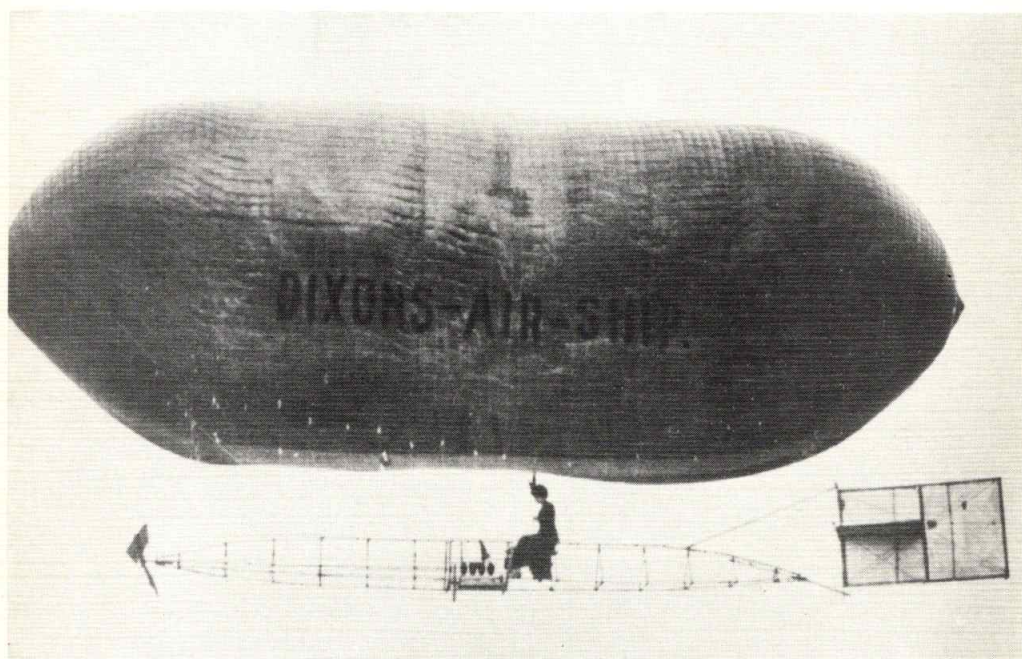


»FYSIK I OPDRIFT«

Kurt Jakobsen



F & K Forlaget

»FYSIK I OPDRIFT«

Kurt Jakobsen

F & K forlaget

FYSIK I OPDRIFT
af Kurt Jakobsen

© F&K Forlaget
Slotsgade 23
2200 København N

Tilrettelæggelse: Kai Gregersen
Trykt hos Budolfi Tryk, Aalborg
Mekanisk, fotografisk eller anden gengivelse
af denne bog eller dens enkelte dele er
ikke tilladt uden lovlig hjemmel.

ISBN 87-87229-47-1

FORORD

Denne bog er beregnet til et introduktionsforløb i fysik i gymnasiet. Intentionen med udgivelsen er, at man med det samme kan komme i gang med rimeligt appetitvækkende emner samtidig med, at eleverne på naturlig måde bliver præsenteret for et slags katalog over flere af fysikundervisningens forskellige ansigter: eksperimentelt arbejde, opgaveregning, rapporter, tematisk undervisning, dimensioner samt lidt større eksperimentelle forløb.

Hvert kapitel afsluttes med en samling opgaver af et sådant omfang, at man som lærer får et umiddelbart tilbud til elevaktiviteter helt ned på den enkelte time. Men det er naturligvis sådan, at man efter behag kan sortere i og udskifte disse tilbud, uden at hovedlinjen derved går tabt.

Jeg har selv erfaring for, at bogen passende kan læses i tidsrummet fra skolestart til efterårsferien. En sådan tidshorisont sikrer også, at elevinteressen kan bibeholdes.

Med hensyn til eksamenspensum dækkes først og fremmest den »historiske dimension«, men også dimensionen »den nære omverden og teknik« tilgodeses.

Under arbejdet med bogen har jeg erfaret, at man på masser af skoler på et eller andet tidspunkt har beskæftiget sig med balloner i forbindelse med forløb i det 'gamle' gymnasium. Der skulle således her være oplagte muligheder for delvis genbrug af gennemprøvet materiale, som ligger uden for denne fremstillings rammer.

Til sidst vil jeg godt takke Mette Vedelsby og Gert Schomacker (i den rækkefølge) for mange timers diskussioner omkring vejledningerne til de tre i bogen medtagne indledende laboratorieøvelser. Også en tak til forlaget for en grundig og kvalificeret kritik af det oprindelige manuskript.

Kurt Jakobsen

København april 1990.

Indholdsfortegnelse

KAP. 1 DENSITET

Masse	s. 5
Præfikser	
Densitet	s. 7
Størrelsesligninger	
Lidt om enheder	
Betydende cifre	
Opgaver	s. 10
Lab.Øvelse : »Nogle lineære sammenhænge«	
Lineær sammenhæng	

KAP. 2 VÆGTTAB I VÆSKER

Masse og vægt	s. 14
Tyngdekraft og måling af vægt	
Vægttab i væsker	s. 15
Begrundelse for Archimedes' lov	
To evighedsmaskiner	
Opgaver	s. 17
Lab.Øvelse : »Max/min-metoden«	

KAP. 3 ARCHIMEDES I BADET

Archimedes i badet	s. 22
Opgaver	s. 23
Lab.Øvelse: »Afssløringen af en systematisk fejl«	

KAP. 4 BALLONER OG LUFTSKIBE

Vægttab i gasser	s. 25
To typer luftballoner	s. 26
De to første store ballonopsendelser	s. 26
Mennesket for første gang i rummet	s. 28
Er kursen sat?	s. 29
Grev von Zeppelin	s. 29
Hindenburg	s. 32
Opgaver	s. 34

Kap. 5 BYG SELV EN BALLON

Det er størrelsen, det kommer an på	s. 36
Lille eksperimentelt projekt 1 : Gasballon	s. 38
Lille eksperimentelt projekt 2 : Varmluftballon	s. 38

Litteraturhenvisninger	s. 40
------------------------------	-------

Densiteten for nogle udvalgte stoffer	s. 41
---	-------

Af samme forfatter	s. 42
--------------------------	-------

Stikordsregister	s. 43
------------------------	-------

KAPITEL 1

DENSITET

Masse

De fleste har på et tidspunkt været udsat for et spørgsmål i stil med følgende.

Hvad er tungest : »Et kilo bly eller et kilo kartofler« ?

Det sædvanlige lidt bedrevidende svar på dette spørgsmål er ikke så indlysende rigtigt, som det ofte fremstilles.

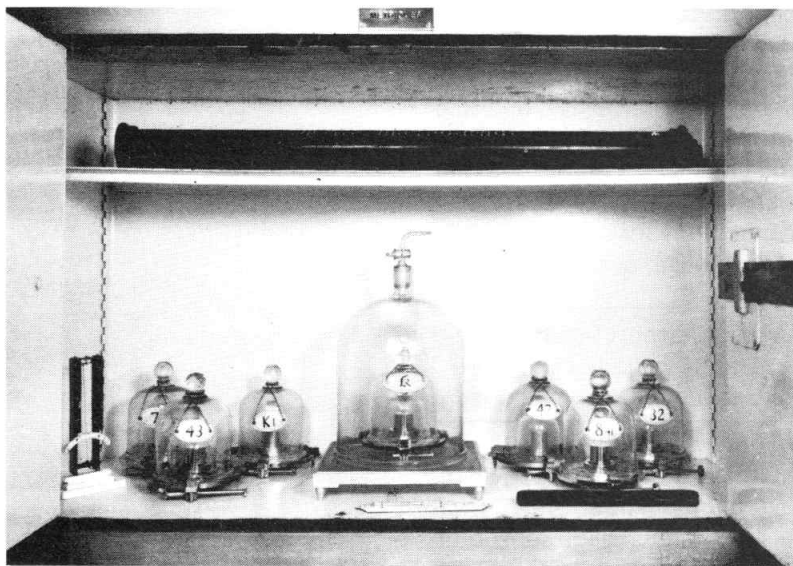
Det skal lige indskydes, at der optræder en pudsig sproglig unøjagtighed i brugen af ordet »kilo« i stedet for »kilogram«. Ordet »kilo« betyder »tusinde«, og forkortes k. Ordet/forkortelsen kendes fx fra km, kg og kJ. I ovenstående gåde menes klart ikke 1000 kartofler, men 1 kg kartofler.

Hvordan skulle man nu på bedste naturvidenskabelig vis afgøre, hvad der i virkeligheden er tungest ? Ja; den mest umiddelbare og anskuelige måde ville vel være at henvise til eksperimentelle metoder.

Men for at kunne det, må man først vide, hvad 1 kg af et stof egentlig betyder.

Enheden 1 *kilogram* er et mål for *stofmængden (massen)* i ét ganske bestemt metalod, som siden 1875 af mange lande har været accepteret som fælles international standard.

Dette såkaldte *normalkilogram-lod* er lavet af en legering af platin og iridium. Loddet opbevares i en kælder i Paris.

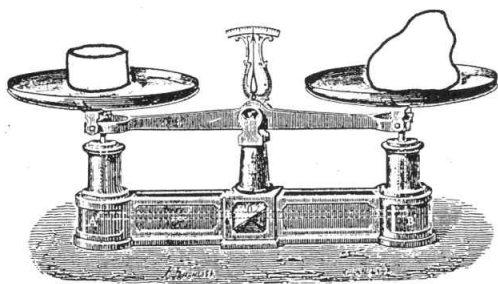


Boksrummet i kælderen under Bureau International Mesures i Sévres ved Paris. I midten det internationale *normalkilogram* lod flankeret af 6 kopier. Disse lodder benyttes uhyre sjældent. På øverste hylde ligger den internationale *normalmeter*. Denne har dog mistet sin betydning, idet længdeenheden 1 meter i dag fastsættes ud fra lysets hastighed.

Hvor stor en stofmængde af et *andet materiale* som eksempelvis bly svarer herefter til massen 1 kg?

Dette kunne man tænke sig afgjort på følgende måde :

Tag en (ligearmet) balancevægt. Placér normalkilogram-loddet i den ene skål og fyld op med bly i den anden, indtil der er lige-vægt.



Ved præcisionsmålinger har denne fremgangsmåde en afgørende svaghed, idet sådanne 1 kg-blylodder vil blive af lidt forskellig størrelse alt efter under hvilke tryk- og temperaturforhold målingen foretages. Et 1 kg-blylod fremstillet ved den foreslåede metode under et trykkende sommerhøjtryk ville ikke nøjagtigt balancere med et 1 kg-blylod fremstillet på lignende måde en times tid efter det befriende tordenvejr.

De netop beskrevne vanskeligheder kan overvindes ved at fastslå, at

en genstand har massen 1 kg, hvis den på en balancevægt i vacuum lige netop balancerer med normalkilogram-loddet

I denne formulering bliver det ligegyldigt, hvor balancevægten befinder sig (i Danmark, i Paris eller på Månen), lige som udfaldet er uafhængigt af variable faktorer som tryk og temperatur.

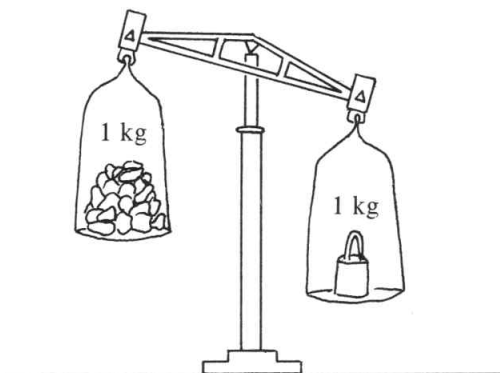
Bestemmes på ovenstående måde 1 kg bly og 1 kg kartofler, og anbringes disse to masser herefter i hver sin skål på en balancevægt hjemme på køkkenbordet; ja så vil der

faktisk ikke helt være ligevægt. Vægten vil tippe ned til bly siden !

I denne praktiske forstand er 1 kg bly altså tungere end 1 kg kartofler!

Bemærkning:

Grunden til, at vægten tipper, er, at luftens opdrift er større på kartoflerne end på blyet. Nærmere forklaring følger (Kap. 4).



Kartoflerne stiger til vejrs ! Blyloddet synker ned!

PRÆFIKSER

Ordet »kilo« betyder som nævnt »tusinde«: $k = 1000 = 10^3$.

En anden lignende forkortelse er »m« for ordet »milli«, som betyder »tusindedel«:

$m = 1/1000 = 10^{-3}$.

k og m er to af de såkladte præfikser (= forkortelser for udvalgte tierpotenser).

Vigtige præfikser:

kilo	k	10^3
mega	M	10^6
giga	G	10^9

deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
milli	m	10^{-3}
mikro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}

Densitet

Når man i daglig tale eksempelvis siger, at jern er tungere end aluminium, så mener man jo ikke, at en bestemt gryde af jern er tungere end en hvilken som helst anden gryde lavet af aluminium. Det kommer an på størrelsen. Det, man mere præcist mener, er, at af *to lige store rumfang* jern og aluminium, vil jernklumpen altid være den tungeste (brug fx en vægtskål som dommer).

Som et mål for, hvor tæt massen er samlet i et stof, indføres størrelsen *densitet* (tidligere *massefylde*).

At densiteten for aluminium er $2,70 \text{ g/cm}^3$, betyder at en klump rent aluminium med volumen 1 cm^3 har massen 2,70 gram.

På lignende måde:

at jern har densiteten $7,86 \text{ g/cm}^3$ betyder, at 1 cm^3 jern har massen 7,86 gram.

Følgelig må

2 cm^3 jern have massen

$$2 \cdot 7,86 \text{ g} = 15,72 \text{ g},$$

og $5,8 \text{ cm}^3$ jern have massen

$$5,8 \cdot 7,86 \text{ g} = 45,59 \text{ g}.$$

Betegnes en genstands masse med m , dens volumen med V og dens densitet med ρ , har vi åbenbart følgende ligning:

$$m = \rho \cdot V$$

Altså »masse er lig med densitet gange med volumen«.

Bemærkning:

Symbolet ρ er et græsk bogstav. Det udtales »ro«.

En genstands densitet er et udtryk for, hvor tæt dens masse »er pakket«. Jævnfør fx med det engelske ord density (= tæthed).

Som en præcis formulering af kendsgerningen »jern er tungere end aluminium« kan vi nu sige: »jerns densitet er større end aluminiums«.

Densitet er en materialekonstant eller stofkonstant i modsætning til masse og volumen.

Genstande af samme materiale kan have forskellig masse og volumen, men har altid samme densitet.

