

4M-cursus

Ioniserende Straling

Fysische Achtergronden

Frits de Mul .
Klinische Fysica

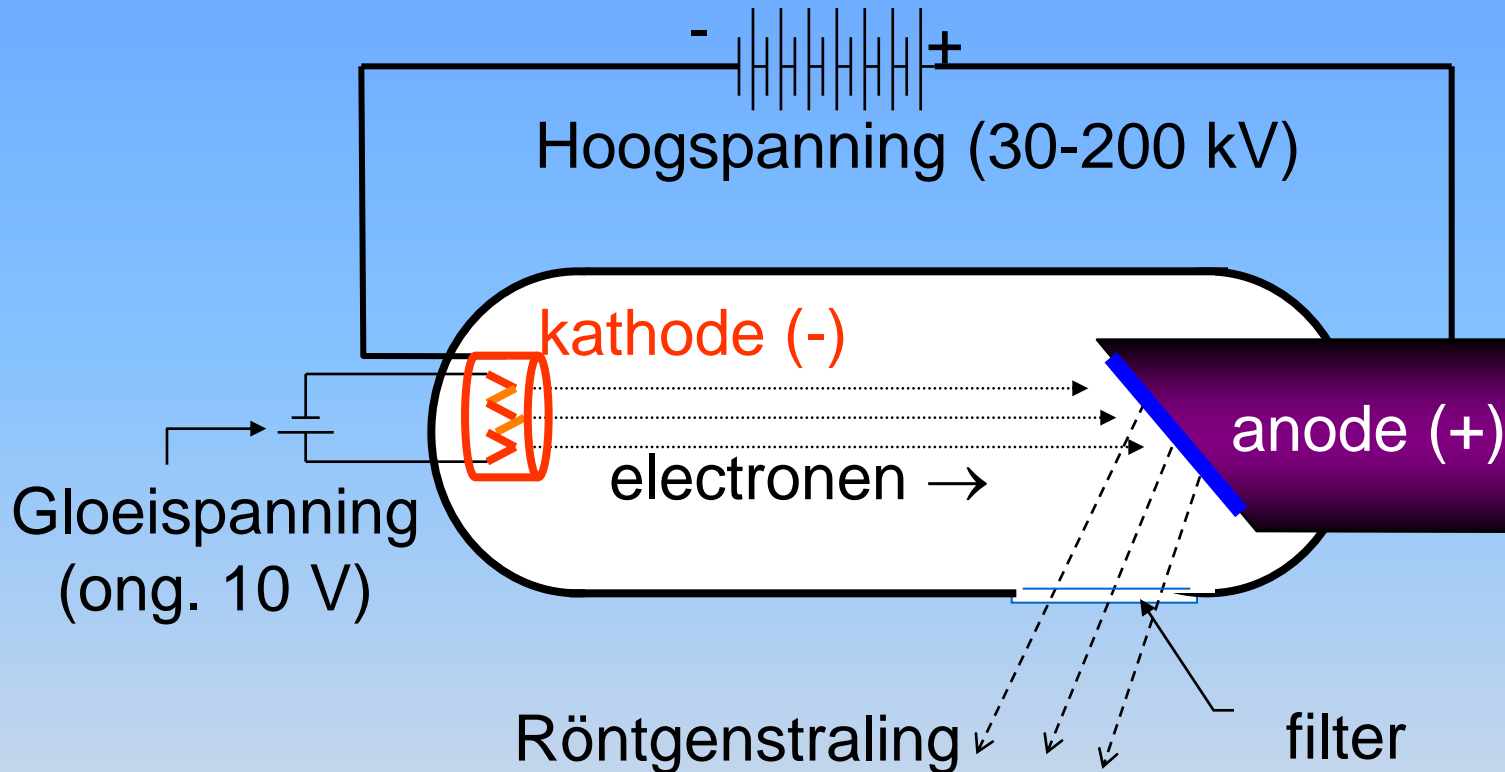
4M-cursus

Ioniserende Straling

Inhoud

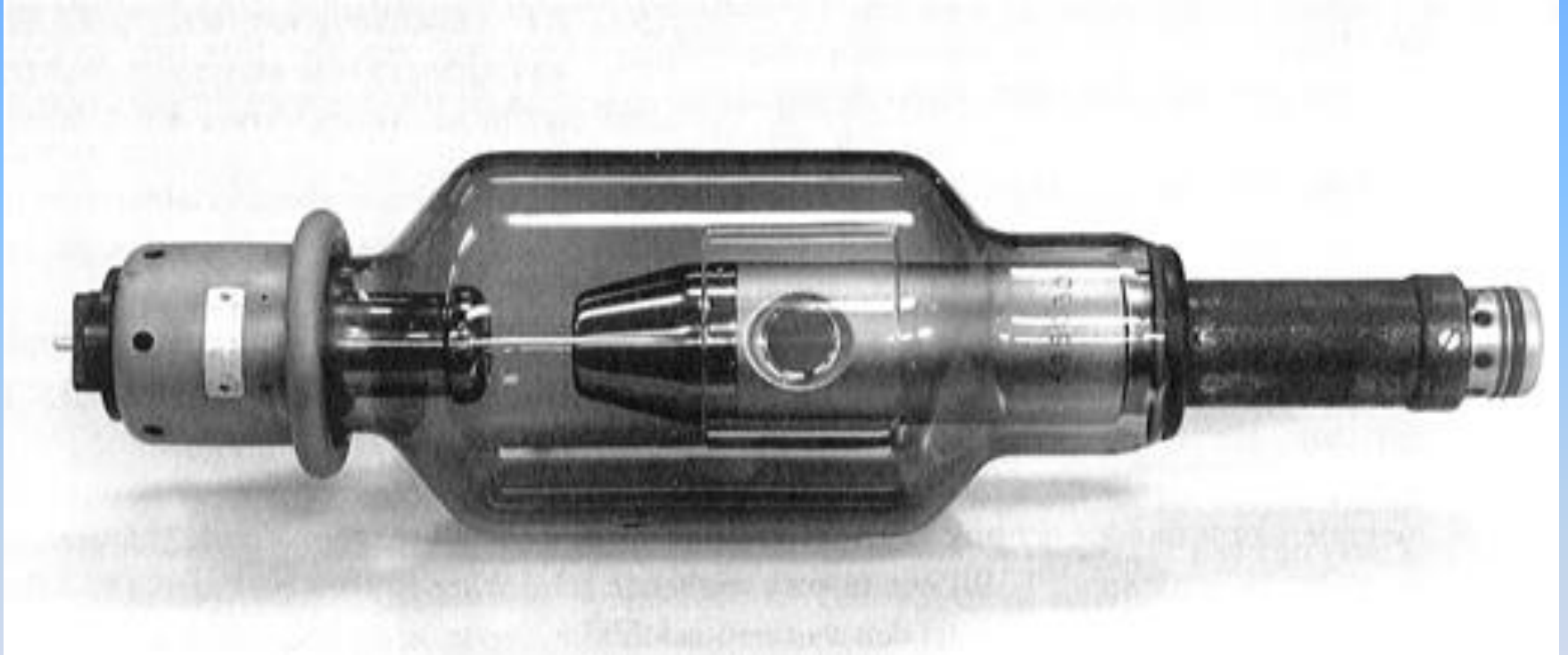
1. Inleiding Röntgenbuis
2. Atoombouw: protonen, neutronen, electronen, positronen
3. Radioactief verval: α , β , γ en Rö-straling
4. Wisselwerking en Röntgenstraling
5. Activiteit en halveringstijd; becquerel
6. Bundelverzwakking en halveringsdikte; transmissie
7. Dosimetrie: Dosis en Equivalente dosis; gray en sievert
8. Meetmethoden
9. Bestraling en besmetting.

Röntgenbuis



Electronen worden tussen kathode en anode versneld.
Bij 100 kV: Uiteindelijke electron-energie: $E = 100 \text{ keV}$
Röntgenstraling dan: 0 - 100 keV

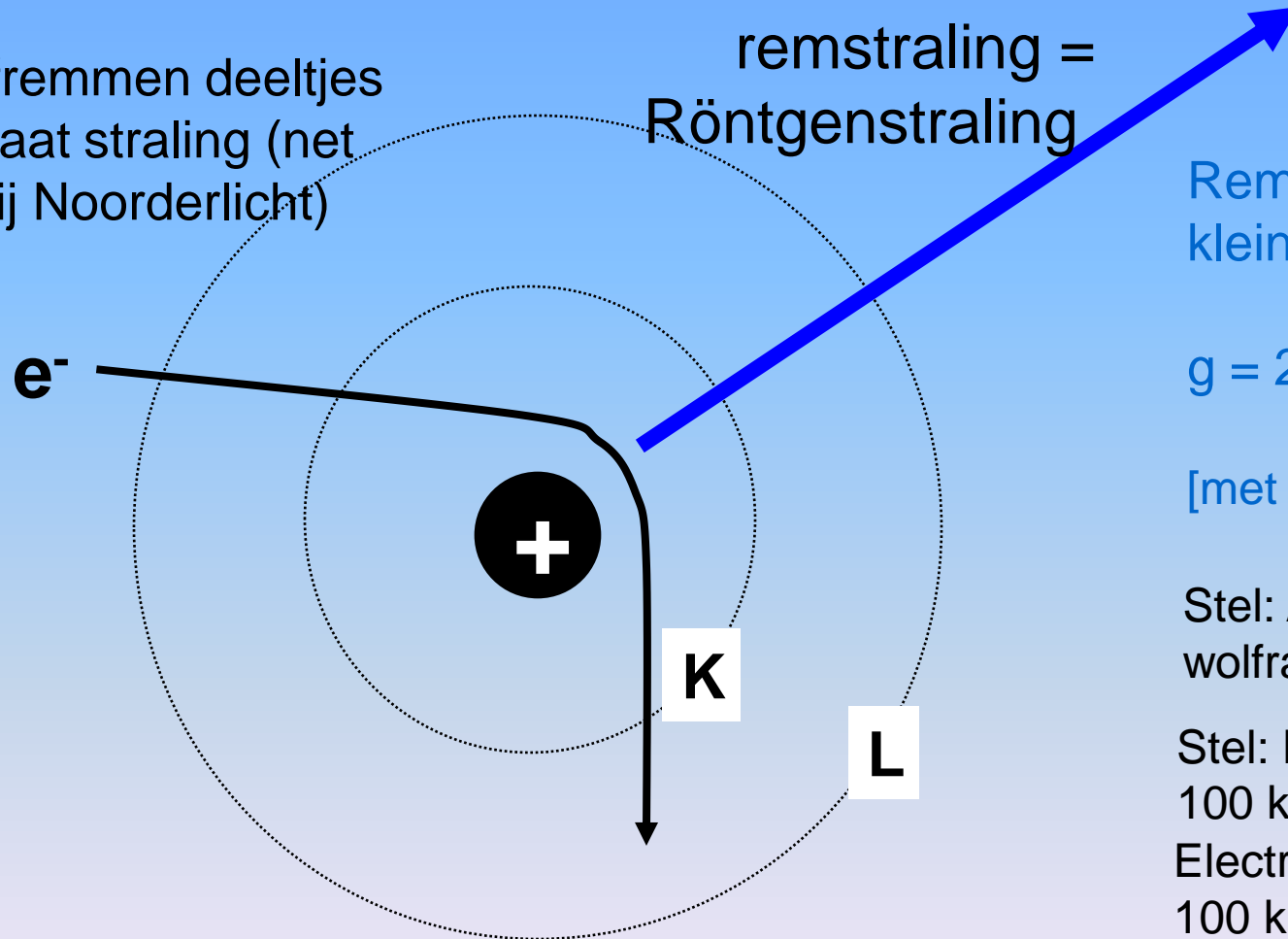
Röntgenbuis



Remstraling

Electronen worden afgebogen (en afgeremd) door atoomkernen

Bij afremmen deeltjes ontstaat straling (net als bij Noorderlicht)



Remstraling is kleine fractie (g):

$$g = 2 \times 10^{-4} Z E$$

[met E in MeV]

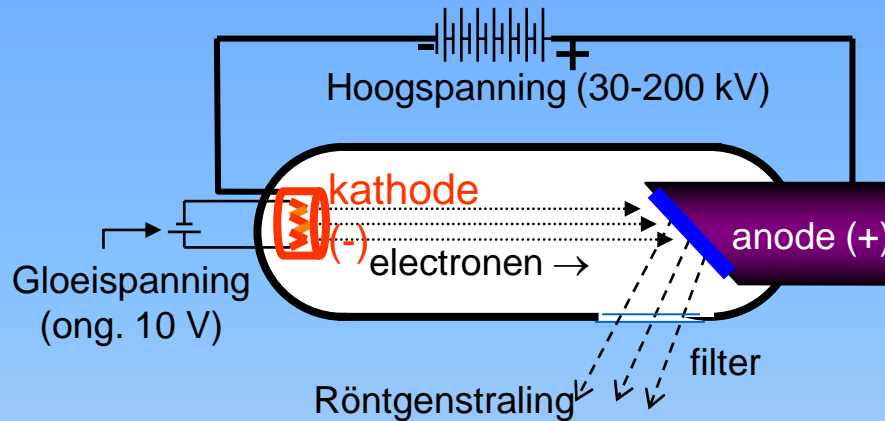
Stel: Anode:
wolfram: $Z = 74$

Stel: Hoogspanning:
100 kV

Electronen-energie:
100 keV = 0.1 MeV

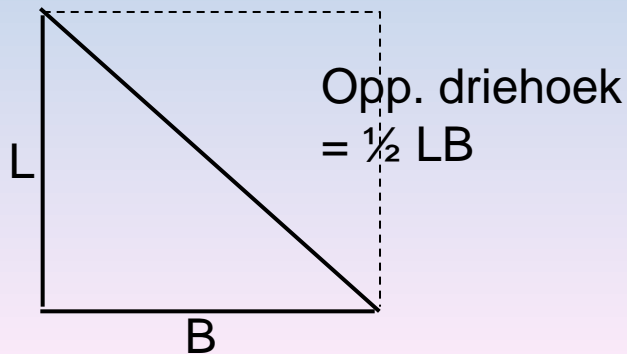
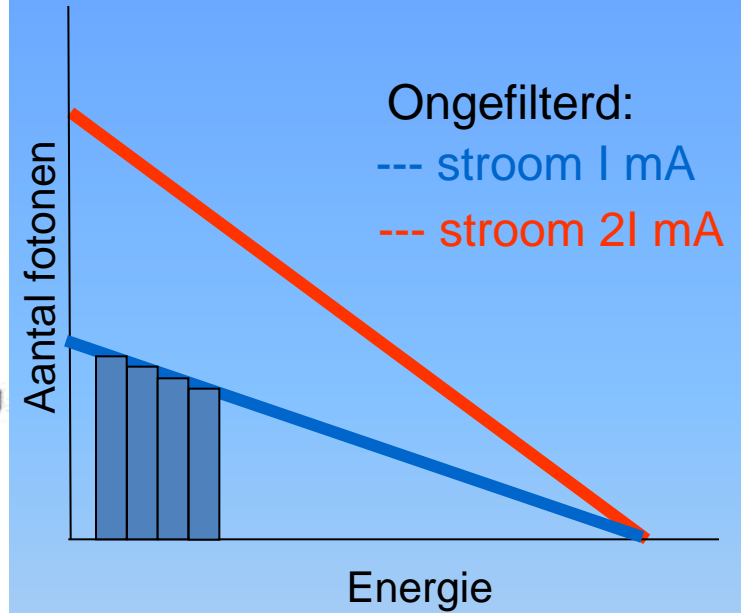
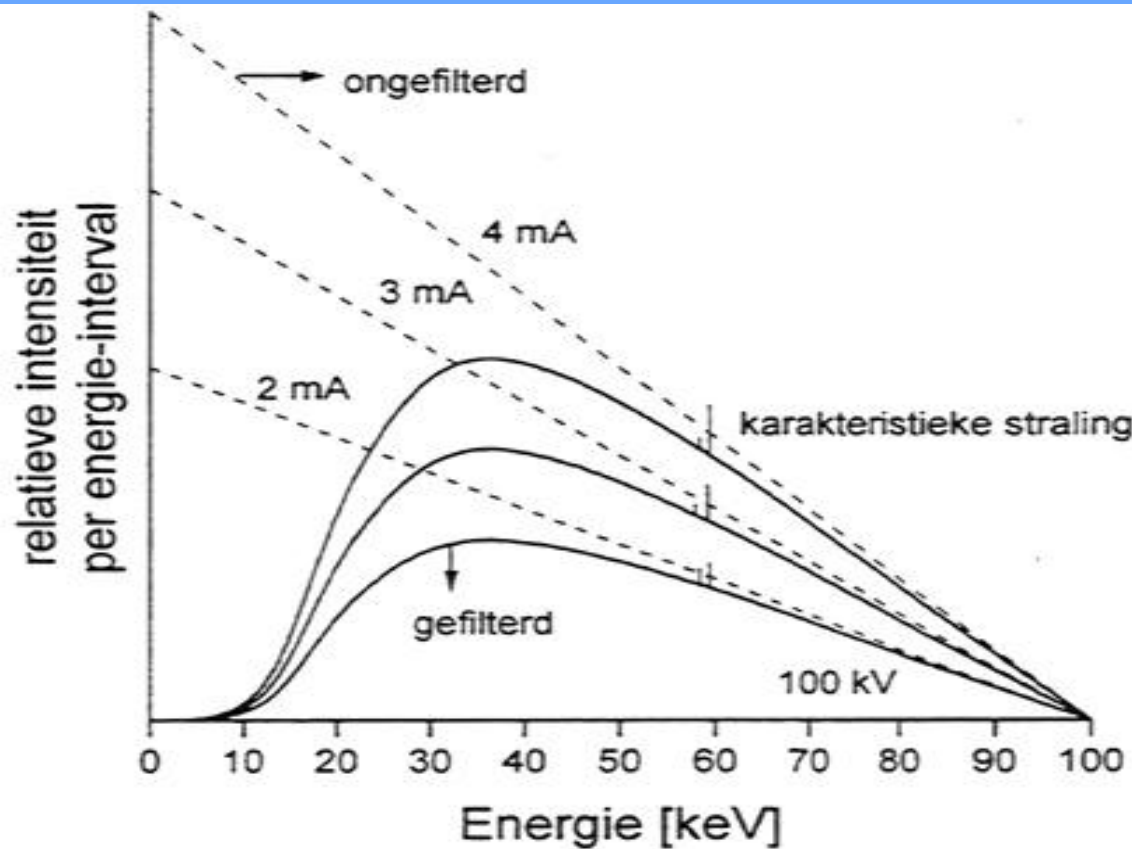
Fractie remstraling: $g = 2 \times 10^{-4} \times 74 \times 0.1 = 15 \times 10^{-4} = 0.0015 = 0.15 \%$
(de rest wordt verlieswarmte)

