Gegevens voor urine-analyse

Na eenmalige inname

Tijd (d)	Urine-uitscheidingstempo (Bq/d per Bq inname) met $F_u = 0,017$				
1	$1,2 \times 10^{-4}$	$9,3 \times 10^{-6}$	$1,2 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$3,7 \times 10^{-4}$
2	$2,7 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-5}$	$2,7 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-4}$	$3,2 \times 10^{-4}$
3	$2,8 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-5}$	$2,8 \times 10^{-4}$	$3,5 \times 10^{-7}$	$2,9 \times 10^{-4}$
5	$2,7 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-5}$	$2,7 \times 10^{-4}$	–	$2,0 \times 10^{-4}$
7	$2,6 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-4}$	–	$1,5 \times 10^{-4}$

Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 94 en 95, gegevens ⁸¹Rb

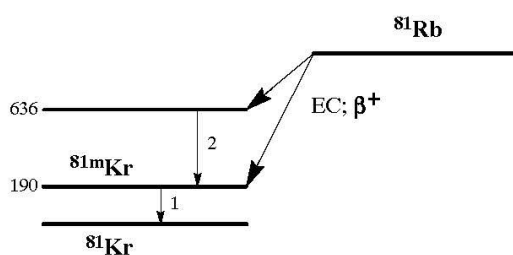
⁸¹Rb
Z = 37

Halveringstijd en vervalconstante

$T_{1/2} = 4,58 \text{ h} = 1,65 \times 10^4 \text{ s}$

$\lambda = 4,20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

Vervalschema (vereenvoudigd, inclusief dochter ^{81m}Kr)



Belangrijkste uitgezonden straling (inclusief ^{81m}Kr, $T_{1/2} = 13 \text{ s}$)

Straling	y (Bq·s) ⁻¹	E (keV)
β^+_{1}	0,283	457 1050
β^+_{2}	0,020	263 603
γ^{\pm}	0,607	511
γ_1	0,650	190
ce K γ_1	0,262	176
γ_2	0,228	446
K α	0,484	13
KLL	0,224	11
LMX	1,830	2

Bronconstanten

Kermatempo in lucht	$k = 0,15 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,11 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 3,13 \times 10^{17} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^1 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^6 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 3 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 2,4 \times 10^{-11} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 2 \text{ TBq}$
	$A_2 = 0,8 \text{ TBq}$

N = 44

⁸¹Rb

Productie en toepassingen

Het radionuclide ⁸¹Rb wordt geproduceerd met behulp van een cyclotron. Omdat ⁸¹Rb onder meer vervalt naar ^{81m}Kr wordt het gebruikt in een krypton-generator. Het vrijkomende krypton wordt toegepast bij longventilatiestudies.

Metabool model

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat rubidium zich vanuit het bloed als volgt verdeelt: 25% naar het skelet en 75% naar alle overige organen. De biologische halveringstijd voor alle organen is gesteld op 44 dagen.

Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie			
Alle verbindingen	$f_1 = 1$		
Inhalatie			
Alle verbindingen	$f_1 = 1$		Klasse F

Dosisconversiecoëfficiënt en radiotoxiciteitsequivalent voor werknemers (w) en voor leden van de bevolking (b)

	Ingestie	Inhalatie	
	$f_1 = 1$	F	
$e(50)(w)$	$5,4 \times 10^{-11}$	$6,8 \times 10^{-11}$	Sv/Bq
$A_{Re}(w)$	$1,9 \times 10^{10}$	$1,5 \times 10^{10}$	Bq
$e(50)(b)$	$5,4 \times 10^{-11}$	$3,7 \times 10^{-11}$	Sv/Bq
$A_{Re}(b)$	$1,9 \times 10^{10}$	$2,7 \times 10^{10}$	Bq

Gegevens voor totale-lichaamstelling

Na eenmalige inname		
Tijd (d)	Lichaamsactiviteit (Bq per Bq inname)	
0,25	$4,0 \times 10^{-1}$	$3,0 \times 10^{-1}$
1	$2,3 \times 10^{-2}$	$1,6 \times 10^{-2}$
2	$6,8 \times 10^{-4}$	$3,6 \times 10^{-4}$
3	$1,8 \times 10^{-5}$	$8,9 \times 10^{-6}$
5	$1,2 \times 10^{-8}$	$5,9 \times 10^{-9}$
7	$8,2 \times 10^{-12}$	$4,0 \times 10^{-12}$

Netto meetwaarden HVK-monitor

datum	tijd	HRL (cps)	HPL (cps)	HRR (cps)	HPR (cps)
30 Nov	11:58	1223	2860	15612	42069
Na handen wassen	12:00	25	59	322	868
	12:53	5	23	242	753
	14:11	7	19	165	610
	16:30	7	16	162	420
1 Dec	8:43	3	3	22	30
	10:49	0	0	10	18

Netto meetwaarden Hand-Voet-Kleding monitor

Besmettingsgraad per count per seconde voor diverse radionucliden, van toepassing op de AD-17

