

TEKST NR 232

1992

Undersøgelse

om

den simultane Opdagelse

af

Energiens Bevarelse

og isærdeles om de af Mayer, Colding, Joule og Helmholtz udførte Arbejder

af

L. Arleth G.I. Dybkjær M.T. Østergård

Studerende

Vejledt af Dorthe Posselt

TEKSTER fra

IMFUFA

ROSKILDE UNIVERSITETSCENTER
INSTITUT FOR STUDIET AF MATEMATIK OG FYSIK SAMT DERES
FUNKTIONER I UNDERVISNING, FORSKNING OG ANVENDELSER

IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, Postboks 260, 4000 Roskilde
Undersøgelse om Energiens Bevarelse og isærdeles om de af Mayer,
Colding, Joule og Helmholtz udførte Arbejder

af: L. Arleth, G.I.Dybkjær, M.T.Østergård

Vejleder: Dorthe Posselt

IMFUFA tekst nr. 232/92

92 sider

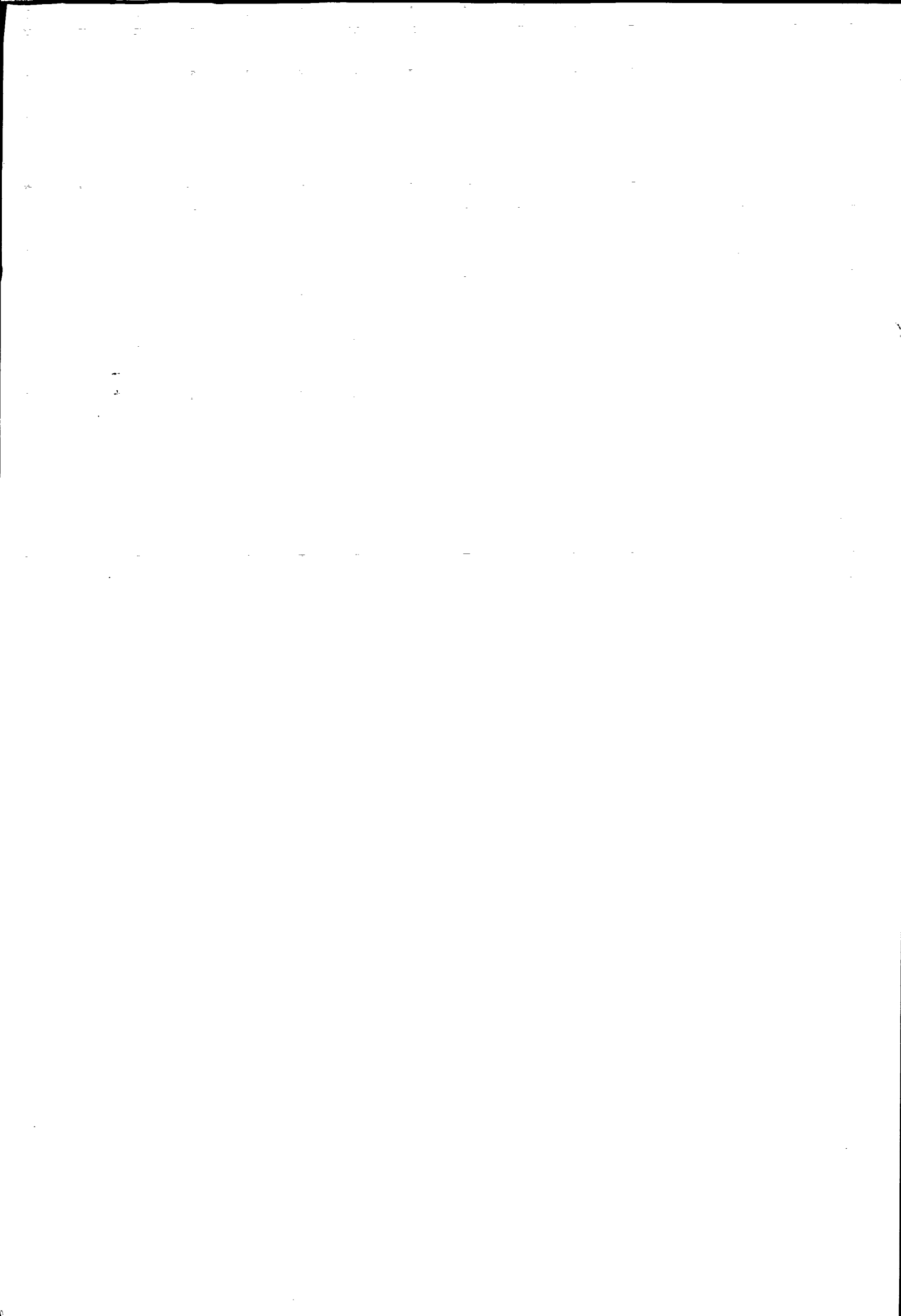
ISSN 0106-6242

ABSTRACT

Denne tekst, som er et metaprojekt i fysik fra foråret '92, er en undersøgelse af de tidligste formuleringer af princippet om energiens bevarelse. Fremkomsten af nævnte princip er af Kuhn og andre blevet behandlet som et eksempel på en simultan opdagelse i videnskaben, idet en række forskellige personer, omtrent samtidig og uafhængigt af hinanden, fremførte påstande, der kan tolkes som universelle principper om energiens bevarelse. I denne forbindelse fremhæves specielt fire personer, J.R. Mayer, L.A. Colding, J.P. Joule og H. Helmholtz, hvis centrale artikler tages under behandling i nærværende tekst. Der gives først en kort indføring i den historiske baggrund for udviklingen af et mekanisk energibegreb, samt i de tidlige stadier af udviklingen af termodynamiske teorier, idet varmemeforståelsen spiller en central rolle i forbindelse med energibevarelsen. Endelig berøres de herskende filosofiske strømninger på den tid. Derefter gennemgås og fortolkes artikler af de fire personer efter tur, for til sidst at munde ud i en sammenfattende diskussion af hvorvidt den her fremlagte fortolkning af artiklerne stemmer overens med påstanden om simultan opdagelse.

Indholdsfortegnelse

Indledning	s 01
Kapitel 1 Historisk baggrund	s 04
Historisk oversigt over udviklingen af den klassiske mekanik	s 04
Historisk oversigt over termodynamikken fra caloriqueteori til formuleringer af energibevarelsesprincippet	s 09
Naturfilosofi i begyndelsen af det 19. århundrede	s 15
Kapitel 2 Julius Robert Mayer	s 19
Mayers teoretiske baggrund og erkendelse af energibevarelse	s 20
Referat af "Bemærkungen über die Kräfte der unbelebten Natur"	s 21
Opsummering	s 26
Kapitel 3 Ludvig August Colding	s 29
Colding og "Princippet om Kræfternes Uforgængelighed"	s 30
"Nogle Sætninger om Kræfterne"	s 32
Opsummering	s 37
Modtagelsen af "Nogle Sætninger om Kræfterne"	s 38
Coldings videre arbejde med "Princippet om Kræfternes Uforgængelighed"	s 38
Modtagelsen af "Undersøgelse om de almindelige Naturkræfter og deres gjensidige Afhængighed og isærdeles om den ved visse faste Legemers Gnidning udviklede Varme"	s 45
Samlet opsummering og konkluderende bemærkninger	s 47
Kapitel 4 James Prescott Joule	s 49
Joule og energibevarelsen	s 50
"Paddlewheel"-forsøget	s 52
Om "On Matter, Living Force, and Heat"	s 53
Opsummering	s 56
Modtagelsen af Joules arbejde	s 57
Kapitel 5 Hermann von Helmholtz	s 59
Tilblivelsen af "Über die Erhaltung der Kraft"	s 60
Om Indledningen	s 61
Om kapitel 1 "Princippet om bevarelsen af den levende kraft"	s 63
Om kapitel 2 "Princippet om bevarelsen af kraft"	s 66
Om kapitel 3 "Anvendelsen af princippet i de mekaniske læresætninger"	s 71
Om kapitel 4 "Varmens kraftækvivalent"	s 73
Om resten af artiklen	s 75
Opsummering	s 76
Modtagelsen af "Über die Erhaltung der Kraft"	s 76
Konklusion	s 77
Kapitel 6 Diskussion	s 79
Litteraturliste	s 88



Indledning

Af de grundliggende begreber i fysikken er begrebet *energi* sandsynligvis et af de mest diskuterede og omdefinerede af alle. Ikke før omkring år 1850 blev det generelle princip for energiens bevarelse endeligt formuleret og manifesteret - og ud af dette princip sprang den definition og forståelse af energi vi har i dag.

Erkendelsen af energibevarelsen og af den klassiske fysiks andre bevarede størrelser som masse, impuls og ladning danner et altafgørende grundlag for fysikken i dag og er efterhånden blevet så indgroet i fysikbøgerne og blandt fysikere, at kontroverser fra tidligere tider om hvilke af fysikkens størrelser der er bevarede, kan forekomme absurde.

I dag er der fx ingen fysikere der er i tvivl om, at intet kan skabes af ingenting. Bevarelses-sætningerne betragtes således som givet *a priori* og bruges ofte decideret som metode til løsning af fysiske problemer.

Ordet energi har sin oprindelse i det oldgræske ord *energōs*, som kan oversættes til virkning eller virksom. Aristoteles brugte den afledte form *energeia* (=virksomhed/virkelighed) til at beskrive virkeliggørelsen af en mulighed, *dynamis*. Energeia kan således være den virkelighed en skulptur har, som oprindelig blot var en mulighed i marmorblokken. Det kan ligeledes være den virksomhed, der virkeliggør en formåen hos genstanden. Fx har et arbejdende menneske virkeliggjort sin evne til at arbejde, eller en faldende sten har virkeliggjort sin tilskyndelse til at falde. Den latinske oversættelse af modsætningen *dynamis/energeia* er *potentia/actus*, og det er altså fra dette gamle filosofiske begrebspar, navnene på flere af fysikkens begreber stammer.

Efterhånden som naturvidenskaben skilte sig ud fra filosofien som selvstændig disciplin, dvs ved sammenbruddet af middelalderens skolastiske tankesystemer, forsvandt begrebet også fra fysikkens terminologi, bortset fra enkelte sporadiske anvendelser, der ikke opnåede nogen udbredelse. I stedet talte man, noget dunkelt, om naturens "kræfter", indtil W.J.M. Rankine (1820-1872) indførte begrebet energi i sin nuværende betydning i 1853, efter at princippet om energiens bevarelse var formuleret.

Den egentlige formulering af det generelle princip om energiens bevarelse dateres af de fleste videnskabshistorikere til årene 1842-47.

Æren bliver almindeligvis tildelt ikke mindre end fire videnskabsfolk, der omtrent samtidigt, men uafhængigt af hinanden, redegjorde for princippet om energiens bevarelse.

Eksempelvis nævner Thomas S. Kuhn i artiklen "Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery" fra 1959, følgende fire personer som opdagerne af princippet om energiens bevarelse:

Robert Julius Mayer (Tyskland)
Ludvig August Colding (Danmark)
James Prescott Joule (England)
Hermann von Helmholtz (Tyskland)

Der redegøres i nævnte artikel for, at disse fire personers opdagelser alle beskriver det generelle princip om energiens bevarelse i ethvert isoleret system. Et princip som implicit siger at energien kan optræde i forskellige former i henholdsvis kemien, mekanikken, termodynamikken, elektrodynamikken etc, men at der er en kvantitativ ækvivalens mellem de forskellige former, og at energien kan konverteres formerne imellem.

De nævnte fire personer generaliserede således hver især sætningen om bevarelse af den mekaniske energi, til at gælde for alle former for energi. Der var efterfølgende en prioritetsstrid mellem Mayer og Joule om hvem der egentlig kom først, som mundede ud i at Mayer fik denne ære. I det omfang der tales om simultan opdagelse, må dette dog betragtes som et irrelevant spørgsmål.

Det ville naturligvis være helt uoverkommeligt at skulle give en fyldestgørende redegørelse for alle de faktorer, der har været forudsætninger for at energibevarelsen formuleredes netop i denne periode. Kuhn argumenterer for at der var tre såkaldte "udløsende faktorer", i modsætning til almindelige forudsætninger, der gjorde at netop dette tidsrum var frugtbar mht formulering af energibevarelsesprincippet. Det drejer sig for det første om at omdannelser mellem forskellige fysiske fænomener, såsom varme, elektricitet, magnetisme og bevægelse, kunne observeres i laboratoriet; yderligere resulterede optagetheden af maskiner, i forbindelse med den industrielle revolution, i en definition af begrebet arbejde; endelig var der tale om påvirkning fra tidens naturfilosofiske strømning i Tyskland og omegn, som resulterede i antagelser om en uforgængelig "kraft" i naturen.

Her har vi valgt at koncentrere os om det rent fysiske grundlag, i form af udviklingen af et mekanisk energibegreb samt termodynamikkens opståen, der hver for sig bidrog til den endelige formulering af bevarelsesprincippet. Da selve ideen om en bevaret størrelse i mange tilfælde lader til at have eksisteret uafhængigt af det eksperimentelle og videnskabeligt teoretiske grundlag hos de pågældende folk, er tidens naturfilosofi inddraget, da denne kan give i hvert fald en del af forklaringen på dette fænomen.

I årene mellem ca 1600 og 1850 siges den klassiske mekanik at være blevet dannet. I de år foregik langvarige og vigtige diskussioner blandt filosoffer og videnskabsmænd om hvilke fysiske størrelser, dvs hvilke sammensætninger af masse, tid og rum, der skulle betragtes som grundlæggende. Det blev også diskuteret hvordan man overhovedet skulle forstå masse, tid og rum.

Specielt i årene fra ca. 1650-1800, foregik en diskussion der skulle komme til at føre frem til den mekaniske energibevarelsesætning. Diskussionen er kendt under navnet *vis viva*-kontroversen, hvor udtrykket *vis viva* kan oversættes til levende kraft, og svarer til kinetisk energi.

Kontroversen drejede sig ikke specielt om *hvilke* faktorer, der skulle give det kvantitative mål for det der idag kendes som energi, der var enighed om at disse måtte være masse og hastighed. Kontroversen drejede sig snarere om vægtningen af disse grundlæggende faktorer. I grove træk kan det siges at det kontroversen gik på, var hvorledes det der idag kendes som kinetisk energi skulle defineres.

Grundlaget for opdagelsen af de forskellige energiformers kvantitative ækvivalens samt udregning af konverteringskoefficienter energiformerne imellem blev skabt af termodynamikere som Sadi Carnot (1796-1832), Marc Séguin (1786-1875), Karl Holtzmann (1811-?) mfl, eller af termodynamikken i almindelighed. Der var således, på trods af kontroversen mellem *calorique*-teori og den dynamiske varmeteori, generel enighed om at der fandtes visse forbindelser mellem varme og arbejde.

En anden gruppe folk, der bør nævnes når oprindelsen til princippet om energiens bevarelse søges, er de videnskabsmænd, der påstod at alverdens fænomener grundlæggende havde én årsag, nemlig en kraft (energi), for hvilken det måtte gælde, at hverken ny kunne skabes eller bestående destrueres. Den kunne til gengæld eksistere i forskellige former. Påstandene svarer

i deres væsen til princippet om energiens bevarelse og blev fremført i årene 1837-44 af folk som C.F. Mohr (1806-1879), W.R. Grove (1811-1896), M. Faraday (1791-1867) og J. Liebig (1803-1873); fælles for dem var dog, at de ikke klarlagde de fulde konsekvenser.

Den tyske filosof Immanuel Kant (1724-1804) har haft altafgørende betydning for europæisk filosofi i de sidste par århundreder. I Tyskland i begyndelsen af det 19. århundrede gav det sig udslag i en strømning kaldet den tyske idealisme, som havde forbindelse til romantikkens filosofiske udtryk, der førte til en udbredt opfattelse af enhed i naturen. Denne tendens var ganske udpræget i de germanske egne, og er givetvis et godt bud på hvorfor forestillinger om uforgængelige naturkræfter var fremherskende hos mange videnskabsfolk her, i modsætning til især franske videnskabsmænd.

Flere relevante navne og områder kunne nævnes i forbindelse med erkendelsen af det generelle princip for energiens bevarelse. Vi har dog, i nærværende projektrapport valgt at indskrænke den side af sagen og i stedet koncentrere os om at beskrive og forklare bidragene fra henholdsvis Mayer, Colding, Joule og Helmholtz, idet disse ifølge Kuhn både formulerede et generelt princip om energiens bevarelse, og samtidig fandt eksempler på dens konvertering.

I hvilket omfang man vedrørende opdagelsen af energiens bevarelse kan tale om simultan opdagelse afhænger naturligvis af hvad man forstår derved. Et problem i den forbindelse, som Kuhn også selv er opmærksom på i ovennævnte artikel, består i hvorvidt man overhovedet kan sige at de involverede personer talte om den samme ting, selvom det i retrospekt virker sådan. Med udgangspunkt i dette problem agter vi altså at foretage en nærmere granskning af de fire ovennævnte personers artikler, for til sidst at lade det munde ud i et besyv til diskussionen om hvorvidt energibevarelsen er et eksempel på simultan opdagelse.

Projektets formål er formuleret som følger:

På grundlag af en fortolkning af Mayers, Coldings, Joules og Helmholtz' respektive formuleringer af et generelt princip om energiens bevarelse under en eller anden form, undersøges det hvilken overensstemmelse der er mellem de fire formuleringer, og hvilke forudsætninger personerne hver især havde for at fremsætte dem.

Hovedvægten lægges således på en gennemgang af centrale artikler fra de fire personer, og der gives blot en kortfattet indføring i den mest nødvendige historiske baggrundsviden. Trådene samles til sidst i en diskussion.

Kapitel 1

Historisk baggrund

For at kunne tage stilling til artikler om energibevarelse, skrevet for 150 år siden, vil det være nødvendigt at have et vist kendskab til den forudgående udvikling i fysikken, og i særdeleshed til hvilke begreber det var, der udviklede sig til det der nu kendes under betegnelsen energi. Det lader sig selvsagt ikke gøre at give en fuldstændig oversigt over tidens videnskabelige forestillingsverden, men det skal i det følgende forsøges at give et indblik i de væsentligste træk ved den udvikling, der førte frem til formuleringen af princippet om energiens bevarelse. Som tidligere nævnt er der fokuseret på tre "spor" af denne, nemlig udviklingen af et energibegreb i mekanikken, termodynamik og varmemeforståelse, samt den filosofiske baggrund.

Historisk oversigt over udviklingen af den klassiske mekanik

Den italienske naturvidenskabsmand og filosof Galileo Galilei (1564-1642), bliver ofte betegnet som en af den moderne fysiks første repræsentanter. Omkring Galileis tid blev der dels gjort op med skolastikkens og aristotelismens lære, herunder sammenkædningen af fysik og metafysik, og dels var der ved at fremvokse en erkendelse af at jorden ikke er centralt beliggende i universet, men istedet er en planet.

I sit værk "Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a Due Nuove Science" fra 1638, redegjorde Galilei som den første for den udgave af faldloven der er alment accepteret idag (Lübcke 1990). Hans arbejde var dels baseret på erfaringer man havde gjort sig i de forrige århundreder og dels på egne ideer og eksperimenter.

Galilei formulerede dog loven på en lidt anden måde end vi kender den nu. Med moderne notation er Galileis faldlov kendt som:

$$v = gt + v_0$$

eller

$$s = \frac{1}{2}gt^2 + v_0t + s_0,$$

hvor v er hastigheden af det faldende legeme, v_0 er begyndeshastigheden, s_0 er begyndelsesstedet, t er det tidsrum faldet har foregået, og g er tyngdeaccelerationen.

Nogle årtier senere, omkring midten og slutningen af 1600-tallet begyndte impulsbevarelsesætningen at tage form.

Den franske filosof, fysiker og matematiker René Descartes (1596-1650), mente at alle bevægelsesændringer kunne forklares ud fra kontakt (sammenstød) mellem legemer, der var i bevægelse relativt til hinanden, enhver bevægelsesændring, der var en konsekvens af sådanne kontakter mellem legemer, involverede en overførsel af "bevægelseskraft" fra det ene legeme til det andet. Den samlede bevægelseskraft af legemer før og efter sammenstød mente han var konstant, således var der hverken mere eller mindre af denne bevægelseskraft nu, end da universet opstod (Truesdell 1968, s.105).

Descartes mente at bevægelseskraften af et enkelt legeme var proportional med størrelsen af hastigheden af legemet. Således bliver Descartes' impulsbevarelsessætning, i moderne notation:

$$\sum_i m_i \cdot |\vec{v}_i| = K$$

Hvor K er en konstant, sætningen gælder for elastiske stød mellem legemer der bevæger sig langs samme rette linie.¹ Descartes regnede med skalarer i stedet for vektorer, men da impulsen af et legeme netop er en vektor, er Descartes' sætning altså ikke en impulsbevarelsessætning i moderne forstand. Descartes var ingen stor empiriker og det interessede ham tilsyneladende ikke at undersøge gyldighedsområdet for formlen. På trods af at sætningen, i dens oprindelige formulering, ikke gælder generelt, er det ofte Descartes der får æren af at have opdaget impulsbevarelsessætningen.

Den hollandske matematiker og fysiker Christian Huygens (1629-1695) lavede en ny formulering af Descartes impulsbevarelsessætning, da dennes ikke galdt i alle stød.

Huygens impulsbevarelsessætning gik derfor istedet på at hastigheden og retningen af legemers massecentrum var bevaret under elastiske stød mellem legemerne. Formuleret med moderne notation ser Huygens impulsbevarelsessætning ud som følger:

$$\begin{pmatrix} v_{x, cm} \\ v_{y, cm} \end{pmatrix} \cdot \sum_i m_i = \vec{K}$$

hvor K er en konstant, og hastigheden af massecentrum v_{cm} er konstant. På Huygens tid var vektornotationen endnu ikke så veludviklet, hvilket kan være årsagen til at Huygens nøjedes med at udtale sig om hastigheden af massecentrum, frem for at redegøre for en version af impulsbevarelsessætningen, svarende til den vi kender i dag, dvs

$$\sum_i m_i \vec{v}_i = \vec{K}$$

Hvor vektoren K er et udtryk for den samlede impuls, og er konstant.

Udover at formulere impulsbevarelsessætningen mere generelt end Descartes havde gjort, var Huygens også den første der formulerede sætningen om accelerationen i en jævn cirkelbevægelse. Huygens beskæftigede sig også med bølgelære og formulerede som bekendt "Huygens Princip".

Endelig konstaterede Huygens at en størrelse proportional med v^2 var bevaret i visse elastiske stød (Knudsen og Pedersen 1976, s.50).

I dag er det alment accepteret at det, der nu kaldes den kinetiske energi, dvs $\frac{1}{2}mv^2$, er bevaret når for eksempel en billardkugle støder mod billardbordkanten (forudsat at ingen energi går tabt til varmeudvikling).

¹ Elastiske stød er stød, hvor der ikke bliver brugt nogen energi på deformation af de legemer, der støder sammen.

Huygens mente at en størrelse proportional med v^2 , angav størrelsen af den "kraft" et legeme med hastigheden v bar med sig, denne størrelse blev kaldt "den levende kraft" - eller på latin *vis viva*, mens en størrelse proportional med v angav størrelsen af legemets bevægelsesmængde, *quantitatis motus*. Dette var i modsætning til Descartes som mente at bevægelseskraften, *vis viva*, var proportional med v . (Woolhouse 1981, s.155)

Den tyske naturforsker og filosof Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) publicerede i 1686 artiklen "Brevis Demonstratio erroris memorabilis Cartesii et aliorum circa legem naturalem". I artiklen erklærede han sig dels enig med Huygens i at Descartes' formulering af impulsbevarelsessætningen ikke var tilstrækkelig og dels erklærede han sig enig i at bevægelseskraften, *vis viva*, måtte være proportional med v^2 , og at denne størrelse var bevaret i visse stød.

Med "Brevis Demonstratio.." markerede Leibniz starten på en kontrovers der kom til at vare i ca 150 år, kontroversen blev kendt som *vis viva*-kontroversen og den kom til at involvere mange af datidens førende naturvidenskabsfolk. Kontroversen drejede sig som nævnt i indledningen groft sagt om hvorvidt det skulle være det, der i dag er kendt som kinetisk energi, eller det, der er kendt som impuls, der skulle være et mål for *vis viva*, dvs den "kraft" et legeme i bevægelse bar med sig.

Den engelske matematiker, fysiker og astronom Isaac Newton (1642-1727) udgav i 1687 sit hovedværk "Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica" (i det følgende bare Principia).

Newtons idé med Principia var at behandle hele mekanikken ud fra nogle enkelte fundamentale love. Principia består af tre bøger.

I bog 1. opskrives først Newtons tre berømte love:

"Lex I: Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare

Lex II: Mutationen motus proportionalem esse vi motrici impressæ, & fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur

Lex III: Actioni contrariam semper & æqualem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse æquales & in partes contrarias dirigi

(1. lov: Ethvert legeme fortsætter i sin tilstand af hvile eller jævn, retlinet bevægelse, medmindre det af indprægede kræfter tvinges til at forandre denne tilstand

2.lov: Ændringen i bevægelsen er proportional med den indprægede bevægende kraft og sker efter den rette linie, langs hvilken denne kraft indpræges

3. lov: Aktion er altid lige så stor som reaktion, men modsat rettet; eller, to legemers indbyrdes påvirkninger er altid lige store og modsat rettede.)"

(Knudsen og Pedersen 1976, s.51)

I resten af bog 1 behandles anvendelser og konsekvenser af de tre love. Mange af de behandlede emner var ikke kun Newtons eget arbejde, men var resultater af bla Galileis, Keplers, Descartes' og Huygens' arbejde (Truesdell 1968, s.89).

Newtons eget bidrag bestod hovedsagligt i at han ud fra sine tre love var istand til at give en samlet beskrivelse af bevægelser både i universet og på Jorden.

I bog 2 koncentrerede Newton sig om at behandle legemers bevægelser i forskellige medier (gasser, væsker mm). Dette område var stort set ubehandlet før Newton, og han måtte derfor selv opstille nogle regler for bevægelser i gasser og væsker. Det lykkedes ikke for ham at udlede disse regler ud fra de tre love som det oprindeligt var hensigten. Bog 2 var, viste det sig

senere, endvidere fyldt med fejl, dels med fejlagtige antagelser og dels med fejlagtige resultater.

Bog 2 var dog nytænkende og den blev inspirationskilde til mange af de opdagelser der blev gjort indenfor mekanikken i de efterfølgende århundreder (Ibid, s.149).

I bog 3 behandlede Newton forskellige astronomiske fænomener. Newton argumenterede bla i denne for at man ud fra hans tre love og nogle konstanter kunne beskrive og dermed forudsige planeternes bane omkring solen (ibid, s.93).

Det var ikke Newton selv, men først Leonhard Euler, der i 1749 formulerede Newtons love matematisk, på trods af at Newton selv udviklede infinitesimalregningens grundprincipper (ibid, s.92).

Newton og hans tilhængere var enige med Leibniz i at Descartes' formulering af impulsbevarelsessætningen var utilstrækkelig, de var dog alligevel enige med Descartes og cartesierne i at det måtte være en størrelse proportional med hastigheden af et legeme, v , der betegnede den levende kraft, $vis viva$.

Den matematiske formulering af den klassiske mekanik

Ikke før i 1700-tallet begyndte sætningerne fra den klassiske mekanik at blive formuleret matematisk med en notation svarende til den der bruges i dag. Dette skete for en stor dels vedkommende med den tysk/østrigste matematiker og naturforsker Leonhard Euler (1707-1783). De franske matematikere Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783) og Joseph-Louis Lagrange (1736-1813) gav dog også væsentlige bidrag til opklaringen og den matematiske formulering af mekanikken. Det var, som nævnt, Euler der lavede den matematiske formulering af bla Newtons 2. lov, som kendes i dag:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

I 1743 udgav d'Alembert første udgave af sit værk "Traité de Dynamique", hvori han gennemgår følgende tre bevægelseslove:

1. Inertiens lov
2. Bevægelsernes parallelogram
3. Impulsbevarelsessætningen

Det princip som kaldes d'Alemberts princip er egentlig blot en anvendelse af disse tre love. Ideen med princippet var at slippe af med ufrihederne i et givet system, hvor ufriheder (constraints) kan opfattes som kræfter, der ikke direkte kan specificeres, men som kan spores gennem deres virkning på systemets bevægelse.

Den franske matematiker Jean Bernoulli (1667-1748), gav en analytisk formulering af et af mekanikkens principper, kaldet de virtuelle hastigheders princip, der går ud på at hvis et system er i ligevægt, vil det samlede arbejde der udføres ved infinitesimale forskydninger af

systemets delmasser være nul. I moderne notation:

$$\sum_i \vec{F}_i \cdot \delta \vec{r}_i = 0$$

hvor F_i er summen af kræfter på delmassen m_i , og δr_i er en tænkt (virtuel) forskydning. Denne sidste kan udtrykkes som produktet af en hastighed og et infinitesimalt tidsrum, hvoraf princippet har fået sit navn. Det kaldes dog også ofte det virtuelle arbejdes princip.

D'Alembert knyttede nu dette princip til et andet lille trick, udtænkt af Bernoulli, nemlig at kræfterne på systemets delmasser kan opfattes som summen af nogle ydre, påtrykte kræfter, og nogle indre reaktionskræfter, således at:

$$\vec{F}_i = \vec{F}_{i,y} + \vec{F}_{i,r} = m_i \vec{a}_i$$

hvilket så kan omskrives til:

$$\vec{F}_{i,y} - m_i \vec{a}_i = -\vec{F}_{i,r} = \vec{K}_i$$

hvor K_i kaldes de "tabte kræfter". Defineres "tabte kræfter" nu således at de holder systemet i ligevægt, må det virtuelle arbejde de udfører være nul, dvs:

$$\sum_i \vec{K}_i \cdot \delta \vec{r}_i = \sum_i (\vec{F}_{i,y} - m_i \vec{a}_i) \cdot \delta \vec{r}_i = 0$$

Dette er d'Alemberts princip, som altså er en formulering af Newtons 2. lov uden reaktionskræfter. Det er dog ikke umiddelbart anvendeligt til konkrete problemer, idet de såkaldte cartesiske koordinater, r_i , ikke er uafhængige, pga ufrihederne. Lagrange generaliserede disse til uafhængige koordinater, der således svarede til systemets faktiske antal frihedsgrader, og skabte på den måde grundlaget for den klassiske mekanik sidenhen.

Lagrange gjorde i sin artikel "Mécanique Analytique" fra 1788, rede for at det der nu kendes som den mekaniske energi i et system måtte være bevaret. Han redegjorde for at summen af vis viva og en "potentialfunktion", som tidligere var blevet indført, måtte være konstant (Elkana 1970, s.55), altså at

$$\frac{1}{2}mv^2 + mgh = \text{konstant}$$

Lagrange markerede dermed afslutningen på vis viva-kontroversen, idet det dermed blev afgjort at det ikke var det vi nu kalder impulsen, som betegner et legemes vis viva, og at det heller ikke var den kinetiske energi der var bevaret. Vis viva-kontroversen endte således med at ingen af de oprindeligt stridende parter fik ret.

Det er af eftertidens historikere blevet diskuteret hvad der gjorde at diskussionen kunne vare så lang tid (150 år) og hvad der fik datidens førende fysikere til at deltage i den.

Tidligere historikere som Ernst Mach og F. Cajori mente at kontroversen hovedsagligt skyldtes at man ikke havde klare definitioner af hvad der mentes med masse, acceleration og kraft, og at Leibniz' tilhængere på den ene side og Newtons og Descartes' tilhængere på den anden side derfor misforstod hinanden (Woolhouse 1981, s.140).

D. Papineau mener snarere (ibid, s.141) at kontroversen skyldes at man var interesseret i at udvikle den beskrivelse af sammenstød, der bedst tjente mekanikkens videre udvikling, og at både leibnizianernes forslag til revision af Descartes' beskrivelse på den ene side, og newtonianernes og cartensianernes forslag på den anden side, fortjente at blive overvejet grundigt.

Hvad man end kan mene om vis viva-kontroversen idag, så har den været et led i udviklingen mod den større klarhed i begreberne, som under alle omstændigheder var en forudsætning for indførelsen af et generelt energibevarelsesprincip. En snert af ideen forelå allerede med ovenstående formulering af Lagrange, men i sig selv ligger den langt fra enhver forestilling om energiens universelle bevarelse. En forudsætning for sammenkædning af de to ting er en forståelse af varmens natur og dens forbindelse til mekanisk energi.

Historisk oversigt over termodynamikken fra caloriqueteori til formuleringer af energibevarelsesprincippet:

Formuleringen af energien som en bevaret størrelse bygger i høj grad på en analog forståelse af varme og bevægelse. Den gren indenfor naturvidenskaben, der har beskæftiget sig med dette er termodynamikken, som den har formet sig siden Sadi Carnot (1796-1832). Termodynamiske overvejelser og forsøg går dog væsentlig længere tilbage, nemlig til omkring år 1600, hvor Francis Bacon (1561-1626) formulerede sine tanker omkring dynamisk varmeopfattelse.

I det antikke Grækenland blev varme (ild) defineret som et grundstof, materien besad i større eller mindre grad. Uden nøjagtig beskrivelse mente man at varme var et stof og at dette kunne bevæge sig i rum og materie. Stoffet navn, *calorique*, blev indført af kemikeren Lavoisier (1743-1794) (Elkana 1974, s.63). Lavoisier gjorde gennem sine eksperimenter op med *Phlogistonteorien*², der havde præget kemien i specielt Frankrig, Tyskland og England. Teorien om et varmestof overlevede uden angreb af afgørende karakter op til starten af 1600-tallet, hvor det første underbyggede angreb såede tvivl om dennes rigtighed. Angrebet betød på ingen måde varmeteorien endeligt, men var snarere en god grund til at underbygge teoriens konsistens så senere angreb kunne tilbagevises.

En af årsagerne til at varmestofteorien i brede kredse overlevede til op i midten af det nittende århundrede, lå i dens evne til at forklare stort set alle fænomener hvor varme optrådte. Den franske matematiker Laplace (1749-1827) argumenterede overbevisende for sammenhænge mellem materie, kræfter og "subtile fluida". Han opfattede materien som opbygget af partikler, der påvirkede hinanden med gravitationelle og andre kræfter. Dette gjaldt også de såkaldte "subtile fluida", som antoges at bestå af meget mindre partikler, som udøvede kræfter på hinanden og på materiens partikler (mindstedele). Eksempler på disse fluida var "fluide calorique", der betyder varmestof, samt et lysfluidum, to elektriske fluida og to magnetiske fluida. Varmestoffets partikler frastødte hinanden, men tiltrak materiens partikler. Dette kunne således forklare at tilførsel af varmestof til en luftart resulterede i øget tryk eller rumfang, idet der ville komme en større frastødningseffekt. Laplace kunne på denne baggrund lave en præcis matematisk teori for de kendte love om gassers tryk, rumfang og temperatur (Billeskov Jansen et al 1987).

² Phlogiston, også kaldet "det brændbares princip", benyttedes i 1700-tallet til at forklare flere kemiske processer, der ikke umiddelbart kunne findes nogen forklaring på. Det stof som indeholdt mindst phlogiston var oxygen, hvorfor det også blev kaldt dephlogiston (Norrild 1990).

Englænderen Francis Bacon gav den første seriøse indvending mod materiel varmeopfattelse, da han i 1617 postulerede, at fænomenet varme var i familie med bevægelse, uden dog at have nogen egentlig forestilling om varme/temperatur:

"When I say of motion that it is the genus of which heat is a species, I would be understood to mean, not that heat generates motion, or that motion generates heat (though both are true in certain cases) but that heat itself, its essence and quiddity, is motion, and nothing else...Heat is an expansive motion, whereby a body strives to dilate and stretch itself to a larger sphere or dimension that it had previously occupied...Heat is a motion of expansion, not uniformly of the whole body together, but in the smaller parts of it; and at the same time checked, repelled, and beaten back, so that the body acquires a motion alternative, perpetually quivering, striving and struggling, and irritated by repercussions, whence springs the fury of fire and heat...And this specific difference is common also to be the nature of cold; for in cold contractive motion is checked by a resisting tendency to expand just as in heat the expansive action is checked by a resisting tendency to contract. Thus whether the particles of a body work inward or outward, the mode of action is the same."

(Elkana 1974, s.60)

Bacon byggede sine argumenter på et rent filosofisk grundlag og blev derfor ikke taget alvorligt i de etablerede engelske videnskabelige selskaber; ikke desto mindre må han betragtes som forløber for den i dag accepterede dynamiske varmeteori.

Galilei gav som Bacon (primo 1600 tallet) en filosofisk argumentation ved sin beskrivelse af varme. Han var klar over at stof udvider sig ved opvarmning og mente at en opfattelse af stof, som bestående af elementære partikler, kunne give en forklaring herpå. Udvidelsen blev forklaret ved specifikke grundstoffers tilfældige og hurtige bevægelse, der blev eksiteret ved tilførsel af det der i dag er betegnet energi. Galilei mente derfor, at varme kun er en illusion, men altså er menneskets måde at opfatte visse partiklers høje hastighed på. Det er naturligvis ikke slående argumenter, der i denne sammenhæng gør Bacons og Galileis postulater interessante, de gør heller ikke på nogen måde op med tilstedeværelsen af grundstoffet ild og den dertilhørende caloriqueteori, derimod introducerer de en ny og kvalitativ opfattelse af stoffets elementære bestanddele. Principielt kan Galileis varmebeskrivelse opfattes som en udbygning af Bacons filosofiske overvejelser og den dynamiske varmeteoris første egentlige formgivning.

