

1898

A. Kalähne.

Ueberreicht vom Verfasser.

Dr. Kalähne  
Heidelberg

Ueber die Spectra einiger Elemente  
bei der stetigen Glimmentladung in Geissler'schen  
Röhren und die Abhängigkeit der Lichtstrahlung  
von Stromstärke und Druck.

Von

Alfred Kalähne.

---

Separat-Abdruck aus den

Annalen der Physik und Chemie.

Neue Folge. Band 65.

1898.

---

Leipzig,

Johann Ambrosius Barth.

**BEZOLD, W. von, Hermann von Helmholtz.** Gedächtnissrede, gehalten in der Singakademie zu Berlin. 32 Seiten. Mit einem Porträt H.'s nach einem Ölgemälde von F. von Lenbach. 1895. M. 1.50

**BOLTZMANN, L., Vorlesungen über die Prinzipie der Mechanik. I. Theil.** X, 241 Seiten. 1897. M. 6.—

Man sprach in neuerer Zeit viel über die Dunkelheiten in den Prinzipien der Mechanik und suchte sie dadurch zu beseitigen, dass man der Mechanik ein ganz neues, fremdartiges Gewand gab. Der Verf. hat hier den entgegengesetzten Weg eingeschlagen und versucht, ob sich nicht bei möglichst treuer Darstellung der Mechanik in ihrer alten classischen Form die Dunkelheiten ebenfalls vermeiden liessen, theils indem er gewisse Dinge, die man früher übergiebt, oder als selbstverständlich nur oberflächlich rührte, ausführlich behandelte, theils indem er jede berechnete Kritik sorgfältig berücksichtigte.

Ein II. und später ein III. Theil soll noch erscheinen.

**BOLTZMANN, L., Vorlesungen über Maxwells Theorie der Electricität und des Lichtes. I. Theil.** XII, 139 Seiten mit vielen Textfiguren und 2 lithographischen Tafeln. 1891. M. 5.—. *II. Theil.* VIII, 166 Seiten mit Figuren im Text und zwei Tabellen. 1893. M. 5.—

Nur ein Boltzmann konnte den oft unentwirrbar complicirten Plan des Maxwell'schen Lehrgebäudes bis in alle Details so verstehen, um ihn mit dieser Klarheit blosszulegen. Aus den einfachsten Annahmen — den Gesetzen der cyklischen Bewegungen und der Lagrange'schen Gleichung — entwickeln sich die weittragendsten Schlüsse mit einer Klarheit und Eleganz, die neben der vollendeten wissenschaftlichen Befriedigung auch einen hervorragenden ästhetischen Genuss bietet.

**BOLTZMANN, L., Vorlesungen über Gastheorie. I. Theil:** Theorie der Gase mit einatomigen Molekülen, deren Dimensionen gegen die mittlere Weglänge verschwinden. IV, 200 Seiten. 1895. M. 6.—

In dem Werke, das aus an der Münchener und Wiener Universität gehaltenen Vorlesungen entstanden ist, versucht der Verfasser, vor Allem die bahnbrechenden Arbeiten von Clausius und Maxwell übersichtlich wiederzugeben. Aber auch seinen eigenen Arbeiten ist einiger Platz gegönnt. Eine kurzgefasste, möglichst leichtverständliche Darstellung einiger Hauptresultate der Gastheorie Boltzmann's wird von den Fachgenossen gewiss mit grosser Freude begrüsst werden.

**BOYS, C. V., Seifenblasen.** Vorlesungen über Capillarität. Autorisirte deutsche Übersetzung von Dr. G. Meyer. VIII, 86 Seiten mit 56 Abbildungen und 1 lith. Tafel. 1893. M. 3.—

**CHRISTIANSEN, C., Elemente der theoretischen Physik.** Deutsch herausgegeben von Joh. Müller. Mit einem Vorwort von E. Wiedemann. VIII, 458 Seiten mit 134 Figuren. 1894. M. 10.—

Es fehlte bisher ein kurzes Lehrbuch der theoretischen Physik, in dem auf beschränktem Raume die wichtigsten Lehren dieses Gebietes soweit entwickelt werden, dass es nach Durcharbeiten desselben möglich ist, Originalarbeiten, die nicht gerade allzu spezielle Probleme betreffen, zu verstehen. Wie nöthig und nützlich eine solche Einführung in die theoretische Physik ist, werden Viele empfunden haben und Christiansens Werk, vom Verfasser und von Fachgelehrten umgearbeitet und deutschen Verhältnissen angepasst, wird zweifelsohne den jungen Physiker und Mathematiker bei seinen Studien wesentlich fördern.

**EBERT, H., Magnetische Kraftfelder.** Die Erscheinungen des Magnetismus, Elektromagnetismus und der Induktion, dargestellt auf Grund des Kraftlinien-Begriffes. Zwei Theile in einem Bande. XXVIII, 499 Seiten mit 140 Abbildungen und 3 Tafeln. 1897. M. 18.—, geb. M. 19.—

Der Verfasser hat es versucht, die Lehre vom Magnetismus und der Electricität durchweg dem neuesten Stande der theoretischen Erkenntnis entsprechend aus den Fundamenten zu entwickeln. Noch fehlte es an einem Lehrbuche, welches die neueren Anschauungen in leicht fasslicher Weise in dem Umfange entwickelte, in welchem sie etwa in den Rahmen einer Vorlesung über Experimentalphysik aufzunehmen sind. Das vorliegende Werk hat, nach dem Urtheile der Kritik, diese Lücke ausgefüllt.

**EBERT, H., Anleitung zum Glasblasen.** Zweite, völlig umgearbeitete Auflage. VIII, 104 Seiten mit 58 Abbildungen. 1895. M. 2.—

**Chemiker-Zeitung:** Die Erfahrungen, welche der Verfasser sowohl beim Glasblasen wie beim Unterricht gesammelt hat, haben ihn auf den fruchtbaren Gedanken gebracht, die Anleitung zum Glasblasen in die Form eines systematischen, aus fünf Übungsstufen bestehenden Unterrichtskurses zu bringen, welcher alle im Laboratorium gewöhnlich zur Anwendung kommenden Glasbläserarbeiten berücksichtigt... Die Darstellung ist knapp und überaus klar und lässt überall erkennen, dass der Verfasser, welcher es in seiner Wissenschaft zu hohem Ansehen gebracht hat, auch in der Kunst des Glasblasens Meister ist.

2915/2/G/54

II 26,455

II 26455

**7. Ueber die Spectra einiger Elemente bei  
der stetigen Glimmentladung in Geissler'schen  
Röhren und die Abhängigkeit  
der Lichtstrahlung von Stromstärke und Druck;  
von Alfred Kalähne.**

(Auszug aus der Berliner Inaug.-Diss. des Verf.)

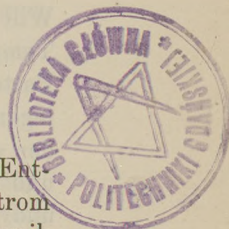
Einleitung.

§ 1. Von den verschiedenen Arten der electricischen Entladungen in Geissler'schen Röhren ist der constante Strom der Hochspannungsbatterie, dessen Einführung in die Physik wir Hittorf verdanken, bisher nur wenig zum Studium der Spectralerscheinungen benutzt worden. Ausser den Angaben, welche Hittorf<sup>1)</sup> selbst in seinen Arbeiten über die Electricitätsleitung der Gase bezüglich der Spectra von Stickstoff und Wasserstoff bei dieser Art der Erregung macht, lagen nur vereinzelte, gelegentlich gemachte Beobachtungen von anderer Seite, besonders von Warburg, vor. Letzterer fand, als er bei Untersuchungen über das Kathodengefälle bei der Glimmentladung die Dämpfe von Natrium und Quecksilber zum Leuchten brachte, dass das positive Licht des Hg-Dampfes ein bis dahin unbekanntes continuirliches Spectrum lieferte, Natrium dagegen nur die *D*-Linien. Mit dem Inductorium konnte er das continuirliche Quecksilberspectrum nicht erhalten und schloss daraus, dass die Temperatur der Entladung in letzterem Falle bereits zu hoch für die Entstehung desselben sei.