På side 41 kan du finde densiteterne for nogle udvalgte materialer/stoffer.

STØRRELSESLIGNINGER

I en formel som fx $m = \rho \cdot V$ står hver af de tre symboler m , ρ og V for en såkaldt *fysisk størrelse*. En sådan består af *både* en *talværdi* (= *måltal*) og en *enhed*!

Fx $m = 3,187 \text{ kg}$ og $V = 0,642 \text{ L}$.

En fysisk størrelse er altså *produktet* af et måltal og en enhed.

Hvis man skifter til en anden enhed, ændres måltallet i almindelighed også.

Eksempler:

$m = 3,187 \text{ kg} = 3187 \text{ g} = 0,003187 \text{ ton}$.

$V = 0,642 \text{ L} = 642 \text{ mL} = 0,000642 \text{ m}^3$.

LIDT OM ENHEDER

Rumfangs-enheden *milli-liter (mL)* er nøjagtig det samme som enheden *kubikcentimeter (cm³)*.

$$1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$$

Heraf følger, at

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L} \quad (\text{Vis det!})$$

Der kan altså være 1000 L mælk i en kasse med sidelængden 1 m.

Densitet-enheden g/cm^3 kan skrives om, som følger:

$$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ g/mL} = 1000 \text{ g/L} = 1 \text{ kg/L} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Altså

$$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/L} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Eksempel:

Jerns densitet $7,86 \text{ g/cm}^3$ kan i følge ovenstående også skrives som $7,86 \text{ kg/L}$ eller som 7860 kg/m^3 .

1 kubikcentimeter jern har massen 7,86 g.

1 liter jern har massen 7,86 kg.

1 kubikmeter jern har massen 7860 kg.

Danmark har sammen med ca. 40 andre lande tilsluttet sig et internationalt enhedssystem (*SI-enhedssystemet*), hvor *grundenhederne* for *længde*, *masse* og *tid* er henholdsvis *meter*, *kg* og *sekund*.

Herudfra bliver de (afledede) SI-enheder for areal: m^2 , for hastighed: m/s , for densitet: kg/m^3 , og så videre.

Eksempler på enheder, der *ikke* er SI-enheder: hektar, kilometer i timen og pound pr. kubikfod (lb/ft^3).

BETYDENDE CIFRE

Ved *antallet af betydende cifre* i et tal forstås antallet af cifre, fraregnet eventuelle nuller forrest.

Nuller bagest skal tælles med!

Kommaets placering har i denne forbindelse ingen betydning.

Eksempel:

Tal med 2 betydende cifre:

37 3,0 0,00037 $3,7 \cdot 10^6$.

Tal med 3 betydende cifre:

418 40,0 0,0418 $4,18 \cdot 10^4$.

Talværdien (= måltallet) af en fysisk størrelse er altid (ikke kun i gymnasieopgaver) behæftet med en vis usikkerhed. For at angive en fysisk størrelse korrekt skal man medtage så mange betydende cifre, at usikkerheden netop ligger på sidste ciffer!

Angiver man eksempelvis massen af et lod som 34,5 g, så fortæller man dels, at lodets sandsynligste masse er 34,5 g dels at man er usikker på første decimal (5-tallet).

Måske er loddets masse 34,7 g, måske 34,2 g, men bestemt ikke 35,7 g.

Bemærk, at 34,50 g *ikke* er det samme som 34,5 g!

I 34,50 g ligger usikkerheden på anden decimal (nullet), og man er åbenbart her sikker på 5-tallet, mens det bedste bud på anden decimal er 0.

I 34,5 g udtaler man sig overhovedet ikke om andendecimalen (det ville også være temmelig meningsløst, idet der allerede er problemer med førstedecimalen).

I beregninger med måledata bruges alle opgivne cifre.

Først i det endelige facit afrundes.

Der afrundes til det antal betydende cifre, som den dårligst bestemte størrelse indeholder.

Eksempel:

For et jernlod med densiteten $7,86 \text{ g/cm}^3$ (3 betydende cifre) har man målt massen til 210,3 g (4 betydende cifre).

Loddets rumfang kan så beregnes:

$$V = m/\rho = 210,3/7,86 \text{ cm}^3 = 26,75572 \cdot \text{cm}^3 = 26,8 \text{ cm}^3.$$

Der er rundet af til 3 betydende cifre.

Hvor meget er massen af 2,0 L jern?

Svar : $2,0 \text{ L} = 2000 \text{ cm}^3$, så

$$m = \rho \cdot V = 7,86 \cdot 2000 \text{ g} = 15\,720 \text{ g} = 1,6 \cdot 10^4 \text{ g}.$$

Svaret kan også angives som $m = 16 \text{ kg}$. Der er i begge tilfælde rundet af til 2 betydende cifre.

Opgaver til Kapitel 1

Opgave 1.1

I skemaet er der anført sammenhørende værdier af rumfang V og masse m af forskellige materialeprøver. Beregn densiteten af hvert materiale.

For at kunne sammenligne de forskellige densiteter er det hensigtsmæssigt at udtrykke dem i samme enhed, fx g/cm^3 .

Materiale	m	V
Vand	0,700 kg	700 ml
Træ	1,05 tons	$1,5 \text{ m}^3$
Guld	2,91 g	$0,151 \text{ cm}^3$
Glas	1,000 kg	380 cm^3

Materiale	m	V
Aluminium	2160 mg	$0,80 \text{ cm}^3$
Kviksølv	33,74	2,49 mL
Sprit	553,1 g	0,70 L

Opgave 1.2

- Beregn massen af 30 cm^3 bly.
- Hvor meget fylder 220 g bly?
- Hvor meget er massen af 2,5 L sprit?
- Hvor mange liter fylder 1 kg guld?

Opgave 1.3

Beregn nedenstående størrelser med det korrekte antal betydende cifre.

- 44,23 g af et stof fylder 5,2 mL. Densiteten?
- En kasse har kantlængden 2,8 m. Arealet af bunden? Rumfanget af kassen?
- En cyklist kører 50,0 m på 6,3 sekunder. Hastigheden?
- Længde og bredde af et stykke papir er målt til henholdsvis 324 mm og til 208 mm. Arealet i mm^2 ? Arealet i cm^2 ?

Opgave 1.4

- Hvor meget fylder 67,0 g kobber?
- Hvor meget fylder 33,0 g zink?
- Hvor meget fylder de to nævnte metalklumper tilsammen?
- Smeltes de to klumper sammen, fås den legering, som kaldes (gul) messing. Massen af dette messing er summen af 67,0 g og 33,0 g; altså 100,0 g.
Gul messing har densiteten $8,40 \text{ g/cm}^3$.
Hvor meget fylder 100,0 g messing?
- Sammenlign resultaterne i c) og d). Bliver den givne stofmængde mere eller mindre kompakt af at blive smeltet om?

Bemærkning:

Når to forskellige stoffer blandes, bliver den færdige blandingens rumfang ikke i almindelighed bare summen af de to oprindelige rumfang! I praksis kan man dog ofte tillade sig at se bort fra denne komplikation, idet effekten tit drukner i den øvrige måleusikkerhed.

Opgave 1.5

I smykker og mønter angives guldindholdet i karat. 1 karat er $1/24$ rent guld af massen. 8 karats guld indeholder derfor $8/24 = 1/3$ guld og $2/3$ noget andet. Rent guld er selvfølgelig 24 karat. »Noget andet« er i regelen en blanding af kobber og sølv, eller måske platin.

- Et smykke er fremstillet af en legering af guld og sølv. Guldsmiden opgiver, at smykket er 18 karat. Smykket har massen 53,3 g. Hvor mange gram guld indeholder smykket?
Hvor mange kubikcentimeter fylder gullet?
Antal gram sølv? Antal kubikcentimeter? Beregn densiteten.
Jævnfør eventuelt med bemærkningen efter opg. 1.4.
- En mønt er fremstillet af 90% guld og 10% kobber. (Procenttallene angiver vægtprocent). Mønten har massen 16,4 g. Beregn densiteten.
Hvor mange karat er mønten?

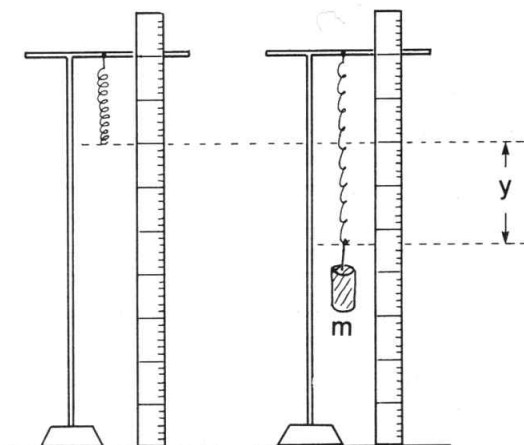
Opgave 1.6

Sølv, der anvendes til sølvtøj og smykker, er som oftest en legering af sølv og kobber. *Lødigheden* er det tal, som er stemplet i en sølvgenstand, og det angiver hvor mange promille (= tusindedele) af genstandens masse, der er rent sølv.

Har en genstand eksempelvis massen 500 g, og er lødigheden 800, indeholder den 400 g rent sølv og 100 g kobber.

Vi betragter nu en sølvkande med massen 960 g og lødigheden 830.

- Hvor mange gram rent sølv indeholder kanden, og hvor meget fylder dette sølv?
- Som a) blot for kobber.
- Hvor stort er kandens rumfang?
- Hvor stor er legeringens densitet?
- Beregn densiteten for en sølvlegering med lødigheden 925.



For ti forskellige lodmasser (m) aflæses forlængelsen (y).

Nøjagtighed : 0,1 cm.

Gentag eventuelt forsøget med en slappere fjeder.

Opgave 1.7

LABORATORIE-ØVELSE NOGLE LINEÆRE SAMMENHÆNGE

Formål

At afsløre nogle fysiske lovmæssigheder ud fra grafiske afbildninger af forsøgsresultater.

Apparatur

- Vægt, højt måleglas (100 mL), sprit (eller anden væske)
- Fjeder, lodder, meterstok, stativ

Øvelsesgang

1. Væske i måleglas

Fyld 10 mL af væsken i måleglasset. Stil den påfyldte beholder op på vægten. Aflæs massen, m (i gram med mindst 1 decimals nøjagtighed). Gentag proceduren med 20 mL, 30 mL, ... , 100 mL (i alt ti vejninger).

2. Belastning af en fjeder

Hæng fjederen op i stativet. Anbring meterstokken således, at fjederens *forlængelse*, y , ved forskellige belastninger med små lodder, kan aflæses.

Data

Væskens rumfang	Vægten viser
V/mL	m/g
10	
20	
.	
.	
.	
.	
100	

Loddets masse	Forlængelsen
m/g	y/cm
.	
.	
.	
.	
.	
.	
.	

(fortsætter næste side)

Rapporten skal indeholde:

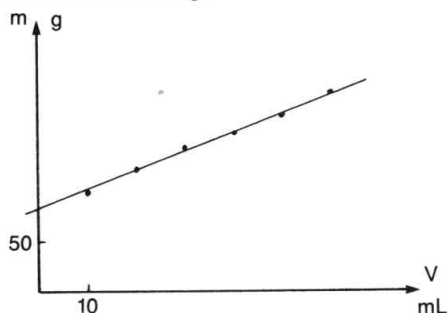
- 1) Forside med titel, navn, klasse og hold-medarbejdere.
- 2) Øvelsens formål.
- 3) Kort beskrivelse af fremgangsmåden ved forsøget.
- 4) Måleresultater i skema.
- 5) En (V,m)-graf på millimeterpapir *).
- 6) Ud fra din graf kan du forhåbentlig slutte, at m afhænger *lineært* af V : $m = a \cdot V + b$. Angiv den matematiske betydning af a og b.
Find a og b af grafen (såvel talstørrelse som enhed).
Angiv den fysiske betydning af hver af de fundne størrelser.
- 7) En (m,y)-graf på millimeterpapir *).
- 8) Ud fra din graf kan du forhåbentlig slutte, at y er proportional med m : $y = a \cdot m$. Angiv den matematiske betydning af a.
Find a af grafen (såvel talstørrelse som enhed).
Angiv den fysiske betydning af den fundne størrelse.
- 9) En besvarelse af opgave 1.8.

*) En graf skal altid indeholde:

- a) En overskrift.
- b) På hver af akserne angives både symbol for den afbildede størrelse samt for den benyttede enhed.
- c) En tydelig markering af målepunkterne.

Eksempel:

Massen af (beholder + væske) som funktion af væskens rumfang.



Opgave 1.8

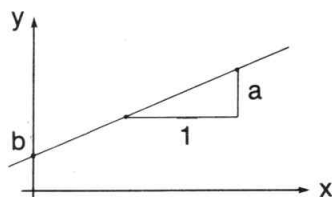
(supplement til opg. 1.7)

- a) Betragt en væske i en høj beholder. Preses den nederste del af væsken så sammen? Er rumfanget af fx 10 g væske nær bunden mindre end rumfanget af andre 10 g væske nær overfladen? Svaret på dette spørgsmål fås af forsøget med sprit i måleglas. Den fremkomne (V,m)-graf med figuren nedenfor bliver jo en *ret* linje. I hvilken retning ville kurven have krummet, hvis der fandt en sammenpresning sted?
- b) I det nævnte forsøg findes sprits densitet som hældningskoefficienten af den ved forsøget fremkomne rette linje. Denne metode er mere pålidelig end blot at benytte ét enkelt målesæt. Hvorfor det?
- c) Brug eventuelt en computer eller en lommeregner til at finde »de bedste rette linjer« i øvelsen.

LINEÆR SAMMENHÆNG

I matematiktimerne lærer man, at ligningen for en *ret linje* er af formen

$$y = a \cdot x + b$$



b: afskæringen på andenaksen.

a: hældningskoefficienten = stigningstallet.

Hvis to størrelser x og y opfylder ovennævnte relation, så siger man, at y *afhænger lineært af* x .

Hvis *specielt* $b = 0$, så siges x og y at *være proportionale*.

I dette sidste tilfælde går linjen gennem $(0,0)$.

Sådan findes a ud fra en given graf:

- 1) Vælg to punkter på linjen (godt langt fra hinanden).
- 2) Aflæs punkternes koordinater. *Husk enheder.*
- 3) Træk de to andenkoordinater fra hinanden.
Træk de to førstekoordinater fra hinanden.
- 4) a fås så ved at dividere disse to størrelser med hinanden (den første med den anden). *Husk enheder!*

Enhed for b: samme enhed som y .

Enhed for a: enheden for y divideret med enheden for x .

Eksempel:

I Opgave 1.7 optræder den lineære sammenhæng $m = a \cdot V + b$.

