

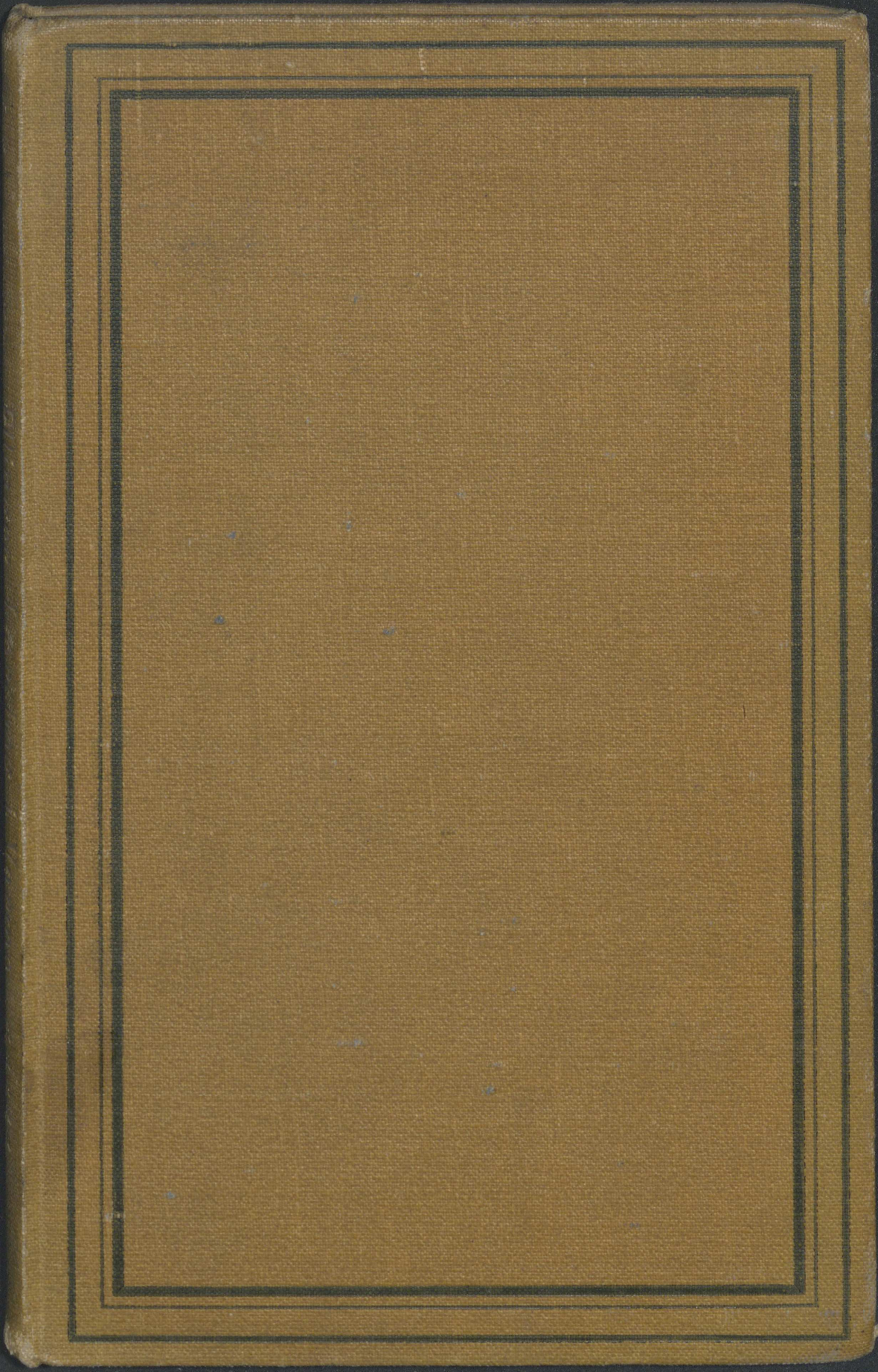
Denne fil er downloadet fra
Danmarks Tekniske Kulturarv
www.tekniskkulturarv.dk

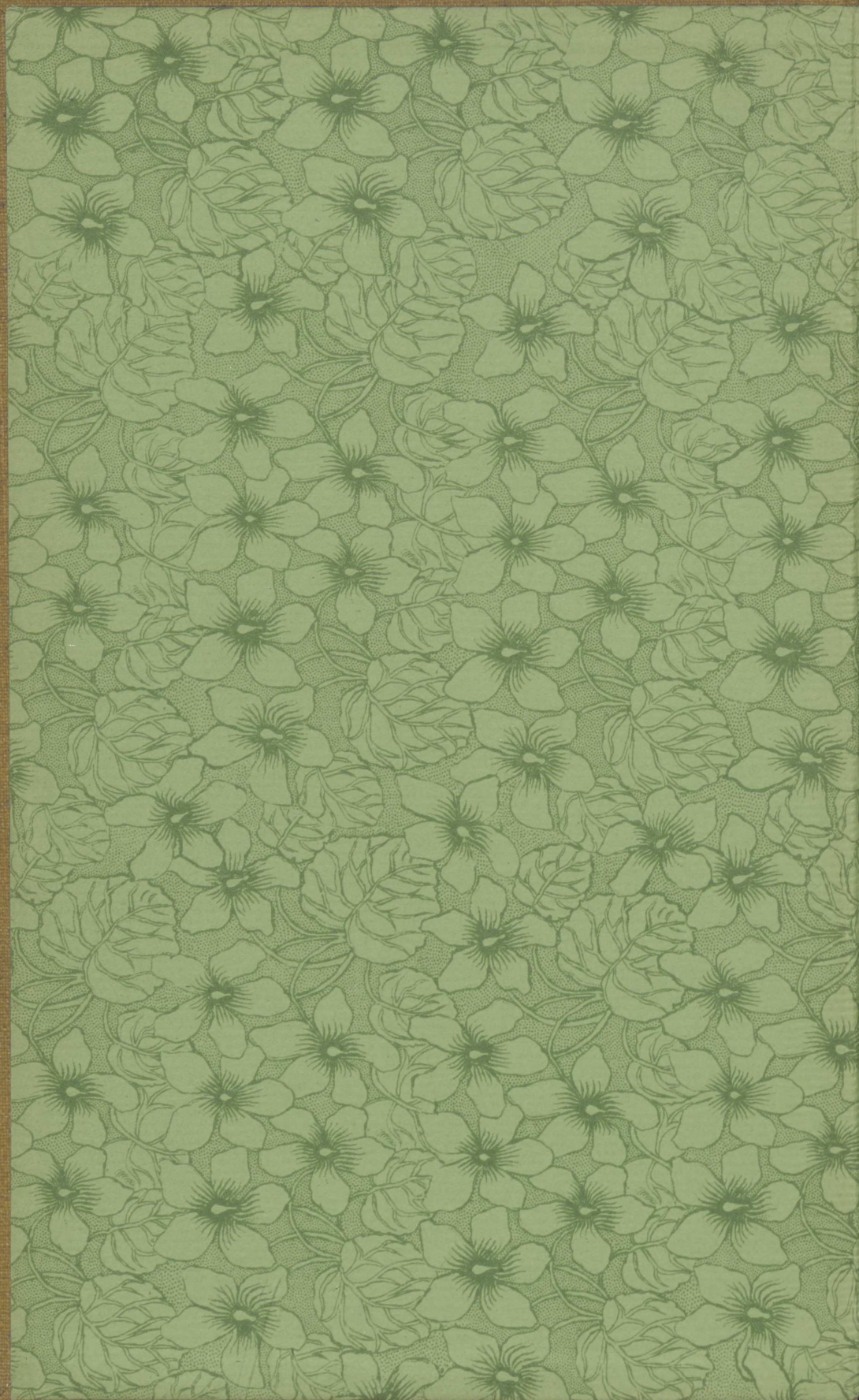
Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek og indeholder scannede bøger og fotografier fra bibliotekets historiske samling.

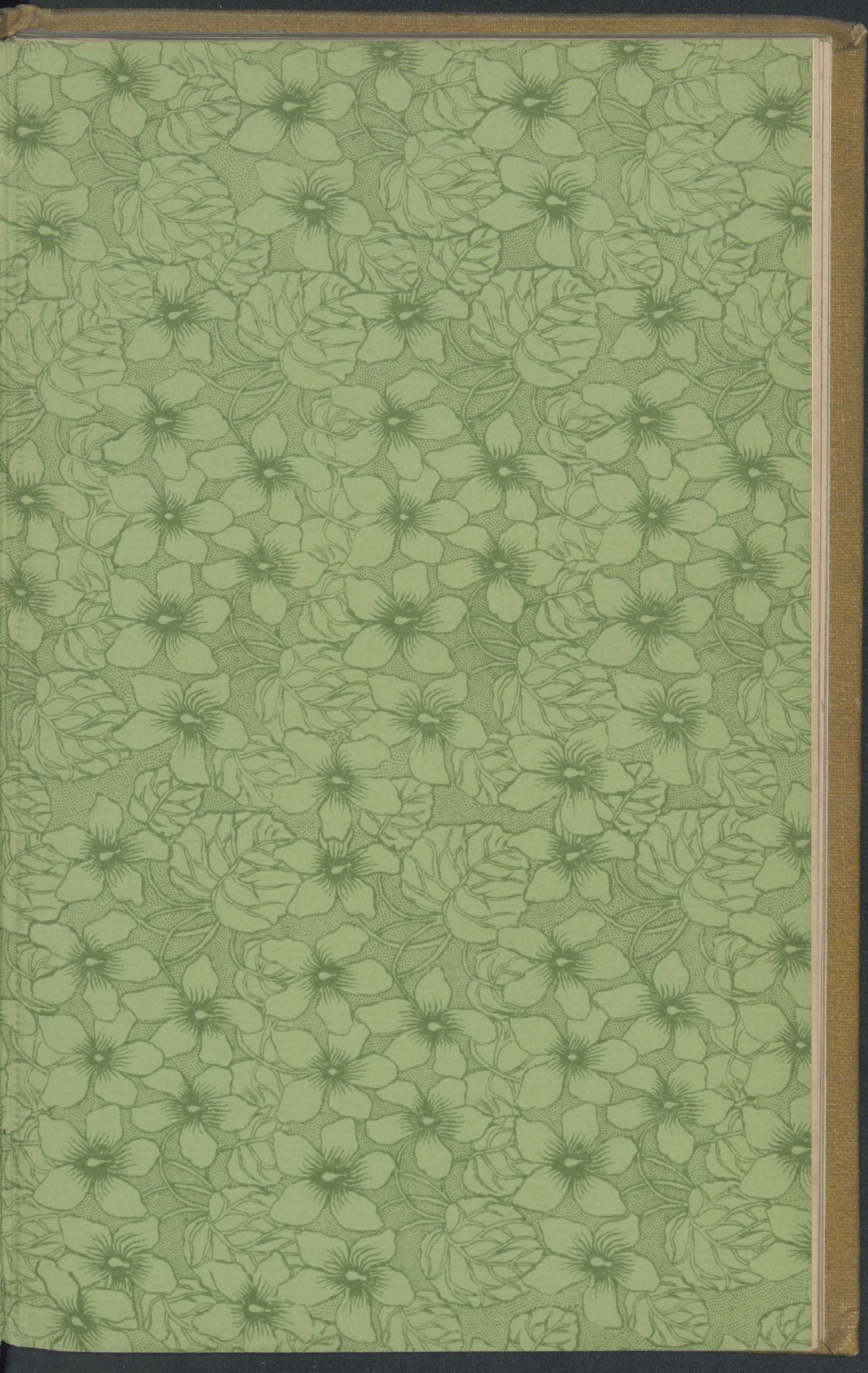
Rettigheder

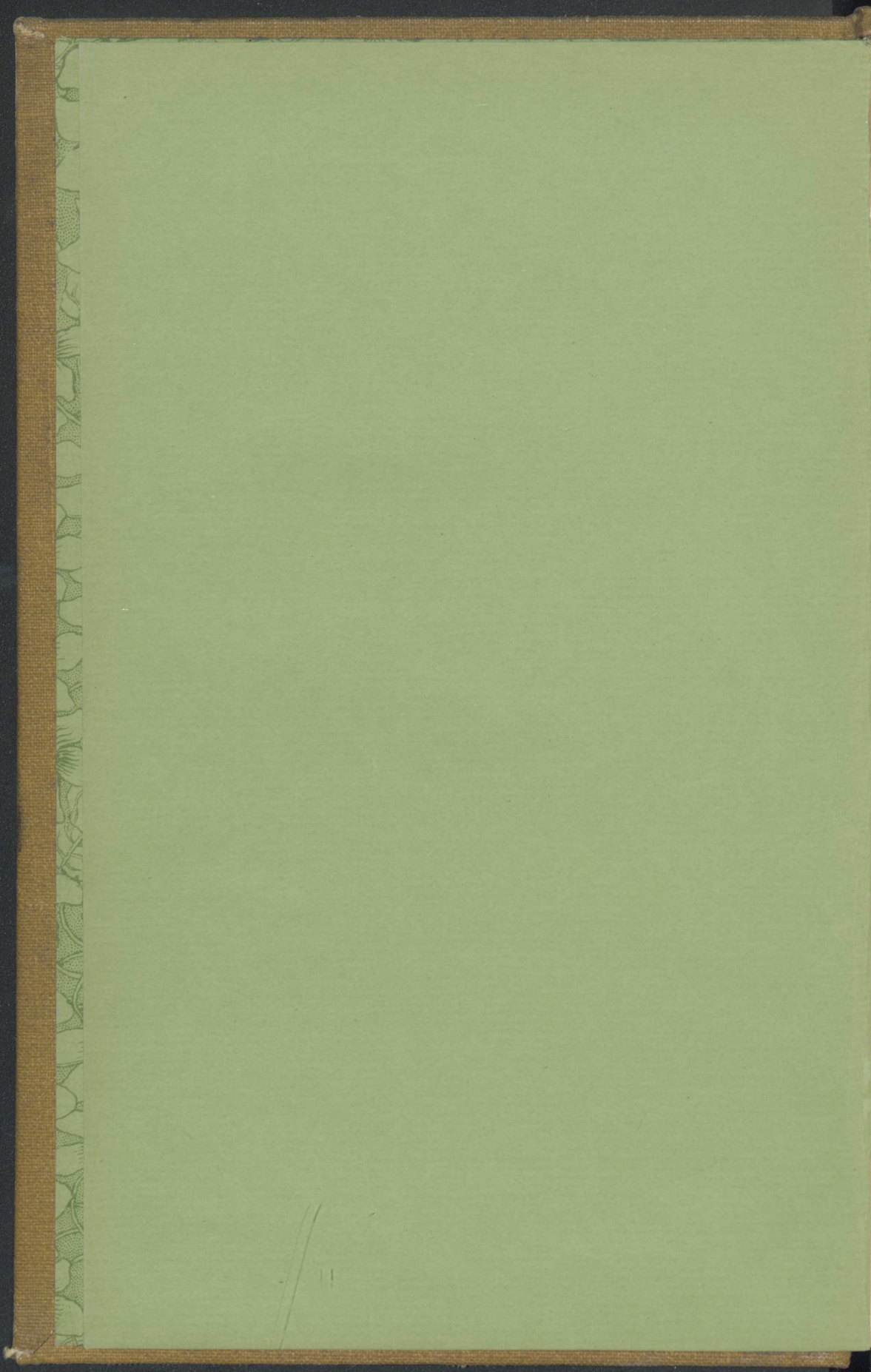
Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på
www.tekniskkulturarv.dk/about

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*









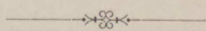
Karala Nelson.

536
gl.
o

LÆREBOG I VARME.

AF

H. O. G. ELLINGER.



DANMARKS
TEKNISKE BIBLIOTEK

KJØBENHAVN.

C. A. REITZELS FORLAG.

THIELES BOGTRYKKERI.

1888.

LÆRBOG I LARME

H. O. G. ELLERØD

DANMARKS

FRITSE BOKHUS

FRITSE BOKHUS

FRITSE BOKHUS

FRITSE BOKHUS

1888

INDHOLD.

	Side.
I. Temperatur og Rumfang (1—20)	1.
II. Thermometre (21—26)	27.
III. Varmefylde (27—33)	33.
IV. Varmens Forplantning (34—47)	42.
a. Varmestraaling (35—43)	43.
b. Varmeledning (44—46)	52.
V. Smeltning og Størkning (48—54)	58.
VI. Fordampning og Fortætning (55—83)	66.
VII. Varme og Arbejde (84—87)	94.
VIII. Maskiner, der bero paa Varmens Arbejdsværdi (88—92)	104.
IX. Kilder til Varmen (93—96) ..	113.

INDHOLD

I	Indledning af forfatteren	1
II	Indledning af forfatteren	2
III	Indledning af forfatteren	3
IV	Indledning af forfatteren	4
V	Indledning af forfatteren	5
VI	Indledning af forfatteren	6
VII	Indledning af forfatteren	7
VIII	Indledning af forfatteren	8
IX	Indledning af forfatteren	9
X	Indledning af forfatteren	10

DANMARKS γ
12 SEP 1944
TEKNISKE BIBLIOTEK

2710

I. Temperatur og Rumfang.

1. Temperatur. Varmen er en Naturvirksomhed, som ytrer sig hos alle Legemer. Ved Følelsen afgøre vi, om et Legeme er hedt, varmt, koldt o. s. v., men vi kunne ikke med nogen synderlig Nøjagtighed paa denne Maade bestemme Legemets Varmetilstand. En Vædske, der er kold, naar vi tage den i Munden, kan være varm, naar vi stikke Haanden ned i den; tager man en varm Jærnstang i den ene Haand og en ligesaa varm Træstang i den anden Haand, forekommer Jærnstangen os varmest, hvilket hidrører fra, at der ledes langt mere Varme over i Haanden fra Jærnstangen end fra Træstangen, da Jærn er en god, men Træ en slet Varmeleder; havde de to Stænger derimod været meget kolde, vilde Jærnstangen have forekommet os koldest, fordi den let bortleder Haandens Varme, hvad Træ kun gør i meget ringe Grad. — Har man stukket den højre Haand i varmt Vand, den venstre i koldt Vand, og saa stikker begge Hænder i lunkent Vand, synes dette os koldt ved den højre Haand, varmt ved den venstre Haand, og først efter nogen Tids Forløb synes det os lige varmt ved begge Hænder.

Et Legemes Varmetilstand er bestemt ved dets Varmegrad eller Temperatur. Naar to Legemer, *A* og *B*, ere i Berøring med hinanden, og det viser sig, at der gaar Varme fra *A* til *B*, sige vi, at *A* har en højere Temperatur end *B*, *B* en lavere Temperatur end *A*. Naar Varmestrømningen ikke mere finder Sted, sige vi, at Legemerne have samme Temperatur.

At opvarme et Legeme er at tilføre det Varme, og ved denne Varmetilførsel stiger dets Temperatur; at afkøle et Legeme er at berøve det Varme, og ved dette Varmetab synker dets Temperatur. Ved Overgang fra en Tilstandsform til en anden er der særlige Forhold tilstede.

Kulde er ikke andet end en ringe Varme; en Kuldegrad er en lav Varmegrad.

2. Rumfangsforandring ved Varme. Naar man opvarmer et Legeme, vil dets Rumfang blive større; naar man afkøler det, bliver dets Rumfang mindre; denne Lov gælder med faa Undtagelser for alle Legemers Vedkommende.

Faste Legemers Udvidelse ved Opvarmning kan vises paa følgende Maade. En Metalstang a fastskrues ved

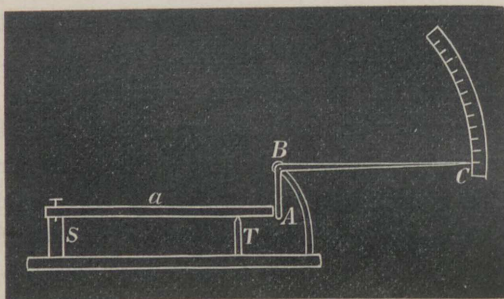


Fig. 1.

den ene Ende paa en Opstander S , medens den anden Ende er fri, og denne støder imod den korte Gren af en Vinkelvægtstang ABC , der har sit Hvilepunkt ved B ; Vægtstangens lange Arm BC peger paa en inddelt Bue. Sætter man nu f. Eks. en Spritflamme under Stangen, vil denne udvide sig tilhøjre; Udvidelsen er forholdsvis lille, men bliver ved dette Apparat let synlig ved C 's Bevægelse opefter henad den inddelte Bue. Borttager man Spritflammen, vil C gaa langsomt tilbage til sin oprindelige Stilling, hvilket viser os, at Stangen nu trækker sig tilbage til sin tidligere Længde.

Vædskeers Udvidelse ved Opvarmning kan iagttages saaledes. En Glasbeholder med en snæver Hals fyldes med Vædske, saaledes at dennes Overflade befinder sig oppe i den

snævre Hals. Sætter man nu en Flamme til Beholderen, stiger Vædskens Overflade. Er Glasset ikke meget tyndt, vil man kunne se, at Vædskeoverfladen først synker lidt og saa stiger; dette hidrører fra, at Glasset først opvarmes, udvider sig og derved giver mere Plads til Vædsken; men snart er Varmen trængt ind til Vædsken, og denne udvider sig langt stærkere end Beholderen, hvilket kan ses deraf, at Vædsken staar højere efter end før Opvarmningen.

Luftarters Udvidelse ved Opvarmning kan man paavise ved at tage en Glasbeholder R med en snæver Hals paa og stikke dennes aabne Ende ned i Vand eller en anden let Vædske; opvarmes nu R ved en Spritlampe, ser man Luftbobler komme frem ved Munden og stige op igennem Vædsken, og naar man efter nogen Tids Opvarmning tager Flammen bort, saa at Luften i R nu afkøles, ser man Vædsken stige op i Halsen, hvilket ligger i, at Luften trækker sig sammen.



Fig. 2.

3. Udvidelsesloven. Naar et Legeme omgives af en Blanding af Is og Vand, har det altid det samme Rumfang; omgives det af Damp fra Vand, som koger ved normalt Lufttryk, har det et større, men altid ens Rumfang. Vi slutte heraf, at en Blanding af Is og Vand altid har samme Temperatur, og Dampene fra det kogende Vand ligeledes altid samme Temperatur.

Lad os tænke os to forskellige Legemer, A og B , som begge omgives af Is og Vand; vi maale deres Rumfang. Vi give dem nu en højere Temperatur, som er ens for dem begge (de anbringes i ens Omgivelser); lad os antage, at A da udvider sig a Rumdele, B udvider sig b Rumdele. Derefter føre vi dem over i endnu varmere Omgivelser, og viser det sig saa, at A 's Udvidelse nu f. Eks. er na , regnet fra det Rumfang, det havde, medens det var omgivet af Is og Vand, vil man finde, at B 's Udvidelse nu omtrent er nb . Vi se altsaa, at Udvidelsen ved Opvarmning for alle Legemer tilnærmelsesvis følger den samme Lov; vi sige, at Legemerne i det sidste

Tilfælde fik en n Gange større Temperaturforøgelse end i det første Tilfælde.

Temperaturen af Is, der smelter, eller Vand, der fryser, siges at være 0 Grader (0°); Temperaturen af Dampene fra Vand, som koger under normalt Lufttryk, er ligeledes konstant og siges at være 100 Grader (100°).

Som nævnt foregaar Legemernes Udvidelse ved Opvarmning ikke aldeles nøjagtig efter samme Lov, og naar man nu vil lægge Udvidelsen til Grund for Temperaturbestemmelser, bliver det et Spørgsmaal, hvilket Legeme der udvider sig regelmæssigt, og hvis Udvidelse altsaa skal benyttes. Valget maa her falde paa Luftarterne, fordi disse altid følge de simpleste fysiske Love (Mariottes Lov), og det viser sig, at alle Luftarter udvide sig ved Opvarmning meget nær i lige stærk Grad (Charles, 1787), hvilket derimod aldeles ikke gælder om faste Legemer og Vædske.

Tænke vi os nu en Luftart, der ved alle Tryk, de største som de mindste, følger Mariottes Lov, altsaa hvad man kunde kalde en fuldkommen Luftart, saa skal det gælde nøjagtig for denne Luftart, at Temperaturen er proportional med Udvidelsen, naar denne regnes fra Luftens Rumfang ved 0° . Har man altsaa en saadan Luftart, og en vis Mængde deraf ved 0° har et Rumfang v_0 , ved 100° et Rumfang v_{100} , saa er Udvidelsen lig $v_{100} - v_0$, og man forstaar ved 1 Grads Opvarmning den Opvarmning, som kan fremkalde $\frac{1}{100}$ af denne Udvidelse, altsaa en Udvidelse paa $\frac{v_{100} - v_0}{100}$; hver Rumenhed har da udvidet sig $\frac{v_{100} - v_0}{100 v_0}$; denne Størrelse — Udvidelsen af 1 Rumenhed (ved 0°) for hver Grads Opvarmning — kaldes Udvidelseskoefficienten.

Dersom Luftmassen, hvis Rumfang ved 0° er v_0 , ved en Opvarmning faar en Udvidelse, der er t Gange større end den, som den faar ved 1 Grads Opvarmning, siges Luften at være opvarmet til t Grader. Kaldes Udvidelseskoefficienten α , vil Udvidelsen være lig $\alpha t v_0$, og Luften vil altsaa ved de t Graders Temperatur have et Rumfang

$$v_t = v_0 + \alpha t v_0 = v_0 (1 + \alpha t).$$

Det maa dog straks tilføjes, at det ved denne Udvidelseslov er forudsat, at Luftmassen er underkastet samme Tryk ved de t^0 som ved 0^0 .

En saadan ideel Luftart, som der her er tænkt paa, gives vel ikke, men indenfor visse Grænser ville alle Luftarter have et Interval, for hvilket Loven gælder med stor Nøjagtighed; disse Grænser ere meget vide for nogle Luftarters Vedkommende (Ilt, Brint, Kvælstof), snævrere for andre (Svovlsyring). Ved Forsøg har man fundet $\alpha = 0,003665 = \frac{1}{273}$ i det nævnte Interval.

Man kan nu indrette Luftthermometre, der ere baserede paa den nævnte Udvidelseslov; da Luften udvider sig saa stærkt i Forhold til andre Legemer (c. 150 Gange stærkere end Glas), saa spiller Rumforandringen af den Beholder, hvori Luften er indesluttet, saa at sige ingen Rolle. Ved Hjælp af et Luftthermometer kan man derefter undersøge andre Legemers Udvidelse, og det viser sig altsaa da, at den samme Udvidelseslov tilnærmelsesvis gælder. Udvidelseskoefficienten vokser i Reglen lidt med Temperaturen, men man taler da om en Middell-Udvidelseskoefficient imellem to Temperaturgrænser. Luftthermometret er imidlertid vanskeligt at anvende i Praxis; dels tager det megen Plads op, og dels kræves der til Temperaturen Bestemmelse saavel Forsøg som Beregning. Hvor der derfor ikke kræves den yderste Nøjagtighed, kan man benytte Kviksølvthermometret, idet det har vist sig, at Temperaturen aflæst paa et saadant ikke afviger synderlig fra den, man finder med Luftthermometret, i alt Fald i Intervallet fra 0^0 til 100^0 .

4. Kviksølvthermometret indrettes paa følgende Maade. Man udtager et snævert Glasrør og undersøger først, om det er lige vidt overalt; dette sker ved ind i Røret at bringe lidt Kviksølv, som trækker sig ud til en tynd Søjle, hvis Længde man maaler; derpaa skyder man denne Søjle hen til forskellige Steder af Røret, og viser den sig saa stadig at have samme Længde, ved man, at Røret er lige vidt overalt. Derpaa udblæses der en Beholder paa Røret i dettes ene Ende; Beholderen har hyppigst Kugleform, stundom dog ogsaa andre Former. Man skal nu fylde Thermometerrøret med

Kviksølv, hvilket sker paa den Maade, at man stikker Rørmundingen ind i Hullet paa en gennemboret Prop (*P*), som danner Bunden i et lille Glasrør (*G*), hvori der er hældt Kviksølv; Beholderen opvarmes, Luften deri udvider sig og bobler op igennem Kviksølvet i *G*, og naar dette har vedvaret i nogen Tid, lader man Beholderen igen afkøles, hvorved Luften i den trækker sig sammen, hvilket har til Følge, at den ydre Luft trykker en Del Kviksølv ned i Beholderen. Dette Kviksølv bringer man dernæst i Kog, Dampboblerne derfra ville da drive al Luften ud af Røret, og naar man atter afkøler, ville Kviksølvdampene fortættes, og det tomme Rum, som derved vilde dannes, bliver helt fyldt med Kviksølv, som trykkes ned af den udvendige Lufts Tryk.



Fig. 3.

Før man nu tilsmelter Røret foroven, opvarmes Termometret til en Temperatur, der er lidt højere end den højeste Temperatur, hvortil det senere skal bruges; derved løber der noget Kviksølv ud, og naar dette er hørt op, tilsmeltes Røret; ved Afkøling trækker Kviksølvet sig da sammen, og ovenover det er der et lufttomt Rum.

Termometret skal derpaa inddeles. Inddelingen faar man frem ved at gaa ud fra to faste Punkter, og hertil benyttes som før nævnt den Temperatur, som smeltende Is eller Sne har (Vandets Frysepunkt eller Isens Smeltepunkt), og den Temperatur, ved hvilken Vand koger under normalt Lufttryk 760^{mm}. (Vandets Kogepunkt). Den første Temperatur kalder man »Fryse-« eller »Tøpunktet«, den sidste »Kogepunktet«.

Man anbringer derfor Termometret først i stødt Is, som er i Færd med at smelte; Kviksølvoverfladen vil da stille sig ved et bestemt Sted paa Røret, og her sættes et Mærke; ved dette Mærke skrives 0. — Derpaa skal Kogepunktet findes, og Termometret anbringes derfor i Dampene fra kogende Vand — ikke i Vandet selv, thi, som det senere vil blive omtalt, kan Vandets Temperatur under Kogningen

være lidt forskellig, medens den Temperatur, som Dampene fra det kogende Vand har, ene og alene er afhængig af det Tryk, som Vandoverfladen er underkastet. For nu at forhindre en Afkøling udefra, benyttes et Apparat som det, der er

afbildet i hosstaaende Figur: Dampene ledes op igennem et indre Rør og derefter nedad i et Rør, der er udenom det første, og herfra strømmer da Dampene ud i Luften igennem Siderør, hvori der er indsat et aabent Kviksølvmanometer; det indre Rør er foroven lukket med en Prop, hvori Thermometerrøret er indsat, dog ikke dybere end at Overfladen af Kviksølvet, naar dette kommer i Ro, staar over Proppen. Man sætter da et Mærke paa Røret ud for Kviksølvoverfladen, og derved er det søgte Kogepunkt fundet, for saa vidt Trykket paa Vædsken

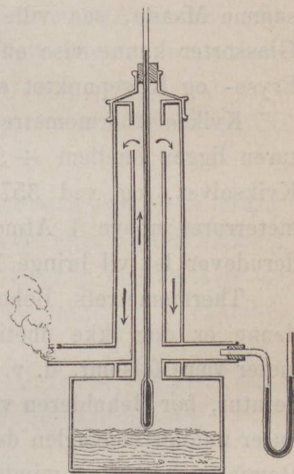


Fig. 4.

er lig det normale Lufttryk; i Manometret vil Kviksølvet staa lidt højere i den Gren, der udmunder i Luften, og Trykket paa Vandoverfladen er derfor lig Summen af Barometerstanden og Højdeforskellen i Manometret. Er altsaa dette Tryk netop lig $760^{\text{mm.}}$, saa sætte vi 100 ved det nævnte Mærke, men er Trykket et andet, kan man sætte et Tal t , som er bestemt af Formlen $t = 100 + 0,0375 (H - 760)$, hvor H er Trykket; det rette Kogepunkt findes da af Proportionen $L:l = 100:t$, hvor l er Afstanden imellem de to Mærker paa Glasrøret, og L den søgte Afstand mellem Fryse- og Kogepunkt.

Man gør rettest i at vente nogle Maaneder med at bestemme de to faste Punkter for Inddelingen, thi det har vist sig, at Glasset langsomt trækker sig lidt sammen, dels paa Grund af at der intet indre Tryk er paa Glasset, og dels fordi Glasmassen først efter gentagne Opvarmninger og Afkølinger faar en fast Lejring.

I Kviksølvthermometret er Temperaturen angivet ved Forskellen imellem Kviksølvets og Glassets Udvidelse (den første er c. 7 Gange større end den sidste), det man kalder Kviksølvets tilsyneladende Udvidelse. Da Glas ikke udvider sig jævnt, og de forskellige Glassorter ikke paa samme Maade, saa ville Kviksølvthermometre med forskellige Glassorter kunne vise en noget forskellig Temperatur, selv om Fryse- og Kogepunktet ere fuldstændig nøjagtige.

Kviksølvthermometret kan kun anvendes, naar Temperaturen ligger imellem $\div 39^{\circ}$ og 357° , thi ved $\div 39^{\circ}$ fryser Kviksølvet, og ved 357° ville Kviksølvdampene i Thermometerrøret udøve 1 Atmosfæres Tryk, saa at en Opvarmning derudover let vil bringe Thermometret til at springe.

Thermometrets Beholder har oftest Kugleformen, men denne er dog ikke ubetinget den bedste. Skal et Thermometer være følsomt, d. v. s. hurtig antage Omgivelsernes Temperatur, bør Beholderen være lille, men have en stor Overflade; nu er imidlertid Kuglen det af alle Legemer, som for et bestemt Rumfang har den mindste Overflade, og Beholderen gøres derfor ofte aflang eller spiralformet. Medens en lille Beholder gør Thermometret følsomt, saa har den paa den anden Side den Fejl, at Afstanden imellem Fryse- og Kogepunktet bliver forholdsvis lille.

5. Forskellige Inddelinger af Thermometret.

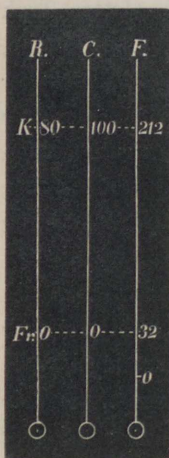


Fig. 5.

Naar Celsius's Skala skal anvendes, deler man som ovenfor beskrevet Afstanden imellem Fryse- og Kogepunkt i 100 ligestore Dele, Grader, og disse Dele afsættes derpaa op over Kogepunktet og nedenfor Frysepunktet; Graderne under Frysepunktet betegnes som negative.

Man har imidlertid ogsaa to andre Skalaer, Réaumur's og Fahrenheit's. Réaumur sætter ligesom Celsius 0 ved Frysepunktet, men 80 ved Kogepunktet, og han deler Afstanden imellem de to Punkter i 80 ligestore Dele. Fahrenheit sætter derimod 32 ved Frysepunktet, 212 ved Kogepunktet, og Afstanden imellem de to Punkter deles i

180 Dele; Fahrenheits Nulpunkt ligger altsaa 32 Grader under Frysepunktet.

Der svarer efter ovenstaaende 80 Réamur's Grader til 100 Celsius's Grader og til 180 Fahrenheit's Grader, eller $4 \text{ R. G.} = 5 \text{ C. G.} = 9 \text{ F. G.}$ — Naar en bestemt Temperatur aflæses som R^0 paa Réamurs Thermometer, som C^0 paa Celsius's og som F^0 paa Fahrenheits Thermometer, saa bestaar der følgende Relation imellem disse Tal:

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

ved Hjælp heraf kan man let fra een Skala gaa over til en anden.

Temperaturangivelserne her i Bogen ere efter Celsius's Skala.

Celsius's Skala bruges navnlig i Sverrig og Frankrig og til videnskabelige Forsøg, Réamurs i Danmark og Tydskland, Fahrenheits i England og Amerika.

6. Et Legemes Vægtfylde ved forskellige Temperaturer. For alle Legemer gælder Udvidelsesloven

$$v_t = v_0 (1 + \alpha t)$$

tilnærmelsesvis, i alt Fald indenfor visse Grænser. Naar denne Lov gælder, er det let at finde en Relation imellem Legemets Vægtfylder ved forskellige Temperaturer; kaldes Legemets Vægt p , dets Vægtfylde ved 0^0 d_0 , ved t^0 d_t , saa har man

$$d_0 = \frac{p}{v_0}, d_t = \frac{p}{v_t} = \frac{p}{v_0 (1 + \alpha t)} = \frac{d_0}{1 + \alpha t} \text{ eller } d_0 = d_t (1 + \alpha t).$$

Ved alle Vægtfyldebestemmelser maa der tages Hensyn til Temperaturen ved Hjælp af dette Udtryk.