In der That ist ja die Erwärmung der leuchtenden Gas- theilchen durch den constanten Strom, wie Hittorf experimentell nachgewiesen und Warburg<sup>2)</sup> aus der Theorie der der Wärmeleitung berechnet hat, unter geeigneten Umständen, nämlich bei kleiner Stromdichte, verhältnissmässig gering und kann weniger als 100° C. betragen, während bei den stoss-

1) Hittorf, Wied. Ann. **7**, p. 553. 1879.

2) E. Warburg, Wied. Ann. **54**. p. 265. 1895.



weisen Entladungen des Inductoriums die maximale Temperatursteigerung, auf die es besonders ankommt, im allgemeinen grösser ist. Dabei kann dieselbe jedoch — schwache Entladungen und weite Röhren vorausgesetzt — ebenfalls noch weit unter der Glühhitze liegen, sodass in beiden Fällen das Leuchten kein thermactines, sondern ein allactines oder, in E. Wiedemann'scher Bezeichnung, Lumineszenzleuchten ist. Will man also Gas- oder Dampfspectra bei relativ niedrigen Temperaturen erhalten, so ist der Strom der galvanischen Batterie den Entladungen des Inductoriums entschieden überlegen. Schon Hittorf machte auf den Vortheil aufmerksam, der daraus für das Studium der mehrfachen Spectra erwächst, und erklärte es für wünschenswerth, dass die von ihm selbst und Plücker<sup>1)</sup> mit dem Inductorium ausgeführten Untersuchungen über die mehrfachen Spectra der Elemente nach dieser Seite hin ergänzt würden.

Eine andere werthvolle Eigenschaft des constanten Stromes ist die, dass man seine Intensität und damit die dem Gase in der Zeiteinheit zugeführte Energiemenge durch Ein- oder Ausschalten von Widerständen in beliebiger, durch galvanometrische Messungen leicht controlirbarer Weise stetig variiren kann. Man hat demnach in der durch den Strom erzeugten Glimmentladung ein ausgezeichnetes Mittel, die Lichtemission der Gase und Dämpfe in Geissler'schen Röhren unter bestimmten Bedingungen, welche durch die Stromstärke einerseits, den Zustand des Dampfes andererseits gegeben sind, zu studiren und ihre Abhängigkeit von denselben messend zu verfolgen.

§ 2. In der vorliegenden Arbeit habe ich nun unter Anwendung des Stromes einer Batterie von 600 Elementen

1. die Spectra einiger Elemente bei der stetigen Glimmentladung qualitativ untersucht und

2. bei einigen derselben (Quecksilber und Cadmium) die Abhängigkeit der Lichtintensität von Stromstärke und Dampfdruck für bestimmte Wellenlängen photometrisch gemessen.

Bei einigen der untersuchten Stoffe zeigten sich der Erwartung gemäss Spectra erster Ordnung, theils aus cannelirten,

---

Plücker u. Hittorf, Trans. Roy. Soc. Lond. 155. p. 1. 1865.

in Linien auflösbaren, theils aus continuirlichen Banden bestehend. Es ergab sich jedoch, dass dieselben nicht bloss unter dem Einfluss des constanten Stromes auftreten, denn das Glimmlicht, welches durch die Entladungen eines kleinen, mit 2—4 Volt Spannung betriebenen Inductoriums in denselben Röhren hervorgebracht wurde, lieferte die nämlichen Spectra, ein Resultat, das auch durch eine während dieser Untersuchungen veröffentlichte Arbeit von E. Wiedemann und G. C. Schmidt<sup>1)</sup> bestätigt worden ist.

### I. Apparate und Beobachtungsmethoden.

#### 1. Die Entladungsröhren.

§ 3. Die Entladungsröhren wurden zum grössten Theil aus dem im hiesigen Institut benutzten Thüringer Glas von mittlerer Schmelzbarkeit hergestellt, das sich im allgemeinen gut bewährte. Bei einigen wurde sogenanntes Resistenzglas aus der Glas-hütte von Greiner & Friedrich angewandt, ohne dass diese Röhren wesentliche Vortheile gegenüber den anderen gezeigt hätten.

Zur Erzielung genügender Lichtstärke hatten die Röhren meist die von Schuster und anderen beschriebene, aus Fig. 1 ersichtliche H-Form mit Längsdurchsicht. Die seitlichen, verticalen Schenkel, welche zur Aufnahme der Electroden dienten, waren 15—20 mm weit, das horizontale Verbindungsrohr hatte Durchmesser von 3, 8 und 10 mm und Längen zwischen 6 und 10 cm. Die Zuleitung des Stromes zu den Electroden vermittelten dünne Platindrähte, die auf

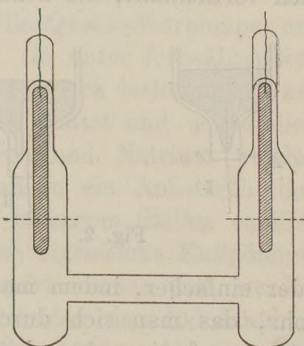


Fig. 1.

1) E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, Sitzungsber. d. phys.-med. Soc. zu Erlangen, 12. Nov. 1895. Ein Theil der Resultate, sowie die Versuchsanordnung sind in der Arbeit von A. C. Jones wiedergegeben Wied. Ann. 62. p. 30. 1897. Leider fehlen Temperaturangaben oder auch nur Schätzungen vollständig. Auch ist nicht zu erkennen, wie weit bei der benutzten Versuchsanordnung der Druck in den Röhren constant gehalten werden konnte.

eine Strecke von etwa 1 cm in die engeren Ansatzröhrchen eingeschmolzen waren. Auf diese Weise wurde ein luftdichter Verschluss erzielt, der, wenn die Einschmelzstellen sorgfältig gekühlt waren, auch bei starkem Erhitzen aushielt, falls nicht, wie beim Cadmium, das Platin mit dem Dampf Legirungen bildet, in welchem Falle die Einschmelzstellen nach kurzer Zeit sprangen. Durch eine einfache, weiter unten beschriebene Einrichtung, bei der das Platin vor der Berührung mit dem Metalldampf geschützt wird, konnte das Springen verhütet werden.

Als Electroden dienten dünne Platinblechstreifen von etwa 3 mm Breite und 30 mm Länge oder Aluminiumdrähte von 2—3 mm Durchmesser, welche an die Platindrähte angeschweisst wurden, oder auch, bei der Untersuchung von Metalldämpfen, die flüssigen Metalle selbst. In letzterem Falle, wo sich die Electroden natürlich unten befanden, erwies es sich vortheilhaft, die Platindrähte vor dem Einschmelzen mit

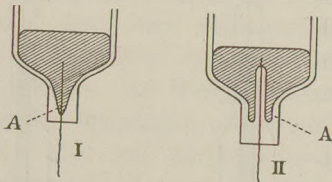


Fig. 2.

einem dünnen Glasmantel zu umgeben, aus dem nur die Spitze etwa 2 mm weit hervorragte. Dieser Mantel wird entweder durch Aufwickeln eines in der Flamme erweichten dünnen Glasfadens auf den Draht hergestellt,

oder einfacher, indem man ein Stück dünnwandiges Capillarrohr, das man sich durch Ausziehen einer engen Biegröhre leicht verfertigen kann, über den Draht schiebt und in der Gebläseflamme festlötet. Dies Verfahren ist besonders bei sehr dünnen Drähten bequemer. Die Einschmelzstellen hatten also obenstehende Form II (Fig. 2); das geschmolzene Electrodenmetall bedeckt dabei den Platindraht vollständig, sodass derselbe nirgends mit dem Dampf in Berührung kommt, dessen zerstörender Einfluss sich viel grösser erwies als der des flüssigen Metalles. Durch die getroffene Einrichtung sind nämlich die spitzen Winkel vermieden, welche, wenn man den Draht ohne Glasmantel einschmilzt, bei *A* zwischen diesem und den Glaswänden entstehen, wie I (Fig. 2) zeigt, und in die das flüssige Metall nicht vollständig eindringen kann, weil der geringe Luftrest, der in diesem durch das flüssige Metall von dem Gesamt-

volumen der Röhre abgetrennten Raume zurückbleibt, immer einen endlichen Raum einnimmt, und infolge dessen eine Luft-hülle um den Draht entsteht, welche das flüssige Metall, aber nicht die Dämpfe desselben fernhält. Ist jedoch der Draht mit Glas umgeben, so sind die Luftreste, welche bei *A* zurückbleiben, ohne Bedeutung, da sie nicht mit dem Draht in Berührung kommen.

