Neutronenstraling

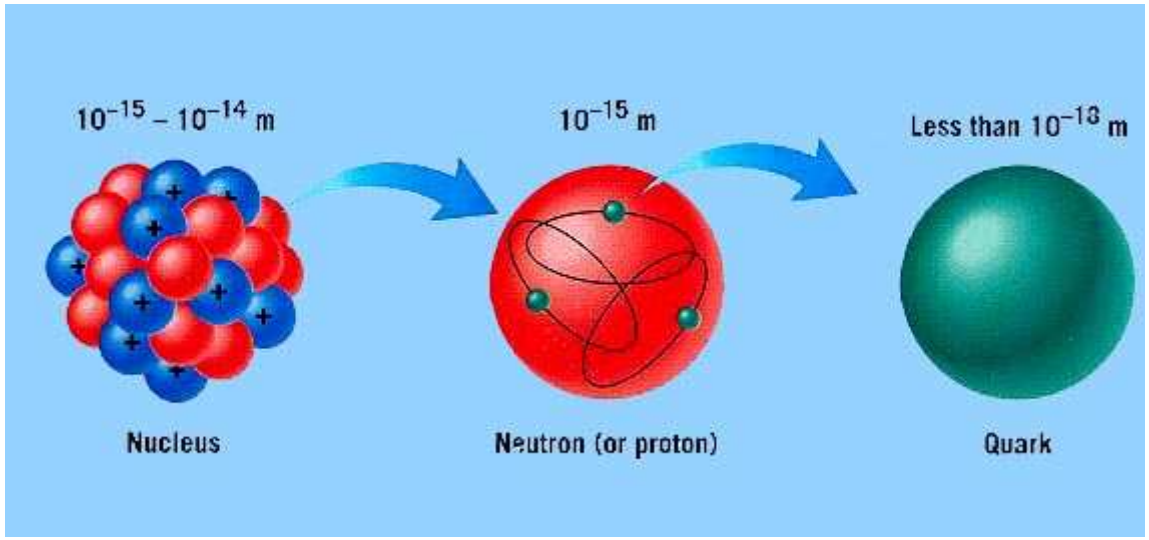
Wout Moerman

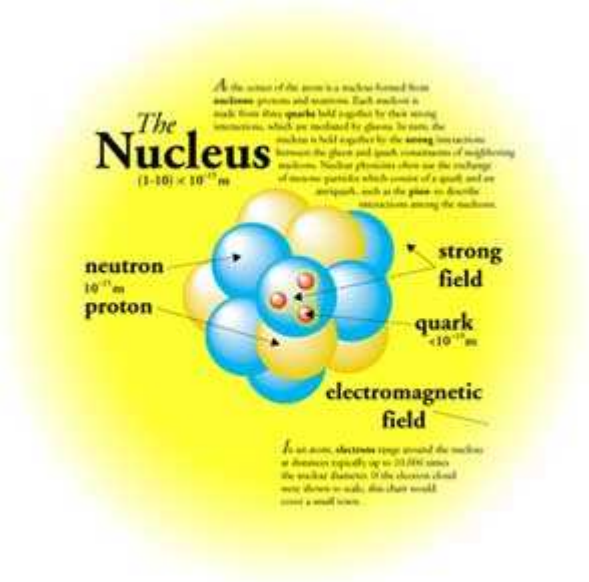
Radboud Universiteit Nijmegen

Waar komen ze voor

bouwstenen van de atoomkernen

- nauwelijks “los” in de natuur
  - uit heelal/zon
  - 46 /cm^{2}h
  - 9 nSv/h





Hoe maak je ze

- Ze ontstaan als los neutron door o.a:
- (α,n) reactie $^{241}Am \rightarrow {}^{237}Np + \alpha + {}^{9}Be \rightarrow {}^{12}C + n$
- (γ,n)reactie $^{226}Ra \rightarrow {}^{222}Rn + \gamma + \alpha + {}^{9}Be \rightarrow n + 2\,\alpha$
- Spontane splijting $^{252}Cf \rightarrow {}^{??}X + {}^{??}Y + n$
- Geinduceerde splijting $n + {}^{235}U \rightarrow {}^{??}X + {}^{??}Y + n$
- Fusie $^{2}H + {}^{3}H \rightarrow {}^{4}He + n$

Verval

het neutron is niet stabiel

- het neutron heeft een halveringstijd van 11 minuten.
- β^- met E_{max}=0,78 MeV

Soorten

• Relativistisch	> 20 MeV
• Snel	200 keV - 20 MeV
• Middelsnel (epithermisch)	0,5 eV – 200 keV
• Langzaam	< 0,5 eV
• Thermisch	=25 meV (= milli !)

Interactie-mechanismen

- splijting
- botsing
- vangst

Relativistische neutronen

- E > 20 MeV
- voldoende energie om kernen te splijten:
  - “spallatie”
  - Hoge LET-straling ontstaat

- Bindingsenergie kerndeeltjes ~8 MeV

Snelle neutronen (2)

E = 200 keV - 20 MeV

- voornamelijk elastische botsing:
  - energie overdracht
- overdracht afhankelijk van
  - relatieve massa's van de botsende deeltjes
  - manier van botsen (centrale botsing, schampen, ..)