7. Faste Legemers Udvidelse. For faste Legemers Vedkommende kan der være Tale om Længde-, Flade- og Rumudvidelse; den første af disse spiller størst praktisk Rolle, nemlig ved Stængers Udvidelse.

Har en Stang ved 0^0 Længden a_0 og ved t^0 Længden a_t , saa er

$$a_t = a_0 (1 + \alpha t),$$

hvor α er Længdeudvidelseskoefficienten, d. e. Udvidelsen af en Længdeenhed (ved 0^0) for 1 Grads Opvarmning.

Betragte vi en rektangulær Flade med Siderne a_0 og b_0 ved 0° , a_t og b_t ved t° , saa er $a_t = a_0 (1 + \alpha t)$ og $b_t = b_0 (1 + \alpha t)$. Ved 0° var Fladens Areal $A_0 = a_0 b_0$, ved t° er det

$A_t = a_t b_t = a_0 (1 + \alpha t) \cdot b_0 (1 + \alpha t) = A_0 (1 + \alpha t)^2 = A_0 (1 + 2\alpha t)$, idet Leddet $\alpha^2 t^2$ kan bortkastes som forsvindende lille ved Siden af $2\alpha t$. — Man ser altsaa, at Fladeudvidelseskoefficienten er det dobbelte af Længdeudvidelseskoefficienten.

Et retvinklet Parallelepipedum, som ved 0° har Siderne a_0 , b_0 , c_0 og altsaa Rumfanget $V_0 = a_0 b_0 c_0$, faar, naar det opvarmes til t° , Siderne a_t , b_t , c_t og Rumfanget

$$V_t = a_t b_t c_t = a_0 b_0 c_0 (1 + \alpha t)^3 = V_0 (1 + 3\alpha t),$$

idet Leddene med α^2 og α^3 kunne bortkastes. — Man ser altsaa, at Rumudvidelseskoefficienten er lig det tredobbelte af Længdeudvidelseskoefficienten.

Udvidelsen af en Beholders indre Rum er lig Rumudvidelsen af et Legeme, der er af samme Substans som Beholderen, og som netop kan udfylde Rummet.

8. Maaling af faste Legemers Udvidelse kan ske ved Hjælp af det i Fig. 1 afbildede Apparat. Man omgiver Stangen først med stødt Is og iagttager Viserens Stilling paa Buen; derefter omgives den med en Vædske, som opvarmes til en vis Temperatur, t° , og man maaler den Flytning n , som Viseren foretager henad Buen. Er nu Vinkelvægtstangens lange Arm c , den korte b , saa har man for Udvidelsen

$$\frac{b}{c} n,$$

og heraf faas Udvidelseskoefficienten ved Division med t og med Stangens Længde l ved 0° ; n og l skulle være angivne i de samme Enheder.

En noget finere Bestemmelse faar man ved Kikkert-aflæsning (Lavoisier og Laplace). Den til Undersøgelse foreliggende Stang AB lægges paa Glasruller i et aflangt Kar, og Stangens ene Ende A gøres fast; den anden Ende B støder imod en Vægtstang, der er drejelig om Aksen O , og

hvortil Kikkerten LL er befæstet; denne Kikkert er forsynet med Traadkors, og den er rettet imod en fjærn Maalestok.

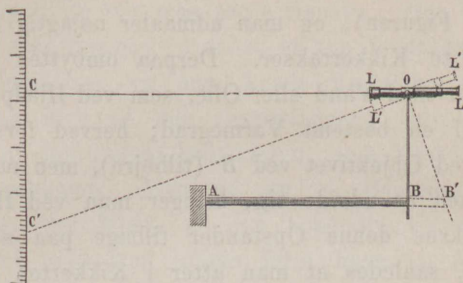


Fig. 6.

I Stedet for at man før iagttog Viserens Flytning henad den inddelte Bue, iagttager man nu Kikkertaksens Bevægelse (fra C til C') henad Maalestokken; iøvrigt er Fremgangsmaaden den samme som ovenfor nævnt, idet n er Flytningen CC' , c er O 's Afstand fra Maalestokken og b Afstanden fra B til O .

En helt anden Metode er følgende (Ramsden). Tre aflange Metalkar stilles parallelt med hinanden; i det midterste Kar anbringes den Stang BB' , hvis Udvidelse man vil maale, og i de to yderste Kar to Jærnstænger, AA' og CC' af

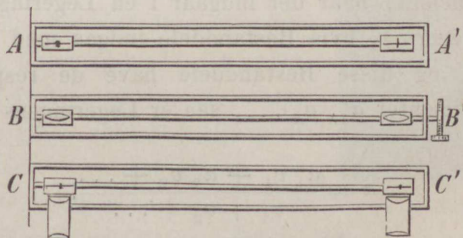


Fig. 7.

omtrent samme Længde. Ved begge Ender af alle tre Stænger er der befæstet lodrette Opstandere, som rage op over Karrene, og hvortil følgende Apparater ere befæstede: paa CC' 's Opstandere sidde to positive Kikkertokularer med Traadkors, paa BB' to Kikkertobjektiver og paa AA' Traadkors, som belyses ved Hjælp af Hulspejl. Forsøget begynder med, at alle Stængerne omgives med stødt Is, og man indstiller Op-

standerne saaledes, at man igennem Okularerne ser Billederne af de respektive Traadkors dække hinanden. Stængerne ere fastgjorte saaledes, at de ikke kunne forskydes den ene Vej (tilvenstre i Figuren), og man udmaaler nøjagtig Afstanden l imellem de to Kikkertakser. Derpaa ombyttes Isen i det midterste Kar med Vand eller Olie, som ved Hjælp af Lamper opvarmes til en bestemt Varmegrad; herved forskydes Opstanderen med Objektivet ved B' (tilhøjre), men naar Stangen holder op med at udvide sig, bringer man ved Hjælp af en Mikrometerskrue denne Opstander tilbage paa sin tidligere Plads, d. e. saaledes at man atter i Kikkerten tilhøjre ser Traadkorsene over Et. Denne Forskydning er altsaa Stangens Udvidelse; ved at dividere Udvidelsen med Gradeantallet t , hvortil Stangen var opvarmet, og med Længden l faas Udvidelseskoefficienten.

For samme Metal finder man ikke altid nøjagtig den samme Udvidelseskoefficient; denne kan variere lidt med den Behandling, Metallet har været underkastet, pludselige Opvarmninger eller Afkølinger etc.

Metallegeringer have en Udvidelseskoefficient, der er bestemt ved Legeringens Sammensætning og Bestanddelenes Udvidelseskoefficient, idet et Metal ikke forandrer sin Udvidelseskoefficient, naar det indgaar i en Legering. Har man altsaa en Legering, hvis Bestanddele indgaa med Rumfangene $v_1, v_2 \dots$, og disse Bestanddele have de respektive Udvidelseskoefficienter $\alpha_1, \alpha_2 \dots$, saa er Legeringens Udvidelseskoefficient

$$\alpha = \frac{\alpha_1 v_1 + \alpha_2 v_2 + \dots}{v_1 + v_2 + \dots}.$$

Man har fundet følgende Værdier af den lineære Middel-Udvidelseskoefficient imellem 0° og 100° :

Fransk Glas, Rør . .	0,0000714	Guld	0,00001451
Svensk do., do. . .	0,0000788	Kobber	0,00001698
do. do., Kugle .	0,0000814	Messing	0,00001879
Hvidt do., Rør . .	0,0000883	Sølv	0,00001935
Platin	0,00001228	Tin	0,00002270
Jærn	0,00001228	Zink	0,00002905
Staal, hærdet . . .	0,00001362	Bly	0,00002948.

9. Maaling af Vædskers Udvidelse ved Opvarmning er lidt mere sammensat end Maaling af faste Legemers Udvidelse, fordi Vædsken maa indesluttet i en Beholder, til hvis Rumforandring der maa tages Hensyn. Den Udvidelse af en Vædske, man kommer til at se, er kun Vædskens tilsyneladende Udvidelse; vil man kende Vædskens sande Udvidelse, maa man til den tilsyneladende Udvidelse addere Udvidelsen af den Del af Beholderen, som Vædsken udfylder efter Opvarmningen. Men da nu en Beholders Udvidelse lettest findes ved Hjælp af den bekendte Udvidelse af en Vædske, saa maa man altsaa først have en Metode, ved hvilken en Vædskes Udvidelse kan bestemmes uafhængig af den Udvidelse, som Beholderen undergaar. En saadan Bestemmelse er gjort for Kviksølvs Vedkommende og ved følgende Metode (Dulong og Pétit, Regnault).

To lange, lodrette, snævre Glasrør ere forneden forbundne ved en snæver vandret Kanal og have foroven Udvidelser, i hvilke Overfladerne af det Kviksølv staa, hvormed Rørene fyldes; herved undgaas Haarrørsvirkningen. Det ene Rør omgives med et Metalkar, hvori der er stødt Is, og som har et lille Rør med en Hane forneden, saa at man kan lade det ved Isens Smeltning dannede Vand løbe ud; det andet Rør er omgivet med et Metalkar, hvori der er Olie, som ved Hjælp af en Ovn holdes opvarmet til en vis Temperatur t^0 , hvilken bestemmes ved Hjælp af et Luftthermometer. De to Kviksølvoverflader, som vilde stille sig i samme Højde, dersom begge Rør havde haft samme Temperatur, ville nu stille sig i forskellige Højder, thi de to Kviksølvsøjler have forskellig Temperatur og dermed forskellig Vægtfylde. Kaldes de to Kviksølvhøjder h_0 og h_t , Kviksølvs Vægtfylde d_0 ved 0^0 og d_t ved t^0 , har man ifølge Loven for forbundne Kar

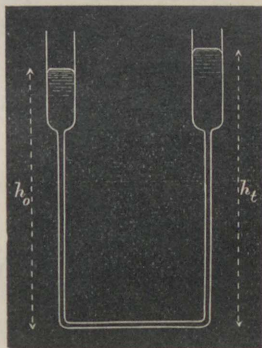


Fig. 8.

$$\frac{h_t}{h_0} = \frac{d_0}{d_t} = 1 + \alpha t \text{ (jfr. 6),}$$

og altsaa

$$\alpha = \frac{h_t - h_0}{t h_0}.$$

Højderne h_0 og h_t regnes fra Aksen af den snævre Kanal op til de to Overflader.

Paa denne Maade har man fundet for Temperaturer, der ligge under 100° , $\alpha = \frac{1}{5550}$.

10. Andre Vædskers Udvidelse kan nu bestemmes paa forskellig Maade.

a. Ved Dilatometret. Dette har Form som et almindeligt Thermometerrør, hvis Gren er kalibreret og inddelt i et vist Antal ligestore Dele. Rumfanget ved 0° af selve Beholderen og af Rørstykket imellem to paa hinanden følgende Inddelinger være henholdsvis V_0 og v_0 ; disse skulle først findes. Man fylder i den Anledning Apparatet med Kviksølv ved 0° indtil en vis Delingsstreg, f. Eks. den n 'te, og vejer det Kviksølv, som er bragt derind; Vægten deraf være p Gram. Derefter bestemmer man Vægten (p_1 Gram) af det Kviksølv, som ved 0° fylder Apparatet til f. Eks. den n_1 'te Delingsstreg. Idet Kviksølvets Vægtfylde ved 0° er d , har man altsaa

$$V_0 + n v_0 = \frac{p}{d},$$

$$V_0 + n_1 v_0 = \frac{p_1}{d},$$

naar V_0 og v_0 maales i Kubikcentimeter; af disse Ligninger findes V_0 og v_0 .

Man skal dernæst finde Apparatets Udvidelseskoefficient β ved Hjælp af Kviksølvets bekendte Udvidelseskoefficient (α). Dette sker derved, at man fylder Apparatet ved 0° med Kviksølv, f. Eks. til den r 'te Delingsstreg; Kviksølvet indtager da Rumfanget $V_0 + r v_0$, og dette Kviksølv maa altsaa opvarmet til t° faa et Rumfang $(V_0 + r v_0)(1 + \alpha t)$. Opvarmes nu Apparatet til t° , vil Kviksølvet stige f. Eks. til den q 'de Delingsstreg; havde nu Apparatet ikke udvidet sig, vilde Kviksølvets Rumfang være lig det aflæste Rumfang

$V_0 + qv_0$; men da Beholderen har udvidet sig, er Rumfanget i Virkeligheden lig $(V_0 + qv_0)(1 + \beta t)$, og man har altsaa

$$(V_0 + rv_0)(1 + \alpha t) = (V_0 + qv_0)(1 + \beta t),$$

hvoraf β findes.

Derpaa gaar man frem paa lignende Maade med den Vædske, hvis Udvidelse søges; man faar en Ligning af samme Form som den nys opskrevne, hvor α betegner den søgte Udvidelseskoefficient; naturligvis have p og q i Reglen andre Værdier. Ligningen tjener nu til Bestemmelse af α .

b. Ved Vægtthermometret. Dette bestaar af en Beholder, som er forsynet med et bøjet Rør med en nedad vendende Munding, der er trukket ud i en Spids (Fig. 9).

Først skal Apparatets Udvidelseskoefficient bestemmes. Man fylder da Apparatet med Kviksølv, saa at dette netop naar til Spidsen, naar Temperaturen er 0° ; denne Fyldning gaar for sig paa den Maade, at Beholderen først opvarmes, og derpaa afkøles den, medens Munden er under Kviksølv; der kommer da en Del Kviksølv over i Beholderen; det bringes her i Kog, indtil al Luft er uddreven, og medens Munden atter er under Kviksølv, afkøles Beholderen til 0° , og den fyldes derved helt med Kviksølv. Vægten P af det Kviksølv, som rummes i Beholderen ved 0° bestemmes. — Derpaa opvarmes Apparatet til en bestemt Temperatur, t° ; der løber da noget Kviksølv ud, og dettes Vægt P_1 findes. Betegner nu v_0 Beholderens ubekendte Rumfang ved 0° , saa se vi, at P er Vægten af det Kviksølv, som ved 0° har Rumfanget v_0 og altsaa ved t° har Rumfanget $v_0(1 + \alpha t)$, hvor α er Kviksølvets Udvidelseskoefficient; endvidere er $P - P_1$ Vægten af det Kviksølv, som ved t° har Rumfanget $v_0(1 + \beta t)$, hvor β er Apparatets Udvidelseskoefficient, og man har derfor

$$\frac{P}{P - P_1} = \frac{v_0(1 + \alpha t)}{v_0(1 + \beta t)} = \frac{1 + \alpha t}{1 + \beta t},$$

af denne Ligning findes β .

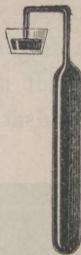


Fig. 9.

Skal man nu finde en anden Vædskes Udvidelseskoefficient, gaar man frem paa samme Maade og faar altsaa en lignende Ligning, der tjener til at finde α .

Apparatet vil ogsaa, som det let ses, kunne anvendes som Thermometer, hvorfra Navnet hidrører; naar nemlig Størrelserne α og β en Gang ere bestemte, kan man benytte Ligningen til at finde Størrelsen t , idet Forsøget altsaa bestaar i at bestemme Vægten P_1 af det Kviksølv, som løber ud, naar Apparatet fra at være underkastet Temperaturen 0° bringes hen i det Rum, hvis Temperatur man vil finde.

Faste Legemers Rumudvidelse kan bestemmes ved den her nævnte Fremgangsmaade, idet Vægtthermometret forfærdiges af det Stof, hvis Udvidelse man vil finde (jfr. Slutningen af 7).

11. Vand viser et særligt Forhold, idet det har sit mindste Rumfang og altsaa sin største Vægtfylde ved 4° ; Vand ved 4° vil derfor udvide sig, ligesaa vel naar det afkøles, som naar det opvarmes. Man kan undersøge dette paa følgende Maade: et lukket, cylindrisk Kar (Fig. 10), der er fyldt med Vand ved en halv Sneg Grader, og i hvilket der er indsat 4 Thermometre (1, 2, 3, 4) i forskellig Højde,

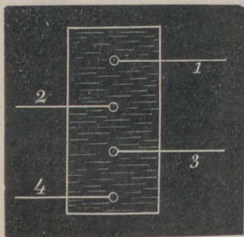


Fig. 10.

hænges ud i kold Luft. Vandet vil da blive afkølet udefra paa alle Sider, og da Vanddelene ved en saadan Afkøling faa en større Vægtfylde, vil der ude ved Karvæggen gaa en Strøm af koldere Vand nedefter, medens de endnu ikke afkølede Vanddele søge tilvejs; deraf følger, at de øverste Thermometre ville vise en højere Temperatur end de nederste, idet altsaa 1 afkøles

langsomst, 4 hurtigst. Men naar 4 har naaet en Temperatur af 4° , bliver det i nogen Tid staaende herved; lidt senere har 3 naaet de 4° o. s. v.; sidst naar 1 denne Temperatur. Derefter afkøles 1 hurtigere end 2, denne atter hurtigere end 3 o. s. v., saa at det er aabenbart, at der nu er kommen en Strøm i Gang, hvorved de koldeste Vanddele søge tilvejs, og Vanddelene maa altsaa ved Afkøling være blevne lettere. Den Temperatur paa meget nær 4° , da der ingen Strømninger

var i Vandet, er derfor den, ved hvilken Vandet har sin største Vægtfylde.

Saltopløsninger i Vand have ogsaa en Temperatur, ved hvilken de have størst Vægtfylde; denne Temperatur er lavere end 4° og desto lavere, jo flere pCt. Saltmængden udgør.

12. Luftarternes Tilstandsligning. For en ideel Luftart gælder nøjagtig Mariottes Lov, der udtaler, at en Luftmasses Rumfang staar i omvendt Forhold til det Tryk, den er underkastet, forudsat at Temperaturen holder sig uforandret. Opvarmes Luften, saa gælder Udvidelsesloven (den saakaldte Gay-Lussac's Lov)

$$v_t = v_0 (1 + \alpha t), \quad (1)$$

forudsat at Trykket holder sig uforandret.

Vi kunne nu let kombinere disse to Love. Vi betragte en Luftmasse, som

$$\begin{array}{ccccccc} \text{ved } 0^{\circ} & \text{har Rumfanget } v & \text{og Trykket } p, \\ - & t^{\circ} & - & - & V & - & P. \end{array}$$

Ved t° og Trykket p vilde Luftmassen have et Rumfang $v(1 + \alpha t)$, hvor α er Luftens Udvidelseskoefficient; derpaa kan man anvende Mariottes Lov og faar altsaa

$$\frac{v(1 + \alpha t)}{V} = \frac{P}{p}$$

eller

$$pv(1 + \alpha t) = PV. \quad (2)$$

Denne Ligning er altsaa almenyldig.

Dersom $V = v$, faar man

$$P = p(1 + \alpha t), \quad (3)$$

hvoraf man lærer, at naar Rumfanget holdes konstant under Opvarmningen, vil Trykket vokse paa samme Maade, som Rumfanget vokser, naar Trykket holdes konstant under Opvarmningen.

Som før nævnt har man fundet $\alpha = \frac{1}{273}$. Ligning (1) vil da give $v_t = 0$, naar $t = \div 273$, og Ligning (3) vil give $P = 0$, naar $t = \div 273^{\circ}$. Dette vil altsaa sige, at naar man afkøler en Luftmasse under konstant Tryk, saa vilde den faa et Rumfang lig Nul, naar den blev afkølet til $\div 273^{\circ}$; eller naar man afkølede en Luftmasse, medens man holdt dens Rum-

fang konstant, saa vilde Luften ved $\div 273^{\circ}$ udøve et Tryk lig Nul. Denne Temperatur, $\div 273^{\circ}$, kaldes derfor Temperaturens absolute Nulpunkt; en Temperatur t° C. er da i absolut Temperatur $273 + t$ Grader, Frysepunktet har den absolute Temperatur 273° , Kogepunktet 373° .

Omstaaende Ligning (2) kunne vi nu omskrive til

$$pv \frac{1}{273} (273 + t) = PV$$

eller

$$\frac{pv}{273} = \frac{PV}{273 + t};$$

denne Ligning lærer os, at for en vis Luftmasse staar Produktet af Tryk og Rumfang i ligefremt Forhold til den absolute Temperatur; Ligningen kaldes Luftens Tilstandsligning.

Denne Tilstandsligning og de Betragtninger, som ere fremsatte, gælde dog kun som nævnt for en ideel Luftart. I Virkeligheden gælder Mariottes Lov ikke nøjagtig, og α , som skulde være uafhængig af Trykket (Humphrey Davy) og Temperaturen, er det ikke ganske. De Luftarter, som afvige forholdsvis betydelig fra Mariottes Lov, afvige ogsaa mest fra Gay-Lussac's Lov, og det saaledes, at deres Udvidelseskoefficienter ere større end den ovenfor angivne Værdi, men dog formindskes ved højere Temperaturer, saa at de nærme sig denne Værdi (dette sker altsaa samtidig med, at de nærme sig til at følge Mariottes Lov). Hvad Trykket angaar, saa er Forholdet det, at Udvidelseskoefficienten vokser noget med Trykket, mindst for de Luftarter, som bedst følge Mariottes Lov.

13. Gay-Lussac har først (1802) bestemt Luftens Udvidelseskoefficient, og Udvidelsesloven har derfor faaet Navn efter ham. Han benyttede et Dilatometer (10 a), som holdtes vandret, og i hvilket han ved Hjælp af en lille Kviksølvprop afspærrede noget Luft, som først maa være tørret godt. Apparatet omgives med stødt Is, og Proppens Stilling i Røret iagttages, naar den er kommen i Ro; derved faar man den indespærrede Lufts Rumfang ved 0° : $V_0 + nv_0$, hvor V_0 er selve Beholderens Rumfang, v_0 Rumfanget af Rørstykket imellem to Inddelinger og n Antallet af Inddelinger, som tælles

fra Beholderen ud til Kviksølvdraaben. Derefter anbringes Apparatet i varmere Omgivelser, f. Eks. Dampe fra kogende Vand, og man ser, at Draaben flytter sig ud i Røret, f. Eks. til den p 'de Delingsstreg; Luftens Rumfang ved den Temperatur t^0 , hvortil den nu er opvarmet, er da $V_0 + p v_0$, naar der intet Hensyn tages til Glassets Udvidelse, og man har altsaa

$$V_0 + p v_0 = (V_0 + n v_0) (1 + \alpha t),$$

af hvilken Ligning α findes.

Det er her forudsat, at Lufttrykket ikke har forandret sig under Forsøget; dersom det derimod har forandret sig, f. Eks. saaledes at det var H , da Rumfanget ved 0^0 blev aflæst, og H_1 , da Rumfanget ved t^0 blev aflæst, saa har man til Bestemmelse af α Ligningen (jfr. 12 (2))

$$H_1 (V_0 + p v_0) = H (V_0 + n v_0) (1 + \alpha t).$$

Vilde man tage Hensyn til Glassets Udvidelse, vilde Ligningen være

$$H_1 (V_0 + p v_0) (1 + \beta t) = H (V_0 + n v_0) (1 + \alpha t),$$

hvor β er Glassets Rum-Udvidelseskoefficient.

14. En anden Fremgangsmaade (Rudberg, Regnault, Magnus, Jolly o. fl.) er i Principet følgende: Man benytter et Apparat som det, der er afbildet i hosstaaende Figur; det bestaar af to lodrette, med hinanden forbundne Rør, hvoraf det ene er aabent, det andet lukket og udblæst til en Beholder B ; forneden paa Apparatet er der et med en Hane M forsynet Udløbsrør.

Man hælder nu Kviksølv ned i det lange Rør og afspærrer derved noget Luft i Apparatet; denne Luft maa være tørret iforvejen. Derpaa omgives B med en Blanding af Is og Vand, hvorved den antager Temperaturen 0^0 ; Luften i B trækker sig sammen, og Kviksølvsøjlen, der afspærrer den, forskydes derved noget, saa at den f. Eks. stiller sig ved a og b ; Luftmassen er da underkastet et Tryk, som er bestemt ved en Kviksølvsøjle $H - h$, hvor H er Barometerstanden, og h den lodrette Afstand imellem a og b . Derpaa borttages Blandingen af Is og Vand og ombyttes med varmere

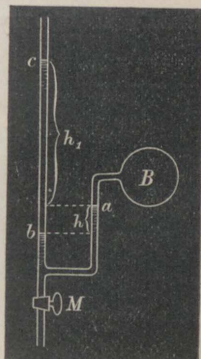


Fig. 11.

Omgivelser ved f. Eks. t^0 (bedst Dampe af Vand, der koger ved normalt Lufttryk); ved denne Opvarmning til t^0 vil Luften udvide sig, og Kviksølvet vil synke ned under a , stige over b , men man hælder da mere Kviksølv ned igen, nem det aabne Rør, saa at Kviksølvet atter, naar de t Grader ere naaede, staar ved a i det lukkede Rør; det kan da staa f. Eks. ved c i det aabne Rør, og man aflæser den lodrette Afstand h_1 imellem c og a . Luften er altsaa nu underkastet Trykket $H_1 + h_1$, naar den øjeblikkelige Barometerstand er H_1 , og har samme Rumfang, som den havde ved 0^0 , naar man bortser fra Apparatets Udvidelse; man har altsaa (jfr. 12 (3))

$$H_1 + h_1 = (H - h)(1 + \alpha t),$$

hvoraf α findes.

Vilde man tage Hensyn til Apparatets Udvidelse, maatte Ligningen blive

$$(H_1 + h_1)(1 + \beta t) = (H - h)(1 + \alpha t).$$

Denne Fremgangsmaade kan kaldes »Metoden med konstant Rumfang«, men Apparatet kan ogsaa bruges til en »Metode med konstant Tryk«. Kun maa man i saa Tilfælde iforvejen have fundet Rumfanget V af Beholderen og et Rørstykke, f. Eks. ud til m (Fig. 12), og derfra have Inddelinger nedefter, hvis tilhørende Rumfang v ligeledes vare bestemte forud. Man begynder da paa samme Maade som ovenfor med

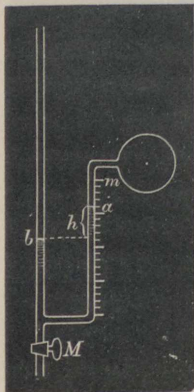


Fig 12.

at afkøle den indesluttede Luft til 0^0 og iagttage Stillingen a og b af Kviksølvoverfladerne; dersom a befinder sig ved den n 'te Delingsstreg, regnet fra m nedefter, saa er Luftmassens Rumfang $V + nv$ og dens Tryk $H - h$, hvor H og h have samme Betydning som ovenfor. Derpaa opvarmes Beholderen til t^0 , hvorved Kviksølvet synker i det lukkede og stiger i det aabne Rør; men man aabner saa Hanen M og lader Kviksølvet løbe ud, hvilket sker raskere fra det aabne end fra det lukkede Rør, og man lader det løbe ud, indtil Kviksølvoverfladen i det lukkede Rør atter staar h højere end i det aabne

Rør. Luften er saa underkastet det samme Tryk som før, men har et større Rumfang; dersom Kviksølvoverfladen i det

lukkede Rør staar ved den p 'de Delingsstreg, regnet fra m nedefter, saa er Luftens Rumfang nu $V + pv$, og man har

$$V + pv = (V + nv) (1 + \alpha t),$$
 forudsat at Atmosfærens Tryk har holdt sig uforandret; har dette derimod forandret sig, saa skal ogsaa Højdeforskellen imellem Kviksølvoverfladerne undergaa den samme Forandring, for at Trykket skal være det samme som før.

I Virkeligheden ere de her nævnte Forsøg, naar de skulle give de mest paalidelige Resultater, meget indviklede og kræve et stort Antal Korrektioner; dette forbigaaes dog her. Det er navnlig Regnault, der her som andetsteds udmærker sig ved stor Nøjagtighed i Metoden.

15. Regnault har ogsaa anstillet følgende Forsøg til Bestemmelse af Luftens Udvidelseskoefficient. Han benytter en Glasbeholder, der har Form som et Vægtthermometer, og finder Vægten P af det Kviksølv, som ved 0° fylder Beholderen. Beholderen, som indeholder Luft, omgives derefter af Dampe fra kogende Vand, Luften udpumpes og indlades igen efter at være tørret ved at strømme igennem Rør med vandsugende Stoffer, og naar Luften i Beholderen derefter har sat sig i Ligevægt med Luften udenfor, hvis Tryk vi ville kalde H , tilsmelter man den fine Spids af Rørmundingen. Temperaturen, hvortil Apparatet blev opvarmet, være t° .

Man befæster derefter Beholderen i omvendt Stilling i et Stativ paa den Maade, Fig. 13 viser: Metalringen QQ' bærer 3 Opstandere P , P' og P'' , hvorpaa Pladen EE' hviler; denne Plade har i Midten et Hul, hvori Beholderens Rør stikkes ned, og omkring hvilket Røret støttes af 3 Metalstifter; foroven støttes det af Skruen V . Der stilles nu en Skaal med Kviksølv ind under Pladen EE' ,

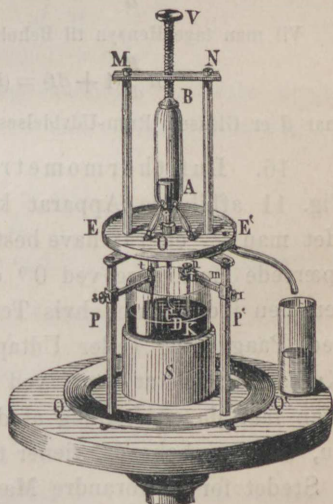


Fig. 13.

saaledes at Beholderens Rør gaar lidt ned i Kviksølv; Beholderen omgives foroven med stødt Is, og med en lille Tang bryder man Rørspidsen af. Luften i Beholderen vil da trække sig sammen, og der vil træde noget Kviksølv op deri; naar dette er sket, skydes der en lille Ske med Voks hen til Rørmundingen, som derved lukkes med lidt Voks. Efterat man har maalt Barometerstanden H_1 og det Stykke h , som Kviksølv i Beholderen staar højere end Kviksølv i Skaalen, udtages Beholderen af Stativet, og Vægten P_1 af det Kviksølv, som var trængt ind, bestemmes.

Den Luft, som er i Beholderen, har altsaa ved 0° og et Tryk af $H_1 - h$ Rumfanget $\frac{P - P_1}{d}$, hvor d er Kviksølvs Vægtfylde ved 0° , og den har ved t° og et Tryk af H Rumfanget $\frac{P}{d}$; man har altsaa (jfr. 12 (2))

$$H \cdot \frac{P}{d} = (H_1 - h) \frac{P - P_1}{d} (1 + \alpha t).$$

Vil man tage Hensyn til Beholderens Rumforandring, faar man

$$H \frac{P}{d} (1 + \beta t) = (H_1 - h) \frac{P - P_1}{d} (1 + \alpha t),$$

naar β er Glassets Rum-Udvidelseskoefficient.

16. Luftthermometret. Det i 14 først omtalte og i Fig. 11 afbildede Apparat kan bruges som Luftthermometer, idet man — efterat have bestemt Trykket, som den ved a afspærrede Luftmasse ved 0° er underkastet — fører Beholderen hen i det Rum, hvis Temperatur man vil maale, og saa ved Paagyldning (eller Udtapning) af Kviksølv atter bringer Kviksølv til at staa ved Mærket a i den lukkede Gren. Man faar da en Ligning af den angivne Form, hvilken Ligning nu, da α er bekendt, tjener til Bestemmelse af Temperaturen t . I Stedet for at forandre Mængden af det i Apparatet indeholdte Kviksølv, kan man ogsaa indrette sig paa den Maade, at Kviksølv mængden bliver uforandret; Apparatet omdannes da saaledes, at de to lodrette Grene, den lukkede med Beholderen og den aabne, ere forbundne forneden ved et langt Kautschukrør, og Apparatet befæstes til en lodret Bjælke; paa denne Bjælke er der en Maalestok, hvis Udgangspunkt er ved a , og det søgte Tryk findes da ved at flytte den aabne Gren, der er an-

bragt paa en Slæde, som kan skydes op og ned, hen til en saadan Stilling, at Kviksølvet i den lukkede Gren kommer til at staa ved a .

17. Luftarters Vægtfylde. En Luftarts Vægtfylde varierer med Trykket og Temperaturen; naar man derfor vil sammenligne Luftarters Vægtfylder, maa de reduceres til samme Tryk og Temperatur. Naar Værdien af en Luftarts Vægtfylde er angivet, og der intet andet er nævnt, underforstaas der altid: ved 0° og et Tryk af 760^{mm} .

Lad os antage, at d_0 er Luftartens Vægtfylde ved 0° og et Tryk af 760^{mm} . Forandres nu Trykket til H^{mm} , medens Temperaturen vedblivende holdes paa 0° , faar Luften en Vægtfylde d_1 , bestemt af

$$\frac{d_1}{d_0} = \frac{H}{760}, \text{ altsaa } d_1 = \frac{d_0 H}{760}.$$

Holdes dernæst Trykket vedblivende paa H^{mm} , og Luftarten opvarmes til t° , faar den en Vægtfylde (6)

$$d_2 = \frac{d_1}{1 + \alpha t} = \frac{d_0 H}{760 (1 + \alpha t)}.$$

Har man omvendt ved Forsøg fundet en Luftarts Vægtfylde d_2 ved H^{mm} 's Tryk og t° , saa findes Vægtfylden ved 0° og Normaltryk at være

$$d_0 = d_2 \frac{760 (1 + \alpha t)}{H}.$$

V Kubikcentimeter af Luftarten ved t° og et Tryk af H^{mm} vejer

$$\frac{V d_0 H}{760 (1 + \alpha t)} \text{ Gram.}$$

Dulong og Petit og derefter Regnault o. fl. have bestemt d_0 for den atmosfæriske Luft og en Mængde andre Luftarter. Regnault fandt for atmosfærisk Luft $d_0 = 0,001293$ ($= \frac{1}{773}$) under Paris's Breddegrad. 1 Kubikcentimeter atm. Luft vejer altsaa under disse Forhold $0,001293$ Gram; 1 Kubikfod atm. Luft vejer $\frac{61,83}{773} \mathcal{A} = \text{c. } 8 \text{ Kvint.}$

Ofte angives en Luftarts Vægtfylde i Forhold til den atmosfæriske Lufts eller Brints Vægtfylde ved samme Tryk og samme Temperatur; denne relative Vægtfylde bliver

uafhængig af Tryk og Temperatur, da Luftarterne forholde sig paa samme Maade overfor Tryk- og Temperaturforandringer.

Er en Luftarts relative Vægtfylde e , bestemt i Forhold til den atmosfæriske Luft, saa vil V Kubikcentimeter af denne Luftart ved en Temperatur af t° og et Tryk af H^{mm} veje

$$\frac{0,001293 e V H}{760 (1 + \alpha t)} \text{ Gram.}$$

18. Overalt hvor man har med nøjagtige Maalinger af Længder, Flader og Volumina at gøre, maa man tage Hensyn til Temperaturen; kun naar alle Maal ere henførte til samme Temperatur — hertil vælges i Reglen 0° — kunne Angivelserne sammenlignes. — Har man saaledes udmaalt Længden af en Stang og fundet den at være l , saa maa man foretage en Korrektion, hvis Temperaturen ikke er 0° . Vi ville antage, at Maalestokken er inddelt ved 0° ; dersom Temperaturen nu var t° under Maalingen, saa er hver Enhed paa Maalestokken i Virkeligheden $1 + \beta t$ Enheder, naar β er Maalestokkens Udvidelseskoefficient, og Stangens Længde ved denne Temperatur er derfor i Virkeligheden $l (1 + \beta t)$; ved 0° vil Stangens Længde altsaa være $\frac{l(1 + \beta t)}{1 + \alpha t} = l[1 + (\beta - \alpha)t]$, naar Stangens Udvidelseskoefficient er α .

En saadan Korrektion maa altid udføres ved nøjagtige Barometermaalinger; i den nys nævnte Formel betyder α da Kviksølvets Udvidelseskoefficient.

