

Denne fil er downloadet fra
Danmarks Tekniske Kulturarv
www.tekniskkulturarv.dk

Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek og indeholder scannede bøger og fotografier fra bibliotekets historiske samling.

Rettigheder

Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på *www.tekniskkulturarv.dk/about*

Er du i tvivl om brug af værker, bøger, fotografier og tekster fra siden, er du velkommen til at sende en mail til *tekniskkulturarv@dtu.dk*

Julius Petersen.

Varmelære.

INDUSTRI-
FORENINGEN.

#536

~~29~~

536

536

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

~~6~~ 83

VARMELÆRE

AF

JULIUS PETERSEN

OVERLÆRER, HERLUFSHOLM



**INDUSTRI-
FORENINGEN.**

KJØBENHAVN

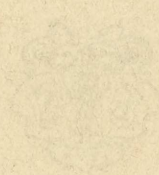
LEHMANN & STAGES FORLAG

TRIERS BOGTRYKKERI (H. J. SCHOU)

1896

VARMEEFE

JOHNS PETERSEN



FRANKLIN COUNTY

Varmegrader.

1. Legemers Udvidelse ved Varmen. Man kan ved simple Forsøg let se, at Varmen udvider saa godt som alle Legemer. Luftarter udvide sig saa meget, at man kan iagttage det ved at sætte en almindelig Kolbe i Vand, som Fig. 1 viser; saa snart man lægger en varm Haand paa Kolben, synker Vandet inden i. Vædsker udvide sig mindre ved Opvarmning, men enhver har dog iagttaget det ofte paa et Termometer, hvis Indretning netop grunder sig paa Udvidelsen af den Vædske, Termometret indeholder. Faste Legemers Udvidelse er kun ringe; den iagttages let ved et Apparat som Fig. 2. En Metalstang, *t*, som er fastgjort i den ene Ende, opvarmes ved en lang Flamme; Stangens frie Ende trykker paa den korte Arm af en Vægtstang, og paa dennes lange Arm ses Forandringerne tydeligt. Den Udvidelse, som herved iagttages, kaldes Stangens Længdeudvidelse, men Varmen vil ogsaa udvide Stangen i alle andre Retninger, saa at der for faste Legemers Vedkommende baade bliver Tale om Længdeudvidelse og Rumfangsudvidelse. For Vædskers og Luftarters Vedkommende kan der kun tales om Udvidelse af Rumfanget.

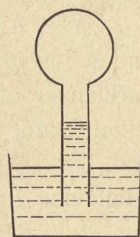


Fig. 1.

Dersom et fast Legeme indeholder et hult Rum, vil dette ogsaa blive større ved Opvarmning. At det maa være saaledes, kan man indse ved at tænke sig Hulrummet fyldt med Stof af samme Art som Legemet; ved Opvarmning maa det

hele vedblive at være et massivt Legeme. Dette Forhold er ogsaa bekendt fra Erfaringen; en Glasprop eller Korkprop, som slutter stramt, faas i Reglen let op, naar Flaskehalsen

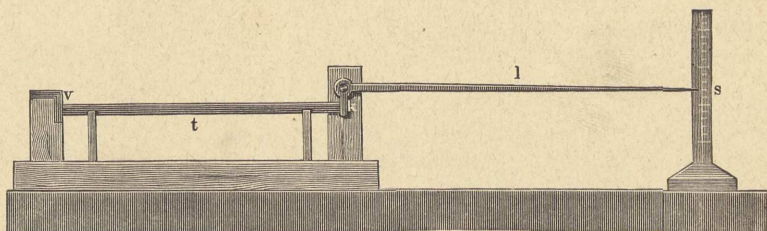


Fig. 2.

varmes lidt. Naar vi iagttage Udvidelsen af en Luftart eller en Vædske, som er indelukket i en Beholder, se vi altsaa kun Forskellen mellem Luftens eller Vædskens Udvidelse og Beholderens. Den sidstes Udvidelse er saa godt som altid forsvindende i Forhold til Luftens men derimod ikke i Forhold til Vædskens.

Ved Afkøling ville Legemerne trække sig sammen, saa at et Legemes Rumfang (eller Længde) paa en bestemt Maade afhænger af dets Varmetilstand. Der er ogsaa andre Ting, som kunne have Indflydelse paa Legemernes Rumfang, f. Eks. de Tryk, de ere underkastede, men hvis disse ydre Omstændigheder holdes uforandrede og man flere Gange iagttager, at et Legeme har et bestemt Rumfang, saa siger man, at Varmegraden eller Temperaturen er den samme. Man vil saaledes iagttage, at et bestemt Legemes Rumfang altid er ens, naar Legemet i nogen Tid har været helt omgivet af Vand, hvori der overalt ligger smaa Istumper, eller af Sne, befulgtet med Vand. Man siger derfor, at denne Blanding har en konstant Temperatur, som man benævner 0° . Ligeledes vil man finde, at et Legemes Rumfang er det samme altid, naar det befinder sig i et Rum, der er fyldt med Dampe af Vand, som koger under et normalt Luftryk paa 76^{cm} . Denne Varmegrad kaldes 100° .

2. Varmegrader. Andre Varmegrader end de nævnte kunne nu bestemmes ved et hvilket som helst Legemes Ud-

videlse. Man kunde f. Eks. vælge en Metalstang og iagttage, hvor meget den udvidede sig ved en Opvarmning fra 0° til 100° , og derefter vilkaarlig fastslaa, at Temperaturen steg 1° for hver Gang, Stangen udvidede sig $\frac{1}{100}$ af den før nævnte Størrelse. Herved vilde der dog være flere Ulemper; for det første er faste Legemers Udvidelse meget lille, men værre er det dog, at en og samme Temperatur vilde blive angivet ved forskellige Tal, eftersom man brugte det ene eller det andet Legeme, idet de ikke udvide sig ganske efter samme Lov. Paa lignende Maade kunde man prøve at benytte Vædsker, men disse have de samme Ulemper, og desuden afhænger deres tilsyneladende Udvidelse i kendelig Grad af Beholderens, saa at den samme Vædske ikke vil give samme Bestemmelse af Temperaturen, naar Beholderen gøres af en anden Glassort. Denne sidste Ulempe faar derimod ingen Betydning over for Luftarterne, der udvide sig saa stærkt. Det ligger derfor nær at vælge disse til at fastsætte Varmegraderne, idet vi tage et bestemt Rumfang tør Luft og iagttage, hvor meget det udvider sig ved Opvarmning fra 0° til 100° , naar Lufttrykket holdes konstant; hver Gang Luften da, stadig under samme Tryk, udvider sig $\frac{1}{100}$ af den iagttagne Størrelse, saa sige vi, at Temperaturen stiger 1° . Hvad der yderligere taler for denne Definition af Temperaturen, er den Omstændighed, at de forskellige Luftarter derved ville angive en Temperatur med saa godt som ens Tal. Da der lige kan mærkes en ringe Uoverensstemmelse heri, har man valgt at benytte Luftarten Brint til at definere Temperaturen paa den nævnte Maade.

3. Luftarternes Vægtfylde og Tilstandsligning. En Luftart med konstant Tryk vil nu, ifølge den nylig givne Definition paa Temperatur, udvide sig proportionalt med Temperaturen. Tillige er Udvidelsen proportional med det Rumfang, v_0 , som Luften har ved 0° . Kaldes Rumfanget ved t° for v , og a er en Konstant, faar man $v - v_0 = av_0 t$ eller

$$v = v_0 (1 + at).$$

Men naar Rumfanget forøges i Forholdet $(1 + at)$, vil Vægtfylden formindskes i samme Forhold, og da Vægtfylden

tillige efter Mariottes Lov er proportional med Trykket, har man

$$f = k \frac{b}{1 + at},$$

idet f , b og t betyde Luftartens Vægtfylde, Tryk og Temperatur, og k er en for hver Luftart særegen Konstant.

I Reglen indfører man en anden Betegnelse i Stedet for k , nemlig Luftartens Normalvægtfylde, hvorved man forstaaer den Vægtfylde, Luften har ved 0° Varme og 76^{cm} Tryk. Kaldes Normalvægtfylden F , har man $F = k \cdot \frac{76}{1}$ eller $k = \frac{F}{76}$, hvorved

$$f = \frac{Fb}{76(1 + at)}.$$

Kaldes Luftens Rumfang ved Trykket b og Temperaturen t° for v , faar man Vægten

$$p = \frac{F \cdot b \cdot v}{76(1 + at)}.$$

Tage vi altsaa en bestemt afgrænset Luftmasse, er Vægten p og Normalvægtfylden F uforanderlige Størrelser, medens vi kunne forandre b , v og t paa mange Maader, men af den nylig fundne Ligning lære vi, at Brøken $\frac{bv}{1 + at}$ under alle Omstændigheder beholder en konstant Værdi. Ligningen

$$\frac{bv}{1 + at} = \text{konstant} = \frac{76p}{F}$$

kaldes Luftens Tilstandsligning.

Størrelsen a kaldes Luftens Udvidelseskoefficient; hvorledes den findes, læres i næste §. Derimod er det i den mek. Fys. § 67 og 70 vist, hvorledes Normalvægtfylden findes.

4. Udvidelseskoefficienten for Luftarter bestemmes paa følgende Maade. En Glaskolbe, L , er ved et Haarrør sat i Forbindelse med Røret A , og dette er atter ved en Kautschukslange i Forbindelse med Røret B . I Kolben er tør Luft, som er afspærret ved Kvægsølv, og ved at hæve eller sænke B kan man flytte Kvægsølvoverfladen i A . Først anbringes Kolben i smeltende Sne, som er 0° varm, og man bringer

Kvægsølvet i *A* til at staa ved et Mærke *m* tæt under Haarrøret. Nu aflæses Niveauforskellen mellem Kvægsølvoverfladerne, og denne adderet til Barometerstanden giver den indelukkede Lufts Tryk *b*. Derefter anbringes Kolben i Dampene af kogende Vand, og man sørger atter for, at Kvægsølvet i *A* staaar ved det samme Mærke; Trykket i dette Tilfælde kaldes *b*₁. Hvis nu Vandets Kogning finder Sted under Normaltrykket 76^{cm}, saa er Temperaturen 100°, og man har ifølge Tilstandsligningen

$$\frac{vb_1}{1 + 100\alpha} = vb$$

hvor *v* bortforkortes og *a* beregnes. Dersom Kogningen foregaar under et andet Tryk end det normale, maa der tages Hensyn dertil, og der maa i Ligningen sættes et noget andet Tal i Stedet for 100. Vi skulle senere i § 41 se, hvorledes Kogepunktet forandrer sig med Trykket. Talværdien af Udvidelseskoefficienten bliver

$$\alpha = 0,00367 \text{ eller } \frac{1}{273}$$

og er næsten den samme for alle Luftarter. (Gay-Lussacs Lov).

Ved nøjagtige Forsøg tages der Hensyn til Kolbens Udvidelse, til Temperaturen af Luften i Haarrøret og til, at Kvægsølvets Vægtfylde afhænger af dets Temperatur, saa at den samme Kvægsølvhøjde ikke altid svarer til ganske ens Tryk.

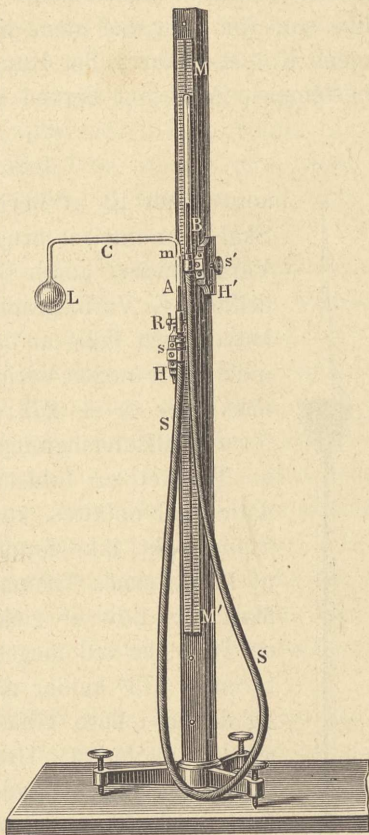


Fig. 3

5. Lufttermometer. Det samme Apparat, som nu er beskrevet, bruges som Termometer til at bestemme Varmegraden i et eller andet Rum. Man gør atter to iagttagelser lige som før, den ene mens Kolben er 0° varm, den anden mens Kolben staar i det Rum, hvis Temperatur t man vil bestemme. Man faar derved Ligningen

$$\frac{vb_1}{1+at} = vb$$



som tjener til at beregne t , idet a nu er bekendt. Skal Termometret bruges til at bestemme meget høje Varmegrader, gøres Beholderen af Platin eller Porcellæn. Er Varmegraden saa lav, at t bliver negativ, betyder det ikke, at det paagældende Rum slet ikke indeholder nogen Varme. Derimod kunne vi se, at t maa være $> \div 273$; sættes nemlig denne Talværdi for t i Tilstandsligningen, faa vi $vb_1 = 0$, det vil sige at Trykket er fuldstændig forsvundet. Hvorledes dette skal opfattes, kunne vi, i det mindste paa dette Standpunkt, ikke forstaa. I øvrigt maa det erindres, at Luftarternes Tilstandsligning er grundet paa, at Mariottes Lov er gældende, hvilket rimeligvis ikke er Tilfældet ved meget lave Varmegrader. Temperaturen $\div 273^{\circ}$ kalder man det absolute Nulpunkt, og det er i flere Tilfælde bekvemt at regne Varmegrader ud derfra. Hvad vi ellers kalde f. Eks. 70° , bliver paa denne Maade udtrykt ved 343° . Man har ikke med Sikkerhed iagttaget Temperaturer under $\div 150^{\circ}$.

6. Kvægsølvtermometer. Da Lufttermometret i Praksis ikke er bekvemt at bruge, foretrækker man i Reglen et Kvægsølvtermometer. Det indrettes paa følgende Maade. Man udsøger sig et Glasrør, der er nogenlunde ens vidt over alt, ved at prøve, om en lille Kvægsølv mængde indtager den samme Længde alle Vegne i Røret. I den ene Ende udblæses en kugle- eller cylinderformet Beholder, og i den anden Ende dannes ligeledes et større Rum, hvori man kan hælde Kvægsølv. Opvarmes Beholderen, vil noget af Luften undvige

Fig. 4.

gennem Røret og Kvægsølvet foroven; ved Afkøling trækker den tiloversblevne Luft sig sammen, og noget Kvægsølv løber ned i Beholderen. Holdes nu Termometret i en skraa Stilling, medens det opvarmes i hele sin Længde, vil Kvægsølvet deri komme i Kog, og Dampene udjage Resten af Luften, saa at hele Beholderen og Røret bagefter ved Afkøling fyldes med Kvægsølv. Nu bringes Termometret i en Temperatur, lidt højere end den, man ønsker, det senere skal være i Stand til at vise, og Røret smeltes til foroven, lidt under Skaalen.

For nu at afsætte Graderne paa Termometret, anbringes det først i Temperaturen 0° og i 100° . Afstanden mellem de Punkter, hvor Kvægsølvet da stiller sig, inddeles i 100 lige store Dele, og disse Grader afsættes over 100 og under 0. Selv om Graderne virkelig ere lige lange paa Termometret, ville de Rumfang i Røret, som svare til Graderne, ikke være lige store, da Røret aldrig er ganske cylindrisk. Man maa derfor ved Forsøg udfinde, hvor stor Fejl der herved kan fremkomme i Temperaturlæsningen, og tage den med i Beregningen. Ligeledes kan Kvægsølvets Tryk inde i Beholderen og Lufttrykket udvendigt ogsaa forandre Beholderens Rumfang saa meget, at det kan have Indflydelse paa meget nøjagtige Temperaturbestemmelser.

Ifølge det, som blev udviklet i § 2, kan man nu ikke gøre Regning paa, at et Kvægsølvtermometer skal vise ganske det samme som et Lufttermometer. Forsøg herover have imidlertid vist, at Afvigelserne ikke ere store, saa længe Temperaturen ikke naar over 200° . De bedste Termometre forfærdiges af en bestemt Sort Glas, og man har udregnet Tabeller, som vise, hvor meget man i saa Fald skal forandre et Kvægsølvtermometers Angivelser, for at de kunne stemme med Lufttermometrets.

Et Kvægsølvtermometer kan bruges mellem Temperaturerne $\div 39^{\circ}$, som er Kvægsølvets Frysepunkt, og cr. 350° , som er nær ved Kogepunktet.

7. Stuetermometre laves enten som det foregaaende, blot mindre omhyggeligt og ikke saa fint inddelte, eller ogsaa bruger man en anden Vædske, f. Eks. farvet Vinaand, der

fyldes i Røret paa lignende Maade som Kvægsølvet. Et Vind-
aandstermometer kan bruges ved meget lave Varmegrader,
da Vædsken ikke fryser, men derimod ikke højere op end
hen imod Spiritusens Kogepunkt 78°. Det inddeles derfor
ved Hjælp af et andet Termometer.

Termometre til Stuebrug anvendes med forskellige Ska-
laer. Den, som hidtil har været omtalt, er efter Celsius.
Oftest bruges hos os Reaumurs Inddeling, med 0 ved Fryse-
punktet og 80 ved Kogepunktet. I nogle Lande bruges
Fahrenheits Inddeling med Tallene 32 og 212 ved de
nævnte Punkter. Skal man foretage en Ændring fra det ene
Termometer til det andet, sker det ved at lægge Mærke til,
at den Afstand, som er mellem de to faste Punkter, udtrykkes
i de tre Termometre ved 100, 80 og 180. Hvis vi nu have
den samme Varmetilstand udtrykt ved de tre Tal C , R og F ,
maa den Vædskesøjle, som ligger mellem Frysepunktet og
den Temperatur, vi bestemme, i alle tre Termometre være
den samme Brøkdæl af Søjlen mellem Frysepunkt og Koge-
punkt. Altsaa har man

$$\frac{C}{5} = \frac{R}{4} = \frac{F-32}{9}$$

idet Tallene 100, 80 og 180 forkortes med 20.

8. Maksimums- og Minimumstermometer. Til at maale
den højeste og laveste Temperatur, det har været i en vis
Tid, kunne Termometrene indrettes saaledes. I et Kvægsølv-

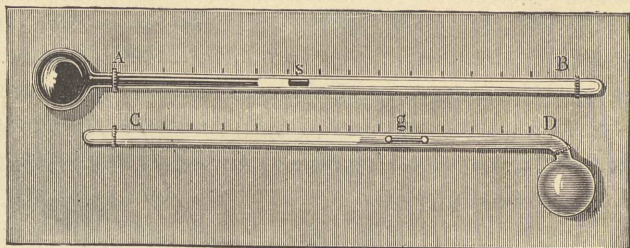


Fig. 5.

termometer, som ligger vandret, befinder der sig en lille Stift
uden for Kvægsølvet. Stiger Temperaturen, skydes Stiften
frem, men den bliver liggende, dersom det bliver koldere, med

mindre der er for megen Vedhængning mellem Stiften og Kvægsølvet; for at forebygge Fejltagelser af denne Grund kan man anvende to Stifter, af hvilke den yderste i ethvert Fald bliver liggende. Lægerne anvende til at maale Legemets Temperatur et Termometer, hvor den yderste Del af Kvægsølvet er skilt fra det øvrige ved en lille Luftblære. Ved Opvarmning drives det adskilte Kvægsølv frem, men det bliver liggende ved senere Afkøling.

Til at maale den laveste Temperatur bruges et vandret Spiritustermometer, hvor der ligger en lille Glasstift med et Par Smaakugler paa Enderne inde i Spiritusen. Ved Udvidelsen passerer Vædsken let forbi, men ved Afkøling trækker Vædskeoverfladen Stiften med sig tilbage.

9. Metaltermometre kunne indrettes paa flere Maader. Lægges f. Eks. en Kobber- og en Jærnstimmel ved Siden af hinanden og loddes eller nittes sammen, vil en Opvarmning bevirke, at Strimlen bøjer sig, idet Kobberet udvider sig mest. En saadan Stimmel kan fra Begyndelsen være bøjet som en Del af en Cirkel; gøres den ene Ende fast, vil den anden altsaa faa en Bevægelse, dersom Temperaturen forandres, og denne Bevægelse kan gøres mere kendelig paa lignende Maade, som det sker i Bourdons Metalbarometer.

10. Faste Legemers Udvidelse ved forskellige Temperaturer kan bestemmes paa flere Maader. Længdeudvidelsen kan findes enten ved et Apparat som i § 1, hvor det da kommer an paa at maale Forholdet mellem Vægtstangsarmene nøjagtigt, eller ogsaa kan man iagttage Udvidelsen direkte med fine Maaleapparater. I begge Tilfælde maa naturligvis Stangen anbringes saaledes, at dens Temperatur kan være ens overalt og maales ved et Termometer; Stangen kan f. Eks. anbringes i en Vædske, som opvarmes. Ved Forsøgene har det nu vist sig, at Udvidelsen vel ikke ganske følger samme Lov, som blev fastslaaet for Luftarterne, men Afvigelserne ere ikke store, saa at man omtrent kan sætte

$$l_1 = l (1 + at),$$

idet l er Længden ved 0° , l_1 ved t° og a en Konstant, Længdeudvidelseskoefficienten.

Dersom det faste Legeme udvider sig lige meget i alle

Retninger, vil Rumfanget vokse saaledes, at Udvidelseskoefficienten bliver 3α . Thi et Rumfang maales altid ved Produktet af 3 Linier, men naar hver af disse forøges i Forholdet $1 + \alpha t$, bliver Rumfanget forøget i Forholdet $(1 + \alpha t)^3$, hvilket med Tilnærmelse er $= 1 + 3\alpha t$, idet de højere Potenser af den lille Størrelse α blive betydningsløse.

Der findes mange Krystaller, som ikke udvide sig lige stærkt i enhver Retning, ja der er endog fundet nogle, som ved Opvarmning trække sig sammen enten i en enkelt Retning eller i alle.

Længdeudvidelseskoefficienten for Jærn er omtrent 0,000 012, for Messing 0,000 019, for Glas 0,000 008.

II. Vædskers Udvidelse. Dersom man iagttaget Udvidelsen af en Vædske, som indeholdes i en Beholder, finder man kun, hvor meget Vædsken udvider sig mere end Beholderen. Den absolute Udvidelse har man for Kvægsølvets Vedkommende bestemt ved et Apparat, som i Hovedsagen bestaar af to forbundne Rør, hvori Kvægsølvet staaar lige højt, dersom dets Temperatur overalt er den samme. Er der derimod Forskel i denne Henseende i de to Rør, vil det varmeste Kvægsølv have den mindste Vægtfylde og altsaa staaa højest. Hvis vi nu antage, at Kvægsølvets Udvidelse foregaar proportionalt med Temperaturen, saa at Rumfanget v ved 0° bliver til $v_1 = v(1 + \alpha t)$ ved t° , saa vil Vægtfylden formindskes i samme Forhold ved Opvarmningen fra 0° til t° , saa at man har $\frac{f_1}{f} = \frac{1}{1 + \alpha t}$, idet Vægtfylden betegnes ved f og f_1 . Holdes nu det ene Rør ved 0° og det andet ved t° , og betegnes de to Vædskehøjder henholdsvis ved h og h_1 , saa maa disse i Tilfælde af Ligevægt forholde sig omvendt som Vægtfylderne, og man har altsaa

$$\frac{h}{h_1} = \frac{1}{1 + \alpha t}$$

ifald Udvidelsen virkelig foregaar efter den nævnte Lov. Ved at lade t variere og hver Gang beregne α , finder man lidt forskellige Værdier for denne Størrelse, hvilket altsaa vil sige, at Udvidelsen ikke ganske følger den Lov, vi antog. Afvi-

gelseerne ere saa smaa, at man i Reglen godt kan regne med Formlen.

$$v_1 = v (1 + at).$$

Kvægsølvets Udvidelseskoefficient er omtrent 0,000 18.

For andre Vædskers Vedkommende har man benyttet andre Metoder; man kan f. Eks. bestemme den relative Udvidelse, idet Vædskerne indelukkes i Glaskolber. Herved kan man faa en Relation mellem Vædskens og Kolbens Udvidelseskoefficienter, og gøres Forsøget først med Kvægsølv, hvis Udvidelse kendes, kan man faa Kolbens egen Udvidelse og derefter ved et nyt Forsøg en anden Vædskes.

