Kurt Jakobsen

Fysik i øjenhøjde

Gymnasiets B- og C-niveau

Nyt Teknisk Forlag

Kolofon

Fysik i øjenhøjde
1. udgave, 2. oplag 2012
© Nyt Teknisk Forlag 2011

Forlagsredaktør: Thomas Rump, tr@nyttf.dk
Omslag: Fotovalg: Kurt Jakobsen, opsætning Henrik Stig Møller
Omslagsfoto: Colourbox
Tegninger: Mette Nielsen
Fotos: Hvor ikke andet er nævnt, er billederne fra Colourbox
Grafisk tilrettelæggelse: Gitte Frederiksen og Mette Nielsen
Dtp: Gitte Frederiksen og Mette Nielsen
ISBN: 978-87-571-3291-5

Bestillingsnummer: 94005-1

Bogen er sat med Brioso Pro og Cronos Pro

Alle rettigheder ifølge gældende lov om ophavsret forbeholdes.
Kopiering fra denne e-bog må ikke finde sted.

Nyt Teknisk Forlag
Ny Vestergade 17
1471 København K
info@nyttf.dk

www.nyttf.dk
Ekspedition: Erhvervsskolernes Forlag, +45 63 15 17 00

Forord

Fysik i Øjenhøjde er skrevet, så den både dækker C- og B-niveau i stx. Centralt C-stof er markeret med grønt, resten er markeret med rødt. Ifølge læreplanen for C-niveau skal der gives en kvantitativ behandling af omsætningen mellem mindst to energiformer. Dette kan ske ved – foruden det grønt markerede afsnit om varme og energi – at vælge blandt de afsnit, der er markeret med rødt. Disse afsnit indeholder også mulighed for valg af supplerende stof til C-niveauet. Alt i alt indeholder bogens 17 kapitler stof til hele B-niveauet.

Hvert kapitel indeholder en række opgaver. Nogle af disse har karakter af træning i de emner, der netop er behandlet, mens andre opgaver kalder på eftertanken. Tilsvarende er en række kapitler helliget dagligdagens fysik, mens andre sprænger dagligdagens rammer og tager livtag med fysikkens dybe erkendelser om stof, energi, tid og rum.

Bogen indledes med et kapitel, hvor vigtige arbejdsmetoder i fysik præsenteres. Derefter følger to kapitler, der omhandler energi og varme. Sansefysikkens bølgefænomener eksemplificeres i de følgende to kapitler om lys og lyd. Dernæst er den moderne fysik emnet for de to næste kapitler: Det første handler om lys som fotoner, mens det andet åbner for et af den moderne fysiks mest grundlæggende forsøg, dobbeltspalteeksperimentet. Efter et blik tilbage i tiden, hvor de klassiske verdensbilleder præsenteres, behandles igen nogle emner fra den moderne fysik: atomer, stråling og kerner. Bevægelse studeres i de næste 3 kapitler: hastighed, acceleration, frit fald og Newtons love. Herefter følger behandlingen af to centrale emner for vores forståelse af Universet: Hubble-revolutionen og rødforskydningen. Endelig kredser bogens finale om fysikkens mest berømte formel, $E = mc^2$, og dennes konsekvenser.

Bagest i bogen findes et appendiks om tal, enheder og notation, samt en oversigt over de første 100 grundstoffer.

Om bogens tilblivelse

Denne bogs forfatter, Kurt Jakobsen, døde i 2009 kort efter, at han havde afleveret det færdige manuskript. De forskellige kapitler er afprøvet i noteform af forfatteren selv samt af kolleger. Vi har haft fornøjelsen af at arbejde sammen med Kurt i mange år om undervisningsmateriale til såvel naturfag som fysik. Derfor er det en stor glæde for os at have medvirket til, at denne bog nu er blevet til virkelighed. Vi har kun stået for korrekturen – ordene er Kurts.

Mette-Maria Vedelsby *Bjørn Felsager* *Gert Schomacker*

Indhold

1 **Nogle grundbegreber 7**
- 1.1 Hvad er fysik? 8
- 1.2 Laboratoriearbejde 8
- 1.3 Gentagne målinger 0
- 1.4 Densitet 12

2 **Energi og effekt 13**
- 2.1 Energibegrebet 14
- 2.2 Nogle energiformer 14
- 2.3 Energienheder 16
- 2.4 Effekt 18

3 **Varme og energi 19**
- 3.1 Varme 20
- 3.2 Specifik varmekapacitet (varmefylde) 20
- 3.3 Nyttevirkning 21
- 3.4 Varmekapacitet 22
- 3.5 Varmeisolering 24
- 3.6 Kinetisk energi 26
- 3.7 Atomar fortolkning af temperatur 27
- 3.8 Kelvin-temperatur 29
- 3.9 Smeltning og størkning 31
- 3.10 Fordampning og fortætning 33
- 3.11 Mættede dampe 35
- 3.12 Kogning 35