Sammenlignes med ovenstående ses blandt andet:

m svarer til det, som i matematiktimerne kaldes y .

V svarer til det, som i matematiktimerne kaldes x .

Enheden for b må være gram (ligesom for m).

Enheden for a må være g/mL (ligesom for m/V).

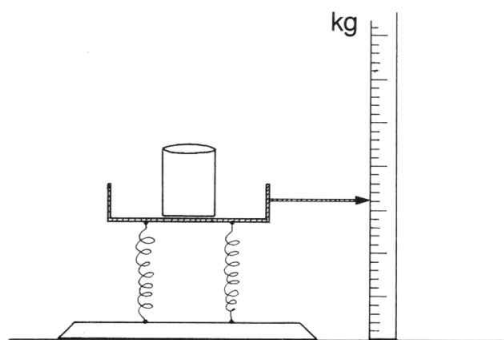
KAPITEL 2

VÆGTTAB I VÆSKER

Masse og vægt

Først skal det understreges, at massen af en bestemt genstand er uafhængig af alle ydre forhold som fx geografisk placering og luftens tryk- og temperatur.

Når man skal *måle* en masse bruges i regelen en vægt, og de fleste vægte (køkkenvægte, badevægte, laboratorievægte, ...) er i *princippet* indrettet, som omtalt nedenfor.



En genstand tænkes anbragt på vægten. Herved vil fjedrene presses et vist stykke sammen. Jo mere fjedrene presses sammen, desto mere siger vi, at genstanden *vejer*. Talskalaen på vægten fremkommer ved, at man for forskellige masser markerer de tilsvarende viserudslag.

Læg mærke til, at det egentlig er en *kraft*, som vægten måler; nemlig den kraft, som den givne genstand udøver på fjedrene.

Grunden til, at en masse overhovedet påvirker en sådan vægt, er *tyngdekraften*:

Enhver masse tiltrækkes med en kraft (tyngdekraften) ind mod Jordens centrum.

Når fjedrene i en vægt er presset så meget sammen, at de netop kan modstå tyngdekraften, kan man aflæse vægten.

Størrelsen af tyngdekraften på en given

masse afhænger af, *hvor* massen befinder sig. Men dette må som umiddelbar konsekvens have, at den *samme* genstand på den *samme* vægt vil give forskellige udslag; alt efter hvor vægten befinder sig!

Eksempelvis vil en person, der i København på sin badevægt vejer 70,0 kg, i Paris på den *samme* vægt veje 69,9 kg. På Månen vil hun veje 11,6 kg. Derimod vil en badevægt justeret i Paris vise 70,0 kg (nemlig personens masse, som ikke ændrer sig, fordi man rejser til Paris).

Ovenstående betragtninger peger på behovet for en slags *standardvægte* til at måle masser på. En sådan får man ved på det såkaldte *normalsted* (= Paris) at lægge kendte masser på vægtskålen, og så afsætte mærker ud for de tilsvarende viserudslag. De skitserede vejninger skal ideelt set foregå i vacuum.

Med en sådan standardvægt kan man nu veje masser andre steder end lige i Paris, og under alle mulige tryk- og temperaturforhold.

Det, som en standardvægt viser, når den belastes med en genstand, kaldes i denne fremstilling for genstandens vægt*)

I følge det foregående er en genstands vægt og dens masse ikke det samme!

I modsætning til en genstands *masse* afhænger *vægten* af genstanden af adskillige ydre omstændigheder.

En astronaut langt ude i Verdensrummet har vægten nul (han er vægtløs!), mens hans masse er præcis lige så stor, som da han sad hjemme foran kaminen.

*) I den videnskabelige litteratur er : en genstands vægt = genstandens *tyngde* = *tyngdekraften* på genstanden.

TYNGDEKRAFT OG MÅLING AF VÆGT

Til laboratoriebrug indrettes skalaen på standardvægte ofte i *kraftenheden newton* (forkortes *N*).

Sammenhængen mellem masse (*m*) og tyngdekraften (*F*) på massen er givet ved

$$F = m \cdot g$$

hvor *g* er et mål for tyngdefeltets styrke det pågældende sted

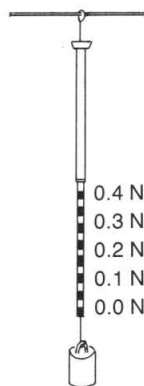
Størrelsen af g forskellige steder:

København: 9,82 N/kg Paris : 9,81 N/kg

Hong Kong: 9,79 N/kg Månen: 1,62 N/kg

Ønsker man eksempelvis at *måle vægten* (ikke massen) af en given genstand, kan man hænge den op i en sådan fjedervægt og herefter aflæse det tilsvarende antal newton. Dette tal divideres med 9,81. Så har man vægten i kg.

Når man kan se bort fra luftens opdrift (se Kapitel 4), så kan man også ud fra fjedervægt-målingen finde genstandens *masse*: Divider størrelsen af kraften med størrelsen af *g* det pågældende sted.



Vægten af en genstand er et mål for, hvor stor en kraft, der skal til for at bære den; altså hvor meget genstanden vejer. Massen af en genstand er et mål for stofmængden i genstanden

I daglig tale skelner man ikke mellem en genstands masse og dens vægt. Når der på en pose med kaffe fx står, at nettovægten er 500 g, så er det oplagt, at det er massen, man taler om. Da de første mennesker ubeværede hoppede rundt på Månen, havde de godt nok tabt i vægt, men der var ikke tale om nogen slankekur.

Der er således en del tvetydighed i spørgsmålet:

»Hvor meget vejer 1 kilogram«?

VÆGTTAB I VÆSKER

Det er velkendt, at selv tunge genstande (din kæreste, et jernanker, ...) bliver forholdsvis lette at bære, hvis de befinder sig under vand.

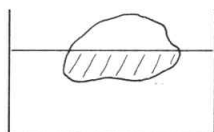
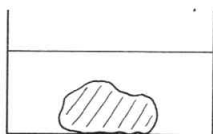
Alle genstande, som nedsænkes i en væske, bliver nemlig lettere.

Hvor meget lettere en genstand bliver, er givet ved *Archimedes' lov*:

Et legeme, der nedsænkes i en væske, taber lige så meget i vægt, som den fortrængte væskemængde vejer.

Ved »den fortrængte væskemængde« forstår den væskemængde, der ville have været på den plads, som nu er optaget af legemet. Se figuren næste side.

Selve vægttabet kaldes *væskens opdrift* på legemet.



*Skraveringerne angiver
»den fortrængte væskemængde«*

Sænkes en jernklods gradvis ned i noget vand, vil klodsens optage mere og mere plads i væsken (den fortrængte væskemængde vil blive større og større). Herved vil klodsens tabe mere og mere i vægt. Når klodsens er helt dækket af vand, er den fortrængte væ-

skemængde størst mulig, og dermed er også klodsens vægttab maksimalt.

Hvis klodsens volumen eksempelvis er 100 cm^3 , fortrænger den (helt neddykket) 100 cm^3 væske.

100 cm^3 vand vejer 100 gram, så klodsens taber følgende 100 g i vægt.

Hvis væsken ikke er vand, men fx sprit, fortrænger klodsens stadig 100 cm^3 væske. Men da 100 cm^3 sprit vejer 79 gram, taber klodsens denne gang kun 79 g i vægt.

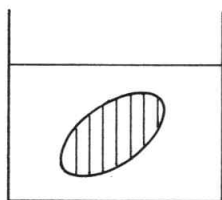
Nedsænker man på lignende måde et stykke træ, vil dette analogt gradvis fortrænge mere og mere væske. Men inden hele træstykket er neddykket, vil det have tabt hele sin oprindelige vægt. Det flyder!!

Tvinger man træstykket ned på bunden (og slipper det), vil det af sig selv stige op til overfladen. Når det flyder, vil der netop stikke så meget af træstykket ned i vandet, at den fortrængte væskemængde vejer det samme som hele træstykket. Dette sidste kan selvfølgelig kun lade sig gøre, hvis densiteten af den genstand, der stikkes ned i væsken, er mindre end væskens densitet.

BEGRUNDELSE FOR ARCHIMEDES' LOV

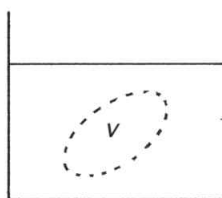
Betragt nedenstående to figurer.

fig. a)



En sten i vand.

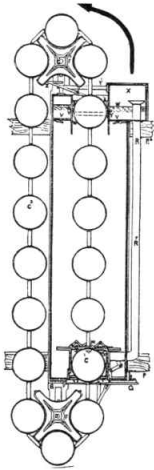
fig. b)



Ingen sten i vand. Markeringen angiver, hvor stenen var før.

Af figur b) indses, at det vand, som er udenfor område V netop er i stand til at bære vandmængden indenfor V. (Hvis dette ikke var tilfældet, ville der opstå strømninger i væsken). Men vandet udenfor V udøver et tryk på V, som er uafhængigt af, om der er en sten, eller der blot er vand, og det er lige præcis dette tryk, som giver anledning til væskens opdrift på stenen. I følge ovenstående betragtninger må størrelsen af opdriften være lig med vægten af den fortrængte væskemængde, og dette er jo netop, hvad Archimedes' lov påstår.

TO EVIGHEDSMASKINER



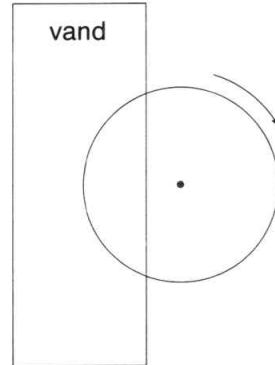
*Patent-
tegning
(1865)*

En kæde af kugler løber mellem to tandhjul. I den ene side sluses kuglerne ind i en vandsøjle, og denne udøver en opdrift på kuglerne, hvorfor kæden vil dreje rundt som vist ved pilen.

Men:

For at åbne lemmen forneden, skal hele den ovenstående vandsøjle løftes, så

Fuldfør modargumentet.



En metalskive er gennem nogle gnidningsfrie tætninger ført delvis ind i en beholder med vand. På grund af vandets opdrift vil venstre halvdel af skiven være lettere end højre halvdel, og skiven vil dreje rundt som vist ved pilen.

Men:

Vandet trykker *vinkelret* ind på en flade, så...

Fuldfør modargumentet.

Opgaver til Kapitel 2

Opgave 2.1

- En metalklod synker jo normalt til bunds i vand. Hvordan kan man så forklare, at store skibe faktisk flyder?
- Hvorfor flyder olie på vand?
- Hvordan kan det være, at fisk uden at »svømme« kan stå stille, stige op eller lade sig synke ned?
- Har dette sidste noget med u-både at gøre?

Opgave 2.2

- En bjælke vejer 60 kg. Hvor mange liter vand fortrænger den, når den flyder frit?
- En sten fylder 0,3 kubikmeter. Hvor mange kg føles den lettere under vand?
- Et æg flyder i saltvand, men ikke i postevand. Hvad kan man lære af det?

Opgave 2.3

- Hvor meget er en sten med densiteten $2,8 \text{ g/cm}^3$ og massen 50,0 g lettere at løfte i vand end over vand?
- En korkprop har massen 5,0 g. Hvor mange mL vin fortrængte denne prop, da den flød frit i borddamens fyldte vinglas? ($\rho_{\text{vin}} = 1,07 \text{ g/mL}$).

Opgave 2.4

Hvad ville du helst eje : en klump guld, der har vægten 100 g på Månen, eller en klump guld, der har vægten 100 g i København?

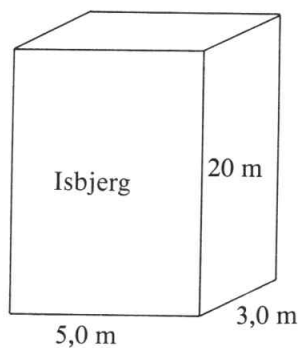
Opgave 2.5

Lille praktisk opgave

Hæld vand i et måleglas. Lad en isterning flyde frit på vandet.

- Aflæs, hvor højt vandet står.
- Aflæs igen, når al isen er smeltet.
- Forklar resultatet ved hjælp af Archimedes' lov.

Opgave 2.6



- Udregn isbjergets masse
- Hvis kun halvdelen af bjerget er dækket af vand, hvor meget er så massen af den fortrængte vandmængde?
- Hvor meget af de 20 m skal ned i vandet, før det flyder?
- Hvor stor en brøkdel af isbjergets volumen er under vand?

Opgave 2.7

Nedenstående tekst stammer fra en lærebog i fysik for gymnasiet (P. Colding-Jørgensen, Is-Fysik, 1988).

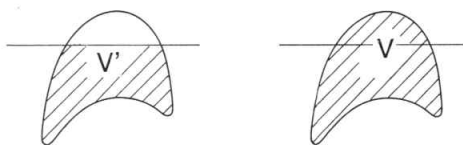
De fleste stoffer trækker sig sammen, når de størkner, og får derved større massetæthed end væsken. Vand hører til undtagelserne og har mindre massetæthed som fast end som flydende. Ved 0°C er massetætheden 1000 kg/m^3 for vand og 917 kg/m^3 for ren og klar is. Hvis der er luftblærer i isen, er den hvid, og massetætheden er mindre, ned til omkring 850 kg/m^3 i isbjerger. Det er altså ikke præcis ni tiendedele af et isbjergets rumfang, der er under vand, og tænker man på højde og dybde bliver det helt forkert. Når søfolk vil vurdere vanddybden ud fra isbjergenes højde, regner de med, at dybgangen sjældent er mere end tre gange højden, og man kan møde isfjelde, der rager 10 m op og alligevel kun stikker 10 m ned.

Læs teksten.

Svar derefter på følgende spørgsmål:

- Hvorfor bliver densiteten af is mindre, hvis den indholder luftblærer?
- Hvorfor vil altid ca. ni tiendedele af et isbjergets rumfang være under vand? (uanset isbjergets form).

Hjælp:



$$V' \cdot \rho_{\text{vand}} = V \cdot \rho_{\text{is}} \Leftrightarrow V' / V = \rho_{\text{is}} / \rho_{\text{vand}}$$

Forklar!

- c) Tegn et isbjerg, så dybgangen er ca. tre gange den synlige højde.
- d) Tegn et isbjerg, der illustrerer situationen, hvor det rager 10 m op og stikker 10 m ned.
- e) Hvilke andre væsker end vand kan der eksempelvis tænkes på i citatets linje 1-2?

Opgave 2.8

Hvor stor en brøkdel af en korkprops rumfang vil synke ned i vand? i sprit?

