

# Opdrift på flyvinge - breddeopgave 76 med didaktisk kommentar

Af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, INM, RUC

Mit formål med artikelserien om breddeopgaver er – udover at gøre opmærksom på RUC's fysikuddannelse – dobbelt: Dels udvælger jeg opgaverne, så de kan have interesse som fysikproblemer i egen ret. Dels udvælger jeg dem med henblik på at kunne knytte didaktiske overvejelser til dem af interesse for fysikundervisere. I første omgang i forhold til universitetsundervisning. Men i anden omgang kunne der måske også trækkes paralleller til andre undervisningsniveauer.

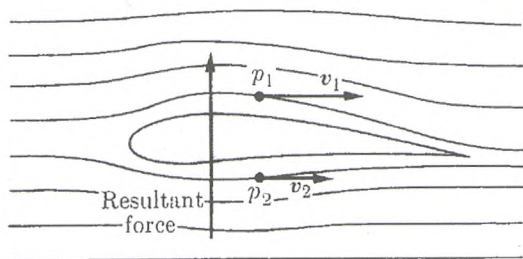
Her bringes løsning og kommentar til opgaven fra forrige nummer samt en ny opgave. Opgaven i sidste nummer af KVANT var denne breddeopgave (nr. 76 i rækken her i KVANT):

## Breddeopgave 76. Opdrift på flyvinge

Hvorfor er vingen på en flyvemaskine mere buet på oversiden end på undersiden?

### Løsning

På figur 1 er vist et tværsnit af en flyvinge med strøm-linjer omkring, svarende til luftens bevægelse i forhold til flyvingen. Flyvingen er mere buet på oversiden end på undersiden. Derfor er luftens fart langs oversiden,  $v_1$ , større end luftens fart på undersiden,  $v_2$ . Ifølge Bernoullis ligning er trykket på oversiden,  $p_1$ , derfor mindre end trykket på undersiden,  $p_2$ . Konstansen langs en strømlinje af  $\frac{1}{2}\rho v^2 + p$ , hvor  $\rho$  er massefylden af luft, er nemlig den samme i det fjerne for strømlinjen over vingen og strømlinjen under vingen, således at  $\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2$ . Følgelig medfører  $v_1 > v_2$ , at  $p_1 < p_2$ , altså større tryk på undersiden end på oversiden og dermed opdrift. Derfor er vingen mere buet på oversiden end på undersiden.



Figur 1. Luftens løft på flyvinge ifølge Alonso-Finn. Den større hastighed af luften på vingens overside giver et mindre tryk, mens den mindre hastighed på vingens underside giver et større tryk.

### Kommentar

Løsningen svarer til, hvad jeg tænkte på i 1976, da opgaven blev formuleret som breddeopgave. Det er også sådan problemet er behandlet i f.eks. Alonso-Finn, Fundamental University Physics I (1967), side 273, hvor figuren er kopieret fra. Men forklaringen

er uigennemtænkt og figuren grundlæggende fysisk forkert.

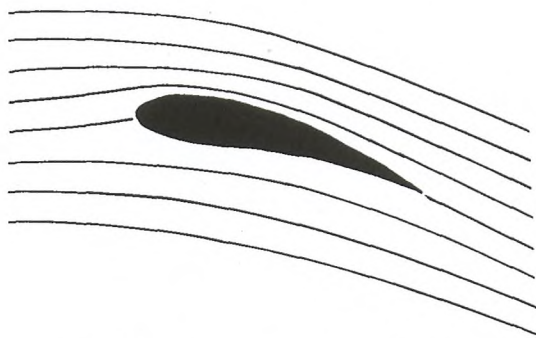
At luftens fart langs oversiden er større end langs undersiden, fordi flyvingen er mere buet på oversiden end på undersiden, er ikke et selvindlysende argument. Umiddelbart trækker argumentet på, at afstanden fra forende til bagende af vingen er større langs oversiden end langs undersiden. Og en forestilling om, at naboluftpartikler ved forenden, der løber hver sin vej om vingen, mødes igen ved bagenden. Men det er en ubegrundet forestilling. Eksperimenter har også vist, at den er forkert.

Man kan med en vis ret hævde, at tætheden af strømlinjer og  $v_1$  må være større på oversiden end tætheden af strømlinjer på undersiden og  $v_2$ , fordi oversiden indsnævrer passagen mere end undersiden. Tilsyneladende er det ikke det, der signaleres i figuren. I det hele taget er figuren helt u-fysisk ved at lade strømlinjerne have samme retning før og efter flyvingen.

Grundlæggende skyldes opdriften på flyvingen, dvs. kraftpåvirkningen fra luften, at flyvingen påvirker luften med en tilsvarende modsatrettet kraft med dertil hørende impulsoverførsel per tid nedad til luften. Eller på jævnt dansk: Luften skal løbende sparkes nedad for at holde flyet oppe. Det – og ikke Bernoullis ligning – er det grundlæggende. Det forklarer, hvorfor man kan flyve med plane skråstillede vinger, og hvorfor fly med buede vinger kan flyve på ryggen mm.

