



HET WARMTEGELEIDINGSVERMOGEN

VAN

LUCHT EN WATERSTOF.


ACADEMISCH PROEFSCHRIFT

DOOR

D. J. JANSSEN.



LEIDEN.
DE BREUK & SMITS.
1878.



Diss Leiden

1878 nr 27

~~24~~

~~34~~

HET WARMTEGELEIDINGSVERMOGEN

VAN

LUCHT EN WATERSTOF.

THE AMERICAN BIBLE SOCIETY
NEW YORK

HET WARMTEGELEIDINGSVERMOGEN
VAN
LUCHT EN WATERSTOF.

ACADEMISCH PROEFSCHRIFT,

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN

Doctor in de Wis- en Natuurkunde,

AAN DE RIJKSUNIVERSITEIT TE LEIDEN,

OP GEZAG VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS

Dr. R. J. FRUIN,

HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER WIJSBEGEERTE EN LETTEREN,

VOOR DE FACULTEIT TE VERDEDIGEN

op Maandag 1 Juli 1878, des namiddags te 3 uren,

DOOR

DUCO JOACHEMUS JANSSEN,

GEBOREN TE LEEUWARDEN.

LEIDEN,
DE BREUK & SMITS.

1878.



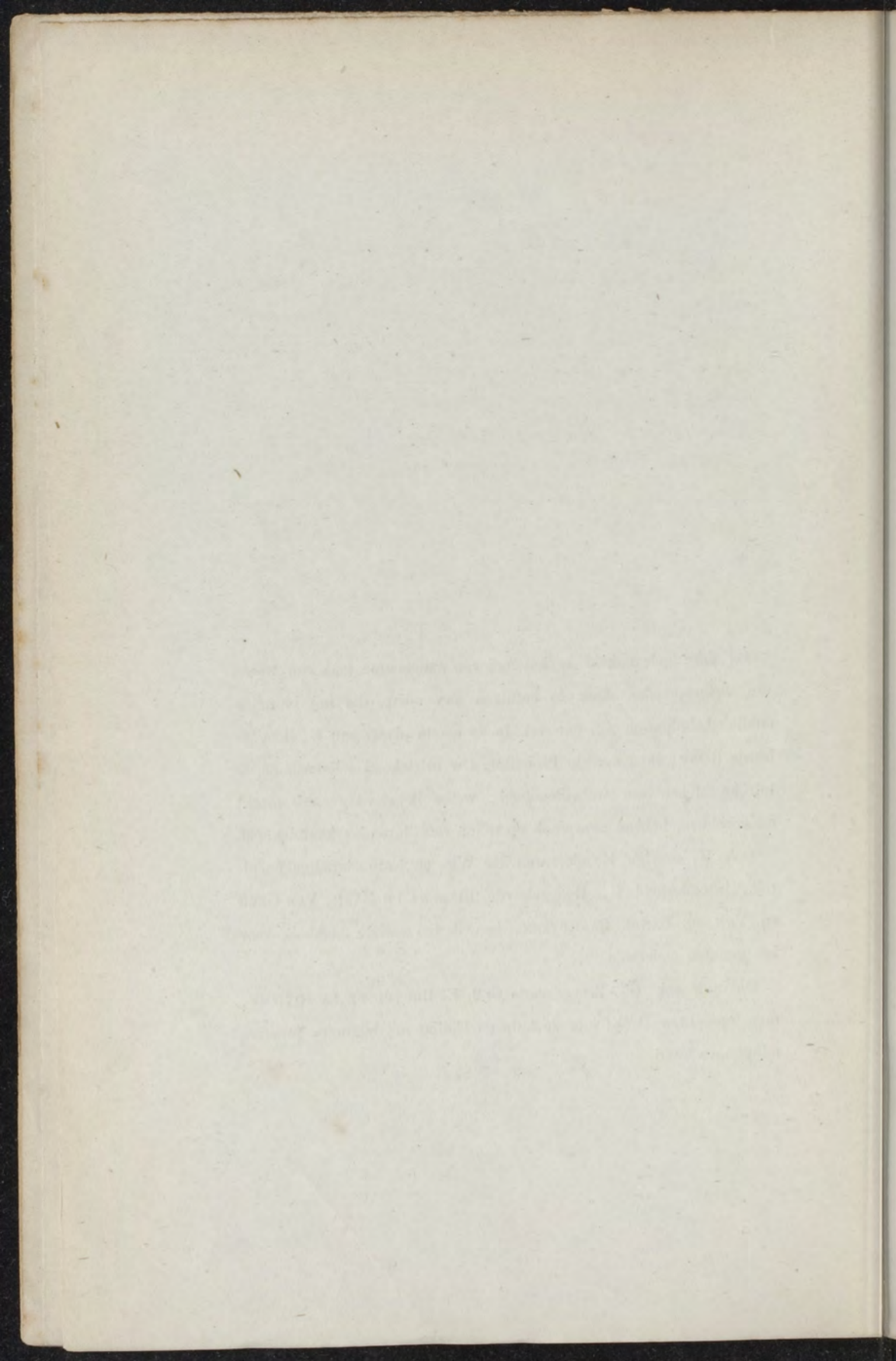
Van mijne Ouders.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

Bij deze gelegenheid is het mij een aangename taak een woord van welgemeenden dank te betuigen aan allen, die mij in mijne studiën behulpzaam zijn geweest. In de eerste plaats aan U, Hooggeleerde RIJKE, Hooggeachte Promotor, Uw uitstekend onderwijs en de talrijke blijken van welwillendheid, welke ik steeds van U mocht ondervinden, hebben aanspraak op mijne voortdurende erkentelijkheid.

Ook U, overige Hooggeleeraren der Wis- en Natuurkundige Faculteit, inzonderheid U, Hooggeleerde BIERENS DE HAAN, VAN GEER en VAN DE SANDE BAKHUYZEN, ben ik ten zeerste dankbaar voor het genoten onderwijs.

Ontvang ook Gij, Zeergeleerde C. J. E. BRUTEL DE LA RIVIÈRE, mijn oprechten dank voor de hulp en leiding mij bij mijne proefnemingen verleend.



§ 1. Men heeft langen tijd aangenomen, dat zoo de gassen in staat waren de warmte te geleiden, dit slechts een gevolg was van stroomingen, die, gelijk bij de vloeistoffen, door verandering in dichtheid bij verwarming of afkoeling ontstaan. Het onderlinge verschil in afkoelingssnelheid der gassen werd verklaard door de meerdere of mindere sterkte dezer stroomingen, voortvloeiende uit de grootere of kleinere bewegelijkheid hunner moleculen. MAGNUS *) evenwel deed opmerken, dat dit verschil in afkoelingssnelheid niet alleen aan een verschil in bewegelijkheid der gasmoleculen toegeschreven kon worden, daar juist in waterstof, welker afkoelingssnelheid het grootst is, de stroomingen door temperatuursveranderingen veroorzaakt, het kleinst moeten zijn. Omdat namelijk de uitzettingscoëfficiënt bij waterstof kleiner is dan bij de andere gassen, zullen veranderingen in dichtheid, ten gevolge van veranderingen in temperatuur, bij dit gas minder sterke stroomingen doen ontstaan dan bij de andere gassen. De grootere afkoelingssnelheid in waterstof doet dus

*) Pogg. Ann. 1861, Bd. 112, S 497.

besluiten tot een grooter warmtegeleidingsvermogen van dit gas.

Om dit warmtegeleidingsvermogen van de gassen aan te toonen, sloeg MAGNUS een dubbelen weg in. Achtereenvolgens bracht hij verschillende gassen in eene dunwandige glazen buis, die aan het ondereinde toegesmolten en van boven luchtdicht gesloten was door eene kurk, waarin een thermometer zoodanig bevestigd was, dat de bol er van zich in het midden van de buis bevond. Deze buis werd vervolgens geplaatst in een geheel met damp van kokend water gevulden ballon, en de tijd waargenomen, die noodig was, om den thermometer van 20° — 80° C. of van 20° — 90° C te zien stijgen. Daar bij deze proeven de buis van alle kanten bijna even sterk werd verwarmd, en er alzoo geene belangrijke stroomingen konden ontstaan, gaf het verschil in den tijd, die vereischt werd, om den thermometer dezelfde warmtehoeveelheden in de verschillende gassen toe te voeren, een maat voor het geleidingsvermogen der gebruikte gassen.

Neemt men het geleidingsvermogen van de lucht als eenheid aan, dan geven zijne proeven voor de onderscheidene gassen de volgende in deze eenheid uitgedrukte waarden:

| | |
|-----------|------|
| Lucht | 1,00 |
| Waterstof | 3,64 |
| Koolzuur | 0,82 |
| Ammoniak | 1,00 |

Bij andere proeven werd een glazen cilinder van boven

door kokend water verwarmd, en werden de temperaturen vergeleken, die een thermometer, welke zich, op een bepaalden afstand van de warmtebron, in den met gas gevulden of luchtledig gemaakten cilinder bevond, aanwees. Staat nu de thermometer, wanneer de toestel luchtledig is, lager dan wanneer hij een gas bevat, dan is het geleidend vermogen der gassen bewezen, omdat in dit geval de thermometer alleen door bestraling verwarmd wordt. In het tegengestelde geval mag men evenwel geenszins besluiten, dat de gassen de warmte niet geleiden, wijl hun absorberend vermogen voor de stralende warmte zeer wel den invloed van de warmtegeleiding overtreffen kon. MAGNUS echter merkte op, dat zijn thermometer in waterstof van de spanning van 2—15 mM. lager stond dan in hetzelfde gas bij eene spanning van ééne atmosfeer. Daarentegen had hij al de overige door hem onderzochte gassen het omgekeerde plaats. Volgens hem was derhalve het geleidende vermogen van waterstof bewezen; zelfs ging hij zoo ver om het met dat van de metalen te vergelijken. Doch ten onrechte nam hij aan, dat, bij eene gasdrukking van 9—15 mM., de thermometer door bestraling alleen warmte ontvangt, want latere proefnemingen hebben aangetoond, dat het geleidingsvermogen der gassen, tot op een zekere grens, onafhankelijk is van de spanning, waaronder zij verkeerden. BUFF *), die deze onderzoekingen van MAGNUS herhaald heeft, is van meening, dat hierbij de getallen, die het geleidende vermogen der gassen voorstellen, van

*) Pogg. Ann. 1876, Bd. 158, S 177.

dezelfde orde zijn als de bij de proef voorkomende onvermijdelijke waarnemingsfouten, daar de wand van den cilinder, verwarmd door geleiding en straling, warmte naar den thermometer uitstraalt, en zodoende gasstroomingen veroorzaakt. Het verschil in warmtegeleidingsvermogen tusschen waterstof en de andere gassen, gelijk dit door MAGNUS is waargenomen, moet volgens hem geweten worden aan het betrekkelijk groote absorbeerende vermogen van lucht voor donkere warmtestralen, terwijl waterstof daarvoor bijna even diathermaan is als het luchtledige.

§ 2. NARR *) heeft het eerst met zekerheid aangetoond, dat gassen in staat zijn de warmte te geleiden, en tevens uit zijn waarnemingen de verhouding van hun warmtegeleidingsvermogen met betrekking tot dat van lucht afgeleid. Bij zijne onderzoekingen bediende hij zich van de door DULONG en PETIT aangegevene methode ter bepaling van de afkoelingssnelheid in verschillende gassen. DULONG en PETIT gebruikten als af te koelen lichaam een kwikthermometer, welke tot op nagenoeg 350° C. verwarmd werd. Ten einde onafhankelijk te zijn van den invloed van het absorbeerende vermogen en den afstand van de omgevende lichamen, lieten zij dezen thermometer onder steeds gelijke omstandigheden afkoelen in een geel koperen bol, die, gedurende de proef, door middel van een waterbad eene constante temperatuur behield. Van binnen was deze bol met roetzwart bedekt. Tijdens de proef werd de gang van de afkoeling des thermometers van minuut tot minuut

*) Pogg. Ann. 1871, Bd. 141, S 123.

waargenomen, zoowel wanneer het gas in den bol eene spanning bezat van 0.5—1 m.M., als wanneer het onder den druk van ééne atmosfeer verkeerde. Uit deze gegevens kan dan voorts de afkoelingssnelheid bepaald worden. Hoewel zij van hunne waarnemingen geen gebruik gemaakt hebben, tot het bepalen van het warmtegeleidingsvermogen der gassen, kan men evenwel daaruit afleiden, dat in waterstof de afkoeling ongeveer 3.5 maal sneller ging dan in lucht.

