

LUFTARTERS TERMISKE MOLEKULARTRYK I RØR

AF

MARTIN KNUDSEN

(FORELAGT I MØDET DEN 16. DEC.)

I. Indledning.

I to tidligere Arbejder er det blevet paavist, at Lufttrykket i et Rør, i hvilket der finder et Temperaturfald Sted, i Ligevægtstilstanden er forskelligt paa forskellige Steder i Røret. Det er blevet eksperimentelt godtgjort, at, naar Rørdiametren er forsvindende lille i Sammenligning med Luftmolekulernes Middelvejlængde, vil Trykket p og den absolute Temperatur T paa ethvert Sted i Røret være forbundne ved den simple Ligning:

$$\frac{p}{\sqrt{T}} = \text{konstant}$$

De udførte Undersøgelser berettiger til den Antagelse, at en anden og ligeledes særlig simpel Lovmæssighed vil gøre sig gældende, naar Luftmolekulernes Middelvejlængde er forsvindende lille i Sammenligning med Rørdiametren. For nøjere at undersøge dette Forhold, der ved relativt høje Middeltryk kræver Maaling af smaa Trykforskelle med stor procentisk Nøjagtighed, har Hr. Professor K. PRYTZ og jeg i Forening udført en Række Maalinger, hvis Resultater skal meddeles i det følgende.

II. Oversigt over Forsøgsresultaterne.

Resultatet af Undersøgelserne har været, at, naar Luftmolekulernes Middelvejlængde er forsvindende lille i Sammen-

ligning med Rørdiametren, vil Trykkene p_1 og p_2 og de tilsvarende absolute Temperaturer T_1 og T_2 paa to vilkaarlige Steder i Røret være forbundne ved Ligningen:

$$p_1^2 - p_2^2 = c \frac{T_1^2 - T_2^2}{273^2} \text{ (Dyn/cm}^2\text{)}^2$$

hvor c er en Størrelse, der kun i ringe Grad forandres med Temperaturen. c er derimod afhængig af Rørets Radius R , samt af Luftartens indre Gnidning η_0 ved Temperaturen af smeltende Is, og af Luftartens Vægtfylde ρ_0 ved Trykket 1 og Temperaturen af smeltende Is.

Undersøgelserne har vist, at man kan sætte

$$c = \frac{k}{0,30967} \left(\frac{1 + \frac{C}{273}}{1 + \frac{C}{T}} \right)^2 \frac{\eta_0^2}{\rho_0 R^2}, \text{ naar Trykkene maales i Dyn/cm}^2,$$

hvor C er Konstanten i Sutherland's Formel for den indre Gnidnings Afhængighed af Temperaturen.

En elementær teoretisk Betragtning baseret paa den kinetiske Teori har ført til denne Formel, idet den for Størrelsen k giver Værdien 1. Maalingerne har vist, at k er ca. 2,3, saa man altsaa her finder en lignende Uoverensstemmelse mellem Iagttagelserne og den elementære Teori, som andre har fundet ved Behandling af Luftarternes Varmeledningsevne.

III. De benyttede Apparater og Maalingernes Udførelse.

Til Maaling af de ved det termiske Molekulartryk frembragte Trykforskelle benyttedes et Kvægsølvmanometer, der aflæstes ved Hjælp af den af Prof. K. PRYTZ¹ angivne Metode med optisk Kontakt.

Fig. 1 viser Opstillingen skematisk. M er Kvægsølvmanometret, der ligesom alle Rørene lavedes af Glas, som forbandtes ved Sammenblæsning. Manometrets ene Gren er forsynet med en kugleformet Udvidelse med indre Diameter ca. 6 cm., medens den anden Gren har en cylinderformet Ud-

¹ K. PRYTZ, Vid. Selsk. Oversigter 1905, S. 17.

videlse med indvendig Diameter 3,3 cm. Den cylinderformede Grens øverste Endeflade er buet nedad og forsynet med et Hul, som dækkes af et paakittet Planglas, over hvilket Mikroskopobjektivet findes. Fra Manometret fører et Glasrør til Luftpumpen (Gaede) og til et almindeligt Kvægsølvmanometer samt to Glasrør til Apparatet *A*, i hvilket de termiske Molekulartryk frembringes ved Opvarmning eller Afkøling af et eller flere Overgangssteder mellem snævre og vide Rør.