Snelle neutronen (1)

E = 200 keV - 20 MeV

- Soms inelastische botsing:
  - Aangeslagen kern → gammastraling

Epithermische neutronen

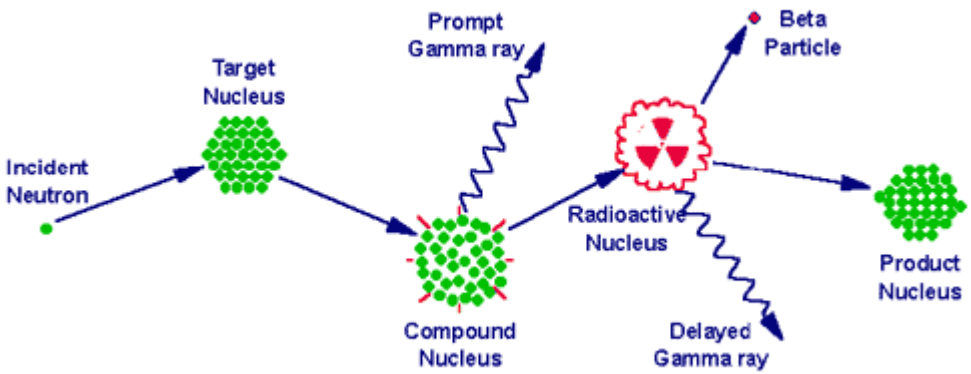
E = 0,5 eV – 200 keV

- middelsnel
- Voornamelijk elastische botsing
- Detectie is moeilijk

Langzame neutronen

Langzame neutronen: E < 0,5 eV

- voornamelijk ingevangen door atoomkernen.
- Hierbij kunnen één of meer deeltjes worden uitgezonden:
  - α, p, n, γ
  - Voorbeeld: ^{10}B (n, α) ^{7}Li
- De achterblijvende kern kan radioactief zijn:
  - Activering
- Sommige kernen:
  - splijting



Thermische neutronen

- E = $25 \cdot 10^{-3}$ eV
  - Snelheid 2,2 km/s
- Voornamelijk ingevangen door atoomkernen
  - Productie andere, inactieve kernen