Als af te koelen lichaam gebruikte NARR een met lijnolie gevuld glazen vat, hetwelk in het midden van den bol bevestigd was. Nadat de bol, hetzij nagenoeg luchtledig gemaakt, hetzij met de te onderzoeken gassen gevuld was, werd hij geheel in smeltend ijs gedompeld, en de lijnolie met behulp van een elektrischen stroom tot op ongeveer 150° C. verwarmd, waarna hare afkoeling van minuut tot minuut op een in de olie gedompelden thermometer werd afgelezen. De gassen, waarmede hij experimenteerde, bevonden zich onder eene drukking van ongeveer 90 m.M., omdat hij geloofde, dat bij deze spanning de stroomingen, door de werking der zwaartekracht teweeggebracht, geen invloed meer uitoefenen. Tot het verkrijgen van een zoo volkomen mogelijk luchtledig, bediende NARR zich van eene door JOLLY aangegevene kwikluchtpomp, met welke hij, volgens berekening, de spanning van het gebezigde gas tot op nog geen 0.01 m.M. verminderde. Bij gelijke temperatuursverschillen was de afkoeling in deze bijna luchtledige ruimte nagenoeg het 0.8^{de} gedeelte van de afkoeling, die plaats had, wanneer deze ruimte met lucht van 90 m.M. spanning gevuld was.

In het luchtledige heeft de afkoeling alleen plaats door uitstraling. Vermindert men nu de afkoelingssnelheid in het gas V met de afkoelingssnelheid in het luchtledige v , dan krijgt men de afkoelende werking V' van het gas, voor het geval n.l., dat er geen warmteverlies door uitstraling plaats heeft. NARR heeft uit zijne proeven afgeleid:

$$V' = V - v = mt,$$

in welke formule m eene voor de verschillende gassen verschillende constante is, en t het verschil in temperatuur tusschen het afkoelende lichaam en de omgeving voorstelt. De coëfficiënt m is dus evenredig aan de hoeveelheid warmte, die van het met lijnolie gevulde vat naar den bol door geleiding van het gas overgevoerd werd. De waarde van deze constante was voor

| | |
|-----------|----------------|
| lucht | $m = 0.006701$ |
| waterstof | 0.036939 |
| stikstof | 0.006567 |
| koolzuur | 0.005428. |

De getallen, die het warmtegeleidingsvermogen dezer drie laatste gassen, met betrekking tot dat van lucht als eenheid aangenomen, voorstellen, zijn dus:

| | |
|-----------|------|
| lucht | 1.00 |
| waterstof | 5.51 |
| stikstof | 0.98 |
| koolzuur | 0.81 |

§ 3. Na NARR heeft STEFAN *) zich met het warmtegeleidingsvermogen der gassen bezig gehouden, en absolute bepalingen dezer grootheid geleverd. In beginsel volgde hij de reeds door MAGNUS en NARR aangewende methoden. Naar de eerste methode werd de in een cilinder ingeslotene lucht van boven verwarmd of aan de onderwand afgekoeld. De ingeslotene lucht vormde hierbij de thermometrische zelfstandigheid, waarvan de temperatuur op elk oogenblik door middel van een manometer kon bepaald worden. Omdat echter de wanden van den cilinder als geleiders der warmte een storenden invloed op de proeven uitoefenden, maakte hij later gebruik van de in vele opzichten, door hem gewijzigde methode van NARR.

In een van binnen gepolijsten en met het te onderzoeken gas gevulden koperen cilinder bevond zich een tweede van buiten gepolijste eveneens koperen cilinder, welke met lucht of eenig ander gas gevuld en van eene glazen manometerbuis voorzien was. Deze laatste, U-vormig omgebogen, werd met het opene uiteinde gedompeld in een bakje met kwik. Genoemde tweede cilinder, op deze wijze ingericht, diende tot luchtthermometer. De afstand van de buitenste oppervlakte zijner wanden tot de daarmede overeenkomstige binnenste oppervlakte van den eersten cilinder bleef steeds constant. Dezen toestel, welke de temperatuur des vertreks bezat, dompelde STEFAN in sneeuwwater, om vervolgens de afkoelingsnelheid van den luchtthermometer door waarneming van de afnemende drukking te meten.

*) Wiener Sitzungsberichte 1872, Bd. 65. Abth. 2, S. 45 en 1875, Bd. 72, Abth. 2.

In de onderstelling dat de warmteovergang van den binnensten naar den buitensten cilinder alleen door het geleidingsvermogen van het gas, dat zich tusschen de wanden der beide cilinders bevindt, geschiedt, en de invloed van straling en strooming bij deze inrichting van den toestel onbeduidend is, zoo zal de hoeveelheid warmte, welke in een bepaald tijdsverloop tusschen de cilinderwanden overgaat, afhankelijk zijn van het temperatuursverschil dezer wanden, van de grootte hunner oppervlakken, van hunnen onderlingen afstand en van de grootte van het geleidingsvermogen van het gas, dat de tusschenruimte opvult. Onderstelt men nu, dat de hoeveelheid warmte, die in het tijdsverloop dt van den binnensten naar den buitensten cilinder overgaat, evenredig is aan het temperatuursverschil van de beide cilinders op dit oogenblik en aan het rekenkunstige middelevenredige van de oppervlakken, waartusschen deze warmteovergang plaats heeft, en omgekeerd evenredig aan den afstand dier beide oppervlakken, dan is deze hoeveelheid warmte gelijk aan

$$F k \frac{\theta}{\Delta} dt,$$

in welke uitdrukking θ het temperatuursverschil der beide cilinders beduidt, d. i. in dit geval de temperatuur van den binnensten cilinder, aangezien de buitenste beschouwd wordt als bijna onmiddellijk de temperatuur 0° aan te nemen. Verder is F het rekenkunstige middelevenredige van het binnenoppervlak van den buitensten en het buitenoppervlak van den binnensten cilinder, Δ de afstand van genoemde oppervlakken, en eindelijk k het warmtegeleidings-

vermogen van het gas, waarmede men experimenteert. Op elk oogenblik en gedurende het oneindig kleine tijdsverloop dt is n. l. het temperatuursverschil van twee gaslagen, die zich op de eenheid van afstand van elkaar bevinden, gelijk aan $\frac{\theta}{\Delta}$; de verdeeling van de temperatuur volgens de verbindingslijn der beide cilinderoppervlakken komt dan overeen met die, welke men gevonden heeft bij den doorgang van de warmte door een lichaam, dat door twee evenwijdige wanden begrensd is, die elk op eene standvastige, θ graden van elkaar verschillende temperatuur gehouden worden. Daar de temperatuur van het binnenste cilinderoppervlak voortdurend verandert, is dus hierbij de onderstelling gemaakt, dat de verandering in de verdeeling der temperatuur in de ruimte tusschen beide cilinders gelijkmatig plaats heeft met de verandering in temperatuur van den binnensten cilinder.

Stelt men nu, dat de temperatuur van den binnensten cilinder in den tijd dt met $-d\theta$ afneemt, en zij P het gewicht van dezen cilinder, c zijne specifieke warmte, dan is de hoeveelheid warmte, die hij in het tijdsverloop dt afstaat, gelijk aan

$$-P c d\theta.$$

Hierbij is de kleine hoeveelheid warmte, die de zich in den binnensten cilinder bevindende lucht verliest, verwaarloosd, omdat zij van geen invloed op het resultaat is.

Omdat nu

$$F k \frac{\theta}{\Delta} dt = -P c d\theta,$$

volgt hieruit:

$$\frac{d\theta}{\theta} = -\frac{F k}{P c \Delta} dt.$$

Neemt men nog aan, dat voor de kleine temperatuursverschillen, waarvoor de bovenstaande vergelijking geldt, het warmtegeleidingsvermogen van de temperatuur onafhankelijk is, zoo volgt hieruit, wanneer voor den tijd $t = 0$, de temperatuur van den binnensten cilinder $\theta = \theta_0$ is, na integratie:

$$l\theta - l\theta_0 = -\frac{Fk}{Pc\Delta}t,$$

of

$$\frac{\log \theta_0 - \log \theta}{t} = \beta \log e, \dots \dots \dots (I)$$

in welke formule β voor $\frac{Fk}{Pc\Delta}$ geschreven is.

Het komt er nu op aan de temperatuur θ van den binnensten cilinder en van het zich daarin bevindende gas uit den stand van het kwik in de manometerbuis afte leiden. Laten p_0 en θ_0 de drukking en de temperatuur van het gas in den binnensten cilinder zijn, op het oogenblik, dat men begint te tellen, dus voor $t = 0$; p en θ de drukking en de temperatuur op den tijd t , en p_1 de drukking bij het einde van den proef, dus wanneer de geheele toestel de temperatuur 0° aangenomen heeft, dan is

$$p_0 = p_1(1 + \alpha\theta_0)$$

en

$$p = p_1(1 + \alpha\theta),$$

waarin α de uitzettingscoëfficiënt van het gas beteekent. Hieruit volgt:

$$\frac{\theta_0}{\theta} = \frac{p_0 - p_1}{p - p_1} \dots \dots \dots (II).$$

Aannemende dat, bij het begin van de proef, het raak-

vlak aan den meniscus van het kwik door het nulpunt der schaal gaat, en noemt men h de hoogte van het kwik op den tijd t , en h_1 die hoogte bij het einde der proef, dan kan men schrijven :

$$p = p_0 - \varepsilon h$$

en

$$p_1 = p_0 - \varepsilon h_1.$$

In verband met vergelijking (II) vloeit hieruit voort :

$$\frac{\theta_0}{\theta} = \frac{h_1}{h_1 - h} \dots \dots \dots \text{(III).}$$

De factor ε , die weer uit de eindformule (III) verdwijnt, dient eensdeels om de vermindering in drukking, die door de kwikhoogten h en h_1 aangegeven wordt, in dezelfde maat uit te drukken, waarin p_0 gegeven is; anderdeels bevat ε de correctie, die men aan h en h_1 moet aanbrengen, omdat het stijgen van het kwik in de manometerbuis eene daling van het niveau daarbuiten ten gevolge heeft.

Uit form. (III) volgt nu :

$$\log \theta_0 - \log \theta = \log h_1 - \log (h_1 - h),$$

en door substitutie van deze waarde van $\log \theta_0 - \log \theta$ in vergelijking (I),

$$\frac{\log h_1 - \log (h_1 - h)}{t} = \beta \log e \dots \dots \text{(IV).}$$

Door middel van deze formule kan men de juistheid der onderstellingen, die tot hare afleiding vereischt werden, aan de ondervinding toetsen; immers de waarde van $\beta \log e$ is voor denzelfden toestel en hetzelfde gas constant, zoodat in dit geval het eerste lid der vergelijking (IV), welks getallenwaarde terstond door de waarneming geleverd wordt,

eveneens constant moet zijn. Dit is dan ook door de proefnemingen van STEFAN bevestigd.

Stelt men eindelijk :

$$\beta \log e = C,$$

zijnde C eene standvastige waarde, welke onmiddellijk door de waarneming verkregen wordt, dan kan men voor deze laatste uitdrukking schrijven :

$$\frac{F k}{P c \Delta} \log e = C.$$

Hieruit volgt :

$$k = \frac{C P c \Delta}{F \log e} \dots \dots \dots (V).$$

Daar C , P , c , Δ en F bekend zijn, kan men den warmtegeleidingscoëfficiënt k berekenen en uitdrukken in de eenheden (centimeter)², gram en secunde.

Heeft men voor een ander gas gevonden :

$$k' = \frac{C' P c \Delta}{F \log e}, \dots \dots \dots (VI)$$

dan is in verband met verg. (V)

$$\frac{k}{k'} = \frac{C}{C'} \dots \dots \dots (VII)$$

Deze laatste formule geeft het middel aan om de warmtegeleidingscoëfficiënten der verschillende gassen, met betrekking tot dien van de lucht als eenheid aangenomen, te bepalen.

