

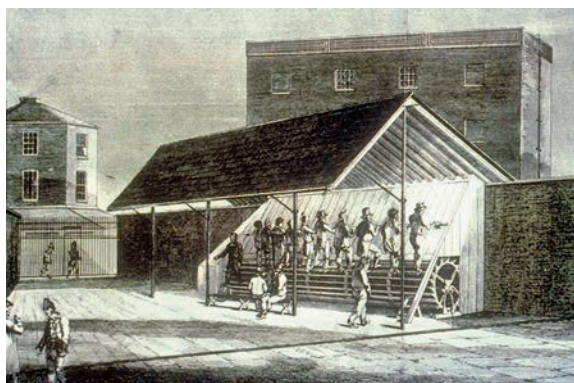
Den levende kraft – energi og varme

Hvad vil det sige, at noget har energi, og hvordan opstod begrebet? Og hvad er sammenhængen mellem energi og varme? Forståelsen af dette hang i 1800-tallet tæt sammen med den teknologiske udvikling af varme-maskiner, først og fremmest dampmaskinen og den tilhørende industrielle revolution. Dampmaskiner ændrede produktionsforholdene og skabte mulighed for jernbaner og regelmæssig skibstrafik.

Varme har vi altid kendt til som noget vigtigt for at overleve og for at lave mad. Ur-oplevelsen af varme stammer fra ild og fra vores egen og dyrenes kropsvarme. Med dampmaskinen fik man for første gang en maskine, der kunne omdanne varme til arbejde. Tidligere havde man udelukkende baseret kraftmaskiner på menneskers, dyrs, luftens eller vandets tryk – f.eks. vind- og vandmøller.

I adskillige år efter dampmaskinens fremkomst mente man, at varme var et særligt stof, der havde egenskaber som en flydende masse, f.eks. som vand. Teorien skyldtes bl.a. kemikeren Antoine Laurent de Lavoisier (1743-94) og ikke mindst Sadi Carnot (1796-1832), der fremlagde den første egentlige forståelsesmodel for varmemaskiner, selvom han nok selv begyndte at tvivle på dens korrekthed på sine ældre dage.

De mekaniske processer mente man at kunne forstå ud fra en række bevarelseslove. Carnot tænkte i analogi med vand, der falder og derved kan drive vandhjul og udføre arbejde. Men hvad skete der egentlig, når noget faldt? Og hvor kom bevægelsen fra, når man via afbrænding af kul i en dampmaskine kunne fremkalde bevægelse? Pierre Simon Laplace (1749-1827) havde omkring 1800 genformuleret den teori, at alting i virkeligheden bestod af



Som en ny og fremskridtsorienteret form for straf indførte man i begyndelsen af 1800-tallet trædemøllen i engelske og skotske fængsler. På denne trædemølle fra Brixton-fængslet i London skulle de indsatte arbejde 10 minutter ad gangen med 5 minutters pause. I nogle tilfælde drev trædemøllen en mølle, men som oftest blev det udførte arbejde ikke brugt til noget som helst · Guildhall Library, London.

en række mindre dele, af partikler, der interagerede på den måde, at de enten kunne tiltrække eller frastøde hinanden. Tyngdekraften var et eksempel på tiltrækning, og elektriske og magnetiske fænomener gav anledning til frastødning. Man kunne også give love for disse fænomener. Samtidig formuleredes en generel kemisk teori om atomer, ifølge hvilken stofferne var sammensat af atomer, og at de forskellige stoffer havde forskellige egenskaber. Derfor kunne man sige, at et givet grundstof – dvs. et stof, der ikke kemisk kunne nedbrydes til noget andet – havde en bestemt atomvægt. Måling på kemiske reaktioner viste, at det var meningsfuldt at antage dette, samt at de forskellige grundstoffer i deres kemiske forbindelser indgik i simple talforhold. Mange kemikere og fysikere var således overbeviste om atomteorien og om, at alle fysiske og kemiske fænomener grundlæggende kunne forklares ud fra rent mekaniske interaktioner mellem disse elementarpartikler.