4 **Bølger og lyd 37**
- 4.1 Vand og lyd 38
- 4.2 Beskrivelse af bølger 38
- 4.3 Harmoniske bølger 42
- 4.4 Guitarstrengen 43
- 4.5 Toneskalaer 45
- 4.6 Bølgers interferens 48
- 4.7 Stående bølger 50

5 **Bølger 53**
- 5.1 Lys 54
- 5.2 Dobbeltspalteformlen 56
- 5.3 Gitterformlen 58
- 5.4 Elektromagnetiske bølger 62
- 5.5 Varmestråling 64

6 **Elektriske kredsløb 67**
- 6.1 Elektrisk ladning, strøm og spændingsfald 68
- 6.2 Vandmodellen 70
- 6.3 Sammenligning af egenskaber i vandmodellen og i elektriske kredsløb 71
- 6.4 Resistans 74
- 6.5 Spændingskilder 78

7 **Fotoner 81**
- 7.1 Fotoelektrisk effekt 82
- 7.2 Fotoner 84

8 **Dobbeltspalte-eksperimentet 87**
- 8.1 Partikelbeskrivelsen 88
- 8.2 Bølgebeskrivelsen 90
- 8.3 Partikel-bølge dualitet 92
- 8.4 Kvantemekanik 93

9 **Klassiske verdensbilleder 95**
- 9.1 En lille grøn mand observerer 96
- 9.2 Jorden er en kugle 98
- 9.3 Himmelkuglen 100
- 9.4 Det antikke Grækenlands verdensbillede 101
- 9.5 Ptolemaios' model 105
- 9.6 Det kopernikanske verdensbillede 106

10 **Atomer 109**
10.1 Grundstoffernes fingeraftryk 110
10.2 Rydbergformlen 112
10.3 Atomet får sin kerne 114
10.4 Planetmodellen, den klassiske atommodel 117
10.5 Den moderne atommodel 118

11 **Kernefysik 127**
11.1 Atomer og atomkerner 128
11.2 Kerneprocesser 129
11.3 Radioaktivitet 130
11.4 Nogle anvendelser af radioaktivitet 133
11.5 Henfaldsloven 133
11.6 Aktivitet 136
11.7 Kulstof 14-datering 137
11.8 Kalium-Argondatering 138

12 **Hastighed og acceleration 141**
12.1 Måling af gennemsnitshastighed 142
12.2 Øjeblikkelig hastighed 143
12.3 Acceleration 146
12.4 Bevægelse med konstant acceleration 147

13 **Det frie fald 151**
13.1 Det mest sete videnskabelige eksperiment i historien 152
13.2 Det frie fald 152
13.3 Galileis kuglerende 155
13.4 Potentiel energi i tyngdefeltet 158

14 **Newtons love 161**
14.1 Kræfter 162
14.2 Tryk 165
14.3 Newtons første lov, inertiens lov 166
14.4 Newtons anden lov 169
14.5 Newtons tredje lov: Aktion er lig reaktion 172
14.6 Laplaces dæmon 173

15 **Hubble-revolutionen 177**
15.1 Hvor lang er Mælkevejen? 178
15.2 Er der andre Mælkeveje? 180
15.3 Hubble-loven 182
15.4 Det kosmologiske princip 184
15.5 Hubbletiden og Hubblelængden 186
15.6 Det store brag (Big Bang) 187
15.7 Hvorfor er himlen mørk om natten? 188
15.8 Hvor kommer grundstofferne fra? 190

16 **Rødforskydning 193**
16.1 Spektre 194
16.2 Rødforskydning 196

17 **Fysikkens mest berømte formel 203**
17.1 Antipartikler 204
17.2 $E = m \cdot c^2$ og Q-værdi 206

Appendix A
De tørre tal 211

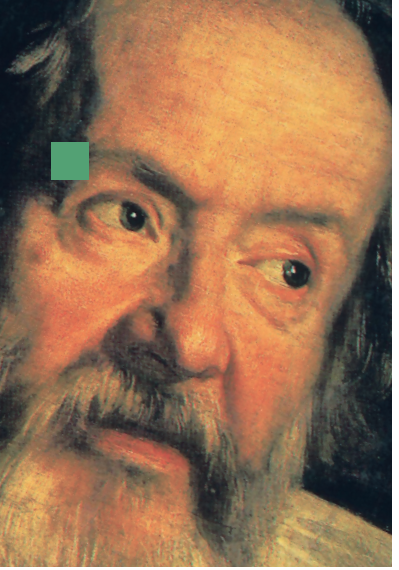
Appendix B
De første 100 grundstoffer 217

Stikord 219

1

Nogle grundbegreber

© STENO MUSEET



»Livsforståelsen står i denne storslåede bog, Universet, som hele tiden er åbent for vort blik. Men bogen kan først forstås, når man lærer at fatte det sprog og læse de bogstaver den er skrevet med. Den er skrevet i matematikkens sprog, og dens skrifttegn er trekanter, cirkler og andre geometriske figurer, uden hvilke det er menneskeligt umuligt at forstå et eneste ord; uden disse vandrer man omkring i en mørk labyrint«.