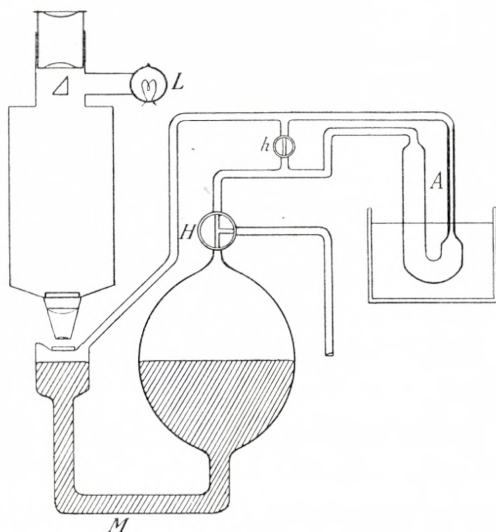


Fig. 1.

Til Iagttagelse af Niveauforandringer i Manometret angav Prof. PRYRZ følgende Sammenstilling. Et stort ZEISS' Mikroskopstativ med Akromat *A* og Kompensationsokular 18 opstilledes tilligemed Manometret paa en Stenhylde. I Mikroskopets Billedplan anbragtes en med tre sorte Streger forsynet forsøvet Glasplade (Hypotenuusefladen af et lille retvinklet Prisme), der belystes med en lille Glødelampe *L*. Lyset fra Glaspladen gik gennem Objektivet og tilbagekastedes fra Kvægsølvoverfladen i Manometret, saa der dannedes et Billede af Fladen med Stregerne. For at Billedet ikke skulde dækkes

af Glasprismet var der tæt over Objektivets øverste Linse anbragt et Biprisme, som bevirkede, at der dannedes et Billede af Fladen med Stregerne til hver Side for Fladen selv. Mikroskopets Grovindstillingsdrev fastspændtes, og Mikroskopets Højde over Kvægsølvoverfladen forandres med Finskruen, indtil Billederne af Glasfladen med Stregerne ses at staa skarpt. En Højdeforandring paa $1/1000$ mm. kunde da med Sikkerhed konstateres ved, at Stregerne staar mindre skarpt. Finindstillingens Skruehovede var delt i 20 Dele, som er opgivet at svare hver til en Flytning paa $0,002$ mm. af Mikroskopet. For at faa Højdeforskellen af de to Kvægsølvoverflader i Manometret bestemt uafhængig af denne Opgivelse og Kendskabet til Forholdet mellem de to Kvægsølvoverfladers Størrelse, blev Apparatet justeret til at give rigtige Trykhøjder paa følgende Maade.

Apparatet *A* erstattedes med en lille Glaspipette, hvis Rumfang udmaales ved Vejning med Kvægsølv, og man maalte, hvormange Finskru einddelinger Kvægsølvet sank derved, at Luft fra et maalt Tryk i den lille Pipette udbreder sig over den Del af det lufttomme Apparat, hvis Rumfang skulde findes. Den lille Pipette erstattedes nu med en større, hvis Rumfang ligeledes var udmaalt, og man maalte atter, hvormange Finskru einddelinger Kvægsølvet sank derved, at Luften fra et kendt Tryk i Pipetten udbreder sig over samme Del af det udpumpede Apparat som før tillige med en dermed forbundet Glasbeholder, hvis Rumfang i Forvejen var udmaalt (ca. 1 Liter). Af disse to Bestemmelser kan Apparatets Rumfang findes, og man kan nu ved successiv Paafyldning af smaa kendte Luftmængder fra Pipetten finde, hvad Finskru einddelingerne betyder ved Trykmaalingen. Det viste sig, at en Inddeling overalt paa Skruen hetød $0,00253$ mm. Kvægsølvtryk. Saavel under denne Justering som under de derpaa følgende Maalinger af de termiske Molekulartryk sørgedes for, at den benyttede Luft var tør overalt, ved Fosforsyreanhydrid anbragt i Beholderne og i smaa Udvidelser paa Rørene.

Efter at disse forberedende Undersøgelser var bleven afsluttede, blev Apparatet forbundet med det tidligere beskrevne Rør med 10 Overgangssteder i Række¹. Ved en elektrisk Strøm blev de med Asbest og Platintraad omviklede Forbindelsessteder holdt opvarmede til konstante Temperaturer (gennemsnitlig ca. 380°), mens de øvrige Forbindelsessteder ved Afkøling til Luften holdt sig ved ca. 50°.