De volgende tabel bevat de door STEFAN gevonden waarden.

| | | | relatief. | absoluut. |
|-----------------|-----------|------------------|-----------|-----------|
| Koolzuur | $C O_2$ | $\frac{k}{k'} =$ | 0,642 | $k' =$ |
| Stikstofoxyduul | $N_2 O$ | | 0,665 | |
| Aethylen | $C_2 H_4$ | | 0,752 | |
| Kooloxyde | $C O$ | | 0,981 | |
| Lucht | | | 1,000 | 0,0000558 |
| Zuurstof | O_2 | | 1,018 | |
| Moerasgas | $C H_4$ | | 1,372 | |
| Waterstof | H_2 | | 6,718 | |

STEFAN beschouwt den invloed der stroomingen op het warmtegeleidingsvermogen der gassen òf als zeer gering, òf bij zijne verschillende proeven als nagenoeg gelijk, wijl waarnemingen met hetzelfde gas op verschillende tijden gedaan, steeds gelijke waarden opleverden. Het aandeel van de uitstraling op de afkoeling van den luchtthermometer, meende STEFAN te mogen verwaarloozen, daar hij voor het warmtegeleidingsvermogen van lucht bijna hetzelfde resultaat verkreeg als bij zijn vorige proeven, wanneer hij ze herhaalde, terwijl het buitenoppervlak van den binnensten cilinder met een laag oostindischen inkt en het binnenoppervlak van den buitensten cilinder met een laag roet bedekt was.

Uit de proeven van MELLONI en anderen toch volgt, dat het uitstralingsvermogen van oostindischen inkt en het opslorplingsvermogen van roet veel grooter is dan dat van gepolijste metalen; wanneer nu de straling een merkbaaren invloed uitoefende, zou het uit deze proef berekende gelei-

dende vermogen der lucht aanmerkelijk grooter moeten gevonden worden, dan de uit de vorige proeven daarvoor afgeleide waarde. De proef leverde echter een waarde, die ongeveer 3 $\%$, grooter was, hetgeen volgens STEFAN niet door straling behoeft verklaard te worden, maar zijn oorzaak kan hebben, dat de afstand der beide oppervlakken, waartusschen de warmteovergang plaats heeft, door het bedekken met oostindischen inkt en roet kleiner geworden is, dan bij de berekening aangenomen is. Het bewijs is echter niet geleverd, dat een gepolijst en een met oostindischen inkt of roet bedekt oppervlak een verschillend uitstralingsvermogen bezitten, daar naar proeven van LEHNEBACH *) het opslorings- en uitstralingsvermogen van glasoppervlakken met en zonder roetlaag, bij temperaturen, tusschen 0° en 100° C. niet veel verschilt. Bovendien heeft H. WEBER †) gevonden, dat het uitwendig warmtegeleidingsvermogen van een met roet bedekte ijzerstaaf slechts weinig grooter is, dan bij een staaf met metallieke oppervlakte. Deze onderzoekingen geven dus aanleiding, om de juistheid van STEFAN's onderstelling in dit opzicht eenigzins te betwijfelen.

§ 4. WINKELMANN §) heeft, op het voetspoor van STEFAN en naar diens methode, vele onderzoekingen over de warmtegeleiding der gassen verricht, waarbij hij zooveel mogelijk den invloed van stroomingen en straling in rekening trachtte

*) Pogg. Ann. 1874. Bd. 151. S. 69.

†) Pogg. Ann. 1872. Bd. 146. S. 257.

§) Pogg. Ann. 1875, Bd. 156, S. 497; 1876, Bd. 157, S. 497; 1876, Bd. 159, S. 177 en S. 152; 1877, Neue Folge I.

te brengen. Zijne waarnemingen hebben bevestigd, dat, in overeenstemming met de theorie der gassen, de warmtegeleidingscoëfficiënt van lucht onafhankelijk is van de drukking. Waterstof scheen hierop eene uitzondering te maken, daar de afkoelingssnelheid van dit gas met afnemende spanning gelijktijdig kleiner werd. Aannemende dat, onder overigens gelijke omstandigheden, straling en stroomingen bij alle gassen gelijk zijn, vond WINKELMANN, met inachtneming van de door hem voor zijne toestellen aangegevene bijzondere correcties voor straling en stroomingen, de volgende relatieve en absolute waarden voor het warmtegeleidingsvermogen van verschillende gassen.

| | | absoluut. | relatief. |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| Lucht | | 0,0000525 | 1,00 |
| Koolzuur | $C O_2$ | 317 | 0,60 |
| Aethylen | $C_2 H_4$ | 414 | 0,79 |
| Moerasgas | $C H_4$ | 647 | 1,23 |
| Stikstofoxyde | $N O$ | 460 | 0,87 |
| Kooloxyde | $C O$ | 510 | 0,97 |
| Zuurstof | O_2 | 563 | 1,07 |
| Stikstofoxyduul | $N_2 O$ | 363 | 0,69 |
| Stikstof | N_2 | 524 | 1,00 |
| Waterstof | H_2 | 3324 | 6,33 |

In zijne verdere onderzoekingen heeft WINKELMANN de door de theorie gevorderde afhankelijkheid van het warmtegeleidingsvermogen der gassen van de temperatuur proefondervindelijk aangetoond, en de temperatuurs-coëfficiënten

voor de warmtegeleiding van eenige gassen en dampen bepaald.

§ 5. Als eene voortzetting van STEFAN's proefnemingen kunnen de warmtegeleidingsbepalingen van PLANK *) omtrent gasmengsels en enkele zuivere gassen beschouwd worden. Met dezelfde cilindertoestellen, waarvan STEFAN zich bediende, vond hij o. a. de volgende waarden:

| | Relatieve warmtegeleidingscoëfficiënt. |
|--------------------|--|
| N_2 | 0,993 |
| $N O$ | 0,954 |
| $N_2 O$ | 0,665 |
| $N H_3$ (Ammoniak) | 0,917 |
| Lucht | 1,000 |

§ 6. Eindelijk hebben nog KUNDT en WARBURG †) het warmtegeleidingsvermogen van lucht, waterstof en koolzuur bepaald. Hunne methode was in beginsel die van DULONG en PETIT, omdat zij de afkoeling van kwikthermometers in glazen vaten van verschillende gedaante waarnamen. Bij hunne proefnemingen trachtten zij den invloed der stroomingen te elimineeren door de afkoelingssnelheid bij lage drukkingen te beschouwen. Hun is gebleken, dat deze steeds afnam bij vermindering in spanning, totdat zij van af eene bepaalde drukking constant bleef. De doorloopende vermin-

*) Wiener Sitzungsberichte 1875, Bd. 72, Abth. 2, S. 269; 1876, Bd. 74, Heft 2. Abth. 2.

Carl's Rep. 1877, Bd. 13, S. 164.

†) Pogg. Ann. 1875, Bd. 156, S. 177; ook in Berliner Monatsber. 1875, S. 160.

dering in de afkoelingssnelheid van waterstof, welke WINKELMANN had waargenomen, deed zich bij hen niet voor; onder anderen bleef bij een van de door KUNDT en WARBURG gebruikte toestellen de afkoelingssnelheid van dit gas constant bij drukkingen tusschen 154 en 3 m.M. Uit de gastheorie volgt, dat de hoeveelheid warmte, die door geleiding overgevoerd wordt van af een zekeren graad van verdunning onafhankelijk is van de gedaante van het vat, en alleen afhangt van het aantal moleculen in de ruimte-eenheid voorhanden; deze hoeveelheid warmte is dan slechts een uiterst klein gedeelte van de hoeveelheid, welke bij normale drukkingen door geleiding overgevoerd wordt. De waarnemingen van KUNDT en WARBURG hebben dit bevestigd; zij vonden n.l. voor de afkoelingssnelheden in twee toestellen van verschillenden vorm, die bij 200° gedroogd en met groote zorgvuldigheid luchtledig gemaakt waren, en waarvan in den eenen de afkoelingssnelheid bij normale drukkingen ongeveer tweemaal grooter was dan in den anderen, bij onmeetbaar kleine drukkingen, waarden, die nog niet 2‰ onderling verschilden. Derhalve was de warmtegeleiding in dit geval tot een zeer klein gedeelte van de oorspronkelijke waarde teruggebracht, zoodat het warmteverlies bijna geheel alleen door uitstraling veroorzaakt werd. Door nu genoemde kleine hoeveelheid warmte, die door geleiding overgaat, buiten rekening te laten, kan uit deze waarnemingen het uitstralingsvermogen van glas bepaald en verder de invloed van de uitstraling bij de proeven geëlimineerd worden.

Hunne proeven hebben de volgende waarden voor het

geleidingsvermogen opgeleverd, uitgedrukt in dat van lucht = 1.

Lucht 1.00

Waterstof 7.10

Koolzuur 0.59.

§ 7. De theoretische formule voor de grootte van het warmtegeleidingsvermogen van een gas is

$$k = z \eta c,$$

waarin z eene constante voorstelt, c de specifieke warmte bij constant volumen en η de wrijvingscoëfficiënt van het gas. Volgens CLAUSIUS is $z = \frac{5}{4}$; volgens MAXWELL gelijk $\frac{5}{3}$; volgens BOLTZMAN in de door hem aangenomene nieuwste hypothese van MAXWELL, dat de gasmoleculen elkaar met eene in de omgekeerde reden van de 5^{de} macht van den afstand werkende kracht afstooten, gelijk $\frac{5}{2}$; en eindelijk volgens O. E. MEYER, die de oudere theorie van MAXWELL blijft aankleven, gelijk 1.53. Wanneer nu C de specifieke warmte bij constante drukking voorstelt en γ de verhouding tusschen de specifieke warmte bij constante drukking en die bij constant volumen, dan kan men schrijven:

$$c = \frac{C}{\gamma}.$$

De waarden van C zijn door REGNAULT bepaald; die van γ door verschillende natuurkundigen, o. a. door RÖNTGEN, DULONG, MASSON en CAZIN; terwijl η uit de proeven van GRAHAM over de beweging van gassen in capillaire buizen door O. E. MEYER *) is berekend. De laatste heeft ook, met

*) O. E. Meyer. Kinetische Theorie der Gase 1877. S. 193.

behulp van genoemde bekende waarden, de volgende getallen voor het warmtegeleidingsvermogen van eenige gassen gevonden.

| | absoluut | relatief |
|-------------------------------|-----------|----------|
| Lucht | 0,0000492 | 1,000 |
| H ₂ | 3497 | 7,107 |
| C O | 490 | 0,996 |
| N ₂ | 491 | 0,998 |
| O ₂ | 502 | 1,020 |
| C O ₂ | 407 | 0,827 |
| N ₂ O | 425 | 0,864 |
| C H ₄ | 829 | 1,684 |
| N H ₃ | 639 | 1,303 |
| C ₂ H ₄ | 542 | 1,102 |
| N O | 474 | 0,985 |

De waarnemingen van enkele onderzoekers geven voor het geleidingsvermogen in absolute maat de volgende cijfers.

| | | | |
|-------------------------------|-----------|------------|---------|
| Lucht | 0,0000480 | KUNDT en | WARBURG |
| | 525 | WINKELMANN | |
| | 558 | STEFAN | |
| H ₂ | 3324 | WINKELMANN | |
| C O | 510 | " | " |
| N ₂ | 524 | " | " |
| O ₂ | 563 | " | " |
| C O ₂ | 317 | " | " |
| N ₂ O | 363 | " | " |
| C H ₄ | 647 | " | " |
| C ₂ H ₄ | 414 | " | " |

Voor de zoogenaamde permanente gassen stemmen de theoretisch berekende waarden vrij wel met de waargenomenen getallen overeen, doch bij de overige gassen zijn ze aanmerkelijk grooter. Neemt men echter voor α , in plaats van de door O. E. MEYER gestelde waarde 1.53, een der door MAXWELL, CLAUDIUS of BOLTZMANN aangegevene getallen, dan zullen theorie en experiment nog veel verder uiteenloopen.