GALILEO GALILEI (1564-1642)

1.1 Hvad er fysik?

Fysik er et naturvidenskabeligt fag, som løser *»naturens gåder ved hjælp af overvejelser, iagttagelser og forsøg, som enhver kan udføre«*

GALILEI

1.2 Laboratoriearbejde

Et af formålene med de følgende aktiviteter er at vænne dig til at færdes i skolens fysiklaboratorier og til at skrive journaler og rapporter. Når man udfører et forsøg, noterer man fremgangsmåde og resultater i en såkaldt journal, dvs. en laboratoriedagbog. På grundlag af journalen kan man senere udfærdige en rapport. En rapport skal indeholde alle relevante oplysninger om eksperimentet: hvorfor og hvordan forsøget er udført, hvilke resultater man fik, og hvilke konklusioner der kan uddrages af disse resultater. For at gøre en rapport lettere at læse bør den forsynes med tegninger af anvendte forsøgsopstillinger, overskuelige skemaer over de indsamlede data og også gerne grafiske illustrationer af resultaterne.

Opgave 1.2.1

Pendulekseperiment

Undersøg, hvor hurtigt et lod, der er hængt op i en lang snor, svinger frem og tilbage.

Den tid, det tager for loddet at svinge fra en yderstilling og tilbage til samme yderposition igen, kaldes svingningstiden og betegnes med bogstavet *T*. For at få større nøjagtighed måles tiden for fx 10 svingninger, hvorefter *T* findes ved at dividere med 10.

Længden af snoren betegnes med bogstavet *L*.

a Et lod hænges op i en 120 cm lang snor. Længden måles fra ophængningspunkt til loddets midtpunkt. Loddet føres ca. 10 cm ud til siden og slippes. Mål svingningstiden.

Skriv først ned, hvad du forventer, at der vil ske med svingningstiden, hvis loddet i stedet føres ca. 20 cm ud til siden.

Mål derefter svingningstiden. Passer den målte svingningstid med dine forventninger?

b Der hænges et lod ekstra på magen til det første, dvs. vi fordobler pendulets masse. Skriv først ned, hvad du forventer, at der vil ske med svingningstiden. Mål derefter svingningstiden.

Passer den målte svingningstid med dine forventninger?

c Snorlængden halveres, dvs. *L* ændres til 60 cm. Skriv først ned, hvad du forventer, at der vil ske med svingningstiden. Mål derefter svingningstiden. Passer den målte svingningstid med dine forventninger?

d Regulér *L*, så *T* bliver 2,0 sekunder. Ud fra dine første forsøg kan du forudsige, hvor stor *L* ca. skal være. En mere præcis værdi må du finde ved at forsøge dig frem.

e Gør rede for, hvad man ud fra dine forsøg kan slutte om svingningstiden *T* for dette pendul. Hvad afhænger *T* af? Hvad afhænger *T ikke* af?

Opgave 1.2.2

Lineær sammenhæng

Formålet med denne øvelse er at se, hvordan en fysisk sammenhæng kan bestemmes ved at analysere en graf.

Til forsøget anvendes en vægt, et højt måleglas 100 milliliter (mL), sprit og sødmælk.

a Fyld 10 mL sprit i måleglasset.

Stil det påfyldte måleglas op på vægten. Aflæs massen y i gram (g) med 1 decimals nøjagtighed.

Gentag proceduren med 20 mL, 30 mL, . . ., 100 mL (i alt 10 vejninger).

Gentag hele forsøget med sødmælk. Data indføres i et skema som nedenstående.

De to (x,y)-grafer for sprit og mælk indtegnes i det samme koordinatsystem.

Ser det ud til, at massen y er en lineær funktion af rumfanget x?

Aflæs linjernes skæringspunkt $(0,b)$ med y-aksen. Hvilken betydning har tallet b? Bestem hældningskoefficienten for hver af de to linjer.

Hvilken egenskab ved væskerne beskriver disse tal?

Opgave 1.2.3

Pendulet

Ved måling på et pendul fandt man følgende sammenhæng mellem svingningstiden T og pendullængden L. L måles i meter (m) og T i sekunder (s).

L	0,5	1,0	1,5	1,75	2,0	2,5
T	1,42	2,00	2,46	2,64	2,85	3,17

a Tegn disse resultater ind i et koordinatsystem med $x = L$ og $y = T$. Er der tale om en proportionalitet?

b Udfyld derefter nedenstående skema. Tegn disse værdier ind i et koordinatsystem med $x = \sqrt{L}$ og $y = T$.