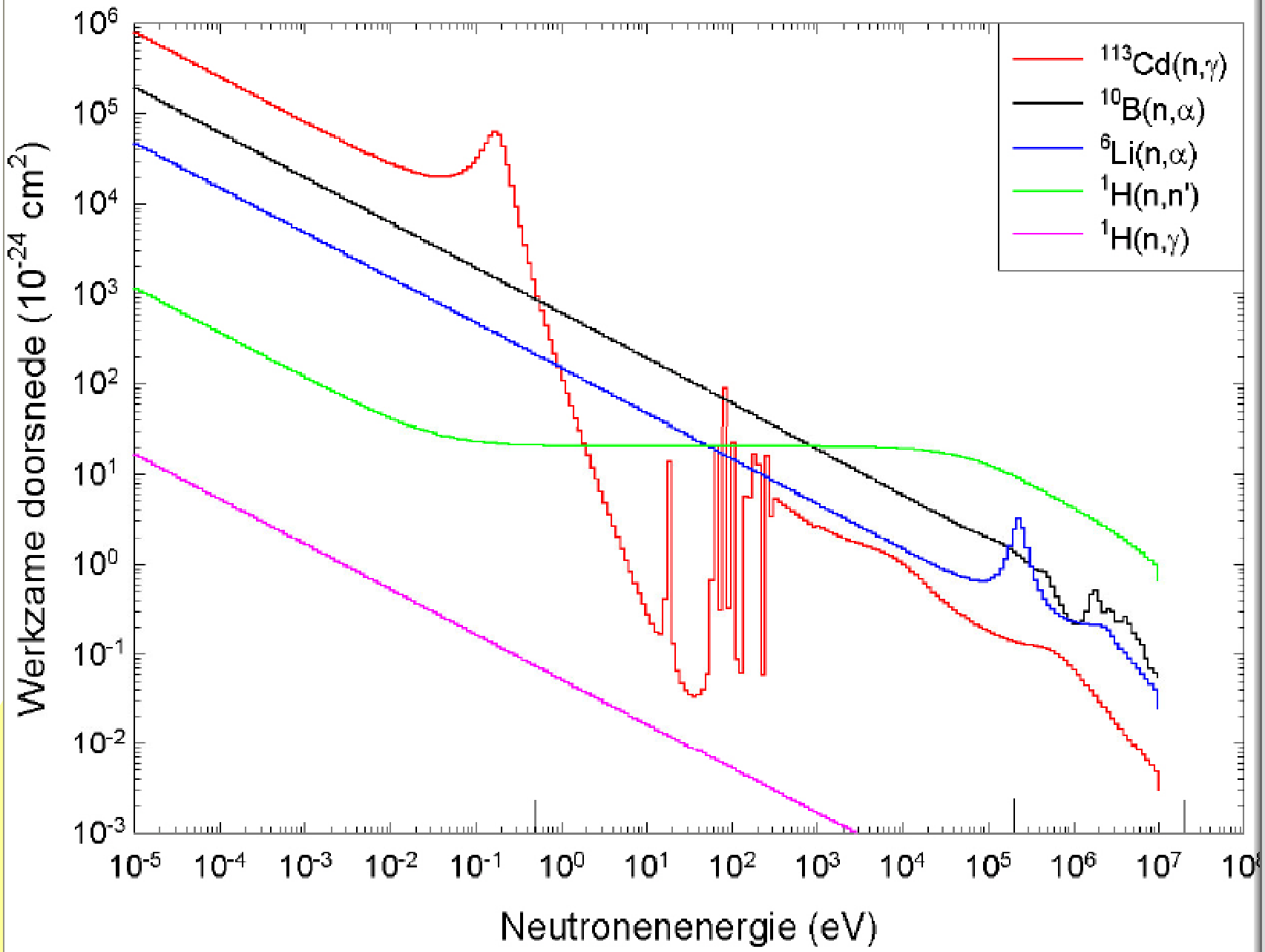
$$\dot{P} = N\sigma\varphi$$

De achterblijvende kern kan radioactief zijn:

- Activering

$$A = \frac{\dot{P}}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t})$$

Werkzame doorsneden voor neutronen interacties



Dosis

De energie afgifte via:

- recoilkernen (vooral protonen, hoge LET)
- vangstgamma's.

- Hoogenergetische neutronen is de dosis voornamelijk
  - dosis 90% door protonen
  - grote stralingsweegfactor