De volgende tabel bevat de coëfficiënten van het warmtegeleidingsvermogen van eenige gassen, met betrekking tot dien der lucht als eenheid, zooals zij uit de proeven van NARR, STEFAN, PLANK, KUNDT en WARBURG en WINKELMANN voortvloeien.

| | NARR. | STEFAN. | PLANK. | KUNDT en WARBURG. | | WINKELMANN |
|-------------------------------|-------|---------|--------|-------------------------|---------|------------|
| | | | | | | |
| Lucht | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| H ₂ | 5.51 | 6.72 | — | 7.10 | 6.50 *) | 6.33 |
| CO | — | 0.98 | — | — | — | 0.97 |
| N ₂ | 0.98 | — | 0.99 | — | — | 1.00 |
| O ₂ | — | 1.02 | — | — | — | 1.07 |
| CO ₂ | 0.81 | 0.64 | — | 0.59 | — | 0.60 |
| N ₂ O | — | — | 0.665 | — | — | 0.69 |
| NH ₃ | — | — | 0.92 | — | — | — |
| CH ₄ | — | 1.37 | — | — | — | 1.23 |
| C ₂ H ₄ | — | 0.75 | — | — | — | 0.79 |
| NO | — | — | 0.954 | — | — | 0.87 |

*) Volgens WINKELMANN's berekening van de waarnemingen van KUNDT en WARBURG. Zie Pogg. Ann., Bd. 157. S. 550.

Wederom blijkt, dat bij die gassen, waarbij het molecuul meer dan 2 atomen bevat, de theorie grootere waarden verlangt dan de proefneming oplevert. Bovendien bestaat er nog verschil tusschen de waarnemingen der onderzoekers onderling. STEFAN *) en BOLTZMANN †) trachten deze afwijkingen, welke steeds in denzelfden zin plaats hebben, te verklaren deels door waarnemingsfouten en in de door het experiment gegevene getallen, en in de bepaling der grootheden, welke gediend hebben om de theoretische waarden van het geleidingsvermogen te berekenen; deels door atoombewegingen, welke bij de gassen optreden, en welker invloed de theorie niet in aanmerking had genomen. Volgens hen moet de energie van de beweging der atomen, die de moleculen vormen, en de energie der moleculaire beweging een ongelijk aandeel hebben in den voortgang van de warmtegeleiding. Overtreft nu de energie der atomen de energie der moleculaire beweging, dan kan zeer wel de atoombeweging der warmere moleculen langzamer naar de koudere overgevoerd worden, dan dit met de progressieve beweging hunner zwaartepunten het geval is. Door opneming van deze omstandigheden in de theoretische formule voor de warmtegeleiding van gassen, wier moleculen uit meer dan twee atomen bestaan, is het O. E. MEYER gelukt de theorie met het experiment te doen overeenstemmen. Eene dergelijke formule door BOLTZMANN voorgesteld, en bij welke hij van de hypothese uitgaat, dat de atomen-energie zich tot de molecu-

*) Wiener Sitzungsberichte. 1875. Bd. 72, Abth. 2. S. 74.

†) Wiener Sitzungsberichte. 1875, Bd. 72, Abth. 2, S. 457.

laire energie verhoudt in reden van 3 tot 13, geeft eveneens voor de warmtegeleidingscoëfficiënten der verschillende gassen theoretische waarden, welke met de waarnemingen vrij wel strooken. Deze verhouding laat zich zeer goed toepassen op alle gassen, ook op die, wier molecuul slechts uit 2 atomen bestaat, en waarbij dus de atomen-energie door de moleculaire overtroffen wordt.

§ 8. Wanneer men zich bepaalt tot de tweeatomige gas-
sen, zoo stemmen de waargenomene waarden van hun
warmtegeleidingsvermogen, dat van lucht als eenheid aange-
nomen, tamelijk wel met de theorie overeen. Waterstof alleen
maakt eene uitzondering. De daarvoor door KUNDT en WAR-
BURG gevondene waarde is nagenoeg volkomen theoretisch
juist; daarentegen is die van NARR 28%, die van STEFAN
5% en die van WINKELMANN 12% te klein.

Laat men bij de proeven van NARR de strooming buiten
rekening, en neemt men aan, dat bij eene drukking van
0.01 m.M. de afkoeling bijna geheel door uitstraling plaats
heeft, dan zullen de door hem gevondene waarden de
hoogste grens zijn, waartoe die getallen kunnen naderen.
Want stellen wij de afkoelingssnelheid in lucht voor door
 V_1 , die in het luchtledige van 0,01 m.M. door V_2 , dan zal
de afkoelingssnelheid, die alleen door geleiding van de
lucht plaats heeft, gelijk zijn aan:

$$V'_1 = V_1 - V_2.$$

Heeft men nu eveneens voor een ander gas, b. v. voor
waterstof, gevonden,

$$V'_1 = v_1 - v_2,$$

dan is de verhouding tusschen de beide afkoelingssnelheden

$$\frac{v'_1}{V'_1} = \frac{v_1 - v_2}{V_1 - V_2}$$

Wanneer nu de afkoeling bij 0.01 m.M. niet alleen door straling geschiedt, maar moet een gedeelte daarvan op rekening van de geleiding gesteld worden, dan zullen V'_1 en v'_1 beiden kleiner zijn dan de waarden der afkoelingssnelheden, die men zou vinden, indien de warmteovergang alleen door geleiding voortgebracht werd: de verhouding

$\frac{v'_1}{V'_1}$, gelijk zij door NARR aangegeven is, zal dus te groot

zijn. Hebben er echter stroomingen plaats, dan zullen de waarden V_1 en v_1 , dus ook V'_1 en v'_1 te groot zijn, en

zou de verhouding $\frac{v'_1}{V'_1}$ te klein kunnen worden. Het groote

verschil van 28%, door NARR bij waterstof gevonden, schijnt dus geheel aan stroomingen toegeschreven te moeten worden.

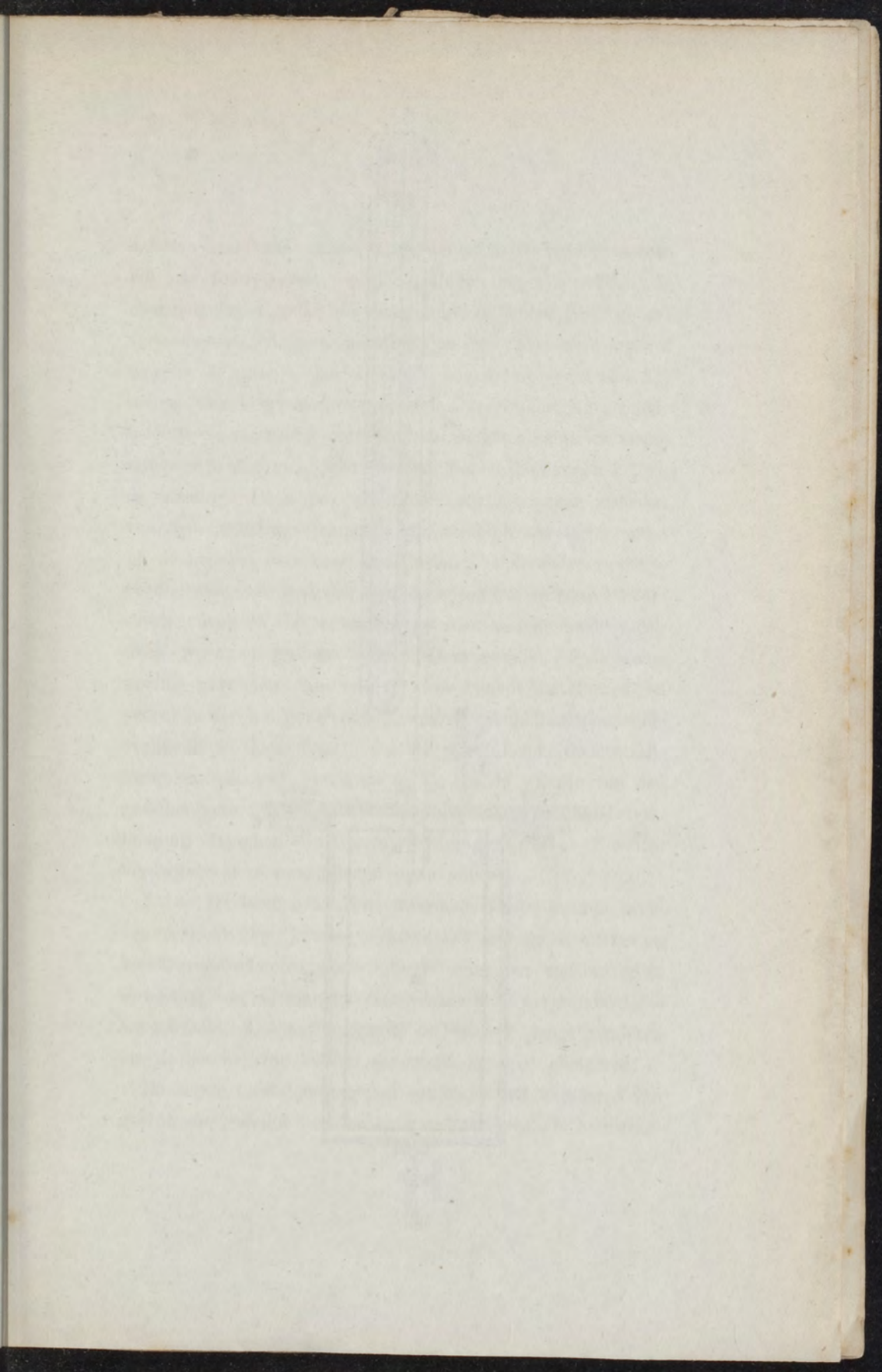
Het verschil tusschen de relatieve warmtegeleidingscoëfficiënten van waterstof bij STEFAN en WINKELMANN valt moeilijk te verklaren. STEFAN vindt de waarde 6,72 en WINKELMANN, na eliminatie van den invloed van straling en strooming, het getal 6,33. Brengt men nu ook bij STEFAN den invloed van straling en strooming in rekening, dan zal de door hem gevondene waarde van het geleidingsvermogen grooter moeten worden. Immers stelt men door L de hoeveelheid warmte voor, die door geleiding der lucht zelve, en door α de hoeveelheid warmte, die door strooming en uitstraling aan den binnensten cilinder onttrokken wordt, dan is de geheele hoeveelheid warmte, die hij verliest,

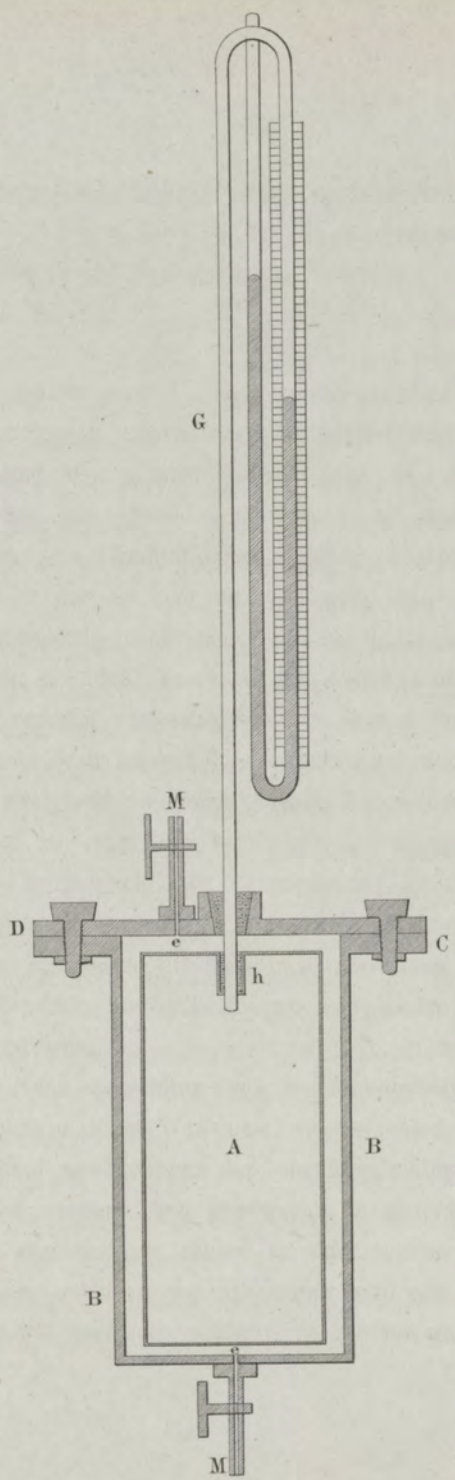
gelijk aan $L + \alpha$. Zij verder voor een ander gas deze hoeveelheid $W + \alpha$, dan is de uit de waarneming afgeleide verhouding gelijk aan

$$\frac{W + \alpha}{L + \alpha}$$

Is W grooter dan L , dan is deze verhouding het grootst voor $\alpha = 0$; is daarentegen W kleiner dan L , dan is zij het kleinst voor $\alpha = 0$. Hieruit volgt, dat bij gassen, die de warmte beter geleiden dan lucht, de relatieve geleidingscoëfficiënt, na eliminatie van straling en strooming, grooter moet zijn dan de door de proef geleverde waarde; terwijl het omgekeerde moet voorkomen bij de gassen, die slechter dan lucht geleiden. Voorts is het moeielijk om aan te nemen, dat dit verschil veroorzaakt wordt door de meerdere of mindere mate van zuiverheid der gebruikte waterstof. Wel is de aanwezigheid van eene geringe hoeveelheid lucht bij de waterstof in staat om het warmtegeleidingsvermogen van dit gas aanmerkelijk te verminderen; doch WINKELMANN vond bij eene meermalen vernieuwde gasontwikkeling steeds dezelfde resultaten, zoodat men niet mag besluiten, dat altijd dezelfde hoeveelheid van een ander gas daarmede vermengd was.

