

Gamma en neutron afscherming

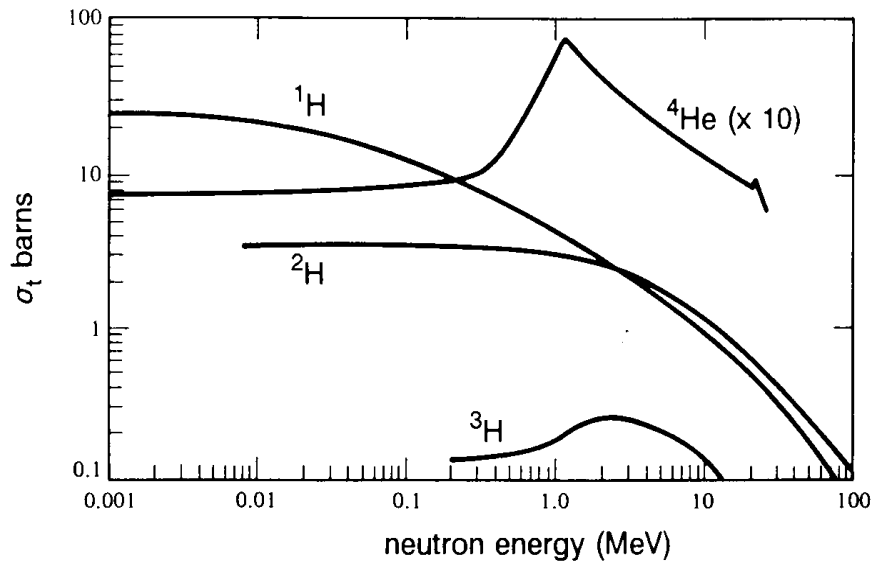
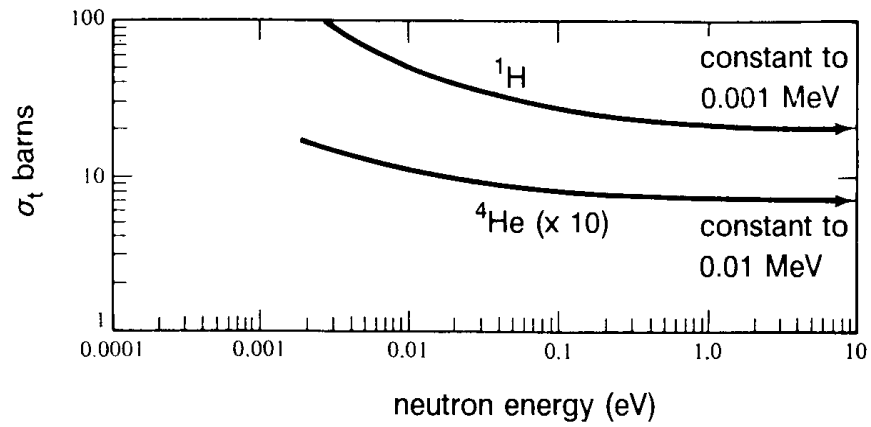
Jan Leen Kloosterman