Ausser den längssichtigen Röhren wurden bei einigen Versuchen auch einfach cylindrische mit Querdurchsicht benutzt, bei denen die Electroden sich oben und unten befanden.

§ 4. Herstellung und Füllung der Röhren geschah in der Weise, dass sie nach sorgfältiger Reinigung mit Salzsäure und destillirtem Wasser — Alkohol und Aether wurden zwecks Fernhaltung von Kohlenwasserstoffen vermieden — und Trocknen mittels eines durch einen Glaswollepfropf staubfrei gemachten Luftstromes sofort mit den Electroden versehen und, mit der betreffenden Substanz gefüllt, an die Quecksilberpumpe angeschmolzen wurden. Hier wurden sie unter fortwährendem Wegpumpen der von den Gefässwänden sich loslösenden Gase längere Zeit auf etwa  $300^{\circ}$ — $350^{\circ}$  C. erhitzt und schliesslich von der Pumpe abgeschmolzen. Jod und Natrium wurden nicht direct in die Röhren, sondern in ein Ansatzröhrchen eingeführt, dass beim Natrium an mehreren Stellen capillar ausgezogen war. Nachdem dann das eigentliche Entladungsrohr auf die angegebene Weise evacuirt worden war, wurden diese Röhrchen ebenfalls erwärmt, wobei das Jod hinübersublimirte und das Natrium, indem das Oxyd an den verengten Stellen hängen blieb, rein in das Entladungsrohr hinabfloss. Die Ansatzröhrchen wurden dann abgeschmolzen. In einem Falle wurde das Natrium electrolytisch nach der von Warburg<sup>1)</sup> angegebenen Methode eingeführt. Brom wurde nach der Goldstein'schen<sup>2)</sup> Methode, in dünnwandige Glaskügelchen eingeschmolzen, zusammen mit einigen rundgeschmolzenen Stücken eines Glasstabes in das Rohr eingebracht. Nach dem Abschmelzen von der Pumpe wurden diese Kügelchen durch Schütteln zertrümmert und das Brom frei gemacht.

1) E. Warburg, Wied. Ann. 40. p. 1. 1890.

2) Goldstein, Sitzungsber. d. physik. Gesellsch. zu Berlin. 1886; Wied. Beibl. 14. p. 616.

Um die Oxydation der Metalle, besonders wenn sie als Electroden dienten, zu verhindern, wurde der Apparat während des Erhitzens an der Pumpe mehrere Male mit trockenem Stickstoff gefüllt und wieder leer gepumpt. Derselbe wurde aus atmosphärischer Luft, welche mittels Aetzkali und Phosphorpentoxyd von Kohlensäure und Wasserdampf befreit war, durch Absorption des Sauerstoffs mittels Phosphors hergestellt und durch electrolytisch eingeführtes Natrium von den letzten Sauerstoffresten befreit.

Um den Joddampf von der Pumpe abzuhalten, wurde zwischen diese und das Entladungsrohr ein mit unechtem Blattgold gefülltes Rohr eingeschaltet. Dasselbe Mittel erwies sich auch geeignet, umgekehrt den Quecksilberdampf fast vollständig von den Entladungsrohren fernzuhalten.

Die so hergestellten Röhren zeigten fast durchweg erst nach längerem starken Erhitzen im Heizbad Spuren von Verunreinigungen durch Gase, die sich noch von den Wänden oder Electroden lösten. Eine Ausnahme bildeten die mit Brom und Natrium gefüllten. Bei diesen trat jedesmal nach kurzer Zeit das Wasserstoffspectrum auf, vermuthlich infolge der Zersetzung der noch an den Glaswänden haftenden NaOH-Schicht durch diese sehr energisch wirkenden Stoffe. Die Banden des Kohlenoxydes, die sonst in derartigen Röhren häufig beobachtet worden sind, zeigten sich niemals.

## 2. Die Stromquelle und Strommessung.

§ 5. Als Stromquelle diente eine Accumulatorenatterie von 600 Elementen in der zuerst von Zehnder<sup>1)</sup> angegebenen Form, die eine Spannung bis zu 1200 Volt lieferte.

Die Zuleitung des Stromes zu den Entladungsrohren erfolgte durch dünne Kupferdrähte, welche durch Glas- und Siegelackträger gegen die Umgebung isolirt waren. Mehrere nach Hittorf's Angaben aus einer zehnpromcentigen Lösung von Jodcadmium in Amylalkohol hergestellte Widerstände ermöglichten eine beliebige Aenderung der Stromstärke; zur Umkehrung der Stromrichtung dienten Commutatoren, die in der bekannten Wippenform aus Paraffinklötzen hergestellt waren.

1) Zehnder, Wied. Ann. 49. p. 556, 1893.



Die Stromintensität wurde durch ein kleines, stark gedämpftes Spiegelgalvanometer mit Ringmagnet und einem Widerstand von etwa 140 Ohm gemessen, das durch einen Nebenschluss vom Hauptstrom abgezweigt war. Durch geeignete Wahl des Widerstandes im anderen Zweige konnte das Instrument zur Messung sehr verschieden starker Ströme benutzt werden. Da sich seine Empfindlichkeit im Laufe der Untersuchung etwas änderte, so wurde sie von Zeit zu Zeit mit Hülfe eines Raps'schen Präcisions-Volt- und Ampèremeters neu bestimmt. Ein in den Stromkreis eingeschaltetes Telephon diente zur Beurtheilung der Stetigkeit des Stromes.

Neben dem constanten Strom wurde, wie ich bereits in der Einleitung bemerkte, ein kleines Inductorium benutzt, das mit dem Strome eines Bleiaccumulators von 2—4 Volt Spannung betrieben wurde.

### 3. Heizbad und Temperaturmessung.

§ 6. Um die zum Hindurchleiten des Stromes erforderliche Dampfspannung herzustellen und constant zu halten, wurden Luftbäder benutzt, die aus dem eigentlichen Heizkasten und einem denselben umgebenden Mantel, beide aus starkem Eisenblech, bestanden. Die zwischen ihnen befindliche Luftschicht von 1—2 cm Dicke verringert die Ableitung der Wärme nach aussen und bewirkt eine gleichmässigeren Temperaturvertheilung im Innern. Durch einige mit durchbohrten Kork- oder Asbeststopfen verschlossene schornsteinartige Aufsätze wurden die Zuleitungsdrähte und Thermometer eingeführt; zwei Glimmer- bez. Glasfenster gestatteten die Durchsicht in das Innere.

Für die bei einigen Versuchen mit Cadmium und Natrium benutzten cylindrischen Röhren mit Querdurchsicht hatte der Thermostat die von Warburg<sup>1)</sup> bei seinen Untersuchungen über Electrolyse des Glases beschriebene Form und Einrichtung. Bei den anderen kam zuerst ein grösserer Kasten von 22 cm Länge, 15 cm Breite und derselben Höhe mit Glimmerfenstern an den Schmalseiten zur Verwendung. Zur Erreichung höherer Temperaturen erwies sich derselbe jedoch ungeeignet; ausserdem störten die von den Glimmerfenstern herrührenden

1) Warburg, Wied. Ann. 21. p. 622. 1884.

