

# Breddeopgaver nr. 11, 12 og 13

Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, Roskilde Universitetscenter.

I KVANT nr. 4 (december 2002) bragte vi breddeopgave nr. 11: *Hvordan afhænger ildkraften af en kanon af kanonløbets længde? Begrund svaret.* Her er så løsning og kommentar til opgaven.

## Løsning

“Ildkraft” vælger jeg at tolke som den bevægelsesenergi, som kanonen tilfører kanonkuglen. Dernæst antager jeg, at kanonaffyringer sker ved, at der først sker en eksplosion af krudtet i et begrænset volumen,  $V_o$ , bag kuglen, hvorefter eksplosionsgassen presser kuglen ud af kanonen ved at udvide sit volumen til kanonløbsvoluminet  $V_L$ , uden at gassen når at afgive varme til eller modtage varme fra kanonløbet.

Ildkraften er så det samme som arbejdet udført af eksplosionsgassen på kanonkuglen ved denne adiabatisk ekspansion:

$$\begin{aligned} \text{Ildkraft} &= \int_{V_o}^{V_L} P dV \\ &= V_o^\gamma P_o \int_{V_o}^{V_L} V^{-\gamma} dV \\ &= \frac{V_o^\gamma P_o}{\gamma - 1} \left( \frac{1}{V_o^{\gamma-1}} - \frac{1}{V_L^{\gamma-1}} \right) \\ &= \frac{V_o P_o}{\gamma - 1} \left( 1 - \frac{L_o}{L} \right)^{\gamma-1} \\ &= U_o \left( 1 - \frac{L_o}{L} \right)^{\gamma-1} \end{aligned}$$

Ved udregningen er benyttet den adiabatisk ligning  $V^\gamma P = V_o^\gamma P_o$ , hvor  $\gamma$  er forholdet mellem gassens varmekapacitet ved konstant tryk og varmekapaciteten ved konstant volumen og  $P_o$  er gassens tryk efter krudtekspllosionen medens voluminet stadig er  $V_o$ . Det er også benyttet, at  $V_o/V_L = L_o/L$ , hvor  $L_o$  er længden af det stykke kanonløb, der ligger bag kuglen før den begynder at bevæge sig, og  $L$  er længden af hele kanonløbet. Endelig er  $V_o P_o / (\gamma - 1)$  identificeret som den indre energi af gassen efter eksplosionen,  $U_o$ .

Det ses, at ildkraften asymptotisk går mod  $U_o$ , når kanonløbslængden  $L$  bliver stor. Hvilket virker rimeligt.

## Kommentar

Jeg forventede ikke nødvendigvis, at de studerende til eksamen skulle fremkomme med min løsning som her skitseret. F.eks. rummer svaret, at ildkraften er proportional med kanonløbets længde, fordi det gælder for det udførte arbejde på kanonkuglen ved konstant tryk bag den på dens vej ud gennem kanonløbet, også en del fysikforståelse til forskel fra f.eks. at mene, at kanonløbslængden alene tjener sigteformål og ingen betydning har for ildkraften. Om tidsskalaen for eksplosionen af krudtet og tidsskalaen for kanonkuglens bevægelse ud gennem kanonrøret i praksis kan adskilles som forudsat i min løsning, ved jeg ikke. Hvis krudtet brænder samtidigt med at kuglen bevæger sig ud gennem kanonrøret behøver den isobare betragtning ikke nødvendigvis være så forkert.

Jeg går ud fra, at der findes våbeneksperter, der kan fortælle, hvor gode eller dårlige tilnærmelser den adiabatisk, den isobare eller andre approksimationer er for kanoner, selvom det ikke er så afgørende for fysikundervisningsformålet med at beskæftige sig med dem. Tværtimod at uafklaretheden om det faktuelle virker forstyrrende på undervisningen, er det min erfaring fra breddemodulkurset på RUC, at det i en undervisning bygget op omkring tidligere eksamensopgaver som denne kan virke som en ansporing, at ikke alt ligger klart. Hvilket ikke skal misforstås derhen, at det er i orden, at læreren er et tågehorn, der overlader alt til de studerende.

## Breddeopgaver nr. 12 og 13

Breddeopgaverne nr. 12 og nr. 13 er benyttet i undervisningen i det såkaldte breddekursus på RUCs overbygningsuddannelse i fysik, men de er undtagelsesvist ikke opgaver fra en afholdt eksamen. Opgave nr. 12 lyder:

*Hvor langt væk er horisonten? Begrund svaret.*

Opgave nr. 13 lyder:

*Hvordan afhænger den samlede beskatningsprocent af arbejdsmarkedsbidraget, indkomstskatteprocenten og størrelsen af momsens?*

Løsninger og kommentar bringes i næste nummer af KVANT.