Interfacultair Reactor Instituut

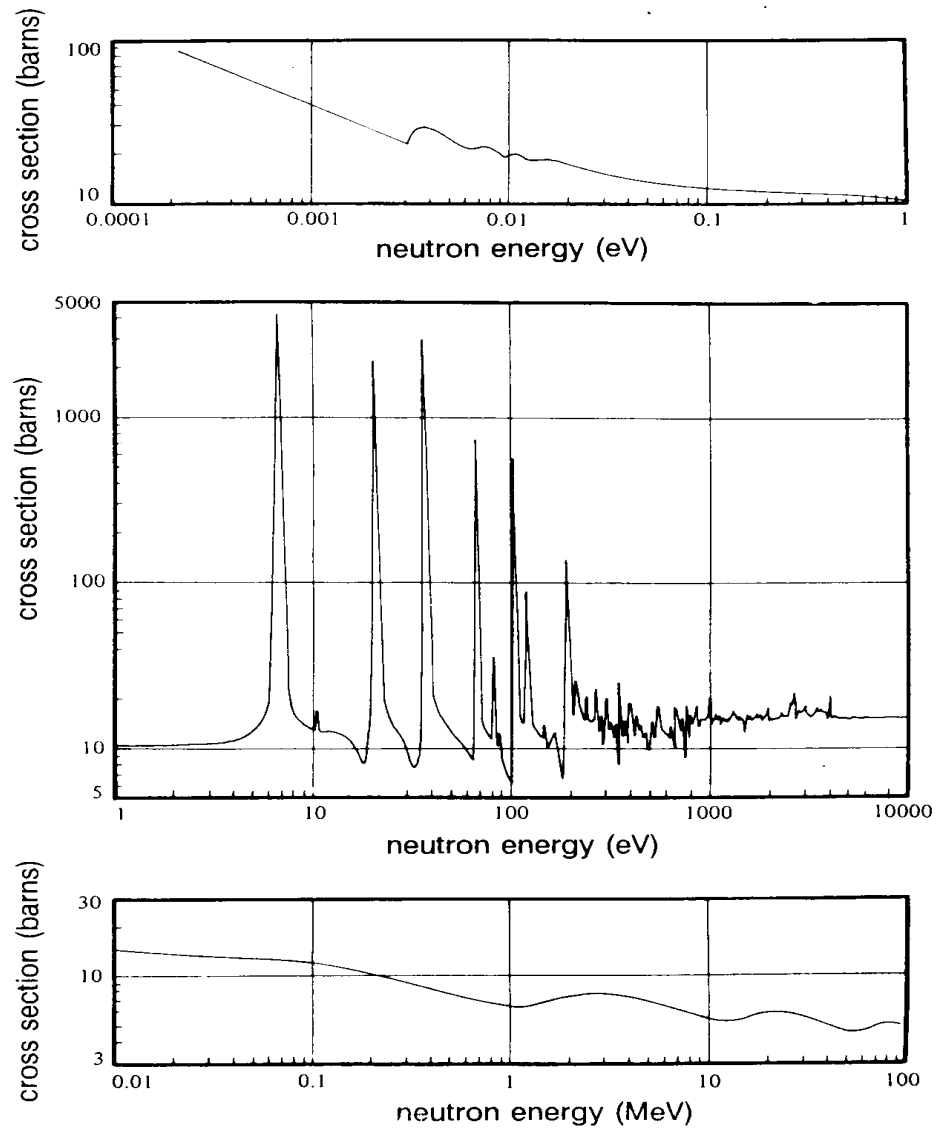
Technische Universiteit Delft

Verschillen gamma's-neutronen

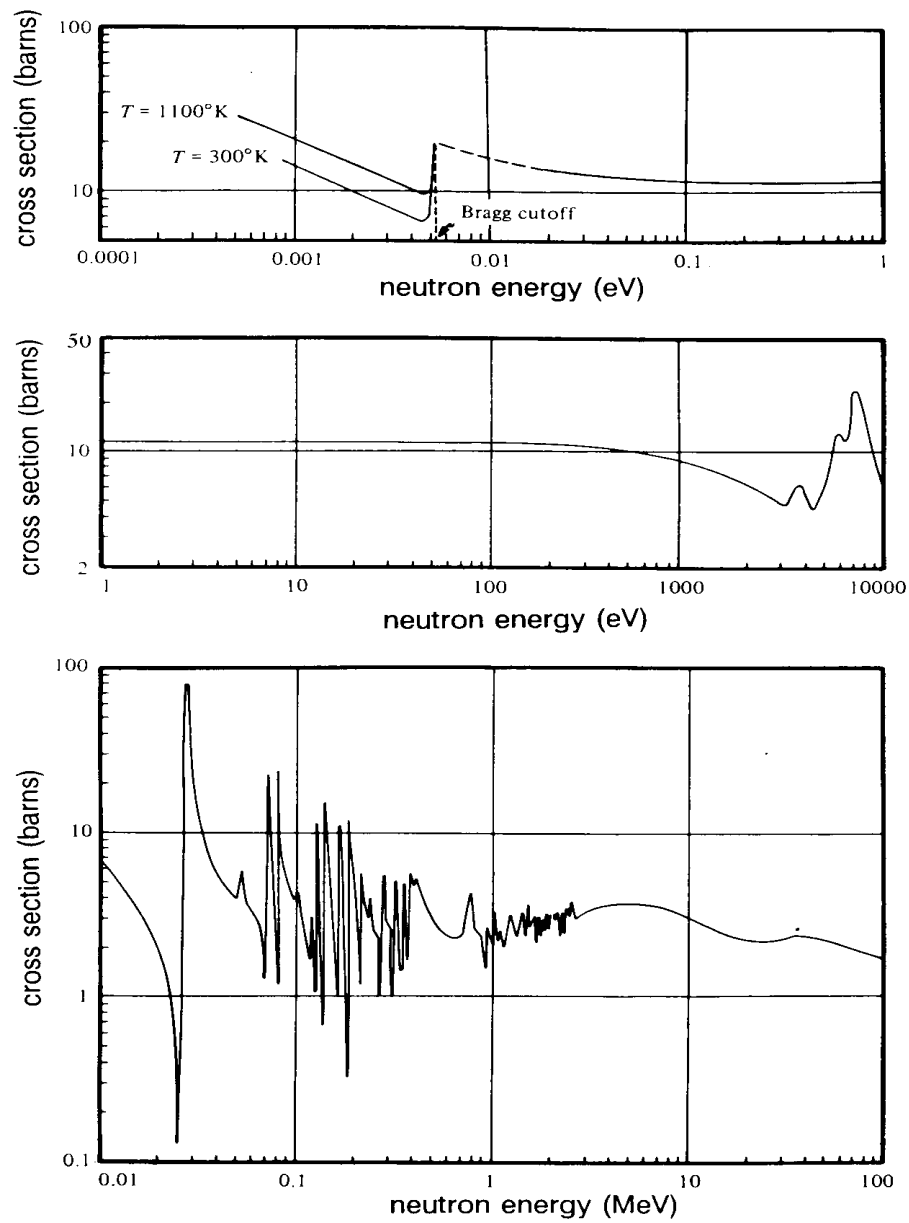
- Gamma's hebben interactie met atoom**schil**
 - Foto-elektrisch effect
 - Compton verstrooiing
 - Paarvorming
- Neutronen hebben interactie met atoom**kern**
 - Elastische verstrooiing
 - Inelastische verstrooiing
 - Neutronvangst: (n, γ)
 - 'Exotische' reacties: $(n, 2n)$, (n, p) , (n, d) , (n, t) , (n, α) , ..



Figuur 2.6. Totale werkzame doorsnede voor neutroneninteracties van enige lichte kernen.



Figuur 2.7. Totale werkzame doorsnede van ^{238}U voor neutroneninteracties.



Figuur 2.8. Totale werkzame doorsnede van Fe voor neutroneninteracties.

Verstrooiing

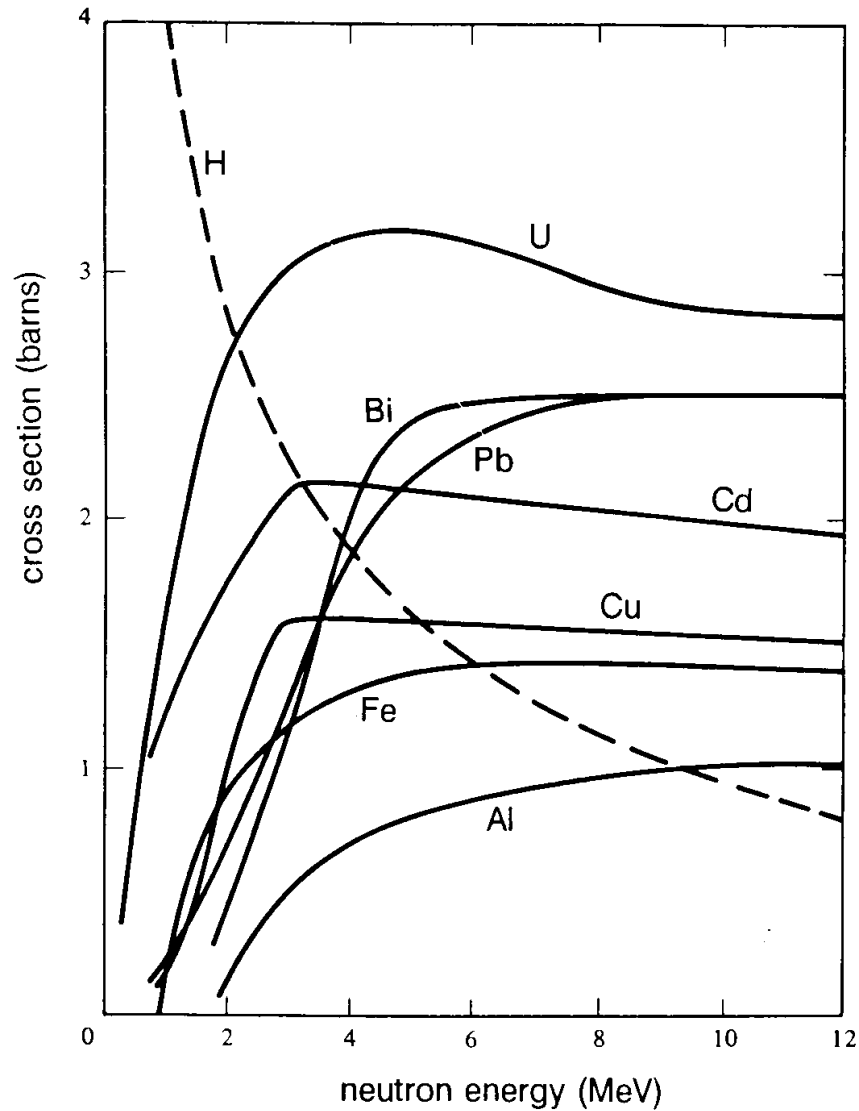
- Vooral voor $E > 0.5 \text{ MeV}$
- Verstrooiing bestaat uit:
 - Vangstverstrooiing (neutron wordt opgenomen in kern)
 - inelastisch: kern blijft in aangeslagen toestand achter $\rightarrow \gamma$'s !
 - elastisch: kern blijft achter in grondtoestand
 - Potentiaalverstrooiing (interactie met gehele kern).
 - Altijd elastisch
 - doorsnede gelijk aan geometrische doorsnede reactorkern
- Behoud van energie en momentum

