**VI. Beiträge zur Kenntniss der Absorption der
Wärmestrahlen durch die verschiedenen Bestand-
theile der Atmosphäre;
von Knut Ångström.**

(Aus Bihang till K. Svenska Vet.-Acad. Handlingar. Bd. 15. Afd. I. Nr. 9
mitgetheilt vom Hrn. Verf.)¹⁾

1. Einleitung.

Obschon unsere Kenntnisse von der Sonnenstrahlung durch die letzten hochwichtigen Untersuchungen von Langley grosse Fortschritte gemacht haben, so gibt es doch in diesem Gebiete noch Fragen, deren Beantwortung von der grössten Wichtigkeit ist. Wir kennen jetzt — in ihren Hauptzügen wenigstens — die spectrale Vertheilung der Sonnenenergie. Die Zeichnungen von Langley zeigen uns, wie die Intensität der Strahlung im Normalspectrum von Violett nach Roth wächst, ihr Maximum bei $\lambda = 0,6 \mu^2$) erreicht und darnach ziemlich rasch abnimmt. In dem auf $\lambda = 3 \mu$ folgenden Spectralbezirk, in welchem bei Anwendung unserer gewöhnlichen Wärmequellen noch beträchtliche Mengen strahlender Wärme nachweisbar sind, zeigt sich kaum eine Spur von Sonnenstrahlung. Was ist die Ursache dieser eigenthümlichen Beschaffenheit des Energiespectrums der Sonne? Wie gross ist die Strahlung ausserhalb der Atmosphäre? Wie viel davon wird schon in den oberen Schichten absorbt? Welchen Gasen können wir die Absorption zuschreiben? Einige dieser Fragen dürften durch Beobachtung der Sonnenstrahlung allein wohl nicht vollständig beantwortet werden können. Ihre Lösung würde vielmehr eine Experimentaluntersuchung über die von den Bestandtheilen der Atmosphäre ausgeübte Absorption erfordern. Hierzu einen kleinen Beitrag zu liefern, ist der Zweck vorliegender Arbeit.

1) Eine vorläufige Notiz in französischer Sprache über diese Untersuchung s. in: Öfversigt af K. Vet. Akad. Förhandlingar Nr. 4. p. 203. 1889; den vollständigen Bericht: Bihang till K. svenska Vet.-Akad.

2) Die Wellenlängen sind in 0,001 mm angegeben.

Bei Untersuchungen über die Absorption der Wärmestrahlen durch Gase und Dämpfe hat man sich dreier wesentlich verschiedener Methoden bedient. Tyndall schloss die zu untersuchenden Gase und Dämpfe in eine lange, an beiden Enden mit Steinsalzplatten verschlossene Röhre ein und stellte die Wärmequelle vor das eine, den Messapparat, d. i. die Thermosäule, vor das andere Ende der Röhre. Dieselbe Methode wurde später unter anderen von Wild angewandt. Magnus bediente sich eines relativ kurzen Absorptionsgefässes und brachte sowohl die Wärmequelle wie auch die Thermosäule innerhalb des Gefässes an. Diese Methode ist in der letzten Zeit von Lecher und Pernter wieder aufgenommen worden. Schliesslich hat Röntgen und gleichzeitig auch Tyndall Versuche gemacht, die Ausdehnung der Gase bei der Wärmeabsorption zur Bestimmung der Grösse dieser Absorption zu benutzen. Hierbei untersuchte man entweder die durch intermittirende Bestrahlung eines Gases hervorgerufenen Töne, oder bestimmte durch geeignete Mittel die Druckänderung des eingeschlossenen, der Bestrahlung ausgesetzten Gases. In beiden Fällen bediente man sich eines mit Steinsalzplatten geschlossenen Absorptionsgefässes.

Gegen alle diese Methoden können ohne Zweifel berechnete Einwürfe gemacht werden. Man darf wohl annehmen, dass bei den Versuchen von Tyndall die Resultate durch die sogenannte „Vaporhäsion“ an den Wänden der Röhre beträchtlich beeinflusst worden sind. Tyndall benutzte nämlich innen polirte Messingröhren ohne Diaphragmen. Bei Versuchen mit Dämpfen condensirt sich ein Theil an den Wänden, deren Reflexionsvermögen dadurch geändert wird. Diese Vaporhäsion könnte auch an den inneren Flächen der Steinsalzplatten stattfinden und so das Absorptionsvermögen derselben vermehren.

Durch die zweite Methode suchte man den Einfluss der Vaporhäsion zu vermeiden. Ob dies jedoch vollständig gelungen ist, dürfte zweifelhaft sein, da man doch wohl nicht ohne weiteres annehmen darf, dass das Absorptions- und

Handlingar 15. 1. Nr. 9. 1889. Die hier ausgeführte spectrobolometrische Untersuchung über die Absorption der Kohlensäure ist jedoch später ausgeführt.

Strahlungsvermögen der Flächen der Thermosäule und der Wärmequelle von dem umgebenden Mittel unabhängig ist.

Die dritte Methode scheint ebensowenig von den oben erwähnten Einwürfen frei zu sein. Wenn sie auch in den geschickten Händen des Hrn. Röntgen und durch die sorgfältige Discussion, welcher er seine Beobachtungen unterzogen hat, zuverlässige Resultate über das Vorhandensein einer Absorption in manchen Fällen geliefert hat, so dürfte sie doch zu quantitativen Bestimmungen dieser Absorption wenig geeignet sein.

Von diesen Methoden habe ich mich im Princip für die erste entschieden, weil ich glaubte, dass die Fehlerquellen bei dieser Methode am leichtesten eliminirt werden können, was bei früheren Versuchen nicht vollständig gelungen ist.

2. Instrumente und Methoden.

Eine vollständige Kenntniss der Absorption eines Körpers besitzt man erst dann, wenn man dieselbe für jede Wellenlänge kennt. Die durch den Körper gegangenen Strahlen müssen also durch Prismen oder Gitter zerlegt werden, um darnach durch das Spectrobolometer oder ein ähnliches Instrument analysirt zu werden.

Bei dieser Methode, die schon im allgemeinen sehr mühsam ist, hat man mit ausserordentlichen Schwierigkeiten zu kämpfen, wenn es sich um die Absorption durch Gase handelt. Hier ist nämlich die Absorption in manchen Fällen so schwach, dass man lange Röhren anwenden muss, um dieselbe überhaupt wahrnehmen zu können. Dabei wird aber auch die Gesamtstrahlung schwach und nach prismatischer Zerlegung derselben ist vielleicht der Messapparat zu wenig empfindlich, um eine Absorption sicher angeben zu können.

Ich habe daher mit einer gröberen Methode angefangen, und das Spectrobolometer erst dann benutzt, wenn die dadurch gewonnenen Resultate mich zu der Hoffnung berechtigten, dass ich auch mit einer kürzeren Röhre die Absorption würde bestimmen können.

a) Die Doppelröhre. — Zwei möglichst ähnliche Glasröhren AA_1 und BB_1 (Fig. 1) von 152 cm Länge und 4,1 cm innerem Durchmesser wurden durch zwei Holzstücke R und

R_1 in paralleler Lage fest miteinander verbunden. Diese Holzstücke und mit ihnen auch die Röhren sind um die an dem Holzbrett PP_1 gut befestigten Zapfen T und T_1 drehbar. Wie aus Fig. 2 ersichtlich, nimmt, wenn man das Röhrensystem von der einen nach der anderen Seite umlegt, die Röhre B genau dieselbe Lage ein, wie früher A .