19. Naar man lodder eller nitter to Metalstrimler sammen Side om Side, vil den saaledes samlede Strimmel bøje sig ved en Temperaturforandring; opvarmes den, vil det Metal, der udvider sig stærkest, komme yderst (paa den konvexe Side); afkøles den, sker det omvendte.

En tyk Glasflaske springer lettere ved Opvarmning end en tynd, thi Varmen gaar forholdsvis langsomt frem i Glas, og da nogle Dele af Glasset paa den Maade udvides stærkere end andre, opstaar der en Spænding i Glasset, som let kan frembringe dets Sprængning.

Sidder en Glasprop fast i en Glasflaske, kan man lettere faa den løs, naar man opvarmer Flaskehalsen et Øjeblik; ved

længere Tids Opvarmning vilde Varmen ogsaa trænge ind til Proppen og udvide den. — Skal en Jærnring lægges om et Vognhjul, laver man den lidt for lille; derefter opvarmes den saa stærkt, at den kan gaa omkring Hjulet, og naar den derpaa afkøles, slutter den tæt om Hjulet. — To Jærnbane-skiner, der ligge i hinandens Forlængelse, have et lidt større Rum imellem sig om Vinteren end om Sommeren.

Naar et Urpendul opvarmes, bliver det længere, og Uret kommer altsaa til at gaa langsommere, og omvendt. Derfor har man indrettet Kompensationspenduler, hvor Varmens Indflydelse er ophævet. I almindelige Ure er Kompensationen tilstrækkelig, naar Pendulstangen bestaar af godt tørret Træ, som er ferniseret, og denne Stang forneden gaar igennem en Metal-linse, som hviler paa en paa Stangen anbragt Motrik. Man kan da indrette det saa, at Stangens ringe Udvidelse ved Opvarmning vil sænke Svingningernes Midtpunkt omtrent ligesaa meget, som Metallinsens Udvidelse vil hæve det. Der-som denne Kompensation ikke er tilstrækkelig, maa man benytte mere sammensatte Kompensationspenduler. Fig. 14 viser et saadant: Ristpendulet. I Midten er der en Staalstang S , i hvis øverste Ende Pendulet har sin Ophængning; S bærer forneden Tværstykket aa , hvori Zinkstængerne Z ere befæstede, og disse bære foroven Tværstykket bb , som har et Hul i Midten, saa at S kan gaa frit igennem; bb bærer Staalstængerne S_1 , hvortil Tværstykket cc er fæstet forneden, og paa cc sidder Pendullinsen L , hvilende paa en Motrik, hvorved Linsen kan hæves eller sænkes. Naar Pendulet nu bliver varmere, vil S 's og S_1 's Udvidelse nedad sænke Svingningernes Midtpunkt, men Z 's Udvidelse opad vil hæve det; ved altsaa at give Staal- og Zinkstængerne Længder, der ere afpassede efter deres Udvidelseskoefficienter, kan man faa Svingningernes Midtpunkt til at beholde sin Plads, saa at Svingningstiden forbliver uforandret.

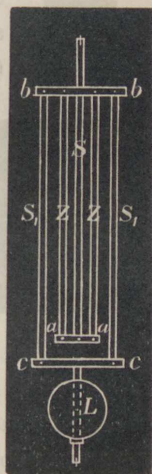


Fig. 14.



Fig. 15.

Det samme opnaar man ogsaa ved det i Fig. 15 afbildede Kompensationspendul, der bestaar af en Metalstang *S*, som i en Ramme *R* forneden bærer en Beholder *K* med Kviksølv. Ved Opvarmning vil *S* udvide sig nedefter, Kviksølvet opefter, og afpasses Kviksølv-mængden efter Stangens Længde, kan man faa Svingningernes Midtpunkt til at blive paa sin Plads.

Ogsaa i Kronometre kan man kompensere Varmens Indflydelse. Regulatoren er her den saakaldte Uro, som regulerer ved sine Svingninger; den kan bygges saaledes, at Ringen bestaar af to adskilte Dele, hver paa sin Ende af en Diameter (Fig. 16), men begge de to Ringstykker ere dannede af to Metaller, hvoraf det er yderst, som har størst Udvidelseskoefficient. Sker der nu en Opvarmning, ville Ringstykkerne rykke ud fra Aksen, hvilket vil fremkalde langsommere Svingninger, men deres Ender ville tillige bøjes indad, og dette vil atter gjøre Svingningen hurtigere, saa at en Kompensation let kan opnaas.

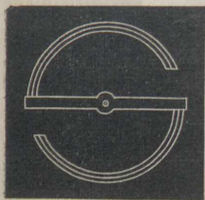


Fig. 16.

20. Strømninger i Vædske og Luftarter. Naar et Legeme udvider sig ved Opvarmning, bliver dets Vægtfylde i samme Forhold mindre, som Rumfanget bliver større; en ulige Opvarmning af en Vædske eller en Luftart vil af den Grund i Reglen fremkalde Strømninger, idet de lettere Dele søge tilvejs, medens de mere vægtfyldige Dele søge nedad.

Opvarmer man saaledes Vædsken i et Kar ved et under Bunden anbragt Blus, ville de først opvarmede Vædske dele stige tilvejs, og de koldere Dele strømme da til fra Siden og blive opvarmede; de varme Dele, som stige tilvejs, komme i Berøring med koldere Dele og afgive Varme til disse, hvorved de selv afkøles. Der kommer altsaa en opadgaaende Strøm i Midten og en nedadgaaende ved Karrets Sider; ved denne stadige Blanding af varme og kolde Vædske dele opvarmes Vædsken langt hurtigere, end hvis der ingen Strømninger foregik.

For Vands Vedkommende maa det dog bemærkes, at dersom man vil fremkalde Strømninger i Vand, hvis Temperatur er under 4° , maa det opvarmes fraoven; Vædskedelene ved Overfladen ville da ved Opvarmningen trække sig sammen og synke, medens koldere og derved lettere Dele ville stige tilvejs; men saa snart Vandet er blevet 4° varmt, ophøre Strømningerne, og Varmen kan saa kun forplante sig nedefters ved Ledning, hvilket sker langsomt, da Vand er en daarlig Varmeleder. — Naar Vandet i Søer afkøles, hvilket jo sker fraoven, kommer der Strømninger i Gang, som vedblive, indtil Vandet er blevet 4 Grader varmt; en Afkøling under denne Temperatur foraarsager ingen Strømninger, saa at der kan ligge et tykt Isdække paa Overfladen, medens Bundvandet er meget nær 4° .

Opvarmes en Stue af en Kakkellovn, gaar der en Strøm af varm Luft langs Loftet henimod Vinduerne og en koldere Luftstrøm langs Gulvet henimod Ovnens; dette kan let iagttages, naar man holder et Lys oppe under Loftet og nede ved Gulvet. — Naar et varmt, i begge Ender aabent Rør holdes lodret, gaar der en opadstigende Luftstrøm igennem det, hvilket ligger i, at Lufttrykket ved den nederste Ende af Røret er mindre inde i dette end udenfor paa Grund af den varme Luftsejles mindre Vægtfylde (Lampegas, Skorstene). — Vinde.

II. Thermometre.

21. I det foregaaende er omtalt Luftthermometret og Kviksølvthermometret. Af disse to er som udviklet det første det nøjagtigste, men Brugen af det indviklet; ved Sammenligning af de to Thermometre finder man dog, at de ere meget nær overens stemmende imellem 0° og 100° , men i hvert Fald kan man korrigere Kviksølvthermometrets Angivelser ved Hjælp af en Korrektionstabel.

Medens Kviksølvthermometret højst kan anvendes ved en Temperatur af 357° , saa kan Luftthermometret anvendes ved langt højere Temperaturer; i saa Tilfælde gøres dets Beholder

af Platin eller bedre — da Platinet ved høje Varmegrader er gennemtrængeligt for Luften — af Porcellæn. Luftthermometret er det bedste Pyrometer, med hvilket Navn man betegner de Thermometre, man benytter til Udmaaling af høje Varmegrader.

22. Spiritusthermometret. Til Maaling af lave Temperaturer kan anvendes Spiritusthermometret, der i Indretningen aldeles ligner Kviksølvthermometret, hvilket jo ikke kunde benyttes ved Temperaturer, der gaa under $\div 39^{\circ}$. Spiritusthermometret kan højst bruges ved 78° , thi ved denne Temperatur have Vinaandsdampene en Spænding, der er lig Atmosfærens Tryk. Inddelingerne faar man derfor ved Sammenligning med et godt Kviksølvthermometer, idet de begge anbringes i en Vædske, der først holdes ved een og derefter ved en anden Temperatur; man kan da overføre to Inddelinger fra Kviksølv- til Spiritusthermometret. Dette sidste er ikke saa nøjagtigt som det første.

23. Metalthermometre, d. v. s. Thermometre, der grunde sig paa faste Metaller Udvidelse. Som et saadant kan det i Fig. 1 afbildede Apparat anvendes, idet Buen da er inddelt i Grader ved Hjælp af et nøjagtigt Thermometer.

Men i Almindelighed benytter man den Formforandring, som en af flere Metaller sammensat Stang lider ved en Temperaturforandring (19). Stangen har da Form af en Kreds, og de Forandringer, denne lider, kunne overføres paa en Viser paa lignende Maade som ved Bourdons Metallic-Barometer. — Breguet's meget følsomme Metalthermometer bestaar af en tynd, i en Skruelinie viklet Metaltraad, sammenloddet af en Sølv-, en Guld- og en Platintraad; Spiralen er ophængt i det ene Endepunkt, og dens nederste Ende forlænger sig ud i en vandret Viser, under hvilken der findes en inddelt Kreds. Ligger Sølv- yderst, Platinet inderst, vil Spiralen trække sig sammen, naar den opvarmes, og udvide sig, naar den afkøles; Viseren vil altsaa vandre hen ad Buen, naar Temperaturen forandres.

24. Maximums- og Minimumsthermometre anvendes til at angive henholdsvis den højeste og den laveste Temperatur, som Thermometret har været udsat for i et vist Tidsrum.

Rutherford har indrettet et Maximums- og et Minimums-thermometer, og i Reglen ere begge befæstede til samme Bræt (Fig. 17). Det første er et vandret Kviksølvthermometer (*B*), i hvilket der udenfor Kviksølvoverfladen ligger en lille Staalnaal;

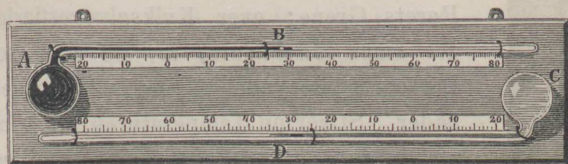


Fig. 17.

det sidste et vandret Vinaandsthermometer (*D*), i hvilket der indenfor Vinaandsoverfladen ligger en lille Glasnaal med smaa Kugler for Enderne. Fra Begyndelsen af rører Indexen i begge Thermometre ved den respektive Overflade; stiger saa Temperaturen, vil Indexen i Vinaandsthermometret blive liggende, medens Kviksølvet vil skyde sin Index frem foran sig; falder Temperaturen, vil Indexen i Kviksølvthermometret blive liggende, medens Vinaandsoverfladen vil tage sin Index med tilbage, naar den først er i Berøring med den. De to Naales Stillinger i Thermometererrørene ville altsaa angive henholdsvis højest og lavest Temperatur. Naar Forsøget derpaa skal gentages, maa Naalene først bringes hen i Berøring med deres respektive Overflader, og dette kan ske, naar Thermometrene hældes paa rette Maade. Sidde de begge paa samme Bræt, skulle deres Beholdere vende modsat Vej; løftes da den Ende af Brættet, hvor Vinaandsbeholderen sidder, ville begge Naale glide hen paa deres Plads.

Paa vore meteorologiske Stationer anvendes som Maximums-thermometer et Kviksølvthermometer, hvor Naalen er erstattet af en kort Kviksølvstreng, der ved lidt Luft er skilt fra det øvrige Kviksølv. Naar Thermometret opvarmes, vil Kviksølvet trykke paa Luften, og dette atter paa Kviksølvstrengen, saa at denne gaar tilvejs; afkøles Thermometret, vil Strengen blive paa sin Plads, saa at Luften altsaa faar et større Rum at indtage; ved et Par Slag paa Thermometret bringes Strengen atter ned til en bestemt Afstand fra det øvrige Kviksølv.

Six og Casella have konstrueret følgende Maximums- og Minimumsthermometer (Fig. 18). Beholderen *A* er forbundet med det U-formede Rør *BCD*; i *A* og en Del af Røret er der Vinaand, som fortsættes med en Kviksølv søjle *ECF*, der gaar op i begge Rørets Grene; over Kviksølvoverfladerne er der smaa Jærnaale, m_1 og m_2 , som ved Forsøgets Begyndelse røre ved disse Overflader. Stiger nu Temperaturen, vil Vinaanden udvide sig og forskyde Kviksølv søjlen, saaledes at m_2 føres tilvejs, medens m_1 bliver siddende; bliver Thermometret derimod afkølet, vil m_2 blive paa sin Plads, medens m_1 bliver ført tilvejs. Det er altsaa indlysende, at man af m_1 's Stilling kan aflæse den laveste, af m_2 's Stilling den højeste Temperatur, som Thermometret har været udsat for; langs begge

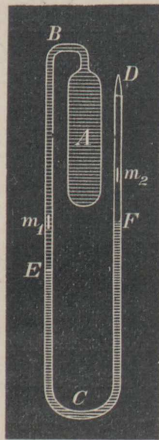


Fig. 18.

Grene maa der selvfølgelig være Gradeinddelinger. Ved Hjælp af en Magnet føres m_1 og m_2 tilbage til Kviksølvoverfladerne.



Fig 19.

Walferdin's Maximumsthermometer (Fig. 19) ligner et almindeligt Thermometer, men Røret er foroven trukket ud i en spids Aabning, og denne er omgivet af en lille, pæreformig Beholder, der indeholder saa meget Kviksølv, at naar Thermometret vendes om, saaledes at Beholderen er opad, Spidsen da befinder sig i Kviksølv. I denne Stilling opvarmes Thermometret først saa meget, at Kviksølvet i Røret naar ud til Kviksølvet i den pæreformige Beholder; ved Afkøling vil der da følge en Del Kviksølv med, saaledes at Røret holdes helt fyldt dermed, og man afkøler nu til en Temperatur, der er lavere end den, man vil maale. Thermometret vendes derpaa om igen til den oprejste Stilling og anbringes i det Rum, hvis Maximumstemperatur søges. Naar Temperaturen nu stiger, vil der løbe noget Kviksølv ud af Røret og desto mere, jo højere Temperaturen bliver; ved en derpaa følgende Afkøling vil Kviksølvet trække sig sammen, og

Overfladen i Røret synke. Det er altsaa aabenbart, at jo højere Temperatur Kviksølvet har været udsat for, desto lavere vil det bagefter staa i Røret. For nu at finde denne Maximums-temperatur, anbringer man dette Thermometer og et almindeligt Thermometer ved Siden af hinanden i en Vædske, opvarmer denne successive, og i det Øjeblik Kviksølvet i det første Thermometer netop naar op til Spidsen, aflæser man Temperaturen paa det andet Thermometer; man har da fundet den søgte Temperatur.

25. Negretti og Zambra's Vendethermometer ligner i Hovedsagen et almindeligt Thermometer, men lige over Beholderen er Røret indsnævret stærkt, og lige efter denne Indsnævring *A*, kommer der en Udvidelse *B*, formet saaledes som Fig. 20 viser. Naar dette Thermometer vendes om, vil Kviksølvets Sammenhæng være saa lille i Indsnævringen, at det Kviksølv, som var over denne, falder ned i Røret; jo højere Temperaturen altsaa var i det Øjeblik, Vendingen foregik, desto mere Kviksølv faldt der ned. Ved at have Inddelinger paa Røret i den omvendte Orden af den sædvanlige — hvilke Inddelinger naturligvis maa være afsatte ved foreløbige Forsøg — kan man aflæse den Temperatur, der var tilstede, den Gang Thermometret blev vendt, og denne Aflæsning kan ske saa længe efter, det skal være, da senere Temperaturforandringer ikke faa nogen kendelig Indflydelse paa den nedfaldne Kviksølvsojles Længde, fordi Søjlen ikke er i Forbindelse med nogen større Kviksølvmasse. Derimod vil nok Kviksølvet i Beholderen kunne udvide sig, men det Kviksølv, som derved træder ud i Røret, opsamles i Udvidelsen *B*.



Fig. 20.

Det vil let ses, at Vendethermometret egner sig fortrinlig til Undersøgelse af Temperaturen paa store Havdybder; endvidere til at angive Temperaturen i et vist Øjeblik, uden at man behøver at være tilstede i dette Øjeblik; man kan f. Eks. blot paa en eller anden Maade sætte Thermometret i Forbindelse med et Ur, som vender det rundt i det ønskede Øjeblik. En bekvem Indretning til at vende det er udtænkt af Capt. Run g.

26. Differential-Thermometret anvendes til at finde to Steders Temperaturforskel. Leslie's Diff.-Therm.

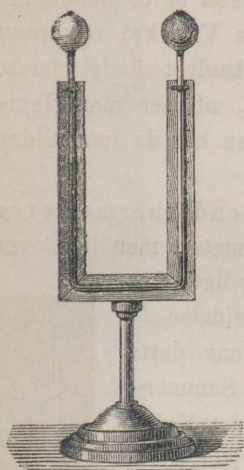


Fig. 21

bestaar af et U-formet Rør, hvis to lodrette Grene ende i kugleformede Beholdere; i Røret er der farvet Svovlsyre, som staar op i begge Grene, og i begge Beholdere er der Luft — saa meget, at de to Vædskeoverflader staa lige højt, naar Beholderne have samme Temperatur; er der derimod Forskel paa Beholdernes Temperaturer, vil Vædsken staa højest paa den kolde Side, og af denne Forskydning aflæses Temperaturen, idet der langs begge Grene er Inddelinger, afsatte ved foreløbige Forsøg. (Disse Forsøg anstilles paa den Maade, at Beholderne omgives med Vand af forskellig Temperatur).

Rumford har gjort Diff.-Therm. mere følsomt ved kun at have en lille Svovlsyreprop i den vandrette Del af Røret, der saa er en Del længere, end den behøver at være i Leslie's Apparat; naar der sker en Forandring med en af Beholdernes Temperatur, vil Draaben straks komme i Bevægelse, og af dens Stilling paa en langs det vandrette Rør anbragt Skala kan den søgte Temperaturdifferens findes.

Til Differentialthermometrene høre endvidere Thermomultiplikatoren og Bolometret (jfr. Ellinger: Lærebog i Magnetisme og Elektricitet).

Differential-Thermometrene anvendes navnlig ved Forsøg over Straalevarmen.

III. Varmefylde.

27. Varmeenhed. Naar et Legeme skal opvarmes, maa der tilføres det en vis Mængde Varme; denne Varmemængde afhænger dels af Temperaturstigningen, dels af Legemets Vægt og dels af Legemets Natur.

Varmemængder angives i visse Enheder, Varmeenheder eller Calorier; ved 1 Varmeenhed eller 1 Calorie forstaas den Varmemængde, som maa tilføres 1 Vægtenhed Vand ved 0° , for at dets Temperatur skal stige til 1° ; som Vægtenhed benyttes i Reglen 1 Kilogram eller 1 Gram, her i Bogen 1 Kilogram.

Det lader sig godtgøre, at den Varmemængde, der maa tilføres en vis Vægt Vand for at faa en bestemt Temperaturstigning, meget nær er uafhængig af Vandets oprindelige Temperatur; blandes saaledes 1 Kgm. Vand ved 4° med 1 Kgm.

Vand ved 22° , faas 2 Kgm. Vand ved 13° ($= \frac{4 + 22}{2}$), og heraf lærer man, at der medgaar ligesaa megen Varme til at opvarme 1 Kgm. Vand fra 4° til 13° , som der mistes ved dets Afkøling fra 22° til 13° , og som altsaa maatte medgaa til at opvarme det fra 13° til 22° .

Naar altsaa p Kgm. Vand skulle opvarmes fra t° til T° , vil der hertil medgaa $p(T - t)$ Varmeenheder; absolut rigtigt er dette dog ikke, thi saavel for Vand som for andre Legemer gælder det, at jo højere Temperaturen er, desto mere Varme maa der til for yderligere at forhøje den; Afvigelsen er dog ikke stor.

Naar p Kgm. Vand afkøles fra T° til t° , mister Vandet $p(T - t)$ Varmeenheder.

Naar p Kgm. Vand ved t° og p_1 Kgm. Vand ved t_1° blandes, siges Blandingen at indeholde $pt + p_1t_1$ Varmeenheder, og Blandingstemperaturen bliver $\frac{pt + p_1t_1}{p + p_1}$.

28. Varmefylde. Ved et Legemes Varmefylde eller Varmekapacitet forstaas den Varmemængde, der kræves til at opvarme 1 Vægtenhed af Legemet 1° .

Jærns Varmefylde er $\frac{1}{9}$, og dette vil altsaa sige, at der skal $\frac{1}{9}$ Varmerenhed til for at opvarme 1 Kgm. Jern 1 Grad.

Er et Legemes Varmefylde c , skal der for at opvarme p Kgm. af Legemet fra t^0 til T^0 anvendes $pc (T - t)$ Varmerenheder. Naar omvendt p Kgm. af Legemet afkøles fra T^0 til t^0 , mister det ligesaa megen Varme.

Legemernes Varmefylde bestemmes ved Issmeltnings- og ved Blandingsmetoden. De Apparater, ved hvilke man maaler Varmemængder, og som altsaa skulle anvendes her, kaldes Kalorimetre.

29. Issmeltningsmetoden. Denne bestaar egentlig af 2 Metoder; den første grunder sig paa, at der til Smeltning af 1 Kgm. Is kræves en bestemt Varmemængde, nemlig 80 Varmerenheder; den anden Metode grunder sig paa den Sammentrækning, der finder Sted, naar Is smelter, idet 1 Gram Is ved 0^0 indtager et Rum af 1,09 Kubikcentimeter, men 1 Gram Vand ved 0^0 meget nær 1 Kubikcentimeter.

a. Det Kalorimeter, som anvendes i det første Tilfælde, er i sin simpleste Form en Isblok, i hvis Overside der er dannet et Hul, som er tørret godt. Det Legeme, hvis ubekendte Varmefylde c vi ville finde, opvarmes først til en bestemt Temperatur T^0 (i Reglen 100^0), bringes derpaa hurtig ned i Hullet i Isblokken, og der lægges en Isplade over. Legemets Temperatur vil da synke til 0^0 , og samtidig vil der smelte noget Is ved den Varme, som Legemet mister. Er Legemets Vægt P Kgm., og er der smeltet p Kgm. Is, har man

$$Pc (T - t) = p \cdot 80,$$

hvoraf c findes.

Vægten p findes ved at veje en tør Svamp, derpaa lade den opsuge det Vand, som er fremkommet i Hullet, og atter veje den; Vægtforøgelsen er da lig p .

Da Isen er porøs, vil en Del af Vandet undvige i Isens Porer, og Metoden er derfor ikke meget nøjagtig.

b. I det andet Tilfælde anvendes Bunsen's Iskalorimeter (Fig. 22). Dette bestaar af en større Glasbeholder C , som fortsættes i et bøjet Rør, hvis sidste vandrette Del er et kalibreret og inddelt Haarrør, hvis Tværsnit er bestemt iforvejen. I C er der indsat et Reagensglas T , og C er for-

oven fyldt helt med Vand, som ved M hviler paa Kviksølv, der herfra naar op i Rørets vandrette Del. Dette Apparat anbringes først i nogen Tid i smeltende Sne eller Is; ved Hjælp af en Strøm af kold Vinaand afkøles T indvendig, saa at noget af Vandet i C fryser til en Isskorpe om Røret; i T hældes derpaa lidt Vand, og Apparatet forbliver nu staaende, indtil Temperaturforholdene ere blevne konstante, hvilket viser sig derved, at Kviksølvoverfladen i Haarrøret staar stille. Derpaa benyttes

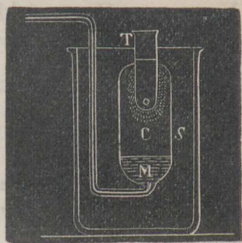


Fig. 22.

Apparatet til Forsøget, og dette bestaar deri, at lidt af det Legeme, hvis Varmefylde man vil finde, først opvarmes til en vis Temperatur (100°) og derpaa bringes hurtig ned i Reagensglasset T ; her meddeler det sin Varme til Vandet i T , og naar dette Vands Temperatur ikke overstiger 4° , vil det varmeste Vand altid være nede ved Bunden; Vandet i T afgiver den modtagne Varme til Isen udenom, saa at noget deraf smelter, der sker en Sammentrækning, og man ser, at Kviksølvoverfladen gaar tilbage i Røret. Det vil let ses, at man af denne Flytning kan beregne Legemets Varmefylde.

30. Blandingsmetoden. Hertil anvendes et Vandkalorimeter, der bestaar af et blankt Metalkar, som ved Traade er ophængt i et større blankt Metalkar; derved har man indskrænket en eventuel Varmeudstraaling til det mindst mulige. I det inderste Kar er der Vand, og i dette befinder sig en Omrører og et Thermometer.

Det Legeme, hvis Varmefylde c skal findes, opvarmes nu først til en vis Temperatur T° (i Reglen 100°) og bringes derpaa hurtig ned i Kalorimetret; dettes Temperatur, som vi ville kalde t° , stiger da og vedbliver hermed, indtil Legemet og Vandet har faaet samme Temperatur, Blandingstemperaturen t_1 . Naar Legemets Vægt er P , har Legemet mistet Varmemængden $Pc(T - t_1)$, og er Vægten af Vandet i Kalorimetret p , har Vandet modtaget $p(t_1 - t)$ Varmeenheder; man har da til Bestemmelsen af c :

$$Pc(T - t_1) = p(t_1 - t),$$

hvis der intet Hensyn tages til Varmetabene. Men der medgaar Varme til at opvarme Kalorimetret (Vægt p_1 , Varmefylde c_1), Thermometret (Vægt p_2 , Varmefylde c_2) og Omrøreren (Vægt p_3 , Varmefylde c_3), og da disse 3 Legemer ere blevne opvarmede ligesom Vandet, saa bliver Ligningen, der tjener til Bestemmelsen af c , nøjagtigere

$$Pc(T - t_1) = (p + p_1c_1 + p_2c_2 + p_3c_3)(t_1 - t).$$

Sættes nu $p_1c_1 + p_2c_2 + p_3c_3 = v$, faar man

$$Pc(T - t_1) = (p + v)(t_1 - t),$$

og vi se altsaa, at en Vandmasse af Vægten $p + v$ kan træde i Stedet for Kalorimetret med Vand, Thermometer og Omrører. Størrelsen v kaldes Vandværdien, og herved forstaas altsaa den Vægt Vand, som af en vis Varmemængde opvarmes ligesaa mange Grader som det tomme Kalorimeter, Thermometret og Omrøreren tilsammen.

Vandværdien kan beregnes af ovenstaaende Udtryk for v , men den findes langt lettere ved et Forsøg, idet man hælder varmt Vand, f. Eks. af Vægt p , ned i det tomme Kalorimeter med Thermometer og Omrører og iagttager Vandets Temperaturformindskelse m^0 og Kalorimetrets Temperaturforøgelse n^0 ; Forholdene ere da de samme, som hvis man havde blandet to Vandmasser med Vægtene p og v sammen, og man har til Bestemmelsen af v Ligningen $pm = vn$.

Endnu maa der ved nøjagtige Forsøg tages Hensyn til det Varmetab, der finder Sted til Omgivelserne, naar Kalorimetret er varmere end disse, eller Varmetilførselen, hvis Kalorimetret er koldere end Omgivelserne. Dersom man kan indrette sig saaledes, at Kalorimetrets Begyndelsestemperatur meget nær er ligesaa meget lavere end Omgivelsernes Temperatur, som Blandingstemperaturen ligger over denne, saa ved man, at Kalorimetret modtager fra Omgivelserne omtrent ligesaa megen Varme, som det senere afgiver, og dermed er Sagen færdig.

Men er dette ikke Tilfældet, kan man gaa frem paa følgende Maade. Vi antage, at Kalorimetret under Forsøget er varmere end Omgivelserne, og da er den iagttagne Blandingstemperatur for lav til at kunne passe i ovenstaaende Regning. Varmetabet tages med i Regning saaledes: Efterat Legemet

er bragt ned i Kalorimetret, iagttager man Temperaturen med smaa Mellemrum, f. Eks. hvert 20de Sekund, medens Kalorimetret opvarmes; de iagttagne Temperaturer være $t_0, t_1 \dots t_n$, idet t_0 er Begyndelses-, t_n Blandingstemperaturen. Varmetabene i disse forskellige Tidsrum ere meget nær proportionale med Differensen imellem Kalorimetrets og Omgivelsernes Temperatur (δ), idet vi som Kalorimetrets Temperatur tage Middeltallet af Begyndelses- og Endetemperaturen i det paagældende Tidsrum; de Tillæg, som Kalorimetrets Blandingstemperatur bør have for at kunne passe i Regningen, kunne altsaa sættes lig

$$A \left(\frac{t_0 + t_1}{2} - \delta \right), A \left(\frac{t_1 + t_2}{2} - \delta \right), \dots A \left(\frac{t_{n-1} + t_n}{2} - \delta \right)$$

eller ialt

$$A (\Sigma t - n \delta),$$

hvor Σt betegner Summen af de iagttagne Temperaturer, idet der dog af den første og den sidste kun tages den halve Værdi. — Konstanten A bestemmes ved foreløbige Forsøg: Kalorimetret med det Vand, som det indeholder under Forsøget, stilles hen ved en vis Temperatur t' , der er højere end Luftens Temperatur δ , og efter 20 Sekunders Forløb iagttages Kalorimetrets Temperatur paany; er denne t'' , har man

$$A \left(\frac{t' + t''}{2} - \delta \right) = t' - t'',$$

hvoraf A findes.

Hvis det Legeme, hvis Varmefylde man vil bestemme, angribes — f. Eks. opløses — af Vand, kan man enten inde slutte det i en Beholder, der ikke angribes af Vandet, og saa tage denne Beholder med i Regning; eller man kan i Kalorimetret i Stedet for Vand have en anden Vædske, hvis Varmefylde er bekendt, og som ikke angriber Legemet.

Vædskerne indesluttet ved Varmefyldebestemmelserne i en Beholder, hvis de ikke ere af den Beskaffenhed, at de ikke blande sig med Vand.

Bestemmelsen af Luftarternes Varmefylde vil blive nærmere omtalt i 32 og 33.

31. Alle Legemers Varmefylde ere ægte Brøker med Undtagelse af Vands, som er 1, og Brints, som er 3,4. Jærns

Varmefylde er $\frac{1}{9}$, Kobbers $\frac{1}{11}$, Blyets, Gulds og Kviksølvs $\frac{1}{13}$. Luftarterne have i det hele store Varmefylde.

Jo mere tæt et Grundstof er, desto mindre er i det hele dets Varmefylde.

Varmefylden vokser, som tidligere nævnt, noget med Temperaturen.

Metallegeringer have en Varmefylde, der er bestemt ved Bestanddelenes Varmefylde og de Vægtforhold, i hvilke de indgaa i Legeringen. Er der i en Legering Vægtmængderne $p_1, p_2 \dots$ af forskellige Metaller med de respektive Varmefylde $c_1, c_2 \dots$, saa er Legeringens Varmefylde

$$c = \frac{p_1 c_1 + p_2 c_2 + \dots}{p_1 + p_2 + \dots}.$$

Et Legeme har større Varmefylde i flydende Tilstand end i fast. Isens Varmefylde er saaledes $\frac{1}{2}$.

Dulong og Petit's Lov: For Metallernes Vedkommende er Produktet af Atomvægten og Varmefylden konstant og meget nær 6,4. Heraf følger, at der altid kræves den samme Mængde Varme til at opvarme 1 Atom af et saadant Grundstof 1 Grad.

32. Enhver Luftart har to forskellige Varmefylde, een for konstant Rumfang og een for konstant Tryk. Naar Luftens Tryk nemlig skal holdes konstant under Opvarmningen, maa Luften udvide sig og drive Hindringerne tilbage; den udfører derved et Arbejde, og der maa altsaa i saa Tilfælde medgaa en større Varmemængde, end hvis Rumfanget forbliver uforandret; Forholdet imellem de to Varmefylde kan vises at være lig 1,4 (33).

Varmefylden ved konstant Tryk har Regnault bestemt paa følgende Maade (Fig. 23). Luften blev sammentrykket i en stor Beholder, der var omgivet af Vand og saaledes blev holdt paa en konstant Temperatur; Luftens Tryk blev aflæst paa et Manometer. Fra denne Beholder førte et Rør, igennem hvilket Luften strømmede ud, naar en Hane R blev aabnet, og ved Hjælp af en i dette Rør indsat Skrueventil A, ved hvilken man kunde regulere Luftstrømmen, sørgede man for, at denne fandt Sted under konstant Tryk,

hvilket kunde iagttages paa et Manometer MM' , der var forbundet med Røret lidt efter Skrueventilens Sted. Denne Luft-

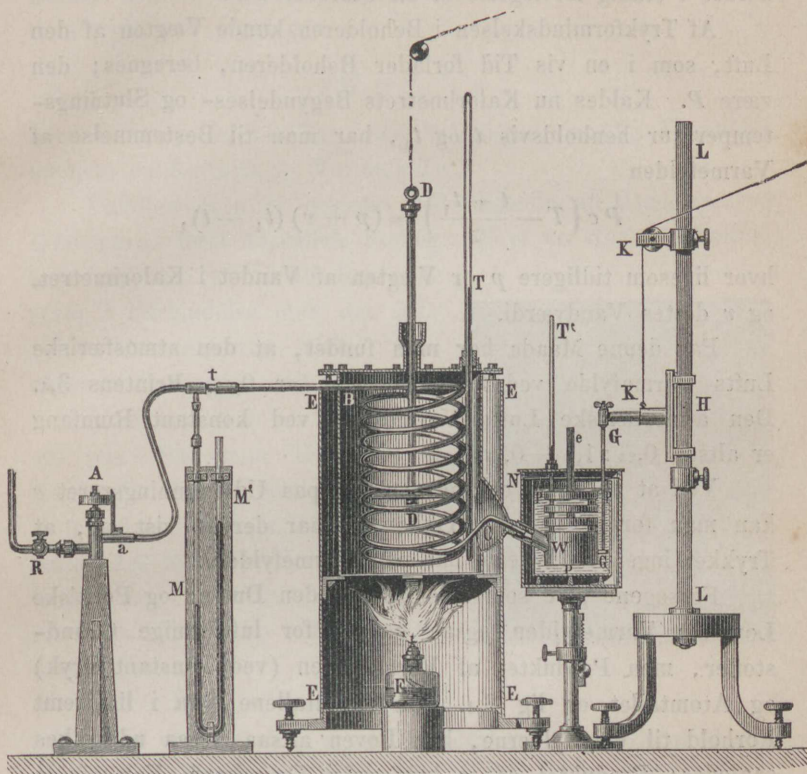


Fig. 23.

strøm gik i et Spiralrør omkring i et Oliebad B , som ved en Lampe F blev holdt ved en konstant Temperatur, der blev aflæst paa Thermometret T ; ved Omrøreren DD sørgede man for, at Olien helt igennem havde samme Temperatur. Luftens Vandring igennem Oliebadet var saa lang, at den, førend den forlod Badet, havde antaget dets Temperatur (T^0); fra Badet lededes den umiddelbart over i et Vandkalorimeter, hvor den først traadte ind i en større Beholder W og derfra gik over i tre flade Metalkasser, hvori den blev ledet igennem Spiralrør — i den nederste og øverste Kasse fra Periferien ind til Midten, i den midterste fra Midten udefter; sluttelig strømmer

Luften ud igennem Røret e og med den Temperatur, som Kalorimetrets Vand i Øjeblikket har. Vandet i Kalorimetret holdes i stadig Bevægelse af en Omrører GG .

Af Trykformindskelsen i Beholderen kunde Vægten af den Luft, som i en vis Tid forlader Beholderen, beregnes; den være P . Kaldes nu Kalorimetrets Begyndelses- og Slutnings-temperatur henholdsvis t og t_1 , har man til Bestemmelse af Varmefylden

$$Pc \left(T - \frac{t + t_1}{2} \right) = (p + v)(t_1 - t),$$

hvor ligesom tidligere p er Vægten af Vandet i Kalorimetret, og v dettes Vandværdi.