12. Vandets Forhold. Fersk Vand afviger mellem 0° og 4° fra andre Legemer, idet det trækker sig sammen ved Opvarmning mellem de to nævnte Temperaturer. Ved 4° faar det altsaa sin største Vægtfylde, idet det udvider sig baade ved Opvarmning og ved Afkøling. Dette Forhold spiller en Rolle i Naturen, idet de underste Vandlag i stillestaaende Vand, hvis Dybde ikke er for ringe, omtrent kunne holde sig paa 4° om Vinteren, skønt der ligger et Islag paa Overfladen.

13. Skønt Udvidelsen ikke er stor for de faste og fly-

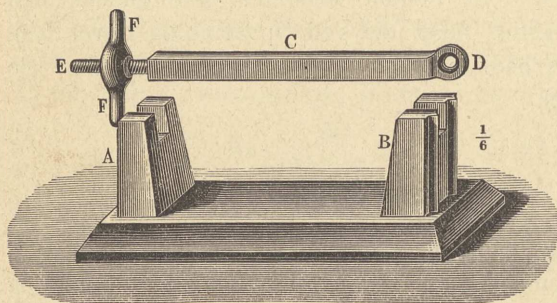


Fig. 6.

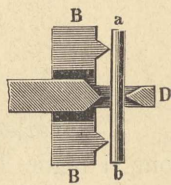


Fig. 7.

dende Legemers Vedkommende spiller den dog en betydelig Rolle, idet den lige som den Sammentrækning, der følger med en Afkøling, foregaar med en stor Kraft. Man kan overbevise sig herom ved et Forsøg med hosstaaende Apparat. Stangen *C* opvarmes, og gennem Hullet *D* i dens ene Ende lægges et Stykke af en Støbejernsstang, som ved

Møttriken F bringes til at ligge fast mod B . Naar nu Stangen C bagefter afkøles, vil den sprænge det lille Støbejernstykke. Man har benyttet den Kraft, hvormed Sammentrækningen sker, til at rette en Bygnings Mure, som vare komne til at hælde udad. Gennem Bygningen blev der lagt Jærnstænger, som gik igennem Murene paa begge Sider; Stængerne bleve opvarmede og fastskruede med Møttriker paa Murenes Ydersider; ved Afkølingen trak Stængerne sig sammen og rettede Murene. Jærnbanseskiner maa ikke støde tæt sammen, da de ellers vilde krumme sig, naar de opvarmes af Solen. Jærnringene om Vognhjul lægges paa, mens de ere meget varme; naar de afkøles, trække de sig sammen og ligge fast. Hvis skøre Legemer opvarmes paa et enkelt Sted, springe de let, dersom Varmen ikke hurtigt kan fordele sig i Legemet; saaledes f. Eks. et Glas, hvori der hældes kogende Vand. Nogle Krystaller eller krystallinske Legemer kunne springe endog ved ringe Opvarmning.

Ved mange nøjagtige Maalinger i Fysiken maa der tages Hensyn til Udvidelsen ved Varmen. To lige store Barometerhøjder betyde f. Eks. ikke det samme Lufttryk, naar Kvægsølvets har forskellig Varmegrad, idet Varmen gør Kvægsølvets Vægtfylde mindre. Et Pendul beholder ikke ganske den samme Svingningstid, naar det ved Opvarmning bliver længere, hvorfor der bedst anvendes Kompensationspenduler. (Se Mek. Fys. § 112).

Opgaver.

1. Hvorledes omdannes Luftarternes Tilstandsligning, dersom vi regne Temperaturen ud fra det absolute Nulpunkt og kalde den θ ?

$$\text{Res. } \frac{vb}{\theta} = \text{konstant.}$$

2. En Jærnbanseskinne er 9^m lang ved 0° ; hvor meget forlænges den ved en Opvarmning til 25° ?

$$\text{Res. } 2,7^{\text{mm}}.$$

3. Afstanden mellem 2 Telegrafpæle er 100 Alen. Hvilken Forskel er der paa Traadens Længde mellem

Pælene om Vinteren i en Temperatur $\div 10^{\circ}$ og om Sommeren i 20° Varme?

Res. $10\frac{1}{3}$ Linie.

4. Et Messingpendul uden Kompensation gør 1 Svingning i Sekundet, naar det er 0° varmt. Hvor meget taber Uret i Døgnet, naar Temperaturen er 20° ?

Res. cr. $16\frac{1}{2}$ Sekund.

5. En Glasflaskes Rumfang ved 0° er 2 Liter; hvor meget forøges Rumfanget ved 100° ?

Res. 4,8 cub^{em}.

6. Hvor meget forøges Rumfanget af 1 L. Kvægsølv, naar det opvarmes fra 0° til 100° ?

Res. 18 cub^{em}.

7. Hvad er Kvægsølvets Vægtfylde ved 300° ?

Res. knap 13.

8. Dersom en Liter Luft opvarmes 100° og udvider sig frit under konstant Tryk, hvilket Rumfang indtager den da?

Res. 1367 cub^{em}.

9. I hvilket Forhold forøges den nævnte Lufts Tryk, dersom dens Rumfang holdes uforandret.

Res. 1,367.

10. Hvis en Barometerstand er b , medens Temperaturen er t° , hvilken Højde vilde da Kvægsølvet staa i, dersom man med samme Lufttryk kunde forandre Kvægsølvets Temperatur til 0° . (Den reducerede Barometerhøjde.)

$$\text{Res. } \frac{b}{1+at} = b(1-at).$$

11. En Luftmængde har Rumfanget v og Trykket b og Temperaturen t . Hvor stort er det reducerede Rumfang, det vil sige det, som Luften vilde indtage ved 0° og 76^{cm} Tryk.

$$\text{Res. } \frac{vb}{76(1+at)}.$$

Varmemængder.

14. **Varmefylde.** Det er en bekendt Erfaring, at naar et varmt Legeme berører et koldere, saa gaar der Varme fra

det første over i det andet. Vi komme derved til at tale om Varmemængder, og for at regne med dem maa vi først vælge os en Enhed derfor. Vi ville som Varmeenhed vælge den Varmemængde, der behøves for at opvarme 1 ^{gr.} Vand fra 0° til 1°; denne Enhed kaldes en Kalori. Det er indlysende, at p ^{gr.} Vand kræve p Kalorier for at opvarmes fra 0° til 1°. Man bruger ogsaa ofte Kilogramkalori, som er 1000 Gramkalorier.

Om derimod 1 ^{gr.} Vand bruger 1 Kalori for at opvarmes fra 1° til 2° eller fra 2° til 3° o. s. v., er et Spørgsmaal, som kun Forsøg kunne afgøre. Disse Forsøg, som omtales i næste §, have vist, at det vel ikke nøjagtigt er Tilfældet, men at vi dog kun gøre en ringe Fejl ved at sige, at p ^{gr.} Vand, som er t^0 varmt, indeholde

pt Varmeenheder

ud over den Varme, der indeholdes i Vandet ved 0°. I Reglen siger man blot, at der i Vandet findes det nævnte Antal Varmeenheder.

Tage vi 1 ^{gr.} af et andet Legeme, f. Eks. Jærn, saa vil der behøves et vist Antal, c , Varmeenheder for at opvarme det fra 0° til 1°. Lige som for Vandets Vedkommende finder man ved Forsøg, at der næsten kræves det samme Antal til hver følgende Grads Opvarmning, saa at q ^{gr.} Jærn ved t^0 indeholde

cqt Varmeenheder,

ud over den Varme, som findes i Jærnet ved 0°. Størrelsen c kaldes Jærnets Varmefylde. Ved Sammenligning af de to Udtryk pt og cqt ser man, at Jærnet og Vandet kræve samme Varmemængde for at opvarmes t^0 , dersom

$$p = cq.$$

Man kalder Produktet cq Jærnets Vandværdi.

Vandets Varmefylde bliver ifølge Definitionen = 1.

15. Kalorimetret er et Apparat, hvorved man kan maale Varmemængder. Det bestaar af et Kar af tyndt Metal, som maa være blankt, helst forgyldt, udenpaa; det befæstes ved saa faa Berøringspunkter som muligt inden i et andet Metalkar, som er forgyldt indvendigt. I Kalorimetret findes p ^{gr.} Vand af Temperaturen t^0 , samt et Termometer, hvorpaa der

kan maales Tiendedele af en Grad, og en Stang til at røre rundt med. Hvis vi nu i Vandet nedsænke q^{gr} af et andet Legeme med Varmefylden c og Temperaturen T ($> t$), saa vil Vandet og selve Kalorimetret med Tilbehør opvarmes, medens Legemet q afkøles. Efter nogle Minutters Forløb faa alle Delene en fælles Temperatur, F , som iagttages. Dersom

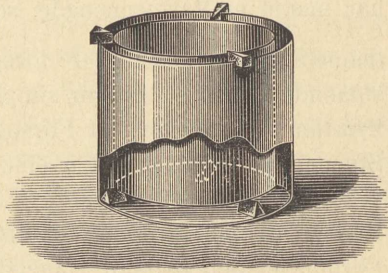


Fig. 8.

vi nu kalde Vandværdien af Kalorimeter, Termometer og Omrører tilsammen for v og sætte den Varmemængde, som disse Legemer og Vandet tilsammen modtage, lig med den, som Legemet q afgiver, faa vi Ligningen

$$(p + v) (F - t) = cq (T - F).$$

Denne Ligning er imidlertid ikke ganske rigtig, idet Kalorimetret vil udstraale Varme til Omgivelserne, hvis det er varmere end disse, og i modsat Fald modtage Varme derfra. For at gøre Unøjagtigheden saa lille som muligt indretter man Kalorimetret som ovenfor beskrevet, idet man ved andre Forsøg har fundet, at blankt Metal, især Guld, udstraaler mindst Varme eller modtager mindst Straalevarme. Ligeledes ophænges Kalorimetret saaledes, at det modtager saa ringe en Varmemængde som muligt ved Ledning fra Omgivelserne. Udstraalingen saa vel fra Karret som fra Overfladen af Vandet formindskes yderligere ved at arbejde med Temperaturer, som ikke afvige meget fra Luftens. Alligevel er det nødvendigt at tage Hensyn dertil, og hvis der kræves stor Nøjagtighed, er det temmelig vidtløftigt. Vil man hjælpe sig med en mindre Nøjagtighed kan man gaa frem paa følgende Maade. Før det egentlige Forsøg gøres, lader man Kalorimetret med sit Tilbehør staa f. Eks. i 2 Minutter, mens man af og til rører om i Vandet, og iagttager Temperaturfaldet α° . Straks derpaa gøres Forsøget med Nedsænkningen af Legemet, og Blandingstemperaturen F iagttages efter andre 2 Minutters Forløb. Tilsidst lader man atter Kalorimetret

staa i 2 Minutter og iagttager Temperaturfaldet β^0 . Man kan da omtrent gøre Regning paa, at Kalorimetret under selve Forsøget har mistet en Varmemængde, som svarer til $\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)^0$, og med denne Størrelse maa da F forøges, før den indsættes i ovenstaaende Ligning. Endnu simplere bliver Fremgangsmaaden, hvis man sørger for, at Forsøget begynder eller ender ved Stuens Temperatur, idet α eller β da bliver 0.

Hver Gang vi nu gøre Forsøg af denne Art og tage Hensyn til den fornødne Rettelse, faa vi en Ligning af samme Form som den ovenfor staaende. Naar vi iagttage Temperaturen og Vægtmængderne og flere Gange bruge Legemer af samme Stof til at nedsænke i Kalorimetret, saa kunne vi altsaa faa en Mængde Ligninger, der kun indeholde de to Ubekendte c og v . Finde vi disse af de to Ligninger og indsætte dem i de øvrige, saa viser det sig, at Ligningerne blive næsten rigtige. Dette vil med andre Ord sige, at vor Forudsætning (i § 14) om, at et Legeme altid kræver den samme Varmemængde for at opvarmes 1 Grad, vel ikke er fuldstændig rigtig, men Unøjagtigheden er ikke større, end at man i Reglen kan se bort fra den.

16. Varmefyldens Bestemmelse. Ved Forsøget i forrige § fandt vi netop Størrelsen c , som er det benyttede Legemes Varmefylde. Hvis vi kende vort Kalorimeters Vandværdi, saa er eet Forsøg altsaa nok til at finde et nyt Stofs Varmefylde. Kende vi ikke v , maa der to Forsøg til, af hvilket det ene bedst gøres ved Nedsækning af et Legeme, hvis Varmefylde vi forud kende, f. Eks. ved blot at hælde mere Vand i Kalorimetret; vi faa nemlig herved en Ligning, som kun indeholder den ene Ubekendte, v . En Vædskes Varmefylde kan bestemmes ved at indelukke den i en lille Glasflaske, hvis Vandværdi kendes og tages med i Beregningen.

Alle faste og flydende Legemer have Varmefylder, som ere mindre end 1, Jærn har ca. $\frac{1}{9}$, Kobber og Messing $\frac{1}{11}$, Glas $\frac{1}{6}$, Platin og Kvægsølv $\frac{1}{30}$, Is $\frac{1}{2}$.

For Luftarternes Vedkommende er Forholdet ikke saa simpelt; de have nemlig forskellige Varmefylder, eftersom vi

lade dem beholde Trykket eller Rumfanget konstant. I første Tilfælde er Varmefylden altid større, det vil sige, der kræves da mere Varme til at opvarme en bestemt Luftmængde et vist Antal Grader. Aarsagen hertil er, at Luften for at holde sit Tryk uforandret maa udvide sig under Opvarmningen og derved udføre et Arbejde, nemlig overvinde det ydre Tryk gennem en vis Vej. Til at udføre et saadant Arbejde kræves der en vis Varmemængde, som altsaa maa tilføres foruden den, som er nødvendig til selve Luftmassens Opvarmning. Ved Forsøg, som for øvrigt ere temmelig vanskelige at udføre, har man fundet, at atmosfærisk Luft har Varmefylden 0,2374 og Brint 3,4; begge Dele gælde for konstant Tryk. Hvis Rumfanget holdes konstant, blive Varmefylderne formindskede i Forholdet 1,4.

Brinten er det eneste bekendte Legeme, som har større Varmefylde end Vand.

17. Varmefyldens Betydning. Tage vi to lige store Vægtmængder af forskellige Stoffer, saa vil det, der har størst Varmefylde, kræve mest Varme for at opnaa en bestemt Temperatur, men omvendt vil det ogsaa ved Afkøling kunne afgive mest Varme. Derfor er Vand en bedre Beholder for Varmen end alle andre faste og flydende Stoffer og vel skikket til at anvendes i Varmeledninger i Huse. (Se § 20). Vandets store Varmefylde spiller en betydelig Rolle i Naturen. Den bidrager meget til at udjævne de store Temperaturforskelle Sommer og Vinter i Egne, som ligge nær ved Havet, saaledes at det særegne ved disse Landes Søklime bestaar i, at Vinteren er forholdsvis mild og Sommeren ikke særlig varm. Ligeledes ville fugtige Jordlag opvarmes og afkøles langsomt, men Temperaturforandringerne i Overfladen foregaa hurtigere paa tørre og sandede Steder.

Opgaver.

12. Hvilken Temperatur faar en Blanding af p Kilo Vand ved t^0 og p_1^k ved t_1^0 ?

$$\text{Res. } \frac{pt + p_1 t_1}{p + p_1}$$

13. Hvilken Temperatur faar 3^k Vand til 20°, naar der hældes 6^k Kvægsølv til 100° deri.

Res. 25°.

14. Et Stykke Platin af Vægt 10^{gr} opvarmes i en Flamme og bringes hurtigt ned i et Kalormeter, som indeholder 200^{gr} Vand. Dette bliver derved opvarmet fra 14,0° til 16°. Find Flammens Temperatur.

Res. 1216°.

Varmens Bevægelse.

18. Straalevarme. Et Legeme kan opvarme et andet, selv om det ikke er i Berøring dermed. Man siger da, at det første Legeme udsender Varmestraaler, som absorberes eller indsuges af det andet. Straalerne udbrede sig i rette Linier med samme Hastighed som Lyset. Nogle Legemer, f. Eks. Solen, sende os baade Straaler, som lyse og varme, andre udsende kun Varmestraaler, saaledes som det er Tilfældet med en varm Kakkelovn. Hvorledes det forholder sig med Varmestraalernes Gennemgang gennem forskellige Legemer, Indsugning eller Tilbagekastning, er nærmere udviklet i Lyslæren § 58 og flg.

19. Ledevarme. Naar to Legemer berøre hinanden, vil det, som har højest Temperatur, afgive Varme til det andet. Denne Varme vil forplante sig fra Punkt til Punkt, saa at Legemets enkelte Dele opvarmes efterhaanden ved Ledning. Den Hastighed, hvormed Ledevarmen udbreder sig, er forskellig for Legemerne; jo hurtigere det sker, desto bedre siger man, at Legemet leder Varmen. For at gøre Forsøg angaaende Ledevarmen kan man tildanne Legemet som en Stang, opvarme den ene Ende og paa forskellige Steder langs Stangen maale Temperaturerne. Man vil da finde, at disse aftage ud imod den anden Ende af Stangen, men efter nogen Tids Forløb holde sig uforandrede. Dette kan forklares saaledes. Stangen leder vel nok stadig Varme udad, men samtidig udstråler den Varme til Omgivelserne; naar Udstrå-

lingen netop er lig med den tilførte Varmemængde, maa hele Tilstanden holde sig uforandret. Gør man Forsøg med Stænger af forskelligt Stof men med ens Tykkelse og ens Overflader (f. Eks. forgyldte), vil man finde, at den samme Opvarmning ved Enden frembringer forskellige Temperaturer i Stængerne. Jo højere Varmegrader en Stang naar, desto bedre leder den, thi af den højere Varmegrad kan man slutte, at Udstraalingen i en vis Tid er større, følgelig maa ogsaa den tilførte Varmemængde være større.

For Vædskers og Luftarters Vedkommende er Undersøgelsen vanskeligere, idet en Opvarmning paa et enkelt Sted frembringer en forandret Vægtfylde, som giver Anledning til Strømninger, og ved disse føres Varmen hen til andre Steder, uafhængig af, hvorledes det forholder sig med Ledevarmen.

Til de gode Ledere høre fortrinsvis Metallerne, men der er dog Forskel paa dem indbyrdes. En Kobbertraad og en Jærntraad af ens Tykkelse blive ikke lige varme, naar deres Ender stikkes ind i en Flamme; den første leder bedre end den anden. Sølv er den bedste Leder; en Sølvske i en Kop Kaffe bliver hurtig opvarmet. Holder man et Stykke Metalnæt over en Flamme, vil denne ikke slaa igennem Nættet, fordi det afkøler Flammen ved at bortlede Varme. Herpaa grunder sig Davy's Sikkerhedslampe, som anvendes i Gruber for at undgaa Eksplosion af let antændelige Luftarter, som ofte udvikle sig paa saadanne Steder. Lampen er helt omgivet af et Metalnæt, og selv om der strømmer brændbare Luftarter inden for Nættet, slaar Flammen ikke ud af dette.

Til de daarlige Ledere høre f. Eks. Træ, Glas og Porcellæn. En Tændstik kan man holde med Fingrene, til den næsten er brændt helt op. Et Glas springer let, naar det udsættes for en høj Varmegrad paa den ene Side, idet denne da maa udvide sig stærkt, inden den anden Side endnu har naaet at blive opvarmet. Vædsker lede alle med Undtagelse af Kvægsølv meget daarligt. Endnu daarligere lede Luftarterne.

Daarlige Varmeledere anvendes til at beskytte varme

Legemer mod Afkøling eller kolde mod Opvarmning. Herpaa beror Nyttens af vore Klæder, Dynner, Tæpper, dobbelte Vinduer, Kogning i Høkkasser m. m. Rør, som i Fabrikker føre Damp fra et Rum til et andet, omgives med daarlige Ledere. Ishuse have dobbelte Mure, hvor Mellemmrummet er fyldt med Tørvesmuld, Hakkelse, Avner eller lign. I disse Tilfælde beror den daarlige Ledning for en stor Del paa, at Stofferne ere fint delte, saa at den mellemliggende Luft ikke let kommer i Strømninger. Kedelsten, som afsætter sig i Dampkedler, leder daarligt; derfor er det skadeligt, hvis den faar Lov til at blive siddende, idet Kedlen da maa udsættes for en højere Varme. *God i Kakkellovne ligeledes.*

20. Strømninger. Naar man paa sædvanlig Maade opvarmer Vand, sker dette, ved at Vandet kommer i Strømninger. Man kan se det ved at komme en Del Grums i en Kolbe med Vand; naar denne stilles over en Lampe, bevæge Grumsdelene sig med Vandet op i Midten af Kolben og synke langs Siderne. Apparater, som tjene til Opvarmning af Huse med Vand, indrettes paa følgende Maade. Kedlen, som er helt fyldt med Vand, stilles i Kælderen; det opvarmede Vand bevæger sig fra Kedlens Overdel gennem et Rør helt op i øverste Etage, hvor det føres rundt i Værelserne, derfra gaar Rørledningen ned igennem de andre Etager og udmunder i Kedlens Underdel.

Luften i en Stue opvarmes ogsaa af en Kakkellovn ved Strømninger. Den varme Luft gaar op til Loftet og ned langs Ydervæggen; kommer man lidt Røgelse paa Kakkellovnen, mærkes Lugten ved Vinduerne før end midt i Stuen. I de bedste Ventilationsovne er den egentlige Kakkellovn omgivet af en tynd Jærncylinder, saa at der mellem den og Ovnen selv er et Mellemmrum, der forsynes med frisk Luft udefra. Naar denne Luft opvarmes, stiger den op til Loftet og trykker den anden Luft nedad, og denne ledes bort gennem en Ventil ved Gulvet. Nyttens af Skorstene og Lampeglas beror ligeledes paa, at den opvarmede Luft stiger til Vejrs og erstattes af ny Luft.

Opgaver.

15. Hvorfor synes en afkølet Metalstang og en Træstang af samme Temperatur ikke lige kolde, naar vi tage dem i Haanden?

16. Naar Vand i en Dam afkøles om Efteraaret, sker det da ved Strømninger eller ved Ledning? Hvorledes sker Opvarmningen om Foraaret?

17. Hvorfor ere Sommeraftenerne hyppigt koldere, naar det er klart, end naar der er Skyer paa Himlen?

18. Naar man stikker en Finger ind i en Papecylinder, der indvendig er beklædt med Stanniol, mærker man en betydelig Opvarmning; ligeledes naar man holder sin Haandflade foran en blank Metalflade. Hvorledes kan det forklares?

Jordens Opvarmning, Vinde.

21. **Jordens og Havets Temperatur.** Jorden udstraaler uafbrudt Varme til det tomme Rum, men modtager til Gengæld Varme fra Solen. En Del af Varmestraalerne, navnlig de ultrarøde, indsuges i Atmosfæren, især naar denne indeholder mange Vanddampe. Paa Grund af Atmosfærens store Højde er Tabet paa denne Maade ikke ubetydeligt, men alligevel kommer Luftens Temperatur aldeles overvejende til at bero paa Jordoverfladens. Det Bundt af Straaler, som hver Kvadratmeter af Jorden modtager fra Solen, bliver bredere, jo mere lodret Straalerne falde, som Fig. 9 viser. Af denne Grund er den modtagne Varmemængde gennemsnitlig størst ved Middag, derefter aftager den, men da den dog endnu i den nærmeste Tid er stærkere end Varmetabet ved Udstraalingen, faar man som Regel den højeste Temperatur 1—2 Timer efter Middag. Derpaa synker Temperaturen hele Eftermiddagen og Natten indtil kort før Solopgang, da Solstraalerne ved Tilbagekastning fra de øvre Luftlag kunne naa Jorden.

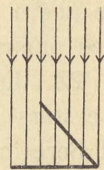


Fig. 9.

Paa lignende Maade forandres Temperaturen i Aarets

Løb, saaledes at den højeste Varmegrad først naas i Juli og den største Kulde i Januar.

Da Solstraalerne falde stejlest mellem Vendekredsene, hvor Solen kan komme i Zenit, maa den aarlig modtagne Varmemængde her være størst og aftage mod Polerne. Nogen fuldstændig Regelmæssighed bliver der ikke i Varmens Fordeling, da Overfladens Beskaffenhed, Varmefylde, Højde over Havet m. m. spiller en væsentlig Rolle.

Fra den øverste Jordskorpe vil baade Varmen og Kulden trænge langsomt ned i Jorden. De daglige Temperaturforandringer tabe sig allerede i en Meters Dybde, de aarlige først ca. 20^m. nede (paa vore Breddegrader), saa Temperaturen her omtrent er lig Aarets Middelvarme. I større Dybder vokser Temperaturen paa Grund af den indre Jordvarme ca. 1° for hver 30^m.