Fig. 1.

In jede Röhre können sechs Rohrstücke F (Fig. 1) von ca. 17 cm Länge eingeschoben werden. Diese sind von Messing und an dem einen Ende mit einem Diaphragma von 20 mm Oeffnung versehen. Die Ränder der Diaphragmaöffnungen sind schräg abgeschnitten, um jene reflectirende Fläche parallel der Rohraxen zu vermeiden. Die Diaphragmen ebenso wie die Innenwände der Diaphragmenröhren sind sorgfältig mit Kienruss geschwärzt. Durch die Diaphragmenröhren wird jede seitliche Reflexion vollständig vermieden. Die Enden der grossen Experimentirröhren sind mit luftdichten Fassungen E und E_1 versehen, in deren jede ein engeres, mit einem Hahn versehenes Glasrohr NN_1 eingekittet ist, um die Experimentirröhren mit den verschiedenen Gasentwickelungsapparaten und der Luftpumpe verbinden zu können. Diese Verbindung wird durch Fig. 2 und 3 veranschaulicht; die Röhren N und O sind mit einander verbunden, die Verbindung mit der Pumpe P (in der Figur ist nur das Trockengefäss angegeben) wird durch einen auswendig paraffinirten, inwendig mit Metalldrahtspirale versehenen Schlauch S bewirkt. Vor dem Ende des Experimentirrohres,

welches sich in der oberen Lage befindet, steht das Bolometer D , vor dem anderen die Wärmequelle L , eine mit Thoncylinder versehene Argand'sche Lampe. Die dem Absorptionsrohre zugewendete Seite des Thoncylinders hat eine mit einem äusserst dünnen Glimmerblättchen bedeckte Oeffnung von 10 mm Radius. Zwischen dem Thoncylinder und dem Experimentirrohr steht ein vierfacher Schirm $S_1 S_2 S_3 S_4$ von Zinkblech mit Oeffnungen von 20 mm Durchmesser in der Axenrichtung des Experimentirrohres. In den zwei ersten Abtheilungen des Schirmes befinden sich zwei kleine, durch eine Schnur K gleichzeitig bewegliche Doppelschirme $G_1 G_2$.

Fig. 2.

Fig. 3.

Das Bolometer ist dasselbe, welches ich bereits bei einer früheren Untersuchung benutzt habe.¹⁾ Die wärmeabsorbierende Fläche ist kreisförmig und hat einen Durchmesser von 16 mm. Das benutzte Galvanometer ist ein „tragbares Spiegeldifferentialgalvanometer von Kohlrausch (von Hartmann und Braun). Dasselbe hat sich als sehr zweckmässig erwiesen, nur habe ich den dem Instrument gewöhnlich mitgegebenen Magnetstahlspiegel durch die in der Fig. 4 veranschaulichte Anordnung ersetzt. Der Magnet ABC , der die Form eines Jamin'schen Lamellarmagnets hat, umgibt den Spiegel S , D ist ein an dem Magnet

Fig. 4.

Fig. 5.

befestigtes Aluminiumstückchen, an welchem der einfache Coconfaden befestigt ist. Durch diese Construction bewirkt man, dass der Schwerpunkt eine niedrigere Lage bekommt, wodurch der Einfluss der Erschütterungen des Beobachtungs-

1) K. Ångström, Bihang till K. Vet.-Akad. Handl. 13. 1. 1887.

locales auf die Beobachtungen verringert wird. Das Trägheitsmoment ist klein, das magnetische Moment aber verhältnissmässig gross.

Der Abstand zwischen dem Schirm S_4 und dem Versuchsrohre ist ca. 2 cm, sodass hier verschiedene Platten eingeschoben werden können.

Die Vortheile, welche ich durch diese Anordnungen hauptsächlich erzielt habe, sind folgende:

a) Durch die Diaphragmenröhre ist jeder Einfluss der Vaporhäsion an den Röhrenwänden vollständig vermieden.

b) Der Einfluss der Variationen in der Intensität der Wärmequelle kann vollständig eliminirt werden dadurch, dass man die Strahlung abwechselnd durch die beiden Experimentirröhren beobachtet. Die eine derselben (die Vergleichsröhre) wird immer luftleer erhalten, die andere (die Versuchsrohre) ist zur Aufnahme des Gases oder Dampfes bestimmt.

c) Die Variationen in der Empfindlichkeit des Galvanometers und des Bolometers werden gleichfalls eliminirt, weil man immer nur das Verhältniss von zwei gleich nacheinander beobachteten Ausschlägen des Galvanometers zu vergleichen hat.

d) Wegen der Schnelligkeit, mit der das Bolometer den Aenderungen der Wärmestrahlung folgt, hat man keinen schädlichen Einfluss der Erwärmung und der Strahlung von den Versuchsplatten und den Diaphragmen zu befürchten.

b) Die Wärmequelle. — Als Wärmequelle habe ich nur die vorher erwähnte, mit Thoncylinder versehene Argand'sche Lampe angewendet und durch vorgeschobene Platten die Strahlung modificirt. Diese Methode, Strahlung von verschiedener Art herzustellen, ist schon seit den Arbeiten von Melloni bekannt; man ist jedoch, wie mir scheint, in der Wahl der Platten nicht glücklich gewesen und hat überhaupt versäumt, die Eigenschaften der Platten näher zu untersuchen.

In einer früheren Arbeit¹⁾ habe ich die Absorption einiger trüben Medien einer genauen Untersuchung unterworfen. Es zeigte sich dabei, dass diese Absorption eine

1) K. Ångström, Öfversigt af K. Vet.-Akad. Förhandl. Nr. 6. p. 385. 1888 u. Wied. Ann. 36. p. 715. 1889.

continuirliche war, d. h. dass das Absorptionsvermögen dieser Medien mit zunehmender Wellenlänge continuirlich abnimmt. Dies benutzte ich auch hier, indem ich mit Magnesiumoxyd bedeckte Steinsalzplatten vor der Wärmequelle einschaltete. Diese Platten sind mit kleinen Eisenhäkchen so an dem Schirm S_4 befestigt, dass man sie leicht längs des oberen Randes des Schirmes vor der Oeffnung verschieben kann. Ausserdem habe ich auch ein kleines Glasgefäss mit Wasser in derselben Weise befestigt.

Als Vorarbeit wurde jetzt die Energievertheilung der Strahlung der Lampe und die absorbierende Beschaffenheit der Versuchsplatten spectrobolometrisch untersucht. Die Resultate dieser Untersuchung sind in Fig. 6 als prismatische Intensitätsspectra graphisch dargestellt. Als Abscissen

Fig. 6.

sind die Ablenkungen für das angewendete Steinsalzprisma (von $60^\circ 2'$), von der D -Linie ab nach Roth fortschreitend, genommen, als Ordinaten die Intensität der Strahlung. Die Curve LL bezieht sich auf die ganze Strahlung der Lampe. Die Intensität nimmt bei einer Abl. = $0,5^\circ$ stark zu, erreicht ungefähr bei $1,5^\circ$ ein Maximum, nimmt dann wieder bis zu $2,5^\circ$ ziemlich schnell ab, um hierauf langsam abzunehmen.¹⁾ Die Curve M_2 gibt die Energievertheilung, nachdem die Strahlung der Lampe durch eine Schicht von Magnesiumoxyd von ca. 0,1 mm Dicke gegangen ist. Hier ist die Energie vor Abl. = $1,0^\circ$ vollständig zu vernachlässigen. Das Maxi-