Descartes byggede sit fysiske verdensbillede på bevægelse og udvidelse. Descartes' idé vedrørende varme og bevægelse er på traditionel caloriqueteoretisk vis nettobevægelse, altså at varme opstår ved tilstrømning af calorique.

Descartes' verden er skabt af tre elementære enheder, der tilsammen står for dennes tilstand, form samt for udfyldning af det tomme rum:

Ild (varme)
Materie
Boules (ikke materiel)

Boules står for det ikke-materielle rums udfyldning, som gennem tiderne har været en gåde for de fleste, da man ikke mente at der fandtes vacuum, eftersom man mente at varme og lys "behøvede" et medie at bevæge sig i. Materien er stoffet, der omgiver os (det vi kan se og mærke)(Open university 1981, kap 1). Det interessante ved dette er, at i materien kan være forskellige mængder ild og boules, andelen af ild er så afgørende for hvor varmt et materiale

kan blive, og hvorlænge det kan holde på varme og derved være forklaringen på forskellen i stoffers varmekapacitet.

R. Boyle (1627-1691) eksperimenterede bla med lufts egenskaber og fandt at produktet af tryk og rumfang er konstant ved konstant temperatur, hvilket er en vigtig sætning i termodynamikken (Truesdell 1980, s.9). Boyle var samtidig en af Englands få daværende filosoffer, han argumenterede på overbevisende måde for, at når man accepterer at varme er bevægelse, så skal bevægelsen forstås som indre atomar bevægelse, idet enhver bevæget legeme i modsat fald ville være varmt i forhold til sine omgivelser. Boyles overvejelser modbeviste dog ikke caloriqueteorien.

G. Amonton (1663-1705) eksperimenterede med og så vigtigheden i gassers og væskers udvidelse under temperaturforøgelse. Han opdagede at luft udvidede sig relativt ens, uafhængigt af den opvarmede mængde, og at den relative volumenforøgelse var uafhængig af trykket før temperaturforøgelsen (Open university 1981). Ligeledes så han at temperaturen forøgedes når gasser blev komprimeret, hvilket af caloriqueteorien blev forklaret ved, at man pressede "ilden" ud af stoffet ved tryk. Samme argumentation blev brugt til at forklare temperaturforøgelse i lejer, eller ved friktion generelt. Caloriqueteorien forklarede altså disse fænomener ved, at varmen blev slidt ud af materialet.

Amonton fornemede betydningen af sine opdagelser og forudså en fremtidig anvendelse, som fx varmluftmaskiner. Man kan kalde Amonton's arbejder en foregriben af Gay-Lussac's lov om gassers udvidelse: $P/T = \text{konstant}^3$ (forholdet tryk-temperatur) ved konstant volumen.

Der fandtes folk, der ikke umiddelbart lod sig stille tilfreds med caloriqueteoriens forklaringer på alle observerede varmfænomener, en af dem var Rumford. Grev Rumford, alias Benjamin Thompson (1753-1814), der i forbindelse med sin profession overværede udboringen af kanoner og fandt at messingspånernerne fra de udborede huller opnåede høje varmemøgder, satte sig for at måle den varmemøgde der blev frembragt ved udboringerne. Rumford fik bygget et kar omkring et kanonløb, karret fyldtes med vand og boringen startede. Resultatet var nu, at der tilsyneladende ingen grænser var for, hvor stor en varmemøgde der kunne udvindes af denne proces. Spånernes massefylde blev målt og viste sig identisk med massefylden af det oprindelige materiale; ligeledes blev vandets massefylde målt, før og efter forsøget, heller ikke her fandt han nogen forskel (Sandfort 1965, s.14-16).

Der var nu noget håndfast caloriqueteorien ikke kunne forklare. Flere analoge forsøg blev gjort med bekræftende resultater til ovenstående; Rumford konkluderede:

"Det er næppe nødvendigt at tilføje, at noget, som et vilkårligt isoleret legeme eller system af legemer fortsat kan afgive uden begrænsning, umuligt kan være materielt: og det forekommer mig yderst vanskeligt -om ikke helt umuligt- at danne sig nogen klar ide om noget, der kan frembringe eller ledes på den måde, varmen bliver frembragt og ledet i disse eksperimenter, medmindre det er bevægelse."

(Ibid)

Ovenstående rystede grundlaget for caloriqueteorien, men fik ikke gjort op med den, det fik derimod andre til at interessere sig for sagen.

³ Da P er ligefremt proportional med T, og da P endvidere aldrig kan blive negativ, kan det tænkes at Amonton, som én af de første indså nødvendigheden af eksistensen af et absolut nulpunkt for temperaturen (Truesdell 1980, s.9).

Det afgørende brud mellem calorigeteorien og denne nye opfattelse består, som sagt, ikke i at opfatte varme som bevægelse, men altså at acceptere at det ikke er bevægelse af et ildfluidum, men derimod vibrerende bevægelse af et stofs elementære dele. Dette medførte nødvendigvis også et opgør med den i brede kredse accepterede cartesianske opfattelse af de større sammenhænge, idet troen på et ildfluidum ikke er forenelig med denne nye revolutionerende tankegang.

Afgørende nyt kom i året 1799, fra Humphry Davy (1778-1829). Han baserede sine velkendte ræsonnementer på et forsøg med gnidning af to stykker is mod hinanden. For at få klarhed på sine tanker introducerede han begrebet "repulsive motion" (frastødende bevægelse) for at adskille indre bevægelse fra nettobevægelse (Thomson 1853). Hans ræsonnementer bygger, som nævnt, på et eksperiment, hvor han gnider to stykker is mod hinanden. Ved den friktion der opstår mellem dem, eksiteres stoffets bestanddele og danner "repulsive motion", der hermed defineres som varme og samtidig begrundes isens smelten. Davy konkluderer:

"The phenomena of repulsion are not dependent on a peculiar elastic fluid for their existence, or caloric does not exist."

(Thomson 1853)

Hvilket kan oversættes til: "Fænomenet frastødning er ikke afhængigt af noget specielt stof for at kunne foregå, eller med andre ord, fluide calorige eksisterer ikke". William Thomson erklærer hermed dynamisk varmeteorien for etableret og tildeler Davy æren (Thomson 1853). Davys resultater skulle senere (i 1840'erne) blive bekræftet af blandt andre J.P. Joule og J.R. Mayer, hvilket vil blive omtalt i det følgende

Om man var tilhænger af den ene eller anden varmeteorien på dette tidspunkt var ikke afgørende for ens videnskabelige virke og anerkendelse, og eftersom calorigeteorien stadig kunne forklare de fleste fænomener er det måske ikke så overraskende at Carnot, på trods af sin tro på eksistensen af et varmestof, gjorde nogle af historiens større termodynamiske erkendelser.

Carnot søgte det meste af sit liv efter relationer mellem arbejde og varme. Forsøg havde vist, at man afhængig af den anvendte forsøgsopstilling fik forskellig "mængde" arbejde ud af en specifik "mængde" varme. Carnot stillede da det vigtige spørgsmål:

"How much work can be obtained from a specified quantity of heat."

(Open University 1981, kap 1)

Gennem hovedsageligt tankeeksperimenter svarede han på genial vis på sit eget spørgsmål:

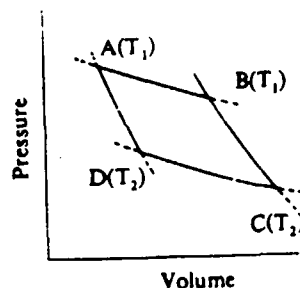
"... only a certain amount of work can be obtained from a given quantity of heat."

(ibid)

Det lyder ganske vist lidt banalt, men er dog en erkendelse af at varme og arbejde er konvertible størrelser. Hans konklusion var at en ideel maskine skulle være reversibel og at kun systemets indre modstand var årsag, hvis systemet ikke kunne bringes tilbage til startbetingelserne. At systemet ikke kunne bringes tilbage til startbetingelserne var en konsekvens af hvad Carnot selv påstod, nemlig at varme altid vil flyde fra et varmt til et koldere legeme (Sandfort 1965, s.85). Essensen af ovenstående må således være en spæd formulering af termodynamikkens 2.lov (se nedenfor).

Carnot var ikke alene, hans kollega, ingeniøren B.P. Clapeyron (1799-1864) sørgede bla for at præsentere Carnot-diagrammet (fig.1) efter Carnot's død i 1832 (Truesdell 1980, s.139-140⁴).

Det er tvivlsomt hvilken indflydelse franskmændene Carnot og Clapeyron og deres resultater har haft på de videnskabsmænd, der i de følgende år nåede frem til en præcisering af energibegrebet. Det skal nævnes at Carnot var calorique tilhænger, om ikke til sin død, så ihvertfald til umiddelbart før!



Figur 1 Carnot cycle; Rumfang-tryk forhold for en perfekt reversibel maskine. (Open University 1981)

På trods af franskmændenes dominans i etableringen af termodynamikken i starten af 1800-tallet så foregik den afgørende forskning i koncepterne varme og "kraft" i Tyskland og England, dog med en afstikker til Danmark.

Forskningsbetingelserne i ovenstående lande var vidt forskellige; i England anså de etablerede videnskabelige selskaber, videnskabsmænd uden stort empirisk grundlag som utroværdige. Derimod havde tyskerne traditioner med adskillige naturfilosofiske skoler, med navne som Leibniz, Kant, Hegel oa. Disse to videnskabelige metoder kunne formodentlig, ved kombination, have bragt videnskaben på et mere rationelt niveau, men resultatet blev, at de to landes forskning kørte sideløbende og stort set uafhængigt af hinanden. På den tyske side var hovedpersonerne: Mayer, Clausius og Helmholtz; på den engelske: Joule, Thomson (Kelvin) og Rankine.

I Danmark stod Ludvig August Colding (elev af H.C. Ørsted) for afgørende forskning/tænkning med hensyn til fastlæggelse af energibegrebet. Da han som en af de første gav et bud på varmens mekaniske ækvivalens, må Colding anses for at være pioner på dette område (kap 3).

Mayer, som var skibslæge (hans egentlige felt var fysiologi), fandt gennem sine arbejder, at levende dyrs kropstemperatur afhang af den mængde arbejde de præsterede. Han fandt den levende krafts varmeækvivalens, dvs den temperaturforøgelse, der svarer til et givet arbejde. På dette grundlag (og med lidt hjælp fra andres eksperimenter) overførte han sine resultater til den uorganiske verden og konkluderede i 1842, at det generelt måtte gælde at energien er bevaret (kap 2).

J.P. Joule gjorde hvad Mayer ikke gjorde, nemlig at underbygge sine postulater eksperimentelt. Joule beskæftigede sig som helt ung med relationer mellem arbejde, elektrisk energi og varmeudvikling. I 1844 udførte han sit i dag berømte "Paddlewheel eksperiment" som skulle blive en direkte eftervisning af Mayers postulat (kap 4).

Hermann von Helmholtz kan ikke betragtes som opdageren af energiens bevarelse, men snarere som den, der i kraft af sine gode matematiske evner fik sat begreberne nogenlunde på plads og derfor alligevel anses for at være én af opdagerne til princippet om energiens bevarelse. I sin afhandling "Über die Erhaltung der Kraft" (1847) beskriver han en "kraft" (energi), hvortil alle andre kræfter er relateret, denne kalder han "Der lebendige kraft" (vis

⁴ Blandt videnskabshistorikere er der tvivl om hvorvidt Clapeyrons fortolkninger af Carnot er identiske med Carnots formuleringer (Truesdell 1980, s 139)

viva). Denne "kraft" svarer til kinetisk energi (kap 5).

På trods af det, for mange, overbevisende arbejde Helmholtz præsterede i "Über die Erhaltung der Kraft", skulle der gå flere år inden hans afhandling trængte ind i de engelske videnskabelige kredse.

I årene efter 1850 lod selv de mest skeptiske sig overbevise af princippet om "kræfternes" bevarelse, ikke mindst på grund af det arbejde Lord Kelvin udførte efter at han selv lod sig overbevise omkring 1850.

Erkendelsen af energiens bevarelse kom senere til at føre frem til hvad vi i dag kender som termodynamikkens 1. hovedsætning, og lyder: Ændringen af et systems indre energi (ΔU) er lig den absorberede varme (Q) minus det arbejde systemet udfører på omgivelserne (W).

Altså:

$$\Delta U = Q - W$$

Denne sætning er kun gældende for et mange-partikel-system (da det ikke giver mening at tale om varme for eksempelvis et to-partikel-system).

I Tyskland arbejdede R.J.E. Clausius (1822-1888) videre med Carnots og Clapeyrons arbejder og ligeledes med Mayers og Joules arbejder. Clausius, der var bedre matematisk bemandet end de foregående, behandlede teoretisk den idéelle maskine og kom til det resultat, at man aldrig ville være istand til at få mere energi ud, end den mængde energi man puttede ind i en maskine. I denne forbindelse brugte han en reversibel maskine som tankeeksperiment (Open university 1981, kap 1). Han så dog også vanskeligheden i en sådan reversibel maskine, da han fra Carnot havde at varme ikke af sig selv kan "flyde" fra et koldt legeme til et varmere legeme; han introducerede termen entropi, S . Herved konstituerede han det vi i dag kalder termodynamikkens 2. hovedsætning, som siger at S i et lukket system er stigende; eller ved en perfekt reversibel proces er identisk med den oprindelige. Entropien kan forklares som et mål for energiens tilgængelighed, forstået således, at når eksempelvis friktion fra bevægelse udvikler varme mistes energi som umiddelbar tilgængelig, altså S er steget. Som nævnt tidligere var dette hvad Carnot formulerede omkring år 1820, man kan så undre sig over hvordan man kan formulere 2. hovedsætning før man har formuleret en vigtig antagelse for denne, nemlig 1. hovedsætning. Svaret må findes deri, at Carnot følte sig overbevist om at stoffet calorique var bevaret, hvilket giver grundlag for den antagelse.

Ved en senere opsummering af termodynamikken formulerede Clausius to sætninger:

1 Energien i universet er konstant

2 Entropien i universet vil nå et maximum

(Cardwell 1971)

Som en konsekvens af termodynamikkens 2. lov formulerede Thomson, hvad han kaldte "dissipation of energi" (Thomson 1853), som set i universelt perspektiv vil medføre, ens temperatur i hele universet.

Afrunding:

Set i lys af hvad termodynamikken har bidraget med til opdagelsen af energiens bevarelse i midten af det attende århundrede, er der specielt tre faktorer der er væsentlige:

- 1) Resultatet af den ca 150 år lange kontrovers om hvorvidt varmens væsen er materiel eller dynamisk.
- 2) Erkendelsen af konverteringsmuligheder varme og bevægelse imellem.
- 3) Samt erkendelsen af at der ved konvertering af eksempelvis en mængde varme kun kan opnås en vis mængde bevægelse.

Alene det faktum at Mayer, Joule, Colding og Helmholtz alle var tilhængere af den dynamiske varmeteorier, gør det nærliggende at opfatte denne som en betingelse for energibevarelse. Det springer dog ikke direkte ud af den dynamiske varmeteorier at energien skulle være bevaret. En anden årsag til den simultane opdagelse af energibevarelsen kan findes i tidens filosofiske strømninger, som vil blive ridset op i det følgende.

Naturfilosofi i begyndelsen af det 19. århundrede

Ifølge Max Planck og Henri Poincaré (Elkana 1970, s.3) er det eneste, der giver energibegrebet mening i fysikken, netop ideen om at det er en bevaret størrelse. Interessen for at definere et energibegreb må således udspringe fra den holdning, at noget må være bevaret, hvilket dog ikke umiddelbart er nogen empirisk givet kendsgerning. Tværtimod bruges det ofte som et heuristisk princip, en videnskabsproducerende doktrin, der således kommer forud for empirien, idet forudsætningen om energiens bevarelse bliver bestemmende for teoridannelsen, og derved den konkrete fremgangsmåde, ved indsamling af nye eksperimentelle data. Det kan derfor have interesse at undersøge den filosofiske baggrund for energibevarelsesprincippet nærmere. Denne kan også være medvirkende til en forklaring af nationale forskelle i videnskabsudøvelsen på det pågældende tidspunkt.

Det kontinentale filosofiske miljø var i begyndelsen af det 19. århundrede præget af brydningen mellem fransk rationalisme og tysk romantik (Billeskov Jansen et al 1987, s.55), som havde stor indflydelse på videnskabsudøvelsen i de respektive lande, mens engelsk videnskab i høj grad bar præg af en praktisk/eksperimentel tilgang (Elkana 1970, s.56).

At den engelske tradition lagde så stor vægt på praktisk eksperimentelt arbejde, og var meget tøvende overfor "spekulation", hænger formodentlig sammen med den radikale empirisme, som britiske filosoffer havde fremført i de foregående århundreder. Således hævdede John Locke (1632-1704) at fornuften er et ubeskrevet blad, der fyldes med idéer via sansningen. Irlænderen George Berkeley (1685-1753) forkastede ideen om en ydre, materiel verden, idet han mente at sansningsideerne i sig selv udgør den virkelige verden. Endelig førte den skotske filosof David Hume (1711-1776) tankegangen ud i sin yderste konsekvens, ved at forkaste relevansen af begreber, som ikke svarer til et sanseindtryk (Hartnack 1969). Skønt dette til sidst førte til indlysende absurditeter, som at begrebet "jeg" er meningsløst og bør kasseres, har den overordnede indstilling, at kun empiri er interessant i forbindelse med undersøgelse af virkelighedens beskaffenhed, givetvis gennemsyret af engelsk videnskabelig tænkning.

Det er blevet påpeget (Heimann 1974, s.150), at der i engelsk naturfilosofi fra slutningen af det 18. århundrede var en udbredt opfattelse af naturen som et selvopretholdende system, hvis aktivitet opretholdtes af balancen mellem tiltrækkende og frastødende kræfter. Naturfilosoffen James Hutton (1726-1797) var en talsmand for denne opfattelse, og mente at naturens selvopretholdelse var et udtryk for skaberens visdom. Sådanne ideer genfindes i Davys arbejder, hvor der også refereres til Hutton (Heimann 1974, s.150), og gennem disse må de have fået en relativt stor udbredelse i videnskabelige kredse.

Den franske rationalisme har rødder tilbage til Descartes, ifølge hvem sandheden godtgøres gennem fornuften, helt uafhængigt af erfaring (Hartnack 1969). Denne grundindstilling har nok betydet at en logisk-deduktiv videnskab som matematikken fik en særlig status, hvilket gav sig udslag i den store aktivitet på dette felt i 1700-tallets Frankrig. Når der tales om rationalisme i 1800-tallet, skal det altså ikke forstås som en tro på erfaringsuafhængig erkendelse, som hos Descartes, men snarere som en understregning af at enhver mening må underbygges logisk (læs matematisk) på grundlag af erfaringen.

Matematikeren og fysikeren Pierre Simon de Laplace (1749-1827) forestillede sig at en ånd (Laplaces' dæmon) med fuldstændigt kendskab til fysikkens love og kræfter, den øjeblikkelige tilstand af samtlige partikler i universet og en vis regnekapacitet, ville kunne beregne sig til enhver fortidig og fremtidig tilstand i verden. Denne opfattelse kom til at danne skole i Frankrig, og tilhængerne kaldes laplacianere. Ifølge disse drejede det sig om at indføre newton'ske modeller for alt, og det naturvidenskabelige program gik således ud på kvantitative præcisionsmålinger og matematisk beskrivelse af alle fænomener (Billeskov Jansen et al 1987).

Dette gav sig bl.a. udslag i atomisme og teorierne om subtile fluida, og det laplacianske program spaltede således fysikken op i en række forskellige grene med hver sit subtile fluidum og hver sin fundamentale kraft.

Anderledes forholdt det sig i Tyskland. Her opbyggedes store filosofiske systemer i den såkaldte tyske idealisme, der opstod i kølvandet på Immanuel Kants (1724-1804) filosofi. De tyske idealister opfattede sig selv som Kants arvtagere, og satte sig for at fuldstændiggøre hans filosofi til et sammenhængende system. Hos Kant fremhæves fornuftens systematiske, helhedsstræbende karakter, men dette ses blot som en såkaldt regulativ idé, altså ikke som udtryk for en egenskab ved virkeligheden. Denne tvetydighed søgte idealisterne at ophæve ved at gøre filosofien til et system, i den forstand, at det kan føres tilbage til ét samlende princip, hvilket så også skulle afspejle at verden er formet af ét princip, det absolutte. Af denne grund kaldes det også den absolutte idealisme.

For den første af idealisterne, Johann Gottlieb Fichte (1762-1814), tog denne bestræbelse form i en afskaffelse af Kants begreb om "tingen i sig selv", altså en uerkendbar substans, da der ikke var plads til en sådan bevidsthedsuafhængig størrelse.⁵ Kants kritiske filosofi skulle med andre ord transformeres til en konsistent idealisme, dvs at alt skulle være produkter af tankevirksomhed. For at undgå solipsisme⁶, måtte Fichte gå bagom den individuelle bevidst-

⁵ Ifølge Kant er forstanden underlagt nogle kategorier, fx kausalitetsbegrebet og substansbegrebet, der er forudsætninger for at virkeligheden kan opfattes (uden kategorierne ville vi modtage et usammenhængende kaos af sanseindtryk, idet forstanden netop ikke ville være i stand til at kategorisere dem). "Tingen i sig selv" er objektet, som det er uden at være underlagt forstandens kategorier; imidlertid kan det kun eksistere for så vidt det er underlagt forstandskategorierne eksistens og virkelighed, hvorved det bliver et modsigelsesfyldt begreb (Hartnack 1979, s.36).

⁶ Den overbevisning at éns personlige bevidsthed udgør det eneste virkeligt eksisterende.

hed, til en over-individuel bevidsthed - et absolut subjekt. Dette kaldte han det absolutte ego, og verden er en manifestation af dette, den er således et udtryk af en kreativ fornuft.

En anden udvikling af idealismen findes hos Friedrich Wilhelm Joseph Schelling (1775-1854), som til at begynde med var tro fichtianer, men siden gik egne veje i en meget omskiftelig filosofisk karriere. Han er hovedsageligt kendt for sin såkaldte identitetsteori, ifølge hvilken fornuften, det absolutte, er alt. Således er både natur og bevidsthed udfoldelse af den samme fornuft; naturen er synlig og ubevidst fornuft, og bevidstheden er usynlig og bevidst fornuft. Fornuftens bestemmelse er selvbevidsthed, og naturen er altså slumrende ånd, hvis formål er at blive usynlig, men bevidst fornuft (Hartnack 1979, s.79). Der er stærke affiniteter til den filosofiske romantik⁷, hvis grundidé i grove træk går ud på at der er en oprindelig enhed af natur og ånd, objekt og subjekt, og at målet for udviklingen er at genskabe denne enhed, det absolutte.

Endelig bør Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1831) nævnes. Filosofiens opgave er, ifølge Hegel, via den dialektiske metode⁸ at analysere grundlæggende begreber, og således nå frem til en større sammenhæng. Hegel starter således med det mest grundlæggende begreb, væren, og når frem til det mest avancerede, den absolutte idé. At forstå den absolutte idé, er at forstå den dialektiske proces, der fører frem til den, hvilket igen er at forstå virkeligheden. Naturfilosofiens opgave er således at forstå naturen som en dialektisk proces. Denne opfattelse har været udsat for megen kritik, idet den kan opfattes sådan, at videnskabelige resultater kan deduceres fra det dialektiske system. Dette var imidlertid ikke Hegels mening, han mente blot at den dialektiske metode kan forklare videnskabelige forhold, for såvidt de er sande (Hartnack 1969).

I fysikken gav den romantiske opfattelse sig udslag i en dynamistisk naturopfattelse, udspringende fra Kants "Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft" fra 1786, i hvilken han forsøger at demonstrere muligheden af newtonsk videnskab gennem en analyse af begrebet stof. Han argumenterer for at stoffet udfylder rummet som følge af en frastødende kraft, mens dets totale spredning afværges ved en tiltrækkende kraft, ligesom kvalitative forskelle i stof også er forklaret ved disse to kræfter. Endvidere sættes legemer i bevægelse af disse kræfter, og endelig hævdes det at al erfaring af omverdenen stammer fra dennes kraftpåvirkning af vort sanseapparat. En følge af at materien er konstitueret af sådanne kræfter, er at disse må udfylde rummet kontinuert, og da rummet matematisk kan opdeles i det uendelige, må materien kunne opdeles i vilkårligt små materielle dele (Billeskov Jansen et al 1987). Denne antiatomistiske holdning overtoges af Schelling, ifølge hvem naturvidenskabens opgave bestod i at forklare alle naturfænomener som manifestationer af Kants to grundkræfter, og dermed afdække enheden i naturen.

H.C. Ørsted er den fremmeste danske repræsentant for den romantiske strømning i filosofien. For ham var naturlovene det samme som naturens tanker, der igen i sidste ende stammede fra en uendelig, levende fornuft. Den menneskelige ånd, der har sit udspring samme sted, kan således, som det ses hos geniet, være i overensstemmelse med naturens tanker, således at "Hvad ånden eller tanken lover, holder naturen." (Billeskov Jansen 1987, s.50).

⁷ De tyske idealister kaldes ofte romantikere, hvilket de måske også var, i kraft af den tid de levede i, men idéhistorisk skelnes der dog mellem absolut idealisme og filosofisk romantik, hvis hovedrepræsentant var Friedrich Schlegel (1772-1829) (Copleston 1963, s.13).

⁸ Hegels dialektiske metode fremstilles ofte som at tesen skaber sin antitese, hvorefter de danner en syntese, en terminologi som Hegel dog selv tager afstand fra (Hartnack 1969).

Sammenfattende kan man sige at der i Tyskland (og dermed også Danmark) var en udpræget fornemmelse af enhed og fornuft i naturen, der højst sandsynligt har været en medvirkende årsag til at ideen om en eller anden fundamental "kraft" i naturen kunne forene alle de forskellige observerede fænomener. En fornemmelse der tilsyneladende var ganske fraværende i Frankrig, der altså heller ikke markerede sig stærkt mht den gryende erkendelse af energibevarelsen.⁹ I England var der en filosofisk/religiøs holdning til at de "kræfter", der holdt verden i gang, og som derfor var en del af Guds skaberværk, ikke kunne forgå. Der var således en overordnet ramme, som eksperimentelle resultater kunne fortolkes i.

Opsummering

For til sidst at samle trådene i de tre spor af udviklingen op til den betragtede periode, der her er gennemgået, kan man sige at der allerede eksisterede en energibevarelsessætning for visse dele af mekanikken, at sammenhængen mellem varme og mekanisk arbejde, med termodynamikkens opståen som videnskab, var blevet forskningsområde, samtidig med at en dynamisk varmeopfattelse vandt frem, og endelig at "tidsånden" i de nordlige dele af Europa var til forenende principper for naturen. Disse faktorer er næppe i sig selv tilstrækkelige til at forklare at et princip om universel energibevarelse skulle fremkomme netop i perioden 1830-50, men giver dog et rimeligt indblik i baggrunden for det.

Springet fra mekanisk energibevarelse ved elastiske stød til universel energibevarelse er ikke så umiddelbart, som man måske kunne tro. Det første tilfælde drejer sig om en formulering af et direkte observerbart fænomen, mens det sidste kræver et mentalt spring til formuleringen af et fuldstændig almengyldigt princip, der går ud over erfaringen, og i mange tilfælde lader til at være i modstrid med denne, fx når bevægelse ophører pga gnidning. Det er således klart at forståelsen af en sammenhæng mellem varme og bevægelse var en nødvendighed for at foretage en sådan kobling.

Efter denne lille introduktion til baggrunden for energibevarelsesprincippet, følger nu en gennemgang af artikler fra de fire centrale personer i den forbindelse.

⁹ Franskmandene Carnot og Seguin gjorde sig godt nok nogle overvejelser om sammenhængen mellem varme og mekanisk arbejde, men Carnot havde formodentlig ingen forestillinger om at andet end mængden af varmestof måtte være bevaret, og Seguin, der havde tætte forbindelser til England, vandt ingen ørenlyd i sit hjemland (Gillispie 1970-80).

Kapitel 2



**Julius Robert Mayer
(1814-1878)**

Julius Robert Mayer

Blandt de fire personer, der for snart 150 år siden, formulerede det generelle princip om energiens bevarelse, har Julius Robert Mayer, trods sit svage matematiske grundlag fået prioritet som den første opdager.

J.R. Mayer blev født i Heilbronn, Württemberg (Nu Baden-Württemberg) Tyskland, den 25. november 1814. Mayer var søn af apoteker Christian Jacob Mayer og Katharine Elisabeth Heermann Mayer. J.R. Mayer var den yngste af tre sønner og den eneste af dem, der ikke fulgte faderens profession.

I 1842 giftede Julius Mayer sig med Wilhelmine Regine Caroline Closs, med hvilken han fik syv børn, hvoraf fem døde. Disse tragiske hændelser, et fængselsophold i 1837 grundet tilknytning til en hemmelig studenterorganisation, en arrestation under revolutionen i 1848, grundet konservativ politisk holdning, et længerevarende fravær fra sin broder Fritz samt manglende anerkendelse af sit videnskabelige arbejde bragte Mayer i dyb depression, der resulterede i selvmordsforsøg 1850.

Mayer overlevede depression og selvmordsforsøg og døde istedet i 1878 af tuberkulose, men med veletableret international videnskabelig anerkendelse.

Mayers teoretiske baggrund og erkendelse af energibevarelse

I 1829 startede Mayer på gymnasiet i Heilbronn, som han senere afsluttede med en aldeles middelmådig eksamen. Derefter blev han optaget på det medicinske fakultet på universitetet i Tübingen, som han afsluttede med varierende præstationer.

Som skibslæge på et hollandsk handelsskib begyndte han, under et længerevarende ophold i Java, at interessere sig for fænomenet varme.

Han observerede veneblodets lyse farve under tropiske forhold og ræsonnerede at det måtte skyldes at mindre oxidation af blodet var nødvendig, når varmetabet til omgivelserne var forsvindende, som det er i troperne. Idet muskelaktivitet skaber varme og kræver oxidation af blodet, ligesom oxidationen i sig selv skaber varme, så han parallellen mellem organiske og uorganiske konverteringsprocesser. Han konkluderede, at bevægelse og varme måtte være indbyrdes konvertible i både organisk og uorganisk materiale og at observationen måtte være en manifestation af én uforgængelig "kraft", der kvantitativt er bevaret, ligegyldig hvilken form den viser sig under.

Ved hjemkomsten fra Java søgte han at formulere disse tanker i artiklen "Über die quantitative und qualitative Bestimmung der Kräfte" (1841). I denne artikel ville han give en filosofisk og matematisk bestemmelse af kraft, idet han mente at tidens naturvidenskabelige paradigme burde være, at bestemme enhver ændrings oprindelse ("ursache"), nemlig kraft (energi); samt at vise at denne hverken kunne skabes eller destrueres.

I sin artikel fra 1842, "Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur", søger Mayer at vise, at mv^2 er den sande angivelse for bevægelse og at denne angivelse samtidig er identisk med den, i mekanikken, spøgende vis viva. Her formuleredes også hans tanker vedrørende et generelt princip om energiens bevarelse.

I "Die Organische bewegung" fra 1845, udvidede han energibevarelsesprincippet til også at gælde for kemiske kræfter, herunder hvorledes energien fra mad via muskler omdannes til mekanisk arbejde. I samme artikel beskriver Mayer ligeledes hvordan planters udnyttelse af

solvarme svarer til energikonverteringsprocesser i den uorganiske verden. Mayers kreative videnskabelige karriere sluttede i 1848 med en artikel om astronomi, "Dynamik des Himmels".

En egentlig accept af Mayers arbejder kom først i 1850'erne, hvor Clausius og Helmholtz postulerede, at den første erkendelse af energibevarelsen kom fra Mayer. Den mere officielle side af striden blev ført af akademiet i Paris (for Mayer) og af Det Kongelige Selskab i England (for Joule).

Via korrespondance med Clausius fik Mayer kontakt med englænderen Tyndall, der senere gik hen og blev hans allierede i prioritetsstriden mellem Joule og Mayer. Gennem denne kontakt blev Mayers artikler i 1860'erne oversat og udgivet i England.

I 1870 blev Mayer valgt som medlem af det videnskabelige akademi i Paris og i 1871 modtog han Det Kongelige Selskabs *Copley*-medalje for væsentlige bidrag til videnskaben.

Følgende referat af Mayers 1842 artikel kan forekomme unødvendig kompliceret og svagt matematisk/fysisk underbygget, grundet et manglende matematisk/fysisk begrebsapparat hos Mayer. Store dele af artiklen er så vidt mulig direkte oversat for netop at bevare de særpræg teksten indeholder. Referatet er inddelt i afsnit, hvilket originalen ikke er, afsnitsinddelingen har til formål at forberede læseren på hvad det aktuelle afsnit søger at komme frem til, ligeledes er visse passager i teksten kommenterede. Disse foranstaltninger skulle herved lette læsningen.

Referat af "Bemærkungen über die Kräfte der unbelebten Natur"

J.R. Mayer indleder med at gøre opmærksom på, at formålet med artiklen er at svare på, hvad man kan forstå ved begrebet "kraft" (kraft svarer i det følgende til hvad der i dag er kendt som energi, hvis ikke andet er anført) og hvordan kræfter forholder sig indbyrdes. Hvor materien har helt eksakte egenskaber, såsom masse og rumfang, står opfattelsen af kraft for det ubekendte uopklarede og hypotetiske.

Artiklen er altså et forsøg på at gøre opfattelsen af kraft ligeså præcis som opfattelsen af materie og en deraf velkommen konsekvens må være et mere hypotese-frit natursyn.

Dette må forstås således at Mayer tror på at med en konsistent energibetegnelse, vil det være muligt at forudsige en årsags virkning, som det fx er muligt at beregne en genstands masse ud fra dens densitet og volumen.

Defintion af årsager:

Mayer fortolker i det følgende kausalitetsloven og benytter samtidig denne som grundlag for hele ideen om energiens bevarelse. Årsager vil blive defineret og opdelt i to kategorier.

Kræfter er årsager, hvorfor den fulde anvendelse af sætningen *Causa aequat effectum* (årsag ækvivalerer virkning) kommer til sin ret:

Har årsagen c virkningen e må $c = e$, er e nu igen en årsag til virkningen f må $e = f$ etc, altså:

$$c = e = f = \dots = c$$

I en kæde af årsager og virkninger kan en direkte eller delvis konvertering til en virkning aldrig blive nul. Denne første egenskab af alle årsager er at disse ikke kan destrueres.

Mayer forklarer altså, at en årsag **altid** vil have en virkning og denne ifølge ovenstående vil være kvantitativt ækvivalent med sin årsag. Mayer tilføjer den første årsag c i slutningen af ligningen, således at årsag-virkning sammenhængen er "lukket", hvilket er det eneste sted i teksten hvor det indikeres at årsager ikke kan skabes af ingenting.

Når en given årsag c har frembragt sin kvantitativt ækvivalente virkning, ophører c med at eksistere, indtil evt e eller f rekonverteres til c. Konverteres c kun delvist til e må det forventes at det resterende af c vil frembringe en anden virkning, som for eksempel en del af virkningen f. Det modsiger naturligvis at $c = e = f = \dots$ etc, og vi må derfor også betragte de forskellige virkninger kvalitativt; det at være i stand til at vise sig under forskellige former er derfor en anden vigtig egenskab ved alle årsager. Ved sammensætning af de to nævnte egenskaber, der gælder for alle årsager, har vi derfor:

Årsager er kvantitativt uforgængelige og kvalitativt Wandelbare (ombyttelige).

I naturen eksisterer to kategorier af årsager, der erfaringsmæssigt ikke kan konverteres indbyrdes: Den ene er de årsager der er ponderable, dvs vejrbare og impenetrabile, dvs uigen-nemtrængelige, denne kaldes materien, den anden er dem som ikke besidder disse egen-skaber; disse kaldes imponderable. Kræfter er altså:

"Uforgængelige, Wandelbare og imponderable objekter."

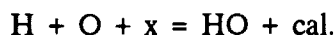
(Mayer 1842, s 234)

Mayer siger at årsager består i form af materie og energi, som ikke kan konverteres til hinanden, altså masse kan ikke forgå og genopstå som energi eller omvendt; formålet må nu være klart: at give disse umålbare "objekter" (energier) en vejbar (målbar) betegnelse.

Eksempel på en årsag-virkning proces:

I det følgende eksemplificeres at materie og kraft kun kan konverteres til hhv materie og kraft.