		Maximale energie (keV)	Maximale energie (keV)	Energie (keV)	Bq/cm ² per cps
		β^-	β^+	γ	
H-3		19			-
C-14		156			2,49
F-18			634	511	0,81
P-32		1710			0,38
Cl-36		710			0,79
K-40		1312		1461	0,53
Co-60		318		1172 1333	1,56
Ni-63		66			5,28
Cs-137 / Ba-137m		512 1173		662	0,94

Besmettingsgraad per door de AD-17 geregistreerde count per seconde voor diverse radionucliden in Bq/cm² per cps. Bron: Handreiking Stralingsincidenten veiligheidsregio's van het Instituut Fysieke Veiligheid

Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015), blz. 214, gegevens ¹⁹²Ir

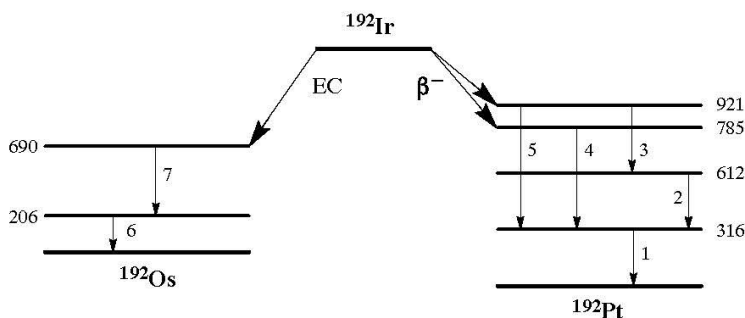
¹⁹²Ir **Z = 77**

Halveringstijd en vervalconstante

$T_{1/2} = 73,83 \text{ d} = 6,38 \times 10^6 \text{ s}$

$\lambda = 1,09 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	y (Bq·s) ⁻¹	E (keV)	Straling	y (Bq·s) ⁻¹	E (keV)
β^-	0,415	161 536	γ_4	0,478	468
β^-	0,481	209 672	γ_5	0,082	604
γ_1	0,828	316	γ_6	0,033	206
γ_2	0,290	296	γ_7	0,032	485
γ_3	0,297	308			

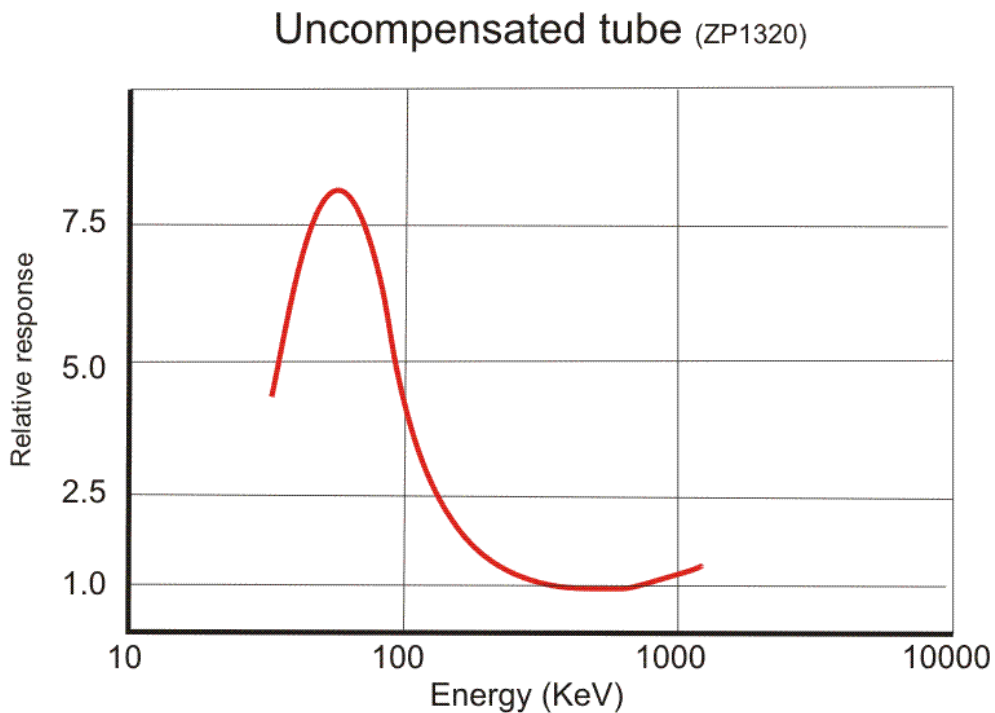
Bronconstanten

Kermatempo in lucht	$k = 0,11 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,14 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 3,41 \times 10^{14} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^1 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^4 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 5 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 7,0 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 1 \text{ TBq}$ $A_2 = 0,6 \text{ TBq}$

Relatieve respons van de AD-17



Relatieve respons van de AD-17 als functie van de fotonenergie