H. HAGA.

ACADEMISCH

PROEFSCHRIFT.

OVER DE

ABSORPTIE VAN STRALENDE WARMTE DOOR WATERDAMP.

LEIDEN: BOEKDRUKKERIJ VAN L. VAN NIFTERIK HZ.

OVER DE
ABSORPTIE VAN STRALENDE WARMTE DOOR WATERDAMP.

ACADEMISCH PROEFSCHRIFT,

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN

Doctor in de Wis- en Natuurkunde,

AAN DE HOOGESCHOOL TE LEIDEN,

OP GEZAG VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS

D^R^. JOHANNES HENRICUS SCHOLTEN,

HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER GODGELEERDHEID,

VOOR DE FACULTEIT TE VERDEDIGEN

Op Woensdag, den 28sten Juni 1876, des namiddags te 2 uren,

DOOR

HERMAN HAGA,

GEBOREN TE OLDEBOORN.

LEIDEN,
S. C. VAN DOESBURGH.
1876.

Aan mijne Ouders.

Aan het einde van mijne academische loopbaan gekomen, is het mij eene aangename taak mijn dank te betuigen aan allen, die tot mijne wetenschappelijke vorming hebben bijgedragen.

In de eerste plaats dank ik U, Hooggeleerde RIJKE, Hooggeschatte Promotor, voor uw onderwijs en voor de blijken van belangstelling, ook tijdens het samenstellen van mijn proefschrift, van U ondervonden.

Maar niet minder ben ik U verschuldigd, Hooggeleerde VAN DE SANDE BAKHUIJZEN; indien het mij gelukken mag iets te verrichten ten voordeele der wetenschap, wees verzekerd dat ik dit voor een groot deel zal toeschrijven aan Uwe leiding toen het mij vergund was, als observator, onder U werkzaam te zijn.

Ook U, overige Hoogleeraren der Wis- en Natuurkundige wetenschappen, inzonderheid U, Hooggeleerde BIERENS DE HAAN en VAN GEER breng ik mijn innigen dank voor het genoten onderwijs.

Al den tijd dat ik op het Physisch Kabinet mij in het nemen van proeven geoefend heb, waart Gij, Zeergeleerde C. J. E. BRUTEL DE LA RIVIÈRE bereid, mij te leiden; wees van mijn oprechten dank overtuigd.

INLEIDING.

De proeven van Dr. HOORWEG over de absorptie van stralende warmte door vochtige lucht, in Poggendorff's Annalen Bd. 155 pag. 385 medegedeeld, wekten den wensch bij mij op, ze te herhalen, te meer daar het dan mogelijk zou zijn den invloed na te gaan van eene omstandigheid, die in bovengenoemde verhandeling niet besproken was.

Dr. HOORWEG maakte van de compensatie-methode van TYNDALL gebruik en plaatste dus aan beide zijden van zijne thermozuil eene warmtebron, zoodanig dat de stroom, dien iedere bron op zich zelve veroorzaken zou, opgeheven werd, en de galvanometer, waarmeê de zuil verbonden was, dus geene afwijking aanwees. Tusschen eene der warmtebronnen en de thermozuil werd nu beurtelings de lucht, die daar aanwezig was, vervangen door vochtige en droge lucht. Dr. HOORWEG zag nu dat telkens als vochtige lucht de plaats van de aanwezige innam, minder warmte op de thermozuil viel, terwijl ingeval droge lucht de aanwezige verving het omgekeerde plaats greep; hieruit besluit Dr. HOORWEG dat waterdamp eene absorbeerende werking op de gebezigde stralende warmte uitoefent. Dit

zou volkomen juist zijn wanneer bewezen was dat zoowel de vochtige als de droge lucht uit zich zelve geen invloed had op de thermozuil. Om die droge of vochtige lucht te verkrijgen liet Dr. HOORWEG de lucht van het vertrek, waar de proeven in genomen werden en welke dus gerekend kon worden dezelfde temperatuur te hebben als de lucht tusschen de zuil en de warmtebron, strijken langs chloorcalcium of kiezelsteentjes met water bevochtigd. Nú is er echter reden om aan de gelijkheid van temperatuur te twijfelen. Bij het strijken van de lucht langs chloorcalcium verbindt dit zich met den waterdamp der lucht; bij die verbinding wordt warmte vrij en deze warmte zal zich voor een deel althans aan de lucht mededeelen. In plaats van de lucht tusschen de zuil en de eene warmtebron komt dus bij het doen der proef droge lucht van hoogere temperatuur. Bij het strijken van de lucht langs de met water bevochtigde steentjes zal water van den vloeibaren in den dampvormigen toestand overgaan en de warmte, hiertoe benoodigd, zal voor een deel ten minste aan de lucht ontleend worden. Bij de proef vervangt dus vochtige lucht van lagere temperatuur de aanwezige. Het is gemakkelijk na te gaan welken invloed dit zal hebben; neemt men b.v. het geval dat men vochtige lucht de plaats van de aanwezige doet innemen, dan zal men ze kunnen beschouwen als een koud voorwerp, zoodat minder warmte op de thermozuil zal vallen; hetzelfde zou men verkrijgen wanneer de waterdamp warmte absorbeerde. Nu is het uitstralingsvermogen der lucht wel zeer gering en zijn de temperatuursverschillen zeer klein, maar à priori is het niet te beslissen of de invloed van de vervangende lucht al dan niet van dezelfde orde is als de geringe absorptie, die Dr. HOORWEG aan den waterdamp toeschrijft.

Toen mijn thermo-multiplicator dan ook de vereischte gevoeligheid had om de proeven te herhalen, was mijn eerste werk, zonder gebruik te maken van eenige warmtebron, vochtige en droge lucht aan eene der zijden van de thermozuil te laten opstijgen. Werkelijk was deze lucht niet zonder uitwerking: bij het laten opstijgen van vochtige lucht b. v. kreeg ik eerst eene afwijking, eene lagere temperatuur der vochtige lucht aanwijzende, gevolgd door eene veel sterkere werking in tegenovergestelden zin, die ik toeschreef aan de warmte, ontstaan door condensatie van waterdamp tegen de binnenvlakte van den kegelvormigen reflector of tegen de zuil zelve.

Bij het op laten stijgen van droge lucht kreeg ik juist tegenovergestelde werkingen.

Bij kennisneming van de literatuur over dit onderwerp, bemerkte ik dat reeds MAGNUS deze tweede werking had waargenomen en verklaard, en wat de eerste werking aangaat, dat FRANKLAND en WILD geenerlei uitslag gekregen hadden toen zij de lucht in buizen, wier as samenviel met den as van den reflector der zuil door droge of vochtige vervingen. Daar Dr. HOORWEG zijne proeven zonder buizen genomen had, hetgeen zooals blijken zal, meestal de voorkeur verdient boven proeven met buizen, zoo wilde ik nagaan in hoeverre de door mij gevonden uitwerking der droge en vochtige lucht zijne resultaten wijzigen [1]; verder waren er nog enkele zaken in den bekenden strijd

---

[1]) Het eerste en een deel van het tweede Hoofdstuk waren reeds geschreven en de voornaamste proeven genomen, toen ik bemerkte dat LIPPMANN in het Januari-nommer 1876 van het Journal de Physique, na bespreking van de proeven van Dr. HOORWEG het vermoeden oppert of de vochtige en droge lucht ook invloed kunnen hebben. In het Maartnommer komt een antwoord van Dr. HOORWEG. Proeven zijn, voor zoo ver mij bekend is, niet genomen.

tusschen MAGNUS en TYNDALL, die m. i. nog eenige opheldering verlangden.

Vooraf echter een kort overzicht van de voornaamste proeven en onderzoekingen die betrekking hebben op dit onderwerp.

EERSTE HOOFDSTUK.

GESCHIEDKUNDIG OVERZICHT.

---

§ 1.

De eerste, die de thermostroomen bij onderzoekingen over stralende warmte gebruikte was NOBILI. De naar hem genoemde thermozuil, in verbinding gebracht met een gevoeligen galvanometer, verdrong spoedig den differentiaal-thermometer, waar nauwkeurige proeven te doen waren. In de handen van MELLONI werd het een werktuig, dat onze kennis aangaande het wezen en de eigenschappen der stralende warmte op belangrijke wijze vermeerderd heeft.

Wat de absorptie der stralende warmte betreft zoo onderzocht MELLONI alleen vaste lichamen en vloeistoffen. Op een paar plaatsen spreekt hij over de absorptie der lucht en zegt van deze [1]) „qu'entre les limites de l'observation,

---

[1]) Thermochrôse. pg. 94.

c'est-à-dire pour un intervalle de cinq à six mètres, l'air n'exerce aucune absorption sensible sur le rayonnement des corps chauds." De waarneming, die MELLONI bedoelt, is de volgende: de thermozuil met een kegelvormigen reflector voorzien, wordt zoodanig voor een muur geplaatst, die door de zon verwarmd wordt, dat de warmte op de zuil valt en de as van den reflector normaal op den muur staat; verandert men nu den afstand van den muur tot de zuil van a meter tot na meter dan verandert de oppervlakte van het gedeelte van den muur, dat warmte naar de zuil zendt, in reden van 1 tot n^2. Nu zag MELLONI dat steeds dezelfde hoeveelheid warmte op de zuil viel, dat dus de warmte van ieder deel van den muur in reden van 1 tot n^2 moest afnemen en tevens dat de lucht geene absorbeerende werking uitoefent. Het behoeft zeker wel geen breedvoerig betoog dat deze proef op groote nauwkeurigheid geen aanspraak kan maken; de hoeveelheid warmte toch, die op de zuil valt, is te gering dan dat de absorptie van eenige procenten merkbaar zou zijn. Er volgt uit deze proef wel dat de lucht geene zeer groote absorbeerende werking op donkere warmtestralen uitoefent.

De andere plaats, waar MELLONI over de betrekking van lucht tot stralende warmte spreekt, is naar aanleiding der volgende proef: Hij plaatste in den warmen luchtstroom, boven eene lamp van ARGAND of boven eene gaspit opstijgende, een bundel platinadraden en richtte hierop de opening van de zuil; hij verkreeg eene zeer sterke uitstraling. Maar bij weglating van de platinadraden verkreeg hij niet de minste werking; zoodat MELLONI zegt [1]: „Ainsi l'air qui communique ou enlève la chaleur si aisément en venant au contact des corps, possède la propriété de rayon-

[1]) Thermochrôse. pag. 94.

ner à un degré tellement faible, qu'elle se cache à nos meilleurs instruments thermoscopiques. Je dis faible et pas absolument nul, car il est possible et même très-probable que les grandes masses de l'atmosphère donnent quelques traces de rayonnement calorifique."

§ 2.

Zoo men weet heeft KIRCHHOFF de bekende betrekking tusschen uitstralings- en absorbeerend vermogen, welke betrekking voor hem door anderen meer of min duidelijk was uitgesproken, het eerst streng mathematisch bewezen; uit die betrekking volgt dat wanneer een lichaam op eene zekere temperatuur warmte- of lichtstralen van eene bepaalde golflengte uitstraalt dat lichaam bij diezelfde temperatuur eene evenredige hoeveelheid warmte- of lichtstralen van diezelfde golflengte absorbeeren kan. Uit de proef van MELLONI zou dus volgen dat de lucht bij de temperatuur, die zij toen had, geene warmte kan absorbeeren, daar zij geene warmte uitstraalde. Hoe de lucht zich bij de gewone temperatuur gedraagt laat zich uit deze proef niet bepalen en de weinig nauwkeurige proef, die MELLONI hieromtrent genomen had, rechtvaardigde zeker wel het voornemen van FRANZ om de verhouding van eenige gassoorten ten opzichte van de stralende warmte te onderzoeken [1]).

§ 3.

Tusschen de thermozuil en de warmtebron werd eene glazen buis, van binnen met dof-zwart papier of laken bekleed,

---

[1]) Pogg. Ann. Bd. 94 S. 337.

zoodanig geplaatst dat het midden der warmtebron, de as van de buis en van de thermozuil, in elkaars verlengde in één horizontaal vlak gelegen waren; als warmtebron diende eene lamp van ARGAND met een parabolischen spiegel voorzien, in welks brandpunt zich de vlam der lamp bevond. De glazen buis was aan beide zijden door platen gas ter dikte van 1.9 m.M. gesloten en voorzien van een met eene kraan voorzien zijbuisje, waardoor de buis in verbinding gebracht kon worden met eene luchtpomp of met een gashouder, zoodat zij luchtledig gemaakt of met het te onderzoeken gas gevuld kon worden. Om de intensiteit der thermostroomen te meten, gebruikte FRANZ een spiegelgalvanometer, waarvan de afwijkingen, door een verrekijker, op eene verdeelde schaal, die zich op 2 meter van den galvanometer bevond, bepaald werden. De gang der proeven ligt nu voor de hand: de buis werd eerst zoo goed mogelijk luchtledig gepompt, de afwijking van den galvanometer bepaald terwijl de warmtebron tegen de zuil uitstraalde, lucht of een ander te onderzoeken gas in de buis gelaten en eene vermindering in de grootte van de afwijking werd aan absorptie toegeschreven. Aldus heeft FRANZ de absorptie bepaald van lucht, waterstof, zuurstof, koolzuur, chloor, salpeterigzuur, broom- en jooddampen; we zullen ons hier tot de proeven met de vier eerste gassen bepalen.

Bij eene drukking van 5 m.M. verkreeg FRANZ eene afwijking van 46.3 schaaldeelen; werd de buis met lucht van 1 atmosfeer gevuld zoo werd de afwijking 44.7 waaruit dus zou volgen dat de lucht 3.54 procent der warmte absorbeerde; de lengte der buis was 90 c.M. Uit het gemiddelde van vele waarnemingen verkreeg FRANZ eene absorptie van 3%; waterstof, zuurstof en koolzuur leverden geen verschil, evenmin openbaarde zich een ver-

schil in absorptie bij eene buis die 45 c.M. lang was, dus de helft van de lengte der vorige.

§ 4.

Het was TYNDALL [1]), die na FRANZ het eerst uitgestrekte onderzoekingen deed over het absorbeerend vermogen van gassen, die eene principieele fout aanwees bij de proeven van FRANZ. Uit proeven van MELLONI was gebleken dat 0.61 van de warmte, door eene lamp van ARGAND uitgestraald, door eene glazen plaat van 2.6 m.M. geabsorbeerd wordt. De platen glas waarmede FRANZ zijne buis sloot, waren ieder 1.9 m.M. dik; de plaat het dichtst bij de lamp zal dus zeker de helft der stralen die er op vallen absorbeeren, daardoor verwarmd worden en zelve warmte uitstralen; deze warmte zal, voor zoo verre zij op de tweede plaat valt, door deze geabsorbeerd worden; de warmte, welke door de eerste plaat doorgelaten wordt, zal, na nog een gedeelte aan de tweede plaat te hebben afgestaan, op de thermozuil vallen. De warmte op de zuil vallende laat zich dus splitsen in de warmte, die doorgelaten wordt door de glasplaten en in de warmte, die de dichtst bij haar gelegen glasplaat uitzendt, welke weder deels afkomstig is van de bron deels van de andere glasplaat. Heeft men nu eerst de buis luchtledig gepompt en de afwijking, door de warmtebron veroorzaakt, bepaald, dan zal de toelating van lucht, die natuurlijk kouder is dan de verwarmde glasplaten, deze afkoelen en op deze wijze eene vermindering der afwijking te weeg brengen. FRANZ heeft deze vermindering en die welke aan mogelijke absorptie toe-

---

[1]) Phil. Mag. vol 22; meer uitvoerig vol. 24.
Contributions to molecular Physics. pgg. 38, 115.

geschreven moet worden geheel als zoodanig beschouwd en zijn doel dus niet bereikt. Door deze verklaring zijner proeven laat het zich begrijpen waarom hij geen verschil vond tusschen lucht, waterstof en koolzuur, evenmin als bij het gebruik der buizen van 45 en 90 c.M. bij diezelfde gassen. Bij deze proeven was de absorptie te gering dan dat men ze op deze wijze waar kon nemen.

§ 5.

In het Januari-nommer van Philosophical Magazine 1860 komt onder het verslag van de zitting der Royal society, 26 Mei 1859 gehouden, eene mededeeling voor van TYNDALL aangaande den staat zijner proeven omtrent stralende warmte; zijne latere proeven over dit onderwerp zijn alle beschreven in Philosophical Magazine en in de Philosophical Transactions; bovendien vereenigde TYNDALL deze verhandelingen in 1872 in één deel: Contributions to Molecular Physics in the domain of Radiant Heat. Ook de proeven van MAGNUS worden in dit werk besproken en enkele nieuwe medegedeeld.