1) Ein zweites, sehr unbedeutendes Maximum bei $2^\circ 6'$ ist hier vernachlässigt, was jedoch keinen Einfluss auf die folgenden Betrachtungen hat. Die Strahlung der Wärmequelle rührt hauptsächlich von den glühenden Wänden des Thoncyllinders her.

imum trifft erst bei $1,7^\circ$ ein, nach der Ablenkung von $2,5^\circ$ ist aber die Intensität wenig kleiner als die der Strahlung der Wärmequelle allein (ohne die Magnesiumoxydschicht). Die Curve M_1 bezieht sich auf eine Schicht von Magnesiumoxyd von ca. 0,2 mm Dicke. Hier ist das Maximum noch weiter verschoben und trifft erst bei $2,0^\circ$ ein. Die Curve W endlich gibt die Wärmevertheilung der Strahlung, nachdem sie durch das Wassergefäß gegangen ist. Hier liegt das Maximum bei Abl. = 1° , worauf die Intensität schnell abnimmt, sodass sie schon vor 2° vernachlässigt werden kann. In dem Folgenden werden diese vier verschiedenen Strahlungsarten wie in der Figur L_1 , M_2 , M_1 und W bezeichnet.

In der Zeichnung sind unter den Ablenkungen die entsprechenden Wellenlängen nach Langley angegeben.

Im Folgenden werden wir Gelegenheit haben, die Anwendung der soeben beschriebenen absorbirenden Medien näher zu besprechen.

Obschon die Variationen der Intensität der Strahlung durch die Versuchsanordnung eliminirt werden können, ist es doch vortheilhaft, dieselben möglichst zu vermeiden. Dies wurde bei den Beobachtungen, in welchen ich die grösste mögliche Genauigkeit zu erlangen wünschte, durch einen kleinen Gasdruckregulator erreicht. Die Regulirung wurde mittelst eines kleinen mit Visirvorrichtung versehenen Wassermanometers von einem Gehülften, welcher zugleich das Beobachtungsprotokoll führte, mit der Hand ausgeführt. Hierdurch wurden die Variationen der durch die Oeffnung gelangten Strahlung auf 0,5—1 Proc. reducirt.

a) Das Spectrobolometer. — Das bei einigen Versuchen in dieser Abhandlung erwähnte Spectrobolometer ist der Hauptsache nach dasselbe, welches ich in einer früheren Arbeit¹⁾ näher beschrieben habe.

Fig. 5, p. 271, gibt eine schematische Zeichnung desselben. B ist das Bolometer, A das Steinsalzprisma, C das Collimatorrohr, L die Lampe, S der Doppelschirm mit dem beweglichen Wasserschirm G und O die Oeffnung für Einschiebung von Platten u. s. w. vor der Spaltöffnung.

¹⁾ K. Ångström, Öfversigt af K. Vet. Akad. Förhandlingar Nr. 6 p. 385. 1888; Wied. Ann. 36. p. 715. 1889.

Um das Instrument für Untersuchungen von Gasen und Dämpfen geeignet zu machen, wurde das Collimatorrohr durch eine Steinsalzplatte *P* luftdicht verschlossen und behufs Einführung von Gasen und Dämpfen, sowie behufs Evacuierung derselben mit zwei mit Glashähnen versehenen Ansatzröhren *M* und *N* versehen. In späteren Versuchen, bei welchen ich ein neues und wesentlich verbessertes Spectrobolometer benutzt habe ¹⁾, wurde noch ein besonderes Absorptionsrohr zwischen der Spaltöffnung und der Wärmequelle angebracht, so, dass man dasselbe leicht durch eine Drehung fortnehmen oder einschieben konnte. Auch hier wurde dann die Untersuchung auf Wechselbestimmungen basirt.

3. Versuche mit Kohlensäure.

Die Absorption durch Kohlensäure ist in der letzten Zeit von den Herren Lecher und Pernter²⁾, später von Lecher allein³⁾ und von Heine⁴⁾, Röntgen⁵⁾ und Keeler⁶⁾ untersucht worden. Alle Bestimmungen zeigen, dass die Wärmestrahlung sehr stark von der Kohlensäure absorbiert wird.

Die Kohlensäure wurde für meine Versuche aus Marmor und reiner Salzsäure in einem Norblad'schen Gasentwicklungsapparat hergestellt. Durch concentrirte Schwefelsäure und Phosphorsäureanhydrid wurde sie vollständig getrocknet und direct in das sorgfältig evacuirte Versuchsrohr geleitet.

Wie oben beschrieben, wurden drei Beobachtungsreihen für verschiedene Drucke der Kohlensäure ausgeführt. Die Resultate stimmen sehr gut miteinander überein. Die folgenden drei Tabellen geben eine Uebersicht der letzten dieser Beobachtungsreihen. In der ersten Columnne findet man den Druck des Gases in Millimetern, unter *A* die Ablenkungen der Galvanometernadel bei Strahlung durch das

1) K. Ångström, Siehe Öfversigt af K. Vet. Akad. Förhandlingar Nr. 9. p. 549. 1889.

2) Lecher u. Pernter, Wien. Sitzungsber. 82. p. 265. 1880; Wied. Ann. 12. p. 180. 1881.

3) Lecher, Wied. Ann. 12. p. 466. 1881.

4) Heine, Wied. Ann. 16. p. 444. 1882.

5) Röntgen, Wied. Ann. 23. p. 259. 1884.

6) Keeler, Am. Journ. 28. p. 190. 1884.

leere Vergleichsrohr (A), unter B die Ablenkungen bei Anwendung des Versuchsrohres (B) und unter B/A das Verhältniss der Ablenkungen für die beiden Röhren. Jede der in diesen Columnen aufgeführten Zahlen ist das Mittel aus sechs Beobachtungen. In der fünften Columnne findet man die Mittel von B/A , in der sechsten die durchgelassene Wärme und in der siebenten die absorbierte Wärmemenge, die beiden letzten in Procenten angegeben.

Tabelle 1.

Kohlensäure. Wärmequelle L .

Druck in mm	A	B	B/A	Med.	Durchg.	Abs.
0	338,2 339,5 357,0 354,7	331,0 333,2 349,0 347,0	0,979 0,981 0,978 0,978	0,979	—	—
26	371,8 372,0	350,5 350,5	0,943 0,942	0,943	96,3	3,7
50,7	285,0 299,5	267,3 281,3	0,938 0,939	0,939	95,9	4,1
99,6	264,7 266,1	242,9 245,1	0,918 0,921	0,920	54,0	6,0
404,8	260,6 289,3	234,8 258,5	0,901 0,894	0,898	91,7	8,3
771,5	289,2 290,6	254,1 256,3	0,879 0,882	0,882	90,1	9,9

Tabelle 2.

Kohlensäure. Wärmequelle M_2 .

Druck in mm	A	B	B/A	Med.	Durchg.	Abs.
0	—	—	—	0,979	—	—
26	110,0 107,0	99,3 97,7	0,903 0,913	0,908	92,8	7,2
50,7	85,9 84,7 80,7	76,3 75,3 71,8	0,888 0,889 0,890	0,889	90,8	9,2
99,6	76,8 75,5	66,5 65,8	0,865 0,872	0,869	88,8	11,2
404,8	76,5 83,3	63,3 68,2	0,827 0,819	0,823	84,1	15,9
771,5	83,3 84,6	67,2 68,0	0,807 0,804	0,806	82,3	17,7

Tabelle 3.