- Thermische neutronen
  - dosis 90% door vangstgamma's

Neutronen

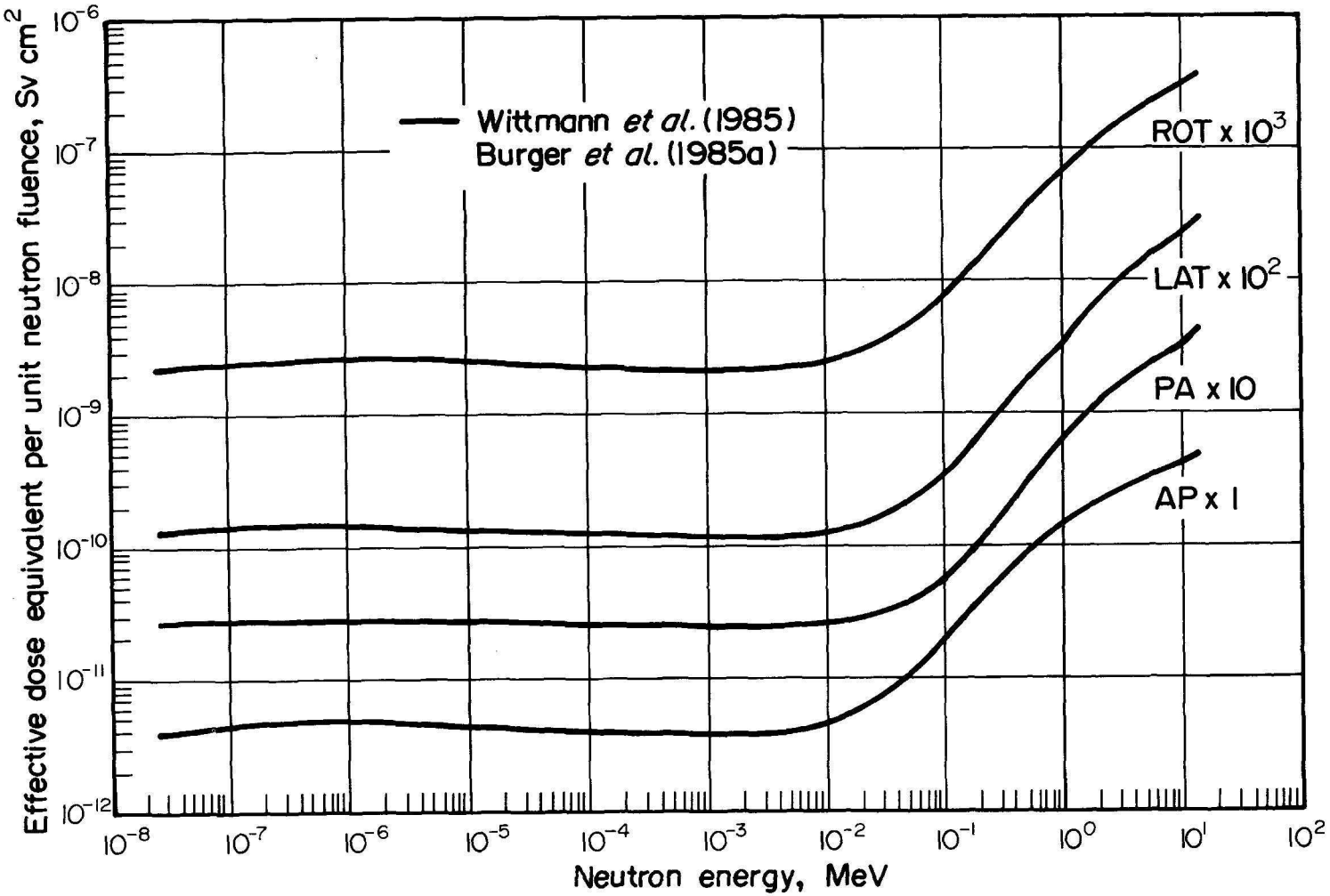


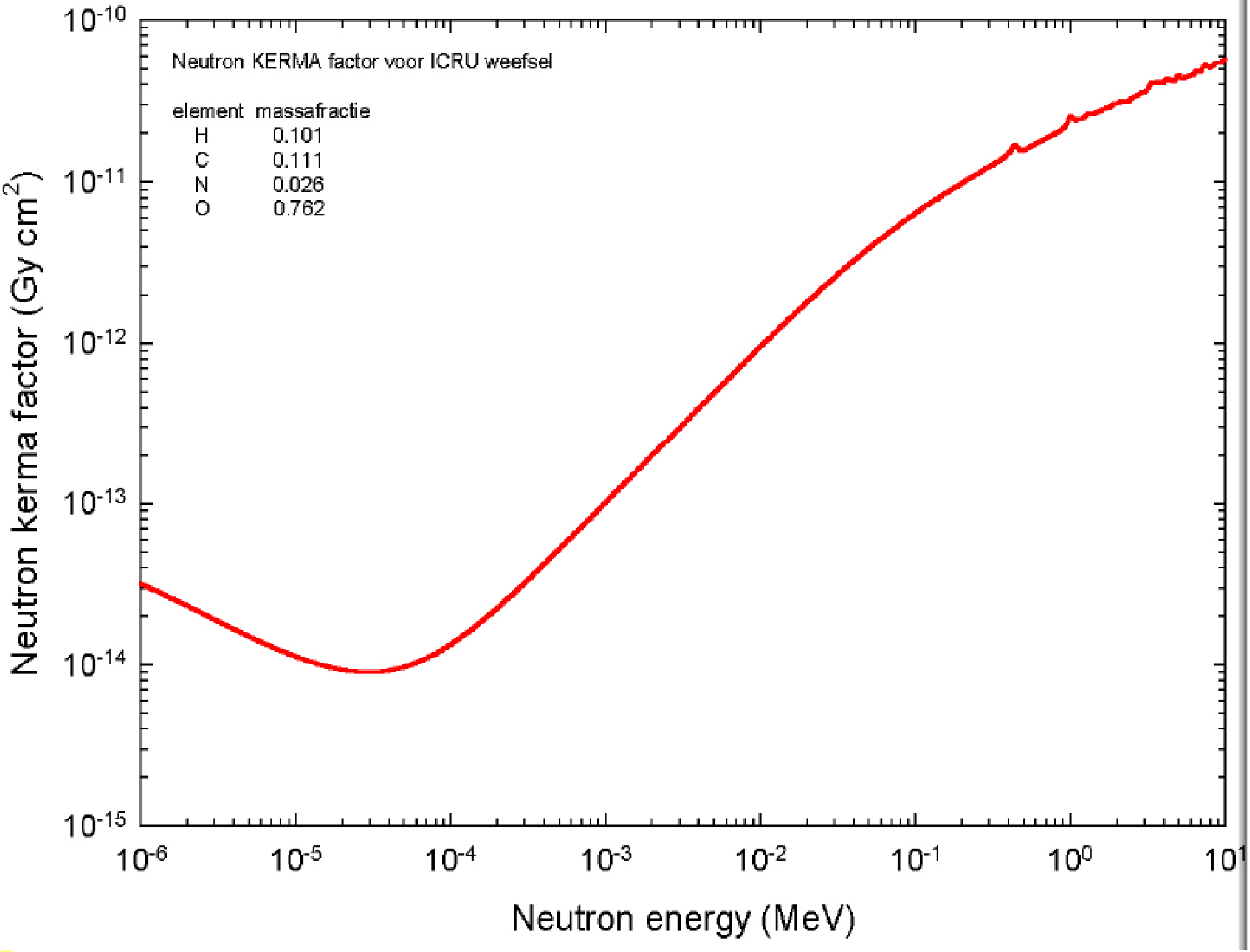
Fig. 17. Effective dose equivalent per unit fluence for neutrons incident in various geometries on an anthropomorphic phantom. See footnotes to Table 17 for further information.