Paa denne Maade har man fundet, at den atmosfæriske Lufts Varmefylde ved konstant Tryk er 0,24, Brintens 3,4. Den atmosfæriske Lufts Varmefylde ved konstant Rumfang er altsaa $0,24 : 1,4 = 0,17$.

Ved at anbringe en Indsnævring paa Udstømningsrøret e kan man forøge Luftens Tryk; det har derved vist sig, at Trykket ingen Indflydelse har paa Varmefylden.

Forsøgene give som Resultat, at den Dulong og Pétit'ske Lov om Varmefylden ogsaa gælder for luftformige Grundstoffer, men Produktet af Varmefylden (ved konstant Tryk) og Atomtallet er lig 3,4. Da Atomtallene staa i ligefremt Forhold til Vægtfylderne, kan Loven altsaa ogsaa udtrykkes saaledes: Produktet af et luftformigt Grundstofs Varmefylde og Vægtfylde er konstant. Heraf følger saa, at der til en vis Opvarmning af ligestore Rumfang af forskellige Luftarter kræves den samme Varmemængde, naar blot Tryk og Temperatur er den samme.

33. Bestemmelse af Forholdet imellem en Luftarts Varmefylde ved konstant Tryk og Varmefylde ved konstant Rumfang. Mariottes Lov, som er udtrykt ved Ligningen $pv = p_1 v_1$ (hvor p og v , p_1 og v_1 ere sammenhørende Værdier af henholdsvis Tryk og Rumfang), gælder, naar Temperaturen er uforandret, altsaa efter at der har fundet en Temperaturudjævning Sted, thi ved Sammentrykning af Luft sker der en Varmedvikling, ved Fortynding af Luft en Afkøling. Naar man derimod bestemmer Tryk

og Rumfang, førend en saadan Udjævning har fundet Sted, altsaa uden at der udefra tilføres eller borttages Varme, saa gælder den ad teoretisk Vej udledede Poisson's Lov, som er udtrykt ved Ligningen

$$p v^n = p_1 v_1^n,$$

hvor n netop er det Tal, der her søges, nemlig Forholdet imellem en Luftarts to Varmefylder.

Værdien af n er bestemt ved følgende af Clément og Desormes først anstillede Forsøg. B er en stor Glasballon, som ved det vandrette Rør AG staar i Forbindelse med det lodrette Manometerrør CD , hvis nederste Ende gaar ned i en Skaal med Vædske. AG har Hanen F , og paa Ballonens Hals findes Hanen E . Fra Begyndelsen af er E lukket; F aabnes, og igennem Røret AG fortyndes Luften i Ballonen noget, hvorved Vædsken stiger et Stykke op i Røret CD ; derpaa lukkes F .

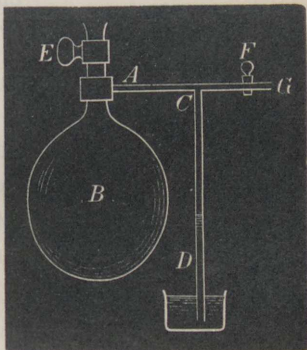


Fig. 24.

Den i Ballonen værende Luft har nu et vist Rumfang v og er underkastet et Tryk af $H - h$, naar H er Barometerstanden og h den til en Kviksølv søjle reducerede Vædskehøjde i Røret CD .

Derpaa aabnes Hanen E et lille Øjeblik, saa at Luften udefra strømmer ind, men den er kun aaben saa længe, til Vædsken i Røret CD er kommen ned i Højde med Overfladen i Skaalen; da lukkes E . Lidt efter vil Vædsken langsomt stige lidt op i Røret og ende med at stille sig i en vis Højde over Vædsken i Skaalen; Kviksølvhøjden, som svarer til denne Vædskehøjde, være h_1 . Grunden til denne Stigning er, at der skete en Opvarmning, da Luften i Beholderen blev sammentrykket; førend denne Opvarmning blev udjævnet med Omgivelserne, var Luftens Tryk H ; efter Udjævningen er Trykket $H - h_1$.

Idet vi antage, at den Luftmasse, som oprindelig fyldte Ballonen i fortyndet Tilstand, ved Indstrømningen har faaet sit Rumfang formindsket til v_1 , har man

ifølge Mariottes Lov:

$$v(H-h) = v_1(H-h_1)$$

og ifølge Poissons Lov:

$$v^n(H-h) = v_1^n H.$$

Disse Ligninger give

$$\left(\frac{H-h_1}{H-h}\right)^n = \frac{H}{H-h},$$

$$\text{hvoraf} \quad n = \frac{\log H - \log(H-h)}{\log(H-h_1) - \log(H-h)}.$$

Ved saadanne Forsøg har man fundet, at n meget nær er lig 1,4.

Naar man vil grafisk fremstille Mariottes Lov, idet Trykkene afsættes som Abscisser, Rumfangene som Ordinator, bliver Kurven en ligesidet Hyperbel; fremstiller man Poissons Lov grafisk, faar man den adiabatiske Kurve.

IV. Varmens Forplantning.

34. Varmen kan forplante sig fra et Sted til et andet paa to Maader: enten ved Ledning eller ved Straaling.

Naar Varmen forplanter sig ved Ledning fra et Sted A til et andet B , sker dette paa den Maade, at de mellemliggende Dele opvarmes successive, og Varmebevægelsen skrider derfor langsomt fremad. Men gaar Varmen ved Straaling fra et Sted til et andet; sker dette næsten pludseligt, og uden at de mellemliggende Dele først opvarmes.

Stikker man den ene Ende af en Jærnstang ind i Gløderne i en Ovn og holder Stangen i Haanden, vil man føle en langsom Opvarmning i den Ende af Stangen, man holder paa; Temperaturen naar dog kun en bestemt, forholdsvis lav Værdi, thi Varmen ledes langsomt igennem Jærnet, og dette afgiver

stadig Varme til den omgivende Luft. — Stiller man sig op foran en varm Kakkellovn med Ansigtet imod denne, mærker man en kendelig Opvarmning i Ansigtet; men sættes en Skærm for, holder Varmefornemmelsen straks op, hvoraf man ser, at Varmen kom fra Ovnen til Ansigtet uden først at opvarme Luften, altsaa ved Straaling.

a. Varmestraaling.

35. Straalevarmen kan forplante sig saavel igennem det tomme Rum som igennem forskellige Legemer, deriblandt Luften; Solens Varme gennemløber Himmelrummet som Straalevarme og trænger igennem Luften ned til Jordens Overflade. De Legemer, som lade Straalevarmen trænge igennem sig, siges at være diathermane; de Legemer, som stanse Varmestraalerne, ere athermane. De fleste diathermane Legemer ere dog for saa vidt tillige athermane, som de tilbageholde noget af Straalevarmen, som da bliver anvendt til at forhøje Legemets Temperatur. Disse Forhold ville blive undersøgte nærmere nedenfor.

Det skal nu i det følgende paavises, at der er den nøjeste Overensstemmelse imellem Lys- og Varmestraaler.

Over Straalernes Hastighed er der vel ingen Forsøg, saaledes som over Lysets Hastighed, men det er dog, naar den øvrige Identitet er godtgjort, naturligt at antage disse to Hastigheder for at være ens; vi vide jo ogsaa af Erfaringen, at Solstraalerne frembringe Varmevirkninger i samme Øjeblik, de frembringe Lysvirkninger.

36. Til Forsøg over Straalevarmen anvender man som Thermometer Differentialthermometret og navnlig Thermomultiplikatoren. I Reglen overtrækkes det Sted paa Thermometret, hvor Bestraalingen skal finde Sted, med Kønrog, hvorved Indsugningen af Straalevarme bliver saa stor som mulig. Ofte findes Thermosøjlen anbragt i Midten af et langt, firkantet, indvendig sværtet Metalrør eller i den inderste snævre Del af et kegleformigt Metalrør, der er indvendig sværtet; Metalrøret har i begge Tilfælde et Laag for Aabningen, og

naar dette Laag tages bort, kan Bestraalingen altsaa pludselig finde Sted.

For at finde Afhængigheden imellem den Opvarmning, for hvilken en Thermomultiplikator udsættes, og det Udslag af Multiplikatornaalen, som den fremkaldte elektriske Strøm foranlediger, kan man gaa saaledes frem. Man benytter 2 Varmekilder, f. Eks. 2 Lys, *A* og *B*, et ud for hvert Sæt af Lodningssteder. Ved en Skærm for *B* udelukker man Bestraalingen fra *B*, og *A* stilles nu i en saadan Afstand fra Søjlen, at der kommer et Udslag af Naalen paa 1° ; derpaa borttages Skærmen for *B*, og *B* stilles saaledes, at det nævnte Udslag forsvinder. *A* rykkes da nærmere til Søjlen og saa meget, at der atter kommer et Udslag paa 1° ; vi vide da, at *A* opvarmer Søjlen dobbelt saa stærkt som før; sættes nu Skærmen for *B*, vil man finde, at der kommer et Udslag paa 2° , saa at Udslaget ogsaa bliver dobbelt saa stort. Derpaa rykkes *B* hen imod Søjlen, indtil dette Udslag paa 2° forsvinder, hvorpaa *A* bevæges hen imod Søjlen, indtil der igen er kommen et Udslag paa 1° ; ved at sætte en Skærm for *B* opstaar der nu et Udslag paa 3° , og saaledes fortsættes. Man finder paa den Maade, at Udslaget er proportionalt med Opvarmningen indtil Udslag paa mellem 20° og 30° ; derefter blive Udslagene mindre, end denne Lov kræver, men man kan saa danne sig en Tabel over sammenhørende Værdier af Opvarmningen og Udslaget.

For ikke at vente med at aflæse Naalens Udslag, indtil Naalen er kommen i Ro, kan man i Stedet for aflæse Størrelsen af Naalens første Udsving, thi dette er desto større, jo større det endelige Udslag bliver.

37. At Varmestraalerne forplante sig i rette Linjer, kan man se deraf, at naar man stiller en Skærm op i nogen Afstand fra en Varmekilde og holder Thermosøjlen paa Skærmens modsatte Side, saa kommer der intet Udslag af Naalen, saa længe Søjlen er i Skærmens Skygge, men derimod i samme Øjeblik, Søjlen flyttes ud af Skyggen.

Opvarmningen ved Bestraaling staar i omvendt Forhold til Afstandens Kvadrat — ligesom Belysningen. Dette kan man vise ved som Varmekilde at anvende en stor,

flad, sværtet Metalkasse, hvori der er kogende Vand og i nogen Afstand derfra at holde Munden af det i 36 nævnte

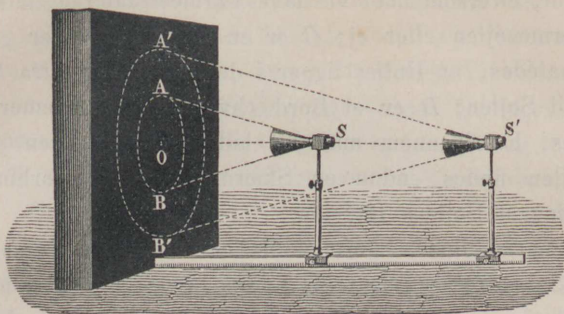


Fig. 25.

kegleformede Metalrør, hvori Søjlen findes. I hvilken Afstand Søjlen saa end stilles fra Kassen, faar man altid det samme Udslag, og deraf følger Lovens Rigtighed; thi naar Søjlen Afstand fra Kassen i eet Tilfælde er n Gange større end i et andet, saa er Arealet af den cirkelformige Flade, der sender Varmestraaler ud til Søjlen, n^2 Gange større, og naar Opvarmningen dog alligevel er den samme, saa maa det ligge i, at Varmen er blevet svækket n^2 Gange paa Grund af den længere Vej, som den har tilbagelagt.

38. Melloni, der især har undersøgt Straalevarmens Forhold, benyttede dertil et Apparat, hvis Indretning er vist i Fig. 26. Paa en Metallineal er der befæstet forskellige Op-

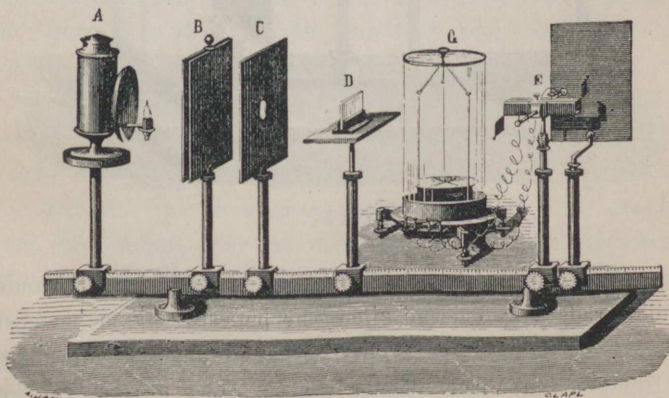


Fig. 26.

standere, som bære efterfølgende Ting: *A* er Varmekilden, *E* Thermosøjlen, *B* en Skærm, som er dobbelt og kan drejes fra og for, eftersom man vil have Varmestraalerne til at falde paa Thermosøjlen eller ej; *C* er en Skærm, der er gennem-boret saaledes, at Hullet ligger i den rette Linje fra Varmekilden til Søjlen; *D* er et Bord, hvorpaa de Legemer kunne anbringes, hvorigennem man vil lade Straalevarmen passere. Bag Søjlen findes endnu en Skærm, der skal forhindre en Bestraaling af Søjls Bagside.

De Varmekilder, hvormed Melloni anstillede Forsøg, vare foruden Solen 1) en Locatellis Lampe, hvori der brændes Olie, 2) en Platinspiral, der blev holdt glødende ved Hjælp af en Spritflamme, 3) en sværtet Kobberplade, der af en Lampe blev opvarmet til 400° , og 4) en Leslie's Tærning, som er en tærningformet Metalkasse, hvis Sider ere beklædte med forskellige Stoffer, og som indeholder Vand, der bliver holdt paa Kogepunktet.

39. Varmestraalernes Tilbagekastning. Naar denne skulde undersøges, blev Apparatet ændret saaledes, at

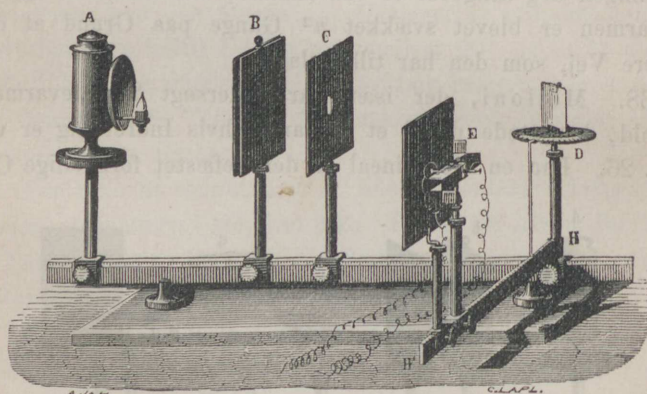


Fig. 27.

Bordet *D* bar et lodret plant Spejl, der stod paa en vandret inddelt Kreds, og Thermosøjlen var befæstet til en bevægelig Arm HH_1 , hvis Stilling til Kredsens Inddelinger kunde aflæses ved Hjælp af en Viser. Det viste sig saa, at der kun kom et Udslag af Multiplikatornaalen, naar Søjlen har en saadan

Stilling, at Indfalds- og Tilbagekastningsvinkel ere ligestore.

Man kan dernæst finde Forholdet imellem den tilbagekastede og den indfaldende Straalevarme ved, førend Spejlet er stillet op, at dreje HH_1 hen i Flugt med Linealen, saa at Straalerne direkte træffe Søjlen, og iagttage Udslaget, som da fremkommer. Dernæst stilles Spejlet op paa D , og man iagttager Udslaget, som den tilbagekastede Straalevarme fremkalder. Deraf faas saa det søgte Forhold. Dette findes at variere med Indfaldsvinklen ganske paa samme Maade som Lyset, idet det er desto større, jo større Indfaldsvinklen er.

Som Eksempel kan nævnes, at et Hulspejls Brændpunkt ikke alene er Foreningspunkt for parallelt indfaldende Lysstraaler, men ogsaa for parallelt indfaldende Varmestraaler. Holdes Hulspejlet op foran Solen, kommer der en stærk Opvarmning paa det Sted, hvor det lille Solbillede dannes. Opstilles to Hulspejle saaledes overfor hinanden, at de vende de spejlende Flader imod hinanden og have fælles Akse, vil en Metalkurv med Gløder, der anbringes i det ene Hulspejls Brændpunkt, kunne bringe et letantændeligt Legeme, der anbringes i det andets Brændpunkt, i Brand. — Navnene Brændspejl og Brændpunkt hidrøre fra disse Forhold.

40. Varmestraalernes Brydning. Naar man lader Sollyset brydes i et Stensaltprisme, saa at der dannes et Solpektrum, og man derpaa fører en lille Thermosøjle igennem de brudte Straaler, saa iagttages en Opvarmning, og maaler man denne, kommer man til Kundskab om Varmefordelingen i Spektret. Man finder da, at Varmen vokser fra de mest brydbare (de violette) Straaler henimod de mindst brydbare, og tillige, at den vedbliver at vokse endnu et Stykke udenfor de røde Farvestraaler, hvorefter den igen aftager og tilsidst hører helt op. Vi se altsaa, at Solens Lysstraaler ere ledsagede af Varme, men at der desuden gives Varmestraaler med mindre Brydbarhed end de røde Straaler, og som altsaa ikke gøre Indtryk paa Synsorganet: Vi tale saaledes om et Varmespektrum, der bestaar af et lyst og et mørkt Varmespektrum, omtrent af lige Udstrækning, naar Prismet som nævnt er af Stensalt.

De Fraunhoferske Linjer ere ikke alene blottede for Lys, men ogsaa for Varme; i det mørke Varmespektrum gives der ogsaa thermisk uvirksomme Linjer.

Ligesom Lysspektret er delt i 7 Hovedfarver, saaledes kunne vi tænke os det mørke Varmespektrum delt i 7 Dele, der gøres lige store; man kan da undersøge Straalerne i de enkelte Afdelinger for sig.

Som Eksempel paa Varmestraalernes Brydning kan nævnes Linsers Anvendelse som Brændglas.

41. Legemernes Gennemstraalelighed. Denne kan undersøges for en bestemt Art af Varmestraaler, naar man fremkalder Solspektet ved Hjælp af et Stensaltprisme og med en Skærm holder de Varmestraaler tilbage, som man ikke vil undersøge. Man maaler da den Opvarmning, der fremkaldes af de ikke tilbageholdte Straaler, holder derpaa en Plade af det Legeme, man vil undersøge, ind i Straalebundtet og maaler atter Opvarmningen; Forholdet imellem den sidste og den første Opvarmning giver os da et Maal for Pladens Gjennemstraalelighed.

Ved saadanne Undersøgelser vil man finde, at alle farveløse, gennemsigtige Legemer lade den samme Procentmængde, nemlig 92 pCt., af de lyse Varmestraaler, trænge igennem; Resten, de 8 pCt., bliver tilbagekastet, og saa godt som intet indsuget. Anderledes er Forholdet overfor de mørke Varmestraaler: kun Stensalt er lige godt gennemstraaleligt for mørke og lyse Varmestraaler (heraf Grunden til, at det i 40 nævnte Prisme skal være af Stensalt), men alle andre farveløse, gennemsigtige Legemer indsuge en større eller mindre Del af de mørke Varmestraaler, fortrinsvis de mindst brydbare; de ville altsaa alle forkorte det mørke Varmespektrum, i stærkest Grad Is og Alun, i mindre Grad Glas.

At de 8 pCt. af Varmestraalerne, som Stensalt ikke lader gaa igennem, blive tilbagekastede og ikke indsugede, kan man se deraf, at en tynd og en tyk Stensaltplade lader den samme Procentmængde af Straalevarmen slippe igennem, men udsætter man en Stabel af Stensaltplader for Varmestraalerne, saa gaar der en betydelig mindre Mængde igennem paa Grund

af de mange Tilbagekastninger. Hvad de farvede, gennemsigtige Legemer angaa, saa forholde de sig overfor de lyse Varmestraaler paa samme Maade som overfor Lysstraalerne, idet kun de Varmestraaler slippe igennem, der have Brydbarhed fælles med de Lysstraaler, som kunne trænge igennem Legemet, og der gaar en ligesaa stor Procentmængde af Varmestraalerne igennem som af Lysstraalerne.

Ugennemsigtige Legemer kunne i Analogi med det nysnævnte ikke lade lyse Varmestraaler slippe igennem, men nogle ugennemsigtige Legemer lade mørke Varmestraaler trænge igennem, saaledes sodet Glas, en Opløsning af Jod i Svovlkulstof, o. fl.

42. Straalerne fra de 4 forskellige Varmekilder, som Melloni benyttede til sine Forsøg, kan man nu let komme til en nærmere Undersøgelse af, naar man undersøger de forskellige Substansers Gennemstraalelighedsevner overfor den Straalevarme, de udsende. Melloni fandt, at der igennem Plader paa 2,6 Millimeters Tykkelse slipper følgende Procentmængder af Straalerne:

	Locatellis Lampe.	Platin- spiralen.	Kobber- pladen.	Leslies Tærning.
Stensalt	92	92	92	92
Glas . .	39	24	6	0
Alun . .	9	2	0	0
Is . . .	6	0	0	0

Sammenholdes nu disse Værdier med, hvad der er nævnt ovenfor, saa kan man se, at den glødende Platinspiral næsten udelukkende udsender mørke Varmestraaler, thi at de lyse ere saa forsvindende, kan ses deraf, at Is slæt ikke lader Varmestraaler fra Platinspiralen slippe igennem; da Is kun lader 6 pCt. af Lampens Straaler gaa igennem, saa er Mængden af lyse Varmestraaler fra denne Varmegiver højst 6 pCt. I det hele er Antallet af mørke Varmestraaler fra et glødende Legeme i langt overvejende Grad det største; saaledes ere kun 10 pCt. af Varmestraalerne fra den elektriske Flammebue og kun 4 pCt. af Varmestraalerne fra et Gasblus lyse. Af Sollysets Varmestraaler ere dog 45 pCt. lyse. Leslie's Tærning

mangler de mest brydbare, mørke Straaler; ligesaa, om end i ringere Grad, den 400° varme Kobberplade.

Et glødende Legeme udsender ikke alene desto flere lyse Varmestraaler, jo højere dets Temperatur er, men ogsaa desto flere mørke Varmestraaler; hvidglødende Jærn udsender flere mørke Varmestraaler end rødglødende Jærn. Naar et Legeme opvarmes, saa udsender det Varmestraaler af stedse større og større Brydbarhed, men tillige vokser Mængden af Varmestraaler med mindre Brydbarhed; alle Legemer begynde at gløde, d. v. s. at udsende røde Straaler, ved ca. 525° .

Vi have i det foregaaende kun betragtet Varmeudstraaling fra Legemer, der have en højere Temperatur end Omgivelserne; men det er ikke rimeligt at antage, at Udstraalingen skulde ophøre, naar Legemets Temperatur var lig Omgivelsernes. Hermed stemmer følgende Forsøg: to Hulspejle ere opstillede ligeoverfor hinanden med fælles Akse og de spejlende Flader vendte imod hinanden; anbringes der nu i det ene Hulspejls Brændpunkt et Thermometer, og i det andets Brændpunkt et Stykke Is, saa synker Thermometret, hvilket hidrører fra, at Thermometret udstraaler mere Varme til Isen, end det modtager fra denne.

Har man altsaa i et Rum forskellige Legemer, der alle have samme Temperatur, saa udstraale de alle Varme, men de indsuge ogsaa alle Varme ved Bestraaling, og naar Temperaturen ikke forandres, saa ligger dette i, at ethvert Legeme mister ligesaa megen Varme ved Udstraaling, som det optager ved Bestraaling.

43. Legemernes Udstraalings- og Indsugnings-evne. Ovenfor er nævnt den Indflydelse, som Temperaturen har paa den Varme, et Legeme udstraaler; men ogsaa Overfladens Beskaffenhed har Indflydelse herpaa. Vil man sammenligne forskellige Stoffers Udstraalingsevne, f. Eks. ved 100° , saa kan man bedække Siderne af en Leslie's Tærning med disse Stoffer og skiftevis lade de 100° varme Sider bestraale en Thermosejle, der er opstillet i en vis Afstand derfra. Man vil da finde, at Blyhvidt og Kønrog fremkalde samme Opvarmning, altsaa have samme Udstraalingsevne,

medens en Metalflades Udstraalingsevne er ca. 9 Gange mindre og er desto mindre, jo mere tæt Metallet er. Ved andre Temperaturer er der i Reglen et noget andet Forhold imellem Udstraalingsevnerne.

Udstraalingen afhænger iøvrigt ikke alene af selve Overfladen, men af Laget nærmest Overfladen; thi det lader sig godtgøre, at dette — indtil en vis Tykkelse — deltager i Udstraalingen. Har man nemlig iagttaget den Opvarmning, som en af Metalfladerne paa Leslie's Tærning fremkalder, og man saa successive oversmører denne Sideflade med Fernislag, saa vil man finde, at Opvarmningen vokser, indtil Laget har faaet en bestemt Tykkelse, og derpaa holder den sig, naar man yderligere forøger Fernislaget.

Naar Varmestraalerne ankomme til et Legeme, saa vil en Del af dem blive tilbagekastet, en anden Del kan slippe igennem (se ovenfor), men Resten bliver indsuget og bidrager til Legemets Opvarmning. Naar man vil undersøge forskellige Stoffers Evne til at indsuge Varmen, saa kan man, naar det f. Eks. gælder Varmestraaler fra en Varmegiver af 100° Temperatur, som saadan benytte en af Sidefladerne paa Leslie's Tærning og successive bedække den Side af Thermosøjlen, der skal vendes imod Varmegiveren med de Stoffer, man vil undersøge. Man vil da finde, at der kommer samme Opvarmning, hvad enten Søjlen er bedækket med Blyhvidt eller med Kønrog; og i det Hele viser det sig, at der er et lige-fremt Forhold mellem et Legemes Udstraalings- og Indsugningsevne, vel at mærke naar der i begge Tilfælde er Tale om den samme Art af Varmestraaler. Rigtigheden af denne Lov kan man ogsaa indse af det, der er sagt i Slutningen af forrige Paragraf.

Et Legemes Indsugnings- og Udstraalingsevne varierer imidlertid, som nævnt, med Arten af de Varmestraaler, der er Tale om, og gaa vi over til at betragte lyse Varmestraaler, saa har f. Eks. Blyhvidt og Kønrog ikke samme Indsugnings-evne; Kønrog opvarmes saaledes langt stærkere af Solstraalerne end Blyhvidt, hvilket hænger sammen med, at Blyhvidt jo er hvidt paa Grund af den rigelige Tilbagekastning af Solens Lysstraaler. Men naar disse Legemer komme til at

udstraale lyse Varmestraaler, derved at de glødes, saa er der ogsaa Forskel paa deres Udstraalingsevner, thi da vil Blyhvidtet udstraale langt mindre lys Varme end Kønrog. Her gælder den Lov: Et Legeme indsuger ved almindelig Varmegrad de samme Straaler, som det selv udsender i glødende Tilstand.

Vi ville herpaa nævne nogle Eksempler:

Naar der paa en hvid Porcellænsplade er malet en sort Tegning, og man saa gløder Pladen, vil man komme til at se en lys Tegning paa en mindre lys Grund.

Gløder man en Jærnstang, hvorpaa der er tegnet en Kridtstreg, saa udstraaler Kridtstregen mindre Lys end Jærnets Overflade.

Farveløst Glas gløder kun svagt, da det ved almindelig Temperatur indsuger de lyse Straaler meget lidt; rødt Rubin-glas, som ved almindelig Temperatur indsuger de grønne Straaler, vil, naar det glødes, udsende grønt Lys.

b. Varmeledning.

44. Varmeledning finder Sted i et Legeme, naar der er forskellige Temperaturer paa forskellige Steder, og finder ligeledes Sted, naar to Legemer, der have forskellig Temperatur, berøre hinanden. Varmen strømmer fra Steder med højere til Steder med lavere Temperatur, og denne Strømning vedvarer, indtil der er samme Temperatur overalt.

Betragte vi en stor og overalt lige tyk Plade af et homogent Stof og tænke os de to Sideflader holdte ved to konstante Temperaturer, T_1 og T_2 , saa vil der, naar $T_1 > T_2$, gaa Varme fra den første Sideflade til den sidste, og efter nogen Tids Forløb er der opnaaet konstante Forhold; naar dette er blevet Tilfældet, saa vil der igennem 1 Arealenhed af hvert med Sidefladerne parallelt Tværsnit i Løbet af hver Tidsenhed gaa en Varmemængde

$$Q = \frac{c(T_1 - T_2)}{d},$$

hvor d er Pladens Tykkelse og c en Størrelse, der afhænger af Legemets Varmeledningsevne og kaldes Varmelednings-

koefficienten; sættes $d = 1$ og $T_1 - T_2 = 1$, faar man $Q = c$, saa at c betegner den Varmemængde, som i Tidsenheden passerer igennem en Tærning af Legemet, hvis Kant er lig en Længdeenhed, naar to modstaaende Sideflader af denne Tærning have en Temperaturforskel paa 1° . Den Tid, der medgaar til Opnaaelsen af de konstante Forhold, kan ikke tjene til Bestemmelsen af Ledningsevnen, thi den Hastighed, med hvilken Varmen skrider fremad i et Legeme, beror tillige paa Legemets Varmefylde; jo større nemlig denne er, desto mere Varme medgaar der til en vis Temperaturforhøjelse, og desto mindre bliver Varmens Forplantningshastighed.

45. Faste Legemers Varmeledningsevne kan man undersøge med Ingenhousz's Apparat, der bestaar af en parallel-epipedisk Metalkasse, i hvis ene Side der indsættes lige lange

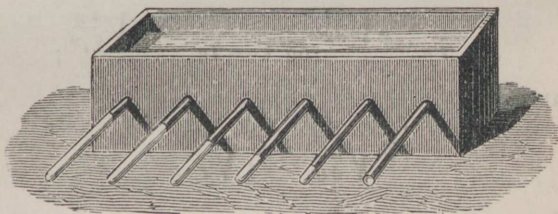


Fig. 28.

og lige tykke Stænger af de Stoffer, man vil undersøge; Stængerne ere overtrukne med et overalt lige tykt Lag Voks. I Kassen haves nu kogende Vand, og Varmen vil herfra trænge ud igennem Stængerne og efterhaanden bortsmelte Vokset (Smeltepunkt ca. 65°). Naar der ikke smelter mere Voks, hvilket sker, naar Forholdene ere blevne saadanne, at den Varmemængde, der modtages, er lig den, der afgives til Omgivelserne, maaler man de Længder, langs hvilke Vokset er smeltet, og disse Længder ere da Maal for Ledningsevnen, idet denne kan vises at være proportional med Kvadratet paa disse Længder.

Vi ville antage, at Stængerne ere saa lange, at den yderste Del af dem har samme Temperatur som Omgivelserne; det

lader sig da godtgøre, at naar Temperaturoverskuddene over Omgivelserne paa to Punkter af en Stang ere T og t , og disse Punkter have Afstanden x fra hinanden, saa er, idet $T > t$,

$$t = T e^{-x \sqrt{\frac{k p}{c a}}},$$

hvor a er Arealet af Stangens Tværnsnit, p dettes Omkreds, c Varmeledningskoefficienten, k en af Stangens Overfladebeskaffenhed afhængig Størrelse, og e Grundtallet for de naturlige Logaritmer.

Dersom nu x er Længden af det Stykke af Stangen, paa hvilket Vokset er smeltet, saa betyder T Differensen imellem Kassens og Omgivelsernes Temperatur, t Differensen imellem Voksets Smeltepunkt og Omgivelsernes Temperatur; da Stængernes Overflader ere ens, har man for to af Stængerne i det her nævnte Tilfælde

$$t = T e^{-x \sqrt{\frac{k p}{c a}}} \text{ og } t = T e^{-x_1 \sqrt{\frac{k p}{c_1 a}}};$$

heraf faar man

$$x \sqrt{\frac{k p}{c a}} = x_1 \sqrt{\frac{k p}{c_1 a}}$$

og altsaa

$$\frac{c}{c_1} = \frac{x^2}{x_1^2},$$

o: Varmeledningskoefficienten staar i ligefremt Forhold til Kvadratet paa Afstanden fra Kassen til det Sted, hvor Voksets Smeltning horer op.

En anden Undersøgelsesmetode bestaar i, at det til Undersøgelse foreliggende Legeme tildannes som en prismatisk Stang (Fig. 29), paa hvis øverste Sideflade der i ligestore Afstande er udboret smaa Fordybninger, i hvilke der er Olie, hvori Beholderne paa en Række Thermometre anbringes. Stangen opvarmes i sin ene Ende (A), og en konstant Temperatur her frembringes lettest paa den Maade, at Stangens yderste Del er bøjet nedad og omgivet af Kviksølv, som ved en Lampe holdes paa en konstant Temperatur; en Skærm (S)

beskytter Stangen imod Opvarmning ved Bestraaling. Thermometrene ville da efterhaanden stige, indtil de naa et bestemt Punkt, som er desto lavere, jo længere Thermometret er fra den opvarmede Ende. Jo mindre Forskel der — alt andet

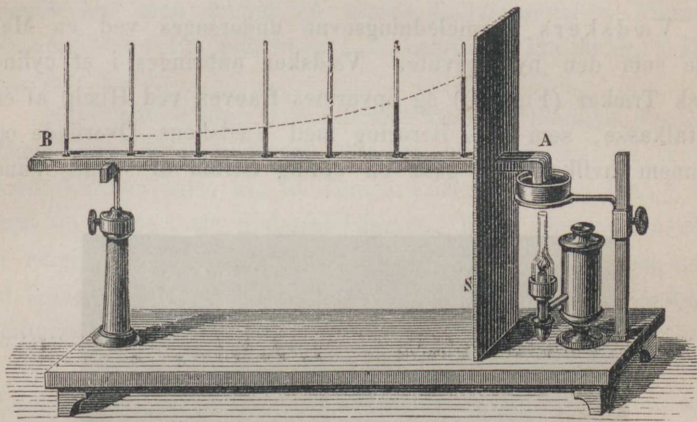


Fig. 29.

lige — er paa Thermometrenes Angivelser, desto større er Ledningsevnen.

Har man anstillet Forsøget med to Stænger af forskellige Metaller, men med ens Tværsnit og ens Overflade, hvilket sidste kan opnaas derved, at Stængerne ere oversmurt med f. Eks. Fennis, saa kan man ved paa hver Stang at aflæse to Temperaturer, beregne Forholdet imellem Stængernes Ledningsevner. Er Differensen imellem de aflæste Temperaturer og Omgivelsernes Temperatur for den ene Stangs Vedkommende T og t , for den anden Stang T_1 og t_1 , samt de respektive Afstande imellem de benyttede Thermometre x og x_1 , har man

$$x \sqrt{\frac{kp}{ca}} = \log \frac{T}{t},$$

$$x_1 \sqrt{\frac{kp}{c_1 a}} = \log \frac{T_1}{t_1},$$

naar *log* er den naturlige Logaritme. Af disse to Ligninger faar man

$$\frac{c}{c_1} = \frac{\left[x \log \frac{T_1}{t_1} \right]^2}{\left[x_1 \log \frac{T}{t} \right]}$$

Vædskers Varmeledningsevne undersøges ved en Metode som den nys nævnte. Vædsken anbringes i et cylindrisk Trækar (Fig. 30) og opvarmes fraoven ved Hjælp af en Metalkasse, som er i Berøring med Vædskens Overflade og igennem hvilken der gaar en stadig Strøm af varmt Vand

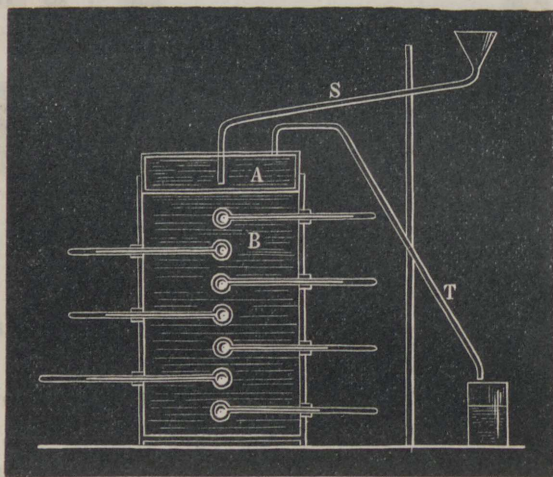


Fig. 30.