§ 9. Naar aanleiding van het aanmerkelijke verschil in de door STEFAN en WINKELMANN, volgens dezelfde methode, verkregene waarden van den warmtegeleidingscoëfficiënt van waterstof, scheen het gewenscht te zijn het afwijkende gedrag van dit gas nader te onderzoeken. De volgende bladzijden bevatten de uitkomsten van vele waarnemingen omtrent het warmtegeleidingsvermogen van waterstof, waarbij





dat van lucht als eenheid aangenomen is. De reden, waarom wij ons tot relatieve waardebepalingen beperkt hebben, is daarin gelegen, dat de bestaande methoden geen geheel vertrouwbare en juiste absolute getallen opleveren, en wel wegens de groote moeielijkheid, die in dit geval aan het meten van zeer kleine grootheden verbonden is; alsmede wegens de veelvuldig optredende storingen, gelijk de strooingen in het gas, wier invloed niet te berekenen is, en de straling. Doch ook de theoretisch berekende waarden van het geleidingsvermogen zijn tamelijk onzeker; omdat bij de bepaling van deze grootheden, behalve de wrijvingscoëfficiënten, de waarden van de specifieke warmte bij constanten druk en de verhoudingsgetallen van de beide specifieke warmten gediend hebben. Deze getallen, door waarneming gevonden, zijn min of meer behept met fouten; en vooral is dit het geval met de waarde van de laatstgenoemde verhouding. Bovendien komen de verschillende theoretische formules, hoewel overigens gelijk, in de waarde van den getallen-factor niet overeen. Bij de bepaling van de verhouding tusschen de warmtegeleidingscoëfficiënten echter verdwijnen deze zwarigheden bijna geheel.

§ 10. De twee toestellen, waarmede achterstaande proeven verricht zijn, komen in hoofdzaak met de door STEFAN beschrevene overeen, hoewel in de wijze van sluiting en de inrichting van de manometerbuis aanzienlijke verandering is aangebracht. De nevensgaande afbeelding moge strekken om de beschrijving hunner samenstelling op te helderen.

De eerste toestel bestaat uit een binnensten cilinder *A* van geel koper, welke van buiten gepolijst is en als luchtther-

mometer dienst doet. Veel zorg is besteed om den afstand van zijne buitenwanden tot de binnenwanden van den uitwendigen cilinder overal gelijk te krijgen. Deze laatste *B* van rood koper en van binnen gepolijst, draagt van boven een horizontalen, vlak afgeslepen ring of rand *C*, waarop, door middel van een zestal schroeven, een deksel *D*, dat eveneens zuiver vlak geslepen is, met behulp van eene zeer dunne laag vet wordt vastgeklemd. De aldus verkregene sluiting bleek uitstekend luchtdicht te zijn, en levert bovendien het voordeel op, dat het bovenzvlak van den inwendigen cilinder steeds evenver van het deksel verwijderd blijft. Het deksel en de bodem van den uitwendigen cilinder hebben bij *e* kleine openingen, waarboven zich plaatselijke metaalverdikkingen bevinden, waarin de kranen *M* vastgeschroefd kunnen worden, welke dienen om de gebruikte gassen hetzij te laten toetreden, hetzij af te voeren. In de kegelvormige pakkingbus van het deksel wordt met behulp van een doorboorden caoutchoucstop en van mastiek de glazen buis *G* bevestigd, die verder in het zich binnen in den inwendigen cilinder bevindende buisje *h* hermetisch is besloten. Genoemde buis *G* is tweemaal U-vormig omgebogen, en bevat in hare beenen tot eene zekere hoogte kwik. De manometerbuis, op deze wijze ingericht, maakt het afzonderlijke kwikreservoir van STEFAN overbodig, en is tevens een goede verklikster van het niet of wel lek zijn van den binnensten cilinder. De middellijn van de opening van de gebruikte glazen buis bedroeg ongeveer 1,5—2 m.M.; de dikte van de koperen wand van den uitwendigen cilinder is 2,5—3 m.M., zijne inwendige hoogte 80—81 m.M., en de middellijn van

zijn grondvlak 47 m.M. Van den binnensten cilinder is de koperdikte ongeveer 1,5 m.M., de uitwendige hoogte 70,5 m.M., en de uitwendige middellijn van het grondvlak 37,5 m.M. De afstand van beide cilinders bedraagt ongeveer 5 m.M. De toestel zelf, na gevuld te zijn met het gas, waarvan het geleidingsvermogen bepaald moet worden, blijft eenige uren rustig staan, totdat hij eene gelijkmatige temperatuur, n.l. die van het vertrek (19° — 23° C) heeft aangenomen, en wordt alsdan gedompeld in een mengsel van fijn gestooten ijs en water. Ten gevolge van de afkoeling van den binnensten luchtthermometer, vermindert de drukking van de zich daarin bevindende droge lucht, en het kwik stijgt in de buis *G*. De waarneming van de stijghoogten, in verband met den tijd, geeft de afkoelingssnelheid van den binnensten cilinder, volgens de formule

$$\beta \log e = \frac{\log p_1 - \log (p_1 - p)}{t},$$

waarin *p* de hoogte van het kwik na het einde van den tijd *t* en *p*₁ die hoogte voorstelt, wanneer aan het einde van de proef, de lucht de temperatuur 0° heeft aangenomen. Deze vergelijking berust op de onderstelling, dat het volumen van de afgeslotene lucht constant blijft, alsmede dat de lucht in de manometerbuis dezelfde temperatuur bezit als die in den binnensten cilinder. Aan geen dezer voorwaarden wordt voldaan, doch de fouten, die er uit voortvloeien, zijn zoo klein, dat ze verwaarloosd kunnen worden, vooral waar het verhoudingsgetallen geldt. Van meer belang, voornamelijk bij het waarnemen van de eindtemperaturen, is het achterblijven van het kwik in de mano-

meterbuis. Dit verschijnsel, hetwelk zich ook voordoet, wanneer de verandering in drukking zeer langzaam geschiedt, moet toegeschreven worden aan de adhesie van het kwik aan het glas. Als een gevolg hiervan wordt de afkoelings-snelheid te klein. Vooral bij het waarnemen van de stijghoogte p_1 kan deze storende omstandigheid van aanzienlijken invloed zijn, en zelfs het bedrag van 2 m.M. aannemen. Ten einde deze bron van fouten te vermijden, werd vóór de aflezing aan de manometerbuis een lichte schok medegedeeld waarna het kwik een vasten stand innam. Ook is er zorg gedragen om steeds de getallen, die de hoogten van het kwik, gedurende het verloop der waarnemingen aangeven, terug te brengen tot de getallen, die men zou verkrijgen, indien de barometerstand sedert het begin van de proef niet veranderd was. In de nevensgaande tabellen, bevattende de gevonden getallenwaarden voor $\beta \log e$, stelt H de op de schaal afgelezen hoogten van de zuil kwik in millimeters voor, b de barometerstanden, t in seconden de tijden, waarin die hoogten bereikt zijn, en eindelijk $\beta \log e$ de berekende afkoelings-snelheden. De stijghoogten H zijn nauwkeurig afgelezen met behulp van een mikroskoop, en de daarbij behorende tijdsruimten aangegeven door een chronometer.

§ 11. I *Lucht.*

Spanning 769 m.M.

| H. | b. | t. | $\beta \log e.$ |
|----|-------|----------|-----------------|
| 0 | 769.3 | | |
| 2 | | 101 | 0.000374 |
| 6 | | 332 | 376 |
| 8 | | 445 | 396 |
| 10 | | 587 | 399 |
| 12 | | 779 | 386 |
| 14 | | 979 | 388 |
| 16 | | 1241 | 385 |
| 24 | 769.4 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.000386.$ II *Lucht.*

Spanning 769 m.M.

| | | | |
|----|-------|----------|----------|
| 0 | 770.7 | | |
| 2 | | 93 | 0.000390 |
| 4 | | 193 | 392 |
| 6 | | 304 | 392 |
| 8 | | 420 | 399 |
| 10 | | 586 | 378 |
| 12 | | 760 | 374 |
| 14 | | 885 | 403 |
| 16 | | 1124 | 394 |
| 18 | | 1428 | 387 |
| 20 | | 1836 | 380 |
| 33 | 770.6 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.000389.$

III *Lucht.*

Spanning 52 m.M.

| H. | b. | t. | $\beta \log e.$ |
|----|--------|----------|-----------------|
| 0 | 757.7 | | |
| 2 | | 89 | 0.000375 |
| 6 | | 276 | 395 |
| 10 | | 520 | 386 |
| 12 | | 636 | 401 |
| 14 | | 792 | 401 |
| 16 | | 986 | 395 |
| 18 | | 1278 | 373 |
| 27 | 757.25 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.000389.$ IV *Lucht.*

Spanning 4.5 m.M.

| | | | |
|----|-------|----------|----------|
| 0 | 764.5 | | |
| 4 | | 210 | 0.000395 |
| 8 | | 234 | 392 |
| 10 | | 363 | 403 |
| 12 | | 534 | 390 |
| 14 | | 775 | 362 |
| 16 | | 990 | 372 |
| 21 | 765.3 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.000386.$

V *Lucht.*

Spanning 5.6 m.M.

| H. | b. | t. | $\beta \log e.$ |
|------|-------|----------|-----------------|
| 0 | 761.2 | | |
| 4 | | 211 | 0.000401 |
| 8 | | 479 | 396 |
| 10 | | 632 | 401 |
| 12 | | 852 | 386 |
| 14 | | 1134 | 370 |
| 16 | | 1471 | 370 |
| 22.6 | 760.6 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.000387.$ VI *Lucht.*

Spanning 766.4 m.M.

| | | | |
|----|-------|----------|----------|
| 0 | 766.3 | | |
| 2 | | 99 | 0.000382 |
| 6 | | 344 | 360 |
| 8 | | 446 | 395 |
| 10 | | 612 | 382 |
| 12 | | 790 | 381 |
| 14 | | 1005 | 377 |
| 16 | | 1254 | 380 |
| 24 | 766.0 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.000386.$

VII. *Waterstof.*

Het gas werd ontwikkeld uit zink en verdund zwavelzuur, waarbij een druppeltje chlorid-platina is gevoegd. Het op deze wijze verkregene gas is zorgvuldig gedroogd met behulp van geconcentreerd zwavelzuur, terwijl de diffusie van de lucht door de kranen en droogbuizen met zorg vermeden is.

Spanning 762.7 m.M.

| H | b | t | $\beta \log e$ |
|----|-------|----------|----------------|
| 0 | 762.8 | | |
| 2 | | 35 | 0.00276 |
| 4 | | 57 | 272 |
| 6 | | 82 | 272 |
| 9 | | 126 | 275 |
| 20 | 763.1 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.002738$.

VIII. *Waterstof.*

Dezelfde vulling, gelijk bij de vorige proef.

| | | | |
|----|-------|----------|----------|
| 0 | 765.1 | | |
| 2 | | 13.5 | 0.002785 |
| 4 | | 27.5 | 2754 |
| 6 | | 43.5 | 2740 |
| 8 | | 61 | 2746 |
| 10 | | 80.5 | 2756 |
| 12 | | 105 | 2705 |
| 14 | | 132 | 2700 |
| 25 | 765.1 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.0027406$.