Isotrope verstrooiing in het MMP systeem

$$\sigma_s(E \rightarrow E') = \frac{\sigma_s(E)}{E(1-\alpha)}$$

$$\alpha = \left(\frac{A-1}{A+1} \right)^2$$

$$\xi = \overline{\ln \frac{E}{E'}} = 1 + \frac{\alpha \ln \alpha}{1-\alpha}$$



Figuur 2.10. Inelastische strooidoorsnede voor een aantal nucliden. Ter vergelijking is met een streepjeslijn de strooidoorsnede van waterstof weergegeven.

Neutronvangst

- Vangstgamma's
 - hoge energie (tot 10 MeV)
- Activeringsgamma's
 - lagere energie, wel belangrijk!



Vangstgamma's

0-8 MeV

momentaan

Activeringsgamma's

1.17 en 1.33 MeV

$T_{1/2} = 5.23 \text{ a}$

Transport van neutrale deeltjes

- **Onverstrooide** flux rond mono-energetische bron:

$$\Phi_0(r) = Q \frac{\exp(-\mu r)}{4\pi r^2}$$

- Met verschillende afschermingslagen:

$$\Phi_0(r) = \frac{Q}{4\pi r^2} \exp\left(-\int_0^r \mu(r') dr'\right)$$

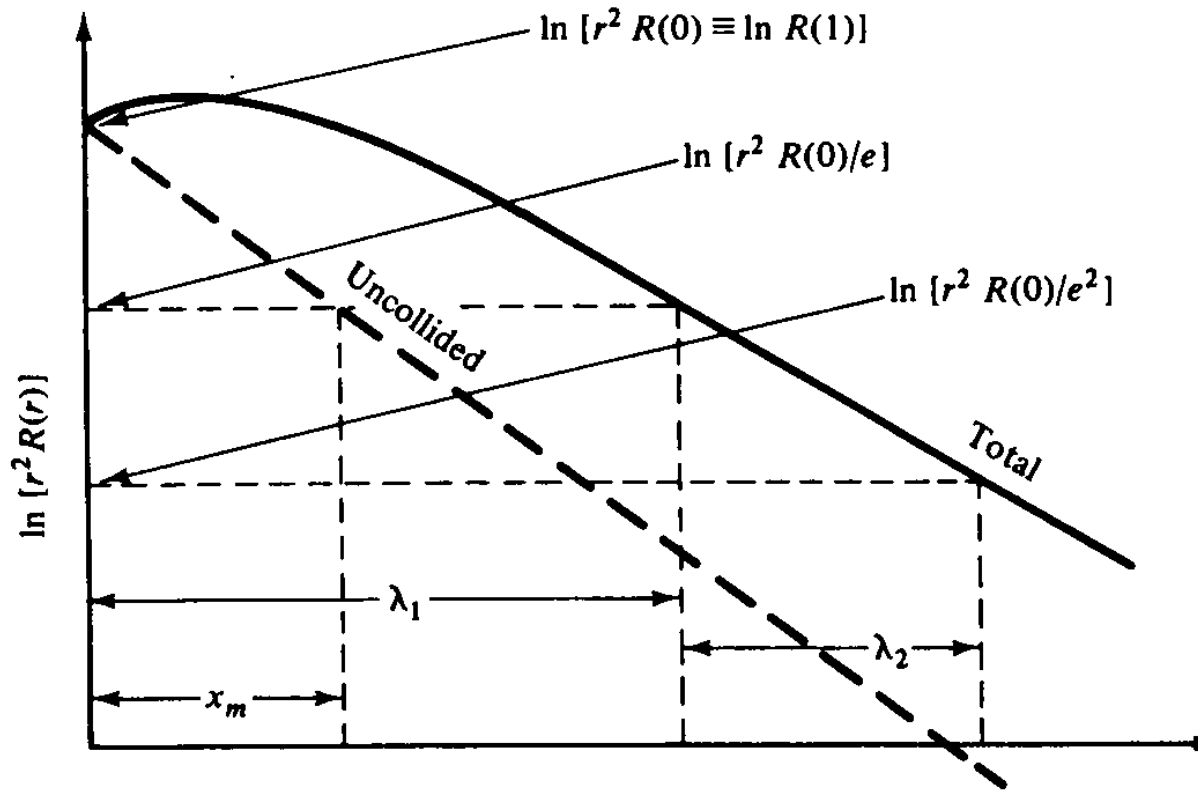
Transport van neutrale deeltjes

- **Verstrooide** flux rond mono-energetische bron met verschillende afschermingslagen:

$$\Phi_0(r) = B \left(\int_0^r \mu(r') dr' \right) \frac{Q}{4\pi r^2} \exp \left(- \int_0^r \mu(r') dr' \right)$$

- **Dosistempo** rond mono-energetische bron met verschillende afschermingslagen:

$$\Phi_0(r) = B' \left(\int_0^r \mu(r') dr' \right) \frac{UQ}{4\pi r^2} \exp \left(- \int_0^r \mu(r') dr' \right)$$