Kohlensäure. Wärmequelle M_1 .

Druck in mm	A	B	A/B	Med.	Durchg.	Abs.
0	—	—	—	0,979	—	—
26	49,1	44,2	0,900	0,912	93,2	6,8
	47,5	43,9	0,924			
	52,0	47,5	0,913			
50,7	37,9	33,9	0,894	0,899	91,8	8,2
	37,6	33,8	0,899			
	37,7	33,9	0,899			
	36,8	33,2	0,902			
99,6	36,0	32,2	0,894	0,887	90,6	9,4
	33,9	30,2	0,890			
	34,4	30,2	0,878			
404,8	34,2	28,9	0,845	0,838	85,6	14,4
	36,7	30,5	0,831			
771,5	37,4	30,1	0,805	0,814	83,7	16,3
	37,9	31,2	0,823			

Die Versuche zeigten keine Absorption der durch das kleine Wassergefäß durchgelassenen Strahlung.

Die in den obigen Tabellen 1—3 mitgetheilten Beobachtungen der Absorption bei verschiedenen Drucken sind in Fig. 7 graphisch dargestellt. Als Ordinaten gelten die absorbirten Wärmemengen in Procenten, als Abscissen die Drucke des Gases. L bezieht sich auf die directen Lampenstrahlen, M_2 und M_1 dagegen auf die durch die Magnesiumoxydschicht gegangenen Strahlen.

Fig. 7.

Aus den Tabellen und den entsprechenden Curven ergibt sich, dass die Absorption mit zunehmendem Drucke zuerst sehr schnell, dann aber nur langsam wächst. So ab-

sorbirt z. B. die Kohlensäure bei 50 mm Druck schon ca. 9,2 Proc. der Strahlung von M_2 ; wenn der Druck verdoppelt wird, nimmt die Absorption nur um ca. 2 Proc. zu und bei einem Drucke von 760 mm vermehrt eine Druckerhöhung von 50 mm die Absorption nur um ca. 0,2 Proc.

Es geht hieraus deutlich hervor, dass die Kohlensäure nur einen beschränkten Theil des ultra-rothen Spectrums absorbirt. Sobald dieser Theil absorbirt ist, wird die Kohlensäure für die übrigen Strahlen sehr durchlässig.

Zweitens ergibt sich aus den Beobachtungen, dass die Absorptionen der verschiedenen Wärmestrahlen in einem bestimmten Verhältniss zu einander stehen, und dass dies Verhältniss unabhängig von dem Drucke des Gases ist. Wir finden z. B., dass die Ordinaten der beiden Curven L und M_2 sich immer ungefähr wie 1:2 verhalten. Dies ist indessen nur unter gewissen Bedingungen möglich. Bedeutet nämlich I den Theil der Lampenstrahlung und M den entsprechenden Theil der Strahlung durch Magnesiumoxyd, welcher der Absorption ausgesetzt ist, so werden, unter Annahme der Gültigkeit des Absorptionsgesetzes für jede einfache Wellenlänge, die durch ein Medium von der Länge l von diesen beiden Strahlungen absorbirten Wärmemengen:

$$a = I - \sum i e^{-kl}, \text{ und } \alpha = M - \sum m e^{-kl},$$

wobei wir mit k den Absorptionscoefficienten, mit i und m die Intensität jeder einfachen Wellenlänge bezeichnen. Es ist also auch:

$$I = \sum i \text{ und } M = \sum m.$$

Das Verhältniss a/α ist im allgemeinen von l abhängig und ändert sich also mit zunehmendem Drucke des absorbirenden Gases.¹⁾ Wenn aber für jede Wellenlänge, welche in die Summe eingeht, k denselben Werth hat, so wird:

$$\frac{a}{\alpha} = \frac{I(1 - e^{-kl})}{M(1 - e^{-kl})} = \frac{I}{M}.$$

1) Wir setzen hier und im Folgenden voraus, dass das Gas ein constantes Absorptionsvermögen hat, sodass wir in den Absorptionsformeln Schichtendicke l (bei constantem Druck) gegen Druck (bei constanter Schichtendicke) vertauschen können. Nach den Untersuchungen von Tyndall dürfte dies wohl, wenigstens bei den hier vorkommenden Druckänderungen, berechtigt sein.

In diesem Falle ist also das einfache Absorptionsgesetz für die ganze Absorption gültig. Eine Untersuchung der vorliegenden Curven lehrt uns aber, dass dies hier nicht der Fall ist.

Weiter kann in der Summe $m = Ci$ sein, d. h., jedes m derselbe Bruchtheil des entsprechenden i . Weil aber jedes m durch Absorption eines entsprechenden i entstanden ist und weil diese vom Magnesiumoxyd herrührende Absorption mit abnehmenden Wellenlängen continuirlich zunimmt, so ist klar, dass dies nur annäherungsweise das Verhältniss sein kann, wenn die Absorption nur eine Spectralregion von unbedeutender Ausdehnung umfasst. In diesem Falle ist auch:

$M = CI$, daher: $1/C = I/M$, und folglich:

$$\frac{a}{\alpha} = \frac{I - \sum Ci e^{-kl}}{CI - \sum Ci e^{-kl}} = \frac{1}{C} = \frac{I}{M}.$$

Weil in den übrigen Fällen a/α von l abhängig ist, muss dieser letzte Fall also auf die Absorption durch Kohlensäure seine Anwendung finden und *es folgt hieraus, dass die Absorption durch Kohlensäure aus einem oder mehreren nahe an einander liegenden Absorptionsbänden besteht.*

Die Lage dieser Absorptionsbänder können wir durch die letzte Gleichung folgendermassen annäherungsweise bestimmen. a und α bedeuten die für einen bestimmten Druck wirklich absorbirten Wärmemengen. Die Tabellen geben uns die Absorption in Procenten der ganzen Strahlung. Kennen wir aber die Gesamtstrahlung in den verschiedenen Fällen, so lassen sich aus den Procentzahlen auch die wirklich absorbirten Wärmemengen leicht berechnen. Folgende kleine Tabelle enthält eine Zusammenstellung der Gesamtstrahlung, der Absorption bei 771 mm Druck und der berechneten absorbirten Wärmemengen.

Tabelle 4.

Kohlensäure. Gesamtstrahlung und Absorption.

	L	M_2	M_1
Gesamtstrahlung	300	82	36
Abs. in Procenten 771 mm Druck .	9,9	17,7	16,3
Wirkl. abs. Wärme	29,7	14,5	5,9

Wir gehen jetzt zu den Curven für die verschiedenen Strahlungsarten (Fig. 6) über und suchen die Abscisse, für welche die Ordinaten der Curven L , M_2 und M_1 sich wie 29,7:14,5:5,9 verhalten. Diese Abscisse ist $1,9^\circ$ (Wellenlänge $\lambda = 3,5 \mu$). *Hieraus folgt also, dass die Kohlensäure ein starkes Absorptionsgebiet ungefähr von der Wellenlänge $\lambda = 3,5 \mu$ hat.*

Ich habe die bei der Absorption der Kohlensäure gewonnenen Resultate etwas eingehender discutirt, weil hier, wie mir scheint, eine Methode angewendet ist, welche in manchen Fällen gute und wichtige Resultate liefern kann, besonders da, wo die Absorption zu gering ist, um mit unseren gegenwärtigen Hilfsmitteln spectrometrisch untersucht werden zu können. Wie man sieht, gründet sich diese Methode auf die Anwendung von Medien mit continuirlicher Absorption. Gewöhnlicher Lampen- oder Stearinkerzenruss ist vielleicht für diesen Zweck eben so gut geeignet, wie Magnesiumoxyd.

