

VIII. *Experimentelle Untersuchung
des Lichtemanationsgesetzes glühender Körper;
von W. Möller.*

(Aus der Inauguraldissertation¹⁾ für die Annalen bearbeitet vom Herrn
Verfasser.)

(Hierzu Taf. III Fig. 6–10.)

Für genauere photometrische Untersuchungen lassen sich bekanntlich nur die Polarisationsphotometer verwenden. Ich habe eines der älteren derselben, nämlich das im Jahre 1862 von Hrn. Prof. Wild construirte²⁾, auf seine Leistungsfähigkeit untersucht und werde darüber später in den Annalen berichten. Ausserdem aber habe ich an demselben eine Vereinfachung vorgenommen, welche es vornehmlich für technische Zwecke geeignet machen dürfte. Während meiner Untersuchung erhielt ich eine Publication³⁾ des Hrn. Wild, in welcher derselbe ebenfalls eine Vereinfachung seines Photometers beschreibt, die mit der meinigen im wesentlichen übereinstimmt. Indem ich bezüglich des ursprünglichen Wild'schen Photometers und der neuerdings von ihm an demselben vorgenommenen Vereinfachung auf die betreffenden Abhandlungen verweise, gebe ich zunächst eine kurze Beschreibung des vereinfachten Wild'schen Photometers, wie ich dasselbe benutzte.

§ 1. Das vereinfachte Wild'sche Photometer.

Die einzelnen Theile des Photometers, Fig. 6, sind auf einem T-förmigen Lineal hinter einander befestigt. Die von den beiden zu vergleichenden Lichtquellen (J und J_1) ausgehenden Lichtstrahlen gelangen zunächst in den aus zwei rechtwinkligen Glasprismen bestehenden Prismenapparat A , welcher keinen weiteren Zweck hat, als die Strahlen in ge-

1) Die vollständige Abhandlung ist unter dem Titel „Photometrische Untersuchungen“, zugleich enthaltend Messungen der Lichtstärke an Glühlampen, in der electrotechnischen Zeitschrift 5. p. 370 u. 405. 1884 erschienen.

2) Wild, Pogg. Ann. 118. p. 193. 1863.

3) Wild, Bull. de l'acad. imp. des sciences de St. Pétersb. 11. p. 743. 1883.

eigneter Weise zur Untersuchung zu bringen. Auf die hinteren Flächen der beiden Prismen sind schwarze Papierstücke geklebt, welche an der Berührungslinie der Prismen Streifen von solcher Breite frei lassen, dass von den beiden sie durchsetzenden Lichtbündeln, die in ihrem weiteren Verlauf im Nicol *B* polarisirt und durch das Kalkspathrhomboëder *C* zerlegt werden, der ordentlich gebrochene Theil des einen und der ausserordentlich gebrochene Theil des anderen an der Hinterfläche des Rhomboëders zwischen den beiden Bildern der Berührungslinie aneinander stossen. Vor dem Rhomboëder befindet sich ein gewöhnliches Fernrohr *D*, das auf die Ebene der beiden zwischen ihnen gelegenen Felder eingestellt ist; im Bildpunkte des Fernrohres ist ein Diaphragma angebracht, welches behufs genauerer Einstellung das Gesichtsfeld desselben bis auf kleine Theile der zu vergleichenden Felder abblendet. Die Beobachtung mit dem Photometer erfolgt nun in der Weise, dass der Polarisator *B* bis auf gleiche Helligkeit dieser beiden Felder gedreht wird, was sich um so genauer ausführen lässt, je gleichmässiger dieselben beleuchtet sind; es sind daher vor den Oeffnungen des Prismenapparates matte Glasplatten angebracht. Die Justirung des Apparates besteht einfach darin, dass Polarisator und Rhomboëder senkrecht zur Sehlinie des Fernrohres gestellt werden, und dass die Drehungsaxe des ersteren mit der Photometeraxe zum Zusammenfallen gebracht wird.

Sind die von den beiden zu vergleichenden Lichtquellen herrührenden Lichtstrahlen unpolarisirt, und heissen ihre Intensitäten J und J_1 , ist ferner α der Winkel zwischen Polarisator und Rhomboëderhauptschnitt, wenn auf gleiche Helligkeit eingestellt ist, so gilt die Gleichung:

$$\frac{J}{J_1} = C \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha,$$

worin C eine Constante¹⁾ des Photometers ist. Sind jedoch die Lichtstrahlen zum Theil polarisirt, so findet zwischen den Intensitäten der zu vergleichenden Lichtquellen eine

1) Wild, Pogg. Ann. 118. p. 236. 1863.

verwickeltere Beziehung statt, welche später hergeleitet werden soll.

Das vereinfachte Photometer gestattet für ein einigermaßen geübtes Auge eine sehr genaue Einstellung. Vor dem ursprünglichen Wild'schen Photometer hat es den Vortheil, der bei manchen photometrischen Messungen von grosser Wichtigkeit ist, dass es behufs sicherer Einstellung eine viel geringere Lichtintensität erfordert. Es dürfte sich daher namentlich für die Technik empfehlen; wenn auch die Herstellungskosten für dasselbe bedeutend höher sind als für das in der Technik bis jetzt am meisten gebräuchliche Bunsen'sche Photometer, so hat es doch vor diesem eine bei weitem grössere Empfindlichkeit voraus.

Mit dem beschriebenen Photometer habe ich zweierlei Untersuchungen angestellt:

1. habe ich versucht, für das Lichtemanationsgesetz einen empirischen Nachweis zu liefern;
2. habe ich, um die technische Verwendbarkeit des Instrumentes zu zeigen, relative Intensitätsmessungen an den hauptsächlichsten Glühlampen angestellt.