Rørets Forbindelse med Manometret var saadan, at den Trykforskel, som var betinget af Opvarmningen, fremkaldte et større Tryk i den cylindriske end i den kugleformede Manometergren.

Forsøgene blev udførte paa følgende Maade. Efter Udpumpning med Gaedepumpen blev den Luftart, som skulde undersøges, sendt ind til Atmosfæretryk, og idet Hanen h holdtes aaben, indstilledes paa optisk Kontakt, og Finskruens Stilling aflæstes. Derpaa lukkes Hanen h , saa det termiske Molekulartryk kan virke paa Manometrets Kvægsølvoverflader, og man indstiller paany paa optisk Kontakt og aflæser Finskruen. Forskellen mellem de to Aflæsninger omsættes til mm. Kvægsølvtryk, og er da den søgte Trykdifferens $p_1 - p_2$. Trykket p_2 aflæstes paa det med Apparatet forbundne almindelige Kvægsølvmanometer, og Temperaturforskellen mellem de varme og de kolde Overgangssteder i Glasrøret bestemtes ved Termoelementer. Det viste sig, at denne Temperaturforskel holdt sig uforandret gennem alle Forsøgene.

Efter at Maalingen ved atmosfærisk Tryk var foretaget, formindskedes Trykket p_2 til ca. Halvdelen, og en ny Maaling foretoges o. s. v. Der foretoges saaledes en Række Maalinger med Brint og en med Ilt.

Da de ved Hjælp af Termoelementerne foretagne Temperaturbestemmelser ikke kan give nøjagtig Oplysning om, hvorledes Temperaturerne inde i de snævre Glasrør virkelig har været, foretoges en ny Bestemmelse med et andet Rør, i hvilket der kun var 1 snævert Rør indsat. Dette havde en Længde af ca.

¹ M. KNUDSEN, Vid. Selsk. Oversigter 1909, S. 603.

20 cm., dets Radius bestemtes ved Vejning med Kvægsølv at være 0,01793 cm. Det vide Rør, hvormed det var sammenblæst, havde en Radius af 0,48 cm. Den ene Sammenblæsning nedsattes i et Bad bestaaende af Woods Legering, hvis Temperatur bestemtes ved Hjælp af et Kvægsølvtermometer. Temperaturen af det snævre Rørs anden Ende bestemtes ligeledes ved et Kvægsølvtermometer, hvis Beholder anbragtes lige ved Sammenblæsningen, og idet der blev draget Omsorg for, at denne Rørende ikke kunde opvarmes kendelig fra Badet. Med dette Apparat udførtes med Brint ved et Tryk $p = 26,8$ mm. Kvægsølv Forsøg med to forskellige Temperaturer af Badet. Legeringen erstattedes derpaa med flydende Luft, hvorved Udslaget paa Manometret med optisk Kontakt naturligvis gik i modsat Retning af de forrige.

IV. Resultatet af Maalingerne.

Ved Maalingerne udførte med de 10 snævre og 10 vide Rør forbundne i Række var de ved Termoelementer bestemte Temperaturer af de opvarmede Overgangssteder mellem vide og snævre Rør følgende Række

352° 372° 353° 373° 456° 456° 373° 353° 372° 352°.

De koldere Overgangssteders Temperaturer sattes alle lig med 50°. Ved Maalingerne bestemtes $p_1 - p_2$ samt p_2 , hvoraf Middeltrykket $p = \frac{p_1 + p_2}{2}$ er beregnet. Denne Størrelse og de dertil hørende Værdier for $p_1 - p_2$ er opførte i følgende Tabeller.

Tabel I.

Brintfyldning. 10 Rørsammenføjninger opvarmede

p_1 og p_2 er angivne i mm. Kvægsølvtryk, $p = \frac{p_1 + p_2}{2}$

p	$p_1 - p_2$ <i>obs.</i>	$p_1 - p_2$ <i>ber.</i>	<i>obs. - ber.</i>	$p(p_1 - p_2)$ <i>obs.</i>	$p(p_1 - p_2)$ <i>ber.</i>
∞	"	0,000	"	"	32,5
775	0,039	0,034	0,005	30,2	26,4
384,6	0,067	0,068	-0,001	25,6	26,2

p	$p_1 - p_2$ <i>obs.</i>	$p_1 - p_2$ <i>ber.</i>	<i>obs. — ber.</i>	$p(p_1 - p_2)$ <i>obs.</i>	$p(p_1 - p_2)$ <i>ber.</i>
200,8	0,134	0,127	0,007	27,0	25,5
98,5	0,248	0,251	— 0,003	24,4	24,7
50,19	0,461	0,466	— 0,005	23,1	23,4
26,50	0,812	0,803	0,009	21,5	21,3
13,15	1,352	1,358	— 0,006	17,77	17,86
6,69	1,934	2,039	— 0,105	12,94	13,64
2,428	2,114	"	"	5,13	"