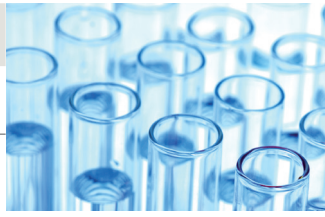
$\sqrt{L}$ ($\sqrt{\text{m}}$)	0,71					1,58
T (s)	1,42	2,00	2,46	2,64	2,85	3,17

Hvilken sammenhæng er der mellem T og $\sqrt{L}$?

c Hvad er svingningstiden for et pendul med $L = 1{,}9$ m?

d Hvad er længden af pendulet, når svingningstiden er $T = 3{,}0$ s?

Væskens rumfang	x	mL	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Aflæsning på vægt Sprit	y	g										
Aflæsning på vægt Sødmælk	y	g										



Opgave 1.2.4

En bilist vil undersøge sin bils benzinøkonomi og har derfor lavet benzinregnskab: Tanken fyldes helt op ved hver påfyldning.

Triptæller (km)	Rumfang af påfyldt benzin (L)	Samlet benzinforbrug (L)
0	Fuld tank	
400	41,1	41,1
689	29,7	70,8
1085	40,7	
1420	34,4	
1650	23,6	

a Beregn benzinforbruget i liter, og vis, at benzinforbruget og antal kørte km er proportionale.

Bestem proportionalitetsfaktoren.

1.3 Gentagne målinger

For at få et mere sikkert resultat vil man ofte udføre det samme eksperiment flere gange. Uanset hvor omhyggelig man er, vil de målte værdier ikke alle blive ens. Du skal i det følgende se, hvordan man i sådanne tilfælde præsenterer resultaterne på en overskuelig måde, og hvordan de mange resultater kan sammenfattes til et slutresultat.

© STENO MUSEET

Opgave 1.3.1

Endnu et penduleksperiment

Et lod hænges op i en ca. 2 meter lang snor og sættes i svingninger.

a Først måles tiden T for én svingning med en nøjagtighed på 0,01 s. Dette gøres i alt 12 gange.

I den næste serie målinger bestemmes tiden 10 T for 10 svingninger. Dette gøres også 12 gange. Data skrives op i et skema.

Du skal behandle resultaterne af penduleksperimentet, som det er forklaret nedenfor. I rapporten skal du tegne de to stolpediagrammer over dine egne data. Gennemsnittene angives som forklaret.

b Forklar, hvorfor man ikke kan forvente at få et mere nøjagtigt slutresultat, selv om man benyttede et ur, der også kunne vise tusindedele s.

c Forklar, hvordan man med samme apparat, som du brugte, kan tilrettelægge forsøget, så pendulets svingningstid T bliver bestemt med en endnu mindre usikkerhed.

I det efterfølgende viser vi, hvordan man behandler resultaterne af et sådant eksperiment (i vores tilfælde var snorlængden kun 1,77 m. Du vil altså ikke få de samme resultater). Se **tabel 1.1.**

Man kan få overblik over de mange resultater ved at tegne et søjlediagram. Måleresultaterne afmærkes på førsteaksen. Resultatet 2,71 s. forekommer fx 2 gange, hyppigheden er 2. Derfor tegnes en søjle med højden 2 over resultatet 2,71. Se **figur 1.1a.**

Bemærk, at de to førsteakser har samme enhed. **Figur 1.1b** bliver herved noget 'gnidret', men til gengæld kan de to figurer umiddelbart sammenlignes.

Første måleserie	Anden måleserie	
T (s)	10 T (s)	T (s)
2,69	26,70	2,670
2,70	26,69	2,669
2,65	26,70	2,670
2,73	26,71	2,671
2,69	26,68	2,668
2,68	26,68	2,668
2,67	26,71	2,671
2,71	26,68	2,668
2,76	26,72	2,672
2,75	26,69	2,669
2,68	26,69	2,669
2,71	26,70	2,670

Tabel 1.1 Resultat af pendulmålinger.

Gennemsnittet af de 12 målinger i serie 1 er 2,701666... s. Da resultaterne spreder sig over intervallet 2,65 – 2,76, er det ikke rimeligt at angive slutresultatet som

$T = 2{,}701666 \ldots$ s

Da medianen ligger på 2,695 s, og dermed ligger meget tæt på gennemsnittet vil det være rimeligt at anføre resultatet som

T = 2,70 s

Men stadigvæk er der en vis spredning på målingerne, som det ville være rart at få med i angivelsen.

Man kan fx markere, hvor pålideligt gennemsnitsresultatet er, på denne måde:

serie 1: $T = 2{,}70$ s ± 0,06 s

Hermed menes, at ingen måleresultater afviger mere end 0,06 s fra 2,70 s. Tallet 0,06 s kaldes *usikkerheden* på resultatet.

Usikkerheden angives ofte i procent.