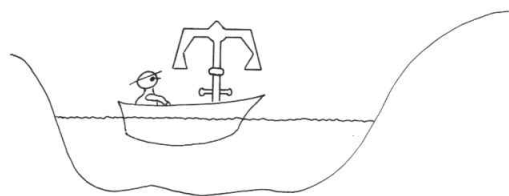
Densiteten for kork kan sættes til $0,17 \text{ g/cm}^3$.

Opgave 2.9

Nogle redningsveste er lavet af et plastikskum materiale med densiteten $0,15 \text{ g/cm}^3$. Hvor stort et rumfang skal disse have, for at de er i stand til at holde en 90-kg kvinde en tredjedel oven vande?

Antag, at kvindens densitet er $1,10 \text{ g/cm}^3$.

Opgave 2.10



Ankeret kastes i vandet. Hvad sker der med vandstanden i søen?

Opgave 2.11

Hvorfor er det nemmest at flyde på ryggen (eller er det)?

Opgave 2.12

Find ud af hvorfor søer om vinteren fryser til ovenfra (de når sjældent at blive bundfrosne).

Dette forhindrer blandt andet, at fiskene dør lige så snart, det bliver frostvæjr.

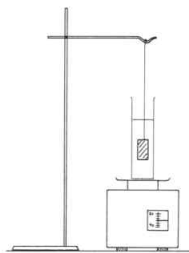
Opgave 2.13

Lille praktisk opgave

Find ved hjælp af en vægt massen (m) af et metallod.

Et cylinderglas med en passende mængde vand sættes på en vægtskål. Aflæs massen (m_1).

Hvis man nedsænker loddet i vandet (som vist på figuren), så det hverken rører bund eller sider i glasset, vil vægten så vise mere end før? Hvis du svarer ja til dette, hvor meget mere vil vægten så vise? Loddets masse eller hvad? Aflæs nu hvor stort udslaget faktisk er på vægten. Denne sidste masse kaldes m_2 . Overrasket?



En forklaring

Forklaringen på, at vægten viser mere, når loddet sænkes ned i vandet, er, at loddet jo mister noget af sin vægt på grund af det omgivende vand. Herved kommer snoren, som loddet hænger i, til at bære mindre, og derfor øges presset på den underliggende væske, og dermed også på vægtskålen. Idet vi har lært at beregne et legemes væggtab i en væske, må masseforøgelsen $m_2 - m_1$ netop være massen af den fortrængte vandmængde.

Altså

$$(m_2 - m_1) = 1,00 \text{ g/cm}^3 \cdot V$$

$1,00 \text{ g/cm}^3$: vands densitet.

V : loddets volumen = rumfanget af det fortrængte vand

Loddets densitet ρ kan følgelig findes, som følger:

$$\begin{aligned}\rho \cdot V &= m \Leftrightarrow \rho \cdot V \cdot 1,00 \text{ g/cm}^3 = m \cdot 1,00 \text{ g/cm}^3 \\ \Leftrightarrow \rho \cdot (m_2 - m_1) &= m \cdot 1,00 \text{ g/cm}^3 \\ \Leftrightarrow \rho &= m / (m_2 - m_1) \text{ g/cm}^3\end{aligned}$$

Ved at måle m , m_1 og m_2 kan ρ beregnes ved indsættelse i denne sidste formel.

Resultatet bruges i laboratorie-øvelsen MAX/MIN-METODEN.

Opgave 2.14

LABORATORIE-ØVELSE MAX/MIN-METODEN

Formål

At bestemme samme størrelse på to forskellige måder. At vurdere usikkerheden på enkeltmålinger, og herudfra at beregne usikkerheden på sammensatte udtryk.

Apparatur

Præcisionsvægt, måleglas, metallod og forsøgsstativ.

I øvelsen bestemmes *samme* metallods densitet på to måder:

- a) Måleglasmetoden b) Opdriftsmetoden.

Måleglasmetoden

Øvelsesgang

På vægten aflæses loddets masse i gram med to decimaler. Samtidig vurderes usikkerheden δm . Måleglasset fyldes ca. halvt med vand, og vandets rumfang V_1 aflæses. Samtidig vurderes usikkerheden δV_1 . Lodet sænkes ned i måleglasset, så det er helt nede under vandet. Rumfanget V_2 aflæses, og δV_2 vurderes.

Måleresultaterne indføres i et skema som nedenstående.

Data

Loddets masse	m	δm
Vandets rumfang	V_1	δV_1
Rumfang af lod + vand	V_2	δV_2

Behandling af data

Beregn loddets rumfang $V = V_2 - V_1$ og lodets densitet $\rho = m/V$

For at bestemme usikkerheden på ρ udregnes $\rho_{\max}$ og $\rho_{\min}$:

$$\rho_{\max} = \frac{m_{\max}}{V_{\min}} = \frac{m + \delta m}{(V_2 - \delta V_2) - (V_1 + \delta V_1)}$$

(tæller stor, nævner lille).

$$\rho_{\min} = \frac{m_{\min}}{V_{\max}} = \frac{m - \delta m}{(V_2 + \delta V_2) - (V_1 - \delta V_1)}$$

(tæller lille, nævner stor).

Usikkerheden $\delta \rho$ på ρ findes nu som de største af tallene

$(\rho_{\max} - \rho)$ og $(\rho - \rho_{\min})$.

Denne måde at bestemme et sammensat udtryks usikkerhed på kaldes *max/min-metoden*.

Som slutresultat anføres $\rho \pm \delta \rho$.

NB!

Da usikkerheder er skønnede, det vil sige i sig selv usikre, er der sjældent mening i at angive usikkerheder med mere end ét betydende ciffer:

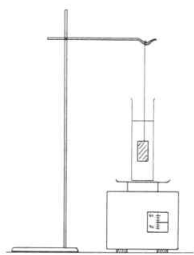
fx 0,3 g/mL i stedet for 0,28 g/mL.

På samme måde vil man ikke med rimelighed kunne angive slutresultatet med flere decimaler, end der er i usikkerheden:

fx skal $(8,49 \pm 0,3) \text{ g/mL}$ rundes af til $(8,5 \pm 0,3) \text{ g/mL}$.

Opdriftsmetoden

Øvelsesgang



Et cylinderglas med en passende mængde vand sættes på vægtskålen. Massen aflæses (m_1). Loddet nedsænkes helt i vandet og hænges i et stativ, så det hverken rører bund eller sider i glasset. Vægten aflæses igen (m_2). Resultaterne indføres i et skema. Husk enheder.

Data

uden lod	m_1	δm_1
med lod	m_2	δm_2

Behandling af data

Loddets masse m kendes fra første del af øvelsen. Loddets densitet beregnes efter formlen:

$$\rho = m/(m_2 - m_1) \text{ g/mL}$$

Man udfører usikkerhedsberegninger efter samme princip som før.

Rapporten skal indeholde:

- 1) Øvelsens formål
- 2) Kort beskrivelse af fremgangsmåden
- 3) Skemaer over forsøgsresultater
- 4) Beregning af ρ i de to tilfælde
- 5) Beregning af $\delta \rho$ i de to tilfælde
- 6) Markér de to intervaller $[\rho - \delta \rho; \rho + \delta \rho]$ på en fælles tallinje.
- 7) Strider de to resultater for ρ mod hinanden?
Svaret skal begrundes!
- 8) Hvilken målemetode er bedst?
Begrund svaret

Opgave 2.15

- a) Diametren i en cirkel måles til $(13,2 \pm 0,1) \text{ cm}$.
Beregn arealet samt den tilhørende usikkerhed.
- b) Politiet måler en bils fart gennem en by ved at måle, hvor lang tid bilen er om at tilbagelægge strækningen mellem to i forvejen afsatte mærker (afstand 30 m).
Stopuret viser 2,0 sek.
Idet der regnes med en usikkerhed på 0,2 sek., skal du som dommer afgøre, om bilisten kørte for stærkt.
- c) En væskes rumfang afmåles i et måleglas til $(85,0 \pm 0,5) \text{ mL}$. Væsken har massen 90,38 gram. Man kan se bort fra usikkerheden på massen.
Bestem væskens densitet med tilhørende usikkerhed.
- d) Kantlængden på en træterning måles til $(5,2 \pm 0,1) \text{ cm}$. Terningens masse måles til $(82,3 \pm 0,2) \text{ g}$.
Beregn den pågældende træsorts densitet samt den tilhørende usikkerhed.

KAPITEL 3

ARCHIMEDES I

BADET

I La Cour & Appels bog »Historisk Fysik« fra 1896 kan man læse nedenstående anekdote om *Archimedes*. Archimedes (287-212 f.Kr.) er en af de mest betydningsfulde af de klassiske græske naturvidenskabsmænd.

»Da Hiero havde fået Kongemagten og vilde, som han havde lovet, ofre en Guldkrans til en eller anden Helligdom for sine lykkelige Handlinger, lod han den lave for Arbejdsløn og tilvejede Guldsmiden det dertil nødvendige Guld. Denne afleverede Arbejdet til Kongens fulde Tilfredshed; og ogsaa Kransens Vægt syntes at passe nøjagtig. Men da det senere blev angivet, at der var borttaget Guld og iblandet Sølv istedet, blev Hiero opbragt over at være bleven bedraget uden at se Udvej til at paavise Bedrageriet, og han overlod Archimedes at udfinde en Paavisning heraf. Medens denne var ivrig beskæftiget dermed, kom han tilfældig i Bad, og da han steg ned i Karret, bemærkede han, at Vandet flød over Karrets Rand i samme Grad, som hans Løgene sænkede sig deri. Saasart han betænkte denne Sammenhæng, tøvede han ikke længer, men dreven af Glæde sprang han op af Karret, løb nøgen til sit Hus og raabte med høj Røst, at han havde fundet, hvad han søgte; ti i Løbet udraabte han paa græsk:



(Jeg har fundet det!).«. Dette Udraab er senere blevet brugt ved utallige Opfindelser af mindre Betydning.

Det skal tilføjes, at guldsmiden havde svindlet.

Han måtte følge af med hovedet! Hvad det præcist var, som pludselig gik op for Archimedes i badet, ved man ikke med sikkerhed. Men der er i hvert tilfælde to nærliggende muligheder (se nedenfor).

Uddrag af det amerikanske fagtidsskrift »The Physics Teacher« (March 1987):

Archimedes' Bath

Robert P. Bauman.

One of the best-known stories of early science is the flight of Archimedes from his tub when he discovered the solution to the problem of determining the composition of King Hieron's crown. Unfortunately, there are conflicting versions of the scientific significance, as well as great uncertainty about other parts of the story.

One early version, "of doubtful authenticity," was given by Vitruvius, a military engineer in Africa for Julius Caesar and author of a major work on architecture:

...as he was sitting down in the tub, he noticed that the amount of water which flowed over by the tub was equal to the amount by which his body was immersed. This indicated to him a method of solving the problem...

The usual interpretation of this sketchy account is that Archimedes later proceeded to find the volume of the crown by displacement, the mass of the crown by weighing, and the density by dividing.

A second version often taught is that the bath provided the moment for discovery of Archimedes' principle of buoyancy. According to one of the descriptions, Archimedes recognized the importance of demonstrating his conclusion that the crown was of mixed metals to the King and his court without mathematics. Employing his newly recognized principle, he therefore set up a balance with the crown on one side and an equal mass of gold on the other. When the balance, crown, and gold were then placed under water, the crown and gold were clearly no longer in balance, showing the difference in nature of the two objects.

Gloser:

tub.....	badekar
immersed.....	nedsænket
determining.....	bestemme
interpretation.....	fortolkning
composition.....	sammensætning
sketchy.....	løse
scientific.....	videnskabelig
account.....	redegørelse
significance.....	betydning
proceeded.....	gav sig til
authenticity.....	pålidelighed
displacement.....	fortrængelse
engineer.....	ingeniør
buoyancy.....	opdrift
amount.....	mængde
recognize.....	erkende
equal.....	lig
employing.....	anvende

Opgaver til Kapitel 3

Opgave 3.1

- Læs den engelske tekst side 22.
- Gør rede for tankegangen i »the usual interpretation«.
- Kræver denne løsningsmetode af kroneproblemet overhovedet kendskab til det, vi i dag kalder »Archimedes' lov«?
Synes du, at Archimedes i badet i denne fortolkning er noget at skrive om over 2000 år efter den faktiske begivenhed?
- Gør rede for tankegangen i »the second version«.
- Hvilken af forklaringerne er lettest at forstå for en ikke-fysiker? Begrund svaret!

Opgave 3.2

Hvis Kong Hierons krone efter vægt var 85% guld og 15% sølv, og massen var 4 kg, hvor meget var rumfanget så?

Hvor stort ville rumfanget have været, hvis guldsmeden ikke havde svindlet, og kronen således var 100% guld?

Hvis kronen sænkes ned i et cylinderglas, som er 25 cm i diameter (så kronen kan være der), hvor meget vil vandstanden så stige i hvert af de to tilfælde?

Vurdér om Archimedes var i stand til at *måle* forskellen! Er du?

Opgave 3.3

Hvordan finder en guldsmed i dag ud af hvor meget guld, der er i fx en ring?

Opgave 3.4

Den ene arm af en balancevægt



Figur A

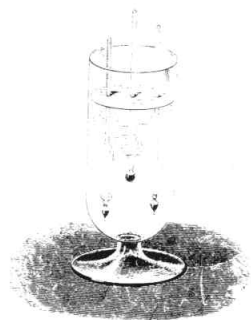
Det på figur A viste apparat kan bruges til at måle en klump metals densitet. Find ud af princippet.

Opgave 3.5

Hvad hvis klumpen i Opg. 3.4 var af træ? (Her skal du bruge din fantasi).

Opgave 3.6

Figur B viser tre såkaldte flydevægte. Sådanne kan direkte måle en væskes densitet. Find ud af princippet.



Figur B

Opgave 3.7 LABORATORIE-ØVELSE AFSLØRINGEN AF EN SYSTEMATISK FEJL

Formål

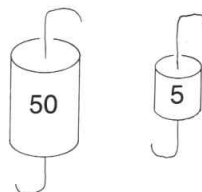
At vurdere usikkerheden på enkeltmålinger, og herudfra beregne usikkerheden på sammensatte udtryk.

At afsløre en systematisk fejl.

At kunne anvende en skydelære.

Apparatur

Præcisionsvægt, skydelære, 5-grams og 50-grams lod af *samme* materiale.



Øvelsesgang

Ved hjælp af en skydelære finder man de to lodders højde (h) og diameter (D). Disse størrelser skal angives i cm med *to decimaler*. Endvidere bestemmes loddernes masser. Husk at vurdere δh , δD og δm .