$(p_1 - p_2)$ *ber.* og $p(p_1 - p_2)$ *ber.* er beregnede af Formel 1, som skal anføres i det følgende, idet $k_1 = 2,37$, $k_2 = 0,99$ og $k = 2,403$.

Tabel II.

Iltfyldning. 10 Rørsammenføjninger opvarmede

p_1 og p_2 er angivne i mm. Kvægsølvtryk, $p = \frac{p_1 + p_2}{2}$

p	$p_1 - p_2$ <i>obs.</i>	$p_1 - p_2$ <i>ber.</i>	<i>obs. — ber.</i>	$p(p_1 - p_2)$ <i>obs.</i>	$p(p_1 - p_2)$ <i>ber.</i>
∞	"	0,000	"	"	10,9
739	0,014	0,012	0,002	10,3	8,87
371	0,025	0,024	0,001	9,4	8,79
184,1	0,041	0,048	— 0,007	7,5	8,74
94,1	0,092	0,090	0,002	8,7	8,47
46,89	0,157	0,173	— 0,016	7,4	8,13
23,70	0,321	0,318	0,003	7,61	7,54
13,44	0,513	0,510	0,003	6,89	6,85
7,68	0,754	0,755	— 0,001	5,79	5,80
3,239	1,082	1,221	— 0,139	3,51	3,96

$(p_1 - p_2)$ *ber.* og $p(p_1 - p_2)$ *ber.* er beregnede af Formel 1, som skal anføres i det følgende, idet $k_1 = 2,05$, $k_2 = 0,92$ og $k = 2,241$.

Tabel III.

Brintfyldning. En Rørsammenføjning opvarmet i Metalbad eller afkølet i flydende Luft.

p_1 og p_2 er angivne i mm. Kvægsølvtryk, $p = \frac{p_1 + p_2}{2}$

T_1 og T_2 angivne i Celsiusgrader. $(p_1 - p_2)$ ber. under Forudsætning af de tidligere Værdier for k_1 og k_2 .

T_1	T_2	$(p_1 - p_2)$ obs.	$(p_1 - p_2)$ ber.	obs. — ber.
360,7	27,2	0,074	0,082	— 0,008
221,2	25,4	0,037	0,041	— 0,004
— 189,0	23,8	0,017	0,014	0,003

Af Tabellerne I og II vil man særlig lægge Mærke til, at de i sidste Kolonne for $p(p_1 - p_2)$ eller $\frac{1}{2}(p_1^2 - p_2^2)$ opførte Værdier er voksende med voksende Værdier af Middeltrykket p , men at Værdierne tydelig nok konvergerer mod en konstant Størrelse, naar p bliver stor. Det er denne Konvergensværdi, som har særlig Interesse, da man for Brintens Vedkommende ikke kan spore nogen Afvigelse fra den ved Tryk, der er højere end $\frac{1}{8}$ Atmosfære, og for Iltens Vedkommende ikke finder nogen Afvigelse ved Tryk, der er højere end $\frac{1}{16}$ Atmosfære. I det hele Maaleomraade er $p(p_1 - p_2)$ for øvrigt ikke stærkt foranderlig, medens Middeltrykket varierer fra 1 Atmosfære til nogle faa Millimeters Tryk.