Da $\frac{0{,}06}{2{,}70} \cdot 100\% = 2\ \%$,

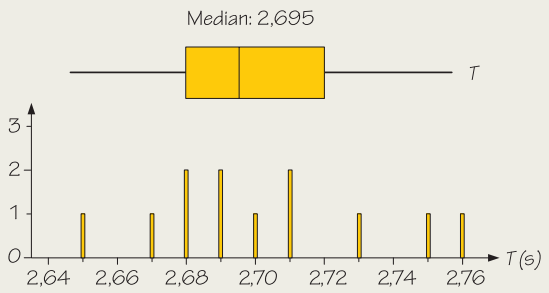
kan vi også skrive resultatet således:

serie 1: $T = 2{,}70$ s ± 2 %

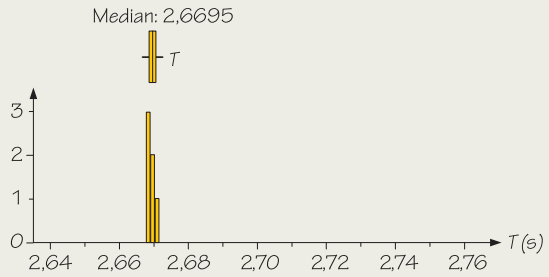
For den anden måleserie er gennemsnittet $T = 2{,}66958333 \ldots$ s. Denne gang er medianen på 2,6695 s hvilket ligger meget tæt på gennemsnittet, hvilket gør det rimeligt at anføre resultatet som $T = 2{,}670$ s. I overensstemmelse med den spredning, der kan ses af søjlediagrammet **figur 1.1b**, angives slutresultatet således:

serie 2: $T = 2{,}670$ s ± 0,002 s

I serie 2 er usikkerheden altså langt mindre. Den er helt nede på 0,07 %.



Figur 1.1a Hyppighed for måleserie 1



Figur 1.1b Hyppighed for måleserie 2

1.4 Densitet

En klump stof med masse m og volumen V siges at have densiteten

$$\frac{m}{V}$$

Densitet er en stofegenskab. For et bestemt stof er densiteten den samme, uanset hvor meget af stoffet man har. Fx har kobber densiteten 8,9 g/cm^3. Dette betyder, at 1 cm^3 kobber vejer 8,9 g.

Et stofs densitet betegnes traditionelt med det græske bogstav ρ (rho):

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ eller } m = \rho \cdot V.$$

Densitet kaldes også massetæthed eller massefylde. SI-enheden for densitet er kg/m^3.

Opgave 1.4.1

Densitet

a Densiteten af bly er 11,3 g/cm^3. Beregn massen af 30 cm^3 bly.

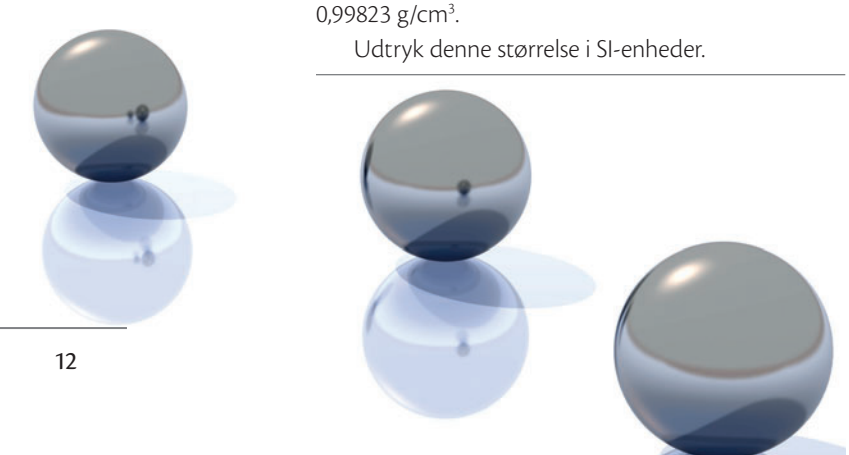
b En lille aluminiumskugle vejer 2,160 g og fylder 0,81 cm^3.

Beregn herudfra en værdi for aluminiums densitet.

c Densiteten af jern er 7,9 g/cm^3. Hvor meget fylder 100 g jern?

d Densiteten af vand ved temperaturen 20 °C er 0,99823 g/cm^3.

Udtryk denne størrelse i SI-enheder.



Opgave 1.4.2

Guld tungere end kobber

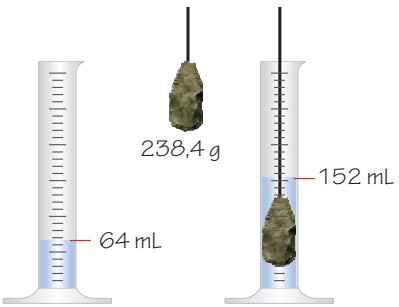
a Gør rede for, hvad det betyder, når man siger, at guld er tungere end kobber.

Opgave 1.4.3

Bestemmelse af densitet

Figuren illustrerer en eksperimentel metode til at bestemmelse af en stens densitet.

a Bestem ud fra de opgivne data stenens densitet.



Opgave 1.4.4

Luften i lokalet

Lufts densitet kan sættes til 1,20 kg/m^3 ved normal stuetemperatur.

a Beregn massen af luften i fysiklokalet. (Tildel selv en passende værdi til volumenet af luften i fysiklokalet).