Geabsorbeerde dosis en Kerma

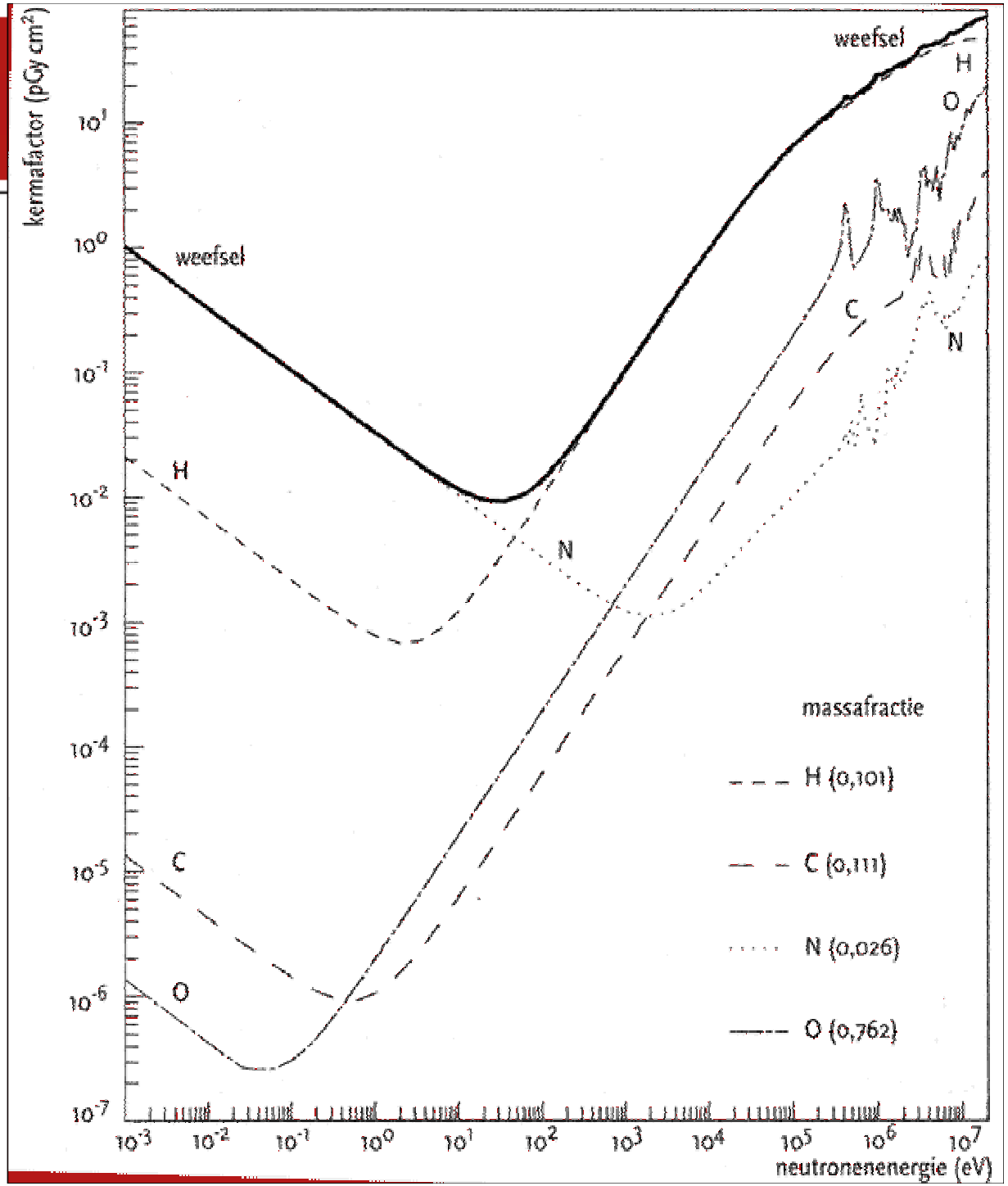
$D = \Phi\ E\ \mu_{en}/\rho$

- bij geladen deeltjes evenwicht

$K = \Phi\ E\ \mu_{tr}/\rho$


Neutron KERMA factor voor ICRU weefsel
element massafractie
H 0.101
C 0.111
N 0.026
O 0.762
Neutron kerma factor (Gy cm2)
10-10
10-11
10-12
10-13
10-14
10-15
10-6
10-5
10-4
10-3
10-2
10-1
100
101
Neutron energy (MeV)

Figuur 4-17: kermafactoren bij neutronen



Biologisch effect

- Voor stochastische effecten kan de stralingsweegfactor worden gebruikt.
- Voor weefselreacties moet de RBE voor het betreffende effect worden gebruikt.

