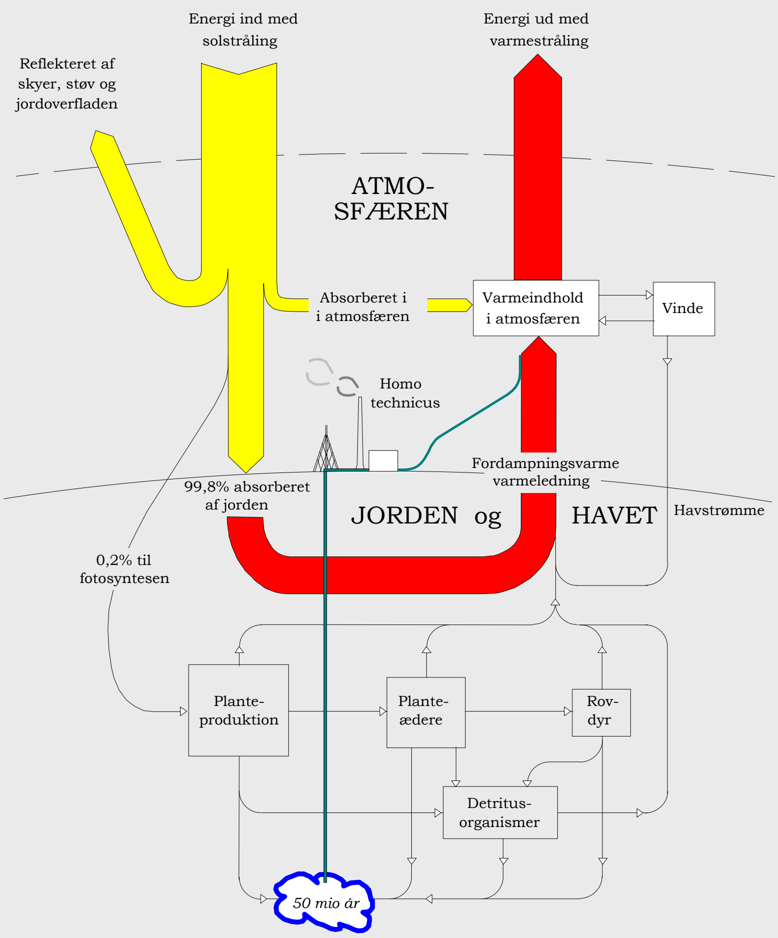
Energi



Claus Münchow, mail:claus@munchow.net

Indholdsfortegnelse

Kommatering: Det nye komma.

1. ENERGIBEGREBET

1.1 Udgangspunkt

Energi som begreb er vanskeligt at definere; og det er måske her klogest at lade være med at forsøge, men bruge en anden fremgangsmåde.

For der ligger en klar og kraftig realitet bag det begreb vi vil indkredse under navnet energi. Man behøver blot at tænke på vort samfunds energibehov og de politiske vanskeligheder som energiknapheden forvolder.

Denne realitet, energiindholdet i de brændstoffer vort samfund tørster efter, vil vi derfor tage som *kvalitativt udgangspunkt* for vor opbygning af energibegrebet:

Der *frigøres* energi ved forbrænding af brændstoffer.

Energi er ikke selve brændstoffet. Det er bestemt heller ikke de forbrændingsprodukter (røg, sod, gasser) som opstår ved forbrændingen.

De energibærende bestanddele i benzin er hovedsagelig heksan, heptan og oktan.

En fuldstændig forbrænding af f.eks. oktan C_8H_{18} foregår således

$$2\,C_8H_{18} + 25\,O_2 \rightarrow 18\,H_20 + 16\,CO_2$$

Før forbrændingen har vi et antal atomer af forskellig art ordnet i visse molekyler. Efter forbrændingen har vi præcis de samme atomer, men ordnet på en anden måde. Ved denne omstrukturering af atomerne er energien åbenbart blevet frigjort.

Og energien kan af os registreres som visse virkninger på omgivelserne. Ved at iagttage og beskrive disse virkninger får vi opbygget energibegrebet, og vi finder en metode til måling af energimængder.

Foruden udgangspunktet får vi brug for en ledetråd for at vide hvordan vi skal sætte virkningerne i relation til hinanden. Denne ledetråd får vi i form af sætningen om energiens bevarelse.

1.2 Energiens bevarelse

Loven om energiens bevarelse er ikke en lov af samme art som loven om massens bevarelse. Det hænger sammen med begrebernes definition. Masse er defineret som det der på en skålvægt kan afbalancere lodder. Man kan hermed direkte ved definitionen konstatere at masse ikke kan forsvinde.

At energi er en bevaret størrelse, er en helt anderledes skjult egenskab ved naturen. (Afdækningen af energibevarelsen har krævet store anstrengelser og har undervejs ført videnskaben ind på store sidespor.)

Men energibevarelse er nu en af de mest fundamentale lovmæssigheder inden for al naturvidenskab.

Den vil vi derfor også lægge til grund for opbygningen af vort energibegreb. Følgende bliver altså vores *kvantitative ledetråd*:

Energien er *bevaret*.

Det betyder at energi hverken kan opstå eller forsvinde. Energi kan kun ændre form og/eller blive flyttet fra et sted til et andet.

Det er så helt afgørende at energien giver sig til kende på en eller anden måde. At sige at et system har modtaget energi uden at det har ændret systemet på nogen måde, er det samme som at sige at energien er blevet væk.

Og at sige at et system har afgivet energi uden at det kan ses på systemet, er det samme som at sige at den afgivne energi er opstået ud af intet.

To systemer som i et og alt er ens – som er i samme tilstand – må indeholde samme energimængde. Ellers er der noget energi som ikke kan ses. Så er det væk!

Til en bestemt tilstand af et system hører en bestemt energimængde, energien siges at være en tilstandsfunktion.

Mere herom i afsnit 3.3.

Opg. 1

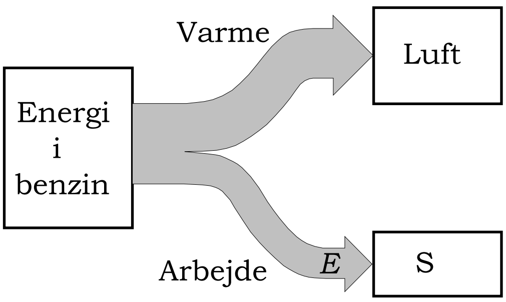
1.3 Energitransport i snor

Når vi nu skal tage udgangspunkt i at energi frigøres ved forbrænding af brændstoffer, er det nærliggende at tænke på energiens skæbne når en benzinmotor arbejder.

Vores energibehov i den forbindelse er, at motoren skal trække noget - den skal *arbejde* for os.

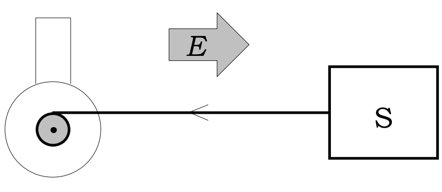
Desuden bliver motoren også varm og må køles. Vi genkender også *varme* som noget vi kun kan få ved at købe brændstoffer.

Energistrømmen i en benzinmotor ser altså således ud:



Vi retter opmærksomheden mod den energitransport E der som arbejde overføres til *systemet* S. En sådan energitransport foregår altid via en *transmission* (kæde- eller remtræk, aksel eller lign.)

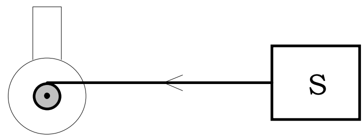
Vi forenkler transmissionen til blot at være en uendelig lang snor der hales i land af motoren.

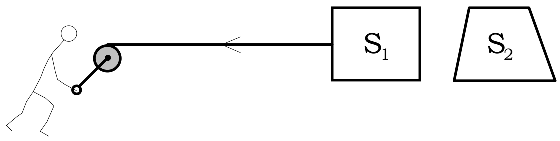


Motoren trækker med en kraft og systemet S holder igen med samme kraft.

Det ses at energi og snor bevæger sig hver sin vej.

Den overførte energimængde må nu kunne måles ved størrelser der alene vedrører snoren, thi (-og i de følgende argumenter benytter vi på afgørende måde ledetråden):





Motoren og manden trækker helt ens i de to identiske systemer S og S_1.

Da S og S_1 er påvirket på samme måde fra omgivelserne, ændrer de sig på samme måde og får derfor samme energitilførsel. Motoren og manden afleverer ved arbejdet lige store energimængder gennem snoren.

Hvis nu S_1 erstattes med et andet system $S_2 \neq S_1$ som blot holder igen på snoren på samme måde som S_1, kan manden ikke mærke at S_1 er skiftet ud med S_2 og afleverer derfor en lige så stor energimængde som før.

Altså, når to snore trækker ens, er det ligegyldigt hvad der er i de to ender; snorene vil uvægerligt overføre lige store energimængder. Og hvis to snore overfører forskellige energimængder, må det kunne ses på at de trækker forskelligt.

Den overførte energimængde må altså kunne måles ved størrelser der alene vedrører snoren.

Af sådanne størrelser kan der kun blive tale om snorkraften F, den hastighed v hvormed snoren hales i land og den tid t hvori der hales. (Man kunne i stedet for v eller t angive længden ℓ af den ilandhalede snor da der gælder at $\ell = v\,t$).

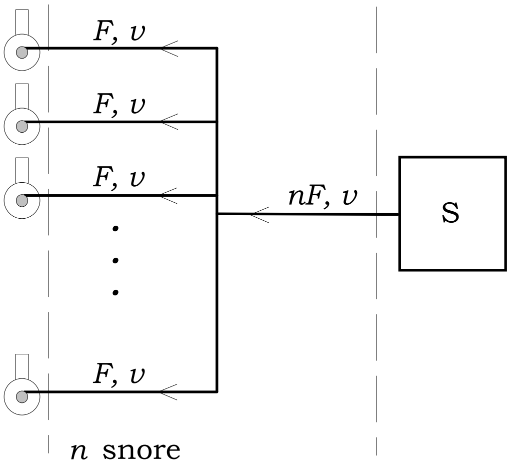
I det følgende vil vi gøre energi til en målbar størrelse. Vi gør det ved at ræsonnere os frem til hvorledes den overførte energimængde E nødvendigvis må afhænge af de tre størrelser F, v og t.