Opgave 1.4.5

Tynd guldtråd

En tynd guldtråd vejer 153 mg og har længden 6,3 cm. Densiteten for guld er 19,3 g/cm^3

a Beregn guldtrådens diameter.

2

Energi og effekt

2.1 Energibegrebet

Den fundamentale naturlov, *energien er bevaret*, gælder så vidt vides uden undtagelser. Der er indtil i dag aldrig iagttaget et eneste fænomen eller et eksperiment, hvor energien ikke er bevaret. Den omtalte naturlov fastslår, at der findes en vis størrelse, som kaldes energien, og at denne størrelse ikke forandrer sig i et lukket system.

Ingen ved, hvad energi *egentligt er*. Energi er et menneskeskabt, matematisk, abstrakt begreb. Det er ikke noget konkret eller en beskrivelse af en mekanisme. Det er blot en bemærkelsesværdig kendsgerning, at man i et lukket system kan beregne en vis numerisk størrelse, og lige meget hvad der sker i systemet, så vil en beregning af størrelsen på et vilkårligt senere tidspunkt give præcis samme tal.

Energi kan optræde i mange forskellige former, og der er en formel til beregning af hver af dem. Nogle af de vigtigste energiformer er:

- kinetisk energi
- potentiel energi
- termisk energi
- elektrisk energi
- elastisk energi
- strålingsenergi
- kemisk energi

Energi kan forvandle sig fra en form til en anden, og den mængde energi, som forsvinder i den ene form, dukker op i præcis samme mængde i den anden form.

I energiregnskabet for et ikke-lukket system er det nødvendigt at indregne den energi, som systemet modtager fra omgivelserne eller afgiver til omgivelserne.

2.2 Nogle energiformer

Kinetisk energi
Et legeme har i kraft af sin bevægelse en vis kinetisk energi (*bevægelsesenergi*). Jo hurtigere det bevæger sig, jo større er dets kinetiske energi.

Potentiel energi
En bog, der ligger på et bord, har såkaldt potentiel energi (*beliggenhedsenergi*). At bogen har energi, når den ligger på bordet, kan man indse ved at lade den ryge på gulvet. På vej ned mod gulvet vil bogen tydeligvis få mere og mere fart på. Bogen får åbenbart mere og mere kinetisk energi. Denne energi må komme et sted fra. Det som sker er, at i bogens fald ned mod gulvet omsættes beliggenhedsenergi til bevægelsesenergi.

Den potentielle energi skyldes i sidste ende, at Jorden på grund af tyngdekraften påvirker et legeme med en tiltrækkende kraft.

Termisk energi
Ethvert legeme består af atomer. Disse ligger ikke stille, men bevæger sig rundt i en uordnet såkaldt *varmebevægelse*. Den samlede kinetiske energi i denne varmebevægelse kaldes legemes *termiske energi*. Det er størrelsen af denne, som bestemmer legemes temperatur. Jo livligere varmebevægelse på det atomare niveau, desto højere temperatur registreres på det makroskopiske niveau.

Elektrisk energi
På samme måde som Jordens tiltrækkende kraft på et legeme giver anledning til, at legemet besidder potentiel energi, så vil den elektriske tiltrækkende eller frastødende

kraft mellem to elektrisk ladede partikler give anledning til, at partiklerne besidder *elektrisk energi*. At dette virkelig er tilfældet, kan indses ved at betragte to positivt elektrisk ladede partikler oprindeligt i hvile i forhold til hinanden. På grund af den frastødende elektriske kraft mellem partiklerne vil de begynde at bevæge sig væk fra hinanden. De får mere og mere fart på. De får mere og mere kinetisk energi. Denne energi må komme et sted fra. Det, som sker, er, at i partiklernes flugt væk fra hinanden omsættes elektrisk energi til kinetisk energi.

Elastisk energi

I en sammenpresset fjeder er der oplagret energi. At det forholder sig sådan, kan indses ved at tænke på en plastikkugle, som skydes af sted af en sammenpresset fjeder i en legetøjspistol. *Elastisk energi* omsættes til kinetisk energi.

Strålingsenergi

At stråling indeholder energi kan eksempelvis indses ved at bemærke, at solstråling opvarmer jorden. Her omsættes strålingsenergi til termisk energi.

Kemisk energi

På samme måde som Jordens tiltrækkende kraft på et legeme giver anledning til, at legemet besidder potentiel energi, så vil de kemiske bindinger mellem atomerne i et molekyle give anledning til, at et molekyle besidder *kemisk energi*.