Havfladens Temperaturforandringer ere langt mindre end Jordskorpens, dels paa Grund af Vandets store Varmefylde, dels fordi Bølgeslaget stadig blander de øvre Vandlag sammen. Ude i Atlanterhavet er Forskellen mellem Overfladevandets Temperatur i Avgust og Februar kun 5°. Forskellen bliver større, naar der er kort ned til Bunden, f. Eks. 15° i Skagerak.

Medens Ferskvand er tungest ved 4°, vil Havvandet have sin største Vægtfylde ved sit Frysepunkt (ca. ÷ 2°). Ishavenes kolde Vand søger derfor til Bunds ind under Vandet i de andre Have. I hele Atlanterhavet ligger Bundtemperaturen omkring 0°.

22. Luftens Temperatur. Det er de nedre Luftlag, som have størst Betydning for os. Luften opvarmes og afkøles ved Berøring med Jordens Overflade, men faar dog sjældent den samme Temperatur, da Luften stadig blæser hen paa andre Steder.

Ved at anstille regelmæssige lagttagelser i en længere Aarrække kan man beregne de normale Forhold. Middelttemperaturen af en bestemt Dag faas ved at tage Middeltallet af de Temperaturer, som aflæses hver Time i Døgnet. Har man for en Række Aar skaffet sig alle Middelttemperaturene af en og samme Dato, vil Middeltallet deraf angive

denne Dato Normaltemperatur. Paa lignende Maade faas Maanedernes, Aarstidernes og hele Aarets Normaltemperatur. Her i Danmark er f. Eks. Normaltemperaturen for

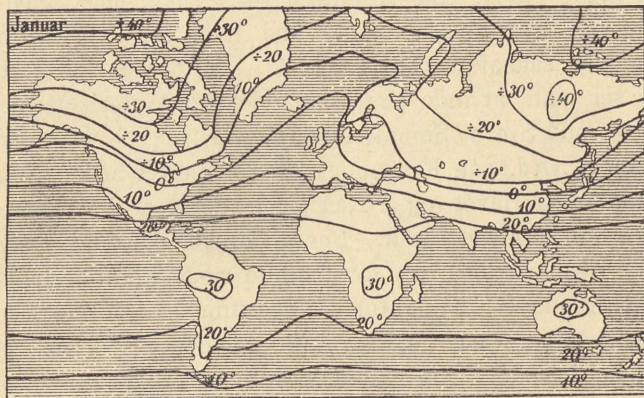


Fig. 10.

Januar omkring 0° , og for Juli $16-17^{\circ}$, medens den for hele Aaret er $7\frac{1}{2}^{\circ}$.

For at overse Varmens Fordeling paa Jorden tegner man paa et Kort Linier gennem de Steder, som have samme

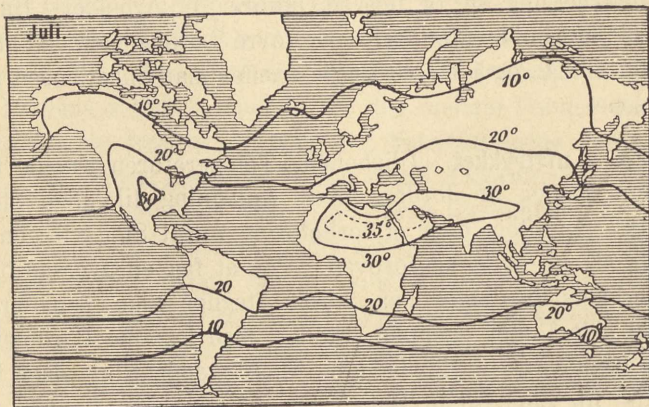


Fig. 11.

Normaltemperatur for en vis Maaned eller for hele Aaret. Disse Linier kaldes Isothermer. Hvor de gaa høit mod Nord, vise de, at Normaltemperaturen er forholdsvis høj paa

det Sted. Saaledes bøje Isotermerne, navnlig for Januar, højt mod Nord paa Evropas Vestkyst, hvor f. Eks. Norges Fjorde aldrig fryse til. Dette kommer af de fremherskende sydvestlige Vinde paa Atlanterhavet, som dels medføre Varme og dels presse varmt Vand med sig som en bred Strøm, den saakaldte Golfstrøm. Paa den nordlige Halvkugle ser man, at inde paa Fastlandet gaa Vinterisotermerne længere mod Syd og Sommerisotermerne længere imod Nord. Med andre Ord, paa Fastlandet er Sommeren hed og Vinteren kold; paa Havet og i Nærheden deraf er Varmegraden mere ens hele Aaret rundt. Denne Forskel paa Landklima og Søklima skyldes den før omtalte ringe Foranderlighed i selve Havfladens Temperatur i Modsætning til Jordskorpens. Som Eksempel paa Søklima kan nævnes Færøerne, hvor Forskellen mellem Normaltemperaturen for Januar og Juli kun er 9° (i selve Havet 5°). Den tilsvarende Forskel er hos os 16° , i St. Petersborg 25° , længere inde i Rusland indtil 40° og endnu større nogle Steder i Sibirien.

Da Luft er en daarlig Varmeleder, modtage Atmosfærens øvre Lag deres Varme ved Strømning; men naar den af Jordskorpen opvarmede Luft stiger til Vejrs, vil den afkøles, idet den udvider sig og derved udfører et Arbejde. Under normale Forhold ville derfor de øvre Luftlag være koldere end de andre, og i en vis Højde træffer man Snegrænsen paa Bjærgene.

23. Luftrykket. Uligheden i Temperaturen paa de forskellige Steder af Jorden giver Anledning til ulige store Luftryk. Luften over et forholdsvis varmt Sted vil nemlig udvide sig og flyde ud foroven. For at faa en Oversigt over Luftrykkets Fordeling paa Jorden tegner man Isobarer, det vil sige Linier igennem Steder med samme Barometerstand (reduceret til Havfladen). Hosstaaende Kort viser Isobarerne for en bestemt Dato.

Naar Luftrykket har været iagttaget paa et Sted gennem en længere Tid, kan man deraf udlede et Normaltryk for dette Sted, og paa den Maade har man fundet, at der langs

Vendekredsene gennemsnitlig er et højere Lufttryk end ved Ækvator og paa større Breddegrader.

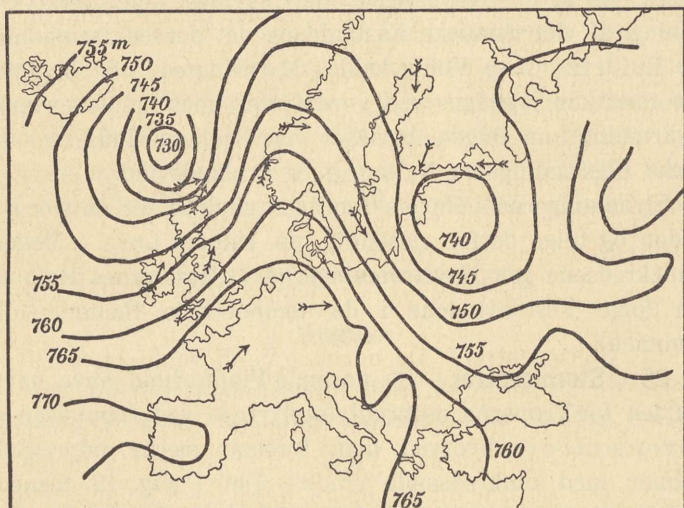


Fig 12.

24. Regelmæssige Strømninger i Luft og Hav. Ved Lufttrykkets ulige Fordeling opstaa Vindene, og af de ovennævnte normale Trykforhold kan man slutte, at Vinden som Regel blæser ud fra Vendekredsens Maksimum baade mod Nord og Syd. Paa Grund af Jordens Omdrejning forandres dog Vindens Retning, saaledes at den mellem Vendekredsene kommer mere fra Øst og uden for Vendekredsene mere fra Vest. En Vind, der blæser lige imod Ækvator, vil nemlig komme til Steder, der have en større Hastighed mod Øst, end den selv har, hvorfor den mærkes som en Østenvind; omvendt naar Vinden blæser mod Polerne. Paa denne Maade opstaa Passaterne, der blæse mellem Vendekredsene fra NØ. og SØ.; navnlig paa Havet blæse disse Vinde med den største Regelmæssighed. Uden for Vendekredsene herske Vestenvindene, dog langt fra med Passatens Stadighed; hos os er Sydvest den hyppigste Vind. Midt i Maksimum og Minimum er der Vindstille, og navnlig er dette meget udpræget i Ækvators Minimum, hvor den af Passaten tilførte Luft gaar til Vejrs paa Grund af den stærke Varme.

I den nordlige Del af det indiske Hav blæser Passaten kun regelmæssig fra NØ. i Vinterhalvaaret; om Sommeren afløses den af en Sydvestvind, der skyldes den stærke Opvedning af det asiatiske Fastland og det derved fremkomne lave Lufttryk; disse Vinde kaldes Monsuner. Et lignende Fænomen kan iagttages ved vore Kyster, idet Landets stærke Opvarmning om Dagen bevirker en Paalandsvind, og den stærke Udstraaling om Natten giver Fralandsvind.

Strømningerne i Havets Overflade skyldes for en stor Del Vinden og følge derfor væsentlig de samme Love. Mellem Vendekredsene gaa Havstrømningerne i Passaternes Retning, men følge Vestenvindene i de tempererede Bælter (Golfstrømmen).

25. Stormcentre. De normale Vindforhold blive navnlig uden for Troperne uafbrudt forstyrrede ved Dannelsen af Stormcentre, hvorved man forstaar særlig udprægede Minimer med omkredsende Vinde. Det i Fig. 12 tegnede Vejrkort viser et saadant Minimum Nord for Skotland. Vinden er stærkest der, hvor Isobarerne ligge tæt ved hinanden. Vindens Retning er angivet ved Pile; at den ikke blæser lige ind i Minimet, forklares ligesom ved Passaterne af Jordens Omdrejning. Paa den nordlige Halvkugle vil man altid have Minimet foran til venstre, naar man gaar med Vinden. Midt i Minimet er der stille, idet Luften suges opad; da Vanddampene derved fortættes, vil der over et Stormcentrum hvile en Sky, hvorfra Regnen ofte strømmer ned. Man indser heraf, hvorfor en lav Barometerstand baade tyder paa Blæst og Regn, medens høje Lufttryk som Regel bringe godt Vejr.

Det er sjældent, at et Minimum holder sig paa samme Sted; de Stormcentre, som have Betydning for os, komme næsten altid fra Vest og gaa i Reglen Nord om Danmark. Naar et Minimum nærmer sig, mærke vi, at Vinden blæser op fra Syd eller Sydvest, derefter drejer den sig og bliver Vest eller Nordvest, idet den paa sædvanlig Maade retter sig efter Minimets Beliggenhed. Naar Vinden er bleven Nordvest, taber den sig gerne, idet Minimet enten forsvinder eller ligger langt borte fra os. Hyppig kommer imidlertid det ene Mini-

mum efter det andet, og det urolige Vejr vedbliver i længere Tid.

I det hede Bælte ere Minimerne meget mindre i Areal end hos os, men til Gengæld er Luftfortyndingen langt stærkere, saa Barometerstanden næsten kan gaa ned til 70 cm. i Centret. Af Vindens Masse og Hastighed har man med Tilnærmelse kunnet beregne den Arbejdsværdi, der kan ligge i en saadan Orkan. Man har i et enkelt Tilfælde fundet over 300 Millioner Hestekræfter vedligeholdte uafbrudt i flere Dage.

Skypomper ere meget smaa Hvirvelvinde.

Opgave.

19. Hvorledes vil Vindretningen forandre sig, dersom et Minimum passerer lige over Danmark eller Sønden om os?

Smeltning.

26. Bunden Varme, Smeltepunkt. De fleste uorganiske Stoffer kan man ved Opvarmning bringe til at smelte. Nogle kræve dog en meget høj Varmegrad, f. Eks. Smedejærn og Platin; andre, som Kulstof, er det endnu ikke lykkedes at smelte. Af de organiske Stoffer kunne nogle smelte, f. Eks. Tælle og Voks; andre omdannes ved Opvarmning, Træ forkuller ved Ophedning uden Luftens Adgang, idet der udvikles Gasarter.

Tage vi et Glas med en Blanding af Isstykker (eller Sne) og Vand, ville vi som tidligere omtalt finde, at hele denne Blanding har en konstant Temperatur 0° , naar vi blot sørge for at røre rundt deri, saa at Isen ikke ligger rolig i den øverste Del af Vandet. Hvis Omgivelserne ogsaa have Temperaturen 0° , vil der ikke smelte noget af Isen. Kun dersom Glasset modtager Varme fra Omgivelserne, vil Isen smelte, men da Temperaturen ikke stiger, vil den tilførte Varmemængde udelukkende blive brugt til at omdanne Tilstandsformen. Man siger, at den brugte Varme er bleven bunden

ved Smeltningen. Da denne bundne Varmemængde er temmelig betydelig, vil Smeltningen gaa langsomt for sig, med mindre Glasset udsættes for en stærkere Opvarmning.

For andre Legemers Vedkommende er Forholdet væsentlig det samme som for Isens. Ville vi f. Eks. smelte et Stykke Bly, saa maa det først opvarmes til en bestemt Varmegrad, Blyets Smeltepunkt, og derefter maa der yderligere tilføres Varme, som ved Smeltningen bliver bunden, uden at Temperaturen forhøjes, saa længe der endnu er noget tilbage af det faste Legeme.

Legemerne have meget forskellige Smeltepunkter, Kvægsølv \div 39° , Is 0° , Stearin 51° , Kalium 62° , Tin 228° , Vismut 268° , Bly 325° , Sølv 1000° , Støbejern og Kobber 1100° , Smedejærn ca. 1600° , Glas 1000° — 1400° , Platin her imod 2000° .

Legeringer smelte ofte ved en Temperatur, som er lavere end Smeltepunktet for noget af de Metaller, hvoraf Legeringen er dannet. Dette benyttes ved Lodning, idet man som Lodmetal anvender en Legering, der smelter lettere end de Dele, som skulle loddess. En Legering af 2 Dele Tin og 1 Del Bly smelter f. Eks. ved 170° . Blander man 2 Dele Vismut, 1 Del Bly og 1 Del Tin, faar man en Legering, der smelter i kogende Vand. Af denne Grund er det ogsaa, at Støbejern, som indeholder nogle Procent Kulstof, smelter længe før Smedejærn, der er meget mindre kulholdigt. Lægges man en ubetydelig Mængde Bly paa et Stykke Platinblik og varmer det, dannes der en Legering, som smelter i en Spiritusflamme, saa der dannes et Hul i Platinet.

Nogle Legemer have intet bestemt Smeltepunkt, idet de blive bløde, noget før den egentlige Smeltning indtræder, saa at Tilstandsformen gradvis forandrer sig. Dette er f. Eks. Tilfældet med Glas og Smedejærn; derfor kunne disse Legemer bearbejdes, mens de ere bløde, to Stykker Smedejærn kunne svejses sammen.

27. Størkning. Naar et flydende Legeme afkøles, vil det i Reglen gaa over i fast Form ved en Temperatur, der er lig den, hvorved det faste Legeme smeltede. Den bundne Varme vil derved paa ny blive fri, og kun efterhaanden som

denne afledes til Omgivelserne, skrider Størkningen frem. Nogle Vædsker, som Spiritus, har man endnu ikke kunnet bringe i fast Form.

Det hænder dog undertiden, at en Vædske kan afkøles en Del under dens regelmæssige Størkningstemperatur. Det kan let iagttages ved et Apparat som hosstaaende (Frysetermometer). Det bestaar af en Beholder, i hvilken der er indsmeltet et Termometer, og som indeholder Vand. Mens Beholderen endnu er aaben, maa Vandet koges godt, og naar al Luften er dreven ud af Dampene, smeltes Beholderen til, saa at der er lufttomt inde i den. Afkøles (se § 32) dette Apparat langsomt, kan Temperaturen falde adskillige Grader under 0, uden at Vandet fryser. Men ryster man Vandet, fryser en Del af det, og man iagttager, at den bundne Varme bliver frigjort og faar Termometret til at stige til 0°. Smaa Vanddraaber kunne ogsaa ofte afkøles under 0°. Dette sker undertiden med Regndraaber i Luften; naar disse Draaber falde ned paa Jorden, fryse de og danne Isslag.

28. Bestemmelse af den bundne Varme. Hvis vi ville finde, hvor mange Kalorier, x , der bindes ved Smeltningen af 1^{gr.} Is, kunne vi anvende Kalorimetret. Lad det indeholde p ^{gr.} Vand til t° og have Vandværdien v ; vi tage da q Gram Is ved 0° og tørre det godt og lade det falde ned i Kalorimetret. Derved smelter al Isen, og Kalorimetret indeholder nu Vand, som tillige med selve Kalorimetret har den fælles Temperatur F . Vi have da Ligningen

$$(p + v)(t - F) = qx + qF,$$

hvor der naturligvis maa foretages en Rettelse paa Grund af Udstralingen eller Indsugningen af Varme, ligesom vi lærte det i § 15. Paa denne Maade har man fundet, at den bundne Varme i 1^{gr.} Vand er 80 Kalorier.

Andre Stoffer opvarmer man en Del over deres Smeltepunkt og lader dem størkne i Kalorimetret, som derved selv opvarmes. Regningen bliver en lignende som for Isens Ved-

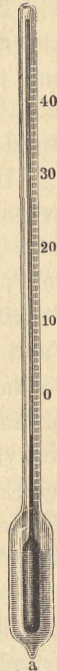


Fig. 13.

kommende. Man har fundet, at alle Legemer ved Smeltning binde betydelig mindre Varme end Vandet.

29. Rumfangsforandringer ved Smeltning. De fleste Legemer ville udvide sig, idet de smelte, saaledes at Legemet faar mindst Vægtfylde i flydende Tilstand; vi se saaledes, at et Stykke Stearin, som er i Færd med at smelte, synker til Bunds i det flydende Stearin, som allerede er dannet.

Der er dog adskillige Undtagelser fra Reglen, først og fremmest Isen. Vi vide alle, at Is svømmer oven paa Vand, dens Vægtfylde er kun $\frac{9}{10}$; men deraf kunne vi slutte, at det Vand, som dannes ved Isens Smeltning, har et mindre Rumfang, end det havde i fast Tilstand. Og omvendt vil Vand udvide sig ved at fryse. Dette har en stor Betydning i mange Tilfælde. Et Kar Vand, som staar ude en Frostnat, sprænges ved Isdannelsen, ligeledes Vandrør, dersom de ikke beskyttes mod Afkølingen; Muldjorden bliver skør og findelt ved Frosten om Vinteren, Klipper kunne sprænges paa samme Maade, naar Vandet i Revnerne fryser, Cement og Kalkpuds skaller af om Vinteren, dersom der kommer Vand indenfor. Der er flere andre Legemer, der ligesom Vandet udvide sig ved Størkning; det gælder om Støbejern, som netop af den Grund egner sig til Støbning; ligeledes om den Metallegering, der anvendes til Bogtrykkertyper.

30. Frysepunktets Foranderlighed. De fleste Legemer ville, som før nævnt, udvide sig, idet de smelte; hvis disse Legemer derfor udsættes for et stærkt Tryk, saa Uvidelsen ikke uhindret kan finde Sted, vil Smeltningen ogsaa blive vanskeliggjort, eller Smeltepunktet vil stige.

Modsat forholder det sig med de Legemer, der ligesom Isen trække sig sammen ved Smeltningen. Denne vil ved saadanne Legemer fremskyndes ved Tryk, og Smeltepunktet kommer til at ligge lavere. Man har fundet, at der behøves et Tryk af 140 Atmosfærer, for at Isens Smeltepunkt kan bringes ned til $\div 1^{\circ}$. Man kan paa flere Maader mærke denne Virkning selv af mindre Tryk. I Vognspor smelter Sneen, naar Temperaturen er tæt ved 0° , Sneboldte kunne kun laves af Sne, der er nær ved at smelte. Lægger man en Slynge af fin Metaltraad omkring en Klump Is, der fast-

holdes nede i Vand, hvis Temperatur er 0° , saa vil et jævnt Træk i Slyngen bevirke, at den skærer sig igennem Isen. Ved Trykket smelter nemlig lidt af denne, men derved bruges der Varme, saaledes at det fremkomne Vand straks fryser igen, hvorfor Isklumpen vedbliver at være hel.

31. Isens Beskaffenhed. Medens Is ved lavere Varme-grader er meget skør, saa er den i Nærheden af 0° til en vis Grad blød; et Isstykke ved 0° kan ved et jævnt Tryk bringes til at antage en anden Form. To Isstykker, som holdes under Vand, altsaa i 0° , kan man ved et Tryk bringe til at hænge sammen som to Stykker Beg. Fylder man en stærk Metalcylinder med Isstykker og sætter et Stempel oven paa, kan man ved Slag paa Stemplet faa Stykkerne til at udgøre et sammenhængende Hele. Dette har ikke alene sin Grund i Isens Blødhed, men ogsaa i den Omstændighed, at Trykket frembringer en Smeltning i Berøringsfladen. Isbræerne bevæge sig ned ad Bjærskraaningerne og følge de mindre Ujævnheder i Jordoverfladen.

32. Opløsninger. Naar et Legeme opløses i Vand, gaar det i Virkeligheden over i flydende Form og bruger dertil Varme, som gaar over i bunden Tilstand, men Forholdet er ofte mere indviklet, idet der kan foregaa kemiske Forandringer, som udvikle Varme. Enderesultatet kan derfor enten blive en Afkøling eller Opvarmning. 10 Dele salpetersur Ammoniak og 13 Dele Vand kunne i almindelig Stuetemperatur frembringe en Afkøling indtil $\div 10^{\circ}$ à $\div 12^{\circ}$, naar Mængderne ikke ere for smaa.

Hvis vi ønske at frembringe en betydelig Kulde, sker det bedst ved at blande et Salt med Sne eller stødt Is. Aller nemmest anvender man 3 Dele Sne med 1 Del almindelig Køkkensalt; denne Blanding vil nemlig blive flydende Saltvand, og der bindes herved saa megen Varme, at Temperaturen kan synke til $\div 21^{\circ}$. En anden Kuldeblanding, som undertiden med Fordel kan benyttes, er Sne og fortyndet Salpetersyre; naar man nemlig bruger galvaniske Elementer med Salpetersyre, faar man efterhaanden en Del fortyndet Syre, som ellers ingen Nytte er til.

Omvendt fremkommer der en Opvarmning, naar et Salt

udkrystalliserer af en Opløsning. Et af de bedste Stoffer at gøre Forsøget med, er svovlsurt Natron (Glaubersalt). Man koger 2 Dele af Saltet i 1 Del Vand, filtrerer Vædsken varm ned i en Kolbe og sætter en Prop for. Ved rolig Henstand i et Par Timers Tid afkøles Vædsken langsomt, uden at der udskiller sig noget Salt (Vædsken er overmættet), men lader man en lille Del af det faste Salt falde ned deri, foregaar Krystallisationen øjeblikkelig under en betydelig Varm udvikling.

Saltvand, som er en temmelig tynd Opløsning af Salt, fryser først et Par Grader under 0° , og den dannede Is er næsten fersk. Dette benyttes i nordlige Egne til at udvinde Salt. Naar man nemlig i et Bassin har Saltvand, som fryser, og kaster Isen bort, kan den tiloversblevne Vædske blive saa saltholdig, at det kan lønne sig at inddampe den ved Varme.

Opgaver.

20. Dersom Vandet i et Frysetermometer er afkølet til $\div 10^{\circ}$, hvor meget af det kan da fryse ved Rystningen?

Res. cr. $\frac{1}{8}$.

21. Hvilken Nytte gør det, naar man om Vinteren i Sneføre strør Salt paa Sporvejsskinnerne?

22. Naar en stærk Jærnbeholder fyldes helt med Vand og lukkes og udsættes for stærk Kulde, kan Vandet da fryse i den?

23. Hvilken Indflydelse har Frigørelsen af den bundne Varme paa Vandets Frysning i en Dam?

24. 2 Kilo Is af Temperatur $\div 8^{\circ}$ bringes ned i 4 Kilo Vand til 60° ; hvilken Temperatur faar det hele til sidst?

Res. 12° .

25. Hvor megen Is ved 0° kan smeltes af 2 Kilo Vand til 30° ?

Res. $\frac{3}{4}$ Kilo.

26. 1 Kilo svagt glødende Jærn lægges ned i en For- dybning af en Isblok og smelter derved $\frac{2}{3}$ Kilo af Isen. Find Jærnets Temperatur.

Res. 480° .

Dampe.