Skal man ved Hjælp af den kinetiske Luftteori gøre Rede for Molekulartrykkets Afhængighed af Luftens Natur og Rørets Dimensioner, kan man benytte den elementære Betragtning, som er anvendt ved en tidligere Lejlighed og som i det væsentlige stemmer med den af MAXWELL opstillede Teori. Det blev fundet l. c. p. 217, at Størrelsen M af den Tangentialkraft, hvormed en Luftart virker paa hver cm^2 af en fast Væg, i hvis Længderetning der finder Temperaturforandring Sted, kan udtrykkes ved

$$M = -k_1 \frac{3 \pi \eta}{128 \cdot 0,30967} \frac{dQ}{dl}$$

hvor η er Gnidningskoefficienten og Q Luftmolekulernes Middel-hastighed. k_1 blev angivet at skulle være en Konstant noget større end 1, og dette forklaredes ved de isoterme Fladers Hældning mod Rørvæggen. Ved nøjere Eftersyn synes dog

denne Forklaring mig uholdbar. Betænker man imidlertid, at naar man beregner en Luftarts Varmeledningsevne med Benyttelse af de samme Forudsætninger, som ligger til Grund for Beregningen af M , kommer man til Resultater, som afviger ret betydeligt fra de eksperimentelt fundne Værdier, idet disse er næsten dobbelt saa store som de beregnede, vil det være naturligt ogsaa her at bibeholde Størrelsen k_1 og søge den bestemt ved Eksperimentet og tilskrive dens Afvigelse fra 1 den Omstændighed, at Begrebet Middelveljængde er usikkert og til Dels uanvendeligt til nøjagtige Beregninger for en Luftart, i hvilken der finder et Temperaturfald Sted.

Den anførte Værdi for M kan imidlertid kun have Gyldighed under Forudsætning af, at der ikke finder Strømning Sted i Røret. Findes der en Luftstrømning, hvilket nødvendigvis maa være Tilfældet, naar Molekulernes Middelveljængder er smaa i Sammenligning med Rørdiametren, virker der af denne Grund paa hver cm^2 af Rørvæggen en Tangentialkraft B . Dennes Størrelse er tidligere (l. c. p. 220) sat lig med

$$B = \frac{3}{32} k_2 \Omega \frac{ap}{R^2} \frac{dp}{dl}$$

hvor $a = \frac{\pi \rho_1}{8 \eta} R^4$, ρ_1 Luftartens Vægtfylde ved Trykket 1 Dyn/cm^2 og den forhaandenværende Temperatur, og R Rørets Radius. k_2 er en Konstant, som blev sat lig med 0,81. Den teoretiske Begrundelse for denne Antagelse synes mig imidlertid usikker, hvorfor jeg anser det for rigtigst saa vidt muligt at søge ogsaa denne Konstant bestemt ved de udførte Eksperimenter. I Ligevægtstilstanden skal Summen af Kræfter, som virker paa Luften i en Rørlængde 1 være Nul, hvoraf følger, at

$$2 \pi R(M + B) + \pi R^2 \frac{dp}{dl} = 0.$$

Indsættes heri de fundne Værdier for M og B og erindres, at $\Omega = \sqrt{\frac{8}{\pi}} \sqrt{\frac{T}{273 \rho_0}}$, hvor ρ_0 er Luftartens Vægtfylde ved den absolute Temperatur 273° og Trykket 1 Dyn/cm^2 , samt at

$\eta = \eta_0 \frac{1 + \frac{C}{273}}{1 + \frac{C}{T}} \sqrt{\frac{T}{273}}$ i Følge Sutherland, faas følgende Lige-

vægtsbetingelse:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{0,00139 \frac{1 + \frac{C}{273}}{1 + \frac{C}{T}} \frac{\eta_0}{\sqrt{\rho_0}} k_1}{R + 32,07 \frac{1 + \frac{C}{T}}{1 + \frac{C}{273}} \frac{\sqrt{\rho_0}}{\eta_0} R^2 \frac{p}{T} k_2}. \quad (1)$$

Vælger man i dette Udtryk R saa stor, at første Led i Nævneren (R) er forsvindende lille i Sammenligning med andet Led (i hvilket indgaar R^2), hvilket vil være Tilfældet, naar Middelvejxlængden er forsvindende i Sammenligning med Rørdiametren, faar man det simple Udtryk

$$p dp = \frac{0,00139}{32,07} \left(\frac{1 + \frac{C}{273}}{1 + \frac{C}{T}} \right)^2 \frac{\eta_0^2}{\rho_0} \frac{1}{R^2} \frac{k_1}{k_2} T dT.$$

Koefficienten $\left(\frac{1 + \frac{C}{273}}{1 + \frac{C}{T}} \right)^2$ er en Størrelse, der kun varierer saa

lidt med T , at man kan erstatte den med dens Middelværdi ved Integrationen mellem to Steder af Røret. Udføres denne Integration og sættes $\frac{k_1}{k_2} = k$, faas:

$$p_1^2 - p_2^2 = c \frac{T_1^2 - T_2^2}{273^2} \quad (2)$$

hvor $c = \frac{k}{0,30967} \left(\frac{1 + \frac{C}{273}}{1 + \frac{C}{T}} \right)^2 \frac{\eta_0^2}{\rho_0 R^2}$.