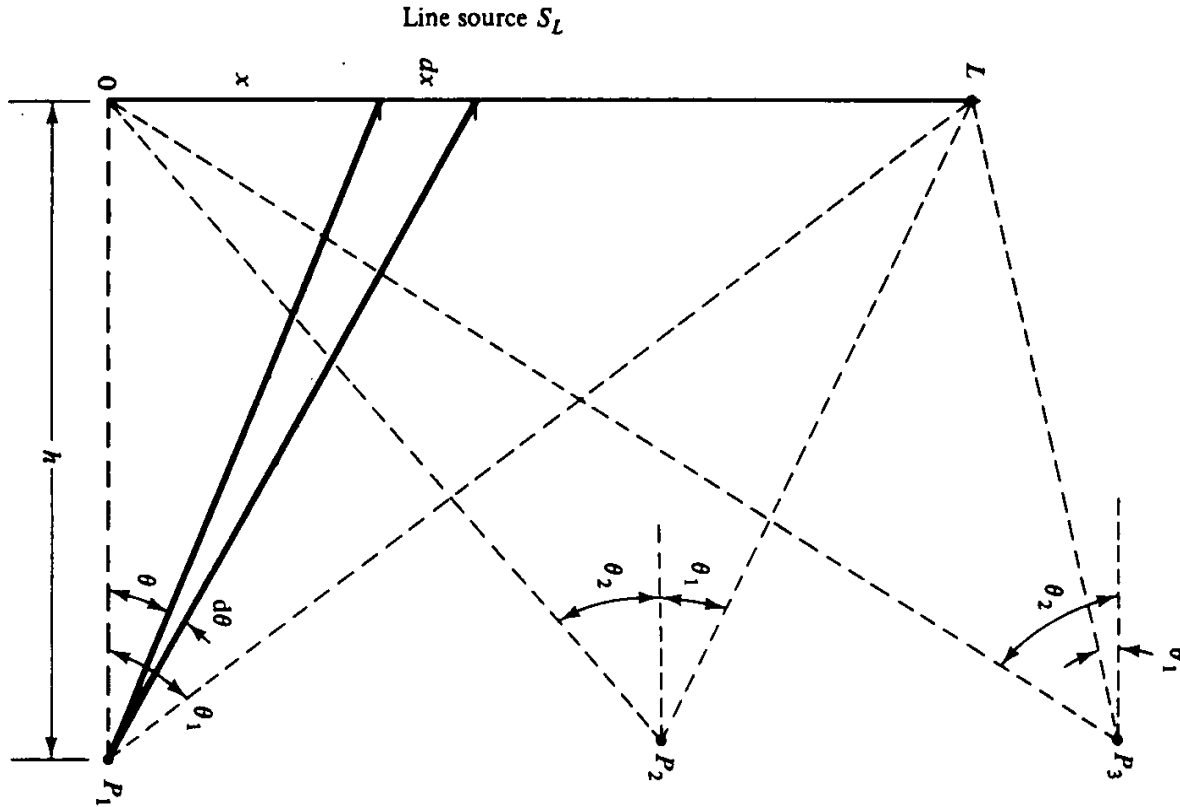


Figuur 4.1. Het product van r^2 en de detectorresponsie voor mono-energetische deeltjes van een isotrope puntbron in een homogeen oneindig medium.

Op grote afstand van de bron kan de detectorresponsie worden beschreven met een effectieve relaxatielengte λ_{eff}

$$\Phi (r) \sim \frac{\exp \left(-r / \lambda_{eff} \right)}{r^2}$$

Stralenganalyse lijnbron



Figuur 4.2. Isotrope rechte-lijnbron in een niet-verzwakkend medium.

Isotrope lijnbron in vacuüm

$$\phi_o(\mathbf{P}_1) = \int_0^{\theta_1} \frac{S_L}{4\pi h} d\theta = \frac{S_L \theta_1}{4\pi h}$$

$$\phi_o(\mathbf{P}_2) = \frac{S_L(\theta_1 + \theta_2)}{4\pi h}$$

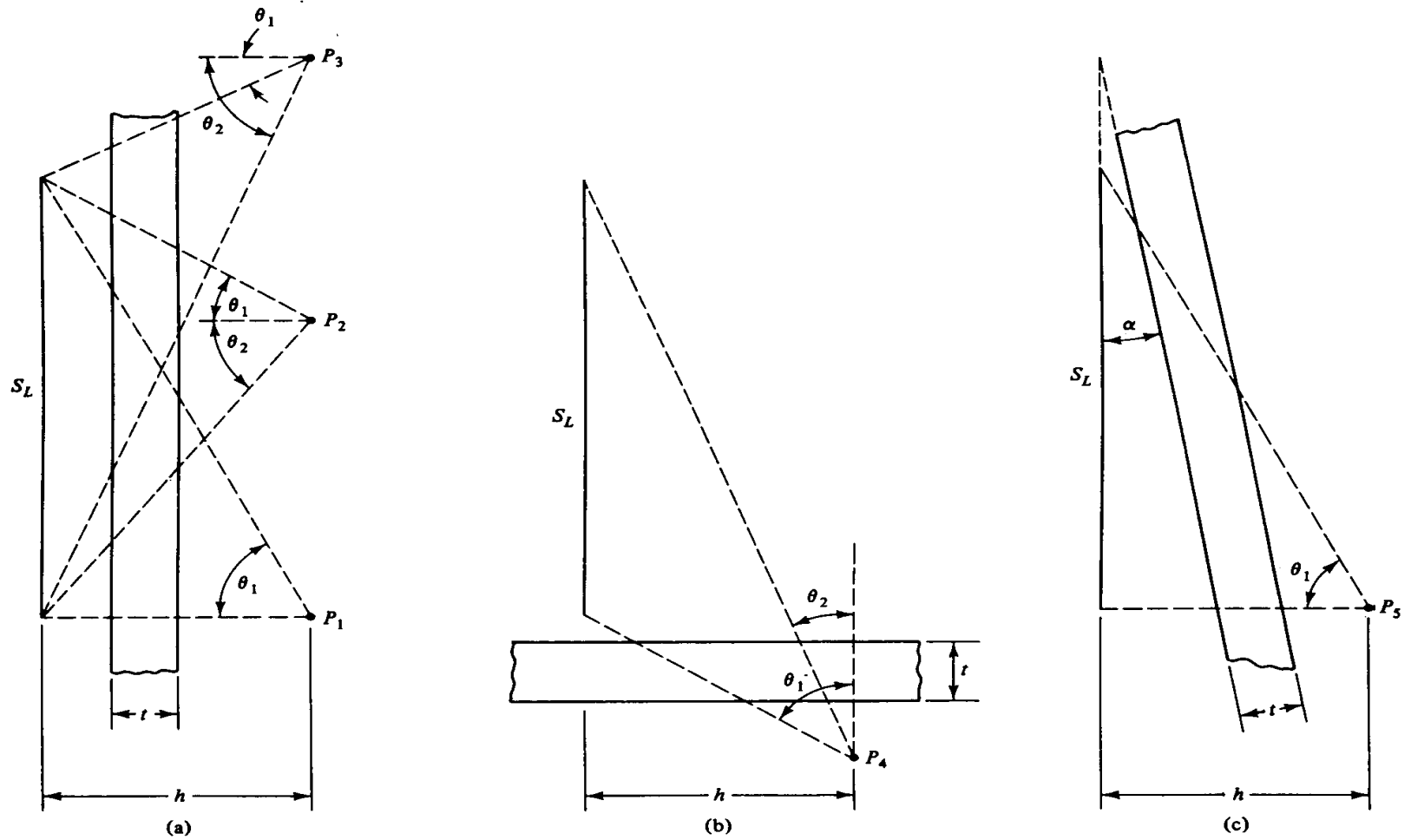
$$\phi_o(\mathbf{P}_3) = \frac{S_L(\theta_2 - \theta_1)}{4\pi h}$$