Im Folgenden wird nur über die das Lichtemanationsgesetz betreffende Untersuchung berichtet werden; in Bezug auf die Messungen an den Glühlampen verweise ich auf das letzte Octoberheft der *Electrotechnischen Zeitschrift*.

§ 2. Uebersicht über die vorhandenen Untersuchungen bezüglich des Lichtemanationsgesetzes.

Seitdem Lambert auf Grund der später von Bouguer als unrichtig nachgewiesenen Beobachtung¹⁾, dass die Sonne als gleichmässig hell leuchtende Scheibe erscheine, das nach ihm benannte Lichtemanationsgesetz aufstellte, nach welchem sich die Intensitäten der von einer leuchtenden Fläche ausgesandten Lichtstrahlen wie die Cosinuse ihrer Emanationswinkel verhalten, und auch versuchte, für dasselbe einen geometrischen Beweis²⁾ zu liefern, der jedoch, wie Zöllner in seinen „Photometrische Untersuchungen“ bemerkt, als

1) Lambert, *Photometria* etc. p. 37. 1760.

2) Lambert, *Photometria* etc. p. 43. 1760.

ungenügend zu betrachten ist, hat man für die Annahme der Richtigkeit jenes Gesetzes keine weiteren Gründe gefunden als diejenigen, welche sich aus der Analogie der Lichtstrahlen mit den Wärmestrahlen ergeben. Für letztere haben Leslie¹⁾ und Melloni²⁾ das sogenannte Cosinusetz nachzuweisen gesucht; und da sich die Lichtstrahlen in allen bis jetzt bekannten Erscheinungen ebenso verhalten wie die Wärmestrahlen, so durfte man gewiss ohne Bedenken jenes Gesetz auch auf die Lichtstrahlen anwenden; man glaubte sich um so mehr dazu berechtigt, als die von Fourier³⁾ zum Beweise desselben für die Wärmestrahlen gemachte Annahme, dass sich an der Ausstrahlung nicht nur die in der Oberfläche gelegenen Punkte betheiligen, sondern auch noch Punkte bis zu einer bestimmten Tiefe, ohne weiteres auf die Lichtstrahlen übertragen werden kann — eine Annahme, zu welcher übrigens Arago⁴⁾ aus ganz anderen Gründen veranlasst wurde.

Experimentell ist jedoch das Cosinusetz für Lichtstrahlen noch nicht nachgewiesen worden; der einzige Versuch wurde von Bouguer⁵⁾ angestellt, indem er das an matten Flächen zerstreut reflectirte Licht unter verschiedenen Winkeln photometrisch untersuchte. Es ist indessen nicht ohne weiteres einzusehen, dass sich diffus reflectirende Oberflächen wie selbstleuchtende verhalten sollen — und in der That zeigen auch seine Messungen, selbst wenn man die

1) Leslie, An experimental inquiry into the nature and propagation of heat. p. 67. 1804. Leslie gibt in seinem Versuche keine Zahlen an, bemerkt aber, dass er für sehr geneigte Winkel Abweichungen von 5 bis 10% erhalten habe, welche nach seiner Meinung um so mehr verschwinden würden, je weiter das Differenzialthermometer von der Wärme ausstrahlenden Fläche entfernt werden würde.

2) Melloni, Pogg. Ann. 65. p. 115. 1845. Auch Melloni gibt keine Zahlen an, nicht einmal etne Beschreibung des Versuches; er sagt nur, dass man sich leicht von der Richtigkeit des Cosinusetzes überzeugen könne.

3) Fourier, Théorie analytique de la chaleur. p. 30. 1883; Ann. de chim. et de phys. 4. p. 128. 1817.

4) Arago, Oeuvres complètes, deutsche Uebers. 7. p. 335. 1860.

5) Bouguer, Traité d'optique, p. 162. 1760.

grösstmöglichen Beobachtungsfehler zulässt, dass von einer Bestätigung des Cosinusetzes keine Rede sein kann. Seitdem sind meines Wissens keine weiteren Versuche angestellt worden.

§ 3. Ueber die Untersuchungsmethoden.

Es gibt zwei Wege, das Emanationsgesetz zu prüfen. Der erste Weg ist genau derselbe, den Leslie und Melloni bei ihren Untersuchungen über die Wärmestrahlen einschlugen. Man ersetze, Fig. 7, die Wärme ausstrahlende Fläche durch eine gleichmässig leuchtende Fläche ab , das Thermometer durch ein Photometer und stelle die leuchtende Fläche nebst einem vor ihr befindlichen Diaphragma von geeigneter Grösse — oder mehreren Diaphragmen hinter einander — vor die eine Oeffnung und irgend eine Vergleichslichtquelle vor die andere Oeffnung des Photometers. Wenn man nun die leuchtende Fläche in messbarer Weise gegen die Photometeraxe neigt, so muss man, wenn überhaupt das Cosinusetz Gültigkeit hat, in allen ihren Stellungen dieselben Ablesungen erhalten, vorausgesetzt, dass sie nebst dem vor ihr befindlichen Diaphragma genügend weit vom Photometer entfernt ist, und in den Helligkeiten der beiden Lichtquellen keine unregelmässigen Schwankungen eintreten. Letztere Bedingung dürfte jedoch bei der relativ grossen Ausdehnung der leuchtenden Fläche, wie sie zu diesem Versuch erforderlich ist, kaum zu erfüllen sein.