Interferenzstreifen, welche bei durchgehendem Lichte auftraten. Ich liess deshalb einen kleineren Apparat anfertigen, der sich sehr gut bewährte und mit verhältnissmässig geringen Mitteln Temperaturen bis zu  $600^{\circ}$  hervorzubringen gestattete.

§ 7. Den Heizkasten bildete eine beiderseits offene Trommel (Fig. 2a) aus starkem Eisenblech von 20 cm Länge und 9 cm Durchmesser, die horizontal auf vier angenieteten Eisenfüssen ruht und oben mit drei ebenfalls angenieteten Schornsteinen versehen ist. In die offenen Stirnseiten sind Deckel eingepasst, welche in der Mitte in viereckigen Rahmen Fenster aus gewöhnlichem Spiegelglas von etwa 2 mm Dicke tragen. Diese Trommel wird von einem unten offenen Mantel umhüllt, der ungefähr die Gestalt eines Sargdeckels hat und auf vier an

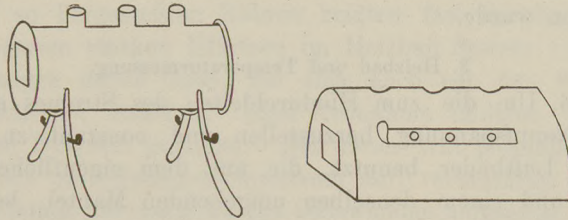


Fig. 2a.

den Eisenfüssen der Trommel befestigten Consolen aufliegt. An den Stirnseiten ist er ebenfalls mit Glasfenstern versehen, und oben sind ausser den Oeffnungen, durch welche die Schornsteine herausragen, mehrere durch Schieber verschliessbare Löcher, welche zum Abzug der Verbrennungsgase dienen. Die Erhitzung erfolgt durch einige unter der Trommel aufgestellte Bunsenbrenner, deren Flammen dieselbe von unten und den Seiten, in dem Raum zwischen Trommel und Mantel, umspülen. Mit drei grossen Bunsen'schen Ringbrennern konnte die Temperatur bis auf  $600^{\circ}$  getrieben werden, für Temperaturen bis zu  $200^{\circ}$  genügten zwei oder drei kleine Flämmchen, die in einiger Entfernung unter der Trommel brannten. Wenn dafür gesorgt wurde, dass die Glasfenster nicht direct von den Flammen getroffen wurden, so hielten sie sich völlig unversehrt und hatten dabei gegenüber den Glimmerfenstern, abgesehen von dem Fehlen der Interferenzerscheinungen, noch den Vorzug, dass sie weniger Licht absorbirten.

§ 8. Gemessen wurden die tieferen Temperaturen mit einem Quecksilberthermometer aus Jenaer Glas, dessen Eis- und Siedepunkt öfter controlirt wurden; die höheren mit einem Thermoelement, das nach den Angaben von Holborn und Wien aus Platin und einer Platin-Rhodiumlegirung bestand; an einem zugehörigen d'Arsonval'schen Galvanometer, das in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt geächtet war, konnte die Temperaturdifferenz der beiden Lötstellen direct abgelesen werden. Ein Theilstrich der Scala entsprach einer Differenz von  $10^{\circ}$  C., bei der sehr ruhigen Lage der Nadel konnten jedoch einzelne Grade mit grosser Sicherheit geschätzt werden. Unter Berücksichtigung der Temperatur der zweiten Lötstelle sind die so erhaltenen Temperaturen sämmtlich auf den Nullpunkt des Quecksilberthermometers reducirt worden.

#### 4. Spectralapparate und Photometer.

§ 9. Zur Beobachtung und Ausmessung der Spectra kam ausser einem kleinen geradsichtigen Spectroskop ein grosses Spectrometer mit zwei Rutherford'schen Prismen und automatischer Minimumeinstellung zur Verwendung, welches die beiden *D*-Linien um etwa eine Bogenminute trennte.

Die Messungen der Lichtintensität wurden mit einem Glan'schen Spectrophotometer älterer Construction ausgeführt. Als Vergleichslichtquelle diente eine fünfundzwanzigerkerzige electriche Glühlampe mit matter Glasbirne, welche, durch den Strom der Centrale gespeist, ein hinreichend constantes Licht lieferte. Um die Richtigkeit der mit diesem Instrument erhaltenen Resultate zu controliren, wurde mit demselben die Lichtabsorption einiger Rauchgläser für das Licht der Wellenlänge  $589 \mu\mu$  bestimmt. Es ergab sich als Mittel aus mehreren Bestimmungen für das Verhältniss  $I'/I$  des durchgelassenen zum vollen Lichte der Werth 0,1493. Dasselbe Verhältniss wurde mit Hilfe eines Glan'schen Photometers von etwas anderer Construction, für dessen Ueberlassung zu gedachtem Zweck ich der Firma Schmidt & Hänsch hierselbst zu Dank verpflichtet bin, zu 0,1490 bestimmt. Die Uebereinstimmung zwischen beiden Werthen ist also eine recht gute. Ausserdem überzeugte ich mich durch besondere Versuche davon, dass diese Resultate nicht von der absoluten Grösse des Winkels

abhängen, um den das Nicol'sche Prisma gedreht werden musste, indem sich dieselben Werthe ergaben, wenn das Intensitätsverhältniss zwischen dem die absorbirenden Schichten passirenden Lichte und demjenigen der Vergleichslampe beliebig geändert wurde.

Ist  $L$  die (constante) Intensität des auf die eine (bei den Versuchen stets die obere) Spalthälfte fallenden Vergleichslichtes für eine bestimmte Wellenlänge,  $l$  die zu messende für dieselbe Wellenlänge,  $\alpha$  der Winkel, um den das Nicol'sche Prisma aus der Nullstellung gedreht werden muss, damit beide Hälften des Gesichtsfeldes gleich hell erscheinen, so ist:

$$l = c \cdot L \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha,$$

wo  $c$  einen constanten, von Eins nicht sehr verschiedenen Factor bedeutet, der von der ungleichen Schwächung der beiden senkrecht zu einander polarisirten Lichtbündel in den Medien des Apparates herrührt. Da keine absoluten Messungen der Lichtstärke beabsichtigt waren, sondern nur die relativen Aenderungen derselben bestimmt werden sollten, so waren auch die absoluten Werthe von  $c$  und  $L$  gleichgültig und wurden nicht bestimmt. Als Maass der Strahlungsintensität  $l$  sind daher in den Tabellen einfach die Werthe  $\operatorname{tg}^2 \alpha$  bez. Vielfache davon angegeben.

## II. Die Spectra verschiedener Stoffe bei der Glimmentladung.

§ 10. Ausser Stickstoff wurden untersucht Jod, Brom, Quecksilber, Cadmium, Natrium, Zinn und Blei.

*Jod.*<sup>1)</sup> Röhre mit Längsdurchsicht, Durchmesser 3 mm, Länge 6 cm, Platinelectroden. Das Platin zerstäubt sehr stark, wahrscheinlich verbindet es sich dabei mit dem Jod, denn der Beschlag, der sich auf der Glaswand bildet, ist nicht schwarz, wie ein reiner Platinspiegel, sondern dunkelbraun. Der Sättigungsdruck des Jods ist bei Zimmertemperatur gerade für die Glimmentladung geeignet. Bei 35° C. ging der Strom infolge der Druckerhöhung bereits nicht mehr hindurch.

1) Vgl. Trowbridge u. Richards, Phil. Mag. (5) 70. p. 135. 1897. Die Verfasser haben mit einer grossen Batterie von 10000 Volt dasselbe erhalten.