(ind ved *S*, ud ved *T*). Varmeledningen sker da nedefter, og Strømninger i Vædsken ere undergaaede. I Kassens Side er der indsat en Række Thermometre, hvis Beholdere findes i Karrets Midte; naar Temperaturerne ere blevne konstante, aflæses de, og Ledningsevnen kan da beregnes.

Luftarters Varmeledningsevne maa undersøges paa en lignende Maade, men her ere Vanskelighederne langt større, fordi Luften meget let kommer i Strømninger og let gennemstraales af Varmen; man har dog opnaaet ret tilfredsstillende Resultater.

46. Ved Forsøg som de i 45 beskrevne har man fundet, at Metallerne ere de bedste Ledere for Varmen; af Metallerne lede atter Sølv bedst, saa Kobber, Guld osv. For Metaller-nes Vedkommende er der et konstant Forhold imellem deres Ledningsevner for Varme og for Elektricitet. Træ, Stene, Ebonit etc. ere daarlige Varmeledere; for Træets Vedkom-mende har man fundet en større Ledningsevne i Fibrenes Retning end tværs paa denne; de haardeste Træsorter, f. Eks. Eg, lede bedst.

Naar man holder et Metaltraadsnet i en Flamme, brænder denne ikke udenfor Nettet, hvilket hidrører fra, at Nettet leder Varmen bort, saa at Temperaturen sænkes. Davy har benyttet dette i sin Sikkerhedslampe, hvor Flammen overalt er omgivet af et fint Metalnet; denne Lampe egner sig godt til Anvendelse i Bjærggruber, hvor der udvikles eksplosive Luftarter.

Vædskerne, med Undtagelse af Kviksølv, ere meget slette Varmeledere. Dette kan for Vands Vedkommende vises saa-ledes: I et Reagensglas med Vand bringer man lidt af Vandet ved Bunden til at fryse; man kan da bringe Vandet ved Over-fladen i Kog, uden at der spores nogen Smeltning af Isen.

Luftarterne ere ligeledes meget slette Varmeledere. Her-paa grunder det sig, at fintdelte Legemer af slet ledende Sub-stanser ere i særlig Grad slette Varmeledere, naar de ere saa tætte, at den i smaa Rum indesluttede Luft ikke kan komme i Strømninger. Eksempler paa saadanne Legemer ere Fjer (Dyner), Uld, Savspaaner, Tørvesmuld etc. Hvor det gælder om at bevare noget imod en Opvarmning eller en Afkøling, omgives det med saadanne slette Varmeledere (Klæder, Is-huse, Halm om Pumper og Planter, Kogning i Hø).

47. Naar et Legeme har en højere Temperatur end sine Omgivelser, vil det efterhaanden blive afkølet, idet det mister Varme, saavel ved Straaling som ved Ledning som ogsaa ofte ved Strømninger i Luften eller i Vædske. Naar Temperatur-

forskellen imellem Legemet og Omgivelserne ikke er meget stor, gælder den Newton'ske Afkølingslov: Varmetabet i en Tidsenhed er proportional med Temperaturforskellen.

Noget lignende gælder selvfølgelig ogsaa om Varmetilførselen til et Legeme, der er koldere end sine Omgivelser. Ved Fjord's Forsøg over det daglige Svind i Ishuse har denne Lov fundet en Stadfæstelse i det store, idet det daglige Svind viste sig i det væsentlige at følge den daglige Middeltemperaturs Gang.

V. Smeltning og Størkning.

48. Et Legeme siges at smelte, naar det gaar fra fast Tilstand over til flydende Tilstand.

Naar et Legeme skal smelte, maa det først opvarmes til en vis, af Legemets Beskaffenhed afhængig Temperatur, Smeltepunktet, og derefter skal der yderligere tilføres Legemet Varme, for at Smeltningen skal gaa for sig.

Smeltepunktet er højst forskelligt for de forskellige Legemer: Is smelter ved 0° , Kviksølv ved $\div 39^{\circ}$ (det er altsaa under almindelige Forhold flydende), Svovl ved 115° , Tin ved 235° , Bly ved 335° , Sølv ved ca. 1000° , Støbejern ved $11-1200^{\circ}$, Smedejærn ved $15-1600^{\circ}$, Platin ved ca. 2000° . Undertiden skal der altsaa meget høje Temperaturer til for at faa Legemerne smeltede. Den højeste Temperatur har en kraftig, elektrisk Flammebue ($4-5000^{\circ}$), derefter Kulilte, Brint eller Gas, som brænder i Ilt ($2500-3000^{\circ}$).

Rent Kulstof kan ikke smelte. En Del Legemer, som Stenkul, Træ o. s. v. forandres kemisk ved Opvarmning, før der indtræder nogen Smeltning, men nogle af disse Legemer har man dog kunnet smelte ved at indslutte dem i en lille Metal- eller Porcellænsbeholder, som saa udsættes for stærk

Ophedning; noget af Stoffet vil da dekomponeres, men de derved dannede Luftarter udøve et stærkt Tryk paa den tilbage værende Del af Stoffet og forbynde derved dennes Dekomposition, saa at en Smeltning er mulig.

Naar et flydende Legeme afkøles, vil det begynde at blive fast, at størkne (fryse), ved den Temperatur, ved hvilken det faste Legeme blev flydende; Størkningspunktet er altsaa lig Smeltepunktet.

49. Metallegeringer smelte hyppig ved en Temperatur, der er lavere end nogen af Bestanddelenes Smeltepunkt; den Rose'ske Legering (2 Dele Vismuth, 1 Del Tin og 1 Del Bly) smelter endog ved 94° , altsaa ved en Temperatur, der er lavere end Vandets Kogepunkt. Smede- og Støbejern indeholde Kulstof, som er usmelteligt; men Støbejern, som indeholder mest Kulstof, smelter ved den laveste Temperatur. Undertiden spaltes en Legering, naar den skal smelte, i en letsmelteligere Del, som smelter ved en lavere, og en tungtsmelteligere Del, som smelter ved en højere Temperatur. Omvendt ved Størkningen.

Hvad der finder Sted ved Metallegeringer, finder ogsaa ofte Sted ved andre Blandinger; saaledes fryser Saltvand ved en Temperatur, der er under 0° og er desto lavere, jo mere Salt Vandet indeholder. For hver Procent Kogsalt, Vandet indeholder, synker Smeltepunktet ca. $0,6^{\circ}$; en mættet Kogsaltopløsnings Frysepunkt ligger ved $\div 21^{\circ}$.

Is af Saltvand har en anden Sammensætning end Vandet, idet det langtfrå indeholder en saa stor Procentmængde Kogsalt, og det Kogsalt, som forefindes i Isen, indeholdes i det Vand, som er indesluttet i Isens Porer. Vil man vinde Kogsalt af Havvand, kan man derfor først lade det fryse, saa at der danner sig en tyk Isskorpe paa Vandet; den tilbageværende Vandmasse er da en mere koncentreret Kogsaltopløsning, hvorefter Kogsaltet kan vindes ved Inddampning.

Ofte hænder det, at et flydende Legeme kan afkøles under Smeltepunktet, uden at det størkner, men det maa da holdes rolig under Afkølingen; ryster man det derefter, eller lader man lidt af den faste Substans komme i Berøring med Vædsken, vil Størkningen begynde at indtræde, og samtidig

stiger Temperaturen til Smeltepunktet. Saaledes kan Svovl, hvis Smeltepunkt som ovenfor nævnt er 115° , holdes flydende helt ned til ca. 20° .

Vand viser et lignende Forhold, men det maa da helst først ved Kogning være befriet for al absorberet Luft, og Afkølingen bør ske, medens Vandet ikke er i Berøring med Luften, altsaa enten i et lufttomt Rum eller med et Olielag paa Vandet. Dette kan da afkøles ned imod $\div 20^{\circ}$ uden at fryse til Is, men rystes Vandet saa lidt, vil Frysningen begynde, og Temperaturen stiger til 0° .

Ogsaa for Saltvand gælder dette Phænomen; hvis nu den Temperatur, ved hvilken Saltvand har sin største Tæthed, ligger under Frysepunktet — hvad der kan finde Sted — saa kan man dybt under Havvandets Overflade have et roligt Vandlag ved denne Temperatur; men kommer der saa Bevægelse i Vandet, vil det fryse, og den derved dannede Is, »Bundisen«, stiger tilvejs.

50. Smeltning- og Størkningsvarme. Naar et Legeme først er opvarmet til Smeltepunktet, og der saa yderligere tilføres det Varme, vil det, som nævnt, smelte; medens Smeltningen staar paa, vil Temperaturen holde sig uforandret paa det samme Punkt, indtil hele Legemet er smeltet; først da stiger Temperaturen, hvis Varmetilførselen vedbliver.

Man lærer heraf, at al den under Smeltningen tilførte Varme er medgaaet til Smeltningprocessen, til at give Legemets Molekyler de Stillinger og Bevægelser, der betinge den flydende Tilstand. Der forbruges altsaa Varme ved Smeltningen; man siger ogsaa, at Varmen bindes, og at den ved Smeltningen forbrugte Varme findes i bunden eller latent Tilstand i den flydende Masse.

Ved et Legemes Smeltningensvarme forstaas den Varmemængde, der kræves til Smeltning af 1 Kilogram af Legemet, naar dette iforvejen har Smeltepunktets Temperatur.

Isens Smeltningensvarme er 80 Varmeenheder. Dette kan vises saaledes: 1 Kgm. Is ved 0° bringes ned i 1 Kgm. Vand ved 80° , og efter nogen Tids Forløb har man 2 Kgm. Vand

ved 0° ; Isen er smeltet og har dertil forbrugt den Varmemængde, som Vandet har mistet, hvilken Varmemængde er 80 Varmerenheder.

Medens et Legeme størkner — hvilket jo sker, naar det er afkølet til Smeltepunktet, og der yderligere berøves det Varme — vil Temperaturen holde sig uforandret, og først synke, naar hele Massen er størknet. Heraf lærer man, at der udvikles Varme ved Størkningen; det er den ved Smeltningen »bundne» Varme, som nu bliver »fri» og hindrer Thermometret i at synke.

Det er ogsaa let at vise, at der ved Frysning af 1 Kgm. Vand udvikles 80 Varmerenheder. Lad os antage, at vi paa den i 49 nævnte Maade afkøle 8 Kgm. Vand til f. Eks. $\div 15^{\circ}$; derpaa rystes det, noget Vand fryser, og Temperaturen stiger til 0° . Til at opvarme 8 Kgm. Vand fra $\div 15^{\circ}$ til 0° , kræves der $8 \cdot 15 = 120$ Varmerenheder, og denne Varmemængde maa være udviklet ved Vandets Frysning; der er frosset $1\frac{1}{2}$ Kgm. Vand, saa at der ved hvert Kgm. Vands Frysning er udviklet 80 Varmerenheder.

51. Smeltningens varmens Bestemmelse. Et Legemes Smeltningensvarme kan i Almindelighed findes ved følgende Fremgangsmaade. Er Legemet fast under almindelige Forhold, opvarmes det til en Temperatur T_1° , der er højere end Smeltepunktet T° ; derpaa bringes det hurtigt ned i et Vandkalorimeter. Legemets Temperatur vil da først synke fra T_1° til T° , derpaa vil Legemet størkne, og naar dette er sket, vil den faste Masse blive afkølet fra T° til Kalorimetrets Blandings-temperatur t_1° ; under disse tre Forandringer vil Legemet afgive Varme til Kalorimetret, og er Legemets Vægt P Kgm., dets Varmefylde i flydende Tilstand c_1 , i fast Tilstand c_2 , og endelig dets Smeltningensvarme S , saa afgivet Legemet ialt

$$Pc_1(T_1 - T) + PS + Pc_2(T - t_1) \text{ Varmerenheder.}$$

Vægten af Vandet i Kalorimetret være p Kgm., Vandværdien v , og Kalorimetrets Begyndelsestemperatur t° ; man har da, naar der bortses fra Korrektionen paa Grund af Varmetabet til Omgivelserne:

$$Pc_1(T_1 - T) + PS + Pc_2(T - t_1) = (p + v)(t_1 - t).$$

Af denne Ligning findes S , naar c_1 og c_2 ere bekendte. Men kendes c_1 og c_2 ikke, kan man anstille Forsøget to Gange til med andre Temperaturer; man faar da ialt 3 Ligninger af ovennævnte Form, og heraf kunne S , c_1 og c_2 findes.

Dersom Legemet er flydende under almindelige Forhold, afkøler man det til en Temperatur, der er lavere end Smeltepunktet; Legemet er derved kommen over i fast Form og bringes saaledes ned i Kalorimetret. Dette bliver nu afkølet, og den Varme, det mister, forbruges til Opvarming af Legemet i fast Form, til dets Smeltning og til dets Opvarming i flydende Tilstand. Regningen er iøvrigt som ovenfor.

Metoden forudsætter, at Legemet ikke, hverken i fast eller flydende Tilstand, angribes af Vandet. Angriber Vandet Legemet, maa dette være indesluttet i en Metalbeholder, som ikke angribes af Vandet, og som maa tages med i Regning.

Is har større Smeltningsvarme end noget andet Legeme; Zinks Smeltningsvarme er ca. 28, Blyets ca. 5 Varmeenheder. — Naar Vand fryser, gaar dette forholdsvis langsomt fremad, thi den ved Frysningen udviklede store Varmemængde skal først bortledes.

Nogle Legemer, f. Eks. Voks, Glas, Smør, Smedejærn, gaa ved Opvarmning gradvis over til den flydende Tilstand, idet de blive bløde og det desto mere, jo nærmere de komme til den egentlige Smeltning. Derfor kan man ælte Smør og Voks, sammensveise Smedejærnsstykker og blæse Glas. Varmebindingen begynder for saadanne Legemers Vedkommende tidligere end ved den egentlige Smeltning. Andre Legemer, f. Eks. Is, Stearin, Svovl, Støbejærn, smelte derimod uden først at blive bløde.

52. Rumfanget under Smeltningen. De fleste Legemer udvide sig ved Smeltningen (trække sig sammen ved Størkningen), men der gives herfra en Del Undtagelser. Til Undtagelserne hører Is, idet 1 Kubikfod Is ved Smeltning bliver til ca. 0,92 Kfd. Vand; Isens Vægtfylde er 0,92, hvorfor det flyder ovenpaa Vandet, hvilket spiller en stor Rolle i Naturen, idet Søers Bundfrysning derved forhindres. At Vand ud-

vider sig, naar det fryser, kan man se ved at fylde en Flaske helt med Vand, lukke tæt med en Prop og saa udsætte Flasken for stærk Frost; naar Vandet da fryser, sprænges Flasken. Fugtig Muldjord smuldrer hen i Frostvejr; Klippestykker kunne sprænges ved Frysning af det Vand, der har samlet sig i Revnerne. Støbejern forholder sig som Isen; naar det flydende Jern størkner, udvider det sig og vil altsaa helt kunne udfylde en Forms enkelte Dele.

Undertiden indtræder der nogle særlige Rumfangsforandringer under eller i Nærheden af Smeltningen. Den før nævnte Rose's Legering udvi-

der sig regelmæssig indtil $43,7^{\circ}$, men derpaa trækker den sig sammen, indtil dens Rumfang ved $68,7^{\circ}$ naar et Minimum, som er mindre end Rumfanget ved 0° ; derpaa udvider den sig igen stærkt, men ved Temperaturer, der ligge over 100° , udvider den sig ganske som under $43,7^{\circ}$.

Fig. 31 giver et Billede af disse Forhold; Abscisserne ere Temperaturerne, Ordinaterne ere Forøgelse*rne* i Rum-

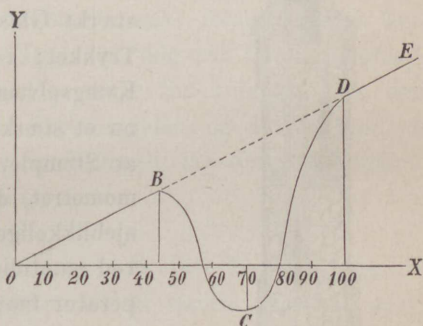


Fig. 31.

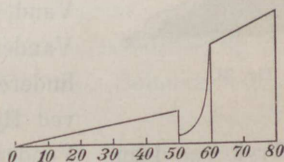


Fig. 32.

fang. Stearin, som smelter ved 60° , udvider sig regelmæssig indtil 50° ; ved denne Temperatur trækker det sig pludselig sammen og udvider sig derpaa stærkt fra 50° til 60° (Fig. 32).

53. Smeltepunktets Forandring ved Tryk. Udover man store Tryk paa Is, saa synker dets Smeltepunkt lidt; der skal omtrent 130 Atmosfærers Tryk til for at sænke Smeltepunktet 1° . Denne Sænkning af Smeltepunktet er iagttaget paa forskellig Maade.

Fyldes stærke Jærnbomber helt med Vand og lukkes tæt, skal der en meget stærk Afkøling til for at faa Bomberne sprængte; samtidig med Sprængningen trykkes Isen ud, saa at det er sandsynligt, at Vandet først fryser i Sprængningsmomentet.

Will. Thomson har til Forsøg over denne Sag benyttet et Ørsted's Sammentrykningsapparat (Fig. 33), som var halvt fyldt med Is, der blev holdt nede af en Blyring, og Resten var fyldt med Vand; i Isen var der stillet et Thermometer *N*, som var omgivet af et stærkt Glasrør for at kunne modstaa Trykket; i Vandet fandtes et lukket Kvægsølvmanometer *M*. Udøves der nu et stærkt Tryk paa Vandet derved, at Stemplet skrues nedad, vil Thermometret, der jo altid maa angive det øjeblikkelige Smeltepunkt, synke Noget; ved samtidig at aflæse Tryk og Temperatur faar man en Tabel over Isens Smeltepunkter ved forskellige Tryk.

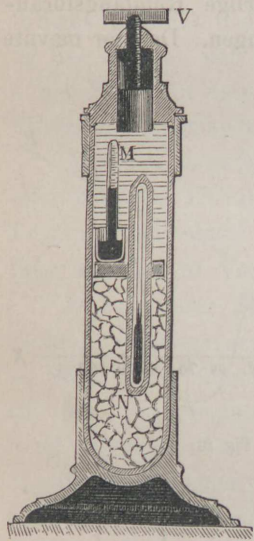


Fig. 33.

En Staalcylder fyldes helt med Vand, og en Mønt lægges paa Bunden; Vandet bringes til at fryse, og Cyllinderen lukkes foroven med en Skrue, ved Hjælp af hvilken man udøver et stærkt Tryk paa Isen. Vender man saa op og ned paa Cyllinderen og tager Skruen ud, viser det sig, at Cyllinderen ligesom før er fyldt med Is, men Mønten er nu i Berøring med Skruen, saa at det er aabenbart, at Isen har været smeltet under Indflydelsen af det stærke Tryk, men er frosset igen, da Trykket ophørte.

Is viser endvidere det ejendommelige Forhold, at naar to vaade Isstykker trykkes imod hinanden eller blot berøre hinanden, saa fryse de sammen, selv ved en Temperatur, der er over 0° , f. Eks. i varmt Vand. Dette af Faraday iagttagne Fænomen kaldes Isens Regelation. — Derfor kan

man kun lave Snebolde af Tøsne, ikke af Frostsne, som her-til vilde kræve meget store Tryk.

Bringer man Isstykker imellem to Forme af Træ, i hvilke der er Fordybninger som Kuglesegmenter, og presser Formene stærkt imod hinanden, finder man ved at aabne Formen en Linse af klart Is (Tyndall).

Naar man lægger en Metaltraad over en Isblok ved 0° og belaster Traaden i dens Ender med to store Vægte, saa skærer Traaden sig langsomt igennem Isen, men de adskilte Stykker fryse straks sammen igen, saa at det kan være vanskeligt nok at se, hvor Overskæringen har fundet Sted.

Men ikke alene Isens Smeltepunkt forandres ved Tryk, det samme gælder for alle Legemer, dog paa forskellig Maade: de Legemer, som udvide sig under Smeltningen, faa deres Smeltepunkt hævet ved en Trykforøgelse, og de Legemer, som trække sig sammen under Smeltningen, faa deres Smeltepunkt sænket ved en Trykforøgelse.

54. Opløsningsvarmen. Et fast Legeme kan blive flydende paa to Maader: enten ved at smelte eller ved at opløses. Naar et Legeme opløses, sker dette, fordi der er en større Adhæsion imellem Legemets og Vædskenes Molekyler, end der er Cohæsion i det faste Legeme. Til Legemets Opløsning maa der nu aabenbart forbruges Varme, og dette viser ogsaa Erfaringen. Opløses Kogsalt, Salmiak etc. hastig i Vand, synker dettes Temperatur.

Ved et Legemes Opløsningsvarme forstaas den Varmemængde, som maa tilføres den Vædske, hvori 1 Kilogram af Legemet opløses, for at forhindre Temperaturen fra at synke. Opløsningsvarmen er imidlertid noget afhængig af Væskemængden, hvori Opløsningen sker, og afhænger tillige af Temperaturen, idet den i Reglen aftager, naar Temperaturen vokser.

Varmeforbruget ved et Legemes Opløsning kan være saa stort, at det kan benyttes til Frembringelse af kunstig Kulde, de saakaldte Kuldeblandinger. Opløses saaledes 1 Del Salmiak i 2 Dele Vand, synker Temperaturen ca. 18° ; opløses Sne eller Is i fortyndet Svovlsyre, kan Temperaturen

synke til ca. $\div 50^{\circ}$. Blandes Kogsalt og Sne eller stødt Is sammen, kan Temperaturen synke til $\div 21^{\circ}$ (1 Del Kogsalt og 3 Dele Sne), hvilket er den mættede Saltopløsnings Frysepunkt, og lavere kan Temperaturen naturligvis ikke komme; her medgaar der Varme baade til Isens Smeltning og til Saltets Opløsning. 2 Dele krystalliseret Klorkalcium og 1 Del Sne give $\div 42^{\circ}$.

VI. Fordampning og Fortætning.

55. Et Legeme siges at fordampe, naar det gaar over i den luftformige Tilstand. Baade faste Legemer og Vædsker kunne fordampe, hvilket ofte kan ses deraf, at de formindskes i Vægt ved i længere Tid at henligge eller henstaa i Luften. Legemer, der let fordampe, kaldes flygtige.

Fordampning af Kamfer, Moskus, mange Metaller etc. kan iagttages derved, at de lugte. Isens Fordampning ses af, at man kan tørre Tøj i Frostvejrr.

I det følgende betragte vi væsentlig Fordampning af Vædsker.

56. En Vædske kan fordampe ved enhver Temperatur. Lidt Vand, der henstaar i en flad Skaal, vil efter nogen Tids Forløb være borte; det er i Luftform gaaet over i Atmosfæren. Eau de Cologne, Æther fordampe let. Ogsaa Kviksølv fordamper under almindelige Forhold og ved betydelig lavere Temperaturer; man kan se dette ved at hælde lidt koldt Kviksølv i et langt Glasrør, hvor der noget højere oppe sidder en Ring af Svovl; efter nogen Tids Forløb er baade Svovlet og Kviksølvet blevet sort af Svovlquiksølv, saa at de begge maa have fordampet.

Fordampningen fremmes ved at formindskes Luftens Tryk paa det fordampende Legeme, men navnlig ved at forøge Temperaturen.

57. Kogning. I Almindelighed foregaar Fordampningen kun fra Overfladen; men opvarmer man stadig Vædsken, vil man naa til en Temperatur, ved hvilken der begynder at danne sig Dampbobler paa det Sted af Karret, hvor Varmetilførselen sker, altsaa som oftest ved Karrets Bund; fortsættes Varmetilførselen, vil der stadig danne sig nye Dampbobler, som stige igennem Vædsken op til Overfladen, hvor de forlade Vædsken. Denne siges da at koge.

Saalænge Kogningen staar paa, holder Temperaturen sig uforandret, hvoraf man lærer, at al den Varme, der under Kogningen tilføres Vædsken, forbruges til Dampdannelsen. Vi have altsaa her et til Smeltningen svarende Fænomen.

Betingelsen for, at Kogningen skal indtræde, er altsaa den, at Dampene, der udvikles nede i Vædsken skulle udøve Tryk nok til at overvinde 1) Vædskens Vedhængning ved Karret, 2) den overliggende Vædskesøjles Vægt og 3) Trykket paa Vædskens Overflade. Jo større disse Hindringer ere, desto højere maa Dampenes Temperatur være, for at de skulle kunne overvinde dem. Vand, der staar til en stor Højde i et Kar skal have en højere Temperatur for at komme i Kog, end Vand, der staar lavt. — I et Glas-
kar begynder Kogningen ved en højere Temperatur end i et Metalkar paa Grund af den større Vedhængning til Karvæggen.

Medens en Dampboble stiger op igennem den kogende Vædske, formindskes det Tryk, der hviler paa den; den vil altsaa udvide sig, men bliver derved afkølet og det desto mere, jo nærmere den kommer Overfladen. I det Øjeblik, Dampboblen forlader Vædsken, er dens Tryk lig Trykket paa Vædskeoverfladen, og den Temperatur, den har i dette Øjeblik, afhænger derfor ene og alene af Trykket paa Overfladen.

58. Ved en Vædskes Kogepunkt forstaar man Temperaturen af Dampene, der forlade den kogende Vædske. Kogepunktet afhænger da som nævnt ene og alene

af Trykket paa Vædskens Overflade og varierer med dette, saaledes at Kogepunktet stiger, naar Trykket vokser, og omvendt. En Vædske kan derfor komme til at koge ved højst forskellige Temperaturer, naar man blot indretter Trykket paa Vædskeoverfladen derefter.

Ved normalt Lufttryk (760^{mm}) koger Vand ved 100°, Kviksølv ved 357°, Vinaand ved 78½°, Æther ved 35°. — Ved 2 Atmosfærers Tryk koger Vand ved 121°, ved 15 Atmosfærers Tryk ved 200°; ved ¼ Atmosfæres Tryk sker Kogningen ved 64°.

En Vædske kan ikke have en Temperatur, der er større end Kogepunktet for det Tryk, som Vædsken er underkastet. Har man f. Eks. Vand ved 100°, og man formindsker Lufttrykket til ¼ Atm. Tryk, vil Vandet komme i livligt Kog, og Temperaturen vil synke til 64°, selv om man vedbliver at fyre under; ved denne Temperatur kan man saa holde Vandet, naar man blot sørger for at bortpumpe Dampene, saaledes at Trykket ikke vokser.

Naar der er opløst Salte i Vand, vil et Thermometer, som anbringes i Opløsningen, medens den koger, vise en Temperatur større end den, rent Vand har, og jo større Saltprocenten er, desto højere Temperatur har den kogende Vædske. Anbringes et Thermometer derimod i Dampene fra den kogende Vædske, viser det 100°; dette hidrører dog fra, at der slaar sig nogen Vanddamp ned som Vædske paa Thermometerkuglen, og dette rene Vand fordamper saa igen; hindrer man denne Fortætning af Dampene ved at opvarme Thermometret, før det kommer ned i Dampene, saa viser det en Temperatur, der er højere end 100°, men som dog ikke naar den kogende Vædskes Temperatur.

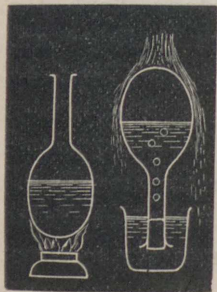


Fig. 34.

59. Kogning ved lavt Tryk og altsaa ved forholdsvis lav Temperatur kan ske paa følgende Maade. Vandet i en Kolbe bringes i Kog og holdes i Kog, indtil al Luft er uddreven; derpaa slaas en Prop i Kolbens Hals, Kolben vendes om, og dens Halsmunding bringes ned under Vand, for at der ingen Luft skal trænge ind. Derpaa hældes koldt

Vand ned over Kolben, hvorved Dampene i dens øverste Del tildels fortættes, og naar Trykket paa den Maade er formindsket tilstrækkelig, kommer Vandet i livligt Kog.

Har man lunkent Vand i en Kolbe og ved Hjælp af en Luftpumpe udpumper Luften, kan Vandet derved bringes i Kog.

Pulshammeren (Fig. 35) er et Glasrør, hvortil der er udblæst 2 Kugler, *A* og *B*; i Apparatet findes Vinaand og Vinaandsdampe, men ingen

atmosfærisk Luft; det er blevet gjort lufttomt paa den Maade, at Vinaanden blev bragt i Kog, førend Røret



Fig. 35.

holder nu Apparatet i den

i Figuren viste Stilling (Røret vandret, Kuglerne opadvendte) og lægger en Haand om den ene Kugle, f. Eks. *A*. Ved Haandens Varme udvikles der flere Dampe over Vinaanden i *A*; disse Dampe trykke paa Vædsken, som derfor synker i *A* og stiger i *B*; tilsidst er al Vædske bragt over i *B*, og derpaa bobler der Vinaandsdampe op igennem Vædsken i *B*. Man har altsaa bragt Vinaanden i Kog ved Haandens Varme.

60. Kogning ved højt Tryk, altsaa ved forholdsvis høj Temperatur, finder Sted i Papins Gryde (Fig. 36).

Denne bestaar af en stærk Jærngryde med paaskruet Laag *AB*, som bærer en Sikkerhedsventil: Laaget har et Hul, der er dækket med en tætsluttende Plade eller Prop *P*, som trykkes ned imod Aabningen ved Hjælp af et Vægtlod *Q*, der i Reglen virker paa den lange Arm *ac* af en enarmet Vægtstang, der har sit Hvilepunkt i *a* og ved *b* hviler paa *P*. Opvarmes nu den Vædske, som er indesluttet i Gryden, vil Temperaturen stadig stige,

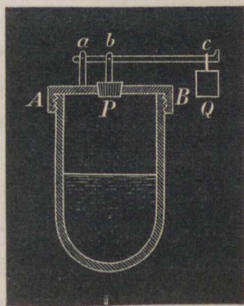


Fig. 36.

og Dampene fra Vædsken blive i Rummet over denne og forøge stadig Trykket; men naar Trykket er blevet saa stort,

at det netop kan løfte P , saa indtræder Kogningen, og denne fortsættes derpaa under det Tryk, der udøves paa P .

61. Hypsometret. Kogepunktets Variation med Lufttrykket har man benyttet til Højdemaalinger, idet en Vædskes Kogepunkt maa ligge desto lavere, jo højere man kommer tilvejs. Som Vædske tages Vand, og det Apparat, Hypsometret, der benyttes, er i det væsentlige som det i Fig. 4 afbildede Apparat. Man har fundet, at Højdeforskellen imellem to Steder omtrentlig kan sættes lig $294 (t_1 - t_2)$ Meter, naar t_1 og t_2 ere Kogepunkterne paa de to Steder. Thermometrene maa være meget fintmærkende.

62. Overhedning af en Vædske. Naar man i nogen Tid har ladet Vand koge, og man derpaa afkøler det, medens det er ude af Berøring med Luften, f. Eks. ved at bedække det med et Olielag, saa vil en Kogning ikke igen indtræde, naar Vandet opvarmes til 100° . Det maa ophedes betydelig mere, inden der finder en Kogning Sted, ja man har endog kunnet opvarme det til 200° , uagtet Trykket paa Vandet kun er 1 Atmosfære; indtræder saa Kogningen, sker det eksplosionsvis. Det fremgaar heraf, at den i Vandet indeholdte Luft spiller en Rolle ved Kogningsfænomenet, hvad der ogsaa er rimeligt, thi Dampboblen kan, naar der er Luft i Vandet, ganske simpelt dannes paa den Maade, at en lille Luftmængde optager i sig Damp fra Vædsken, og dette er Begyndelsen til Dampboblens Dannelse; men mangler der Luft, saa skal Dampen sønderrive Vandets Dele, for at Boblen kan dannes, altsaa overvinde Sammenhængskraften, og dertil kræves der et større Tryk og altsaa en højere Temperatur. Det viser sig ogsaa, at naar man bringer fintdelte eller porøse Legemer ned i en overhedet Vædske, saa indtræder Kogningen straks, og Temperaturen synker ned imod det almindelige Kogepunkt; de omtalte Legemer virke ved de Lufthinder, som sidde paa dem. Dampene fra det kogende Vand have dog altid en Temperatur, der alene afhænger af Trykket paa Overfladen.

63. Mættet og ikke mættet Damp. Et Rum siges at være mættet med Damp, naar det under de tilstede værende Forhold — d. e. det tilstede værende Tryk og den tilstede værende Temperatur — ikke kan optage mere Damp.

Mætningen viser sig derved, at der i Rummet bliver Vædske tilbage, som ikke kan fordampe.

Forøges Temperaturen af eller formindskes Trykket paa mættet Damp, saa kan Rummet optage mere Damp, før det bliver mættet. Formindskes derimod Temperaturen eller forøges Trykket, saa kan Rummet ikke mere indeholde al Dampen, og en Del af den fortættes til Vædske — saa meget, at Rummet nu bliver mættet under de nye Forhold.

64. Ikke mættet (overhededet) Damp forholder sig ganske som Luftarterne. At ikke mættet Damp følger Mariottes Lov kan vises ved et Apparat som det i Fig. 37 afbildede: i et Kar med Kviksølv er der nedsat to Barometerrør; det ene af disse er længere end det andet, og Karret har en saadan Form, at det længere Rør kan sænkes i Karret. Barometerrørene ere oprindelig fyldte med Kviksølv, og over dette er et lufttomt Rum; nu lader man lidt Vand stige op i det lange Rør; saa snart det da kommer op i det tomme Rum vil det fordampe, hvilket sker i et Øjeblik, og man ser, at Kviksølvet i Røret synker; der bringes ikke mere Vand op i Røret, end at det altsammen fordamper. Paa en Inddeling fraoven og nedefters langs det længere Rør kan Dampens Rumfang v aflæses, og dens Tryk maales ved den lodrette Afstand ab imellem Kviksølvoverfladerne i de to Rør. Sænkes nu det lange Rør lidt, vil Kviksølvoverfladen deri ogsaa synke lidt, saa at vi faa et mindre Rumfang v_1 af Dampen, men et større Tryk ac , idet Punktet c er i Højde med den nye Overflade i Røret. Hæves Røret derimod, vil Kviksølvet stige noget (dog kan det aldrig stige saa højt som til a), og vi faa et større Rumfang v_2 , men et mindre Tryk ad , idet nu d er i Højde med Overfladen i Røret. Følger nu Dampen Mariottes Lov, skal man have

$$v \cdot ab = v_1 \cdot ac = v_2 \cdot ad,$$

og dette vil ogsaa omtrentlig slaa til.

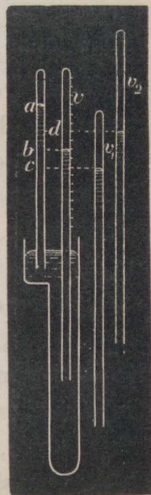


Fig. 37.

Endvidere udvider umættet Damp sig ved Opvarmning med en Udvidelseskoefficient, der er c. $0,003665 = \frac{1}{273}$, ligesom Luften. Dette kan man undersøge ved først at omgive det lange Rørs øverste Del med stødt Is og aflæse saavel Dampens Rumfang som dens Tryk; derpaa opvarmes det lange Rør til en bekendt Temperatur (Apparatet anbringes i et Vandbad), og naar der er kommen Ligevægt tilstede, hæves Røret, indtil der er den samme lodrette Afstand imellem Kvægsølvoverfladerne i de to Rør, som der var ved 0° ; Rumfanget aflæses da, og Udvidelseskoefficienten kan da let findes.