Ved reaktionen $H + O = HO$ fåes vand (hvis reaktionen afstemmes, hvilket den ikke er i teksten). Udover vand skabes også varme, eller calorique, denne varme må ifølge ovenstående have en årsag x, ligningen bliver således:



Mayer forklarer, at det er umiddelbart nærliggende at sætte årsagen $x =$ virkningen cal., men hvorfor ikke $H + O = cal.$ og $x = HO$, hvorved ovenstående ligning også formelt lader sig gøre. Phlogistikere genkender sammenligningen $x = cal.$ og kalder den phlogiston. Phlogistikere forvikler sig dog alligevel i fejltagtheder idet de sætter $O = -x^1$, hvilket fx giver:



Kemiens rolle er, ifølge Mayer, at udvikle ligninger til beskrivelse af de årsagssammenhænge der finder sted materier imellem. Kemi lærer os at en materiel årsag har en material

¹ Mayer hentyder formodentlig til at phlogistonteoretikerne ved en forbrænding af et stof får et nyt stof plus phlogiston, hvorfor phlogiston i nævnte proces må svare til minus O. Det kan nævnes at netop Brint H af nogle phlogistikere er identificeret som phlogiston i sig reneste form (se kap 1)(Norrild 1990).

virkning, og således må det også gælde, at med en kraft som årsag, kan forventes en virkning i form af kraft.

Hvilket, med udgangspunkt i ovenstående kemiske proces, må skulle forstås således, at man til den x svarende energiårsag, skal genfinde den energi-ækvivalente virkning i den udviklede varme; tilsvarende finder man at massen af $H + O$ er ækvivalent med massen af det "Mayerske" vandmolekyle HO .

Da $c = e$ og $e = c$, vil det være naturstridigt at kraft overføres til anden virkning end kraft i en anden form, idet det vil være, at blande begreberne sammen.

Man vil derfor, som i eksemplet fra før, ikke være istand til at sætte $O = -x$.

Generelle eksempler der skal klarlægge begreberne kraft og egenskab:

En årsag der bevirker et løft af en masse er en kraft, virkningen, den løftede masse, er derfor også en kraft. Generelt kan det formuleres: En rumlig ændring af ponderable objekter skyldes kraft. Da den løftede genstands kraft kan bevirke genstandens fald, kaldes denne faldkraft. Faldkraften og selve genstandens fald hedder således generelt faldkraft og bevægelse (Fallkraft & Bewegung). (Altså hvad der i dag svarer til hhv potentiel og kinetisk energi). Disse forholder sig altså som årsag og virkning, dvs som forskellige kræfter der kan konverteres indbyrdes.

Betragter man en genstands masse som årsag til dennes fald menes en tyngdekraft (i Newtons forstand) og man bringer således forvirring i begreberne kraft og masse². For alle kræfter, på den pågældende masse, skal gælde, at de både er uforgængelige og indbyrdes konvertible og det samme skal gælde for enhver egenskab (masse). Derfor lader det sig ikke gøre at opstille de nødvendige ligninger for årsagsforhold mellem kraft og egenskab (bevægelse og masse). Kalder man nemlig masse for kraft tænker man på en årsag der skaber en virkning, hvilket vil give en forkert forestilling om "tingenes" sammenhæng, da en genstands fald ikke alene kan tilskrives genstandens masse ligesom den ikke alene kan tilskrives genstandens løftede position.

Mayer mener altså, at kraft og egenskab hænger uadskilleligt sammen og ikke er noget hver for sig og gentager at kraft og masse ikke kan konverteres indbyrdes.

Definition af udtryk for faldkraft og bevægelse:

Her udleder Mayer de udtryk der skal gøre de ellers "ubekendte uopklarede og hypotetiske" kræfter målbare.

Artiklen fortsætter og Mayer forklarer, at det for mekanikken gælder om at udvikle de ligninger, der beskriver overgangene mellem bevægelse og faldkraft, faldkraft og bevægelse samt de ligninger der beskriver selve bevægelsen.

² Den forvirring af begreberne Mayer søger at gøre opmærksom på, skal snarere ses som hans personlige forvirring af Newtons tyngdekraft og den potentielle energi af en løftet masse. I Mayers argumentation adskilles masse og kraft som årsager, hvorfor det formodentlig falder ham svært sammenlægge masse og tyngdekraft (Schwerkraft). Istedet virker det som om at tyngdeaccelerationen g , der kun nævnes denne ene gang, implicit virker i løftet d (se udledning af faldkraft og bevægelse næste afsnit).

Faldkraftens størrelse står i lige forhold med (dvs er lig/proportional med) produktet af objektets masse og den afstand d objektet er hævet over jorden.

$$v = md$$

Hvis løftet $d = 1$ af massen m svarer til den sluthastighed c der opnås ved genstandens fald, så gælder også at: $v = mc$. Når den bekendte relation mellem c og d (der hentydes sandsynligvis til bevarelse af den levende kraft) benyttes, gælder også for andre værdier af c og d at mc^2 er målet for kraften v , hvilket formelt giver:

$$v = md = mc^2$$

Loven om "Erhaltung lebendiger Kräfte" i dette generelle princip ligger i årsagernes ufor-gængelighed.

En mangel i Mayers matematiske kundskaber kommer her meget overbevisende til udtryk, men skal man prøve at forstå ræsonnementet kunne det tænkes han tog udgangspunkt i $1/2mc^2 = mgd$ (hvor d er den maksimale højde og c er sluthastigheden), så bort fra den halve og ignorerede g , som han alligevel, i ovenstående, har implicit i afstanden d , så har man faktisk $d = c^2$.

Varme som virkning af opbrugt bevægelse:

Gennem tankeeksperimenter og erfaringer gøres rede for at varme og bevægelse kan konverteres til hinanden, som det er tilfældet for bevægelse og faldkraft.

Mayer fortsætter med at det i utallige situationer ses, at en bevægelse ophører uden at det øjensynligt frembringer en anden kraft og uden en kompenserende masseforøgelse.

Hvis Mayer havde observeret en kompenserende masseforøgelse havde det dog også modbevist hans hypotese omkring materiens ukonverterbarhed med energien, samt princippet om massens bevarelse, hvorfor kommentaren virker fejlplaceret.

Det må dog, ifølge Mayer, stadig gælde at ingen én gang eksisterende kraft kan forsvinde; spørgsmålet er bare i hvilken anden form end faldkraft og bevægelse en erstatning kan fremkomme. Kun erfaring kan give dette svar.

For at udføre nyttige eksperimenter til dette formål må man vælge "værktøj", der ud over at være istand til at standse en bevægelse skal sørge for at det undersøgte objekt udsættes for så lille en forandring som muligt. Gnider man fx to metalplader mod hinanden opbruger man bevægelse, derimod viser der sig varme og spørgsmålet er så om bevægelse er årsag til varme. For at sikre sig at en sådan relation virkelig er tilstede, kan man undersøge om ikke der ved alle de utallige hændelser, hvor bevægelse opbruges, opstår varme, om forbrug af bevægelse har andre virkninger end varmeproduktion og om varmeproduktion har andre årsager end bevægelse.

Mayer skriver at et seriøst forsøg på at eftervise virkningen af en ophørt bevægelse indtil nu (1842) aldrig er foretaget.

Han antager nu at en vis mængde bevægelse v benyttes til at gnide materien m , således at tilstanden n opstår, så må $m + v = n$ og $n = m + v$. Den reversible proces n til m må altså i en eller anden form kunne tilbagebringe kraften v . Gennem lang tids gnidning af de to metalplader har man opbrugt en stor mængde bevægelse;

Mayer spørger så om man derefter kan genfinde en tilsvarende mængde kraft i metalstøvet. Bevægelsesmængden kan som bekendt ikke forsvinde og modsat kan man heller ikke sætte positiv og negativ bevægelse lig 0.

Uden at anerkende årsagssammenhænge mellem bevægelse og varme, lader hverken den "forsvundne" mængde bevægelse ej heller den opståede varme sig forklare! Heller ikke den af gnidningen formindskede volumen kan forklare fænomenerne.

Som bekendt, fortsætter Mayer, kan man ved gnidning af to stykker is i et lufttomt rum forårsage isens smeltning³ og så kan man jo prøve om man ved pålægning af stort tryk vil opleve det samme. Som forfatteren har erfaret kan man gentagne gange opnå temperaturforøgelse ved at ryste vand i en beholder, der opstår ligeledes en volumenforøgelse, hvilket også peger hen imod at varme er virkningen af bevægelse.

Det er nu afgjort at når bevægelse forgår, kan man i mange tilfælde, ikke finde andre virkninger end varme og for den opståede varme ikke kan finde anden årsag end bevægelse; ligesom når kemikeren uden videre lader $H + O$ forsvinde og lader vand være disses tilsvarende.

Termodynamiske overvejelser til beregning af varmens mekaniske ækvivalent:

Den naturlige sammenhæng mellem faldkraft, bevægelse og varme kan man, ifølge Mayer, anskue på følgende måde: Ved fortætning af små massedele opstår varme, hvilket også må gælde for store masser. Ved nedsækning af en genstand (formentlig i vand) sker en reel volumenformindskelse af jorden (jorden som helhed!), denne formindskelse må stå i forbindelse med den derfra sivende varme. Denne varmemængde må være direkte proportional med objektets størrelse og afstande (indre); og ved denne betragtning ledes man ganske enkelt til den forventede lighed mellem faldkraft, bevægelse og varme.

Formelt vil det se således ud: $\Delta Q = \alpha \Delta T$, hvilket svarer til $\Delta V = \beta \Delta T$ under konstant tryk, hvor α (varmekapacitet) og β er konstanter. Sidstnævnte er identisk med både idealgasligningen og ligningen for rumudvidelse af faste stoffer og væsker; naturligvis med forskellige værdier af α . Dette bruges så tilsidst i artiklen til udregning af konverteringskoefficienter. Det der antydes, uden at det postuleres, ligner en erkendelse af dynamisk varmeteori, hvor netop Davy må betegnes som absolut pioner.

Mayer forklarer at lige som man kan sige om sammenhængen mellem bevægelse og faldkraft, at faldkraftens væsen er bevægelse, kan man sige om varmes tilsvarende⁴. Omvendt er det mere interessant om det, at blive varme betyder at bevægelsen må ophøre at være bevægelse. Hvis faldkraft og bevægelse kan blive varme må det modsatte også kunne være tilfældet. Derfor, når varme som virkning opstår af sammenpresning eller bevægelsesforbrug, så må varme forsvinde som årsag til virkningerne bevægelse, volumenforøgelse og/eller forøgelse af faldkraft.

Eksempler på konverteringsprocesser mellem varme-faldkraft-bevægelse processer:

Vandværker leverer varme på bekostning af volumenformindskelse ved vandets fald, der så igen bringes til ro.

³ Der tænkes utvivlsomt på forsøg af Davy, se kap 1.

⁴ Mayer antyder altså at varme er bevægelse, som det blev sagt af Davy, hvem det som nævnt tyder på, han har haft kendskab til.

Dampmaskiner kan ved varmemeforbrug hæve masse. Med lokomotiver går varmen først til bevægelse af køretøjet for igen at blive omsat til varme i hjul og skinner.

Afslutningsvis ønsker Mayer at bestemme hvor højt en bestemt masse skal hæves over jorden, hvis dens faldkraft skal svare til en temperaturforøgelse fra 0 °c til 1 °C, for det første fordi en konverteringskoefficient må findes, men også for at vurdere hvor effektivt varme kan udnyttes.

Mayer finder (eller en anden!) at forholdet α_1/α_2 (varmekapacitet ved hhv konstant tryk og rumfang) for en monoatomar gasart er 1,421. Ligeledes finder han at en del hævet til højden 365 m, svarer til opvarmning af samme del vand 1°c. Mayers α_1 værdi er altså 3,65 J/g°c. I dag benyttes værdien $\alpha_1 = 4,18 \text{ J/g}^\circ\text{c}$ for vand ved 20 °c (g er massen i gram).

Til sammenligning, slutter Mayer, med de bedste dampmaskiner viser dette en ringe udnyttelsesgrad af den forbrugte varme.

Opsummering

Artiklen er disponeret således, at det overordnede budskab er formuleret i starten, hvorefter argumentationen følger slavisk og på en sådan vis, at er ikke levnes nogen tvivl omkring budskabets rigtighed. Afslutningsvis gøres rede for "tingenes" kvantitative sammenhænge.

Fra start opdeles årsager meget definitivt i kræfter og materie og sidstnævntes egenskaber. Ud fra dette er det så artiklens formål at formulere kræfters egenskaber, som det allerede er muligt med materiens og at gøre rede for alle årsagers generelle uforgængelighed og sammenhænge; *Causa aequat effectum*.

Den levende kraft defineres via fejlagtigheder som produktet af massen og kvadratet på hastigheden og faldkraften som produktet af massen og højden, hvor det gennem argumentationen og teksten i almindelighed kommer frem at han godt er klar over vigtigheden og eksistensen af tyngdeaccelerationen.

Via termodynamiske ræsonnementer og almen erfaring argumenteres for fald- og bevægelses-kraftens ækvivalens til fænomenet varme og Mayer opnår også ved sin rimelig konsistente og til en vis grad overbevisende kategorisering af årsager at indføre kemiske processer under princippet for energiens bevarelse.

Hele artiklen bærer tydeligt præg af personlig overbevisning vedrørende rigtigheden af princippet om energiens bevarelse, men også at den afgørende bevisførelse udelukkende ligger i personlige konklusioner. Disse mangler skyldes uden tvivl Mayers "sparsomme" fysiske og matematiske opdragelse.

Der findes dog i teksten visse indikatorer, der afspejler en form for filosofisk/naturfilosofisk tilhørsforhold. I denne forbindelse kan Mayers argumentation vedrørende materiel og ikke materiel årsag nævnes, som kan føres tilbage til Aristoteles. Ligeledes kan hans diskussionen vedrørende materiens meningsløshed uden tilstedeværelse af kraft og vice versa, sammenlignes med både Joule og Helmholtz' argumentationen om samme. Hvor Helmholtz' tilknytning til Kants "Metaphysische Anfangsgründe" ikke er uvæsentlig.

Derudover tager Mayer, som nævnt, udgangspunkt i loven om kausalitet, og tolker den som et grundlag for princippet om energiens bevarelse.

Mayers respekt for sine kolleger er ikke overvældende, specielt når det kommer til at referere til andres arbejder. Som det er nævnt i referatet er det påfaldende at Davy ikke nævnes i forbindelse med det af Mayer nævnte forsøg med is. Det ville ligeledes være nærliggende at tro, at Mayer havde et vist kendskab til Boyles og/eller Gay-Lussacs arbejder med tryk, volumen og temperaturforhold.

Kapitel 3



**Ludvig August Colding
(1815-1888)**

Ludvig August Colding

Colding blev født 13. juli 1815 på en gård ved Holbæk. Året efter, i 1816, ehvervede hans familie sig den beskedne gård Nygaard i Brøndbyøster sogn. Der tilbragte Colding resten af sin barndom.

Efter først at have uddannet sig som snedker, blev Colding i 1837 optaget på Polyteknisk Lærestalt, hvorfra han dimitterede som "Polyteknisk Kandidat" i mekanik 1841.

Fra 1841-1845 havde Colding forskellige småjobs, bla forfattede han nogle noter dækkende forskellige emner indenfor "mekanisk og kemisk fysik", han var også i en periode ansat som assistent og underviser på Polyteknisk Lærestalt. Det var i denne periode at hans vigtigste eksperimentelle arbejde med energibevarelsen foregik.

I 1845 blev han tilbudt og modtog stillingen som inspektør for vejene og broerne i København. Hans indkomst blev nu høj nok til at han kunne ægte sin ungdomskærlighed og kusine Henriette Louise Lange, som blev hans trofaste kone indtil hendes død 28 år senere. De fik fire sønner sammen.

I 1847 blev Colding udnævnt til vandinspektør for Københavns Kommune, en på det tidspunkt meget betydningsfuld stilling, da koleraen dengang hærgede i mange af de øvrige europæiske storbyer som følge af byernes generelle overbefolkning, dårlige vandtilførsels- og sanitære forhold.

Colding udarbejdede sammen med en gruppe, under ledelse af Ørsted, et forslag til hvad der kunne gøres for at afhjælpe Københavns presserende problem med mangelfulde gas- og vandforsyninger og miserable sanitære forhold. Forslaget vandt en førstepris i en international konkurrence. I 1851 blev han derfor gjort ansvarlig for at gennemføre en omlægning af det københavnske gas, vand og kloaksystem, udfra samme forslag.

Efter at have udført denne opgave blev han i 1857 udnævnt til stadsingeniør for København. En stilling som han passede mens han udførte adskillige konsulentopgaver i forbindelse med forbedringen af gas, vand og kloaksystemer i mange af de øvrige europæiske storbyer.

I 1864 blev Colding slået til ridder af Dannebrog, i 1869 blev han udnævnt til professor på Polyteknisk Lærestalt og i 1871 blev han, til sin store glæde, udnævnt til æresdoktor på universitetet i Edinburg, som en anerkendelse af hans arbejde med energibevarelsessætningen. Udnævnelsen skete samtidig med at også Joule blev udnævnt til æresdoktor på samme universitet, det var således første gang Joule og Colding mødte hinanden.

De sidste år af Coldings liv beskæftigede han sig hovedsagligt med meteorologi og oceanografi, han var bla aktiv i grundlæggelsen af meteorologisk institut.

Colding og "Principperne om Kræfternes Uforgængelighed"

Colding var ligesom Ørsted af meget religiøs natur. Han var allerede i 1840, altså under sin uddannelse, inde på sine tanker om energibevarelsen. Han blev ført til erkendelsen af nærmest religiøse overvejelser:

"For Coldings Vedkommende var Tankegangen den, at naar der var Naturlove til, og naar der var en Gud til, saa kunde de forskellige i Naturen virkende Kræfter ikke gaa til Spilde, de kunde kun være Udtryk for Guds Væsen, og derfor maatte de altid forblive uforandrede i Størrelse, selv om de antog forskellig Form" (Marstrand 1929, s.21)

Colding fik første gang ideen til "Principet for Kræfternes Uforgængelighed"¹, da han i 1839, assisterede sin lærer H.C. Ørsted i en række forsøg vedrørende sammenpresseligheden af væsker og gasser (Dahl 1972, s.xx). Han fattede den første ledende tanke ved at overveje "D'Alemberts Princip om de tabte Kræfter" (Colding 1849-1850, 1.art.). Colding overvejede i samråd med Ørsted at fremsætte ideen på det Nordiske Naturforskersmøde i 1840. Ørsted frarådede Colding dette og overtalte ham istedet til at vente, til han havde underbygget sine teorier eksperimentelt. Colding fulgte Ørsteds råd og fik ved Ørsteds hjælp skaffet midler til gennemførelse af en række eksperimenter til påvisning af sin teori.

Tre år senere, i 1843, indleverede Colding en beskrivelse af sine resultater i "det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab" i form af en artikel med titlen "Nogle Sætninger om Kræfterne".

I Videnskabernes Selskab indså man tilsyneladende ikke vigtigheden af Coldings resultater, i hvert fald blev "Nogle Sætninger om Kræfterne" ikke publiceret før i 1856, da Colding blev optaget som medlem i "det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab". Colding blev dog opmuntret til at fortsætte arbejdet med sine teorier og blev tildelt 200 Rigsdaler til dette formål.

I 1847 kunne Colding derfor mundtligt forelægge resultaterne af sit seneste arbejde på det Nordiske Naturforskersmøde, hvorefter resultaterne i 1849-1850 skriftligt blev offentliggjort i Videnskabernes Selskabs mødeberetning i form af artiklerne "Undersøgelse om de almindelige Naturkræfter og deres gjensidige Afhængighed og isærdeles om den ved visse faste Legemers Gnidning udviklede Varme" og "Om de almindelige Naturkræfter og deres gjensidige Afhængighed".

I artiklen "Om de almindelige Naturkræfter og deres gjensidige Afhængighed", som altså blev publiceret i 1850, er der i fodnoter referencer til både Mayer, Joule og Helmholtz. Colding følte sig dog i en lang periode overbevist om at det var ham der skulle have æren af at være den første til at have opdaget energiens bevarelse. Idet han mente at der var flere væsentlige fejl ved Mayers artikel (Dahl 1972, s.xxxi-xxxii).

Disse artikler og en række af andre offentliggjorte resultater og artikler, medførte at Colding i 1856 blev optaget i Videnskabernes Selskab, og i forbindelse med dette endelig fik publiceret artiklen "Nogle Sætninger om Kræfterne" fra 1843.

Colding betragtede selv sin indsats i forbindelse med erkendelsen af energiens bevarelse, som hans livs vigtigste videnskabelige indsats og på hans gravsten på Assistens Kirkegård lod hans fire sønner indhugge ordene "Naturens Kræfter er uforgængelige".

¹ "Kræfternes uforgængelighed" svarer til hvad der idag er kendt som "energiens bevarelse".

Om "Nogle Sætninger om Kræfterne"

Colding indledte artiklen med at redegøre og argumentere for følgende sætning:

"Naar en Kraft sandseligt forsvinder, da undergaaer den blot en Formforandring og bliver derpaa virksom under andre Former" (Colding 1856, s.4)

Colding var selv af den overbevisning at såfremt hans sætning var rigtig ville den "staae som et temmeligt forbindende Led imellem de bekjendte Sætninger om de forskellige Naturkræfter" (ibid, s.4).

- Resten af hans artikel kan opdeles i en teoridel, en beskrivelse af opstilling og princip, en forsøgs- og resultatbeskrivelse og til sidst en konklusion ud fra de opnåede resultater.

Teori

Colding opskrev ikke den tilgrundliggende teori formuleret som formler, som man måske ville forvente det idag, men istedet som en række af sætninger eller principper. Sætningerne/principperne vil i det nedenstående i så vidt omfang som muligt dels blive formuleret som Colding gjorde og dels blive formuleret i den form de kendes i idag.

- Om "luftformige legemer", dvs gasser, er den eneste sætning, Colding har at holde sig til, en sætning fremsat af franskmanden P.L. Dulong (1785-1838) som siger følgende:

"At lige Volumina af alle elastiske Fluider², tagne under samme Temperatur og Tryk, afgive eller optage den samme Mængde af absolut Varme, naar de compimeres eller udvides pludselig den samme Brøk af deres Volumen"

formuleret med den notation der bruges idag, må sætningen svare til følgende udtryk for arbejdet på en idealgas ved konstant tryk:

$$A_{\text{tilført}} = P(V_2 - V_1),$$

-hvor A er den tilførte mængde arbejde, P er trykket og V_1 og V_2 er gassens volumen henholdsvis før og efter sammenpresningen. Dulong's iagttagelse er altså, at for idealgasser er $A_{\text{tilført}}$ ikke afhængig af gassens art.

Colding nævner derefter at der også er lavet forsøg, hvor temperaturforøgelsen som følge af sammenpresning af henholdsvis væsker og faste legemer er blevet undersøgt.

For eksempel har Ørsted foretaget forsøg, der har vist hvor meget vands temperatur stiger afhængigt af en given trykstigning. Colding nævner også at C.L. Berthollet (1748-1822) har lavet forsøg hvor han først sammenpressede metalskiver i en prægemaskine og derefter konstaterede at temperaturen af metalskiven var steget.

Derefter fortsætter Colding med at nævne Rumfords kanonforsøg (se beskrivelse i kapitel

²Elastiske Fluider" er altså dels idealgas-lignende gasser, men altså også væsker som bla Ørsted eksperimenterede med at presse sammen.

1.). Rumfords måleresultater har til dels ligget til grund for en afhandling af *Haldat*³, hvis resultater Colding opremser:

"Han fandt:

1) naar ved eet og samme Metal Hastighed og Tryk forblive det samme, at der da udvikledes ligemeget Varme i ligestore Tider

2) at ved forskellige Metaller udviklede, under iøvrigt lige Omstændigheder, ulige Mængder af Varme, der i ingen Henseende rettede sig efter Metallets Tæthed

3) at Varmen voxer med Trykket, men, som det synes, i et stærkere Forhold end Trykket."

(Colding 1856, s.6)

ad 1). Sætning 1 er let at argumentere for, nu når det er almindeligt anerkendt at gnidningsvarmen, Q har samme størrelse som det udførte arbejde A , der fås således

$$Q_{\text{gnidning}} = A_{\text{gnidning}} = \mu \cdot N \cdot v \cdot t = \mu \cdot N \cdot s$$

hvor μ er gnidningskoefficienten mellem det pågældende legeme og det materiale det grides mod, N , normalkraften svarer det i 1) nævnte tryk, det må altså være givet som massen af legemet multipliceret med tyngdeaccelerationen og evt adderet med en udefra påført kraft, v er hastigheden, t er tidsrummet og s er den samlede tilbagelagte strækning.

Hvis Haldat har givet nogen form for argumentation for 1) må den dog have set noget anderledes ud, da den i det ovenstående benyttede sætning først blev formuleret senere.

Colding var tilsyneladende ikke på forhånd helt overbevist om hvorvidt størrelsen af hastigheden har en betydning eller ej. I hvert fald føler han i slutningen af artiklen anledning til at redegøre for nogle undersøgelser han har lavet, som har overbevist ham om at hastigheden ingen betydning har, fordi vejlængden forbliver den samme

ad 2). Forskellige metaller har forskellige varmfylder, disse varmfylder afhænger ikke af de pågældende metaller massefylder. I første halvdel af det 19. århundrede var der iøvrigt flere forskellige, der beskæftigede sig med at bestemme konverteringskoefficienter, fx Carnot og Séguin.

ad 3). At den udviklede gnidningsvarme vokser med trykket, ses af udtrykket nævnt i ad 1), det ses dog også at gnidningsvarmen vokser proportionalt med trykket og ikke "i et stærkere Forhold end Trykket" som det er nævnt i 3)

Colding mente dog ikke at disse tildels beviste, tildels formodede lovmæssigheder var tilstrækkelige til at argumentere for fornuftigheden af den af ham foreslåede sætning, han lavede derfor, opmuntret af Ørsted, et forsøg og undersøgte derved sagen selv. Colding mente dog, i al beskedenhed, at forsøget kun kunne betragtes som foreløbigt.

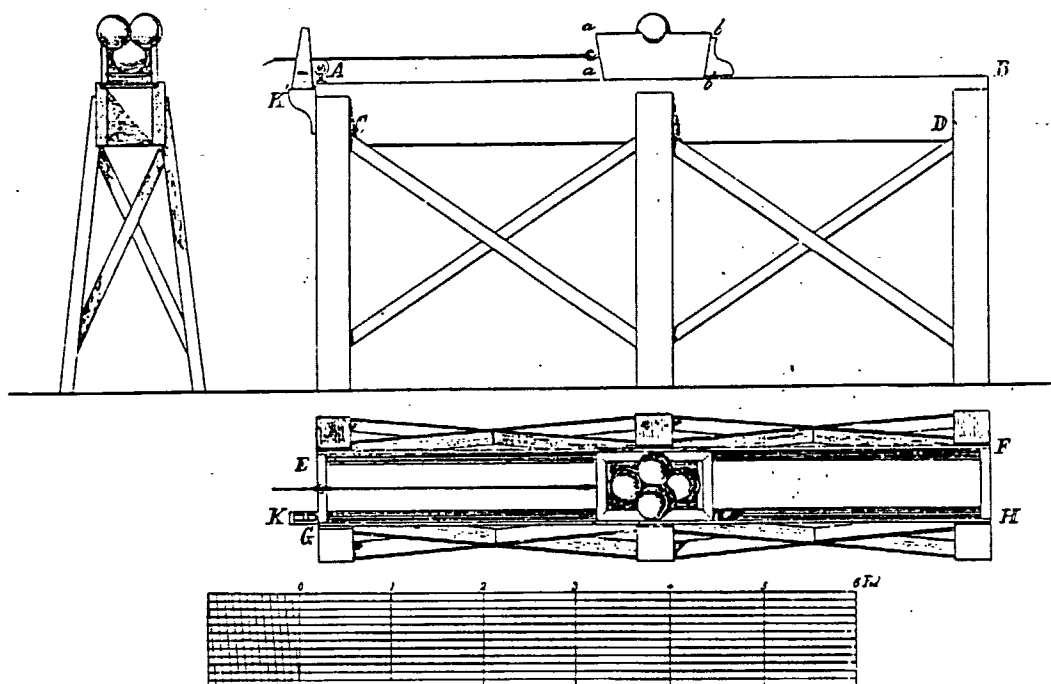
³ Colding opgiver ingen yderligere referencer.

Beskrivelse af opstilling og princip

Colding benyttede et apparat svarende til et som C.A.Coulomb (1736-1806) tidligere havde benyttet til at undersøge friktion.(se fig 1.)

Princippet i forsøget er følgende:

En slæde med meder af det materiale, man vil undersøge, belæsses med forskellige byrder og trækkes med konstant kraft henover nogle skinner, størrelsen af den derved fremkomne gnidningsvarme kan så måles, idet den vil være proportional med længdeudvidelsen i skinnerne.



Figur 1: Coldings forsøgsopstilling.

(Colding, 1856)

Skinnerne på banen er lavet af glødet messing, de er fastspændte i B, men kan som følge af en temperaturstigning frit udvide sig i A.

Længdeudvidelsen af skinnerne målte Colding med en meget fintfølede, såkaldt følevægtstang. Følevægtstangen havde en drejeskive, hvorpå udvidelsen af skinnen blev afbildet som vinkelgrader. Colding regnede ud fra sit kendskab til messings udvidelseskoefficient ud, at en vinkelgrad på følevægtstangen måtte svare til ca $0,5^{\circ}\text{C}$.

Slædens meder var udskiftelige, Colding lavede forsøg med meder af messing, af zink, af bly, af lindetræ, af lindetræ beklædt med flonel og endelig af jern. Han forklarede i den anledning at både skinnerne og mederne var isoleret fra resten af opstillingen med "tykke slebne Glasplader indlagte i en Blanding af Terpentin og Harpix", sådan at stort set al den

fremkomne gnidningsvarme ville blive absorberet i mederne og skinnerne.

Slæden blev belæsset med forskellige mængder af kanonkugler, der hver vejede 12 pund. Colding holdt kraften hvormed han trak slæden konstant i hvert af forsøgene. Trækkraften blev målt med et såkaldt dynamometer. Han tilstræbte at holde en konstant hastighed gennem alle forsøgene, på ca 2 fod i sekundet. I slutningen af artiklen gjorde han dog opmærksom på at varmeudviklingen tilsyneladende ikke afhænger af hastigheden, men kun af den strækning slæden har bevæget sig, hvilket da også stemmer overens med den nutidige forståelse af gnidningsvarme.

Til sidst opremsede Colding en række af foranstaltninger han havde foretaget for at minimere usikkerheden på forsøgene, bla nævnte han at alle forsøgene var blevet foretaget tidligt om morgenen, hvor lufttemperaturen ifølge Colding er nogenlunde konstant.

Forsøgs- og resultatbeskrivelse

Colding lavede først en meget grundig forsøgsrække, hvor både skinnerne og slædens meder var af messing men hvor slæden var belæsset med tre forskellige antal kugler:

Først lavede han 32 forsøg, hvor slæden var belæsset med 7 kanonkugler, sådan at den samlede masse af slæde med kanonkugler var 88,75 pund. Trækkraften var i dette forsøg 30,3 pund⁴.

Dernæst lavede han 50 forsøg, hvor slæden var belæsset med 4 kanonkugler, sådan at den samlede masse var 53,5 pund, og hvor trækkraften var 19,7 pund.

Til sidst lavede han 56 forsøg, hvor slæden var belæsset med 2 kanonkugler, sådan at den samlede masse var 31 pund, og hvor trækkraften var 11 pund.

Colding fik gode resultater ved denne forsøgsrække, idet resultaterne viste at den i skinnen afsatte varme er proportional med størrelsen af trækkraften, -og i sin begejstrings overmod var han langt mindre omhyggelig i alle de efterfølgende forsøgsrækker.

Den førstfølgende forsøgsrække, hvor slædens meder var lavet af zink og skinnerne, som i alle forsøgene, var lavet af messing, bestod således kun af 5 forsøg, hvor slæden var belæsset med 4 kugler og 10 forsøg hvor slæden var belæsset med 2 kugler.

Efter også at have lavet forsøg med blymeder, meder af lindetræ, meder af lindetræ belagt med flonel og meder af jern samlede Colding sine resultater i følgende skema:

⁴ 30,3 pund svarer til ca 150 N.

De forskellige Materialers Navne, hvormed Slædens Meder have været belagte.	Frictionen udtrykt i Pund.	Udvidelsen af en af Skinnerne paa Banen, frembragt ved Frictionsvarmen. Udvidelsen, svarende til 1° Flytning af Følevægtstangen betragtes her som Eenhed.
Glødet Messing	30,3	2,00
Zink	19,7	1,32
	11,0	0,72
	20,3	1,50
Bly	13,7	0,86
	26,8	1,63
Lindetræ	19,5	1,27
Lindetræ omviklet med Flonel	18,5	1,20
Jern	15,75	1,13
	19,2	1,30

Tabel 1: Coldings forsøgsresultater.

(Colding 1856, s.16)

Ved at dividere alle friktionerne med de 11,0 pund, som var friktionen, eller trækraften i det forsøg, hvor slæden var belæsset med 2 kanonkugler og mederne var af messing, fås de forholdsmæssige størrelser for friktionerne:

$$\frac{\text{For Messing}}{2,75 : 1,79 : 1} : \frac{\text{Zink}}{1,84^* : 1,24} : \frac{\text{Bly}}{2,44^* : 1,77} : \frac{\text{Lind}}{1,68} : \frac{\text{Flonel}}{1,43^*} : \frac{\text{Jern}}{1,74}$$

Tabel 2: Coldings tabel, de med * markerede tal, er beregnet som gennemsnit af meget få forsøgsdata, hvilket Colding tager forbehold for.

(Colding 1856, s.17)

Ved tilsvarende at dividere alle udvidelserne med de 0,72° der var målet for den udvidelse der fremkom i forsøget med messingmeder og 2 kanonkugler fås de forholdsmæssige størrelser for udvidelserne:

$$\frac{\text{For Messing}}{2,77 : 1,83 : 1} : \frac{\text{Zink}}{2,09 : 1,20} : \frac{\text{Bly}}{2,26 : 1,76} : \frac{\text{Lind}}{1,66} : \frac{\text{Flonel}}{1,57} : \frac{\text{Jern}}{1,80}$$

Tabel 3: Coldings tabel.

(Colding 1856, s.17)

Konklusion

Som det ses passer de forholdsmæssige tal fra tabel 2 og 3 rimeligt godt sammen, de steder hvor de ikke gør det (mærket med en stjerne i figur 3.), forklarede Colding som bundende i stor usikkerhed på grund af for få måleresultater. Coldings konkluderede derfor:

"(...) Man maa være berettiget til at slutte, at de frembragte Varmemængder i alle disse Tilfælde forholde sig som de tabte bevægende Kræfter" (Colding 1856, s.17)

Colding var af den opfattelse at hans forsøg sammenholdt med forsøg fortaget af andre "meget tilfredsstillende synes at stadfæste hiin Sætning om tabte bevægende Kræfter, som jeg i Begyndelsen af denne Afhandling har fremsat".

Han følte sig derfor overbevist om at mere nøjagtige forsøg "paa det Fuldkomneste ville udvise denne Sætnings Rigtighed". (Colding 1856, s.19)

Colding mente ikke at hans sætning kun var gyldig for transformationen fra gnidningsarbejde til varme, men at man kunne antage den som værende alment gældende for alle "kræfter".

Han mente også at man kun kan føre et sandt bevis for umuligheden af evighedsmaskinen ved at acceptere og benytte en sætning svarende til den vi idag kender som energibevarelses-sætningen. Hvilket han giver følgende argument for:

"Tænker man sig nemlig en bevægende Kraft anvendt paa en ret fordeelagtig Maade paa en Saadan Maskine, saa erholdes derved ikke alene en vis Bevægelsesmængde, men der fremkommer tillige andre virksomme Kræfter, saasom Electricitet, Varme o.s.v.; men dersom man nu havde indrettet det Hele saaledes, at ogsaa disse Kræfter kunde opsamles og benyttes ret fordeelagtigt til at frembringe Bevægelse, saa spørges om den, paa saadan Maade erholdte Virkning ikke vilde være istand til at frembringe en større Virkning end den oprindelige Kraft. Her er der da aabenbart ligesaastor Grund til at forvente en større som en mindre Virkning, naar man ikke vil antage, at netop den samme derved vilde fremkomme, og man seer saaledes, at om man ikke tør antage den fremsatte Sætning som rigtig, saa tør man heller ikke afgjøre, om det nogensinde vil lykkes at construere et Perpetuum Mobile" (ibid, s.19-20)

Det skal lige bemærkes at Colding faktisk kun viste at størrelsen af arbejdet var proportionalt med den mængde energi, der blev afsat som varme i skinnerne. Han viste ikke at størrelsen af arbejdet også ganske nøje svarer til den mængde energi der er afsat som varme i skinnerne. Dette sidste antager han dog alligevel og benytter i ovenstående argument for umuligheden af evighedsmaskinen

Opsummering

Colding fremsatte altså ideen om at når der bliver udført noget arbejde på et system, går energien af dette ikke tabt, men bliver i stedet omdannet til energi i en anden form. For at underbygge denne sætning lavede han forsøg med en slæde, der blev trukket hen over nogle skinner, han viste at arbejdet brugt til at trække slæden er proportionalt med den varmemængde der blev tilført skinnerne.

Modtagelsen af "Nogle Sætninger om Kræfterne"

En komité bestående af H.C. Ørsted (1777-1851), Chr. Ramus (1806-1856) og J.C. Hoffmann (1799-1874), blev omkring årsskiftet 1843-1844, af Videnskabernes Selskab, sat til at vurdere og kommentere indholdet af "Nogle Sætninger om Kræfterne".