Das positive Licht ist ungeschichtet und prächtig pflanzlichblüthfarben. An der Kathode treten die typischen Erscheinungen auf (Goldstein's Kathodenschichten); das Licht derselben ist schwach und von fahlem Blaugrau. Das Spectrum ist das von Goldstein<sup>1)</sup> gefundene Bandenspectrum, das auch Ebert<sup>2)</sup> im Lichte einer mit Joddampf gefüllten, im electrischen Hochfrequenzfeld leuchtenden Röhre beobachtet hat. Es besteht aus einer grossen Anzahl schmaler Banden vom Rot bis Grün, dann folgt ein dunkler Raum, in dem sich drei helle Linien scharf abheben, und zuletzt ein weit ins Violett bez. Ultraviolett hineinreichendes continuirliches Spectrum, wenigstens konnte hier trotz der ziemlich starken Dispersion keine Andeutung von Streifungen oder Linien bemerkt werden, während die Banden des rothen und grünen Theils sich leicht in Linien auflösen liessen.

Bei ihren Untersuchungen über die „Electroluminescenzspectra organischer Verbindungen“ hatten E. Wiedemann und Schmidt<sup>3)</sup> gefunden, dass die Emissionsbanden derselben nicht genau dieselbe Lage haben wie die Absorptionsbanden, und deshalb die Vermuthung ausgesprochen, dasselbe möchte bei den Spectren der Haloide der Fall sein. Es wurde deshalb mit Hülfe des Vergleichsprismas das Absorptionsspectrum einer 2 cm dicken, auf 100° erwärmten Joddampfschicht unmittelbar über dem Emissionsspectrum entworfen. Dabei zeigte sich indess, dass beide einander völlig entsprechen.

*Brom.* Da die Spannung des gesättigten Bromdampfes bei gewöhnlicher Temperatur so hoch ist, dass nur die Funkenentladung stattfinden kann, so muss man entweder ungesättigten Dampf in so geringer Menge in das Rohr einführen, dass sein Druck klein genug bleibt, oder die Temperatur des im Rohre befindlichen flüssigen Broms soweit erniedrigen, bis der derselben entsprechende Sättigungsdruck die erforderliche Kleinheit erreicht. Es wurde die zweite Methode benutzt, indem der eine Schenkel der H-förmigen Entladungsröhre in eine Kältemischung aus fester Kohlensäure und Aether eingebettet wurde. Der Bromdampf, der zunächst in der ganzen

1) Goldstein, l. c.

2) Ebert, Wied. Ann. 53. p. 144. 1894.

3) E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, Wied. Ann. 56. p. 18. 1895.

Röhre unter dem der Zimmertemperatur entsprechenden Sättigungsdruck steht, wird an dieser Stelle stark abgekühlt und condensirt sich daher zu flüssigem bez. festem Brom unter dem dieser tieferen Temperatur entsprechenden Sättigungsdruck. Solange nun an anderen Stellen der Röhre noch flüssiges oder dampfförmiges Brom unter höherem Druck vorhanden ist, muss dasselbe nach der abgekühlten Stelle hindestilliren, solange bis an allen Punkten derselbe niedrigere Druck herrscht, der nur von der Temperatur der Kältemischung abhängt.

Das positive Licht der Glimmentladung war wie beim Jod ungeschichtet, die Farbe röthlich-violett; das Kathodenlicht war geschichtet. Das Spectrum des positiven Lichtes erwies sich als ein dem Absorptionsspectrum entsprechendes Bandenspectrum.

*Quecksilber.* Das Spectrum desselben ist am genauesten untersucht worden von Eder und Valenta<sup>1)</sup>, welche die Existenz eines Bandenspectrums neben dem Linienspectrum nachwiesen und das letztere um eine grosse Anzahl neuer Linien bereicherten. Schon vorher hatte, wie früher bemerkt, Warburg<sup>2)</sup> bei seinen Untersuchungen über das Potentialgefälle im Quecksilberdampf ein continuirliches grünes Band im positiven Licht der Glimmentladung beobachtet, sodass nunmehr statt des einen Linienspectrums drei, oder wenn man mit Eder und Valenta die Linien auch noch zwei verschiedenen zutheilt, gar vier Spectra dieses Metalles bekannt sind. Nach den Beobachtungen Warburg's war es zweifelhaft, ob das continuirliche Spectrum nur mit dem constanten Strom oder auch mit dem Inductorium zu erhalten ist, andererseits war zu untersuchen, ob die Eder-Valenta'schen Banden auch bei der Glimmentladung erscheinen.

Es wurden *längssichtige* Röhren mit 3 und 8 mm Durchmesser benutzt; in den *engen* traten die Hauptlinien des Linienspectrums  $\lambda = 579, 577, 546, 436 \mu\mu$  und bei Drucken über

1) Eder u. Valenta, Wied. Ann. 55. p. 479. 1895. Die fünf Banden reichen vom Grün bis zum Ultraviolett und bestehen aus zahlreichen feinen Linien, deren Intensität an den nach dem Rot zu liegenden scharfen Kanten am grössten ist.

2) Warburg, Wied. Ann. 40. p. 1. 1890.

1 mm (etwa von  $135^{\circ}$  an) ganz schwach das continuirliche grüne Band auf, während das letztere im Lichte der weiteren Seitenschenkel stärker ausgebildet war. Auch die Eder-Valenta'schen Banden waren in diesen engen Röhren zu sehen, aber nur, wenn das eine Ende der Röhre stärker erhitzt wurde, sodass das Hg durch das Verbindungsrohr hindurch destillirte. In ähnlicher Weise hatten Eder und Valenta dieselben erhalten, indem sie Funkenentladungen durch destillirendes Quecksilber gehen liessen. E. Wiedemann und Schmidt, welche dasselbe Resultat mit der Influenzmaschine erzielten, geben nur an, dass höherer Druck und stärkere Erregung die Banden zum Vorschein bringt.

In dem 8 mm weiten Rohr war von diesen Banden nie etwas zu sehen. Dagegen zeigte sich hier bei höheren Drucken (bis zu 10 mm, bei etwa  $180^{\circ}$ ) das continuirliche Spectrum mit fast blendendem Glanze und reichte dabei von Roth bis Indigo, etwa von  $\lambda = 650 \mu\mu$  bis  $\lambda = 435 \mu\mu$ . Es trat jedoch nie allein auf, sondern die Linien, besonders die grüne Hauptlinie  $\lambda = 546 \mu\mu$ , hoben sich deutlich und *scharf* von dem hellen Hintergrunde ab, ein Beweis, dass die beiden Spectra voneinander unabhängig sind. Auflösung des continuirlichen Spectrums in Linien gelang bei der angewandten Dispersion nicht.

Genau dieselben Erscheinungen zeigten sich bei Benutzung des Inductoriums statt des Batteriestromes, nur waren dabei die Linien relativ stärker gegenüber dem continuirlichen Spectrum.

*Cadmium.* Ausser Röhren mit Längsdurchsicht (von 8 mm Weite und 6 cm Länge) wurden cylindrische mit Querdurchsicht von 3 cm Weite und 8—10 cm Länge benutzt. Bei den letzteren, die mit Platin- bez. Aluminiuelectroden versehen waren, wurde der schon früher hervorgehobene Uebelstand sehr empfunden, dass das Platin sich sehr energisch mit dem Cadmiumdampf legirt, wie es scheint, unter Volumvergrösserung, weshalb die Röhren an den Einschmelzstellen sehr bald sprangen und undicht wurden. Die längssichtigen Röhren, welche nach der im § 3 beschriebenen Methode mit Cadmiuelectroden versehen waren, hielten bedeutend länger. Das Temperaturintervall, in welchem die Dampfspannung den Stromdurchgang gestattete, reichte von etwa  $350^{\circ}$  bis  $460^{\circ}$  C.