De eerste proeven van TYNDALL waren ingericht even als die van FRANZ, maar met verwijdering van de groote bron van fout: de platen glas. In plaats hiervan kwamen platen klipzout, hetwelk zoo men weet alle stralen doorlaat. De intensiteit der thermostroomen werd afgelezen op een uiterst gevoeligen galvanometer met astatische naalden; als warmtebron werd een cubus van LESLIE, met kokend water gevuld, gebezigd; de buis, die luchtledig gemaakt of met gassen of dampen gevuld kon worden, was van metaal, van binnen gepolijst en had eene lengte van 120 c.M. Werd de buis luchtledig gepompt en was de cubus op zoodanigen afstand geplaatst, dat de afwijking der naald 30° bedroeg, dan kon niet de minste verande-

ring bespeurd worden wanneer droge lucht, zuurstof, waterstof of stikstof in de buis gelaten werd. Werd de afwijking verkleind tot 10° of verhoogd tot 70° zoo was evenmin eenige verandering te bemerken. Maar bij dezen galvanometer was de hoeveelheid warmte, noodig om de afwijking van 70° tot 71° te brengen, 20 maal grooter dan om ze van 10° tot 11° te brengen. Bij de afwijking van 10° was dus eene kleine kracht toereikend eene merkbare verandering te weeg te brengen maar dan was de geheele hoeveelheid warmte te gering dan dat de absorptie van een deel van een procent invloed op den stand der naald zou hebben. Bij grootere hoeveelheid warmte zou eene vrij aanzienlijke vermindering alleen te bemerken zijn. Daarom trachtte TYNDALL groote hoeveelheden warmte te gebruiken en te gelijker tijd de naald bij den gevoeligen stand te houden. Zijn galvanometer had twee van elkander geïsoleerde omwindingen; met ieder van deze verbond hij nu eene thermozuil en plaatste deze zoodanig tegenover de warmtebron dat de stroomen in tegenovergestelde richtingen door de omwindingen liepen en elkander volkomen ophieven. Hoe groot de hoeveelheid warmte ook was, die nu door de luchtledig gemaakte buis viel, de afwijking, die deze op ééne zuil zou geven, werd volkomen opgeheven door den stroom, dien de warmte op de tweede zuil vallende, in de tweede omwinding veroorzaakte. Hiermede is het TYNDALL gelukt reeds in Mei 1859 de absorptie van warmtestralen door verschillende gassen aan te toonen. Ook waren toen reeds proeven over uitstraling genomen.

§ 6.

Bij verdere onderzoekingen over absorptie maakte TYNDALL van eene andere methode gebruik dan de bovenvermelde

met de twee omwindingen van den galvanometer. Hij maakte dezen niet het differentiaal-instrument maar de thermozuil zelve, door op beide zijden warmte te laten vallen zoodat de naald weder den gevoeligen stand innam. Met deze compensatie-methode zijn al zijne latere absorptie-proeven genomen. In den loop van het onderzoek werden eenige verbeteringen aan den toestel aangebracht, van welke hier de „front chamber" vermeld moge worden: dit is eene buis, eene verlenging vormende van de buis waarin het te onderzoeken gas zich bevond en gesoldeerd tegen den cubus van LESLIE; deze buis kon ook luchtledig gemaakt worden, en om te verhinderen, dat zij warmte door geleiding overbracht aan de plaat klipzout, werd zij omgeven door een bak, waarin voortdurend water van dezelfde temperatuur vloeide. De „front chamber" werd bij de proeven luchtledig gemaakt, eveneens de buis; het water in den cubus en in den compenseerenden cubus werd aan het koken gebracht en een scherm zoodanig voor den laatsten geplaatst dat de naald op 0° stond. In de buis konden dan gassen en dampen bij iedere dichtheid gebracht worden en de absorptie werd bepaald uit de afwijking der magneetnaald. Op deze wijze vond TYNDALL voor de absorptie van stikstof, zuurstof, waterstof en lucht, bevrijd van waterdamp en koolzuur, ongeveer 0.33 procent [1]).

Voor andere gassen werd steeds veel grooter absorbeerend vermogen gevonden, hetwelk nog door dat van vele dampen overtroffen werd; zelfs bij uiterst geringe hoeveelheden van sommige dampen was eene vrij sterke absorptie waar te nemen; hierdoor kwam TYNDALL van zelf tot de vraag of de waterdamp in de atmosfeer een absorbeerenden invloed op de stralende warmte uitoefent. Op zekeren Novemberdag

---

[1]) Contrib. pag. 18.

kwam TYNDALL tot het resultaat dat de waterdamp, toen in de lucht, 13 maal meer absorbeerde dan de lucht zelve. Het groote belang van deze zaak voor de meteorologie deed hem besluiten in betere lokalen deze proeven op grootere schaal over te doen.

De zooeven vermelde proeven over het uitstralings-vermogen der gassen waren op de volgende wijze ingericht: de zuil met den kegelvormigen reflector werd gericht op den luchtstroom boven eene alcohol- of gasvlam opstijgende; de verbrandingsprodukten waren hier dus de gasvormige lichamen, die hunne warmte naar de zuil zonden; eene zeer aanzienlijke afwijking was het gevolg. Zooals boven vermeld is, was het niet aan MELLONI gelukt het uitstralend vermogen op deze wijze aan te toonen. TYNDALL zegt hiervan [1]) „These effects are so easily produced that I am at a loss to account for the inability of so excellent an experimenter as MELLONI to obtain them."

Om ook ongedroogde verwarmde lucht te onderzoeken werd een verwarmde metalen bol of spatel zoodanig achter een scherm geplaatst dat geene direkte stralen, noch de luchtstroom zelf de zuil bereiken kon, zoodat alleen de afwijking toegeschreven moest worden aan de straling der lucht; de afwijking bedroeg 60°, wanneer de spatel roodgloeiiend was. Behalve met lucht werden ook proeven met andere gassen genomen en aangetoond dat de volgorde der grootte van het uitstralend vermogen dezelfde was als van het absorbeerend vermogen. Deze proeven zijn, zoo men ziet, nog vrij ruw, daar de temperatuur der gassen niet bepaald is; het was echter TYNDALL's doel alleen „to establish the general order of the radiative powers of these gases, as contrasted with their powers of absorption."

---

[1]) Phil. Mag. vol. 22 pag. 278.

Dezelfde opmerking als hierboven, bij gelegenheid van MELLONI's proeven gemaakt, geldt natuurlijk ook hier: het absorbeerend vermogen is bepaald bij de gewone temperatuur terwijl het uitstralings-vermogen bij zeer hooge temperatuur vergeleken is; de wet van KIRCHHOFF gaat alleen door voor gelijke temperaturen.

§ 7.

Onbekend met TYNDALL's onderzoekingen was MAGNUS, uitgaande van het warmte-geleidend vermogen van gassen, van zelf gekomen tot de vraag of de gassen ook warmte absorbeeren. Het eerste deel zijner proeven las hij 30 Juli 1860, het tweede 7 Februari 1861 op de vergaderingen der Berliner Academie voor. Eerst toen al zijne proeven afgeloopen waren, bemerkte hij dat TYNDALL reeds eenige onderzoekingen had bekend gemaakt omtrent de absorptie der gassen.

De toestel [1]), waarvan MAGNUS zich bediende, biedt zeer groote verschillen aan met dien van TYNDALL. Op de plaat eener luchtpomp werd eene thermozuil, door middel van een kurken ring, met de as verticaal bevestigd. Een glazen cylinder werd met zijn breeden afgeslepen rand luchtdicht op de plaat gezet; in den bovenwand bevonden zich twee openingen, door de eene, loodrecht boven de zuil, werd de hals van een glazen vat luchtdicht bevestigd, op welk vat een ander vastgesmolten was, ter opname van kokend water dienende. De warmte viel dus door het glazen vat, door de opening in den bovenwand van den cylinder op de zuil; door de tweede opening in dezen bovenwand liep een koperen stang, waaraan een scherm

---

[1]) Pogg. Ann. Bd. 112. S. 514.

bevestigd was, zoodat door draaiing dit scherm voor de zuil gebracht en deze dus aan den invloed der warmte onttrokken kon worden. De afstand van de warmtebron tot de zuil was 26 c.M. Om den glazen cylinder was een andere, eveneens luchtdicht op de plaat bevestigd, en de ruimte tusschen de beide cylinders werd met water gevuld, dat steeds op de temperatuur 15° C. gehouden werd. De sterkte van de thermostroomen werd op een galvanometer met astatische naalden afgelezen.

Om nu het absorbeerend vermogen van gassen te bepalen werd de toestel eerst luchtledig gepompt, en dan met het gas gevuld; bij gassen, die het koper der luchtpomp zouden aantasten, werd een stroom van dit gas door den toestel geleid totdat de lucht gerekend kon worden voldoende verwijderd te zijn. Ook onder zeer verschillende drukkingen konden op deze wijze de gassen onderzocht worden. MAGNUS vergeleek nu den uitslag van den galvanometer, door zijne warmtebron veroorzaakt, wanneer de toestel met lucht en met het te onderzoeken gas gevuld was en daarna met lucht gevuld en wanneer de toestel luchtledig gemaakt werd. Als resultaat van zijne onderzoekingen met dezen toestel vond MAGNUS dat van 100 stralen, die door het luchtledig op de zuil vallen, het volgend aantal door de verschillende gassen doorgelaten wordt:

Luchtledig	100
Lucht	88.88
Zuurstof	88.88
Waterstof	85.79
Koolzuur	80.23
Kooloxyde	79.01
Stikstofoxydule	74.06
Moerasgas	72.21

Cyangas	72.21
Oliemakend gas	46.29
Ammonia.	38.88

Lucht, met waterdamp verzadigd, gaf geen merkbaar verschil met geheel droge lucht. Om ook de absorptie te bepalen van de warmte, uit eene andere bron afkomstig, moest MAGNUS zijne toevlucht nemen tot eene horizontaal geplaatste buis, even als FRANS en TYNDALL bij hunne onderzoekingen zulks gedaan hebben. Eene glazen buis, 1 meter lang, werd tusschen de thermozuil en de warmtebron geplaatst, hier eene gasvlam met een glazen cylinder omgeven en van een parabolischen metaalspiegel voorzien. De buis werd met twee glasplaten 4 m.M. dik gesloten; werd deze buis tusschen de bron en zuil geplaatst zoo gaf de galvanometer eene afwijking van 64° met 320 eenheden overeenkomende, als eenheid de hoeveelheid warmte aannemende, noodig om de naald van 0° tot 1° te brengen. Bekleedde MAGNUS de buis van binnen met zwart papier zoo was de afwijking slechts 12.6 eenheden, terwijl de warmtebron eene afwijking van 1 à 2 eenheden veroorzaakte indien de buis weggenomen en alleen de glazen platen tusschen bron en zuil geplaatst werden; verwijderde men ook deze platen, zoo steeg de afwijking tot 10. Zeer groot was het verschil in absorptie bij de verschillende gassen, al naar dat MAGNUS de buis met zwart papier bekleed had of niet. In het eerste geval was de absorptie steeds kleiner; zoo was zij bij lucht 2.5% terwijl zij bij de niet bekleedde buis 14.7% bedroeg. Dit verschil verklaart MAGNUS uit eene verandering der warmtestralen na terugkaatsing tegen verschillende oppervlakten. Ook in deze buizen kon geen verschil in absorptie tusschen vochtige en droge lucht bemerkt worden.

§ 8.

Het eerste werk van TYNDALL, na het lezen van deze onderzoekingen, was eene herhaling van zijne proeven met waterdamp en vond, b.v. op 10 October 1861, dat de waterdamp, toen in de atmosfeer, eene 40maal sterkere absorptie uitoefende dan de zuurstof en stikstof te zamen [1]).

Deze uitkomst was eene aanleiding voor MAGNUS [2]) om zijne proeven te herhalen, maar vond met zijne hierboven beschreven toestellen niet het minste onderscheid tusschen droge en met waterdamp verzadigde lucht. In plaats van met glazen platen zijne buis te sluiten deed MAGNUS dit, even als TYNDALL, hierop met platen klipzout; eerst werd de buis met door chloorcalcium gedroogde lucht gevuld en daarna deze vervangen door met waterdamp verzadigde; dadelijk vertoonde zich eene vermindering in de afwijking; bij langdurig doorlaten stroomen van de vochtige lucht kon de hoeveelheid doorgelaten warmte tot op een vierde verminderd worden, maar dan waren de platen klipzout ook geheel vochtig, en daar het bekend is welk een grooten absorbeerenden invloed water op donkere warmtestralen uitoefent, zoo schijnt MAGNUS aan het op klipzout gecondenseerde water de uitkomsten van TYNDALL te willen toeschrijven.

§ 9.

Behalve de verhouding van vochtige en droge lucht tot warmtestralen was de groote absorptie, door MAGNUS aan

---

[1]) Phil. Mag. Bd. 22 pag. 377.

[2]) Pogg. Ann. Bd. 114 S. 635.

droge lucht toegeschreven, volstrekt niet in overeenstemming met de proeven van TYNDALL; terwijl de eerste toch uit zijne onderzoekingen afleidt dat droge lucht 11% op eene lengte van 26 c.M. absorbeert, vindt de tweede 0.33% op eene lengte van 120 c.M. Wat de overige gassen betreft zoo is de orde, waarin zij, naar de grootte der absorptie gerangschikt, elkaar opvolgen, wel dezelfde, maar eene nadere overeenstemming laat zich uit de resultaten in TYNDALL's eerste verhandeling meêgedeeld niet afleiden daar niet alle gassen onder de drukking van 1 atmosfeer zijn waargenomen. Dit heeft TYNDALL gedaan in latere onderzoekingen, welke hij in eene verhandeling heeft bekend gemaakt, die hij 30 Januari 1862 voor de Royal Society heeft voorgelezen. Als warmtebron werd eene tot 270° C. verwarmde koperen plaat gebruikt; in plaats van de koperen buis van 120 c.M. kwam eene glazen buis 82 c.M. lang. Groote verbeteringen werden aan de droogtoestellen aangebracht; chloorcalcium werd verworpen en zwavelzuur genomen; hoe beter de lucht gedroogd werd hoe geringer de absorptie uitviel, hoe meer zij tot die van het luchtledige naderde, hoe grooter waarde dus ook het absorbeerend vermogen van de andere gassen en dampen met betrekking tot de lucht verkreeg.

De absorptie van lucht = 1 stellende vond TYNDALL [1])

Lucht	1
Zuurstof	1
Stikstof	1
Waterstof	1
Chloor	39
Zoutzuur	62

[1]) Contrib. pag. 80.

Kooloxyde	90
Koolzuur	90
Stikstofoxydule	355
Zwavelwaterstof. . . .	390
Moerasgas.	403
Zwaveligzuur	710
Oliemakend gas. . . .	970
Ammonia.	1195

Om deze resultaten te vergelijken met die van MAGNUS moeten wij dus de door TYNDALL gebruikte eenheid, de absorptie van lucht in de gebezigde buis, kennen. Deze geeft TYNDALL niet nauwkeurig op, daar hij alleen vermeldt dat zij minder dan 0.1% bedraagt [1]). De juiste waarde der verkregen afwijkingen, noch de uitslag door de koperen plaat bij luchtledige buis veroorzaakt wordt opgegeven; het eenige waaruit wij iets kunnen afleiden is de opgave dat oliemakend gas meer dan 72% absorbeert. Dit geeft als onderste grens voor de absorptie van lucht 0.075 daar $0.075 \times 970 = 72.75\%$ geeft; als bovenste grens verkrijgen we 0.083 daar $0.083 \times 1195 = 99\%$ en TYNDALL vermeldt dat een scherm tusschen de koperen plaat en de zuil de afwijking, door ammonia veroorzaakt, slechts zeer weinig vermeerderde. Daar echter TYNDALL voor de absorptie van oliemakend gas het getal 72 opgeeft heb ik als de waarde voor het absorbeerend vermogen van lucht bij deze proeven 0.075 aangenomen en daarmeê de absorptie der gassen, die ook MAGNUS onderzocht heeft, berekend.

Nu heeft TYNDALL eene lengte van 82 c.M., MAGNUS eene van 26 c.M. gebruikt; om te berekenen hoeveel absorptie MAGNUS had moeten vinden, uitgaande van de waarden van

---

[1]) Contrib. pag. 107.

TYNDALL, heb ik aangenomen dat de geabsorbeerde hoeveelheid warmte in eene meetkunstige reeks toeneemt wanneer de lengte in eene rekenkunstige toeneemt. Deze wet, die voor vaste lichamen door JAMIN en MASSON bewezen is, gaat bij de proeven van TYNDALL wel niet volkomen door, daar de invloed van den wand der buis niet te vermijden is [1]), maar zij is m. i. de beste die hier te gebruiken is.

Alzoo zijn de getallen in de derde kolom berekend.