Ørsted påpegede at da Colding var en af hans tidligere elever og da Ørsted selv havde hjulpet Colding med nogle af de problemer der opstod undervejs, var han måske ikke den rette til at vurdere indholdet af artiklen, han så det dog alligevel som sin pligt at gøre det.

Ørsted mente at Coldings idé om energibevarelse skulle formuleres mere præcist end den var i Coldings artikel, og at hans eksperimenter var en god begyndelse, men at der også burde arbejdes videre med dem. Derfor foreslog Ørsted at "Videnskabernes Akademi" bevilgede støtte til fortsættelse af eksperimenterne.

Ramus og Hoffmann redegjorde ligeledes for at Coldings arbejde var så tilfredsstillende som det kunne være, hans udstyr taget i betragtning. Der blev derfor bevilget 200 Rigsdaler til videreførelse af eksperimenterne.

Ud fra især Ørsteds og Ramus kommentar lader det til at de forveksler Coldings brug af ordet "kræfter", med de traditionelle newtonske kræfter. Ørsted skriver således;

"Hvor han taler om tabte Kræfter, synes det mig, at han ene derved burde forstaa saadanne, som forsvinder derved, at de ophæves af modsatte; thi ellers synes det mig, at man kan paastaa, at ingen mekanisk Kraft tabes."

(Marstrand 1929, s.23)

Hvorefter Ramus i sin kommentar skriver;

"Hvad Udtrykket "tabte Kræfter" angaaer, ser jeg, at Forfatteren tager det i samme Betydning, hvori det forekommer i Mechanikken f. Ex. ved d'Alembert's Princip for Ligevægt af Systemet af tabte Kræfter (forces perdues), ..." (Marstrand 1929, s.24)

Det nyskabende i Coldings artikel blev altså ikke umiddelbart erkendt og artiklen blev derfor ikke straks publiceret. Snarere ser det ud til at det videnskabelige samfund, her repræsenteret af Ørsted, Ramus og Hoffmann ikke umiddelbart kunne se vigtigheden af Coldings arbejde. I hvert fald blev der ikke sat andre kræfter end Coldings ind på at få bekræftet opdagelsen endeligt. En årsag til at artiklen ikke umiddelbart blev publiceret, kan også være at Ørsted, Ramus og Hoffmann i deres mangeårige videnskabelige indsats, selv havde haft dårlige erfaringer med at publicere dårligt dokumenterede resultater. Ørsted havde således engang i hans unge dage i Frankrig præsenteret en række opdagelser som hans ven, den tyske kemiker J.W. Ritter havde foretaget. Det var dog ikke alle opdagelser der var ordentligt dokumenterede, -én var ovenikøbet direkte fejlagtig, hvilket blev meget pinligt for den på det tidspunkt unge Ørsted (Billeskov Jansen et al 1987, s.61).

Coldings videre arbejde med "Princippet om Kræfternes Uforgængelighed"

Colding fortsatte sine forsøg efter at have modtaget bevillingen.

Efter nogle år, fik Colding i 1849-1850 optaget artiklen "Undersøgelse om de almindelige Naturkræfter og deres gjensidige Afhængighed og isærdeles om den ved visse faste Legemers Gnidning udviklede Varme" i "Videnskabernes Selskabs Skrifter". Artiklen omhandlede det

· samme som "Nogle Sætninger om Kræfterne", men Colding havde erhvervet sig noget bedre forsøgsudstyr, og de i artiklen fremsatte påstande var derfor langt bedre underbyggede.

Artiklen kan ligesom "Nogle Sætninger om Kræfterne" deles op i en teoridel, en principbeskrivelse, en beskrivelse af opstillingen, en forsøgs og resultatbeskrivelse og en konklusion.

I denne artikel kalder Colding flere steder energi for "Virksomheder" i stedet for ordet "Kræfter" som han brugte i hans første artikel. Han er dog ikke konsekvent i sin sprogbrug. At han netop vælger ordet virksomhed er kuriøst, da dette er den danske oversættelse af det græske ord "energeia", som ordet energi senere blev afledt af.

Teori

Teoridelen kan ses som en udbygning af teoridelen i "Nogle Sætninger om Kræfterne", mange af de resultater som Colding nævnte som kun eksperimentelt beviste i "Nogle Sætninger om Kræfterne", havde han i mellemtiden set mere formelle argumenter for.

Colding indleder teoridelen med kort at nævne et bevis han har set for Dulong's regel (se tidligere teori-afsnit). Beviset har han set i afhandlingen "Ueber die bewegende Kraft der Wärme" af Clapeyron. Afhandlingen skulle ifølge Colding være baseret på den af Carnot fremsatte grundsætning; "at det ville være en Urimelighed at antage, at man kan frembringe bevægende Kraft eller Varme af Intet", (Colding 1849-50).

Clapeyron søgte en forbindelse mellem den "virksomhedsmængde" der er tilstede i en vis varmemængde og den mekaniske virksomhed der kan komme på grund af varmemængden. Clapeyron kom, efter at have opstillet og behandlet en række differentiaalligninger, frem til adskillige formler, derunder den som Dulong havde vist ved forsøg.

Colding nævner flere andre, der har gjort overvejelser af interesse for hans arbejde. Fx Hess, der er

"-Gjennemtrængt af den Tanke, at de Varmemængder, som udvikles ved kemiske Stoffers Forening, maae kunne tjene som Maal for det kemiske Slægtskab."

(ibid)

Hess fremsatte på dette grundlag følgende sætning:

"At Varmemængden, som kemiske Stoffer ved deres Forening kunne frembringe, er en, ved Stofferne betinget, bestemt størrelse, der er uafhængig af Tiden og Maaden, hvorunder den foregaaer; den bliver i Størrelse sig selv lig, enten Foreningen sker på en gang pludselig, eller den foretages efterhaanden"

(ibid)

-En sætning der ifølge Colding både er interessant i teknisk og videnskabelig henseende. Colding forklarer derefter at M.H. Jacobi har beskæftiget sig med elektromagnetens virkning som bevægende kraft, sammenlignet med damp's bevægende kraft i fx dampmaskiner. Colding henviser efter det til en artikel af Faraday fra 1846 hvor denne skriver:

"-At han i lang Tid, formodentlig med mange andre Venner af Naturvidenskaben har næret den til Overbeviisning grændsende mening, at de forskjellige Former, -under hvilke Materiens Kræfter fremtræde, have et fælleds Udspring, eller, med andre Ord, staae saaledes i directe Sammenhæng og gjensidig Afhængighed, at de ligesom kunne blive forvandlede fra den ene til den anden, og da virke som æquivalente Kræfter"

Faraday skriver slutteligt:

"I den nyere Tid ere Beviserne for, at Kræfterne saaledes kunne omforandres, voxede betydeligt, og Begyndelsen er gjort til at bestemme deres æquivalente Kræfter."

(ibid)

Colding forklarer derefter at det klart ses at også Faraday leder efter en indre forbindelse mellem de forskellige naturkræfter.

Colding opremser derefter igen (se tidligere teori-afsnit) Haldats resultater byggende på Rumfords forsøg. Bequerel arbejdede videre på disse forsøg samt andre forsøg med friktion, og han fandt ud af, at størrelsen af den udviklede varme er proportional med trykket hvormed legemerne trykkes mod hinanden. Colding refererer desuden til Mariottes og Gay-Lussacs love for luftarters sammentrykkelighed under konstant temperatur og varmeudvidelse under konstant tryk.

Colding forklarer at han selv blev ledt til "Princippet om Kræfternes Uforgængelighed" ved at overveje "D'Alemberts Princip om de tabte Kræfter". Mens man med "de tabte Kræfter" kun mener de kræfter der går tabt for den tilsigtede virkning, sker der, forklarer Colding, overalt hvor der er gnidning til stede, en anden slags tab, nemlig et tab af "levende kræfter". Fx vil en genstand, der er blevet tilført en vis mængde "levende kraft", dvs kinetisk energi, efterhånden miste denne "kraft" på grund af gnidning. Colding mener dog at det ville være fornuftstridigt hvis "kraften" helt skulle kunne forsvinde og på det grundlag fremsætter han følgende sætning, som er den han vil bevise med sit forsøg:

"At Kræfterne, uden Undtagelse, kun undergaae en Formforandring, naar de synes at forsvinde, og fremtræde derpaa igjen som virkende Aarsager i samme Størrelse men i forandrede Former"

(ibid)

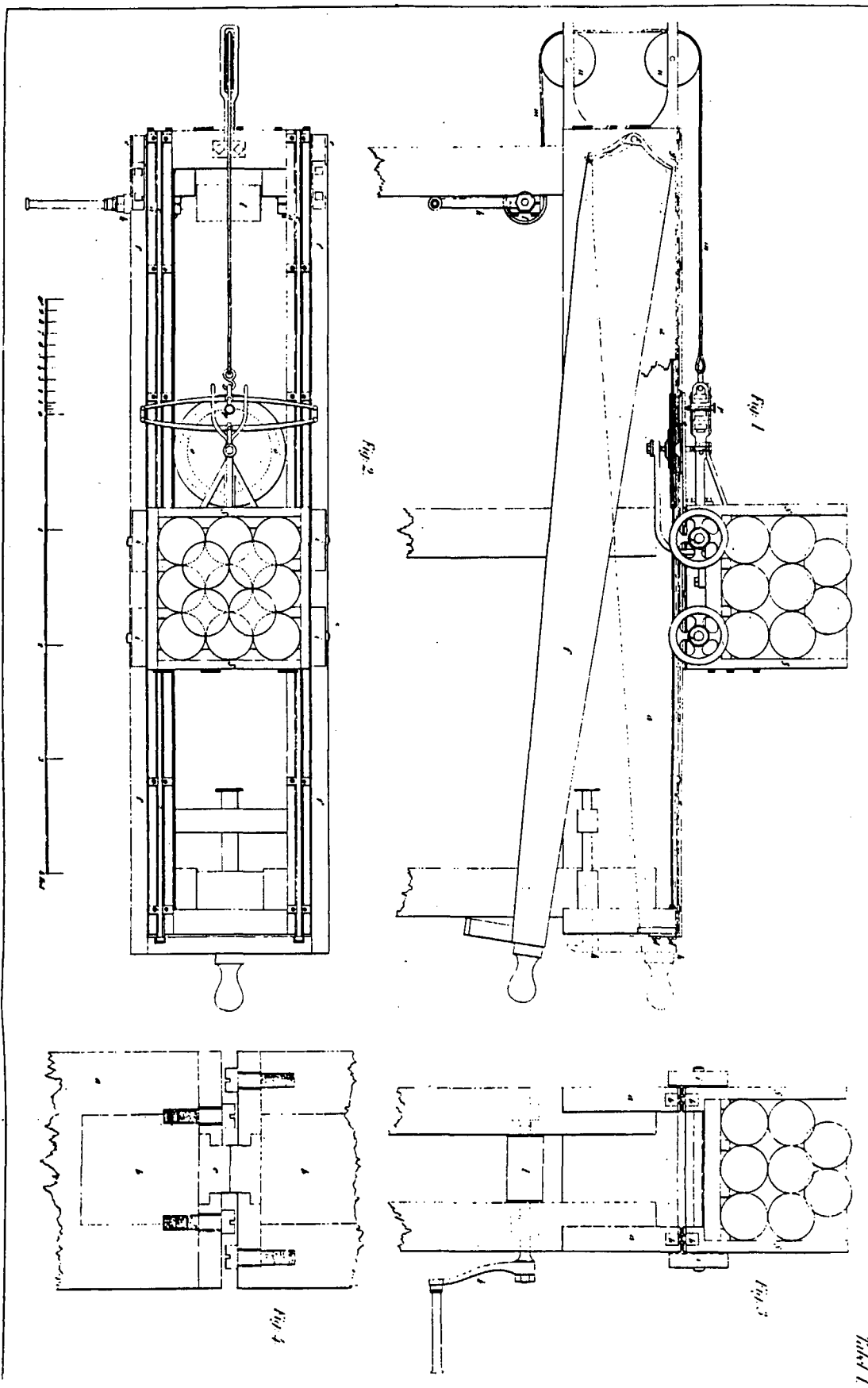
Hvis sætningen sammenlignes med den i "Nogle Sætninger..." fremførte, ses det at de to sætninger, på trods af lidt forskellige formuleringer, stort set rummer det samme. Hvilket kun forekommer rimeligt da Coldings formål med "Undersøgelse om de almindelige naturkræfter..." netop var at give bedre dokumentation for resultaterne fra hans tidligere artikel. Den eneste indholdsmæssige forskel der er mellem denne formulering og den fra "Nogle sætninger" er, at Colding her pointerer at størrelsen af kraften er den samme når den undergår en formforandring.

Principbeskrivelse

Coldings forsøg blev lavet udfra samme princip som hans tidligere forsøg: En slæde med forskellige belastninger trækkes hen over nogle skinner, den ved gnidningen fremkomne gnidningsvarme får skinnerne til at udvide sig, hvis det udførte gnidningsarbejde og udvidelsen af skinnerne måles og hvis varmeudvidelseskoefficienten af det materiale skinnerne og slædens meder består af kendes, kan forholdet mellem det udførte gnidningsarbejde og den i skinnerne afsatte gnidningsvarme beregnes.

Beskrivelse af opstillingen

Colding fik bygget et apparat hos en Hr. Mechanicus Poulsen, svarende til det han benyttede og beskrev i "Nogle Sætninger om Kræfterne", men i en langt kraftigere udgave. (Se figur 2).



Figur 2: Opstillingen brugt i "Undersøgelser om de almindelige Naturkræfter og .."

Apparatet består af et solidt egetræs-underlag der bærer to egetræsvanger, hvorpå stænger af det materiale hvis friktion og friktionsvarme der skal undersøges, anbringes. På stængerne glider en slæde, lastet med kanonkugler, slædens meder er ligeledes belagt med stænger af det materiale hvis friktion og friktionsvarme skal undersøges. Når stængerne varmes op som følge af friktionen, udvider de sig, og den tilførte varmemængde kan bestemmes. Længden af skinnerne var 4,11 "for" eller 1,29 m. Længden af mederne var alle ca 0,43 m.

Udvidelsen af stængerne måles med et såkaldt sphærometer og friktionen måles med et såkaldt "Morins Dynamometer med Dreieskive" svarende til et Morin har brugt til forsøg angående friktion.

På sphærometeret kunne Colding med rimelig nøjagtighed aflæse hvor meget skinnerne eller mederne havde udvidet sig. Sphærometeret har ligesom den følevægtstang han anvendte i sit tidligere forsøg, en drejeskive, hvorpå udvidelsen af skinnerne eller mederne kunne aflæses som grader.

Under den senere kalibrering af måleudstyret, blev Sphærometeret sammenlignet med et tilsvarende men mere nøjagtigt apparat som Polyteknisk Lærestanstalt havde. Colding konstaterede udfra sammenligningen hvad et udslag på hans sphærometer svarede til i forhold til en bestemt udvidelse og dermed en bestemt temperaturstigning af et givent materiale. Colding målte at 1 sfærometergrad svarede til en udvidelse på 0,0009112 mm.

"Morins Dynamometer med Dreieskive" ses tegnet på Coldings Fig:2, (figur 2). Dynamometeret er anbragt foran slæden med kanonkuglerne. Den tegnede skive drejer rundt under kørslen. I punktet P er der anbragt en stift. Hvis kraftpåvirkningen ved træk af slæden er 0, bliver der tegnet en cirkel svarende til den på tegningen inderste stiplede linie, hvis kraftpåvirkningen ved træk af slæden er positiv bliver kurvens radius dvs afstanden mellem skivens centrum og P større end radius i 0-cirklen. Da Colding lidt senere i artiklen beskriver kalibreringen af sit måleudstyr, finder han bla at forøgelsen af radius vokser ligefrem proportionalt med forøgelsen af trækkræften.

For ikke at forrykke skinnerne hvis udvidelse der måles på, trækkes slæden ligesom i forsøget i "Nogle Sætninger om Kræfterne" kun den ene vej (fra højre til venstre set på Fig:1 og Fig:2 under dette afsnits figur 2). Når slæden skal tilbage, kan den, ved hjælp af en dertil indrettet mekanisme, løftes op på hjul og forandret til en vogn ganske let køre tilbage.

Colding var ved hjælp af dynamometeret og den tilhørende drejeskive principielt i stand til at bestemme friktionen i ethvert punkt, temmelig nøjagtigt, dette blev dog for besværligt i praksis, istedet udregnede han nogle enkelte middelfriktioner udfra dynamometeret.

Forsøgsbeskrivelse

Colding fortsætter med at redegøre for hvilke foranstaltninger han foretog undervejs for at undgå for store usikkerheder og fejl. Bla har han overbevist sig selv om at der under forsøgene ikke kom nogen blivende strækning af skinnerne eller mederne, han giver dernæst følgende redegørelse for at der udvikles en lige så stor varmemængde i skinner som i meder.

"Thi gnider et Punkt af Slæden paa m Punkter af Banen, saa grides ogsaa dette ene Punkt af alle de m Punkter af Banen; det betragtede Punkt af Slæden maa altsaa derved erholde en Bevægelsesmængde lig den, som samtlige m Punkter af Banen erholder. Det er derfor ogsaa klart, at Varmegraderne, i Stænger af samme Metal

og Gjennemsnitsareal paa slæden og paa Banen, maae forholde sig omvendt som Længden af Stængerne"

Man kunne give et argument for det samme ud fra Newtons 3. lov; "Aktion er altid lige så stor som reaktion, men modsat rettet". Da slædens kraft på underlaget er af samme størrelse som underlagets kraft på slæden er gnidningsarbejdet, her afsat som varme, ens på skinner og meder.

$$F_{\text{meder}} \cdot l = F_{\text{skinner}} \cdot l$$

Da skinnernes rumfang er noget større end medernes rumfang, vil temperaturen af mederne blive højere end temperaturen af skinnerne, som Colding forklarer.

Hvis skinner og meder er af forskelligt materiale vil der stadig blive afsat lige meget varme i begge, der kan dog være forskel på varmfylderne, således at det ikke umiddelbart kan siges hvorvidt skinnerne eller mederne bliver varmest.

Til sidst, inden han præsenterer sine forsøgsresultater redegør Colding, som han også gjorde i "Nogle Sætninger om Kræfterne" for at hastigheden, slæden bliver trukket med, ikke har nogen indflydelse på den frembragte varmemængde.

Colding lavede ialt 17 forskellige forsøgsrækker for at bevise sin sætning. Resultaterne blev til slut samlet og er vist i tabel 4.

Spalte 1-5 forklarer sig selv.

ad 6) 1 pund svarer til 500 g.

ad 7) Det ses at Colding udtrykker friktionen i masse istedet for i kræfter. 1 friktionspund svarer til $9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 500 \text{ g} = 4,9 \text{ N}$.

Således svarer de 116 pund nævnt i øverste række til 568 N.

ad 8) Den tilbagelagte strækning var 4,11 Fod, det udførte arbejde er kraft vej. Colding måler det udførte arbejde i pund-fod, 1 pund-fod svarer til 1,52 J.

ad 9) 1 sfærometergrad svarer til en udvidelse af stangen på 0,0009112 mm.

ad 10) Massen af det opvarmede udtrykt i pund.

ad 11) Længdeudvidelseskoefficienten k_u er her givet som

$$\frac{\text{Samlet udvidelse}}{\text{samlet længde før udvidelsen} \cdot \text{temperaturforøgelsen målt i } ^\circ\text{C}}$$

ad 12) Den specifikke varme c er her givet som mængden af tilført varme pr temperaturstigning, hvor mængden af varme måles som den temperaturforøgelse den kunne have givet i et pund vand dvs $\Delta t \cdot 4,2(\text{J/g}^\circ\text{C}) \cdot 500 \text{ g} = \Delta t \cdot 2100 \text{ J}^\circ\text{C}$.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Forsøg- no. Komet.	Friction- stangen paa Slæden.	Friction- stangen paa Banen.	Det Legeme, hvorpaa Udvidel- sen er maalt.	Antal af For- søg, hvoraf Middeletallet af Sphæromet- tergraderne er bestemte.	Belastningen udtrykt i Pund.	Frictionen udtrykt i Pund.	Productet af Frictionen og det gennem- snitlige Rum i 98 Fed.	De ved Varme- udviklingen er- holdte Sphæro- metergrader.
1	Messing	Messing	Paa Banen	9	513	116,0	476,8	12,19
2	—	—	—	11	353	75,9	312	7,66
3	—	—	—	10	193	43,7	179,6	4,275
4	—	—	—	16	89	22,5	92,5	2,22
5	Zink	—	—	12	513	123,5	507,6	12,44
6	—	—	Paa Slæden	13	233	58,4	240,0	6,2
7	—	—	Paa Banen	4	233	58,4	240,0	5,63
8	—	Zink	—	6	513	120,7	496	16,46
9	—	—	—	10	353	75,9	312	10,91
10	—	—	—	19	89	22,4	92	3,22
11	Bly	Messing	—	3	197	106,0	435,7	11,16
12	—	—	—	2	197	123,4	507,2	13,00
13	Jern	—	—	3	353	58,1	238,8	6,67
14	—	—	Paa Slæden	5	353	58,1	238,8	3,90
15	Messing	—	Paa Banen	3	353	64,2	263,9	6,00
16	—	—	Paa Slæden	6	353	64,2	263,9	5,21
17	Bly	—	—	6	89	30,2	124,1	9,875

(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	Anmærkning.
Legtens uden Deel af Fric- tionstangen, hvorpaa Endringen er skævt, ud- trykt i Pund	Den benyttede Coefficient for Længde-Udvidel- sen for 1 Grad Celsius.	Stængens specifikke Varme.	Den ved Fric- tionens frembragte Temperatur- forøgelse.	Den i den betragtede Stæng frembragte Varmemængde. 1 Pund Vaad opvarmet 1° = Enheden	absorberet. beregnet.	
2,50	0,0000187	0,0939	0,46045	0,10809	0,101	Zinken i de anvendte Zinkstænger var saadan, som den gaar i Handelen; den var altsaa ikke reent. Ved samme Belastning for- øgedes Frictionen, efterat Stængerne paa Banen i Rid- serne vare blevne udfyldte af det afsatte Bly.
2,50	0,0000187	0,0939	0,28934	0,06792	0,066	
2,50	0,0000187	0,0939	0,16148	0,03791	0,038	
2,50	0,0000187	0,0939	0,08386	0,01969	0,019	
2,50	0,0000187	0,0939	0,46990	0,11031	0,107	
0,775	0,0000294	0,0927	0,58048	0,04170	0,051	
2,50	0,0000187	0,0939	0,21266	0,04992	0,051	
2,38	0,0000294	0,0927	0,39546	0,08725	0,105	
2,38	0,0000294	0,0927	0,26212	0,05783	0,066	
2,38	0,0000294	0,0927	0,07736	0,01707	0,019	
2,50	0,0000187	0,0939	0,42153	0,09896	0,092	
2,50	0,0000187	0,0939	0,49103	0,11523	0,107	
2,50	0,0000187	0,0939	0,25195	0,05914	0,050	
0,871	0,0000126	0,1100	0,64986	0,06226	0,050	
2,50	0,0000187	0,0939	0,22664	0,05320	0,055	
0,857	0,0000187	0,0939	0,57961	0,04664	0,055	
1,223	0,0000287	0,0293	0,71744	0,02571	0,026	

Tabel 4: se forklaring i teksten

(Colding 1849-50, 1.art)

ad 13) Temperaturforøgelsen kan beregnes som

$$\Delta t = \frac{\Delta L}{L \cdot k_u}$$

-hvor Δt er temperaturforøgelsen, ΔL er længdeudvidelsen, som kan beregne tallet i spalte 9) gange 0,0009112 mm, L er 1290 mm og k_u er længdeudvidelseskoefficienten.

ad 14) Den frembragte varme kan beregnes som massen af det opvarmede legeme gange den specifikke varme af legemet gange temperaturstigningen.

ad 15) Hvis der skal være energibevarelse skal den i 14) målte frembragte varme ækvivalere det udførte arbejde. Varmens mekaniske ækvivalent kan approksimeres som summen af alle værdierne i spalte 8) og dividere dette tal med 4 gange summen af alle tallene i spalte 14. Colding har beregnet varmens mekaniske ækvivalent til følgende:

$$(1 \text{ pund vand})_{\text{opvarmet } 1^\circ\text{C}} = (1185,4 \text{ pund})_{\text{hævet 1 fod}}$$

Værdierne i spalte 15 er derefter beregnet som

$$\frac{\text{Det udførte arbejde udtrykt i pundfod}}{4 \cdot 1185 \text{ pundfod}}$$

Hvis Coldings beregning af varmens mekaniske ækvivalent omregnes, ses det at han har beregnet vands varmfylde til at være 3,63 J/°C g.

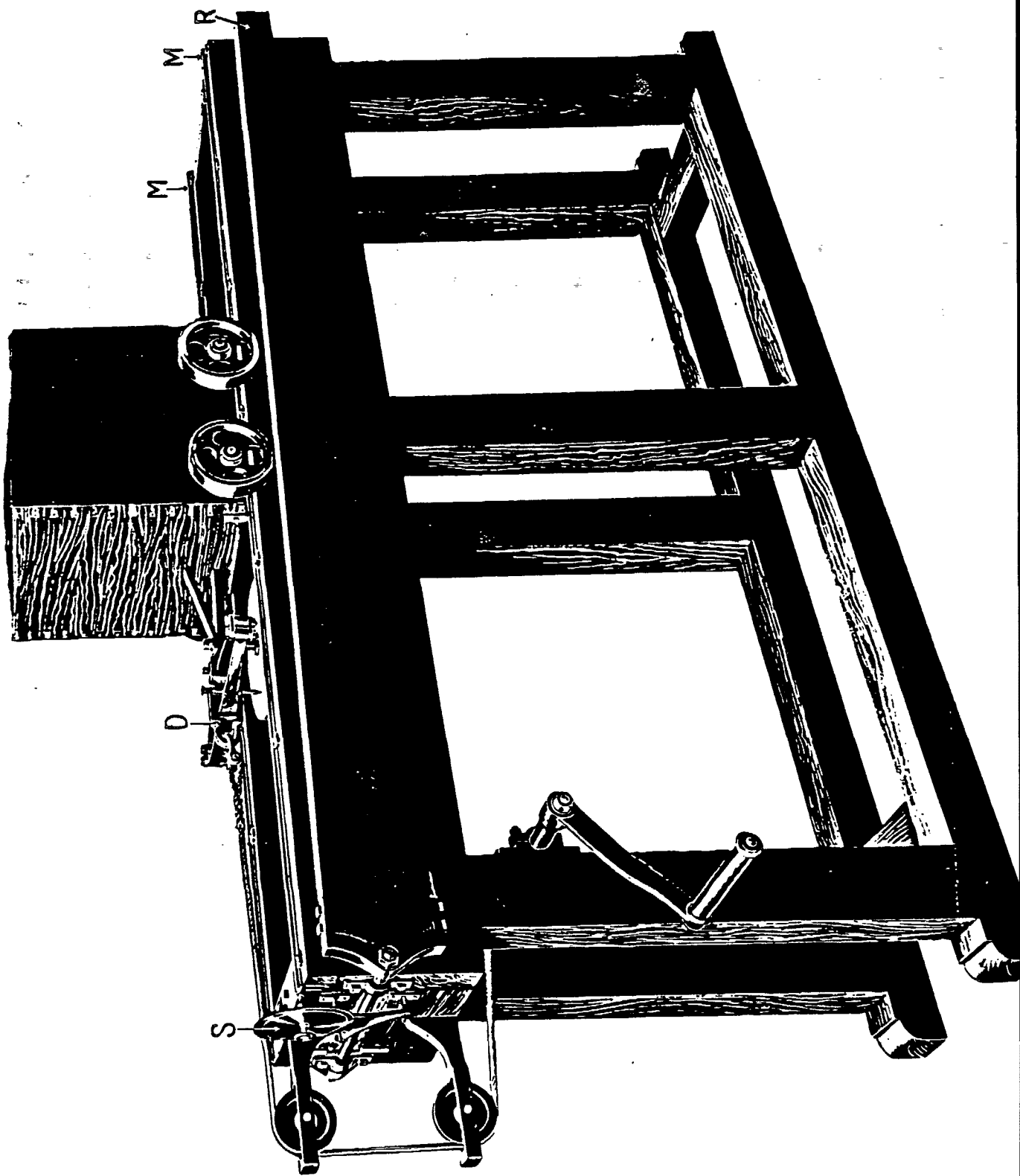
Konklusionen blev denne gang at de frembragte varmemængder ikke kun er proportionale med gnidningskraften, men også at de næsten nøjagtigt svarer til gnidningskraften. Coldings sætning var hermed bevist.

Artiklen slutter altså ikke med at Colding fremsætter påstanden om at "Principet om Kræfternes uforgængelighed" må gælde generelt, som han gør i "Nogle Sætninger om Kræfterne". Han nøjes i modsætning til i "Nogle Sætninger om Kræfterne" med at konkludere udfra hvad han rent faktisk havde bevist.

Om dette skyldes censur fra "Videnskabernes Selskab"s side eller forsigtighed fra Coldings side vides ikke.

Modtagelsen af "Undersøgelser om de almindelige Naturkræfter og deres gjensidige Afhængighed og isærdeles om den ved visse faste Legemers Gnidning udviklede Varme"

Artiklen blev trykt i 1850 i det Kgl. Danske Videnskabernes Selskabs Skrifter. I samme udgave af skrifterne blev bragt to andre artikler af Colding, en som handlede om magnetens virkning på blødt jern samt endnu en artikel om energiens bevarelse; "Undersøgelse om de almindelige Naturkræfter og deres gjensidige Afhængighed". I den sidste giver Colding en matematisk formulering af energibevarelsessætningen, han havde dog på dette tidspunkt både læst Mayers "Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur" og Helmholtz' "Über die Erhaltung der Kraft". Coldings formulering bærer meget præg af især sidstnævnte.



Figur 3: Kopi af fotografi af Coldings opstilling. opstillingen befinder sig på Danmarks tekniske Museum, hvor kopien også stammer fra.

Det, at Colding samme år fik optaget tre artikler, hvoraf to omhandlede energibevarelsen, tyder dels på at han var ved at vinde anerkendelse men især på at der var ved at fremvokse en interesse og accept af energibevarelsessætningen i Danmark.

Samlet opsummering og konkluderende bemærkninger

Som nævnt i begyndelsen af kapitlet havde Colding, før han foretog sine eksperimenter, en religiøst begrundet forudantagelse om "Kræfternes Uforgænglighed". Hvilket kan være en forklaring på at han i første omgang drog sine konklusioner på et lidt løst grundlag. Det tyder således på at Colding hovedsageligt lavede sit forsøg for at han kunne få publiceret denne forudantagelse. Dette kan yderligere underbygges af det faktum at han allerførst, i 1840, ville have offentliggjort ideen helt uden eksperimentelt grundlag.

Man kunne således insistere på at det først var i sin anden artikel "Undersøgelser om de almindelige....." fra 1849-1850 at Colding gav egentlig eksperimentel dokumentation for energibevarelsessætningen, da det først var der, at han havde bestemt en varmezækvivalent for mekanisk arbejde.

At Colding fra starten af har haft en ide om en form for universel energibevarelse, forekommer dog klart nok. Men at han intetsteds i de her refererede artikler giver henvisninger til den mekaniske energibevarelsessætning, som på Coldings tid havde været kendt i over et halvt århundrede, sår tvivl om Coldings fysiske overblik og dermed hans overblik over hans sætnings gyldighedsområde.

Kapitel 4



**James Prescott Joule
(1818-1889)**

James Prescott Joule

J.P.Joule udødeliggjorde i midten af 1800-tallet sit navn, blandt andet fordi han i sin forskning med arbejde og varme formulerede princippet om energiens bevarelse. På trods af en vis usikkerhed om hvorvidt Joule var den første til at formulere dette princip, var han utvivlsomt en af pionererne vedrørende denne erkendelse. Hvilket også er grunden til, at den internationale dimensionskonvention, SI, benytter hans navn som enhed for energi eller arbejde.

Den 24. december 1818 blev James Prescott Joule født i byen Salford, Manchester i England. Joule var den andenfødte af fem børn af de velhavende forældrene Benjamin og Alice P.Joule. Familiens rigdom var blevet skabt af et bryggeri bedstefaderen havde grundlagt ved Salford.

James og hans ældre broder modtog den første undervisning i hjemmet af forskellige privatlærere. Specielt fra 1834 til 1837 modtog de to brødre privat undervisning i elementær matematik, samt lidt kemi af den på dette tidspunkt ca 70-årige John Dalton. I årtiet efter sin tid med John Dalton udviklede James en meget kreativ aktivitet, der førte ham mod erkendelser omkring energiens bevarelse og etableringen af dynamisk varmeopfattelse. Der er ingen tvivl om Daltons indflydelse på Joules tidlige arbejder, specielt fik Joule den tro at naturlige fænomener adlød ganske simple love.

Joule blev gift i 1847 med Amalie Grimes, der dog døde allerede i 1854. De fik to børn med hvem James tilbragte resten af sit liv på forskellige bopæle i nærheden af Manchester. Hans væsen var sky og følsomt og han havde et udsøgt helbred (Gillispie 1970-80).

James Prescott Joule døde i Sale, England 11. oktober 1889.

Joule og energibevarelsen

England har en lang tradition for empirisk og anvendt videnskab, denne tradition var specielt dominerende på Joules tid.

På Joules tid var England specielt fokuseret på at udvikle maskiner, da man mente at dette var vejen frem til en højere velstand. England blev da også det land, hvor den såkaldte industrielle revolution startede.

Som nævnt i kap 1, var engelsk naturfilosofi på Joules tid præget af opfattelsen af naturen som et selvopretholdende system, hvor aktiviteten opretholdtes af balancen mellem tiltrækkende og frastødende kræfter, hvilket man så som et udtryk for Guds visdom. Joule har formentlig været påvirket af disse strømninger da han i årene 1837-1847 lavede de undersøgelser, der ledte ham frem til erkendelsen af energibevarelsen og til hans endelige erkendelse af den dynamiske varmeteorien.

Joules arbejder gik essentielt ud på at finde ækvivalensen mellem mekanisk, elektromagnetisk og kemisk energi samt varme. Joules tankegang var revolutionerende fordi den bl.a. brød med Calorique-teorien og den skulle senere komme til at stimulere bl.a. William Thomson, senere Lord Kelvin, til at formulere sin version af termodynamikken (Gillispie 1970-80).

I 1837 begyndte han som 19-årig sin række af eksperimenter. I de første eksperimenter kredsede Joule hovedsageligt om elektromagneter og elektromagnetisme.

Joule var ikke fra begyndelsen sporet ind på energibevarelsen, tværtimod håbede han på at elektromagneter kunne blive en udtømmelig kilde til mekanisk kraft (Gillispie 1970-80). Efter at have foretaget en række målinger, måtte han dog erfare at den mekaniske effekt af den elektriske strøm elektromagneten havde fremkaldt, aldrig blev større end den mængde mekanisk arbejde der var blevet udført på elektromagneten.

Efter at have mistet håbet om at finde en udtømmelig kraftkilde i elektromagneten, begyndte Joule at undersøge den termiske effekt af modstande i elektriske kredsløb.

I december 1840 udviklede Joule den kvantitative lov for varmeudviklingen fra strøm i elektriske kredsløb (ibid):

c $P = R \cdot I^2$, hvor P er effekten, R er resistansen og I er strømstyrken.

Han opdagede lovmæssigheden under en forsøgsrække hvor han dyppede en modstand med kendt resistans i en isoleret beholder med vand, hvorefter han målte varmeforøgelsen. For at kunne lave forsøg og konklusioner som disse måtte Joule dels have et meget nøjagtigt termometer og dels have en kraftig tro på sine egne evner. Joule var i besiddelse af begge dele.

Efter at have arbejdet med elektriske kredsløb i nogle år begyndte Joule i 1844 arbejdet på sit såkaldte "Paddlewheel"- forsøg, med hvilket han søgte at beregne varmens mekaniske ækvivalens.

Joules første foredrag om sin opdagelse af energiens bevarelse, holdt han på et møde i "British Association for the Advancement of Science" i året 1843. Der var i "British Association" på det tidspunkt ikke så stor interesse for hans arbejde og ideer. Joule fortsatte dog sit arbejde og i juni måned, 1847 forsøgte han atter at bringe emnet på bane i "British Association". Denne gang blev han, med en henvisning til hans forrige foredrag, bedt om at gøre det kort. Joule indvilligede i dette, men der var heller ikke i 1847 bred interesse for hans resultater og ifølge Joule selv ville hans foredrag endnu en gang have stået ukommenteret hvis ikke det havde været for den på det tidspunkt unge William Thomsons (senere Lord Kelvin) tilstedeværelse som debatskabende i salen (Watson 1947).

Nogle måneder forinden i april 1847 havde Joule holdt et populærvidenskabeligt foredrag på et møde i læseværelset i "St. Ann's Church" i Manchester. Til fordraget læste han sin seneste artikel "On Matter, Living Force, and Heat" op. I artiklen argumenterede han kraftigt for energiens bevarelse, samtidig med at han undrede sig over at man overhovedet kunne have stillet spørgsmålstegn ved den.