65. Mættet Damp. Naar man sænker det lange Rør i det i Fig. 37 afbildede Apparat, saa at Dampens Rumfang bliver mindre, Trykket derimod større, saa vil man finde stedse større Afvigelser fra Mariottes Lov, og tilsidst naar man en Stilling, ved hvilken Kviksølvoverfladen bliver staaende stille, selv om Røret yderligere sænkes (dette sker ved 15° s Temperatur allerede ved en lodret Afstand imellem Kviksølvoverfladerne paa c. $12\frac{1}{2}^{\text{mm}}$). Samtidig ser man, at der er kommen lidt Vand ovenpaa Kviksølvet, saa at det er aabenbart, at Rummet er blevet mættet med Damp, og man lærer altsaa, at Trykket af mættet Damp er uafhængigt af Dampens Rumfang. Den eneste Forandring, der gaar for sig, naar Røret sænkes dybere, er den, at der dannes lidt mere Vand, og denne Vandmængde formindskes igen, naar man giver sig til at hæve Røret.

Derimod varierer mættet Damps Tryk med Temperaturen, thi naar man opvarmer Røret, synker Kviksølvet, og naar man afkøler det, stiger Kviksølvet; i første Tilfælde bliver Vandmængden formindsket lidt, i sidste forøget lidt; selvfølgelig maa man ikke opvarme saa stærkt, at alt Vandet forsvinder. Mættet Damps Tryk afhænger alene af Temperaturen, og for samme Temperatur udøver Damp sit Maximumstryk, naar den er i mættet Tilstand.

66. Naar et Rum med mættet Damp har forskellige Temperaturer paa forskellige Steder, saa afhænger Trykket altid af den laveste Temperatur. Dette kan man vise ved et Apparat som det, der er afbildet i hosstaaende Figur. I Beholderne *A* og *B* er der noget Æther; dette bringes i

Kog, og Ætherdampene ville derved drive Luften ud igennem det lange Rør *a*. Naar Luften er uddreven, sætter man en Skaal med Kviksølv op omkring Munden af *a*, og derpaa afkøles *A* og *B*, f. Eks. ved at omgives med stødt Is. Kviksølvet stiger da et Stykke op i *a*. Borttages derpaa Isen omkring *A*, og opvarmer man *A*, saa forandres ikke derved Kviksølvets Stilling i *a*; den eneste Forandring, der sker, er den, at Ætheren damper bort i *A* og fortættes igen i *B*.

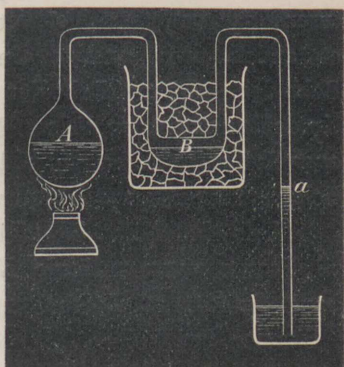


Fig. 38.

67. Maaling af mættede Vanddampes Tryk ved Temperaturer, der ligge under 100° , kan ske ved et Apparat bestaaende af to Barometerrør i en Skaal med Kviksølv. Der bringes saa meget Vand op i det ene Rør, at Rummet over Kviksølvet er mættet, saa at der altsaa ligger lidt Vand tilbage paa Kviksølvet. Trykket aflæses, ligesom ogsaa Luftens Temperatur. Vil man nu finde Vanddampenes Tryk ved højere Temperaturer, f. Eks. ved 40° , saa omgives Barometerrørene med et stort cylindrisk Glas, der stilles i Kviksølvskaalen, og som bliver fyldt med Vand; ved Hjælp af en Ovn opvarmes det Hele til 40° — ved en Omrører sørger man for, at Vandet helt igennem har samme Temperatur; man bestemmer da Dampens Tryk og iagttager Temperaturen (Korrektioner maa anvendes for Kviksølvets Opvarmning). Saaledes kan man fortsætte lige op til 100° ; naar Dampen har denne Temperatur, vil Kviksølvet inde i Røret staa i Højde med Kviksølvet udenfor,

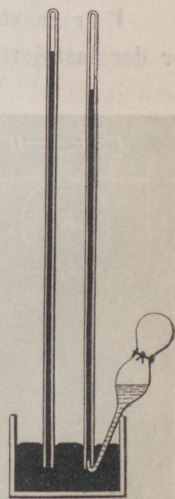


Fig. 39.

saa at mættet Vanddamps Tryk ved 100° er 1 Atmosfære, saaledes som det ogsaa tidligere er nævnt.

Vil man finde Vanddampes Tryk ved meget lave Temperaturer, saa ombyttes blot det Rør, hvori Dampen findes, med et andet, hvis øverste Del er ombøjet og udvidet til en Beholder. Denne Beholder kan omgives med Is eller med Kuldeblandinger, og ifølge 66 er Trykket af den Damp, som er over Kviksolvet, afhængig af den laveste Temperatur i Beholderen. Selv ved meget lave Temperaturer udøver Vanddampe et Tryk.

Hvis det i Fig. 39 afbildede Apparat var blevet anvendt til Forsøg over mættede Vinaandsdampes Tryk, vilde man have fundet, at Kviksolvet vilde staa lige højt i Røret og i Skaalen ved $78\frac{1}{2}^{\circ}$.

68. Trykket af mættet Vanddamp ved Temperaturer, der ligge over 100° , eller — hvad der er det samme — det Tryk, som Vand skal være underkastet, naar Kogepunktet skal overstige 100° , er bestemt af Regnault paa følgende Maade.

V er en stærk Jærnkedel, som indeholder Vand; i Laaget er der fastgjort to Metالرør, som hvert indeholde et Thermo-

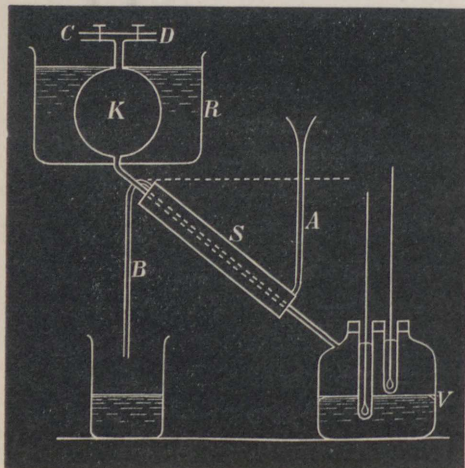


Fig. 40.

meter, omgivet af Olie; det ene gaar ned i Vandet, det andet befinder sig over Vandfladen.

V staaar ved et skraat Rør i Forbindelse med Metalkuglen K, som er omgivet af koldt Vand for stadig at holdes ved samme Temperatur. Fra K fører der to Rør, C og D; det ene fører hen til en

Fortætningspumpe, det andet til et Manometer. Det skraa Rør er omgivet af et Svalerør S, som modtager koldt Vand igennem Røret A, og

dette Vand har Afløb igennem Røret *B* (*A* maa gaa højere op end den øverste Ende af *S*). Ved denne Ordning har man opnaaet, at Dampene fra Vandet i *V*, naar dette opvarmes, straks fortættes i det skraa Rør og løbe tilbage som Vand, saa at de ikke blive i Apparatet som Damp, der stadig forøger Trykket.

Man gaar nu saaledes frem. Man tilvejebringer et vist Lufttryk ved Hjælp af Fortætningspumpen og fyrer under *V*; de to Thermometre stige da, men staa sluttelig stille ved en bestemt Temperatur; man ved da, at Vandet i *V* koger, og saavel Temperatur som Tryk aflæses. Derpaa forøges Lufttrykket, og Thermometrene ses at stige, hvilket tilkendegiver, at Kogningen er ophørt; men efter nogen Tids Stigen staa de atter stille, og man aflæser atter Temperatur og Tryk. Saaledes fortsættes.

Man har bl. a. fundet følgende Tryk ved de vedføjede Temperaturer:

Temp. . . 0° 50° 100° 121° 134° 200°

Tryk . . . $\frac{1}{170}$ $\frac{1}{8}$ 1 2 3 16 Atm. Tryk.

Trykket ses altsaa at stige i et langt stærkere Forhold end Temperaturen; med stor Tilnærmelse er Trykket proportionalt med 4de Potens af Temperaturen.

69. Blanding af Luft og Damp samt af forskellige Dampe. En Vædske kan som bekendt fordampe i Luften, og Atmosfæren indeholder saaledes altid nogen Fugtighed i Form af Vanddamp. Det lader sig nu godtgøre, at det Tryk, som Damp udøver i et luftfyldt Rum, er meget nær lig med det Tryk, som den udøver i et ligesaa stort tomt Rum ved samme Temperatur. Ved Vædskens Fordampning er der den Forskel, at den sker saa at sige øjeblikkelig i et tomt Rum, men derimod tager den i et luftfyldt Rum nogen Tid.

Man kan undersøge denne Sag ved et Apparat, som Fig. 41 viser. *A* er et cylindrisk inddelt Glasrør med Jærnfatninger for-

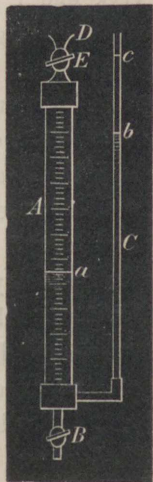


Fig. 41.

oven og forneden; forneden er det i Forbindelse med et andet, aabent Glasrør *C*. Jærnfatningen foroven ender i en Tragt *D*, i hvis Hals der sidder en Hane *E*, som dog ikke har nogen Gennem boring, men kun en lille Fordybning, som ved Forsøgets Begyndelse vender opad. I Rørene *A* og *C* er der Kviksølv, og over Kviksølvet i *A* er der fuldstændig tør Luft; vi ville antage, at Kviksølvets Overflader staa ved *a* og ved *b*. Man hælder da lidt Vand ned i Tragten, Fordybningen i Hanen *E* fyldes dermed, og naar Hanen saa drejes rundt, falder dette Vand ned paa Kviksølvet i *A* og fordampes; dette gentages flere Gange, indtil der bliver lidt Vand tilbage, som ikke fordampes. Under Fordampningen ser man, at Kviksølvet falder i *A*, stiger i *C*, men man hælder, naar Rummet er blevet mættet med Damp, Kviksølv ned i *C*, indtil det i Røret *A* igen staa ved *a*; hvis saa Kviksølvet i Røret *C* staa ved Mærket *c*, vil *bc* angive Trykket af den mættede Damp, og dette vil vise sig at være lig med det Tryk, som mættet Vanddamp udøver i et lufttomt Rum ved den Temperatur, der var tilstede under Forsøget.

Har man altsaa en Blanding af tør Luft og Vanddamp, saa er Blandingens Tryk lig Summen af den tørre Lufts Tryk og Dampens Tryk. Regnault har dog fundet, at Vanddamp i Luften altid udøver et lidt mindre Tryk end i det lufttomme Rum; en Del større er Afvigelsen for mere flygtige Vædskers Vedkommende.

Naar en Blanding af flere Vædsker fordampe i et Rum, indtil dette er mættet med Damp, saa kan der indtræde forskellige Tilfælde. Dersom de to Vædsker ikke kunne blandes med hinanden, men ligge adskilte, saa vil Dampblandingen Tryk meget nær være lig med Summen af de enkelte Dampes Maximumstryk ved den tilstede værende Temperatur; dersom Vædskerne kunne blandes i alle mulige Forhold (Vand og Vinaand), vil Dampblandingen Tryk have en Værdi, der ligger imellem de enkelte Dampes Tryk; og dersom Vædskerne kun kunne blandes i visse Forhold (Vand og Æther), er Dampblandingen Tryk nærmest ved den mest flygtige Vædskes Damptryk.

70. Har man ved Midler, som senere skulle blive omtalte, fundet Trykket f af Vanddampen i Atmosfæren, og Barometerstanden er H , saa er Trykket af den tørre Luft lig $H - f$ (69). 1 Kubikcentimeter af saadan Luft vil da, idet Vanddamps Vægtfylde er $\frac{5}{8}$ af Luftens, veje (17):

$$\frac{a(H-f)}{760(1+\alpha t)} + \frac{\frac{5}{8}af}{760(1+\alpha t)} = \frac{a(H-\frac{3}{8}f)}{760(1+\alpha t)} \text{ Gram,}$$

hvor a er Vægten af 1 Kubikcentimeter tør Luft ved 0° og 760^{mm} Tryk, t er Temperaturen i Luften, og α Luftens Udvidelseskoefficient.

Et Legeme, hvis Vægt er p Gram i det tomme Rum (den sande Vægt), og hvis Rumfang ved 0° er v_0 Kubikcentimeter, vil i Luft af ovennævnte Beskaffenhed veje i Gram

$$p \div v_0 (1 + \beta t) \cdot \frac{a(H - \frac{3}{8}f)}{760(1 + \alpha t)},$$

hvor β er Legemets Udvidelseskoefficient.

71. Dampes Vægtfylde. Denne angives altid i Forhold til den atmosfæriske Luft ved samme Tryk og Temperatur (jfr. Slutningen af 17); man skal altsaa for at finde en Damps Vægtfylde kende Dampens Vægt og Vægten af det samme Rumfang atmosfærisk Luft ved samme Tryk og Temperatur. Bestemmelsen af Dampes Vægtfylde maa ske ved Temperaturer, der ligge noget over Mætningspunktet.

Blandt de forskellige Methodes, der her kunne anvendes, skal nævnes V. Meyer's. Apparatet (Fig. 42) bestaar af en aflang Beholder A af Glas eller Platin, der fortsætter sig i det snævre Rør B med Udvidelsen C foroven; fra C fører det bøjede Rør D ud til Siden, og i Munden af C passer en Kautschukprop. Apparatet anbringes nu i Damp af en kogende Vædske eller i smeltet Bly, saaledes at det faar en høj, konstant Temperatur; naar den varme Luft indenfor har sat sig i Ligevægt med Luften udenfor, fører man Røret D 's Munding ind under Vandet i et Kar og sætter et omvendt, med Vand fyldt, inddelt Glasrør hen over Munden. Derpaa

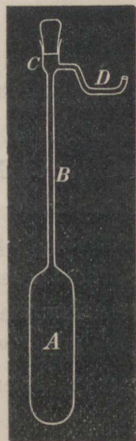


Fig. 42.

lader man en lille Glaskugle, som indeholder en vis Vægt p af den Vædske, hvis Dampe man vil undersøge, falde ned i Apparatet og lukker strax C med Proppen; Glaskuglen gaar da itu, og Vædsken fordamper; derved drives der igennem D nogen Luft ud, som bobler op igennem Maalerøret og trykker Vandet heri et Stykke ned. Ud af Apparatet er der nu aabenbart gaaet en Luftmasse, hvis Rumfang er lig Dampens Rumfang ved det Tryk (Atmosfærens Tryk) og den Temperatur, som findes i Apparatet; men denne Luftmasse har i Maalerøret faaet en anden Temperatur og et andet Tryk, ligesom den her mætter sig med Vanddampe. Man aflæser nu Barometerstanden H , maaler den lodrette Afstand h imellem Vandoverfladen i Maalerøret og i Karret og aflæser Luftens Rumfang v . Den fordrevne Luftmængde er da nu underkastet Trykket $H - \frac{h}{d} - f$, hvor d er Kvægsølvets Vægtfylde, og f er Vanddamps Maximumstryk ved den Temperatur t° , som have*s* i Maalerøret; Vægten af denne Luftmasse er altsaa lig (17)

$$\frac{a v (H - \frac{h}{d} - f)}{760 (1 + \alpha t)} \text{ Gram,}$$

hvor a er Vægten af en Kubikcentimeter atmosfærisk Luft ved 0° og 760^{mm} Tryk. Dampens relative Vægtfylde bliver da

$$\frac{p \cdot 760 (1 + \alpha t)}{a v (H - \frac{h}{d} - f)}.$$

Vanddamps relative Vægtfylde findes at være c. $\frac{5}{8}$.

72. En Vædskes Fordampningshastighed er bestemt ved Mængden af Damp, der i Tidsenheden forlader en Arealenhed af Vædskens Overflade. Fordampningshastigheden er forskellig for de forskellige Vædsker under ellers lige Forhold; den er størst for de mest flygtige Vædsker.

Har man Vand ved T° , som fordamper i et Rum med Temperaturen t° , og er Trykket af Vanddampene i Luften f , Barometerstanden H , saa kan man omtrentlig sætte Fordampnings-

hastigheden lig $k \frac{F_T \div f}{H}$,

hvor k er en Konstant, og F_T mættede Vanddampes Tryk ved den Temperatur, som Vædsken har.

Dersom Vandet har samme Temperatur som Luften, og denne er mættet med Vanddamp, har man $F_T = f$ og faar da af Formlen Fordampningshastigheden 0; d. e. Vandet fordamper ikke.

Gaar der en Luftstrøm henover en Vædskeoverflade, sker Fordampningen livligere; dette hidrører fra, at Luften ligeover Vædsken mætter sig med Damp og derved hæmmer den videre Fordampning; men ved Luftstrømmen føres disse Luftlag bort, saa at der kommer mere dampfri Luft istedetfor, og derved paaskyndes Fordampningen.

73. Varmeforbrug ved Fordampning. Vi have nævnt i 57, at al den Varme, man tilfører en Vædske, medens den koger, forbruges til Dampdannelsen. Denne Varme siges at være bunden ved Fordampningen, og den findes i bunden eller latent Tilstand i Dampene; naar disse atter fortættes til Vædske, udvikles eller frigøres den bundne Varme.

Men ogsaa naar en Vædske fordamper uden at koge, forbruges der Varme, hvorpaa man har mange Eksempler.

En flygtig Vædske, der staar hen i Luften, er paa Grund af Fordampningen altid koldere end Omgivelserne. — Svinger man en vaad Haand rundt i Luften, mærker man en kendelig Afkøling. — Ved at puste paa Overfladen af en flygtig Vædske, fremmer man Fordampningen og dermed Afkølingen. — Vandkølere ere porøse Lerflasker, i hvilket Vand holder sig koldt paa Grund af Fordampningen, der kan finde Sted gennem det porøse Ler.

Vand kan bringes til at fryse ved sin egen Fordampning; dette sker i Wollaston's Kryofor eller Frostflytter (Fig. 43). Denne bestaar af to Glaskugler A og B , forbundne ved et bøjet Rør; inde i Apparatet er der Vand, og al atmosfærisk Luft er bragt ud ved Vandets Kogning, før Apparatet blev tilsmeltet. Alt Vandet bringes nu over i den ene Kugle (A), og den anden (B) sættes ned i en Kuldeblanding; Dampene i B fortættes da, hvorved Trykket paa Vandet i A formindskes, hvilket fremkalder en yderligere Fordampning og dermed en Afkøling. Lader man derfor Apparatet blive staaende i nogen

Tid paa denne Maade, vil der ske en stadig Fortætning af Damp i *B* og en stadig Fordampning af Vandet i *A*; til Slutning er Temperaturen af Vandet i *A* sunket saa meget, at Vandet bedækker sig med en Isskorpe; ogsaa Is fordamper, saa at Isdannelsen bliver ved.

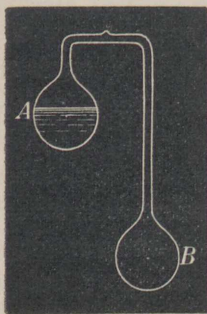


Fig. 43.

Den Mængde Varme, der forbruges til at forvandle 1 Kgm. Vædske til Damp ved samme Temperatur, kaldes Vædskens Fordampningsvarme.

74. Bestemmelse af Fordampningsvarmen og Dampes Varmefylde. Vil man finde en Vædskes Fordampningsvarme, bringer man Vædsken i Kog i en Retort og leder Dampene derfra igennem et Slangørør ned i et Kalorimeter; Slangørøret ender nederst i en Beholder, hvorfra et Rør fører ud i Luften. Kogningen finder da Sted under Luftens Tryk, og et i Retorten nedsat Thermometer angiver Temperaturen T° af de udviklede Damp; naar disse Damp nu træde ind i Slangørøret i Kalorimetret, fortættes de først, hvorved de afgive deres bundne Varme, og derpaa afkøles den dannede Vædske fra T° til Kalorimetrets Blandingstemperatur t_1° , hvorved der atter afgives Varme. Vægten P af den Damp, der er fortættest, finder man ved at veje den Vædske, som er bleven dannet i Slangørøret og opsamlet i Beholderen forneden; er nu Fordampningsvarmen x , Vædskens Varmefylde c , Vægten af Vandet i Kalorimetret p , Vandværdien v , og Kalorimetrets Begyndelsestemperatur t° , saa har man

$$Px + Pc(T - t_1) = (p + v)(t_1 - t),$$

hvoraf x kan findes, naar c er bekendt.

Men vil man nu finde Fordampningsvarmen ved en anden Temperatur end Vædskens Kogepunkt under almindeligt Lufttryk, saa maa det Rør, der fra Slangørøret gik ud i Luften, sættes i Forbindelse med en Fortætnings- eller en Fortyndingspumpe, og naar man da varierer Trykket inde i Apparatet,

saa varierer ogsaa Vædskens Kogepunkt og dermed den Temperatur, ved hvilken Fortætningen sker.

Regnault fandt for Vandets Fordampningsvarme ved t°
 $606,5 - 0,708 t$ Varmeenheder.

Jo højere altsaa Temperaturen er, ved hvilken Vædsken fordamper, desto mindre er Fordampningsvarmen. Vands Fordampningsvarme ved 0° er $606,5$ Varmeenheder, ved 100° derimod 536 Varmeenheder. Vand har større Fordampningsvarme end nogen anden Vædske. Den store Varmemængde, der udvikles ved Vanddamps Fortætning, kan man benytte til Opvarmning, f. Eks. af Vædsker (i Mejerier).

Den Varmemængde, der kræves til at forvandle 1 Kgm. Vand ved 0° til Damp ved t° , er efter Regnault

$$606,5 + 0,305 t$$

idet Vandets Varmefylde ikke er ganske konstant.

Ændrer man det her omtalte Apparat saaledes, at Dampen, førend den træder ind i Kalorimetret, først opvarmes i et Oliebad til en Temperatur, der er højere end den, hvorved Fortætningen sker under det tilstedeværende Tryk, saa vil der i Kalorimetret først afgives Varme, medens Dampene afkøles til Fortætningspunktet, derpaa medens de fortættes, og endelig naar den dannede Vædske afkøles. Apparatet kan da benyttes til at finde Dampes Varmefylde (jfr. 51).

75. Kulde- eller Ismaskiner. Ligesom Varmeforbruget ved faste Legemers Smeltning og Opløsning kan benyttes til Frembringelsen af kunstig Kulde, saaledes gælder dette ogsaa Varmeforbruget ved Vædskers Fordampning; paa dette sidste grunder sig Kulde- eller Ismaskinerne, ved Hjælp af hvilke man tilstræber at afkøle enten Luft eller Vand, sidstnævnte ofte saaledes, at der dannes Is.

Principet ved disse Maskiner er, at man ved en Formindskelse af Trykket over en flygtig Vædske fremkalder en livlig Fordampning og sænker Kogepunktet, der jo er den højeste Temperatur, ved hvilken Vædsken kan existere som saadan. Benyttes f. Eks. Æther, saa har den sit Kogepunkt ved 35° under normalt Lufttryk, men formindskes det Tryk, den er udsat for, til $\frac{1}{10}$ Atm. Tryk, saa ligger dens Koge-

punkt ved $\div 15^{\circ}$; naar man altsaa ved en stadig Bortpumpning af Dampene fra Ætheren sørger for at holde Trykket saa lavt, vil Ætheren stadig vise en Temperatur af $\div 15^{\circ}$. I Kuldmaskinen sker der nu en Kredsproces, saa at man kun behøver en vis Mængde Æther. De Ætherdampe, man pumper bort, blive nemlig ved Hjælp af en Trykpumpe sammenpressede, saa at de igen blive fortættede, og den derved udviklede Varme bliver bortledet af Svalevand. Fig. 44 giver en ske-

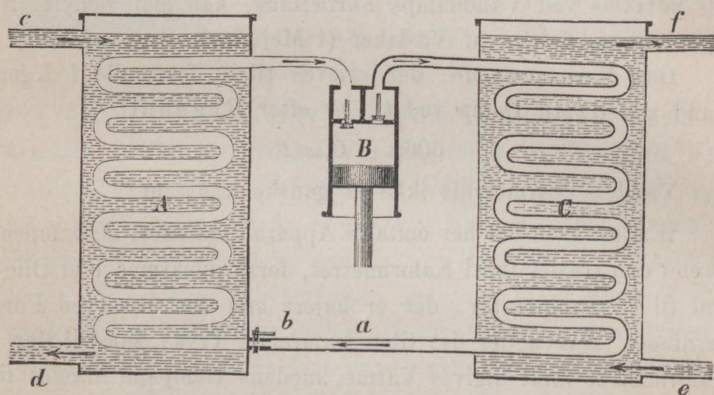


Fig. 44.

matisk Fremstilling af en saadan Maskine: *B* er en Suge- og Trykpumpe; Dampene suges fra de spiralformede Rør i »Kuldewærket« *A* og presses ind i de spiralformede Rør, hvoraf »Fortætteren« *C* bestaar; denne sidste er omgivet af Svalevand, der i en regelmæssig Strøm kommer ind ved *e* og gaar ud ved *f* efter at være opvarmet af den ved Ætherdampenes Fortætning afgivne Varme. Igennem Reguleringshanen *b* strømmer den flydende Æther derpaa over i *A*, hvor den bringes til livlig Fordampning ved det lave Tryk, som her er tilstede; Stillingen af *b* betinger Trykket i *A* og dermed tillige Temperaturen, hvortil der kan afkøles. Det Arbejde, Pumpestemplet har at udføre, afhænger aabenbart af Forskellen imellem Trykket af Ætherdampene i *C* — altsaa Maximumstrykket ved den Temperatur, som Svalevandet har — og Trykket af Ætherdampene i *A*.

Dersom man nu vil bruge Maskinen til at lave Is, saa omgives *A* med en Beholder, hvori der er en Kogsaltopløsning, og heri hænges Metalspande med Vand, hvilket da hurtig fryser til Is. Dersom man derimod kun vil afsvale Vand, lader man dette strømme ind foroven (ved *c*) i Beholderen, som omgiver *A*, og lader det strømme ud forneden (ved *d*); er det Luft, man vil afkøle, lader man Luften bevæge sig i en Strøm i samme Retning ved Hjælp af en Ventilator.

Den her beskrevne Maskine er Siebe's System.

Pictet benytter i sin Maskine Svovlsyring, som under almindelige Forhold er en Luftart, men ved $\div 10^{\circ}$ bliver til Vædske; Svovlsyring har altsaa under normalt Lufttryk sit Kogepunkt ved $\div 10^{\circ}$, og ved et Tryk af 3 Atmosfærer ligger Kogepunktet ved $+ 10^{\circ}$. Naar altsaa Svalevandet holdes ved 10° , saa fortættes Svovlsyringen i *C* ved 3 Atm. Tryk, og sørger man for, at Trykket i *A* kun bliver 1 Atm. Tryk, bliver Temperaturen her $\div 10^{\circ}$. Stemplet arbejder da imod et Overtryk af 2 Atmosfærer.

Linde endelig anvender Ammoniak, en Luftart, som skal afkøles til $\div 40^{\circ}$ for at blive til Vædske; under normalt Lufttryk koger Ammoniak altsaa ved $\div 40^{\circ}$; underkastes Ammoniak et Tryk af 3 Atm., ligger Kogepunktet ved $\div 12^{\circ}$, og ved et Tryk af 6 Atm. ligger Kogepunktet ved $+ 10^{\circ}$. Holdes Svalevandet altsaa ved en Temperatur af 10° , saa fortættes Ammoniakken i *C* ved 6 Atm. Tryk; sørges der for, at Trykket i *A* bliver 3 Atm., saa kan Afkølingen gaa ned til $\div 12^{\circ}$.

I Carré's Ismaskine, hvor der anvendes Ammoniak, frembringes den stærke Fordampning og deraf følgende Afkøling af Ammoniakvædsken ikke ved Hjælp af en Pumpe, men ved Vandets store Evne til at indsuge Ammoniakdampe. Fig. 45 viser Maskinens Indretning. Beholderen *A*

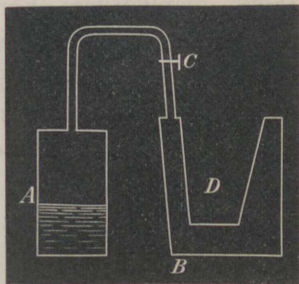


Fig. 45.

staar ved et Rør *C* i Forbindelse med Beholderen *B*, der har dobbelt Væg, saa at den i Midten danner et Kar *D*. I *A* er der Ammoniakvand, og man opvarmer nu *A* ved Hjælp af en Ovn, hvorved Ammoniakken undviger og fylder tillige Beholderen *B*, som er sat ned i koldt Vand. Naar Trykket har naaet et vist Punkt, vil Ammoniakluften i *B* fortættes til Vædske; derpaa tages Ilden under *A* bort, og *A* afkøles, hvorved Vandet genfinder sin Evne til at indsuge Ammoniak, hvorfor Ammoniakvædsken i *B* fordamper livlig, og ved denne Fordampning afkøles en Vædske (Saltvand, Vinaand), der findes i *D*, saa meget, at naar man sætter Metalspande med Vand ned i denne Vædske, saa fryser Vandet til Is.

76. Leidenfrost's Forsøg. Naar man opheder en blank Metalskaal til flere Hundrede Grader og saa hælder en lille Smule Vand derpaa, vil dette Vand ikke udbrede sig i Skaalen, saaledes som naar denne er kold, men det vil lægge sig i en Draabe (i sfæroidal Tilstand), der er i en stadig Bevægelse frem og tilbage i Skaalen. Draaben er ikke i Berøring med Skaalen, og dens Temperatur holder sig nogle Grader under Kogepunktet. At Draaben ikke berører det ophevede Metal, kan man let overbevise sig om ved at tage en Plade i Stedet for en Skaal; man kan da se ind imellem Draaben og Pladen, navnlig naar man holder et Lys paa den anden Side. Aarsagen til, at Draaben ikke er i Berøring med Pladen eller Skaalen, er dels den meget ringe Vedhængning ved den høje Temperatur, og dels Dampudviklingen fra Draaben, thi Dampene paa Draabens Underside holde Draaben svævende over sig. At Draaben fordamper, kan man se deraf, at den stadig formindskes; Varmeforbruget ved denne Fordampning bevirker, at Draabens Temperatur ikke naar Kogepunktet, thi Varmetilførselen fra Pladen er jo ved den manglende Berøring forholdsvis ringe. Lader man Skaalen med Draaben staa og afkøles i Luften, vil Draaben komme i Berøring med Skaalen, naar denne er afkølet til ca. 150° , og Draaben fordamper da med en Eksplosion.

Forsøget kan ogsaa anstilles med andre Vædsker, saaledes med draabeflydende Svovlsyrling. Svovlsyrling er under almindelige Forhold en Luftart, men ved Afkøling til $\div 10^{\circ}$,

bliver den til Vædske; har man altsaa Svovlsyringvædske ved f. Eks. $\div 20^{\circ}$ og hælder lidt deraf i en stærkt ophedet Metalskaal, vil Temperaturen kun stige til ca. $\div 12^{\circ}$ (3: 2 Grader under Kogepunktet), og lidt Vand, som bringes ind i Draaben, vil altsaa fryse. Jo lavere en Vædskes Kogepunkt er, desto lavere Temperatur kan Skaalen have, for at Fænomenet skal lykkes.

Fænomenet kan ogsaa finde Sted i Glas- og Porcellæns-skaale; men det kan her indtræffe, at Skaalen springer, naar den kolde Draabe kommer paa, thi paa det Sted, hvor Draaben falder, sker der en Afkøling, som ikke hurtig udjævnes, naar Skaalen er en slet Varmeleder.

Det omvendte Forsøg kan ogsaa anstilles: glødende Glas, hvidglødende Metalklumper kunne flyttes frem og tilbage i Vand, uden at dette viser nogen Opvarmning; men naar Glas-set eller Metallet er blevet tilstrækkelig afkølet, kommer Vandet pludselig i Kog og kastes af Dampene imod Karrets Sider og ud af Karret.

Til Underlag for Draaben kan man i Stedet for en Skaal ogsaa bruge en anden Vædskes Overflade; saaledes kan Æther holde sig i sfæroidal Tilstand paa varmt Vand, Kviksølv o. s. v.

Paa det her omtalte Fænomen beror det, at man uden Fare kan dyppe Haanden i smeltet Bly eller Jærn og holde paa hvidglødende Jærn; Hudens Fugtighed træder da i Stedet for Draaben ved Leidenfrost's Forsøg.

77. Destillation. Herved forstaas et Legemes Fordampning og en derpaa følgende Fortætning af de udviklede Dampe.

Naar man har en Blanding af to Vædsker, hvoraf den ene er mere flygtig end den anden, kan man adskille dem paa den Maade, at man bringer Blandingen i Kog i et lukket Kar og leder Dampene i et Rør igennem et Svalerapparat (Svalerør eller Svalerønde), hvor de fortættes til Vædske; den

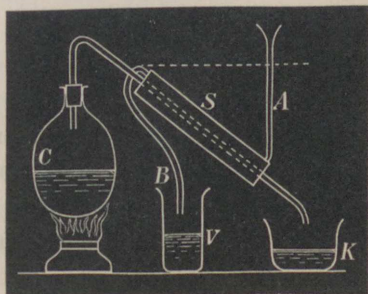


Fig. 46.

flygtigste Vædske har da fordampet livligst, saa at det Produkt, Destillatet, man faar frem ved Dampenes Fortætning, indeholder forholdsvis mere af den flygtigste Vædske, end den oprindelige Blanding gjorde.

Fig. 46 viser Indretningen af et mindre Destillationsapparat. *C* er en Kolbe, hvori den Vædske findes, som skal destilleres; i Kolbens Hals sidder der en Prop, hvori det Rør er befæstet, igennem hvilket Dampene skulle gaa bort og fortættes; Røret gaar derfor skraat nedad og er omgivet af et Svalerør *S*, der faar Tilløb af koldt Vand forneden igennem Røret *A*; medens det har Afløb foroven igennem Røret *B*; ved denne Ordning bliver Fortætningen fuldstændigst. Den ved Dampenes Fortætning frigjorte Varme opvarmer Vandet i Svalerøret, som derfor ofte maa fornyes. Destillatet løber ned i et Kar (*K*).

Paa denne Maade kan man destillere en Blanding af Vand og Vinaand; Destillatet indeholder mindre Vand end den oprindelige Blanding, og ved gentagne Destillationer bliver Vinaanden mere og mere koncentreret; fuldstændig vandfri kan Vinaanden dog ikke blive.

Det i Naturen forekommende Vand kan ogsaa destilleres i et saadant Apparat; Destillatet bliver rent Vand, medens de Stoffer, som vare opløste i Vandet, blive tilbage i Kolben. — Ude i Naturen foregaar der en Destillation i det store ved Havvandets Fordampning og Dampenes Fortætning til Regn.

Naar Dampene fortættes til et fast Legeme i Stedet for til Vædske, kaldes Processen Sublimation (Svovlets Rensning. Vanddampenes Fortætning til Is).

78. Luftens Fugtighed. Atmosfæren indeholder altid Vanddamp, som er opstaaet ved Fordampning af Jordens store Vandmasser. Luften siges at være desto fugtigere, jo nærmere de indeholdte Dampere ere ved at være mættede, og desto mere tør, jo mere Dampene fjærne sig fra Mætningspunktet. Der er derfor intet i Vejen for, at tør Luft kan indeholde mere Vanddamp end fugtig Luft, men Evnen til at optage Damp, altsaa Temperaturen, maa da være større i første end i sidste Tilfælde; ved 20° kan Luften f. Eks. op-

tage dobbelt saa meget Damp som ved 9° . Luften indeholder om Sommeren i Gennemsnit langt mere Vanddamp end om Vinteren, men Evnen til at optage Damp er større i langt stærkere Forhold, og derfor er Luften om Sommeren mere tør.

Naar Luften afkøles, vil den deri værende Damp nærme sig Mætningspunktet, og ved en af Dampmængden afhængig Temperatur begynder der derfor en Fortætning af Dampene; denne Temperatur kaldes Dugpunktet. Dugpunktet ligger lavere end Luftens Temperatur, med mindre Luften allerede er mættet med Fugtighed, thi i saa Fald er Dugpunktet lig med Luftens Temperatur. Naar Dugpunktet kun ligger lidt under Luftens Temperatur, er Luften fugtig, men jo større Forskel der er paa Luftens Temperatur og Dugpunktet, desto mere tør er Luften.

Naar man sætter en kold Vandkaraffel ind i et varmt Værelse, vil der som Regel slaa sig Dug paa Karaffen, nemlig naar dennes Temperatur ligger under Dugpunktet.