Instellingen Röntgenbuis



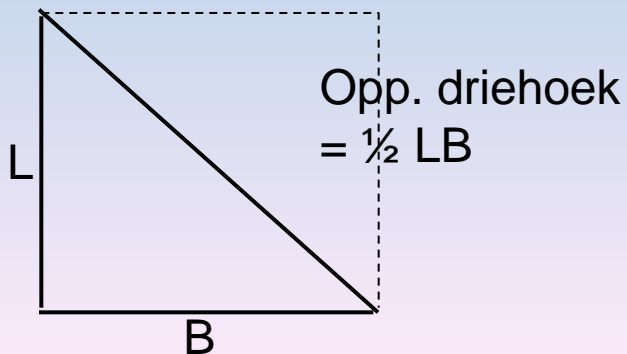
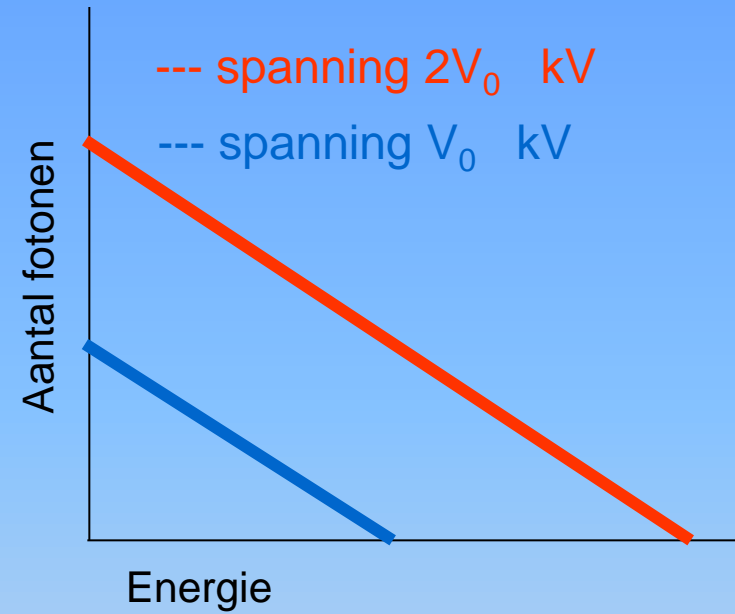
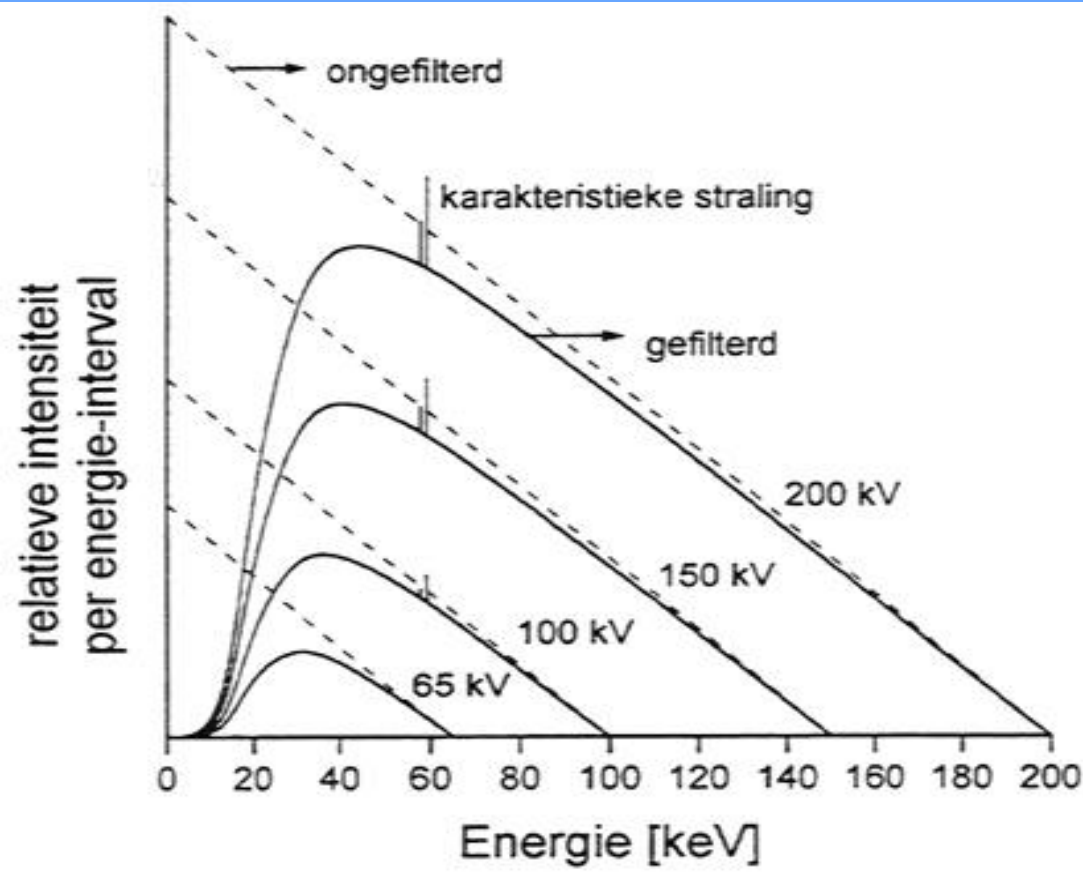
- Buisstroom (mA)
 - aantal elektronen
 - van kathode naar anode
- Buisspanning (KV)
 - spanning tussen kathode en anode
- Filtering (mm Al)
 - materiaal in bundel

Buisstroom



Dubbele stroomsterkte
(bij gelijke hoogspanning):
Dubbele opbrengst

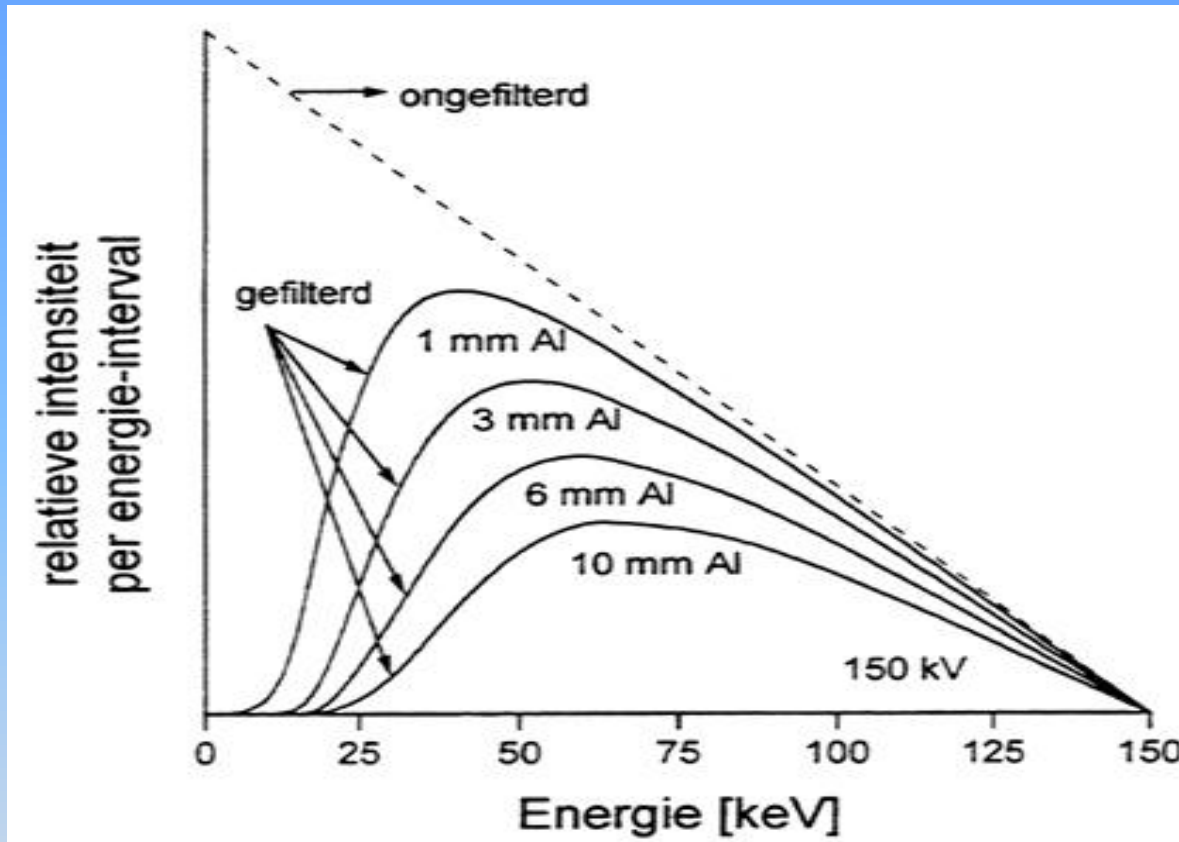
Hoogspanning



Dubbele hoogspanning
(bij gelijke stroomsterkte):

4 x opbrengst

Filtering



Filtering:

Lage energieën verwijderd.

(worden geheel geabsorbeerd en dragen dus niet bij aan beeldvorming, maar berokkenen wel schade).

Gevolg: Hogere gemiddelde energie, maar lagere opbrengst (dosis)

Instellingen Röntgenbuis: Samenvatting

- Buisstroom (mA)
 - aantal elektronen
 - van kathode naar anode
- Buisspanning (KV)
 - spanning tussen kathode en anode
- Filtering (mm Al)
 - materiaal in bundel

Buisstroom 2 x →
opbrengst 2 x

Buisspanning 2 x →
opbrengst 4 x
Hogere energieën →
MINDER contrast !!

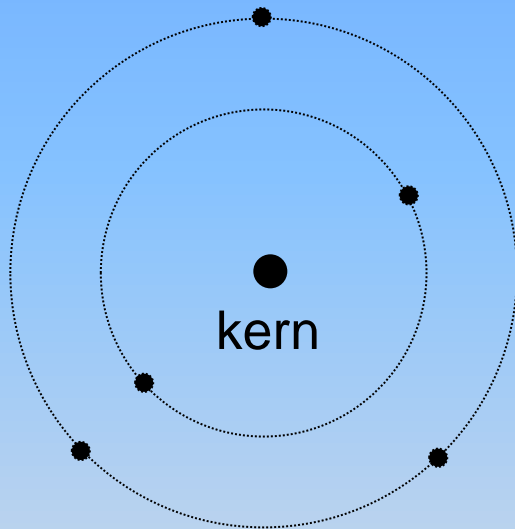
Dikte filter 2 x →
meer verzwakking,
vooral lagere energieën

Ioniserende straling:

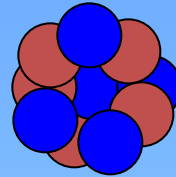
Straling die ionisaties kan veroorzaken in het bestraalde medium

- **Deeltjesstraling**
 - Geladen deeltjes (elektronen e^- , β^- , positronen e^+ , β^+ , protonen p , alpha-deeltjes α , etc)
 - Ongeladen deeltjes (neutronen etc)
- **Elektromagnetische (EM) straling**
 - fotonen uit kern: γ -straling
 - fotonen uit elektronenschil: röntgenstraling

Het atoom






Electronen-
schillen



Kern :

protonen en neutronen

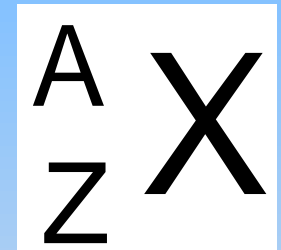
	deeltje	massa	lading
	proton	1 u	+1 e
	neutron	1 u	0
	electron	5×10^{-4} u	-1 e
	positron	5×10^{-4} u	+1 e

Het atoom

Karakteriseren kern:

- Z: aantal protonen **Atoomnummer**
- N: aantal neutronen
- A: Z+N **Massagetal**

Nuclide van element X met atoomnummer Z en massagetal A:



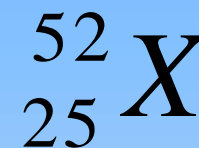
bijvoorbeeld: ${}^4_2\text{He}$ ${}^{16}_8\text{O}$ ${}^{12}_6\text{C}$ ${}^{14}_6\text{C}$

- Z: bepaalt soort atoom en chemische activiteit
- Verschillende nucliden met zelfde Z en andere A heten **isotopen**
- Een neutraal atoom bevat ook Z electronen (in de schillen)
- Een atoom kan door ionisatie electronen uit de schillen kwijtraken.
- Het vermelden van Z is eigenlijk overbodig.

Atoombouw

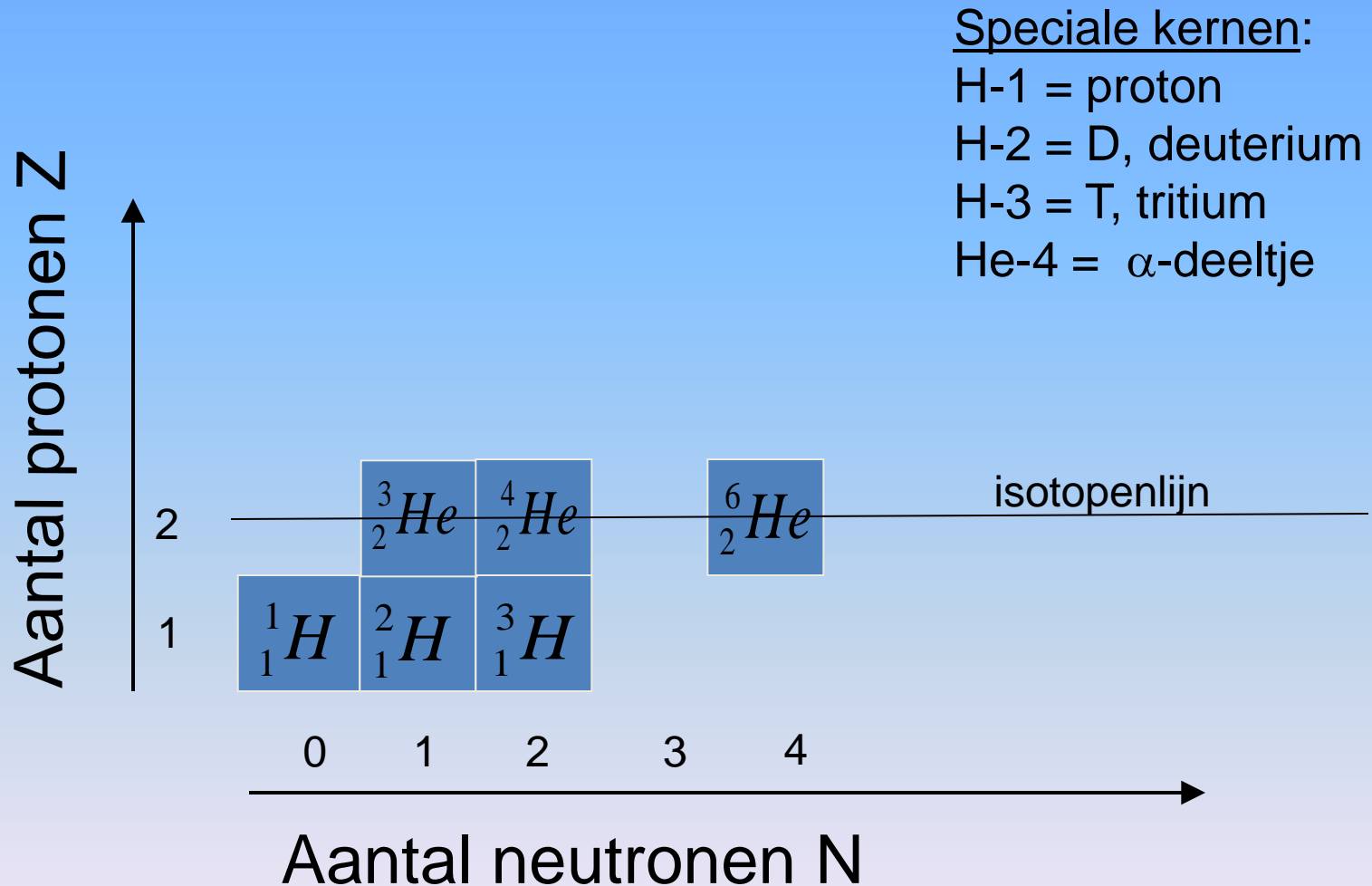
Vraag 1.