Artiklen rummer ifølge Watson (1947) Joules første og eneste klare generelle forklaring af det der nu er kendt som den generelle energibevarelsessætning. Joules konklusioner var foretaget på basis af meget omhyggelige målinger af varmeudviklingen blandt andet i hans "paddlewheel-forsøg".

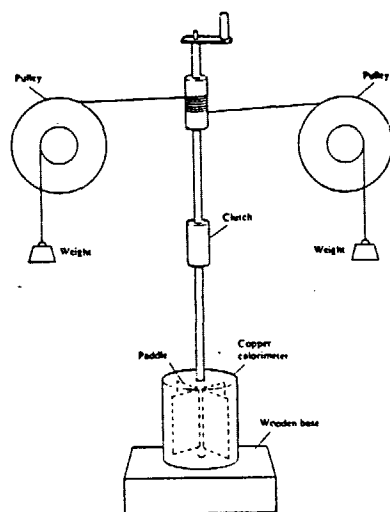
Efter en beskrivelse af "Paddlewheel"-forsøget vil der blive bragt et referat af "On Matter, Living Force and Heat".

"Paddlewheel"-forsøget

En redegørelse for forsøget og dets resultater blev første gang bragt i en skriftlig formulering i 1845, i "Philosophical Magazine". Joule forbedrede senere forsøget, og kunne derfor bringe en ny beskrivelse af det i 1847 i samme tidsskrift.

Forsøgsbeskrivelse:

Til forsøget anvendte Joule en beholder af kobber, isoleret af et hylster af et tyndt lag tin. I beholderen havde Joule anbragt et såkaldt skovlhjul, dvs. en slags skovl der, uden for megen plasken, rørte rundt i en væske som beholderen blev fyldt med. Beholderen blev lukket til med et låg med hul i midten. Ned gennem hullet gik dels en stang forbundet med en mekanisme der gjorde at skovlhjulet drejede rundt, når Joule lod to lod med kendte masser falde en given afstand, og dels kunne Joule gennem hullet stikke et fintfølende termometer og måle temperaturen af væsken. Ved gentagende gange at lade loddene falde til jorden blev skovlhjulet drejet rundt, og væsken blev som følge af gnidningen varmet op. (Se figur 1.)



Figur 1: Joules "Paddlewheel"opstilling. (Open University, 1981)

Under forsøget kunne Joule beregne den på væsken udførte mængde arbejde, idet han dels talte hvor mange gange han lod loddene falde til jorden, og dels kendte loddenes faldhøjde og masse.

Som resultat af forsøget fandt han at

$$781,5 \text{ lb} \cdot \text{tyngdeaccelerationen} \cdot 1 \text{ engelsk fod} = \\ \text{et pund vand opvarmet en grad Fahrenheit.}^1$$

I april 1847 holdt Joule så, sit foredrag "On Matter, Living Force and Heat" som bla byggede på de erfaringer han havde gjort med sit "Paddlewheel"-forsøg.

¹ Da 1 lb svarer til ca 0,45 kg, en engelsk fod svarer til 0,3 m og da 1°F svarer til (5/9)°K, ses det at Joule beregner vands varmfylde til 4,21 J/g°K, hvilket ligger meget tæt på den idag accepterede værdi, som er 4,18 J/g°K.

Om "On Matter, Living Force, and Heat"

Joule indledte artiklen med at definere materie ud fra dens uigennemtrængelighed og dens udfyldning. Materie er uigennemtrængeligt fordi to materier ikke samtidigt kan opholde sig samme sted, med udfyldning menes materiaens volumen.

Joule forklarer at materien har flere forskellige egenskaber, hvoraf nogle er generelle for alle og andre er specielle for nogle enkelte. Et eksempel på en generel egenskab ved alle materier er deres indbyrdes massetiltrækning. Joule forklarer at massetiltrækningen mellem små materier er så lille at den knap kan måles, men at hvis det ene legeme er stort, som fx jorden bliver tiltrækningen derimod stor og mærkbar. Jordens tiltrækning af et legeme er det der kaldes legemets vægt, vægten er således altid proportional med mængden af materie,

"2-lb. weight of air contains exactly twice the quantity of matter that 1 lb. of lead does" (Joule 1947, s.385)

Materie har også nogle gange andre slags tiltrækningskræfter som fx magnetisme, disse virker dog altid uafhængigt af massetiltrækningskraften.

Udover gravitation forklares det at der også er en anden egenskab ved enhver slags materie; dens forblivelse i enhver tilstand den er blevet bragt i, navnet på denne egenskab er inertie. Joule forklarer inertien, ved at lave en let omformulering af Newtons 1. og 2. lov.

En konsekvens af inertien er, at et legeme i hvile kun kan blive sat i bevægelse, hvis det påvirkes af en kraft i et tidsrum. Hvis legemet påvirkes af en kraft, vil det få en bevægelse i samme retning som kraften virkede og det vil fortsætte sin bevægelse med samme hastighed, indtil det bliver påvirket af en ny kraft.

Hvis legemet skal bremses helt op igen skal det påvirkes af en kraft, af samme størrelse, i samme tidsrum men modsat rettet den kraft, der oprindeligt gav legemet dets bevægelse, hvilket er uafhængigt af, hvor lang strækning eller i hvor lang tid legemet har bevæget sig.

På grund af denne uafhængighed mener Joule at det er indlysende at legemet må bære den "kraft" (dvs den kinetiske energi) det oprindeligt modtog med sig, i form af sin bevægelse. Den "kraft", der er indeholdt af legemer i bevægelse er kaldt vis viva eller levende kraft. Joule mener at det måske er lidt misvisende at bruge ordet "liv" i forbindelse med døde genstande, der bevæger sig, men at det er nyttigt hvis der skal skelnes mellem "kræfter" af legemer i bevægelse og "stationære kræfter" såsom gravitation. "Kraften" af et legeme i bevægelse, eller legemets vis viva, er altså et mål for det der idag kendes som kinetisk energi.

Derefter fortsætter Joule med at redegøre for, at et legemes vis viva afhænger af legemets masse og kvadratet af dets hastighed, han nævner at det måske ikke er umiddelbart indlysende at vis viva'en skulle afhænge af kvadratet af hastigheden, men forklarer at dette til gengæld lader sig bevise eksperimentelt på mange måder. Fx nævner han at det er bevist at hvis man vil fordoble hastigheden af en kanonkugle, er det nødvendigt at firedoble mængden af krudt. Han giver også følgende eksempel på en konsekvens af definitionen på vis viva; idet et tog der kører med 70 engelske mil i timen, har 100 gange så meget vis viva, som et, der kun kører 7 engelske mil i timen.

Joule forklarer at vis viva kan overføres mellem legemer på mange måder, dels kan den overføres ved elastiske stød mellem legemer, dels kan et legeme få noget vis viva ved at det

bliver løftet op over jordoverfladen og sluppet. I det sidste tilfælde vil legemet, når det når jorden have en vis viva svarende til legemets masse gange tyngdeaccelerationen gange den højde legemet befandt sig i over jorden da det blev sluppet. Vis viva har altså samme enhed eller er ækvivalent med det vi idag kalder potentiel energi, men som Joule kaldte

"the production of the attraction of gravitation through a certain distance".

(Ibid, s.387)

Joule fortsætter med at redegøre for at det indtil for nylig, til hans store forundring, har været den almene holdning, at når fx ovennævnte legeme ramte jorden, gik dets vis viva fuldstændigt og uigenkaldeligt til grunde. Denne holdning protesterer Joule kraftigt imod:

"You will at once perceive that the living force of which we have been speaking is one of the most important qualities with which matter can be endowed, and, as such, that it would be absurd to suppose that it can be destroyed, or even lessened, without producing the equivalent of attraction through a given distance of which we have been speaking."

(Ibid, s.387)

Kort efter skriver han endvidere:

"We might reason, *à priori*, that such absolute destruction of living force cannot possibly take place, because it is manifestly absurd to suppose that the powers with which God has endowed matter can be destroyed any more than they can be created by man's agency;"

(ibid)

Denne bevarelse af energien er der, ifølge Joule, adskillige dagligdags eksempler på. En konsekvens af det modsatte ville fx være, at vindene havde blæst meget kraftigere for 4000 år siden end de gør nu og at naturen på et eller andet tidspunkt, på grund af den stadige friktion, ville komme til at stå helt stille.

Dette mener Joule absolut ikke kan være tilfældet. Joule mener, at vis viva'en bliver omdannet til varme når fx et legeme bremses op idet det rammer jorden, hvilket man bla kan se eksempler på, når en hammer hamres mod et søm og både søm og det sømmed hamres ned i varmes op. Joule forklarer, at der er lavet eksperimenter, der nøjagtigt viser at hver gang en mængde vis viva tilsyneladende er blevet ødelagt, er en ækvivalent mængde varme blevet produceret, som måske senere igen vil blive konverteret til vis viva. Joule præsenterer dernæst følgende generelt gældende regel:

"The general rule, then, is, that wherever living force is *apparently* destroyed, whether by percussion, friction, or any similar means, an exact equivalent of heat is restored. The converse of this proposition is also true, namely, that heat cannot be lessened or absorbed without the production of living force, or its equivalent attraction through space"

(Ibid, s.387)

Han nævner derefter, at han både har set og lavet eksperimentelle beviser for, at varme kan konverteres til bevægelse og for at bevægelse kan konverteres til varme. Joule har selv målt sig frem til følgende tal for varmens mekaniske ækvivalens:

817 lb · tyngdeaccelerationen · 1 engelsk fod =

$(1/2) \cdot 817 \text{ lb} \cdot (8 \text{ (engelske fod/sekund)})^2 =$

et pund vand varmet en grad fahrenheit op.²

Det ses at de her nævnte koefficienter, adskiller sig fra dem han nævnte i sin "Paddlewheel"-artikel fra 1945.

Joule fortsætter med at forklare, at kendskabet til varmes mekaniske ækvivalent er af stor nytte og har stor interesse, når man skal optimere forskellige former for maskiner.

Hvorefter han opremser en række eksempler på konklusioner, der kan drages udfra ovenstående, alle eksemplerne har et mere eller mindre populærvidenskabeligt præg. Blandt andet nævner han, at man kan vælge at opfatte et levende dyr som en maskine, som dog er meget mere fint optimeret end de sædvanlige menneskeskabte maskiner.

Han forklarer også, at jorden, i sin bevægelse om solen, har en så stor mængde vis viva at det, hvis det øjeblikkeligt blev konverteret til varme ville medføre at jordens temperatur

"...would be rendered at least 1000 times greater than that of red-hot iron."

(ibid, s.388)

-At hvis jorden pludseligt skulle falde ind i solen, ville solens afkøling som følge af jordens lavere temperatur, rigeligt blive opvejet af den varmeudvikling, der kom i solen på grund af den absorberede vis viva. Faktisk ville slutresultatet, ifølge Joule, blive, at solen kom til at lyse endnu klarere.

Joule fortsætter sin række af eksempler med dels at redegøre for hvordan friktionen i atmosfæren redder os på jordoverfladen fra at blive bombarderet med meteorsten fra det ydre rum og dels med at redegøre for vindens bevægelse henover jordoverfladen, og hvorfor vis vivaen også er bevaret der. Han demonstrerer således hvordan princippet kan anvendes.

Efter at have beskæftiget sig med konverteringen af de forskellige energiformer indbyrdes, fortsætter Joule med at beskrive varmens natur.

Hidtil havde man troet at varme var en substans eller materie, der lige som al anden materie havde egenskaberne uigennemtrængelighed og udfyldning. Joule giver dog følgende kuriøse argument for at dette ikke kan passe:

"We have, however, shown that heat can be converted into living force and into attraction through space. It is perfectly clear, therefore, that unless matter can be converted into attraction through space, which is too absurd an idea to be entertained for a moment, the hypothesis of heat being a substance must fall on the ground."

(Ibid, s.389)

² Dette svarer til at Joule har beregnet vands varmfylde til ca 4,4 J/g°K, dette tal ses altså at være mere upræcist end det han som tidligere nævnt havde beregnet vha "paddlewheel"-forsøget.

Joule afviser altså udfra energibevarelsen, og den manglende konvertibilitet mellem materie og energi, at varme kan have en masse, og da varmen ingen masse kan have, kan den heller ikke være en materie.³

Varme må altså, efter Joules mening, enten bestå af vis viva eller af det der idag kaldes potentiel energi. Det første betyder at et legemes bestanddele, atomerne, er i en slags bevægelse, det andet at partiklerne fjerner sig fra hinanden ved opvarmning. Joule mener at varme er en blanding af begge dele.

Varmediffusion består efter Joules mening i videregivelse af vis viva fra nogle hurtige partikler til nogle langsommere partikler. Partiklerne, eller atomerne, som et legeme består af er for små til at blive set i selv de kraftigste mikroskoper, man kan derfor slet ikke observere og måle deres bevægelser. På trods af dette udtaler Joule sig dog alligevel om deres hastighed; han mener fx at et vandatoms hastighed mindst må være så høj som en engelsk mil pr sekund, han forklarer dog at dette er en gennemsnitshastighed og at nogle af vandmolekylerne bevæger sig hurtigere og andre langsommere.

Joule fortsætter dernæst med at forklare stoffers faseovergang fra fast form til væske og fra væske til gas.

Han forklarer, at når is tilføres varme, vil denne varme blive omsat til vis viva, og brugt til at forøge is-atomernes rotation, dette vil kunne måles som en temperaturstigning. Når isen når smeltepunktet, vil temperaturen, som bekendt ikke stige, før al isen er blevet omdannet til vand. Årsagen er, at varmen når den bliver omsat til vis viva, vil blive brugt til at forøge partiklernes centrifugalkraft, således at de kan rive sig løs fra hinanden. Energien bliver altså brugt til at skille partikler, der har været stærkt bundet til hinanden. Så snart alle partiklerne har revet sig løs fra hinanden, vil en yderligere varmetilførsel blive brugt til at forøge hastighederne af partiklernes bevægelse, hvilket igen vil kunne måles som en temperaturforøgelse. Når vandet har nået kogepunktet, vil der ske noget, svarende til når is smeltes, således at den samlede temperatur af vand og damp ikke vil stige til over kogepunktet, før al vandet er fordampet.

Joules forklaring svarer altså nogenlunde til den opfattelse af stoffers faseovergange, der haves i dag.

Joule slutter artiklen med at redegøre for at hans principper for energiens bevarelse kan generaliseres til bla termo-kemiske fænomener, og at han er af den holdning at resultaterne kan og bør anvendes på de erkendelser der haves indefor de forskellige videnskabsgrene.

Opsummering

Joule starter med at definere materie og bevægelse, og fastslår disses indbyrdes inkonvertibilitet. Derefter redegør han kort for Newtons 1.- og 2. lov, han forklarer, at vis vivaen af et legeme i bevægelse er proportional med legemets masse og kvadratet på dets hastighed. Derefter forklarer han at når et legeme bremses op, forgår den energi det havde da det var i bevægelse ikke, i stedet skifter den form, men beholder altid samme størrelse. Han opgiver derefter, udfra forsøg han har lavet, varmens ækvivalente hhv kinetiske og potentielle energi, uden dog at bruge de to sidstnævnte navne.

³ Det bør her nævnes at det ikke var alle "fluide calorique"-tilhængerne som mente at varmestoffet havde en masse, Joules argument er altså langt fra en tilstrækkelig tilbagevisning af "fluide calorique"-teorien.

Sidste del af artiklen bruger han til at redegøre for en forløber for det, der idag er kendt som dynamisk varmeteorien.

Modtagelsen af Joules arbejde

Joule læste første gang denne artikel op til et populærvidenskabeligt foredrag, og måske derfor har det ikke været muligt at finde ud af hvad reaktionerne på netop denne artikel har været. Joule fremlagde dog, som nævnt i begyndelsen af dette afsnit, igen nogle måneder senere, sine ideer mht energibevarelsen, denne gang i "British Association".

Som nævnt tidligere fik Thomson ved denne lejlighed skabt en diskussion af Joules resultater i salen.

Thomson stillede først spørgsmålstegn ved Joules resultater, da han ikke umiddelbart kunne få dem til at passe med Carnots teori. Carnot var, som nævnt i kapitel 1, tilhænger af Calorique-teorien, i denne lå implicit, at mængden af fluide calorique var bevaret, således kunne det ikke skabes, endstige omdannes fra det, der idag er kendt som mekanisk energi.

Thomson fandt dog på trods af dette problem, alligevel Joules ideer og resultater særdeles interessante og fik skabt en diskussion i salen. Flere af de tilstedeværende kritiserede Joules resultater og konklusioner, fordi de var meget afhængige af meget nøjagtige temperaturmålinger og der derfor var for stor usikkerhed på dem.

Ironisk nok er Joule dog ofte senere blevet rost for at han netop lavede så præcise målinger som han gjorde. Således skrev Watson i forbindelse med 100-års jubilæet for Joules formulering af den generelle energibevarelse:

"Because his conclusions were based upon the most careful and painstaking measurements, they have stood the test of time and remain, a hundred years later, as one of the corner stones of physical science." (Watson 1947, s.383)

Kapitel 5



**Hermann von Helmholtz
(1821-1894)**

Hermann von Helmholtz

Årsagen til at Helmholtz som oftest medregnes blandt de første "opdagere" af energiens bevarelse, selvom hans artikel udkom 4-5 år senere end Mayers, Coldings og Joules, skal nok søges i at hans omfattende matematiske evner satte ham i stand til at levere en helt generel matematisk formulering af princippet. Dette blev dog immervæk gjort uden kendskab til de andres arbejder¹, og den temporale forskydning kan således ikke anvendes som argument mod hans status som "pioner".

Hermann Ludwig Ferdinand Helmholtz blev født d. 31. august 1821 i Potsdam, lidt sydvest for Berlin. Han var den ældste af fire børn. Hans moder, Caroline Helmholtz, var officersdatter, og hans fader, August Ferdinand Julius Helmholtz, var professor i klassiske sprog, og havde hang til filosofi. Sidstnævnte var i øvrigt en god ven af Imanuel Hermann Fichte (dy) og en stor beundrer af Kant og Fichte dæ, og diskussioner om forholdet mellem filosofi og videnskab har præget forholdet mellem fader og søn (Koenigsberger 1965).

Helmholtz blev tidligt interesseret i fysik, men pga økonomisk betrængthed overtalte hans far ham til at studere medicin i stedet, idet man her kunne få statstilskud. Således studerede han i årene 1838-42 medicin på Det Kongelige Friedrich-Wilhelm Institut for Medicin og Kirurgi i Berlin, hvor han tog kurser i kemi, klinisk medicin og fysiologi. Privat læste han bøger om matematik af Laplace, Biot og Daniel Bernoulli, samt Kants filosofiske værker. I løbet af sin studietid blev han optaget i en kreds af studerende, der tog skarpt afstand fra tysk fysiologi, som den havde formet sig i de foregående årtier, med vitalistiske tilbøjeligheder.² De ønskede at opbygge en fysiologi funderet på fysiske og kemiske teknikker. Dette prægede i høj grad Helmholtz' tidlige værker.

Efter et års tid som kirurg på et hospital i Berlin, var han i perioden 1843-48 militærlæge i Potsdam, hvilket i Preussen var betingelsen for at få støtte i studietiden. Derefter havde han professorater i fysiologi i Königsberg og Heidelberg, indtil han i 1871 overtog sædet som professor i fysik ved universitetet i Berlin efter Heinrich Gustav Magnus (1802-1870), som spillede en rolle ved udgivelsen af Helmholtz' artikel om energibevarelse.

I 1888, da han var blevet tysk videnskabs patriark, blev han udnævnt til præsident for det nyoprettede Kejserslige Fysisk-Tekniske Institut i Charlottenburg, en titel han beholdt til sin død d. 8. september 1894.

Udover talrige fysiologiske afhandlinger, strakte Helmholtz' videnskabelige virke sig over så forskellige fysiske discipliner som elektrodynamik, akustik, væskedynamik og termodynamik.

Han havde to børn med sin første kone, Olga von Velten, der døde i 1859 efter ti års ægteskab, og tre med den anden, Anna von Mohl, som han ægtede i 1861.

Tilblivelsen af "Über die Erhaltung der Kraft"

I perioden som militærlæge i Potsdam, 1843-48, var Helmholtz optaget af studier af

¹ Dvs de i nærværende projekt gennemgåede artikler, han havde faktisk set nogle af Joules tidligere arbejder, herunder "paddle-wheel" forsøget, som det vil fremgå af det følgende.

² Vitalisme er en betegnelse for den biologiske teori, der går ud på at livet skyldes en særlig "vital" kraft i kroppen.

stofskiftet ved muskulær aktivitet og udviklingen af varme i den forbindelse. Justus von Liebig (1803-1873) havde i 1842 argumenteret for at dyrs varme udelukkende produceredes ved oxidation af kemiske forbindelser i næringsstofferne (Gillispie 1970-80), og derved afvist at der skulle være tale om en særlig "vital kraft", som skabte varmen. Helmholtz tilsluttede sig denne opfattelse, som han betragtede som den eneste mulige, idet han dog understregede at dette kun kunne forstås under antagelse af naturkræfternes konstans (Heimann 1974-75, s.211), hvorfor det var nødvendigt at retfærdiggøre Liebigs princip om at varmen måtte stamme fra en omdannelse af andre "kræfter", gennem en bevisførelse for et sådant princip.

Princippet om at mængden af disse "kræfter" i naturen måtte være konstant, havde længe stået som noget ubestrideligt for Helmholtz (Koenigsberger 1965, s.31). Gennem læsning af Daniel Bernoulli, d'Alembert og andre franske matematikere, havde han fået den klare opfattelse at et *perpetuum mobile* umuligt kunne fremskaffes udelukkende fra mekaniske kræfter (Koenigsberger 1965, s.43). Hans fysiologiske observationer ledte ham til den konklusion, at heller ikke de kræfter, der her spillede ind, kunne forårsage et *perpetuum mobile*. Han stillede sig herefter spørgsmålet hvad relationen mellem naturens kræfter måtte være, hvis et *perpetuum mobile* skulle være en universel umulighed. Dette blev udgangspunktet for hans artikel "Über die Erhaltung der Kraft" fra 1847.

I indledningen til artiklen søger han at give en filosofisk begrundelse for at stoffet har natur af partikler, der påvirker hinanden med centrale kræfter. Herefter følger to kapitler om henholdsvis bevarelse af vis viva og bevarelse af "kraft" generelt, og ét om kendte anvendelser af "princippet om den levende krafts bevarelse". De sidste tre kapitler omhandler princippet anvendelse i andre grene af fysikken end mekanikken.

Om indledningen

Helmholtz skriver i indledningen til sin artikel at den hovedsageligt er henvendt til fysikere, og at den derfor er gennemført uafhængigt af filosofiske begrundelser. Afhandlingens fysiske forudsætning, dvs princippet om energiens bevarelse, udspringer dels af den sætning, at en ubegrænset mængde af arbejde umuligt kan udvindes af nogen kombination af legemer, og dels af den antagelse, at alle virkninger i naturen kan føres tilbage til centrale kræfter mellem materielle punkter, hvor styrken af disse kræfter udelukkende afhænger af afstanden mellem punkterne. Afhandlingens mål er så at vise at disse to udgangspunkter er identiske, dvs at de er nødvendige konsekvenser af hinanden, og derefter at overføre det fremkomne princip til andre grene af fysikken. Han mener imidlertid at denne identitet har en væsentlig betydning for fysikkens endelige mål, som han behandler i indledningen.

Det endelige mål er at føre alle naturfænomener tilbage til deres oprindelige årsager, der viser sig at være centrale kræfter mellem materielle punkter, som det vil fremgå af den følgende gennemgang af argumentationen.

Mange fysiske sætninger, såsom optiske og termodynamiske love, er ikke ultimativt generelle beskrivelser, men bør gennem teoretiske overvejelser reduceres til sådanne:

"Eftersøgningen af disse sætninger er målet for de eksperimentelle dele af vore videnskaber. Den teoretiske del søger derimod at finde de ukendte årsager til processerne ud fra deres synlige virkninger; den søger at begribe disse ifølge kausalitetsloven. Vi nødes og berettiges til denne beskæftigelse gennem grundsætningen, at enhver forandring i naturen må have en tilstrækkelig årsag. De næste

årsager, vi underlægger naturfænomenerne, kan selv være uforanderlige eller foranderlige; i sidste fald nødes vi atter til at finde en årsag til denne forandring og så fremdeles, indtil vi når den sidste årsag, der virker efter en uforanderlig lov, som følgelig til hver en tid, under ens ydre omstændigheder, frembringer samme virkning. Det endelige mål for den teoretiske videnskab er altså at finde de sidste uforanderlige årsager til naturprocesser." (Helmholtz 1947, s.15)

Herefter går Helmholtz over til en diskussion af hvad disse sidste uforanderlige årsager kunne tænkes at være. Han argumenterer for at det er meningsløst at tale om materie uden kræfter, idet materien kun kan betinge forandringer i den øvrige natur, herunder vore sanseorganer, gennem sine kræfter. Ligeledes er forskellighed i materien kun udtryk for forskellighed i dens kræfter, og den eneste forandring der er mulig for materien, når der bortabstraheres fra kræfterne, er rumlig forandring, dvs bevægelse. Men forestiller man sig så verden inddelt i så små partikler (elementer) at de har uforanderlige kræfter, er rumlig forandring den eneste mulige forandring overhovedet. Heraf følger endvidere at ændringer i kræfternes virkninger kun kan ske gennem de rumlige forhold.

"Altså kan kræfterne kun være bevægelseskræfter, hvis virkninger udelukkende afhænger af de rumlige forhold." (ibid, s.16)

Bevægelseskraften, som bevægelsens årsag, kan kun tilgængeliggøres i forholdet mellem mindst to legemer. Denne kraft må dog opløses i kræfter mellem alle dele af disse legemer, og derfor ultimativt i kræfter mellem materielle punkter.

"Punkter har imidlertid intet andet rumligt forhold til hinanden end deres afstand, thi retningen af deres forbindelseslinie kan kun bestemmes på baggrund af mindst to andre punkter. En bevægelseskraft, som de udøver på hinanden, kan derfor også kun være årsag til en ændring i deres afstand, dvs at den må være tiltrækkende eller frastødende. Dette følger også direkte fra sætningen om tilstrækkelige grunde. Kræfterne, som de to masser udøver på hinanden, må derefter være bestemt mht størrelse og retning, såsnart massernes position er fuldstændig givet. Gennem to punkter er dog kun en enkelt retning givet, nemlig deres forbindelseslinies; følgelig må kræfterne, som de udøver på hinanden, være rettet langs denne linie, og deres intensitet kan kun afhænge af afstanden.

Den fysiske naturvidenskabs opgave kan altså endelig bestemmes derhen, at naturfænomenerne tilbageføres til uforanderlige tiltrækkende og frastødende kræfter, hvis intensitet afhænger af afstanden." (ibid, s.17)

Helmholtz mener altså at have vist at centralkræfter er de eneste mulige, og at de udgør de endelige årsager til alle fænomener i naturen. Naturens forståelighed afhænger således af at opgaven lader sig løse. Indledningen afsluttes med følgende salut:

"Den teoretiske naturvidenskab må derfor, hvis den ikke vil blive stående med halvfærdige begreber, bringe sine anskuelser i harmoni med den opstillede fordring om naturen af de simple kræfter og deres følger. Dens ærinde vil være fuldført, når tilbageførslen af fænomener til simple kræfter er fuldendt, og det samtidig kan eftervises, at den givne er den eneste mulige tilbageførsel, som fænomenerne tillader. Da vil det være godtgjort at de simple kræfter er den nødvendige begrebsform for naturopfattelsen, disse ville altså derpå også være tilskrevet objektiv sandhed." (ibid, s.18)

Helmholtz mener således at have vist at naturen i sidste ende må udgøres af materielle punkter, der påvirker hinanden med afstandafhængige centrale kræfter, idet dette er en nødvendig forudsætning for naturens forståelighed. Energibevarelsen bliver for ham, som det senere skal vises, en konsekvens af gennemførelsen af denne fordring.

Indledningen er imidlertid også interessant af en anden grund. Den afspejler nemlig den store indflydelse fra Kant, som Helmholtz, og vel de fleste andre tyske akademikere med ham, var underlagt. I en note i sine videnskabelige afhandlinger fra 1881 påpeger han da også at selvsamme indledning var under stor indflydelse fra Kant (Heimann 1974-75, s.219). Heimann mener (ibid, s.224) at indledningen har stærke affiniteter til Kants "Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft". Disse affiniteter består i:

1) Helmholtz' betragtninger over stof mht dets bevægelse har analogier til Kants opfattelse af stof som en udbredt størrelse, svarende til kategorien kvantitet (dvs en forstandskategori, der altså er en forudsætning for opfattelse af omverdenen), således at stof kun ses i sammenhæng med dets bevægelighed.

2) Ligesom Kant tilføjer Helmholtz en kvalitet til det bevægelige stof, således at kvalitative forskelle skal forstås som forskelle i kraft, og stoffets og kraftens inseparabilitet understreges.

3) Begge ser stoffets vekselvirkninger som bevægelseskræfter.

4) Der er analogier i deres betragtninger over at stof opfattes af vort sanseapparat i kraft af dets kræfter. (ibid, s.228)

Der er således for Heimann ringe tvivl om at Helmholtz var inspireret af "Metaphysische Anfangsgründe", selvom der ikke er noget direkte belæg for det, og i hvert fald var han dybt påvirket af Kants erkendelsesteori i al almindelighed.

Om kapitel 1 "Princippet om bevarelsen af den levende kraft"

I det første kapitel søger Helmholtz at vise, at for systemer, der følger princippet om bevarelse af vis viva, må de grundliggende kræfter nødvendigvis være centrale kræfter.

Han starter med at antage at bevægende kraft umuligt kan skaffes vedvarende fra nogen kombination af legemer, hvilket må opfattes som en undsigelse af muligheden af en evigheds-maskine. Han henviser til at allerede Carnot og Clapeyron brugte denne antagelse til at foretage teoretiske udledninger af love for legemers specifikke og latente varme. Han betragter så et system af legemer, der påvirker hinanden med kræfter, indtil de har indtaget andre positioner. Herved har de vundet hastighed, som kan omsættes til en vis mængde mekanisk arbejde. Ønsker man nu at lade de samme kræfter virke igen, for at opnå den samme mængde arbejde, må legemerne føres tilbage til deres oprindelige position, hvilket kræver en mængde arbejde, der ifølge princippet har samme størrelse som det udvundne arbejde.

Dette princip finder sit matematiske udtryk i loven om bevarelsen af den levende kraft. Mængden af arbejde, som vindes og forbruges, kan for et lod med massen m , hævet til højden h , udtrykkes som mgh , hvor g er tyngdeaccelerationen. For lodret at nå op i højden h , kræver loddet begyndeshastigheden $v = \sqrt{2gh}$, hvilket følger direkte fra de kinematiske bevægelsesligninger, og det vil opnå den samme ved at falde ned igen. Det gælder således at

$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$. Helmholtz foreslår på denne baggrund at $\frac{1}{2}mv^2$ fremover bruges som mål for mængden af levende kraft, fremfor mv^2 , da det ikke gør nogen forskel for den hidtidige brug af begrebet, men rummer store fordele for de følgende udledninger. Princippet for bevarelsen af den levende kraft udtrykker han sådan, at summen af et antal massepunkters levende kræfter er den samme, når de indgår i samme rumlige konfiguration, under forudsætning af at de kun er påvirket af de kræfter de udøver på hinanden.

Han mener dog ikke at princippet gælder for alle slags kræfter. I mekanikken knyttes det sædvanligvis an til princippet om virtuelle hastigheder. Dette kan ifølge Helmholtz kun bevises for materielle punkter, der påvirker hinanden med tiltrækkende og frastødende kræfter. Sådanne kræfter, der virker i forbindelsesliniens retning og kun afhænger af afstanden, kalder han centralkræfter, og han vil derefter vise at princippet om den levende krafts bevarelse kun gælder for systemer, hvor materielle punkter påvirker hinanden med sådanne.

Han forestiller sig et fast system af legemer, A, og et punkt med massen m, der bevæger sig under indflydelse af kræfterne fra disse. Tiden t betragtes som urvariabel, og af den afhænger ordinatorne x,y,z, som angiver m's position i et til A hørende koordinatsystem. m har hastigheden v, som har de aksiale komponenter $v_x = dx/dt$, $v_y = dy/dt$ og $v_z = dz/dt$. De virkende kræfters komponenter er $F_x = m dv_x/dt$, $F_y = m dv_y/dt$ og $F_z = m dv_z/dt$. Ifølge princippet skal nu $\frac{1}{2}mv^2$, og dermed v^2 , have samme størrelse hver gang m indtager samme position i forhold til A. Den kan derfor udtrykkes som en funktion af x, y og z:³

$$1) \quad d(v^2) = \frac{\partial(v^2)}{\partial x} dx + \frac{\partial(v^2)}{\partial y} dy + \frac{\partial(v^2)}{\partial z} dz$$

Da $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$, så er $d(v^2) = 2v_x dv_x + 2v_y dv_y + 2v_z dv_z$. Indsættes nu $v_x = dx/dt$ og $dv_x = F_x dt/m$, og tilsvarende for v_y og v_z , fås:

$$2) \quad d(v^2) = \frac{2F_x}{m} dx + \frac{2F_y}{m} dy + \frac{2F_z}{m} dz$$

hvilket ses at være en formulering af arbejdsætningen, med moderne notation:

$$\frac{1}{2} m d(v^2) = \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

Helmholtz' argumentation fortsætter med at da ligning 1 og 2 må gælde samtidig for ethvert dx,dy,dz, følger det at:

$$\frac{\partial(v^2)}{\partial x} = \frac{2F_x}{m}, \quad \frac{\partial(v^2)}{\partial y} = \frac{2F_y}{m}, \quad \frac{\partial(v^2)}{\partial z} = \frac{2F_z}{m}$$

Hvis imidlertid v^2 blot er en funktion af x,y,z, så må også F_x, F_y, F_z , dvs retning og størrelse af den virkende kraft, udelukkende være en funktion af m's position.

³ Udtrykket følger direkte af kædereglene, hvis dt'erne ganges ud. Helmholtz bruger ikke partielle differentiationsstegn, men det må være det han mener hvis det skal give nogen mening.

is du open parallel to the
 motion of the faller $u = \frac{dx}{dt}$
 $v = \frac{dy}{dt}$, $w = \frac{dz}{dt}$ it follows

if we neglect the components
 in the direction of drift
 $X = m \frac{du}{dt}$, $Y = m \frac{dv}{dt}$, $Z = m \frac{dw}{dt}$.

Principle of conservation of energy, by $\frac{1}{2} m v^2$, also
 of q^2 , state of the faller, where in
 the same way as for the faller, also with
 all the coordinates of the coordinates
 x, y, z being placed
 under the same, i.e. say

$$d(q^2) = \frac{d(q^2)}{dx} dx + \frac{d(q^2)}{dy} dy + \frac{d(q^2)}{dz} dz \quad 1)$$

and we $q^2 = u^2 + v^2 + w^2$, so is

$$d(q^2) = 2u du + 2v dv + 2w dw.$$

Now state u for $\frac{dx}{dt}$, and state
 the $\frac{X dt}{m}$ with the other being placed
 under the u for v and w
 so follows we

+ in analogous manner

~~$$d(q^2) = \frac{2X dt}{m} dx + \frac{2Y dt}{m} dy + \frac{2Z dt}{m} dz \quad 2)$$~~

$$d(q^2) = \frac{2X}{m} dx + \frac{2Y}{m} dy + \frac{2Z}{m} dz \quad 2)$$

In the equations 1 and 2 for
 each arbitrary dx, dy, dz respectively
 respectively, so follows, say with
 single

$$\frac{d(q^2)}{dx} = \frac{2X}{m}, \quad \frac{dq^2}{dy} = \frac{2Y}{m}$$

$$\text{and } \frac{dq^2}{dz} = \frac{2Z}{m}$$

Figur 1 Side fra Helmholtz' originale manuskript.
 (Helmholtz 1947)

I stedet for A indføres nu et enkelt materielt punkt a, som ligger i koordinaternes oprindelsespunkt, og kraften fra a på m vil derfor udelukkende være bestemt af deres relative position, dvs afstanden r. Det gælder således at:

$$3) \quad md(v^2) = 2F_x dx + 2F_y dy + 2F_z dz = 0$$

under forudsætning af at afstanden er uændret, dvs:

$$d(r^2) = 2x dx + 2y dy + 2z dz = 0 \quad \leftrightarrow$$

$$dz = -\frac{x dx + y dy}{z}$$

Denne værdi indsat i ligning 3 giver:

$$(F_x - \frac{x}{z} F_z) dx + (F_y - \frac{y}{z} F_z) dy = 0$$

for ethvert vilkårligt dx og dy, således at begge parenteser må være nul, altså:

$$F_x = \frac{x}{z} F_z \quad \text{og} \quad F_y = \frac{y}{z} F_z$$

Da det indbyrdes forhold mellem kraftens koordinater således er det samme som for stedkoordinaterne, må kraften altså være rettet langs forbindelseslinien mellem a og m, idet a lå i origo. Heraf konkluderer Helmholtz at de materielle punkters simple kræfter må være centralkræfter, for systemer der følger loven om bevarelse af den levende kraft.