	Absorptie volgens TYNDALL. buis 82 c.M.	Absorptie volgens TYNDALL. buis 26 c.M. berekend.	Absorptie volgens MAGNUS. buis 26 c.M. waargenomen	MAGNUS — —TYNDALL.
Luchtledig	0.000	0.00	0.00	
Lucht	0.075	0.02	11.12	+ 11 10
Zuurstof	0.075	0.02	11.12	11.10
Waterstof	0.075	0.02	14.21	14.19
Koolzuur	6.75	2.19	19.77	17.58
Kooloxyde	6.75	2.19	20.99	18.80
Stikstofoxydule	26.62	9.35	25.94	16.59
Moeras-gas	30.22	10.78	27.79	17.01
Oliemakend gas	72.75	33.78	53.71	19.93
Ammonia	89.62	51.24	61.12	9.88

Wij zien dus dat, al neemt men de groote bezwaren bij het doen der proeven in aanmerking, de overeenstemming, wat de waarde van de absorptie betreft, niet zoo schoon is als men gewoonlijk schijnt te meenen. Het midden der afwijkingen toch is ongeveer 15; dit gelijkelijk over de beide waarnemers verdeeld, zou bij ieder eene fout van 7.5$^0/_0$ onderstellen; nu is bij MAGNUS de totale afwijking bij luchtledigen toestel 15°.8, zoodat hieruit volgen zou dat MAGNUS eene fout van meer dan 1° zou gemaakt hebben;

[1]) Wüllner Experimental Physik III 1871 S. 181.

daar wij hoogstens bij MAGNUS eene fout van 0°,2 mogen aannemen en TYNDALL nog grooter afwijkingen als MAGNUS verkreeg, volgt hieruit dat op deze wijze het verschil niet te verklaren is.

TYNDALL gebruikte bij deze onderzoekingen eene tot 270°C. verwarmde koperen plaat, MAGNUS een glazen vat door kokend water steeds op dezelfde temperatuur gehouden. Ook hieraan is het verschil niet toe te schrijven daar TYNDALL bij zijne vroegere proeven een cubus van LESLIE gebezigd heeft en hiermeê eene absorptie door lucht van 0.33% op eene lengte van 120 c.M., door oliemakend gas van 81% op dezelfde lengte gevonden heeft.

De absorptie door lucht werd, zoo we gezien hebben, door de betere droogtoestellen kleiner; de absorptie door oliemakend gas zou in eene buis van 26 c.M. 29% bedragen hebben, op dezelfde wijze als boven kolom III berekend, en dus een nog grooter verschil met MAGNUS gegeven hebben.

Afgaande op de proeven van MAGNUS met buizen, hierboven vermeld, zou men geneigd zijn aan den invloed van den wand der buis door TYNDALL gebezigd, het verschil toe te schrijven, maar TYNDALL heeft zijne proeven herhaald na de buis van binnen met zwart papier bekleed te hebben en dezelfde geringe absorptie van lucht gevonden. MAGNUS daarentegen vond, zoo we gezien hebben, voor de absorptie van lucht met van binnen zwartgemaakte buizen, evenals FRANZ, 2.5% en met van binnen gepolijste buizen 14.7%.

Dezelfde opmerkingen, boven bij het bespreken van de proeven van FRANZ gemaakt, zijn ook hier van kracht; want al omgeeft MAGNUS zijne gasvlam met een glazen cylinder, en vermindert daardoor de verwarming der platen glas, de glazen cylinder zelf wordt uiterst sterk ver-

warmd, zal ook warmte uitzenden en deze wordt bijna geheel door de glazen platen geabsorbeerd. Bij van binnen gepolijste buizen is de hoeveelheid warmte, op de zuil vallende, 25 maal grooter dan wanneer ze van binnen met zwart papier bekleed waren; de glazen platen zullen dus veel sterker verwarmd en bij het vullen met gas veel sterker afgekoeld worden: van hier de grootere absorptie in de gepolijste buizen door MAGNUS gevonden.

Bij de sterk absorbeerende gassen komt natuurlijk ook een gedeelte der afwijking op rekening van absorptie. Wat MAGNUS dus geheel als absorptie beschouwt, in zijne proeven met de buizen, is de som van absorptie en afkoeling van de platen glas; deze afkoeling is het grootst bij de gassen, die het best de warmte geleiden, waardoor de grootere absorptie verklaard wordt door MAGNUS aan waterstofgas toegekend dan aan zuurstof en de lucht. Met den grootsten zorg was het TYNDALL niet gelukt een verschil te bepalen in absorptie bij deze drie gassen.

De wand der buizen kan ons dus ook geene rekenschap geven van de verschillen tusschen MAGNUS en TYNDALL; maar er is nog meer onderscheid tusschen hunne methoden. MAGNUS brengt het te onderzoeken gas in contact met de warmtebron en de thermozuil. TYNDALL heeft tusschen de buis en bron zijne „frontchamber" die bij de proeven luchtledig is, waardoor de warmte der bron, zonder iets veranderd te zijn, het te onderzoeken gas bereikt, en tusschen het andere einde der buis en de zuil eene laag lucht, iets langer dan de diepte van den reflector. Nu zou men kunnen aannemen dat in eene laag van deze lengte alle warmtestralen, die door de lucht kunnen worden geabsorbeerd, tegengehouden worden; bij luchtledig gemaakte buis en met lucht gevulde zou dan geen onderscheid merkbaar zijn, maar dan zou men moeten aannemen dat van de

warmte, uitgestraald door een cubus van LESLIE tot 100° verhit, of door eene tot 270° C. verwarmde koperen plaat door eene laag lucht van 15 c.M. 11 % geabsorbeerd zouden worden. Vooreerst zou zulk eene groote absorptie niet aan MELLONI bij zijne proef (zie boven pg. 6) ontgaan zijn en bovendien heeft TYNDALL [1]) ook hieromtrent proeven genomen door den afstand van de buis en zuil tot 2 m.M. te verminderen; met eenigen graad van waarschijnlijkheid kan men niet beweren dat in 2 m.M. 11 % wordt geabsorbeerd; ten overvloede heeft TYNDALL nog de warmte, voor dat deze de buis bereikte, door eene ruimte van 60 c.M. met droge lucht gevuld of luchtledig gemaakt, laten gaan en in beide gevallen juist dezelfde resultaten verkregen.

Om tot eene verklaring van de groote absorptie, door MAGNUS aan lucht toegeschreven, te geraken, bracht TYNDALL lucht in zijne „front-chamber" hetgeen eene aanzienlijke vermindering in de hoeveelheid warmte, op de zuil vallende, ten gevolge had, eene vermindering die grooter bij waterstof dan bij lucht was. Eene dergelijke afkoelende werking der gassen op de warmtebron zou volgens TYNDALL de oorzaak zijn van de grootere absorptie door MAGNUS aan de gassen toegekend. Dat waterdamp nu geen invloed uitoefende was duidelijk, daar hier de massa damp te gering was om de afkoelende werking der lucht merkbaar te vermeerderen.

Hoe meer TYNDALL met droge en vochtige lucht werkte, hoe geringer door de betere droogtoestellen de absorptie der droge, hoe grooter die der vochtige lucht in verhouding tot de eerste uitviel. Zoo vond TYNDALL [2]), in het laatst

---

[1]) Contrib. pg. 130.

[2]) Contrib. pg. 109.

van October en begin van November 1861, dat de waterdamp, toen in de atmosfeer, bijna 60 maal meer warmte absorbeerde dan droge lucht, in eene buis van 82 c.M. en als warmtebron de koperen plaat gebruikende. Volkomen vochtige lucht absorbeerde 80 maal meer dan droge, dus 6 %. Hoewel bij al deze proeven platen klipzout de buis sloten, waren deze steeds volkomen helder bevonden; om echter allen twijfel weg te nemen besloot TYNDALL de platen klipzout weg te laten en in de buis beurtelings droge en vochtige lucht te brengen. Hoe dikwijls TYNDALL deze proef ook herhaalde, telkens had het inbrengen van vochtige lucht vermindering, het invoeren van droge lucht vermeerdering der hoeveelheid warmte ten gevolge: de absorptie door waterdamp dus aantoonende.

Zouden onzuiverheden in de atmosfeer van Londen of vreemde bestanddeelen in de lucht van het laboratorium een aandeel in deze verschijnselen hebben? Ook dit bleek niet het geval te zijn. Lucht van 7 verschillende plaatsen uit Engeland, sommige midden in het land, andere (eiland Wight) aan zee gelegen, naar Londen gebracht en door TYNDALL onderzocht, gaf geen verschil met de lucht uit Londen; werd de lucht direkt in de luchtledig gemaakte buis gelaten, zoo was de absorptie 60 à 70 maal grooter dan wanneer die lucht eerst volkomen gedroogd was geworden. In eene buis 120 c.M. lang, gesloten met platen klipzout, absorbeerde de waterdamp 6 % (27 Oct. 1861) [1]), op een anderen dag absorbeerde met waterdamp volkomen verzadigde lucht in dezelfde buis ongeveer 10 % [2]).

Nergens geeft TYNDALL de temperatuur op; mogen wij

---

[1]) Contrib. pg. 134.

[2]) TYNDALL geeft op 90 maal meer dan droge lucht; uit de absorptie van 0.075 in de buis van 82 c.M. berekent men 10 %.

nu aannemen dat alles bij eene temperatuur 15° C. bepaald is? door deze onzekerheid verliezen deze proeven veel van hunne quantatieve waarde.

De buis waarmeê deze laatste proeven gedaan zijn, was van geel koper, van binnen gepolijst; wanneer tegen den binnenwand waterdamp zich condenseerde en daardoor het terugkaatsend vermogen verminderd werd, zou minder warmte op de zuil vallen en dus eene afwijking veroorzaken even als absorptie het zou doen. Op twee wijzen heeft TYNDALL [1]) deze tegenwerping trachten te ontzenuwen. Vooreerst door aan te toonen dat de absorptie evenredig was aan de drukking der vochtige lucht en er op te wijzen, hoe onwaarschijnlijk het was dat de vermindering der hoeveelheid warmte, door de condensatie teweeggebracht, evenredig met de drukking zou zijn, en daarna door de buizen geheel weg te laten en een gedeelte der lucht tusschen de warmtebron en thermozuil beurtelings te doen vervangen door met waterdamp verzadigde en gedroogde lucht. Ook bij deze proef bleek de absorptie van den waterdamp. Het is jammer dat TYNDALL niet opgeeft hoeveel procent hierbij geabsorbeerd werd; het eenige wat te vinden is [2]), is dat vochtige lucht minder warmte doorliet en eene afwijking van 5°, droge lucht eene van 10° in tegenovergestelden zin veroorzaakte; de totale hoeveelheid warmte wordt echter niet vermeld.

§ 10.

Toen MAGNUS in de herfst van 1862 bij gelegenheid van de internationale tentoonstelling in Londen was, herhaalde TYNDALL in zijne tegenwoordigheid bovenvermelde proeven;

---

[1]) Contrib. pg. 134 en 135. [2]) Contrib. pg. 136.

de resultaten met buizen, aan beide zijden geopend, schenen hem toen het meest overtuigend, en in Berlijn teruggekeerd, besloot hij deze te herhalen [1]). Om de intensiteit der thermostroomen te meten werd een galvanometer gebezigd, in zooverre verbeterd, dat de voordeelen, die eene astatische opstelling aanbood, vereenigd werden met de zekere en nauwkeurige spiegelaflezing. De magneet was hiertoe cirkelvormig en spiegelend gemaakt; om deze werden de draadwindingen aangebracht en boven deze een tweede magneet, van gelijke afmetingen als de eerste en even sterk magnetisch, opgehangen zoodat de ongelijknamige polen der beide magneten boven elkander kwamen. De kijker en verdeelde schaal bevonden zich op een afstand van 2 meter van den galvanometer. De thermozuil werd aan beide zijden van kegelvormige reflectoren voorzien en de methode van compensatie, zooals TYNDALL deze uitgedacht had, gebruikt. Als warmtebronnen werden zwartgemaakte vaten met water gevuld, dat door ingeleiden stoom aan de kook gehouden werd, gebezigd. Tusschen eene der warmtebronnen en de zuil werd eene buis van 66 c.M. lengte met twee dicht bij de uiteinden aangebrachte zijdelingsche openingen geplaatst, van welke openingen de eene in verband stond met de luchtpomp, de andere met een blaasbalg. Evenals bij TYNDALL kon de lucht of gedroogd of met waterdamp verzadigd in de buis geblazen worden en iedere vermeerdering of vermindering der hoeveelheid warmte, door de buis op de zuil vallende, kon nauwkeurig gemeten worden.

Aanzienlijke veranderingen waren het gevolg van het inblazen van vochtige en droge lucht, maar de richting der uitslagen was juist tegenovergesteld aan die van

---

[1]) Pogg. Ann. Bd. 118 S. 575.

TYNDALL; telkens als vochtige lucht de drogere in de buis verving, vermeerderde de hoeveelheid warmte, die door de buis op de zuil viel, terwijl deze hoeveelheid bij doorblazen van droge lucht verminderde. MAGNUS bemerkte spoedig dat dit verschijnsel alleen ontstond wanneer de lucht met eene zekere kracht in de buis werd geblazen, en dat bij langdurig doorlaten stroomen van vochtige of droge lucht de magneet, in plaats van voortdurend eene zekere afwijking aan te wijzen, langzamerhand tot den evenwichtsstand terugkeerde. Dit verschijnsel was dus geen absorptieverschijnsel en moest zich dus eveneens vertoonen zonder eenige warmtebron. Dit was dan ook het geval. Weldra vond MAGNUS de oorzaak van het verschijnsel.

De lucht, door eene zijdelingsche opening ingeblazen, verspreidt zich niet alleen in de buis, maar aan weerszijden van de opening; de luchtpomp werkt niet voortdurend en kan niet beletten dat, wanneer de lucht met zekere kracht wordt ingeblazen, deze de buis verlaat, tegen de zuil komt en daar al naar gelang zij vochtig of droog is, eene werking uitoefent. Komt vochtige lucht tegen de zuil zoo verdicht zich waterdamp op de oppervlakte en de daardoor ontstane warmte brengt de afwijking teweeg door MAGNUS waargenomen; is zooveel waterdamp gecondenseerd als dit mogelijk is, dan zal geene warmte meer vrij worden, de ongelijkheid in temperatuur van de beide zijvlakken der zuil zal langzamerhand verdwijnen en de naald keert weder terug tot den evenwichtsstand, onverschillig of men voortgaat met doorblazen van vochtige lucht of niet, alleen met dit onderscheid dat in het laatste geval meer water verdampen zal en de gelijkheid van temperatuur spoediger zal intreden. Heeft men zoolang geblazen dat de naald den evenwichtsstand weder bereikt heeft en houdt men dan op, dan zal de naald na-

tuurlijk naar de andere zijde uitslaan door de afkoeling, tengevolge van de verdamping van den gecondenseerden waterdamp.

Zeer gemakkelijk is het op deze wijze de werking van droge lucht na te gaan.

Veel grooter uitslagen verkreeg MAGNUS door de buis weg te laten en direkt hetzij droge, hetzij vochtige lucht tegen de zuil te blazen. Na de beschrijving van deze proeven zegt MAGNUS: „Aus diesen Versuchen geht hervor wie wenig die, durch die offene Röhre strömende Luft sich zu Versuchen über ihr Absorptionsvermögen eignet [1]."

MAGNUS verdedigt verder zijne methode van bepaling van het absorbeerend vermogen der gassen, waarbij de warmtebron zich verticaal boven de thermozuil bevindt, tegen de bedenking van TYNDALL als zouden de gassen de warmtebron afkoelen.

TYNDALL had wel bewezen (zie pag. 23) dat gassen in zijne „frontchamber" warmte van de bron ontnamen, maar deze „frontchamber" was horizontaal en omgeven door eene buis waardoor telkens koud water stroomde; bij MAGNUS geschiedde de verwarming van boven en hierbij was het dan onmogelijk dat luchtstroomingen ontstonden. Om proefondervindelijk na te gaan of bij zijn toestel het contact van het gas en de warmtebron invloed had gehad, wijzigde MAGNUS zijn toestel in zooverre dat het glazen vat, hetwelk in de eene opening van den glazen cylinder (zie pag. 14) bevestigd was, vervangen werd door eene reeks van drie glazen buizen verticaal boven elkaar geplaatst; tusschen de bovenste en middelste en tusschen de onderste en den cylinder konden platen klipzout gebracht worden; ieder der buizen kon afzonderlijk

---

[1]) Pogg. Ann. Bd. 118 S. 582.

luchtledig gemaakt worden. Werd nu eene plaat klipzout tusschen de bovenste en middelste buis gebracht zoo kon de ruimte tusschen de plaat en de warmtebron, 15 c.M. hoog, beurtelings luchtledig gemaakt en met lucht gevuld worden, terwijl de ruimte beneden de plaat klipzout steeds droge lucht bevatte. In beide gevallen bleef de werking op de thermozuil geheel dezelfde, waardoor MAGNUS meent bewezen te hebben dat de aanraking van de onderzochte gassen en de warmtebron geen slechten invloed uitoefenden.

Werd nu ook nog eene plaat klipzout aangebracht tusschen den glazen cylinder en de onderste buis zoo kon MAGNUS geen merkbaar onderscheid in de straling door de luchtledige en met droge lucht gevulde ruimte bespeuren; zonder de platen klipzout was het onderscheid zeer duidelijk. Wel was het niet zoo groot als vroeger (pag. 15) aangegeven is, dus geen 11%, maar het „beträgt jedenfalls mehrere Procente [1]."