IX. *Lucht.*

Spanning 758 m.M.

| H | b | t | $\beta \log e$ |
|----|-------|----------|----------------|
| 0 | 758.9 | | |
| 10 | | 403 | 0.000389 |
| 12 | | 497 | 395 |
| 13 | | 568 | 383 |
| 14 | | 635 | 377 |
| 16 | | 757 | 381 |
| 18 | | 871 | 393 |
| 19 | | 956 | 390 |
| 20 | | 1056 | 383 |
| 33 | 759 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.0003864$.X. *Waterstof.*

Nieuw ontwikkeld gas. Spanning 762 m.M.

| | | | |
|----|-------|----------|----------|
| 0 | 766.6 | | |
| 2 | | 12.5 | 0.002780 |
| 4 | | 26.5 | 2740 |
| 6 | | 42 | 2740 |
| 8 | | 57.5 | 2777 |
| 12 | | 95 | 2830 |
| 14 | | 119 | 2821 |
| 16 | | 151 | 2748 |
| 18 | | 195 | 2624 |
| 26 | 766.3 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.00276$.

XI. *Waterstof.*

Dezelfde vulling, gelijk bij de vorige proef.

| H | b | t | $\beta \log e.$ |
|----|-------|----------|-----------------|
| 0 | 759.3 | | |
| 3 | | 22 | 0.002760 |
| 5 | | 38.5 | 2770 |
| 7 | | 57 | 2765 |
| 9 | | 79.5 | 2712 |
| 13 | | 138 | 2628 |
| 15 | | 174 | 2636 |
| 23 | 758.5 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.002712.$ XII *Waterstof.*

Spanning 20 m.M.

| | | | |
|----|-------|----------|---------|
| 0 | 758.8 | | |
| 4 | | 29.5 | 0.00236 |
| 6 | | 50 | 218 |
| 8 | | 84 | 182 |
| 10 | | 116 | 173 |
| 12 | | 144 | 177 |
| 14 | | 192 | 165 |
| 16 | | 237.5 | 164 |
| 18 | | 290 | 165 |
| 20 | | 353 | 163 |
| 27 | 759.7 | ∞ | |

XIII *Lucht.*

Spanning 760.7.

| H. | b. | t. | $\beta \log e.$ |
|----|-------|----------|-----------------|
| 0 | 756.4 | | |
| 3 | | 116 | 0.000381 |
| 5 | | 197 | 388 |
| 7 | | 297 | 374 |
| 10 | | 456 | 371 |
| 12 | | 548 | 389 |
| 15 | | 723 | 397 |
| 16 | | 801 | 393 |
| 18 | | 997 | 378 |
| 20 | | 1164 | 386 |
| 22 | | 1376 | 398 |
| 31 | 756.7 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.0003855.$

§ 12. Uit deze proeven blijkt, dat, in overeenstemming met de theorie, de afkoelingssnelheid van dampkringslucht onafhankelijk is van de spanning. Bij waterstof neemt de afkoelingssnelheid tegen het einde van de proef betrekkelijk snel af. De reden van dit verschijnsel is eenigzins duister, doch mag niet geheel toegeschreven worden aan het bij dalende temperatuur afnemende geleidingsvermogen van het gas. Voorts vertoont zich bij waterstof nog eene tweede anomalie, n.l. dat hare afkoelingssnelheid bij lage drukking niet alleen veel kleiner is, maar ook schielijker afneemt, gelijk tabel XII aanschouwelijk voorstelt.

De oorzaak hiervan is niet gelegen in eene langzame toetreding van de dampkringslucht, ten gevolge van eene minder goede sluiting der cilinders. Herhaalde proefnemingen hebben de zekerheid verschaft, dat de dichtheid van den toestel niets te wenschen overliet. De volgende cijfers mogen het bewijzen.

a) *Waterstof.*

Spanning 1 atmospheer.

| H. | b. | t. | $\beta \log e.$ |
|------|-------|----------|-----------------|
| 0 | 759.7 | | |
| 4 | | 27.5 | 0.002380 |
| 6 | | 43.5 | 2360 |
| 8 | | 60 | 2385 |
| 10 | | 80 | 2346 |
| 12 | | 102 | 2327 |
| 28.5 | 759.8 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.002359.$ b) *Waterstof.*

Dezelfde vulling.

| | | | |
|----|--------|----------|----------|
| 0 | 762.25 | | |
| 2 | | 17.5 | 0.002370 |
| 4 | | 36.5 | 2388 |
| 6 | | 58 | 2385 |
| 8 | | 88 | 2230 |
| 22 | 762.15 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.002343.$

c) *Waterstof.*

Dezelfde vulling.

| H. | b. | t. | $\beta \log e.$ |
|----|--------|----------|-----------------|
| 0 | 762.25 | | |
| 4 | | 37 | 0.002355 |
| 6 | | 59 | 2344 |
| 8 | | 83 | 2362 |
| 10 | | 113 | 2330 |
| 12 | | 151 | 2270 |
| 22 | 762.25 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.002332.$

Drie dagen achtereen is met dezelfde vulling van waterstof geëxperimenteerd, en bij de drie achtereenvolgende waarnemingen is de gemiddelde waarde der afkoelingsnelheid standvastig gebleven, hetgeen niet mogelijk geweest zou zijn, wanneer de buitenlucht met de in den cilinder bevatte waterstof had kunnen diffundeeren. De kleinere waarde van de afkoelingsnelheid, vergeleken met de bij de andere proeven gevondene, is te wijten aan verontreiniging bij de bereiding van het gas, en aan eene geringe diffusie met de buitenlucht tijdens de vulling van den toestel, waardoor het warmtegeleidingsvermogen van de waterstof noodzakelijk veel minder moet worden.

§ 13. De tweede toestel komt, wat inrichting en vorm betreft, met den eersten overeen, doch de binnenste cilinder is van rood koper. Van beide cilinders zijn bovendien de afmetingen kleiner. De koperdikte van den buitensten

cilinder bedraagt ongeveer 2.5 m.M., zijne diepte 74 m.M. en de uitwendige middellijn 41 m.M. Van den binnensten cilinder is de koperdikte 2—2.2 m.M. nagenoeg; de uitwendige hoogte 69 m.M., en de middellijn van het grondvlak 36 m.M. De gemiddelde afstand der beide cilinderoppervlakken bedraagt ongeveer 2.5 m.M.

De proefnemingen met dezen toestel, onder dezelfde omstandigheden als bij den eersten genomen, hebben voor $\beta \log e$ de in de volgende tabellen vervatte cijfers opgeleverd.

I. *Lucht.*

Spanning 756.5 m.M.

| H. | b. | t. | $\beta \log e$. |
|------|--------|----------|------------------|
| 0 | 755.5 | | |
| 4 | | 103 | 0.000614 |
| 6 | | 161 | 613 |
| 8 | | 231 | 594 |
| 10 | | 305 | 590 |
| 12 | | 372 | 609 |
| 14 | | 452 | 618 |
| 16 | | 556 | 616 |
| 29.5 | 755.45 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.000608$.

II. *Lucht.*

Spanning 760 m.M.

| H. | b. | t. | $\beta \log e.$ |
|----|--------|----------|-----------------|
| 0 | 762.15 | | |
| 2 | | 75 | 0.000610 |
| 4 | | 158 | 613 |
| 6 | | 252 | 612 |
| 8 | | 362 | 613 |
| 10 | | 494 | 610 |
| 12 | | 649 | 613 |
| 14 | | 840 | 622 |
| 20 | 762.2 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.000613$ III. *Waterstof.*

Spanning 762.5 m.M.

| | | | |
|----|-------|----------|----------|
| 0 | 763.5 | | |
| 2 | | 8.5 | 0.004648 |
| 4 | | 18 | 4610 |
| 6 | | 28.5 | 4677 |
| 8 | | 40 | 4641 |
| 10 | | 53 | 4664 |
| 12 | | 70 | 4577 |
| 23 | 763 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.004636$

IV. *Waterstof.*

Nieuw ontwikkeld gas. Spanning 762.7 m.M.

| H. | b. | t. | $\beta \log e.$ |
|----|-------|----------|-----------------|
| 0 | 762.6 | | |
| 2 | | 8.5 | 0.004870 |
| 4 | | 18 | 4838 |
| 6 | | 28.5 | 4852 |
| 8 | | 40.5 | 4847 |
| 10 | | 54 | 4875 |
| 12 | | 72 | 4772 |
| 22 | 762.9 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.004842.$ V. *Waterstof.*

Dezelfde vulling.

| | | | |
|------|-------|----------|----------|
| 0 | 766.2 | | |
| 2 | | 13 | 0.004959 |
| 4 | | 29 | 4834 |
| 6 | | 49 | 4713 |
| 8 | | 80 | 4355 |
| 14.5 | 765.5 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.004715$

VI. *Waterstof.*

Nogmaals dezelfde vulling.

| H. | b. | t. | $\beta \log e.$ |
|------|-------|----------|-----------------|
| 0 | 766.2 | | |
| 2 | | 13.5 | 0.004775 |
| 4 | | 29 | 4834 |
| 6 | | 49 | 4713 |
| 8 | | 80 | 4355 |
| 14.5 | 765.5 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.00467.$ VII. *Waterstof.*

Nieuw ontwikkeld gas. Spanning 770 m.M.

| | | | |
|----|-------|----------|----------|
| 0 | 758.9 | | |
| 2 | | 6.5 | 0.004952 |
| 4 | | 13.5 | 4959 |
| 6 | | 21 | 4988 |
| 8 | | 30 | 4871 |
| 10 | | 40 | 4797 |
| 12 | | 54 | 4500 |
| 28 | 758.7 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.004844.$

VIII. *Waterstof.*

Dezelfde vulling, gelijk bij de vorige proef.

| H. | b. | t. | $\beta \log e.$ |
|------|--------|----------|-----------------|
| 0 | 758.62 | | |
| 2 | | 7 | 0.005024 |
| 4 | | 14.5 | 5068 |
| 6 | | 23 | 5020 |
| 8 | | 32.5 | 4983 |
| 10 | | 43.5 | 4920 |
| 12 | | 55 | 4968 |
| 14 | | 75 | 4555 |
| 25.7 | 759.6 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.004931.$ IX. *Waterstof.*

Spanning 20—24 m.M.

| | | | |
|----|-------|----------|----------|
| 0 | 758.4 | | |
| 2 | | 9 | 0.004023 |
| 4 | | 21 | 3606 |
| 6 | | 35 | 3406 |
| 8 | | 49 | 3416 |
| 10 | | 64 | 3467 |
| 12 | | 84 | 3381 |
| 14 | | 111 | 3312 |
| 16 | | 143 | 3103 |
| 18 | | 182 | 3037 |
| 20 | | ∞ | |
| 25 | 757.9 | | |

X. *Lucht.*

Spanning 756.4 m.M.

| H. | b. | t. | $\beta \log e.$ |
|------|--------|----------|-----------------|
| 0 | 756.65 | | |
| 2 | | 61 | 0.0006065 |
| 4 | | 128 | 606 |
| 6 | | 197 | 614 |
| 8 | | 281 | 611 |
| 10 | | 374 | 610 |
| 12 | | 475 | 615 |
| 24.5 | 756.75 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.000610$

Waarnemingen ter bepaling van de afkoelingsnelheid van lucht met denzelfden toestel, maar van veel vroegeren datum dan bovenstaande, hebben voor dit gas de volgende allezins met de laatst gevondene waarden overeenstemmende getallen gegeven.