Det lader imidlertid til at han har overset, at forudsætningen for ligning 3 indebærer, at der enten er tale om en statisk situation eller en bevægelse på en kugleoverflade, og at udledningen derfor ikke har den almen gyldighed han tillægger den. Clausius slog da også sidenhen ned på dette punkt med sin kritik, hvilket senere vil blive omtalt.

Herefter går Helmholtz videre til at formulere et generelt princip om energibevarelse, for de tilfælde hvor centralkræfter virker.

Om kapitel 2 "Princippet om bevarelsen af kraft"

Hvis F er størrelsen af kraften i r's retning, positiv ved tiltrækning og negativ ved frastødning, vil kraftens komponenter være givet ved:

$$1) \quad F_x = -\frac{x}{r} F, \quad F_y = -\frac{y}{r} F, \quad F_z = -\frac{z}{r} F$$

og, ifølge ligning 2 i forrige afsnit:

$$md(v^2) = -2 \frac{F}{r} (x dx + y dy + z dz) \quad \leftrightarrow$$

$$\frac{1}{2} md(v^2) = -F dr$$

Eller hvis V og R , henholdsvis v og r , forestiller samhørende hastigheder og afstande for m :

$$2) \quad \frac{1}{2} mV^2 - \frac{1}{2} mv^2 = - \int_r^R F dr$$

hvilket altså igen er analogt til arbejdsætningen, idet det erindres at Helmholtz i dette afsnit betegner den tiltrækkende kraft med $-F$. Helmholtz bruger dog ikke ordet arbejde i denne forbindelse. Han udtrykker det således at venstresiden beskriver forskellen i levende kraft mellem to forskellige afstande fra a , og kalder de kræfter, der stræber efter at bevæge m , så længe de endnu ikke har bevirket bevægelse, for spændkræfter [Spannkräfte], i modsætning til levende kraft; størrelsen på højresiden (uden minustegn) kaldes summen af spændkræfterne mellem afstandene r og R .

Ovenstående lov formulerer han således:

"Forøgelsen af et massepunkts levende kraft ved dets bevægelse under indflydelse af en centralkraft, er lig med summen af den tilsvarende ændring i de til dens afstand hørende spændkræfter." (ibid, s.23)

Ved tiltrækkende kræfter vil summen af spændkræfterne således aftage, når afstanden mindskes, og tiltage når den forøges. Summen af spændkræfter for afstandene mellem $r=0$ og $r=R$, kan altså betragtes som de endnu forhåndenværende, og de mellem $r=R$ og $r=\infty$ som de forbrugte. De første kan umiddelbart træde i virksomhed, de sidste først efter et tilsvarende tab i levende kraft. Det forholder sig omvendt for frastødende kræfter.

Helmholtz' sproglige formulering gør at spændkræfter kun kan opfattes som potentiel energi, og hans formulering af loven svarer således til flg udtryk for en partikel under indflydelse af en central kraft:

$$\Delta E_{kin} = -\Delta E_{pot}(r) \quad \leftrightarrow$$

$$\frac{1}{2} mV^2 - \frac{1}{2} mv^2 = E_{pot}(r) - E_{pot}(R)$$

For at nå frem til en generel formulering af loven, tænker han sig et vilkårligt antal materielle punkter med masserne m_1, m_2, m_3 osv, generelt betegnet med m_a , deres koordinater x_a, y_a, z_a ; de aksiale komponenter af de på masserne virkende kræfter $F_{x,a}, F_{y,a}, F_{z,a}$; de efter akserne opløste hastigheder $v_{x,a}, v_{y,a}, v_{z,a}$ af hastigheden v_a . Afstanden mellem m_a og m_b er r_{ab} og centralkraften mellem dem er F_{ab} . Analogt med dette afsnits ligning 1 gælder nu for et hvilket som helst punkt m_n :

$$F_{x,n} = \sum_a [(x_a - x_n) \frac{F_{an}}{r_{an}}] = m_n \frac{dv_{x,n}}{dt}$$

$$F_{y,n} = \sum_a [(y_a - y_n) \frac{F_{an}}{r_{an}}] = m_n \frac{dv_{y,n}}{dt}$$

$$F_{z,n} = \sum_a [(z_a - z_n) \frac{F_{an}}{r_{an}}] = m_n \frac{dv_{z,n}}{dt}$$

Ved at multiplicere første ligning med $dx_n = v_{x,n} dt$, anden med $dy_n = v_{y,n} dt$, tredje med $dz_n = v_{z,n} dt$, og summere over alle punkter m_b , opnås:

$$\sum_a \sum_b [(x_a - x_b) dx_b \frac{F_{ab}}{r_{ab}}] = \sum_a [\frac{1}{2} m_a d(v_{x,a}^2)]$$

$$\sum_a \sum_b [(y_a - y_b) dy_b \frac{F_{ab}}{r_{ab}}] = \sum_a [\frac{1}{2} m_a d(v_{y,a}^2)]$$

$$\sum_a \sum_b [(z_a - z_b) dz_b \frac{F_{ab}}{r_{ab}}] = \sum_a [\frac{1}{2} m_a d(v_{z,a}^2)]$$

Disse summe kan indeles i to grupper, den hvor et givet a altid er større end b, og den hvor det altid er mindre, for ethvert a, idet den gruppe hvor a=b går ud. For hvert led i den første gruppe:

$$(x_p - x_q) dx_q \frac{F_{pq}}{r_{pq}}$$

må der forekomme et tilsvarende i den anden gruppe:

$$(x_q - x_p) dx_p \frac{F_{pq}}{r_{pq}}$$

og addition giver:

$$-(x_p - x_q) (dx_p - dx_q) \frac{F_{pq}}{r_{pq}}$$

Foretages denne sammentrækning i summerne, adderes de alle tre og sættes:

$$\frac{1}{2} d[(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2 + (z_a - z_b)^2] = \frac{1}{2} d(r_{ab}^2) = r_{ab} dr_{ab}$$

så fås, idet N betegner antallet af materielle punkter:

$$3) \quad -\sum_{a=1}^N \sum_{b=a+1}^N [F_{ab} dr_{ab}] = \sum_a [\frac{1}{2} m_a d(v_a^2)]$$

hvor der altså, pga sammentrækningen, for et givet a kun summeres over de b, som er større

end a.⁴ Udtrykket for bevægelse over en given afstand opnås ved integration:

$$4) \quad -\sum_{a=1}^N \sum_{b=a+1}^N \left[\int_{r_{ab}}^{R_{ab}} F_{ab} dr_{ab} \right] = \sum_a \left[\frac{1}{2} m_a v_a^2 \right] - \sum_a \left[\frac{1}{2} m_a v_a^2 \right]$$

hvor R og V, henholdsvis r og v, betegner samhørende værdier.

Venstresiden udtrykker summen af forbrugte spændkræfter, højresiden ændringen i systemets samlede levende kraft, og loven formulerer Helmholtz således:

"I alle tilfælde med bevægelse af frie materielle punkter under indflydelse af deres tiltrækkende og frastødende kræfter, hvis intensitet kun afhænger af afstanden, er tabet i kvantitet af spændkraft altid lig forøgelsen af levende kraft, og forøgelsen af den første lig tabet af den sidste. Summen af de forhåndenværende levende og spændkræfter er altså altid konstant. I denne mest generelle form kan vi betegne vor lov som princippet om kraftens bevarelse." (ibid, s.25)

Dette er altså en formulering af energibevarelse for (isolerede) systemer med centrale kræfter, i overensstemmelse med de antagelser og udledninger Helmholtz tidligere har gjort. Faktisk gælder det jo for alle konservative kraftfelter, og altså ikke kun for centrale kræfter, som Helmholtz insisterer på. Ydermere bør det nævnes at det matematiske udtryk, arbejdsætningen, gælder uanset hvilken type kraft, der er tale om, hvorfor Helmholtz' sproglige formulering er af en mindre almengyldig karakter end det udtryk den kommer fra, omend den ikke er fejlagtig.

Den givne udledning ændres ikke, selvom en del af punkterne, m_d , tænkes at være faste, således at v_d konstant er lig 0, og $N=N_b+N_d$. Loven får da formen:

$$5) \quad \sum_{a=1}^N \sum_{b=a+1}^{N_b} [F_{ab} dr_{ab}] + \sum_{a=1}^N \sum_{d=a+1}^{N_d} [F_{ad} dr_{ad}] = -\sum_b \left[\frac{1}{2} m_b d(v_b^2) \right]$$

At der tales om faste punkter, må tolkes sådan at også ydre kræfter indvirker på systemet, idet de faste punkter udøver kræfter på de løse, uden selv at kunne flyttes.

Helmholtz demonstrerer til slut at hans energibevarelsesprincip er i overensstemmelse med de virtuelle hastigheders princip, som han siger er statikkens mest generelle lov. Skal ligevægt bestå for en bestemt konfiguration af punkterne m_a , dvs $v_a=0$, så skal alle $dv_a=0$, hvorfor det følger af ligning 3:

$$6) \quad \sum_{a=1}^N \sum_{b=a+1}^N [F_{ab} dr_{ab}] = 0$$

Hvis også ydre kræfter indvirker på systemet, fås fra ligning 5:

⁴ Fysisk udtrykker dette at den potentielle energi er defineret for partikelpar, mens den kinetiske (på venstresiden) er defineret for partikler.

$$7) \quad \sum_{a=1}^N \sum_{b=a+1}^{N_b} [F_{ab} dr_{ab}] + \sum_{a=1}^N \sum_{d=a+1}^{N_d} [F_{ad} dr_{ad}] = 0$$

I disse ligninger skal dr forstås som små forskydninger af punkterne m_a , der tillades af systemets øvrige betingelser. Da overgang fra hvile til bevægelse indebærer en forøgelse af den levende kraft, som forudsætter et forbrug af spændkraft, vil et system i hvile, hvor der ikke i første øjeblik forbruges spændkraft i nogen af de mulige bevægelsesretninger, forblive i ro.

Tænker man sig systemet helt fast forbundet, så at alle $dr=0$, følger det simpelthen af ligning 7:

$$\sum_{a=1}^N \sum_{d=a+1}^{N_d} [F_{ad} dr_{ad}] = 0 \quad \text{og} \quad \sum_{a=1}^N \sum_{b=a+1}^{N_b} [F_{ab} dr_{ab}] = 0$$

Med andre ord gælder det for et stift legeme, eller et stift system af legemer, i hvile, at såvel summen af indre som af ydre kræfter er nul.

Helmholtz argumenterer nu for, at hvis ydre kræfter udbalancerer de indre kræfter i et system, således at dette er i hvile, så vil de ydre kræfter også udbalancere hinanden, hvis man forestiller sig at systemets dele er fast forbundne og de indre kræfter fjernes. Heraf følger at hvis de kræfter to partikler udøver på hinanden bringes i ligevægt af ydre kræfter, må systemet til stadighed være i ligevægt, hvis de indre kræfter erstattes af en fast forbindelse. Derfor må de ydre kræfter ligge langs punkternes forbindelseslinie, hvoraf det følger at de indre kræfter gør ligeså.

Således mener Helmholtz tilsyneladende endnu en gang at have vist at partikler påvirker hinanden med centrale kræfter. Hans argumentation holder dog kun hvis denne antagelse gøres på forhånd, da de indre kræfter ikke ellers bare kan erstattes af en fast forbindelse. Det er derfor et cirkelbevis.

Endelig sammenfattes den opstillede sætning om energiens bevarelse i tre punkter:

1) Så ofte som naturlegemer formår at indvirke på hinanden med tiltrækkende eller frastødende kræfter, der er uafhængige af tid og hastighed, må summen af deres levende og spændkræfter være en konstant; maksimum af den mængde arbejde der kan udvindes er altså bestemt, endelig.

2) Forekommer der derimod kræfter i naturlegemerne, der afhænger af tid og hastighed, eller virker i andre retninger end forbindelseslinien mellem to virksomme materielle punkter, altså fx roterende, så ville sammensætninger af sådanne legemer være mulige, i hvilke uendelig kraft enten går tabt, eller bliver udvundet.

3) Ved ligevægt i et system af legemer under virkning af centralkræfter må de indre og de ydre kræfter hver for sig holde sig i ligevægt, såfremt vi tænker os systemets legemer indbyrdes urykkeligt forbundne, og kun hele systemet, mod udenfor det selv liggende legemer, bevægeligt. Et fast system af sådanne legemer kan derfor aldrig blive sat i bevægelse gennem virkningen af dets indre kræfter, men kun gennem indvirkning fra ydre kræfter. Var der derimod givet andre end centralkræfter, så ville faste forbindelser af naturlegemer lade sig etablere, som bevægede sig af sig selv, uden at behøve en forbindelse til andre legemer." (ibid, s.27)

Ad 1) Her fastslås altså endnu en gang energibevarelse for systemer med centrale kræfter. Et sådant system ville kun kunne udøve en given begrænset mængde arbejde på omgivelserne. Helmholtz anvender her udtrykket "arbeitsgrösse", og er altså i besiddelse af en eller anden form for arbejdsbegreb, men han har tilsyneladende ikke relateret det direkte til sine matematiske udtryk.

Ad 2) Helmholtz postulerer her at energibevarelsen ikke gælder for systemer med ikke-centrale kræfter, idet han til uafhængighed af tid og hastighed, som er en betingelse for konservative kræfter, føjer kravet om en bestemt retning, nemlig forbindelsesliniens. Dette kan dog ikke være noget krav for energibevarelse, da fx magnetiske vekselvirkninger eller elektriske dipoler ikke nødvendigvis opfører sig sådan.

Ad 3) Her siger han at stive legemer og andre fast forbundne systemer ikke kan sætte sig selv i bevægelse vha deres indre kræfter, men mener altså igen at det ville kunne lade sig gøre hvis legemerne havde andre kræfter end de centrale. Det må dog i den forbindelse endnu en gang understreges at dette for Helmholtz ikke betyder at en evighedsmaskine er mulig, men derimod at der kun gives centrale kræfter for de fundamentale partikler.

Om kapitel 3 "Anvendelsen af princippet i de mekaniske læresætninger"

I dette afsnit gennemgår Helmholtz kort de tilfælde hvor princippet om bevarelse af den levende kraft tidligere har været i anvendelse. Det drejer sig om følgende tre klasser:

1) "Alle bevægelser, der foregår under indflydelse af tyngdekraften." (ibid, s.27) Det gælder himmelske og tunge jordiske legemer. For de første giver princippet sig udslag i at hastigheden øges, når de nærmer sig det centrale legeme, samt i uforanderlighed af omløbsbanens storakse, omløbs- og rotationstid. For jordiske legemer betyder princippet at sluthastigheden for et faldende legeme udelukkende afhænger af faldhøjden (når legemet til at begynde med er i hvile), og ikke af retning og form af den bane det følger. Ved fuldstændig elastisk stød mod jorden vil legemet atter nå op i samme højde. Det er med andre ord den mekaniske energibevarelsessætning, der her henvises til.

2) "Overførsel af bevægelserne gennem de inkompressible faste og flydende legemer, såfremt der ikke forekommer gnidning eller stød mod uelastiske stoffer." (ibid, s.28) Dette illustrerer Helmholtz ved at en maskine, der i hver proces udfører det samme arbejde, ville tilføje et legeme med massen m hastigheden c , mens et legeme med massen nm kun ville opnå hastigheden c/n .

Det kan altså opfattes som et udtryk for impulsbevarelse, idet et givet arbejde altid vil resultere i den samme impuls, Helmholtz' benævnelse af klassen kunne i hvert fald tyde på at det er det han har i tankerne.

3) "Bevægelse af fuldkommen elastiske faste og flydende legemer." (ibid, s.28) Ifølge Helmholtz er princippet først erkendt og hyppigst anvendt i denne klasse. Den fuldstændige elasticitet består i at legemet efter deformation eller volumenændring vil genindtage den oprindelige form og volumen, idet der ingen indre gnidning er. For faste legemer gælder princippet her elastiske stød, samt "elastiske vibrationer", dvs svingninger, der finder sted, hvis ikke indre gnidning eller afgivelse af bevægelse til et ydre medium bremser dem.

For flydende legemer, hvorunder Helmholtz regner både væskeformige og gasformige, udbredes bevægelse i almindelighed i bølgeform. Det drejer sig om overfladebølger i væsker, bevægelsen af lyd, samt sandsynligvis lys og strålevarme, mener han. Da et bølgetog gennem et medium må opfattes som en række partikler, der svinger omkring et ligevægtspunkt, vil den levende kraft af hver enkelt partikel Δm være givet ved den hastighed den har i ligevægtspunktet. Partikelhastigheden u giver Helmholtz ved:

$$u = a \cdot \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda} (x - vt) \right]$$

hvor λ er bølgelængden, x positionen i udbredelsesretningen, v udbredeshastigheden og t tiden. En størrelse han kalder "intensiteten" er givet ved a^2 . I ligevægtspositionen er $u = a$, og partiklens levende kraft således $\frac{1}{2}\Delta m a^2$, dvs den er proportional med intensiteten. Er der tale om en kugleformig udbredelse, vil større masse altså sættes i bevægelse, og intensiteten må følgelig aftage for at den levende kraft skal forblive konstant. Da massen tiltager proportionalt med kvadratet på afstanden, må intensiteten aftage i samme forhold. Det er ikke helt klart hvad Helmholtz mener med "intensitet", men det giver god mening hvis den opfattes som et mål for hvor meget energi der passerer pr. areal pr. tid, hvilket svarer til det moderne betydningsindhold af begrebet.

Lovene om lysets tilbagekastning, brydning og polarisation i grænsen mellem to medier med forskellig bølgelængde, var ifølge Helmholtz udledt af Fresnel under antagelse af bevarelsen af levende kraft, samt ensartetheden af bevægelsen af partikler i begge medier i grænsen (idet man mente at lyset udbredes i et medium, ligesom andre bølger). Den levende kraft er ligeledes bevaret ved interferens mellem to bølger med intensiteterne a^2 og b^2 , idet intensiteten i maksima henholdsvis minima vil være givet ved $(a+b)^2$ og $(a-b)^2$, hvorved middelintensiteten er $a^2 + b^2$.

Afslutningsvis nævnes det at den levende kraft i de elastiske bølger kun forsvinder ved absorption. Absorption af lydbølger i fx tæpper må opfattes som en overførsel af bevægelse til disse; om bevægelsen også kan bortkomme pga gnidning mellem luftens dele, kan dog endnu ikke afgøres, siger Helmholtz. Absorption af varmestråling følges af en proportional varmeudvikling i det bestrålede legeme, som har en mekanisk kraftækvivalent, hvilket behandles i afhandlingens næste kapitel. Han siger i den anledning:

"Bevarelsen af kraft ville finde sted, når så meget varme, som forsvinder fra det udstrålende legeme, kommer frem igen i det bestrålede, forudsat ingen afledning finder sted, og ingen del af strålingen rækker andetsteds hen. Sætningen [om kraftens bevarelse] er hidtil blevet forudsat ved forsøg med varmestråling, alligevel er der mig bekendt ikke gjort noget forsøg på at begrunde den." (ibid, s.29)

Hvad angår absorption af lys, opregnes tre kendte processer: fosforescens, varmeudvikling og kemiske virkninger. I det første tilfælde udsendes det altså atter som lys, mens dets virkning i det sidste tilfælde ifølge Helmholtz er så ukendt, at de deri optrædende kræfter ikke kan udledes.

Fælles for de tre klasser er altså bevarelsen af levende kraft, eller kinetisk energi, samt at det som oftest skyldes gnidning og varmeudvikling, når den ikke er bevaret. Det forekommer således naturligt når Helmholtz i det følgende går over til at diskutere varmets forbindelse til hans generelle energibegreb.

Om kapitel 4 "Varmens kraftækvivalent"

Der er to mekaniske processer, siger Helmholtz, hvor man hidtil har regnet med et absolut tab af "kraft":

- 1) Stød mellem uelastiske legemer. Her omsættes levende kræfter dels til spændkræfter, gennem formforandring og fortætning af legemerne, dels til lyd, men hovedsagelig til varme.
- 2) Gnidning, såvel indre som ydre. Her finder termiske og elektriske ændringer sted. Ændringen i legemernes molekulære konstitution er ringe, ofte forsvindende.

Han opponerer mod den gængse opfattelse i mekanikken, at gnidning er en kraft der virker modsat bevægelsen og er proportional med denne. Han mener at det er et højt ufuldstændigt udtryk for de komplicerede processer, der foregår hvor forskellige "molekylærkræfter" vekselvirker, og at det kun er opstillet af beregningsmæssige årsager. Han fortsætter:

"Men derved er der ikke blevet taget hensyn til, at bortset fra forøgelsen af spændkræfter gennem kompressionen af de gnidende eller stødende legemer, repræsenterer for det første den vundne varme for os en kraft, gennem hvilken vi kan frembringe mekaniske virkninger, og ligeså den for det meste frembragte elektricitet, enten direkte gennem dens tiltrækkende og frastødende kræfter, eller indirekte derigennem at den udvikler varme." (ibid, s.31)

Helmholtz siger med andre ord, at ved uelastiske stød eller gnidning udvikles der varme og elektricitet, der kan omsættes til mekanisk energi. Spørgsmålet bliver så, i det tilfælde hvor molekulære ændringer og elektricitetsudvikling er så små som muligt, om der til et bestemt tab af mekanisk energi svarer en bestemt mængde varme, og omvendt om der til en bestemt varmemængde svarer en ækvivalent mekanisk energi. Vedrørende den mekaniske energis varmekvivalent henviser han til et forsøg af Joule⁵, hvor denne har undersøgt hvilken varmemængde der udvikledes ved gnidning i vand i snævre rør, og i et kar hvor det sættes i bevægelse af et hjul, drevet af et faldende lod. Han fandt i to forsøg at den varme, som øger temperaturen af 1 kg vand 1°C, opnåedes ved at hæve henholdsvis 452 og 521 kg 1 meter. Helmholtz tilføjer dog at målemetoden ikke lever op til undersøgelsens sværhedsgrad, og at disse tal sandsynligvis er for høje.⁶

Hvad varmens "kraftækvivalent" angår, starter han med at diskutere denne som den må opfattes efter den materielle varmeteorien (dvs calorique-teorien). Da varmestoffet her nødvendigvis må anses for at være konstant, kan mekanisk arbejde [mechanische Kraft] kun opnås gennem dettes stræben efter at udvide sig, hvorved kraftækvivalenten bliver det arbejde som ydes ved overgangen fra en højere temperatur til en lavere. Hermed tænkes formodentlig på at frastødende kræfter mellem varmestoffets partikler forårsager en udvidelse af dette, hvorved temperaturen falder som en følge af den mindre tæthed. Det var i denne ånd at Carnot og Clapeyron bekræftede følgerne af antagelsen af en sådan ækvivalent, tilføjer Helmholtz.

⁵ J.P.Joule: On the existence of an equivalent relation between heat and the ordinary forms of mechanical power. Phil. mag. XXVII. 205.

⁶ Hvis vands varmekapacitet er $C_{\text{vand}} = 1 \text{ kal pr grad pr gram} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/K}\cdot\text{kg}$, er dette netop den energi der går til at opvarme et kg vand en grad. De to værdier fra forsøget, med $m_1 = 452 \text{ kg}$ og $m_2 = 521 \text{ kg}$, er henholdsvis: $m_1gh = 4,43 \cdot 10^3 \text{ J}$ og $m_2gh = 5,11 \cdot 10^3 \text{ J}$.

Mht gnidningsvarmen, må denne enten komme udefra, eller opstå som resultat af sammenpresning af de mod hinanden gnedne overflader og de afrevne dele. Helmholtz argumenterer mod disse antagelser med at varme udvikles selvom omgivelserne er meget koldere og at en sammenpresning, som er for lille til at kunne iagttages, skal have en meget stor virkning, fx når jernkiler hamres glødende og møre. Endvidere fremfører han at mekanisk arbejde kan omsættes i elektricitet, der kan afsætte varme i ubegrænsede mængder, fx ved gentagen op- og afladning af et batteri eller ved bevægelse af en magnet i en spole. Således kan man altså ophobe vilkårligt store mængder af varme, uden at denne forsvinder nogen steder hen, og varmemængden må altså kunne forøges absolut, hvorfor den ikke kan stamme fra et stof, der kun findes i begrænset mængde. Et argument som minder meget om Rumfords.

Derfor indfører Helmholtz et andet varmebegreb, således at varmen skal forstås dels som "kvantiteten af varmebevægelsens levende kraft" og dels som "kvantiteten af de spændkræfter i atomerne, som ved en forandring af deres anordning kan frembringe en sådan bevægelse" (ibid, s.33). Det første kalder han fri varme og det andet latent varme. I et forsøg på at give en (spekulativ) yderligere tolkning af den frie varme, nævner han at atomerne kan have tre former for bevægelse: forrykning af tyngdepunktet, rotation om samme og vibration af de indre dele, idet han forestiller sig atomerne opbygget af mindre dele kaldet kemiske elementer, elektriciteter mm.⁷ De to første bevægelsesformer vil udbredes som bølger, pga naboatomernes kræfter, hvilket svarer til stråling, den tredje form vil kun langsomt sætte naboatomerne i medbevægelse, og kan derfor beskrive varmeledning. Dog mener han at det er tilstrækkeligt til nærværende formål at konkludere, at varme kan opfattes som bevægelse.

Bevarelsen af varmens "kraft" må altså finde sted i samme omfang som varmestoffets bevarelse hidtil har været erkendt. Dvs ved alle varmelednings- og -strålingsfænomener, samt ved binding og udløsning af varme ved ændring af aggregattilstande (dvs ved faseovergange).

Varmeudvikling ved kemiske processer forklaredes tidligere ved at en vis mængde varmestof, der lå latent i stofferne, kunne frigøres når disse indgik forbindelser af højere orden. I stedet for denne opfattelse forklarer Helmholtz nu fænomenet med at varmen er den mængde levende kraft, der kan frembringes gennem en bestemt mængde kemisk tiltrækningskraft. Dette må skulle forklares sådan, at han opfatter kemiske reaktioner som resultatet af nogle tiltrækkende kræfter mellem elementer i de to stoffer, således at den potentielle energi, der ligger i adskillelsen af de pågældende elementer, ved reaktionen omsættes til kinetisk energi.

Til sidst sammenligner han sin opfattelse med artikler af Clapeyron⁸ og Holtzmann⁹. Clapeyron går ud fra den betragtning at varme kun kan bruges til at yde mekanisk arbejde, når den ledes fra en varmere substans til en koldere, og maksimum arbejde vil være opnået når temperaturforskellen er udlignet. Temperaturforskellen kan opnås ved kompression og udvidelse af de opvarmede substanser. Det opnåede maksimum må være det samme for alle substanser, da man ellers ville kunne opnå en ubegrænset mængde arbejde, ved at lade en substans med højere virkningsgrad for en given temperatur levere arbejdet, mens en del af dette bruges til, via en substans med lavere virkningsgrad, at føre varmen tilbage til den første. Helmholtz anfører endvidere nogle af Clapeyrons ligninger, og nævner at udledningen af dem kun er gyldig hvis varmemængden betragtes som værende uforanderlig. Denne

⁷ Helmholtz opererer altså ikke med atomer som udelelige størrelser. Kemiske elementer må nok opfattes som en art "grundstofpartikler" og elektriciteter som partikler i det elektriske fluidum.

⁸ Poggd. Ann. Bd. LIX 446. 566.

⁹ Über die Wärme und Elasticität der Gase und Dämpfe. Mannheim 1845. Uddrag heraf i Poggd. Ann. Suppleringsbind II.

antagelse bestrider han, idet han dog erkender at Clapeyrons udtryk for gasser lader til at være i overensstemmelse med erfaringen.

Holtzmanns grundlæggende betragtning er at en given varmemængde, der overføres til en gas, enten kan forårsage en temperaturforøgelse af denne, eller en udvidelse uden temperaturændring. Det arbejde, der udføres ved en sådan udvidelse, kalder Holtzmann varmens mekaniske ækvivalent, og denne beregner han ud fra nogle forsøg af Dulong til at den varme, der opvarmer 1 kg vand 1°C, hæver 374 kg 1 m.¹⁰ Helmholtz pointerer at denne beregning kun holder, forsåvidt al den tilførte varme er omsat til arbejde, således at mængden af fri og latent varme i den udvidede gas er den samme som for den tættere ved samme temperatur. Således må temperaturforøgelse hhv formindskelse af en gas ved sammenpresning og udvidelse skyldes, at varme frembringes gennem mekanisk "kraft" og omvendt.

Helmholtz har således argumenteret for at varme og mekanisk energi er omsættelige til hinanden, således at der ikke finder noget reelt energitab sted ved uelastiske stød og gnidning.

Om resten af artiklen

De sidste to kapitler i afhandlingen omhandler energibevarelse ved forskellige elektromagnetiske fænomener. Helmholtz henholder sig til datidens almindelige opfattelse af at disse fænomener skyldes subtile fluida, der tiltrækker og frastøder hinanden ifølge afstandskvadratloven, hvorfor der må være energibevarelse i henhold til udledningen i kapitel 2. Han koncentrerer sig derfor om elektrisk varmeudvikling og induktionsfænomener, idet han fremfører at de sidstnævnte endnu ikke er ført tilbage til centrale kræfter, hvorfor han føler at det er nødvendigt at vise "princippet om kraftens bevarelse" eksplicit i sådanne tilfælde.

Der skal ikke her gæses nærmere i detaljen med denne del af afhandlingen, da det kræver en relativt stor forståelse af tidens teorier om elektricitet og elektromagnetisme, og i øvrigt ikke er nødvendigt for en sammenligning med de øvrige artikler om energibevarelsen.

Endelig skal blot nævnes at Helmholtz i slutningen af afhandlingen har tilføjet et lille afsnit om princippet gyldighed i den organiske natur. For planteriget gælder det at en stor mængde kemiske "spændkræfter" er oplagret, hvis ækvivalent leveres som varme ved forbrænding af plantestoffer. Den eneste levende kraft, man hidtil har haft kendskab til, der absorberes under planternes vækst, er solens kemiske stråler. Det er dog ikke muligt nærmere at sammenligne "kraftækvivalenterne".

I dyreriget har man et mere klart billede af processerne, hvor kemiske "spændkræfter" frigøres ved forbrænding, og omsættes til varme og mekaniske "kræfter". Da de sidste er forholdsmæssigt meget mindre, kan problemet tilnærmelsesvist reduceres til om varmeækvivalenten til de omsatte næringsstoffer svarer til den varme dyrene afgiver. Dette spørgsmål kan allerede besvares med et i hvert fald tilnærmelsesvist ja, mener Helmholtz.

¹⁰ mgh = $3,67 \cdot 10^3$ J.

Opsummering

For kort at opsummere indholdet og argumentationsgangen i Helmholtz' afhandling, så tager han altså udgangspunkt i en overbevisning om at alle naturfænomener i sidste ende skyldes vekselvirkninger mellem materielle punkter med centrale kræfter, et kardinalpunkt for ham, som han også søger at føre bevis for i systemer, der følger loven om bevarelse af vis viva. På grundlag af denne antagelse udleder han fra Newtons 2. lov en matematisk formulering af universel energibevarelse.

Efter en række eksempler på hidtidig anvendelse af princippet om bevarelse af vis viva, der tilsyneladende tjener det formål at demonstrere hvorledes hans princip ligger i forlængelse af accepterede fysiske kendsgerninger, går han over til at diskutere konvertibiliteten af mekanisk arbejde og varme, idet han argumenterer for en dynamisk varmeteor. Med henvisning til artikler af Joule, Clapeyron og Holtzmann, diskuterer han den kvantitative ækvivalens mellem de to energiformer.

Endelig, efter to kapitler om princippet gyldighed for elektriske og elektromagnetiske fænomener, som ikke er behandlet her, slutter han af med nogle bemærkninger om hvorledes det også gælder for den organiske natur.

Modtagelsen af "Über die Erhaltung der Kraft"

Helmholtz ønskede at udgive sin artikel i *Poggendorffs Annalen*¹¹, og sendte den først til Gustav Magnus, der var professor i fysik ved Berlins universitet, og med hvem han var på god fod. Denne tøvede dog med at sende det videre, idet han mente at eksperimentel og matematisk fysik burde holdes adskilt, og at forskellige grene af fysikken ikke skulle sammenblandes vha matematik (Koenigsberger 1965, s.38). Følgelig fik artiklen kun nogle få anbefalende ord med på vejen, da den endelig blev sendt til Poggendorff, og denne mente ikke at emnet var tilstrækkelig eksperimentelt til offentliggørelse i annalerne. Helmholtz blev dog opfordret til selvstændig publikation. Denne foretoges af G. Reimer i Berlin i 1947, og Helmholtz modtog til sin store overraskelse et honorar.

Værket blev modtaget med entusiasme blandt yngre fysikere og fysiologer i Berlin, hvoraf flere var personlige venner af Helmholtz. Ældre videnskabsmænd var mere reserverede, og afviste de fremsatte ideer med den begrundelse at de udgjorde en tilbagevenden til Hegels naturfilosofi, som man så længe havde bekæmpet og endelig var sluppet af med. Udgivelsen betød dog under alle omstændigheder at Helmholtz skaffede sig et navn som fysiker, og endvidere nød stor hæder blandt fysiologer, der havde fået et effektivt våben i kampen mod vitalismen (Koenigsberger 1965, s.50).

Helmholtz selv var ikke i tvivl om den store betydning af det princip han havde fundet. Han betragtede det som et bidrag til fysikken, og blev vred idet han mente at Magnus ville begrænse princippet til fysiologien (Heimann 1974-75, s.233). Han opnåede dog siden anerkendelse fra bla William Thomson for sit bidrag til loven om energiens bevarelse.

Selvom princippet om energiens bevarelse efterhånden vandt almindelig anerkendelse, blev Helmholtz angrebet for sin anden hovedpointe i artiklen, nemlig at alle kræfter i sidste ende måtte kunne føres tilbage til centrale kræfter mellem materielle punkter. Således argumen-

¹¹ Dvs *Annalen der Physik und Chemie*, der i over et halvt århundrede var under redaktion af J.C.Poggendorff (1796-1877).

terede Clausius i 1853 for at selvom dette måske nok var en fysisk mulighed, så var det ingen matematisk nødvendighed for princippet om den levende krafts bevarelse (Heimann 1974-75, s.234).

Konklusion

Det er fremgået af ovenstående at Helmholtz formulerede arbejdssætningen, samt et generelt udtryk for energibevarelse i systemer af partikler med centrale kræfter, og at han ligeledes havde en klar fornemmelse af at dette indebar en ækvivalens mellem de forskellige fremtrædelsesformer af energien, herunder varme. Hans strengt reduktionistiske syn på naturvidenskabens opgave, der forledte ham til en klippefast tro på at alle kræfter i sidste instans er centralkræfter, har vist sig ikke at være en nødvendig forudsætning for hans princip, hvilket dog ikke rækker ved formuleringens gyldighed. Denne tro kan tilskrives indflydelse fra Kant, og må formodes at have været medvirkende til at han overhovedet havde en fornemmelse af energibevarelsen, der førte til afhandlingens udførelse.

Andre årsager til at han påtog sig denne opgave var kombinationen af hans overbevisning om umuligheden af mekaniske evighedsmaskiner og hans arbejde med problemet om dyrevarme, der førte til at forskellige energiformers konvertibilitet, og i særdeleshed umuligheden af at skabe energi ud af intet, måtte bevises for at vitalistiske teorier kunne tilbagevises. Således kan det argumenteres at det var den særegne kombination af tidens metafysiske overbevisninger, fysiologisk arbejde, interesse for den mekaniske fysik og, ikke at forglemme, store matematiske evner i Helmholtz' person, der gjorde at han nåede frem til formuleringen af et princip om energiens universelle bevarelse.

Kapitel 6

Diskussion

Den af de fire i projektet omtalte pionerer, der først publicerede en formulering af princippet om energiens bevarelse var tyskeren Julius Robert Mayer, som publicerede den i kap 2 beskrevne artikel i 1842.

Mayer indleder artiklen med at redegøre for at de to grundliggende årsager, materie og energi, hver for sig kan konverteres til andre hhv materier og energiformer og at de ved konvertering altid vil opnå en kvantitativ ækvivalens. Konvertering mellem materie og energi kan dog ikke finde sted.

Mayers verificering af energiens bevarelse ved konverteringsprocesser mellem varme, kinetisk energi og potentiel energi, bestod i meget lille grad af selvudførte eksperimenter, om overhovedet.

Derimod bygger Mayers artikel i høj grad på andres erfaringer, fx forklarer han at resultatet af gnidning mellem to metalplader er varme, ud fra hvilket han stiller følgende generelle spørgsmål:

"...får man i de utallige tilfælde, hvor bevægelse opbruges og varme fremkommer, at bevægelse har en anden virkning end varmeproduktion og varmeproduktion en anden årsag end bevægelse?" (Mayer 1842, s.236)

Det konkluderes at varme er virkning af bevægelse og bevægelse er årsag til varme.

I artiklen konkluderer Mayer at det der nu er kendt som energi, er uforgængeligt og konverterbart, samt at energi ikke kan skabes. At bevægelsesenergiens størrelse er mv^2 . Og endelig at ophørt bevægelse altid vil være årsag til varme og at varme altid vil være en virkning af ophørt bevægelse.

Danskeren Ludvig August Colding publicerede kort efter Mayer en anden formulering af princippet om energiens bevarelse. Han indsendte i 1843 den første udgave af den artikel, der er beskrevet i kap 3, til publikation. Selve artiklen blev dog først publiceret for den brede offentlighed i 1856.