I kemien gav atomteorien mening og orden. I fysikken blev den anset for mere spekulativ, og med hensyn til forståelsen af varme var den problematisk. Hvis varme var et stof med væskeegenskaber, så måtte det jo bestå af atomer og burde således kunne indgå i kemiske forbindelser og reaktioner. Men kunne man sige, at der fandt en kemisk reaktion sted, når man ved at øge trykket i en beholder også øgede temperaturen? Og hvor blev varmen egentlig af?

I 1840'erne begyndte en alternativ forståelse at brede sig – nemlig at varme slet ikke var et stof, men en mekanisk egenskab ved alt stof, knyttet til atomer og molekyler. Varme var simpelthen bevægelse på partikelniveau. Når varme kunne blive til arbejde, så var det fordi, varme i virkeligheden var en mekanisk egenskab i sig selv. Det var således ikke særligt hensigtsmæssigt at tænke om varmeprocesser som analoge med fald af vand eller tilsvarende. Man måtte snarere tænke om det som en ændring af stoffets tilstand fra én tilstand til en anden. Man kunne jo også ved arbejde producere varme, det havde allerede Graf von Rumford (1753-1814) vist. Hvis det hang sådan sammen, så var det rimeligt at antage, at varme var en egenskab, der bevarede, ligesom bevægelsesmængden gjorde. Arbejdet blev til varme, og varme kunne blive til arbejde. Måske var der endda en simpel sammenhæng imellem disse fænomener. Flere forskere fremsatte derfor tesen om det, vi nu kalder energiens konstans.

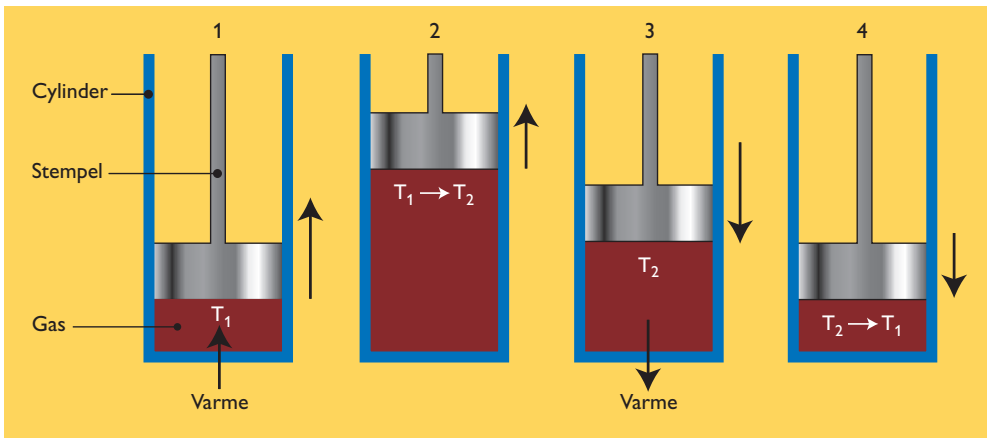
Evnen til at udføre arbejde blev længe i fysikken kaldt “den levende kraft” med en interessant biologisk metafor, og energibegrebet som en til-

standsfunktion ved ethvert fysisk system fremkom først senere. Ideen om bevarelsen af “den levende kraft” måtte betyde, at der måtte være et bestemt forhold mellem varme og arbejde. Varme blev målt i kalorier og var knyttet til en mængde af et stof og dets temperatur. En bestemt varmemængde kunne altså f.eks. angives som den mængde varme, der skulle til at opvarme en liter vand fra f.eks. 20 til 30 grader celsius. Arbejde blev målt på en helt anden måde, f.eks. som det, der skulle til for at løfte et lod på 100 kg en meter op i luften. Der var mange eksempler på, at varme kunne udføre arbejde, men ifølge bevarelseshypotesen skulle arbejde også kunne frembringe varme. Faktisk skulle en genstand, der faldt et vist stykke vej, stige i temperatur, og vandet i et vandfald skulle således være varmere ved faldets fod end dets top. Og det viste sig da også at være tilfældet. Ved en række eksperimenter fandt flere forskere frem til, at der var et konstant forhold imellem arbejde og varme, og dette forhold blev kaldt varmens mekaniske ækvivalent. Man kunne altså oversætte mellem målinger af varme, f.eks. i kalorier, og målinger af arbejde, f.eks. i hestekraft eller watt.