Sowohl die engeren längssichtigen, wie die weiten cylindrischen Röhren lieferten qualitativ übereinstimmende Spectra, nämlich:

1. das Linienspectrum, in dem die Linien  $\lambda = 643,9, 508,6, 480,0$  und  $467,8 \mu\mu$  am meisten hervortraten, während  $515,5, 466,3, 441,6$  viel schwächer und  $537,9$  nebst  $533,9$  nur zuweilen sichtbar waren. Die übrigen Linien des Funkenspectrums fehlten;
2. bei höheren Drucken ein schwaches continuirliches Band von etwa  $550 \mu\mu$  bis  $450 \mu\mu$ ;
3. zwei aus zahlreichen feinen Linien bestehende Banden, deren scharfe Kanten nach Roth zu liegen und den Wellenlängen  $449,8$  und  $430,0 \mu\mu^1$ ) entsprechen.

Dieselben Resultate ergaben sich bei Anwendung des Inductoriums, nur war hier wieder der continuirliche Hintergrund schwächer, die Linien und Banden unter (1 und 3) stärker entwickelt.

Diese Beobachtungen beziehen sich auf das positive Licht, dass im allgemeinen hellgrün, bei stärkerem Hervortreten der beiden Banden unter 3 (also bei höherem Druck) blau gefärbt war. Im negativen, röthlich scheinenden Licht waren nur die Linien vorhanden, und zwar überwog hier die rothe Linie  $643,9$  die übrigen, während im positiven Licht  $508,6$  und  $480,0$  stärker waren.

Schichtung des positiven Lichtes war in den längssichtigen Röhren nicht zu bemerken, wohl aber in den 3 cm weiten Röhren, wo sie eine der schönsten Erscheinungen dieser Art darbot. Die übereinander liegenden Schichten — je nach den Umständen drei bis fünf — bildeten, sich nach der Anode zu verjüngend, einen Kegel, dessen Spitze mit dem Ende der Anode zusammenfiel. Die der Kathode zugewandten convexen Kuppen derselben leuchteten bei höherer Temperatur — etwa von  $390^\circ$  an, wo die Erscheinung zuerst ganz schwach zu sehen war — mit prächtig indigoblauem Lichte, das im Spec-

1) In einer auf Grund der E. Wiedemann-Schmidt'schen Beobachtungen von Hrn. A. C. Jones ausgeführten Untersuchung „über die verschiedenen Spectra des Cd, Zn etc.“ (Inaug.-Dissert. Erlangen, 1896; Wied. Ann. 62. p. 30. 1897) sind die auf photographischen Messungen beruhenden jedenfalls genaueren Werte  $449,4$  und  $429,9$  angegeben.



trum die beiden Banden (Nr. 3) sehr scharf und deutlich zeigte. Im übrigen waren die Schichten hellgrün.

*Natrium.* Bei etwa 300° (mit dem Quecksilberthermometer gemessen) waren sowohl in Röhren von 3 mm wie 10 mm Weite nur die vom Bogen- und Funkenspectrum her bekannten Linienpaare vorhanden ausser dem Paare 567,6 | 567,0  $\mu\mu$ , das aber auch dort nur sehr schwach ist. Die Linien waren, wie das bei dem noch sehr geringen Dampfdruck zu erwarten war, alle vollkommen scharf. Eine eigenthümliche Erscheinung, die meines Wissens in dieser Art noch nicht beobachtet worden ist, fiel mir dabei auf. Die beiden Componenten eines jeden Paares waren nämlich nicht gleich hell, sondern hatten, wie deutlich zu erkennen war, verschiedene Intensität. Beim *D*-Paar war 589,0  $\mu\mu$  heller als 589,6; bei allen übrigen dagegen überwog die Intensität der Linie mit *grösserer* Wellenlänge, was besonders deutlich bei dem grünen Paare 568,8 | 568,3 hervortrat. Bei dem geringen Farbenunterschied der nur etwa 0,5  $\mu\mu$  auseinander liegenden Linien ist wohl eine optische Täuschung ausgeschlossen, vielmehr scheint hier eine Gesetzmässigkeit vorzuliegen, durch die sich die *D*-Linien von den anderen im sichtbaren Gebiet liegenden Linien unterscheiden. Kayser und Runge<sup>1)</sup> haben auf Grund anderer Eigenschaften die *D*-Linien mit einigen ultravioletten Linien (die übrigens nach Eder und Valenta<sup>2)</sup> auch im Flammenspectrum des Na vorkommen, also jedenfalls in Lockyer'schem Sinne „lange Linien“ sind) zu einer Hauptserie, die übrigen Linien zu zwei Nebenserien zusammengefasst. Es wäre interessant, zu erfahren, ob sich das von mir beobachtete Verhalten der *D*-Linien bezüglich der Intensität, das im Gegensatz zu dem der Linien der Nebenserien steht, auch bei den ultravioletten Gliedern der Hauptserie wiederfindet. Versuche habe ich über diesen Punkt nicht angestellt.

Bei höheren Temperaturen (zwischen 400° und 500°) zeigte sich ausser den Linien noch ein auch von E. Wiedemann und Schmidt beobachtetes grünes Band bei  $\lambda = 500 \mu\mu$ . Leider wurde die Innenwand der Glasröhre so schnell von dem

1) Kayser u. Runge, Wied. Ann. 41. p. 309. 1890.

2) Eder u. Valenta, Denkschr. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien, Math.-naturw. Klasse, 61. 1894.

Natriumdampf unter Ausscheidung dunkelbraunen Siliciums angegriffen, dass bei der dadurch bedingten Schwächung des austretenden Lichtes genauere Beobachtungen nicht möglich waren; es konnte deshalb nicht entschieden werden, ob diese Bande sich bei der von mir benutzten Dispersion in Linien auflösen lässt oder nicht.

Von den Linien zeigten die nunmehr stark verbreiterten *D*-Linien die bekannten Umkehrungserscheinungen, indem in der Mitte des entstandenen breiten gelben Bandes zwei feine dunkle Linien auftraten, die mit zunehmendem Druck selbst breiter wurden. Die übrigen Linien waren scharf und nicht umgekehrt, aber zum grössten Theil sehr schwach.

Zum Schluss wurden *Zinn* und *Blei* untersucht. Letzteres gab gar keine Resultate; selbst bei 600° C. war die Dampfspannung noch zu klein, um den Strom hindurchzulassen. Die Entladungen des Inductoriums gingen zwar hindurch, aber ohne dass Linien des Pb auftraten.

In einer mit Zinn (Sn) gefüllten Röhre von 8 mm Weite wurde bei etwa 480—550° sowohl mit dem constanten Strom wie mit dem Inductorium ein Spectrum erhalten, das aus Linien und Banden bestand; es zeigte sich jedoch, dass die helleren Linien (die schwachen liessen sich nicht messen) sämmtlich dem *Zink* angehörten, das also in dem zur Füllung benutzten, angeblich chemisch reinen Zinn in ziemlicher Menge als Verunreinigung vorhanden gewesen sein muss. Am stärksten waren die Linien  $\lambda = 636$ , 481,0 und 472,2; nächst diesen 467,8, 518 und 508  $\mu\mu$ . Die beiden im Blau liegenden *Banden* waren verwaschen und liessen sich, weil keine scharfen Kanten bestimmt hervortraten, schwer messen. Als Lage der Maxima in denselben wurde  $\lambda = 431,5$  und 425  $\mu\mu$  ungefähr bestimmt. Da ausser den Zinklinien keine anderen hellen Linien zu sehen waren, so konnten auch die Banden nur diesem Metall angehören.<sup>1)</sup>

§ 11. Als Hauptresultate dieser Untersuchung ergeben sich also folgende:

1) In der früher angeführten Arbeit von Jones ist eine dreifache Zinkbande mit drei Maximis bei 430,2, 426,0 und 424,0 angeführt. Sie scheint mit den hier beobachteten Banden identisch zu sein.