Neutronen

ICRP Publication 103

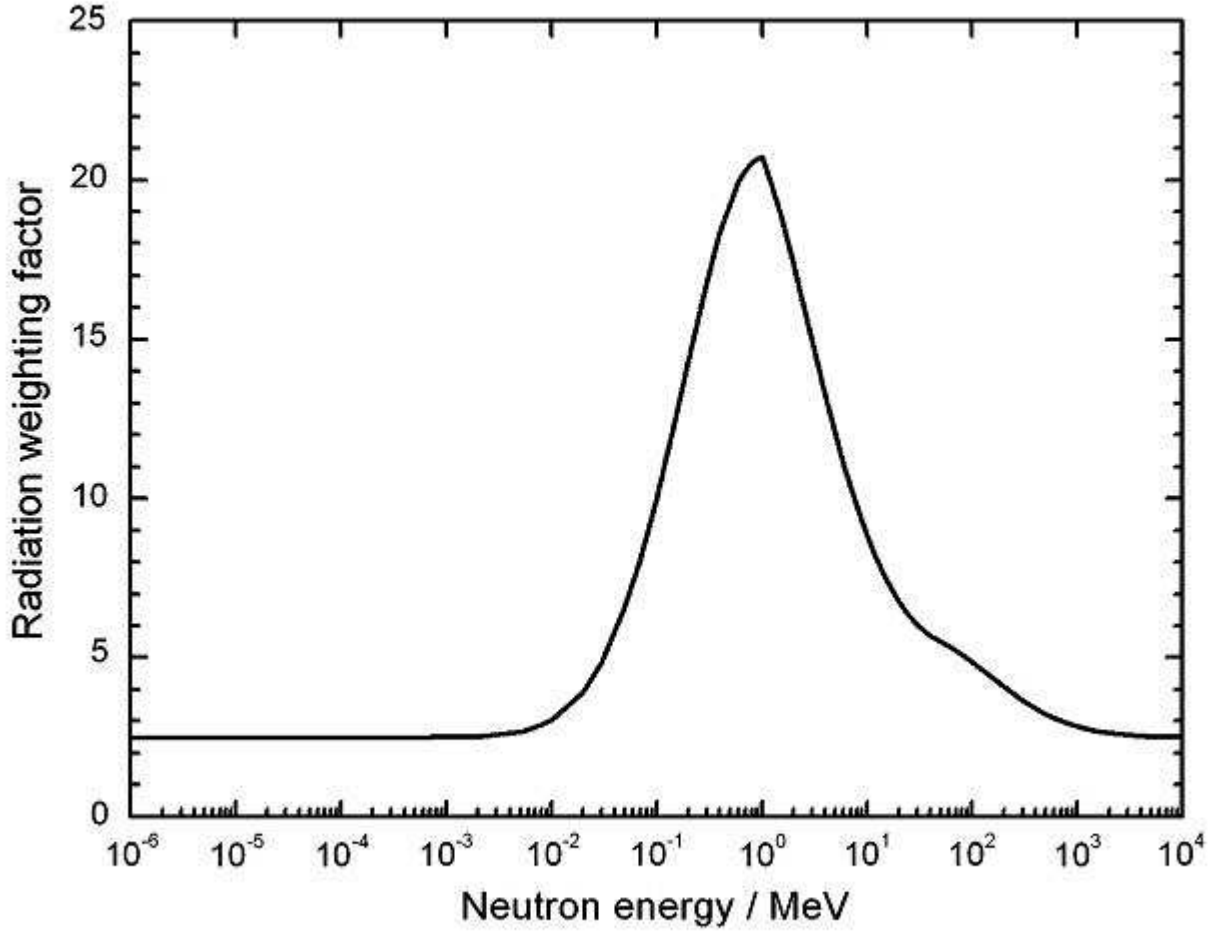
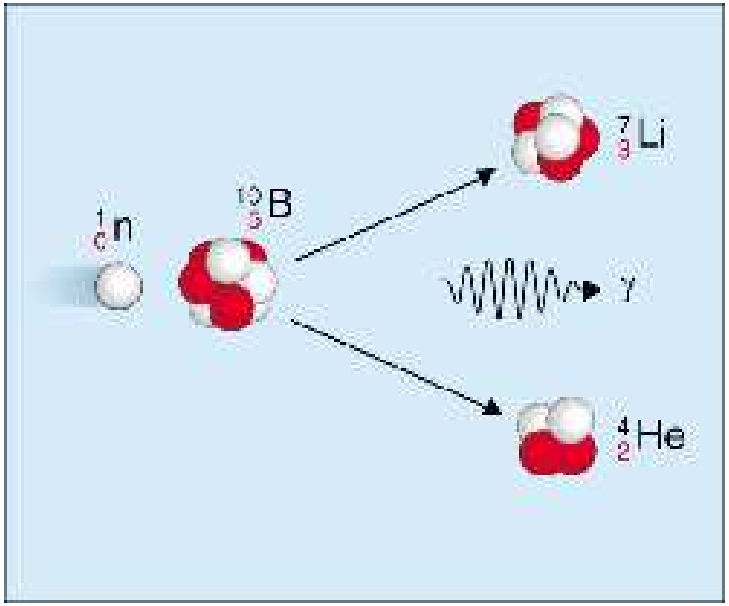


Fig. 1. Radiation weighting factor, w_R, for neutrons versus neutron energy.