De absorptie tusschen droge en met waterdamp verzadigde lucht werd met dezen gewijzigden toestel vergeleken en een gering verschil was te bemerken; steeds was dit verschil minder dan 1%; werden de platen klipzout gebruikt zoo werd dit verschil veel grooter. MAGNUS besluit uit deze proeven: „Es scheint ausser Zweifel dass diese Ursache in der Anwendung der Steinsalzplatten zu suchen ist."

Vooreerst ziet men dat er reeds eenige toenadering te bemerken is: het verschil in absorptie tusschen droge lucht en het luchtledig bedraagt volgens MAGNUS geen 11% meer; en er is, volgens dezen, een, hoewel klein, verschil tusschen vochtige en droge lucht. De eerste toenadering wordt grooter wanneer men bedenkt dat de afstand tusschen warm-

[1]) l. c. S. 586.

tebron en zuil veel grooter is dan bij de eerste onderzoekingen van MAGNUS; toen bedroeg deze 26 c.M.; den afstand bij dezen nieuwen toestel geeft MAGNUS zelf niet op, we moeten hem dus uit de teekening opmaken. Dan verkrijgen we, den voet op 30 c.M. stellende, voor den afstand 90 c.M., dus meer dan 4 maal grooter dan bij den vorigen toestel; en op dezen 4 maal grooteren afstand vindt MAGNUS voor de absorptie door droge lucht eene kleinere waarde; nauwkeuriger dan „mehrere Procente" geeft MAGNUS de absorptie niet op. Dit zelfde gemis aan juiste opgaven treffen we in de geheele verhandeling aan; hoeveel bij luchtledigen toestel de totale uitslag der hoeveelheid warmte is, wordt niet opgegeven en de kennis hiervan is toch onmisbaar om een goed oordeel te kunnen uitspreken. Vreemd is zeker het beweren van MAGNUS dat de platen klipzout een niet onbeduidend gedeelte der warmte absorbeeren; hierdoor wordt de hoeveelheid warmte op de zuil vallende geringer en de gevoeligheid kleiner. Op deze wijze verklaart MAGNUS de gelijkheid van absorptie, die hij verkreeg bij luchtledigen en met droge lucht gevulden toestel.

Gaan we dus na, hoe MAGNUS het verschil tusschen hem en TYNDALL verklaren wil, dan zien we dat bij de proeven met buizen, door platen klipzout gesloten, deze als oorzaak worden opgegeven, en verkrijgt TYNDALL bij weglating der platen dezelfde resultaten, zoo schijnt MAGNUS eene vergissing te onderstellen bij TYNDALL, zoodat deze eene vermindering in de hoeveelheid warmte op de zuil voor eene vermeerdering heeft gehouden en omgekeerd.

§ 11.

Niet lang na deze verhandeling verscheen eene van TYN-

DALL [1]), waarin deze verzekerde met de verschijnselen, door MAGNUS beschreven, reeds lang bekend geweest te zijn en dat hij, door de lucht zeer langzaam in de buis te laten treden en den afstand van de buis tot de warmtebron en de zuil goed te kiezen, verhinderd heeft dat de lucht tot de zuil kwam om daar waterdamp te condenseeren of water te verdampen. Om echter te bewijzen dat hij zich niet vergist had in de richting van den uitslag van zijn galvanometer, gaf hij zijne toestellen over aan Dr. FRANKLAND, met verzoek zijne proeven te herhalen op eene wijze zooals ze dezen het meest geschikt toeschenen. Dit geschiedde en FRANKLAND bevestigde volkomen de resultaten van TYNDALL; werd de snelheid, waarmeê de droge lucht in de buis gedreven werd, vervierfoudigd zoo ontstond slechts bij ééne proef eene afwijking, afkoeling aanwijzende; werd droge of vochtige lucht in den reflector geblazen zoo werden dezelfde verschijnselen verkregen, die MAGNUS ook verkregen had; zeer gemakkelijk waren zij echter van absorptie te onderscheiden 1°. door de tegenovergestelde uitwerking, 2°. door dat de afwijkingen voorbijgaand zijn in tegenoverstelling van die door absorptie teweeg gebracht, welke even lang duren als de lucht in de buis door vochtige of droge vervangen wordt. Ook overtuigde FRANKLAND zich dat zonder gebruik te maken van eenige warmtebron het blazen van vochtige en droge lucht in de buis geenerlei uitwerking had.

Nadat op deze wijze was aangetoond dat de onderstelling van MAGNUS alsof TYNDALL zich vergist had, niet de juiste was, zocht TYNDALL de reden van het merkwaardige verschil weder in de inrichting van de proeven van MAGNUS. Vroeger had hij reeds beweerd dat het te onderzoeken

---

[1]) Phil. Mag. July 1863. Contrib. Mem. IV.

gas noch met de warmtebron noch met de thermozuil in aanraking mocht komen en had toen meer gewicht op het eerste feit gelegd. Nu MAGNUS echter had aangetoond dat bij zijn toestel de aanraking der lucht met de warmtebron geene merkbare afkoelende werking te weeg bracht, schrijft TYNDALL dit toe aan gebrek aan nauwkeurigheid: „the probability is that his total heat is so small that the lowering of the temperature of his source of heat by the admission of air into contact with it, becomes infinitesimal" [1]). Het komt mij echter voor dat dit de ware verklaring niet zijn kan, daar juist die verlaging van temperatuur oorzaak zou zijn van de 11%, die MAGNUS als absorptie beschouwt; nu beweert TYNDALL dat de mindere warmte op de zuil vallende oneindig klein wordt, maar dan zou MAGNUS geen verschil vinden tusschen luchtledig gemaakten en met droge lucht gevulden toestel.

In hoeverre gebrek aan nauwkeurigheid invloed heeft gehad op de proeven van MAGNUS laat zich door het bovenvermelde gemis aan opgaven bezwaarlijk bepalen. Op de volgende wijze heb ik getracht het eenigszins na te gaan. Bij latere onderzoekingen vermeldt MAGNUS dat wanneer hij den galvanometer, bij deze proeven gebruikt, en dien met astatische naalden, bij de eerste proeven gebezigd, achter elkander in den stroomketen verbond, de afwijking van éénen graad op den laatsten met eene van 12 schaaldeelen van den eersten overeenkwam [2]). De totale uitslag in het luchtledige bij de eerste proeven bedroeg ongeveer 16°; dit zou op den spiegelgalvanometer 192 schaaldeelen gegeven hebben; maar de afstand is 4 maal grooter geworden en door diaphragmen komen slechts weinig terug-

---

[1]) Contrib. pag. 156.

[2]) Pogg. Ann. Bd. 121 S. 178.

gekaatste stralen op de zuil [1]). De hoeveelheid warmte zou dus zonder terugkaatsing, 16 maal minder geworden zijn, en de totale uitslag zal dus wel niet meer dan 20 schaaldeelen bedragen hebben [2]). Nemen wij deze ruwe schatting aan als niet ver van de ware afwijking, door MAGNUS verkregen, verschillende, zoo zien we dat werkelijk eene kleine waarnemingsfout bij MAGNUS een grooten invloed heeft op zijne resultaten. Voor de absorptie door waterdamp vond TYNDALL in eene buis van 82 c.M. 6%, terwijl MAGNUS in zijnen toestel minder dan 1% voor dezelfde grootheid vond; de lengte der laag is in beide gevallen niet zeer verschillend, en het geheele verschil van 5% komt dus overeen met eene afwijking bij MAGNUS van 1 schaaldeel. Het onderscheid in doorlatend vermogen tusschen luchtledigen en met droge lucht gevulden toestel, dat MAGNUS op „mehrere Procenten" schat, komt met eene afwijking van 1,5 à 2 schaaldeelen overeen.

Om dit verschil te verklaren gaat TYNDALL [3]) nauwkeurig na wat de werking is, die het toetreden der lucht in den toestel op de zuil zal hebben bij de inrichting der proeven van MAGNUS, waar de glazen cylinder, waarin zich de thermozuil bevindt, omgeven is door een anderen, en waar die tusschenruimte gevuld is met water, dat steeds de temperatuur 15° C. heeft. De lucht heeft toegang tot beide zijden der zuil, het uiteinde der zuil, dat naar boven gekeerd is, heeft een kegelvormigen reflector, het andere uiteinde is voorzien van eene cylindervormige buis. Stel nu dat beide zijden der zuil de temperatuur der omgevende watermassa

---

[1]) Pogg. Ann. Bd. 130 S. 226.

[2]) Mogelijk is de afwijking grooter geweest daar bij deze proeven de zuil met een kegelvormigen, bij de eerste met een cylindrischen reflector voorzien was.

[3]) Contrib. pag. 156.

hebben, dat de toestel luchtledig is, geene warmte op de zuil valt en de temperatuur der lucht iets lager is dan van de zuil. Laat men nu lucht instroomen dan zal, door het bovenste uiteinde der zuil, de lucht, die er meê in aanraking komt, verwarmd worden; een opstijgende luchtstroom zal zich vormen, warmte zal van de bovenvlakte der zuil onttrokken worden, terwijl van het naar beneden gekeerde uiteinde der zuil geene warmte onttrokken wordt, daar de lucht, die er door verwarmd wordt, er in aanraking meê blijft. Het resultaat zal dus zijn dat de bovenvlakte der zuil minder warmte ontvangt. Dezelfde afwijking verkrijgt men wanneer de lucht buiten den toestel iets warmer is dan de zuil: door de bovenvlakte wordt de lucht afgekoeld en dáár zal dus eene laag lucht blijven, iets minder warm dan de overige lucht; door de benedenvlakte der zuil wordt de lucht eveneens afgekoeld, maar wordt telkens door nieuwe vervangen, zoodat het naar beneden gekeerde uiteinde der zuil verwarmd wordt, en wij zullen dus dezelfde uitwerking verkrijgen als in het eerst beschouwde geval.

Valt er echter warmte op de zuil, dan wordt de bovenvlakte der zuil verwarmd, en het binnenstroomen van lucht, die warmer of kouder is dan de zuil, zal dezelfde gevolgen hebben alsof de beide vlakken der zuil dezelfde temperatuur hadden: de bovenvlakte zal afgekoeld worden ten opzichte der benedenvlakte; is de lucht van dezelfde temperatuur als het naar boven gerichte uiteinde der zuil, dan zal zij de andere zijde verwarmen, en is zij even warm als het naar beneden gekeerde uiteinde zal de lucht de bovenvlakte afkoelen. Bij eene gemiddelde temperatuur zal zij de benedenvlakte verwarmen, de bovenvlakte afkoelen. „No matter, then" zegt TYNDALL [1]), „what the tem-

[1]) l. c. pag. 158.

perature of the air may be when it enters the vessel, the effect of its contact with the pile is to diminish the deflection due to the radiation from the source of heat, and to produce the same galvanometric effect as a true absorption."

Toen MAGNUS, behalve tusschen de twee bovenste buizen, ook eene plaat klipzout tusschen den glazen cylinder en de benedenste buis bracht, verkreeg hij geen verschil of de buizen luchtledig of met droge lucht gevuld waren; hier kon de lucht geene werking op de zuil uitoefenen daar de cylinder luchtledig bleef. Deze verklaring, die TYNDALL geeft, is, dunkt me, wel zoo natuurlijk als die van MAGNUS dat de platen klipzout eene aanzienlijke hoeveelheid der warmte tegenhielden.

Nog een ander bewijs dan zijne rechtstreeksche proeven geeft TYNDALL voor het groot absorbeerend vermogen van warmte door waterdamp. TYNDALL vergeleek n.l. de grootte der absorptie van vloeistoffen met die van hunne dampen, en zag dat, wanneer dezelfde warmtebron gebruikt werd en hoeveelheden van dampen, die evenredig waren aan de hoeveelheden der correspondeerende vloeistoffen, de orde, waarin zij, naar de grootte van hun absorbeerend vermogen gerangschikt, op elkander volgden, juist dezelfde was. Water was de sterkst absorbeerende vloeistof en het zou dan zeker eene zeer merkwaardige uitzondering zijn wanneer de waterdamp zulk eene geringe absorptie vertoonde als MAGNUS dit aannam.

§ 12.

Ondertusschen was MAGNUS, uitgaande van de, door hem gevonden en in § 10 beschreven, verschijnselen tot meer algemeene resultaten gekomen [1]). Eerst vermoedde MAGNUS

[1]) Pogg. Ann. Bd. 121 S. 174.

dat het roetzwart, waarmeê de oppervlakte der thermozuil bedekt was, als een fijn verdeeld lichaam, de eigenschap bezat, den waterdamp te condenseeren, maar ook wanneer de oppervlakte zoo metalliek mogelijk gemaakt was, bleef het verschijnsel bestaan; nu onderzocht MAGNUS allerlei stoffen: de metalen, glas, kwarts, gips, klipzout, aluin, hout, bordpapier, caoutchouc, guttapercha, leer, ivoor, parafin, was, en zag dat al deze zelfstandigheden, hoe verschillend ook, verwarmd worden bij aanraking met lucht vochtiger dan die, welke hen omgaf, en kouder worden, indien zij aan lucht blootgesteld worden, die droger is dan die waarin zij zich bevonden.

Even eens als waterdamp gedragen zich alcohol-, aetherdampen en eenige andere, die MAGNUS onderzocht heeft, zoodat hij tot de gevolgtrekking komt, dat de meest verschillende dampen aan de oppervlakte van vaste lichamen in zulke hoeveelheden verdicht worden dat daardoor merkbare veranderingen in temperatuur ontstaan; op alle lichamen bevindt zich dus ook eene laag waterdamp met den vochtigheidstoestand der lucht grooter en kleiner wordende. Die proeven met dampen door TYNDALL genomen, waarbij platen klipzout de buis sloten, worden door deze condensatie dus onzeker.

§ 13.

De proeven, die op de tot hiertoe besprokene volgen, zijn van FRANKLAND en MAGNUS over het uitstralend vermogen van waterdamp. FRANKLAND [1]) heeft zijne proeven op de volgende wijze genomen: een kacheltje, met gloeiiende houtskolen gevuld, werd op een afstand van 60 c.M. tegenover

---

[1]) Pogg. Ann. Bd. 123 S. 425. Anm.

eene thermozuil geplaatst, zoodat alleen de opstijgende lucht en koolzuur hunne warmte op de zuil deden vallen; deze werking werd door eene warmtebron, aan de andere zijde der zuil geplaatst, gecompenseerd zoodat de galvanometer op 0° bleef staan. Uit eene ijzeren buis, in het midden van het kacheltje geplaatst, werd nu waterdamp naar boven gedreven, deze werd verwarmd, en men zag eene afwijking van de magneetnaald, sterker dan die, vóór de compensatie, door de verwarmde lucht en koolzuur veroorzaakt.

§ 14.

Tegen deze proef maakt MAGNUS [1]) de bedenking dat de verhitte waterdamp niet steeds in het midden van den luchtstroom blijven, maar, aan de randen van dezen gekomen, gecondenseerd zal worden, en dus als verwarmde nevel warmte uitstraalt.

Om meer zekerheid te verkrijgen aangaande het uitstralend vermogen van waterdamp, plaatste MAGNUS eene naar boven omgebogen koperen buis, met een diameter van 15 m.M. op een afstand van 40 c.M. van zijne thermozuil, zoodanig, dat alleen de uit de buis opstijgende gassen of dampen tegen de zuil warmte konden uitstralen. De buis werd tot dicht bij de opening door gasvlammen tot de roodgloeihitte verwarmd, en door een blaasbalg kon lucht geperst worden, die of eerst gedroogd of met waterdamp verzadigd werd. Om dit laatste te verkrijgen, leidde MAGNUS de lucht door eene kolf met water gevuld; dit water kon door eene, onder de kolf geplaatste, lamp verwarmd worden. De verwarmde droge lucht gaf een uitslag van 3 schaaldeelen; was de lucht door de niet verwarmde kolf

---

[1]) Pogg. Ann. Bd. 127 S. 613.

gestreken, dan werd de uitslag 3 à 5 deelen grooter; werd het water tot 60° à 80° verwarmd, dan bedroeg de uitslag 20 schaaldeelen, terwijl, wanneer het water zoo sterk aan de kook gebracht werd dat zich nevels vormden, de galvanometer eene afwijking van meer dan 100 schaaldeelen aanwees. MAGNUS neemt aan, dat de afwijking van 20 schaaldeelen ook aan nevels moet worden toegeschreven, daar de uitslag zeer onregelmatig en eerst langzamerhand het maximum bereikte, terwijl bij gassen die sterk de warmte uitstralen zooals koolzuur en lichtgas de uitslag zeer spoedig tot de maximale waarde steeg.

Uit de vermeerdering van den uitslag van 3 à 5 schaaldeelen, door vochtige lucht veroorzaakt, besluit MAGNUS dat het uitstralingsvermogen en dus ook het absorbeerend vermogen van droge lucht zeer weinig van dat van vochtige afwijkt.