Es liegt im vorliegenden Falle allerdings sehr nahe, die selbstleuchtenden Flächen durch andere zu ersetzen, sei es durch zerstreut reflectirende, sei es durch diffus transparente oder etwa phosphorescirende Flächen. Aber, wie schon angedeutet, sind die Aenderungen, welche das Licht beim Durchgange durch diffus transparente Flächen erfährt, ebenso wenig zu übersehen, wie die bei der diffusen Reflexion eintretenden Vorgänge, sodass es vielleicht gar nicht einmal möglich ist, auf diese Weise eine Bestätigung des Cosinusetzes zu erhalten. Diese Bedenken fallen freilich bei phosphorescirenden Flächen fort, da dieselben sich vollkommen wie selbstleuchtende Flächen verhalten; an ihnen liesse

sich daher ohne Zweifel das Cosinusetz prüfen, wenn es möglich wäre, Phosphorescenzlicht von genügender Stärke und längere Zeit andauernder Constanz zu erhalten, was vielleicht mit Hülfe eines modificirten Phosphoroskops zu erreichen wäre. Mit diffus reflectirtem und durchgehendem Lichte, sowie mit Phosphorescenzlicht habe ich Versuche angestellt, aber ohne Erfolg; letzteres konnte ich nicht in genügender Stärke erhalten.

Der zweite Weg, zum Cosinusetze zu gelangen, besteht darin, in der Anordnung des ersten Versuches, unter Fortlassung des Diaphragmas, die Grösse der leuchtenden Fläche constant zu erhalten, Fig. 8; in diesem Falle müssen sich die in den verschiedenen Stellungen der leuchtenden Fläche zur Photometeraxe erhaltenen Intensitätswerte verhalten wie die Cosinuse der Emanationswinkel der im Photometer beobachteten Lichtstrahlen, wenn auch hier, wie im vorigen Falle, die leuchtende Fläche sich in hinreichend grossem Abstände vom Photometer befindet und die Helligkeit beider Lichtquellen keine unregelmässigen Schwankungen erleidet. Dieser Weg wurde für die nachfolgenden Untersuchungen eingeschlagen. Leuchtende Flächen, welche den obigen Bedingungen genügen, konnten, da sie in diesem Versuche von nur geringer Ausdehnung zu sein brauchten, leicht dadurch erhalten werden, dass zwei glatte Platinstreifen von ungefähr gleichen Dimensionen, in geeignete Apparate eingespannt, durch einen und denselben Strom zum Glühen gebracht wurden. Einer der Streifen wurde als Vergleichslichtquelle in unveränderlicher Stellung gehalten, der andere in verschiedene Neigungen gegen die Photometeraxe gedreht.

§ 4. Beschreibung der zum Versuche benutzten Glühapparate und Justirung derselben.

Die als Vergleichslichtquelle dienende Glühvorrichtung, Fig. 9, bestand aus den beiden gleich gearbeiteten Messingsäulen *a*, welche in einem Abstände von etwa 50 mm vertical in der isolirenden Platte *b* (Holzplatte) befestigt waren. Die Messingsäulen setzten sich aus zwei Theilen zusammen, von denen die oberen vermittelst der Scharniere *c* in der durch die

Säulen selbst bestimmten Ebene gedreht und mit Hilfe von Schrauben in jeder beliebigen Stellung festgehalten werden konnten. An den freien Enden der drehbaren Theile waren die Klemmvorrichtungen *d* angebracht, zwischen welche der zum Glühen bestimmte Platinstreifen *e* eingespannt wurde. Ungefähr in der Mitte der drehbaren Messingtheile befanden sich die Klemmen *f*, um die Zuleitungsdrähte aufzunehmen.

Im drehbaren Glühapparate waren die beiden Messingsäulen vermittelt isolirender Elfenbeinschrauben auf einer Kreistheilungsplatte befestigt, derartig, dass die verticale Mittellinie des Platinstreifens mit der Drehungsaxe des Apparates zusammenfiel. Um zu verhüten, dass durch die während der Drehung des Apparates auftretenden Zug-, resp. Druckkräfte der Zuleitungsdrähte an der Stellung der einzelnen Theile zu einander etwas geändert würde, wurden dieselben nicht, wie bei der festen Glühvorrichtung, unmittelbar in den unteren Klemmen befestigt, sondern zunächst zu Quecksilbernapfchen geführt, welche vermittelt isolirender Substanz auf die Platte der Kreistheilung gekittet waren; von hier aus gingen dann kurze Drähte zu den unteren Klemmen.

Die beiden Glühvorrichtungen wurden auf Stative festgeklemmt, welche zu beiden Seiten des Photometers aufgestellt waren. Bevor die Platinstreifen, welche etwa 50 mm lang, 5 mm breit und 0,01 mm dick waren, eingespannt wurden, empfahl es sich, ihre Enden durch mehrfaches Umliegen zu verdicken, um sie so für die Befestigung in den Klemmen geeigneter zu machen. Die Glühvorrichtungen waren hinter einander geschaltet in einem von einer Dynamomaschine gelieferten Strome, welcher so gut wie möglich auf constanter Intensität erhalten wurde. Waren dann die Platinstreifen nach ihrem Erglühen durch Drehen der oberen Theile der Messingsäulen um die Scharniere *e* geebnet und in dieser Stellung vermittelt der Schrauben befestigt, so konnte man im Photometer nach Beseitigung des Fernrohres Bilder von den beiden leuchtenden Streifen beobachten. Durch seitliches, resp. verticales Verschieben der Stative musste nun dafür gesorgt werden, dass beim senkrechten Hineinblicken in das Photometer in sämtlichen Stellungen des

drehbaren Platinstreifens die Bilder in horizontaler Richtung übereinander fielen und in der Mitte des Gesichtsfeldes erschienen.