XI. *Lucht.*

Spanning 774.5 m.M.

| | | | |
|------|-------|----------|----------|
| 0 | 774.4 | | |
| 2 | | 69 | 0.000614 |
| 4 | | 146 | 612 |
| 6 | | 236 | 602 |
| 8 | | 333 | 607 |
| 10 | | 452 | 601 |
| 12 | | 577 | 6145 |
| 14 | | 750 | 610 |
| 21.5 | 775 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.0006085$

XII. *Lucht.*

Dezelfde spanning, gelijk bij de vorige proef.

| H. | b | t. | $\beta \log e.$ |
|----|-------|----------|-----------------|
| 0 | 776.8 | | |
| 4 | | 130 | 0.000609 |
| 6 | | 205 | 610 |
| 8 | | 288 | 612 |
| 10 | | 381 | 614 |
| 12 | | 491 | 613 |
| 14 | | 627 | 608 |
| 16 | | 775 | 616 |
| 18 | | 1010 | 596 |
| 24 | 776.6 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.0006095.$

XIII. *Lucht.*

Spanning 763 m.M.

| | | | |
|------|-------|----------|----------|
| 0 | 764.5 | | |
| 4 | | 123 | 0.000602 |
| 6 | | 192.5 | 605 |
| 8 | | 269 | 608 |
| 10 | | 358 | 604 |
| 12 | | 450 | 614 |
| 25.5 | 764.2 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.0006065.$

XIV. *Lucht.*

Spanning 80—81 m.M.

| H. | b. | t. | $\beta \log e.$ |
|----|-------|----------|-----------------|
| 0 | 766.6 | | |
| 4 | | 102 | 0.000609 |
| 6 | | 160 | 606 |
| 8 | | 221 | 6095 |
| 10 | | 288.5 | 611 |
| 12 | | 363.5 | 611 |
| 14 | | 441 | 619 |
| 16 | | 533 | 619 |
| 18 | | 654 | 608 |
| 30 | 765.5 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.0006115$ XV. *Lucht.*

Spanning 80—81 m.M.

| | | | |
|----|-------|----------|----------|
| 0 | 764.5 | | |
| 4 | | 106 | 0.000608 |
| 6 | | 163 | 614 |
| 8 | | 231 | 607 |
| 10 | | 306 | 606 |
| 12 | | 385.5 | 608 |
| 14 | | 466 | 615 |
| 18 | | 701 | 601 |
| 29 | 762.0 | ∞ | |

Gemiddeld $\beta \log e = 0.000608.$

De proeven met waterstof met dezen toestel geven hetzelfde resultaat als met den vorigen; tegen het einde van de proef neemt de afkoelingssnelheid snel af, en bij kleine spanning is zij wederom niet standvastig, maar gestadig afnemende met den tijd. Vergelijkt men de tabellen V en VI met elkander, dan blijkt hieruit, dat het verschil van eene halve secunde in de tijdsruimte, welke er verloopt tusschen twee opeenvolgende standen van het kwik in de manometerbuis, op de reeds zeer kleine waarde van de afkoelingssnelheid een betrekkelijk grooten invloed uitoefent, die het verschil in de daarvoor gevonden getallen volkomen verklaart.

§ 14. Als gemiddelde waarden van $\beta \log e$ vindt men nu voor

| | Toestel I. | Toestel II. |
|-----------|------------|-------------|
| Lucht | 0.000386 | 0.000610 |
| Waterstof | 0.002738 | 0.004773, |

en voor de verhouding van de voor waterstof gevondene afkoelingssnelheid tot die van lucht de getallen:

| | | |
|-----------|-------|--------|
| Lucht | 1.000 | 1.000 |
| Waterstof | 7.093 | 7.826. |

Gelijk men ziet, levert de grootste der gebruikte cilinders voor de verhouding van de warmtegeleidingscoëfficiënten van waterstof en lucht de waarde 7.09, die volkomen overeenkomt met het door de theorie gevorderde getal 7.1; daarentegen geeft de kleine toestel een te groote waarde, n. l. 7.826. Eenig verschil in aard en in de zuiverheid der voor beide cilinders gebezigd waterstof kan in geen deele dit verschijnsel verklaren, daar telkens beide toestellen met

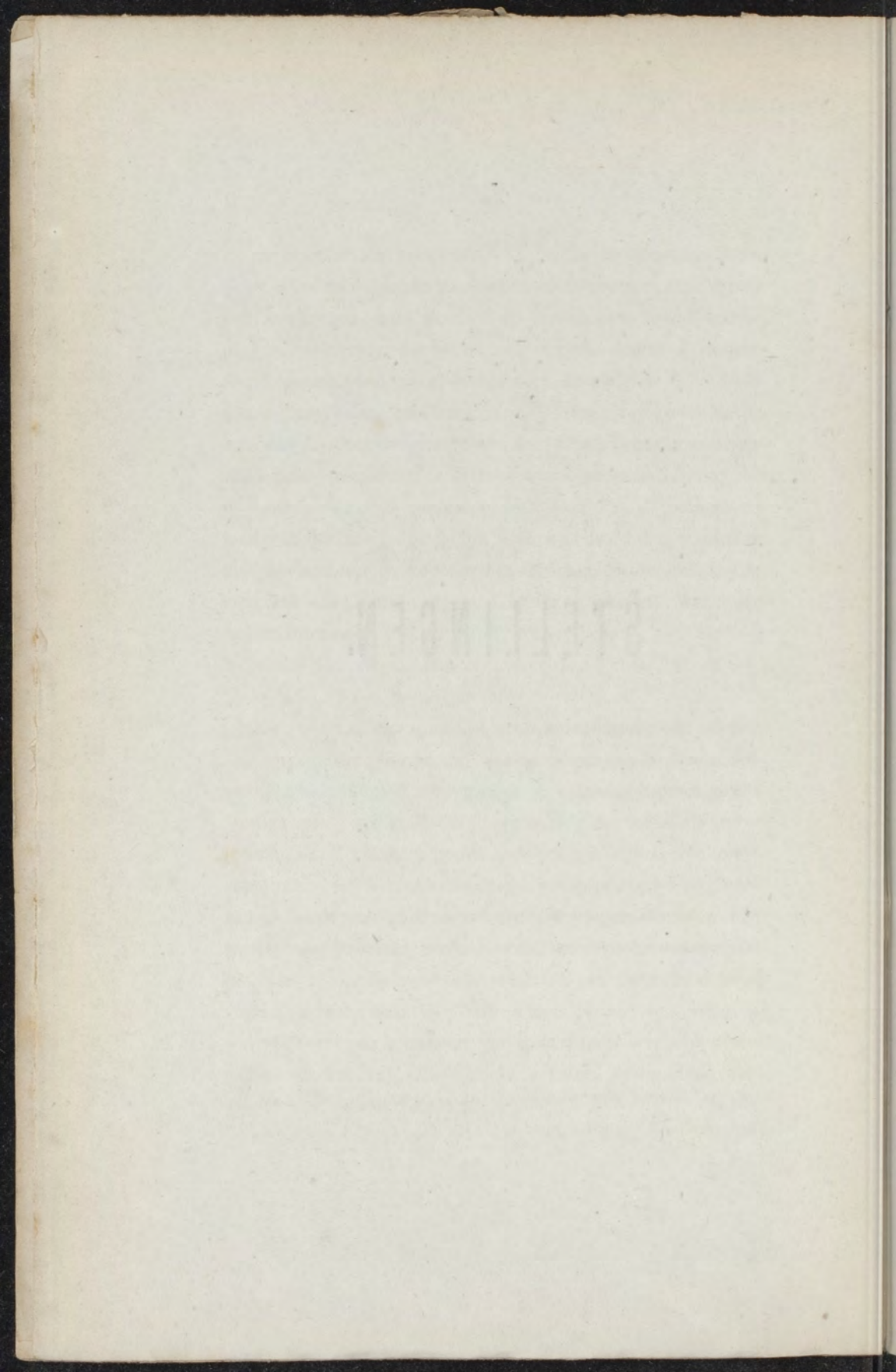
hetzelfde ontwikkelde gas gelijktijdig gevuld werden. Evenmin kan de geringere wanddikte van den geelkoperen luchtthermometer, en misschien een gering verschil in het uitstralingsvermogen van geel en rood koper, deze afwijking in haar geheel veroorzaken. Wat eindelijk den invloed der stroomingen betreft, zoo valt het moeilijk te bepalen, in hoeverre hij de absolute waarde der warmtegeleidingscoëfficiënten wijzigt; doch men kan veilig aannemen, dat bij denzelfden toestel, onder gelijke omstandigheden van temperatuur en druk, deze stroomingen bij de verschillende gassen wel in denzelfden vorm zullen optreden. Ware dit het geval niet, dan zouden de verschillende proeven, die met hetzelfde gas op verschillende tijden zijn gedaan, geene standvastige waarde voor de afkoelingsnelheden opgeleverd hebben. Hetzelfde kan van het warmteverlies door uitstraling gezegd worden. Strooming en straling, wanneer zij bij de inrichting der beschrevene toestellen eenig werkdadig deel in het overvoeren van de warmte van de binnenste naar de buitenste cilinders mochten hebben, verklaren derhalve geenszins het onderscheid in de getallen, die de afkoelingsnelheid van waterstof ten opzichte van lucht als eenheid voorstellen. Wel kan de verwaarloozing dezer grootheden, gelijk in § 8 is aangetoond, de waarde van de warmtegeleiding van waterstof met betrekking tot die van dampkringslucht te klein maken, zoodat alsdan de hiervoor met beide toestellen gevondene getallen grooter hadden moeten zijn.

Vergelijkt men eindelijk de uitkomsten van deze onderzoekingen omtrent het warmtegeleidingsvermogen van waterstof, alsmede de bepalingen reeds vroeger door STEFAN

en WINKELMANN met hunne in vorm en afmetingen met onze cilinders overeenkomende toestellen , voor dezelfde grootheid verkregen , met de door de theorie gevorderde waarde , dan blijkt hieruit , dat het experiment eene daarmede aanmerkelijk verschillende waarde oplevert. Immers de door waarneming gevondene getallen zijn òf te klein , òf te groot ; slechts een van de door ons gebruikte twee cilinders gaf eene theoretisch juiste waarde. Terwijl voorts , in overeenstemming met de theorie , de proefnemingen bevestigen , dat de afkoelingsnelheid van lucht onafhankelijk is van de drukking , waaronder dit gas verkeert , vertoont ook in dit opzicht waterstof eene belangrijke afwijking , aangezien bij lagen druk haar warmtegeleidingsvermogen aanmerkelijk kleiner wordt , en daarbij in 't geheel niet standvastig is. (Zie § 11, Tabel XII en § 13, Tabel IX).

Ook WINKELMANN schijnt deze onregelmatigheid te hebben opgemerkt. Genoemde tegenstrijdigheden en verschillen , welke klaarblijkelijk niet geheel op rekening kunnen gesteld worden van eene gebrekkige inrichting der methode en toestellen , en te groot zijn om aan waarnemingsfouten toe te schrijven , wijzen , ons inziens , op eene onvolledige kennis van de eigenaardigheden van het warmtegeleidingsvermogen van dit gas , welker invloed in de theoretische waarde daarvan niet is opgenomen. Als resultaat van de gedane proefnemingen zou men derhalve alleen kunnen beweren , dat waterstof van de spanning van eene atmosfeer , bij gemiddelde temperatuur , de warmte minstens zeven maal beter geleidt dan dampkringslucht.

STELLINGEN.



STELLINGEN.

I.

Geene der bestaande methoden ter bepaling van het warmtegeleidingsvermogen der gassen in absolute maat, verdient onbepaald vertrouwen.

II.

De theoretisch berekende waarden van het warmtegeleidingsvermogen der verschillende gassen kunnen niet streng nauwkeurig zijn.

III.

De hypothese der moleculaire botsingen kan alleszins de afwijkingen der gassen van de wet van BOYLE verklaren.

IV.

Ten onrechte leidt DUFOUR uit zijne proeven af, dat droge lucht sneller diffundeert dan vochtige lucht.

V.

Het groote electriciteitsverlies van geïsoleerde lichamen in eene omgeving van vochtige lucht, moet hoofdzakelijk toegeschreven worden aan de omstandigheid, dat de isolatoren met een laag vocht bedekt worden.

VI.

Ten onrechte meent WILHELMY uit zijn proeven te kunnen afleiden, dat de capillariteitsconstante van vloeistoffen afhankelijk is van de gedaante van het ingedompelde lichaam.

VII.

De bewering, dat een brand, of het kanongebulder van een veldslag, een onweer ten gevolge kan hebben, is niet van grond ontbloot.

VIII.

Het is waarschijnlijk, dat alle sterrenmassa's, bij hare periode van overgang, een phase van vulcanische werkzaamheid doorloopen.

IX.

De redeneering, krachtens welke SORET, bij zijne proeven ter bepaling van de temperatuur der zon, besluit tot de onjuistheid van de wet van DULONG en PETIT voor warmtestraling bij hooge temperaturen, is ongegrond.

X.

Wegens onze onbekendheid met de wetten der uitstraling bij hooge temperaturen, kan de temperatuur der zon niet nauwkeurig bepaald worden.

XI.

Zeer waarschijnlijk kan die temperatuur met die van aardsche warmtebronnen vergeleken worden.

XII.