Isotrope lijnbron met afscherming

$$\phi_0(\mathbf{P}_1) = \frac{S_L}{4\pi h} \int_0^{\theta_1} e^{-\mu h \sec \theta} d\theta = \frac{S_L}{4\pi h} F(\theta_1, \mu t)$$

$$\phi_0(\mathbf{P}_2) = \frac{S_L}{4\pi h} (F(\theta_1, \mu t) + F(\theta_2, \mu t))$$

$$\phi_0(\mathbf{P}_3) = \frac{S_L}{4\pi h} (F(\theta_2, \mu t) - F(\theta_1, \mu t))$$



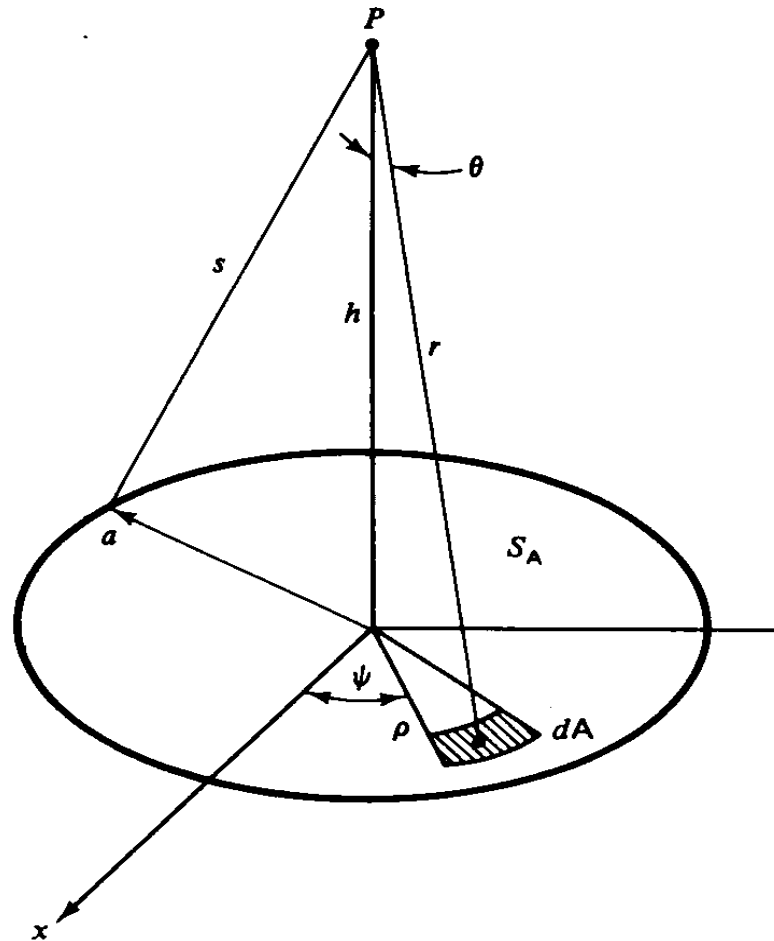
Figuur 4.3. Isotrope rechte-lijnbron achter een plaatschild.

Isotrope lijnbron achter schuine afscherming

$$\phi_0(\mathbf{P}_1) = \frac{S_L}{4\pi h} F(\theta_1, \mu t)$$

$$\phi_0(\mathbf{P}_5) = \frac{S_L}{4\pi h} (F(\theta_1 + \alpha, \mu t) - F(\alpha, \mu t))$$

Stralenanalyse met oppervlaktebron



Figuur 4.4. Isotrope schijfbron.

Isotrope schijfbron in vacuum

$$\phi_0(\mathbf{P}) = \frac{S_A}{4\pi} \int_0^a \int_0^{2\pi} \frac{\rho d\rho d\psi}{r^2} = \frac{S_A}{4\pi} \int_0^{2\pi} d\psi \int_h^s \frac{dr}{r} = \frac{S_A}{4} \ln \left(1 + \frac{a^2}{h^2} \right)$$

Voor $a \ll h$:

$$\phi_0(\mathbf{P}) = \frac{S_A}{4} \frac{a^2}{h^2} = \frac{S}{4\pi h^2}$$

Hoekafhankelijke schijfbron in vacuum

$$S_A(\Omega) = \frac{m+1}{2\pi} S_A^+ \cos^m \theta$$

$$\phi_0(\mathbf{P}) = \frac{m+1}{m} S_A^+ \left[1 - \left(1 + \frac{a^2}{h^2} \right)^{-m/2} \right]$$

Of tewel:

$$\phi_0(\mathbf{P}) = \phi_0(0) \left[1 - \left(1 + \frac{a^2}{h^2} \right)^{-m/2} \right]$$

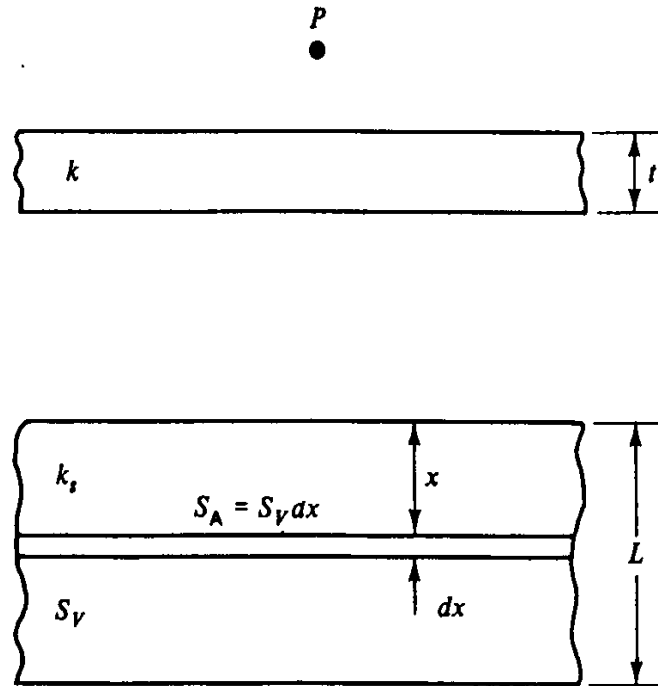
Isotrope schijfbron met afscherming

$$\phi_0(\mathbf{P}) = \frac{S_A}{2} [E_1(\mu h) - E_1(\mu s)]$$

Cosinus schijfbron met afscherming

$$\phi_0(\mathbf{P}) = 2 S_A^+ \left[E_2(\mu h) - \frac{h}{s} E_2(\mu s) \right]$$

Stralenanalyse met volumebron



Figuur 4.5. Isotrope homogene volumebron, in de vorm van een oneindige plaat, evenwijdig aan een vlak schild.