Hiermit war die eigentliche Justirung beendet. Es erwies sich indess noch als nothwendig, von den glühenden Platinstreifen unregelmässigen Luftzug fernzuhalten, weshalb über dieselben kleine Kistchen mit seitlichen, dem Photometer zugekehrten Oeffnungen gestülpt wurden. Eine gleichmässige Beleuchtung des Gesichtsfeldes wurde durch matte, vor die Oeffnungen des Prismenapparates gesetzte Glasplatten erreicht. Ausserdem musste noch die Entfernung der Glühvorrichtungen vom Photometer so regulirt werden, dass der Positionswinkel α , der sich direct aus den Ablesungen ergibt, innerhalb der günstigsten Grenzen variierte, d. h. in der Nähe von 45° .

§ 5. Theorie des Versuches.

a) Theorie der Versuchsmethode. — Bekanntlich drückt sich nach Lambert die Helligkeit an einer Stelle, welche von einer leuchtenden Fläche beschienen wird, aus durch folgende Formel:

$$J = \frac{i F \cos i_1 \cdot \cos e}{r^2},$$

worin:

i Helligkeit der Flächeneinheit,

F Grösse der leuchtenden Fläche,

r Abstand der leuchtenden Fläche von der beleuchteten Stelle,

i_1 Winkel, den die beobachteten Strahlen mit der Normalen zur äusseren Prismenfläche im Prismenapparate bilden (Incidenzwinkel),

e Winkel, den die beobachteten Strahlen mit der Normalen zur leuchtenden Fläche bilden (Emanationswinkel).

In unserem Versuche sind i und F als constant zu betrachten; es änderten sich dagegen während der Drehung des Platinstreifens die Grössen i_1 , r und e . Wie indessen die Beobachtungen zeigen, ist es gestattet, in Anbetracht der grossen Entfernung des drehbaren Platinstreifens von der ihm zugekehrten Oeffnung des Prismenapparates (100 cm)

$i_1 = 0$, sowie r und e für alle Punkte der leuchtenden Fläche constant zu setzen, und zwar e gleich dem Neigungswinkel x derselben gegen die Photometeraxe. Dann reducirt sich die obige Formel auf:

$$J = \text{Const.} \cdot \cos x,$$

d. h. die Intensität der Lichtstrahlen, welche die drehbare Glühvorrichtung ins Photometer sendet, ist nur vom Neigungswinkel derselben gegen die Axe des Photometers abhängig. Betrachten wir nun die feste Glühvorrichtung als eine constante Lichtquelle, so müssen sich die durch das Photometer gemessenen Werthe für die Intensitäten der von der drehbaren Glühvorrichtung unter verschiedenen Azimuthen ausgesandten Lichtstrahlen im Falle der Gültigkeit des Cosinusetzes direct wie die entsprechenden Cosinuszahlen verhalten.

b) Theorie der Messungen. — Nach Untersuchungen von Arago¹⁾ strahlen glatte Metalloberflächen im glühenden Zustande senkrecht nur natürliches, in geneigten Richtungen natürliches und polarisirtes Licht aus, und zwar ist letzteres nach Desains²⁾ senkrecht zur Emanationsebene polarisirt. Während also die Intensität des vom drehbaren glühenden Platinstreifen emanirten natürlichen Lichtes durch das Nicol auf die Hälfte reducirt wird, geht von dem in geneigten Azimuthen ausgestrahlten polarisirten Licht ein vom Positionswinkel des Nicols abhängiger Bruchtheil hindurch. Es ist indessen möglich, wie sich aus dem Folgenden ergeben wird, durch Anstellung zweier Beobachtungsreihen, in denen sich der drehbare Platinstreifen das einemal auf der einen, das anderemal auf der anderen Seite des Photometers befindet, den Einfluss des polarisirten Lichtes zu berücksichtigen. Eine Untersuchung der vor den Oeffnungen des Prismenapparates befindlichen matten Glasplatten ergab, dass dieselben das Licht etwas depolarisirten. Durch diese Depolarisation wurde freilich das Intensitätsverhältniss der von den beiden Platinstreifen ausgesandten Lichtstrahlen

1) Arago, Oeuvres complètes, deutsche Uebers. 7. p. 335. 1860.

2) Desains, Pogg. Ann. 126. p. 511. 1865.

nicht geändert, wohl aber das Verhältniss des vom drehbaren Platinstreifen emanirten natürlichen Lichtes zum polarisirten.

Führen wir folgende Bezeichnungen ein:

J_0 Intensität des vom drehbaren Platinstreifen senkrecht emanirten (natürlichen) Lichtes;

J_2 Intensität des vom drehbaren Platinstreifen schief emanirten natürlichen Lichtes;

P Intensität des vom drehbaren Platinstreifen schief emanirten polarisirten Lichtes;

e Abnahme, welche die Intensität des vom drehbaren Platinstreifen unter schiefen Winkeln ausgesandten polarisirten Lichtes infolge der theilweisen Depolarisation beim Durchgange durch die matte Glasplatte zu Gunsten der Intensität des gleichzeitig hindurchgehenden natürlichen Lichtes erleidet.

Der feste Platinstreifen war bei sämtlichen Beobachtungen so aufgestellt, dass er Lichtstrahlen unter dem Emanationswinkel 0° ins Photometer sandte; die Intensität dieses (natürlichen) Lichtes sei J_1 .

α) Drehbare Glühvorrichtung auf der einen Seite des Photometers. — 1. Für den Fall, dass sich die drehbare Glühvorrichtung in ihrer Nullstellung befindet, sind die Intensitäten des von beiden Glühapparaten ausgesandten Lichtes, nachdem es das Nicol passirt:

$$\begin{array}{ll} \text{Feste Gl.:} & \text{Drehb. Gl.:} \\ kq \frac{J_1}{2}, & kq \frac{J_0}{2}, \end{array}$$

worin q und k Schwächungscoefficienten der matten Glasplatten, resp. des Nicols sind.