Ved Hjælp af denne Ligning kan k imidlertid ikke findes med synderlig Nøjagtighed af Forsøgene, da de maalte Trykdifferenser ved de største Middetryk er saa smaa, at de er behæftede med en betydelig procentisk Fejl.

Ligning (1) er derfor bleven integreret uden at bortkaste

første Led i Nævneren, hvorved man, idet Ligningen kortelig

skrives $\frac{dp}{dT} = \frac{r}{R_1 + \frac{p}{T}}$, fik følgende to Tilnærmelsesudtryk:

$$\frac{1}{2} \Sigma(p_1^2 - p_2^2) = \frac{R}{2} \Sigma(T_1^2 - T_2^2) \left\{ 1 - \frac{2}{3} \frac{R_1}{p_3} \frac{\Sigma(T_1^3 - T_2^3)}{\Sigma(T_1^2 - T_2^2)} + \right. \\ \left. \frac{2}{4} \frac{R_1^2}{p^2} \frac{\Sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\Sigma(T_1^2 - T_2^2)} - \frac{2}{5} \frac{R_1^3}{p^3} \frac{\Sigma(T_1^5 - T_2^5)}{\Sigma(T_1^2 - T_2^2)} + \dots \right\}$$

samt

$$p \Sigma(p_1 - p_2) = p \frac{r}{R_1} \left\{ \Sigma(T_1 - T_2) - \frac{p}{R_1} \log. \text{nat} \frac{\frac{p}{R_1} + T_1}{\frac{p}{R_1} + T_2} \right\}$$

hvor Σ betegner, at Størrelserne skal summeres over alle 10 Rør. Ved Hjælp af disse Ligninger og med Benyttelse af mindste Kvadraters Metode har Hr. Cand. S. WEBER derpaa fundet k og k_2 . Herved sættes p konstant lig det observerede Middeltryk. En Regning efter en nøjagtigere Integrationsformel viste, at dette ikke medførte nogen væsentlig Unøjagtighed for Observationerne ved det laveste Brintryk og endnu mindre for de højere. Ved Udjævningen medtoges fra hver af Tabellerne I og II kun 5 Iagttagelsesværdier, idet for Brintens Vedkommende de to ved størst Tryk udelodes som lidet nøjagtige og ligeledes de to ved lavest Tryk, da Formlen neppe kan finde Anvendelse paa disse, i hvert Fald ikke paa den sidste. Af lignende Grunde udelukkedes af Iltrækken de tre første og den sidste Observation. Maalingerne ved høje Tryk er nemlig ikke blot behæftede med stor procentisk Fejl, fordi den maalte Trykforskel er saa lille, men især fordi en lille tilfældig Temperaturforskel paa Luften i de to Manometergrene faar større Indflydelse, jo større Middeltrykket er, saa den fortrinlige Højdeaflesning ved optisk Kontakt i disse Tilfælde langt fra kom til sin Ret. Den midterste af de 5 benyttede Observationer fik ved Udjævningen den største Vægt, medens de yderste fik en Vægt, der kun var ca. halv saa stor.

Resultatet af denne Udjævning var, at man for Brinten fandt $k = \frac{k_1}{k_2} = 2,403 \pm 0,019$, $k_2 = 0,988 \pm 0,056$ og for Ilt $k = \frac{k_1}{k_2} = 2,241 \pm 0,036$, $k_2 = 0,917 \pm 0,071$

Man ser heraf, at k er noget større for Brint end for Ilt. k_2 er ligeledes fundet noget større for Brint end for Ilt, men om denne Forskel er en Realitet, er tvivlsomt; man kan af de fundne Værdier kun slutte, at k_2 er ca. 1. Størrelsen k angiver et Maal for den elementære kinetiske Teoris Utilstrækkelighed og er derfor af særlig Betydning, idet den elementære Teori forlanger, at k skal være ca. 1.