Carnot havde hævdet, at en varmemaskines effektivitet alene afhang af de temperaturforskelle, man arbejdede med – jo større, jo bedre. Dette var helt afgørende for de principper, der blev konstrueret varmemaskiner ud fra, hvad enten det var dampmaskiner eller senere typer forbrændingsmotorer.

Efter 1850 begyndte flere og flere at tilslutte sig opfattelsen af, at varme ikke var en substans, men udtryk for mekaniske egenskaber ved materielle systemer, først og fremmest bevægelse. Et materielt system havde altså alene i kraft af sin tilstand en egenskab, der gjorde, at det på forskellig vis kunne bringes til at udføre arbejde. Og det var, hvad enten systemet udnyttedes kemisk (f.eks. ved kulafbrænding), elektrisk, magnetisk eller blot via systemets rent mekaniske egenskaber. Denne egenskab kaldtes energi. Man havde dermed formuleret en tese om, at disse forskellige egenskaber kunne omformes til at udføre arbejde. Men denne omformning var ikke fri eller vilkårlig, ligesom der heller aldrig kunne opstå eller forgå energi. Kun ved at tilføre arbejde, kunne man hæve temperaturen i et system.

Man arbejdede dog stadig med tanken om den reversible varmemekaniske proces og begyndte at undersøge, om sådanne processer kunne virkeliggøres andre steder end på papiret. Man fandt frem til, at det ikke var tilfældet. Når det kom til stykket, var alle energiprocesser energikrævende, fordi der under forløbet “slap energi væk”. Energien forsvandt i form af

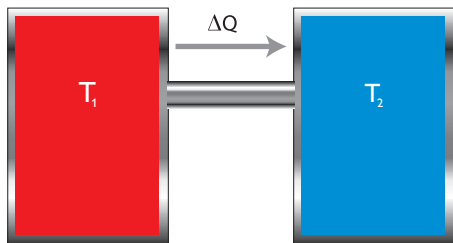


varme, f.eks. friktionsvarme eller reaktionsvarme, kaldet “entropi”. Med andre ord fandt man ud af, at alle fysiske processer foregik sådan, at der var mere entropi efter end før, de var foregået. Det er termodynamikkens anden hovedsætning, ifølge hvilken alle processer tenderer imod afgivelse af varme, og at varme ikke fuldstændigt kan omdannes til andre former for energi, andet end netop entropi. Det betyder f.eks. også, at evighedsmaskiner ikke kan konstrueres, fordi alle fysiske systemer taber varme, når de udfører arbejde – de er med andre ord irreversible.

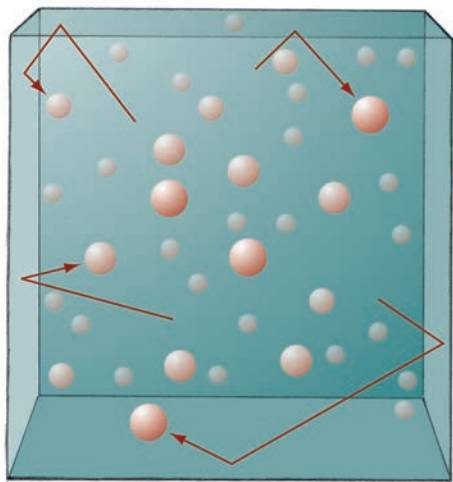
Det skulle senere vise sig, at dette faktisk kun gælder for isolerede systemer, men i sidste halvdel af 1800-tallet tillagde man termodynamikkens anden lov en meget fundamental rolle for al fysik. Den tyske fysiker Rudolf Clausius (1822-88) formulerede det sådan, at universets entropi kun kan vokse, og han begyndte at tale om “varmedøden”, hvorved alt levende og alt, hvad der møjsommeligt var blevet opbygget af menneskehånd, igen ville forfalde og med usvigelig sikkerhed blive til støv.