Zeer waarschijnlijk bestaat er eene onmiddelijke betrekking tusschen de ontleding van het koolzuur in groene plantendeelen, ten gevolge van den invloed der zonnestrallen, en de opslorpemde werking door het chlorophyl op die stralen uitgeoefend.

XIII.

Bij de onbegrensde reactiën is de chemische affiniteit onafhankelijk van de drukking.

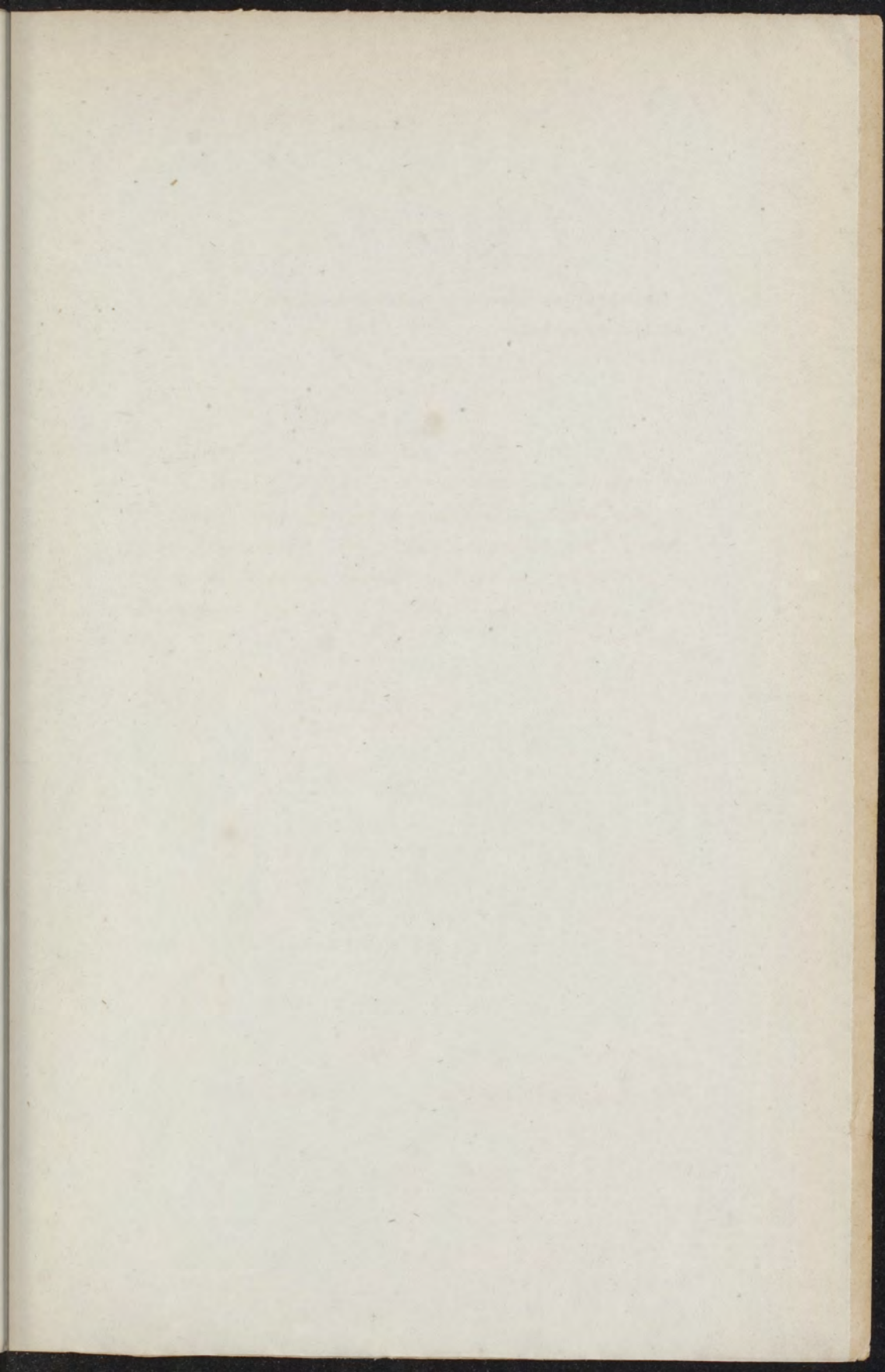
XIV.

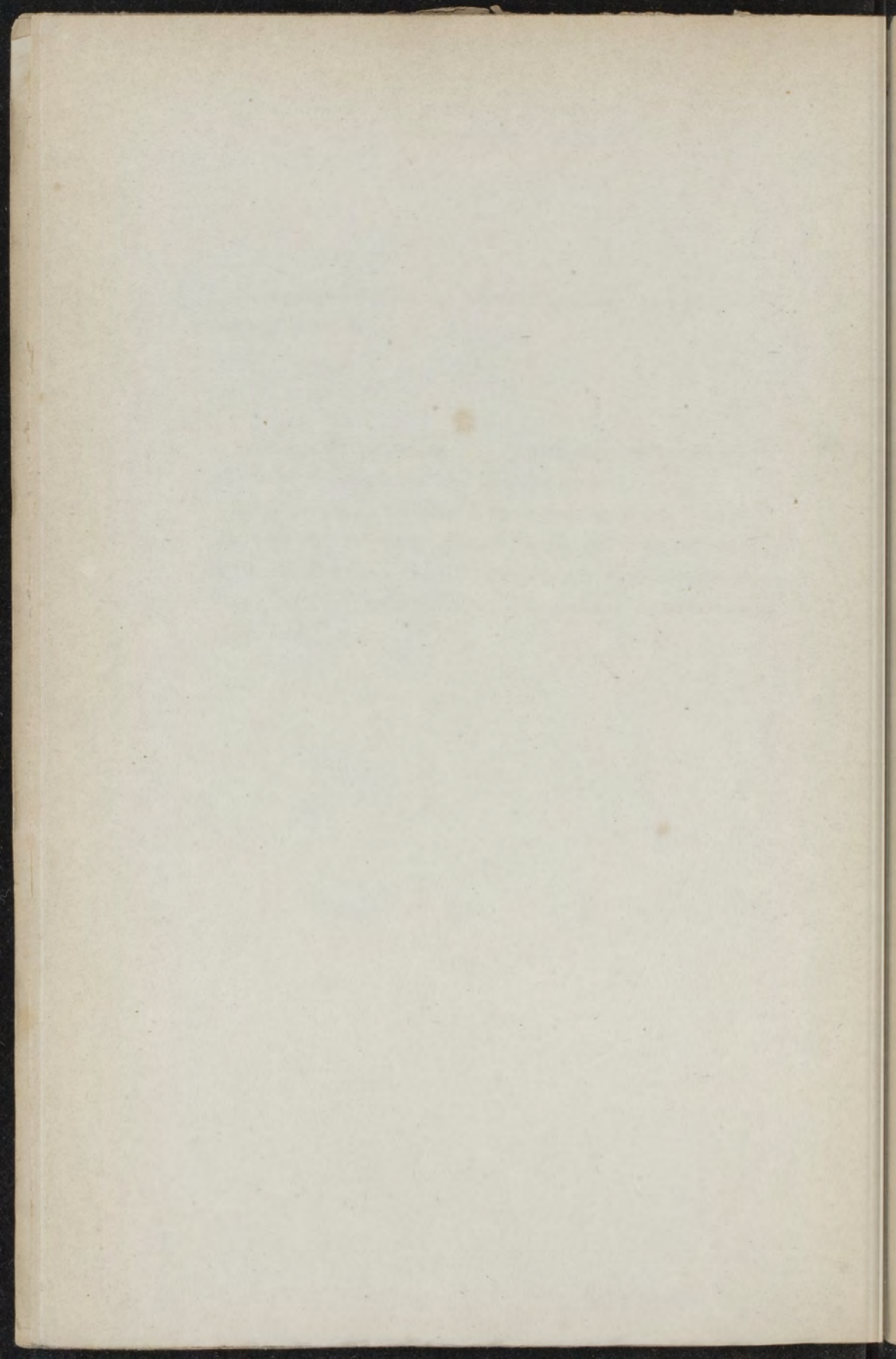
In tegenwoordigheid van alkaliën kan ozon zich niet met stikstof verbinden.

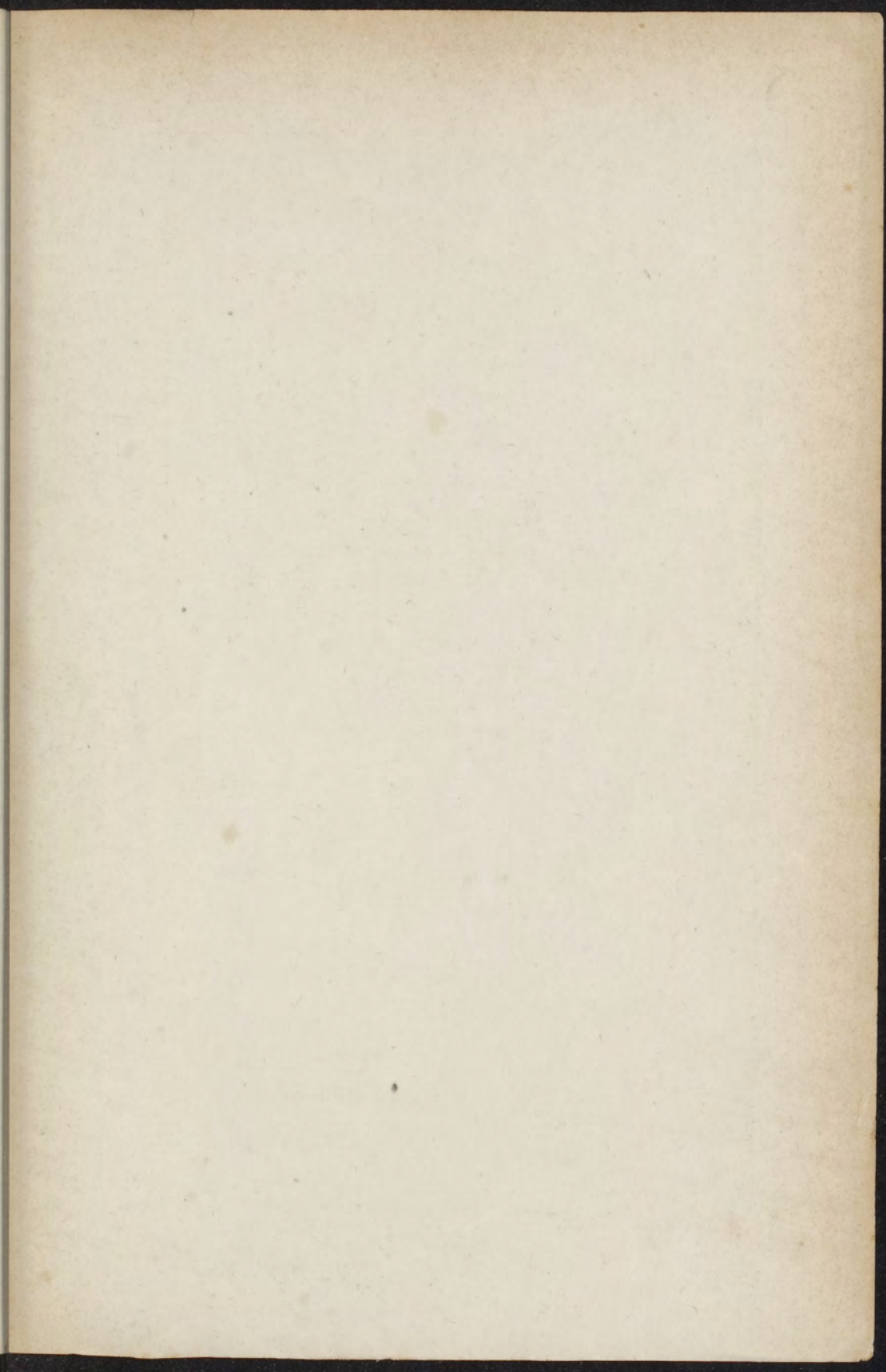
XV.

Omtrent de toepassing van wiskundige redeneering op physische vraagstukken zegt MALLET terecht:

„Mathematical reasoning is an admirable and potent instrument for the discovery of truth, when the data upon which it is founded are exact, sufficient and such, as we are sure, exist in nature; but all its validity depends upon these data.”









BOEK- EN STEEN-DRUKKERIJ VAN DE BREUK & SMITS.