1.4 Energi gøres målbar

1) Hvis en snor hales i land af en benzinmotor med fastholdt F og v, er det klart at benzinforbruget er proportionalt med t. Den energimængde E som gennem snoren strømmer til systemet S, må derfor være proportional med t:

$$E \propto t, \quad \text{når } F \text{ og } v \text{ er konstante.}$$

2) Hvis vi skal finde hvorledes E afhænger af F for fastholdt v og t, kan vi lave følgende opstilling.



De n snore til venstre bevæger sig med samme hastighed v i samme tidsrum t og med samme snorkraft F. De overfører derfor lige store energimængder E som de giver videre til den enlige snor til højre som altså må overføre energimængden nE.

Den enlige snor må ligeledes bevæge sig med hastigheden v i tidsrummet t. Men snorkraften i den er nF.

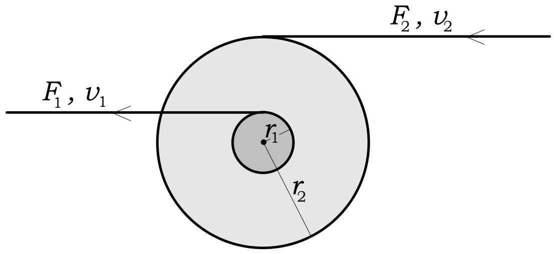
Der må derfor gælde

$$E \propto F, \quad \text{når } t \text{ og } v \text{ er konstante.}$$

Man kan faktisk i argumentationen se bort fra det der er udenfor de stiplede linier. Men det er medtaget for at minde om hvor energien kommer fra, og hvor den går hen.

3) For at finde den overførte energimængdes afhængighed af v må vi indføre et gear.

Et gear til vort brug er blot to hjul med forskellig radius. De sidder fast på en fælles aksel som løber i et par lejer.



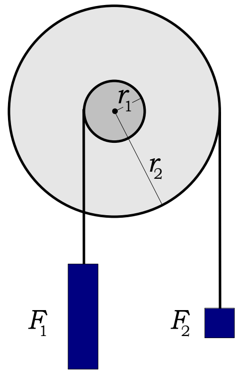
De to hjul kan af- og opvikle snor på samme måde som hjulet på motoren.

For snorene på de to hjul gælder

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{r_1}{r_2} \qquad \text{og} \qquad F_1\, r_1 = F_2\, r_2$$

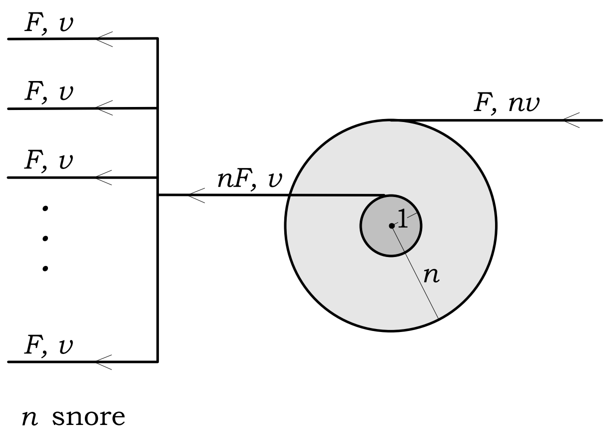
Den første gælder fordi snorhastigheden er proportional med hjulets omkreds, og omkredsen er proportional med radius r.

Den anden udtrykker en kendt (?) vægtstangsregel.



(-det er den med kraft gange arm).

Opstillingen bliver så



I gearet er den store diameter n gange så stor som den lille, hvorfor hastigheder og kræfter forholder sig som det fremgår af figuren.

Sammenlignes de n snore til venstre med snoren til højre for gearet, ses at der er samme snorkraft. Men snoren til højre har n gange så stor hastighed. Da de n snores energi transporteres videre i den ene snor til højre, får vi

$$E \propto v, \quad \text{når } F \text{ og } t \text{ er konstante.}$$

Samler vi vores tre delresultater, får vi

$$E \propto F v t$$

Hermed giver det mening at måle den overførte energimængde ved

$$E = F v t \tag{1}$$

eller udtrykt ved den ilandhalede snorlængde

$$E = F\ell \tag{2}$$

I det internationale enhedssystem får energi således enheden Nm som også kaldes J (joule).

1.5 Snorkraftens arbejde

Vi udvider vor udtryksevne ved følgende definition af begrebet *arbejde*.

> Arbejde er en proces, hvorved der *overføres* energi fra et system til et andet.

Ved *proces* forstås i denne sammenhæng en mekanisk proces hvori noget bevæger sig under kraftpåvirkning. Snoren (transmissionen) har stået for denne proces i vore eksempler hidtil.

Ved et system forstås blot en veldefineret del af omverdenen. Benzinen har været vort energiafleverende system. Det energimodtagende system kan være luften, en bil, en elevator, en røremaskine, m.m.

Vi vedtager at

> Størrelsen af et arbejde måles ved den overførte energimængde.

Vi kan altså for snorkraftens arbejde A og den ved arbejdet overførte energimængde E skrive

$$A = E \tag{3}$$

Opg. 2-4

1.6 Arbejdets effekt

Arbejdets *effekt* P er et udtryk for den hastighed hvormed energien overføres. Effekten er altså den overførte energimængde pr. tid eller det udførte arbejde pr. tid, altså

$$P = \frac{E}{t} = \frac{A}{t} = F v \tag{4}$$

hvor (1) er brugt.

S.I.-enheden for effekt er watt (W) defineret ved

$$\mathrm{W} = \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}} \tag{5}$$

For at give en enkelt smagsprøve på det bøvl man uvægerligt trækkes med hvis man ikke sørger for en gennemgribende internationalisering af fornuftige enheder, anføres følgende:

Horse-power h.p. er defineret ved

$$1 \text{ h.p.} = 550 \,{}^{\text{ft lbf}}/_{\text{s}}$$

hvor

$$1 \text{ ft (foot)} = 30{,}480 \text{ cm}$$

og

$$\text{lbf (poundforce)} = 4{,}4482 \text{ N}$$

Idet 1 lb (pound) = 0,45359 kg er poundforce - trods engelsk - åbenbart(!?) defineret ved brug af g på normalstedet i Paris.

Pferdestärke (PS), chevalvapeur og hestekraft (hk) er vist nok defineret ens,

$$1 \text{ hk} = 75 \frac{\text{kpm}}{\text{s}^2} = 735 \text{ W}$$

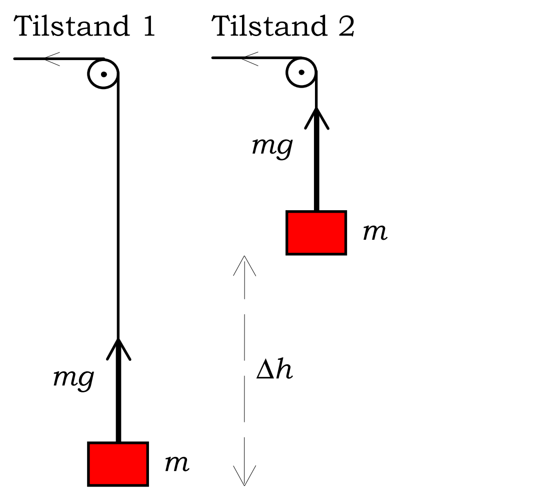
Der har åbenbart eksisteret en tidligere definition af hestekraft som englænderne på den ene side af Kanalen og fastlandseuropæerne på den anden ved tallene 550 og 75 har prøvet at tillempe til hver deres enheder for længde og kraft.

Opg. 5-7

2. MEKANISK ENERGI

2.1 Potentiel energi

Vi lader en snor løfte et lod med massen m stykket Δh. Det foregår med konstant fart.



Snorkraften skal ophæve tyngdekraften og skal derfor have størrelsen

$$F = mg$$

hvor g er tyngdeaccelerationen.

Hvordan loddet er kommet i gang, bekymrer vi os ikke om.

Under bevægelsen fra tilstand 1 til tilstand 2 udfører snorkraften arbejdet

$$A = F\ell = mg\Delta h$$

og en energimængde af denne størrelse er overført til loddet. Loddet har altså modtaget energi, og det der er sket med loddet, er at det er blevet løftet.

Ifølge vor ledetråd tvinges vi til at tilskrive loddet en energigevinst på $mg\Delta h$ i den anledning.

Når snoren skal udføre et arbejde for at hæve loddet, skyldes det ene og alene at tyngdekraften er til stede.

Vi indfører derfor en energiform med navnet *potentiel energi i tyngdefeltet*.

(Felt betyder blot område. Et tyngdefelt er et område omkring en stor masse hvor små masser bliver påvirket af kræfter ifølge Newtons gravitationslov.)

Den potentielle energi betegnes E_{pot}. Ved at blive hævet Δh har loddet altså fået en tilvækst i potentiel energi om hvilken der gælder

$$\Delta E_{pot} = mg\Delta h \tag{6}$$

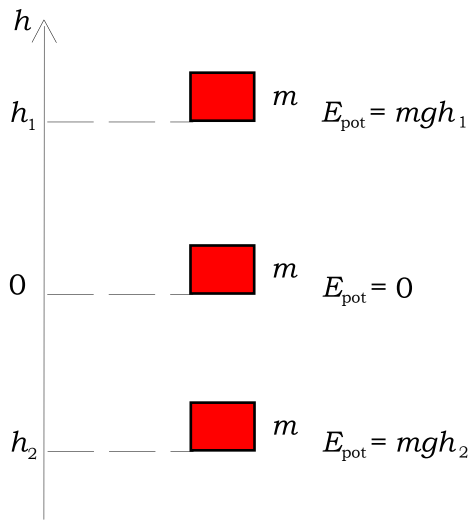
Vi kan kun beregne ændringer i E_{pot}. Man kan vilkårligt vælge et nulpunkt for E_{pot}.

Vi kan vælge en lodret h-akse positivt orienteret opad. I h-aksens nulpunkt sættes $E_{pot} = 0$. Dermed vil der til enhver højde svare en værdi af E_{pot} for loddet.