Ist dann das Licht durchs Rhomboëder gelangt, und hat man auf gleiche Helligkeit der beiden von den Glühvorrichtungen beleuchteten Gesichtsfelder im Photometer eingestellt, so ist, wenn man den abgelesenen Winkel γ nennt:

$$(1) \quad C \frac{J_1}{2} \cdot \sin^2 \gamma = \frac{J_0}{2} \cdot \cos^2 \gamma,$$

worin C die Constante des Photometers ist.

2. Für den Fall aber, dass sich die drehbare Glühvorrichtung in einer beliebigen Stellung befindet, geht zunächst durch die matten Glasplatten:

von der festen Gl.:

$$qJ_1,$$

von der drehb. Gl.:

$$q[(J_2 + e) + (P - e)],$$

dann durch das Nicol bei einem beliebigen Positionswinkel φ :

von der festen Gl.:

$$kq \frac{J_1}{2},$$

von der drehb. Gl.:

$$k \cdot q \left[\frac{J_2 + e}{2} + (P - e) \sin^2 \varphi \right].$$

und nach dem Durchgange des Lichtes durch das Rhomboëder findet, wenn beim Positionswinkel α auf gleiche Helligkeit der beiden Gesichtsfelder eingestellt ist, und zur Abkürzung gesetzt wird:

$$J_2 + e = J_2', \quad P - e = P'$$

folgende Gleichung statt:

$$(2) \quad C \frac{J_1}{2} \cdot \sin^2 \alpha = \left[\frac{J_2'}{2} + P' \sin^2 \alpha \right] \cos^2 \alpha.$$

Durch Division von Gleichung (1) in Gleichung (2) erhält man:

$$(3) \quad \frac{\frac{J_2'}{2} + P' \sin^2 \alpha}{\frac{J_0}{2}} = \operatorname{ctg}^2 \gamma \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha = a.$$

Dies ist diejenige Grösse, welche wir auf der einen Seite des Photometers beobachten. Um nun die gesuchte Grösse:

$$(4) \quad \frac{J_2 + P}{J_0} = \frac{J_2' + P'}{J_0} = x$$

zu erhalten, müssen wir entweder die drehbare und feste Glühvorrichtung in ihren Stellungen zum Photometer vertauschen oder, was auf dasselbe hinauskommt, das Rhomboëder um 180° drehen.

β) Drehbare Glühvorrichtung auf der anderen Seite des Photometers. — Machen wir auch hier, wie im vorigen Falle, Einstellungen des Photometers sowohl für den Fall, dass sich die drehbare Glühvorrichtung in der Nullstellung, als auch in einer beliebigen anderen Stellung befindet, so erhalten wir folgende, den ersteren analog gebildete Gleichungen:

$$(1_a) \quad \frac{J_1}{2} \cdot \cos^2 \gamma_1 = C \cdot \frac{J_0}{2} \cdot \sin^2 \gamma_1,$$

$$(2_a) \quad \frac{J_1}{2} \cdot \cos^2 \beta = C \cdot \left[\frac{J_2}{2} + P' \sin^2 \beta \right] \cdot \sin^2 \beta.$$

Durch Division von Gleichung (1_a) in Gleichung (2_a) ergibt sich:

$$(3_a) \quad \frac{\frac{J_2}{2} + P' \sin^2 \beta}{\frac{J_0}{2}} = \operatorname{tg}^2 \gamma_1 \cdot \operatorname{ctg}^2 \beta = b.$$

Diese Grösse beobachten wir auf der anderen Seite des Photometers.

Um aus den beobachteten Grössen a und b die gesuchte Grösse x zu bestimmen, subtrahire man Gleichung (3) von Gleichung (3_a) und combinire die daraus resultirende Gleichung:

$$(5) \quad \frac{P'}{J_0} = 2 \frac{b - a}{[\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha]}$$

mit Gleichung (3); dann erhält man:

$$(6) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{J_2 + P'}{J_0} = \frac{J_2 + P}{J_0} = x \\ = a + \frac{b - a}{2[\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha]} \cdot [1 - 2 \sin^2 \alpha]. \end{array} \right.$$

Es ist sofort zu übersehen, dass für solche Azimuthe, in denen kein polarisirtes Licht ausgesandt wird, also $P=0$ ist, sich die Grösse x als arithmetisches Mittel aus a und b berechnet.

Beiläufig sei noch bemerkt, dass die Gleichung, welche aus der Division von Gleichung (5) durch Gleichung (6) resultirt:

$$(7) \quad \frac{P'}{J_2 + P'} = \frac{P - e}{J_2 + P} = \frac{b - a}{2x[\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha]}$$

für jedes Azimuth die Menge desjenigen vom drehbaren glühenden Platinstreifen ausgesandten polarisirten Lichtes liefert, welches als solches noch nach dem Durchgange durch die matte Glasplatte vorhanden ist.

§ 6. Fehler des Versuches.

Zur Beurtheilung des Beobachtungsfehlers, welcher theils durch die Construction des Photometers, theils durch die in

den Glühvorrichtungen auftretenden Helligkeitsschwankungen bedingt ist, gebe ich in der folgenden Tabelle eine beliebig herausgegriffene Beobachtungsreihe, bestehend aus fünf Beobachtungen, welche in den vier Quadranten des Nicols angestellt worden sind.

Tabelle I.

Beobachtung	Abweichung v. Mittel	Beobachtung	Abweichung v. Mittel	Beobachtung	Abweichung v. Mittel	Beobachtung	Abweichung v. Mittel	
81° 41'	2,6'	155° 57'	3,4'	261° 21'	1'	336° 48'	4,6'	
44	0,4	52	1,6	20	2	35	8,4	
48	4,4	50	3,6	25	3	45	1,6	
40	3,6	56	2,4	24	2	43	0,4	
45	1,4	53	0,6	20	2	46	2,6	
Mittel	2,48'	Mittel	2,32'	Mittel	2'	Mittel	3,52'	2,56'

Nehmen wir als Beobachtungsfehler 3', so beträgt der dadurch im Intensitätsverhältniss hervorgerufene Fehler im ungünstigsten Falle unseres Versuches, in dem der Positionswinkel α gleich 20° war, 0,5%.