Data

	h	δh	D	δD	m	δm
enhed						
lille lod						
stort lod						

Behandling af data

Idet hvert af lodderne betragtes som en cylinder med højde h og diameter D, kan metallets densitet ρ beregnes ved hjælp af formelen

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{\pi/4 \cdot D^2 \cdot h}$$

(En cylinders rumfang $V = \pi/4 \cdot D^2 \cdot h$).

Rapporten skal indeholde:

Øvelsens formål.

Kort beskrivelse af fremgangsmåden ved forsøget.

Måleresultater i skema.

Beregning af ρ i de to tilfælde.

Beregning af $\delta \rho$ i de to tilfælde ved hjælp af max/min-metoden.

Forklar hvorfor man på forhånd må forvente, at resultatet med 5-grams loddet bliver større end resultatet med 50-grams loddet (også når usikkerheden tages i betragtning!).

Bekræfter forsøgsresultaterne denne forventning?

Hvordan skulle man bære sig ad, hvis man virkelig ønskede at finde densiteten af det pågældende metal?

KAPITEL 4

BALLONER OG LUFTSKIBE

Vægttab i gasser

I fysik og kemi bruges ordet *gas* som betegnelse for en *luftart*.

Eksempler på gasser: atmosfærisk luft, brint, ilt, naturgas.

Det viser sig, at Archimedes' lov også gælder for genstande omgivet af gasser:

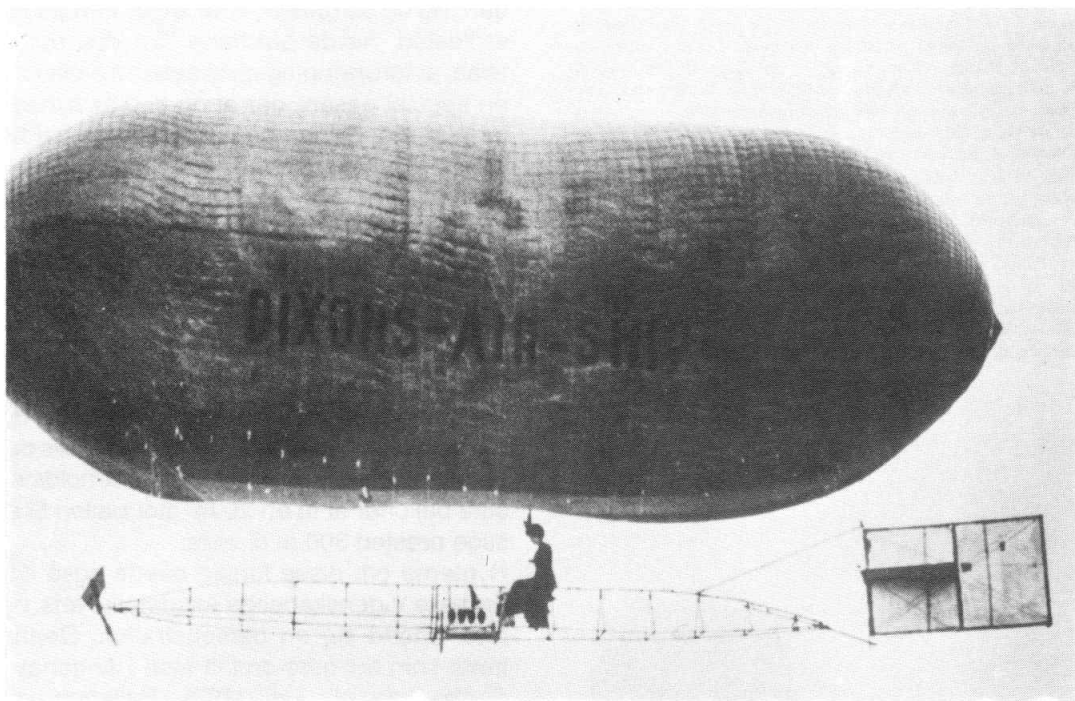
Et legeme, der er omgivet af en gas, taber lige så meget i vægt, som den fortrængte gasmængde vejer.

Eksempel.

En 2-liters lukket beholder står på køkkenbordet. Atmosfærisk luft har ved temperaturen 20°C densiteten 1,20 g/L.

De 2 liter luft, som beholderen fortrænger, må veje 2,40 g.

Følgelig er beholderen 2,4 gram lettere, end den ville være, hvis den befandt sig i vacuum.



På dette poetiske foto fra 1909 sejler moderen til den amerikanske luftskipper Dixon gennem lufthavet.

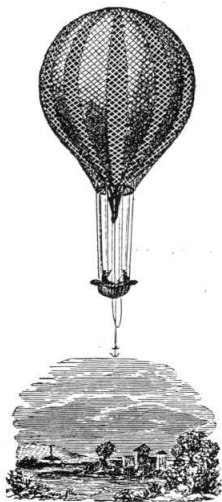
To typer luftballoner

En fysiklærebog »Experimentalfysiken« fra 1878 præsenterer på forsiden sig selv som »nærmest til Brug for de lærde Skolers mathematisk-naturvidenskabelige afdeling«. Citat fra bogen:

Luftballonen. — En ligefrem Følge af det Archimediske Princip er det, at ethvert Legeme, som vejer mindre end et lige saa stort Rumfang Luft, maa gaa til Vejrs, og det saa længe, indtil det træffer et Luftlag, af hvilket et Rumfang paa Legemets Størrelse netop vejer saa meget som dette selv. Det er dette, som ligger til Grund for Luftballonerne, opfundne af Brødrene Etienne og Joseph Mongolfier i Annonay 1783. Deres Ballon, Montgolfiëren, er en stor, for neden aaben Sæk af Tøj, under hvilken der hænger et Ildbækk. Varmen fra Ilden udvider da Luften i Ballonen, saa at en Del af den maa trænge ud igennem Aabningen; men derved kommer det hele Apparat til at veje mindre og vil da stige, saafremt den uddrevne Luftmængde vejer mere end Sækken med Tilbehør. Skal Ballonen tage Passagerer med sig, er der i en langs Aabningens Rand anbragt Ring ophængt et Galleri, hvori Personerne kunne opholde sig, forstærke Ilden, hvis de ville stige, dæmpe den, hvis de ville dale.

En anden Slags Balloner ere de saakaldte Charliërer eller Aerostater, opfundne af Professor Charles i Paris (1783), som ved at høre Efterretningerne om Brødrene Montgolfiers Forsøg med deres Balloner, og uden førøvrigt at kjende noget nærmere om dem, indsaa, at man ved at fylde Ballonen med en hvilken som helst Luftart, blot den er mindre vægtfyldig end den atmosfæriske Luft, maatte kunne faa den til at stige. Han anvendte til den Ballon, han selv gik op med, Brint, som er 14,4 Gange lettere end den atmosfæriske Luft. Nu bruger man Belysningsgas, som rigtignok er omtrent 9 Gange saa vægtfyldig som Brinten og altsaa kræver en større Ballon, men som paa den anden Side er meget billigere at fremstille. Charliëren (Fig. 113) er da en noget nær kugleformet Sæk af Tøj, der forneden ender ligesom i et Ærme, hvor igennem Gassen ledes ind. Omkring Ballonen er der lagt et Net af Reb, som samles i en Ring i Nærheden af Ærmets Munding. I denne Ring er ved Hjælp af Tove ophængt den saa kaldte Gondol o: en stor Kurv, hvori Luftskipperen tager Plads. For at kunne dale maa han slippe noget af Gassen ud, hvilket kan ske ved et Ryk i en Snor, som er lagt op igennem Ballonen og fastbundet til den indvendige Side af en øverst paa Ballonen anbragt Klap, der af et System af Guttaperkafjedre lukkes til igjen, saa snart Rykket ophører; vil han stige, kaster han Sand ud.

Endskjønt det i den senere Tid, Dupuy de Lôme (1872), er lykkedes at tvinge Ballonen lidt ud fra den herskende Vindretning, er Problemet om Luftballonens Styring dog endnu saare langt fra at være løst.



Spørgsmål til teksten

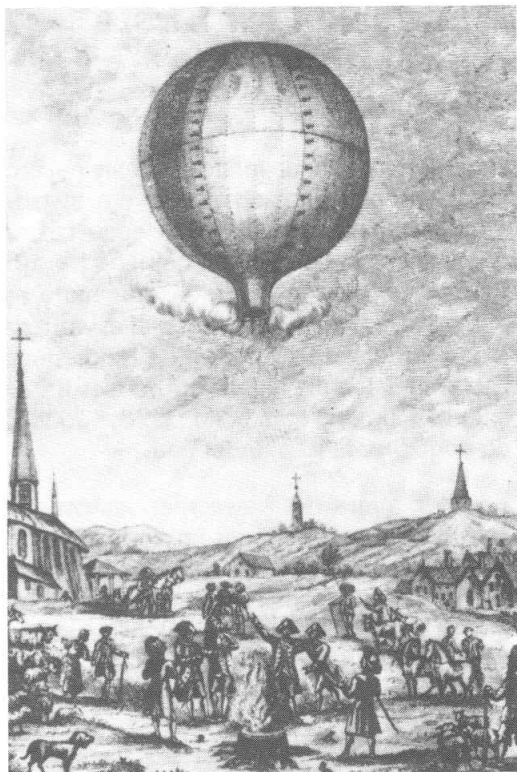
- Redegør i moderne sprog for princippet i virkemåden for hver af de to nævnte ballontyper.
- Hvorledes styrer man i hvert af de to tilfælde (det vil sige, hvordan bestemmer man, om det skal gå op eller ned)?
- Hvorfor vil en given ballon ikke bare blive ved med at stige til vejrs?
- Hvad menes der mere præcist med, at brint er 14,4 gange lettere end atmosfærisk luft?
- Hvorfor kræver den nævnte bygas en større ballon?
- I teksten omtales, at »problemet om luftballonens styring« ikke er løst. Hvilket problem refereres der egentlig til?
- Nævn nogle fordele og ulemper ved hver af de to ballontyper.

De to første store ballonopsendelser

Brødrene Montgolfier benyttede som varmekilde til deres balloner en blanding af brændende uld og fugtig halm. Ved at iagttage den røg og de gnister, som stiger til vejrs fra et ildsted, havde brødrene fået den opfattelse, at forbrændingsprocessen fremkaldte en special gasart, der af og til blev synlig i form af røg. Denne gasart (brødrene kaldte den i al beskedenhed »gaz montgolfier«) havde tilsyneladende den egenskab, at den søgte opad. Dette var måske opdagelsen af den hemmelige kraft, der endelig skulle opfylde menneskets ældgamle drøm om at flyve som fuglen?

Selv om brødrene formodentlig ikke forstod de grundlæggende fysiske principper i varmluftballonen, så eksperimenterede de på livet løs, og i december 1782 lykkedes det efter en lang række forsøg med forholdsvis små balloner at få en 20 m³ stor ballon til at stige næsten 300 m til vejrs.

Rygterne om disse forsøg nåede også det Franske Videnskabelige Akademi i Paris, og man udbad sig en demonstration. Denne fandt som tidligere omtalt sted i Annonay i Sydfrankrig (4. juni 1783). Ballonen var inden starten spændt fast over et bål, og da



Annonay 4. juni 1783

luften indvendigt var blevet tilstrækkeligt varmet op, kappedes fortøjningen. Det fortælles, at ballonen på denne måde opnåede en så stor bæreevne, at der skulle otte stærke mænd til at holde den ved jorden. En-

delig steg ballonen under stor jubel til vejrs fra byens torv.

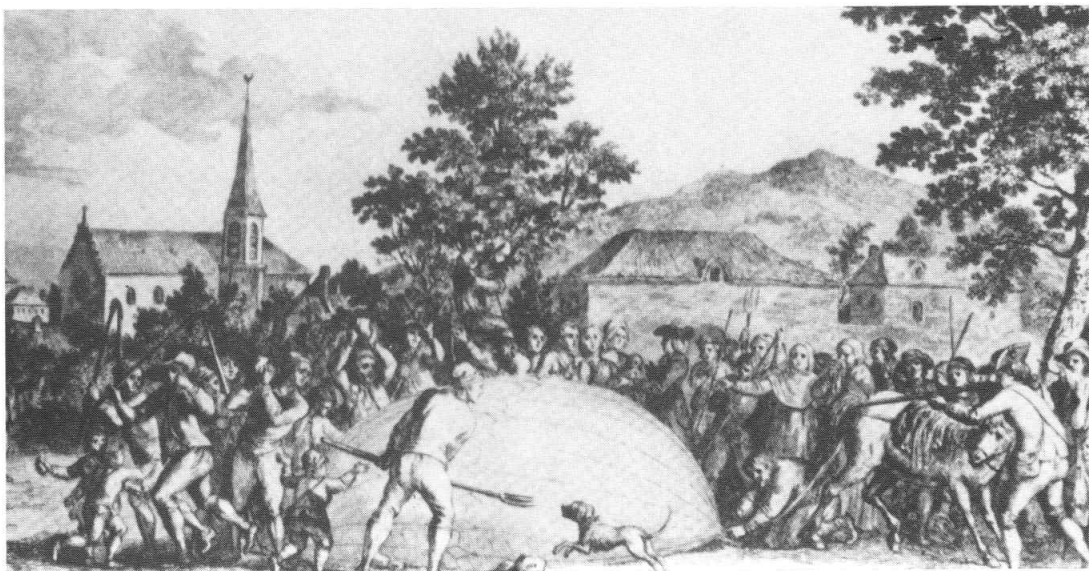
Ballonens rumfang var omkring 800 m^3 , og den steg op til ca. 40 m's højde. Den holdt sig svævende i knapt 10 minutter.

Spørgsmål:

- Hvorfor måtte den nødvendigvis falde forholdsvis hurtigt ned?
- Giv nogle forslag til, hvordan man på en enkel måde kunne forbedre ballonen, så den kunne holde sig svævende i længere tid.
- Hvad var det for grundlæggende fysiske principper som Montgolfier-brødrene ikke forstod?
- Udregn ballonens diameter, D .
(En kugles volumen: $V = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot D^3$).

Den første store gasballon-opsendelse skyldes som tidligere nævnt pariseren *Charles*. Begivenheden fandt sted 27. august 1783, altså kun ca. tre måneder efter demonstrationen i Annonay.

Beboerne i den lille landsby, hvor Charles' første ballon »Globe« landede, blev så forfærdede over dette uhyre fra himlen, at de angreb med deres redskaber. Ballonen blev fuldstændig ødelagt.



Spørgsmål:

a) Fra pålidelig kilde haves, at der til brintfremstillingen til Charles' første ballon blev brugt 1 ton jernspåner og en halv ton fortyndet svovlsyre.

Beskriv hvordan Charles og hans hjælpere må have fået fyldt deres ballon med brint.

b) Charles' ballon svævede væk fra Paris og landede en halv snes kilometer væk i den lille landsby Gonesse.