Det hele i Tabellerne I og II indeholdte Observationsmateriale trænger imidlertid til en Kontrolbestemmelse; thi medens man ikke har Grund til at antage, at Middeltrykkene p og Trykdifferenserne $p_1 - p_2$ er behæftede med væsentlige Fejl, kan man ikke paa Forhaand være sikker paa Temperaturbestemmelserne. De snævre og de vide Rør havde kun en Længde af 5 cm. hver, og naar hver andet Overgangssted opvarmes ved en elektrisk opvarmet Platintraad, der er viklet udenom Røret, kan det befrygtes, at de udenpaa Røret maalte Temperaturforskelle har en noget anden Værdi end Temperaturforskellene inde i Røret, hvilke man netop skulde kende. I denne Anledning er Kontrolbestemmelserne i Tabel III udført med saa sikre Temperaturmaalinger, at disse kan anses for fejlfri i Sammenligning med Bestemmelserne af $p_1 - p_2$. For at denne Trykdifferens ikke skulde faa en altfor lille Værdi og derfor blive behæftet med stor procentisk Fejl, udførtes Maalingen ved en saa lille Værdi for Middeltrykket p , som man mente at turde tillade sig uden at komme udenfor Formlens Gyldighedsomraade. At Formlen ikke har Gyldighed ved lave Tryk men overgaar i en anden Formel, er tidligere bevist.

Med Benyttelse af de ovenfor fundne Værdier for k_1 og k_2 er dernæst $(p_1 - p_2)$ ber. i Tabel III beregnede af Ligning 1.

Det viser sig herved, at de beregnede Værdier er ca. 10 % større end de observerede. For at faa dem til at stemme fuldstændig, maatte man tillægge k Værdien 2,16 i Stedet for den benyttede 2,41. Til Gengæld er den beregnede Værdi blevet mindre end den observerede, da den tidligere opvarmede Rørsammenføjning blev afkølet i flydende Luft. Grunden her- til kan muligvis til Dels søges i Observationsfejl, men det har dog ikke været muligt at se, hvori de skulde ligge.

Som alt anført lader de absolute Værdier for k_1 og k_2 sig ikke bestemme med ret stor Nøjagtighed af de udførte Observationer. Deres Forhold k er derimod blevet bedre be- stemt. Dette ses let af følgende Regning. Sætter man i den første Observation Tabel III $k_2 = 0,99$, faas som anført $k = 2,16$. Sætter man derimod $k_2 = 0,81$, faas $k = 2,26$; altsaa forandres k kun ca. 5 %, medens k_2 er forandret med 20 % af sin Værdi. Ved højere Middeltryk bliver k i endnu højere Grad uafhængig af den valgte Værdi for k_2 .

I Tabellerne I og II er til Sammenligning med de iagttagne Værdier af $p_1 - p_2$ og $p(p_1 - p_2)$ opført de af Formel 1 beregnede. Man ser, at Overensstemmelsen er saa god, som man kan ønske. Den sidste Kolonne $p(p_1 - p_2)$ ber. er til- føjet, for at man kan se, hvorledes dette Produkt konvergerer mod en konstant Værdi, naar p vokser mod ∞ . Man ser, at Konvergenen er saa rask, at man ved Tryk større end 5 cm. Kvægsølvtryk uden synderlig Fejl kan benytte den simple Konvergensformel: Ligning 2.

I denne Ligning indgaar Faktoren k , for hvilken vi i det foregaaende har fundet de to Værdier 2,4 og 2,2. Den Nøj- agtighed hvormed k saaledes er fundet, kunde utvivlsomt for- øges betydeligt, men dette kan neppe have synderlig Interesse, saa længe man savner en nogenlunde exakt Teori for Varme- ledningen og for det her omhandlede Fænomen. Sætter man $k = 2,3$ baade for Ilt og Brint, vil den indtil videre være tilstrækkelig nøjagtig for praktiske Formaal.

Af Formel 2 beregnes, at naar man ved Hjælp af et Brint-termometer vil bestemme en Temperatur paa ca. 100° , vil man, hvis Forbindelsesrøret mellem Termometerbeholder og Manometer har en Diameter paa 0,1 mm., maale en kendelig Størrelse, nemlig $0,0023^{\circ}$, for lidt, hvis man undlader at korrigere for Molekulartrykket (beregnet under Forudsætning af, at Manometret har Temperaturen 0° og Trykket i Beholderen er 1 Atmosfære ved 0°). Ved Maaling af en Temperatur paa 1100° vilde Korrektionen for Molekulartrykket under de samme Forudsætninger blive ca. $+0,020^{\circ}$, en ved praktiske Maalinger forsvindende lille Korrektion.