Der gælder

$$E_{pot} = mgh \tag{7}$$

for alle værdier af h.



For $h < 0$ (som f.eks. h_2) er E_{pot} negativ. Det er i overensstemmelse med at man skal hæve loddet, dvs. overføre en positiv energimængde for at opnå $E_{pot} = 0$.

Opg. 8-9

2.2 Energifrit indgreb

Vi vil i det følgende undertiden foretage energifri indgreb i fysiske systemer.

Herved forstår vi et udefra kommende indgreb som ikke er forbundet med energiudveksling mellem systemet og omgivelserne. Eller lidt blidere udtrykt: En eventuel energiudveksling skal være forsvindende lille i forhold til de energier, som ellers er på tale i systemet.

Et energifrit indgreb kan kendes ved at man ikke behøver (væsentlige mængder af) brændstof til at udføre det.

Et energifrit indgreb kan meget vel have en stor virkning. Musens berøring af osten er således et energifrit indgreb i musefælden!

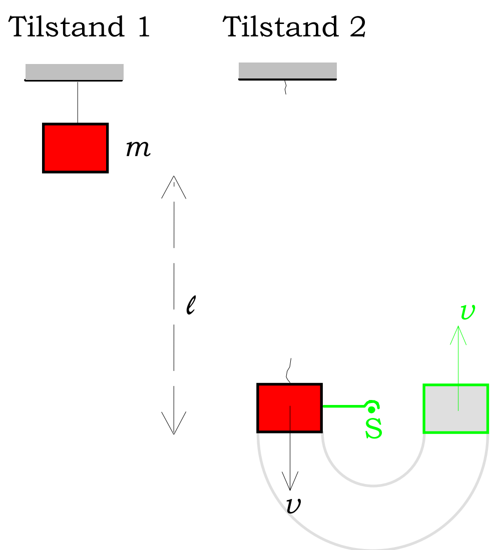
De energifri indgreb vil dog for os være sådanne som overklipning af en snor, slutning af en kontakt, et lille bitte puf etc. Det afgørende er at systemets energiindhold ikke ændres ved et energifrit indgreb. Men energien kan meget vel ændre form, jf. musefælden.

2.3 Kinetisk energi

Vi betragter et lod med masse m ophængt i en snor.

Idet vi klipper snoren over, vil vi ved et energifrit indgreb forårsage at loddet begynder at miste potentiel energi.

Når loddet er faldet stykket ℓ, har det mistet potentiel energi af størrelsen $mg\ell$.



Vi må ifølge vor ledetråd søge efter energien.

Der vil ikke som følge af loddets styrt ske nogen ændringer i selve loddet eller i dets omgivelser som kan tilskrives energi.

Den eneste ændring er loddets bevægelse.

At selve bevægelsen rummer energien, bliver oplagt hvis vi tænker os loddet forsynet med en anordning der kan gribe fat i en stang S.

Hermed kunne man vende loddets nedadgående bevægelse (energifrit!) til en opadgående med samme fart. Denne opadgående bevægelse vil kunne føre loddet op i den oprindelige højde.

Tilstanden af bevægelse kan altså bruges til at gengive loddet dets tabte potentielle energi. Bevægelsestilstanden må altså rumme denne energimængde.

Vi siger at loddet i bevægelse har *kinetisk energi* E_{kin}. Og størrelsen af den kinetiske energi må ifølge vor ledetråd være lig med den tabte potentielle energi.

Vi brugte et frit fald til at give loddet en hastighed som vi vil kalde v og en dermed forbundet kinetisk energi E_{kin}. Det er imidlertid klart at det er ligegyldigt hvordan denne hastighed v er opnået. Har legemet med massen m hastigheden v i tilstand 2-højden, så kan vi ved et energifrit indgreb vende hastigheden opad og få loddet tilbage i tilstand 1-højden.

Den kinetiske energi må altså kunne fastlægges alene ved m og v.

Vi søger derfor et udtryk for E_{kin} som kun indeholder m og v, og hvis størrelse er lig med den tabte potentielle energi, $mg\ell$.

Under loddets frie fald gælder ifølge mekaniknoterne

$$\ell = \tfrac{1}{2} g t^2$$
$$v = g t$$

Heraf udleder vi

$$E_{kin} = mg\ell = mg \tfrac{1}{2} g t^2$$
$$= \tfrac{1}{2} m (g t)^2 = \tfrac{1}{2} m v^2$$

Hermed opnåede vi et udtryk alene indeholdende m og v. Et legeme med masse m og hastighed v har altså den kinetiske energi

$$E_{kin} = \tfrac{1}{2} m v^2 \qquad (8)$$

Opg. 10-12

Da den mistede potentielle energi ved et frit fald bliver til kinetisk energi, gælder altså

$$mg\ell = \tfrac{1}{2}mv^2$$

som kan omskrives til

$$v = \sqrt{2g\ell} \qquad (9)$$

Heraf indses Gallileis faldlov (alle legemer i frit fald falder lige hurtigt). Og den opnåede hastighed kan altså findes alene ved energilovmæssigheder.

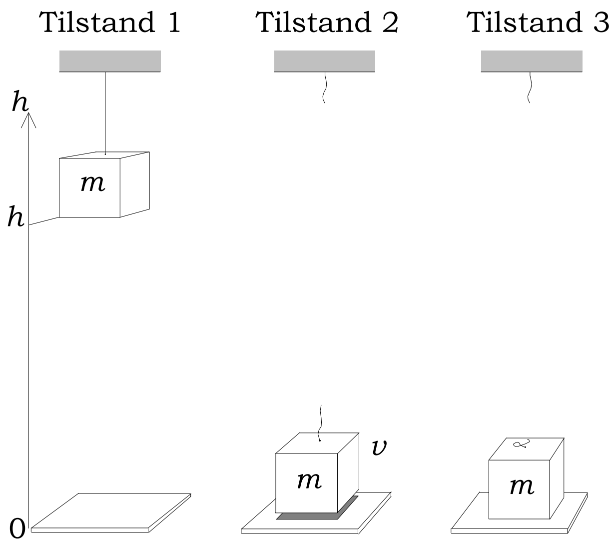
Hvis vi derimod spørger om hvor lang *tid* et fald varer, må vi bruge formler fra mekanikken.

Potentiel og kinetisk energi siger noget om legemers øjeblikkelige tilstand og rummer ingen oplysninger om hvor lang tid det har taget at opnå den.

2.4 Ydre og indre energi

Vi betragter igen et legeme der hænger i en snor.

Legemets masse kaldes *m*, og dets højde over bordet kaldes *h*. Vi regner potentiel energi ud fra bordoverfladen.



Legemet hængende i snoren kaldes tilstand 1.

Snoren klippes over, og vi betragter legemet umiddelbart inden det rammer bordet, tilstand 2.

Endelig betragter vi det når det har lagt sig til hvile, tilstand 3.

Vi kan nu gøre regnskab over energien.

	Tilst. 1	Tilst. 2	Tilst. 3
E_{pot}	mgh	0	0
E_{kin}	0	$\tfrac{1}{2}mv^2$	0

De to nuller i tilstand 3 er indiskutable. Såvel den potentielle som den kinetiske energi er forsvundet.

Hva' så?

Hvis vor ledetråd skal kunne opretholdes, må vi kunne finde en målelig størrelse som har ændret sig fra tilstand 1 og 2 til tilstand 3, og som vi kan tilskrive energien i tilstand 3.

En sådan ændring kan findes.

Måles temperaturer under forsøget, vil det vise sig at den er steget mellem tilstand 2 og tilstand 3. Temperaturstigningen sker fortrinsvis der hvor materialet har givet mest efter under nedslaget.

Ifølge ledetråden indfører vi derfor en ny energiform, *indre energi*, som i dette tilfælde giver sig til kende som en temperaturstigning. Navnet indre energi skyldes at energien er knyttet til stoffets indre struktur, til forholdet mellem stoffets molekyler.

Den indre energi skal selvfølgelig beskrives på en sådan måde at energien er bevaret. Det er projektet i næste hovedafsnit, 3. INDRE ENERGI. Indtil da bruger vi dog frejdigt begrebet kvalitativt.

Det er i forbindelse med den indre energi nærliggende at kalde potentiel og kinetisk energi for *ydre energi* idet disse energiformer er knyttet til ydre forhold, hhv. højden over bordet og hastigheden i forhold til bordet.

Det er endvidere også forhold som beskrives i mekanikken (stedkoordinat, og hastighed) i modsætning til begrebet temperatur. Ydre energi kaldes derfor også (og hyppigere) *mekanisk energi*, E_{mek}.

2.5 Mekanisk energi

Mekanisk energi er ikke en ny energiform, men en fællesbetegnelse for E_{pot} og E_{kin}.

Vi skriver

$$E_{mek} = E_{pot} + E_{kin} \qquad (10)$$

2.6 Gnidning

Foruden navngivning af energiformerne er det praktisk at have navne til de processer som omsætter energien mellem de forskellige former.

Vi har allerede indført begrebet arbejde for processer som omsætter mellem de mekaniske energiformer.

Nu indføres begrebet *gnidning* for processer som omsætter mekanisk energi til indre energi.

Mellem tilstand 2 og tilstand 3 i 2.4 er der tale om en sådan proces. Vi siger at bevægelsen er foregået med gnidning.

> Gnidning er en proces, hvorved mekanisk energi omsættes til indre energi.

Tre eksempler:

1) For legemet der lander på bordet i 2.4, sætter gnidningen voldsomt, men kortvarigt ind.
2) En bil der kører i frigear på en helt vandret vej, vil meget langsomt tabe fart pågrund af gnidning.
3) Hvis bremserne bruges, sker det hurtigere.

I alle tre tilfælde omdannes mekanisk (her kinetisk) energi til indre energi som i alle tre tilfælde kan konstateres ved temperaturstigninger visse steder.

I første tilfælde findes temperaturstigningen i legeme og bord.