Hvorfor faldt den mon ned så forholdsvis hurtigt?

c) Gjaldt det om at pumpe så meget brint ind i ballonen som muligt? Jo mere brint, desto større bæreevne??

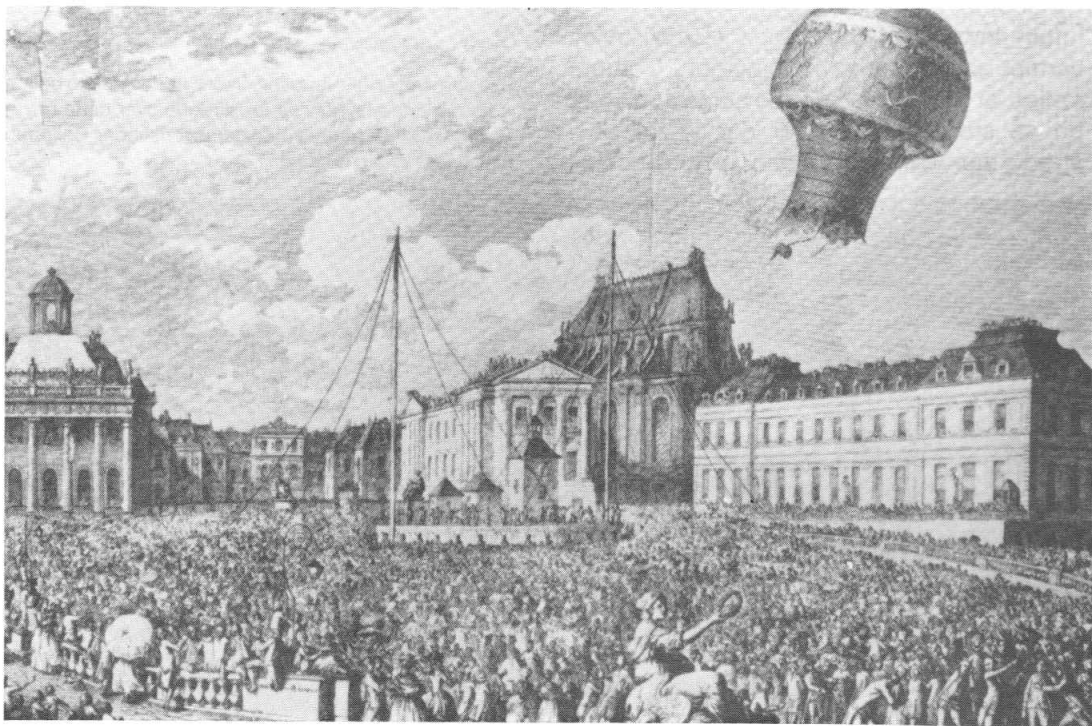
d) For enhver ballon gælder, at jo lettere gassen i ballonen er, desto bedre. Hvorfor bruger man så ikke bare en hel lufttom beholder som bæremiddel?

Mennesket for første gang i rummet

(21. november 1783)

Umiddelbart efter de første succesfyldte ballonopsendelser opstod planer om at lade mennesker gå med op, men dette forbød den franske konge i første omgang kategorisk. I stedet blev det besluttet, at en hane, en and og et får skulle have æren af at være de første luftrejsende. Luftfærden fandt sted i september (stadig 1783), og bortset fra en lidt ublid landing kom ballon og dyr godt op og nogenlunde helskindet ned.

Herefter måtte det være menneskets tur. Man havde først udpeget en dødsdømt forbryder som forsøgsperson, men snart meldte en ung fransk videnskabsmand, *de Rozier*, sig som frivillig. Han fik følgeskab af major *d'Arlandes* på menneskets første »luftsejlad«, der fandt sted samme år i november.



De første levende væsener i rummet (september 1783). En and, en hane og et får.

Fra Erik Nørgårds bog

»Den gik alligevel Granberg«:

»Turen varede 25 minutter, og den var langt fra farefri. Da der var gået en halv snes minutter, dannedes der store brune pletter på lærredet ved ballonens munding omkring det luende bål, og små flammer begyndte at slikke omkring ballonens nederste kant. Men til alt held havde de Rozier taget en stor, våd svamp med, og det lykkedes ham at slukke ilden. Samtidig måtte bålet dæmpes, og det blev nødvendigt at foretage nedstigningen«.

Spørgsmål:

- Hvilken slags ballon benyttedes?
- Hvad er det for »et luende bål«, som omtales?
- Hvordan kunne ballonfarerne styre ballonen hurtigt ned, da det var ved at gå galt?

Er kursen sat?

Begivenhederne i de euforiske pionerdage i 1783 inspirerede mange eventyrere, og de næste mange årtier kastede frygtløse ballonførere sig ud i det ene bemærkelsesværdige projekt efter det andet: opstigninger til 10 km's højde, togter over Alperne, forsøg på at nå Nordpolen, at krydse Atlanten,...

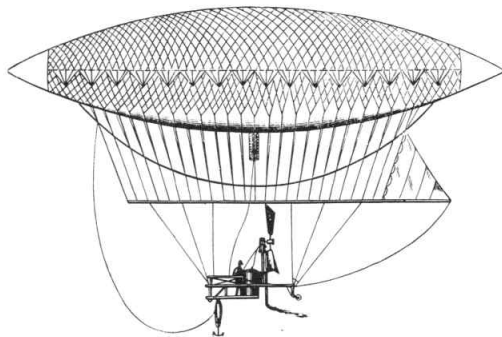
På disse ekspeditioner kunne ballonskipperen ikke direkte styre ballonen. Han måtte stort set finde sig i at blive blæst i vindens retning. Skipperen havde dog en delvis medbestemmelse med hensyn til højden. De dygtigste ballonførere forstod efterhånden at udnytte de ofte modsatte vindretninger i de forskellige luftlag. De kunne således gå ud på én luftstrøm og så ved at ændre højde komme hjem igen på en anden.

Op gennem 1800-tallet gik udviklingen klart i retning af *gasballonen*, og efterhånden som materialerne blev bedre, og man i det hele taget blev dygtigere til at konstruere og fremstille de store balloner, kunne man i stedet for brint ofte blot bruge almindelig bygas. Denne var en del tungere end brint, men til gengæld nem at få fat i samt langt billigere.

Den afgørende svaghed ved ballonerne var og blev den manglende mulighed for »at gå op mod vinden«. I denne henseende måtte man afvente en parallel teknologisk udvikling af effektive (og ikke alt for tunge) motorer, der kunne drive en propel.

I citatet side 26 står, at »det i den senere Tid (1872) er lykkedes Dupuy de Lôme at tvinge Ballonen lidt ud fra den herskende Vindretning«. Det, der her hentydes til, er en ballon, hvor propellen blev drevet *ved håndkraft* af otte stærke mænd. Dette »galajslave-luftkib« havde begrænset succes. Trods de rundhåndede romrationer kunne roerne ikke effektivt drive luftskibet frem. Eksperimentet demonstrerede på den anden side klart, at rå muskelkraft ikke var nok. Der måtte maskinkraft til.

Den første motoriserede flyvetur (1852) tilskrives franskmænden *Giffard*, der selv havde konstrueret den *lille dampmaskine* (45 kg), som trak propellen.



Giffards luftskib (1852).

Hvorfor er ballonen ikke kugle-, men cigarformet?

Grev von Zeppelin

I slutningen af 1800-tallet stod det klart, at problemerne med styringsteknik, ballonform og tilstrækkelig motorkraft stod over for en snarlig løsning, og de militære anvendelser var derefter åbenbare. Det evige militære kapløb landene imellem gjorde eksperimenterne mere målrettede, samtidig med at det gav visse økonomiske muligheder.

Frankrigs hidtidige position som absolut førende luftskibsnation blev nu udfordret af både England og USA, men det var Tyskland, som løb med sejren. Her huserede *grev von Zeppelin* (1838-1917), hvis navn skulle blive synonymt med de luftens giganter, *zeppelinere*, som skulle komme til at fascinere en hel verden.

Von Zeppelins luftskibe bestod af gigantiske gitterkonstruktioner af zink/aluminium overtrukket med lærred, som var overmalet med en karakteristisk »sølvglinsende« lak. I skelettet indbyggedes adskilte brintkamre, der skulle fungere som løftemiddel. På en glide-skinne i luftskibets længderetning fandtes et stort blylod, således at man kunne bestemme luftskibets horisontale stilling i luften. Til at komme fremad brugtes benzinmotorer.

Spørgsmål til teksten:

- Skelettet var af zink/aluminium og »tippe-loppet« af bly. Hvorfor ikke omvendt?
- Var den sølvglinsende lak mon kun til pynt?
- Hvorfor brugtes flere mindre brintkamre og ikke bare ét stort?

Den første zeppeliner var færdig i år 1900: En »flyvende cigar« 128 m lang og 12 m i diameter. Dette luftskib var kun i luften tre gange, og det var nok til at afsløre afgørende svagheder. Da det så i begyndelsen af 1901 beskadigedes slemt under en transport på jorden, blev det resolut hugget op. Dette slog dog ikke von Zeppelin ud, selvom også tildelingen af nye økonomiske midler skabte problemer. Ved hjælp af en storstilet, begejstret tysk folkeindsamling til »redning af luftskibsfarten« kunne bygningen af nye og forbedrede zeppelinere hurtigt igangsættes.

Med de nye zeppelinere og deres efterfølgere blev det for første gang muligt at transportere et større antal mennesker ad luftvejen, men også militært var det med til at sætte en hastig udvikling igang. Blandt andet foretoges verdens første luftbombe-ment i 1912 fra luftskibe. I Den første Verdenskrig (1914-1918) var luftskibene stadig flyvemaskinen overlegen på flere punkter (fx til overvågningsopgaver over havet, hvor flyvemaskinernes aktionsradius var utilstrækkelig), men som altid fremskyndede krigen den teknologiske udvikling, og i slutningen af krigen var flyvemaskinerne blevet



Den første zeppeliner letter (2. juli 1900).

så manøvredygtige, at de store tunge luftskibe til sidst måtte give op i de uhyggelige luftdueller.

De to mest berømte zeppelinere er »*Graf Zeppelin*« (1928) og »*Hindenburg*« (1936). Graf Zeppelin var en gigant 236 m lang og 30,5 m i diameter. Den kunne flyve op til 128 km/h, og havde en aktionsradius på 12 000 km.

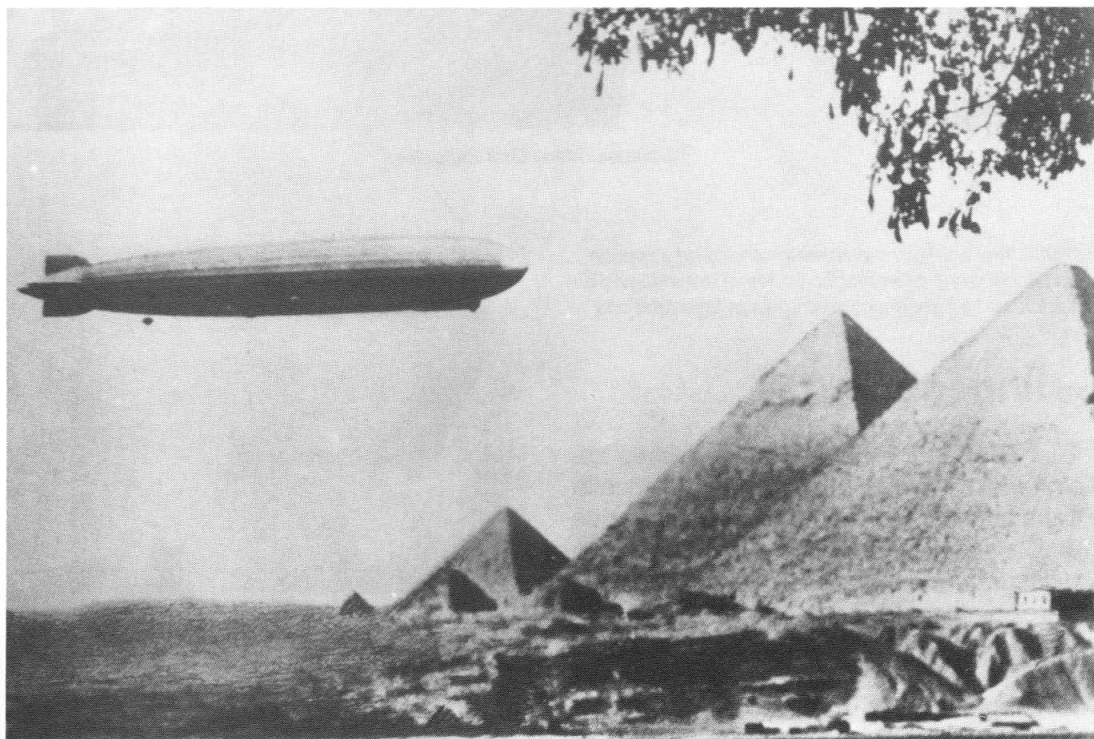
Fra Graf Zeppelins 9-årige aktive karriere kan nævnes:

1928: Over Atlanten med 20 passagerer og 62.000 breve. Efter 4½ døgns luftsejlad fik luftskibet en begejstret modtagelse på Lakehurst-luftbasen uden for New York.

1929: Den berømte jordomrejse. Under kolossal presseopmærksomhed sejlede Graf Zeppelin Jorden rundt i 20 dage. Mellemlandinger: Tokyo, Los Angeles og New York. Hermed bekræftede fartøjet sin store stabilitet og evne til at klare sig under meget forskellige klimatiske og vejrlige forhold.

1931: Over Nordpolens ismasser og over Ægyptens pyramider.

1933: Påbegyndes regelmæssig post- og passagerfart fra Tyskland til Rio de Janeiro i Brasilien. Alene i 1934 foretoges 18 sådanne dobbeltture.



Graf Zeppelin sejler majestætisk ind over pyramiderne.



Spisesalonen i Graf Zeppelin

I 1936 blev berlinerne præsenteret for Graf Zeppelin og Hindenburg. Stemningen på fotoet er tydeligvis en anden end på det entydigt smukke pyramidebillede side 31.

»Hindenburg«

Efter Graf Zeppelins tordnende succes besluttede man i Tyskland at bygge »det ideelle trans-atlantiske luftskib«. Dette blev på trods af politisk pres ikke døbt »Adolf Hitler«, men »Hindenburg« efter »Weimar-republikkens store gamle mand«. Hindenburg stod færdig i 1936. Det var 245 m langt, 47 m i diameter, vejede over 200 tons og kunne udover 40 besætningsmedlemmer medtage 50 passagerer. Saloner, spisesale, toiletter, rygeværelser etc. var fordelt i to etager.