33. Fordampning. Det er bekendt nok, at Vand, som staar i en aaben Skaal, efterhaanden svinder bort; det fordampner eller gaar over i Luftform og udbreder sig i Atmosfæren. Dampen er ligesom Luften selv usynlig. Endnu lettere fordampner Vinaand, Æter, Svovlkulstof og flere andre Vædsker, hvis Dampe ere let kendelige paa Lugten; saadanne Vædsker kaldes flygtige. Derimod fordampe nogle, f. Eks. Kvægsølv og Glycerin mindre let. Ogsaa faste Legemer kunne fordampe, f. Eks. Is; stivfrossent Tøj kan tørre i Luften; Kamfer fordampner let og udbreder derved en stærk Lugt.

Dampdannelsen fremskyndes ved at forhøje Temperaturen og ved at bortskaffe Dampene, efterhaanden som de dannes. Derfor tørrer vaadt Tøj bedst i Varmen og i Blæsevejr; naar Haanden er vaad, tørrer den hurtigt, dersom man svinger den frem og tilbage. Ligeledes foregaar Fordampningen hurtigere i et luftfortyndet Rum end i Atmosfæren, idet Dampene i første Tilfælde lettere kunne udbrede sig.

34. Damptryk. Da Dampen er en Luftart, maa den udøve et Tryk paa sin Begrænsning. Man gør bekvemt Forsøg herover paa følgende Maade. Et Rør, A, paa 1^m Længde forsynes i den ene Ende med en Hane af Glas eller Jærn; Hanen er kun halvt gennemboret, saa at der blot dannes en Fordybning deri. Røret fyldes med Kvægsølv som et Torricellisk Rør og stikkes ned i en Skaal med Kvægsølv. I A stiller Kvægsølvet sig da i Barometerhøjden. Nu hælder man lidt Æter*) i den øverste Del af A over Hanen og drejer denne en Omgang; derved falder en Ubetydelighed af Æteren ned i det lufttomme Rum og fordampner øjeblikkelig, hvor-

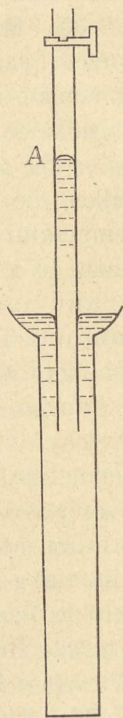


Fig. 14.

*) Hanen smøres med lidt Glycerin, da Æter opløser Fedtstoffer.
Jul. Petersen: Varmelære.

ved man ser Kvægsølvet falde. Barometerfaldet angiver Æterdampenes Tryk. Nu kan man paa ny bringe lidt Æter ind i *A* og ser atter Kvægsølvet falde lidt mere til Tegn paa, at Damptrykket er bleven større. Men hvis man vedbliver at bringe mere Æter ind i Røret, kommer man snart til en Grænse, hvor der ikke sker nogen yderligere Fordampning; den Æter, som bringes ind, bliver liggende som Vædske oven paa Kvægsølvet. Man siger da, at Rummet er mættet med Damp eller at Dampen er mættet.

Vi have til Forsøget anvendt Æter, fordi dens Dampe udøve et forholdsvis stort Tryk; i Hovedsagen er Resultatet det samme, naar vi anvende andre Vædsker, f. Eks. Vinaand eller Vand.

35. Mættede Dampe. Vi ombytte nu i det nylig nævnte Forsøg Skaalen med et videre Rør med Kvægsølv (Fig. 14) og komme saa megen Æter ind i *A*, at den ikke fordamper alt sammen, saa at Rummet er mættet med Damp. Naar vi da sænke eller løfte *A* ville vi finde, at Niveauforskellen mellem de to Kvægsølvflader bliver den samme, saafremt Temperaturen er uforandret, og Rummet stadig mættet med Damp. Vi kunne altsaa ikke ved nogen Rumfangsforandring forøge eller formindske de mættede Dampes Tryk; gør man Rummet større, fordamper der blot mere af Vædsken; gør man det mindre, fortættes noget af Dampen atter til Vædske. Derimod viser det sig, at Trykket retter sig efter Temperaturen. Jo varmere Rummet er, desto mere synker Kvægsølvet i *A*, eller Trykket bliver større. Vi lære altsaa, at mættet Damp, som er i Berøring med sin Vædske, altid udøver et bestemt Tryk, afhængig af Temperaturen, og større end det, som ikke mættede Dampe udøve ved samme Varmegrad. Ved stadig at forøge Rumfang eller Temperatur, kan man til sidst faa al Vædsken fordampet, og Dampen er da ikke længere mættet.

36. Ikke mættet Damp. Vi gentage nu Forsøget forfra og bringe kun ganske lidt Æter ind i *A*, saa at al Vædsken forsvinder. Dampens Rumfang er proportionalt med den Længde, *l*, den indtager i Røret, og Trykket er lig Barometerfaldet *b*. Ved at hæve eller sænke *A*, faas et andet *l* og *b*,

men vi ville finde, at Produktet lb omtrent er konstant, det vil sige, at den ikke mættede Damp følger Mariottes Lov ligesom en anden Luftart.

Dette gælder dog kun med Tilnærmelse og desto bedre, jo længere Dampen er fra at være mættet. Dersom vi formindske Rumfanget og derved forøge Trykket, komme vi til sidst til det Maksimumstryk, som de mættede Dampe udøve ved den tilstedeværende Temperatur; Dampen er da mættet og yderligere Rumfangsformindskelse vil blot bevirke, at noget af Dampen bliver til Vædske, medens Trykket holder sig uforandret. Ligeledes kunne vi gøre Dampen mættet ved Afkøling, thi ved en vis lavere Temperatur er det tilstedeværende Tryk lig det Maksimumstryk, som de mættede Dampe udøve ved den Temperatur. Yderligere Afkøling vil da fortætte en Del af Dampen til Vædske.

Ved mere vidtgaende Undersøgelser af ikke mættede Dampe af forskellige Vædsker har det vist sig, at de i Reglen ogsaa med Tilnærmelse følge den forenede Mariotte-Gay Lussacske Lov. Vægtfylden af saadanne Dampe afhænger derfor af Tryk og Temperatur paa samme Maade som Luftarternes Vægtfylder (se § 3). Og hvis vi underkaste en Damp og atmosfærisk Luft samme Tryk og Temperatur, saa vil Forholdet mellem Vægtfylderne altid blive det samme, hvilket Tryk og Temperatur vi end betragtede. Dette Forhold kaldes det paagældende Stofs Damptæthed. Reglen gælder som sagt kun om umættede Dampe og desto bedre, jo længere de ere fra at være mættede. Vanddampenes Tæthed er ca. $\frac{5}{8}$.

37. Dampe i et luftfyldt Rum. I de foregaaende Forsøg have vi ladet Fordampningen ske i et luftomt Rum; hvis vi ville undersøge, hvorledes den foregaar i et Rum, der indeholder Luft, kunne vi atter bruge det Apparat, vi nylig have anvendt. Vi skulle da kun til Dels fylde Røret A med Kvægsølv, naar vi sætte det ned i den større Skaal. Inden i A stiller Kvægsølvet sig nu i en vis Højde, og den overliggende Luft udøver et Tryk, som er lig Barometerstanden minus den Kvægsølv søjle, der findes i A ; tillige iagttages Luftsøjleens Længde. Lade vi derpaa lidt Æter komme ind i Røret ved Hjælp af Hanen, synker Kvægsølvet lidt efter lidt (ikke pludse-

ligt som før) til Tegn paa, at Æteren fordamper og udøver et Tryk, som adderes til Lufttrykket. Bringe vi saa megen Æter ind, at den ikke kan fordampe alt sammen, selv ved Henstand i nogen Tid, vil Rummet blive mættet med Damp. Vi forskyde nu *A* saa meget, at Rummet over Kvægsølvet indtager samme Længde som før, og af Kvægsølvøjens Længde finder man det samlede Tryk af Dampen og Luften ovenover. Den Del, der hidrører fra Luften, er uforandret som før, da Rumfanget er det samme; Resten er de mættede Dampes Tryk, og vi ville finde, at det er omtrent det samme som det, der kan udøves i et lufttomt Rum af samme Temperatur. Den vigtigste Forskel i de to Tilfælde er da den, at Fordampningen i Luften foregaar langsommere, idet Dampene nu skulle blande sig med Luften og ikke kunne udbrede sig frit.

38. Kogning. De flygtige Vædsker fordampe ved enhver Temperatur, naar blot Rummet, hvori de staa, ikke er mættet. Dampene udvikles ved Vædskens Overflade og blande sig med Luften. Jo højere Varmegraden er, desto livligere sker Fordampningen, men ved en vis Varmegrad sker Dampdannelsen ikke blot ved Overfladen men især paa de Steder, hvor Varmen tilføres, altsaa i Reglen ved Bunden af Karret. Herfra stige Dampbobler op igennem Vædsken, og dennes Temperatur vil nu ikke forøges yderligere, skønt der stadig tilføres mere Varme. Man siger da, at Vædsken koger. Den tilførte Varme, som gaar med til Dampens Dannelse og ikke forhøjer Varmegraden, siger man, bliver bunden i Dampene.

Den Temperatur, hvorved Kogningen indtræder, er forskellig for alle Stoffer, men selv for samme Vædske er den ikke altid den samme, idet den varierer med det Tryk, som Dampene have at overvinde for at stige op gennem Vædsken. Dette Tryk hidrører dels fra Luften oven over Vædsken og dels fra Vædskesøjens egen Vægt. Jo større det forenede Tryk er, desto større Varmegrad maa der være ved Bunden, for at Dampene kunne slippe løs; paa Vejen op igennem Vædsken formindskes Trykket og Temperaturen, og naar Dampene forlade Vædsken, er deres Tryk lig med Luftens, og deres Temperatur er netop den, ved hvilken mættede

Dampe udøve et Tryk saa stort som Luftens. En kogende Vædske kan altsaa selv have en noget forskellig Temperatur, men Dampenes Varmegrad er alene afhængig af Lufttrykket. Ved Kogepunktet plejer man derfor at forstaa Dampenes Temperatur, og naar der ikke bestemt nævnes noget Lufttryk, hvorunder Kogningen sker, saa forudsættes det, at dette Tryk er det normale, 76^{cm}. I dette Tilfælde er det, at man har sat kogende Vands Dampe til Temperaturen 100°. Vinaand koger under normalt Lufttryk ved 78°, Æter ved 35°, Kvægsølv ved 350°, flydende Svovlsyring ved ÷ 10°.

39. Kogning under lavt Tryk kan ifølge det foregaaende ske ved en lavere Temperatur, nemlig den ved hvilken de mættede Dampe have samme Tryk som det, der hviler paa Vædsken. Sætter man

f. Eks. en Skaal Vand af ca. 30° Varme ind under en Luftpompes Klokke og pomper Luften ud, giver Vandet sig til at koge stærkt. Tager man en Kolbe, fylder den halvt med Vand og koger dette, ville de udviklede Dampe forjage Luften af Kolben. Sætter man saa hurtigt en Prop i Kolben og vender den om, vil den øverste Del af den være fyldt med mættet Damp af en temmelig høj Temperatur. Men hvis denne

Del af Kolben afkøles f. Eks. ved koldt Vand, vil en Del af Dampen fortættes til Vand, saa Trykket formindskes, og Kogningen indtræder paany. Oppe paa Bjerge, hvor Lufttrykket er mindre, koger Vandet ved Temperaturer under 100°, og man kan endog beregne Højden over Havfladen, naar man ved Hjælp af fint mærkende Termometre maaler Vandets Kogepunkt.

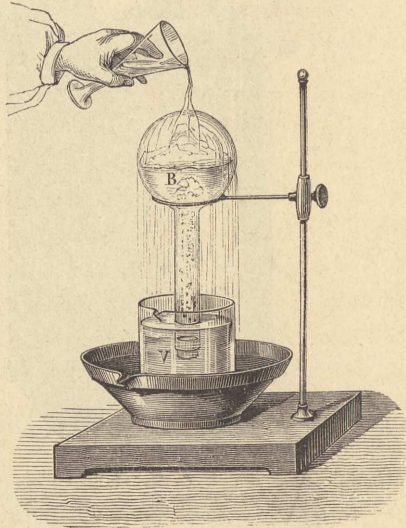


Fig. 15.

40. Papins Gryde er en stærk Metalkedel, der kan lukkes ved et fastskruet Laag. I dette er der en Sikkerhedsventil, det vil sige en Aabning, som dækkes af en tætsluttende Plade; denne trykkes ind imod Laaget af en enarmet Vægtstang, som er belastet med en Vægt. Desuden er der i Laaget fastskruet et Rør, hvori der hældes Olie eller Kvægsølv, og i dette

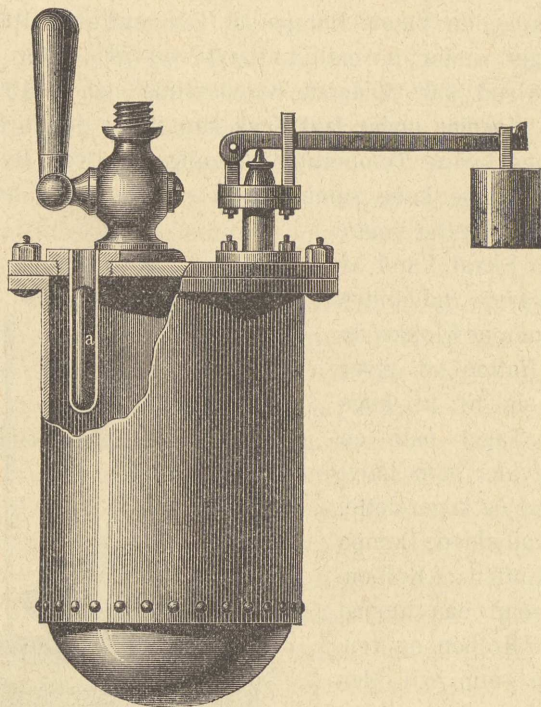


Fig. 16.

sættes atter et Termometer; herved kan Varmegraden maales, uden at Termometret bliver udsat for det stærke Tryk, som Kedlen er bestemt til at udholde. Er der nu Vand i Kedlen, kan dette opvarmes betydeligt over 100° , uden at Vandet kommer i Kog, idet de Dampe, som udvikle sig, ikke kunne slippe bort og derfor stadig forøge Trykket mere og mere. Kogningen kan slet ikke indtræde, før Trykket er blevet saa stort, at det aabner Sikkerhedsventilen. Dette Apparat kan bruges i flere Tilfælde, naar man har Brug for stærkt ophedet

Vand, f. Eks. i Limkogerier, hvor Vandet skal udtrække Limen af Knogler eller andet dyrisk Affald. Ligeledes bruges en saadan Kedel i Imprægneringsanstalter.

41. Bestemmelse af mættet Vanddamps Tryk. Da Vanddampe have større Betydning for os end Dampene af andre Vædsker, skulle vi se, hvorledes man kan finde deres Tryk ved forskellige Temperaturer. Ved lave Varmegrader kan man dertil anvende Apparatet fra § 34, naar man blot omgiver det hele eller i ethvert Fald den øverste Del af Røret, som indeholder Dampen, med en Beholder med Vædske, som kan opvarmes til en konstant Varmegrad. Det iagttagne Barometerfald giver os umiddelbart Dampenes Tryk ved den paagældende Temperatur. Denne Fremgangsmaade kan slet ikke anvendes længere end til 100° , thi ved den Varmegrad trykkes alt Kvægsølvet ud af A, idet Dampenes Tryk er lig Atmosfærens, men selv ved mindre høje Tempera-

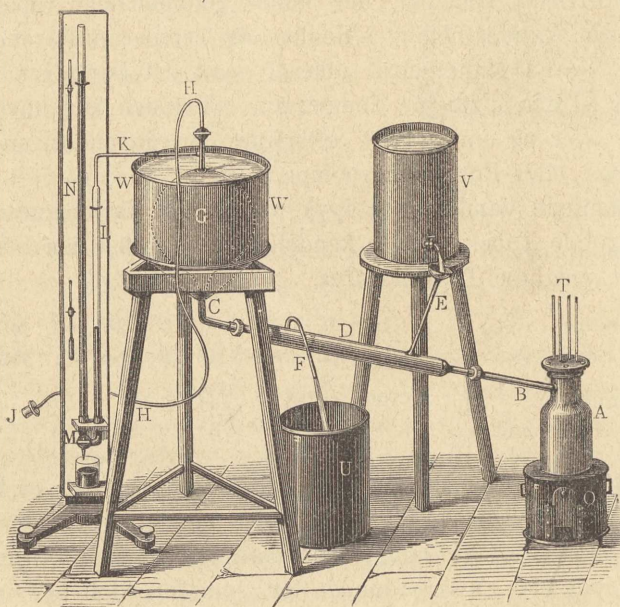


Fig. 17.

turer og Tryk er Metoden ikke heldig, da det er vanskeligt at holde konstant Varmegrad langs et større Stykke af Damp-

røret. Der har derfor været anvendt følgende Apparat. *A* er en Papins Gryde, hvorfra Vanddampene gaa igennem et skraat stillet Rør, som er omgivet af et videre Svalerør *D*, og dette holdes stadig fyldt med koldt Vand, der strømmer ind ved den nederste Ende og flyder bort i Karret *U*. Selve det skraa Rør, som kommer fra Kedlen, fører videre til en Beholder *G*, der staar i et Kar med koldt Vand, saa at Temperaturen derinde holdes konstant under Forsøget. Fra *G* fører Røret *HH* til en Luftpompe, og Siderøret *K* gaar til et Manometer. Ved Luftpompen kan man nu frembringe hvilket Tryk man vil inde i hele Apparatet, og ved Opvarmning af Kedlen ville Dampene stige op i det skraa Rør, men straks fortættes og falde tilbage, saaledes at de ikke kunne forøge Trykket. Herved bliver det muligt at holde Trykket konstant, og Termometrene i Kedlen ville kun stige, indtil den Varmegrad er naaet, hvorved Dampene udøve et lige saa stort Tryk som det, der findes gennem hele Apparatet. Da koger Vandet nemlig i Kedlen, og Temperaturen er uforandret. Paa Manometret aflæser man det Damptryk, som svarer til den iagttagne Temperatur. Metoden kan anvendes baade over og under 100°, eftersom der anvendes en Fortætnings- eller Fortyndingspumpe.

Mættede Vanddampes Tryk ved nogle Varmegrader ses af følgende Tabel; det er kendeligt, at Trykket især vokser stærkt ved høje Temperaturer.

Temperatur	÷ 10	0	5	10	15	25	50	80	100
Tryk i cm. Kvægsølv . . .		0,2	0,46	0,65	0,92	1,27	2,35	9,2	35,5 76
Temperatur	100	121	134	144	152	200			
Tryk i Atmosfærer	1	2	3	4	5	15			

42. Bestemmelse af den bundne Varme. For at finde, hvor megen Varme der gaar over i bunden Tilstand, naar Vand omdannes til Damp, kan man benytte et Kalorimeter, der indeholder et skruedannet Rør, som forneden har en Udvidelse og derefter fortsætter sig ud i Atmosfæren. I en Kolbe bringes Vand til at koge, og Dampene ledes gennem Skruerøret inde i Kalorimetret. Der maa naturligvis anvendes stor Forsigtighed, for at Dampen ikke skal afkøles

paa Vejen til Kalorimetret; Figuren viser, hvorledes Apparatet kan indrettes. Vi antage, at Kalorimetret indeholder p gr. Vand af Temperaturen t^0 og har Vandværdien v , endvidere at man efter Forsøgets Slutning ved Vejning finder, at der er gaaet q gr. Vanddamp over, og at denne er bleven fortættet til Vand. Vandets Kogepunkt ved det tilstedeværende Tryk er T^0 , og Blandingstemperaturen tilsidst F^0 . Kalde vi den Varme, som bindes ved Fordampningen af 1 gr. Vand, for x , have vi Ligningen

$$(p + v)(F - t) = qx + q(T - F).$$

Af Forsøgene fremgaar det, at x varierer noget efter den Temperatur, hvorved Fordampningen sker; ved 100^0 er Fordampningsvarmen for 1 gr. Vand 537 Kalorier.

For andre Vædskers Vedkommende er Fremgangsmaaden en ganske lignende. Deres Fordampningsvarme er altid mindre end Vandets.

43. Fortætning af Dampe. Vi have allerede i det foregaaende flere Gange haft Lejlighed til at omtale Fortætning af Dampe. En saadan finder Sted, naar vi ved Afkøling eller Rumfangsformindskelse opnaa at faa Dampen mættet.

En Fordampning og derpaa følgende Fortætning anvendes i Destillationen. I en Kedel koges Vand, og Dampene føres gennem et Rør, som er nedsænket i koldt Vand; Dampene fortættes da, og der løber destilleret Vand ud af Røret. De Stoffer, som i Forvejen ere opløste i Vandet og ikke let kunne fordampe, efterlades i Kedlen. Ligeledes kan man ved Destillation til Dels adskille to blandede Vædsker, dersom den ene af dem koger lettere end den anden; dette

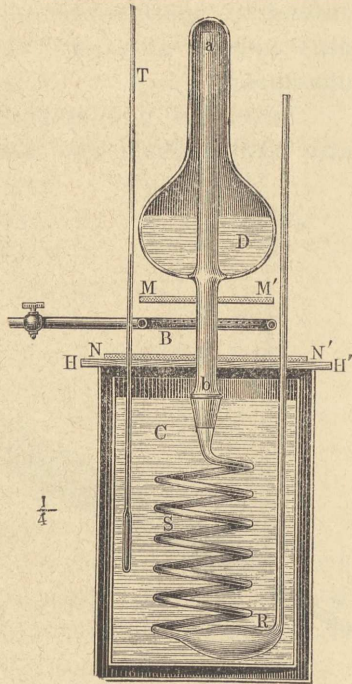


Fig. 18.

anvendes i Spritfabrikker til at befri Spritten for noget af dens Indhold af Vand. Figuren viser et mindre Destillationsapparat.

Naar man udfører Fortætningen ved Afkøling, behøver man ikke at afkøle hele Damprummet. Gøres Temperaturen

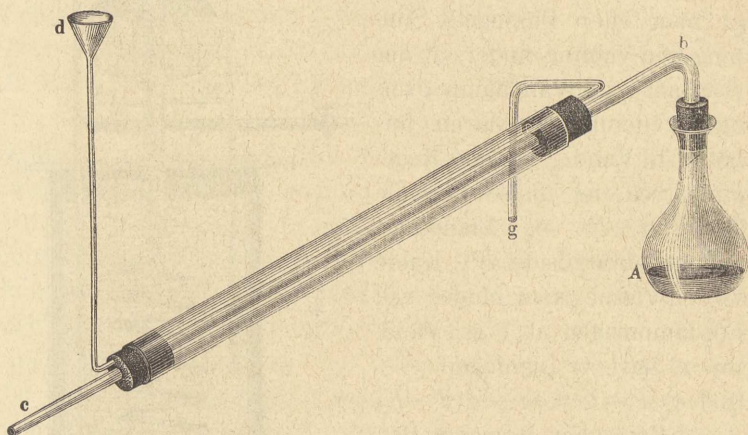


Fig. 19.

nemlig blot lavere i en Del af Rummet, vil Trykket blive mindre der paa Grund af Fortætningen, og der vil straks fra de andre Dele af Rummet sendes nye Dampe dertil, og naar disse atter ere fortættede, fortsættes det samme, indtil Damptrykket overalt er bleven lig med det, som svarer til den laveste Temperatur. Dette har en vigtig Anvendelse i Dampmaskinens Kondensator (se § 52).

Ved Fortætning afgiver Dampen sin bundne Varme, og da denne f. Eks. for Vanddamps Vedkommende er meget betydelig, fremkommer der ofte en stærk Ophedning, saaledes i Svalelandet i et Destillationsapparat. Man kan indrette Varmeapparater i Huse ved at sende Damp rundt gennem Rør i Værelserne; paa Vejen fortættes Dampene og afgive Varme. I store Køkkener kan man koge Maden ved at omgive Karrene med Damp.