Die starke Absorption, welche die Kohlensäure schon in geringen Quantitäten ausübt, brachte mich zu der Ueberzeugung, dass man bei Anwendung eines kürzeren Rohres mit dem Spectrobolometer die Lage des Absorptionsbandes würde näher bestimmen können. Weil eine Bestätigung der früher gezogenen Schlussfolgerungen für mich von besonderem Interesse war, unternahm ich diese Untersuchung.

Folgende Tabelle enthält die dabei gewonnenen Resultate. Die Ablenkungen beziehen sich auf die D -Linie. Der Druck des Gases ist 739 mm, die Länge der absorbirenden Schicht 120 mm.

Tabelle 5.

Kohlensäure. Untersuchung mit dem Spectrobolometer.

Ablenkung	Wellenlänge	Absorption in Proc.	Ablenkung	Wellenlänge	Absorption in Proc.
$1^\circ 33,0'$	1,78	0	$1^\circ 57,8'$	3,59	6,9
1 36,1	1,94	0	2 0,9	3,86	20,5
1 39,2	2,14	0	2 4,0	4,08	40,2
1 42,3	2,35	5,9	2 7,1	4,48	44,5
1 45,4	2,58	10,6	2 10,2	4,78	28,5
1 48,5	2,82	6,2	2 13,3	5,12	10,0
1 51,6	3,07	0,2	2 16,4	5,44	4,3
1 54,7	3,32	0,8	2 19,5	5,74	0

Wie man sieht, bestätigen die Versuche vollständig meine Annahme. Die punktirte Curve *C* (Fig. 6 p. 273) gibt eine graphische Darstellung der Resultate. Die Absorption besteht aus zwei nahe aneinander liegenden starken Bänden mit ihren Maxima bei $\lambda = 2,60$ (Ablenkung $= 1^\circ 46'$) und $\lambda = 4,36$ (Ablenkung $= 2^\circ 6'$).

4. Versuche mit Wasserdampf und Wasser.

Ob Wasserdampf die dunklen Wärmestrahlen in beträchtlicher Menge absorbiert oder nicht, ist, wie bekannt, bis auf unsere Zeit eine physikalische Streitfrage geblieben. Während Tyndall dem Wasserdampf eine sehr bedeutende Absorption zuschrieb, wurde dies von Magnus vollständig verneint, indem er die Resultate Tyndall's erklärte als Folge der Vaporhäsion an den Wänden der Versuchsröhre und an den Steinsalzplatten, welche zum Verschlusse der Röhre dienten.

Dass die Streitfrage trotz wiederholter Versuche von den beiden ausgezeichneten Experimentatoren nicht erledigt worden ist, spricht für die Schwierigkeiten, welche mit dieser Untersuchung verbunden sind. Seitdem wurde die Frage wieder von verschiedenen Forschern aufgenommen, führte indessen zu verschiedenen Resultaten. Indem ich die älteren Arbeiten übergehe, erinnere ich nur an die letzten Untersuchungen von Tyndall,¹⁾ in welchem er fortwährend seine Ansicht aufrecht hält, ferner an die nach der Methode von Magnus ausgeführten Bestimmungen von Lecher und Pernter,²⁾ welche wieder den Satz, dass eine starke Absorption durch Wasserdampf stattfindet, verneinen, und an die Untersuchungen von Röntgen³⁾, welche das Vorhandensein einer Absorption zugeben. Von diesen Untersuchungen wurden diejenigen von Tyndall und Röntgen gleichzeitig, und zwar nach der in der Einleitung beschriebenen dritten Methode ausgeführt.

1) Tyndall, Phil. Trans. of the Roy. Soc. 1. p. 280. 1882 u. Repertorium der Physik von Exner 19. p. 33. 1883.

2) Lecher u. Pernter, Wien. Sitzungsber. 82. p. 265. 1880 und Wied. Ann. 12. p. 180. 1881.

3) Röntgen, Wied. Ann. 23. p. 1 u. 259. 1884.

Bei meinen Versuchen mit den Doppelröhren wurde der kleine Wasserbehälter Fig. 3 (p. 271) an dem einen Hahnenrohr *A* luftdicht befestigt. Ein wenig Wasser, zu welchem einige Tropfen Schwefelsäure gesetzt worden waren, wurde in das Gefäß eingeführt, darnach wurde die Luft sorgfältig ausgepumpt und das Rohr *A* bei *B* schnell zugeblasen. Die beiden Versuchsröhren wurden evacuirt, der Manometerstand abgelesen und einige Beobachtungsreihen mit den leeren Röhren ausgeführt. Der Hahn zu dem kleinen Wasserbehälter wurde hierauf geöffnet, wodurch der Wasserdampf in das Versuchrohr einströmte. Wegen der Schwefelsäure findet dieses Einströmen ein wenig langsamer statt, als wenn das Wasser rein ist, und man ist immer sicher, die Maximalspannung des Wassers nicht zu erreichen. Sobald die gewünschte Dampfspannung eingetreten ist, wird der Hahn geschlossen, und die Spannung an dem Manometer wieder abgelesen. Um sodann, nachdem wieder das Verhältniss zwischen den Strahlungen durch die beiden Röhren bestimmt ist, das Versuchrohr von Wasserdampf zu befreien, braucht man nur den Hahn zur Luftpumpe zu öffnen; das Phosphorsäureanhydrid absorbirt sehr schnell das Wasser.

Ich habe in dieser Weise etwa 500 Bestimmungen des Verhältnisses der Strahlungen durch abwechselnde Beobachtung der beiden Röhren ausgeführt. Die folgende Tabelle, mit denselben Bezeichnungen wie in den Tabellen 1—3, enthält einen Auszug der Beobachtungsergebnisse. Jeder von den unter *A* und *B* angeführten Werthen ist das Mittel aus sechs Bestimmungen.

Tabelle 6.

Wasserdampf. Wärmequelle *L*.

Druck in mm	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A/B</i>	Med.	Durchg.	Abs.
0	313,8	315,5	0,993	0,994	—	—
	314,3	316,0	0,995			
	317,9	320,3	0,993			
5	304,5	310,0	0,982	0,982	98,8	1,2
	307,3	312,9	0,982			

Druck in mm	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A/B</i>	Med.	Durchg.	Abs.
0	{ 309,4	310,8	0,996	0,995	—	—
	{ 308,1	309,8	0,995			
5	{ 301,3	306,0	0,985	0,985	98,9	1,1
	{ 303,6	308,2	0,985			
	{ 305,3	309,9	0,985			
10	{ 304,3	310,1	0,981	0,980	98,4	1,6
	{ 303,0	309,3	0,980			
	{ 303,4	310,1	0,978			
0	{ 398,8	399,8	0,998	0,997	—	—
	{ 404,6	406,7	0,995			
	{ 393,6	394,4	0,998			
10	{ 402,8	409,9	0,983	0,981	98,4	1,6
	{ 402,6	411,1	0,979			
	{ 401,6	409,4	0,981			

Tabelle 7.

Wasserdampf. Wärmequelle M_2 .