Enhver af Hindenburg's sejlads til USA blev ved med at være en begivenhed, selvom der indtil maj måned 1937 var foretaget tyve. Ombord i Hindenburg på den 21. rejse var blandt andet journalisten Birger Brinck, der ved 18-tiden sendte følgende telegram hjem til »Politiken«:

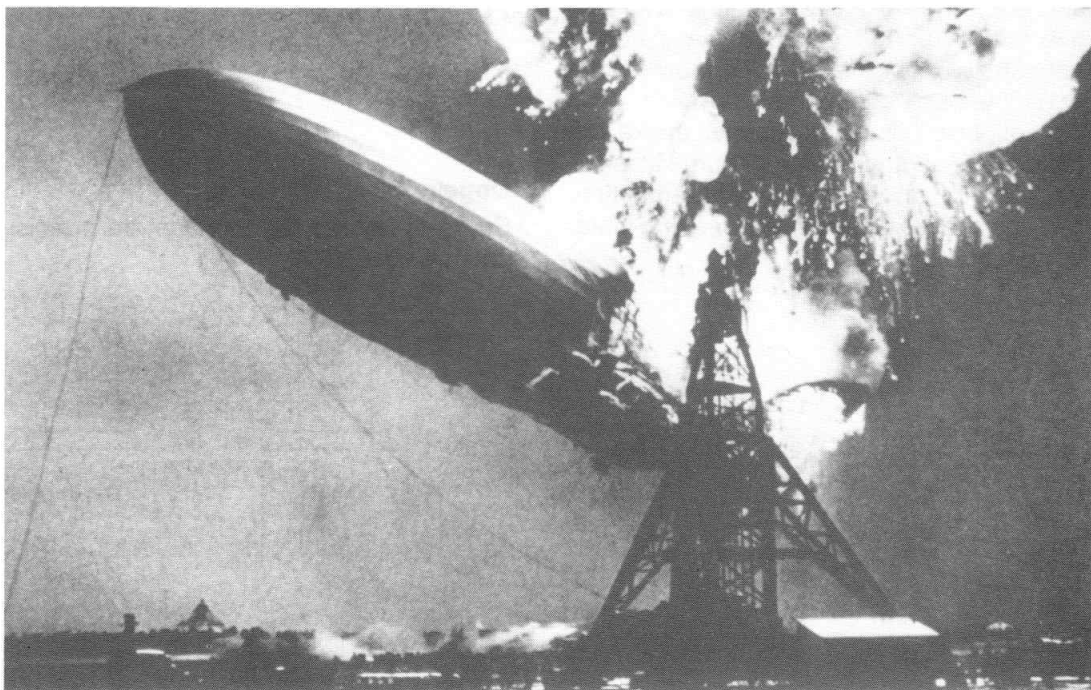
»Vi nærmer os nu målet. Dette er det sidste telegram, jeg sender fra luftskibet, inden vi lander. For godt og vel en time siden passerede vi over Boston. Vi gik på lav højde over byen, og skibene i havnen hilste os med sirenerne. Den sidste times tid har været en fantastisk oplevelse. Vi følger nu sundet mellem det amerikanske fastland og Long Island, men det er meget tåget, og Hindenburg har måttet gå op over tågedækket. Et eventyrligt smukt tågelandskab breder sig under os, solbelyst og skiftende i de forunderligste tegninger. Vi ser slet ikke meget af jorden, men kaptajn Pruss har lovet at prøve at få luftskibet ned under tågen, når vi nærmer os New York, så vi kan få skyskraberne at se«.

En af de journalister, der opholdt sig ved landingsbanen i Lakehurst, afgav senere denne øjensvidneskildring:

»Da Hindenburg nærmede sig, spadserede jeg på den cementerede startbane på Lakehurst Aerodrom. Den voldsomme regn tvang os til at søge ly i en bil næsten lige under luftskibet, da den første eksplosion indtraf. Vi blev næsten kastet ud af bilen og måtte løbe for at redde livet, da brændende dele af luftskibet regnede ned over os.

Da Hindenburg var ca. 350 m fra fortøjningsmasten, standsede motoren, og luftskibet gled sagte nedad. Så skete eksplosionen. Den første indtraf midtskibs og blev straks fulgt af endnu en eksplosion i agterskibet. Flere fulgte nu hurtigt efter hinanden, så skarpe som skud, men allerede den første havde omskabt luftskibet til et flammende hav. Hindenburg knækkede over, og agterskibet begyndte at falde ned. Samtidig så vi, hvorledes passagererne begyndte at springe ud fra luftskibet for at undslippe flammerne. De faldt ned på jorden mellem hinanden, nogle forsøgte at krybe bort, andre blev liggende bevidstløse. Det var et frygteligt syn«.

Hindenburg-katastrofen, 6. maj 1937



Årsagen til katastrofen er aldrig blevet helt opklaret. Den gængse teori går ud på, at en indvendig støttewire i det urolige vejr havde skåret hul i en af brintbeholderne, og den udstrømmende brint så var blevet antændt af statisk elektricitet. Nogle tilstedeværende vidner mente at have set lynnedslag, mens andre hæftede sig ved, at man i det udbrændte vrug fandt en Lugerpistol, hvorfra der var affyret et skud. Men at hovedårsagen i sidste ende var den eksplosions-farlige brint, kunne alle enes om.

Hvorfor de tyske kæmpeluftskibe ikke i stedet for brint brugte den ufarlige helium, vides heller ikke med sikkerhed. USA, der som det eneste land dengang producerede helium, nægtede måske af strategiske grunde at sælge til det oprustende Tyskland? Tyskland overvurderede måske sin egen teknologiske formåen, og fejlvurderede risikoen ved ikke at købe den sikre, men uhyre kostbare helium? I begge tilfælde var det vel i virkeligheden for begge parter bare et spørgsmål om den rigtige pris?

Hindenburg-katastrofen vakte enorm opsigt. Ikke kun fordi 36 mennesker omkom, men fordi det med ét stod klart, at det ikke var luftskibene, som skulle blive fremtidens kollektive lufttransportmiddel. Som det patetisk udtryktes: »Det er ikke kun Hindenburg, som er gået under. Det er en hel epoke«.

Og rigtigt var det, at luftskibenes epoke var forbi. Under indtryk af Hindenburg-katastrofen blev al passagertrafik med kæmpeluftskibene øjeblikkelig indstillet for aldrig mere at blive genoptaget.

Opgaver til Kapitel 4

Opgave 4.1

- Hvorfor er opdriften på et legeme langt tydeligere at iagttage i en væske end i en gas?
- Angiv en betingelse for, at et legeme kan svæve.
- Hvorfor stiger en ganske almindelig ballon, som du selv puster op, ikke til vejrs? Hvorfor gør ballonerne i Tivoli det?
- Hvorfor stiger varm luft til vejrs? Hvad med fugtig luft?

Opgave 4.2

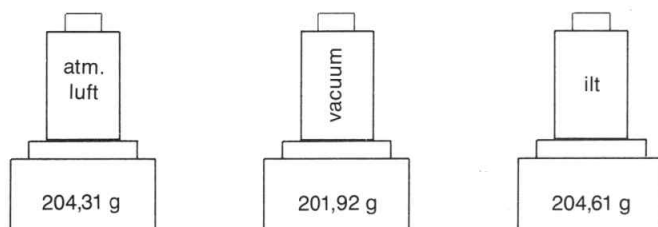
Normalkilogram-loddet i kælderen i Paris har densiteten $21,511 \text{ g/cm}^3$. En discount-udgave af dette platin/iridium-lod er lavet af rustfrit stål med densiteten $7,833 \text{ g/cm}^3$.

Begge lodder har altså massen 1 kg, men størrelsen af luftens opdrift er ikke den samme på de to.

- Beregn størrelsen af luftens opdrift på hver af de to lodder i et lokale, hvor $\rho_{\text{luft}} = 1,20 \text{ g/L}$.
- Hvor nøjagtig en vægt skal man have for at kunne måle forskellen?
- Vil de to 1 kg-lodder være i ligevægt på en balancevægt?

Opgave 4.3

Som vist tænkes der foretaget tre præcisionsmålinger.



- Hvad er det, som har massen 204,31 g? Beholderen alene? Beholderen + luft? Forklar!
- Hvad er det, som har massen 201,92 g? (Det er *ikke* beholderen alene !!).
- Hvor meget er massen af ilten i beholderen?

Opgave 4.4

Vej en lille legetøjsballon i oppustet og i ikke-oppustet tilstand.
Hvad angiver de to tal?

Opgave 4.5

En varmluftballon har rumfanget 2550 m^3 , og har sammenpakket massen 105 kg . Densiteten af luften i ballonen gøres tilstrækkeligt lille ved opvarmning med en gasflamme. Ved en bestemt temperatur er

$$\rho = 1,07 \text{ kg/m}^3.$$

Densiteten af den omgivende atmosfæriske luft er $1,25 \text{ kg/m}^3$.

- Find massen af luften i ballonen.
- Find massen af ballonen (inklusive luften i den).
- Find massen af den omgivende, fortrængte atmosfæriske luft.
- Stiger ballonen til vejrs?
- Hvor stor en last kan ballonen medtage?

Opgave 4.6

En ballon laves af en stor tynd plastikpose. Posen kan rumme 20 liter helium. Hvor meget må den sammenfoldede pose, tape, snor, gondol,... højst veje, hvis ballonen skal lette?

Opgave 4.7

Densiteten af det helium, som er i en given gasballon, er $0,175 \text{ kg/m}^3$. Hvor stort et rumfang skal ballonen mindst have, hvis den skal kunne løfte 700 kg ? (De 700 kg inkluderer massen af ballonen, men ikke heliummet i den).

Opgave 4.8

Helium er dobbelt så tungt som brint. To i rumfang lige store balloner fyldes med hver sin gas. Har brint-ballonen dobbelt så stor bæreevne som helium-ballonen?

Opgave 4.9

Densiteten, ρ , af en gas afhænger af trykket og af temperaturen på følgende måde:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{p}{1 + t/273}$$

p: trykket målt i atmosfære (fork. atm)

t: temperaturen målt i grader celsius

ρ_0 : densiteten ved 0° C og 1 atm tryk

En affaldspose af polyethylen (det er det, som de tynde, knitrende plastikposer er lavet af) har en masse på 70 gram og et rumfang på $5,3 \text{ m}^3$. Posen fyldes med luft, som opvarmes til 70° C . Den omgivende luft har temperaturen 18° C og trykket 1 atm . For (tør) atmosfærisk luft er $\rho_0 = 1,293 \text{ g/L}$.

- Hvor stort er trykket indeni ballonen?
- Udregn densiteten af såvel luften indeni som udenfor ballonen.
- Find den samlede masse af ballon og ballonluft.
- Find massen af den fortrængte luftmængde.
- Hvor stor en nyttelast vil ballonen kunne løfte?

Opgave 4.10

- Betragt ballonen i opgave 4.5. Hvor meget er temperaturen af luften henholdsvis indeni og udenfor ballonen?
- Til hvilken temperatur skal atmosfærisk luft i en ballon varmes op, for at densiteten bliver lige så lille som heliums densitet ved 20° C ? Kommentér resultatet.

KAPITEL 5

BYG SELV EN BALLON

Det er størrelsen, det kommer an på

Hvis man selv ønsker at bygge en ballon, så skal man i første omgang foretage tre grundliggende valg:

- 1) ballon-byggemateriale
- 2) »løfte-gas« (varm luft eller fx helium)
- 3) ønsket størrelse nyttelast.

Når man har besluttet sig for dette, gælder det om at bygge en stor ballon; jo større jo bedre. Faktisk er det sådan, at hvis ballonen er for lille, så kan den slet ikke lette.

Nedenstående overvejelser viser, hvor stor du skal dimensionere din ballon, for at der kan ske noget.

Vi forestiller os nu en *kugleformet* ballon med diameter D .

Med A betegnes massen af 1 cm^2 af det valgte byggemateriale.

A kaldes *arealvægten*.

Herved fås:

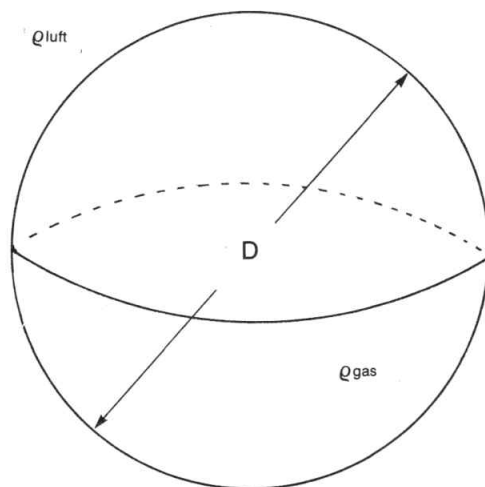
Massen af gassen i ballonen: $\pi/6 \cdot D^3 \cdot \rho_{\text{gas}}$

Massen af byggematerialet: $\pi \cdot D^2 \cdot A$

Nyttelast (inklusive sammen-
syninger, tape,...): m

Massen af den fortrængte luft: $\pi/6 \cdot D^3 \cdot \rho_{\text{luft}}$

I følge Archimedes' lov må betingelsen for, at ballonen kan stige til vejrs, være:



Kugles rumfang: $\pi/6 \cdot D^3$
 Kugles overflade: $\pi \cdot D^2$
 Densiteten af luften
 udenfor ballonen: ρ_{luft}
 Densiteten af gassen
 indeni ballonen: ρ_{gas}

$$\text{Massen af (gas + byggemateriale + nyttelast)} < \text{Luftens opdrift:}$$

$\Leftrightarrow$

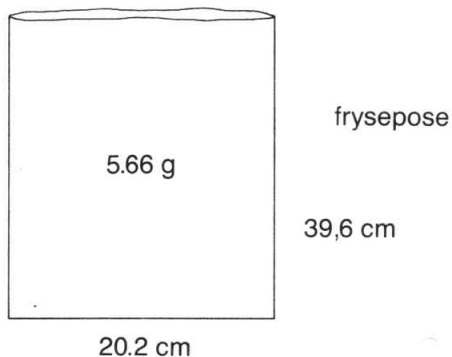
$$\pi/6 \cdot D^3 \cdot \rho_{\text{gas}} + \pi \cdot D^2 \cdot A + m < \pi/6 \cdot D^3 \cdot \rho_{\text{luft}} \Leftrightarrow m < \pi/6 \cdot D^3 \cdot \rho_{\text{luft}} - \pi/6 \cdot D^3 \cdot \rho_{\text{gas}} - \pi \cdot D^2 \cdot A \Leftrightarrow$$

$$m < \pi/6 \cdot (\rho_{\text{luft}} - \rho_{\text{gas}}) \cdot D^3 - \pi \cdot A \cdot D^2$$

(*)

Numerisk eksempel

Valgt materiale: frysepose (kraftig plastik)



$$\text{Areal} = 39,6 \text{ cm} \cdot 20,2 \text{ cm} = 799,9 \text{ cm}^2$$

$$\text{Masse af 1 side} = 5,66 \text{ g} / 2 = 2,83 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}\text{Arealvægt } A &= \text{masse pr. cm}^2 \\ &= 2,83 \text{ g} / 799,9 \text{ cm}^2 \\ &= 0,00354 \text{ g/cm}^2.\end{aligned}$$

Valgt gas: helium.