Het aantal electronen in een atoom (kern+schillen) van isotoop bedraagt:

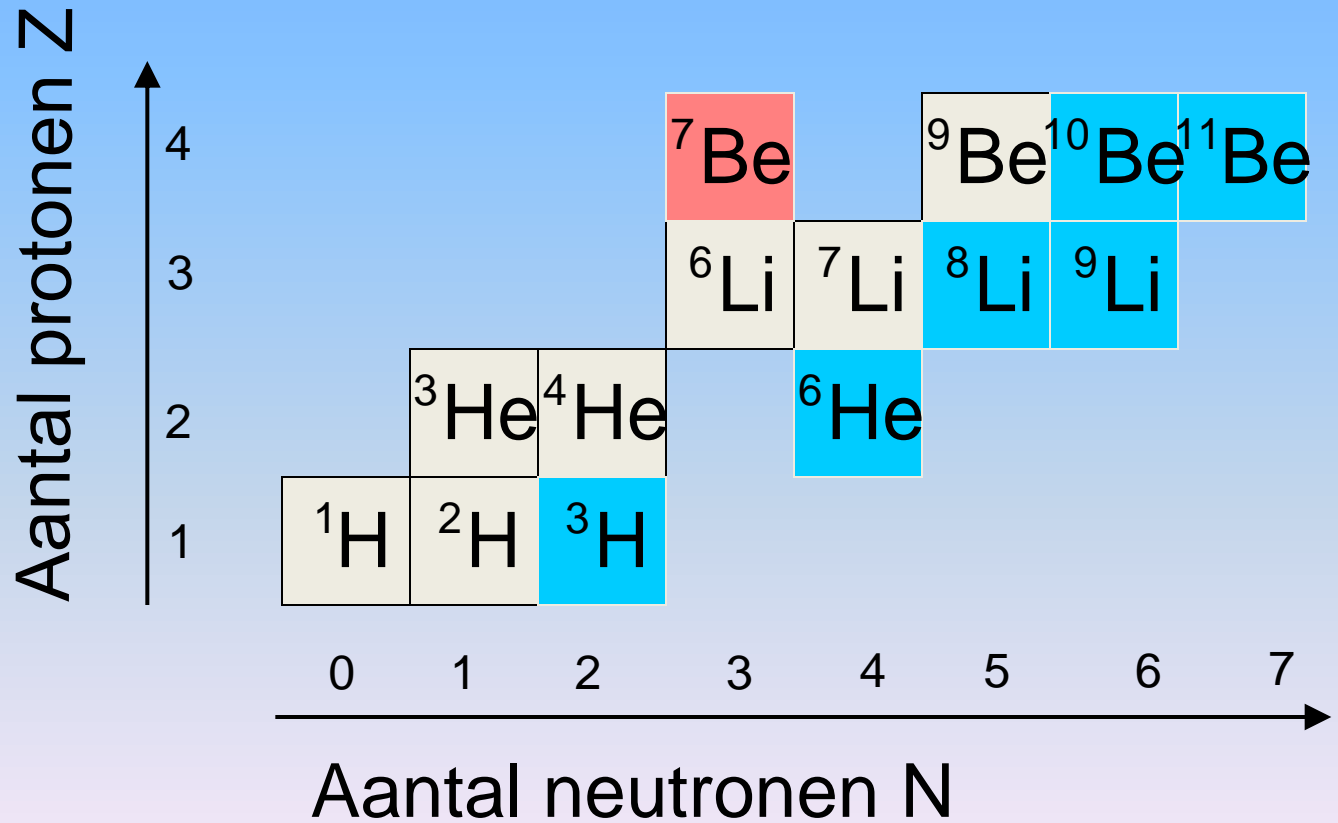


- a) 27 (=52-25)
- b) hoogstens 27
- c) 25
- d) hoogstens 25

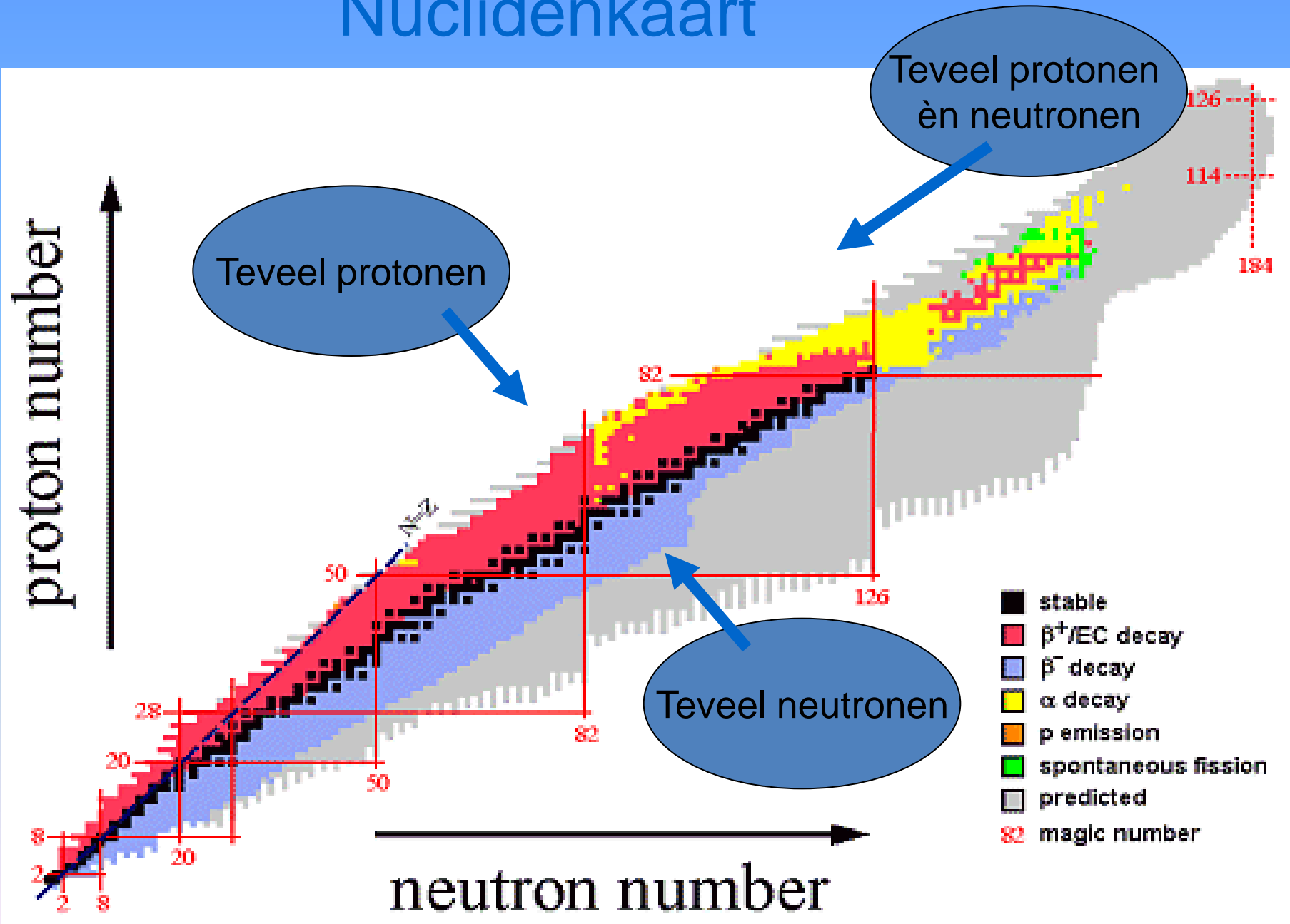
Nuclidenkaart



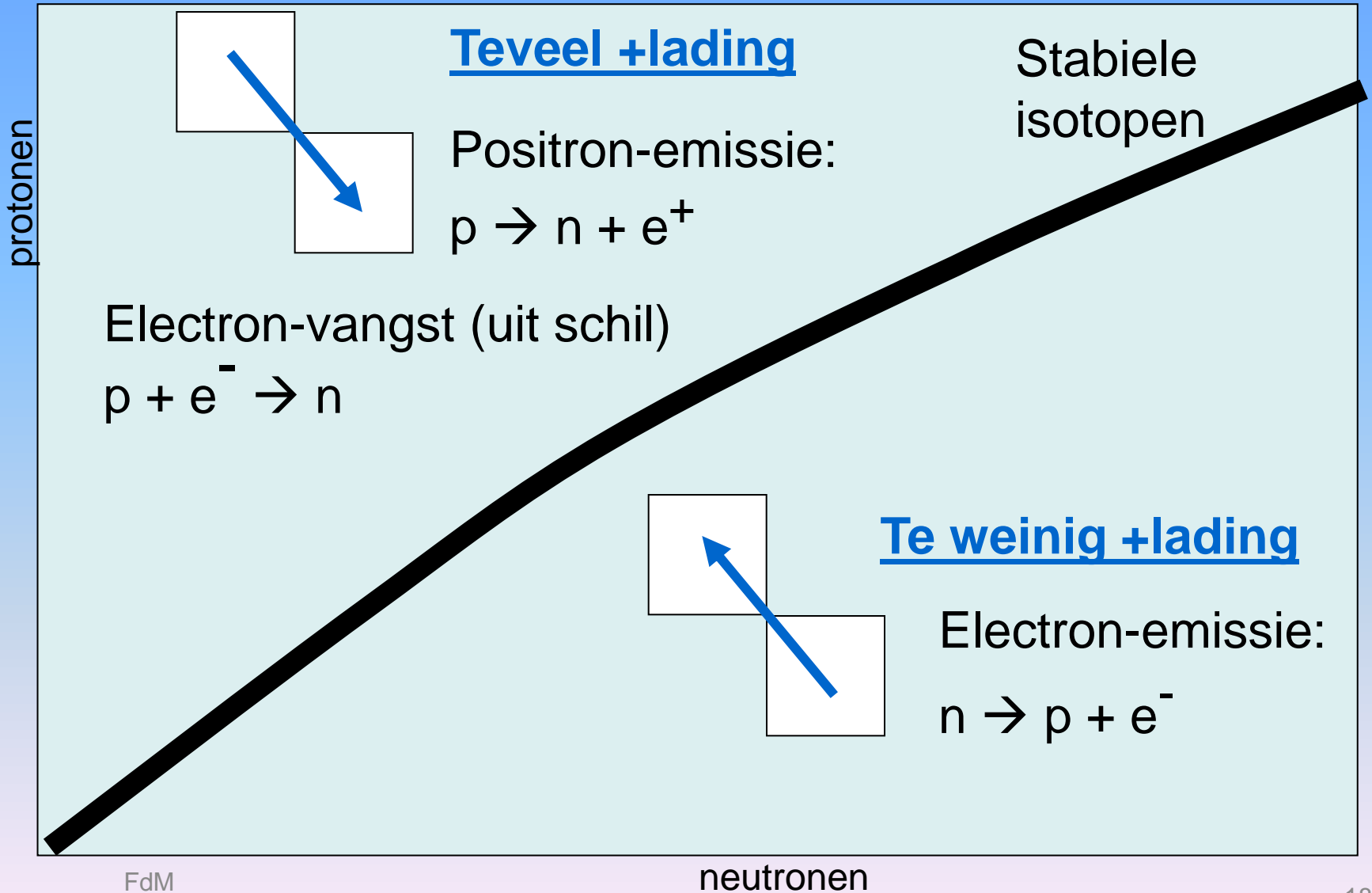
Nuclidenkaart



Nuclidenkaart



Nuclidenkaart



β^- -verval

	${}^3\text{He}$	${}^4\text{He}$
${}^1\text{H}$	${}^2\text{H}$	${}^3\text{H}$

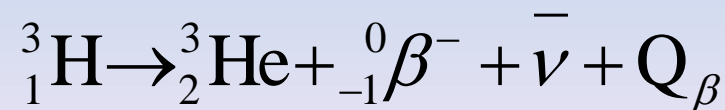
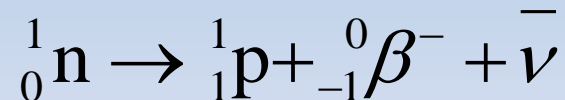
${}^3\text{H}$ heeft een neutron teveel om stabiel te zijn
neutronenoverschot

Bij kernen met neutronenoverschot kan β^- -verval optreden:
 Er wordt een electron uitgezonden: dit elektron wordt β^- -deeltje genoemd

${}^3\text{He}$	${}^4\text{He}$
${}^2\text{H}$	${}^3\text{H}$ 12.3 y β^- 0.018 no γ

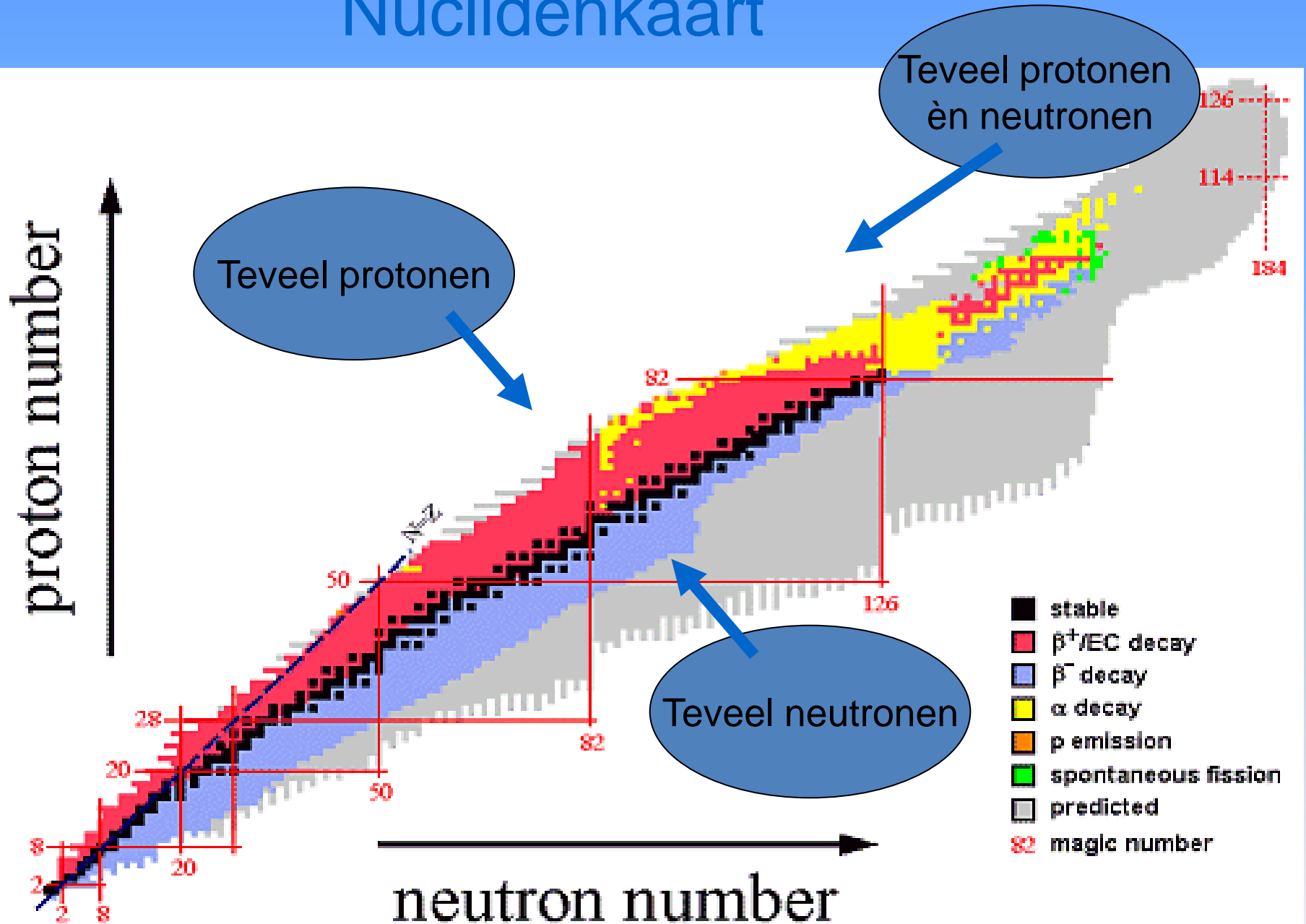
Details:

In de kern verandert één neutron in een proton plus een elektron (plus een antineutrino)



De vrijkomende energie Q_β wordt verdeeld over β^- -en neutrino

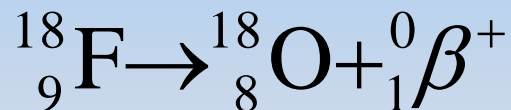
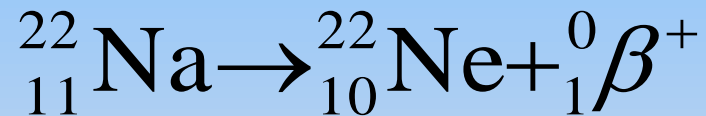
Nuclidenkaart