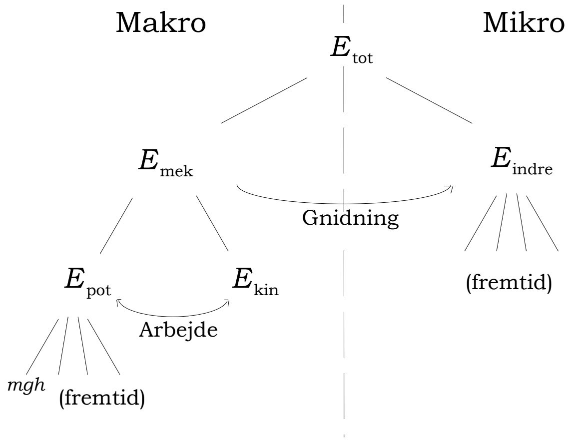
I andet tilfælde er den meget vanskelig at måle. Vi tror at den kan findes som en meget lille temperaturstigning i en meget stor luftmængde og lidt i billejer, dæk og vejbane.

I tredje tilfælde findes der en meget udpræget temperaturstigning i bremserne. (Det er helt nødvendigt at tage hensyn hertil ved konstruktion af bremser.)

For en faldskærmsudspringer omdannes først potentiel energi til kinetisk energi. Senere, når den har opnået konstant hastighed, omdannes potentiel energi til indre energi i luften ved luftmodstanden (gnidning).

2.7 Energiformerne, 1

Selvom vi ikke er færdige, kan det være nyttigt med et lille overblik:



Dvs. at et systems totale energi E_{tot} kan deles i mekanisk energi som ses i de makroskopiske forhold og i indre energi som vedrører de mikroskopiske forhold.

Den mekaniske energi består igen af dels potentiel, dels kinetisk energi.

Vi vil senere skelne mellem forskellige former for potentiel energi, ligesom indre energi vil vise sig at være en fællesbetegnelse for flere energiformer.

Foruden (10) kan vi altså skrive

$$E_{tot} = E_{mek} + E_{indre} \tag{11}$$

For et isoleret system gælder ifølge vor ledetråd at E_{tot} er konstant.

Hvis systemet tilmed er uden gnidning, er såvel E_{mek} som E_{indre} konstante.

Er der gnidning i et isoleret system, vil E_{indre} vokse lige så meget som E_{mek} aftager.

Mange mekaniske problemer løses lettest på et energigrundlag.

Det er allerede vist hvorledes den opnåede hastighed i et frit fald findes ud fra bevarelse af mekanisk energi, formel (9).

Her følger et andet eksempel.

2.7.1 Eksempel

En sten kastes lodret opad med hastigheden v_0. Den bevæger sig uden gnidning.

Find stighøjden (dvs. den maksimale højde).

Svar:

E_{pot} regnes i forhold til kasteren.

Vi har så når kastet starter

$$E_{pot} = 0 \qquad \text{og} \qquad E_{kin} = ½ m v_0^2$$

Når stenen er i sin øverste position h_0, er $v = 0$ så at

$$E_{pot} = m g h_0 \quad \text{og} \quad E_{kin} = 0$$

Ved at udtrykke at E_{mek} er den samme i de to tilstande, fås

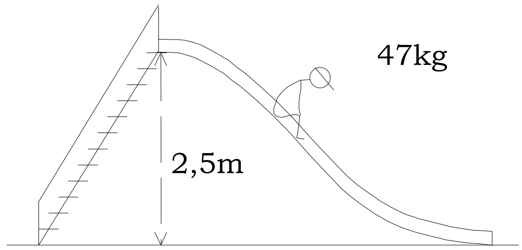
$$0 + ½ m v_0^2 = m g h_0 + 0$$

hvoraf

$$h_0 = \frac{v_0^2}{2g}$$

Opg. 13-14

2.7.2 Eksempel



En person på 47 kg tager en rutsjetur på en 2,5 m høj rutsjebane. Turen ender med hastigheden 6,0 $\mathrm{m/s}$ og varm numse.

Hvor stor en del af den mekaniske energi blev omdannet til indre energi?

Svar:

I forhold til jorden gælder ved start

$$\begin{aligned} &E_{mek} \\ =\; & m g h = 47\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}82\,\mathrm{m/s^2} \cdot 2{,}5\,\mathrm{m} \\ =\; & 1154\,\mathrm{J} \end{aligned}$$

Ved slut gælder

$$\begin{aligned} &E_{mek} \\ =\; & ½ m v^2 = ½ \cdot 47\mathrm{kg} \cdot (6{,}0\,\mathrm{m/s})^2 \\ =\; & 846\,\mathrm{J} \end{aligned}$$

Den forsvundne mekaniske energi er blevet til indre energi

$$E_{indre} = 1154\,\mathrm{J} - 846\,\mathrm{J} = 308\,\mathrm{J}$$

Af den mekaniske energi blev

$$\frac{308\mathrm{J}}{1154\mathrm{J}} = 0{,}27 = 27\%$$

omdannet til indre energi.

Opg. 15-16

3. INDRE ENERGI

3.1 Om sprogbrug

På de følgende sider vil vi indføre begrebet *varme* i en helt præcis betydning.

Den betydning som ordet varme har i fysikken, adskiller sig desværre markant fra hverdagssprogets brug af ordet.

I hverdagssproget bruges udtrykket "meget varmt" som synonymt med "høj temperatur". Og at "varme op" betyder at hæve temperaturen.

Sådan bruges varme ikke i fysikken.

(Man kan i øvrigt nok blive i tvivl om hvad varme overhovedet betyder i hverdagssproget: Når man tager en kedel koldt vand og anbringer den på kogepladen som står på fuld drøn, så varmer man kedlen op. Det er klart.

Men når temperaturen er 100 °C, og vandet koger lifligt, så stiger temperaturen jo ikke yderligere.

Varmer man så stadig op hvis man ikke slukker?

Man kan udmærket snakke om madlavning uden at have løst dette sproglige problem.)

Men i den mere abstrakte sammenhæng som fysik er, er det nødvendigt at definere begreberne præcist.

I hverdagssproget findes et ord som er næsten synonymt med hverdagssprogets ord "varme" nemlig "hede" som vi i resten af noterne vil bruge i stedet for hverdagsbetydningen af "varme", mens "varme" herefter reserveres til den strenge fysiske betydning.

3.2 Temperatur

Uden videre analyse baserer vi foreløbig temperaturbegrebet på kviksølvtermometret ved hjælp af hvilket vi kan angive legemers temperatur i °C.

Følgende erfaringer er fundamentale for temperaturbegrebet:

Bringes et koldt og et hedt legeme i kontakt, vil temperaturen af det kolde legeme stige og temperaturen af det hede legeme falde indtil de to legemer har samme temperatur.

Dette indebærer at hvis et legeme har en anden temperatur end de omgivelser hvori det er anbragt, vil det ændre sin temperatur mod omgivelsernes og til sidst have samme temperatur som disse.

Vi har allerede i 2.4 nævnt at temperatur og indre energi kan have noget med hinanden at gøre. Når vi skal gøre energiræsonnementer, må vi passe på at omgivelsernes temperatur ikke spiller os et puds.

Det er derfor også en vigtig erfaring at der findes metoder til at adskille områder med forskellig temperatur således at temperaturudligningen sker så langsomt at vi kan se bort fra den ved kortvarige forsøg.

Metoderne kaldes varmeisolation og kan foretages med isolationsmaterialer eller termokandekonstruktioner.

Vi indfører nu begrebet en *adiabatisk væg* som en væg der fuldstændigt udelukker temperaturudligning.

Den findes ikke i virkeligheden, men kan tilnærmes. En termokande er at opfatte som en adiabatisk indeslutning i forsøg der kun varer et par minutter.

3.3 En udfordring til vores ledetråd

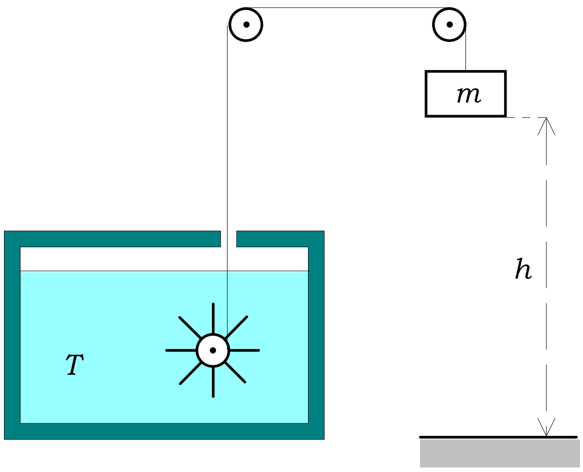
Vi betragter et system bestående af en vandmængde og et skovlhjul (se næste side). Det er indeholdt i en adiabatisk beholder som ikke indgår i systemet. Vandets temperatur må ikke nærme sig fryse- eller kogepunket.

Vi kan udføre et arbejde på systemet ved at trække i snoren, så skovlhjulet drejer. Herved tilføres systemet altså energi.

I første omgang ytrer det sig ved at vandet hvirvler rundt (kinetisk energi), men når bevægelsen er faldet til ro, så er temperaturen T steget, og det er den eneste ændring. (Vi forudsætter at vi ikke er nær kogepunktet.)

Dette system er faktisk af en sådan art at dets tilstand beskrives fuldstændigt ved dets temperatur når blot vandet er faldet til ro.

Energien som tilstandsfunktion iagttages særligt klart i denne opstilling.



Vi betragter nu systemet i en bestemt tilstand dvs. med en bestemt temperatur T_1.

På systemet udføres et bestemt arbejde f. eks. det på figuren antydede

$$\Delta E = \mathrm{A} = m\,g\,h \qquad (12)$$

hvor ΔE så er systemets energitilvækst som hæver temperaturen til T_2.

Vi antager nu at vi igen har tilstanden med temperatur T_1 og opnår tilstanden med temperatur T_2 ved hjælp af arbejde udført på anden måde end i første omgang.

(Der kan være tale om at halvere kraften og fordoble vejen, eller bevare kraften og gøre skovlhjulets blade større (så tager arbejdet længere tid), arbejdet kan udføres med pauser ind imellem osv.)

Uanset hvorledes arbejdet er udført - når sluttilstanden T_2 er opnået, må energitilskuddet være af samme størrelse som (12), ellers kan vor ledetråd ikke opretholdes.