Druck in mm	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A/B</i>	Med.	Durchg.	Abs.
0	{ 100,0	101,2	0,988	0,984	—	—
	{ 98,5	100,2	0,983			
	{ 105,0	107,0	0,981			
	{ 104,4	106,1	0,984			
10	{ 99,2	103,0	0,963	0,962	97,8	2,2
	{ 99,8	103,8	0,961			
0	{ 80,0	81,6	0,980	0,979	—	—
	{ 80,0	81,9	0,977			
5	{ 79,5	82,4	0,965	0,966	98,7	1,3
	{ 79,6	82,3	0,967			
10	{ 78,7	82,4	0,955	0,956	97,7	2,3
	{ 78,7	82,2	0,957			

Tabelle 8.

Wasserdampf. Wärmequelle M_1 .

Druck in mm	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A/B</i>	Med.	Durchg.	Abs.
0	{ 50,1	51,4	0,975	0,975	—	—
	{ 49,6	50,9	0,974			
10	{ 47,4	50,3	0,942	0,944	96,8	3,2
	{ 47,6	50,3	0,946			

Die durch das Wassergefäß gegangene Strahlung wurde nicht merklich absorbiert.

In nachfolgender Tabelle stelle ich für 10 mm Dampfdruck die procentische Absorption, die Intensität der einfallenden Strahlung und die wirkliche Absorption in den drei untersuchten Fällen zusammen.

Tabelle 9.

Wasserdampf. Strahlung und Absorption.

	L	M_2	M_1
Gesamtstrahlung	300	82	36
Abs. Theil von der Gesamtstrahlung	4,8	1,85	1,15
Abs. in Proc.	1,6	2,25	3,2

Um den Einfluss der Steinsalzplatten beurtheilen zu können, wurden sie von dem Versuchsrohre fortgenommen und an den beiden Seiten einer plangeschliffenen, ca. 2 mm dicken Metallplatte luftdicht befestigt. Dieselbe hatte in der Mitte eine kreisförmige Oeffnung, zu welcher ein enges Rohr führte, durch welches der Raum zwischen den Steinsalzplatten entleert und mit Wasserdampf gefüllt werden konnte. Die Resultate der in dieser Weise angestellten Versuche zeigten, dass die Einführung von Wasserdampf ohne Einfluss war. Die Vaporhäsion an den Steinsalzplatten hat also — in Uebereinstimmung mit den Untersuchungen von Tyndall — bei diesen Bestimmungen keinen merklichen Einfluss.

Aus der obigen Tabelle ergibt sich allerdings, dass die Absorption nicht unwesentlich kleiner ist, als die von Tyndall nach der ähnlichen Methode, aber ohne Diaphragmen, gefundene. Ebenso unzweideutig scheint mir aber andererseits durch diese Untersuchung nachgewiesen zu sein, dass eine Absorption stattfindet.

Dass diese Absorption den Herren Lecher und Pernter entgangen ist, erklärt sich ohne Zweifel durch den geringen Werth derselben. Die absorbirende Gassäule bei ihren Versuchen hatte nämlich nur eine Länge von 30 cm (= $\frac{1}{8}$ der von mir angewendeten) und der Dampfdruck war nur 7,4 mm. Nach meinen Untersuchungen würde unter diesen Umständen nur ca. 0,3 Proc. von der Strahlung ab-

sorbirt werden, was wohl innerhalb der Beobachtungsfehler der Herren Lecher und Pernter¹⁾ liegt. Als Beweis gegen die Resultate Tyndall's führen die Herren Lecher und Pernter die Messungen der Sonnenstrahlung von Violle am Gipfel des Montblanc und am Fusse desselben, am Glacier des Bossons an. Nach diesen Messungen und mit Hülfe des einfachen Absorptionsgesetzes lässt sich berechnen, dass erst eine Luftschicht von 50 m eine fünfprocentige Absorption ausüben würde. Diese Schlussfolgerung ist aber unzweifelhaft nicht richtig, denn sicherlich ist die Absorption des Wasserdampfes eine auswählende, und folglich die Sonnenstrahlung am Gipfel des Montblanc weniger reich an Strahlen, welche von Wasserdampf absorbirt werden können, als die Strahlung von der Wärmequelle Tyndall's.

Ebensowenig, und zwar aus demselben Grunde, kann man aus den Versuchen Tyndall's schliessen, dass der Wasserdampf in der atmosphärischen Absorption eine grosse Rolle spiele. Wenn nämlich Wasserdampf nur einige Absorptionsbanden von geringer Ausbreitung, aber von grosser Stärke hätte, so würde man nicht berechtigt sein, die erwähnten Schlussfolgerungen zu ziehen. Es genügt also nicht, eine beträchtliche Absorption durch eine Gasschicht von 1 oder 2 m nachgewiesen zu haben, es ist vielmehr nothwendig, die Absorption bei verschiedenen Drucken der Gase näher zu verfolgen, um dadurch beurtheilen zu können, ob dieselbe von grosser Ausbreitung ist. Für diesen Zweck sind aber die Druckgrenzen, innerhalb welcher man Versuche mit Wasserdampf anstellen kann, zu eng, und unsere Versuche also nicht hinreichend.

Wenn wir aber die Zusammenstellung in der Tab. 9 näher untersuchen und die Werthe der wirklichen Absorption für die verschiedenen Strahlungen mit den Curven Fig. 6 vergleichen, so ergibt sich, dass es unmöglich ist, eine Abscisse zu finden, für welche sich die Intensitäten der verschiedenen Strahlungen wie 4,8:1,85:1,15 verhalten. Daraus lässt sich wohl schliessen, dass die Absorption nicht ein ganz

1) Siehe die Schlussresultate nach der Tab. 2, Wien. Ber. 82. p. 22. 1880.

beschränktes Gebiet des Spectrums einnimmt, sondern von grösserer Ausbreitung ist — deren genauere Bestimmung besondere Untersuchungen erfordern dürfte. So viel ergibt sich jedoch schon aus unseren Resultaten, dass die Absorption durch den Wasserdampf sich weiter gegen das sichtbare Spectrum hin ausbreitet als die Absorption durch Kohlensäure, und also wahrscheinlich schon bei $\lambda = 2\mu$ seine Wirkung ausübt (vergleiche die Tab. 4 und 9).

Für eine grosse Absorption durch Wasserdampf spricht das Verhalten des Wassers in dieser Hinsicht. Desains hat gezeigt¹⁾, dass Schwefel- und Ameisenäther im flüssigen und dampfförmigen Zustande gleiche Absorption ausüben. Tyndall hat durch zahlreiche Versuche nachgewiesen, dass in Betreff der Grösse der Absorption die Reihenfolge für Dämpfe und die entsprechenden Flüssigkeiten dieselbe ist. Er hat auch gezeigt²⁾, dass die Absorption durch Schwefeläther und Amylwasserstoff, mögen dieselben im dampfförmigen oder flüssigen Zustande sich befinden, dieselbe ist, und glaubt, durch diese Versuche ein allgemeines Gesetz der Molecularphysik — „Conservation of molecular action“ und „Thermal continuity of liquids and vapours“ — gefunden zu haben.

Die grosse Wichtigkeit der Frage in praktischer wie in theoretischer Hinsicht hat mich angeregt, directe Versuche mit Wasser anzustellen, um zu sehen, ob wir berechtigt sind, die in nur drei Fällen nachgewiesene Analogie auch auf Wasser und Wasserdampf anzuwenden.