79. Ved Luftens absolute Fugtighed forstaar man Vægten af den Vanddamp, som findes i et vist Rumfang, f. Eks. 1000 Kubikfod, Luft. Den findes ved at suge Luften igennem Rør med vandsugende Midler, som da ville absorbere Luftens Fugtighed; Sugningen finder Sted ved Hjælp af en Aspirator, der væsentlig bestaar af en stor Beholder, som er fyldt med Vand, og op igennem hvilken der fører et Rør fra de Rør, som indeholde de vandsugende Stoffer; lader man nu Vandet løbe ud af Beholderen forneden, vil der blive suget Luft ind igennem Rørene. Man kan da finde de vandsugende Stoffers Vægtforøgelse og maale Rumfanget af den Luft, der er suget igennem; derved faar man Oplysning om Luftens absolute Fugtighed.

80. Ved Luftens Fugtighedsgrad forstaar man Forholdet imellem Vægten af den Vanddamp, som findes i et vist Rumfang Luft og Vægten af den Vanddamp, som vilde findes i det samme Rumfang Luft, hvis Luften var mættet med Fugtighed. Da nu Dampes Vægtfylde staar i ligefremt Forhold til Trykket, saa kan man ogsaa definere Fugtighedsgraden som Forholdet imellem Trykket (p) af de Dampene, som findes i Luften, og det største Tryk (P), som Damp ved Luftens Tem-

peratur kan udøve. Det sidste Tryk (P) kan man let finde af Tabellen over mættede Vanddampes Tryk ved forskellige Temperaturer, idet man opsøger det Tryk, som svarer til Luftens Temperatur. Det første Tryk (p) kan findes ved Hygrometret eller Psykrometret. Er da baade P og p bestemt, saa findes Fugtighedsgraden lig $\frac{p}{P}$.

81. Ved Hygrometret er Fremgangsmaaden den, at man finder Dugpunktet, altsaa finder den Temperatur, ved hvilken Vanddampenes Maximumstryk netop er lig Trykket af Dampene i Luften; derefter findes p ved i den nys nævnte Tabel at opsøge det Tryk, der svarer til Dugpunktets Temperatur. Af Hygrometret haves forskellige Former:

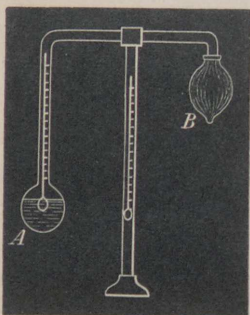


Fig. 47.

Daniell's Hygrometer bestaar af et lukket, lufttomt Glasrør, formet som Figuren viser: en vandret Del med to nedad gaaende Grene, der ende i kugleformige Beholdere. I den ene Kugle A er der Æther, i hvis Overflade findes Beholderen af et lille Thermometer; den anden Kugle B er ombundet med et Stykke fint Lærred. Befugter man nu dette med lidt Æther, vil B blive afkølet paa Grund af Ætherens Fordampning, og de Dampe, som ere i B , ville derfor fortættes, hvilket fremkalder en Trykformindskelse og deraf følgende fortsat Fordampning af Ætheren i A . Thermometret i A vil derfor langsomt synke, og man aflæser nu Temperaturen paa dette Thermometer i det Øjeblik, A bliver bedugget; derved er Dugpunktet fundet. Et paa Apparatets Stativ anbragt Thermometer viser Luftens Temperatur.

Ved dette Apparat er der dog den Kilde til Fejl, at Vædsken i A ikke helt igennem har samme Temperatur, da Fordampningen kun foregaar fra Overfladen; endvidere at Glasset er en slet Varmeleder, saa at det næppe har samme Temperatur udvendig som indvendig, og endelig at det er vanskeligt at bestemme Bedugningsøjeblikket. Disse Mangler ere søgt hævede ved

Regnaults Hygrometer. Beholderen med Ætheren (*A*) er her foruden af blankt Metal, og den er lukket med en tætsluttende Prop; i denne er der foruden et Thermometer indsat to Glasrør, eet, der ikke naar Ætherens Overflade, og eet, der gaar ned under Overfladen. Ved Hjælp af en Aspirator suges Luften ud igennem det første Rør, saa at Luften udefra vil strømme ind igennem det andet Rør, og medens den bobler op igennem Ætheren, vil den fremkalde en livlig Fordampning og deraf følgende Afkøling. For at Bedugningen lettere skal kunne iagttages, er der i Nærheden af Beholderen *A* en anden lignende, men tom Beholder *B*, ligeledes af blankt Metal.

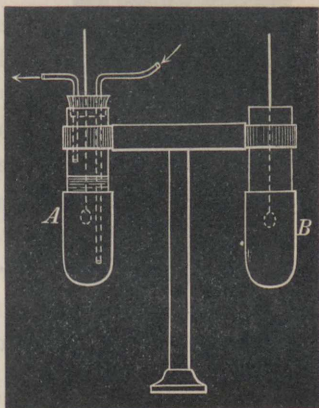


Fig. 48.

Alluard har givet Regnaults Hygrometer en lidt fuldkomnere Form (Fig. 49), idet Beholderen med Æther, som forøvrigt er firkantet i Stedet for rund, er helt af blankt Metal, og paa de tre Sider er omgivet af en Ramme af blankt Metal, hvorved Bedugningen lettere vil kunne bemærkes, da Metalrammen jo ikke bedugges. Ætheren hældes ned i Apparatet igennem Røret *a*, som derpaa lukkes tæt til med en Prop; Luften suges ud igennem *b* og strømmer ind igennem *c*.

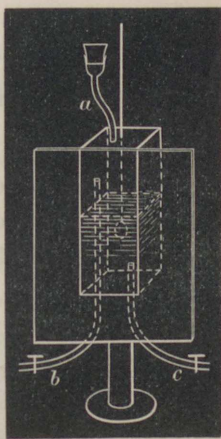


Fig. 49.

82. August's Psykrometer bestaar af to Thermometre, hvoraf det enes Beholder er ombundet med Lærred, som holdes befugtet med Vand ved Hjælp af en Væge, der gaar ned i et Kar med Vand (helst destilleret). Det tørre Thermometer viser Luftens

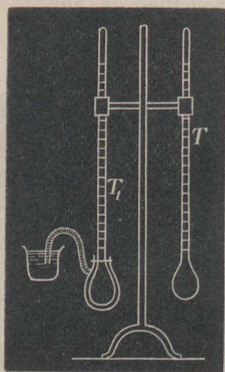


Fig. 50.

Temperatur T^0 , men det vaade vil som Regel vise en lavere Temperatur, hvilket, hidrører fra Varmeforbruget ved Vandets Fordampning; det vaade Thermometer holder først op med at synke, naar den Afkøling, som Fordampningen fremkalder, holder Ligevægt med den Opvarmning, som den omgivende varmere Luft fremkalder. Det vaade Thermometers Temperatur er noget højere end Dugpunktet.

Varmetabet ved Fordampningen kunne vi sætte lig (72)

$$a \cdot \frac{F-f}{H},$$

hvor a er en Konstant, F er Vanddampes Maximumstryk ved den Temperatur (T_1), det vaade Thermometer viser, f Trykket af de i Luften værende Vanddampe, og H er Luftens Tryk. Den Varmemængde, som Thermometret i samme Tid modtager fra Luften, kan sættes lig

$$b(T-T_1),$$

hvor b er ny Konstant, og man har altsaa

$$a \frac{F-f}{H} = b(T-T_1),$$

hvoraf

$$f = F - \frac{b}{a} H (T-T_1),$$

idet $\frac{b}{a} = c$. Værdien af Konstanten c er fundet at være omtrent 0,0009, men den varierer noget med den Hastighed, hvormed Luften bevæger sig, og tillige med Fugtighedsgraden.

Man har indrettet Psykrometertabeller, i hvilke man kan finde Fugtighedsgraden, naar de to Thermometerangivelser kendes.

83. Luftarters Fortætning. Det er i 64 omtalt, at Luftarter og umættede Dampe følge de samme Love, saa at det er naturligt at betragte et luftformigt Legeme som den dampformige Tilstand af en Vædske. Det har ogsaa vist sig, at

alle Luftarter kunne bringes over i Vædskeform, kunne fortættes; for at faa en Luftart fortættet til Vædske kræves der enten en Afkøling eller en Trykforøgelse eller begge Dele i Forening.

Det har vist sig, at en Luftart for at kunne blive fortættet maa have en Temperatur, der er under en af Luftartens Natur afhængig Temperatur, den saakaldte kritiske Temperatur (Andrews, 1869); saalænge Luftarten har en Temperatur, der er højere end denne, kan den ikke blive fortættet, om der saa udøves nok saa store Tryk paa den; først naar Temperaturen er lavere end den kritiske Temperatur, kan Luftarten blive til Vædske, og jo koldere den da er, desto mindre Tryk hører der til for at opnaa Fortætningen. Kulsyrens kritiske Temperatur er 31° , saa at Kulsyre maa have en Temperatur, der er lavere end 31° , naar den skal kunne blive til Vædske. Ved 0° kan Kulsyren fortættes til Vædske ved ca. 38 Atmosfærers Tryk; har man nu saadan flydende Kulsyre, og man da opvarmer den samtidig med, at man forøger Trykket i passende Forhold, saa at Kulsyren stadig holder sig som Vædske, saa indtræder der ved 31° det mærkelige, at Vædsken pludselig gaar over i Luftform og ikke lader sig holde som Vædske, selv ved de største Tryk.

Aarsagen til, at man i lange Tider ikke kunde bringe en Del Luftarter, f. Eks. Ilt og Brint, over i Vædskeform og derfor ansaa dem for permanente, var den, at man ikke ved Forsøgene paa at fortætte dem havde afkølet dem ned under deres respektive kritiske Temperaturer, hvilke for disse Luftarter ligge meget lavt.

Vi skulle nu nævne nogle af de Fremgangsmaader, hvorved Luftarters Fortætning blev fremkaldt, ved saavel Afkøling som Trykforøgelse.

Davy og Faraday anvende et stærk Glasrør af den i Fig. 51 viste Form; Røret tilsmeltes efterat man har bragt et Stof ind, hvoraf man kan udvikle den Luftart, hvis Fortætning tilsigtes. Dette Stof bringes over i den ene Ende af Røret, ved A, medens Rørets anden Ende,

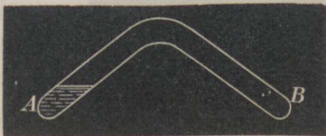


Fig. 51.

B, anbringes i koldt Vand eller en Kuldeblanding; opvarmes saa *A*, vil Luftarten blive udviklet, men da den ikke kan undvige, vokser Trykket, og dette kan da blive saa stort, at Luftarten fortættes til Vædske i *B*. Ammoniak, Klor o. s. v. fortættes paa denne Maade.

Natterer fortættede Kulsyre ved at pumpe denne ind i en lukket Jærnbeholder, der var omgivet af stødt Is: som ovenfor nævnt fortættes Kulsyren ved et Tryk af ca. 38 Atmosfærer, og højere kunde Trykket altsaa ikke drives ved den Temperatur. Aabnede man derpaa en Hane paa Beholderen, saaledes at Rummet kom i Forbindelse med den ydre Luft, vil den stærke Trykformindskelse bringe Kulsyrevædsken til at fordampe hurtig; men ved denne Fordampning afkøles den, og man ser Temperaturen falde til $\div 79^{\circ}$, saa at denne maa anses for at være Kulsyrevædskens Kogepunkt ved normalt Lufttryk; men en Del af Kulsyren er ved denne Afkøling bleven fast (Kulsyresne), og Forsøg vise, at denne faste Kulsyre bliver flydende ved $\div 58^{\circ}$, saa at vi her have et Eksempel paa, at Kogepunktet ligger under Smeltepunktet.

Fast Kulsyre kan holde sig længe; den Varme, den modtager fra Omgivelserne, anvendes til dens Fordampning. En endnu stærkere Afkøling kan man naa ved at opløse den faste Kulsyre i Æther ($\div 90^{\circ}$); bortpumper man Dampene fra denne Blanding, kan man naa ned til en Temperatur af $\div 110^{\circ}$; Faraday har ved denne Temperatur fortættet Ammoniak, Klor o. s. v. ved normalt Lufttryk.

I 1877 blev Ilt fortættet ved samtidige Forsøg af Cailletet og Pictet. Cailletet's Apparat bestod af en stærk Jærnbeholder, der var lukket med en Møtrik, hvori der var befæstet et stærkt Glasrør, som var snævert paa den øverste, lukkede Del, men videre forneden, hvor Røret var aabent. Røret var ved Forsøgets Begyndelse fyldt med Ilt og nedsat i Kviksølv, som fandtes i Jærnbeholderen og var

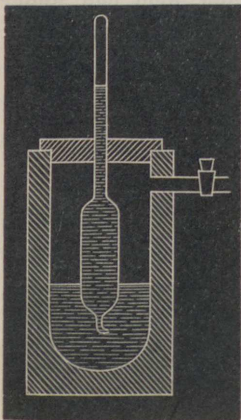


Fig. 52.

dækket med Vand. Medens Rørets øverste Ende var omgivet af en Kuldeblanding, blev der ved Hjælp af en hydraulisk Presse udøvet stærkt Tryk paa Vandet og dermed paa Kviksølvet, som da steg op i Røret og formindskede Iltens Rumfang stærkt; et i Forbindelse med den hydrauliske Presse sat Manometer angav Trykkets Størrelse. Derpaa blev en Hane paa Røret hen til Pressen aabnet, saaledes at Trykket pludselig sank fra ca. 300 Atm. Tryk til 1 Atm Tryk; Ilten fik altsaa en pludselig Udvidelse, men derved sank Temperaturen til ned imod $\div 200^{\circ}$, og der viste sig en kendelig Fortætning af Ilten.

Ogsaa forskellige andre Luftarter bleve fortættede paa denne Maade.

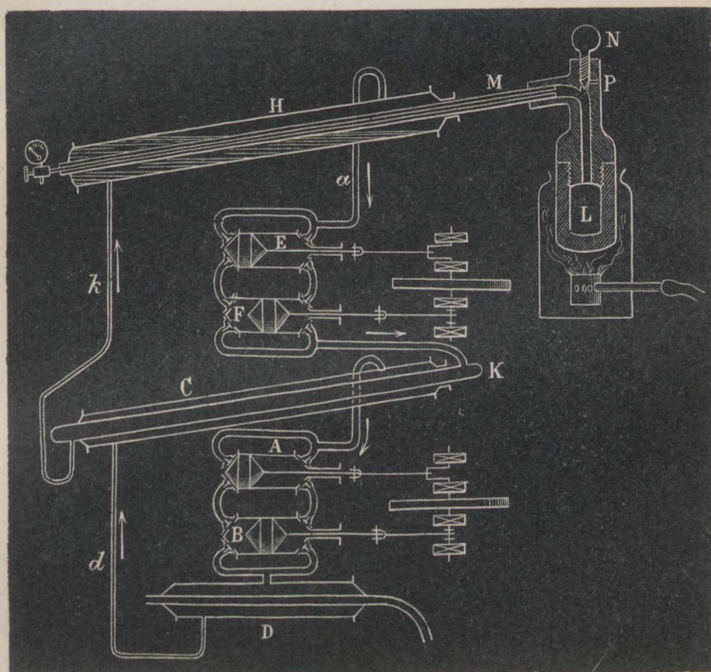


Fig. 53.

Det af Pictet anvendte Apparat er skematisk fremstillet i Fig. 53. *L* er en stærk Jærnetort, hvori der er klorsurt Kali, som opledes og derved afgiver Ilt; denne Ilt træder ind i Kobberrøret *M*, som har stærke Vægge, og som ved sin

anden Ende er i Forbindelse med et Manometer. Da Ilten ikke kan undvige, vil dens Tryk stadig vokse, efterhaanden som Iltudviklingen gaar for sig. Ilten afkøles paa følgende Maade: *M* er omgivet af et andet Kobberrør, *H*, hvori der er flydende Kulsyre; Dampene herfra bortpumpes igennem Røret *a* og blive igen sammentrykkede ved Hjælp af den dobbeltvirkende Suge- og Trykpumpe *EF*; de sammentrykkede Kulsyredampe træde ind i Røret *K*, hvor de afkøles, saa at de fortættes til Kulsyrevædske, og denne træder atter over i *H* igennem Røret *k*. Afkølingen af Kulsyren i Røret *K* sker paa en lignende Maade som Iltens Afkøling i *M*, men ved Hjælp af Svovlsyrning; de herved virkende Pumper ere *AB*, og Svovlsyrningens Afkøling i *D* sker ved Hjælp af koldt Vand; igennem Røret *d* træder Svovlsyrningvædsken ind i det *K* omgivende Rør *C*. I dette Rør fandtes Temperaturen at være ca. $\div 70^{\circ}$, hvorimod den i Røret *H* var nede ved ca. $\div 130^{\circ}$. Det viste sig da, at Ilten blev fortætlet til Vædske ved et Tryk af ca. 450 Atmosfærer; aabnede man saa for en Hane paa Røret *M*, strømmede der flydende Ilt ud, men den fordampede naturligvis hurtig.

Med samme Apparat fortættedes ogsaa Brint, men ved et noget større Tryk.

VII. Varme og Arbejde.

84. En Analogi imellem Varme og Lys er alt paavist under Fremstillingen af Straalevarmen; Lyset bestaar af Æther-svingninger, og det samme maa derfor ogsaa være Tilfældet med Straalevarmen; denne er altsaa en Bevægelse, og jo livligere Bevægelsen er, desto stærkere er Straalevarmen.

Men naar Straalevarmen er en Bevægelse, saa maa al anden Varme ogsaa være det, og vi skulle nu i Korthed se, hvorledes man opfatter denne Sag.

Ethvert Legeme bestaar af Molekyler eller Smaadele, adskilte ved Mellemrum; Molekylerne bestaa igen af Atomer. Vi

antage nu, at der i Legemets Indre er en vedvarende Bevægelse, og denne Bevægelse er det, vi kalde Varme; den Varmemængde, et Legeme indeholder, er lig den samlede levende Kraft i denne Bevægelse. Bevægelsen er af forskellig Art: Molekylerne kunne have en fremadskridende, en roterende og en vibrerende Bevægelse. — At afkøle et Legeme er at formindske Bevægelsens levende Kraft eller Energi, at opvarme det er at forøge den levende Kraft eller Energien.

Denne Hypotese grunder sig paa den af Mayer i 1842 opstillede almengyldige Naturlov, og som simplest udtrykkes saaledes: den i Naturen nedlagte Energimængde forbliver uforandret den samme (Loven om Energiens Vedligeholdelse). Energien kan forandres, kan optræde i forskellige Former, men den hverken forøges eller formindskes. — Vi ville herpaa nævne nogle Eksempler.

Naar et Legeme paavirkes af en konstant Kraft i Bevægelsens Retning, saa udfører Kraften derved et Arbejde, som maales ved Produktet af Kraften og den Vej, Legemet har tilbagelagt; dette Arbejde genfinde vi i den levende Kraft (det halve Produkt af Masse og Hastighedens Kvadrat), som Legemet har opnaaet, og i denne levende Kraft have vi et Maal for Legemets Arbejdsevne. Tænke vi paa et Projektil, som med en vis Hastighed, altsaa ogsaa med en vis levende Kraft træffer et Legeme, saa vil det kunne trænge ind i og maaske helt igennem dette Legeme; sker det sidste, kommer Projektilet ud af Legemet med en mindre Hastighed og altsaa levende Kraft, og det godtgøres i den mekaniske Fysik, at det stedfundne Tab i levende Kraft er lig det Arbejde, Projektilet har udført; den tabte levende Kraft genfinde vi som Varme, altsaa — efter hvad der ovenfor er sagt — som levende Kraft i en ny Form, idet baade Projektilet og det gennembrudte Legeme ere blevne opvarmede. — Slæber man en Genstand hen ad et Underlag, udføres der et Arbejde, men dette bliver omsat til Varme: ved enhver Gnidning udvikles der Varme. — I den mekaniske Fysik læres det, at ved Stød af to elastiske Legemer forandres den samlede levende Kraft ikke, hvorimod der sker et Tab i levende Kraft, naar Legemerne ere uelastiske; dette stemmer med, at der ingen Varmeudvikling finder Sted ved den første Slags

Stød, men derimod ved den sidste. — Naar Luft sammentrykkes, medgaar der dertil et Arbejde, og der sker en Varmeudvikling; naar man altsaa ved Hjælp af en Blæsebælg puster Luft hen paa en Thermometerbeholder, vil Thermometret vise, at Temperaturen stiger. Dersom man derimod ved en Hane aabner for en Beholder, hvori der er sammenpresset Luft, saa at Luften strømmer ud deraf, vil et Thermometer, der udsættes for Luftstrømmen, falde, thi nu maa Luften selv udføre et Arbejde ved at overvinde Atmosfærens Tryk, og derved afkøles den. Disse Forhold har man benyttet i en Art Kuldemaskiner, de saakaldte Luftudvidelsesmaskiner; Principet herfor er følgende: man sammentrykker en vis Mængde Luft, og denne opvarmes derved f. Eks. fra 8° til 26° ; den udviklede Varmemængde bortføres ved Svalevand, saa at den sammentrykkede Luft atter faar 8° s Temperatur; naar man derpaa lader den udvide sig til sit tidligere Rumfang, vil Temperaturen synke omtrent ligesaa mange Grader, som den før steg; Luften afkøles altsaa til $\div 10^{\circ}$. — I det pneumatiske Fyrstøj frembringes der ved stærk Sammentrykning af Luften i et cylindrisk Rør saa megen Varme, at et Stykke Fyrsvamp kommer i Glød. — Stjærneskud og Ildkugler opstaa, naar Meteoriter trænge ind i vor Atmosfære og ved dennes Modstand opvarmes saa stærkt, at de gløde.

De her nævnte Eksempler omhandle kun de tre Former for Energi: levende Kraft, mekanisk Arbejde og Varme; men Loven gælder for alle Naturfænomener, saaledes ogsaa i Elektricitetslæren. Naar man drejer Skiven i en virksom Elektrisermaskine rundt, udvikles der ved Gnidningen baade Varme og Elektricitet; men er Maskinen uvirksom, vil der kun blive frembragt Varme, og Arbejdet, som kræves til Skivens Omdrejning vil da ogsaa være mindre, end naar Maskinen er virksom. — Naar en elektrisk Strøm ledes igennem et sonderdeleligt Stof, bliver Strømmen svagere, end naar et saadant Stof, alt andet lige, ikke fandtes i Ledningen; Strømmen har nemlig da et kemisk Arbejde at overvinde; de derved udskilte Stoffer fremkalde en Modstrøm (den galvaniske Polarisation), som svækker Strømmen. — Naar en elektrisk Strøm sætter et elektromagnetisk Rotationsapparat i Bevægelse, bliver Strøm-

men svagere, end naar man sørger for at holde Apparatet stille, saa at Strømmen ikke kommer til at udføre et mekanisk Arbejde; Forklaringen herpaa er den, at der ved Bevægelsen i Rotationsapparatet induceres i Ledningen en Modstrøm, som svækker den elektriske Strøm.

Vi have i de nævnte Eksempler vist, hvorledes Energien kan transformeres fra en Form til en anden, men Rigtigheden af Loven om Energiens Uforanderlighed kan jo først blive godtgjort, naar man giver sig til at undersøge Energimængderne. Det, der altsaa her bliver Spørgsmaalet om, er dette: naar et mekanisk Arbejde forvandles til Varme eller omvendt, er der da et bestemt Forhold imellem det mekaniske Arbejdes Størrelse og Mængden af Varme? Vi skulle senere vise, hvorledes man paa højst forskellige Maader har paavist, at der er et saadant Forhold; vi ville først se lidt nærmere paa Arten af de Bevægelser, som ifølge den »mekaniske Gasteori« foregaa i Luftarternes Indre.

85. I en Luftart have Molekylerne hovedsagelig en retlinjet, fremadskridende Bevægelse, og det Tryk, som en Luftmasse udøver imod sin Begrænsning, hidrører fra Stødet af Molekylerne imod Begrænsningen. Formindskes derfor Luftens Rumfang til det halve, vil Antallet af Stød imod Begrænsningen i en vis Tid blive dobbelt saa stort som før, saa at Mariottes Lov maa gælde.

Vi kunne nu tænke os hvert Molekyle omgivet af en Virkningskugle, indenfor hvilken den kan udøve en Tiltrækning paa andre Molekyler; denne Virkningskugles Radius er umaadelig lille. Naar nu et Molekyle under sin Bevægelse kommer indenfor et andets Virkningsomraade, saa vil det kunne hænde — dog forholdsvis sjældent — at begge Molekylers Bevægelsesretninger falde i samme rette Linje, og da ville Molekylerne nærme sig til hinanden med tiltagende Hastighed, støde sammen og gaa fra hinanden igen som fuldkommen spændige Kugler; efter Stødet ville Hastighederne formindskes ligesaa meget, som de før bleve forøgede, og naar Molekylerne have forladt hinandens Virkningsomraade, have de atter den Hastighed, med hvilken de vare traadte ind deri. Men et saadant Stød sker kun sjældent; i Reglen vil det gaa saaledes, at de to

Molekyler bevæge sig nær forbi hinanden, og at de paa Grund af den indbyrdes Tiltrækning bevæge sig noget omkring hinanden i visse krumlinjede Baner. Medens Molekylerne ere indenfor hinandens Virkningsomraade, ville de altsaa afvige fra deres oprindelige Retninger, og først efter Udtrædelsen deraf blive Banerne atter retlinjede og gennemløbne med den oprindelige, konstante Hastighed. For at en Luftart saa temmelig nøje skal følge Mariottes og Gay-Lussacs Love, er Opfyldelsen af den Betingelse nødvendig, at Molekylernes retlinjede Veje ere meget store i Sammenligning med de krumlinjede, med andre Ord: Molekylernes Middelaafstande maa være meget store i Sammenligning med deres Virkningskugles Radius.

Tænke vi os nu en Luftart under saadanne Forhold, at dens Temperatur — altsaa dens Molekylers levende Kraft og Hastighed — bliver uforandret, medens dens Volumen gøres mindre og mindre, saa ville Molekylernes retlinjede Baner stedse blive kortere og kortere, medens de krumlinjede Baner bestandig blive de samme, da de kun ere afhængige af Hastigheden; deraf følger, at med voksende Tryk blive Afvigelserne fra Mariottes og Gay-Lussacs Love større og større, hvilket ogsaa Erfaringen har godtgjort. Nu maa det allerede i en fuldkommen Luftart kunne hænde fra Tid til anden, at et Molekyle næppe har forladt et af sine Nabomolekyler, førend det igen er kommen indenfor et andet Molekyles Tiltrækningsomraade; der følger altsaa to krumlinjede Baner lige efter hinanden, og jo tættere Luften er, desto hyppigere maa dette kunne hænde. Har nu Luftens Tæthed naaet en saadan Størrelse, at et kendeligt Antal Molekyler til enhver Tid befinder sig i denne Tilstand, saa er Luften begyndt at fortættes til Vædske, og naar Luftarten er bleven helt til Vædske, saa ere alle Molekylerne i den Tilstand, at de, naar de forlade et Molekyles Virkningsomraade, straks komme ind i et andets, og disse Omraader gennemløbes først med en tiltagende og derpaa med en aftagende Bevægelse; Molekylerne have altsaa gennemsnitlig en stor Hastighed. Kun ved Overfladen sker der en Undtagelse, thi her kan et Molekyle forlade et andets Virkningsomraade uden at komme ind i et tredies, og Vædsken fordamper altsaa.

Erfaringen lærer os, at jo varmere en Luftart er, desto bedre følger den Mariottes Lov; dette indses let efter ovenstaaende Udvikling, thi ved den højere Temperatur blive Molekylernes krumlinjede Baner mindre.

Vi ville ikke forfølge denne Udvikling videre, men bemærke kun, at Varmefænomenerne ved Fordampning, Fortætning etc. let kunne forklares ved Hypotesen.

Endnu skal blot tilføjes, at den gennemsnitlige Hastighed, med hvilken Molekylerne i Brint bevæge sig, er 1845^m (i Sekundet) ved 0° C.; for andre Luftarters Vedkommende kan Hastigheden ved 0° beregnes ved den Sætning, at Hastigheden staar i omvendt Forhold til Kvadratroden af Luftens Tæthed. For samme Luftart staa Hastighederne ved forskellige Temperaturer i ligefremt Forhold til Kvadratroden af de absolute Temperaturer. — Molekylernes Hastigheder ere altsaa meget betydelige, men deraf følger ikke, at de Veje, de gennemløbe, ere store, thi et Molekyles retlinjede Vejstykker ere i Virkeligheden korte, fordi Tiden, som medgaar dertil, er forsvindende lille; et Molekyle vil derfor i det væsentlige ikke forandre sin Plads.

86. Radiometret, opfundet af Crookes, er et Apparat, der godtgør den molekulære Bevægelses Tilstedeværelse i Luftarter. Det bestaar af en Glasbeholder med meget stærkt fortyndet Luft; paa en lodret Metalnaal hviler en lille Glashætte, som bærer 4 vandrette Platintraade, i hvis Ender der sidder en lodret stillet Platin- eller Aluminiums-plade, som er sværet paa den ene Side med Kønrog; de sværtede Sider vende alle samme Vej.

Naar Radiometret udsættes for Bestraaling, kommer Vingeparatet, hvad enten det er mørke eller lyse Varmestraaler,

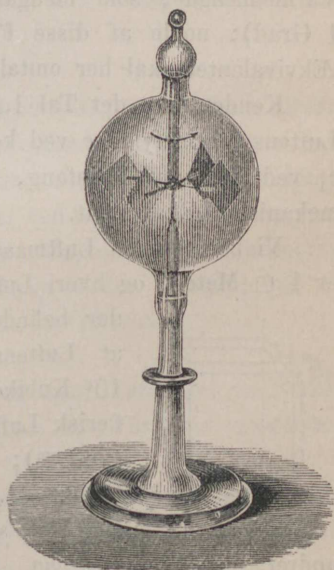


Fig. 54.

i Rotation, og denne er desto hurtigere, jo stærkere Be-
straalingen er; Rotationen sker med den blanke Side foran.
Denne Bevægelse forklares saaledes: de sværtede Sider ind-
suge mere Varme og blive altsaa stærkere opvarmede end de
blanke; naar et Luftmolekyle nu støder imod en af Vingerne,
bliver det stødt tilbage med en større Hastighed, naar Stødet
er imod den sværtede, end naar det er imod den blanke Side;
den sværtede Plade modtager derfor ogsaa en større Reaktion
i modsat Retning end den blanke, og Bevægelsen kommer i
Gang. — Holder man en stærkt afkølet Genstand i Radiometrets
Nærhed, kommer der en Rotation i Gang i modsat Retning.

87. Ved Varmens mekaniske Ækvivalent forstaas
det Arbejde, som medgaar til Frembringelsen af 1
Varmeenhed eller det Arbejde, som kan udvikles af
1 Varmeenhed. Dette Arbejde er ved mangfoldige og højt
forskelligartede Forsøg fundet at være lig c. 425 Kilogram-
meter ($1350 \mathcal{H}$), naar man ved 1 Varmeenhed forstaar den
Varmemængde, som medgaar til Opvarming af 1 $\mathcal{H}$ Vand
1 Grad); nogle af disse Forsøg saavel som en Beregning af
Ækvivalentet skal her omtales.

Kender man det Tal 1,4, som angiver Forholdet imellem
Luftens Varmefylde c ved konstant Tryk og dens Varmefylde
 c_1 ved konstant Rumfang, saa kan man let finde Varmens
mekaniske Ækvivalent.

Vi betragte en Luftmasse i en Beholder, hvis Grundflade
er 1 $\square$ Meter, og hvori Luften er afspærret med et Stempel,

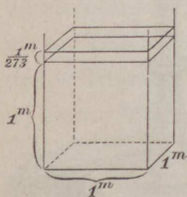


Fig. 55.

der befinder sig 1 Meter over Bunden, saa
at Luftens Rumfang er 1 Kubikmeter =
 10^6 Kubikcentimeter. Lad det være atmos-
færisk Luft ved 0° og under Normaltrykket
(760 mm); Luftmassen vejer da $10^6 \cdot 0,001293$
Gram = 1,293 Kilogram. Opvarmes nu denne
Luft 1° , saaledes at Trykket forbliver ufor-
andret, maa Stemplet gaa $\frac{1}{273}$ Meter udefter, og der medgaar
til denne Opvarming 1,293 c Varmeenheder; sker Opvarmingen
derimod saaledes, at Rumfanget forbliver uforandret, medgaar
der til Opvarmingen 1,293 c_1 Varmeenheder. Differensen imellem
disse to Varmemængder, altsaa 1,293 ($c - c_1$) Varmeenheder,

er da forbrugt til at udføre det Arbejde at skyde Stemplet $\frac{1}{273}$ Meter ud. Det Tryk, der hviler paa Stemplet, er lig Vægten af en Kviksølv søjle paa 1 □ Meters Grundflade og 760 mm's Højde; dette Tryk er ca. 10333 Kilogram. Arbejdet, der er udført, er altsaa $10333 \cdot \frac{1}{273}$ Kilogrammeter, og kalder man Varmens mekaniske Ækvivalent A , har man

$$A \cdot 1,293 (c - c_1) = 10333 \cdot \frac{1}{273},$$

hvoraf
$$A = \frac{10333}{273 \cdot 1,293 (c - c_1)} \text{ Kilogrammeter.}$$

Nu er $c = 0,24$, $c_1 = \frac{0,24}{1,4}$, og Beregningen giver da

$$A = \text{ca. } 425 \text{ Kilogrammeter.}$$

Ved nøjagtige Beregninger maa man selvfølgelig udregne de enkelte Størrelser med saa stor Nøjagtighed som mulig.

Hadde man ad anden Vej fundet Varmens mekaniske Ækvivalent med tilstrækkelig stor Nøjagtighed (se nedenfor), kunde man ved ovenstaaende Fremgangsmaade finde Forholdet imellem Luftens to Varmefylder, hvis dette Forhold var ubekendt.

Colding har bestemt Varmedviklingens Forhold til det forbrugte Arbejde ved at lade en Slæde, hvis Skinner vare belagte med forskellige Substanser, trække hen ad to Metal-skiner. Varmedviklingen maalttes ved Skinnernes Opvarmning, som igen blev beregnet af deres Forlængelse. Det fandtes, at Varmedviklingen ene og alene ahang af det Arbejde, der var forbrugt ved Gnidningsmodstandens Overvindelse.

Engländeren Joule har siden 1843 foretaget en Række omfattende Forsøg til Bestemmelse af Varmens mekaniske Ækvivalent.

1. I et Kar med Vand satte han en Fortætningspumpe og en Kobberbeholder og ved Hjælp af den første sammenpressede han nu Luft i Kobberbeholderen, indtil Trykket blev over 20 Atmosfærer. Han beregnede det Arbejde, der kræves til Sammentrykningen, og maalte den Varmemængde, der blev udviklet; herfra maa nu subtraheres den Varmedvikling, der skyldes Stemplets Gnidning i Pumpen, og som kan findes ved

særlige Forsøg; Resten af den frembragte Varme skyldes Arbejdet ved Sammentrykningen, og Varmens mekaniske Ækvi-
valent kan derved findes.

2. I et lukket Jærnkcalorimeter (*G*) med Vand er der anbragt en lodret Aksel, til hvis nederste Ende er befæstet en vandret Metalskive, som ved Hjælp af Vægtstænger kan

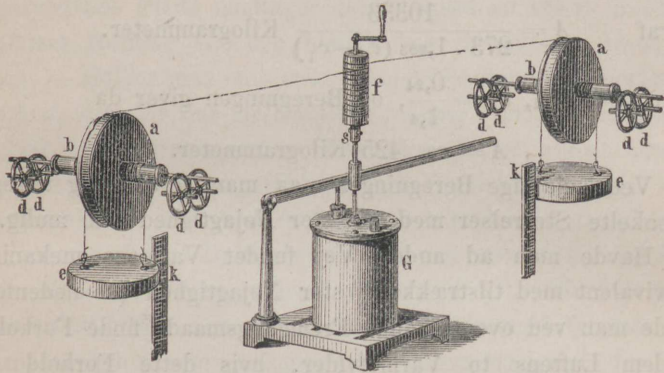


Fig. 56.

trykkes ned mer eller mindre stærkt imod en lignende Skive, der er anbragt paa Kalorimetrets Bund. Akslen bærer foroven en Valse (*f*), som kan skrues løs fra Akslen, og omkring hvilken der er viklet Snore, som gaa hen over to Hjul (*a*); Akslerne (*b*) for disse Hjul hvile paa Friktionshjul, og om disse Aksler er der viklet Snore, som bære to ligestore Vægte (*e*). Snorene, som gaa om Valsen *f*, ere opviklede saaledes, at naar Vægtene falde, dreje de begge *f* rundt den samme Vej. I Kalorimetret er anbragt et Thermometer.