I "Nogle Sætninger om Kræfterne" beviser Colding eksperimentelt, at det ved gnidning udførte arbejde er proportionalt med den udviklede varme. Ud fra dette konkluderer han at det udførte arbejde har samme størrelse, men er i en anden form, end den ved gnidningen udviklede varme.

I en artikel skrevet nogle år senere, gennemgår Colding samme forsøg som det han beskrev i "Nogle Sætninger om Kræfterne". Han har dog i mellemtiden fået bygget bedre måleudstyr, hvorfor han denne gang eksperimentelt kan bevise at den ved gnidning udviklede varme ikke kun er proportional med, men også har samme størrelse som det ved gnidningen udførte arbejde.

Colding havde selv den holdning at man kan antage følgende sætning som alment gældende, også for andre "kræfter" end de mekaniske:

"Naar en Kraft sandseligt forsvinder, da undergaaer den blot en Formforandring og bliver derpaa virksom under andre Former". (Colding 1856, s.4)

Den tredje, der omtrent samtidig opdagede princippet om energiens bevarelse, var englænderen James Prescott Joule.

Først i 1847 gav Joule på et populærvidenskabeligt møde en fuldstændig redegørelse for at energien på Jorden måtte være bevaret. Han argumenterede bla med at det ville være absurd at forestille sig at de "Kræfter" som Gud havde skænket jorden, skulle kunne blive destrueret af mennesker. Men gav også en række andre argumenter, bla byggende på eksperimenter han selv havde foretaget.

At Joule alligevel blev den, der gav navn til den enhed energi oftest måles i, skyldes til dels at han årene forinden eksperimentelt havde beskæftiget sig med konvertering mellem de forskellige energiformer. Bla havde Joule i 1844 lavet sit "Paddlewheel"-forsøg, hvor han viste at der blev fremkaldt varme gennem indre gnidning i vand, frembragt ved bevægelse af et skovlhjul i vandet. Udfra forsøget kunne han meget nøjagtigt beregne hvor meget mekanisk energi der skulle til, at give en given mængde vand en given temperaturforøgelse.

Tyskeren Hermann von Helmholtz nævnes ofte som den der formulerede den generelle energibevarelsessætning. Han publicerede dog først sin erkendelse af energiens bevarelse i 1847. Årsagen til at Helmholtz ofte nævnes som den første er formentlig, at han var den første der gav en matematisk argumentation, og dermed en teoretisk udledning af princippet om energiens bevarelse.

Helmholtz var af den overbevisning at alle naturfænomener kunne føres tilbage til centrale kræfter mellem materielle punkter. Dette fremhæves i indledningen som en forudsætning for naturens forståelighed, som naturvidenskaben igen er nødsaget til at antage. Argumentationen for denne reduktionistiske indstilling er inspireret af Kant, og bliver for Helmholtz (fejlagtigt) en forudsætning for det princip om energiens bevarelse han formulerer matematisk.

Det lykkedes ham at udlede arbejdssætningen udfra Newtons 2. lov i en form, der ikke efterlader nogen tvivl om at der er tale om energibevarelse for et system af partikler. Ironisk nok er hans princip, i sin matematiske formulering, i en vis forstand endnu mere generelt end han selv var klar over, idet det gælder uanset hvilken type kraft der er tale om, og ikke blot for centrale kræfter, som han selv forudsatte.

Han påpeger at princippet gennemførelse for alle fænomener indebærer at varme må have en mekanisk "kraftækvivalent", og på baggrund af en sandsynliggørelse af at varme kan forstås som mikroskopisk bevægelse, argumenterer han for at en sådan ækvivalent findes, udfra artikler af Joule, Clapeyron og Holtzmann.

Endelig nævner han at princippet gælder generelt i hele naturen.

Helmholtz har således formuleret et princip om energiens universelle bevarelse, og det kuriosum at han hænger den op på påstanden om fundamentale centrale kræfter, må tilskrives påvirkningen fra Kant og et forståeligt ønske om at nå ind til tingenes inderste natur.

Ingen af de fire har altså været i tvivl om energiens, eller "kræfternes", bevarelse. Ligeledes har de alle draget den konsekvens at varme er en energiform, der er direkte omsættelig med bevægelsesenergi, omend det måske snarere er foregået i omvendt rækkefølge i Joules tilfælde.

Colding skiller sig ud ved slet ikke at omtale den mekaniske energibevarelse direkte, og således heller ikke definere en potentiel energi. Mayer giver et ikke umiddelbart særlig letforståeligt eksempel på en sådan potentiel energi ved et hævet legeme, og får defineret den kinetiske energi som mv^2 ; han har således ikke haft noget stort overblik over de matematiske sammenhænge. Dette havde Helmholtz til gengæld. Hans omfangsrige artikel giver såvel den matematiske sammenhæng, som en række konkrete eksempler på følgerne af energibevarelsesprincippet i fysikken. De sidste er dog ikke et resultat af hans eget arbejde, men af Joules og andres. Joule formulerede som nævnt ideen om et generelt princip om energiens bevarelse på grundlag af en række eksperimenter, der havde overbevist ham om at bevægelsesenergi og varme var ombyttelige.

Pionerernes baggrund

Fælles for alle disse fire pionerer er at de indenfor en forholdsvis kort årrække, uafhængigt af hinanden, erkendte og formulerede et generelt princip for energiens bevarelse under en eller anden form, samtidig med at de fandt konkrete eksempler på konvertering mellem mekanisk arbejde og varme. Endvidere tog de alle afstand fra den tidligere dominerende caloriqueteori, og bekendte sig i stedet til en dynamisk varmeteori.

Hvorvidt en kinetisk opfattelse af varme var en forudsætning for erkendelsen af energiens bevarelse kan diskuteres, men hvis mængden af varmestof betragtedes som værende konstant, er det svært at se hvorledes en konvertering af "kræfterne" skulle kunne finde sted.

Derudover er der naturligvis også en lang række af forskelle mellem de fire pionerer. Dels var de, i kraft af at de kom fra forskellige steder i Europa, påvirket af forskellige filosofiske strømninger og videnskabelige traditioner. Dels havde de forskellige uddannelser og endelig havde de naturligvis som personer forskellig baggrund.

Julius Robert Mayers bevæggrunde for opdagelsen af princippet om energiens bevarelse var primært af fysiologisk karakter. Hans udprægede brug af logisk terminologi indikerer dog en overbygning af filosofiske overvejelser, således er hele hans argumentation nærmest bygget op om hans formulering af kausalitetsloven (*causa aequat effectum*), selvom loven i den konkrete artikel tilsyneladende skal fortolkes rent fysisk.

Ved gennemgang af nævnte artikel er det ligeledes blevet klart, at Mayers matematiske grundlag ikke kan krediteres for en af hovedpointerne i denne, nemlig definitionen af vis viva som mv^2 . Mayers artikel bærer præg af, at han havde en forudfattet idé om energiens bevarelse, og om størrelsen af den levende kraft.

Colding var af meget religiøs natur, han forklarer (1849-50, 1. artikel) at det altid havde forekommet ham fornuftsstridigt om energien ikke skulle være bevaret. Han var af den holdning at når der både var naturlove og Gud til, ville det forekomme ham højest usandsynligt om noget Gud havde skabt, skulle gå tabt, han forestillede sig derfor istedet at "de virkende kræfter" eller energien blot havde skiftet form når de tilsyneladende gik tabt.

Colding ville først have publiceret sin opdagelse uden eksperimentel dokumentation; dette frarådede Ørsted ham dog, og Colding foretog det i "Nogle Sætninger om Kræfterne" beskrevne forsøg. Han er således tilsyneladende den eneste af de fire, der har fulgt en (i naturvidenskabens selvforståelse) traditionel fremgangsmåde med eksperimentel verifikation af en på forhånd opstillet hypotese.

Joule var ligesom Colding af religiøs natur. Han var dog, sammenlignet med de tre andre pionerer, udpræget empiriker i sit videnskabelige arbejde. Umiddelbart ser det ud til at Joule i de første år af sin eksperimentelle karriere famlede sig lidt tilfældigt frem, men fik prøvet lidt af hvert. I sine første eksperimenter beskæftigede Joule sig således hovedsageligt med elektromagneter og elektromagnetisme.

Joule var ikke fra begyndelsen sporet ind på energibevarelsen, tværtimod håbede han på at elektromagneter kunne blive en udtømmelig kilde til mekanisk kraft. Efter at have foretaget en række målinger, måtte han dog erfare at den mekaniske effekt af den elektriske strøm elektromagneten havde fremkaldt, altid var proportional med den mængde arbejde der var blevet ydet på elektromagneten.

Således fortsatte han sit arbejde og først efter at have lavet en del forskellige forsøg, bla det tidligere omtalte "paddlewheel"-forsøg, erkendte han at princippet for energiens bevarelse måtte gælde generelt. Derefter begyndte han at give argumenter for sin erkendelse, der mindede om Coldings, idet han forklarede at det forekom ham utænkeligt at mennesket skulle kunne nedbryde de "kræfter" Gud havde skabt.

Helmholtz havde ligesom Mayer en fysiologisk baggrund. Således kom anstødet til hans artikel fra hans arbejde med dyrs varme; Helmholtz følte sig overbevist om at denne måtte komme fra en omdannelse af fysiske "kræfter", hvilket var inspireret af Liebig's arbejder. Dette udgangspunkt, sammenholdt med hans overbevisning om umuligheden af et perpetuum mobile, førte ham frem til en generel matematisk formulering af energibevarelsen.

Grundlaget for hans udledning af princippet var altså en kombination af mange faktorer. Et omfattende kendskab til matematik og fysik satte ham i stand til at fremføre en helt generel formulering af hans, i udgangspunktet, fysiologiske problem. Endvidere har hans filosofiske baggrund i Kant og Fichte, med deraf følgende overbevisning om naturens fornuftige og forståelige indretning, og i særdeleshed overbevisningen om at fænomenerne var manifestationer af simple kræfter, formodentlig været en yderligere ansporing til hans afhandling.

En kombination af disse faktorer har bevirket at Helmholtz, ligesom Mayer og Colding havde en forhåndserkendelse af energiens bevarelse, hvorefter han kunne udnytte sine matematiske evner til at gennemføre et bevis for dette.

Dette altså, som nævnt, i modsætning til Joule, der i stedet blev bragt til erkendelse af energiens bevarelse via sine eksperimenter.

Denne forskel mellem Joule på den ene side og de tre andre pionerer på den anden side kan ses som en afspejling af de forskellige filosofiske strømninger og videnskabelige traditioner i henholdsvis Nordeuropa og i England.

I England havde man en solid tradition for empirisk videnskab, og på Joules tid var det endvidere mest acceptabelt at lave anvendt videnskab. Hvilket Joule da også demonstrerer i sin artikel, hvor han eksplicit argumenterer for anvendeligheden af sin opdagelse, når maskiner skal optimeres. Der var altså ikke i England, i samme grad som på kontinentet, tradition for ikke empirisk baseret videnskab, derimod var det, som bla anført af Newton, idealet at erkendelser skulle vokse ud af eksperimenter.

I Nordeuropa og på Kontinentet i det hele taget, havde der i modsætning til i England, været tradition for mere teoretisk og mindre anvendelsesorienteret videnskab siden Leibniz og Descartes. Især Coldings og Helmholtz' artikler er gode eksempler på dette. Colding nævnte således ikke andre anvendelser af hans sætning end at den var nødvendig, hvis umuligheden af et perpetuum mobile skulle bevises, hvilket er et problem, der må siges at høre under den rene videnskab. I første omgang ville Colding endvidere have publiceret sin opdagelse uden eksperimentel dokumentation, hvilket Ørsted dog som nævnt fik talt ham fra. Helmholtz' udgangspunkt var rent fysiologisk, han ville vise at kræfterne var bevarede for at modbevise ideen om en vital kraft. Ydermere var hans interesse strengt videnskabelig, idet han hovedsagligt interesserede sig for naturvidenskabens endelige mål, at føre alle fænomener tilbage til simple kræfter, hvorfor han fører en længere diskussion i indledningen til sin artikel. Kun Mayer nævner implicit at princippet af energiens bevarelse kan anvendes til at vurdere effekten af maskiner. Mayer indfaldsvinkel var dog ligesom Helmholtz' fysiologien, ligesom de begge i deres artikler tog udgangspunkt i faldloven og den mekaniske energibevarelses-sætning.

Alt i alt forekommer det altså meget naturligt at det netop var de to tyskere og danskeren, der skrev artiklerne ud fra en forhåndsantagelse om energiens bevarelse. Her må dog tilføjes at englændere som Faraday og Grove også havde en sådan fornemmelse (Heimann 1974), hvorfor skellet mellem kontinental og engelsk mentalitet ikke må tages alt for bogstaveligt.

En anden påfaldende ting er at Mayer, Joule og Helmholtz alle indleder deres artikler med en diskussion af materiens natur, og dens forhold til kræfter. Det er tidligere omtalt at Helmholtz' diskussion af dette forhold minder stærkt om Kants ditto, mens en ligeså direkte indflydelse ikke lader sig spore hos de andre to. Joule definerer materien ved dens udstrækning og uigennemtrængelighed, og tillægger den gravitationskræfter proportionalt med massen. Mayer betragter masse og "kraft" som to typer af årsager, der er karakteriseret ved væsensforskellige egenskaber, der ikke tillader at de omsættes til hinanden. Det fremgår af Mayers videre argumentation at "kraft" her må opfattes som energi. Helmholtz understreger at materie og kraft ikke kan adskilles, da den kraftløse materie ingen virkning ville kunne forårsage, og således ikke engang ville kunne sanses.¹

Denne relative ensartethed i artiklernes opbygning indikerer i det mindste et vist fællesskab i det konceptuelle udgangspunkt, der nok kan tilskrives almindeligt udbredte metafysiske overvejelser på den tid, der under alle omstændigheder må have været inspireret af Kant. Med andre ord er det tænkeligt at der har været et fælles, bevidst eller ubevidst, filosofisk grundlag for de tre, der sporede dem ind på tankebaner, som førte til erkendelsen af energibevarelsen. Her skiller Colding sig dog klart ud, idet hans artikler er fuldstændig blottet for den slags overvejelser over det værendes natur, udover hans idé om "kræfternes" konstans, som han straks går videre til at eftervise eksperimentelt.

Simultan opdagelse

Videnskabsteoretikeren Thomas S. Kuhn, behandler i sin artikel "Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery" fra 1959, det fænomen at erkendelsen af energiens bevarelse dukkede op mange forskellige steder i Europa, uafhængigt af hinanden, inden for et forholdsvis kort tidsinterval.

¹ Materie uden kraft svarer altså for Helmholtz til Kants begreb om "das Ding an sich".

Kuhn opregner i sin artikel 12 pionerer mht erkendelsen af energibevarelsen, hvoraf fire, de fire som dette projekt omhandler, nævnes som de der annoncerede hypotesen om energiens generelle bevarelse. De fire skiller sig ud ved en kombination af generel formulering af princippet med konkret kvantitativ anvendelse, mens Carnot, Séguin, Holtzmann og Hirn beskæftigede sig med den kvantitative ombyttelighed af varme og arbejde, og Mohr, Grove, Faraday og Liebig luftede tanker om at naturen var en manifestation af en enkelt uforgængelig "kraft". Kuhn stiller spørgsmålet om hvorfor de to årtier op til midt i sidste århundrede var særligt frugtbare mht opdagelsen af energiens bevarelse.

Det ideelle tilfælde af simultan opdagelse implicerer, ifølge Kuhn, at to forskellige personer publicerer den samme ting på samme tid, fuldstændig uvidende om hinandens arbejde, hvilket han dog erkender ingenlunde er tilfældet mht energibevarelsen. At formuleringerne ikke faldt helt samtidigt, og at der var tale om en vis grad af gensidig påvirkning, mener han er uvæsentligt, men at ingen af pionererne faktisk sagde det samme, er mere problematisk. Det blev først i retrospekt klart at de alle havde fat i den samme sammenhæng, nemlig energibevarelsen. Det påfaldende er således ikke en række samtidige enslydende formuleringer, men det faktum at forskellige brikker i energibevarelsens puslespil pludselig begyndte at dukke op alle mulige steder. Kuhn vælger derfor at formulere sit spørgsmål således:

"Why, in the years 1830-50, did so many of the experiments and concepts required for a full statement of energy conservation lie so close to the surface of scientific consciousness."
(Kuhn 1959, s.72)

For at besvare dette spørgsmål, skelner han mellem de forudsætninger, der nødvendigvis måtte være til stede, for at energibevarelsen kunne opdages, og noget han kalder "trigger factors", der i modsætning til almindelige forudsætninger er specifikke for netop den periode, og således forklarer fænomenet simultan opdagelse.

De tre "trigger factors" Kuhn gennemgår er:

1) Tilgængeligheden af omdannelsesprocesser.

I kølvandet på Voltas opfindelse af batteriet i 1800 fulgte en strøm af opdagelser, der gjorde at mange omdannelsesprocesser mellem varme, elektricitet, magnetisme, bevægelse, lys o.a. kunne produceres i laboratoriet. Dette indikerede en forbindelse mellem tidligere adskilte grene af videnskaben, og bidrog på forskellig vis til fremvæksten af ideen om en bevaret størrelse i forbindelse med omdannelsesprocesserne.

2) Optagetheden af maskiner.

Af de 9 pionerer, som mere eller mindre nåede frem til en kvantificering af omdannelsesprocesserne, var alle, på nær Mayer og Helmholtz, ingeniører. Det vigtigste bidrag interessen for maskiner gav, var introduktionen af begrebet arbejde og enheder herfor. Vis viva kunne så bestemmes til $\frac{1}{2}mv^2$ og bringes i dimensionsmæssig overensstemmelse med arbejdsbegrebet, F·s.

3) Naturfilosofien.

Syv af de 12 pionerer, de 5 tyskere, Colding og Hirn, lader til at have haft en idé om en underliggende, uforgængelig, metafysisk kraft allerede før der var eksperimentel basis for en sådan antagelse. Kuhn mener dog ikke, som mange historikere har antydnet, at der er nogen direkte forbindelse til 1700-tallets ideer om bevarelsen af vis viva. Derimod betragter han det som yderst sandsynligt, at der er tale om påvirkning fra tidens naturfilosofiske skole i Tyskland, idet han dog erkender ikke at have tilstrækkeligt kendskab til dette til at uddybe det.

Y. Elkana og P.M. Heimann har reageret på Kuhns opfattelse af energiens bevarelse som eksempel på simultan opdagelse i artiklerne hhv "The conservation of energy: a case of simultaneous discovery?" fra 1970 og "Conversion of Forces and the Conservation of Energy" fra 1974.

Elkana mener ikke at energibevarelsessætningen er et eksempel på simultan opdagelse, men at det i stedet var tilfældet at forskellige grupper af personer, forskellige steder i Europa, i årene mellem 1840 og 1860, beskæftigede sig med forskellige problemer og fandt forskellige svar på deres problemer. Det var ifølge Elkana først i 1860'erne at sammenhængen mellem de forskellige resultater blev åbenbar.

Ifølge Elkana gælder det således at Mayer opdagede uforgængeligheden af naturens kræfter, at Helmholtz opdagede at summen af de forskellige kræfter var konstant og havde enheden mv^2 , at Joule opdagede konvertibiliteten mellem varme og "mekanisk kraft", udfra hvilken Thomson fastslog den dynamiske varmeteorier og endelig viste Clausius, Thomson og Rankine ækvivalensen af de forskellige resultater.

Dette argument imødekommer dog ikke Kuhns tilgang til problemet, som Heimann påpeger (1974), idet formuleringen fokuserer på det underlige i at så mange forskellige eksperimenter og begreber, som alle bidrog til erkendelsen af energiens bevarelse, dukkede op i netop den korte periode.

Elkana forklarer bla fænomenet med at man i 1800-tallet var parat til sætninger som energibevarelsessætningen, da store dele af religionen var blevet miskrediteret af videnskaben, tiden var derfor parat til store alt-forenende naturteorier, hvilket energibevarelsen kunne være en del af.

Elkana kritiserer dog også Kuhns formulering af hvad der skal regnes for simultan opdagelse, for at være så vag at den faktisk ikke kan bruges til noget. Han fortsætter med at vende Kuhns egne ord mod ham selv, idet han citerer denne for at have skrevet at man ikke i pionerernes arbejder kan se den simultane opdagelse af energibevarelse, og spørger:

"So why call it simultaneous discovery at all?"

(Elkana 1970)

Elkanas hovedkritikpunkt af Kuhns artikel, og iøvrigt af alle de øvrige artikler han har læst om simultane opdagelser, er at han synes at alle mangler et klart kriterium for hvad der skal regnes som simultan opdagelse.

"Kuhn's paper is not only the best treatment of our problem yet available, but also rich in unexploited suggestions and ideas which are only hinted at. This richness however is on the verge of becoming an embarrassment because no clear stand emerges. His very careful formulation almost contradicts his own title."

(Elkana 1970)

Heimann diskuterer ligesom Elkana hvorvidt man, i henhold til Kuhns artikel kan kalde opdagelsen af princippet om energiens bevarelse for en simultan opdagelse. Heimann kritiserer dog, i modsætning til Elkana, Kuhns skelnen mellem forudsætninger og "trigger factors".

Således benægter Heimann at kendskabet til konverteringsprocesser specielt skulle være begrænset til tiden efter 1830 og mener at man alene med henvisning til britisk naturfilosofi (ved Hutton) tydeligt kan læse, at konverteringsprocesser hører til i dennes tradition.

Endvidere henvises til Davy og Rumford, som længe før 1830 introducerede denne tankegang. Heimann mener på dette grundlag ikke at tilgængeligheden af konverteringsprocesser kan kaldes en "trigger factor".

Heimanns hovedpointe er altså at Kuhn tager fejl når han prøver at eftervise at det var de nævnte "trigger factors", der var bestemmende for pionerernes samtidige opdagelser. Han mener derudover ikke at det er muligt at adskille "trigger factors" fra forudsætninger i al almindelighed.

Hvad man nu end mener om sådanne "trigger factors" som forklaringsmodel, så lader de tre af Kuhn opstillede under alle omstændigheder til at passe godt til de her omtalte personer.

Joules oprindelige interesse og fascination lå i den tilsyneladende uudtømmelige kraftkilde han så i elektromagnetismen. Det er påfaldende at disse arbejder optog ham netop i en tid hvor man, specielt i England, så maskiners anvendelighed og derfor havde en begrundet interesse i deres effektivitet. Efter Joules erkendelse af at selv elektromagnetismen havde sine begrænsninger, kunne han bekvemt, i overensstemmelse med sin religiøse baggrund, se logikken i at hvad Gud havde skabt ikke af sig selv kunne hverken skabes eller forgå. Det stemte også med den filosofiske strømning i England på dette tidspunkt, nemlig en tro på naturens selvopretholdelsesevne.

Lidt enklere så naturens sammenhænge ud for danskeren Colding, idet han gennem sin stærke kristne tro ikke på noget tidspunkt tvivlede på bevarelsen af hvad Gud én gang havde skabt. Af Coldings tekster får man derfor det klare indtryk, at det for ham kun gjaldt om, gennem eksperimenter, at vise hvad han vidste i forvejen.

Andre faktorer, der kan have sporet Colding ind på ideen om energibevarelse, er hans tilknytning til Ørsted og dermed dennes naturfilosofi, samt kendskab til at førende videnskabsfolk, specielt i Frankrig, var optaget af konverteringsprocesser.

Mayer og Helmholtz, der begge voksede op i romantikkens Tyskland, må have været påvirkede af de tendenser til en tro på enhed i naturen, der her var fremherskende. Hvorvidt Mayer har haft noget kendskab til de efterhånden udbredte konverteringsprocesser i fysikken, er tvivlsomt, men vedrørende optagetheden af maskiner kan man hæfte sig ved at han som den eneste af de fire i sin artikel nævner en mulig anvendelse af opdagelsen af energiens bevarelse, idet han gør opmærksom på at selv datidens mest effektive maskiner kun i ringe grad udnytter hvad der ideelt er muligt.

Helmholtz har tilsyneladende ikke interesseret sig meget for maskiner på det tidspunkt. Til gengæld afslører han et omfattende kendskab til konverteringsprocesser, og bruger flittigt artikler med eksempler på sådanne i sin fremstilling.

I nærværende projekt er der ikke lagt vægt på undersøgelse af pionerernes indbyrdes uafhængighed, ej heller har ideen om "trigger factors" fået nogen særlig opmærksomhed i gennemgangen af de centrale artikler. Denne kan derimod tjene til en uddybning af spørgsmålet om hvad de forskellige personer opdagede og hvad de sagde. I lyset af gennemgangen må det siges at argumentet om at ingen af pionererne egentlig sagde det samme virker lidt søgt.

Det kan nok være, at det er svært at udskille samtidens forståelse, og i særdeleshed pionerernes egen forståelse, af deres formuleringer, fra eftertidens fortolkning. Spørgsmålet er dog hvorvidt det overhovedet er interessant at forsøge på dette. At det i retrospekt kan vises at de forskellige formuleringer i grundsubstansen er identiske, må være tilstrækkeligt når der

diskuteres simultan opdagelse, idet man dårligt kan forlange at pionererne selv skulle have været opmærksomme på dette, da de jo netop formodes at have arbejdet uafhængigt af hinanden.

Vi mener at have vist at de fire her behandlede pionerer alle formulerede et princip om energiens universelle bevarelse på en måde, der gør det svært at se at de ikke skulle have talt om den samme ting, hvadenten det har været synligt for samtiden eller ikke. Vi mener således ikke at der på den baggrund kan rejses overbevisende indsigelser mod tesen om simultan opdagelse.

Litteraturliste

- Billeskov Jansen F.J. et al, 1987. "Hans Christian Ørsted".
IFV-energi i/s (Isefjordsværket).
- Cardwell, 1971. "From Watt to Clausius".
Heinemann, London.
- Cohen, B. 1981. The conservation of energi and the principle of least action".
Arno Press, New York.
- Colding, L.A. 1843. "Nogle Sætninger om Kræfterne". Det Kgl. Danske
Videnskabernes Selskab. Bianco Lunos Bogtrykkeri, København.
- Colding, L.A. 1850. 1. artikel: "Undersøgelse om de almindelige Naturkræfter og deres
gjensidige Afhængighed og isærdeles om den ved visse faste Legemers Gnidning
udviklede Varme" og 2. artikel: "Om de almindelige Naturkræfter og deres Gjensidi-
ge Afhængighed". Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskabs Skrifter, Rk 5, Vol.II.
København.
- Copleston, F. 1963. "A History of Philosophy", vol VII.
Search Press, London.
- Dahl, P.F. 1972. "Ludvig Colding and the Conservation of Energy Principle".
Johnsons Reprint Corporation, New York.
- Elkana, Y. 1970. The Conservation of Energy: A Case of Simultaneous Discovery?.
I "The Conservation of Energy and the Principle of Least Action", Cohen, I.B. 1981,
Arno Press, New York.
- Elkana, Y. 1974. "The Discovery of the Conservation of Energy".
Harvard University Press, Cambridge. 2. oplag 1975.
- Gillispie, C.C. 1970-80. "Dictionary of Scientific Biography".
Charles Scribner's Sons, New York.
- Goldstein, H. 1959. "Classical Mechanics". Addison-Wesley
Publishing Company, Inc., Reading, Mass., USA.
- Hartnack, H. 1969. "Filosofiens historie". Gyldendal,
København.
- Hartnack, J. 1971. "Fra Kant til Hegel". Berlingske Forlag, København.
- Heimann, P.M. 1974. Conversion of Forces and the Conservation of Energy.
Centaurus 18: 147-61.
- Heimann, P.M. 1974-75. Helmholtz and Kant: The Metaphysical Foundations
of *Über die Erhaltung der Kraft*. Studies in History and Philosophy of Science 5: 205-
38.

- Helmholtz, H. 1947. "Über die Erhaltung der Kraft".
Udgivet af C. Kirsten og K. Zeisler 1982, Akademie-Verlag, Berlin. Citater fra dette værk er gengivet i egen oversættelse.
- Joule, J.P. 1847. (Oversat til tysk af ukendt!). "Ueber das mechanische Aequivalent der Wärme, Bestimmt durch die Wärme-Erregung bei Reibung von Flüssigkeiten". *Annalen der Physik und Chemie*, 3.Reihe. Verlag von J.A. Barth. Leipzig
- Knudsen, O. & Pedersen, O. 1976. "Lærebog i mekanik", 1. del. Akademisk Forlag.
- Koenigsberger, L. "Hermann von Helmholtz". Oversat af Welby, F.A. 1906 (genoptryk 1965), General Publishing Company, Ltd., Toronto, Canada.
- Kuhn, T.S. 1959. Energy Conservation as an example of Simultaneous Discovery, s. 66-104. I "The Essential Tension", Kuhn, T.S. 1977, The University of Chicago Press, Chicago.
- Lübcke, P. 1990. "Politikens filosofi leksikon". Politikens Forlag.
- Marstrand, V. 1929. "Ingeniøren og fysikeren Ludvig August Colding. Danmarks Naturvidenskabelige Samfund, G.E.C GAD, København.
- Mayer, J.R. 1842. "Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur", s. 233-240. *Annalen der Chemie und Pharmacie* von F. Wöhler und J. Liebig, Band XLII. Citater fra dette værk er egne oversættelser.
- Norrild, P. 1990. "Phlogiston -det brændbares princip".
Fra Naturens verden 1990/29.
- Sandfort, J. Oversat af Benny Lautrup. 1965.
"Varme, arbejde og energi i teknikens tjeneste". Gyldendahls kvantebøger.
- The open university. Blok III. 1981.
"Time, chances and thermodynamiks"
- Truesdell, C. 1980. "The tragicomical history of thermodynamics 1822-1854".
Springer verlag. New York.
- Thomson, W. 1853. "On the dynamical theory of Heat",
s.261-? Transactions of the Royal society of Edinburgh, vol.XX. Edinburgh
- Truesdell, C. 1968. "Essays on the History of Mechanics".
Springer-Verlag.
- Watson, E.C. 1947. California Institute of technology.
"Joules only General Exposition of the Principle of Conservation of Energy", s 383-390. *American Journal of Physics*.
- Woolhouse, R.S. 1981. "Leibniz: Metaphysics and Philosophy of science".
Oxford University Press. Oxford.

- 1/78 "TANKER OM EN PRAKSIS" - et matematikprojekt. Projektrapport af: Anne Jensen, Lena Lindenskov, Marianne Kesselhahn og Nicolai Lomholt. Vejleder: Anders Madsen
- 2/78 "OPTIMERING" - Menneskets forøgede beherskelsermuligheder af natur og samfund. Projektrapport af: Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen, Gert Kreinø og Peter H. Lassen. Vejleder: Bernhelm Boss.
- 3/78 "OPCAVESAMLING", breddekursus i fysik. Af: Lasse Rasmussen, Aage Bonde Kræmmer og Jens Højgaard Jensen.
- 4/78 "TRE ESSAYS" - om matematikundervisning, matematiklæreruddannelsen og videnskabsrindalismen. Af: Mogens Niss. Nr. 4 er p.t. udgået.
- 5/78 "BIBLIOGRAFISK VEJLEDNING til studiet af DEN MODERNE FYSIKS HISTORIE". Af: Helge Kragh. Nr. 5 er p.t. udgået.
- 6/78 "NOGLE ARTIKLER OG DEBATINDLÆG OM - læreruddannelse og undervisning i fysik, og - de naturvidenskabelige fags situation efter studenteroprøret". Af: Karin Beyer, Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.
- 7/78 "MATEMATIKKENS FORHOLD TIL SAMFUNDSØKONOMIEN". Af: B.V. Gnedenko. Nr. 7 er udgået.
- 8/78 "DYNAMIK OG DIAGRAMMER". Introduktion til energy-bond-graph formalismen. Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 9/78 "OM PRAKSIS' INDFLYDELSE PÅ MATEMATIKKENS UDVIKLING". - Motiver til Kepler's: "Nova Stereometria Doliorum Vinariorum". Projektrapport af: Lasse Rasmussen. Vejleder: Anders Madsen.
-
- 10/79 "TERMODYNAMIK I GYMNASIET". Projektrapport af: Jan Christensen og Jeanne Mortensen, Vejledere: Karin Beyer og Peder Voetmann Christiansen.
- 11/79 "STATISTISKE MATERIALER". Af: Jørgen Larsen.
- 12/79 "LINEARE DIFFERENTIALLIGNINGER OG DIFFERENTIALLIGNINGSSYSTEMER". Af: Mogens Brun Heefelt. Nr. 12 er udgået.
- 13/79 "CAVENDISH'S FORSØG I GYMNASIET". Projektrapport af: Gert Kreinø. Vejleder: Albert Chr. Paulsen.
- 14/79 "BOOKS ABOUT MATHEMATICS: History, Philosophy, Education, Models, System Theory, and Works of". Af: Else Høyrup. Nr. 14 er p.t. udgået.
- 15/79 "STRUKTUREL STABILITET OG KATASTROFER i systemer i og udenfor termodynamisk ligevægt". Specialeopgave af: Leif S. Striegler. Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
- 16/79 "STATISTIK I KRÆFTFORSKNINGEN". Projektrapport af: Michael Olsen og Jørn Jensen. Vejleder: Jørgen Larsen.
- 17/79 "AT SPØRGE OG AT SVARE i fysikundervisningen". Af: Albert Christian Paulsen.
- 18/79 "MATHEMATICS AND THE REAL WORLD", Proceedings of an International Workshop, Roskilde University Centre, Denmark, 1978. Preprint. Af: Bernhelm Booss og Mogens Niss (eds.)
- 19/79 "GEOMETRI, SKOLE OG VIRKELIGHED". Projektrapport af: Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen og Per H.H. Larsen. Vejleder: Mogens Niss.
- 20/79 "STATISTISKE MODELLER TIL BESTEMMELSE AF SIKRE DOSER FOR CARCINOGENE STOFFER". Projektrapport af: Michael Olsen og Jørn Jensen. Vejleder: Jørgen Larsen
- 21/79 "KONTROL I GYMNASIET-FORMAL OG KONSEKVENSER". Projektrapport af: Crilles Bacher, Per S. Jensen, Preben Jensen og Torben Nysteen.
- 22/79 "SEMIOTIK OG SYSTEMEGENSKABER (1)". I-port lineær response og støj i fysikken. Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 23/79 "ON THE HISTORY OF EARLY WAVE MECHANICS - with special emphasis on the role of reality". Af: Helge Kragh.
-
- 24/80 "MATEMATIKOPFATTELSE HOS 2.C'ERE". a+b. 1. En analyse. 2. Interviewmateriale. Projektrapport af: Jan Christensen og Knud Lindhardt Rasmussen. Vejleder: Mogens Niss.
- 25/80 "EKSAMENSOPGAVER", Dybdemodulet/fysik 1974-79.
- 26/80 "OM MATEMATISKE MODELLER". En projektrapport og to artikler. Af: Jens Højgaard Jensen m.fl.
- 27/80 "METHODOLOGY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE IN PAUL DIRAC'S PHYSICS". Af: Helge Kragh.
- 28/80 "DELETTRISK RELAXATION: - et forslag til en ny model bygget på væskernes viscoelastiske egenskaber". Projektrapport af: Gert Kreinø. Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 29/80 "ODIN - undervisningsmateriale til et kursus i differentiaalligningsmodeller". Projektrapport af: Tommy R. Andersen, Per H.H. Larsen og Peter H. Lassen. Vejleder: Mogens Brun Heefelt.
- 30/80 "FUSIONSENERGIEN - - - ATOMSAMFUNDETS ENDESTATION". Af: Oluf Danielsen. Nr. 30 er udgået.
- 31/80 "VIDENSKABSTEORETISKE PROBLEMER VED UNDERVISNINGSSYSTEMER BASERET PÅ MÆNGDELÆRE". Projektrapport af: Troels Lange og Jørgen Karrebæk. Vejleder: Stig Andur Pedersen. Nr. 31 er p.t. udgået.
- 32/80 "POLYMERE STOFFERS VISCOELASTISKE EGENSKABER - BELYST VED HJÆLP AF MEKANISKE IMPEDANSMÅLINGER MØSSBAUEREFFEKTALINGER". Projektrapport af: Crilles Bacher og Preben Jensen. Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.
- 33/80 "KONSTITUERING AF FAG INDEN FOR TEKNISK - NATURVIDENSKABELIGE UDDANNELSER. I-II". Af: Arne Jakobsen.
- 34/80 "ENVIRONMENTAL IMPACT OF WIND ENERGY UTILIZATION". ENERGY SERIES NO. I. Af: Bent Sørensen. Nr. 34 er udgået.