1. dass nicht nur die Metalloide, sondern auch Metalle (Hg, Cd, Zn, Na) bei der stetigen Glimmentladung im Geisslerrohr Spectra niederer Ordnung (Bandenspectra) liefern;

2. dass auch die durch das Inductorium erzeugte Glimmentladung dieselben Spectra liefert, nur mit dem Unterschied, dass die an relativ niedrige Temperaturen gebundenen Bandenspectra (besonders die continuirlichen) gegenüber dem Linienspectrum schwächer entwickelt sind als beim constanten Strom.

### III. Die Abhängigkeit der Lichtstrahlung von Stromstärke und Dampfdruck bei Quecksilber und Cadmium.

§ 12. Ueber die Strahlung der Gase unter dem Einfluss der stetigen Glimmentladung in Geissler'schen Röhren und ihre Abhängigkeit von Stromstärke und Druck liegt bisher nur eine Arbeit von K. Ångström<sup>1)</sup> vor, der dieselbe bolometrisch für N, H, O und CO bestimmt hat. Er maass dabei jedoch nicht die Strahlung einzelner bestimmter Wellenlängen, sondern die Gesamtintensität der von der leuchtenden Gas säule ausgesandten Strahlen, unter denen er wieder die Gruppe der Lichtstrahlen für sich betrachtete. Die Resultate, die er erhielt, sind folgende:

1. Bei constantem Druck wächst die Strahlung direct proportional der Stromstärke. Dies gilt sowohl für die Gesamtstrahlung, wie auch für die Lichtstrahlung allein.<sup>2)</sup>

2. Mit wachsendem Druck nimmt bei gleicher Stromstärke die Gesamtstrahlung zu, die Lichtstrahlung dagegen ab. Es ändert sich also das Verhältniss zwischen den Strahlungsgrössen verschiedener Wellenlängen so, dass mit abnehmendem Druck die kürzeren Wellen relativ stärker hervortreten.

Ångström drückt dies letztere noch etwas anders mit folgenden Worten aus:

„Mit abnehmendem Druck rückt der Schwerpunkt der Energie im Spectrum nach der Seite der kürzeren Wellenlänge hin.“

1) K. Ångström, Nova Acta Reg. Soc. Scient. Upsal. 3. 9. April 1892; Wied. Ann. 48. p. 493. 1893.

2) In einer zur Orientirung dienenden Untersuchung hatte Ångström die Abhängigkeit photometrisch gemessen und ebenfalls Proportionalität gefunden.

Untersuchungen, welche speciell die *Lichtstrahlung* der Gase in Geissleröhren betreffen, sind ausserdem von Lagarde<sup>1)</sup> für Wasserstoff ausgeführt worden. Er maass die relativen Intensitäten der Linien  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  spectrophotometrisch, benutzte jedoch eine enge Capillarröhre und das Inductorium, sodass seine Resultate nicht ohne weiteres weder mit den Ångström'schen noch mit den meinigen vergleichbar sind. Er fand übrigens: 1. dass die Intensität dieser drei Linien schneller zunimmt als die Stromstärke und mit dieser durch eine Exponentialfunction  $l = e^{ai-b}$  verbunden ist, worin  $l$  und  $i$  Lichtintensität und Stromstärke,  $a$  und  $b$  zwei Constante sind, und 2. dass bei gleicher Stromstärke die Lichtintensität mit zunehmendem Drucke *kleiner* wird.

§ 13. Die im Folgenden mitgetheilten Untersuchungen beziehen sich auf die Intensität bestimmter Wellenlängen in den sichtbaren Spectren von Quecksilber und Cadmium bei der stetigen Glimmentladung. Es wurden durchgehends Röhren mit Längsdurchsicht benutzt, da nur diese die genügende Lichtstärke lieferten.

Bezüglich der in den Tabellen enthaltenen Zahlenangaben ist zu bemerken, dass nur solche Beobachtungsreihen zur Verwendung kamen, bei denen erstens die Temperatur des Heizbades, also auch der Druck in der Entladungsröhre während der Messungen hinreichend constant blieb, und zweitens cyklische Veränderung der Variablen (Stromstärke, Temperatur) wieder dieselben Werthe der Strahlung ergab. Constanz der Temperatur wurde angenommen, wenn die maximalen Schwankungen derselben während einer längeren Beobachtungsreihe beim Quecksilber  $1^\circ$  C. nicht überstiegen; beim Cadmium sind die als zulässig erachteten Grenzen etwas weiter, weil es bei der höheren Temperatur (gegen  $400^\circ$  C.) bereits schwieriger war, dieselbe völlig constant zu halten, doch betragen sie nicht mehr als  $2-3^\circ$ . Die Werthe der Stromstärke  $i$  sind Mittelwerthe aus vier bis fünf, zum Theil sogar noch mehr Bestimmungen, weil bei derartigen Strömen mit hoher Spannung und grossen Widerständen die Stromstärke nicht so constant ist wie bei niedrigen Spannungen.

1) Lagarde, Ann. de Chim. et Physique (6) 4. p. 248. 1885.

Ebenso sind die Zahlen, welche die Stärke der Strahlung angeben ( $l = 10^3 \cdot \text{tg}^2 \alpha$  bez.  $10^2 \cdot \text{tg}^2 \alpha$ ), Mittelwerthe aus je 2—4 Paar Einstellungen des Nicols in zwei gegenüberliegenden Quadranten, nur selten wurden mehr als 4 Einstellungen gemacht. Die an sich sehr wünschenswerthe Vermehrung derselben verbot sich einmal durch die damit verbundene längere Dauer einer Beobachtungsreihe, welche die Constanz der Temperatur gefährdete; besonders aber durch die ausserordentlich starke Ermüdung des Auges, durch welche die so gewonnene grössere Genauigkeit wieder in Frage gestellt worden wäre.

§ 14. Um die Genauigkeit der Resultate einigermaassen beurtheilen zu können, bestimmte ich nach dieser Methode für die Stickstoffbande  $\lambda = 606 \mu\mu$  (bei dem Druck von etwa 1 mm die hellste des ganzen Stickstoffspectrums) die Abhängigkeit der Lichtstrahlung von der Stromstärke. Der Stickstoff war in der früher beschriebenen Weise aus atmosphärischer Luft hergestellt und zeigte im Spectroskop keine Verunreinigungen durch andere Gase; der Druck wurde mit einem MacLeod'schen Manometer gemessen. Es wurden zwei Röhren mit Aluminiumelectroden und Durchmessern von 3 und 10 mm benutzt. Dieselben standen während der Beobachtungen dauernd mit der Pumpe in Verbindung. Die Tabellen 1 und 2 enthalten zwei derartige Messungen;  $p$  ist der Druck in Millimeter Quecksilber auf  $0^0$  reducirt,  $2R$  der Rohrdurchmesser;

Tabelle 1.

N,  $2R = 1$  cm,  $p = 1,17$  mm.

$i$	$l$	$l/i = a$
1,35	44	31,9
1,90	64	33,7
2,76	87	31,5
2,88	89	30,9
3,58	117	32,7
4,28	138	32,2
5,08	178	35,0
5,24	177	33,8
6,55	220	33,6
6,78	230	33,9

Mittelwerth von  $a$  32,92.

Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. 65.

Tabelle 2.

N,  $2R = 3$  mm,  $p = 0,94$  mm.