Isotrope volumebron met afscherming

$$\phi_0(P) = \frac{S_V}{2} \int_0^L E_1(\mu t + \mu_s x) dx =$$

$$\frac{S_V}{2\mu_s} [E_2(\mu t) - E_2(\mu t + \mu_s L)]$$

Voor een halfoneindige bron geldt dus:

$$\phi_0(P) = \frac{S_V}{2\mu_s} E_2(\mu t)$$

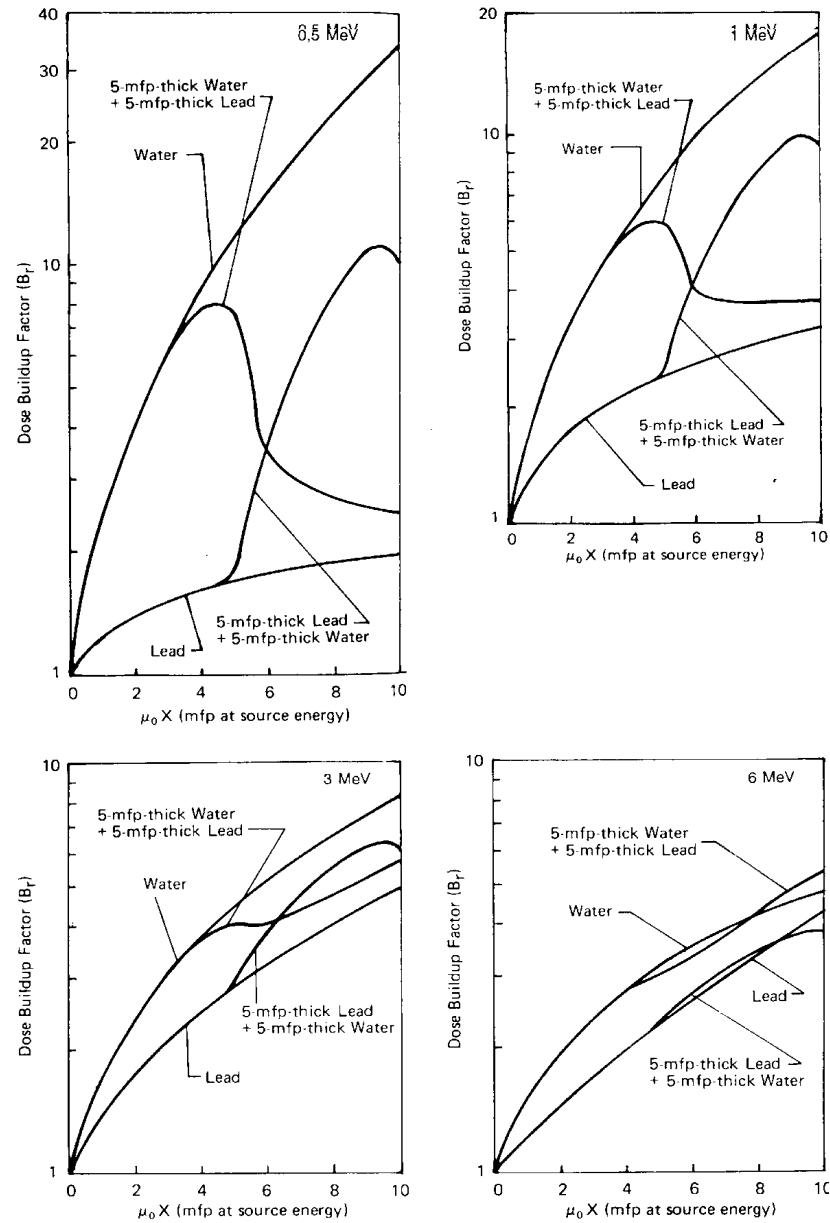
Fotonenafscherming

$$\phi_{\gamma}^0(\mathbf{r}) = Q_{\gamma} \frac{e^{-\mu r}}{4\pi r^2}$$

$$\dot{H}_{\gamma}(\mathbf{r}) = \phi_{\gamma}(\mathbf{r}, E_0) \cdot U_{\gamma}(E_0) \cdot B(\mathbf{r}, E_0)$$

Met empirische benaderingen voor opbouwfactor zoals:

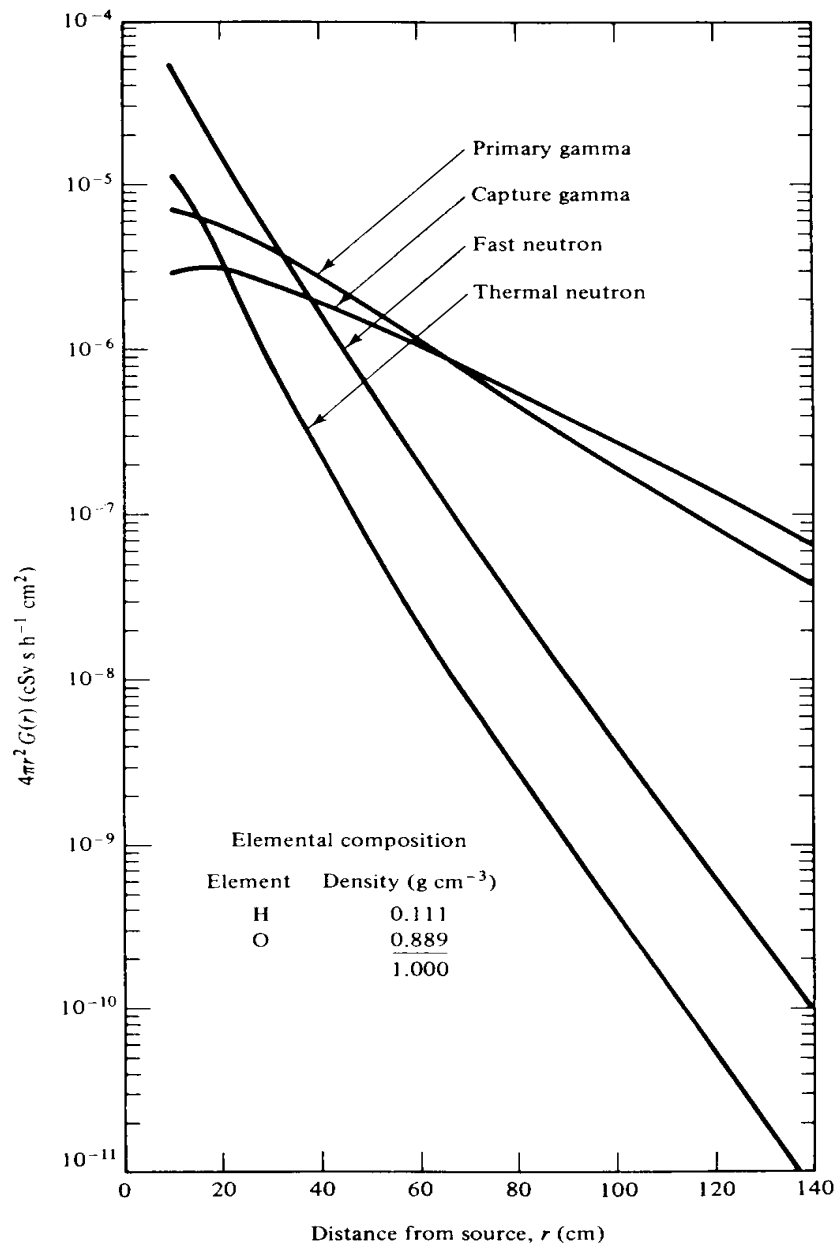
$$B(\mathbf{r}) = Ae^{-\alpha_1 \mu r} + (1-A)e^{-\alpha_2 \mu r}$$



Figuur 5.1. Verloop van de opbouwfactor in een vlak schild voor een loodrecht invallende evenwijdige gammabundel.