Hierzu kommt noch ein Fehler, welcher von der unserer Rechnung zu Grunde gelegten Annahme herrührt, dass in jeder Stellung der drehbaren Glühvorrichtung sowohl die Emanationswinkel als auch die Entfernungen vom Photometer für alle Punkte der leuchtenden Fläche constant sind, und dass die beleuchtete Stelle ein Punkt sei, während sie in Wirklichkeit das Stück einer Ebene ist, welches von der vorderen Fläche eines Glasprismas gebildet wird. Eine strenge mathematische Herleitung dieses Fehlers würde eine sehr weitläufige Rechnung erfordern, welche für unseren Fall auszuführen keinen grossen Werth haben würde, da sich schon ohne weiteres beim Vergleiche der Dimensionen des drehbaren Platinstreifens (0,5 cm breit, 4 cm lang) mit dessen Entfernung von der ihm zugekehrten Oeffnung des Prismenapparates (100 cm) übersehen lässt, dass dieser Fehler nur von geringem Einflusse sein kann, was auch durch die Beobachtungen bestätigt wird.

§ 5. Die Beobachtungen selbst und die sich aus denselben ergebenden Resultate.

Zur Erlangung genauerer Werthe wurden in den vier Quadranten des Nicols Einstellungen auf gleiche Helligkeit gemacht und daraus der Positionswinkel α abgeleitet. Die Beobachtungen wurden von 10 zu 10° angestellt, wobei die bewegliche Glühvorrichtung bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gedreht wurde; unter jedem Azimuthe wurden im ganzen fünf Beobachtungsreihen ausgeführt (Tabelle II und Tabelle III). In diesen wie in den folgenden Tabellen ist die Intensität des unter dem Emanationswinkel 0° von der drehbaren Glühvorrichtung ausgesandten Lichtes gleich 1000 gesetzt.

a) Drehbare Glühvorrichtung auf der einen Seite des Photometers.

Tabelle II.

Emanationswinkel	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Beobachtung I	1000	983	933	860	786	658	508	292	77
Beobachtung II	1000	980	927	870	778	666	501	302	82
Beobachtung III	1000	981	938	869	793	677	522	315	85
Beobachtung IV	1000	981	929	857	774	662	499	295	81
Beobachtung V	1000	985	936	865	786	668	509	303	81
Mittel	1000	982	933	864	783	666	508	301	81

b) Drehbare Glühvorrichtung auf der anderen Seite des Photometers.

Tabelle III.

Emanationswinkel	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Beobachtung I	1000	984	938	868	750	631	509	395	233
Beobachtung II	1000	986	947	871	753	631	503	393	234
Beobachtung III	1000	980	946	865	746	622	501	391	234
Beobachtung IV	1000	984	938	859	740	615	499	387	225
Beobachtung V	1000	985	940	868	750	628	506	393	227
Mittel	1000	984	942	866	748	625	504	392	231

c) Bestimmung der Intensitätswerte des vom drehbaren glühenden Platinstreifen unter verschiedenen Azimuthen ausgestrahlten Lichtes aus den Beobachtungen a) und b).

Zunächst gibt folgende Tabelle eine Uebersicht über die Mittel der zu beiden Seiten des Photometers gemessenen Zahlen a und b .

Tabelle IV.

Emanationswinkel	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Cosinuszahlen . .	1000	985	940	866	766	643	500	342	174
Beob. a (Mittel) .	1000	982	933	864	783	666	508	301	81
Beob. b (Mittel) .	1000	984	942	866	748	625	504	392	231

Aus dieser Tabelle sind die gesuchten Intensitätswerte nach Gleichung (6) zu berechnen; für die Azimuthe von 0 bis 30° einschliesslich ist es jedoch gestattet, dieselben als arithmetische Mittel aus den beobachteten Zahlen zu bestimmen, da die unter ihnen gemachten Beobachtungen innerhalb der Fehlergrenzen übereinstimmen, also $P = 0$ -ist (vgl. Schluss des § 5). Die Winkel α und β , welche zur Berechnung der Lichtintensitäten für die Azimuthe von 40 bis 80° erforderlich sind, sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle V.

Emanationswinkel	40°	50°	60°	70°	80°
α (Mittel) . . .	49° 1'	47° 44'	44° 21'	39° 36'	21° 15'
β (Mittel) . . .	39 14	41 29	45 2	50 13	56 25

Tabelle VI gibt schliesslich die gesuchten Intensitätswerte und gestattet, dieselben mit den Cosinuszahlen zu vergleichen.

Tabelle VI.

Emanationswinkel	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Intensitäten . .	1000	983	938	865	769	648	504	347	179
Cosinuszahlen . .	1000	985	940	866	766	643	500	342	174
Abweichungen . .	0	-2	-2	-1	+3	+5	+4	+5	+5

In Fig. 10 sind die arithmetischen Mittel der zu beiden Seiten des Photometers gemachten Beobachtungen a und b durch die mit denselben Buchstaben bezeichneten Curven dargestellt; die aus ihnen hergeleitete Intensitätscurve c und die Curve der Cosinuszahlen sind, wie Tabelle VI zeigt, so wenig voneinander verschieden, dass ihre Abweichungen in der Figur nicht zum Ausdruck gebracht werden konnten. Die grösste Abweichung beträgt $0,5\%$: der Beobachtungsfehler aber beläuft sich im ungünstigsten Falle gleichfalls auf $0,5\%$, und hierzu kommt noch der Fehler, welcher durch die in unserer Rechnung gemachte, mit der Wirklichkeit nicht vollständig übereinstimmende Annahme verursacht wird. Damit dürfte also vorläufig das Lambert'sche Lichtemissionsgesetz als empirisch nachgewiesen zu betrachten sein.