Detectie

- Door kernreactie
  - (n, α), op ^{10}B of
  - (n,p) op ^{3}He

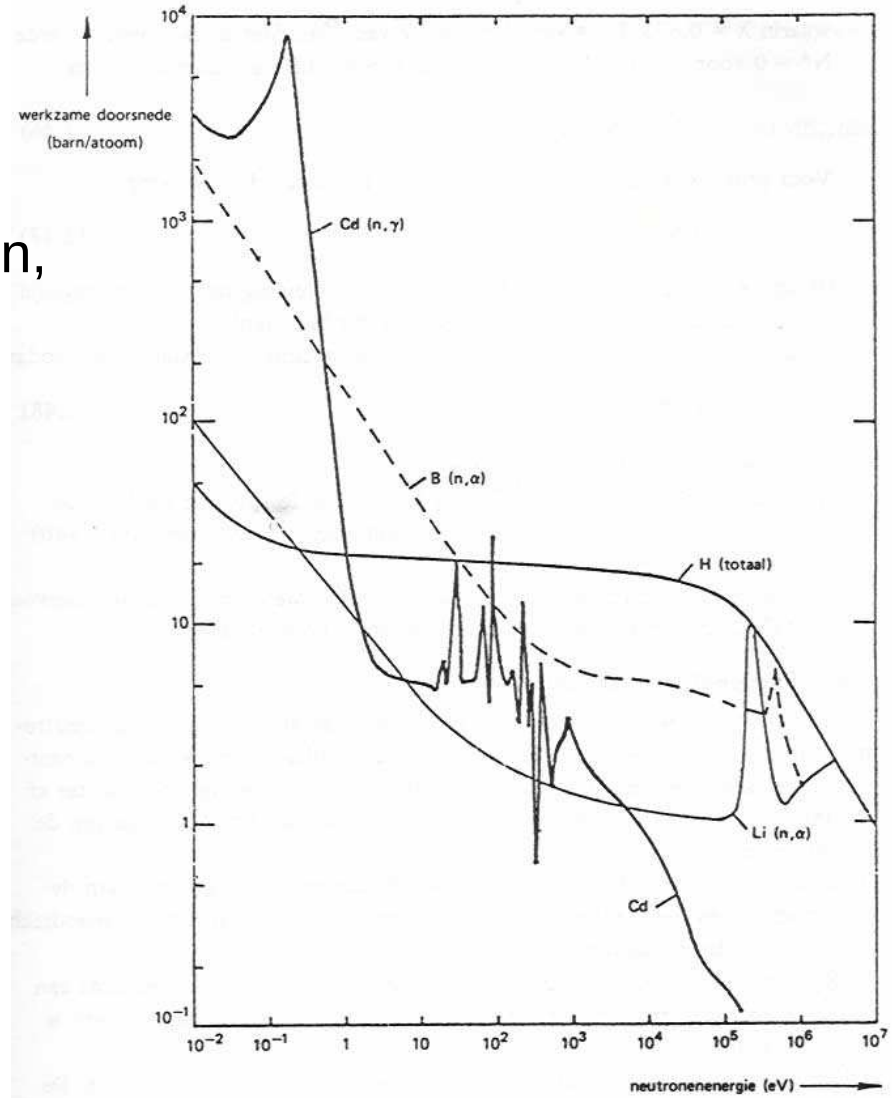


Detectie

- Werkzame doorsnede
  - groot voor thermische neutronen
  - neemt af bij toenemende energie
  - Detectie sterk energieafhankelijk

Neutronen

- Werkzame doorsnede
  - Vaak uitgedrukt in barn,
  - 1 barn 10^{-28} m^2

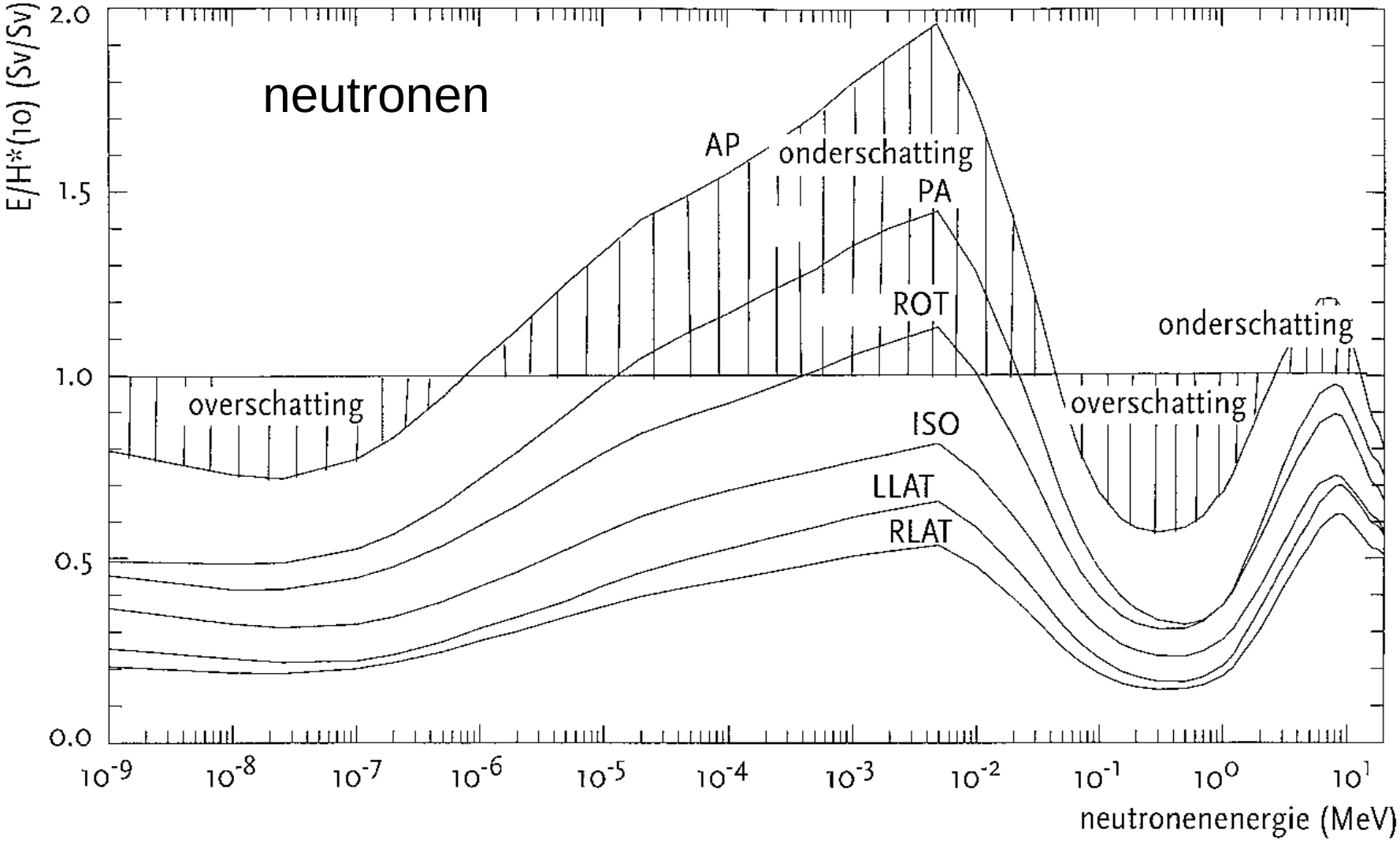


Detectie

- Aanwijzing zo mogelijk in Sv
- De conversiecoëfficiënt varieert van 4 tot ca 500 pSvcm^2 over het energiegebied (thermisch tot 10 MeV)
- Een juiste response
  - Telbuis omgeven door:
    - moderatoren
    - afscherming