Ledetråden fører altså til en meget indholdsfuld påstand som kan efterprøves eksperimentelt.

<u>Påstanden er aldrig blevet modbevist.</u>

Energien er en enentydig funktion af tilstanden.

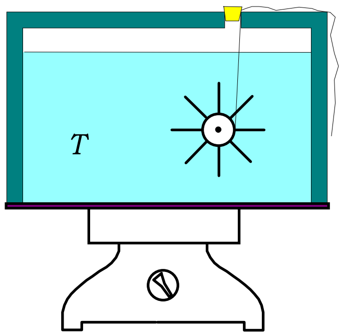
Vi kan heraf konkludere at der mellem to tilstande af systemet er en energiforskel ΔE som kan måles ved det arbejde der fører systemet fra den energifattige til den energirige tilstand.

3.4 Varme

Der er imidlertid også en anden nærliggende mulighed for at bringe systemet fra begyndelsestilstanden T_1 til sluttilstanden T_2:

Vi kan fjerne den adiabatiske væg og bringe systemet i kontakt med hedere omgivelser i tilstrækkelig lang tid.

I vort system kunne vi f.eks. skifte bunden ud med en metalplade og anbringe systemet på en lunken kogeplade.



Når temperaturen er steget fra T_1 til T_2, må systemet have modtaget samme energimængde ΔE som før, men ikke overført ved arbejde. Vi siger systemet har modtaget energien ΔE overført ved *varme*. (Der kom den!) Altså

> Varme er et fænomen hvorved der overføres indre energi fra et system til et andet.

> Varmens størrelse måles ved den overførte energimængde.

Idet Q står for varmens størrelse gælder altså for det beskrevne eksperiment

$$Q = \Delta E \qquad (13)$$

Arbejde og varme er to måder hvorpå energi kan overføres fra et system til et andet.

<u>Og det er de eneste måder.</u>

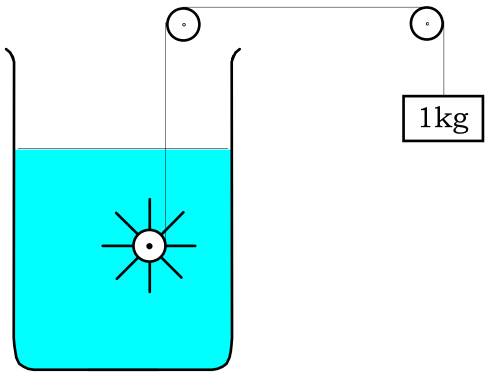
Arbejde er en makroskopisk proces, og varme er en mikroskopisk proces.

De kan naturligvis i forening føre systemet fra begyndelsestilstanden til sluttilstanden. Det er netop indholdet af termodynamikkens første hovedsætning:

$$\boxed{\Delta E = A + Q} \qquad (14)$$

Ligningen gælder for såvel positive som negative værdier af begge størrelser. A og Q skal således regnes positive når energien ved arbejdet hhv. varmen strømmer ind i systemet. Ellers regnes de negative.

3.4.1 Eksempel



Vandet i karret er ikke adiabatisk indesluttet. Det betragtes i tre situationer

1) som tegnet. Denne situation har varet længe.
2) Umiddelbart efter at loddet ret hurtigt er sunket 10 m hvorefter det er i ro.
3) Lang tid efter 2).

Omgivelsernes temperatur er konstant.

Systemets energi regnes ud fra 1) dvs. $E_1 = 0$.

Find E_2 og E_3.

Svar:

Da situation 1) har varet længe, er systemets temperatur lig med omgivelsernes. (Vi siger at der er termisk ligevægt). I denne situation har vi $E_1 = 0$.

Da loddet synker ret hurtigt, vil vi regne med at det ikke når at udveksle varme med omgivelserne. Vi har altså

$$E_2 = A = mgh$$
$$= 1\,\text{kg} \cdot 9{,}82\ {}^{\text{N}}/_{\text{kg}} \cdot 10\,\text{m} = 98{,}2\,\text{J}$$

Lang tid efter er systemet igen i termisk ligevægt med omgivelserne. Situation 3) er altså identisk med situation 1).

Derfor er

$E_3 = 0$.

Opg. 17

Varme kan forekomme som *varmeledning* og som *varmestråling*.

Ved varmeledning er der tale om en materiel kontakt mellem de to systemer. I det eksempel vi har for os i dette afsnit, er metalpladen den materielle kontakt dvs. det materiale igennem hvilket varmen strømmer fra kogepladen til vandet.

Ved varmestråling er der ikke en sådan kontakt. Varmestråling kan overføre energi gennem det tomme rum. Al den energi vi modtager fra solen, kommer i form af varmestråling. Solens temperatur er i øvrigt så høj at en del af strålingen er synlig. Det synlige lys udgør ca. halvdelen af varmestrålingen fra solen.

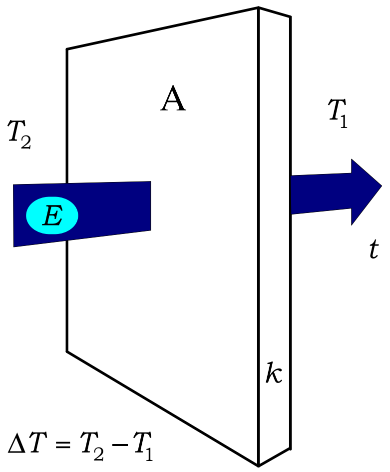
Kommer strålingen fra et mindre hedt legeme, kaldes strålingen *infrarød stråling* eller *sort varmestråling*.

Energien fra solen må naturligvis(!?) forlade jorden igen. Den forlader jorden i form af infrarød stråling.

Det kan synes som om varme som begreb er indført som et ret vilkårligt lapperi for at få energibevarelsen til at gælde, altså at Q i (14) blot gives en sådan værdi at (14) gælder.

Det er imidlertid muligt at give varme såvel ved ledning som ved stråling en selvstændig beskrivelse således at Q kan beregnes direkte og for sig på lignende måde,som A kan beregnes ved (1) eller (2), se 3.5 og 3.6.

3.5 Varmeledning



På figuren er vist en væg og varmestrømmen igennem denne.

E er den energimængde der er strømmet igennem væggen med arealet $\mathcal{A}$ i løbet af tiden t. T_1 og T_2 er temperaturerne på væggens to sider (T_2 er den høje.)

For den gennemstrømmede energimængde E gælder

$E \propto t$, når $\mathcal{A}$ og ΔT er konstante

$E \propto \mathcal{A}$, når t og ΔT er konstante

$E \propto \Delta T$, når $\mathcal{A}$ og t er konstante

De to første proportionaliteter er oplagte. Den tredje må findes ved forsøg.

Der gælder altså følgende formel:

$$E = k\mathcal{A}t(T_2 - T_1) \qquad (15)$$

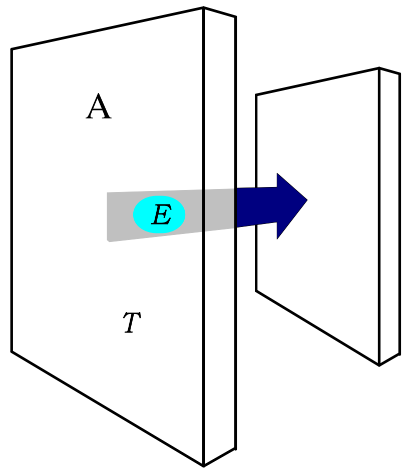
hvor k er væggens k-værdi.

Eksempler på k-værdier:

Væg	$k \,/\, \dfrac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\,^\circ C}}$
Mur, massiv, 36 cm	1,26
Mur, 10 cm hulrum, 32cm	1,07
Mur, 10 cm glasuld, 32cm	0,36
Vindue, 1 lag	6,6
Vindue, 2 lag, 14 mm	3,0
Vindue, 3 lag, 14+14mm	2,1

Opg. 18

3.6 Varmestråling



På figuren er vist varmestrålingen fra en væg til en anden.

Det vil føre for vidt her hvis vi vil frem til en brugbar forståelse af varmestrålingen som også afhænger af legemernes farve.

Men nævnes skal det at udstrålingen fra den viste flade vokser proportionalt med T^4, hvor T er den absolutte temperatur. Nævnes, fordi en fjerdepotens er meget usædvanlig i fysikken.

3.7 Varmekapacitet og varmefylde

Vi betragter et system bestående af vand hvis temperatur ikke kommer nær frysepunktet eller kogepunktet.

Vi kan øge dets indre energi ved arbejde og/eller varme som kan beregnes. Dermed kender vi E.

Vi kunne da undersøge sammenhængen mellem temperaturstigningen ΔT og E.

Man vil da finde (og det er altså en erfaring) at ΔT er proportional med E.

Altså findes der en konstant C så at

$$E = C\Delta T \qquad (16)$$

C kaldes systemets *varmekapacitet* (bedre: energikapacitet).

Faktisk gælder proportionaliteten kun hvis ΔT og E ikke er for store. En forbedret definition af varmekapaciteten er derfor

$$C = E/\Delta T$$

hvor ΔT er et tilstrækkeligt lille temperaturinterval.

Da proportionaliteten ikke gælder strengt, vil C afhænge lidt af hvor temperaturintervallet ΔT ligger.

Hvis vi ændrer på systemets vandmængde, er det klart at der skal en anden energimængde til at opnå samme temperaturstigning ΔT.

Hvis vi ønsker samme temperaturstigning med en dobbelt så stor vandmængde, må vi tilføre dobbelt så meget energi.

For konstant ΔT er E altså proportional med vandets masse m. Der findes altså en konstant c så at

$$E = c\,m\,\Delta T \tag{17}$$

og

$$C = c\,m \tag{18}$$

c kaldes for *vands varmefylde* eller *specifikke varmekapacitet.* (bedre: energifylde).