I mange kemiske reaktioner frigøres der kemisk energi. Dette er tilfældet, når atomerne i molekylerne på højre side af reaktionspilen er løsere bundne end atomerne i molekylerne på venstre side af reaktionspilen. Der er således energi tilovers, og denne energi viser sig ved, at den samlede kinetiske energi af reaktionsprodukterne er større end den samlede kinetiske energi af udgangsstofferne. Der sker følgelig en forøgelse af den termiske energi, hvilket kan registreres ved, at temperaturen stiger. Som eksempel ses på forbrænding af naturgas: $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$ + varme. Hovedbestanddelen af naturgas er metan (CH_4), og når denne gas reagerer med luftens oxygen (O_2), dannes der carbondioxid (CO_2) og vanddamp (H_2O). I denne reaktion frigøres kemisk energi. Den frigjorte energi viser sig ved, at den samlede kinetiske energi af reaktionsprodukterne CO_2 og H_2O er større end den samlede kinetiske energi af udgangsstofferne CH_4 og O_2. Der sker en forøgelse af den termiske energi. Gassen brænder.

Opgave 2.2.1

Andre energiformer

a Nævn nogle andre energiformer end de ovenfor beskrevne.

Opgave 2.2.2

Energiomsætninger

a Hvilke energiomsætningerne foregår der i hver af følgende situationer.

- Et elektrisk varmeapparat
- En elektrisk pære
- En vindmølle
- En pige går med konstant fart op ad en bakke
- En solcelle
- En lommelygte
- En brændeovn
- En accelerende bil
- En bil, der kører med konstant fart på en vandret vej

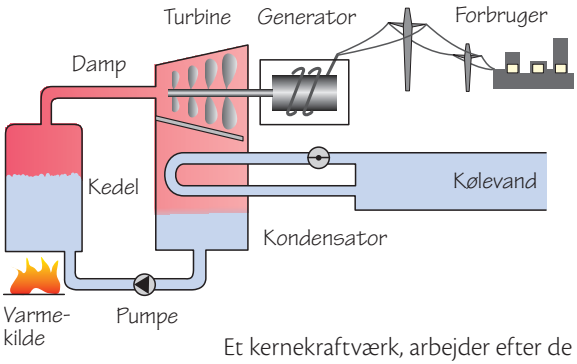
- Elastikken strækkes i et bungy jump
- En mand lægger sig på en gammeldags madras, hvor affjedringen skyldes fjedre i madrassen
- Et batteri i brug
- En højttaler
- Et jernsøm flyttes af en magnet

b Find selv på flere eksempler.

Opgave 2.2.3

Kraftværker

I kraftværker i Danmark produceres elektricitet ved hjælp af varme frembragt ved forbrænding af naturgas, kul eller olie. Figuren illustrerer, hvorledes forbrændingsvarmen frembringer damp, der driver en turbine. Turbinen trækker igen en generator, der fremstiller elektricitet.



Et kernekraftværk, arbejder efter de samme principper som et almindeligt kraftværk bortset fra, at varmeenergien frembringes ved kernespaltning i en reaktor i stedet for ved forbrænding i en dampkedel.

a Studér tegningen ovenfor. Hvilken energiomsætning sker der, hvis man betrager et kraftværk som helhed?

b Hvilke energiomsætninger sker der i hver af de enkelte komponenter i kraftværket?

c Hvorfor er det nødvendigt at køle dampen ned ved at fortætte den til vand i en kondensator?

Opgave 2.2.4

Dennis the Menace

På næste side er gengivet et citat fra en uforlignelig lærebog i fysik skrevet af en af den moderne fysiks bedste fysikere samt formidler af naturvidenskab, amerikaneren Richard Feynmann (1918-1988).

a Læs citatet.

b Gør rede for rigtigheden af hver af de to nævnte formler.

c Forklar, hvad historien om Dennis og hans mor har med energibevarelse at gøre.

(Hvad symboliserer byggeklodserne? Hvilken rolle spiller det åbne vindue? Hvilken rolle spiller den lukkede legekasse? Hvilken rolle spiller badekarret?

2.3 Energienheder

SI-enheden for energi er *joule* (forkortes J).

Energimængden 1 J er i mange forbindelser en forholdsvis lille energienhed. Det kan så ofte være praktisk at måle i fx kJ eller i MJ.
(1 kJ = 1 kilojoule = 1000 J)
(1MJ = 1 megajoule = 10^6 J).

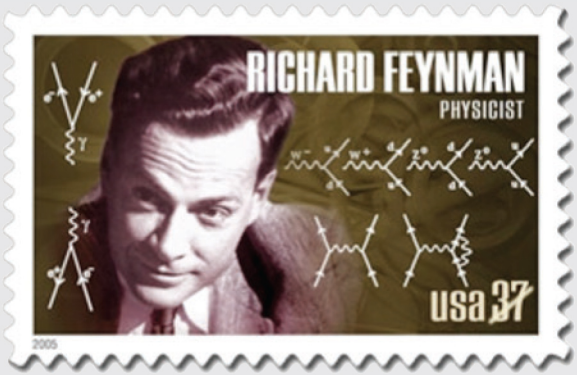
Til at få en idé om, hvor meget 1 J er:
Der skal 4,18 J til at opvarme 1 g vand 1 grad (fx fra 10 °C til 11 °C).