We moeten echter ook hier weder in het oog houden, dat deze gevolgtrekking alleen geldt voor gelijke temperatuur, en dat MAGNUS alleen mag besluiten dat bij de temperatuur van 220° à 230° C. het absorbeerend vermogen van vochtige lucht niet veel verschilt van dat van droge lucht. Door de geringe dikte van den stroom droge en vochtige lucht is groote nauwkeurigheid bij deze proeven niet te bereiken. Uit deze proeven schijnt echter wel te blijken dat de groote afwijking, door FRANKLAND waargenomen, het gevolg is van nevels, of zooals TYNDALL vermoedt van deeltjes water mechanisch meêgevoerd [1]).

Na het beschrijven van deze proeven zegt MAGNUS dat ze eigenlijk overbodig waren, daar de verschijnselen van den douw, meer dan alle onderzoekingen in laboratoria, voor de geringe absorptie van waterdamp pleiten. TYNDALL beweerde: „that I had long previously looked at this dif-

---

[1]) Contrib. pg. 387.

ficulty and in the face of it had affirmed the absorptive power of aqueous vapour."

Wanneer deze physici bij proeven, waarbij zij de omstandigheden kunnen wijzigen zooals ze willen zoo in meening van elkander afwijken, dan is het zeker niet te verwonderen, dat zij beiden hetzelfde meteorologisch verschijnsel, waar zoovele invloeden samenwerken, dat door zoovele bijomstandigheden gewijzigd kan worden, te hulp roepen, ieder voor zijn eigen inzicht.

§ 15.

We zullen deze zaak niet verder bespreken, te meer daar zich in den strijd tusschen MAGNUS en TYNDALL een ander physicus mengde, die onpartijdig de zaak tot eene beslissing wenschte te brengen. In de eerste plaats trachtte WILD [1]) het verschil in uitkomsten, die door MAGNUS aan de eene, door TYNDALL en FRANKLAND aan de andere zijde bij hunne proeven met opene buizen verkregen waren, uit den weg te ruimen. Deze hadden allen met ééne buis gewerkt, waardoor zij beurtelings vochtige en droge lucht lieten gaan, en waargenomen of de warmtebron dan wel de compenseerende cubus meer warmte op de zuil uitstraalde. WILD gebruikte twee cubi van LESLIE, ter weerszijde van zijne, met kegelvormige reflectoren voorziene, thermozuil, en plaatste tusschen ieder der cubi en de zuil eene buis van gepolijst geel koper met eene lengte van 60 c.M. en een diameter van 6 c.M. De eene buis kon nu met vochtige, de andere tegelijkertijd met droge lucht gevuld worden, en eene hierdoor ontstane afwijking kon op een gevoeligen spiegelgalvanometer van MEYERSTEIN met groote

[1]) Pogg. Ann. Bd. 129 S. 57.

nauwkeurigheid bepaald worden. De vochtige en droge lucht werd door zijdelingsche openingen, op een afstand van 15 c.M. van de uiteinden aangebracht, in de buizen geblazen, en deze uiteinden bevonden zich op een afstand van 10 c.M. van de cubi en van de opening der kegelvormige reflectoren. De afwijkingen waren zoodanig dat zij „stets eine durch die feuchte Luft vermehrte Absorption der Wärmestrahlen anzeigten" [1]).

Liet WILD de warmtebronnen geheel weg, en werd dan lucht ingeblazen, zoo ontstond niet de minste beweging van de naald, alleen wanneer het inblazen met groote kracht geschiedde, werd eene afwijking waargenomen in den zin van MAGNUS.

Er was echter nog eene bedenking, die WILD tegen deze wijze van proefnemen maakte: de warmte, komende van de cubi en op de zuil vallende, moest eerst door eene laag lucht van het lokaal en daarna, aan de eene zijde door eene laag droge, aan de andere zijde door eene laag met waterdamp verzadigde lucht gaan. Indien nu, b. v. in dit laatste geval, door terugkaatsing op het grensvlak van de gewone en vochtige lucht warmte verloren ging, dan zou men bij deze proeven die verloren warmte als geabsorbeerd in rekening brengen. Behalve de buizen van 60 c.M. lengte werden nu nog aan beide zijden van de thermozuil twee van 15 c.M. geplaatst, maar zoo, dat aan de eene zijde de kortere buis tusschen den cubus van LESLIE en de langere, aan de andere zijde tusschen de zuil en de langere kwam te staan. Door caoutchouc-slangen werden nu de zijdelingsche openingen van de twee buizen, die het dichtst bij de zuil stonden, verbonden, evenzoo van de twee, die het verst van de zuil verwijderd waren. Stel dat men nu

---

[1]) l. c. S. 63.

in deze laatste vochtige, in de eerste droge blies, dan had men dus aan de eene zijde: cubus, korte buis met vochtige, lange buis met droge, aan de andere zijde: cubus, lange buis met vochtige, korte met droge. Aan beide zijden is dus bovengenoemde terugkaatsing dezelfde, en daar nu toch een verschil in doorgelaten warmte gevonden werd, zoo kon WILD dit alleen toeschrijven aan absorptie van de hoeveelheid waterdamp, die zich aan de eene zijde meer dan aan de andere zijde bevond. Wat de quantitatieve bepalingen betreft, zoo besluit WILD dat de absorptie van waterdamp nog iets grooter is dan TYNDALL haar gevonden heeft, dus dat eene laag van 120 c.M. met waterdamp verzadigde lucht nog meer dan 10 % absorbeert.

Volkomen werden dus door WILD de resultaten door TYNDALL verkregen, bevestigd; de methode was echter zooals TYNDALL deze gebezigd had; nu wilde WILD ook met den toestel van MAGNUS proeven doen; in plaats van glas echter vervaardigde hij den toestel van blik, maar kon hiermeê geene resultaten verkrijgen, daar de magneetnaald niet voldoende in rust bleef, hetgeen veroorzaakt werd door de luchtstroomingen, die hier tegen de warmtebron aankwamen en deze zeer onregelmatig afkoelden.

§ 16.

Tegen deze laatste proeven maakt MAGNUS [1]) de aanmerking dat op eene der voornaamste omstandigheden van zijn toestel door WILD geen acht geslagen was; de toestel van MAGNUS bestond uit glas en hierdoor waren de luchtstroomingen, die bij een metalen toestel noodzakelijk optreden moesten, geheel vermeden.

---

[1]) Pogg. Ann. Bd. 130. S. 207.

De bevestiging der proeven van TYNDALL en FRANKLAND door WILD bracht MAGNUS er toe deze juist zooals WILD ze opgegeven had te herhalen; aan beide zijden der zuil werd dus eene buis geplaatst, in de eene buis droge, in de andere tegelijkertijd vochtige lucht geblazen, en de uitwerking hiervan op de hoeveelheid warmte, door de twee cubi van LESLIE uitgestraald, door middel van een galvanometer waargenomen; dezelfde resultaten als WILD verkreeg MAGNUS nu ook. Spoedig kwam deze echter tot de ontdekking van een verschijnsel waarop men geen acht geslagen had: werd in beide buizen vochtige of droge lucht geblazen, zoo moest natuurlijk, daar de warmte, op beide zijden der zuil vallende, hierdoor evenveel verminderd of vermeerderd werd, niet de minste afwijking van den galvanometer bespeurd worden; dit was niet het geval; door proeven maakte MAGNUS uit dat dit verschijnsel niet aan eene meerdere of mindere hoeveelheid droge of vochtige lucht moest toegeschreven worden, maar dat de oorzaak te zoeken was in de binnenvlakte der buizen, welke niet juist dezelfde was. Toen MAGNUS de eene buis een weinig zwart gemaakt had, werd het onderscheid veel grooter. Opdat de hoeveelheid warmte, door de beide buizen op de zuil vallende, dezelfde was, moest voor de gepolijste het beweegbare scherm geschoven worden, of de cubus verder van de zuil verwijderd worden; werd nu de werking der ingeblazen lucht in iedere buis afzonderlijk onderzocht, zoo bleek dat de verwarming door de droge en de afkoeling door de vochtige lucht veroorzaakt veel sterker was in de van binnen gepolijste dan in de zwartgemaakte buis. Nog sterker vertoonde zich de werking van den binnenwand der buis toen MAGNUS hem zeer dik met roetzwart bedekte, bij inblazen van vochtige lucht ontstond warmte, droge lucht bracht afkoeling teweeg. Eene buis van bordpapier

van binnen glad, veroorzaakte afkoeling noch verwarming; met eene buis van zeer grof papier ontstond, evenals bij de sterk met roetzwart bedekte buis, verwarming door vochtige, afkoeling door droge lucht.

De proeven van MAGNUS in § 12 beschreven, geven rekenschap van deze verschijnselen: op allerhande vaste lichamen condenseert zich waterdamp; bij inblazen van vochtige lucht in buizen zal dit natuurlijk evenzoo plaats grijpen; tegelijkertijd zal warmte vrij worden en de hoeveelheid warmte, door terugkaatsing op de zuil vallende, zal gewijzigd worden; bij de proeven met buizen van gepolijst koper was de hoeveelheid warmte op de zuil vallende 6 maal grooter dan die, welke, op de zuil viel bij weglating der buis. Is dus $^6/_7$ der totale warmte gereflecteerd, dan moet ook iedere oorzaak, die het terugkaatsend vermogen der buis wijzigt, een aanmerkelijken invloed hebben op de hoeveelheid doorgelaten warmte.

Deze verdichting van waterdamp, door MAGNUS vaporhäsion genoemd, tegen metaaloppervlakken, geschiedt nog, al is de temperatuur der buis 12° C. hooger dan die, waarbij de lucht met waterdamp verzadigd is; de waterdamp zal zich niet als eene onafgebroken laag tegen den binnenwand eener buis neerslaan, maar in geïsoleerde kleine hoeveelheden, waardoor dan warmte deels geabsorbeerd deels naar alle zijden gereflecteerd zal worden.

Wij hebben dus bij het inblazen van vochtige lucht: condensatie van waterdamp tegen den binnenwand der buis waardoor verwarming ontstaat en vermindering der gereflecteerde hoeveelheid warmte; natuurlijk hebben we bij het inblazen van droge lucht: verdamping van het tegen den binnenwand der buis gecondenseerde water, waardoor afkoeling en vermeerdering der gereflecteerde hoeveelheid warmte ontstaat; door de absorptie van den waterdamp

zal in het eerste geval de hoeveelheid warmte nog verminderd, in het tweede vermeerderd worden.

Al naar den aard van den binnenwand der buis is nu de invloed der verandering van temperatuur en van het reflecteerend vermogen verschillend; bij gepolijste metalen buizen b.v. zal het temperatuurs-verschil door geleiding zich spoedig door de geheele massa verdeelen en zeer weinig invloed op de zuil uitoefenen, daarentegen zal het reflecteerend vermogen zeer aanzienlijk gewijzigd worden; bij de van binnen sterk met roetzwart bedekte buizen of bij die uit ruw bordpapier is juist het reflecteerend vermogen gering en wordt dus ook weinig gewijzigd, terwijl door de slechte geleiding de temperatuur-verschillen grooten invloed hebben.

Om deze redenen besloot MAGNUS de buizen weg te laten, en op eene andere wijze droge of vochtige lucht tusschen eene der warmtebronnen en de zuil te brengen; hiertoe plaatste hij 4 buizen van geel koper, ieder 66 c.M. lang en 8 m.M. diameter, op afstanden van 12 m.M. horizontaal naast elkander; deze buizen hadden ieder eene rij van 40 kleine openingen wier afstand 12 m.M. bedroeg; aan het eene uiteinde waren de buizen gesloten, met het andere stonden zij door middel van eene dwarsbuis in verbinding met een blaasbalg, zoodat door de fijne openingen lucht geblazen kon worden; deze opstijgende stroom verspreidde zich tusschen de bron en de zuil; op deze wijze kon dus een deel der lucht, daar aanwezig, vervangen worden door vochtige of droge lucht; geene verandering in de verwarming der zuil was bemerkbaar.

Zoo we gezien hebben, schreef MAGNUS in vroegere onderzoekingen eene, hoewel geringe, absorptie aan waterdamp toe; uit de laatst beschreven proef zou echter besloten moeten worden dat deze absorptie geheel door MAGNUS ontkend wordt. Later komen we op deze proef terug.

§ 17.

TYNDALL herhaalde nu zijne proeven zoodanig, dat alle gereflecteerde stralen uitgesloten waren: eene buis, 95 c.M. lang, met een diameter van 15 c.M., werd door 2 sluitplaten gesloten, die ieder eene opening van 6.5 c.M. hadden, waarin platen klipzout werden aangebracht. De warmtebron was eene spiraal van platina, door een electrischen stroom tot roodgloeihitte verwarmd. Tusschen deze spiraal en de buis werd eene lens van klipzout zoodanig geplaatst dat een weinig convergeerende bundel door de buis ging, en even achter de tweede plaat klipzout een scherp beeld van de spiraal gaf; de platen klipzout waren grooter dan de doorsnede van den stralenbundel, zoodat hier deze bundel warmtestralen, zonder in aanraking te komen met eenig deel der buis, de thermozuil bereikte.

Met dezen toestel werden alle proeven met dampen herhaald: „there is no substantial difference between the results thus obtained, and those obtained with an experimental tube, where nineteen twentieths of the heat, which reached the pile, was reflected heat [1])".

Om het onderscheid in absorptie tusschen droge en vochtige lucht te bepalen met deze zelfde buis, werd als warmtebron eene waterstofvlam gebezigd; de stralen van zulk eene vlam, die natuurlijk uit waterdamp van zeer hooge temperatuur bestaat, worden, zooals TYNDALL proefondervindelijk bewezen heeft, meer dan andere door waterdamp van gewone temperatuur geabsorbeerd. Als resultaat van deze onderzoekingen geeft TYNDALL op dat de

---

[1]) Contrib. pag. 394.

waterdamp, in eene kolom vochtige lucht ter lengte van 90 c.M. (a yard), 8 procent absorbeert van de uitstraling eener waterstofvlam.

Werden de platen klipzout verwijderd, zoo bedroeg het verschil tusschen droge en vochtige lucht 5 procent.

Bij vroegere onderzoekingen had TYNDALL [1]) op de gewone wijze werkende, dus de gereflecteerde stralen niet uitsluitende, het verschil in absorptie die droge en niet gedroogde lucht op de stralen eener waterstofvlam uitoefenden, bepaald, en, in eene buis van 120 c.M. lengte, gevonden dat de waterdamp, toen in de lucht aanwezig 17% der warmte absorbeerde; slechts 5.8% werd van de warmte, door eene gloeiiende platina-spiraal uitgestraald, geabsorbeerd; na eenige dagen vond TYNDALL dat de waterdamp, toen in de lucht aanwezig, 20.3% van de warmte eener waterstofvlam absorbeerde.

Duidelijk blijkt uit deze proeven, welk een grooten invloed de door MAGNUS ontdekte vaporhäsion op de uitkomsten van TYNDALL heeft. Acht procent op eene lengte van 90 c.M. zou ongeveer 10.5% in eene buis van 120 c.M. geven waarbij de wanden geen invloed uitoefenden; in plaats hiervan vond TYNDALL 17 à 20% terwijl de lucht niet met waterdamp verzadigd was, zoodat eene vermindering der hoeveelheid warmte van meer dan 10% het gevolg is van het veranderde reflecteerend vermogen van den binnenwand der buis, en van de absorptie der ontstane laag water [2]).

De invloed van deze vaporhäsion zal niet voor alle

---

[1]) Contrib. pag. 229 en 230. Phil. Mag. 1864.

[2]) Bij deze vergelijking heb ik aangenomen dat de temperaturen, waarbij deze proeven gedaan zijn, niet veel verschilden. TYNDALL geeft ze ongelukkig niet op.

warmtebronnen dezelfde zijn, daar de hoeveelheid warmte, die geabsorbeerd wordt door den gecondenseerden damp, niet voor alle soorten van stralen dezelfde behoeft te zijn. Daarom laat zich o. a. niet bepalen hoeveel de absorptie bedraagt bij de vermindering van 10% van de doorgelaten hoeveelheid warmte, in eene buis van 120 c.M. lang, terwijl een cubus van LESLIE de warmtebron is.

Bij de proeven, waarbij de buis gesloten was door platen klipzout, was de absorptie 8, zonder de platen 5 procent. Of dit verschil toe te schrijven is aan eene condensatie van water tegen het klipzout of aan de minder groote hoeveelheid waterdamp, die in eene opene dan in eene gesloten buis zal zijn, laat zich niet uit TYNDALL's proeven afleiden. Ook de verwarming of afkoeling van den wand der buis, tengevolge van de condensatie of verdamping van water bij het inblazen der vochtige of droge lucht, kan bij deze proeven nog invloed gehad hebben.

§ 18.

Ten slotte blijven de, reeds in de inleiding vermelde, proeven van Dr. HOORWEG ter bespreking over.