44. Fortætning af Luftarter. Luftarten Svovlsyrling, som kan dannes ved at brænde Svovl eller ved at koge

Kobber med stærk Svovlsyre, kan let fortættes til Vædske-enten ved Tryk eller Afkøling. Hvorledes det sker paa den første Maade, er omtalt i mek. Fys. § 64. Ved 0° sker det ved $1\frac{1}{2}$ Atmosfæres Tryk, ved almindelig Stuetemperatur kræves der 3—4 Atmosfærer. Fortætning ved Afkøling alene sker ved $\div 10^{\circ}$; man kan gøre Forsøget med hosstaaende Apparat, som er et Glas med et Par Rør igennem Proppen. Glasset sættes i en Kuldeblending af Sne og Salt, Svovlsyrlingen ledes ind gennem det ene Rør og fortættes i Glasset. Den flydende Svovlsyrling opbevares bedst i Kuldeblendingen. Svovlsyrlingen

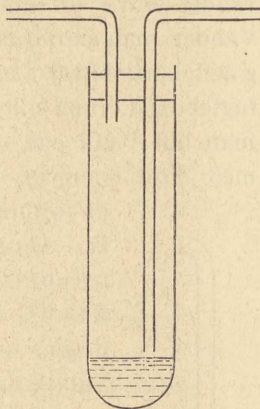


Fig. 20.

optræder altsaa ved lav Temperatur eller ved større Tryk som en mættet Damp. Ved almindelig Temperatur og Tryk kan den derfor opfattes som umættet Damp af en Vædske med Kogepunktet $\div 10^{\circ}$. At vi til daglig kalde den en Luftart beror da blot paa, at vi som Regel iagttagte den under Forhold, hvor den optræder som den umættede Damp.

En anden Luftart, som ogsaa fortættes ved faa Atmosfæres Tryk, er Ammoniak. Derimod fordrer Kulsyre et større Tryk, dersom Temperaturen da ikke er meget lav. Ved 0° behøves der omtrent 34 Atmosfæres Tryk. Man har fundet, at der for enhver Luftart gives en kritisk Temperatur, der er den højeste, ved hvilken en Fortætning overhovedet kan udføres. For Kulsyrens Vedkommende er den kritiske Temperatur 31° , og Fortætningen finder da Sted ved det kritiske Tryk 77 Atmosfærer. Man kan ved passende Tryk og Temperatur fortætte enhver Luftart til Vædske, men for nogles Vedkommende ligger den kritiske Temperatur meget lavt, for Ilt og Kvælstof under $\div 100^{\circ}$ og for Brint endnu lavere; det er først i de senere Aar lykkedes at fortætte disse til Vædske; de kræve som anført en meget stærk Afkøling og endda et betydeligt Tryk.

45. Kulde frembragt ved Fordampning. Ved enhver For-

dampning bindes der Varme, og man kan derfor let iagttage en Afkøling, naar Dampdannelsen sker hurtigt. Ere Hænderne vaade, blive de afkølede, naar man svinger dem i Luften. Vander man en Grusplads om Sommeren, efter at Solen er gaaet bort, bliver Luften kølig. Et Termometer, som er befugtet med Vand eller Æter, synker flere Grader. Drypper man lidt Vand paa en Glasplade og stiller en lille Metalskaal med Æter ovenpaa, kan man ved en Puster faa Æteren til

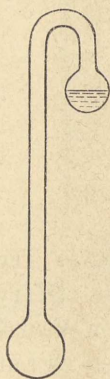


Fig. 21.

at fordampe saa rask, at Vanddraaben fryser til Is. Ogsaa ved Fordampning af Vand kan man frembringe en Temperatur under 0° . Wollastons Kryofor er et bøjet Glasrør udblæst til to Kugler ved Enderne; Apparatet indeholder Vand, og naar dette koges godt, før Røret tilsmeltes, forjages al Luft fra Apparatet. Stilles nu den ene, tomme Kugle i en Kuldeblending af Sne og Salt, fortættes Dampene derinde, og Vandet fordamper saa rask fra den anden Kugle, at der lægger sig Is enten inde i denne eller udvendig ved Fortætning af Dampene i Værelset.

46. Ismaskiner. Til at frembringe Kulde i

større Maalestok har man indrettet Ismaskiner, f. Eks. paa følgende Maade. En Beholder *A* indeholder flydende Ammoniak, som ifølge det ovenstaaende udøver flere Atmosfærers Tryk ved almindelig Temperatur. Dette Tryk bortskaffes af Beholderen ved en rask virkende Luftpumpe, saa at Fordampningen af Ammoniak sker meget hurtigt, og Afkølingen bliver saa betydelig, at man ved den f. Eks. kan forvandle en Del Vand til Is. Dampene, som pompes bort fra *A*, drives af Pompeapparatet over i en anden Beholder *B*, der anbringes saa koldt som muligt. I denne fortættes Ammoniakken igen, saa den kan bruges paa ny, naar den første Udpomping af *A* er tilendebragt.

Paa den samme Maade kan man anvende flydende Svovlsyrling og derved opnaa en Temperatur af -70° . Ved Hjælp af flydende Kulsyre kan man naa ned til -140° , naar man lader de Kulsyredampe, som pompes bort, drives over i en

Beholder, der er anbragt i flydende Svovlsyring, hvis Temperatur, som nylig nævnt, kan holdes paa $\div 70^{\circ}$.

Flydende Kulsyre leveres fra adskillige Fabrikker i stærke Jærnbeholdere. Lader man Vædsken strømme ud i Luften gennem en Hane, bindes der ved Fordampningen saa megen Varme, at en Del af Kulsyren fryser til et Stof ligesom Sne. Opsamler man denne Sne og blander den med Æter, faar man en Vædske, der holder sig nogen Tid ved $\div 78^{\circ}$. Bringes den under en Luftpompeklokke, kan man ved at formindske Trykket naa ned til $\div 110^{\circ}$.

Man kan ogsaa til Ismaskiner anvende Æter, skønt den er flydende ved almindelig Temperatur. Princippet er det samme som før, ved en rask Pompning fjærnes Dampene i den Beholder, som indeholder Æteren, og tvinges over i et andet Kar, hvor de fortættes. Ja, man kan endog med Fordel anvende Vandets egen Fordampning til at bringe det til at fryse. En Karaffel med Vand anbringes paa Munden af et Rør, som fører til Luftpompen. I Forbindelse med Røret staar en Beholder med koncentreret Svovlsyre, som indsuger Vanddampe stærkt og derfor hjælper Luftpompen med at formindske Trykket. Dette kan derved blive saa svagt, at Fordampningen sker hurtigt nok til, at en Del af Vandet i Karaffen fryser til Is.

47. Leidenfrosts Forsøg. Opheder man en blank Sølv-skaal stærkt og lader lidt Vand falde derpaa, vil man se, at det lægger sig som en afrundet Draabe, hvis Temperatur er noget under Kogepunktet. Aarsagen hertil er, at der paa Draabens Underside dannes saa megen Damp, at Vædsken selv løftes lidt og ikke berører Skaalen. Vandet vil naturligvis efterhaanden svinde bort ved Fordampning, men dersom Skaalen imidlertid afkøles, vil Draaben brede sig ud og komme i heftig Kogning. Vil man gøre Forsøget med Vin-aand eller Æter, behøver Skaalen ikke at være saa stærkt ophedet. Det samme Forsøg kan gøres med flydende Svovlsyring, der antager Temperaturen $\div 11^{\circ}$, saa at en Draabe Vand fryser, hvis man lader den falde paa Svovlsyringen.

Det kan ved dette Forsøg forklares, hvorfor man uskadt

kan dykke sin Haand i smeltet Bly eller røre ved glødende Jærn.

48. Vanddampene i Luften. Der findes altid Vanddamp i Atmosfæren, men i foranderlig Mængde. Dersom der findes saa megen Damp i en begrænset Del af Atmosfæren, som der overhovedet kan være ved den Temperatur, Luften har, er denne altsaa mættet med Vanddamp. Jo nærmere Luften er ved at være mættet, desto mere fugtig siger man, den er. Fugtighedsgraden beror altsaa ikke alene paa Vanddampenes Mængde, men ogsaa paa Temperaturen. Tør Luft om Sommeren kan godt indeholde flere Vanddampe end fugtig Luft om Vinteren. Jo mere fugtig Luften er, desto langsommere sker der yderligere Fordampning af Vand; man kan derfor ofte faa en Følelse af Luftens Fugtighedsgrad, idet Fordampningen fra vor Hud retter sig derefter. Sker der tilstrækkelig Afkøling af Luften, vil den altid blive mættet, og Dampene begynde at fortætte sig. Den Temperatur, hvorved det sker, kaldes Luftens Dugpunkt.

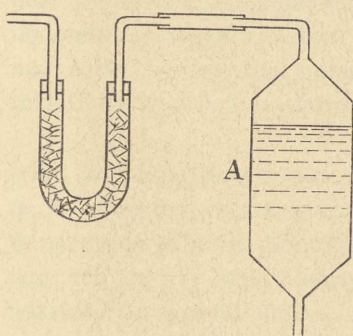


Fig. 22.

Vil man finde Mængden af Vanddamp i et begrænset Rumfang Luft, kan man lade denne strømme igennem et Rør, som indeholder Klorcalcium. Dette Stof vil nemlig indsuge alle Vanddampene, saa at man bagefter ved Vejning af Røret kan finde Dampens Vægt. En saadan Strøm af Luft frembringes bedst paa den Maade, Figuren viser.

Idet Vandet løber ud af Karret, suges der en Luftstrøm gennem Klorcalciumrøret, og Luftmængden kan maales i Karret.

Man kan ogsaa anvende et Hygrometer. Det bestaar af et tærningformet forsølvet Metalkar, som er godt poleret og indeholder Æter. Gennem Laaget gaar et Termometer og to Rør, af hvilke det ene, *A*, naar ned i Æteren, det andet, *B*, ikke. Naar der suges en Luftstrøm ud af *B* paa samme

Maade som før, bobler der Luft fra Røret A op igennem Æteren, som derved fordamper og afkøler Beholderen. Saa snart Dugpunktet er naaet, bliver Beholderen mat paa Grund af de fortættede Vanddampe; det iagttages bedst, dersom man ved Siden af har en anden ganske ens, tom Beholder, der hele Tiden holder sig blank. Har man nu aflæst Dugpunktet og er i Besiddelse af en Tabel over mættede Vanddampes Tryk ved forskellige Temperaturer, ser man altsaa, hvilket Tryk Vanddampene for Øjeblikket udøve i Luften, og deraf kan man atter udregne Vægtmængden af Damp i et vist Rumfang.

Psykometret bestaar af to Termometre, ophængte paa et Stativ. Det enes Beholder er omgivet af Tøj, der bestandig holdes vaadt fra en lille Vandbeholder, saa at der vedblivende foregaar en Fordampning og altsaa bindes Varme, saafremt Luften ikke er helt mættet med Damp. Det vaade Termometer vil derfor synke, og Forskellen mellem de Gradeantal, Termometrene vise, er desto større, jo længere Luften er fra at være mættet. Man faar altsaa ved dette Redskab umiddelbart en Forestilling om Luftens Fugtighedsgrad, men kan ogsaa ved en lille Regning finde, hvor megen Vanddamp der er i et vist Rumfang Luft.

49. Dug og Regn. Paa en varm Sommerdag sker der

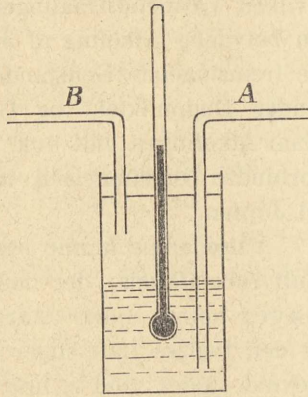


Fig. 23.

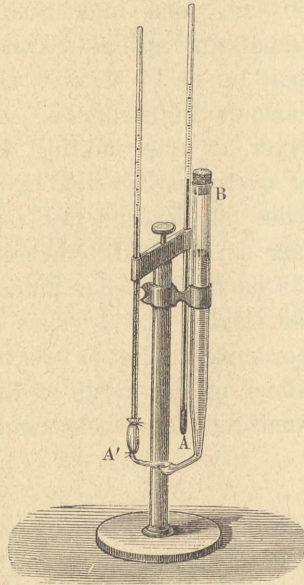


Fig. 24.

en livlig Fordampning af Vandet paa Jordens Overflade. Naar der efter en saadan Dag følger en klar og stille Nat, i hvilken Varmeudstraalingen til Verdensrummet frembringer en betydelig Afkøling af Jordoverfladen, vil Luften omkring de fremstaaende Genstande, f. Eks. Græs og Blade, afkøles under Dugpunktet, og Genstandene bedækkes med Dug. Gaar Afkølingen vidt nok, dannes der Rim. Skyer og Træer forhindre Dugdannelsen, idet de tilbagekaste Varmestraalerne til Jorden.

Vanddampe kunne ogsaa fortættes derved, at den fugtige Luft selv afkøles; der dannes Taage nede ved Jorden eller Skyer højere oppe. Aarsagen til Skydannelsen er i Reglen, at den fugtige Luft stiger opad og derved afkøles. Naar en Søvind støder mod et højt Bjærg, tvinges den opad, og Fugtigheden falder ned som Regn. Paa Norges Vestkyst er den aarlige Regnmængde 1 à 2 Meter, hos os gennemsnitlig kun 60 cm., men intet Sted paa Jorden kan maale sig med Himalayas sydlige Skraaninger, hvor Aarets Regnmængde gaar op til 14 Meter. Ogsaa Varmen kan frembringe opad-gaaende Luftstrømme, som foranledige Dannelsen af Regnskyer, navnlig omkring Ækvator, hvor Luftens Dampmængde er overordentlig stor, hvorfor Regnen falder ganske anderledes tæt der end hos os. Ethvert Sted i den hede Zone faar sin Regntid, omtrent naar Solen passerer Zenit, altsaa for de fleste Steder 2 Gange om Aaret. Regnen falder kun om Dagen, ofte 9 Timer i Træk og er tit ledsaget af stærke Tordenvejr. Det er i det tropiske Bælte, man har fundet Nilens Kilder og det meste af Kongoflodens Løb; der ligger ogsaa Amazonfloden i hele sin Udstrækning.

Opgaver.

27. I en Papirs Kedel vil man holde Vandet ved 150° ; Sikkerhedsventilen er $2 \square \text{cm}$; hvor meget maa den belastes?

Res. ca. 10 Kilo.

28. Hvorfor lugter Eau de Cologne stærkest, lige naar man tager Proppen af Flasken?

29. Hvorfor varmer Brænde mindre godt, naar det er fugtigt?

30. Hvad er det, der sker, naar man hører Vandet synge i en Temaskine, lige før Kogningen begynder?

31. Er det virkelig Damp, vi se staa ud af en Vandkedels Tud, naar Vandet i den koger?

32. I en Kolbe bringes en Del Vand godt i Kog; derefter blæser man ved Hjælp af et Rør Dampen ud af Kolben og frisk Luft ind. Lukker man da hurtigt Kolben med en Prop, hvorigennem der gaar et Rør ned i Vandet, ser man lidt efter et Springvand. Hvorledes forklares det?

33. Suger man Æter op i en Stikhævert ved Hjælp af en lille Ballon, løber Vædsken straks af sig selv ud igen. Hvorledes forklares det?

34. Et Glas af hosstaaende Form er til Dels fyldt med Vand eller Vinaand, som ved Kogning har udjaget Luften af Apparatet, før det blev tilsmeltet. Bringer man lidt Vand paa begge Sider af Indsnævringen, vil man ved at holde paa den nederste Del med Haanden frembringe en Kogning gennem den øverste Vandsøjle. Hvorledes forklares det?

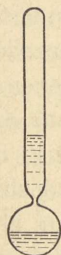


Fig. 25.

35. Ved følgende Forsøg kan man overbevise sig om Voldsomheden af en Dampexplosion. I et Termometerrørs Kugle bringer man lidt Vand og lukker derefter Enden af Røret med lidt Lak. Røret anbringes i en Klemme, og under Kuglen stilles et Lys. Efter et Øjebliks Forløb indtræder der en forholdsvis stærk Eksplosion. Man maa med Forsigtighed sørge for, at Glassplinterne, som slynges langt bort, ikke kunne gøre Skade.

36. I et Kalorimeter er der 1 Kilo Vand til 10° . Til hvilken Temperatur opvarmes det, naar man leder Dampen fra 10^{gr} kogende Vand ned i det?

Res. $16,2^{\circ}$.

37. I et Torricellisk Rør findes der oven over Kvægsølvet lidt Luft, som indtager en Længde l i Røret og har Trykket b . Ved at bringe lidt Æter ind i Røret faar man Kvægsølv søjlen til at falde Stykket a ; hvor stort er Dampenes Tryk?

$$\text{Res. } a \left(1 + \frac{b}{l + a} \right).$$

38. Hvorfor sætter der sig Dug paa ens Brillglas, naar man en kold Dag kommer udefra ind i en varm Stue?

Dampmaskinen.

50. Kedlen har i Reglen Form som en stor Cylinder med afrundede Ender og dannes af sammennittede Smedejærnsplader. Fyrrummet kan ved en fastliggende Kedel ligge under dennes ene Ende, og Ilden stryger da langs Kedlens Underflade, og de varme Forbrændingsprodukter føres i murede Kanaler tilbage langs Siderne, før de gaa op i Skorstenen. Ofte ligger Ildstedet inde i selve Kedlen, og Ilden gaar da igennem en Mængde Jærnrør, som strække sig paa langs inde i Kedlen, helt omgivne af Vand. Skorstenen maa ved store Dampanlæg have en betydelig Højde, for at den kan give tilstrækkelig Træk til en livlig Forbrænding paa Ildstedet. Det er af Vigtighed, at der altid er Vand nok i Kedlen, thi hvis noget af Ildpaavirkningsfladen blev tør, vilde den opvarmes meget stærkt og give Anledning til en altfor heftig Dampudvikling, naar Vandet sprøjtede derop, eller der blev tilført mere Vand. For at sikre sig, at der altid findes en passende Mængde Vand i Kedlen, forsyner man den med et Vandstandsør, som blot bestaar af et lodret Glasør, hvis Ender ved Hjælp af Metalør ere i Forbindelse, forneden med Vandet, foroven med Damprummet. Tillige har Kedlen en Sikkerhedsventil og et Manometer til at maale Damptrykket. Det er bedst at benytte blødt Vand for at formindske Dannelsen af Kedelsten. Sætter der sig nemlig et større Lag deraf fast paa Kedlen, ledes Varmen daarligere ind til Vandet, og Jærnpladerne opvarmes stærkt. Springer der da noget af Stenen løs, og det stærkt ophedede Jærn kommer i Berøring med Vandet, kan dette komme i den Leidenfrostske Tilstand og ved Jærnpladens Afkøling pludselig udvikle saa megen Damp, at der bliver Fare for Eksplosion. Da nu Dannelsen af Kedelsten aldrig helt kan undgaas, er der paa Kedlen en Aabning, hvorigennem den kan renses; under

Brugen lukkes Aabningen med en fastskruet Plade. Ofte bruger man for at formindske Dannelsen af Sten af og til en Udblæsning af Kedlen; denne er da i Bunden forsynet med en Hane, og naar denne aabnes, uddriver Damptrykket noget af det nederste Vand, i hvilket de udskilte faste Masser væsentlig findes.

51. Maskinen. Fra Kedlens Damprum fører et Rør Dampen hen til selve Maskinen. Da denne ofte er opstillet i et andet Rum end Kedlen, maa Damprøret omgives med et Lag af daarlige Varmeledere. Damprøret Z fører ind i Gliderrummet K , hvis ene Side er plansleben og har tre Udgange d , r og e , af hvilke den første og sidste føre til Enderne af Dampcylindren, medens r fører ud til Atmosfæren. Langs den plane Væg af Rummet K bevæger Glideren sig; den er dannet som en Skaal med plansleben Rand og kan i en enkelt Stilling, som paa Figuren, dække over alle tre Aabninger, medens den ved en ringe Bevægelse op eller ned aabner for d eller e , men aldrig for r . Hvis Glideren er i sin øverste Stilling, gaar Dampen fra K ind i Cylindrens underste Del og driver Stemplet til Vejrs, medens den Damp, som laa ovenover, gaar gennem e og r ud i Atmosfæren. Naar dette er sket, forandres Gliderens Stilling, saa at Dampen nu kan komme ind igennem e og drive Stemplet ned igen, hvorved den brugte Damp gaar bort igennem d og r o. s. v. Paa Lokomotiver drives den brugte Damp gennem Røret r ud i Skorstenen; herved forøges nemlig Trækket i denne, saa dens Højde ikke behøver at være saa stor. Stemplet bærer en Stang, der gaar lufttæt gennem Cylindrens Laag og stadig holdes i samme rette Linie, idet dens Bevægelse styres ved Hjælp af en Stoppebøsse, som er fastskruet paa Laaget. Stempelstangen er ved et Led i Forbindelse med Stangen P , der atter er i leddet Forbindelse med Stangen Q , Krumtappen. Denne sidder fast paa Maskinens Hovedakse og virker ligesom et Slags Haandsving, ved Hjælp af hvilket Stemplet under sin op- og nedadgaende Bevægelse kommer til at dreje Aksen rundt. Dampens Tryk paa Stemplet virker altid i Retning af Cylindren selv, altsaa lodret i den Maskine, som er afbildet paa

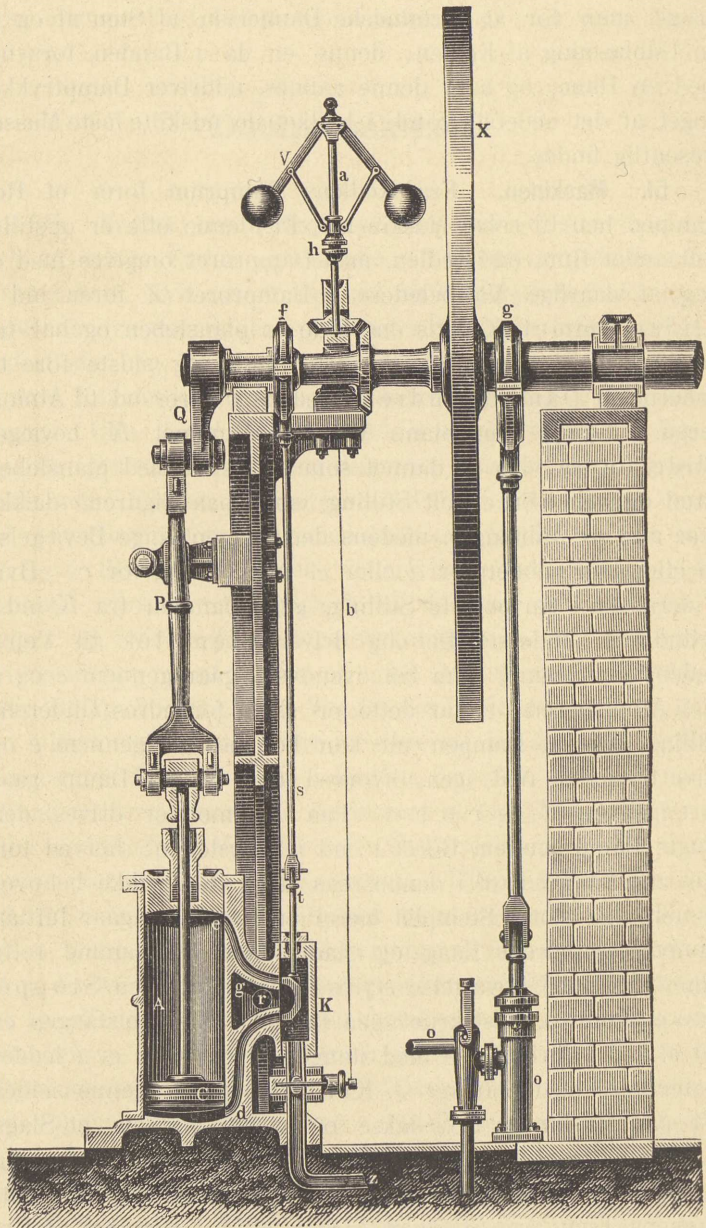


Fig. 26.

Figuren. Staar Krumtappen vandret, kan altsaa hele Trykket komme til Nytte med Hensyn til Maskinens Omdrejning; i andre Stillinger af *Q* bliver kun en Del af Trykket nyttigt, og naar Stemplet er i sin øverste eller nederste Stilling, de døde Punkter, ligge Stempelstangen og *P* og *Q* i en ret Linie, saa Damptrykket aldeles ikke kan hjælpe til Omdrejningen. For at denne kan ske jævnt, maa Aksen derfor bære et stort Svinghjul *X*, hvis Inerti er stor nok til at udjævne Forandringerne i Kraftens Størrelse.