In Tabelle VII sind noch die Mengen des vom drehbaren glühenden Platinstreifen unter verschiedenen Azimuthen ausgesandten polarisirten Lichtes angegeben, soweit es als solches durch die matte Glasplatte hindurchgegangen ist, und zwar in Procenten ausgedrückt.

Tabelle VII.

Emanationswinkel	40°	50°	60°	70°	80°
$\frac{P'}{J_2 + P}$ in Proc.	13	29	33	71	74

Die wirklichen Mengen des vom Platinstreifen ausgestrahlten polarisirten Lichtes sind noch grösser. Auffallend hoch sind die Zahlen, welche sich für die geneigteren Azimuthe ergeben; es wäre in der That interessant, in dieser Hinsicht die Lichtausstrahlung von glühenden glatten Oberflächen genauer zu untersuchen.

Vorstehende Arbeit, sowie die oben erwähnten Messungen an Glühlampen wurden auf Veranlassung des Hrn. Prof. Kundt unternommen, dem ich für die vielseitige Förderung, welche er meinen Untersuchungen zu Theil werden liess, zu grossem Danke verpflichtet bin.

Physik. Inst. d. Univ. Strassburg i. E. 1884.

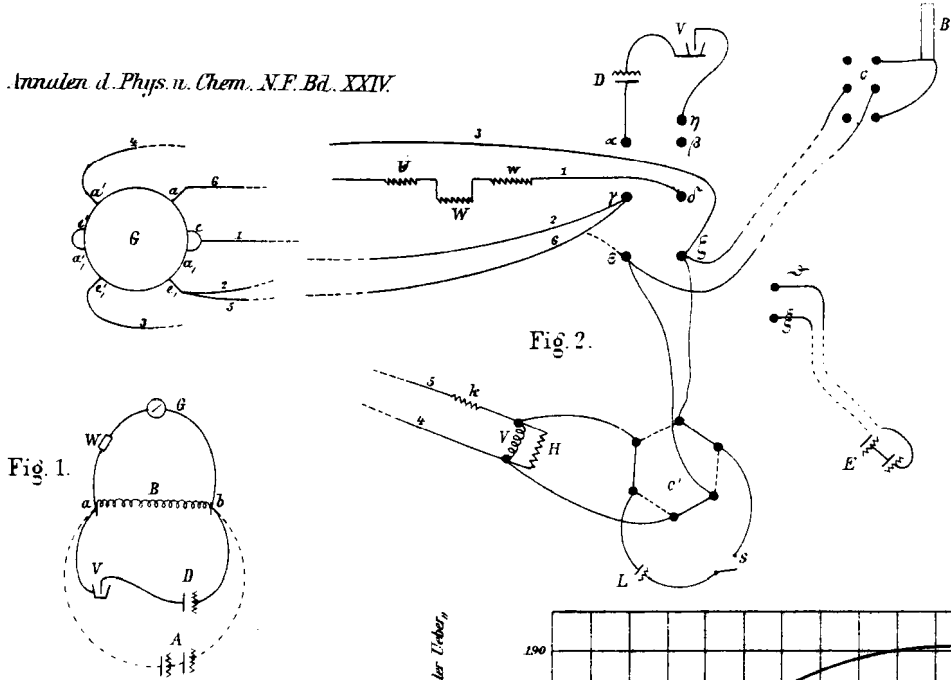


Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 10.

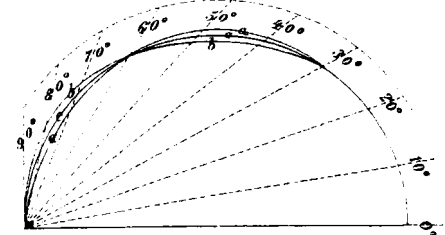
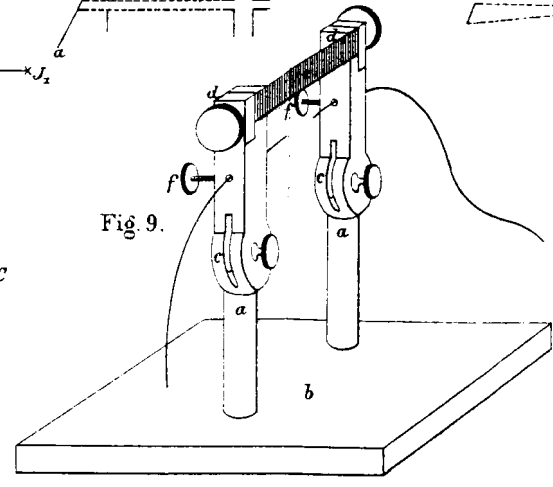
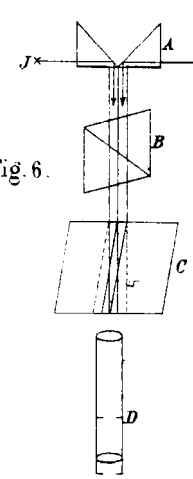


Fig. 12.

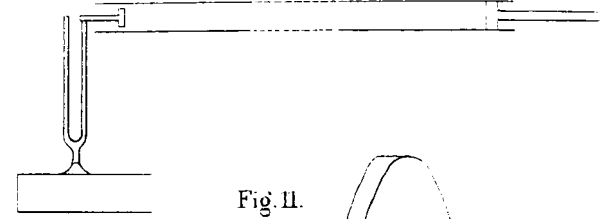


Fig. 11.