De proeven der vorige onderzoekingen met buizen gaven aanleiding tot zoovele bronnen van fouten dat Dr. HOORWEG besloot geene te gebruiken; de eenige proeven, die eveneens zonder buizen genomen waren, zijn die van TYNDALL op pag. 25 en die van MAGNUS op pag. 44 vermeld. De eerste had absorptie gevonden, de tweede niet. TYNDALL had zijne toestellen geheel omgeven door bordpapieren schermen, de tusschenruimte was door schermen van tin in afdeelingen verdeeld, welke met papier of paardehaar los opgevuld waren; boven de zuil was een dak aangebracht; dit alles diende om luchtstroomingen tegen te gaan.

Dr. HOORWEG vermoedde dat al deze schermen een nadeeligen invloed hadden uitgeoefend, en besloot de proef van TYNDALL in plaats van met één cylinder met twee, even groote ter weerszijde van de thermozuil geplaatst, te herhalen, maar „ohne die Decke, welche eben so innere Strömungen veranlassen, als äussere abhalten kann [1]." Twee cubi van LESLIE waren de beide elkander compenseerende warmtebronnen; de cylinder aan de eene zijde was met bevochtigde kiezelsteentjes, die aan de andere zijde met chloorcalcium gevuld. Werd nu lucht door de cylinders geblazen, zoo ontstond dus aan de eene zijde eene kolom vochtige, aan de andere zijde eene kolom droge lucht, en de invloed van deze op de hoeveelheid warmte werd door middel van een spiegelgalvanometer bepaald. De diameter dezer cylinders bedroeg ongeveer 9 c.M.; de uitwerking was onmerkbaar.

Daarom werd de lengte der doorloopen laag vergroot; te dien einde liet Dr. HOORWEG twee bakken vervaardigen, 25 c.M. lang, aan alle zijden gesloten, met eene zijbuis en van boven met tallooze fijne openingen voorzien. Deze bakken namen de plaats in van de cylinders en door deze werd de lucht in de bakken geblazen zoodat door de fijne openingen aan de eene zijde der thermozuil droge, aan de andere zijde vochtige lucht opsteeg; met groote moeite kon eene kleine afwijking waargenomen worden; de grootte der absorptie schatte Dr. HOORWEG op een half procent. De bakken werden nu aan eene der zijden der zuil naast elkander geplaatst, en beurtelings werd vochtige en droge lucht door de openingen geblazen; de absorptie van de vochtige lucht bedroeg bij eene temperatuur van 9° C. 1.7% bij 18° C. even veel. Om nog sterkere werkingen

---

[1]) Pogg. Ann. Bd. 155 S. 392.

te verkrijgen, werd de lengte van den opstijgenden luchtstroom vergroot tot 1 meter; 3 procent werd toen geabsorbeerd van de warmte door een cubus van LESLIE, 2,3 procent van de warmte door eene verwarmde koperen plaat uitgestraald wanneer de temperatuur der lucht 19°, en 2 procent wanneer deze 7.5 à 9 was. Behalve eene koperen plaat werden eenige andere warmtebronnen en behalve van waterdamp de absorptie van andere dampen op dezelfde wijze bepaald. Aan het einde zijner verhandeling zegt Dr. HOORWEG dat, volgens hem, 100 meter gewone lucht nog lang niet in staat zijn 10% der warmte te absorbeeren.

TWEEDE HOOFDSTUK.

EIGEN ONDERZOEK.

---

§ 1.

De thermozuil, waarmede mijne proeven verricht zijn, is vervaardigd door RÜHMKORFF; zij bestaat uit 30 elementen, wier uiteinden eene vlakte vormen ter grootte van 144 vierk. m.M.; de kegelvormige reflectoren hebben eene hoogte van 12.2 c.M. en eene opening van 6.5 c.M.

Om de intensiteit der thermostroomen te meten, diende een galvanometer van MEYERSTEIN, zooals deze in verschillende boeken afgebeeld is [1]). Eene in millimeter verdeelde glazen schaal van één meter lengte werd op een afstand van 5,5 meter van den galvanometer geplaatst, en door een, boven de schaal zich bevindende, verrekijker met kruisdraden voorzien, werd de stand van den magneet afgele-

---

[1]) WIEDEMANN, Galvanismus und Electromagnetismus II, 1 S. 234. MÜLLER, Lehrbuch der Physik. 7te Ausgabe II 362.

zen. Daar het eerst mijn plan was de proef van Dr. HOORWEG met den bak van één meter lengte te herhalen, plaatste ik den cubus van LESLIE op een afstand van 140 c.M. van de thermozuil; ik verkreeg, terwijl het water in den cubus door ingeleiden stoom aan de kook gehouden werd, een eersten uitslag van 160 schaaldeelen.

Daar mij dit te gering scheen, verving ik den bundel van 8 cocondraden, waaraan de magneet opgehangen was, door een uiterst dunnen zilverdraad; werd de magneet, door den grooten magneet, die de astasie veroorzaakte, naar boven te schuiven, uiterst gevoelig gesteld, zoo bedroeg de uitslag slechts 40 m.M. bij denzelfden afstand van cubus en thermozuil als boven. Dr. BRUTEL DE LA RIVIÈRE had de goedheid om de afwijking te bepalen, die een galvanometer van THOMSON aanwees, terwijl de thermostroom door beide galvanometers ging. Het bleek dat de magneet bij den galvanometer van THOMSON meer uit den evenwichtsstand werd bewogen dan bij dien van MEYERSTEIN; de afgelezen uitslag was echter niet zoo groot daar de schaal zich veel dichter bij den magneet bevond.

Dat echter de zilverdraad de oorzaak geweest is van de geringe afwijking, zou ik niet durven beweren daar het 14 dagen later (2 December 1875) bleek, dat het contact in de zuil geheel verbroken was en het niet mogelijk was na te gaan, in hoeverre de kleine uitslag van 40 m.M. het gevolg geweest is van een minder goed contact.

Ondertusschen besloot ik, ten einde grootere uitslagen te verkrijgen, zoo mogelijk slechts één der 8 cocondraden te gebruiken; deze droeg, zonder te breken, gedurende meer dan een uur 25 gram, een andere was, met ditzelfde gewicht belast, in een halven dag gebroken; om dus één draad in den toestel te gebruiken, moest het te dragen gewicht vrij wat minder dan 25 gram zijn; nu woog de

magneet 13.25 gram, de gebogen koperen beugel, waaraan de magneet hing, met het spiegeltje 9.4 gram. Een andere magneet, van volkomen denzelfden vorm maar ongeveer de helft dunner, werd vervaardigd, deze woog 6.55 gram, bovendien kon ik van den beugel nog een paar koperen armpjes, 1.7 gram zwaar, dienende om een anderen magneet voor gedeeltelijke astasie te dragen, verwijderen, zoodat het totale gewicht, dat de cocondraad te dragen had, ongeveer 15 gram bedroeg. Dit heeft hij voortdurend gedragen.

Werd de groote magneet nu weder zoo hoog geschoven, dat de werking der aarde op het magneetje bijna geheel opgeheven was, zoo gaf de warmte, door een cubus van LESLIE met kokend water gevuld, op een afstand van 140 c.M. op de thermozuil uitgestraald, een uitslag van meer dan 600 m.M. Voor nauwkeurige proeven was deze hooge mate van astasie echter al te gevoelig, daar de minste wijzigingen in richting of intensiteit van het aardmagnetisme bewegingen van den magneet veroorzaakten en deze bijna geen oogenblik in rust was. Door den grooten magneet te laten dalen, kon men dezen zoodanig plaatsen dat, bij geene al te groote storingen van het aardmagnetisme, de magneet een vasten stand innam en toch nog uiterst gevoelig was.

§ 2.

Aan iedere zijde der thermozuil plaatste ik nu achter elkaar 2 cylinders van blik, 18 c.M. hoog, met een diameter van 9.5 c.M.; op een afstand van 4 c.M. boven den bodem was een tweede bodem, met tallooze fijne openingen voorzien, aangebracht; in den zijwand, tusschen de twee bodems, was een zijbuisje, zoodat lucht hierdoor ge-

blazen door de openingen van den tweeden bodem opsteeg. De twee cylinders aan de eene zijde vulde ik gedeeltelijk met chloorcalcium, die aan de andere zijde met, door zuiver water bevochtigde, kiezelsteentjes.

Werd nu lucht door de met chloorcalcium gevulde cylinders geblazen, zoo wees de galvanometer warmte aan, terwijl omgekeerd afkoeling teweeg gebracht werd door de lucht, uit de met kiezelsteentjes gevulde cylinders komende. Werd door alle 4 cylinders tegelijkertijd lucht geblazen, zoo werd de werking natuurlijk sterker.

Zooals in de inleiding reeds medegedeeld is, werd deze werking steeds door een tweede, veel sterkere, gevolgd, wier richting juist tegenovergesteld was als de eerste. Deze is het gevolg van de, door MAGNUS ontdekte, eigenschap der lichamen warmer te worden bij aanraking met lucht, welke vochtiger is dan die waarin zij zich bevonden en kouder in het tegenovergestelde geval (zie Hoofdst. I § 12).

Richtte ik de proef in, zooals Dr. HOORWEG dit gedaan had, door de lucht, uit de cylinders komende, door de tallooze openingen in den bovenwand van den bak (Hoofdst. I § 18) te laten opstijgen, zoo oefende deze lucht eveneens beide werkingen uit; de grootte der eerste werking was van dezelfde orde als de grootte der absorptie. Deze proeven werden van 9—14 December 1875 gedaan.

§ 3.

Om dus de grootte der absorptie te bepalen, moet de verandering, die de opstijgende luchtstroom op de hoeveelheid warmte, door de warmtebron op de thermozuil uitgestraald, veroorzaakte, verminderd worden met de verandering, welke die luchtstroom zelf, dus zonder warmtebron, ten gevolge heeft. Dit verschil is dan geabsorbeerde warmte.

Op de volgende wijze richtte ik nu mijne proeven in: Als warmtebronnen gebruikte ik steeds twee cubi van LESLIE, wier zijden 9 c.M. bedroegen, op ongeveer gelijken afstand van de thermozuil, ter weerszijde van deze, geplaatst; een, door eene micrometerschroef beweegbaar, dubbel scherm werd voor den dichtstbijzijnden cubus geplaatst om volkomen compensatie te verkrijgen.

Ten einde te verhinderen dat warmtestralen van den kooktoestel en van andere deelen dan het uitstralend oppervlak de zuil bereikten, werden groote schermen (A) loodrecht op de lengterichting der zuil, dicht bij de cubi geplaatst; deze schermen bestonden uit een houten geraamte, aan beide zijden met stevig bordpapier bedekt, terwijl de naar de thermozuil gekeerde zijde met dof zwart papier beplakt was. Twee dergelijke schermen (B) waren evenwijdig aan de lengterichting der zuil geplaatst. Ter hoogte van de cubi waren in de schermen A openingen gemaakt van juist dezelfde afmetingen als de zijwand der cubi.

Voor deze openingen en ze geheel bedekkende, hingen vierkante schermpjes, ieder aan een dun koord, dat over koperen krammetjes naar de plaats liep, waar mijn kijker zich bevond. Door aan een koord te trekken, werd het hieraan bevestigde schermpje opgehaald, zoodat in dat geval warmte van den cubus op de zuil kon vallen.

De ruimte, die gewoonlijk door de schermen omsloten werd, had eene lengte van 160 c.M., eene breedte van 135 c.M.; boven waren geene schermen, en de benedenvlakte werd over eene breedte van 110 c.M. door de tafel gevormd. In het midden der ruimte was de thermozuil [1]) geplaatst, wier lengterichting ongeveer van het oosten naar het westen liep; aan beide zijden der zuil stonden, op af-

---

[1]) Het midden der zuil was 29 c.M. boven de tafel.

standen van 24 c.M. van de uiteinden der kegelvormige reflectoren, twee cylinders; de cylinders aan de oostzijde waren met, door gedistelleerd water bevochtigde, kiezelsteentjes, die aan de westzijde met stukjes chloorcalcium gevuld. Eene blaastafel, zooals bij proeven over het geluid gebezigd wordt, achter een der schermen B geplaatst, diende om lucht door de cylinders te blazen.

Warmte, komende van de oostzijde, veroorzaakte toenemende aflezingen op de schaal, terwijl deze kleiner werden wanneer van de westzijde warmte op de zuil viel. Afwijkingen, in eerstgenoemden zin, zal ik, zoo noodig, door het teeken + van die in tegenovergestelde richting, welke met — voorzien zijn, onderscheiden.

§ 4.

Werd lucht door de cylinders geblazen, zoo bleef de tweede uitwerking, die ik de secundaire werking noemen zal, nooit uit, zelfs niet bij de vrij aanzienlijke afstanden tusschen de cylinders en de zuil; daar deze secundaire werking veroorzaakt wordt doordat de opstijgende luchtstroom zich langzamerhand verspreidt, en tegen de zuil zelve of tegen den binnenwand van den reflector aankomt, moest bij vermeerdering van den afstand tusschen de cylinders en de zuil, ook het tijdsverloop tusschen de eerste en secundaire werking grooter worden, daar de eerste werking een gevolg van uitstraling is. Dit was dan ook werkelijk het geval en het grooter worden van het tijdsverloop is tevens een bewijs, dat de eerste werking inderdaad aan uitstraling moet worden toegeschreven.

Dit tijdsverloop was echter nooit groot genoeg om den blijvenden uitslag van den stroom, door de eerste werking veroorzaakt, te meten. Bezwaren bracht dit volstrekt niet

mede, integendeel, de kleine veranderingen van het aardmagnetisme en de invloeden van het lokaal, waarin de proeven verricht werden, op de zuil, veranderden steeds, hoe weinig ook, den stand van den magneet; daarom was het voordeelig iedere aflezing binnen zoo kort mogelijken tijd te doen, zoodat ik zeker kon zijn dat bovengenoemde invloeden geene veranderingen in den stand van den magneet tengevolge konden hebben.

Had de uitslag, door de secundaire werking veroorzaakt, het maximum bereikt, zoo keerde de magneet langzamerhand tot den evenwichtsstand terug; zelden was deze echter dezelfde als voor het laten opstijgen der lucht; wel was het onderscheid niet groot, maar bedroeg dikwijls eenige millimeters; het was echter niet mogelijk de grootte der afwijking te bepalen uit den eersten uitslag en het midden der evenwichtsstanden vóór en nà, daar het dikwijls 5 à 10 minuten duurde voor de magneet in rust gekomen was, terwijl steeds in minder dan eene halve minuut de eerste uitslag verkregen werd.

Uit den eersten uitslag zou de blijvende bepaald kunnen worden; dit is echter niet noodig: noemt men den eersten uitslag x_m, den blijvenden p, dan is [1])

$$p = \frac{x_m}{1 + e^{-\lambda}}$$

waarin e de basis van het neperiaansche logarithmen-stelsel en λ het logarithmisch decrement is.

Nu hangt λ alleen van de grootte der richtkracht en der demping af, de laatste is voor iederen toestel met denzelfden uitwendigen weerstand dezelfde, en de eerste is het verschil in richtkracht, door de horizontale componente van het aardmagnetisme en door den grooten vasten mag-

---

[1]) Wiedemann II 1 S. 244.

neet veroorzaakt. In den loop van iedere reeks proeven zal men dit verschil dus als constant mogen beschouwen, daar de groote magneet steeds op dezelfde plaats bleef, en in die gevallen, waar de intensiteit en richting van de horizontale componente van het aardmagnetisme veel veranderden, de metingen onmogelijk waren door de slechte standvastigheid van den stand van den magneet.

Bepalen wij dus ook, in plaats van den blijvenden uitslag, dien de totale warmte d. i. de hoeveelheid warmte, door ieder der cubi van LESLIE veroorzaakt, den eersten uitslag, zoo zal de verhouding van deze eerste uitslagen dezelfde zijn als de blijvende gegeven zouden hebben.

Dit is echter alleen in zooverre juist als wij de thermostroomen, ook in het begin, als constante stroomen beschouwen mogen, daar voor dit geval bovenstaande formule geldt. De temperatuurs-verhooging, die de soldeerplaatsen, door de stralende warmte der cubi van LESLIE op den aanzienlijken afstand waarop ze geplaatst waren, verkrijgen, zal uiterst gering zijn, binnen zeer korten tijd verkregen worden, en bij plaatsing van een scherm tusschen warmtebron en zuil weder verloren zijn. Om echter proefondervindelijk te zien in hoeverre de bovengenoemde handelwijze gevolgd mocht worden, bepaalde ik de verhouding tusschen eerste en blijvende uitslagen bij thermostroomen van zeer verschillende intensiteiten, en zag dat deze verhouding steeds dezelfde was.

De eerste uitslagen van de totale warmte waren gewoonlijk, zooals later blijken zal, zeer groot, en het gevolg hiervan zou zijn dat zij soms buiten de schaal zouden komen, en dus niet te bepalen waren. Om dit bezwaar te voorkomen, werd bij deze metingen een weerstand ingevoegd zoodat dan de eerste uitslagen af te lezen waren.

