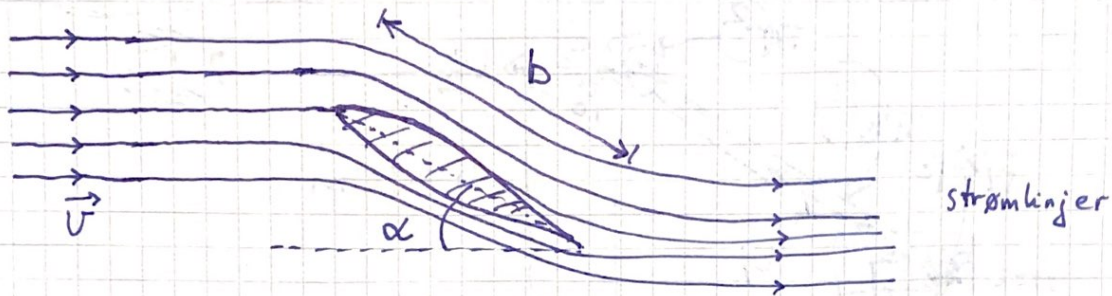


(91)

Eks: Løft på flyvinge

12.11.21



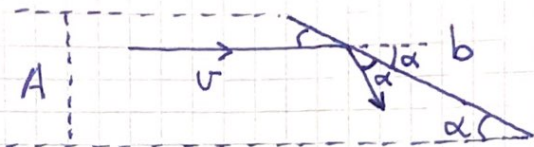
Forsøk, med Bernoullis lov: Lufta går lenger vei like over vingen enn like under vingen. Da er strømningshastigheten større på oversiden enn på undersiden. Siden $p + \frac{1}{2}\rho v^2$ skal være konstant, må da trykket være større på undersiden enn på oversiden. Resultat: Nettokraft oppover.

Problem: Vi vet ikke om ~~strømlinjer~~ to små fluidvolum som følger strømlinjen som treffer vingens forkant, og som går hhv over og under vingen, møtes igjen bak vingen. Da kan vi rett og slett ikke bruke Bernoullis lov!

Men Newtons lover fungerer, i hvert fall kvalitativt:

Luft kolliderer med vingens underside og sendes (på skrå) nedover. Dvs at vingen virker på lufta med en kraft F nedover. Newtons 3. lov sier da at lufta virker på flyet med en tilsvarende kraft oppover.

92



Anta lengde L
(innover i planet)

$$A = L \cdot b \cdot \sin \alpha ; \quad v = \text{flyets hastighet} \\ = \text{luftas " " relativt flyet}$$

Luftmasse som kolliderer på tid dt ; pr tidsenhet:

$$\frac{dm}{dt} = \rho \frac{dV}{dt} = \rho \frac{A dx}{dt} = \rho L b \sin \alpha \cdot v$$

Denne luftmassens endring i vertikal impuls:

$$\frac{dp_y}{dt} = \frac{dm}{dt} \cdot v_y = \frac{dm}{dt} \cdot v \cdot \sin 2\alpha \\ = \rho L b v^2 \sin \alpha \sin 2\alpha$$

Dette er, ifølge Newtons 2.lov, innbyrdes kraft vertikalt mellom luftmasse og flyvinge,

$$F = \rho L b v^2 \sin \alpha \sin 2\alpha$$

Flyvinger har en form, slik at vi ikke skal ta dette som et "eksakt" resultat.

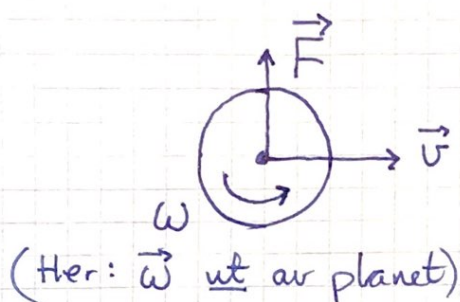
Men detaljerte beregninger viser at det er langt på vei riktig, dvs

$$F \sim \rho L b v^2 \sin \alpha$$

↑
"proporsjonal med"

93

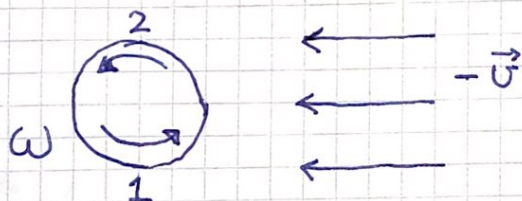
Eks: Skruballer og Magnus-effekten



Fra fotball, bordtennis osv
vet vi at underskru gir løft
 mens "topp-spinn" fører til at
 ballen "dupper" ned.

En kvalitativ og noenlunde riktig forklaring:

Lufta hefter til ballen på overflaten, slik at
 lufta dras med ballen den veien som ballens
 overflate beveger seg. I ballens referansesystem:



På oversiden: Ballen gir lufta økt fart.