Ifølge Klaus Weltner ("A comparison of explanations of the aerodynamic lifting force", Am. J. Phys. 55(1), januar 1987) er det hastighedsforskellene på hver side af en buet vinge, der ud fra trykforskellene kan forklares ved hjælp af Bernoullis ligning, ikke trykforskellene ud fra hastighedsforskellene, som i vores løsning af opgaven. I Klaus Weltners artikel findes figur 2 med et rigtigere strømlinjeforløb end i Alonso-Finn-figuren.

Vingeprofilen får strømlinjerne til at krumme nedad både over og under vingen. Ifølge Newtons anden lov må der da være en trykgradient nedad både over og under vingen. Derfor er trykket over vingen mindre end trykket et stykke over flyet og trykket under vingen større end trykket et stykke under flyet. Trykket i nogen afstand fra flyet er stort set det samme. Derfor kan Bernoullis ligning benyttes til at forklare, at luften har større fart langs oversiden end langs undersiden.



Figur 2. Strømlinier omkring flyvinge, ifølge K. Weltner.

I det tekniske museum i Luleå i Sverige, skrev de, da jeg besøgte det i 2004, at videnskaben var splittet angående forklaringen på opdrift på flyvinger. Det er nok at tage munden for fuld. Men rigtigt er det, at fejlagtige forklaringer med henvisning til Bernoullis ligning har huseret i indledende lærebogslitteratur, som i Alonso-Finn tilfældet. Imidlertid er der mest tale om fortidssynder. I de fleste indledende lærebøger nu om dage er fremstillingerne i orden. Om det er Klaus Weltners artikel, der har katalyseret opretningen, er svært at opspore. Men kollektivt er der sket en opretning.

Grunden til, at der i en periode kan cirkulere en fejlagtig forklaring, er formentlig, at lærebogsforfatterne skriver af efter hinanden. Det er svært for lærebogsforfatterne at overkomme at tænke alt i en lærebog igennem fra bunden af. En tilsvarende fejlagtig vandrefortælling i fysiklærebøger er den, som jeg omtalte i artiklen om rulning i KVANT, april 2011. Vandrefortællingen går ud på, at momentsætningen,  $dL/dt = \tau$ , ved rulning kan benyttes med momenter taget om røringpunktet, fordi røringpunktet momentant ligger stille. Som vist i KVANT-artiklen er det, ligesom Bernoulli-forklaringen her, også forkert (pointen vedrørende rulning har jeg uddybet i: “Rules for rolling as a rotation

about the instantaneous point of contact”, Eur. J. Phys. **32**, 389-397 (2011), og yderligere i “Five ways of deriving the equation of motion for rolling bodies”, Am. J. Phys. **80**, 1073-1077 (2012)).

### Breddeopgave 77. Åreforkalkning

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningen til denne opgave fra breddekurset på RUC (fra eksamen januar 2016, nr. 77 i rækken her i KVANT):

*Hvor meget skal blodtrykket procentvis øges for at sikre den samme blodgennemstrømning ved 5% formindskelse af årenes indvendige diameter på grund af åreforkalkning? Begrund svaret.*

Løsning og kommentar bringes i næste nummer af KVANT.

Videnskab.dk

#### Samarbejde med videnskab.dk

KVANT samarbejder med Videnskab.dk, hvilket betyder, at enkelte artikler fra KVANT vil kunne læses på Videnskab.dk. Fra KVANTs decembernummer kan man således læse Helge Kraghs artikel om naturvidenskaben som kristent projekt.

Videnskab.dk dækker forskningen bredt fra kultur og samfund til teknologi og naturvidenskab. Redaktionen har hjemme i Valby og består af 10 ansatte samt journalistpraktikanter, studentermedhjælpere, projektmedarbejdere og freelancere.

## Kvantefysikken og erkendelsens afgrund

Af Børge Krag Pimenta

I denne artikel vil jeg med relevante nedslag i filosofihistorien kort opridse den filosofihistoriske udvikling fra de tidligste tænkere i vesten op til kvanteteoriens udformning, der bryder det erkendelsesbegreb, som har øvet sin magt over os i mindst 2500 år – og fortsat gør det. Denne magt udspringer ikke kun af tradition (der dog har en stor betydning for forståelsen), men også af hvordan vores forståelse på et mere neurologisk plan kommer i stand.

### Platons idé

Siden filosofihistoriens begyndelse har mennesket spekuleret over, hvad det værende egentlig er. Man har forestillet sig, at der bag de synlige og foranderlige fænomener skjulte sig en art substans eller et urstof af naturlig (fx vand, luft, ild) eller af ideal (fx “to apeiron”

“det uafgrænsede” – altså: kvalitetsløse), “det ene”) karakter. I mere generelle termer kan man sige, at de gamle grækere søgte en *logos* (λόγος) – en struktur eller orden – i naturen. Denne grundstruktur eller orden måtte alt andet stå i *forhold* (latin: ratio) til. Platon, der ganske vist ikke hører blandt de tidligste tænkere, er ingen undtagelse. For ham er *idéen* (“εἶδος” (eidos)