Noemen wij nu w den weerstand der thermozuil met de

draden tot de kwikbakjes, waarin ook de draden tot den galvanometer loopende, en de weerstand gestoken werden; w_1 den weerstand van den ingevoegden weerstand, en w_2 dien van de omwindingen van den galvanometer en geleidingsdraden van dezen tot de kwikbakjes; verder de intensiteit van den stroom, wanneer de weerstand niet ingevoegd is i, en indien dit wel het geval is, in de geleiding met den weerstand w_1, I, in den ingevoegden weerstand i_1 en in de geleiding met den weerstand w_2, i_2 dan hebben we, volgens de wetten van OHM en KIRCHHOFF, de electromotorische kracht in de thermozuil E noemende:

$$i = \frac{E}{w + w_2}$$

$$I - i_1 - i_2 = 0$$

$$Iw + i_2 w_2 = E$$

$$i_1 w_1 - i_2 w_2 = 0$$

waardoor i uit i_2 berekend kan worden:

$$i = \frac{(w_1 + w_2)\, w + w_1 w_2}{(w + w_2)\, w_1}\, i_2 = A i_2$$

A is dus eene grootheid, alleen van de weerstanden, niet van de intensiteit van den stroom afhangende; om A dus te bepalen, kunnen we de hoeveelheid warmte op de zuil vallende zoo regelen, dat de eerste uitslag de grenzen der schaal niet overschrijdt, dan kunnen we den weerstand invoegen en weder den eersten uitslag bepalen. Door het invoegen van den weerstand verandert dat deel der demping, hetwelk veroorzaakt wordt door de omwindingen; deze verandering kon echter verwaarloosd worden ten opzichte van het constante deel der demping, door den koperen demper veroorzaakt, daar, zooals ik gezien heb, de verhouding der eerste uitslagen van denzelfden stroom met en zonder weerstand verkregen, dezelfde was als die der blijvende uitslagen; daar nu de blijvende uitslagen

evenredig zijn aan de intensiteit der thermostroomen, zal de verhouding der eerste uitslagen A opleveren.

Zoo vond ik den 1sten Maart:

eerste uitslag:

met weerstand		75
zonder	„	393
met	„	75
zonder	„	393
met	„	75

voor A 5.24 gevende.

Soms kreeg ik geringe verschillen, in welke gevallen het gemiddelde werd genomen.

Tien van zulke reeksen heb ik op vijf zeer uiteenloopende dagen verricht bij verschillende intensiteiten; de uitkomsten zijn hier samengesteld:

Eerste uitslag		A.
met weerstand.	zonder weerstand.	
75	393	5.24
65	321	5.31
66	344	5.21
76.7	407.5	5.31
57.2	299	5.23
47.3	252.5	5.34
65.3	343	5.24
74	382.5	5.17
15.5	81	5.23
135.3	702.3	5.19

Het gemiddelde is: 5.25 met eene gemiddelde fout [1]) van minder dan 0.02.

[1]) De gemiddelde fout van het midden van n waarnemingen is $\sqrt{\frac{s}{n(n-1)}}$; s de som van de vierkanten der afwijkingen van het midden voorstellende.

§ 5.

De proeven over de absorptie werden steeds des avonds gedaan nadat het lokaal, zoo noodig, verwarmd was geworden.

Met de in § 3 beschreven inrichting verrichtte ik 3 Maart de volgende proeven:

I. De kleine schermpjes voor de openingen, dus zonder warmtebron; door alle 4 cylinders lucht geblazen. Uitslagen:

— 7
— 10.5
— 6.5

II. Schermpjes opgehaald. Warmte van beide cubi gecompenseerd; lucht geblazen. Uitslagen:

— 13
— 11

III. Weerstand ingevoegd. Achtereenvolgens schermpje voor ieder der warmtebronnen. Midden der uitslagen:

108

weerstand verwijderd.

IV. Lucht geblazen. Uitslagen:

— 13
— 13

V. Schermpjes voor de openingen. Lucht geblazen. Uitslagen:

— 10
— 10
— 9.5
— 8.5
— 7.5
— 6

VI. Schermpjes opgehaald. Warmte van beide cubi gecompenseerd. Lucht geblazen. Uitslagen:

— 11

— 14.5

VII. Evenals III. Midden der uitslagen:

112

weerstand verwijderd.

VIII. Lucht geblazen. Uitslagen:

— 11.5

— 11.5

IX. Schermpjes voor de openingen. Lucht geblazen. Uitslagen:

— 7

— 8

De temperatuur was 20° C.

De proeven van dezen avond samenstellende:

Uitslag	
zonder warmtebron.	met warmtebron.
7	13
10	11
6.5	13
10	13
10	11
9.5	14.5
8.5	11.5
7.5	11.5
6	
7	
8	
8.2	12.3

de totale warmte is 110×5.25 dus 580.

Het verschil van 12.3 en 8.2 moet aan de absorptie van de warmtestralen worden toegeschreven door eene 19 c.M.

lange kolom waterdamp, die bij 20° C. in de lucht kan bestaan. Voor deze absorptie verkrijgen we dus 0.71 procent. De gemiddelde fout van 8.2 is 0.45, die van 12.3 0.50; de som der vierkanten van deze fouten gedeeld door 5.8 geeft 0.11, en dit is dus de gemiddelde fout van de grootte der absorptie in procenten uitgedrukt.

Op deze zelfde wijze heb ik nog op vijf avonden proeven genomen; alleen nu en dan eene waarneming meer gedaan.

Bij de 3 laatste proeven heb ik de cylinders met chloorcalcium aan de oostzijde der zuil, die met bevochtigde kiezelsteentjes aan de westzijde geplaatst; van hier dat de uitslagen het tegenovergestelde teeken verkregen.

Onderstaande tabel geeft de uitkomsten dezer proeven.

Lengte 19 c. M.

Datum en temperatuur.	Zonder warmtebron.			Met warmtebron.			Totale warmte.	Absorptie.		
	n	Uitslag.	Gem. fout.	*n*	Uitslag.	Gem. fout.		totaal	in procenten.	Gem. fout.
3 Maart 20° C.	11	— 8 2	0.45	8	—12.3	0.50	580	4.1	0.71	0.11
8 Maart 18° C.	10	— 4.75	0.32	10	— 7.8	0.55	640	3.05	0.48	0.11
9 Maart 19° C.	12	—10.2	0.64	11	—14.5	0.63	620	4.3	0.69	0.15
18 Maart 16°,5 C.	10	+ 4.2	0.44	10	+ 8.75	0.54	680	4.55	0.67	0.10
20 Maart 18°,5 C.	12	+ 9.9	0.39	12	+13.3	0.58	660	3.4	0.52	0.10
21 Maart 18° C.	12	+ 7.9	0.60	12	+12.6	0.68	640	4.7	0.73	0.15

De verschillende gewichten in rekening brengende, ver-

krijgen wij voor de absorptie door den waterdamp, die in eene 19 c.M. lange kolom lucht bij 18° C. bestaan kan, uitgeoefend, 0.61% met eene gemiddelde fout van 0.05.

§ 6.

Men ziet dat, indien men alleen de uitslagen „ met warmtebron" had waargenomen, de absorptie door deze kolom van 19 c.M. grooter zou zijn dan die, welke Dr. HOORWEG aan eene van 25 c.M. had toegeschreven. Het komt mij voor dat dit aan het volgende te wijten is:

Bij de eerste proeven nam Dr. HOORWEG 2 cylinders, aan iedere zijde der zuil één, de lengte der opstijgende kolom lucht aan iedere zijde was 9,5 c. M.; bij de verlenging tot 25 c. M. bleven deze cylinders respectievelijk met chloorcalcium en bevochtigde steentjes gevuld, werden echter van boven door eene kurk gesloten, waardoor eene glazen buis ging; door middel van eene caoutchouc-slang werd deze glazen buis verbonden met de zijbuis van den bak van 25 c. M. De lucht uit den blaasbalg ging dus door de cylinders en steeg uit den bak naar boven. Hoe weet men nu zeker dat de dichtheid van den waterdamp dezelfde was?; blijft hier de hoeveelheid droge resp. vochtige lucht niet dezelfde, als toen alleen de cylinders gebruikt werden?

Algemeen stelde ik mij daarom de vraag: hoe verandert de absorptie, wanneer de hoeveelheid waterdamp, in eene ruimte van a c.M. lengte voorhanden, verspreid wordt in eene, overigens gelijke, ruimte van na c.M. lengte.

Stel de verhouding van de hoeveelheid warmte, die eene laag waterdamp van 1 c.M. doorloopen heeft tot die, welke op die laag viel in het eerste geval x, in het tweede y, dan is de hoeveelheid warmte na het verlaten van den waterdamp in het eerste geval Mx^a, in het tweede My^{na}, wanneer M de hoeveelheid warmte voorstelt, die op de eerste laag

valt. In eene laag van 1 c.M. lengte bevinden zich in het eerste geval n maal meer deeltjes waterdamp dan in het tweede; nemen wij nu aan dat de absorptie in het eerste geval ook n maal grooter is dan in het tweede dan is:

$1 - x = n(1 - y)$; $1 - x = \triangle$ stellende verkrijgen we voor de verhouding van de in beide gevallen doorgelaten hoeveelheden warmte:

$$\frac{My^{na}}{Mx^{a}} = \frac{\left(1 - \frac{\triangle}{n}\right)^{na}}{(1 - \triangle)^{a}} = 1 + \frac{a}{2}\,\frac{n-1}{n}\,\triangle^{2} + \text{enz.}$$

Daar wij, door bovengenoemde evenredigheid aan te nemen, de absorptie zoo klein ondersteld hebben dat de hoogere machten niet in rekening komen, verdwijnen dus alle termen met $\triangle$.

Dit gaat dus door voor die lichamen, waarbij op eene lengte van 1 c.M. de absorptie evenredig aan de drukking mag gesteld worden. Nu heeft TYNDALL gevonden dat bij eene grootere lengte deze evenredigheid bij koolzuur tot eene drukking van 80 m.M. doorgaat; daar waterdamp minder dan koolzuur absorbeert en de drukking van waterdamp bij 20° C. 17.4 m.M., bij 30° C. 31.6 m.M. bedraagt, zoo mogen we voor dit lichaam tot 30° C. toe veilig bovengenoemde evenredigheid aannemen, en de in beide gevallen geabsorbeerde warmte moet dus dezelfde zijn.

Om dit aan de proeven te toetsen, plaatste ik aan iedere zijde der zuil een bak, evenals die welke Dr. HOORWEG bezigde, 50 c.M. lang, ieder voorzien van 2 zijbuizen; de cylinders, op dezelfde wijze als bij de vorige proeven gevuld, werden met kurken gesloten, waardoor eene glazen buis ging. Ieder der zijbuizen van de bakken werd door eene caoutchouc-slang verbonden met deze glazen buizen zoodat de lucht na, door de cylinders gestreken te hebben, aan de eene zijde der zuil eene kolom vochtige, aan de andere

zijde eene kolom droge lucht vormde ter lengte van 50 c.M. Het is duidelijk dat, daar nu dezelfde hoeveelheid lucht als bij de vorige proeven door dezelfde cylinders gaat, de opgenomen hoeveelheid waterdamp aan de eene en de afgestane aan de andere zijde even groot moeten zijn. De absorptie moet dus volgens bovenstaande beschouwing even groot zijn als bij de proeven in § 5 vermeld.

De afstand van de cubi tot de thermozuil moest echter aanmerkelijk vergroot worden, de totale hoeveelheid warmte werd dus kleiner en de invloed der waarnemingsfouten op het resultaat grooter.

De bakken kwamen op 23 c.M. te staan van de uiteinden der reflectoren en van de schermen A; achter deze stonden weder de warmtebronnen.

De bak aan de oostzijde der zuil stond in verbinding met de cylinders met chloorcalcium, en de andere bak met de cylinders met bevochtigde kiezelsteentjes gevuld.

Overigens werden de proeven op juist dezelfde wijze genomen als de vorige; het resultaat is in de volgende tabel samengesteld.

Datum en temperatuur.	zonder warmtebron.			met warmtebron.			Totale warmte.	Absorptie.		
	n	Uitslag.	Gem. fout.	*n*	Uitslag.	Gem. fout.		totaal.	in procenten.	Gem. fout.
27 Maart 17°,5 C.	10	+ 3.9	0.53	10	+ 5.65	0.56	390 [1])	1.75	0.45	0.19
28 April 17° C.	10	+ 2.75	0.56	10	+ 4.55	0.33	400 [1])	1.8	0.45	0.19

[1]) Een deel dezer totale warmte wordt door den bovenwand van de bakken gereflecteerd; hierdoor wordt het gebruik van zulke bakken minder verkieslijk.

Zoo men ziet valt het verschil van de waarde der absorptie bij deze proeven gevonden en bij de vorige binnen de fouten van waarneming. Ik geloof door deze twee waarnemingen de zaak voldoende proefondervindelijk aangetoond te hebben, ik heb dan ook deze proeven niet meer herhaald, te meer daar de avonden waarop de magneetnaald voldoende in rust was, zeer weinige waren en ik deze daarom liever voor verdere proeven besteden wilde.

§ 7.

Passen wij nu ons resultaat op de proeven van Dr. HOORWEG toe: Bij de eerste proef bespeurde Dr. HOORWEG geenen invloed op de hoeveelheid warmte van den, uit de cylinders opstijgenden luchtstroom en dit zelfde zouden we verwachten bij de proef met de bakken van 25 c.M. Dat echter „beim Vollführen dieses Versuches bei grosser Vorsicht eine geringe Ablenkung beobachtet werden konnte" is mogelijk te verklaren uit een sterkeren luchtstroom, waardoor de hoeveelheid vochtige en droge lucht iets vermeerderd kon zijn [1]). Nemen we aan dat de lucht, uit een cylinder, met bevochtigde kiezelsteentjes, opstijgende met waterdamp verzadigd, en uit een, met chloorcalcium gevuld, geheel gedroogd is, dan was alleen bij Dr. HOORWEG's eerste proef de opstijgende lucht aan de eene zijde zoo vochtig, aan de andere zijde zoo droog mogelijk; bij het vermeerderen der kolom tot 25 c.M. was aan deze voorwaarde niet meer voldaan; bij de lengten van 50 en 100 c.M. was de hoeveelheid waterdamp respectievelijk 2 en 4 maal grooter dan bij 25 c.M., zoodat de kolom lucht bij die proeven evenmin zoo droog en vochtig mogelijk was.

[1]) Ook is het mogelijk dat de bakken dichter bij de zuil geplaatst werden, waardoor de eerste werking van den luchtstroom zelven bemerkbaar werd.

Deze zelfde omstandigheid is ook de oorzaak, dat MAGNUS bij zijne proef, in het laatst van § 16 Hoofdstuk I vermeld, eene absorbeerende werking aan waterdamp ontkende. Met buizen van juist dezelfde afmetingen, als MAGNUS gebruikt had, heb ik de proef herhaald; in plaats van geel koper waren mijne buizen van blik, in plaats dat alle vier door ééne dwarsbuis verbonden waren, verbond ik ze, twee aan twee, door eene Y-vormige buis en ieder dezer buizen stond door middel van caoutchouc-slangen met een cylinder, met chloorcalcium gevuld, in verbinding. Werd nu lucht door de cylinders geblazen zoo kreeg ik een uitslag van 2 à 3 m.M. terwijl die der totale warmte 400 bedroeg. De lucht van het lokaal was zeer vochtig, zoodat bij het op laten stijgen van vochtige lucht uit de fijne openingen geene afwijking ontstond. Voorzeker is het niet te verwonderen dat MAGNUS, die zeker niet over zulk een gevoeligen thermomultiplicator te beschikken had, geene werking bespeuren kon; maar de droge lucht uit al die fijne openingen, op vrij grooten afstand van elkander verwijderd, opstijgende, was zeker op lang na niet bij machte al de lucht door zoo droog mogelijke te vervangen.

§ 8.

Het komt mij voor dat, wil men proeven over het absorbeerend vermogen van dampen in open lucht doen, men de meeste kans heeft dat de lucht zoo verzadigd mogelijk met den damp wordt, bij het gebruik maken van de cylinders zooals TYNDALL en Dr. HOORWEG, bij zijne eerste proef, gedaan hebben en zooals ook mijne proeven genomen zijn. Om nu eene grootere lengte dan 19 c.M. te verkrijgen, plaatste ik aan iedere zijde der thermozuil drie cylinders achter elkander; de lengte was nu 29 c.M. De drie cylinders aan de eene zijde waren weder met chloorcalcium,

die aan de andere zijde met, door gedistelleerd water bevochtigde, kiezelsteentjes gevuld. De afstand van den eersten cylinder tot het uiteinde van den kegelvormigen reflector der thermozuil was 19.5 c.M.

Overigens werden de proeven eveneens verricht als die in § 5 en dezelfde opmerking, wat het teeken van den uitslag betreft, daar gemaakt, geldt ook hier.

De resultaten zijn in de volgende tabel samengesteld:

Lengte 29 c.M.