$H^*(10) \neq E$

Neutronen



Afscherming

Afscherming in twee stappen:

1. moderatie (energie terugbrengen tot thermisch)
2. vangst

Moderatie

- Moderatie van 2 MeV naar 0,025 eV:
  - Water: 19 botsingen
  - Zuurstof: 150 botsingen
  - Uranium: 2172 botsingen

- meest effectief in waterstofhoudende materialen: water, polyethyleen

Neutronen

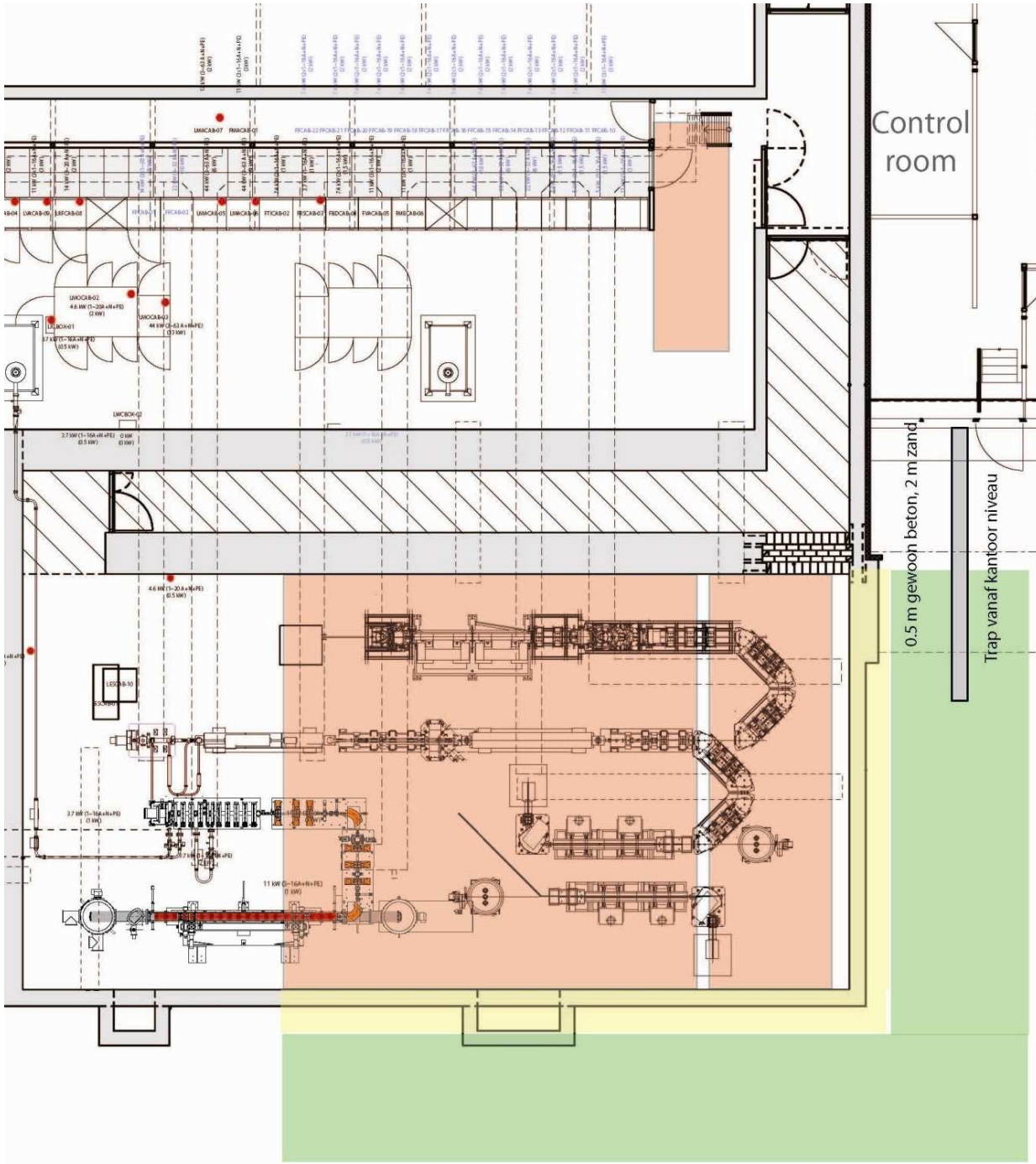
Vangst

- Geen activering in
  - Waterstof
  - Zuurstof
  - Stikstof

Bijzonderheden

- Gedrag lijkt soms op gas
- Skyshine

- Altijd fotonen-productie
  - activering
  - excitatie


Control room
Office area
0.5 m gewoon beton, 2 m zand
Trap vanaf kantoor niveau

vragen

?