Neutronafscherming

- Complexer dan fotonafscherming door sterke energieafhankelijkheid van neutron cross secties
- Breed energiegebied (7 tot 8 decaden in energie)
- Atijd produktie van gamma's door inelastische verstrooiing en neutronvangst
- Meestal alleen mogelijk door gebruik van complexe computercodes met grote databases
- Algemeen principe: snelle neutronen eerst thermaliseren, dan invangen (B-10, Cd-113)



Figuur 6.1. Verdeling van het dosisequivalenttempo rond een ²⁵²Cf-bron in een oneindig medium.

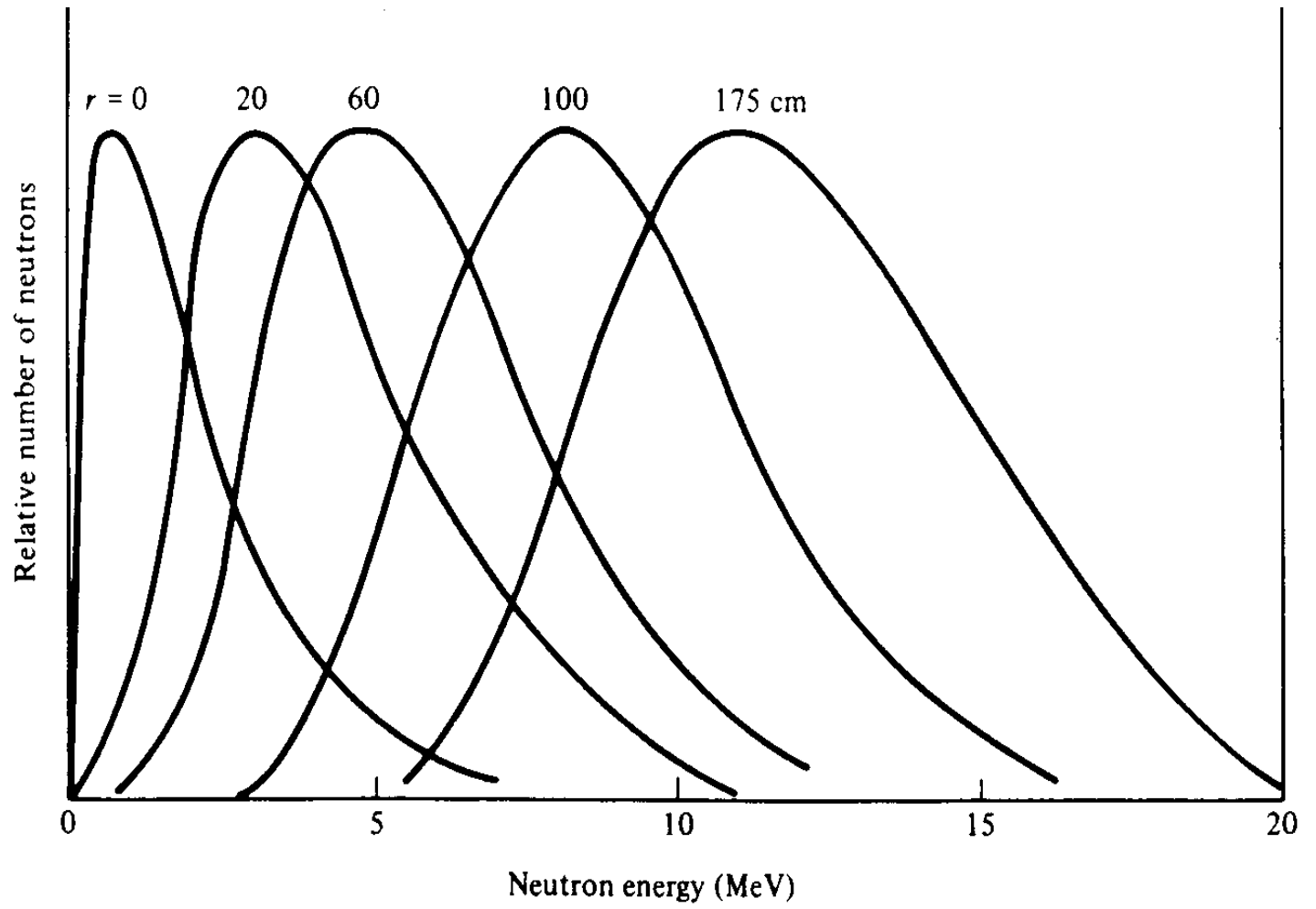
Snelle neutronen in water

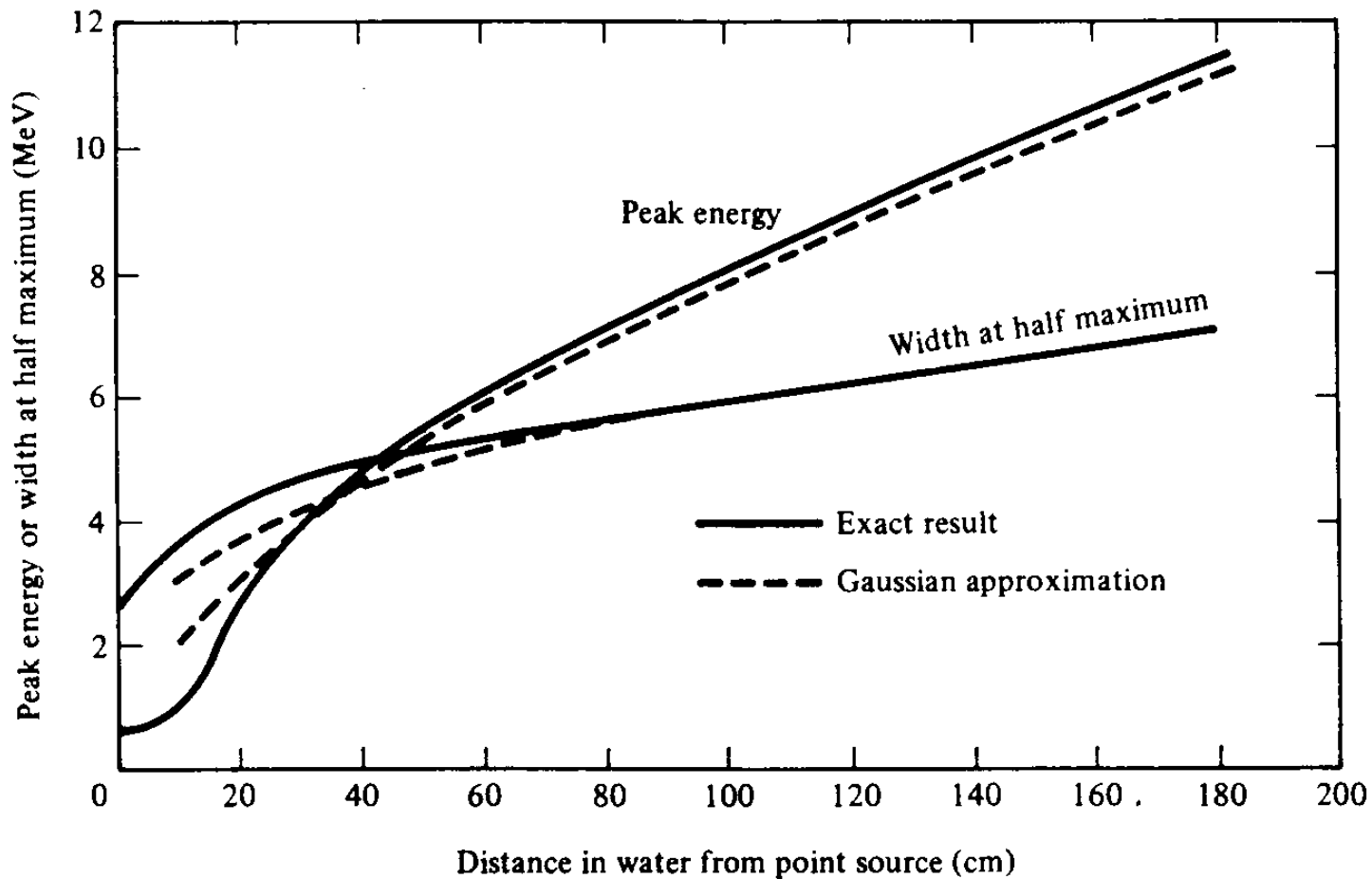
Onverstrooide splijtingsneutronen in water:

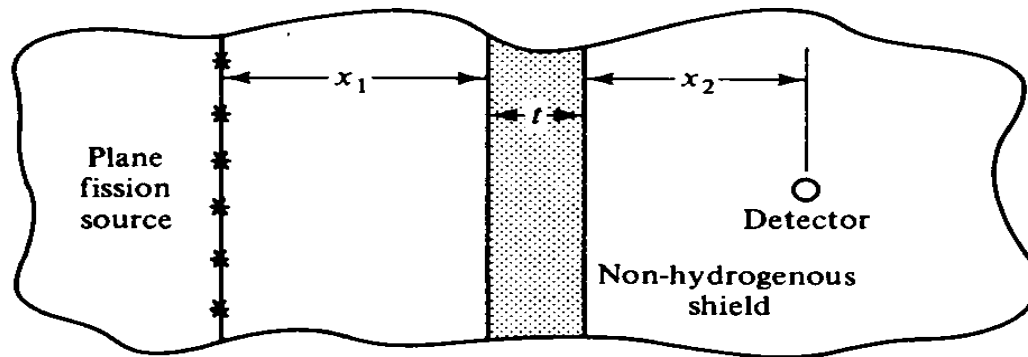