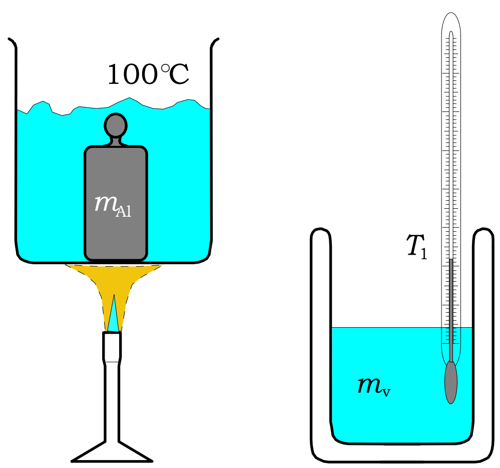
Tilsvarende defineres andre systemers varmekapacitet og andre stoffers varmefylde, jf. i øvrigt håndbogen.

3.7.1 Eksempel, kalorimetri

Varmefylden for aluminium er $0{,}90\,{}^{\mathrm{J}}/_{(\mathrm{g}°\mathrm{C})}$. Den måles i en laboratorieøvelse.

I dette eksempel med de følgende øvelser vises hvorledes man i en serie forsøg kan måle varmefylder for faste stoffer og væsker.

Metoden kaldes kalorimetri. *Kalorimeter* er blot et andet ord for termokop.



Et aluminiumlod med massen m_{Al} står i et bægerglas med kogende vand. I en termokop er der vand med massen m_v og temperatur T_1.

Det er den tegnede udgangssituation.

Aluminiumloddet tages op med en tang, drypper hurtigt af og anbringes i termokoppen. Herefter er energien i termokoppens indhold konstant.

Tegn selv denne situation!

Efter nogen tid har vandet og aluminiumloddet nået en fælles temperatur T_2. Under denne proces har vandet modtaget den energimængde som loddet har afgivet.

Vi har altså

$$c_{Al}\, m_{Al}\,(100°\mathrm{C} - T_2) = c_v\, m_v\,(T_2 - T_1)$$

hvor c_{Al} og c_v er varmefylden af henholdsvis aluminium og vand.

Af ligningen udledes

$$c_v = c_{Al}\frac{m_{Al}}{m_v}\,\frac{100\,°\mathrm{C} - T_2}{T_2 - T_1}$$

Opg. 19-20

3.8 Indre energi ved faseovergang

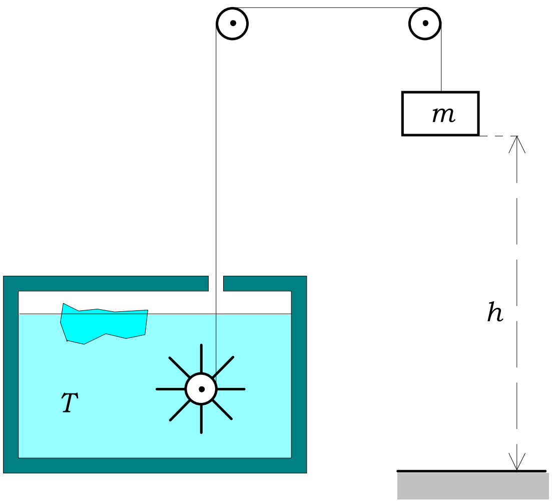
Indre energi er ikke altid knyttet til temperaturen. I dette afsnit betragtes et system hvor temperaturen er konstant til trods for en stigning i systemets indre energi.

I den adiabatiske indeslutning som vi betragtede i 3.3, kan vi anbringe en isklump (se tegning næste side). Efter et stykke tid vil der være temperaturligevægt, og al isen og vandet vil have temperaturen 0 °C. (-Hvis isklumpen er stor nok).

Vand og is er to såkaldte *faser* af stoffet H_20. En tredje fase er vanddamp.

Alle stoffer findes i disse tre faser, fast, flydende og gasfase.

Og det er en almindelig erfaring at hvis et stof findes i fast og flydende fase samtidig, vil temperaturen overalt have en bestemt værdi, kaldet stoffets smeltepunkt.



Hvis vi udfører et arbejde på systemet eller overfører energi ved varme, må vi lede efter en ændring i systemet som altså ikke kan vedrøre temperaturen, sålænge der både er vand og is.

Det viser sig så at det (naturligvis!) er mængden af vand og is der har ændret sig. Der er blevet mere vand og mindre is.

Også her kaldes energiformen for indre energi. Vand rummer altså mere indre energi end is.

Systemets totale masse er konstant. En fuldstændig beskrivelse af alle de tilstande af systemet hvor der ikke er strømning, kan foretages med en enkelt variabel, nemlig massen af vandet.

Hvis systemet føres fra en tilstand med vandmasse m_1 til en tilstand med vandmasse m_2 ved hjælp af arbejde, så fastlægges herved energiforskellen mellem de to tilstande.

Varme af samme størrelse beregnet ved (15) kan ligeledes føre systemet fra tilstand m_1 til tilstand m_2. Og altså uden at temperaturen stiger.

3.9 Smeltevarme

For at finde sammenhængen mellem vandmassetilvæksten og tilvæksten i indre energi, kan vi tænke os at udføre arbejdet i 3.8 i små portioner og hver gang veje vandet eller isen. Det er i praksis besværligt, og det er kun et tankeeksperiment. Men vi er i stand til at tænke os til resultatet.

Når arbejdet er udført, strømningen ophørt og temperaturligevægt opnået, er en vis stofmængde omdannet fra is til vand som følge af energitilskuddet. Al det andet is og vand har ikke modtaget noget energi da dets tilstand er uændret.

Når vi derfor gentager arbejdet, vil en lige så stor del af isen som før smelte.

Systemets energitilvækst ΔE og vandmassetilvækst Δm er altså proportionale. Der findes altså en konstant L, så at

$$\Delta E = L\,\Delta m \tag{19}$$

L kaldes *smeltevarmen* for is eller *størkningsvarmen* for vand. (L fra Latent heat).

3.9.1 Eksempel

(Lav selv en illustrerende tegning!)

En isklump har ligget i vand i en rum tid.

I en termokop er der vand hvis masse er m_v, og hvis temperatur er T_1.

Isklumpen tages op, tørres af og lægges ned i termokoppen. Dens masse kaldes m_{is}.

Herefter er energien i termokoppen konstant.

Efter nogen tid er al isen væk, og sluttemperaturen er T_2.

Den indre energi af det vand der oprindeligt var i termokoppen, er aftaget med beløbet

$$c_v\, m_v\,(T_1 - T_2)$$

Til gengæld er den indre energi af den stofmængde der oprindelig var is, vokset med

$$L\, m_{is} + c_v\, m_{is}\,(T_2 - 0\,°\mathrm{C})$$

nemlig først ved smeltningen og dernæst ved opvarmningen til sluttemperaturen T_2.

De to energimængder er lige store så der gælder

$$c_v m_v\,(T_1 - T_2) = L\, m_{is} + c_v\, m_{is}\,(T_2 - 0\,°\mathrm{C})$$

hvoraf L kan findes.

Opg. 21-22

3.10 Fordampningsvarme

Når vand opvarmes til 100 °C ved vi at temperaturen ikke stiger yderligere selv om vi fortsat tilfører energi. Derimod koger det, og der bliver mindre og mindre vand og tilsvarende mere damp.

Vanddamp indeholder altså mere energi end vand.

Tilvæksten i dampmængden Δm er proportional med den tilførte energi ΔE. Altså findes der en konstant L så at

$$\Delta E = L\Delta m \tag{20}$$

L kaldes vands fordampningsvarme.

Hvad energiomsætningen angår er der fuldstændig analogi mellem fordampning og smeltning hvorfor der bruges samme symbol L.

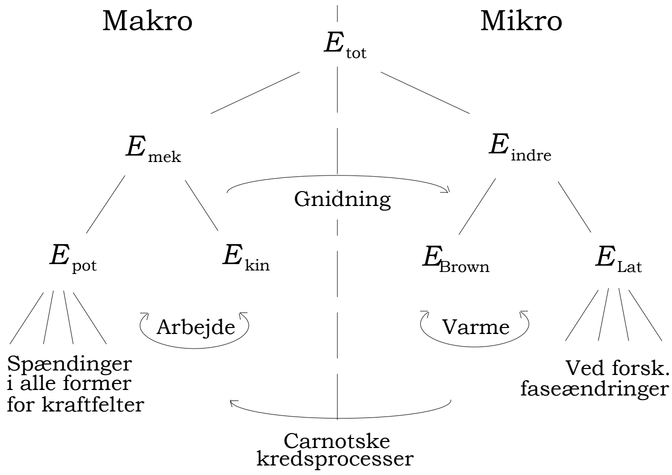
Der er imidlertid den markante forskel på smeltning og fordampning at mens smeltning kun kan foregå ved smeltepunktet, så kan stoffer fordampe ved alle temperaturer. Fordampning kan sågar ske fra den faste fase og kaldes så *sublimering*: Man kan tørre tøj i frostvejr.

Fordampningsvarmen afhænger en del af temperaturen, jf. Håndbogen.

Opg. 23-24

3.11 Energiformerne, 2

Vores energibegreb har nu følgende struktur



E_{pot} står for energien i spændinger af enhver art. På næste side vises forskellige situationer med de respektive udtryk for E_{pot}.

Præcis den samme struktur som vi kan se for os i makroverdenen, forestiller vi os gældende i mikroverdenen, se i øvrigt Mikro-Makro-noterne s. 4.

E_{Brown} er mikroskopisk kinetisk energi i de enkelte molekyler, og E_{Lat} er potentiel energi i mikroskopiske spændinger. Også her er der tale om en række forskellige muligheder, herunder kan henregnes kemiske og kernefysiske energiudvekslinger.

Carnotske kredsprocesser muliggør en delvis omdannelse af indre energi til ydre energi.

I ethvert elproducerende kraftværk foregår der en Carnotproces af H_2O der som damp strømmer fra kedlen (opvarmning) til kondensatoren (afkøling) og tilbage som vand. Dampen mellem kedlen og kondensatoren kan drive en turbine som trækker en generator som leverer el.

Kun en del af den indfyrede energi kan udnyttes, jf. opgave 1.

4. KRAFTFELTER

4.1 Potentiel energi i kraftfelter

Gravitationskræfter og elektromagnetiske kræfter beskrives i moderne fysik ved hjælp af feltbegrebet.