β^+ -verval

${}^1_1\text{p} \rightarrow {}^1_0\text{n} + {}^0_1\beta^+ + \nu$ treedt op bij neutronentekort

bijvoorbeeld:

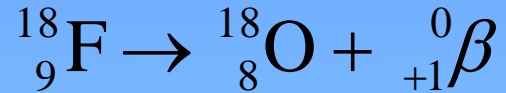


Toepassing:
PET-scanners

${}^{22}\text{Na}$ 2.6 y β^+ 1.8 no γ	${}^{23}\text{Ne}$
${}^{21}\text{Ne}$	${}^{22}\text{Ne}$

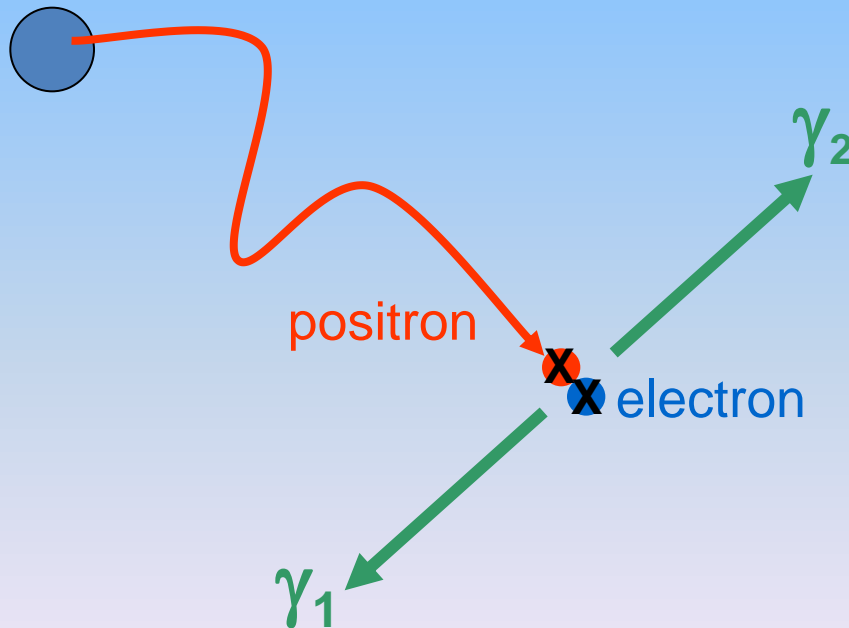
β^+ - verval: PET - scanner

Positron Emission Tomography.



Suikerhoudende verbinding met fluor-marker zoekt tumor.

Vervalproces:



Positron vindt electron.

Annihilatie-reactie volgens $E = mc^2$.

Energie wordt uitgestraald als 2 gamma-fotonen van 511 keV, **tegelijkertijd**, en in precies **tegenovergestelde richting**.

Detectoren in “coïncidentie-schakeling”.

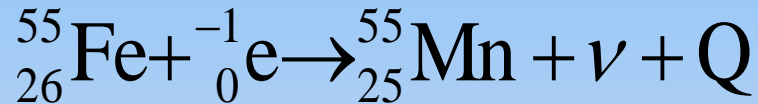
2 paar detectoren (verschillende oriëntaties) nodig voor plaatsbepaling.

elektronvangst

Alternatief voor β^+ -verval:



bijvoorbeeld:

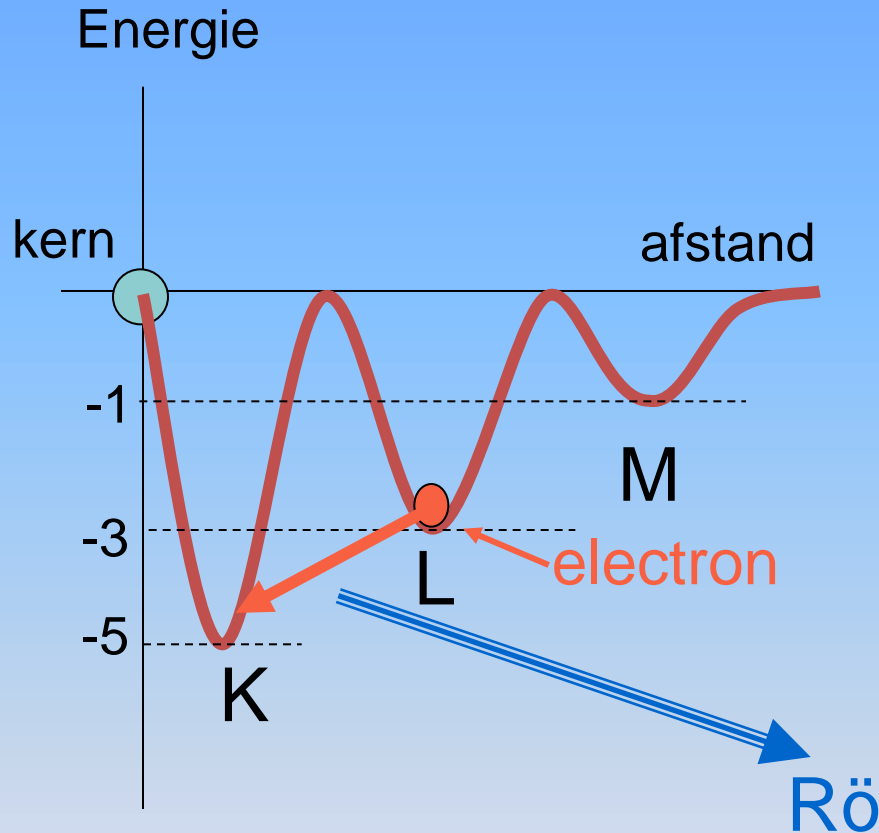


${}_{26}^{55}\text{Fe}$ 2.6 y ε no γ	${}_{26}^{56}\text{Fe}$
${}_{25}^{54}\text{Mn}$	${}_{25}^{55}\text{Mn}$

Gevolg: “gat” in schil: electron te weinig;

wordt opgevuld uit hogere schillen -> Rö-straling

Rö-straling uit electron-schilovergangen



Electronen “bewegen” in banen rondom de kernen.

Er zijn slechts bepaalde banen mogelijk: K, L, M, N,

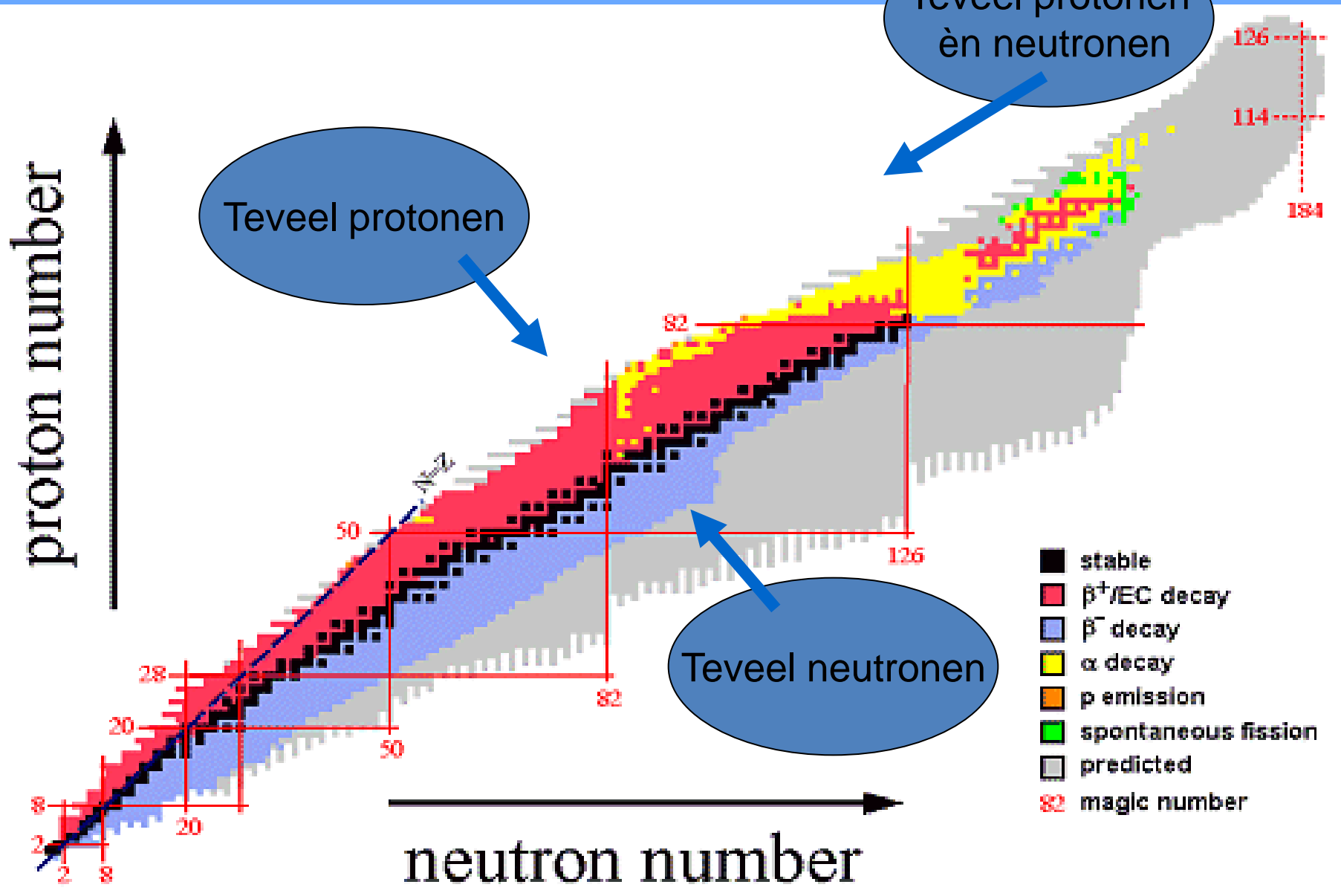
Een electron in K is sterker gebonden dan een in L, M,

Dus om een electron van baan K naar baan L te krijgen kost **energie**.

Electron van baan L naar K:
levert **energie** op
- Energie electron: $-3 \rightarrow -5$ eV

Overschot wordt uitgezonden als Rö van 2 eV

Nuclidenkaart



Radioactief verval

Vraag 2:

Er bestaan drie isotopen van hetzelfde element X, namelijk ^{86}X , ^{87}X en ^{88}X . De twee uiterste, namelijk ^{86}X en ^{88}X , zijn radioactief, en ^{87}X is stabiel. Wat geldt er:

- a. ^{86}X heeft meer protonen dan ^{88}X
- b. ^{86}X heeft minder protonen dan ^{88}X
- c. ^{86}X heeft meer neutronen dan ^{88}X
- d. ^{86}X heeft minder neutronen dan ^{88}X

Vraag 3 :

Zie voorgaande vraag. Welke van deze twee, ^{86}X of ^{88}X , heeft een grotere kans om een β^+ -straler te zijn?

- a. ^{86}X
- b. ^{88}X
- c. Hetzelfde want ze hebben evenveel protonen (allebei X)
- d. Het zijn beide β^- -stralers.

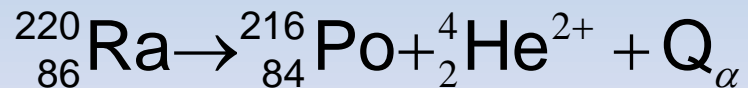
α -verval

Kern stoot een heliumkern (α -deeltje) uit
(α -deeltje = 2 protonen + 2 neutronen)

Gevolg:

- massa: - 4 u
- lading: - 2 e

bijvoorbeeld:



${}_{86}^{218}\text{Rn}$	${}_{86}^{219}\text{Rn}$	${}_{86}^{220}\text{Rn}$ 51.5 s α 6.28 $\gamma \dots$
${}_{85}^{217}\text{At}$	${}_{85}^{218}\text{At}$	${}_{85}^{219}\text{At}$
${}_{84}^{216}\text{Po}$	${}_{84}^{217}\text{Po}$	${}_{84}^{218}\text{Po}$

Isomeer verval: γ -activiteit

Soms is verval een meertraps-proces, of blijft de dochterkern eerst even in een aangeslagen toestand (teveel energie, instabiel):

Isomere of metastabiele toestand



Metastabiele kern vervalst door uitzenden foton:

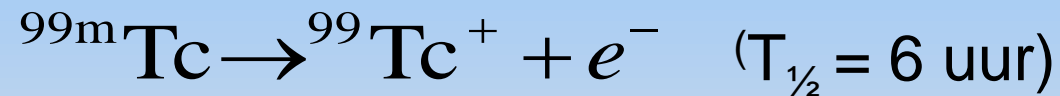
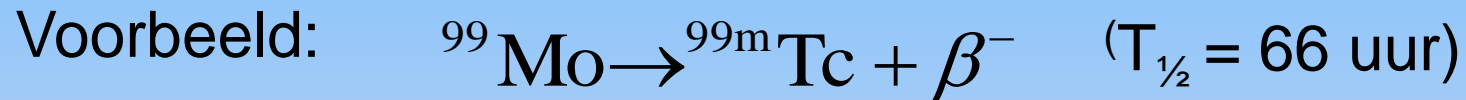
isomeer verval



Interne conversie

Alternatief voor isomeer verval (γ -verval):

Uitstoten elektron uit schil: interne conversie (IC)



Uitgestoten elektron (conversie-elektron) is
mono-energetisch

Radioactief verval

Moeder	Dochter	Lading	Massa	Soort verval	Reactievgl.
${}_{15}^{32}\text{P}$	${}_{16}^{32}\text{S}$	+1	+0	β^-	${}_{15}^{32}\text{P} \rightarrow {}_{16}^{32}\text{S} + {}_{-1}^0\text{e}^-$
${}_{25}^{54}\text{Mn}$	${}_{24}^{54}\text{Cr}$	-1	+0	β^+ of EC	${}_{25}^{54}\text{Mn} \rightarrow {}_{24}^{54}\text{Cr} + {}_{+1}^0\text{e}^+$ ${}_{25}^{54}\text{Mn} + {}_{-1}^0\text{e}^- \rightarrow {}_{24}^{54}\text{Cr}$
${}_{84}^{210}\text{Po}$	${}_{82}^{206}\text{Pb}$	-2	-4	α	${}_{84}^{210}\text{Po} \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb} + {}_2^4\text{He}$
${}_{29}^{64}\text{Cu}$	${}_{28}^{64}\text{Ni}$	-1	+0	β^+ of EC	${}_{29}^{64}\text{Cu} \rightarrow {}_{28}^{64}\text{Ni} + {}_{+1}^0\text{e}^+$ ${}_{29}^{64}\text{Cu} + {}_{-1}^0\text{e}^- \rightarrow {}_{28}^{64}\text{Ni}$
${}_{49}^{114\text{m}}\text{In}$	${}_{49}^{114}\text{In}$	0	+0	γ	${}_{49}^{114\text{m}}\text{In} \rightarrow {}_{49}^{114}\text{In} + {}_0^0\gamma$
${}_{21}^{47}\text{Sc}$	${}_{22}^{47}\text{Ti}$	+1	+0	β^-	${}_{21}^{47}\text{Sc} \rightarrow {}_{22}^{47}\text{Ti} + {}_{-1}^0\text{e}^-$

Vervolgprocessen 1: Röntgen-fotonen

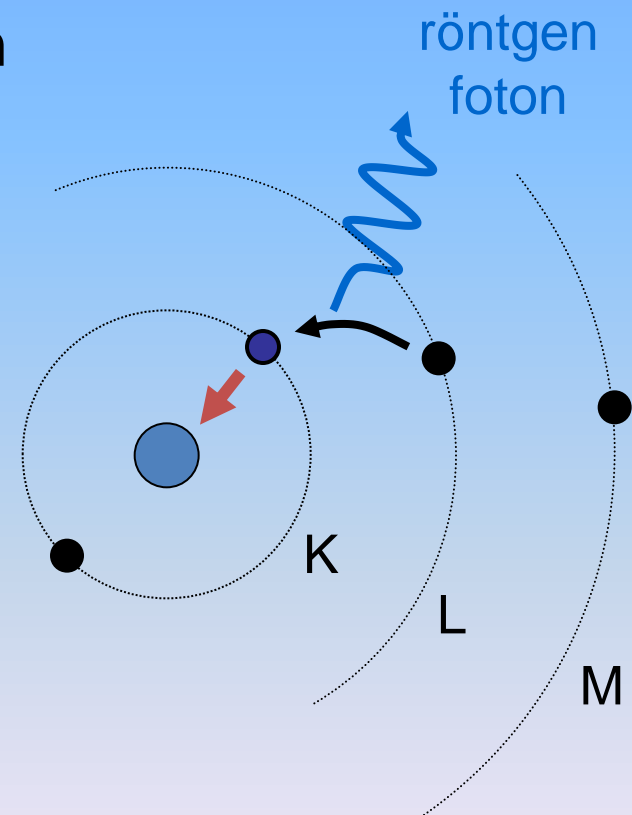
Na bv. elektronvangst : lege plaats in schil

Elektron uit hogere schil vult plaats in

Afstoten vrijkomende energie:

- uitzenden röntgenfoton

Karakteristieke pieken in
röntgenspectrum



Vervolgprocessen 2: Auger-electronen

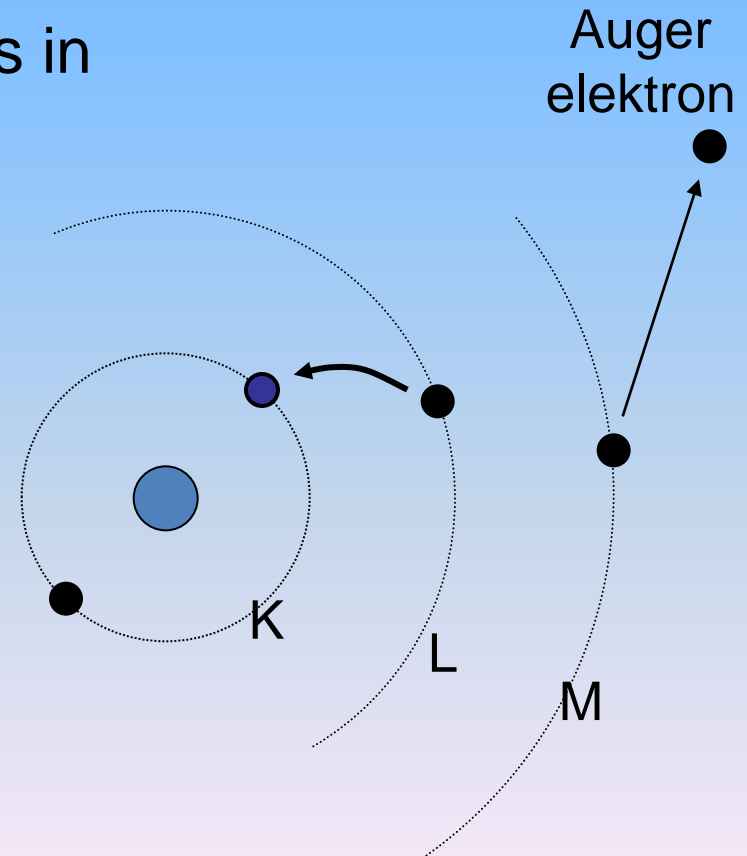
Na elektronvangst of Interne Conversie:

lege plaats in schil

Elektron uit hogere schil vult plaats in

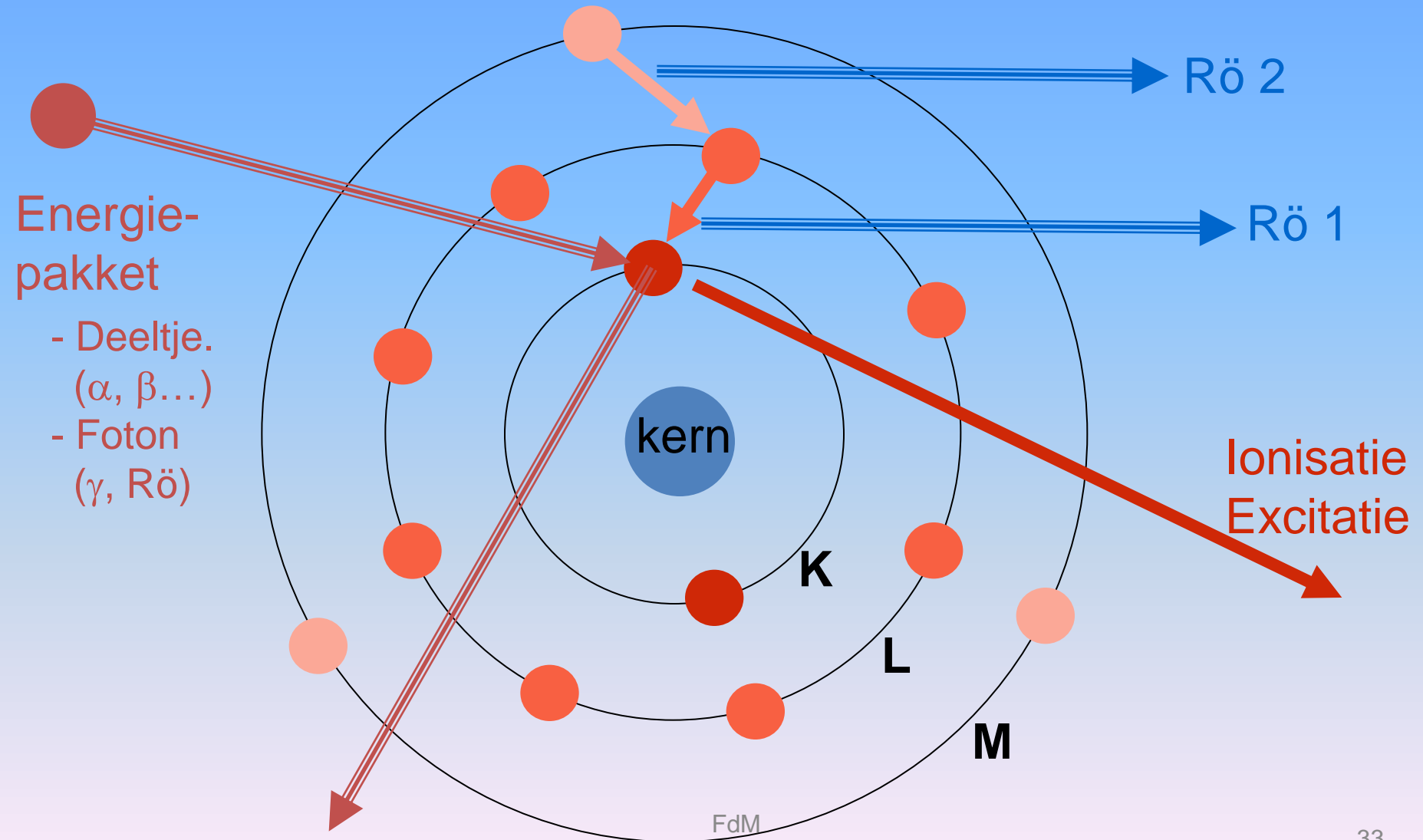
Afstoten vrijkomende energie door:

uitstoten Auger-elektron



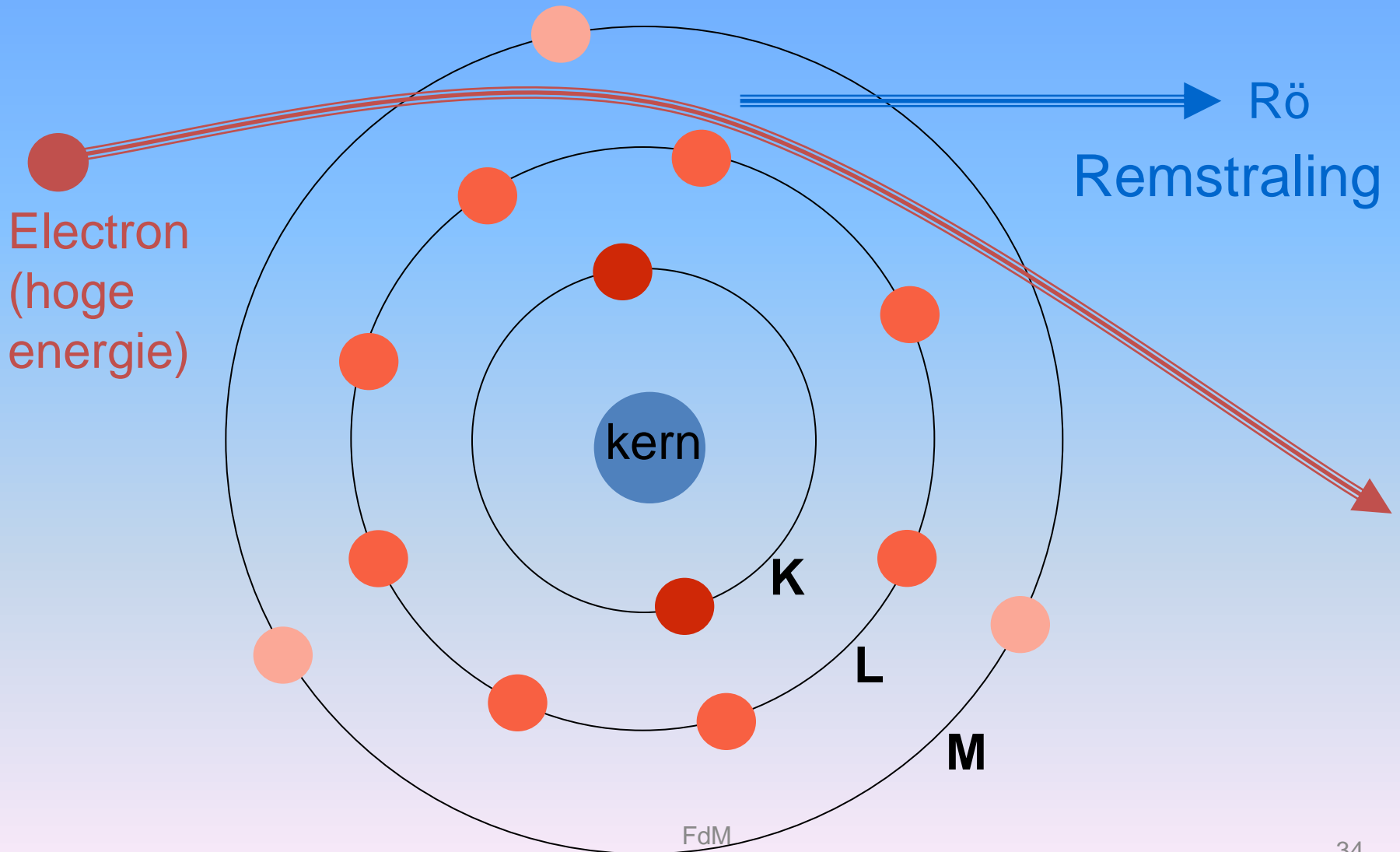
Interactie met deeltjes → Röntgenstraling

(1) Inelastische botsingen



Interactie met elektronen → Röntgenstraling

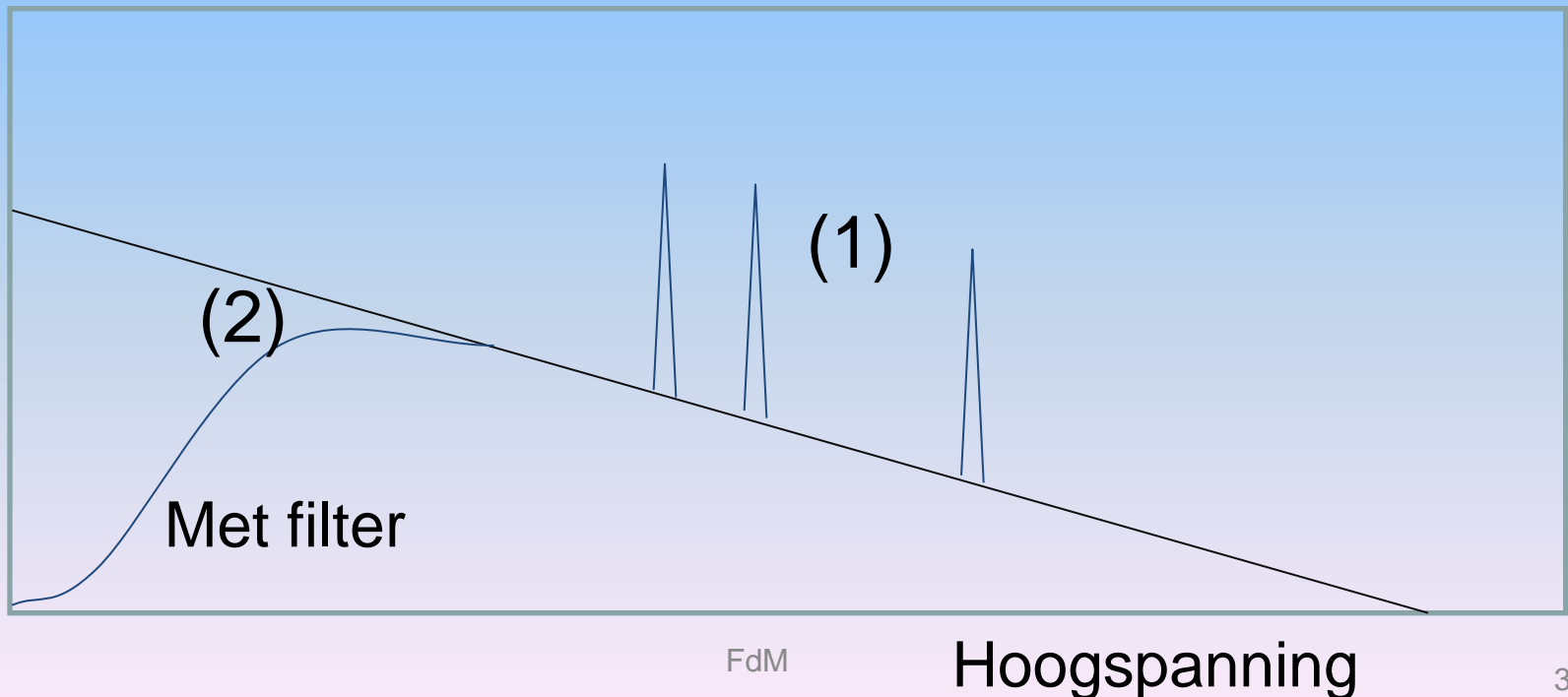
(2) Elektronen ondergaan afbuiging door aantrekking door atoomkern



Röntgenstraling

Ontstaan:

1. Energie ten gevolge van “**omlaagvallende**” elektronen (van hogere naar lagere schil)
2. Remstraling: **afremming** van hoogenergetische elektronen door aantrekking (en afremming) door atoomkern



Radioactiviteit: Activiteit

Als verhouding aantal protonen/neutronen "ongunstig", dan nuclide **instabiel**

Instabiele kernen vervallen onder uitzending van een radioactief deeltje

Activiteit A : aantal kernen dat per seconde vervalt

Eenheid A: becquerel (Bq)

$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ (één desintegratie per seconde)

Radioactiviteit: Activiteit

Activiteit A : aantal kernen dat per seconde vervalst

Eenheid A: **becquerel** (Bq)

1 Bq = 1 s⁻¹ (één desintegratie per seconde)

Oude eenheid: 1 Ci (curie) = 3.7 x 10¹⁰ s⁻¹

Vraag 3: 10 Bq =

- a. 600 desintegraties/minuut
- b. 10 desintegratie/minuut
- c. 37 x 10¹⁰ desintegraties/seconde
- d. 37x 10¹⁰ desintegraties/minuut

Radioactiviteit: Activiteit

Vraag: kunnen we berekenen hoe de activiteit van een preparaat verloopt als functie van de tijd?

Activiteit A van een radioactief preparaat is

- evenredig met hoeveelheid moederkernen N
- afhankelijk van de soort kern

$$A = \lambda N$$

N : aantal kernen in preparaat

λ : vervalconstante [s^{-1}]

Voorbeeld: stel $N=1000$, $\lambda = 0.1$ per sec

Vraag: hoeveel % vervalt elke seconde? 10 %

Vraag: zijn na 10 s alle kernen vervallen?

Antwoord: telkens vervalt 10% van de **dan aanwezige** kernen.

Dus over: na sec. 1: 900, na sec. 2: 810, na sec. 3: 729

Radioactiviteit: Activiteit

Voorbeeld: stel $N=1000$, $\lambda = 0.1$ per sec

Vraag: hoeveel % vervalt elke seconde? **10 %**

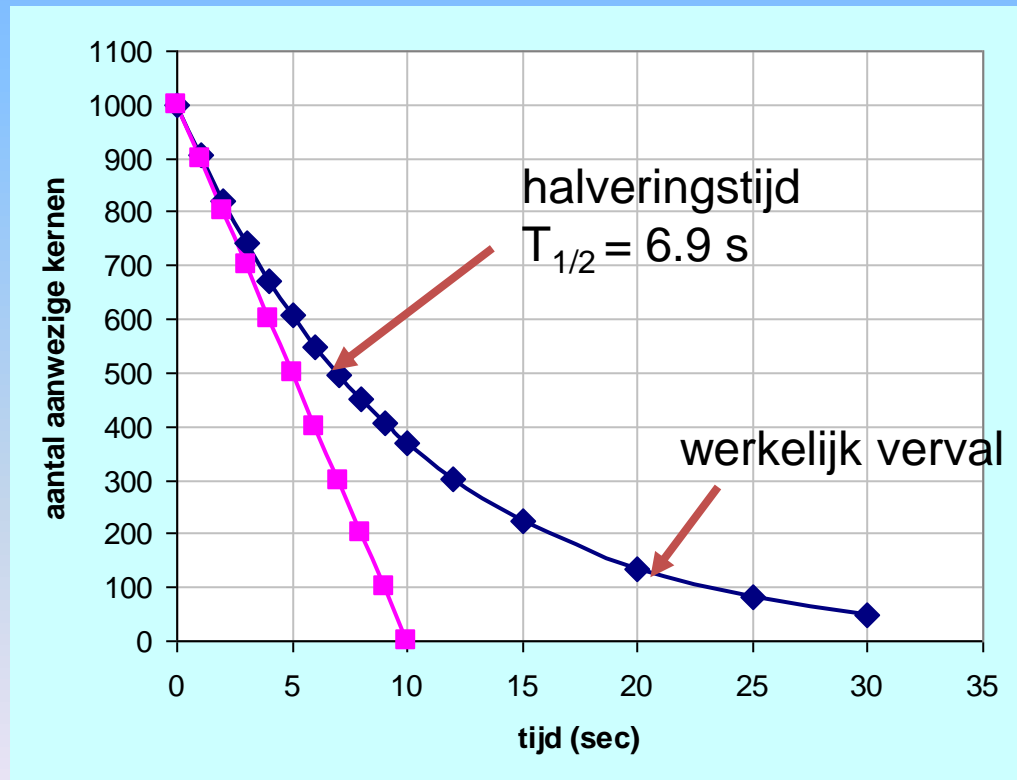
Vraag: zijn na 10 s alle kernen vervallen?