Glidersens Bevægelse i de rette Øjeblikke udføres af Maskinen selv ved Hjælp af den ekscentriske Skive, som er en cirkelformet Plade, der er fastgjort paa Hovedaksen, men saaledes at Skivens Centrum ikke falder i Aksens Midterlinie. Uden om den ekscentriske Skive ligger der en løs Ring, paa hvilken der er fastgjort en lang Stang *s*, som er i leddet Forbindelse med Glidersens Stang *t*. Naar nu Maskinaksen (den lyse, mindre Cirkel) drejes rundt, svinger altsaa den ekscentriske Skive med og derved løftes og sænkes den løse Ring og Stængerne *s* og *t* en lille Smule. Den Sidebevægelse, som den ekscentriske Skive faar under Omdrejningen, bevirker, at Stangen *s* svinger lidt til Siden, men paa Grund af Leddet mellem *s* og *t* kan den sidste vedligeholde en retlinet Bevægelse op og ned.

Større Uregelmæssighed i Dampmaskinens Gang udjævnes ved Regulatoren *V*. Paa Aksen anbringes et konisk Tandhjul, der atter sætter et andet konisk Tandhjul med lodret Akse i Omdrejning. Paa den sidst nævnte Akses Forlængelse *a* hænger der et Par Stænger *V* med nogle tunge Kugler. Disse Stænger ere ved et Par andre satte i Forbindelse med et Hylster *h*, som ligger uden om Aksen *a*. Alle Forbindelserne ere leddede, saaledes at Kuglerne ved Centrifugaltrækket, der opstaar ved Omdrejningen, kunne

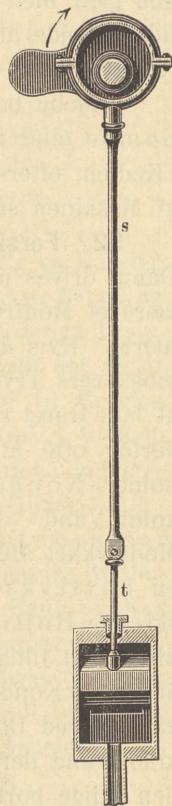


Fig. 27.

drives udad og derved løfte Hylsteret h desto mere, jo hurtigere Maskinen gaar. Paa h er der anbragt en tynd Stang b , som trækker i et Spjæld, der findes inde i Damprøret Z . Løber Maskinen nu for hurtigt rundt, saa lukker den selv Dampspjældet mere til, saa at Damptilstrømningen formindskes. Det bliver herved muligt at regulere Maskinens Gang, saa at den gaar med samme Hurtighed, enten den har meget eller lidt Arbejde at udføre, men i første Tilfælde bruges der naturligvis mere Damp.

Endelig behøves der ved enhver Dampmaskine en Fødepompe eller lignende Indretning, som kan pompe Vand ind i Kedlen, eftersom Vandstanden synker. Denne Pompe drives af Maskinen selv ved Hjælp af en ekscentrisk Skive.

52. Forskellige Slags Dampmaskiner. Naar den brugte Damp drives ud i Luften, vil der under hvert Stempelslag være et Modtryk imod Stemplet af en Atmosfære eller lidt mere. Hvis der altsaa arbejdes f. Eks. med Damp af 5 Atmosfærers Tryk, faar man kun Nytte af de 4. I Stedet for at lade Røret r (Fig. 26) udmunde i Atmosfæren, bruger man derfor ofte at sætte det i Forbindelse med en lukket Beholder, Kondensatoren, som holdes fyldt med nogenlunde koldt Vand. Herved bliver den brugte Damp fortættet og Modtrykket altsaa mindre. Man kalder en saadan Maskine en Lavtryksmaskine i Modsætning til de tidligere beskrevne Højtryksmaskiner. Anvendes der Kondensator, bliver det tillige nødvendigt at indrette et Par Pomper, en til at skaffe Kondensatorvandet bort, efterhaanden som det opvarmes ved Dampens Fortætning, og en til at pompe frisk koldt Vand derind igen. Den første kaldes Luftpompen, fordi den tillige bortskaffer den Luft, som er blandet med Dampen, idet nemlig Fødevandet, som bringes ind i Kedlen, indeholder Luft i opløst Tilstand. Da begge de nævnte Pomper, som nødvendiggøres ved en Lavtryksmaskine, skulle drives af Maskinen selv (ved Hjælp af ekscentriske Skiver), mistes atter en Del af Fordelen, ligesom Maskinens Indretning er noget mere sammensat. Det kommer derfor an paa Omstændighederne, hvilken Slags Maskine man vil foretrække. Paa Dampskibe er der nem Adgang til koldt Vand, derfor bruges

her Maskiner med Kondensator, medens Lokomotiver arbejde med Højtryk.

Meget hyppigt anvendes der en Forening af Høj- og Lavtryk. Maskinen har da to Cyindre af forskellig Diameter, hver med sit Stempel. Dampen træder først ind ved a i den med mindre Gennemsnit, og Stemplet jager den Damp, som befinder sig paa den anden Side af det, igennem b og et Forbindelsesrør over i A , hvor den trykker det store Stempel

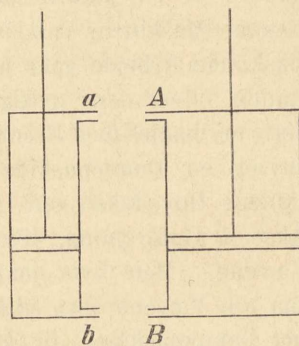


Fig. 28.

ned, saaledes at den Damp, som er nedenfor, drives gennem Aabningen B over i en Kondensator. Det lille Stempel faar ganske vist her et betydeligt Modtryk, men til Gengæld bliver der et andet nyttigt Tryk i den anden Cylinder, og dette bliver større, fordi det virker paa et større Areal. Ere Stemplerne naaede til Bunden, ledes Dampen ind gennem b , fra a til B og fra A til Kondensatoren. De forskellige Forbindelser til og fra Cyindrenes Dampveje opnaas ved en temmelig sammensat Glider.

Endelig anvendes nu hyppigt Ekspansionsmaskiner. Ved disse lukker Glideren fuldstændig for Dampen fra Kedlen, naar Stemplet har gennemløbet en Del af sin Bane, f. Eks. Fjerdedelen deraf. Resten af Vejen virker Dampen altsaa kun ved sin Udvidelse. Herved bliver dens Arbejde naturligvis mindre, end hvis der hele Tiden virkede fuldt Damptryk, men der spares Damp, og man kan opnaa et Arbejde af bestemt Størrelse billigere ved saadanne Maskiner.

53. Dampmaskinens Nyttevirkning angives i Hestekræfter. Disse kunne beregnes paa flere Maader. Der bruges f. Eks. hyppigt et Apparat, Indikator, som er en Slags Manometer, der sættes i Forbindelse med Cyindren ved dens ene Ende, saaledes at man ved Indikatoren kan maale Dampens Tryk paa Stemplet under hele dets Bevægelse frem og tilbage. Da nu tillige Stemplets Areal og Vej kunne maales, tilligemed Varigheden af et Stempelslag, saa kan man

ligefrem udregne den Arbejdsmængde, som Dampen leverer. Idet 75 kgm. i Sekundet kaldes en Hestekraft, kan man da bestemme Maskinens indicerede Hestekræfter. Da en Del af Maskinens Arbejde gaar med til at overvinde dens egne Modstande, bliver dens nyttige Arbejde altid mindre. Hvor stort dette er, maales med Bremsdynamometret (se Mek. Fys. Opg. 43). Driver en Dampmaskine f. Eks. et Væveri, saa sætter Maskinens Hovedakse ved Hjælp af Remskive og Rem en anden Akse i Omdrejning, hvorfra Bevægelsen overføres til alle Vævene. Men hvis man kaster Remmen af Maskinaksen, saa alle Vævene staa stille, kan man ved Bremsdynamometret faa Dampmaskinen til at arbejde paa ganske den samme Maade, det vil sige med samme Hastighed og samme Dampforbrug som ellers, og derved bestemme, hvor stort et Arbejde der overføres paa Vævene.

Energi.

54. Arbejde og Energi. At udføre Arbejde er at bevæge et Legeme imod en stadig virkende Modstand. Kaldes Modstanden M Kilo og Vejen s Meter, da er Arbejdet Ms Kilo-grammeter, hvis Vejens og Modstandens Retninger ere lige modsatte; danne de en Vinkel med hinanden, som er $180^\circ - v$, er Arbejdet $Ms \cos v$ (se Mek. Fys. § 25). Dersom den Kraft K , som udfører Arbejdet, tager direkte fat paa Legemet og bevæger det med jævn Hastighed, maa K være lig M , og da tillige Kraftens Vej r er lig med den Vej s , hvorigennem Modstanden overvindes, have vi $Kr = Ms$. Den samme Ligning gælder (se Mek. Fys. § 30), dersom Kraften ikke tager fat paa det Sted, hvor Modstanden virker, men udfører Arbejdet ved Hjælp af en Maskine, f. Eks. en Trisse eller Vinde osv., saaledes at vi ogsaa her lige saa godt kunne maale Arbejdets Størrelse ved Kraften multipliceret med dens Vej.

En Kraft, som ved at bevæge et Legeme kan udføre Arbejde, siger man, har Energi. Denne afhænger altsaa ikke blot af Kraftens Størrelse, men ogsaa af den Bevægelse, den kan give Legemet. Gnidningsmodstanden er saaledes en Kraft, der ikke indeholder Energi, thi den kan ikke bevæge noget Legeme.

55. Beliggenhedsenergi. Hvis et Legeme med Vægt K ligger i en Højde r , saa kan det ved at falde bevæge en af de nævnte Maskiner med jævn Hastighed og derved udføre Arbejdet Kr . Vi sige derfor, at Legemet eller Tyngdekraften,

som virker derpaa, har en Beliggenhedsenergi af Størrelse Kr , saa længe Legemet ligger i sin oprindelige Stilling. Er Faldet sket, har Legemet mistet sin Energi, men den Byrde B , som er løftet gennem Højden s , har nu i Stedet derfor faaet en Energi $= Bs$, og da dette Produkt er lig med Kr , saa lære vi altsaa, at Beliggenhedsenergien ved Maskinens Hjælp er flyttet fra det ene Legeme til det andet, uden at Størrelsen deraf er bleven forandret.

Naar Tyngdekraften har bragt et Legeme K til at falde gennem Vejen r , saa kunne vi ikke faa det tilbage til sin oprindelige Plads igen, uden at vi anvende en anden Kraft og lade denne løfte Legemet og derved paa ny udføre Arbejdet Kr . Noget lignende er Tilfældet med den Energi, som er indeholdt i en Staalmagnet og et Stykke Jærn, som ligge i Nærheden af hinanden. Men hvis vi i Stedet for Staalmagneten tage en Elektromagnet, bliver Forholdet et andet. En Energi er der atter indeholdt i den Kraft, som virker mellem Legemerne, men det er ikke Beliggenhedsenergi i den samme Forstand som tidligere, thi naar Jærnet er tiltrukket af Magneten, saa kunne vi afbryde den elektriske Strøm, som fremkalder Magnetismen, og uden nogen fremmed Energi flytte Jærnet tilbage til sin oprindelige Plads.

56. Bevægelsesenergi. Hvis et Legeme med Vægten K falder frit, uden ydre Modstande, gennem Vejen r , faar det en Forøgelse i sin Hastighed, bestemt ved Ligningen $h^2 - c^2 = 2gr$, idet h er Slutningshastigheden og c Begyndelseshastigheden. Den samme Ligning gælder, naar Legemet kastes skraat ud og bevæger sig i en Parabel, idet r da blot betyder Vejens lodrette Projektion, og ligeledes med samme Betydning af r , dersom Legemet falder paa en Skraaplan eller krum Flade uden Gnidningsmodstand (se Mek. Fys. § 94 og 95). Ved Multiplikation med Legemets Masse m ($= \frac{K}{g}$) og Division med 2 faas

$$\frac{1}{2} m h^2 - \frac{1}{2} m c^2 = Kr.$$

Idet Produktet af den halve Masse og Hastighedens Kvadrat kaldes Legemets levende Kraft, siger Ligningen altsaa, at

Legemet under Bevægelsen faar en Forøgelse i levende Kraft, som netop er lig den tabte Beliggenhedsenergi.

Hvis Legemet efter Faldet ledes ind paa en ru Flade, kan det løbe videre paa Grund af den opnaaede Fart og derved overvinde Gnidningsmodstanden og udføre Arbejde, eller det kan løfte sig selv, hvis Bevægelsen ledes op ad en skraa Flade. Herved bliver Hastigheden mindre, f. Eks. h_1 , og ifølge § 97 i Mek. Fysik gælder Ligningen

$$\frac{1}{2}mh^2 - \frac{1}{2}mh_1^2 = Ms,$$

naar M er Modstanden og s Vejen, saaledes at Legemets Tab i levende Kraft er lig med det Arbejde, Legemet under sin Bevægelse udfører. Fortsættes Bevægelsen, indtil h_1 er bleven $= c$, saa faar man $Ms = Kr$, og Legemet har sin oprindelige Hastighed. Vi lære heraf, at Legemet ved at afgive den levende Kraft, det første Gang modtog, kan udføre et Arbejde lig med den oprindelig anvendte Energi. Den forsvundne Beliggenhedsenergi bevares altsaa med uforandret Størrelse som Bevægelsesenergi i Legemet.

Den samme Regel er i den nævnte § i Mek. Fys. udvidet til at gælde om foranderlige Kræfter. Den gælder ogsaa, naar en Kraft sætter et Legeme i Rotation. Energien findes med uforandret Størrelse i det roterende Legemes levende Kraft, $\frac{1}{2}I\varphi^2$, hvor I er Inertimomentet og φ Vinkelhastigheden. Reglen kan ogsaa anvendes paa et System af Legemer, som ere i Forbindelse med hverandre, hvortil dog er at bemærke, at Energierne ofte kunne omdannes i andre Former end dem, vi hidtil have nævnet.

I et Pendul, som svinger, have vi en stadig Vekslen mellem Beliggenhedsenergi i Yderstillingerne og Bevægelsesenergi i den lodrette Stilling. Et andet Eksempel have vi, naar et Legeme af Tyngden bevæges uden Modstand paa en Linie, der bugter sig op og ned. Jo dybere Legemet er nede, desto større en Del af den samlede Energi er da til Stede som Bevægelsesenergi. Et tredie Eksempel have vi i staaende Bølger (Mek. Fys. § 144); i de Øjeblikke, Bølgeformen er til Stede, have vi udelukkende Beliggenhedsenergi, men $\frac{1}{4}$ Svingningstid senere kun Bevægelsesenergi.

Produktet Kr , som vi hidtil have opfattet som den af

Kraften anvendte Energi, kalder man ogsaa ofte Kraftens Arbejde. Thi Arbejdet maales virkelig ved dette Produkt, baade naar Kraften bevæger et Legeme jævnt, og naar Arbejdet udføres derved, at et Legeme mister den Hastighed, som det har opnaaet, fordi Kraften har virket paa det gennem en vis Vej.

57. Varmeenergi. Det ser undertiden ud, som om den Energi, der har udført et Arbejde, bagefter er forsvunden, for Eks. naar en Kraft overvinder en Gnidningsmodstand eller sammentrykker et uelastisk Legeme. Ved nærmere Betragtning vil man i saadanne Tilfælde finde, at der viser sig andre

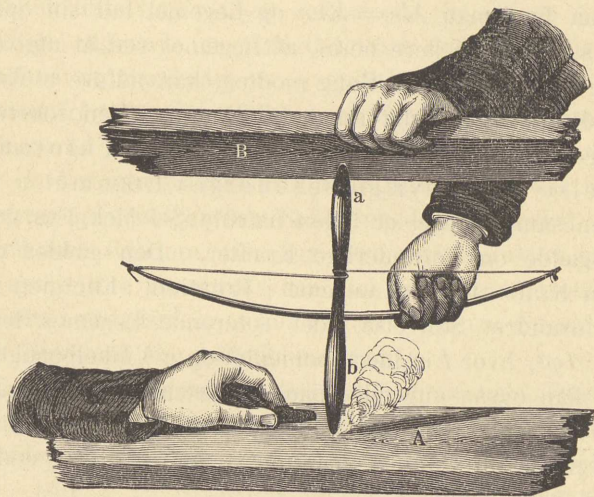


Fig. 29.

Naturkræfter, saasom Varme eller Elektricitet. Man mærker for Eks. tydeligt en Opvarmning af Hænderne, naar man gnider dem mod hinanden; hamrer man paa et Stykke Jærn, bliver det varmt, en dygtig Smed kan hamre det glødende; to Stykker tørt Træ kunne gnides mod hinanden, til der gaar Ild i dem. Det sidst nævnte Forsøg kan gøres med et tilspidset Stykke Træ, der presses mellem to Træplader og bringes til at rotere hurtigt, ved at der trækkes frem og tilbage i en Snor, som er lagt en Gang omkring Træstykket. Tage vi en lille stærk Metalcylinder med et tæt sluttende

Stempel og i Bunden af dette anbringe lidt Fyrsvamp, saa kan man let faa denne i Glød ved hurtigt at slaa Stemplet ned i Cylindren, saa Luften sammenpresses. Naar en Kanonkugle gennembryder en Panserplade, opstaar der et Lysglimt.

Omvendt se vi i Dampmaskinen, at Varmen er i Stand til at udføre Arbejde og altsaa indeholder Energi. Spørgsmaalet bliver nu, om der er noget bestemt Forhold mellem Arbejdsmængde og Varmemængde, naar den ene forsvinder og den anden derved opstaar.

58. Varmeækvivalentet. Det sidst nævnte Spørgsmaal er først undersøgt for cr. 50 Aar siden af en tysk Læge, Mayer, og af Colding i København. Den sidste benyttede en belæst Slæde, som blev trukken hen ad et Par Metalskinner, der laa paa et vandret Underlag. Arbejdet, som gik med til at overvinde Gnidningsmodstanden, maalttes ved et Dynamometer, og Opvarmningen blev bestemt ved at iagttage Skinnernes Udvidelse. Hvorledes Mayer bar sig ad, skal blive omtalt i det følgende. Begges Arbejder have imidlertid ikke haft megen Betydning og bleve hurtigt stillede i Skygge af de Resultater, som Englænderen Joule opnaaede. Denne har udført en Mængde nøjagtige Forsøg for at faa Spørgsmaalet besvaret, idet han paa mange forskellige Maader lod en Kraft udføre Arbejde, saaledes at der fremkom Varme. Det mest bekendte af disse Forsøg bestod i, at han lod et Vægtlod falde paa en saadan Maade, at det satte en Akse i Rotation. Aksen var anbragt inde i et lukket Kalorimeter og bar nogle Vinger, som under Omdrejningen piskede mod Vandet, saa der fremkom en betydelig Modstand. Det blev saaledes ikke saa ringe et Arbejde at dreje Maskinen rundt, og Kalorimetret blev derved opvarmet. Nu beregnede Joule den anvendte Energi, nemlig det faldende Legemes Vægt multipliceret med Faldhøjden, derfra subtraherede han den Bevægelsesenergi, der fremkom i alle Apparatus Dele, og Resten viste sig da efter nogle flere Korrektioner at staa i et konstant Forhold til den i Kalorimetret udviklede Varme. Forholdet blev altid det samme, hvilke Stoffer der end bleve benyttede til at udføre Arbejdet med, og hvilken Maade Modstanden end frembragtes paa. Joule har fortsat sine

Forsøg gennem mange Aar, og Resultatet er blevet det, at der opstaar 1 Kilogramkalori for hver 428 Kilogram-meters Arbejde, der udføres, saafremt den dertil anvendte Energi ikke omdannes til andre Former end Varme. Den nævnte Talværdi, som af nogle Fysikere sættes lidt lavere, omtrent 424, kalder man Varmeækvivalentet.

Foruden Joule har navnlig Hirn (i Elsas) beskæftiget sig med dette Spørgsmaal. Han har dels beregnet Varmeækvivalentet ved at omdanne Arbejde til Varme paa andre Maader end dem, Joule brugte, og dels er han gaaet den omvendte Vej, idet han udregnede det Arbejde, som en vis Varmemængde igen kunde præstere. Han maalte den Varme, som Dampen i en Dampmaskine fører bort fra Kedlen i en vis Tid, og den Varme, som den brugte Damp i samme Tid afgiver til Kondensatoren. Endvidere maalte han, f. Eks. ved Hjælp af et Bremsdynamometer det Arbejde, som Maskinen i den betragtede Tid udrettede. Dette skulde med Enhederne Kilogramkalori og Kilogrammometer være 428 Gange Differensen mellem de nævnte to Varmemængder. Hirn fandt et Forholdstal, der var saa nær ved det rette, som det kunde ventes i Betragtning af de store Vanskeligheder, som Forsøget frembyder.

59. Forsøg til Beregning af Varmeækvivalentet kunne udføres ved følgende Apparat, der kun er en Ændring af Joules, saaledes at Beregningen bliver lettere. *A* er et Kalorimeter, som er forsynet med en Akse, der bærer et Tandhjul, saaledes at det kan sættes i hurtig Rotation ved et System af andre Tandhjul. Gennem Kalorimetrets Aabning foroven gaar der et Messingrør, som ender i en Spids, der hviler paa Kalorimetrets Bund. I Røret er der indsat et Termometer, som viser Tiendedele af en Grad, og for at det kan vise Kalorimetrets Temperatur, har Messingrøret nogle Huller paa Siden. Endvidere har Røret paa Siden nogle Vinger, som ved Omdrejningen lige kunne passere gennem Mellemløbene mellem nogle tilsvarende Vinger, der ere anbragte paa Kalorimetrets Indervæg. Drejer man nu Apparatet rundt, følger Messingrøret villigt med, og Vandet inde i Kalorimetret kommer blot i Rotation, saa man ingen synderlig Modstand mærker. Hvorledes denne derimod frembringes, er vist i Fig. 31, som forestiller den øverste Del af Apparatet, set fra oven. *B* er den Del af Messingrøret, som rager op over Kalorimetret og indeholder Termometret *C*. Paa *B* er der befæstet et firkantet Stykke Metal, som bærer en Stang *L* med en Cirkelbue, der

ligger vandret og har Centrum midt i *B*. Stangen kan kun bevæge sig ganske lidt til Siderne, idet den standses af et Par Støtter *S* og *S*₁. Paa Cirkelbuen befæstes en Snor, som fører hen over en Trisse med vandret Akse og bærer et Vægtlod, *P* kilo. Derved tvinges *L* ud til den ene af Støtterne, og Messingrøret holdes stille, medens selve Kalorimetret sættes i Rotation. Herved opstaar der en betydelig Modstand i Vandet, der nu er forhindret i at faa den samme Rotaton som Karret selv. Ved forøget Rotationshastighed stiger Modstanden, og naar den har naaet en vis Størrelse, kan *P* ikke længere holde Cirkelbuen og derved Messingrøret fast, men Stangen *L* tvinges ved Vandets Tryk paa Messingrørets Vinger over mod det andet Støttepunkt.

Fremgangsmaaden er nu den, at man afpasser Rotationshastigheden saaledes, at Stangen *L* svinger frem og tilbage mellem Støtterne, hvorved man kan gøre Regning paa, at Vandets Modstand imod Bevægelsen inde i Kalorimetret holder Ligevægt imod Vægten *P*. Momenterne af Modstanden og Vægten *P* ere derfor ens store, og under 1 Omdrejning af Kalorimetret er altsaa det udførte Arbejde = $P \cdot 2\pi a$, idet *a* er Radius for Cirkelbuen, udtrykt i Meter. Apparatet bevæges f. Eks. i 10 Minutter, og Kalorimetret $\frac{1}{2}$ gør derved *n* Omdrejninger, og Arbejdet er

$$n \cdot P \cdot 2\pi a \text{ Kilogrammeter.}$$

Samtidig er Temperaturen stegen t° , men denne Størrelse maa rettes, fordi der er udstraalt Varme under Forsøget. For at tage dette med i Regningen begynder man Forsøget ved Stuens Temperatur, og naar de 10 Minutter ere gaaede, tager man Vægten *P* og Stangen *L* bort og drejer derefter

atter i 10 Minutter. Herved viser det sig, at Temperaturen synker α° ; man kan da gøre Regning paa, at Udstralingen

under selve Forsøget har berøvet Kalorimetrets Vand $\frac{\alpha^{\circ}}{2}$. Kaldes Vægten

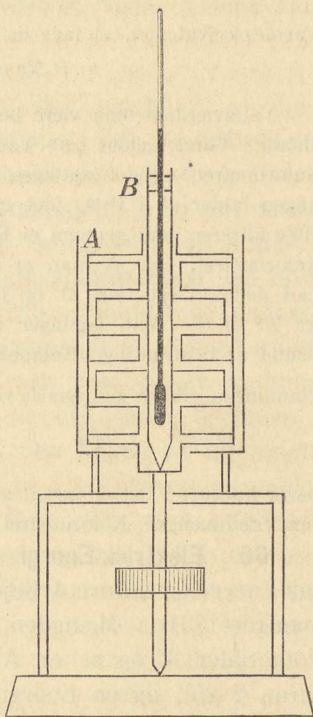


Fig. 30.