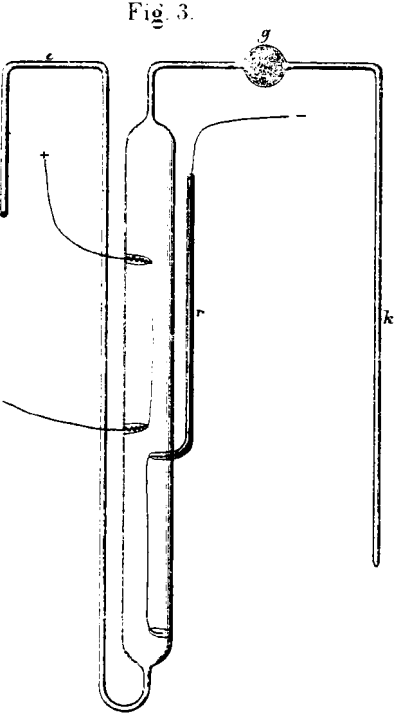


Fig. 3.

I. Bruchtheil des berechneten Knallgasvolumens, welcher in der Form von disponiblen Sauerstoff der Ueber-
schwefelsäure entweicht wird, multipliziert mit 1000.
II. Bruchtheil in der Form d. disponib. Sauerstoffs im Ozean, ebenfalls multipliziert mit 1000.

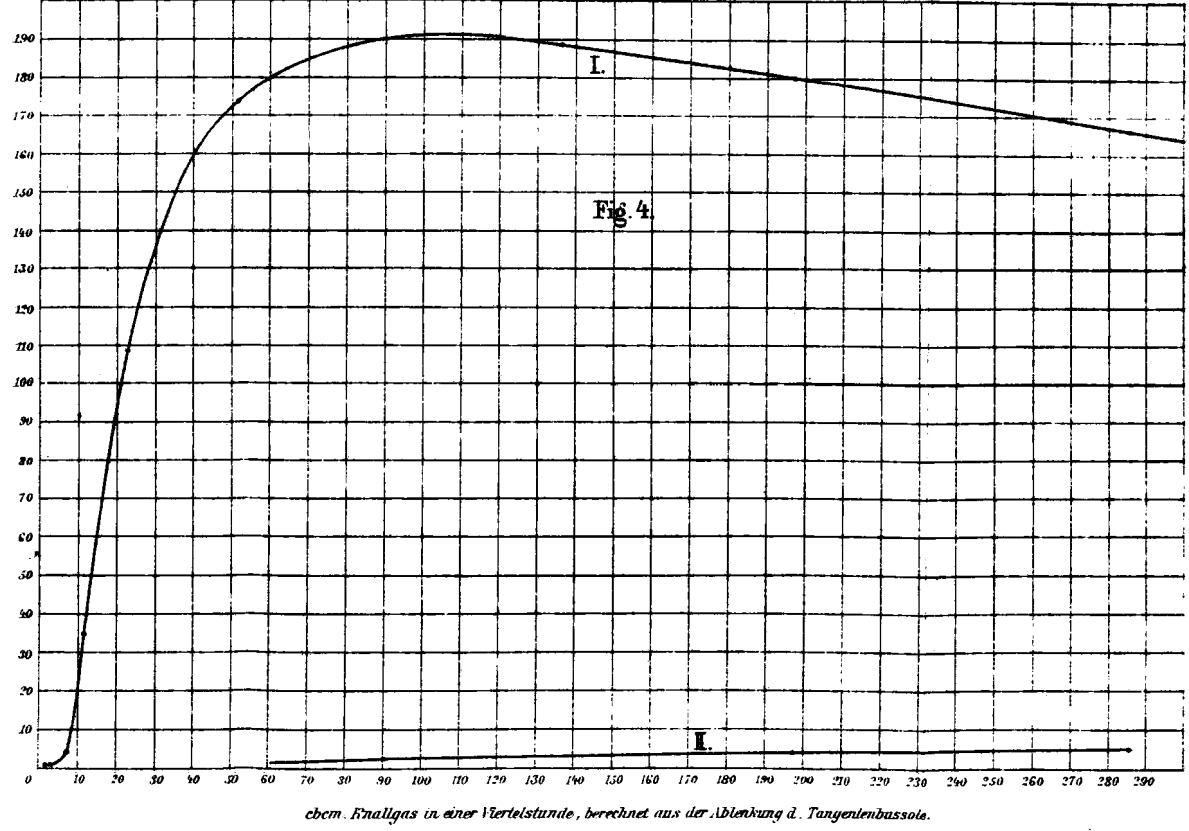


Fig. 4.

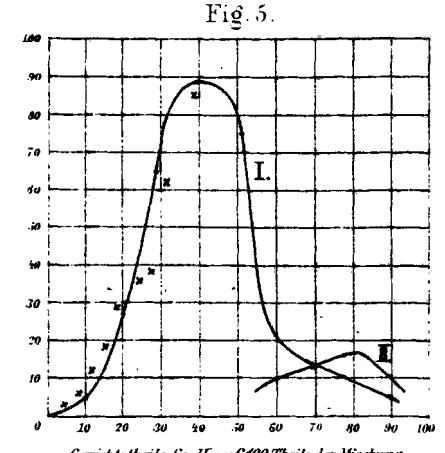


Fig. 5.

I. Ueberschwefelsäure.
II. Wasserstoffsuperoxyd.
x. Disponibler Sauerstoff in der Flüssigkeit nach C. Hoffmann.

1/4 natürl. Grösse.

Arons Fig. 1-2. Richarz Fig. 3-5. Möller Fig. 6-10. Oosting Fig. 11-12.

Link Anst. v. Ernst Leitz