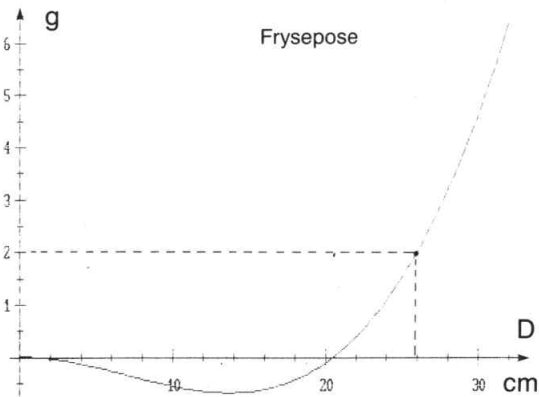
Densiteten af helium ved 20° C og 1 atmosfæres tryk er $\rho_{\text{gas}} = 0,000167 \text{ g/cm}^3$.

Under samme omstændigheder er densiteten af atmosfærisk luft

$$\rho_{\text{luft}} = 0,001205 \text{ g/cm}^3.$$

Indsættes værdierne for A, ρ_{gas} og ρ_{luft} i formel (*), fås:

$$m < 0,000543 \cdot D^3 - 0,011121 \cdot D^2.$$



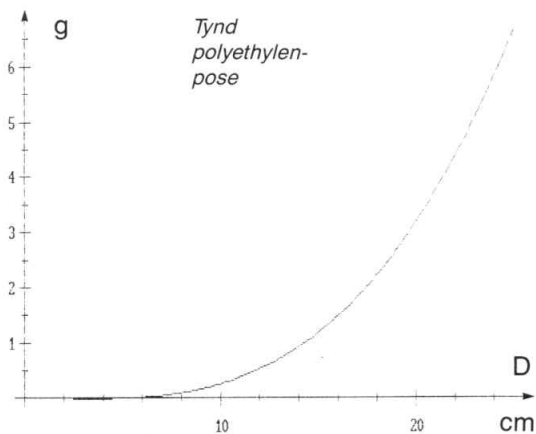
Ovenstående graf viser højresiden af den netop udledte ulighed som funktion af D. Man ser eksempelvis heraf, at en nyttelast på 2 gram kræver en diameter på mindst 26 cm. Man ser også, at jo større diameter, jo større en nyttelast kan der blive tale om. Specielt fremgår det af grafen, at nyttelasten 0 gram (ballonen skal blot bære sig selv) svarer til $D \approx 20,5 \text{ cm}$.

Konklusion:

For en heliumballon lavet af en almindelig frysepose skal de lineære udstrækninger være mindst 20 cm, for at ballonen skal have en chance for at lette.

Bruges et andet materiale, fx en tynd papirkurvs-plastikpose, bliver arealvægten A en del mindre. Den tilsvarende graf ses nedenfor.

$$(A = 0,000917 \text{ g/cm}^2).$$



Konklusion fra grafen:

For en heliumballon lavet af tyndt polyethylen skal de lineære udstrækninger være ca. 6 cm, for at ballonen kan lette (altså ca. tre gange mindre end for fryseposen).

Opgave

- a) Vis, at formel (*) side 36 kan omskrives, som følger:

$$m < \pi/6 \cdot (\rho_{\text{luft}} - \rho_{\text{gas}}) \cdot D^2 \cdot [D - 6 \cdot A/(\rho_{\text{luft}} - \rho_{\text{gas}})].$$

- b) Godtgør herefter, at betingelsen for, at en kugleformet, gasballon har en chance for at lette, er, at

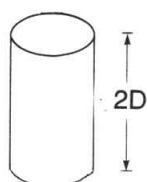
$$D > 6 \cdot A/(\rho_{\text{luft}} - \rho_{\text{gas}}).$$

- c) Betragt en cylinderformet ballon, der er dobbelt så høj, som den er bred.

Kopier regningerne side 36 til at vise, at der nu gælder:

$$m < \pi/2 \cdot (\rho_{\text{luft}} - \rho_{\text{gas}}) \cdot D^3 - 5 \cdot \pi/2 \cdot A \cdot D^2.$$

← D →



$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= \pi/2 \cdot D^3 \\ \text{Overflade} &= 5 \cdot \pi/2 \cdot D^2 \end{aligned}$$

- d) Omskriv udtrykket i c) på samme måde som i a). Konklusion?

Lille eksperimentelt projekt 1

Gasballon

Lav af *samme* materiale (og i samme facon) to gasballoner.

Den ene skal være sådan dimensioneret, at den alene på grund af sin størrelse (i følge teorien) *ikke* kan lette.

Den anden skal være »stor nok« (kan eventuelt pådattes nyttelast).

OBS! Dine valg (materiale, facon, gas,...) skal foretages således, at du kan regne på de færdige balloners flyveevner.

- 1) Planlæg og beregn (masse, volumen, opdrift,...).

Spørg eventuelt din lærer, om dine planer er realistiske.

- 2) Indsaml materialer og byg.

- 3) Afprøv flyveevner.

- 4) Beskriv hele forløbet (Hvad troede du? Hvad skete der? Hvad ville du gøre anderledes næste gang?...).

Lille eksperimentelt projekt 2

Varmluftballon

Tynde plastikposer af *polyethylen* er velegnede at eksperimentere med. Eksempelvis kan både *papirkurvposer* og de endnu større *dragtposer* anbefales. De vejer meget lidt, og de er svære at antænde. Endvidere er de billige (Irma/Brugsen).

Poserne kan enten bruges, som de er, eller man kan lave større udgaver ved at smelte flere poser sammen (sølvpapir + strygejern).

Ballonen fyldes lettest med varm luft ved at holde den hen over en eller flere bunsenbrændere. På denne måde kan man hurtigt afgøre, om ens ballon har gode flyveevner eller ej.

Udendørs kan man også forsøge sig med at montere en lille transportabel varmekilde under ballonen.

Idéer:

- 1) en sprittablet viklet ind i og holdt på plads af ståltråd
- 2) en fyrrefadslys-beholder med vat og sprit.

Åbningen forneden på ballonen forhindres i at klappe sammen ved hjælp af en ring af karton, ståltråd eller lignende.

Da balloner af denne type nemt kan flyve langt væk, er det en god idé at tøjre dem (fx med kinesertråd). Denne advarsel skyldes ikke kun brandfaren, men også risikoen for en uheldig landing (motorcyklist på motorvejen,...). Vis omtanke!

Varmluftballonen er vanskeligere at *regne* på end gasballonen. Blandt andet er temperaturen af den varme luft ikke sådan at forudsige eller at kontrollere. Hvis man vil *måle* temperaturen, må man i stedet for et almindeligt termometer benytte et såkaldt *thermo-element* (et almindeligt termometer sluger ved sin blotte tilstedeværelse så meget af luftens varmeenergi, at det mærkbart forstyrrer systemet).

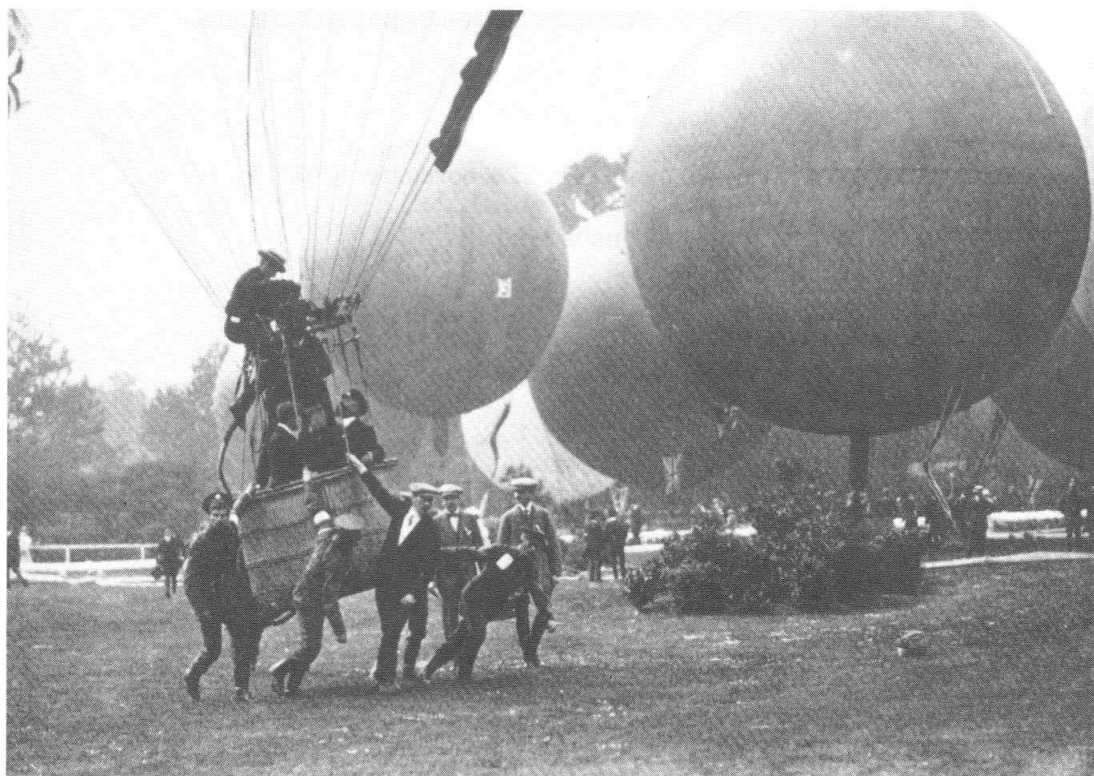
Yderligere kompliceres sagen ved, at det ikke kun er varm atmosfærisk luft, men i lige så høj grad forbrændingsgasser, der efterhånden fylder ballonen. Ofte kan man dog se bort fra denne komplikation, idet *gennemsnits*-densiteten af gassen i ballonen tit er nogenlunde den samme som at-

mosfærisk lufts densitet ved den tilsvarende temperatur (og tryk).

Varmluftballon-konkurrence:

Hvem kan holde sin tøjrede ballon i luften i længst tid?

Hvis ballon kan løfte den største nyttelast?



Ballonkonkurrence i England

Litteraturhenvisninger

Bøger:

Erik Nørgaard: »Den gik alligevel Granberg«. Lademann (1970).
Underholdende ballonhistorie(r). Fyldt med gode anekdoter.

Lennart Ege: »Balloner og luftskibe« (1783-1973). Politikens Forlag (1973).
Fin historisk oversigt. Mange tekniske detaljer.

Populærvidenskabelige artikler :

»Fakta« nr. 12 1988: »Luftens kæmper på vej op igen«.

»Illustreret Videnskab« januar 1990: »Nye luftskibe sættes på hårdt arbejde«.

Fjernsynsudsendelser:

»Zeppelin – Det flyvende skib« (50 min.). DR. 28. november 1988.

»Lettere end luft« (50 min.). TV-2. 2. marts 1990.

DENSITETEN FOR NOGLE UDVALGTE STOFFER

20°C og 1 atm.		
Aluminium (Al)	2,70	g/cm ³
Bly (Pb)	11,34	–
Guld (Au)	19,32	–
Iridium (Ir)	22,42	–
Jern (Fe)	7,86	–
Kobber (Cu)	8,93	–
Kviksølv (Hg)	13,55	–
Platin (Pt)	21,45	–
Sølv (Ag)	10,50	–
Tin (Sn)	7,31	–
Zink (Zn)	7,14	–
Vand	1,00	g/cm ³
Sprit	0,79	–
Benzin	0,72	–
Mælk	1,03	–
Acetone	0,79	–
Atmosfærisk luft	1,205	g/L
Brint (H ₂)	0,084	–
Helium (He)	0,167	–
Ilt (O ₂)	1,332	–
Kvælstof (N ₂)	1,166	–
Kuldioxid (CO ₂)	1,842	–

0°C og 1 atm.		
Atmosfærisk luft	1,293	g/L
Brint (H ₂)	0,0899	–
Helium (He)	0,179	–
Is	0,92	g/cm ³

Af samme forfatter foreligger:

Den nødvendige fysik for 1.g	Munksgaard (1981)
Fra Big-Bang er du kommet. . .	Gyldendal (1981)
Den nødvendige fysik 2	Munksgaard (1983)
Fysik og virkelighed	F & K Forlaget (1985)
Fra lineær vækst til kaos	Lademann (1989)

Sammen med Bjørn Felsager, Gert Schomacker og Mette Vedelsby:

Naturfag 1	Systime (1988)
Naturfag 2	Systime (1989)

STIKORDSREGISTER

- aerostat 26
- Annonay 26
- Archimedes 22
- Archimedes'lov 15,16
- arealvægt 36
- balloner 26,28,35,38
- betydende cifre 8,10
- Charles 26,28
- charliérer 26
- d'Arlandes 28
- de Rozier 28
- densitet 7,10,35,41
- enheder 8
- evighedsmaskiner 17
- fortrængte (væske)mængde 15
- fysisk størrelse 8
- gas 25,35
- gasballon 26,28,35,38
- Giffard 29
- Globe 27
- Gonesse 28
- Graf Zeppelin 31
- Hindenburg 32
- hælningskoefficient 13
- isbjerg 18
- karat 10
- kilogram 5,6,15
- lineær sammenhæng 13,11
- luftballoner 26
- lødighed 11
- masse 5,6,14,15
- massefylde 7
- max/min-metoden 20
- Mongolfier 26
- måltal 8
- normalkilogram-lod 5,34
- normalmeter 5
- normalsted 14
- opdrift 15,21
- proportionalitet 13
- præfikser 7
- SI-enheder 8
- stigningstal 13
- størrelsesligninger 8
- systematiske fejl 23
- tierpotenser 7
- tyngdekraften 14,15
- usikkerhed 20
- varmluftballon 26,35,38
- von Zeppelin 30
- vægt 14,15
- vægttab 15,25
- Zeppelin (von) 30
- zeppeliner 30



ISBN 87-87229-47-1