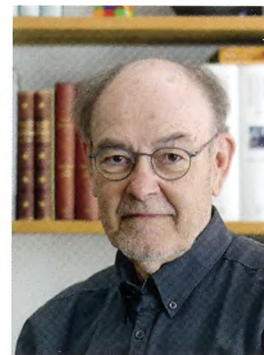


tvunget til at reagere kraftigt. Hans mange udlandsrejser endte således med en beklagende bemærkning, om at “videnskaben nu ikke [er] et skjold mod fornærmelser ansporet af politisk forblindelse”.

## Litteratur

- [1] Kirstine Meyer, red. (1920) *H. C. Ørsteds Videnskabelige Værker*, bind I-III, København.
- [2] K. Jelved, A. D. Jackson og O. Knudsen, red. og oversat (1998) *Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted*, Princeton.
- [3] K. Jelved og A. D. Jackson (2011) *H. C. Ørsteds rejsebreve*, Scientia Danica, Series H, Humanistica, 8 vol. 2, København.
- [4] Dan Ch. Christensen (2009) *Naturens tankelæser: En biografi om Hans Christian Ørsted*, København. (Dette danske værk er den eneste komplette biografi over Ørsted.)



Karen Jelved (f. 1944) er lektor emeritus i engelsk, og Andrew D. Jackson (f. 1941) er professor emeritus i fysik. I mere end 25 år har de bidraget til en øget international bevidsthed om betydningen af Ørsteds mange bidrag til videnskaben. Deres publicerede værker omfatter *Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted*. Deres seneste publikation, *H. C. Ørsteds rejsebreve*, er den første komplette udgave af disse fascinerende dokumenter.

# Fugle – breddeopgave 82 med didaktisk kommentar

Af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, INM, RUC.

*Mit formål med artikelserien om breddeopgaver er – udover at gøre opmærksom på RUCs 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 to nye opgaver. Opgaven i sidste nummer af Kvant var denne breddeopgave (nr. 82 i rækken her i Kvant):

## Breddeopgave 82. Fugle

*Lad os antage, at alle fugle, der er i stand til i vindstille at holde sig svævende over samme punkt af landskabet ved at basker med vingerne, kun varierer i størrelse: Deres form og måden, de bevæger vingerne på, antages at være ens. Hvordan afhænger frekvensen, de basker med, da af deres størrelse? Begrund svaret.*

## Løsning

Når en fugl holder sig svævende i en konstant højde, må der være en opdriftskraft,  $O$ , fra luften på fuglen, i modsat retning og af samme størrelse som tyngdekraften på fuglen,  $mg$ , hvor  $m$  er fuglens masse og  $g$  tyngdefeltstyrken:

$$O = mg. \quad (1)$$

For stillestående, baskende fugle må opdriften afhænge af massefylden  $\rho$  af den luft, der presses nedad, og frekvensen  $f$ , hvormed der baskes. Hvis vi antager fuglens form og måden, de bevæger vingerne på, for at være ens, må opdriften herudover alene afhænge af

et lineært mål for fuglens størrelse, fx længden  $l$  af deres vinger. Da  $\rho$ ,  $f$  og  $l$  ikke kan kombineres til en dimensionsløs størrelse, må  $O$  så være givet ved:

$$O = a\rho^\alpha f^\beta l^\gamma, \quad (2)$$

hvor  $a$  er et ukendt, dimensionsløst tal, og hvor  $\alpha$ ,  $\beta$ , og  $\gamma$  skal vælges, så vi får samme dimension på begge sider af lighedstegnet. Da  $[O] = \text{MLT}^{-2}$ ,  $[\rho] = \text{ML}^{-3}$ ,  $[f] = \text{T}^{-1}$ ,  $[l] = \text{L}$ , skal  $\alpha$ ,  $\beta$ , og  $\gamma$  derfor opfylde kravet:

$$\text{MLT}^{-2} = (\text{ML}^{-3})^\alpha \text{T}^{-\beta} \text{L}^\gamma. \quad (3)$$

Da basisdimensionerne per definition ikke kan afledes af hinanden, skal potenserne for hver basisdimension være den samme på begge sider af lighedstegnet:

$$\text{M} : 1 = \alpha \quad (4)$$

$$\text{L} : 1 = -3\alpha + \gamma \quad (5)$$

$$\text{T} : -2 = -\beta, \quad (6)$$

Da den entydige løsning til dette ligningssystem er  $(\alpha, \beta, \gamma) = (1, 2, 4)$ , har vi derved ved indsættelse i ligning (2) af dimensionsgrunde fundet  $O$  til at være givet ved formlen:

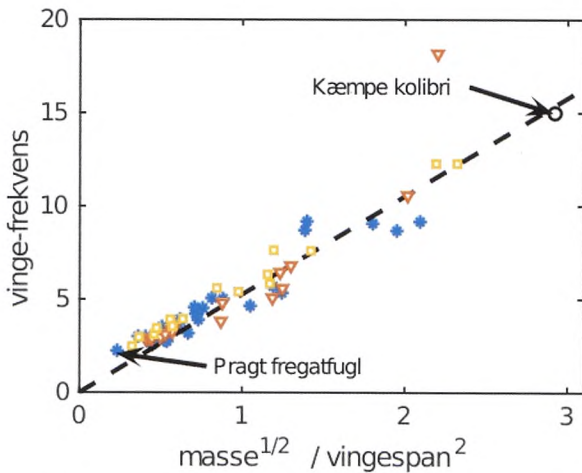
$$O = a\rho f^2 l^4. \quad (7)$$

Frekvensen kan så findes ved at sammenholde ligningerne (1) og (7) til at være:

$$f = \sqrt{\frac{mg}{a\rho l^4}} \quad (8)$$

Holder antagelsen om ensartet form for alle fugle stik, er  $m$  proportional med  $l^3$ . Sammenholdt med ligning (8) betyder det, at svaret på opgaven er:

$$f \propto \frac{1}{\sqrt{l}} \quad (9)$$



**Figur 1.** Baskefrekvensen som funktion af  $\sqrt{m}/l^2$  for 32 forskellige slags fugle.

### Kommentar

I Kvant september 2014 drejede breddeopgave nummer 60 sig om fisk. Her er det så fugle, det handler om. Dimensionsanalyse kan bruges til meget! Eller kan det? Dimensionsanalysen forudsatte jo antagelser om lighedannethed. Og kan man med rimelighed antage noget sådant? Det kan man tilsyneladende. Forbavsende nok.

Min kollega Tina Hecksher har fundet<sup>1</sup> og derefter bearbejdet data for 32 forskellige slags fugles baskefrekvenser, masser, vingelængder og vingearaler. Det fremgår, at vingearaler og kvadratet på vingelængder er stort set proportionale. Derimod kan man ikke regne med, at alle fugle er lige slanke eller buttede. Deres masser er ikke proportionale med vingelængderne i tredje potens. Formel (9) stemmer derfor ikke med dataene. Men formel (8) stemmer forbavsende godt. Da  $g$  og  $\rho$  er fælles for alle fuglene, har vi ifølge formelen:

$$f \propto \frac{\sqrt{m}}{l^2} \quad (10)$$

Og det er også, hvad dataene ifølge figur 1 viser.

Det skal nævnes, at baskefrekvenserne ikke er optalt for stillestående fugle, men for fugle i flugt. Men som

Tina og jeg forstår biologen Pennycuick,<sup>1</sup> anser han fugles baskefrekvenser for fysiologiske konstanter svarende til, at vores gangfrekvens er styret af placeringen af tyngdepunktet og størrelsen af inertimomentet af vores ben. Og så må man jo antage, at baskefrekvensen for en given fugleart er den samme i flugt og stillestående. Det er dog stadig forunderligt, så god overensstemmelsen er imellem vores teoretisk udledte formel og data. Er måden, hvorpå forskellige slags fugle bevæger vingerne, virkelig ens? Varierer de ikke amplituden, når de basker med vingerne? Pennycuick kommenterer det ikke. Og Tina og jeg er ikke biologer.

### Breddeopgave 83 og 84. Ståltrådsstrækning

Inden næste nummer af Kvant udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningerne til disse to opgaver fra breddekurset på RUC (fra eksamen juni 1993 og eksamen juni 2010, nr. 83 og 84 i rækken her i Kvant):

*Hvor meget strækkes en stang under sin egen vægt, når den hænger lodret ned fra den ene ende?*

*En ståltråd svinges rundt i en vandret plan. Hvor meget forlænges ståltråden af at blive svinget rundt? Begrund svaret.*

Løsninger og kommentar bringes i næste nummer af Kvant.

**PFEIFFER** **VACUUM**

## Vacuum pumper



To-trins olielamelpumper  
Promotionpris fra DKK 8.000

Tlf. 3166 8708  
Lars.Scholte@pfeiffer-vacuum.dk  
www.pfeiffer-vacuum.com

<sup>1</sup>C. J. Pennycuick (1990) "Predicting Wingbeat Frequency and Wavelength of Birds", *J.Exp.Biol.*, bind 150, side 171–185.