Vi betragter en kraft F virkende på et punkt P af et system som kan bevæges langs x-aksen. Vi antager at kraften blot afhænger af stedet x og ikke af andre parametre såsom tiden eller punktets hastighed.

Vi siger så at vi har et *kraftfelt* på x-aksen med *feltkraften* $F(x)$.

Til feltkraften er der knyttet en potentiel energi. Vi kan nemlig ikke flytte punktet P uden at udveksle energi med systemet.

En flytning (uden acceleration) af punktet P kræver en ydre kraft $F_y = F_y(x)$, om hvilken der gælder

$$F_y = -F$$

Det arbejde den ydre kraft udfører, øger systemets potentielle energi.

Nu ved vi jo kun hvordan vi skal beregne en krafts arbejde når kraften er konstant. Hvis vi imidlertid tager et tilstrækkeligt lille skridt Δx, kan vi regne kraften konstant i dette skridt og får

$$\Delta E_{pot} = F_y \Delta x \qquad *)$$

$$\Leftrightarrow \quad \Delta E_{pot} = -F \Delta x \qquad *)$$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{\Delta E_{pot}}{\Delta x} = -F \qquad *)$$

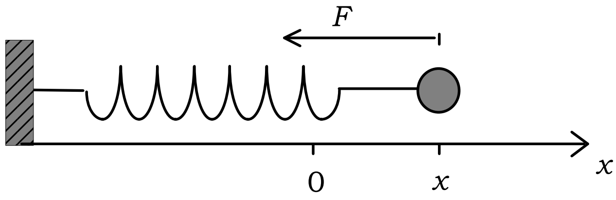
$$\Leftrightarrow \quad E_{pot}'(x) = -F(x) \qquad (21)$$

hvor *) forudsætter, at Δx er tilstrækkeligt lille (eller $F(x)$ er konstant).

Systemets potentielle energi skal altså findes som en stamfunktion til feltkraften med modsat fortegn. Heraf følger de i næste spalte beregnede energier.

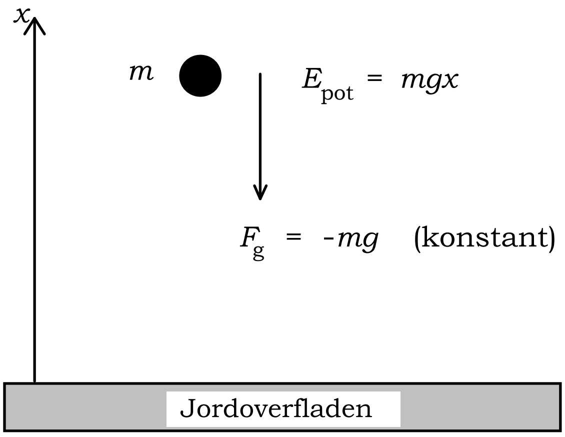
Som bekendt fås en ny stamfunktion ved til en given stamfunktion at addere et vilkårligt tal. Dette muliggør at nulpunktet for E_{pot} kan vælges bekvemt. (Det kommer helt af sig selv i de følgende eksempler.)

4.2 Potentiel energi i en fjeder



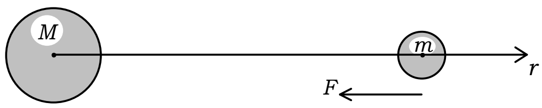
$$F = -kx \qquad E_{pot} = \tfrac{1}{2} k x^2$$

4.3 Potentiel energi i homogent (lokalt) tyngdefelt



4.4 Potentiel energi i inhomogent (globalt) tyngdefelt

Den følgende tegning kunne fremstille jorden og månen. Afstanden r skal så regnes mellem klodernes centrer



$$F(r) = -G\frac{Mm}{r^2}$$

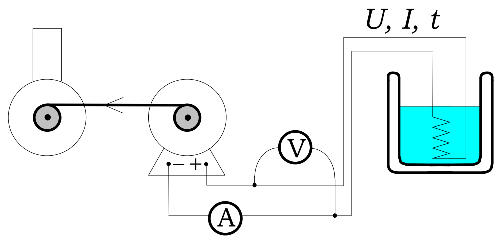
$$E_{pot}(r) = -G\frac{Mm}{r}$$

5. ELEKTRISK ENERGITRANSPORT

5.1 Joules lov

Energi kan også transmitteres ved el.

En energiomsætning hvori der foregår elektrisk transmission, kan se sådan ud:



Energien som er frigjort ved forbrændingen i motoren, transmitteres først gennem snoren til en dynamo, så gennem et ledningspar og ender som indre energi i vandet i termokoppen.

Ligesom det mekaniske arbejde kan udtrykkes ved størrelserne F, v og t alene vedrørende snoren, så kan også den elektrisk overførte energi udtrykkes ved størrelser som kan måles på ledningsparret alene, nemlig U (mellem ledningerne), I (i ledningerne) og t.

(Man kunne foreslå R i stedet for U eller I, idet $U = RI$, ligesom ℓ kan indgå i stedet for v eller t, idet $\ell = vt$.)

På næste side ses tegninger som viser at den overførte energimængde er proportional med hver af de tre størrelser t, I og U når de andre to holdes konstant.

Det afgørende er blot at acceptere at et ledningspar med givne værdier af U, I og t transporterer en bestemt energimængde. Man kan faktisk se bort fra det der er udenfor de stiplede linier. Men det er medtaget for at vise hvorledes tingene kan opstilles i praksis.

1) At den overførte energimængde E er proportional med t er oplagt

$$E \propto t$$

2) Energitransporten i de n ledningspar fortsætter ind i et ledningspar hvor strømmen er n gange så stor.

$$E \propto I$$

3) Energitransporten i de n ledningspar fortsætter i det ledningspar hvor spændingen er n gange så høj.

Der gælder altså

$$E \propto UIt$$

Vi indfører ikke nogen proportionalitetskonstant, men bemærker følgende:

Strømenheden ampere A er en grundenhed defineret ved kræfter mellem strømførende ledninger.

Tidsenheden sekund s er ligeledes en grundenhed oprindeligt defineret ud fra jordens rotation om sig selv i forhold til solen.

Spændingsenheden volt V er derimod en afledet enhed defineret således at

$$E = UIt \tag{22}$$

eller

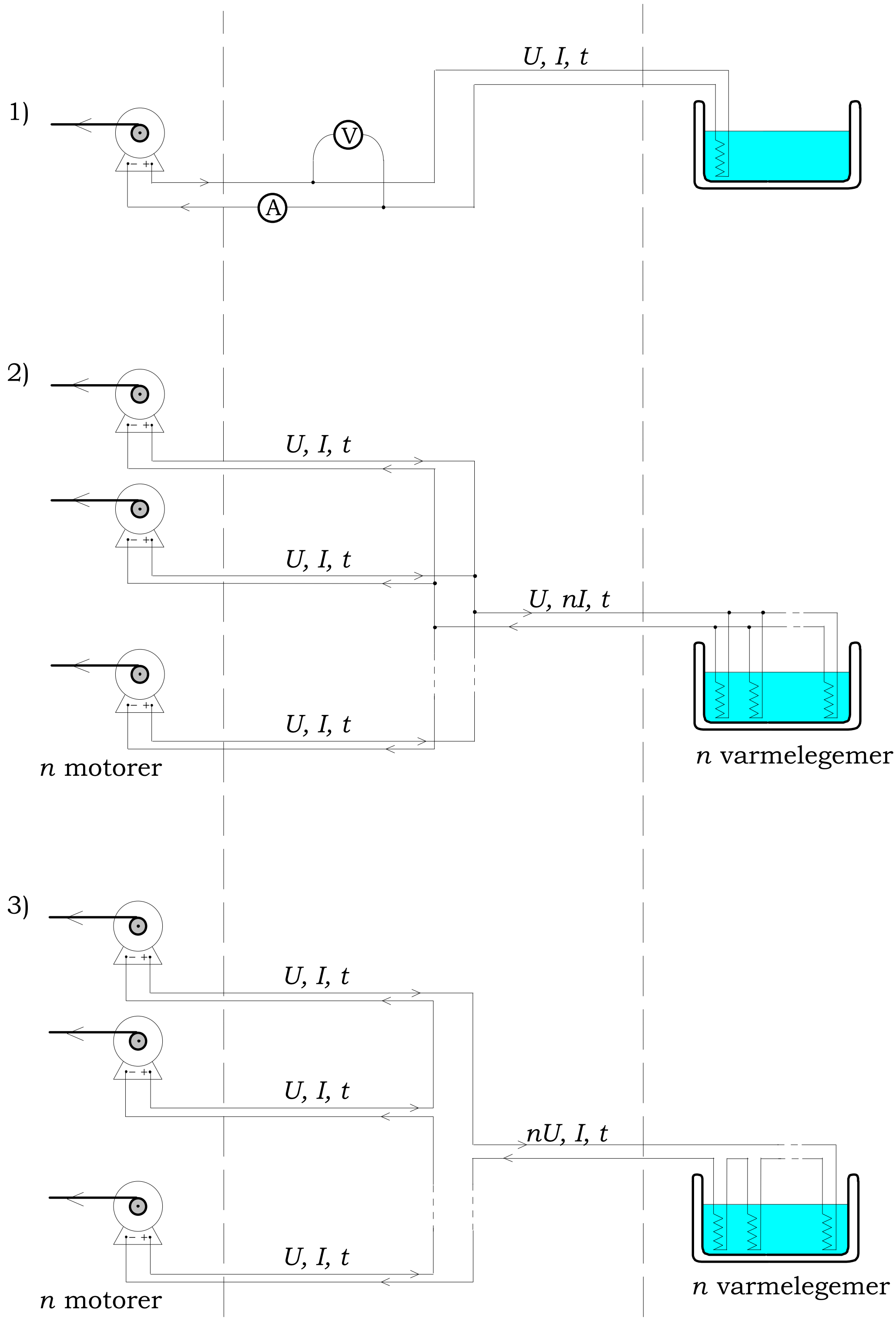
$$E = RI^2t \tag{23}$$

som kaldes *Joules lov*.