$$\phi^0(\mathbf{r}, E) = \frac{S_p \chi(E)}{4\pi r^2} \exp[-N_H \sigma_H(E) r]$$

Met een laag niet-hydrogeen materiaal:

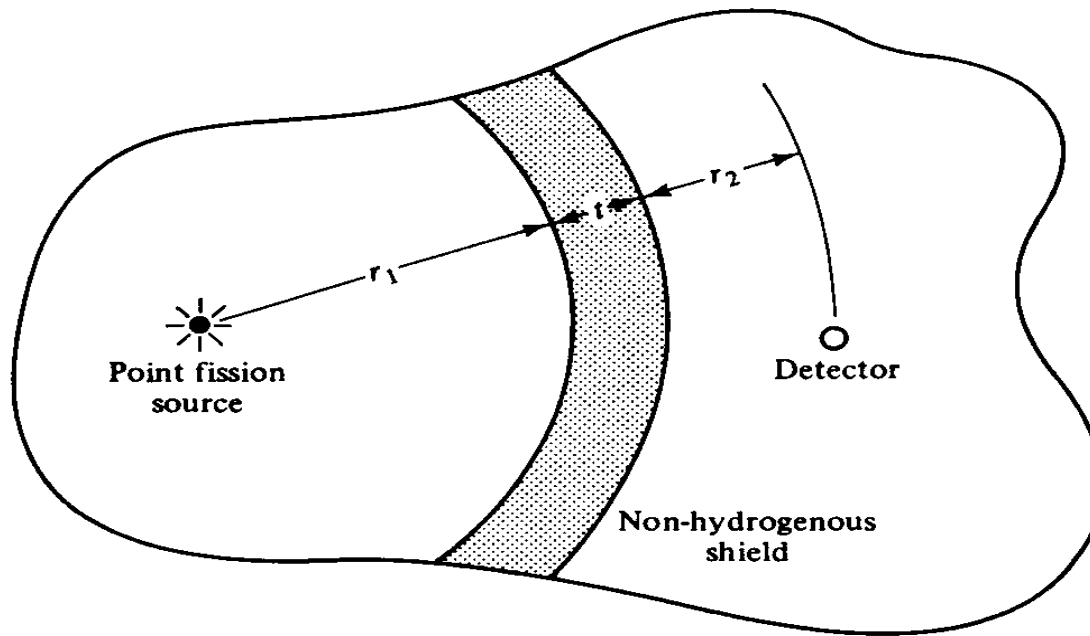
$$\dot{D}' = \dot{D} e^{-\mu_v t} \qquad \dot{D}' = \dot{D} \left(\frac{r}{r+t} \right)^2 e^{-\mu_v t}$$







(a)



(b)

Opgave

Een splijtingsplaat in een watertank werkt met een splijtingsdichtheid van $4 \cdot 10^7 \text{ cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$. De diameter van de schijfvormige plaat is 70 cm.

Bereken de snelle neutronflux in een punt P op 75 cm van het centrum van de plaat.

Herhaal de berekening met een 7.5 cm dikke afscherming van ijzer tussen de plaat en punt P.

