

# Centralt Elastisk Stød

## Moderator

Jacob Nielsen

Fissionstværsnittet for hurtige neutroner i U-235 er langt mindre end tværsnittet for termiske neutroner. Derfor opbremses neutronerne i et såkaldt moderator-materiale, før de eventuelt bevirker fission i nabo-brændselsstaven. De mest anvendte moderatormaterialer er vand og tungt vand, men også grafit (kulstof) har været anvendt f.eks. i Tjernobyl-reaktorerne.

Neutronernes energi er højest nogle få MeV, hvilket ikke er nok til at excitere kernerne. I stødet mellem neutron og moderatorkerne er der derfor såvel impuls- som energibevarelse.

Hastigheder før stødet betegnes med  $u$ , men hastigheder efter stødet betegnes med  $v$ . Størrelser, der hører til neutronen har indeks: 1. Moderatorkernen antages at være i hvile før stødet.

Impulsbevarelse:

$$m_1 \cdot u_1 + m_2 \cdot u_2 = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 \wedge u_2 = 0$$

Ligning I:  $\Downarrow$

$$m_1 \cdot u_1 = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2$$

Energibevarelse:

$$\frac{1}{2} m_1 \cdot u_1^2 = \frac{1}{2} m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot v_2^2$$

Ligning II:  $\Downarrow$

$$m_1 \cdot u_1^2 = m_1 \cdot v_1^2 + m_2 \cdot v_2^2$$

Ligning I omskrives med henblik på indsættelse i ligning II:

$$m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot (u_1 - v_1) \Rightarrow m_2^2 \cdot v_2^2 = m_1^2 \cdot (u_1 - v_1)^2 \Leftrightarrow$$

Ligning III: 
$$m_2 \cdot v_2^2 = \frac{m_1^2}{m_2} \cdot (u_1 - v_1)^2$$

Ligning III indsættes i ligning II:

$$m_1 \cdot u_1^2 = m_1 \cdot v_1^2 + \frac{m_1^2}{m_2} \cdot (u_1 - v_1)^2 \Leftrightarrow$$
$$u_1^2 = v_1^2 + \frac{m_1}{m_2} \cdot (u_1 - v_1)^2 \Leftrightarrow$$
$$1 = \left(\frac{v_1}{u_1}\right)^2 + \frac{m_1}{m_2} \cdot \left(1 - \frac{v_1}{u_1}\right)^2$$

Betegnelsen  $\gamma$  indføres for den styrende parameter; nemlig masseforholdet. Forholdet mellem neutronens fart efter- og før stødet kaldes  $x$ . Vi ender så med en andengradsligning, der løses.

$$1 = \left(\frac{v_1}{u_1}\right)^2 + \frac{m_1}{m_2} \cdot \left(1 - \frac{v_1}{u_1}\right)^2 \Leftrightarrow$$

$$1 = x^2 + \gamma \cdot (1 - x)^2 \Leftrightarrow$$

$$x = \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \vee x = 1$$

Løsningen  $x=1$  svarer til en “forbier”, hvor neutronens hastighed er uændret. Det er jo også en måde, hvorpå vi kan opnå impuls- og energibevarelse.

$$\boxed{\frac{v_1}{u_1} = \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1}, \gamma = \frac{m_1}{m_2}}$$

I vand består kernen i de to hydrogenatomer af en proton, der meget nær har samme masse som neutronen. Hermed bliver  $\gamma=1$ , hvilket giver  $v_1=0$ . Neutronen bliver fuldstændigt opbremset. Det er den situation, vi også kender fra centralt stød mellem billardkugler. Den indkomne kugle ligger stille efter stødet.

Ved stød med en deuteriumkerne i tungt vand er  $\gamma=2$ , hvilket giver  $v_1=-u_1/3$ . Neutronen spredes tilbage med en tredjedel af den oprindelige fart. Opbremsningen er mindre effektiv, men til gengæld absorberer tungt vand langt færre neutroner end let vand.

Ved stød mod en tung kerne som uran er  $\gamma$  tæt på nul, og neutronen kommer tilbage med samme fart. Det er den situation, vi kender fra en god bold, der hopper. Den støder mod den meget tungere jordklode.