På undersiden: ————— " ————— redusert fart.

$$\text{Bernoulli: } p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$v_2 > v \quad \text{og} \quad v_1 < v \quad \Rightarrow \quad p_1 > p_2$$

$\Rightarrow$ nettokraft oppover.

Helt tilsvarende argument med rotasjon omkring
 en vertikal akse, dvs sideskru.

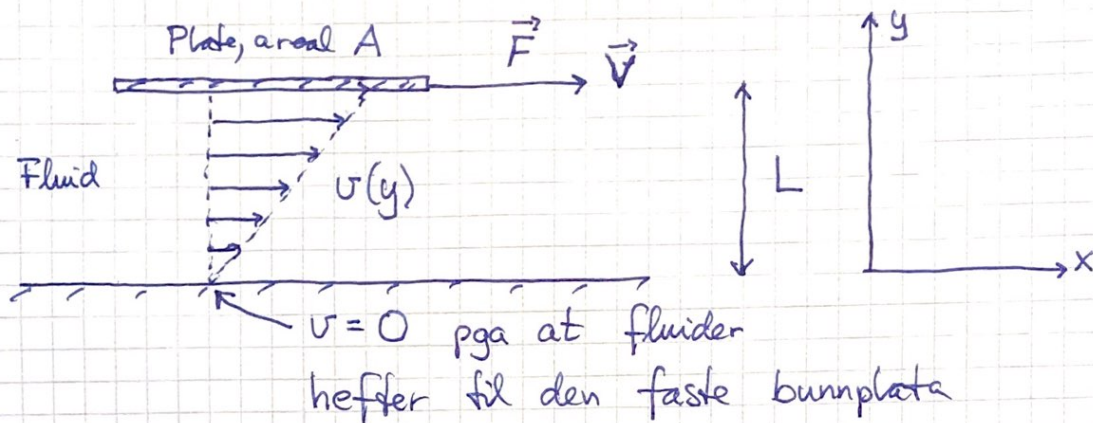
Vi ser at $\vec{\omega} \times \vec{v}$ har samme retning som $\vec{F}$, så
 hvis vi antar at F øker med økende v og ω , kan
 vi skrive $\vec{F} = k \cdot \vec{\omega} \times \vec{v}$

94

Viskositet

I eksemplet med Magnus-effekten var det nødvendig å ta hensyn til friksjon mellom ballen og lufta, dvs fluidets viskøse egenskaper.

Viskositet; definisjon og målemetode:



$u=0$ pga at fluider hefter til den faste bunnplate

Med "moderat" fart $\vec{V}$ har vi laminær strømming av fluidet mellom platene, med lineært øktende $u(y)$ fra $y=L$ til $y=0$. Pga heft mellom øverste plate og fluidet må plate trekkes med kraft $\vec{F}$ for å holde konstant fart $\vec{V}$. Påkrevet F øker med arealet A og farten V , men avtar med avstanden L til bunnen:

$$F = \eta \frac{V \cdot A}{L}$$

Prop. faktoren η er pr def. fluidets viskositet:

$$\eta = F \cdot L / V \cdot A ; [\eta] = \frac{N \cdot m}{(m/s) \cdot m^2} = \frac{N \cdot s}{m^2} = Pa \cdot s$$

Eks: Luft ved $20^\circ C$: $\eta = 1.8 \cdot 10^{-5} Pa \cdot s$

Vann — " — : $\eta = 1.0 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$

Olivenolje : $\eta = 0.138 Pa \cdot s$

Honning, sirup : $\eta \approx 2-10 Pa \cdot s$

95

Virkelige rør yter "motstand" mot væske (eller luft-) strømmen. "Årsaken" til at strømmen opprettholdes er krefter, dvs en trykkforskjell. Empirisk:

$$Q = \frac{\Delta p}{R} ; \text{ evt } \Delta p = R \cdot Q$$

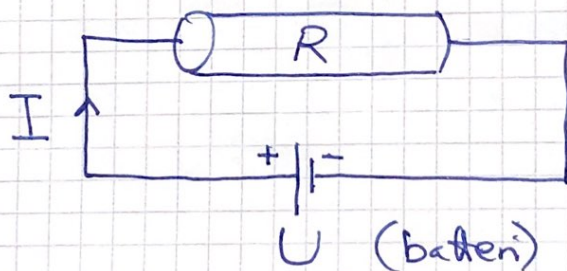
For laminær strømning av fluid med viskositet η i rør med radius r og lengde L :

$$R = \frac{8\eta L}{\pi r^4} \quad (\text{Poiseuilles Lov})$$

Ligningen over, $\Delta p = R \cdot Q$, er på samme form som Ohms lov,

$$U = R \cdot I,$$

som knytter sammen strøm I og spenning U for en (elektrisk) motstand R :



Helt tilsvarende sammenheng beskriver varmestrøm gjennom ~~en~~ f.eks. en vegg pga en temperaturforskjell ΔT mellom inne og ute.

Mer om dette i hhv FY6017 og FY6014 til våren!!