Ich versuchte zuerst die Frage durch eine spectrobolometrische Untersuchung zu entscheiden. Mit Anwendung der schon beschriebenen Vorrichtung wurde die Strahlung in verschiedenen Spectralgebieten untersucht, theils mit leerem Collimatorrohr, theils wenn dasselbe mit Wasserdampf von 10 mm Druck gefüllt war. Eine Absorption war kaum zu entdecken. Dieselbe war z. B. für Abl. = 2° ($\lambda = 4\mu$) höchstens ca. 0,1 Proc. Hierauf wurde vor die Spaltöffnung ein kleines Plangefäss von dünnen Glimmerblättchen befestigt und die Strahlung durch das leere und durch das mit Wasser

1) Desains, Compt. rend. 114. p. 1086. 1867.

2) Tyndall, Phil. Trans. of the R. S. 1. p. 291. 1882 u. Rep. d. Phys. von Exner 19. p. 139 u. f. 1883.

gefüllte Gefäss bestimmt. Ich habe drei solcher Gefässe benutzt, in welchen Wasserschichten von 0,08, 0,16 und 0,5 mm Dicke untersucht werden konnten. Unter der Annahme, dass hier das Absorptionsgesetz annäherungsweise gültig ist, weil die Strahlung beinahe homogen ist, lässt sich die Absorption durch eine Wasserschicht von der dem Dampfe entsprechenden Dicke berechnen. Die Absorption durch Wasser erwies sich jedoch immer als bedeutend grösser, so z. B. für $\lambda = 4\mu$ wenigstens fünfmal so gross.

Da diese Untersuchungsmethode vielleicht nicht ganz einwurfsfrei ist, weil die dünnen Glimmerblättchen nicht vollständig plan sind und weil sie sich vielleicht unter dem Drucke des eingeführten Wassers ein wenig biegen u. s. w., so habe ich folgende und, wie ich glaube, vollständig entscheidende Versuche gemacht.

Die Steinsalzplatten des einen Doppelrohres wurden fortgenommen und durch zwei planparallele Glasplatten von ausgezeichneter Beschaffenheit ersetzt. In der früher beschriebenen Weise wurden jetzt Vergleichsreihen zwischen den beiden Röhren ausgeführt, wobei das mit Glasplatten versehene Rohr als Versuchsrohr diente. Für diesen Versuch wurde eine neue Magnesiumoxydplatte M_3 von ca. 0,05 mm Dicke hergestellt.

Tabelle 10.

Wasserdampf. Wärmequelle L , das Versuchsrohr mit Glasplatten.

Druck in mm	A	B	A/B	Med.	Durchg.	Abs.
0	151,0 159,7 161,1	235,1 249,4 249,7	0,642 0,640 0,645	0,642		
10	162,9 161,3	255,4 252,6	0,638 0,639	0,639	99,4	0,6
0	163,3	253,8	0,643	0,643		

Tabelle 11.

Wasserdampf. Wärmequelle M_3 , das Versuchsrohr mit Glasplatten.

Druck in mm	A	B	A/B	Med.	Durchg.	Abs.
0	55,9 55,5	133,0 133,2	0,420 0,417	0,419		
10	54,8 55,7	134,0 135,1	0,409 0,412	0,411	98,1	1,9

Hiernach wurden die Glasplatten wieder von dem Versuchsrohre entfernt. Es lässt sich leicht berechnen, dass der im Versuchsrohre vorhandene Dampf condensirt eine Wasserschicht von 0,0148 mm Dicke bilden würde. Es wurde nun ein Glimmerblättchen von genau dieser Dicke abgespalten und davon drei ganz kleine Blättchen abgeschnitten. Die Glasplatten wurden mit den drei Glimmerblättchen als Zwischenlage zusammengelegt und durch zwei plangeschliffene starke Metallplatten, deren jede eine Oeffnung von ca. 18 mm Durchmesser hatte, gegeneinander gepresst; das Ganze bildete also ein kurzes Absorptionsgefäß. Dieses Gefäß wurde zwischen dem Schirm S_4 und dem Versuchsrohr (Fig. 1) so angebracht, dass man es leicht fortnehmen und wieder einstellen konnte. Es wurden jetzt Vergleichsreihen ausgeführt zwischen den Strahlungen mit dem Absorptionsgefäße vor der Schirmöffnung und ohne dasselbe (in der folgenden Tabelle sind diese mit B und jene mit A bezeichnet). Das Absorptionsgefäß war hierbei einmal leer, das andere Mal mit Wasser gefüllt. Die Tabelle wird hiernach ohne Schwierigkeit verständlich sein.

Tabelle 12.

Wasser, Wärmequelle L , Glasgefäß.

Absorptionsgefäß	A	B	A/B	Durchg.	Abs.
leer	150,8	295,3	0,511	95,8	4,2
gefüllt	144,6	295,5	0,489		
leer	142,6	287,2	0,497	95,1	4,9
gefüllt	137,3	290,7	0,472		
leer	144,6	291,3	0,496	95,4	4,6
gefüllt	139,3	294,3	0,473		
Med.				95,4	4,6

Tabelle 13.

Wasser, Wärmequelle M_3 , Glasgefäß.

Absorptionsgefäß	A	B	A/B	Durchg.	Abs.
leer	47,4	290,2	0,163	87,0	13,0
gefüllt	41,3	290,7	0,142		
leer	48,8	293,6	0,166	86,3	13,7
gefüllt	42,4	295,5	0,143		
Med.				86,7	13,4

Die Absorption zeigt sich hier ca. siebenmal so gross wie bei dem Dampfe. Eine Möglichkeit, dass dieselbe in den beiden Fällen gleich sei, scheint mir vollständig ausgeschlossen. Wir haben freilich den Einfluss der Aenderung der Reflexion unberücksichtigt gelassen; dieser würde jedoch nur den wirklichen Unterschied zwischen dem Absorptionsvermögen in den beiden Fällen vergrössern. *Es ist also hiermit gezeigt, dass ein Dampf und seine Flüssigkeit nicht immer dasselbe Absorptionsvermögen besitzen.*

Ob die spectrale Vertheilung der Absorption in den beiden Fällen dieselbe sei, ist noch zu entscheiden. Das Verhältniss der Absorption für die beiden hier untersuchten Strahlungen (L und M_3) ist innerhalb der Beobachtungsfehler dasselbe, also widersprechen vorliegende Beobachtungen nicht der Annahme einer ähnlichen spectralen Vertheilung der Absorption. Eine Untersuchung mit mehreren Magnesiumoxydplatten von verschiedener Dicke würde dies noch sicherer entscheiden.

5. Versuche mit reiner trockener Luft.

Die für die Versuche angewendete Luft wurde direct aus dem Freien genommen und zuerst durch Natronkalk, dann durch einen Geissler'schen Kaliapparat mit concentrirter Kalilösung geleitet. Die in dieser Weise von Kohlensäure gereinigte Luft wurde hierauf sorgfältig durch Schwefelsäure und Phosphorsäureanhydrid getrocknet und durch reine Baumwolle in die Versuchsröhre geleitet. Erst nach wiederholter Entleerung des Versuchsröhres und fünfstündiger Durchleitung der Luft wurden die Versuchsreihen ausgeführt. Von den Versuchen führe ich nur die folgenden an. Jeder von den unter A und B angeführten Werthen ist das Mittel aus sechs Bestimmungen. (S. Tabelle 14 und 15 nächste Seite.)

In Uebereinstimmung mit früheren Untersuchungen finden wir die Absorption der reinen Luft sehr schwach. Die Herren Lecher und Pernter, wie auch Hr. Röntgen haben keine Absorption wahrnehmen können, nach Tyndall muss dieselbe für eine Schicht von 914 mm Länge unter 0,3 Proc. liegen.