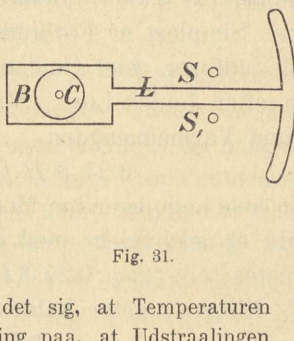


Fig. 31.

af dette p^{kilo} og Vandværdien v^{kilo} , har altsaa Arbejdet givet os en Varmemængde

$$(p + v) \left(t + \frac{\alpha}{2} \right) \text{ Kilogramkalorier.}$$

Varmeækvivalentet, x , faas da af Ligningen

$$n \cdot P \cdot 2\pi a = x \cdot (p + v) \left(t + \frac{\alpha}{2} \right)$$

Vandværdien maa være bestemt forud; det sker bedst paa følgende Maade. Først hældes $q^{\text{gr.}}$ Vand af lidt højere Temperatur end Stuen i Kalorimetret, og det iagttages, at Temperaturen paa Grund af Udstraa-lingen falder α° i 10^m, idet man af og til rører rundt i Vandet. Der-efter filtrerer man gennem et Klæde en Blanding af Vand og Sne ned i Kalorimetret, saa at man er vis paa at faa Vand af 0^o hældt derned. Lad dettes Vægt være Q og Temperaturen i Løbet af 2 Minutter falde fra T° til t° . Man iagttager i de næste 10^m Temperaturfaldet β° paa Grund af Udstraaing. Temperaturtabet i hvert af de 2 Minutter, hvori Blandingen gik for sig, har da været $\frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{10} + \frac{\beta}{10} \right)$, og man faar Ligningen

$$(q + v) \left(T - t - \frac{\alpha + \beta}{10} \right) = Q \left(t + \frac{\alpha + \beta}{10} \right).$$

Heraf findes v ; det er bedst, at q og Q begge omtrent ere Halvdelen af den Vandmængde, Kalorimetret kan rumme.

60. Elektrisk Energi. De elektriske Kræfter indeholde ogsaa Energi og udføre Arbejde, naar de bevæge en Elektricitetsmængde. Hvis Mængden m bevæges mellem de konstante Potentialer V og v , er Arbejdet $m(V - v)$ (se Elektricitetslæren § 25), og en Energi af denne Størrelse er forsvunden som elektrisk Energi. Tage vi en hel lukket Ledning, i hvilken der findes en elektromotorisk Kraft E og en Strøm af Styrken i , vil der i 1 Sekund afsættes Energien Ei i Strømløbet (se § 59). Denne Energi kan omdannes i flere Former. Simplest er Forholdet, dersom Strømmen intet ydre Arbejde udfører, idet Omdannelsen da sker udelukkende til Varme efter Joules Lov. Strømstyrken i Ampère afsætter i 1 Sekund Varmemængden

$$0,24 i^2 R \text{ Gramkalorier,}$$

dersom hele Ledningen har Modstanden R Ohm. Denne Varmemængde er ækvivalent med et Arbejde, som udtrykt i Kilogrammeter er $\frac{1}{1000} \cdot 0,24 i^2 R \cdot 428$ eller omtrent $\frac{1}{10} i^2 R$. Idet $\frac{1}{10}$ Kilogrammeter kaldes 1 Joule, bliver Strømenegien

$$i^2 R \text{ Joule}$$

i et Sekund. Ved at sætte Udtrykkene Ei og $i^2 R$ lige store, faas Ohms Lov

$$E = iR,$$

hvorved tillige Enheden, Volt, for den elektromotoriske Kraft bliver bestemt (se El. § 60 og 61).

Udfører Strømmen tillige et ydre Arbejde, A Joule, faar man Ligningen

$$Ei = i^2R + A,$$

som er anvendt i Elektricitetslæren § 67 og 83.

Naar man frembringer Elektricitet ved de almindelige Elektrisermaskiner, er Oprindelsen til den elektriske Energi det Arbejde, man udfører ved Drejningen. En Del af den dertil anvendte mekaniske Energi omdannes dog straks til Varme ved Overvindelse af Gnidningsmodstanden og bliver saaledes praktisk unyttig. Dette Tab er mindst ved Influenmaskinerne, hvorfor man ved disse opnaar en større Virkning med mindre Anstrængelse. Naar man frembringer en Induktionsstrøm i en Ledning ved at bevæge denne gennem et magnetisk Felt, gælder der altid den Regel, at Induktionsstrømmens Retning er en saadan, at Kraftvirkningen mellem den og Feltet modsætter sig den Bevægelse, som fremkalder Strømmen. Den fremkomne Strømemængde er da ækvivalent med det udførte Arbejde. Det bedste Eksempel herpaa er Dynamoerne. I de første Forsøg, Joule gjorde for at finde Varmækvivalentet, lod han en lukket skrudedannet Ledning inde i et Glasrør rotere mellem Grenene af en stærk Magnet. Den fremkomne Induktionsstrøm blev straks til Varme i Ledningen, og hele Varmemængden maales, idet Glasrøret var fyldt med en Vædske, hvis Temperaturstigning kunde iagttages.

I Termosøjler omdannes en lille Del af den tilførte Varmemængde til elektrisk Energi.

61. Kemisk Energi. Ved en kemisk Forbindelse mellem forskellige Stoffer udvikles der i Reglen Varme; da denne er en Form af Energi, kan man ogsaa sige, at de paagældende Stoffer besidde en vis kemisk Energi, som omdannes til Varmenergi, naar Forbindelsen sker. Naar 1^{gr.} Brint forbinder sig med 8^{gr.} Ilt til Vand (efter Rumfang halv saa megen Ilt som Brint), opstaar der cr. 34 400 Gramkalorier; 1^{gr.} Kulstof forbinder sig med $\frac{8}{3}$ ^{gr.} Ilt til Kulsyre og udvikler derved cr. 8000 Gramkalorier.

I de almindelige galvaniske Elementer er det kemisk

Energi, som omdannes til elektrisk Energi, og denne bliver atter omdannet, for en stor Del til Varme i Ledningen. I Reglen bliver dog en Del af den kemiske Energi straks til Varme (se Elektricitetslæren § 69).

Naar man ved Hjælp af en Dynamomaskine dekomponerer Vand i Ilt og Brint, er det mekanisk Arbejde, som til sidst omdannes til kemisk Energi. For altsaa ved Dekomposition at tilvejebringe 1^{gr.} Brint og 8^{gr.} Ilt, behøves der et Arbejde, som er ækvivalent med 34 400 Gramkalorier = 34,4 Kilogramkalorier = cr. 14 600 Kilogrammeter. I Virkeligheden maa Arbejdet være meget større, idet en Del omdannes til Varme i Ledningen efter Joules Lov, og en Del bliver til Varme ved Overvindelsen af Gnidningsmodstandene:

Naar et Akkumulatorbatteri lades fra en Dynamo, opsparer man i Batteriet en Del af den anvendte Energi i Form af kemisk Energi. Denne afgives igen ved Udladningen af Batteriet og omdannes i den Form, man ønsker.

I Forbindelse med den kemiske Energi staar Muskelenergien, som levende Væsener ere i Besiddelse af. Denne har nemlig sin Oprindelse i Næringsmidlerne, som omdannes i Legemet. Det var ved Betragtningen heraf, at Mayer kom til sine Undersøgelser over Energien. Han sluttede nemlig paa følgende Maade. Naar to Mennesker indtage den samme Næring, maa der ved dennes Omdannelse i Legemet udvikles samme Varmemængde. Hvis det ene Menneske nu intet bestiller, medens det andet udfører et Arbejde, hvorved der fremkommer Varme uden for hans eget Legeme, saa vil denne Varme i Virkeligheden være en Del af den, som hidrører fra Omdannelsen af Næringsmidlerne, og en mindre Del af disses kemiske Energi vil komme Arbejderen til Gode.

62. Kredsproces. Energierne optræde ikke altid i Former, der ere saa let kendelige og tilgængelige for Regning, som dem vi i det foregaaende have betragtet. Ethvert Legeme indeholder f. Eks. altid en vis Varmemængde og besidder derfor Energi, selv om det er afkølet saa meget, vi ere i Stand til. Ligeledes vil et Legeme udvide sig og udføre Arbejde, dersom vi formindske Trykket udvendigt, saaledes at Udvidekraften meddeler Legemet Energi. Naar vi derfor ville undersøge Reglen for Omdannelsen af Energierne paa den rigtige Maade, maa vi tage alle de optrædende Energiformer med i Betragtning. Lad os f. Eks. tage en

Metaltraad og hænge den op i lodret Stilling og strække den et Stykke l ved Hjælp af et Vægtlod P . Dette mister Beliggenhedsenergien Pl , men vi kunne aldeles ikke slutte, at denne forvandles til Varme i Traaden; tværtimod viser det sig, at Traaden afkøles ved Strækningen. Sagen er den, at den spændte Traad nu er i en anden Tilstand end oprindelig og derfor indeholder en hel anden Energimængde end fra først af. Dersom vi udføre Forsøget paa den Maade, at vi øjeblikkelig slippe den spændte Traad tilbage til sin oprindelige Længde og samtidig lade den udføre Arbejdet A , saa er hele den tabte Arbejdsværdi $Pl - A$, og det vil nu vise sig, at Traaden faar en dermed ækvivalent Varmeforøgelse. Vi kunne ogsaa gøre Forsøget paa en lidt anden Maade: vi lade den strammede Traad hænge rolig, indtil den har Omgivelsernes Temperatur, og derved optager den fra disse Varmemængden Q . Vi slippe den derefter tilbage og lade den udføre Arbejdet A ; samtidig opvarmes den og afgiver Varmemængden Q_1 til Omgivelserne, før den atter faar sin oprindelige Temperatur. Vi ville da have $Q_1 - Q$ ækvivalent med $Pl - A$, thi $Q_1 - Q$ er hele den Varmemængde, som Omgivelserne have modtaget fra Traaden, medens den selv gennemløb sine Forandringer og vendte tilbage til den oprindelige Tilstand, og $Pl - A$ er hele den Arbejdsmængde eller Energi, som Traaden har modtaget fra Omgivelserne.

Naar et Legeme som i sidst nævnte Tilfælde gennemløber en Række Forandringer og tilsidst vender tilbage til sin oprindelige Tilstand, siger man, at det har udført en Kredspoces. Reglen om Varmeækvivalentet kommer nu i sin nøjagtige Form til at lyde saaledes: Naar et Legeme gennemløber en Kredspoces, vil det Arbejde, Legemet modtager fra Omgivelserne eller afgiver til disse, være ækvivalent med den Varmemængde, det samtidig afgiver eller modtager.

Som et andet Eksempel paa en Kredspoces kunne vi nævne de Forandringer, Vandet undergaar i en Dampmaskine. I Kedlen modtager det Varme fra Ildstedet; i Cylindren afgiver det Arbejde til Stemplet og den brugte Damp modtager Arbejde fra Stemplet, idet den drives ned i Kondensatoren; her afgive Vanddampene Varme og blive til Vand, som atter modtager Arbejde, idet det af Fødepompen drives tilbage til Kedlen, hvor det atter modtager Varme og føres tilbage til sin oprindelige Tilstand. Differensen mellem de Varmemængder, som Vandet under Kredspocessen modtager og afgiver, er ækvivalent med Differensen mellem det Arbejde, som det i samme Tid afgiver og modtager.

Eller lad os tage en Ledningstraad, hvorigennem der gaar en elektrisk Strøm, som fremkaldes af et galvanisk Element, og lad Traaden bevæge sig i et magnetisk Felt under Paaevirkning af de elektromagnetiske Kræfter. Naar Traaden har fuldført sin Bevægelse og udført et Arbejde (overvunden Gnidningsmodstand eller fremkaldt Bevægelsesenergi), kunne vi endnu intet bestemt slutte, idet Traaden har forandret sin Stilling.

Først ved at føre Ledningen tilbage til sin oprindelige Plads fuldende vi Kredsprocessen, og da dette kan ske uden noget ydre Arbejde, naar vi først afbryde Ledningen, saa se vi, at der i dette Tilfælde ikke er Tale om Beliggenhedsenergi i den simple Betydning af Ordet, men den kemiske Energi, som gøres disponibel i Elementet, maa være omsat til Varme i Traaden og til det ydre Arbejde, som den udførte ved sin Bevægelse. Derved faas Ligningen (se Elektr. § 83).

$$E_{it} = i^2 R t + \alpha i.$$

63. Luftarternes Energiindhold er undersøgt af Joule. Han benyttede to Beholdere, forbundne ved et Rør med Hane. I den ene, *A*, var der fortættet Luft, den anden, *B*, var lufttom. Hver Beholder blev nedsænket i sit Kalorimeter, og Hanen aabnedes, saa en Del af Luften strømmede fra *A* til *B*. Det Kalorimeter, som indeholdt *A*, blev afkølet, idet Luften i denne Beholder udførte et Arbejde ved at sammenpresse Luften i den anden. Derimod blev det andet Kalorimeter, hvis Beholder modtog Arbejdet, opvarmet. Naar begge Beholdere nedsænkedes i samme Kalorimeter, og Forsøget blev gjort paa ny, viste der sig ingen Varmetoning. I dette Tilfælde udfører Luften intet Arbejde paa noget fremmed Legeme, og da dens Varmeindhold ifølge Forsøget bliver uforandret, saa kan der heller ikke være sket nogen Forandring med den Energi, som Luften indeholder paa Grund af Virkninger mellem dens enkelte Dele, eller med andre Ord en bestemt Luftmængdes Energi afhænger ikke af dens tilfældige Rumfang, men udelukkende af dens Varmegrad. Udfører altsaa en Luftmasse ved sin Udvidelse Arbejde paa et fremmed Legeme, saa vil den lide en ækvivalent Afkøling, dersom der ikke sker nogen Varmetilførsel, og ifald man ved en saadan holder Temperaturen konstant, saa er den tilførte Varmemængde ækvivalent med Arbejdet.

Det førstnævnte finder Anvendelse til Kuldemaskiner, som indrettes efter følgende Princip. En Luftmasse sammenpresses, og den udviklede Varme bortledes; derefter lader man Luften udvide sig og udføre Arbejde, hvorved der kan frembringes en betydelig Kulde, saa Temperaturen kan gaa meget langt ned. Store Maskiner af denne Art anvendes undertiden til Afkøling af Lokaler, f. Eks. Bryggerier og Mejerier.

Det er nu ogsaa muligt paa Grundlag af den nævnte Sætning at beregne Varmækvivalentet ved Hjælp af Luftens Udvidelse. Tage vi f. Eks. en Cylinder med Radius r^m og Højden h^m og deri afspærre atmosfærisk Luft med Vægtfylden f ved Hjælp af et Stempel, saa vil en Opvarmning af Luften drive Stemplet i Vejret og udføre Arbejde. Trykket paa Stemplet er $\pi r^2 \cdot 10330$ kilo, og en Opvarmning af 1° udvider Luftsøjlen Højde Stykket $h \alpha$ Meter, idet α er Udvidelseskoefficienten 0,00367. Arbejdet er derfor

$$\pi r^2 h \alpha \cdot 10330 \text{ kgm.}$$

Kaldes Luftens Varmefylde ved konstant Tryk c_p og ved konstant

Rumfang c_v , behøves der til Opvarmningen, eftersom Tryk eller Rumfang holdes uforandrede, Varmemængderne

$$\pi r^2 h \cdot 1000 f c_p \text{ eller } \pi r^2 h \cdot 1000 f c_v \text{ Kilogramkalorier.}$$

Forskellen mellem disse Varmemængder maa være ækvivalent med Arbejdet; kaldes Varmeækvivalentet x , have vi derfor

$$1000 f (c_p - c_v) \cdot x = \alpha \cdot 10330.$$

Indsættes heri $f = 0,0013$, $\alpha = 0,00367$ og $c_p = 0,2374$ samt $c_v = \frac{c_p}{1,41}$ faas den rigtige Værdi for x . Paa denne Maade bestemte Mayer Ækvivalentet.

64. Energiernes Nytte. To Energiformer, som have samme Størrelse, ere ikke altid lige nyttige for os, idet det kan være vanskeligere for os at benytte den ene af dem til vore forskellige Formaal. Tage vi f. Eks. en vis Luftmængde af Temperatur t , indelukket i sammenpresset Tilstand i en Cylinder med Stempel, kunne vi lade den udvide sig og derved udføre Arbejde. Men hvis vi have den samme Luftmængde med samme Temperatur i fortyndet Tilstand (altsaa større Rumfang), saa er Energien efter Joules Forsøg den samme, men det er meget vanskeligere for os at benytte den. Ligeledes kan en lille Luftmængde med høj Temperatur godt indeholde samme Energi som en stor Mængde med lav Temperatur, men det er ulige lettere at benytte den forstes Energi til at udføre Arbejde, for Eks. ved at bruge dens Varme i en Dampmaskines Kedel.

I Almindelighed er Beliggenhedsenergi let at anvende, idet vi blot behøve at lade den Bevægelse foregaa, som Kræfterne kunne udføre; ligeledes kan Bevægelsesenergi fuldstændig omdannes i andre Former. Af disse Grunde ere f. Eks. godt konstruerede Vandhjul meget fordelagtige Maskiner. Det er nu en almindelig Erfaring, at alle Vegne, hvor der foregaa en Bevægelse, saaledes at der udføres Arbejde, vil en Del af Energien omdannes til Varme, og det bliver derfor ganske naturligt et Spørgsmaal, hvorledes det omvendt har sig med at gøre en Varmemængde nyttig i Form af Arbejde.

Den som først grundig undersøgte Dampmaskinens Teori, var Franskmanden Carnot. Han levede lige i Begyndelsen af dette Aarhundrede, og kendte derfor ikke Loven om Energiernes Forvandlinger, ligesom han ogsaa havde den forkerte Opfattelse, at Varmen var et Stof, der var ligesaa uforgængeligt som alle andre Stoffer. Han opfattede Dampmaskinens Virkning saaledes, at Varmemængden Q , anvendt under Kedlen, ved Maskinens Gang gik over i Kondensatoren med uforandret Størrelse, og Nyttевirkningen fremkom derved, at Varmen sank fra den højere Temperatur til den lavere, ligesom et Vægtlod udfører Arbejde ved at falde fra en Højde til en anden. Ved sine Undersøgelser herover var det, at Carnot udtænkte Begrebet om Kredsprocesser, ved hvilke et

eller andet Stof gennemløber en Række Forandringer og vender tilbage til sin oprindelige Tilstand, saaledes at det paa ny kan udføre den samme Proces. Idet vi holde os til saadanne Processer, hvor der udføres Arbejde ved Hjælp af Varme, og foreløbig holde os til Carnots Udtryksmaade, kunne vi sige, at der under Processen finder et Varmefald Sted fra en Temperatur til en anden, og at der som Ækvivalent derfor udføres et ydre Arbejde. Men nu viste Carnot, at der iblandt alle Kredsprocesser findes nogle, som foregaa paa en saadan Maade, at Forandringerne med det arbejdende Stof kunne foretages i omvendt Orden, hvorved Resultatet bliver det, at der bruges et ydre Arbejde af samme Størrelse som det, der før blev vundet, medens man faar den samme Varmemængde løftet fra den lavere til den højere Temperatur. Saadanne Processer kaldes reversible, men det er ingenlunde alle Kredsprocesser, der have denne Egenskab. Endvidere viste Carnot, at man ved reversible Kredsprocesser faar den størst mulige Nytevirkning af den anvendte Varme, og at det ved disse Processer er ligegyldigt, hvilket arbejdende Stof der anvendes, naar det blot er den samme Varmemængde, der falder mellem de to samme Temperaturer. En Maskine, der arbejder paa denne Maade, er derfor saa fuldkommen, som det teoretisk er muligt at faa den, og Carnot antog, at Arbejdet, der udføres ved saadanne Maskiner, maa være proportionalt med Størrelsen

$$Q (T - t)$$

naar Varmemængden Q falder mellem Temperaturerne T og t .

Carnots Anskuelse om Varmens Natur og Uforgængelighed vare som sagt urigtige. Med vort nuværende Kendskab til Energiforvandlingerne maa vi opfatte Dampmaskinens Virkning paa følgende Maade. Der tilføres Kedlen en vis Varmemængde Q ved Temperaturen T , og under Maskinens Gang vil en Del af denne, q , gaa over i Kondensatoren og faa en lavere Temperatur t ; Resten $Q - q$ bliver derimod omdannet til Arbejde efter det bekendte Ækvivalentforhold. Ved at ændre nogle af Carnots Udtryk bliver det muligt at fastholde flere af hans Slutninger, navnlig om de reversible Kredsprocesser, og Arbejdet kan ved disse fremdeles antages at være proportionalt med $Q (T - t)$. Hvis α betyder en Konstant (Carnots Konstant), der ikke afhænger af det arbejdende Stof, saa kan Arbejdet altsaa sættes lig med

$$\alpha Q (T - t).$$

Hvilken Værdi Konstanten har, kan man finde ved et Eksempel, idet vi vælge en Maskine, der arbejder efter en reversibel Kredsproces paa en særlig simpel Maade, som ogsaa er angivet af Carnot. (Carnots Kredsproces). Det viser sig derved, at naar Arbejdet maales i mekaniske Enheder, saa bliver

$$\alpha = \frac{A}{\theta},$$

idet A er Varmens mekaniske Ækvivalent og Θ den absolute Temperatur af den Varmemængde, som tilføres Maskinen.

Naar vi altsaa sætte $\Theta = T + 273$ og $\theta = t + 273$, faas Arbejdet

$$\frac{AQ(\Theta - \theta)}{\Theta},$$

og da Varmemængden Q har den mekaniske Værdi AQ , bliver Nyttevirkningen eller Forholdet mellem det udførte Arbejde og hele den Arbejdsværdi, som er indeholdt i den anvendte Varmemængde,

$$\frac{\Theta - \theta}{\Theta}$$

Men Maskinens Nyttevirkning kan ogsaa sættes lig Forholdet mellem den Varme, som omdannes til Arbejde, og den hele Varme, som tilføres Maskinen. Vi have derfor

$$\frac{\Theta - \theta}{\Theta} = \frac{Q - q}{Q} \text{ eller } \frac{\theta}{\Theta} = \frac{q}{Q}.$$

Naar en Varmemaskine altsaa arbejder efter en Kredsproces, saaledes at den vedvarende omdanner Varme til Arbejde, uden at der samtidig sker andre Energiforandringer, saa er Forvandlingen af Varme til Arbejde kun mulig paa den Betingelse, at en vis Varmemængde q vedbliver at være Varme men faar en lavere Temperatur og derved bliver mindre nyttig. Thi for $\theta = 0$ udfører Maskinen slet intet Arbejde, og q kan kun blive 0, dersom $\theta = 0$, det vil sige, dersom Kondensatoren kan holdes paa det absolute Nulpunkt, men dette er umuligt.

I Praksis kan man aldrig konstruere saa nyttige Maskiner, idet man ikke fuldstændig kan følge Carnots Proces og heller ikke kan undgaa Varmetab ved Udstråling og Ledning. I Hovedsagen arbejder dog en Dampmaskine paa den nævnte Maade, og vi kunne i al Fald bestemme en Grænse for Dampmaskinens Nyttevirkning, naar vi kende Kedlens og Kondensatorens Temperaturer. Ere disse f. Eks. 150° og 50° , faar

Brøken $\frac{\Theta - \theta}{\Theta}$ Værdien $\frac{273 + 150 - (273 + 50)}{273 + 150}$ eller cr. $\frac{1}{4}$. Større

Nyttevirkning af den tilførte Varme kan ikke faas uden ved at forandre Temperaturerne. For Kedlens Vedkommende kan man ikke naa højere end til hen imod 200° , dels fordi Damptrykket da er meget stort, og dels fordi alle Pakninger da blive utætte. Jo lavere Temperatur man kan holde i Kondensatoren, desto bedre er det.