Elektrisk effekt ses ved hjælp af (6) og (22, 23) at være givet ved

$$P = E/t = UI = RI^2$$

Opg. 25-26


1)
V
A
U, I, t
2)
U, I, t
U, I, t
U, nI, t
U, I, t
n motorer
n varmelegemer
3)
U, I, t
U, I, t
nU, I, t
U, I, t
n motorer
n varmelegemer

6. OPGAVER

Opgave 1

Energistyrelsen offentliggør en energistatistik på Internettet på adressen

www.ens.dk

a) Find på denne adresse søjlediagrammet der illustrerer Danmarks energiforsyning og energiforbrug. Vort endelige energiforbrug ses at være klart under halvdelen af energitilgangen til landet.

Gør rede for hvor den energi vi ikke har energimæssig glæde af selv, bliver af.

b) Find tabellen over produktion og forbrug af el. Beregn elproduktionen i procent af energiforbruget for 1972 og 1995.

c) Sønderborgs nye kraftvarmeværk indgår (sammen med andre tilsvarende værker) flere steder. Hvor?

Find energiudbyttet af affaldsforbrænding i Danmark i procent af hele vort energiforbrug.

Opgave 2

En snor trækkes med kraften 2 N og hastigheden 3 $^{m}/_{s}$ i 4 minutter.

Find det udførte arbejde.

Opgave 3

Ved et tov er overført 10 kJ når tovet er trukket 10 m.

Find kraften i tovet.

Opgave 4

Antag at mennesker i gennemsnit kan trække i en snor med en kraft på 20 kp.

Hvor langt skal alle Danmarks indbyggere trække snoren for at aflevere en energimængde der svarer til den energimængde som affaldsforbrænding gav Danmark i 1995?

Hvor langt skal vi gå om dagen hvis vi har et år til arbejdet (helligdage og ferier er inddraget i betragtning af arbejdets vigtighed)?

Hvad er vores gennemsnitshastighed?

Opgave 5

Udtryk også h.p. i W.

Opgave 6

Hvad er effekten i det i opgave 2 nævnte arbejde?

Opgave 7

Hvad er gennemsnitseffekten i vort arbejde i opgave 4?

Hvad er gennemsnitseffekten pr. indbygger i W og i hk?

Opgave 8

Hvor meget energi kræver det at løfte 10 kg 1 m?

Opgave 9

En energimængde svarende til lagerforøgelsen i 1995 tænkes lagret i form af oppumpning af vand til en højde på 100 m. Hvor meget vand kommer det til at dreje sig om?

Opgave 10

Prøv om enheden for $\frac{1}{2}mv^2$ bliver en energienhed.

Opgave 11

Et legeme med massen 1 kg falder 1 m.

Find den udløste potentielle energi ved hjælp af (7) !

Find legemets hastighed ved hjælp af (8)!

Find samme svar ved hjælp af (9).

Opgave 12

Et legeme med massen 10 kg falder 1 m .

Find dets hastighed!

Opgave 13

Find stighøjden, når der kastes lodret opad med hastighed 20 $^{m}/_{s}$.

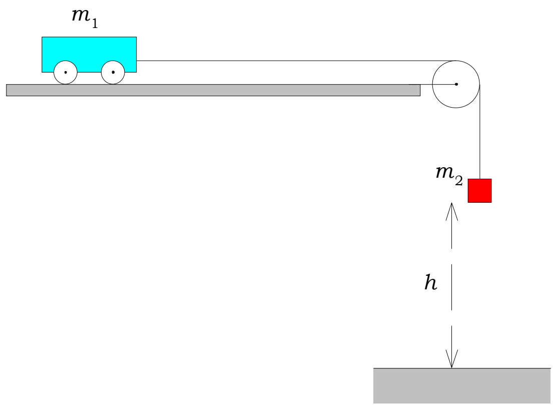
Opgave 14

Der kastes lodret opad med hastighed v_0 som i eksempel 2.7.1. Find hastigheden i højden h.

Opgave 15

Med hvilken hastighed ville rutsjeturen ende hvis der ikke var nogen gnidning?

Opgave 16



En vogn med masse m_1 trækkes på et vandret bord af en snor som over en trisse er ført til et trækklod med massen m_2.

Vi antager at bevægelsen på bordet og trissens rotation foregår uden gnidning.

Vognen starter fra hvile med m_2 i højden h over gulvet.

Find vognens hastighed når trækloddet rammer gulvet.

Hvor stor en del af den omsatte potentielle energi blev omsat til indre energi, da loddet ramte gulvet?

Opgave 17

(I) fortsættelse af eksempel 3.4.1.

Find A og Q i perioden fra situation 1) til 2), udfyld altså

$A_{1\to 2} =$ $\qquad$ $Q_{1\to 2} =$

og i perioden 2) til 3), altså

$A_{2\to 3} =$ $\qquad$ $Q_{2\to 3} =$

Opgave 18

Beregn varmetabet pr. m^2 af hulrumsmuren uden og med 10 cm glasuldsisolering en vinterdag hvor udetemperaturen er er 0 °C og indetemperaturen er 21 °C.

Hvis du beregner tabet i kWh, så koster en sådan knap 1 kr. i elvarme (som er noget dyrere end anden varme)

Sammenlign evt. besparelsen i en periode med prisen på isolationsmaterialet.

Opgave 19

(Lav selv endnu en illustrerende tegning!)

Eksperimentet i Eksempel 3.7.1 udføres med 200 g vand i termokoppen, aluminiumloddet vejer 100 g og temperaturen i termokoppen stiger fra 20,0 °C til 27,8 °C.

Find c_v.

(Tallene er konstrueret til at give det rigtige resultat.)

Opgave 20

(Og endnu en selvgjort illustrerende tegning!)

Nu hvor vi kender c_v kan vi finde varmefylden for andre faste stoffer.

Vi anbringer et messinglod med masse m_m i det kogende vand. I termokoppen er der vand med massen m_v og temperaturen T_1.

Messingloddet overflyttes til termokoppen og sluttemperaturen bliver T_2.

Find en formel for messings varmefylde c_m!

Messingloddet vejer 200 g. Det samme gør vandet i termokoppen. Her stiger temperaturen fra 15,0 °C til 22,2 °C.

Find c_m!

Opgave 21

I forlængelse af teksten s. 16.
Find en formel for L!

Opgave 22

I forsøget, eksempel 3.9.1, var der 200 g vand ved 40 °C i termokoppen fra start.
Ved slutningen af forsøget var der 241 g vand ved 19,8 °C i termokoppen.
Find L!
(Tallene passer)

Opgave 23

Hvor mange gange mere energi bruges til at koge en kedel tør end til at opvarme vandet fra 20 °C til 100 °C? (Se bort fra fordampning under opvarmningen.)

Opgave 24

Et vådt tæppe der vejer 10 kg, hænges til tørre ved 20 °C. Da det er tørt, vejer det 3 kg.
Hvor meget energi har det udvekslet (modtaget eller afgivet?) med omgivelserne?

Opgave 25

Beregn strømmen i en 40 W-pære og i en 2 kW kogeplade når spændingen er 220 V. Beregn også den største effekt en 10 A-sikring kan klare ved 220 V.

Opgave 26

Hvor meget benzin skal der bruges i en benzinmotor med nyttevirkning 20 % som trækker en dynamo med nyttevirkning 90 % som leverer strøm til et 2 kW-apparat i ½ time? (For benzin gælder, at forbrændingsvarmen er 42,7MJ/kg og massefylden er 0,73 g/cm^3).

Opgave 27

En vogn på 100 kg accelereres fra hvile med en konstant kraft på 50 N.
Find accelerationen.
Find hastigheden til t = 0, 10 og 20 s.
Find den øjeblikkelige effekt til t = 0, 10 og 20 s.
Hvor langt kommer vognen i løbet af 20 s?
Hvor stort er kraftens arbejde i løbet af disse 20 s?
Beregn herved (og ikke ved den kendte formel for E_{kin}) vognens kinetiske energi efter 20 s. (Prøv så E_{kin})
Beregn gennemsnitseffekten i løbet af de første 20 s.

Opgave 28

En bil på 900 kg kører 60 km/h. Dens motor yder 30 HK hvoraf de 10 HK går til tab i bilen mens resten overvinder luftmodstanden.
Hvor stor er den kraft hvormed luften yder modstand mod bilens bevægelse?
Motoreffekten øges til 40 HK.
Hvor stor er accelerationen?
Hvis motoren i stedet slås fra, hvor stor er da accelerationen?

7. SYMBOL- OG FORMELSAMLING

Symboler

Symbol	Navn	S.I.-Enhed
A	arbejde	J
c	specifik varmekapacitet	$^{J}/_{kg°C}$
C	varmekapacitet	$^{J}/_{°C}$
E	energi	J
F	kraft (Force)	N
g	tyngdeaccelerationen	$^{m}/_{s^2}$
h	højde	m
I	strøm	A
ℓ	bevæget længde	m
L	smeltevarme (Latent)	$^{J}/_{kg}$
L	fordampningsvarme	$^{J}/_{kg}$
m	masse	kg
P	effekt	W
Q	varme	J
t	tid	s
U	spænding	V
v	hastighed (velocity)	$^{m}/_{s}$
Δ	tilvækst	

Enheder

S.I.-enhed	udtrykt i grundenheder
N	$\frac{\text{kg m}}{\text{s}^2}$
J = N m = V A s = W s	$\frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2}$
W = $^{J}/_{s}$ = V A	$\frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^3}$
V = $^{J}/_{A\,s}$	$\frac{\text{kg m}^2}{\text{A s}^3}$

Formler

$E = A = F v t = F\ell = P t = U I t$ (1-4,22)

$P = {}^{E}/_{t} = U I$ (4)

$E_{pot} = m g h$ (7)

$E_{kin} = ½ m v^2$ (8)

$E_{mek} = E_{pot} + E_{kin}$ (10)

$E_{tot} = E_{mek} + E_{indre}$ (11)

$\Delta E = A + Q$ (14)

$E = k A t (T_2 - T_1)$ (15)

$\Delta E = C \Delta T$ (16)

$\Delta E = c m \Delta T$ (17)

$C = c m$ (18)

$\Delta E = L \Delta m$ (19,20)

8. STIKORDSREGISTER