Datum en temperatuur.	Zonder warmtebron.			Met warmtebron.			Totale warmte.	Absorptie.		
	n	Uitslag.	Gem. font.	*n*	Uitslag.	Gem. fout.		totaal.	in procenten.	Gem. fout.
4 Mei 16° C.	9	— 6.3	0.44	9	—11.45	0.70	635	5.15	0.81	0.14
8 Mei 16°,5 C.	10	— 6.25	0.57	10	—11.95	0.54	655	5.7	0.87	0.12
9 Mei 17° C.	10	— 6.35	0.67	10	—12.65	0.74	625	6.3	1.01	0.16
11 Mei 17°,5 C.	13	+ 7.8	0.80	12	+12.85	0.85	630	5.05	0.80	0.19
16 Mei 17°,5 C.	10	+ 6.25	0.63	11	+11.6	0.43	625	5.35	0.86	0.12
1 Juni 17°,5 C.	12	+ 6.8	0.75	12	+12.0	0.76	645	5.2	0.80	0.16

De verschillende gewichten in rekening brengende, verkrijgen we voor de absorptie, uitgeoefend door den waterdamp, die in eene 29 c.M. lange kolom lucht bij 17° C. bestaan kan, 0.86% met eene gemiddelde fout van 0.06%. Berekenen wij hieruit, hoeveel de waterdamp in eene 19 c.M. lange kolom zou absorbeeren dan verkrijgen we 0.57%

g. f. 0.04, terwijl we uit de proeven, in § 5 vermeld, 0.61% g. f. 0.05 gevonden hebben.

Deze overeenkomst, grooter dan ik had durven verwachten, is een bewijs dat de 0.61% en 0.86% werkelijk aan absorptie moeten toegeschreven worden, en niet aan een verlies van eene hoeveelheid stralende warmte door terugkaatsing tegen den opstijgenden stroom vochtige of droge lucht [1]).

Ik durf niet beweren dat de lucht boven de cylinders aan de eene zijde volkomen droog, aan de andere zijde met waterdamp verzadigd is, daar de opstijgende luchtstroom zich vermengen zal met de boven de cylinders zich bevindende lucht; door den aanhoudenden stroom zal echter deze lucht vrij spoedig door de uit de cylinders komende vervangen zijn; de lengte der kolom heb ik gerekend gelijk te zijn aan de som der diameters der cylinders; de door de warmtestralen werkelijk doorloopene is waarschijnlijk iets langer, zoodat deze meerdere lengte de fout door het niet volkomen droog resp. niet volkomen verzadigd zijn, veroorzaakt, kan compenseeren.

Om deze redenen geloof ik dat de 0.61% en 0.86% als de waarden der absorptie door den waterdamp, die in eene 19 resp. 29 c.M. lange kolom lucht bij 17 à 18° C. bestaan kan, uitgeoefend op de stralende warmte van eene tot 100° C. verwarmden cubus van LESLIE niet ver van de waarheid verwijderd zijn.

Hieruit vindt men voor de absorptie van eene 1 meter lange kolom 3,1% Gem. f. 0.17, terwijl 10% geabsorbeerd zullen worden door eene ongeveer 3,3 M. lange kolom verzadigde waterdamp bij de temperatuur 17 à 18° C.

---

[1]) Vergelijk Hoofdst. I. § 15.

§ 9.

Eene zaak moeten we nog bespreken: wat is de oorzaak van de eerste werking der vochtige en droge lucht?

Dat deze aan uitstraling toe te schrijven is, heb ik in het begin van § 4 aangetoond; er blijft dus nog over na te gaan wat het uitstralende lichaam is.

De cylinders kunnen de reden niet zijn van de eerste werking, daar zij, bij de proeven in § 6 beschreven, ook te bemerken was; deze zelfde proef maakt het onwaarschijnlijk dat mechanisch meêgevoerde deeltjes water of chloorcalcium de oorzaak van het verschijnsel zouden zijn, daar de lucht uit de cylinders een vrij langen weg door de caoutchouc-slangen had af te leggen: bovendien is het verschijnsel te standvastig, wat grootte aangaat, dan dat het aan zulke meer toevallige omstandigheden toe te schrijven is, en ook heeft de luchtstroom door den grooten weêrstand in de cylinders op lang na niet zulk eene groote snelheid dat dit medevoeren waarschijnlijk wordt.

Bij bovengenoemde proeven zou nog het vermoeden kunnen vallen op den bovenwand van den bak, die, door den luchtstroom verwarmd of afgekoeld, de oorzaak der eerste werking zou kunnen zijn; daar het vrij lastig was dit na te gaan, deed ik bij de inrichting der proeven in § 3 beschreven nog het volgende. Wat bij deze inrichting in aanmerking kwam, was:

1°. de buitenwand der cylinders, die het dichtst bij de zuil stonden;

2°. het bovenste deel van den binnenwand der cylinders;

3°. kiezelsteentjes of stukjes chloorcalcium, die iets te hoog lagen;

4°. de luchtstroom.

Of ik nu al schermen voor de cylinders plaatste, het bovenste deel van den binnenwand met zwart papier bekleedde, zooveel kiezelsteentjes en stukjes chloorcalcium wegnam dat van uitstraling van deze lichamen tegen de zuil geen sprake kon zijn, steeds bleef de uitslag door de eerste werking veroorzaakt dezelfde, en de luchtstroom kan dus de eenig mogelijke oorzaak zijn [1]).

Bij de vochtige lucht kan natuurlijk de waterdamp zelf het uitstralend lichaam zijn, maar bij de droge lucht is de lucht van het lokaal het eenige lichaam, dat in aanmerking kan komen. Of de, in deze lucht zich bevindende, stofdeeltjes of andere onzuiverheden, of het koolzuur, of de zuurstof en stikstof zelve de oorzaak zijn, laat ik voorloopig nog in het midden.

§ 10.

In het laatst van § 17 Hoofdstuk I werden de laatste proeven van TYNDALL beschreven, waarbij deze eene zeer wijde buis gebruikte en door middel eener lens de warmtestralen zoo door deze liet gaan, dat de wanden der buis niet verwarmd werden.

Toen geene klipzoutplaten gebruikt werden, vond TYNDALL voor de absorptie door de met waterdamp verzadigde lucht 5%; bij deze proeven moest natuurlijk voortdurend vochtige of droge lucht geblazen worden, en het is de vraag of soms een deel dezer 5% in plaats van aan absorptie, aan de afkoelende en verwarmende werking van den luchtstroom zelven toe te schrijven is; in hoeverre deze invloed opgeheven wordt door de verwarming en afkoeling ten

---

[1]) Deze zelfde proeven nam ik bij de proef met alcohol (zie later); ook hier bleven de uitslagen numeriek dezelfde.

gevolge van de condensatie of verdamping van water bij het inblazen van vochtige of droge lucht, kan alleen door de proef uitgemaakt worden.

Of TYNDALL de grootte van den uitslag bepaald heeft, door het inblazen van vochtige en droge lucht zonder warmtebron veroorzaakt, wordt niet vermeld, zoodat ook deze proeven niet als afdoende beschouwd kunnen worden.

Eene vraag, die zeer na voor de hand lag, was natuurlijk of ook de overige vloeistoffen, bij den overgang in den dampvormigen toestand, zooveel warmte verbruikten, dat de lucht of de damp, daardoor afgekoeld, eene merkbare uitwerking op de thermozuil uitoefenden.

Een cylinder met kiezelsteentjes, door gewonen alcohol uit den handel bevochtigd, gevuld plaatste ik op een afstand van 20 c.M. van de opening der zuil; liet ik nu lucht door den cylinder blazen, zoo ontstond eene afwijking van 39 m.M. (midden uit 10 waarnemingen), afkoeling van den luchtstroom aanwijzende; liet ik de warmte der beide cubi van LESLIE op de zuil vallen, dan veroorzaakte de luchtstroom uit den cylinder eene afwijking van 108 m.M. (midden uit 10 waarnemingen); de totale warmte bedroeg 625 m.M.

In het antwoord van Dr. HOORWEG, naar aanleiding van de opmerking van LIPPMANN, in de noot in de inleiding vermeld, zegt Dr. HOORWEG dat de afkoeling bij verdampen van vloeistof hem niet ontgaan was, daar bij eene proef waarbij de kiezelsteentjes met zwavelkoolstof gedrenkt waren, het doorblazen van lucht, water, dat zich nog aan de kiezelsteentjes bevond, in ijs veranderde. Dat echter de lucht en de damp zoo afgekoeld worden, dat eene aanmer-

kelijke afwijking hiervan het gevolg is, is, zoover mij bekend, niet opgemerkt, en de proeven over absorptie door dampen, waar deze afkoelende werking invloed heeft kunnen hebben en niet in rekening gebracht is, moeten dus herhaald worden.

Met zuiveren alcohol heb ik nog de volgende proeven genomen:

De alcohol had eene sterkte van 98 à 99% en daar hij slechts een zwakken reuk had, was ik vrij wel zeker dat er geene onzuiverheden bij waren.

Daar zoowel de werking van de opstijgende kolom damp als de absorptie zeer groot waren, behoefde de magneet niet zoo uiterst gevoelig te zijn, als dit bij de proeven met waterdamp noodzakelijk was; een groot voordeel hiervan was, dat op verscheidene avonden, die anders ongebruikt voorbijgegaan zouden zijn door de onstandvastigheid van den magneet, nu proeven genomen konden worden.

Vóór het minder gevoelig stellen veroorzaakte de warmte, door een cubus van LESLIE uitgestraald, den 6den Juni, een uitslag van 670 m.M.; door den grooten magneet, die voor de astasie diende, 8 m.M. lager te schuiven, werd de uitslag tot 390 gebracht. In dezen toestand heb ik de proeven over de absorptie door alcoholdamp verricht.

De afstanden der schermen, cubi en zuil onderling was even als § 3 van Hoofdst. II beschreven is.

Vooreerst werd één cylinder, met goed door alcohol bevochtigde kiezelsteentjes zoo ver gevuld, dat geene uitstraling van deze tegen de zuil mogelijk was; de cylinder werd aan de oostzijde der zuil geplaatst, zoodat de afstand tot de opening van den reflector 23 c.M. bedroeg; een scherm van dik bordpapier, even hoog als de cylinder, werd voor dezen geplaatst.

Telkens als 4 maal lucht door den cylinder geblazen

was, werden de kiezelsteentjes opnieuw met alcohol bevochtigd; het bleek dat dit volkomen voldoende opwoog tegen de verdamping.

De volgorde der proeven was gewoonlijk als volgt:

2 zonder warmtebron
2 met „
op nieuw bevochtigen
2 met warmtebron
2 zonder „

Daarna werd de totale warmte bepaald en eene nieuwe serie begonnen even als hierboven, behalve dat zonder en met warmtebron elkander vervangen.

Om grootere lengte te verkrijgen werden 2 cylinders naast elkander geplaatst; de afstand van de opening van den reflector tot den eersten cylinder bedroeg 18 c.M.

De verkregen resultaten zijn hier samengesteld. Het bovenste getal in de accolades is de gemiddelde fout, het andere het aantal waarnemingen.

1 cylinder.	Uitslag zonder warmtebron.	Uitslag met warmtebron.	Totaal
7 Juni 17° C.	28.8 { 0.8 / 16	78.4 { 2.1 / 15	380
9 Juni 16°.5 C.	23.2 { 1.2 / 16	68.2 { 2.1 / 16	390
12 Juni 17° C.	25.2 { 1.0 / 12	71.8 { 1.4 / 12	380
2 cylinders.			
8 Juni 17°.5 C.	45.7 { 2.3 / 16	109.8 { 3.0 / 16	370
10 Juni 16° C.	47.1 { 1.1 / 12	112.3 { 1.2 / 12	390

Zoodat:

1 cylinder.		2 cylinders.	
$\frac{49.6}{380} = 12.8\%$ g. f.	0.65	$\frac{64.1}{370} = 17.3\%$ g. f.	1.0
$\frac{45}{390} = 11.6\%$	0.62	$\frac{65.2}{390} = 16.7\%$	0.44
$\frac{46.6}{380} = 12.3\%$	0.45		
12.2% g. f.	0.34	17.0% g. f.	0.55

Berekent men, 12.2 en 17%, geheel als absorptie beschouwende, uit de absorptie door de langere kolom uitgeoefend, die voor de 2 maal kortere, zoo verkrijgen we: 8.9 g. f. 0.3, terwijl we 12.2% gevonden hebben; dit verschil overtreft de fouten der waarneming te veel.

Uit de uitslagen „zonder warmtebron" ziet men, dat de dichtheid in de beide gevallen vrij wel dezelfde geweest is, zoodat hieraan het verschil niet te wijten is. Diffuus door den damp uitgestraalde warmte kan geen rekenschap geven van het verschil, daar deze warmte bij de proeven met 2 cylinders 2 maal grooter geweest zou zijn dan bij die met 1 cylinder.

Tengevolge van reflexie der warmte wanneer de stralen uit lucht in damp of uit damp in lucht treden kan een verlies plaats vinden, en dit zou afwijkingen in denzelfden zin te voorschijn roepen als bovenvermeld verschil, zoodat ik deze reflexie als eenig mogelijke oorzaak beschouwen moet. Was bij de proeven met 2 cylinders de opstijgende damp voor alle warmtestralen geheel doorloopend, dan zou de invloed van de reflexie dezelfde zijn, als bij de proeven met 1 cylinder. In deze onderstelling vinden wij dat 7% gereflecteerd, 5.5% en 10.6% resp. door de kortere en langere kolom geabsorbeerd worden. Nu stonden

echter de beide cylinders tegen elkander, zoodat waarschijnlijk alleen de stralen door het midden der opstijgende kolom gaande, 2 maal, de andere 4 maal door reflexie verzwakt worden. Wil men zeker zijn, dat alle stralen in het eene geval een 2 maal langeren weg door den damp afleggen dan in het andere, en dat tevens in beide gevallen slechts 2 terugkaatsingen plaats grijpen, dan moet men in plaats van cylinders, parallelopipeda, overigens even als de cylinders ingericht, gebruiken. Dan zal men met meer zekerheid de grootte der absorptie kunnen bepalen.

Zoo mogelijk zal ik mijne proeven in die richting voortzetten.

STELLINGEN.

STELLINGEN.

I.

De absorptie van stralende warmte door waterdamp is een feit.

II.

De bepalingen van het absorbeerend vermogen der andere dampen verdienen geen vertrouwen.

III.

Hoogst waarschijnlijk oefent bij deze bepalingen, de terugkaatsing der stralende warmte bij den overgang van de lucht in den damp en omgekeerd, merkbaren invloed uit.

IV.

De te groote waarde, die MAGNUS voor de absorptie van warmte door gassen gevonden heeft, wordt terecht door TYNDALL toegeschreven aan het contact van gas en thermozuil.

V.

The figure so generally employed in works on actinochemistry, to indicate the distribution of heat, light and actinism in the spectrum, serves only to mislead. Its heat-curve is determined by the action of the prism, not by the properties of calorific radiations; its actinic curve does not represent any special pecularities of the spectrum, but the habitudes of certain compounds of silver.

DRAPER.

VI.

MAXWELL vergeet wanneer hij zegt (Theory of heat pag. 134): „Hence when no heat is allowed to escape, an increase of pressure causes some of the water to become steam, and a diminution of pressure causes some of the steam to be condensed into water", dat dit alleen plaats grijpt, wanneer van de geheele massa minstens een bepaald, van de temperatuur afhangend, gedeelte den dampvorm heeft.

VII.

De spiegelhefboom van CORNU is, bij meting der dikte van dunne plaatjes, te verkiezen boven den sferometer.

VIII.

Bij elken electroscoop of electrometer behooren de op elkander werkende geleiders zich zoo veel mogelijk te bevinden in een metalen omhulsel.

IX.

De poolshoogte eener plaats is eene veranderlijke grootheid.

X.

Ten onrechte beweert SECCHI dat de diameter der zon merkbaar verandert, ten gevolge der werkzaamheid op haar oppervlak.

XI.

Où la correction du langage est inconnue, il ne faut pas introduire la géométrie.

POINSOT.

XII.

Het bestaan van verbindingen met een drieatomigen koolstof-ring is zeer onwaarschijnlijk.

XIII.

De celkern heeft in het plantenrijk dezelfde beteekenis als in het dierenrijk.

XIV.

De opvatting van LEUCKART, als zou de gastrovasculaire ruimte der Coelenteraten het analogon zijn van de lichaamsholte der hoogere dieren, is onjuist.

XV.

Unser Naturerkennen ist .... eingeschlossen zwischen den beiden Grenzen, welche einerseits die Unfähigkeit, Materie und Kraft, andererseits das Unvermögen, geistige Vorgänge aus materiellen Bedingungen zu begreifen, ihm ewig vorschreiben. Innerhalb dieser Grenzen ist der Naturforscher Herr und Meister, zergliedert er und baut er auf, und Niemand weiss, wo die Schranke seines Wissens und seiner Macht liegt; über diese Grenzen hinaus kann er nicht, und wird er niemals können.

E. DU BOIS-REYMOND.