Fysikeren James Clerk Maxwell (1831-79) fremlagde i løbet af 1860’erne den teori, at termodynamiske processer var resultatet af bevægelser i molekylerne. På basis af denne hypotese var det ud fra målinger og eksperimenter nu muligt at sige noget om både antal, størrelse og hastighed af de atomer eller molekyler, som materien ifølge atomteorien skulle bestå af. Man kom

Carnots reversible eller ideelle varmemaskiner kan (i teorien) uden tab omdanne arbejde til varme og varme tilbage til arbejde igen. I en idealiseret opstilling foregår det ved, at (1) ydre varme optages af gassen ved en konstant temperatur T_1 , hvilket forårsager mekanisk arbejde ved, at et stempel presses op, hvorefter (2) ekspansionen fortsætter, indtil gassens temperatur er faldet til T_2 , hvorefter (3) stemplet igen trykkes ned og varme tabes ved konstant temperatur. Til sidst (4) presses gassen uden varmetab igen sammen til sit udgangspunkt T_1 . Bemærk, at varme i denne forståelse ikke er det samme som temperatur. Carnot mente, at varme var et bestemt stof, som bevirkede en ændring af et objekts interne tilstand.



Termodynamikkens anden lov siger, at entropien i et isoleret system, som f.eks. de to forbundne kar i billedet, vil øges, indtil systemet har opnået en ligevægt. Mere præcist er entropitilvæksten ΔS lig med varmeændringen ΔQ divideret med temperaturen T . Hvis en proces er irreversibel, som stort set alle fysiske processer er det i virkeligheden, vil den kombinerede entropi for systemet og omgivelserne stige. Dette fik fysikeren Rudolf Clausius til at proklamere, at hele universet går imod "varmedøden" (se også s. 260).



Maxwells kinetiske teori giver en atomistisk forklaring på termodynamiske størrelser som tryk og temperatur. Den går ud fra, at molekyler i en gas bevæger sig tilfældigt rundt med forskellig fart, og at den gennemsnitlige hastighed derfor er et udtryk for gassens temperatur. Når et molekyle rammer en væg, vil det udøve en lille kraft. Summen af alle disse vil være et udtryk for gassens tryk. Maxwells teori fik stor betydning for Einsteins senere arbejde med de Brownske bevægelser (se s. 233).

frem til, at atomer eller molekyler måtte være små sfæriske kugler med en diameter af størrelsesordenen 10^{-8} cm, og at de bevægede sig med hastigheder omkring 2000 kilometer i sekundet – dog kom de ikke så langt, da de hele tiden stødte ind i hinanden.

Resultaterne af studierne af varme og fremkomsten af en mekanisk teori om energiprocesser var mange og betydningsfulde. For det første medførte de et utal af nye teknologier, f.eks. forbrændingsmotoren, der blev forudsætningen for biler og fly, men også for køleteknologien, der igen blev forudsætningen for en revolution inden for transport, idet fordærvelige fødevarer nu kunne transporteres over lange afstande. Dampmaskinen i form af damplokomotiver havde allerede gjort sit til at ændre landkortene og økonomien. Med energibegrebet fik man også for første gang en samlet og generel beskrivelse af vidt forskellige fysiske fænomener, og indsigten i sammenhængen mellem de forskellige energiformer og i energiens konstans har været betegnet som den største fysiske indsigt opnået i 1800-tallet.

Der var dog stadig en lang række problemer med at forstå fysiske fænomener som værende mekaniske. Godt nok kunne fysikerne nu meningsfuldt tilslutte sig kemikernes atomteori, hvor varme i sidste instans var identisk med atomernes bevægelse. Men fordi atomerne var så små, så mange og bevægede sig med

så høje hastigheder, opførte de sig alligevel ret mærkeligt, og de lovmæssigheder, man fandt frem til, kunne kun formuleres i statistiske begreber. Man kunne måle på en luftart indesluttet i en beholder – den havde en temperatur, et tryk, en masse osv. – men målingerne var behæftede med usikkerheder, hvorfor man reelt kun kunne sige, at med en så og så stor sandsynlighed befandt luftartens temperatur sig i det og det temperaturinterval. Jo bedre målinger, des mindre intervaller og des højere sandsynligheder. Men når man udtalte sig om luftarten set som en ansamling af atomer, så kunne man reelt ikke sige andet, end at der var en så og så stor sandsynlighed for, at så og så mange af atomerne havde en hastighed i den og den størrelsesorden. I forhold til den dominerende deterministiske forståelse af naturen, efter hvilken man burde kunne forudsige mekaniske systemers opførsel ned til mindste detalje, var det problematisk. Man kunne nemlig ikke fortælle noget om de enkelte atomer, men måtte nøjes med at give en beskrivelse af en generel “tilstand” i denne enorme mængde af atomer. De mekaniske systemer havde altså sandsynlighedsegenskaber og var derfor underlagt en vis usikkerhed og tilfældighed.