Man kan nok i enkelte Tilfælde omdanne en Varmemængde helt til Arbejde, men da kun paa Betingelse af, at en anden Energi gaar over i en mindre nyttig Form. Lad os f. Eks. tage en Luftmængde indelukket i en Cylinder med Stempel. Dette kan da drives ud ved Luftens Udvidekraft og derved udføre Arbejde. For at hindre Luften i at afkøles, medens Udvidelsen foregaar, kunne vi udefra tilføre saa megen Varme, at Luftens Temperatur holder sig uforandret. Derved beholder den hele sin Energi, og det er i Virkeligheden den udefra tilførte Varme, som

helt omdannes til Arbejde. Men nu er Luften i fortyndet Tilstand, og jo mere den er udvidet, desto vanskeligere er det at benytte dens Energi, som det tidligere er fremhævet. Dersom vi ville fuldende Kredsprocessen og bringe Luften tilbage til sin oprindelige Tilstand, saa maa den sammentrykkes igen, men dette kræver netop et Arbejde lig det, som før blev udført, medens der udvikles en Varmemængde af samme Størrelse som den, der før blev brugt. En Maskine, som vedvarende arbejdede paa den Maade, vilde derfor intet Arbejde præstere og ikke bruge nogen Varme.

65. Anvendelse af den foregaaende Sætning. Som Eksempel paa, hvorledes man ved den fundne Sætning om Varmens Omdannelse til Arbejde kan udlede Egenskaber ved Legemerne, kunne vi anføre den i § 30 omtalte Forandring i Isens Smeltepunkt, naar Trykket bliver større. Vi tænke os en Del Vand indelukket i en Cylinder, og oven paa Vandet et Stempel med et Vægtlod. Afkøles Vandet, vil det fryse og udvide sig, saa at Vægtloddet løftes, hvorved der udføres Arbejde, medens Vandet og Isen holde en konstant Frysetemperatur. Naar Vandet er blevet til Is, tages Vægtloddet bort, hvorved der foregaar en ringe Forandring med Isens indre Tilstand. Derefter tilføres der atter Varme, saa at Isen paa ny smelter og vender tilbage til sin oprindelige Tilstand. Ved Kredsprocessen er der udført Arbejde, idet Vægtloddet er løftet; følgelig maa den Varme, Q , som er tilført i den sidste Del af vort Forsøg, være større end den Varmemængde, q , som er afgivet i den første Del, men desuden maa Varmetabet ske ved en lavere Temperatur end Varmetilførslen, som finder Sted ved 0° . Dette vil med andre Ord sige, at naar Vandet er underkastet et Tryk (i Forsøget af Vægtloddet), saa vil Frysningen ske ved en Temperatur lidt under 0° , lad os sige ved $\div \alpha^{\circ}$. Den beskrevne Proces er reversibel. Vi kunne nemlig lade Vandet ved 0° afgive Varmemængden Q , saa det bliver til Is og udvider sig; naar dette er sket, kunne vi sætte Vægtloddet paa, og dets Tryk vil da smelte en lille Smule Is, hvorved der bindes saa megen Varme, at Temperaturen af det hele gaar ned til $\div \alpha^{\circ}$. Naar vi nu tilføre Varmemængden q , fuldendes Smeltningen, idet Loddet synker, og naar dette tilsidst tages bort igen, foregaar der en ringe Udvidelse og Opvarmning af Vandet, saa det atter kommer i sin oprindelige Tilstand. Ved at foretage Processen i denne Orden, har Vandet altsaa afgivet Varmemængden $Q - q$ og modtaget Arbejde, idet Vægtloddet sank. Om reversible Processer gælder nu Ligningen

$$\frac{q}{Q} = \frac{\theta}{\theta'}$$

og tillige er $Q - q$ ækvivalent med Arbejdet. Dette er i nærværende Tilfælde Trykket multipliceret med det Stykke, som Vandet i Cylindren udvider sig ved Frysningen. Da Isens Vægtfylde er 0,92, vil Iscylindrens

Højde være $\frac{hm}{0,92}$, naar Vandet stod i Højden hm . Hvis der paa Stemplet anvendes et Tryk af p Atmosfærer (i Stedet for Vægtloddet), og Cylindrens Gennemsnitsflade er a \square^m , saa er Trykkets Værdi i Kilo ap. 10330, og Arbejdet er

$$\text{ap. 10330} \left(\frac{h}{0,92} - h \right) = \text{ahp. 10330.} \frac{8}{92} \text{ kgm.}$$

Vi have altsaa Ligningerne

$$\frac{q}{Q} = \frac{273-a}{273} \text{ og ahp. 10330.} \frac{8}{92} = (Q-q). 428.$$

Men Q er det Antal Varmeenheder, som frigøres ved Frysningen af ah cub^m Vand, hvis Vægt er 1000 ah kilo, altsaa er

$$Q = 1000 \text{ ah. } 80.$$

Eliminerer man af de tre sidste Ligninger Q og q , faar man, idet Talregningerne udføres,

$$p = 140 a,$$

det vil sige, at der skal ca. 140 Atmosfærers Tryk til at faa Frysepunktet til at synke 1^0 .

Paa lignende Maade kan det godtgøres, at alle Legemer undergaa Temperaturforandringer, naar de strækkes eller sammentrykkes. De, der udvide sig ved Varme, hvad der jo næsten er Tilfældet med alle Legemer, ville afkøles ved Strækning, og opvarmes ved Tryk. De faa, som trække sig sammen ved Varme, f. Eks. Vand mellem 0^0 og 4^0 og Kautschuk, forholde sig omvendt. Vand mellem 0^0 og 4^0 vil afkøles ved Tryk; en Kautschukslange, som man trækker rask ud, bliver saa varm, at man let mærker det paa Læben; lader man den i spændt Tilstand afkøles til Lufttemperaturen, mærker man, at den bliver kold, naar den trækker sig sammen igen. Den Varmetoning, der kommer, er i alle Tilfælde af en saadan Natur, at den modvirker den Forandring, som vi netop tilsigte.

66. Energiens Degradation. Det er i det foregaaende vist, at Energiene i deres Størrelse ere lige saa uforgængelige som Stoffet selv, hvortil de ere bundne. Deres Nytte for os beror derimod paa deres anden Ejendommelighed, nemlig at de kunne omdannes i forskellige Former. Enhver Bevægelse, som foregaaer i Naturen, er nu altid ledsaget af flere Energiforvandlinger. Kaster man en Sten op i Luften, er det Muskelenergien, som omdannes til Bevægelsesenergi i Stenen. Derefter gaar en Del af denne Energi over i Luften, som selv sættes i Bevægelse, en Del omdannes ved Luftmodstanden til Varme, og naar Stenen atter falder ned, fuldendes Omdannelsen.

Naar Energiforvandlingerne i Naturen foregaa paa en reversibel Maade, saa er der altid bagefter en Mulighed for at bringe den oprindelige Tilstand til Veje igen, idet vi blot behøve at lade Forvandlingerne foregaa paa omvendt Maade. Men anderledes forholder det sig med

irreversible Processer; er der foregaaet en saadan, saa er det ganske vist nok muligt at bringe den oprindelige Tilstand til Veje igen, men vel at mærke kun paa Betingelse af, at der samtidig foregaar andre blivende Forvandlinger af Energier i Omgivelserne. For at faa et simpelt Eksempel paa en irreversibel Proces kunne vi lade et Vægtflod falde paa en saadan Maade, at Beliggenhedsenergien omdannes til Varme, idet Loddet under sit Fald stadig overvinder en Gnidningsmodstand. Det vil her ikke være muligt at omdanne Varmen til Beliggenhedsenergi igen, uden at der samtidig maa foregaa helt andre Energiforvandlinger. Var det nemlig muligt uden videre at foretage en saadan Omdannelse, saa vilde det overhovedet ogsaa være muligt at holde en hvilken som helst af vore Arbejdsmaskiner i Gang blot ved at tage Varme fra Jorden og omdanne denne til Arbejde, men en saadan Tanke er urimelig. En anden Proces, som foregaar paa en irreversibel Maade, er Varmedelingen; ved denne gaar Varmen umiddelbart over fra et varmere til et koldere Legeme, men det omvendte, at faa Varmen fra et koldere til et varmere Legeme, kan kun udføres ved Hjælp af andre Energiforvandlinger. Da der nu i Naturen foregaar en Mængde irreversible Processer, saa maa Følgen deraf blive, at Energierne efterhaanden gaa over i andre Former, og at det ikke er muligt igen at oprette en Tilstand, som har været tidligere. Nu gaar Erfaringen i den Retning, at Energierne tabe i Nytteværdi eller degraderes. Vi kunne i den Henseende nævne et Par iøjnefaldende Eksempler; sammenpresset Luft, som udvider sig uden at udføre Arbejde paa ydre Legemer, beholder sin Energi, men er mindre nyttig i fortyndet Tilstand; naar Varmen udbreder sig ved Ledning, gaar den over i en lavere Temperatur og er vanskeligere at anvende. Det er let kendeligt, at der med de aller fleste Forandringer, som foregaa i Naturen, sker en Udvikling af Varme, som ved Ledning eller Straaling slipper bort fra os og udbreder sig til Legemer med lavere Temperatur. Det er derfor rimeligt, at en større og større Del af den Energi, der er til, i Tidernes Løb vil forvandle sig til Varme, som stræber at udjævne Temperaturforskellene. Hvis man kunde tænke sig en Tilstand, hvori al Energi var forvandlet til Varme af samme Temperatur, saa vilde det ikke være muligt at forvandle nogen Del af denne Varme til andre Energiformer.

Sætningerne om Energiernes uforanderlige Mængde og om deres Degradation maa imidlertid ikke anvendes paa Jordkloden alene, thi Energi kan godt gaa over fra den ene Klode til den anden i Form af Varme- og Lysstraaler. Sætningerne maa anvendes paa hele Universet med alle de Legemer, der findes deri.

Dersom vi se tilbage i Tiden, kunne vi slutte, at Energierne i tidligere Tider maa have haft en større Nytteværdi, og en saadan Tilstand kan ikke være fremkaldt ved de Naturlove, som gælde nu, uden at der

forud var en endnu større Nyttværdi til Stede o. s. v. Dette tyder paa en Begyndelse, som ikke er frembragt ved Hjælp af Naturlovene.

67. Energiernes Oprindelse. Den aller største Del af den Energi, som findes paa Jordkloden, hidrører fra Solen. Det er straks indlysende, at al Muskelenergi skyldes Næringen, men denne hidrører tilsidst fra Planterne, som kun kunne vokse ved Hjælp af Solvarmen. Alle vore Brændselsmaterialer ere ogsaa dannede ved Hjælp af Solens Straaler; Stenkul ere Levninger af Fortidens Planter. Solvarmen bringer Vandet til at fordampe og løfter det derved, saa det faar Beliggenhedsenergi, der igen omsættes, naar Vandet falder ned som Regn og fylder Floderne. Havstrømningerne og Vindene hidrøre ogsaa fra Solens Varme. Foruden Solenergien findes der enkelte andre Energier af mindre Betydning paa Jorden. Der kan saaledes nævnes Jordens indre Varme, der giver sig til Kende i Vulkanerne og de varme Kilder. Endvidere kan nævnes den levende Kraft, som Jorden har paa Grund af sin Rotation. Denne kunde udbyttes ved Hjælp af Ebbe og Flod; hvis man nemlig lod Flodbølgen løbe ind i højt liggende Beholdere og aflukkede Vandet der, saa kunde man lade det falde, naar Ebben kom. Hvis dette skete i større Maalestok, maatte Jordklodens Rotation blive langsommere.

Hvor megen Varme Jorden modtager fra Solen, har man med Tilnærmelse fundet ved at opstille en lille lukket Kasse fyldt med Vand saaledes, at Solstraalerne faldt vinkelret ind paa dens Laag. Dette var sværtet for at indsuge Straalerne, og naar man kendte Apparatets Vandværdi, lod den Varmemængde sig beregne, som hvert Minut blev indsuget. En Del af Straalerne er nu allerede indsuget paa Vejen gennem Atmosfæren, hvorfor Opvarmningen ikke er ens Middag og Aften, men det kan dog med god Tilnærmelse beregnes, at Solen i 1 Minut vil sende omtrent 3 Gramkalorier til en Flade af 1 \square cm Størrelse, dersom Straalerne falde vinkelret ind og slet ikke indsuges paa Vejen. Heraf kan det atter beregnes, at Solvarmen i et Aar, jævnt fordelt over hele Jorden, kan smelte et Lag Is af 50^m Højde. Den Energi, som er indeholdt i Solvarmen, svarer, jævnt fordelt over hele Jorden, til 0,7 Hestes Kraft pr. Kvadratmeter. Betænker man, at Solen udstraaler Varme i alle Retninger, og at Jorden kun opfanger saa stor en Brøkdel deraf, som Jordens Gennemsnit udgør af en Kugleflade, hvis Radius er Jordens Afstand fra Solen, saa indser man, at Solen udsender en umaadelig Varmemængde. Denne Energi, som vedligeholdes uafbrudt, beløber sig til 14 Hestekræfter for hver Kvadratcentimeter af Solens Overflade. Hvis vi nu spørge om, hvorledes Solen kan vedblive at udsende saa stor en Varmemængde, saa må vi for det første huske paa, at Solen er et Legeme af uhyre Størrelse, cr. 184 000 Mile i Diameter. Antages dens Varmefylde for 1, saa viser en Regning, at Varmetabet i et Aar dog kun vil forringe Temperaturen et Par Grader, saa at Tabet vilde være os umærkeligt i en lang Aarrække, dersom Temperaturen blot var f. Eks.

en Snes Tusind Grader, og den er rimeligvis langt større endnu. Men i øvrigt kan man ogsaa godt forestille sig, at Varmemængden vedligeholdes i Solen, derved at den trækker sig sammen, hvorved Delene nemlig miste Beliggenhedsenergi. En Formindskelse i Solens Diameter af cr. 20 Mile vil udvikle Varme nok til at dække Tabet i cr. 1500 Aar.

Jordens Bevægelsesenergi som Følge af dens Omløb om Solen har en saadan Værdi, at den, omsat i Varme, vilde blive saa mange Kalorier, som Solen udsender i et Par Maaneder. Hvis derimod Jorden faldt ned paa Solen, og dens Beliggenhedsenergi blev til Varme, saa vilde Beløbet blive saa stort som det, Solen udsender i cr. 50 Aar. Jupiters Fald ind mod Solen vilde derimod dække Solens Varmetab i hen imod 20 000 Aar.

68. Varmens Natur. Det var tidligere en almindelig Anskuelse, at Varmen var et Stof, som kunde gaa fra det ene Legeme til det andet. Den første, som i den nyere Tid udtalte en anden Opfattelse, var Rumford. Han iagttog, at Spaaner, som fremkom ved Udboring af en Kanon, vare meget varme, og for at se, om det stod i nogen Forbindelse med, at Metallet deltes i Smaadele, anstillede han Forsøg med et stumpt Bor, som blot drejedes rundt med en stor Gnidningsmodstand. Da han fandt den samme Varmeudvikling som i forrige Tilfælde, og der ikke syntes at være nogen Grænse for, hvor megen Varme der kunde dannes paa denne Maade, kom Rumford til den Anskuelse, at Varmen ikke kunde være et Stof men maatte bestaa i en Bevægelse af Legemernes Smaadele. Denne Opfattelse er senere bleven den almindelige, idet flere Iagttagelser let forklares derved, og adskillige Fysikere have ud fra denne Forudsætning grundet en kinetisk Teori for Luftarterne.

Ifølge denne skulle alle de enkelte Luftmolekyler være i uafbrudt, retlinet Bevægelse, men hyppigt og efter korte Vejlængder dog støde mod hinanden eller mod Begrænsningen for hele Luftmassen. Luftens Tryk forklares ved de Stød, som de enkelte Dele udøve imod de Flader, de træffe, og Mariottes Lov lader sig teoretisk udlede derved. Endvidere skal Luftmassens absolute Temperatur være proportional med Middeltallet mellem de enkelte Molekylers levende Kraft, og den Varme, som en vis Luftmasse indeholder, skal i Virkeligheden bestaa i hele den Bevægelsesenergi, som er indeholdt i dens enkelte Dele. Omdannelse af Varme til Arbejde eller omvendt er altsaa kun en Vekslen mellem Molekularbevægelse og Massebevægelse. (Se Mek. Fys. § 140 og 141.)

Det er rimeligt, at faste og flydende Legemers Varme ligeledes bestaar i, at de enkelte Dele ere i Bevægelse. Men medens Luftarternes Dele ere uden indbyrdes Sammenhængskraft, saa er dette ikke Tilfældet med de faste eller flydende Stoffers Smaadele. Disses Bevægelser blive derfor ikke saa simple som Luftdelenes men bestaa i Svingninger om visse Ligevægtsstillinger.

Opgaver.

39. En Glaskolbes Rumfang ved 0° er 1 Liter. Hvor meget vejer det Kvægsølv, som kan være deri ved 100° ?

$$\text{Res. } 13,39 \text{ k.}$$

40. Dersom man ved Iagttagelse af Barometerstanden baade tager Hensyn til Kvægsølvets Udvidelseskoefficient α og til Maalestokkens β . hvor stor er da den reducerede Barometerhøjde?

$$\text{Res. } \frac{b(1 + \beta t)}{1 + \alpha t} = b(1 - (\alpha - \beta)t).$$

41. Et Glas af hosstaaende Form fyldes helt med Kvægsølv ved 0° ; dette Kvægsølv vejer P . Opvarmes det hele til t° , løber noget Kvægsølv ud, og Resten vejer Q . Kvægsølvets Udvidelseskoefficient er bekendt, $\alpha = 0,00018$. Find Beholderens Udvidelseskoefficient γ .

$$\text{Res. } Q = P \cdot \frac{1 + \gamma t}{1 + \alpha t}.$$

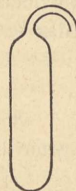


Fig. 32.

42. Hvorledes kan man bagefter ved dette Apparat finde en anden Vædskes Udvidelseskoefficient?

43. En Luftarts Vægtfylde angives ofte i Forhold til Vægtfylden af atmosfærisk Luft. Dersom dette Forhold kaldes φ , hvad er da Vægten af 1 cub^m af Luften, naar Trykket er b og Temperaturen t° ?

$$\text{Res. } \frac{1,3 \varphi b}{76(1 + \alpha t)} \text{ Kilo.}$$

44. Hvad er det øjeblikkelige Rumfang af 1gr. af den nævnte Luft, og hvad er det reducerede Rumfang?

$$\text{Res. } \frac{76(1 + \alpha t)}{0,0013 \varphi b} \text{ cubcm, } \frac{1}{0,0013 \varphi}.$$

45. En Kolbe fyldes helt med Kvægsølv, som vejer p gr., mens det er t° varmt. Hvad er Kolbens reducerede Rumfang, dersom Glassets Udvidelseskoefficient kaldes γ ?

$$\text{Res. } \frac{p(1 + 0,00018 t)}{13,6(1 + \gamma t)}.$$

46. I et lille Apparat som hosstaaende afspærres tør Luft i Kuglen og en Del af Røret ved Hjælp af en Kvægsølvdraabe. Røret er inddelt, og hver



Fig. 33.

Inddeling har Rumfanget v , medens Kuglens Rumfang er V (ved 0°) Lægges Apparatet i smeltende Is, stiller Kvægsølvdraaben sig ved Mærket n , ved t° derimod ved Mærket m . Heraf findes Luftens Udvidelseskoefficient ved konstant Tryk.

$$\text{Res. } V + nv = \frac{V + mv}{1 + \alpha t}.$$

Forholdet mellem V og v kan findes ved at veje det Kvægsølv, som fylder Apparatet til to vilkaarlige Mærker.

47. Vis, at en Fladeudvidelseskoefficient er dobbelt saa stor som Længdeudvidelseskoefficienten.

48. Et Kompensationspendul kan indrettes paa følgende Maade. En Jærnstang bærer forneden en Glas cylinder, som tildels er fyldt med Kvægsølv; ved Opvarmning forlænges Stangen og Cylindren, men Kvægsølvet vil til Gengæld ved Udvidelsen løfte sit Tyngdepunkt. Dersom man nu vil opnaa, at dette bliver i en konstant Afstand fra Hvilepunktet, hvor højt skal da Kvægsølvet staa i Cylindren ved 0° ? Kvægsølvets Udvidelseskoefficient kaldes α , Længdeudvidelseskoefficienten for Jærn og Glas er β og γ . Jærnstangens Længde er l , Glas cylindrens l_1 .

$$\text{Res. } \frac{2(l\beta + l_1\gamma)}{\alpha - 2\gamma} = \frac{6l + 4l_1}{41}.$$

49. Hvad er Forholdet mellem de Varmemængder, som kunne opvarme lige store Rumfang af to Legemer lige mange Grader?

$$\text{Res. } (f c) : (f_1 c_1),$$

hvor f er Vægtfylde og c Varmefylde.

50. q^{gr} af et Legeme opvarmes til Temperaturen T° , som er større end Smeltepunktet S° , og nedsænkes i et Kalorimeter med p^{gr} Vand og Vandværdi v og Temperaturen t° ; ved Blandingen stiger Temperaturen til F . Stoffets Varmefylde i fast og flydende Tilstand kaldes c_1 og c_2 . Ved hvilke Ligninger bestemmes Smeltevarmen x samt c_1 og c_2 ?

$$\text{Res. } (p + v)(F - t) = qc_2(T - S) + qx + qc_1(S - F)$$

samt to analoge, der dannes ved Forsøg ved andre Temperaturer.

51. Hvor meget forøges Rumfanget af 1 Liter Vand ved Frysningen, naar Isens Vægtfylde er 0,92?

$$\text{Res. } 87 \text{ cubem.}$$

52. Find Vægten af 1 cub^m umættet Vanddamp ved t° og b^{cm} Tryk.

$$\text{Res. } \frac{\frac{5}{8} \cdot 1,3 \cdot b}{76(1 + \alpha t)} \text{ Kilo.}$$

53. Dersom vi anvende Mariotte Gay-Lussacs Lov paa Vanddampe lige ved Mætningspunktet, hvor mange cub^{em} Damp faa vi da ved Kogning af 1 gr. Vand ved 100° ?

$$\text{Res. cr. } 1680, \text{ der er noget for stort.}$$

54. Vinaands Vægtfylde er 0,8 og Damptæthed $\frac{8}{5}$. Hvilket Rumfang faar Dampen af 1 cub^{em} Vinaand, som koger ved normalt Tryk og 78° Varme?

$$\text{Res. cr. } 500.$$

55. Æter har Vægtfylden 0,7 og Damptætheden $\frac{5}{2}$. Naar 1 cub^{em} Æter ved 20° forvandles til mættet Damp, hvis Tryk er 43,5^{em}, hvilket Rumfang faar da Dampen?

$$\text{Res. cr. } 400 \text{ cubem.}$$

56. I et cylindrisk Torricellisk Rør har det tomme Rum over Kvægsølvet Længden $16\frac{1}{2}$ ^{cm}. Hvor megen Æter kan man komme ind i Røret, dersom den skal fordampe alt sammen? Temperaturen er 20° .

$$\text{Res. Æteren kan fylde indtil } 1\frac{1}{2}^{\text{mm}} \text{ i Røret.}$$

57. Dersom man ved et Hygrometer bestemmer Dugpunktet til 5° og Barometerstanden er 77cm , hvor meget af dette Tryk hidrører da fra Vanddampene, og hvor meget fra Luften selv? (Se Tabellen i § 41.)

Res. $0,65\text{cm}$ og $76,35\text{cm}$.

58. Dersom Barometret viser $B\text{cm}$ og Termometret T° og Vanddampenes Tryk er $b\text{cm}$, hvad vejer da 1 cub^{m} af den fugtige Luft?

$$\text{Res. } \frac{1,3(B-b)}{76(1+\alpha T)} + \frac{\frac{2}{3}1,3 \cdot b}{76(1+\alpha T)} = \frac{1,3(B - \frac{2}{3}b)}{76(1+\alpha T)} \text{ Kilo.}$$

59. Dersom man ved Vejning af et Klorkalciumrør finder, at det indsuger $p\text{gr.}$ Vanddamp, idet der passerer $r\text{ cub}^{\text{cm}}$ atmosfærisk Luft af Temperatur T igennem det, hvad er da Dampenes Tryk i Atmosfæren?

$$\text{Res. } \frac{76(1+\alpha T)p}{\frac{2}{3} \cdot 0,0013 \cdot r}.$$

60. Hvis Dugpunktet er 10° og Temperaturen 20° , hvad er da Vægten af den Damp, som findes i 1 cub^{m} ? (Se Tabellen i § 41.)

Res. cr. 9gr.

INDHOLD.

Varmegrader	Side	1
Varmemængder	—	13
Varmens Bevægelse	—	18
Jordens Opvarmning, Vinde	—	21
Smeltning	—	27
Damp	—	33
Dampmaskinen	—	50
Energi	—	57