Forsøget anstilles nu saaledes: Man lader de to Vægte falde og maaler paa en Maalestok *k* Faldhøjden; derpaa løses Valsen hurtig fra Akslen, hvorpaa den sidder; den drejes rundt, saaledes at Vægtlodderne løftes, fastskrues derefter igen paa Akslen, og slippes; paa denne Maade lader man Lodderne falde en Snes Gange. Under denne Bevægelse har den paa Akslen siddende Metalskive drejet sig rundt henover den faste Metalskive, og ved denne Gnidning er der udviklet Varme, som er meddelt til Vandet. Beregnes nu den udviklede Varme-

mængde og det udførte Arbejde, kan Varmens mekaniske Ækivalent findes ved Division af det sidste med den første. Men der maa forinden foretages en Del Korrektioner paa Grund af Gnidningen udenfor Kalorimetret, den levende Kraft, som Vægtlodderne opnaa ved Faldet, etc.

Joule benyttede ogsaa Kviksølv istedetfor Vand; Metalskiverne vare da af Jærn.

3. Varmendviklingen ved Gnidning imellem faste Legemer og Vædske maalte Joule ved sit nys beskrevne Apparat, som kun blev ændret saaledes, at Akslen i Kalorimetret har Skovlhjul i Stedet for en Metalskive; under Omdrejningen satte disse Skovlhjul Vandet eller Kviksølvet i Rotation, og Vædsken blev da gnedet imod nogle Metalskærme, der fandtes paa Kalorimetrets Indervæg.

Hirn har ogsaa anstillet en Række Forsøg over dette Emne; et af disse Forsøg var følgende. En Blyklods (E) var ophængt imellem Endefladerne af en Jærncylinder (AB) og en prismatisk Stenblok (CD); disse vare ophængte i svære Tove.

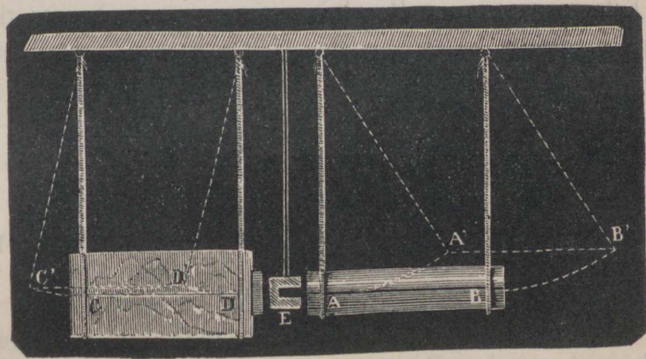


Fig. 57.

Jærncylinderen bringes ud i en skraa Stilling og slippes saa; derved falder den ned imod Blyklodsen, der igen støder imod Stenblokken, som derved løftes lidt, og Jærncylinderen faar selv et lille Tilbageslag. Ved Stødet er Blyklodsen bleven opvarmet, og er Blyets Vægt p Kgm., dets Varmefylde c , og Temperaturstigningen t° , saa er den frembragte Varmemængde

pct Varmeenheder. Er nu Jærncylinderens Vægt P Kgm., Stenblokkens P_1 , den lodrette Højde, hvortil Jærncylinderen blev løftet, H Meter, Tilbageslagets Højde H_2 , og den Højde, hvortil Stenblokken blev løftet, H_1 , saa er det Arbejde, der er medgaaet til Varmeudviklingen, lig $PH - P_1H_1 - PH_2 = P(H - H_2) - P_1H_1$. Man faar altsaa for Varmens mekaniske Ækvivalent

$$\frac{P(H - H_2) - P_1H_1}{pct} \text{ Kilogrammeter.}$$

Ved Forsøgene var $p = 3$ Kgm, $P = 350$ Kgm. og $P_1 = 941$ Kgm.

Hirn har dernæst benyttet Varmens Omsætning til Arbejde for at beregne Varmens mekaniske Ækvivalent; Undersøgelsen skete med en Dampmaskine. Han beregnede den Varmemængde, som findes i Dampen, der driver Stemplet fremad, og den Varmemængde, som optages af Vandet i Fortætteren; Forskellen imellem disse er den Varmemængde, som er medgaaet til det af Maskinen udførte Arbejde, hvilket Arbejde blev beregnet. Ved disse Forsøg fandt Hirn som Middeltal 413 Kilogrammeter, et Resultat, som — naar henses til de mange Fejlkilder — er særdeles godt stemmende med det ad andre Veje fundne.

VIII. Maskiner, der bero paa Varmens Arbejdsværdi.

88. En Dampmaskine bestaar af to Hoveddele: Dampkedlen, hvori den Damp udvikles, hvis Arbejdsværdi man vil udnytte, og den egentlige Maskine eller Dampværket, hvor Dampenes Arbejdsværdi bliver udnyttet. — Vi ville i det følgende kortelig beskrive Hovedindretningen af den nu i Reglen brugte Dampmaskine (James Watt).

89. Dampkedlen er en lukket Kedel, dannet af sammennittede Jærnplader og i Reglen formet som en vandret liggende Cylinder; hvor det lader sig gøre, bør den være ind-

muret, for at Varmetabet skal blive saa lille som muligt. Ildstedet kan findes under Kedlen, men findes ofte indvendig forneden i Cylinderens ene Ende; fra Ildstedet fører der da Jærnrør, de saakaldte Ildkanaler, igennem Cylinderens nederste Halvdel, tilsidst udmundende i Skorstenen. Herved vil man opnaa, at det i Kedlen værende Vand opvarmes direkte paa saa stor en Flade (Ildpaavirkningsfladen) som mulig, hvorved man jo faar størst Nytte af Varmen; Forbrændingsprodukterne ledes fra Ildstedet igennem Ildkanalerne ud i Skorstenen, og naar man skal have den fulde Nytte af Varmen, maa Forbrændingsprodukterne, naar de forlade Kedlen, ikke have en højere Temperatur end Vandet. I Virkeligheden er Temperaturen dog en Del højere, hvad den ogsaa bør være, for at Trækket igennem Skorstenen kan blive tilstrækkelig stort.

Ildstedet bestaar af to Dele: det øvre, Ildrummet, og det nedre, Askefaldet; disse to Rum ere adskilte ved Risten, der dannes af Riststænger. Den aabne Del af Risten er, naar der brændes Kul, mindst $\frac{1}{4}$ af Ristens Areal, og naar der brændes Brænde, mindst $\frac{1}{5}$. Luften kommer op igennem Risten fra Askefaldet, og den Hastighed, hvormed Risten passerer, varierer i Reglen imellem 1 og 2 Meter, saa at man kan beregne den Luftmængde, der i en vis Tid passerer Risten. Denne Luft bestaar jo væsentlig af Ilt og Kvælstof, og af dens Vægt udgør Ilten omtrent $\frac{2}{9}$. Kun Ilten anvendes til Forbrændingen, og 1 Kgm. Kulstof forener sig ved Forbrændingen med $2\frac{2}{3}$ Kgm. Ilt til Kulsyre; der skal altsaa tilføres ca. 12 Kgm. atm. Luft til Forbrænding af 1 Kgm. Kul. Røgen fra 1 Kgm. Kul vil derfor veje 13 Kgm., hvis kun den til Forbrændingen fornødne Luftmængde var tilført. Disse 13 Kgm. Røg indeholde, naar de forlade Ildstedet, den ved Forbrændingen udviklede Varme, som — naar det er det bedste Stenkul — udgør ca. 7000 Varmerenheder; da nu Røgens Varmefylde er ca. $\frac{1}{4}$, saa finder man Temperaturen x , med hvilken Røgen forlader Ildstedet, af Ligningen

$$13 \cdot \frac{1}{4} \cdot x = 7000,$$

og man faar

$$x = \text{ca. } 2150^{\circ}.$$

Dersom Røgen træder ud i Skorstenen med 300° s Temperatur, saa medtager den omtrentlig Varmemængden

$$13 \cdot \frac{1}{4} \cdot 300 = 975 \text{ Varmeenheder.}$$

Men Varmetabet er dog i Virkeligheden betydelig større, thi der passerer mindst dobbelt saa meget Luft igennem Ildstedet, som der er nødvendig til Forbrændingen, og Forholdene stille sig derved anderledes. Gaar der saaledes 24 Kgm. Luft igennem Risten, medens 1 Kgm. Kul forbrænder, saa vejer Røgen 25 Kgm., og dens Temperatur, naar den forlader Ildstedet, er

$$\text{ca. } \frac{7000}{25 \cdot \frac{1}{4}} = \text{ca. } 1120^{\circ}.$$

Den tabte Varmemængde er, hvis Røgen gaar ud i Skorstenen med en Temperatur af 300° , omtrent lig

$$25 \cdot \frac{1}{4} \cdot 300 = 1875 \text{ Varmeenheder,}$$

altsaa omtrent dobbelt saa stor som før. Man ser altsaa, at Forbrændingen bør ske med den mindst mulige Luftmængde.

Skorstenen tjener baade til at lede Røgen bort og til at tilvejebringe det fornødne Træk. Ildkanalerne have tilsammen et Tværsnit, der paa intet Sted er mindre end det aabne Ristareal, og dette gælder ogsaa Skorstenens Tværsnit; dette sidste er altid mindst foroven. Jo højere Skorstenen er, desto bedre virker den til at skaffe Lufttrækket tilveje; er Skorstenen lav, saaledes som den f. Eks. maa være paa Lokomotiver, saa hjælper man paa Sugningen enten ved at sende en Dampstraale fra Kedlen op igennem Skorstenen, eller ved at blæse Luft op igennem Ildstedet ved Hjælp af en Ventilator.

Vandet fylder omtrent $\frac{2}{3}$ af Kedlens Rum; det maa staa saa højt, at det fuldstændig dækker Ildkanalerne, thi ellers ville disse let komme i Glød, og der vil da komme en pludselig Dampudvikling med en saadan Voldsomhed, at Kedlen uundgaaelig vilde sprænges. Vandhøjden i Kedlen iagttages paa Vandstandsroret, et lille Glasrør, hvis øverste Ende gaar ind i Damprummet, og hvis nederste Ende gaar ind i Vandrummet; i dette Rør vil Vandet stille sig lige saa højt som i Kedlen. Til yderligere Sikring er der paa Kedlen nogle smaa Rør med Haner; naar en Hane aabnes, skal der enten

komme Vand eller Damp ud, alt efter den Plads, Røret har paa Kedlen.

Paa Kedlen findes endvidere en Sikkerhedsventil (60) og et Manometer; dernæst et Mandehul, et af en fastskruet Plade dækket Hul, der er saa stort, at en Mand derigennem kan komme ned i Kedlen og rense den for Kedelsten.

Den i Kedlen udviklede Damp føres igennem Damp-røret hen til den egentlige Maskine.

90. Maskinen. Dampen ledes fra Kedlen igennem Damprøret til Gliderkassen (*A*), en Jærnkasse, hvis ene Sidevæg er plan; fra denne Væg udgaar der tre Rør, nemlig eet i Midten (*BC*) og to, Dampgangene (*D* og *E*), lige langt derfra hver paa sin Side. Disse Dampgange føre hen til den øverste og den nederste Del af Dampcylinderen (*F*), som er en nøjagtig udboret Metalcylinder; i denne kan et Stempel (*S*) bevæge sig lufttæt op og ned, og Stempelstangen gaar lufttæt ud igennem en i Cylinderens Laag anbragt Stoppebøsse eller Pakdaase. I Gliderkassen kan en Skaal, Glideren (*G*), med en plansleben Rand glide op og ned ad den plane Flade i Gliderkassen; den har en saadan Størrelse og gives saadanne Stillinger, at den altid lukker for *BC*'s Munding og tillige for Mundingen af en af de to Dampgange.

Lad os antage, at Maskinen er i Gang, og at Glideren har den i Figuren angivne Stilling. Dampen, som strømmer ind i Gliderkassen, vil da gaa igennem *E* ind under Stemplet og drive dette tilvejs; den over Stemplet værende Damp gaar da ud af Cylinderen igennem Dampgangen *D* ind i Gli-

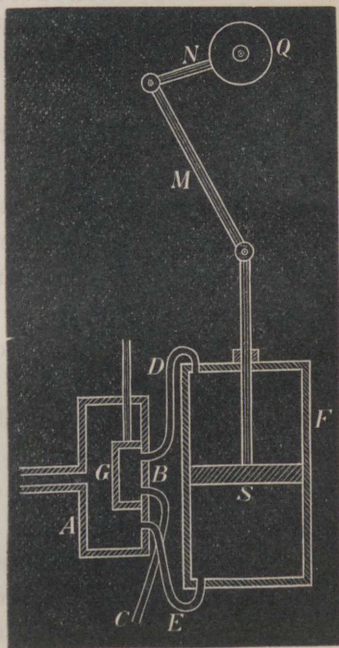


Fig. 53.

deren og derfra ud igennem Røret *BC*. Naar Stemplet er kommet helt op, trækkes Glideren ned (dette besørger Maskinen selv ved Hjælp af en excentrisk Skive), og Dampen i Gliderkassen vil da bane sig Vej igennem Dampgangen *D* ind over Stemplet og trykke dette ned, og den under Stemplet værende Damp søger saa ud igennem *E* og videre igennem Glideren og Røret *BC*. Flyttes altsaa blot Glideren i de rette Øjeblikke, vil Stemplet gaa taktfast op og ned.

Røret *BC*, igennem hvilket den brugte Damp strømmer ud, kan udmunde i Luften, og Maskinen kaldes da en Højtryksmaskine, fordi Dampen, som driver Stemplet afsted, da maa overvinde 1 Atmosfæres Tryk (foruden betydelige Gnidningsmodstande); men *BC* kan ogsaa gaa ned til en Fortætter eller Kondensator, som bestaar af en lukket Kasse, der er omgivet af koldt Vand; herved ville Dampene for Størstedelen fortættes, især da der ogsaa strømmer koldt Vand ind i Fortætteren, og det derved dannede Vand pumpes ud ved Hjælp af en Pumpe, der kaldes Luftpumpen, fordi den tillige udpumper den Luft, som kommer ind i Kassen. En saadan Maskine er en Lavtryksmaskine; Stemplet har her at overvinde Dampenes Modtryk, som dog kun er en forholdsvis lille Brøkdel af 1 Atmosfæres Tryk, fordi det afhænger af Temperaturen i Fortætteren (ca. 40°). Luftpumpen pumper Vandet over i Varmtvandskassen, og herfra pumper en Trykpumpe, Fødepumpen, det tilbage til Kedlen igen. Alle disse Pumper drives af Maskinen selv.

For at drage den fulde Nytte af Dampen kan man indrette Glideren saaledes, at den spærrer af for Damptilstrømningen til Cylinderen, naar Stemplet er kommet omtrent $\frac{1}{4}$ eller $\frac{1}{3}$ af sin Vej; Stemplet drives da videre ved Dampenes Udvidekraft. Ved denne Ordning sparer man Damp og altsaa Brændsel. Maskinen siges da at arbejde med Ekspansion.

Stemplets op- og nedadgaaende Bevægelse kan man faa omdannet til en roterende Bevægelse paa en Maade, der er skitseret i Fig. 58. Stempelstangens øverste Ende er ved Drivstangen *M* forbundet med Krumtappen *N*, der sidder paa Akslen *Q*, og denne vil da blive drejet rundt ved Stemplets Bevægelse. Paa Akslen sidder der, i Reglen naar

Maskinen staar paa Land, et Svinghjul, hvorved forstaas et stort Hjul med en svær Hjulkrans; dette Svinghjul drejes altsaa rundt med Akslen og hjælper paa Grund af Inertien Maskinen ud over de to døde Punkter, d. v. s. de Stillinge, hvor Drivstangen ligger i Forlængelsen af eller hen over Krumtappen. — Hvor der intet Svinghjul er, maa Akslen drejes rundt af to Krumtappe, af hvilke den ene er i sin gunstigste Stilling, naar den anden er i et af sine døde Punkter.

Undertiden bliver Stemplets op- og nedadgaaende Bevægelse overførte til Akslen ved Hjælp af Maskinbommen eller Balansen, en Jærnvægtstang, der kan vugge om en Akse i Midten. Denne Balanses ene Endepunkt er ved et Led forbundet med Stempelstangens Endepunkt, medens Balansens andet Endepunkt fører Drivstangen (*M*), som griber ind i den paa Akslen (*Q*) anbragte Krumtap (*N*). Denne Indretning findes paa Lavtryksmaskiner, og de forskellige Pumper, som saadanne Maskiner have at drive, have deres Stempelstænger befæstede til Maskinbommen.

Den excentriske Skive (Fig. 59), som skal sørge for Gliderens Bevægelse, har følgende Inddeling. Paa Akslen (*Q*), som drejes rundt af Maskinen, sidder en cirkelrund Jærnske (S), men med sit Centrum udenfor Akslens Midtlinie; omkring denne Jærnske er der lagt en Metalring (*R*) med

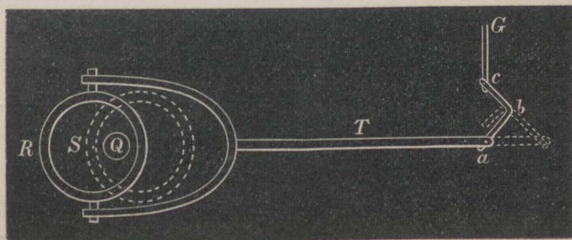


Fig. 59.

en Fals paa Indersiden, hvori Skivens Kant ligger, saa at Ringen ikke kan glide af Skiven, medens Skiven derimod kan glide rundt i Ringen. Til Ringen er Stangen *T* befæstet, og *T*'s Endepunkt griber ind i Vinkelvægtstangen *abc* ved Punktet *a*, medens Punktet *c* er i Forbindelse med Gliderstangen (*G*).

Det vil nu let indses, at Stangen *T* under Maskinens Omdrejning faar en Bevægelse, der væsentlig er frem- og tilbagegaaende i sin egen Længderetning, saa at *abc* kommer til at vugge omkring *b*, og medens Maskinen gaar een Gang rundt, føres Gliderstangen een Gang op og ned.

Til en Dampmaskine hører en Regulator, som skal regulere Dampstrømmen fra Kedlen til Gliderkassen. Watt's Centrifugalregulator (Fig. 60) har følgende Indretning.

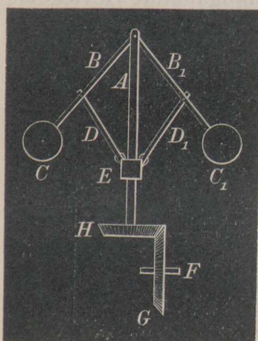


Fig. 60.

Ved Hjælp af en Remskive eller paa anden saadan Maade sørger man for, at Maskinens Aksel under sin Omdrejning drejer den vandrette Aksel *F* af det koniske Tandhjul *G* rundt; *F* griber ind i Tandhjulet *H*, hvis Akse er lodret, og hvortil den lodrette Stang *A* er befæstet. Til *A* er der foroven hængslet to Metalstænger, *B* og *B*₁, som bære de svære Metalkugler *C* og *C*₁; *E* er en Ring, der kan glide op og ned ad *A*, og som ved de to Led *D* og *D*₁ er

hængslet til Stængerne *B* og *B*₁. Er nu Maskinen i Gang, slaa Kuglerne ud paa Grund af Centrifugalkraften, og Ringen løftes; jo hurtigere Maskinen gaar, desto mere løftes Ringen. Denne Ring er ved Hjælp af Vægtstænger sat i Forbindelse med et Spjæld, der sidder inde i Damprøret, og ved Hjælp af hvilket Damptilstrømningen kan varieres. Forbindelsen er nu ordnet saaledes, at jo højere paa Stangen *A* Ringen kommer, desto mere vil Spjældet lukke for Damptilstrømningen. Faar Maskinen altsaa en for hurtig Bevægelse, saa hæmmes Damptilstrømningen, og har Maskinen en for langsom Bevægelse, saa fremmes den. Apparatet søger saaledes at regulere Maskinens Gang.

Paa Lokomotivet ledes Forbrændingsprodukterne fra Ildstedet samtidig igennem en Mængde Ildkanaler ud i Skorstenen, saa at Ildpaavirkningsfladen er stor. Dampen samler sig i en paa Kedlen anbragt Kuppel og kan, naar en Ventil aabnes, fra denne Kuppel strømme ned i Gliderkassen og derfra til Dampcylindren. Paa Lokomotivet er der to Damp-

cylindre med tilhørende Gliderkasser, een paa hver Side af Lokomotivet, og i Reglen lige under Skorstenens Plads. Fra Stempelstængerne føre Drivstænger hen til Krumtapper, som sidde paa det midterste Par Hjul under Lokomotivet; Krumtappene sidde saaledes for hinanden, at den ene er i det døde Punkt, naar den anden er i sin gunstigste Stilling. Naar Dampen er bleven brugt i Cylinderen, strømmer den ud i Luften igennem Skorstenen og letter derved Trækket igennem denne.

Ved en Mekanisme kan man flytte Glideren fra een Stilling til en anden, hvorved man er istand til at lede Dampen ind i Cylinderen igennem den Dampgang, hvortil Adgangen fra Gliderkassen før var lukket, og som altsaa sidst tjente til at lede Dampen ud igennem Glideren og Udblæsningsrøret i Skorstenen. Foretages altsaa denne Flytning af Glideren, vil Lokomotivet gaa den modsatte Vej, naar der næste Gang slippes Damp fra Kuppelen ned til Maskinen.

91. Det Arbejde, Maskinen udfører under sin Gang, kan beregnes paa følgende Maade under den Forudsætning, at der ingen Ekspansion anvendes. Lad det være en Højtryksmaskine, hvor Dampen i Kedlen har et Tryk af 6 Atmosfærer; Modtrykket, som Stemplet har at overvinde for at drive Dampen ud i Luften, være $1\frac{1}{4}$ Atm., og der bliver da $4\frac{3}{4}$ Atm. Tryk tilbage. Dette giver, idet vi regne med danske Maal, for hver Kvadrattomme af Stemplets Areal et Tryk af $4\frac{3}{4} \cdot 14\frac{1}{2} \mathcal{H} = c. 67 \mathcal{H}$. Er Stemplets Areal 40 Kvadrattommer, saa bliver det samlede Tryk lig $2680 \mathcal{H}$, og Arbejdet, som udføres under een Omdrejning af Maskinen, er altsaa $2 \times 2680 \times$ Cylinderens Længde; naar denne Længde f. Eks. er 1 Fod, saa bliver dette Arbejde lig $5360 \mathcal{H}'$. Maskinens Arbejdsydelse i hvert Sekund faar man da ved at tælle Antallet n af Omdrejninger i 1 Minut og multiplicere de $5360 \mathcal{H}'$ med $\frac{n}{60}$. Dersom n er lig 60, bliver det i 1 Sekund udførte Arbejde lig $5360 \mathcal{H}'$.

Maskinen siges at være paa 1 Hestekraft, naar der i hvert Sekund udføres et Arbejde af $480 \mathcal{H}'$ (eller 75 Kilogrammeter, naar vi regne med de franske Maaleenheder); den ovennævnte Maskine er altsaa paa $\frac{5360}{480} = 11\frac{1}{6}$ Hestekraft.

Forsøg have vist, at der for hver Hestekraft maa være en Ildpaavirkningsflade af 6 à 12 Kvadratfod, og at der for hver Hestekraft bruges c. 40 $\mathcal{H}$ Vand i Timen. Kulforbruget varierer imellem 6 og 10 $\mathcal{H}$ Kul pr. Time for hver Hestekraft, alt efter Maskinens Art, Godhed og Størrelse.

92. Varmluftmaskiner eller kaloriske Maskiner. I disse Maskiner er det varm Luft, som er den bevægende Kraft, i Stedet for Damp; opvarmes en Luftmasse til c. 300°, faar den omtrent en dobbelt saa stor Spænding som ved almindelig Temperatur, og kan da drive et Stempel fremad i en aaben Cylinder; lader man saa den varme Luft strømme ud, naar Stemplet har naaet sin yderste Stilling, bliver Spændingen lig 1 Atmosfære, og Stemplet vil blive ført tilbage af Svinghjulet. Der slippes saa igen varm Luft ind, o. s. fr. Dette er Principet i Ericsons Maskine, som senere er bleven modificeret af Andre, bl. a. saaledes, at der stadig anvendes den samme Luftmasse, som skiftevis opvarmes og afkøles (lukkede Maskiner).

I den lille Industri ere disse saavel som de følgende Maskiner ganske praktiske.

Gaskraftmaskiner eller Gasmotorer. I disse Maskiner frembringes Stemplets Bevægelse ved Eksplosion af en Blanding af Gas og atmosfærisk Luft (1 Del Gas, 9 Dele atm. Luft). Eksplosionen kan enten frembringes ved Hjælp af en elektrisk Gnist fra et Ruhmkorff's Induktionsapparat (Lenoir's Maskine) eller — som nu altid — ved Hjælp af et stadig brændende Gasblus, som ved Maskinens Bevægelse antænder en Gasblanding i de rette Øjeblikke («Otto's nye Gasmotor», Langyes' og Bishop's Motorer).

I Petroleumsmotorer benyttes som Drivkraft den Varme, der udvikles ved Forbrænding af en Blanding af Luft og fint fordelt Petroleum (Brayton's Motor).

IX. Kilder til Varmen.

93. Kemiske Processer. Naar to eller flere Stoffer indgaa en kemisk Forbindelse med hinanden, sker der en Varmeudvikling; naar et Stof adskilles i sine Bestanddele, finder der et Varmetab eller Varmeforbrug Sted. Ofte er Forholdet saaledes, at et Stof, der indtræder i den kemiske Forbindelse, samtidig udskilles af en anden kemisk Forbindelse; der finder i saa Tilfælde baade en Varmeudvikling og et Varmeforbrug Sted; den samlede Varmeudvikling bliver da lig den algebraiske Sum af de enkelte Varmeudviklinger (o: Varmeforbrugene regnes med negativt Fortegn).

Varmeudviklingen ved to Stoffers Forening er altid den samme, hvorledes end Forbindelsen sker (Hess's Lov); der er altsaa samme Varmeudvikling ved Dannelsen af Kulsyre, enten man lader Kulstof forbrænde straks til Kulsyre, eller det først forbrænder til Kulilte, der kun indeholder den halve Mængde Ilt, og Kulilten derefter til Kulsyre.

Den her nævnte Varmeudvikling ved kemiske Processer kaldes en Forbrænding; ofte kaldes den først en Forbrænding, naar der kommer en Lysudvikling til. I det daglige Liv forstaar man ved en Forbrænding den Forening, der finder Sted af Kulstoffet og Brinten i vore Brændsels- og Belysningsmaterialier med Atmosfærens Ilt, naar en bestemt Antændelsestemperatur er tilvejebragt.

Den ved Forbrændingen udviklede Varmemængde kan man bestemme ved at lade Forbrændingen foregaa i et af Vand omgivet Rum; Vandet modtager da den udviklede Varme, og denne bestemmes som ved de almindelige kalorimetriske Maalinger. Idet man ved et Stofs Brændværdi forstaar den Varme, der udvikles ved Forbrænding (med Ilt) af 1 Kgm. af Stoffet, har man fundet følgende Brændværdier:

Brint	Trækul	Gaskul	Grafit	Diamant
34200	8080	8047	7797	7776.

Vore almindelige Brændselsmaterialier indeholde Aske, d. v. s. ubrændbare Stoffer; jo større Askemængden er, desto mindre bliver Brændværdien. Hvad Træ angaar, saa er dets

Brændværdi størst, naar Træet er tørt, thi dels hører Vandet til de ubrændbare Stoffer, dels vil det, naar Træet brænder, forbruge Varme til sin Fordampning, hvilken Varme altsaa gaar tabt. De forskellige Slags Træ have i tør Tilstand omtrent samme Brændværdi, nemlig cr. 2900 Varmeenheder; ligestore Rummaal af forskellige Træsarter udvikle altsaa Varmemængder, der staa i ligefremt Forhold til Vægtfylderne.

94. Dyrisk Varme. Denne er egentlig et Eksempel paa den foregaaende Maade at faa Varme paa. Menneskets Temperatur er c. 37° , Pattedyrenes imellem 37° og 40° , Fuglenes lidt højere. Aarsagen til denne indre Varme er Varmeudviklingen, som finder Sted ved den Forbrænding, hvorved Kulstoffet og Brinten i det fra Hjærtet til Lungerne kommende, venøse Blod forener sig med den igennem Lungerne indaandede Ilt fra Atmosfæren, ved hvilken Proces Blodet omdannes til arterielt Blod. Blodets Kulstof og Brint kommer fra Næringsmidlerne. Den i Legemet udviklede Varme tabes ved Fordampning af Fugtighed igennem Huden, ved Udstraaling og Bortledning af Varme til Genstande udenfor og endelig ved Omsætning til det Arbejde, som Organismen udfører. Derfor trænger et Menneske, der arbejder, til mere Næring end et, der hviler, og Aandedrættet er livligere hos det første.

95. Mekanisk Arbejde. Varmeudviklingen ved dette er omtalt i det foregaaende og forbigaas derfor her.

Varmeudviklingen af den elektriske Strøm er en Varmeudvikling ved kemiske Processer, dersom Strømmen frembringes af galvaniske Apparater, og en Varmeudvikling ved mekanisk Arbejde, naar Strømmen frembringes af Dynamo-Maskiner.

96. Solvarmen. Den vigtigste Kilde til Varme paa Jorden er Solen. Denne udstraaler Varme til Himmelfrummet i alle Retninger, og en lille Del af denne Varme træffer Jorden.

Mængden af den Straalevarme, som Jorden modtager fra Solen har man bl. a. maalt ved Hjælp af Pouillet's Pyreheliometer (Fig. 61). Dette bestaar af en flad, cylindrisk Kasse af tyndt Metal, som er fyldt med Vand og anbragt paa den ene Ende af en lang Stang vinkelret paa denne; paa Stangens anden Ende er der en Skive, som er ligesaa stor som Kassen. Stangen er befæstet til et Stativ paa en saadan

Maade, at den kan drejes hen til hvilken Stilling, man vil; langs Stangen findes et Thermometerrør, hvis Beholder er anbragt i Metalkassens Vand. Metalkassen er oversmurt med Køræg paa den yderste Flade, den, som skal vendes imod Solen, men er blankt poleret paa de øvrige for at hæmme Varmestraalingen.

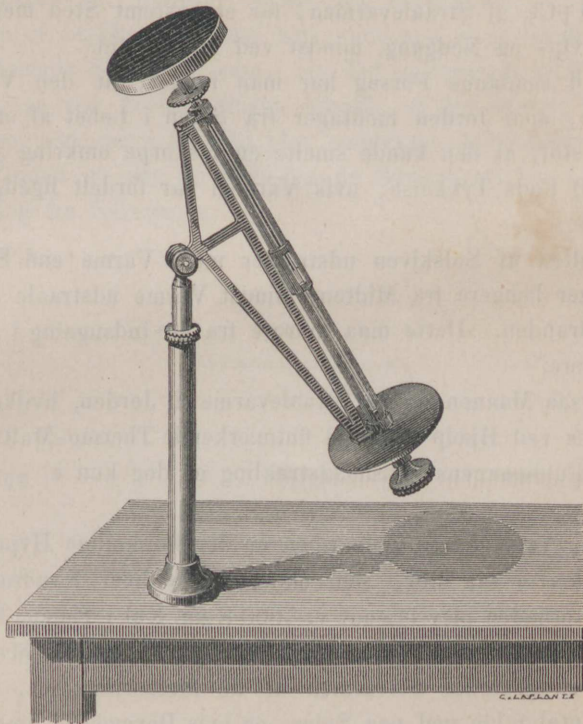


Fig. 61.

Naar Instrumentet skal bruges, stilles det i klart Solskin saaledes, at Solstraalerne falde vinkelret paa den sværtede Flade; dette vil finde Sted, naar Slagskyggerne af Kassen og den nævnte Skive falde sammen. Man iagttager da, hvor stærk en Opvarmning Vandet faar i Løbet af 5 Minutter og beregner den i denne Tid modtagne Varmemængde; derpaa sætter man en Skærm for, saa at Bestraalingen hører op, og maaler den Afkøling, der finder Sted i de næste 5 Minutter paa Grund af Varmetab til Omgivelserne; et saadant Varmetab fandt jo ogsaa Sted, da Bestraalingen foregik, og maa altsaa

adderer til den maalte Varmedvikling for at give den sande Varmedvikling. — Nogen Straalevarme er imidlertid bleven indsuget i Atmosfæren; ved Forsøg over Bestraalingens Styrke ved forskellige Stillinger af Solen over Horisonten saavelsom ved Forsøg i forskellige Højder over Jordoverfladen har man beregnet Atmosfærens Indflydelse. Ialt indsuger Atmosfæren 25 à 30 pCt. af Straalevarmen, for et bestemt Sted mest ved Solens Op- og Nedgang, mindst ved Middagstid.

Ved saadanne Forsøg har man fundet, at den Varmemængde, som Jorden modtager fra Solen i Løbet af et Aar, er saa stor, at den kunde smelte en Isskorpe omkring Jorden paa 100 Fods Tykkelse, hvis Varmen var fordelt ligelig over det hele.

Midten af Solskiven udstraaler mere Varme end Steder, der ligger længere fra Midten; mindst Varme udstraale Steder ved Solranden. Dette maa hidrøre fra en Indsugning i Solens Atmosfære.

Ogsaa Maanen sender Straalevarme til Jorden, hvilket kan iagttages ved Hjælp af meget fintmærkende Thermo-Multiplikatorer; Fuldmaanens Varmedstraaling er dog kun c. $\frac{1}{80000}$ af Solens.

Om Aarsagen til Solvarmen er der forskellige Hypoteser; Solvarmen er saa stor, som om der paa hver Kvadratmeter af Soloverfladen blev brændt c. 7000 Kgm. Kul i Timen, hvilket altsaa er en enorm Varmedvikling. — Ifølge R. Mayer's Teori vedligeholdes Solvarmen af de Meteoritmasser, som i stort Antal falde ned paa Solen, og hvis Bevægelser omdannes til Varme; derved maatte dog Solens Masse vokse, og dens Rotationstid aftage kendelig i Tidernes Løb, men noget saadant har ikke fundet Sted. Langt sandsynligere er den af Helmholtz fremsatte Anskuelse, at Solvarmen vedligeholdes ved den stadige Fortætning af Solmassen. Ifølge Laplace's Teori ere jo Himmellegerne i vort Solsystem dannede ved Fortætning af en stor Taagemasse, og det rimelige er, at denne Fortætning endnu langt fra er tilendebragt; vi vide jo, at der i Solatmosfæren findes Metaldampe, saa at Temperaturen ved Soloverfladen maa være meget høj; Solens Tæthed er kun $\frac{1}{4}$ af Jordens, og rimeligvis fortsættes Fortætningen stadig væk,

hvorved uhyre Masser styrte ind imod Solen og derved frembringe den store Varmeudvikling.

Af Solvarmen afhænger alt Plante- og Dyreliv paa Jorden. Planterne bruge Solvarmen til deres Vækst, d. e. til Udskillelse af det i Atmosfærens Kulsyre værende Kulstof. Planterne afgive igen Næring for Mennesker og Dyr, og den Arbejdskraft, som disse yde, hidrører altsaa fra Solvarmen. — Naar vi brænde et Stykke Træ eller Kul, uddrage vi af Stoffet netop den Mængde Solvarme, som i sin Tid er forbrugt til Plantens Vækst og ved Forbrændingen udvikle vi den samme Mængde Kulsyre, som der i sin Tid blev unddraget Atmosfæren.

Vinden og det rindende Vands Bevægkraft har ogsaa sit Udspring fra Solvarmen.