Tabelle 14.
Luft, Wärmequelle *L*.

Druck in mm	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B/A</i>	Med.	Durchg.	Abs.
0	331,7	323,8	0,976	0,9768	—	—
	324,1	317,9	0,981			
	341,2	332,7	0,975			
	330,0	323,2	0,979			
739	333,2	324,2	0,973	0,9758	99,88	0,12
	329,7	322,0	0,977			
	333,0	324,3	0,974			
	317,2	308,8	0,974			
	333,3	325,9	0,978			
0	325,6	317,8	0,976	0,9772	—	—
	320,2	314,1	0,981			
	318,6	310,8	0,976			
	332,9	325,2	0,977			
	332,3	324,3	0,976			
	332,7	324,6	0,976			

Tabelle 15.
Luft, Wärmequelle *M*₁.

Druck in mm	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B/A</i>	Med.	Durchg.	Abs.
0	85,3	83,4	0,978	0,9812	—	—
	86,7	85,3	0,984			
	85,6	83,8	0,979			
	85,6	84,3	0,985			
760	85,8	84,2	0,981	0,9787	99,72	0,28
	87,7	85,5	0,975			
	88,2	85,8	0,973			
	86,4	85,1	0,985			
	87,4	85,4	0,977			
0	87,1	85,3	0,979	0,9813	—	—
	87,0	85,5	0,983			
	83,4	82,2	0,986			
	86,3	84,4	0,978			
	84,4	82,7	0,980			
	84,2	82,6	0,981			

Wenn es übrigens gestattet ist, etwas aus den Beobachtungen zu schliessen, so wäre es, dass die Absorption hauptsächlich in die äussersten Theile des dunklen Spectrums fällt. Die Beobachtungsfehler sind jedoch im Verhältniss zu der beobachteten Absorption so gross, dass sichere Schlussfolgerungen nicht erlaubt sind. Dazu kommt natürlich noch,

dass die kleinste Verunreinigung der Luft Fehler von derselben Grössenordnung wie die zu bestimmende Grösse verursachen kann. Da übrigens, des Locales wegen, in welchem ich arbeitete, eine grössere Genauigkeit, als die, welche aus den Tabellen hervorgeht, kaum zu erreichen war, habe ich von einer genaueren Ausführung der Untersuchung der Absorption der reinen trockenen Luft absehen müssen.

6. Einige Folgerungen betreffend die Absorption in der Atmosphäre.

Um eine Besprechung der gewonnenen Resultate rücksichtlich ihrer Bedeutung für die Absorption der Sonnenstrahlung zu erleichtern, habe ich mir erlaubt, in Fig. 8 einige Curven von Langley wiederzugeben.

Fig. 8.

Wenn wir die letzte Zeichnung des prismatischen Sonnenspectrums von Langley (*A* Fig. 8, vergleiche zur Orientierung betr. die Wellenlängen auch Fig. 6) näher betrachten, so sehen wir für eine Wellenlänge $\lambda = 1,7 \mu$ die Energie ziemlich schnell abnehmen, und es folgen für $\lambda = 2,7 \mu$ und zwischen $\lambda = 4 \mu$ und $\lambda = 4,5 \mu$ die grossen Absorptionsbanden, welche Langley mit *X* und *Y* bezeichnet hat.¹⁾ Diese Banden fallen aber gerade mit denen der Kohlensäure zusammen und werden also zweifellos durch dieses Gas verursacht.

Für den Spectralbezirk in der Nähe von $\lambda = 4 \mu$ hat Langley in seiner letzten Abhandlung Specialdiagramme für

1) Langley, Phil. Mag. 26. p. 505. 1888.

verschiedene Dicken der Atmosphäre gegeben. Wir finden hieraus, dass für eine atmosphärische Schicht $M = 3,58$ (die Schicht, wenn die Sonne im Zenith steht, gleich eins gesetzt) keine Spur von Wärme bei $\lambda = 4,2\mu$ wahrnehmbar ist; für $M = 2,08$ ist aber eine Angabe deutlich zu erkennen. Die Intensität beträgt aber hier nur ca. 0,005 von der grössten, die in dem prismatischen Spectrum gefunden ist.

Durch die Thatsache, dass Langley in einem Spectralbezirk, wo ich eine ausserordentlich starke Absorption nachgewiesen habe, noch Wärmestrahlen gefunden hat, geht mit aller Evidenz hervor, dass die Intensität ausserhalb der Atmosphäre hier eine beträchtliche Grösse hat. Es ist auch damit gezeigt, dass es Strahlen von beträchtlicher Intensität gibt, welche so stark von der Atmosphäre absorbirt werden, dass nur schwache Spuren davon zum Erdboden gelangen.

In Fig. 8 sind auch einige von den Energiespectren, welche Langley für geschwärzte Kupferplatten bei verschiedener Temperatur gefunden hat, wiedergegeben.¹⁾ Wenn die Temperatur erhöht wird, nehmen alle Ordinaten zu, jedoch so, dass das Maximum immer gegen die kürzeren Wellenlängen verschoben wird. Es liegt hier die Frage nahe, ob das Sonnenspectrum vor dem Eintritt in die Erdatmosphäre nicht vielleicht ein ähnliches Aussehen gehabt hat, und ob nicht vielleicht der ganze ultraroth Theil des Spectrums von $\lambda = 4\mu$ von der Atmosphäre absorbirt wird. In diesem Falle würde die zu uns kommende Sonnenstrahlung nur ein geringer Theil der ursprünglichen Sonnenenergie sein.

Für diese Auffassung spricht ohne Zweifel das Vorstehende. Dadurch ist nämlich gezeigt, dass das steile Abfallen der Sonnenenergie, welches wir im Sonnenspectrum innerhalb der Atmosphäre beobachten, ausserhalb derselben wenigstens viel später eintritt.

Weil die Absorption der Kohlensäure in einen Spectralbezirk fällt, in welchem die ursprüngliche Sonnenstrahlung noch eine beträchtliche Grösse hat, so hat dieselbe ohne Zweifel einen wesentlichen Antheil an der Absorption der

1) Langley, Phil. Mag. 21. p. 394. 1886.

Atmosphäre. Dass dem so ist, hat auch Lecher früher gefunden. Er geht aber noch weiter und schreibt sogar der Kohlensäure die Hauptrolle zu, indem er die Bedeutung des Wasserdampfes nicht anerkennt.

Nachdem aber durch die vorliegende Untersuchung die Grenzen der Absorption der Kohlensäure näher bestimmt sind, ist, meiner Ansicht nach, die Kohlensäureabsorption diesseits $\lambda = 2\mu$ und jenseits $\lambda = 4,6\mu$ von keiner wesentlichen Bedeutung. Ausserhalb dieses Gebietes dürfte wohl der Wasserdampf noch seinen Einfluss geltend machen; hierzu kommt noch, dass bisher noch nicht gezeigt ist, dass durch die reine Luft nicht eine bedeutende Absorption der Strahlen grösster Wellenlänge stattfindet — eine Ansicht, die mir sehr wahrscheinlich ist.

Hrn. F. Åkerblom, der mir bei der Anstellung der meisten der hier besprochenen Versuche auf's Freundlichste assistirt hat, sage ich für seine werthvolle Unterstützung meinen besten Dank.

Stockholms Höskolas Fysiska Inst., Mai 1889.