Energimængden 4,18 J kaldes også 1 *calorie*.

1 cal = 4,18 J.

Der er tradition for, at angive elektriske energimængder i enheden *kilowatttime* (forkortes kWh).

1 kWh = 3,6 MJ



RICHARD FEYNMANN (1918-1988).

»Imagine a child, perhaps "Dennis the Menace", who has blocks which are absolutely indestructible, and cannot be divided into pieces. Each is the same as the other. Let us suppose that he has 28 blocks. His mother puts him with his 28 blocks into a room at the beginning of the day. At the end of the day, being curious, she counts the blocks very carefully, and discovers a phenomenal law – no matter what he does with the blocks, there are always 28 remaining! This continues for a number of days, until one day there are only 27 blocks, but a little investigating shows that there is one under the rug – she must look everywhere to be sure that the number of blocks has not changed. One day, however, the number appears to change – there are only 26 blocks. Careful investigation indicates that the window was open, and upon looking outside, the other two blocks are found. Another day, careful count indicates that there are 30 blocks! This causes considerable consternation, until it is realized that Bruce came to visit, bringing his blocks with him, and he left a few at Dennis' house. After she has disposed of the extra blocks, she closes the window, does not let Bruce in, and then everything is going along all right, until one time she counts and finds only 25 blocks.

However, there is a box in the room, a toy box, and the mother goes to open the toy box, but the boy says "No, do not open my toy box", and screams. Mother is not allowed to open the toy box. Being extremely curious, and somewhat ingenious, she invents a scheme! She knows that a block weighs 90 g, so she weighs the box at a time when she sees 28 blocks, and it weighs 530 g. The next time she wishes to check, she weighs the box again, subtracts 530 g and divides by 90 g. She discovers the following:

$$\text{Number of blocks seen} + \frac{(\text{weight of box}) - 530\ \text{g}}{90\ \text{g}} = \text{constant}\ (= 28)$$

There then appear to be some new deviations, but careful study indicates that the dirty water in the bathtub is changing its level. The child is throwing blocks in to water, and she cannot see them because it is so dirty, but she can find out how many blocks are in the water by adding another term to her formula. Since the original height of the water was 15 cm and each block raises the water 0.6 cm, this new formula would be:

$$\text{Number of blocks seen} + \frac{(\text{weight of box}) - 530\ \text{g}}{90\ \text{g}} + \frac{(\text{height of water}) - 15\ \text{cm}}{0{,}6\ \text{cm}} = \text{constant}$$

In the gradual increase in the complexity of her world, she finds a whole series of terms representing ways of calculating how many blocks are in places where she is not allowed to look. As a result, she finds a complex formula, a quantity which has to be computed, which always stays the same in her situation.«

FRA THE FEYNMAN LECTURES ON PHYSICS VOLUME I

2.4 Effekt

Hvis et system omsætter energien ΔE (læses: delta E) i løbet af tidsrummet Δt (læses: delta t), så siges energiomsætningen at ske med *effekten* P defineret ved:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

SI-enheden for effekt kaldes *watt* (forkortes W), og er givet ved 1 W = 1 J/s.

> *Effekt er således den energimængde, der omsættes pr. tidsenhed.*

Ordet "omsat" kan både stå for "tilført" og for "afgivet".

Den tilførte effekt er 100 W: der tilføres 100 J pr. sekund.

Den afgivne effekt er 287 W: der afgives 287 J pr. sekund.

Elektriske apparater er ofte af fabrikanten påtrykt en effekt. Det vil sige et vist antal watt. Står der eksempelvis 40 W på en elektrisk pære, så betyder det, at pæren omsætter 40 J elektrisk energi i sekundet. I en elektrisk pære omsættes elektrisk energi til lysenergi og termisk energi.

Opgave 2.4.1

Elektrisk pære

En 40 W elektrisk pære brænder en nat (8 timer).

a Hvor mange joule omsætter pæren på en nat?

b Hvor mange kWh svarer dette til?

c Hvor meget koster det? (Sæt prisen på 1 kWh til 1,50 kr.).

Opgave 2.4.2

Hestekræfter, HK

a I en bilbrochure står, at en bestemt type bil har en motorkraft af størrelsen 85 HK. (1 HK = 736 W). Hvor meget energi kan motoren omsætte pr. kvarter? Angiv svaret i kWh.

Opgave 2.4.3

Varmeapparat

På et varmeapparat står der 1,5 kW.

a Hvor mange joule omsætter dette apparat pr. døgn?

b Hvor meget koster det?

Opgave 2.4.4

Danmarks energiforbrug

I Danmark er det totale årlige energiforbrug vurderet til "et par hundrede millioner gigacalorier".

a Omregn dette energiforbrug til joule.

b Udregn den tilhørende effekt (udtrykt i W).

c Vurdér det gennemsnitlige effektforbrug pr. person.