- 35/80 "HISTORISKE STUDIER I DEN NYERE ATOMFYSIKS UDVIKLING".
Af: Helge Kragh.
- 36/80 "HVAD ER MENINGEN MED MATEMATIKUNDERVISNINGEN?".
Fire artikler.
Af: Mogens Niss.
- 37/80 "RENEWABLE ENERGY AND ENERGY STORAGE".
ENERGY SERIES NO. 2.
Af: Bent Sørensen.
-
- 38/81 "TIL EN HISTORIE TEORI OM NATURERKENDELSE, TEKNOLOGI OG SAMFUND".
Projekt rapport af: Erik Gade, Hans Hedal, Henrik Lau og Finn Physant.
Vejledere: Stig Andur Pedersen, Helge Kragh og Ib Thiersen.
Nr. 38 er p.t. udgået.
- 39/81 "TIL KRITIKKEN AF VEKSTØKONOMIEN".
Af: Jens Højgaard Jensen.
- 40/81 "TELEKOMMUNIKATION I DANMARK - oplæg til en teknologivurdering".
Projekt rapport af: Arne Jørgensen, Bruno Petersen og Jan Vedde.
Vejleder: Per Nørgaard.
- 41/81 "PLANNING AND POLICY CONSIDERATIONS RELATED TO THE INTRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO ENERGY SUPPLY SYSTEMS".
ENERGY SERIES NO. 3.
Af: Bent Sørensen.
- 42/81 "VIDENSKAB TEORI SAMFUND - En introduktion til materialistiske videnskabsopfattelser".
Af: Helge Kragh og Stig Andur Pedersen.
- 43/81 1. "COMPARATIVE RISK ASSESSMENT OF TOTAL ENERGY SYSTEMS".
2. "ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DECENTRALIZATION".
ENERGY SERIES NO. 4.
Af: Bent Sørensen.
- 44/81 "HISTORISKE UNDERSØGELSER AF DE EKSPERIMENTELLE FORUDSÆNINGER FOR RUTHERFORDS ATOMMODEL".
Projekt rapport af: Niels Thor Nielsen.
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
-
- 45/82 Er aldrig udkommet.
- 46/82 "EKSEMPLARISK UNDERVISNING OG FYSISK ERKENDELSE-1+1 ILLUSTRERET VED TO EKSEMPLER".
Projekt rapport af: Torben O. Olsen, Lasse Rasmussen og Niels Dreyer Sørensen.
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
- 47/82 "BARSEBÄCK OG DET VÆRST OFFICIELT-TÆNKELIGE UHELD".
ENERGY SERIES NO. 5.
Af: Bent Sørensen.
- 48/82 "EN UNDERSØGELSE AF MATEMATIKUNDERVISNINGEN PÅ ADGANGSKURSUS TIL KØBENHAVNS TEKNIKUM".
Projekt rapport af: Lis Eilertzen, Jørgen Karrebæk, Troels Lange, Preben Nørregaard, Lissi Pedersen, Laust Rishøj, Lill Røn og Isac Showiki.
Vejleder: Mogens Niss.
- 49/82 "ANALYSE AF MULTISPEKTRALE SATELLITBILLEDER".
Projekt rapport af: Preben Nørregaard.
Vejledere: Jørgen Larsen og Rasmus Ole Rasmussen.
- 50/82 "HERSLEV - MULIGHEDER FOR VEDVARENDE ENERGI I EN LANDSBY".
ENERGY SERIES NO. 6.
Rapport af: Bent Christensen, Bent Hove Jensen, Dennis B. Møller, Bjarne Laursen, Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.
Vejleder: Bent Sørensen.
- 51/82 "HVAD KAN DER GØRES FOR AT AFHJÆLPE PIGERS BLOKERING OVERFOR MATEMATIK?".
Projekt rapport af: Lis Eilertzen, Lissi Pedersen, Lill Røn og Susanne Stender.
- 52/82 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS".
Af: Bernhelm Booss og Krzysztof Wojciechowski.
- 53/82 "THE CONSTITUTION OF SUBJECTS IN ENGINEERING EDUCATION".
Af: Arne Jacobsen og Stig Andur Pedersen.
- 54/82 "FUTURES RESEARCH" - A Philosophical Analysis of Its Subject-Matter and Methods.
Af: Stig Andur Pedersen og Johannes Witt-Hansen.
- 55/82 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.
En biografi.
Af: Else Højrup.
Vedr. tekst nr. 55/82 se også tekst nr. 62/83.
- 56/82 "EN - TO - NINJE" -
En undersøgelse af matematisk økologi.
Projekt rapport af: Troels Lange.
Vejleder: Anders Madsen.
-
- 57/83 "ASPECT EKSPERIMENTET"-
Skjulte variable i kvantemekanikken?
Projekt rapport af: Tom Juul Andersen.
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
Nr. 57 er udgået.
- 58/83 "MATEMATISKE VANDRINGER" - Modelbetragtninger over spredning af dyr mellem småbiotoper i agerlandet.
Projekt rapport af: Per Hammershøj Jensen og Lene Vagn Rasmussen.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 59/83 "THE METHODOLOGY OF ENERGY PLANNING".
ENERGY SERIES NO. 7.
Af: Bent Sørensen.
- 60/83 "MATEMATISK MODEKSPERIMENT"- et eksempel.
Projekt rapport af: Erik O. Gade, Jørgen Karrebæk og Preben Nørregaard.
Vejleder: Anders Madsen.
- 61/83 "FYSIKS IDEOLOGISKE FUNKTION, SOM ET EKSEMPEL PÅ EN NATURVIDENSKAB - HISTORISK SET".
Projekt rapport af: Annette Post Nielsen.
Vejledere: Jens Højrup, Jens Højgaard Jensen og Jørgen Vogelius.
- 62/83 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.
En biografi 2. rev. udgave.
Af: Else Højrup.
- 63/83 "CREATING ENERGY FUTURES: A SHORT GUIDE TO ENERGY PLANNING".
ENERGY SERIES No. 8.
Af: David Crossley og Bent Sørensen.
- 64/83 "VON MATEMATIK UND KRIEG".
Af: Bernhelm Booss og Jens Højrup.
- 65/83 "ANVENDT MATEMATIK - TEORI ELLER PRAKSIS".
Projekt rapport af: Per Hedegård Andersen, Kirsten Habekost, Carsten Holst-Jensen, Annelise von Moos, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejledere: Bernhelm Booss og Klaus Grünbaum.
- 66/83 "MATEMATISKE MODELLER FOR PERIODISK SELEKTION I ESCHERICHIA COLI".
Projekt rapport af: Hanne Lisbet Andersen, Ole Richard Jensen og Klavs Frisdahl.
Vejledere: Jørgen Larsen og Anders Hede Madsen.
- 67/83 "ELEPSOIDE METODEN - EN NY METODE TIL LINEAR PROGRAMMERING?".
Projekt rapport af: Lone Billmann og Lars Boye.
Vejleder: Mogens Brun Heefelt.
- 68/83 "STOKASTISKE MODELLER I POPULATIONSGENETIK" - til kritikken af teoriladede modeller.
Projekt rapport af: Lise Odgård Gade, Susanne Hansen, Michael Hviid og Frank Mølgård Olsen.
Vejleder: Jørgen Larsen.

- 69/83 "ELEVFORUDSÆTNINGER I FYSIK"
- en test i l.g med kommentarer.
Af: Albert C. Paulsen.
- 70/83 "INDLÆRINGS - OG FORMIDLINGSPROBLEMER I MATEMATIK PÅ VOKSENUNDERVISNINGSNIVEAU".
Projekt rapport af: Hanne Lisbet Andersen, Torben J. Andreasen, Svend Åge Houmann, Helle Glerup Jensen, Keld Fl. Nielsen, Lene Vagn Rasmussen.
Vejleder: Klaus Grünbaum og Anders Hede Madsen.
- 71/83 "PIGER OG FYSIK"
- et problem og en udfordring for skolen?
Af: Karin Beyer, Sussanne Elegaas, Birthe Olsen, Jette Reich og Mette Vedelsby.
- 72/83 "VERDEN IFVLGE PEIRCE" - to metafysiske essays, om og af C.S Peirce.
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 73/83 "EN ENERGIANALYSE AF LANDBRUG"
- økologisk contra traditionelt.
ENERGY SERIES NO. 9
Specialeopgave i fysik af: Bent Hove Jensen.
Vejleder: Bent Sørensen.
-
- 74/84 "MINIATURISERING AF MIKROELEKTRONIK" - om videnskabeliggjort teknologi og nytten af at lære fysik.
Projekt rapport af: Bodil Harder og Linda Szkotak Jensen.
Vejledere: Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.
- 75/84 "MATEMATIKUNDERVISNINGEN I FREMTIDENS GYMNASIUM"
- Case: Lineær programmering.
Projekt rapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl og Frank Mølgaard Olsen.
Vejledere: Mogens Brun Heefelt og Jens Bjørneboe.
- 76/84 "KERNEKRAFT I DANMARK?" - Et høringssvar indkaldt af miljøministeriet, med kritik af miljøstyrelsens rapporter af 15. marts 1984.
ENERGY SERIES No. 10
Af: Niels Boye Olsen og Bent Sørensen.
- 77/84 "POLITISKE INDEKS - FUP ELLER FAKTA?"
Opinionsundersøgelser belyst ved statistiske modeller.
Projekt rapport af: Svend Åge Houmann, Keld Nielsen og Susanne Stender.
Vejledere: Jørgen Larsen og Jens Bjørneboe.
- 78/84 "JÆVNSTRØMSLEDNINGSEVNE OG GITTERSTRUKTUR I AMORFT GERMANIUM".
Specialrapport af: Hans Hedal, Frank C. Ludvigsen og Finn C. Physant.
Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 79/84 "MATEMATIK OG ALMENDANNELSE".
Projekt rapport af: Henrik Coster, Mikael Wennerberg Johansen, Povl Kattler, Birgitte Lydholm og Morten Overgaard Nielsen.
Vejleder: Bernhelm Booss.
- 80/84 "KURSUSMATERIALE TIL MATEMATIK B".
Af: Mogens Brun Heefelt.
- 81/84 "FREKVENSafhængig LEDNINGSEVNE I AMORFT GERMANIUM".
Specialrapport af: Jørgen Wind Petersen og Jan Christensen.
Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 82/84 "MATEMATIK - OG FYSIKUNDERVISNINGEN I DET AUTOMATISEREDE SAMFUND".
Rapport fra et seminar afholdt i Hvidovre 25-27 april 1983.
Red.: Jens Højgaard Jensen, Bent C. Jørgensen og Mogens Niss.
- 83/84 "ON THE QUANTIFICATION OF SECURITY":
PEACE RESEARCH SERIES NO. 1
Af: Bent Sørensen
nr. 83 er p.t. udgået
- 84/84 "NOGLE ARTIKLER OM MATEMATIK, FYSIK OG ALMENDANNELSE".
Af: Jens Højgaard Jensen, Mogens Niss m. fl.
- 85/84 "CENTRIFUGALREGULATORER OG MATEMATIK".
Specialrapport af: Per Hødegård Andersen, Carsten Holst-Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.
- 86/84 "SECURITY IMPLICATIONS OF ALTERNATIVE DEFENSE OPTIONS FOR WESTERN EUROPE".
PEACE RESEARCH SERIES NO. 2
Af: Bent Sørensen.
- 87/84 "A SIMPLE MODEL OF AC HOPPING CONDUCTIVITY IN DISORDERED SOLIDS".
Af: Jeppe C. Dyre.
- 88/84 "RISE, FALL AND RESURRECTION OF INFINITESIMALS".
Af: Detlef Laugwitz.
- 89/84 "FJERNVARMEOPTIMERING".
Af: Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.
- 90/84 "ENERGI I L.G - EN TEORI FOR TILRETTTELÆGGELSE".
Af: Albert Chr. Paulsen.
-
- 91/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET".
1. Lærervejledning
Projekt rapport af: Biger Lundgren, Henning Sten Hansen og John Johansson.
Vejleder: Torsten Meyer.
- 92/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET".
2. Materiale
Projekt rapport af: Biger Lundgren, Henning Sten Hansen og John Johansson.
Vejleder: Torsten Meyer.
- 93/85 "THE SEMIOTICS OF QUANTUM - NON - LOCALITY".
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 94/85 "TREENIGHEDEN BOURBAKI - generalen, matematikeren og ånden".
Projekt rapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl og Frank M. Olsen.
Vejleder: Mogens Niss.
- 95/85 "AN ALTERNATIV DEFENSE PLAN FOR WESTERN EUROPE".
PEACE RESEARCH SERIES NO. 3
Af: Bent Sørensen
- 96/85 "ASPEKTER VED KRAFTVARMEFORSYNING".
Af: Bjarne Lillethorup.
Vejleder: Bent Sørensen.
- 97/85 "ON THE PHYSICS OF A.C. HOPPING CONDUCTIVITY".
Af: Jeppe C. Dyre.
- 98/85 "VALGMULIGHEDER I INFORMATIONSALEDEREN".
Af: Bent Sørensen.
- 99/85 "Der er langt fra Q til R".
Projekt rapport af: Niels Jørgensen og Mikael Klintorp.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.
- 100/85 "TALSISTEMETS OPBYGNING".
Af: Mogens Niss.
- 101/85 "EXTENDED MOMENTUM THEORY FOR WINDMILLS IN PERTURBATIVE FORM".
Af: Ganesh Sengupta.
- 102/85 OPSTILLING OG ANALYSE AF MATEMATISKE MODELLER, BELYST VED MODELLER OVER KØRS FODEROPFÆLSE OG - OMSÆTNING".
Projekt rapport af: Lis Eilertzen, Kirsten Habekost, Lill Røn og Susanne Stender.
Vejleder: Klaus Grünbaum.

- 103/85 "VDSLE KOLDKRIGERE OG VIDENSKABENS LYSE IDEER".
Projekt rapport af: Niels Ole Dam og Kurt Jensen.
Vejleder: Bent Sørensen.
- 104/85 "ANALOGREGNEMASKINEN OG LORENZLIGNINGER".
Af: Jens Jøger.
- 105/85 "THE FREQUENCY DEPENDENCE OF THE SPECIFIC HEAT OF THE GLASS REANSTITIQU".
Af: Tage Christensen.
- "A SIMPLE MODEL AF AC HOPPING CONDUCTIVITY".
Af: Jeppe C. Dyre.
Contributions to the Third International Conference on the Structure of Non - Crystalline Materials held in Grenoble July 1985.
- 106/85 "QUANTUM THEORY OF EXTENDED PARTICLES".
Af: Bent Sørensen.
- 107/85 "EN MYG GØR INGEN EPIDEMI".
- flodblindhed som eksempel på matematisk modellering af et epidemiologisk problem.
Projekt rapport af: Per Hedeqård Andersen, Lars Boye, Carsten Holst Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejleder: Jesper Larsen.
- 108/85 "APPLICATIONS AND MODELLING IN THE MATHEMATICS CURRICULUM" - state and trends -
Af: Mogens Niss.
- 109/85 "COX I STUDIETIDEN" - Cox's regressionsmodel anvendt på studenteroplysninger fra RUC.
Projekt rapport af: Mikael Wønnenberg Johansen, Poul Kattler og Torben J. Andreasen.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 110/85 "PLANNING FOR SECURITY".
Af: Bent Sørensen
- 111/85 "JORDEN RUNDT PÅ FLADE KORT".
Projekt rapport af: Birgit Andresen, Beatriz Quinones og Jimmy Staal.
Vejleder: Mogens Niss.
- 112/85 "VIDENSKABELIGGØRELSE AF DANSK TEKNOLOGISK INNOVATION FRØM TIL 1950 - BELYST VED EKSEMPLER".
Projekt rapport af: Erik Odgaard Gade, Hans Medal, Frank C. Ludvigsen, Annette Post Nielsen og Finn Physant.
Vejleder: Claus Bryld og Bent C. Jørgensen.
- 113/85 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS 11".
Af: Bernhelm Booss og Krzysztof Wojciechowski.
- 114/85 "ANVENDELSE AF GRAFISKE METODER TIL ANALYSE AF KONTIGENTABELLER".
Projekt rapport af: Lone Billmann, Ole R. Jensen og Anne-Lise von Moos.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 115/85 "MATEMATIKKENS UDVIKLING OP TIL RENESSANCEN".
Af: Mogens Niss.
- 116/85 "A PHENOMENOLOGICAL MODEL FOR THE MEYER-NEIDEL RULE".
Af: Jeppe C. Dyre.
- 117/85 "KRAFT & FJERNVARMEOPTIMERING".
Af: Jacob Mørch Pedersen.
Vejleder: Bent Sørensen
- 118/85 "TILFÆLDIGHEDEN OG NØDVENDIGHEDEN IFØLGE PEIRCE OG FYSIKKEN".
Af: Peder Voetmann Christiansen
- 120/86 "ET ANTAL STATISTISKE STANDARDMODELLER".
Af: Jørgen Larsen
- 121/86 "SIMULATION I KONTINUERT TID".
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 122/86 "ON THE MECHANISM OF GLASS IONIC CONDUCTIVITY".
Af: Jeppe C. Dyre.
- 123/86 "GYMNASIEFYSIKKEN OG DEN STORE VERDEN".
Fysiklærerforeningen, IMFUFA, RUC.
- 124/86 "OPGAVESAMLING I MATEMATIK".
Samtlige opgaver stillet i tiden 1974-jan. 1986.
- 125/86 "UVBY, 8 - systemet - en effektiv fotometrisk spektral-klassifikation af B-, A- og F-stjerner".
Projekt rapport af: Birger Lundgren.
- 126/86 "OM UDVIKLINGEN AF DEN SPECIELLE RELATIVITETSTEORI".
Projekt rapport af: Lise Odgaard & Linda Szkotak Jensen.
Vejledere: Karin Beyer & Stig Andur Pedersen.
- 127/86 "GALOIS' BIDRAG TIL UDVIKLINGEN AF DEN ABSTRAKTE ALGEBRA".
Projekt rapport af: Pernille Sand, Heine Larsen & Lars Frandsen.
Vejleder: Mogens Niss.
- 128/86 "SMÅKRYB" - om ikke-standard analyse.
Projekt rapport af: Niels Jørgensen & Mikael Klinton.
Vejleder: Jeppe Dyre.
- 129/86 "PHYSICS IN SOCIETY"
Lecture Notes 1983 (1986)
Af: Bent Sørensen
- 130/86 "Studies in Wind Power"
Af: Bent Sørensen
- 131/86 "FYSIK OG SAMFUND" - Et integreret fysik/historie-projekt om naturanskuelsens historiske udvikling og dens samfundsmæssige betingethed.
Projekt rapport af: Jakob Heckscher, Søren Brønd, Andy Wierød.
Vejledere: Jens Høyrup, Jørgen Vogelius, Jens Højgaard Jensen.
- 132/86 "FYSIK OG DANNEELSE"
Projekt rapport af: Søren Brønd, Andy Wierød.
Vejledere: Karin Beyer, Jørgen Vogelius.
- 133/86 "CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSING THE DATA. ENERGY SERIES NO. 15."
Af: Bent Sørensen.
-
- 134/87 "THE D.C. AND THE A.C. ELECTRICAL TRANSPORT IN AsSeTe SYSTEM".
Authors: M.B.El-Den, N.B.Olsen, Ib Høst Pedersen, Petr Visčor
- 135/87 "INTUITIONISTISK MATEMATIKS METODER OG ERKENDELSESTEORETISKE FORUDSÆTNINGER"
MATEMATIKSPECIALE: Claus Larsen
Vejledere: Anton Jensen og Stig Andur Pedersen
- 136/87 "Mystisk og naturlig filosofi: En skitse af kristendommens første og andet møde med græsk filosofi"
Projekt rapport af Frank Colding Ludvigsen
Vejledere: Historie: Ib Thiersen
Fysik: Jens Højgaard Jensen
- 137/87 "HOPMODELLER FOR ELEKTRISK LEDNING I UORDNEDE FASTE STOFFER" - Resume af licentiatafhandling
Af: Jeppe Dyre
Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.
- 119/86 "DET ER GANSKE VIST - - EUKLIDS FEMTE POSTULAT KUNNE NOK SKABE RØRE I ANDEDAMMEN".
Af: Iben Maj Christiansen
Vejleder: Mogens Niss.

- 138/87 "JOSEPHSON EFFECT AND CIRCLE MAP."
Paper presented at The International Workshop on Teaching Nonlinear Phenomena at Universities and Schools, "Chaos in Education". Balaton, Hungary, 26 April-2 May 1987.
By: Peder Voetmann Christiansen
- 139/87 "Machbarkeit nichtbeherrschbarer Technik durch Fortschritte in der Erkennbarkeit der Natur"
Af: Bernhelm Booss-Bavnbek
Martin Bohle-Carbonell
- 140/87 "ON THE TOPOLOGY OF SPACES OF HOLOMORPHIC MAPS"
By: Jens Gravesen
- 141/87 "RADIOMETERS UDVIKLING AF BLODGASAPPARATUR - ET TEKNOLOGIHISTORISK PROJEKT"
Projektrapport af Finn C. Physant
Vejleder: Ib Thiersen
- 142/87 "The Calderón Projektor for Operators With Splitting Elliptic Symbols"
by: Bernhelm Booss-Bavnbek og
Krzysztof P. Wojciechowski
- 143/87 "Kursusmateriale til Matematik på NAT-BAS"
af: Mogens Brun Heefelt
- 144/87 "Context and Non-Locality - A Peircean Approach
Paper presented at the Symposium on the Foundations of Modern Physics The Copenhagen Interpretation 60 Years after the Como Lecture. Joensuu, Finland, 6 - 8 august 1987.
By: Peder Voetmann Christiansen
- 145/87 "AIMS AND SCOPE OF APPLICATIONS AND MODELLING IN MATHEMATICS CURRICULA"
Manuscript of a plenary lecture delivered at ICMTA 3, Kassel, FRG 8.-11.9.1987
By: Mogens Niss
- 146/87 "BESTEMMELSE AF BULKRESISTIVITETEN I SILICIUM"
- en ny frekvensbaseret målemetode.
Fysikspeciale af Jan Vedde
Vejledere: Niels Boye Olsen & Petr Višćor
- 147/87 "Rapport om BIS på NAT-BAS"
redigeret af: Mogens Brun Heefelt
- 148/87 "Naturvidenskabsundervisning med Samfundsperspektiv"
af: Peter Colding-Jørgensen DLH
Albert Chr. Paulsen
- 149/87 "In-Situ Measurements of the density of amorphous germanium prepared in ultra high vacuum"
by: Petr Višćor
- 150/87 "Structure and the Existence of the first sharp diffraction peak in amorphous germanium prepared in UHV and measured in-situ"
by: Petr Višćor
- 151/87 "DYNAMISK PROGRAMMERING"
Matematikprojekt af:
Birgit Andresen, Keld Nielsen og Jimmy Staal
Vejleder: Mogens Niss
- 152/87 "PSEUDO-DIFFERENTIAL PROJECTIONS AND THE TOPOLOGY OF CERTAIN SPACES OF ELLIPTIC BOUNDARY VALUE PROBLEMS"
by: Bernhelm Booss-Bavnbek
Krzysztof P. Wojciechowski
- 153/87 "HALVLEDERTEKNOLOGIENS UDVIKLING MELLEM MILITÆRE OG CIVILE KREFTER"
Et eksempel på humanistisk teknologihistorie
Historiespeciale
Af: Hans Hedal
Vejleder: Ib Thiersen
- 154/87 "MASTER EQUATION APPROACH TO VISCOUS LIQUIDS AND THE GLASS TRANSITION"
By: Jeppe Dyre
- 155/87 "A NOTE ON THE ACTION OF THE POISSON SOLUTION OPERATOR TO THE DIRICHLET PROBLEM FOR A FORMALLY SELFADJOINT DIFFERENTIAL OPERATOR"
by: Michael Pedersen
- 156/87 "THE RANDOM FREE ENERGY BARRIER MODEL FOR AC CONDUCTION IN DISORDERED SOLIDS"
by: Jeppe C. Dyre
- 157/87 "STABILIZATION OF PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS BY FINITE DIMENSIONAL BOUNDARY FEEDBACK CONTROL: A pseudo-differential approach."
by: Michael Pedersen
- 158/87 "UNIFIED FORMALISM FOR EXCESS CURRENT NOISE IN RANDOM WALK MODELS"
by: Jeppe Dyre
- 159/87 "STUDIES IN SOLAR ENERGY"
by: Bent Sørensen
- 160/87 "LOOP GROUPS AND INSTANTONS IN DIMENSION TWO"
by: Jens Gravesen
- 161/87 "PSEUDO-DIFFERENTIAL PERTURBATIONS AND STABILIZATION OF DISTRIBUTED PARAMETER SYSTEMS: Dirichlet feedback control problems"
by: Michael Pedersen
- 162/87 "PIGER & FYSIK - OG MEGET MERE"
AF: Karin Beyer, Sussanne Blegaa, Birthe Olsen, Jette Reich, Mette Vedelsby
- 163/87 "EN MATEMATISK MODEL TIL BESTEMMELSE AF PERMEABILITETEN FOR BLOD-NETHINDE-BARRIEREN"
Af: Finn Langberg, Michael Jarden, Lars Frellesen
Vejleder: Jesper Larsen
- 164/87 "Vurdering af matematisk teknologi
Technology Assessment
Technikfolgenabschätzung"
Af: Bernhelm Booss-Bavnbek, Glen Pate med
Martin Bohle-Carbonell og Jens Højgaard Jensen
- 165/87 "COMPLEX STRUCTURES IN THE NASH-MOSER CATEGORY"
by: Jens Gravesen

- 166/88 "Grundbegreber i Sandsynlighedsregningen"
Af: Jørgen Larsen
- 167a/88 "BASISSTATISTIK 1. Diskrete modeller"
Af: Jørgen Larsen
- 167b/88 "BASISSTATISTIK 2. Kontinuerte modeller"
Af: Jørgen Larsen
- 168/88 "OVERFLADEN AF PLANETEN MARS"
Laboratorie-simulering og MARS-analoger undersøgt ved Mossbauerspektroskopi.
Fysikspeciale af:
Birger Lundgren
Vejleder: Jens Martin Knudsen
Fys.Lab./HCØ
- 169/88 "CHARLES S. PEIRCE: MURSTEN OG MØRTEL TIL EN METAFYSIK."
Fem artikler fra tidsskriftet "The Monist" 1891-93.
Introduktion og oversættelse:
Peder Voetmann Christiansen
- 170/88 "OPGAVESAMLING I MATEMATIK"
Samtlige opgaver stillet i tiden 1974 - juni 1988
- 171/88 "The Dirac Equation with Light-Cone Data"
af: Johnny Tom Ottesen
- 172/88 "FYSIK OG VIRKELIGHED"
Kvantemekanikkens grundlagsproblem i gymnasiet.
Fysikprojekt af:
Erik Lund og Kurt Jensen
Vejledere: Albert Chr. Paulsen og Peder Voetmann Christiansen
-
- 173/89 "NUMERISKE ALGORITMER"
af: Mogens Brun Heefelt
- 174/89 "GRAFISK FREMSTILLING AF FRAKTALER OG KAOS"
af: Peder Voetmann Christiansen
- 175/89 "AN ELEMENTARY ANALYSIS OF THE TIME DEPENDENT SPECTRUM OF THE NON-STATONARY SOLUTION TO THE OPERATOR RICCATI EQUATION"
af: Michael Pedersen
- 176/89 "A MAXIMUM ENTROPY ANSATZ FOR NONLINEAR RESPONSE THEORY"
af: Jeppe Dyre
- 177/89 "HVAD SKAL ADAM STÅ MODEL TIL"
af: Morten Andersen, Ulla Engström, Thomas Gravesen, Nanna Lund, Pia Madsen, Dina Rawat, Peter Torstensen
Vejleder: Mogens Brun Heefelt
- 178/89 "BIOSYNTESEN AF PENICILLIN - en matematisk model"
af: Ulla Eghave Rasmussen, Hans Oxvang Mortensen, Michael Jarden
vejleder i matematik: Jesper Larsen
biologi: Erling Lauridsen
- 179a/89 "LÆRERVEJLEDNING M.M. til et eksperimentelt forløb om kaos"
af: Andy Wierød, Søren Brønd og Jimmy Staal
Vejledere: Peder Voetmann Christiansen
Karin Beyer
- 179b/89 "ELEVHEFTE: Noter til et eksperimentelt kursus om kaos"
af: Andy Wierød, Søren Brønd og Jimmy Staal
Vejledere: Peder Voetmann Christiansen
Karin Beyer
- 180/89 "KAOS I FYSISKE SYSTEMER eksemplificeret ved torsions- og dobbeltpendul".
af: Andy Wierød, Søren Brønd og Jimmy Staal
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen
- 181/89 "A ZERO-PARAMETER CONSTITUTIVE RELATION FOR PURE SHEAR VISCOELASTICITY"
by: Jeppe Dyre
- 183/89 "MATHEMATICAL PROBLEM SOLVING, MODELLING. APPLICATIONS AND LINKS TO OTHER SUBJECTS - State, trends and issues in mathematics instruction
by: WERNER BLUM, Kassel (FRG) og MOGENS NISS, Roskilde (Denmark)
- 184/89 "En metode til bestemmelse af den frekvensafhængige varmfylde af en underafkølet væske ved glasovergange"
af: Tage Emil Christensen
-
- 185/90 "EN NÆSTEN PERIODISK HISTORIE"
Et matematisk projekt
af: Steen Grode og Thomas Jessen
Vejleder: Jacob Jacobsen
- 186/90 "RITUAL OG RATIONALITET i videnskabers udvikling"
redigeret af Arne Jakobsen og Stig Andur Pedersen
- 187/90 "RSA - et kryptografisk system"
af: Annetette Sofie Olufsen, Lars Frellesen og Ole Møller Nielsen
Vejledere: Michael Pedersen og Finn Munk
- 188/90 "FERMICONDENSATION - AN ALMOST IDEAL GLASS TRANSITION"
by: Jeppe Dyre
- 189/90 "DATAMATER I MATEMATIKUNDERVISNINGEN PÅ GYMNASIET OG HØJERE LÆREANSTALTER
af: Finn Langberg

- 190/90 "FIVE REQUIREMENTS FOR AN APPROXIMATE NONLINEAR RESPONSE THEORY"
by: Jeppe Dyre
- 191/90 "MOORE COHOMOLOGY, PRINCIPAL BUNDLES AND ACTIONS OF GROUPS ON C^* -ALGEBRAS"
by: Iain Raeburn and Dana P. Williams
- 192/90 "Age-dependent host mortality in the dynamics of endemic infectious diseases and SIR-models of the epidemiology and natural selection of co-circulating influenza virus with partial cross-immunity"
by: Viggo Andreassen
- 193/90 "Causal and Diagnostic Reasoning"
by: Stig Andur Pedersen
- 194a/90 "DETERMINISTISK KAOS"
Projektrapport af: Frank Olsen
- 194b/90 "DETERMINISTISK KAOS"
Kørselsrapport
Projektrapport af: Frank Olsen
- 195/90 "STADIER PÅ PARADIGMETS VEJ"
Et projekt om den videnskabelige udvikling der førte til dannelse af kvantemekanikken.
Projektrapport for 1. modul på fysikuddannelsen, skrevet af:
Anja Boisen, Thomas Hougård, Anders Gorm Larsen, Nicolai Ryge.
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen
- 196/90 "ER KAOS NØDVENDIGT?"
- en projektrapport om kaos' paradigmatiske status i fysikken.
af: Johannes K. Nielsen, Jimmy Staal og Peter Bøggild
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen
- 197/90 "Kontrafaktiske konditionaler i HOL"
af: Jesper Voetmann, Hans Oxvang Mortensen og Aleksander Høst-Madsen
Vejleder: Stig Andur Pedersen
- 198/90 "Metal-Isolator-Metal systemer"
Speciale
af: Frank Olsen
- 199/90 "SPREDT FÆGTNING" Artikelsamling
af: Jens Højgaard Jensen
- 200/90 "LINEÆR ALGEBRA OG ANALYSE"
Noter til den naturvidenskabelige basisuddannelse.
af: Mogens Niss
- 201/90 "Undersøgelse af atomare korrelationer i amorfe stoffer ved røntgendiffraction"
af: Karen Birkelund og Klaus Dahl Jensen
Vejledere: Petr Višćor, Ole Bakander
- 202/90 "TEGN OG KVANTER"
Foredrag og artikler, 1971-90.
af: Peder Voetmann Christiansen
- 203/90 "OPGAVESAMLING I MATEMATIK" 1974-1990
afløser tekst 170/88
-
- 204/91 "ERKENDELSE OG KVANTEMEKANIK"
et Breddemodul Fysik Projekt
af: Thomas Jessen
Vejleder: Petr Višćor
- 205/91 "PEIRCE'S LOGIC OF VAGUENESS"
by: Claudine Engel-Tiercelin
Department of Philosophy
Université de Paris-1
(Panthéon-Sorbonne)
- 206a+b/91 "GERMANIUMBEAMANALYSE SAMT A - GE TYNDFILMS ELEKTRISKE EGENSKABER"
Eksperimentelt Fysikspeciale
af: Jeanne Linda Mortensen og Annette Post Nielsen
Vejleder: Petr Višćor
- 207/91 "SOME REMARKS ON AC CONDUCTION IN DISORDERED SOLIDS"
by: Jeppe C. Dyre
- 208/91 "LANGEVIN MODELS FOR SHEAR STRESS FLUCTUATIONS IN FLOWS OF VISCO-ELASTIC LIQUIDS"
by: Jeppe C. Dyre
- 209/91 "LORENZ GUIDE" Kompendium til den danske fysiker Ludvig Lorenz, 1829-91.
af: Helge Kragh
- 210/91 "Global Dimension, Tower of Algebras, and Jones Index of Split Separable Subalgebras with Unitality Condition."
by: Lars Kadison
- 211/91 "I SANDHEDENS TJENESTE"
- historien bag teorien for de komplekse tal.
af: Lise Arleth, Charlotte Gjerrild, Jane Hansen, Linda Kyndlev, Anne Charlotte Nilsson, Kamma Tulinius.
Vejledere: Jesper Larsen og Bernheer Booss-Bavnbek
- 212/91 "Cyclic Homology of Triangular Matrix Algebras"
by: Lars Kadison
- 213/91 "Disease-induced natural selection in a diploid host"
by: Viggo Andreassen and Freddy E. Christiansen

- 214/91 "Halleøj i æteren" - om elektromagnetisme. Oplæg til undervisningsmateriale i gymnasiet.
Af: Nils Kruse, Peter Gastrup, Kristian Hoppe, Jeppe Guldager
Vejledere: Petr Viscor, Hans Hedal
- 215/91 "Physics and Technology of Metal-Insulator-Metal thin film structures used as planar electron emitters
by: A. Delong, M. Drsticka, K. Hladil, V. Kolarik, F. Olsen, P. Pavelka and Petr Viscor.
- 216/91 "Kvantemekanik på PC'eren"
af: Thomas Jessen
-
- 217/92 "Two papers on APPLICATIONS AND MODELLING IN THE MATHEMATICS CURRICULUM"
by: Mogens Niss
- 218/92 "A Three-Square Theorem"
by: Lars Kadison
- 219/92 "RUPNOK - stationær strømning i elastiske rør"
af: Anja Boisen, Karen Birkelund, Mette Olufsen
Vejleder: Jesper Larsen
- 220/92 "Automatisk diagnosticering i digitale kredsløb"
af: Bjørn Christensen, Ole Møller Nielsen
Vejleder: Stig Andur Pedersen
- 221/92 "A BUNDLE VALUED RADON TRANSFORM, WITH APPLICATIONS TO INVARIANT WAVE EQUATIONS"
by: Thomas P. Branson, Gestur Olafsson and Henrik Schlichtkrull
- 222/92 On the Representations of some Infinite Dimensional Groups and Algebras Related to Quantum Physics
by: Johnny T. Ottesen
- 223/92 THE FUNCTIONAL DETERMINANT
by: Thomas P. Branson
- 224/92 UNIVERSAL AC CONDUCTIVITY OF NON-METALLIC SOLIDS AT LOW TEMPERATURES
by: Jeppe C. Dyre
- 225/92 "BATMODELLEN" Impedansspektroskopi i ultrarent en-krystallinsk silicium
af: Anja Boisen, Anders Gorm Larsen, Jesper Varmer, Johannes K. Nielsen, Kit R. Hanser, Peter Bøggild og Thomas Hougaard
Vejleder: Petr Viscor
- 226/92 "METHODS AND MODELS FOR ESTIMATING THE GLOBAL CIRCULATION OF SELECTED EMISSIONS FROM ENERGY CONVERSION"
by: Bent Sørensen
- 227/92 "Computersimulering og fysik"
af: Per M. Hansen, Steffen Holm, Peter Maibom, Mads K. Dall Petersen, Pernille Postgaard, Thomas B. Schrøder, Ivar P. Zeck
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen
- 228/92 "Teknologi og historie"
Fire artikler af:
Mogens Niss, Jens Høyrup, Ib Thiersen, Hans Hedal
- 229/92 "Masser af information uden betydning"
En diskussion af informationsteorien i Tor Nørretranders' "Mærk Verden" og en skitse til et alternativ baseret på andenordens kybernetik og semiotik.
af: Søren Brier
- 230/92 "Vinklens tredeling - et klassisk problem"
et matematisk projekt af
Karen Birkelund, Bjørn Christensen
Vejleder: Johnny Ottesen
- 231A/92 "Elektrondiffusion i silicium - en matematisk model"
af: Jesper Voetmann, Karen Birkelund, Mette Olufsen, Ole Møller Nielsen
Vejledere: Johnny Ottesen, H.B. Hansen
- 231B/92 "Elektrondiffusion i silicium - en matematisk model" Kildetekster
af: Jesper Voetmann, Karen Birkelund, Mette Olufsen, Ole Møller Nielsen
Vejledere: Johnny Ottesen, H.B. Hansen