Antwoord:

telkens vervalt
10% van de **dan**
aanwezige kernen.

Dus over:

na sec. 1: 900,
na sec. 2: 810,
na sec. 3: 729



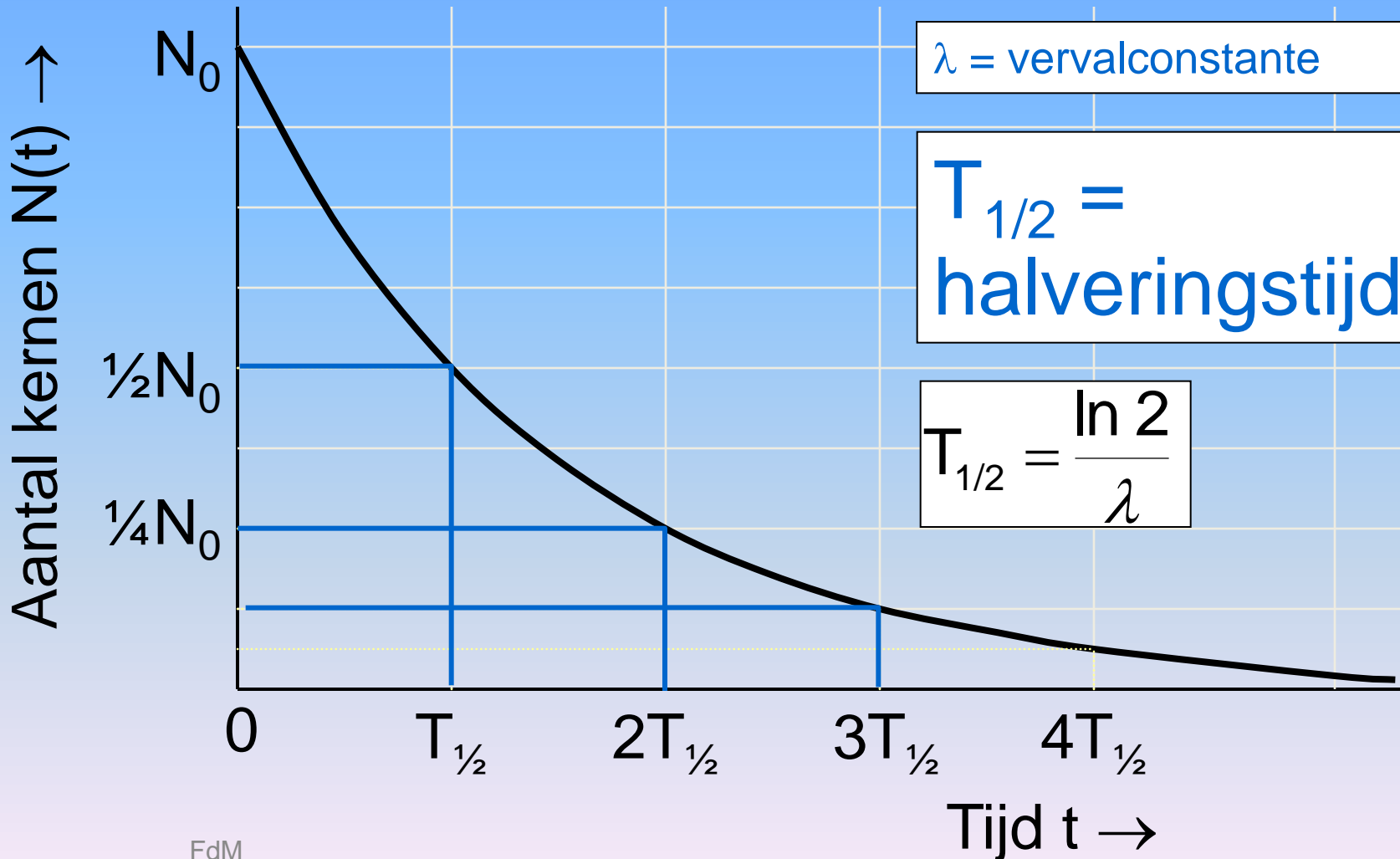
Vervalwet

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

λ = vervalconstante

$T_{1/2}$ =
halveringstijd

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$



Radioactiviteit: Activiteit

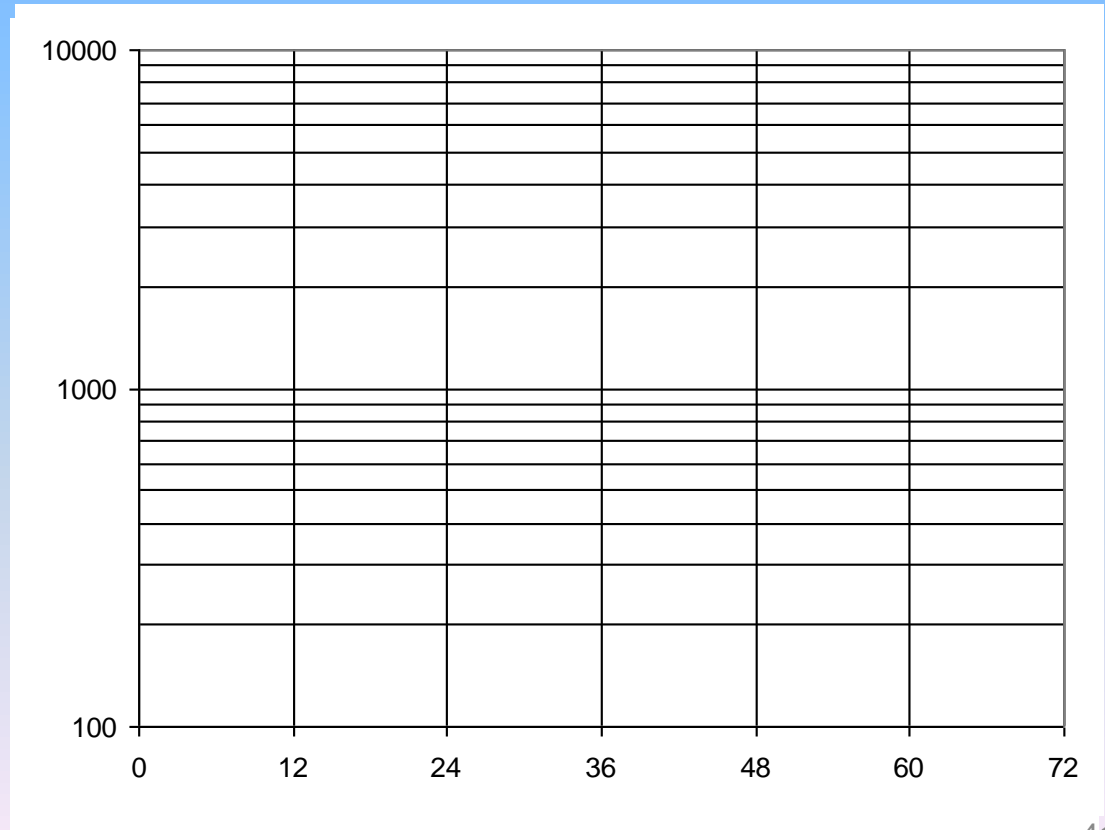
Vraag 4:

De halveringstijd van een nuclide wordt bepaald met vijf metingen, 12 uur na elkaar. De metingen leveren netto op:

1. 6000 cpm (cpm = counts per minute)
2. 2600 cpm
3. 1130 cpm
4. 500 cpm
5. 210 cpm.

De halveringstijd bedraagt ongeveer:

- a. 10 uur
- b. 24 uur
- c. 5 uur
- d. 100 uur



Radioactiviteit: Activiteit

Vraag 5:

Iemand wil een nuclide ($T_{1/2} = 20$ dagen) gebruiken. Na bestelling duurt het **5 dagen** voor het materiaal arriveert.

Na ontvangst van het materiaal moet hij echter nog **5 dagen** wachten alvorens met experimenteren te kunnen beginnen.

De benodigde activiteit is **100 MBq**. Hoeveel activiteit moet hij bestellen om juist voldoende activiteit voor het experiment over te hebben?

- a. 200 MBq
- b. 141 MBq
- c. 70 MBq
- d. 400 MBq

Radioactiviteit: Activiteit

Vraag 6:

De grote boosdoener na Chernobyl was ^{131}I ($T_{1/2} = 8 \text{ d}$, transport en neerslag via aerosolen en damp) dat preferentieel naar de schildklier migreerde (mede wegens een endemisch jodiumtekort). Vooral bij kinderen geboren vóór de ramp (in 1986) leverde dat problemen.

Waarom was dat bij kinderen die erna geboren zijn, veel minder het geval? De grond was toch besmet?

- a. Het jodium werd stevig gebonden aan mineralen in de grond.
- b. De activiteit nam zeer snel af.
- c. Er werden snel jodiumtabletten verstrekt.
- d. Alle pasgeborenen werden grondig gecontroleerd.

Radioactiviteit: Activiteit

Vraag 7:

In 10 g aluminium is door activering 1 MBq ontstaan van ^{24}Na ($T_{1/2} = 15$ h).

Hoelang moet men wachten totdat de specifieke activiteit lager dan 100 Bq/g is geworden?

- a. 8.5 h
- b. 1 week
- c. 4 weken
- d. 3 maanden

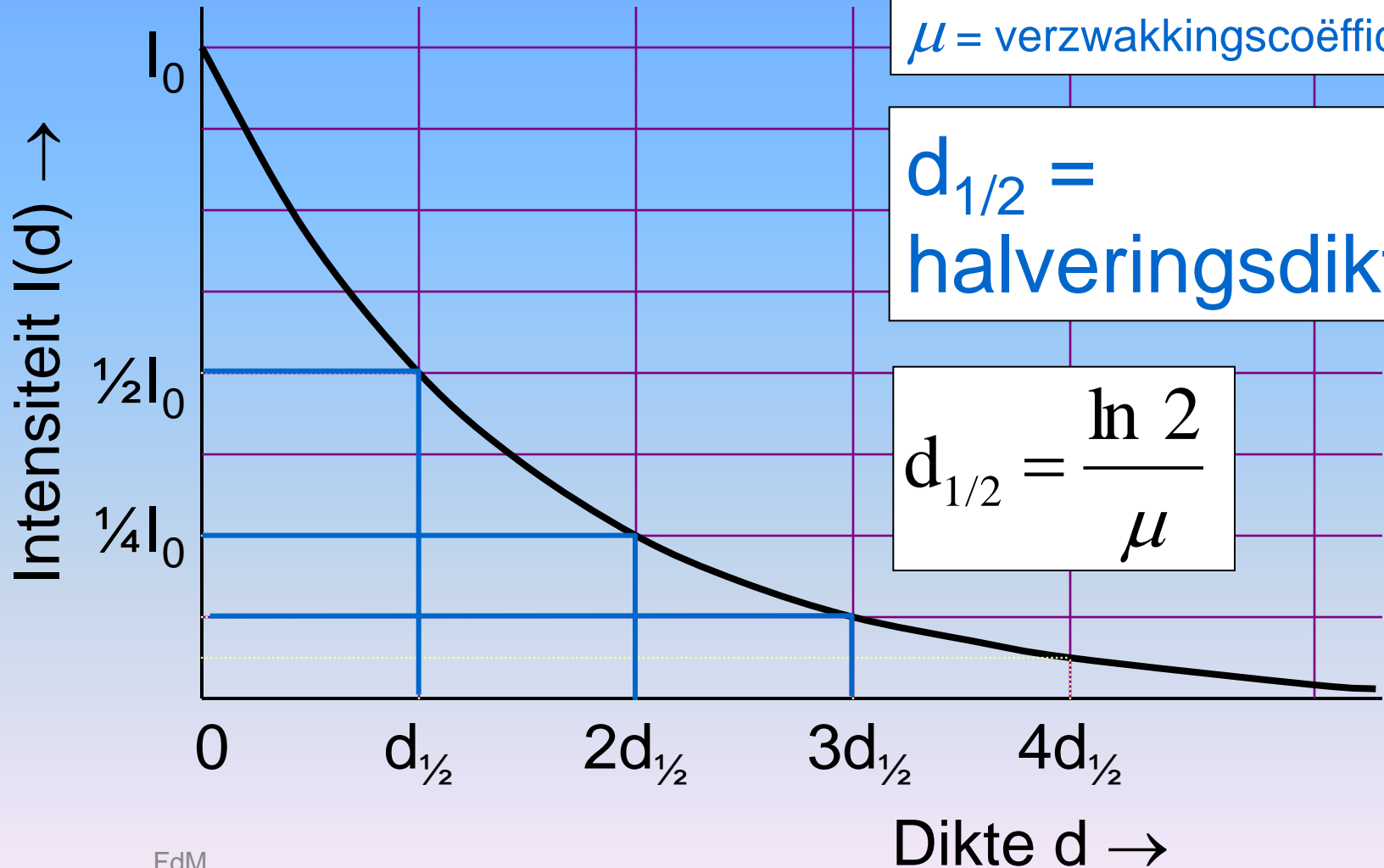
Verzwakking

$$I(d) = I_0 \cdot e^{-\mu d}$$

μ = verzwakkingscoëfficiënt

$d_{1/2}$ =
halveringsdikte

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$



Bundelverzwakking

Vraag 8:

De straling van een gamma-isotoop van 10 MBq heeft in een zeker materiaal een halveringsdikte van 5 cm. Voor 20 MBq bedraagt deze halveringsdikte:

- a. 1,25 cm
- b. 2.5 cm
- c. 5 cm
- d. 10 cm
- e. 20 cm

Bundelverzwakking

Vraag 9:

De halveringsdikte $d_{1/2}$ is de dikte met een transmissie van $\frac{1}{2}$.

Achter 2 halveringsdikten: dus een transmissie van $\frac{1}{4}$.

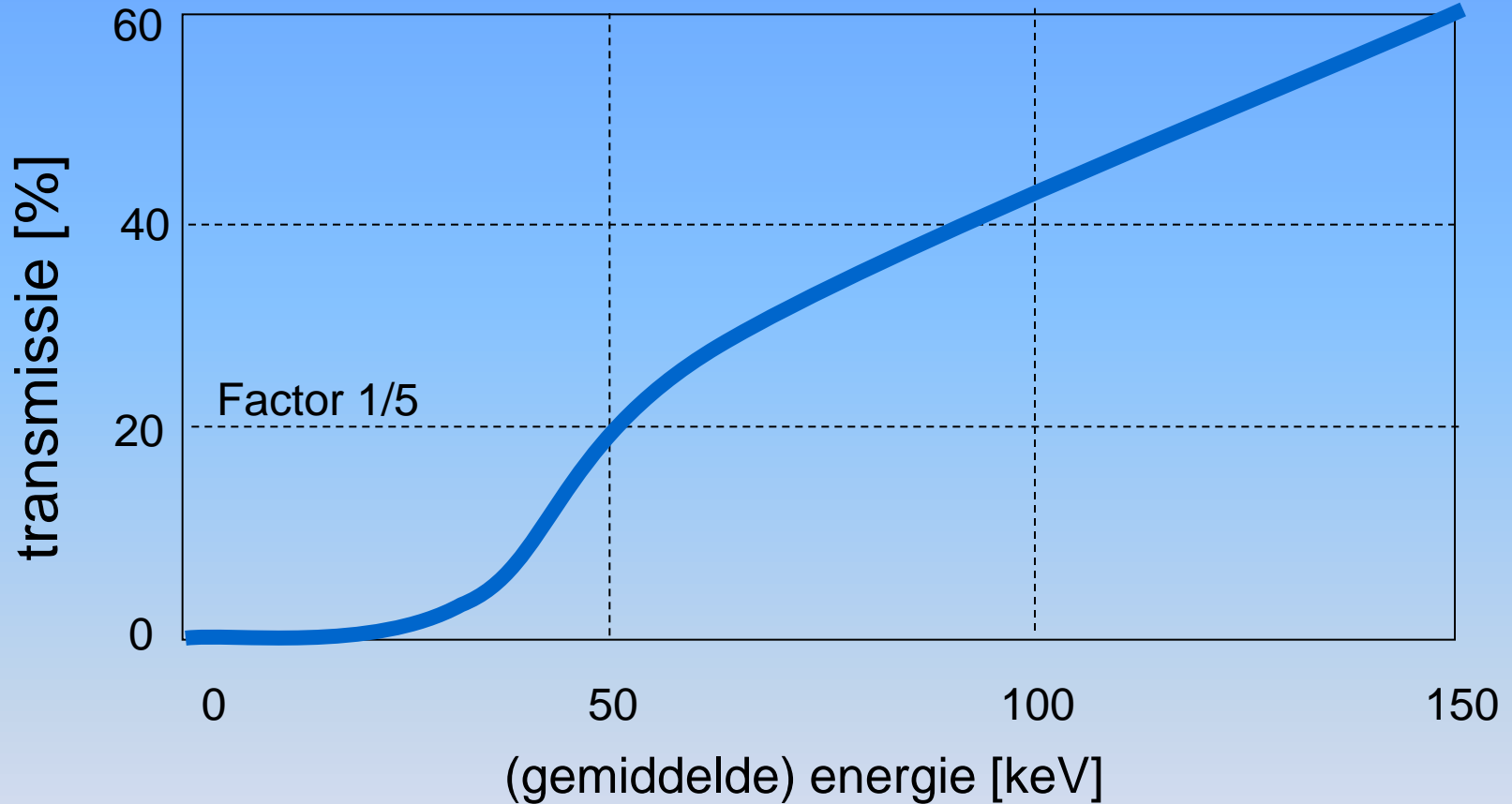
Een nauwe bundel passeert in een bepaald materiaal 20 halveringsdikten. De verzwakking is dan ongeveer:

- a. $10^3 = 1000$ keer
- b. $10^6 = 1.000.000$ keer
- c. $10^8 = 100.000.000$ keer
- d. 20 keer

Transmissie van materialen voor Röntgenstraling (in %)

	Röntgen-energie	materiaal				zacht weefsel	bot	aluminium
		lucht	water	lood	beton			
dichtheid (g/cm ³)	keV	0.0012	1	11.34	2.35	1	1.85	2.7
halveringsdikte d _{1/2} (cm)	50	2792	3.1	0.008	0.7	3.1	1.1	0.7
	100	3711	4.1	0.011	1.7	4.1	2.1	1.5
	150	4230	4.6	0.030	2.1	4.6	2.5	1.9
	200	4639	5.1	0.060	2.3	5.1	2.8	2.1
transmissie 1 cm (%)	50	100	80	<0.001	40	80	53	37
	100	100	84	<0.001	66	84	72	63
	150	100	86	<0.001	71	86	76	69
	200	100	87	<0.001	74	87	78	72
transmissie 5 cm (%)	50	100	32	<0.001	1	33	4	1
	100	100	43	<0.001	12	43	19	10
	150	100	47	<0.001	19	47	25	16
	200	100	50	<0.001	22	51	29	19

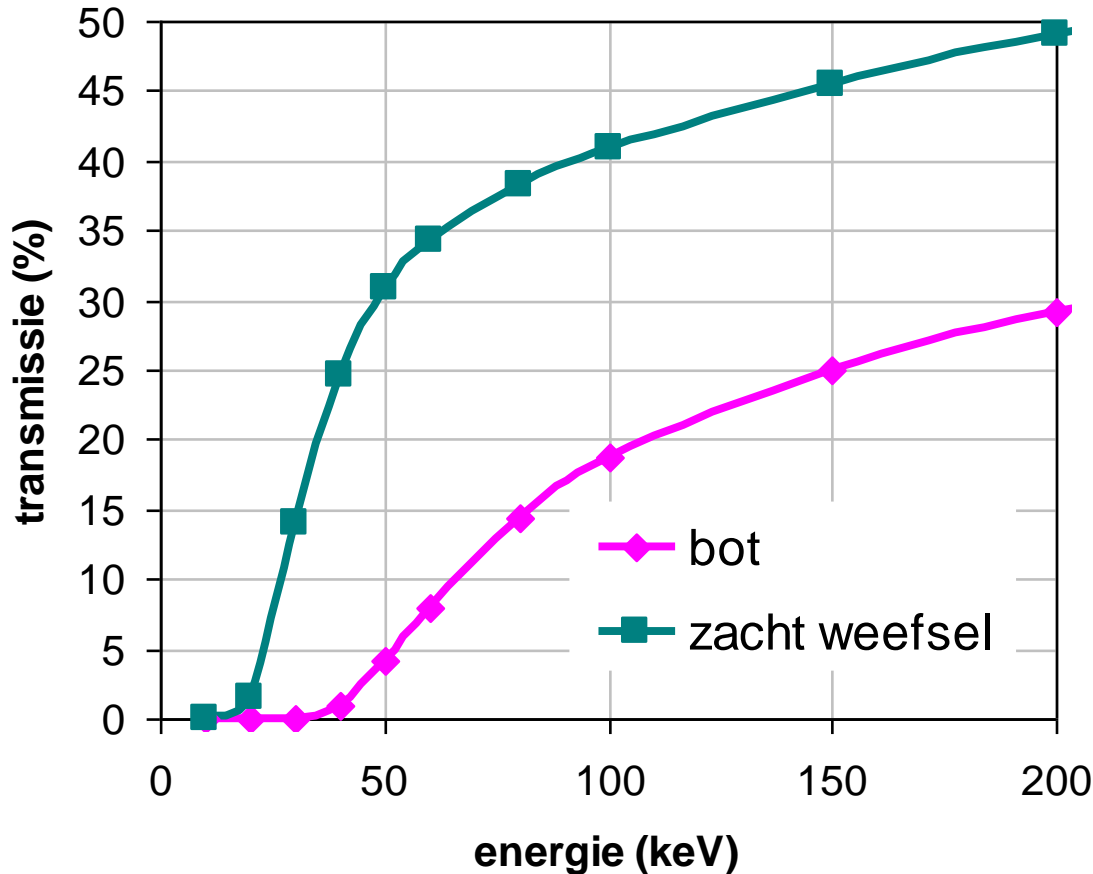
Transmissie door een loodschoot (0.2 mm dik)



Voor (gemiddeld) 50 keV is de verzwakking dus 5 x.

NB. Een Röntgenspectrum bevat fotonen van verschillende energie !!

Transmissie door weefsel (5 cm dik)



E (keV)	Verhouding weefsel/bot (contrast)
10	2.92E+69
20	2.47E+09
30	1022
40	28
50	8
60	4.3
80	2.6
100	2.2
150	1.8
200	1.7
300	1.5

Dus: lagere hoogspanning → beter contrast !!

NB. Een Röntgenspectrum bevat fotonen van verschillende energie !!

Bundelverzwakking

Vraag 10:

Een loodafscherming van 25 mm dik verzwakt γ -straling 128 x. De halveringsdikte voor deze straling is:

- a. 0.4 mm
- b. 3.6 cm
- c. 7 mm
- d. 3.6 mm

Bundelverzwakking

Verschillen tussen verzwakking van fotonen- en deeltjesbundels

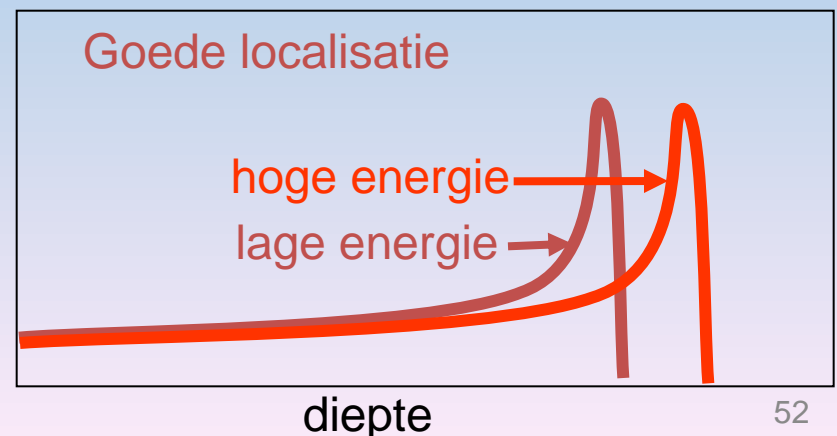
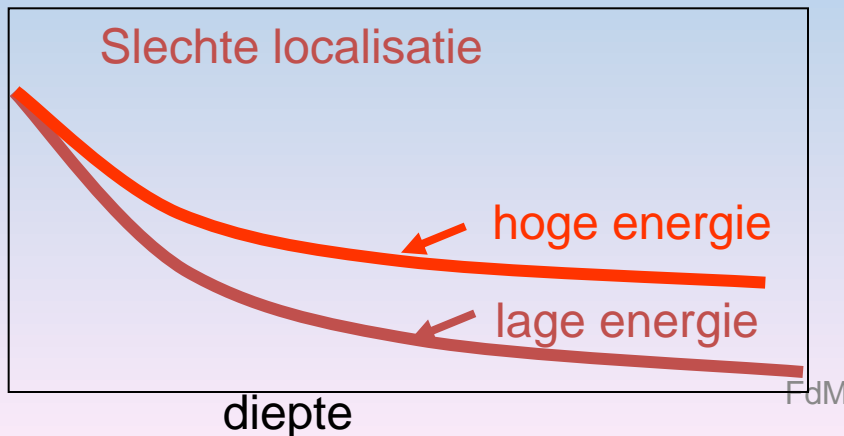
Fotonen (monochromatisch):

- 1 energie
- AANTAL fotonen neemt af
- Overblijvende fotonen houden hun oorspronkelijke energie
- Bij (Rö, γ)-spectra (polychrom.): lagere energieën verzwakken meer, dus straling wordt HARDER

Deeltjes (bv. Protonen, electronen)

- bij start: 1 energie
- ELK deeltje verliest energie, tot stilstand
- bij lagere energie: meer verlies, dus meer verzwakking
- deeltjes komen tot stilstand
- toepassing: **protonentherapie**

energie-depositie



Dosimetrie

Hoe kwantificeer je de stralingsbelasting van materialen en personen?

- Dosis (D) Gy (gray)
- equivalente dosis (H) Sv (sievert)
- effectieve dosis (E) Sv (sievert)

Dosis (D)

- “geabsorbeerde dosis” D
- hoeveelheid stralingsenergie (J) gedeponeed per massa-eenheid (kg)
- $\text{J/kg} = \text{Gy}$ (gray)

Equivalente dosis

- gray is slechte maat voor risico voor **weefsel**
- correctie voor ionisatiedichtheid nodig, afhankelijk van de stralingssoort (α , β , γ , Rö)
- “**stralingsweegfactor**” (w_R)
 - $w_R = 1$ voor β (matig doordringend)
 - $w_R = 1$ voor γ , Rö (goed doordringend)
 - $w_R = 20$ voor α (nauwelijks doordringend, compact pad)

Dosis (D) **gray** (Gy) = J/kg

Equivalente dosis (H) **sievert** (Sv) = J/kg

$$H = D \times w_R$$

Dosis vs. Equivalente dosis

Dosis (D) gray (Gy) = J/kg

$$H = D \times W_R$$

Equivalente dosis (H) sievert (Sv) = J/kg

$W_R = 1, 1, \text{ resp. } 20$ voor β, γ en Röntgenstraling, resp. α -straling

- Risico voor weefsel van 1 Gy α -straling is groter dan van 1 Gy röntgenstraling.
- Risico voor weefsel van 1 Sv α -straling en 1 Sv röntgenstraling is equivalent.

Dosisgrootheden

- **Dosis (D)** gray (Gy)
- **Equivalente dosis (H)** sievert (Sv) $H = D \times w_R$
- De equivalente dosis is specifiek per bestraald orgaan: H_T (T = “tissue”)
- Elk orgaan heeft een “weefselweegfactor” w_T
- **Effectieve dosis (E)** sievert (Sv): $E = \sum_T w_T H_T$
- (“total body”)

sommeert de bijdragen van alle bestraalde organen (met gewichtsfactoren!)

Deze Effectieve Dosis (per jaar) mag niet hoger zijn dan de (wettelijke) stralingslimieten.

Dosisgrootheden

Vraag 11 :

Welke stralingssoort geeft per eenheid van dosis (Gy) de grootste equivalente dosis (Sv)?

- a. α -straling
- b. β -straling
- c. γ -straling
- d. Röntgenstraling

Weefselweegfactoren w_T

	ICRP90	ICRP103		ICRP90	ICRP103
•gonaden	0,20		•huid	0,01	0.01
•beenmerg	0,12	0.12	•bot-oppervlak	0,01	0.01
•dikke darm	0,12	0.12	•hersens	--	0.01
•longen	0,12	0.12	•speekselklieren	--	0.01
•maag	0,12	0.12	•overige	0,05	0.12
•blaas	0,05	0.04			
•borst	0,05	0.12	•totaal	1,00	1.00
•lever	0,05	0.04			
•slok darm	0,05	0.04			
•schildklier	0,05	0.04			

Effectieve dosis (E) (“total body”)
 sommeert de (gewogen) bijdragen
 van alle bestraalde organen.

$$E = \sum_T w_T H_T$$

Effectieve dosis: voorbeeld

Hand in Röntgenbundel:

Huid dosis door Röntgenstraling: 1 Gy

Bereken de effectieve dosis (“total body”).

gegeven: $w_{\text{huid}} = 0.01$

- Equivalente dosis $H_T = 1 \text{ Gy} \times 1 = 1 \text{ Sv}$ ($w_R = 1$)
- Effectieve dosis $E = 1 \text{ Sv} \times 0,01 = 0,01 \text{ Sv}$ ($w_T = 0.01$)

1 Sv huid \Rightarrow zelfde risico als 0,010 Sv total body

10 mSv is onder de limiet voor effectieve dosis

- Maar: **1 Gy huid \Rightarrow deterministische effecten**

Weefselweegfactoren w_T

Voorbeeld:

Iemand ontvangt 100 μGy α -straling op de gonaden en 200 μGy γ -straling op de maag.

Vraag: Hoe hoog is de Effectieve Dosis?

$$E = \sum_T w_T H_T$$

Antwoord:

- Equiv. dosis op de gonaden $H_{\text{gon}} = w_{R,\text{gon}} \cdot D_{\text{gon}} = 20 * 100 = 2000 \mu\text{Sv}$
- Equiv. dosis op de maag $H_{\text{maag}} = w_{R,\text{maag}} \cdot D_{\text{maag}} = 1 * 200 = 200 \mu\text{Sv}$
- Totaal: $E = w_{T,\text{gon}} \cdot H_{\text{gon}} + w_{T,\text{maag}} \cdot H_{\text{maag}} =$
 $= 0.20 * 2000 + 0.12 * 200 =$
 $= 400 + 24 = 424 \mu\text{Sv}$

Weefselweegfactoren w_T

Vraag 12 :

De weefselweegfactor is een maat voor:

- a. De relatieve gevoeligheid van het orgaan voor stochastische (kansgebonden) effecten
- b. Idem voor deterministische (niet-kansgebonden) effecten
- c. De door het orgaan geabsorbeerde hoeveelheid straling
- d. De gewogen dichtheid van het orgaan
- e. De soort straling (α , β , γ , ...)

Effectieve dosis

Vraag 13 :

De effectieve dosis is:

- a. De equivalente dosis voor het orgaan, maal de weefselweegfactor voor dat orgaan
- b. De som van de gewogen effectieve doses voor alle organen (gewogen met de weefselweegfactor)
- c. Als b), maar dan alleen voor de bestraalde organen
- d. Als b), maar dan de som van de gewogen equivalente doses voor alle organen.

Veel of weinig straling?

<u>effect</u>	<u>equiv.dosis</u>	<u>ontvangen in</u>
LD ₅₀	10 Sv	korte tijd
voelbare schade	1 Sv	korte tijd
aantoonbare schade	200 mSv	korte tijd
dosislimiet (A-werknemers)	20 mSv per jaar	
natuurlijke straling	2 mSv	per jaar

<u>soort effect</u>	<u>kans</u>	<u>ernst</u>	<u>dosis</u>	<u>voorbeeld</u>
stochastisch	afh. dosis	100 %	alle	Leukemie, genetisch
deterministisch	100 %; drempel !	afh. dosis	> 1 Gy	Staar, syndromen, “stralingsziekte”

Oude eenheden

- geabsorbeerde dosis
 - Rad: “radiation absorbed dose”
 - $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$
- equivalente dosis
 - Rem: “röntgen equivalent man”
 - $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

Meetmethoden

Ionisatie:

(electron wordt weggeschoten, kan electricch worden gedetecteerd)

Gas

(Geiger-Müller) telbuis

Vooral α , β ;
 γ , R \ddot{o} mits
hoge intens.