Den amerikanske fysiker Josiah Willard Gibbs (1839-1903) og den østrigske fysiker Ludwig Boltzmann (1844-1906) antog, at det var meningsfuldt at tillægge et system netop den slags statistiske egenskaber. Boltzmann fortolkede i 1877 den mængde af energi, som et system ikke kan bruge til at udføre arbejde med, dvs. entropien, til at være et mål for antallet af mulige atomare mikrotilstande, der ikke ville påvirke den makroskopiske tilstand. Det betød også, at entropien var et mål for uorden i systemet, fordi meget “ordnede” systemer har tendens til at have meget få konfigurationsmuligheder, mens “uordnede” systemer har mange. Man kan sammenligne situationen med en håndfuld mønter, der kastes. Hvis alle mønter lander på krone, vil det være en meget ordnet og meget usandsynlig tilstand. Men hvis ca. 50 procent lander på krone, hvilket er det mest sandsynlige, vil det se ud som en meget uordnet tilstand. Når mekaniske processer altid resulterede i en entropiforøgelse, var det fordi, de altid bevægede sig imod en mere sandsynlig atomar konfiguration.

Disse overvejelser betød, at et fysisk system som f.eks. en luftart kunne beskrives på to niveauer. Ét niveau benyttede sig af begreber som energi, temperatur, tryk, masse, rumfang – begreber, der var knyttet til virkeligheden via måleprocesser, og som ikke forudsatte, at man havde nogen teori om,

hvad en luftart egentlig var for noget. Et andet niveau forudsatte en teori om, at en luftart bestod af mange meget små atomer, der alle var mekaniske genstande, og disses opførsel som system måtte beskrives på en helt anden måde, nemlig ved hjælp af sandsynlighed, hvor man antog, at egenskaber ved atomerne var fordelt på mange værdier. Derfor kunne man kun tale om gennemsnit og sandsynlighed for, at et bestemt atom befandt sig i en bestemt tilstand, men man kunne aldrig kunne sige noget om denne tilstand, som den faktisk var.

Man kunne således forklare de makroskopiske egenskaber ud fra de mikroskopiske, og det var en enorm sejr for teorien, men samtidig mistede man den præcise og deterministiske beskrivelsesmåde, idet man måtte introducere forestillingen om, at et system havde "objektive" sandsynlighedsegenskaber. Sandsynlighed var altså ikke her noget, der var knyttet til en observation eller målings unøjagtighed, men til selve det observerede system. Det skulle vise sig utrolig vigtigt i den senere idehistorie og i fysikkens udvikling, hvor sandsynlighed i 1900-tallet kom til at spille en helt afgørende rolle.

Lad der blive lys

Ligesom energibegrebet er helt centralt i dag, er fænomener knyttet til elektricitet, magnetisme og til elektromagnetiske svingninger det. Vi omgiver os med et utal af elektriske og elektroniske redskaber og instrumenter, og uden telefon, tv og computer er et højteknologisk samfund umuligt. Energifænomener har mennesket altid forholdt sig aktivt til. Det er stort set umuligt at overleve uden brug af ild eller isolering fra kulde eller varme. Der må varmes op, koges og steges, og man må have tøj på kroppen og mad på bordet. Elektriske og magnetiske fænomener er det derimod sværere at forholde sig aktivt til. Uden at vide det er man selvfølgelig afhængig af lyset, som siden ca. 1870 er blevet opfattet som elektromagnetiske svingninger, og selvfølgelig er det også sådan, at mange af de genstande, vi omgiver os med, rummer elektriske kræfter. Men det er ret sent i menneskets historie, at man eksplicit begynder at udnytte naturens elektriske og magnetiske kræfter.

Første eksempel er magneten. I slutningen af 1700-tallet er elektriske fænomener på mode. Amerikaneren Benjamin Franklin (1706-90) udforsker lyn og opdager, at det er elektriske udladninger. Det lykkes italieneren Alessandro Volta (1745-1827) at fremstille den første stabile kilde til elektrisk