Vaste stof
(vgl. lichtsensor")

Camera

α , β , γ , R \ddot{o}

Excitatie:

(electron gaat naar hogere schil, en zendt bij terugval licht uit)

Direct

Scintillatie-
detector

γ , R \ddot{o}

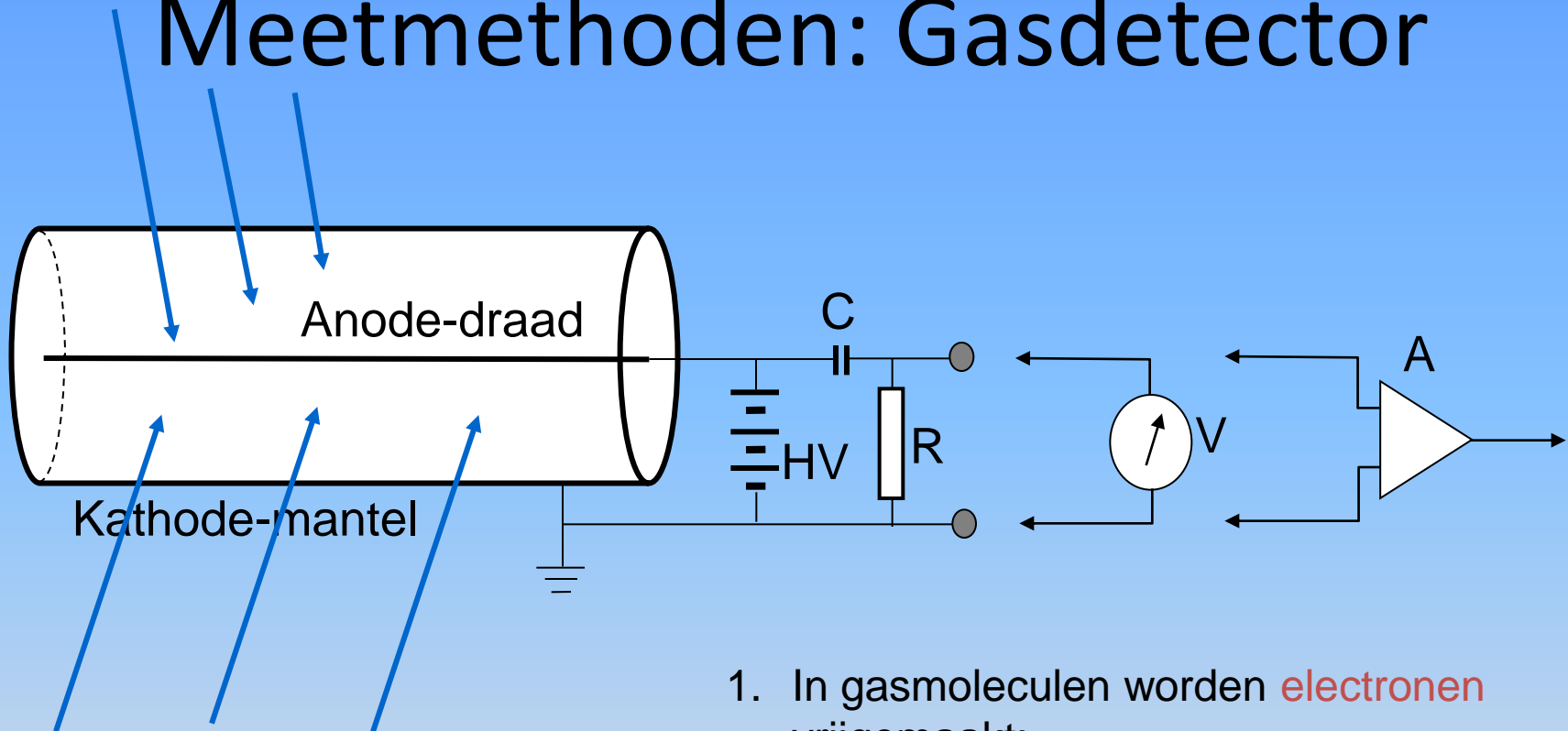
Multichannel γ -
spectrometer

Pas na
verwarming

Thermolumi-
nescentie:
TLD

Persoons-
dosimetrie

Meetmethoden: Gasdetector



HV = hoogspanning

C = scheidingscondensator

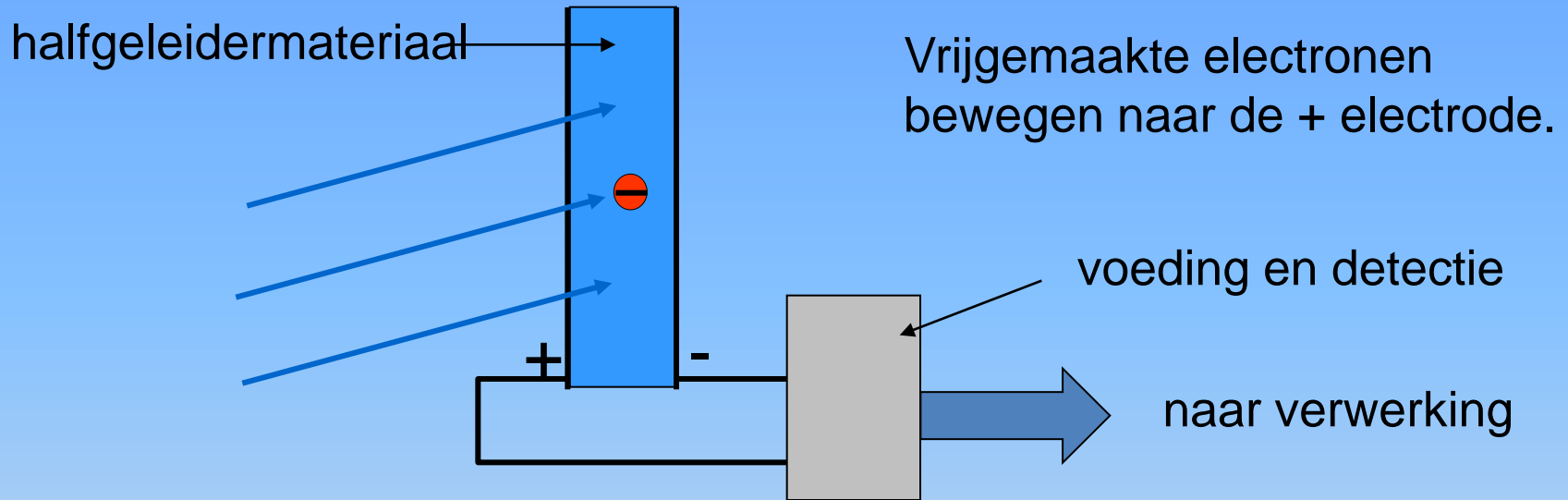
R = weerstand

V = (volt-) meter

A = amplifier naar computer

1. In gasmoleculen worden **electronen** vrijgemaakt;
2. Electronen bewegen naar **+ draad**;
3. Resterende **gasionen** bewegen (langzamer) naar **- mantel**;
4. De **- lading** op de draad vloeit af als **stroom** door weerstand;
5. **Spanning over weerstand** meetbaar.

Meetmethoden: Vaste-stofdetector

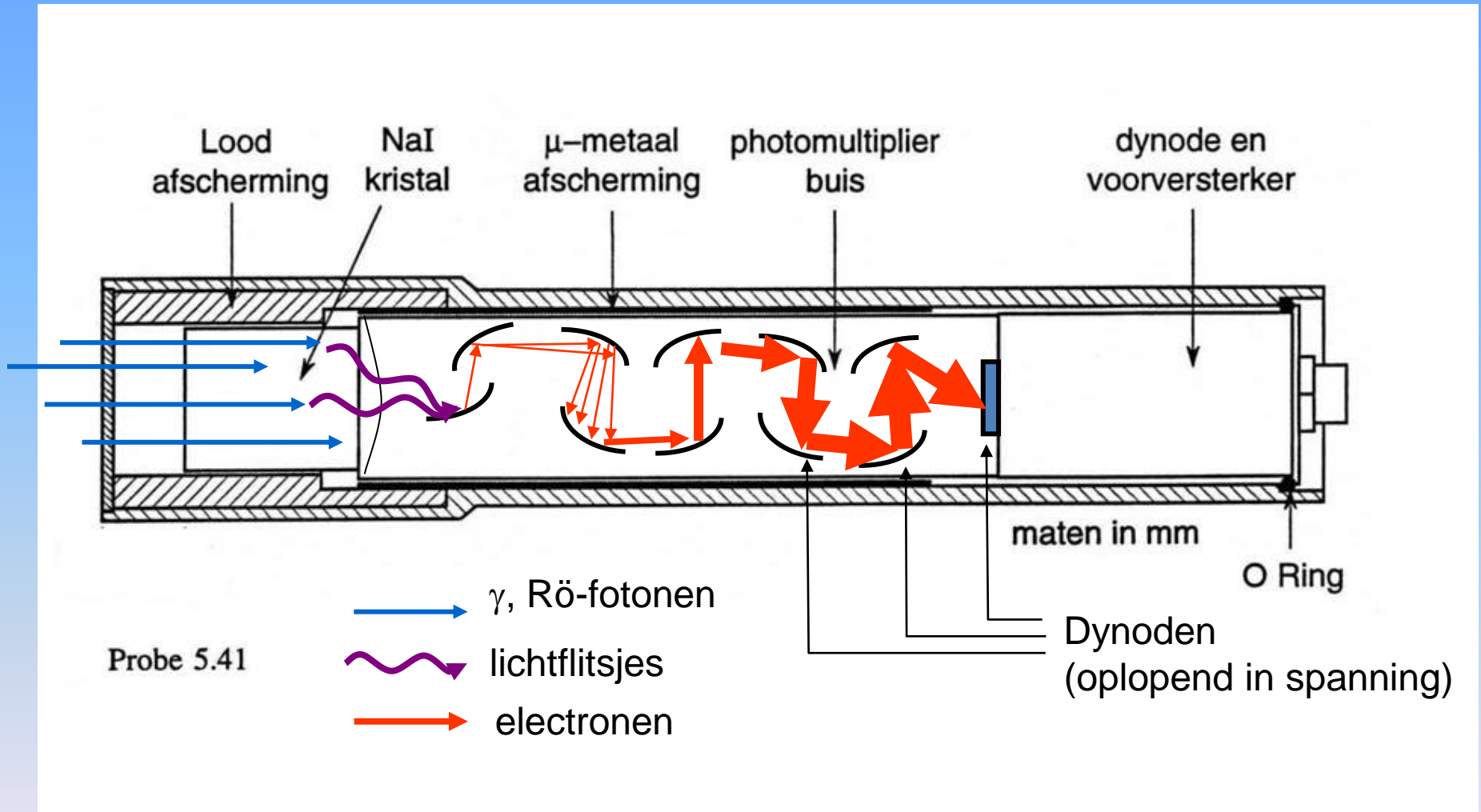


Camera-detectie:

Vele kanaaltjes naast elkaar, met eigen toe- en afvoerdraden.

Uitlezing als CCD-camera.

Meetmethoden: Scintillatiedetector



Meetmethoden

Vraag 14 :

Een detector meet bij een ijkbron van 50 Bq een intensiteit van 2200 cpm. Een onbekende bron geeft een telsnelheid van 49000 cpm. De achtergrond bedraagt 1000 cpm. Wat is het rendement van de detector?

- a. 25 %
- b. 40 %
- c. 80 %
- d. 100 %

Vraag 15 :

Wat was de activiteit van de onbekende bron?

- a. 100 Bq
- b. 250 Bq
- c. 500 Bq
- d. 800 Bq
- e. 1 kBq
- f. 2 kBq
- g. 4 kBq

Meetmethoden: Meetfout

Stel meting $N = 400$ cpm (tel/minuut)

Dan standaard meetfout $\Delta N = \sqrt{400} = 20$ cpm
(standaardafwijking)

Notatie: **$N = 400 \pm 20$ cpm**

Netto = bruto – achtergrond

maar:

Fout in netto = fout in bruto **+** fout in achtergrond

Besmetting en Bestraling

Welke mogelijkheden voor stralings schade zijn er?

1. Inwendige besmetting
2. Uitwendige bestraling
3. Uitwendige besmetting

Inwendige besmetting

1. Inname activiteit **A** [Bq]
 - via ingestie
 - via inhalatie
 - anders, bv. Injectie, via huid
2. Dosiscoëfficiënt **e(50)** [Sv/Bq] (*)
Internationaal getabelleerd voor elk nuclide
3. Equivalente jaardosis **E(50)** [Sv]

$$E(50) = e(50) \cdot A$$

4. Overschrijdt jaardosis de jaarlimiet?

Inwendige besmetting, voorbeeld

$$E(50) = e(50) \cdot A \quad [Sv] = [Sv/Bq] \cdot [Bq]$$

Iemand morst 100 MBq ^{99m}Tc op een labtafel.

Geschat wordt dat hij 1 % inademt en 10 % op zijn handen krijgt. In de consternatie vergeet hij zijn handen te wassen alvorens te gaan eten. Hoeveel kan de equivalente jaardosis bedragen?

- a. 22 μSv
- b. 240 μSv
- c. $22.2 \times 10^{-5} \text{ Sv}$
- d. 0.222 mSv

^{99m}Tc : $e(50)$ voor inhalatie = $2.0 \times 10^{-11} \text{ Sv/Bq}$
voor ingestie = $2.2 \times 10^{-11} \text{ Sv/Bq}$

Antwoord: b).

$$\text{Inhalatie: } 2.0 \times 10^{-11} \times 1\% \times 10^8 = 2 \times 10^{-5} \text{ Sv}$$

$$\text{Ingestie: } 2.2 \times 10^{-11} \times 10\% \times 10^8 = \underline{22 \times 10^{-5}}$$

$$\text{Totaal}_{\text{FdM}} \quad 24 \times 10^{-5} \text{ Sv} = 240 \mu\text{Sv}$$

Inwendige besmetting, voorbeeld

Vraag 16 :

Iemand drinkt in een C-lab, hoewel dit ten strengste verboden is, een glaasje water. Het glas was echter besmet. Er was 0.1 cm^3 achtergebleven van een oplossing van 100 MBq/cm^3 van een nuclide waarvan $e(50)$ voor ingestie = $2 \times 10^{-10} \text{ Sv/Bq}$. Bepaal de effectieve dosis.

- a. 20 mSv
- b. 0.2 mSv
- c. 2 mSv
- d. 1 mSv

Uitwendige bestraling

Equivalentente dosis H [Sv] :

~ activiteit A [Bq]

(2x zo veraf → 4 x zo weinig)

~ $1/r^2$ (afstand r tot bron)²

~ transmissie afscherming T
= afh. nuclide

(soort straling, $T_{1/2}$, energie..)
→ constante

~ tijd t

$$H = T \cdot \text{const.} \cdot \frac{A}{r^2} t$$

Dit leidt tot **vuistregels** (“mega-micro-regels”):

Op 30 cm afstand, zonder afscherming, geldt:

$$\beta: \quad H \text{ } [\mu\text{Sv/h}] = 100 A \text{ } [\text{MBq}]$$

$$\gamma, \text{Rö:} \quad H \text{ } [\mu\text{Sv/h}] = 2 A \text{ } [\text{MBq}]$$

Uitwendige bestraling, voorbeeld

Vuistregels (“mega-micro-regels”):

Op 30 cm afstand, zonder afscherming, geldt:

$$\beta: \quad H \quad [\mu\text{Sv/h}] = 100 \quad A \quad [\text{MBq}]$$

$$\gamma, \text{Rö}: \quad H \quad [\mu\text{Sv/h}] = 2 \quad A \quad [\text{MBq}]$$

Wat is gevaarlijker? 1 uur op 3 m afstand van een β -bron van 100 MBq, geen afscherming, of 1 dag op 1.5 m afstand van een γ -bron van 100 MBq, afscherming 50 %?

- De β -bron
- De γ -bron
- Gelijk
- Niet te bepalen, want het nuclide is niet bekend.

Antwoord: a).

$$\beta: 100 \times 100 \times (1/10)^2 \times 100\% \times 1 \text{ h} = 10000 / 100 \times 1 \times 1 = 100 \mu\text{Sv}$$

$$\gamma: 2 \times 100 \times (1/5)^2 \times 50\% \times 24 \text{ h} = 200 / 25 \times 0.5 \times 24 = 96 \mu\text{Sv}$$

Uitwendige bestraling, voorbeeld

Vraag 17 :

Voor een bron met een bepaalde γ -energie levert 5 mm lood een verzwakking van 50 %. Men moet echter een verzwakking tot 10 % bereiken. Er is 10 mm lood beschikbaar. Welke van onderstaande maatregelen zult u nemen?

- a. die 10 mm lood zijn voldoende
- b. 10 mm lood en verdubbeling van de afstand
- c. 5 mm lood en verdubbeling van de afstand
- d. geen lood, maar drie keer zo grote afstand

Besmetting en Bestraling, voorbeeld

Vraag 18 :

In een laboratorium wordt een uitgebreide besmetting over meerdere m² geconstateerd met een vloeibaar nuclide (zachte β 's; $T_{1/2} = 10$ min.).
Wat moet men doen?

- a. Alle besmette apparatuur en meubilair in het laboratorium volgens de regels schoonmaken.
- b. Het laboratorium gedurende een etmaal (24 uur) afsluiten.
- c. Het laboratorium gedurende een etmaal zeer goed ventileren.
- d. De besmette apparatuur afvoeren als radioactief afval.

Uitwendige besmetting

Vuistregel voor β - besmetting:

$$H = 2 \text{ mSv/h bij besmetting van } 1 \text{ kBq/cm}^2$$

Bij het hanteren van een injectiespuit met 40 MBq ^{18}F krijgt de medewerker 10 % op de hand. Geschat wordt dat een oppervlakte van 5 cm² besmet is. Pas na een kwartier kan de medewerker de handen schoonmaken.

Bereken de maximale equivalente dosis.

Antwoord:

$$\begin{aligned} 10\% \times 40000 \text{ kBq} / 5 \text{ cm}^2 \times (2 \text{ mSv/h per kBq/cm}^2) &= \\ = 4000 / 5 \times 2 &= 1600 \text{ mSv/h} \end{aligned}$$

Een kwartier lang: 1600 mSv/h x ¼ h = 400 mSv.

Veel te veel!!!

Antwoorden op de vragen

1	d	11	a
2	d	12	a
3	a	13	d
4	a	14	b
5	b	15	f
6	b	16	c
7	b	17	b
8	c	18	c
9	b		
10	d		