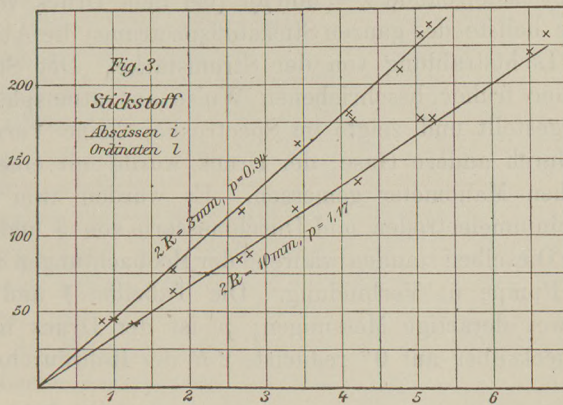
$i$	$l$	$l/i = a$
0,96	45	46,9
1,01	46	45,6
1,79	77	43,0
2,76	119	43,1
3,50	162	46,3
4,19	185	44,2
4,22	177	42,0
4,82	212	44,0
5,15	232	45,1
5,27	241	45,7

Mittelwerth von  $a$  44,59.

in Columne 1 sind die Stromstärken  $i$  in Milliampères angegeben, Columne 2 enthält unter  $l$  die Werthe  $10^3 \cdot \text{tg}^2 \alpha$  bez.  $10^2 \cdot \text{tg}^2 \alpha$ , Columne 3 die Werthe der Quotienten  $l/i$ , die mit  $a$  bezeichnet werden mögen.

Die Entfernung der Entladungsröhre vom Photometerspalt betrug in beiden Fällen etwa 6,5 cm, die der Vergleichslampe 25 cm. Die Strahlung ist wegen des geringeren Querschnittes der Röhre in Tab. 2 etwa zehnmal so stark wie in 1. Die Resultate sind graphisch in Fig. 3 dargestellt.

Man ersieht aus den Tabellen, dass der Quotient  $l/i$  einen nahezu constanten Werth besitzt. Die Abweichungen der einzelnen Werthe vom Mittel betragen in beiden Fällen höchstens



6 Proc.; innerhalb dieser Genauigkeitsgrenzen gilt daher in Uebereinstimmung mit den Angström'schen Resultaten die lineare Function  $l = a \cdot i$ .

Ich führe nun im Folgenden zunächst die Resultate an, welche für die Beziehungen zwischen Strahlungsintensität und Stromstärke bei Hg und Cd gefunden wurden.

#### A. Abhängigkeit der Strahlung von der Stromstärke beim Quecksilber und Cadmium.

§ 15. Beim Quecksilber wurden Röhren von 3 mm (Nr. I) und 8 mm Weite (Nr. II), beim Cadmium nur solche von 8 mm benutzt. Jene hatten Platin- oder Quecksilberelectroden, diese Cadmiumelectroden. Die Messungen beziehen sich auf die

Linien  $\lambda = 546$  und  $\lambda = 579$  beim Hg,  $\lambda = 643,9 \mu\mu$  beim Cd. Die Tabellen 3 bis 9 enthalten die diesbezüglichen Werthe;  $i$  ist die Stromstärke in Mikroampères,  $l$  die Grösse  $10^3 \cdot \text{tg}^2 \alpha$ ,  $t$  die Temperatur des Heizbades in Celsiusgraden,  $p$  der Sättigungsdruck des Dampfes bei der gemessenen Temperatur,  $a$  wieder der Quotient  $l/i$ .

Tabelle 3.

Quecksilber,  $\lambda = 546 \mu\mu$ ,  $2R = 3 \text{ mm}$ . $t = 116^\circ$ ,  $p = 0,65 \text{ mm}$ . $t = 127^\circ$ ,  $p = 1,1 \text{ mm}$ .

$i$	$l$	$a$	$i$	$l$	$a$
71	171	2,41	73	157	2,15
154	304	1,97	94	182	1,94
237	416	1,76	229	330	1,44
338	456	1,35	294	369	1,26
387	518	1,34	437	438	1,00
483	592	1,23			
513	567	1,11			

 $t = 138^\circ$ ,  $p = 1,8 \text{ mm}$ . $t = 117,5^\circ$ ,  $p = 0,7 \text{ mm}$ .

$i$	$l$	$a$	$i$	$l$	$a$
66	86	1,30	142	288	2,03
133	118	0,89	211	388	1,84
198	156	0,79	298	484	1,62
295	203	0,69	382	545	1,43
408	245	0,60	439	578	1,32
429	286	0,66			
454	294	0,65			

Tabelle 4.

Quecksilber,  $\lambda = 579 \mu\mu$ ,  $2R = 3 \text{ mm}$ . $t = 117^\circ$ ,  $p = 0,7$ . $t = 128,0$ ,  $p = 1,2$ . $t = 138^\circ$ ,  $p = 1,8$ .

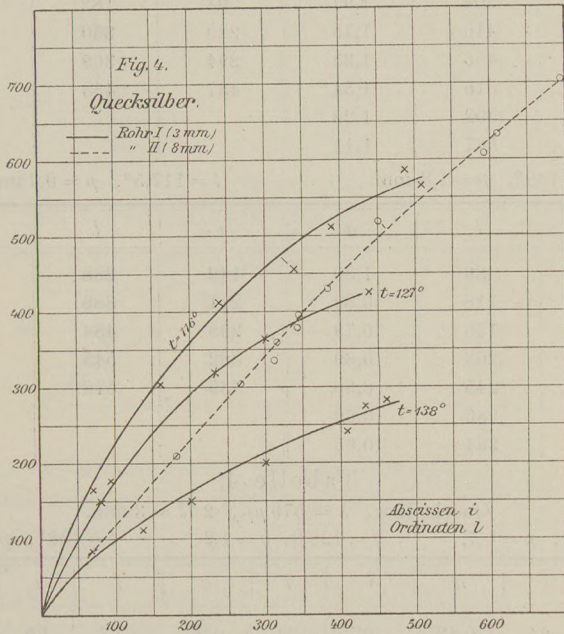
$i$	$l$	$a$	$i$	$l$	$a$	$i$	$l$	$a$
81	35	0,43	97	24	0,25	167	29	0,17
119	41	0,35	179	46	0,26	271	34	0,13
141	43	0,31	270	56	0,21	407	47	0,12
198	55	0,28	386	60	0,16	423	47	0,11
253	67	0,27	391	65	0,16			
335	73	0,22						
378	86	0,23						
446	100	0,22						
498	97	0,19						

Tabelle 5.

Quecksilber,  $\lambda = 546 \mu\mu$ ,  $2R = 8 \text{ mm}$ ,  $i = 126,5^\circ$ ,  $p = 1,1$ .

$i$	$l$	$\alpha$	$i$	$l$	$\alpha$
181	219	1,21	369	436	1,18
262	309	1,18	448	522	1,17
310	386	1,08	588	603	1,03
312	363	1,16	601	637	1,06
336	394	1,17	697	711	1,02
345	383	1,11			

Die Werthe von  $l$  in Tab. 5 sind mit denen in Tab. 3 nicht vergleichbar, da die Entfernungen der Röhre und Ver-



gleichlampe vom Photometerspalt nicht dieselben waren. Die Tab. 3 und 5 sind graphisch in Fig. 4 dargestellt, die gestrichelte Curve gilt für das 8 mm weite Rohr Nr. II (Tab. 5); als Abscissen sind die Werthe  $i$ , als Ordinaten die von  $l$  aufgetragen. Es ergibt sich aus den Tabellen folgendes:

1. Bei constantem Druck wächst die Strahlung mit zunehmender Stromstärke, aber nicht proportional derselben,



sondern langsamer, da das Verhältniss  $\alpha = l/i$  mit wachsendem  $i$  durchweg kleiner wird.

2. Die relativen Aenderungen des Quotienten  $l/i$ , also die Abweichung der Curven, welche  $l$  als Function von  $i$  darstellen, von geraden Linien ist am grössten bei geringem Rohrdurchmesser, während sie, wie Tab. 5 ergibt, bei 8 mm Rohrweite nur sehr gering sind.

Bezeichnet man nämlich die Werthe, welche  $\alpha = l/i$  für den kleinsten und grössten Werth der Stromstärke  $i$  annimmt, mit  $\alpha'$  bez.  $\alpha''$ , so erhält man für die relative Abnahme von  $\alpha$ , nämlich  $(\alpha' - \alpha'')/\alpha'$ , folgende Werthe:

$t$	Rohr I			Rohr II
	116°	127°	138°	126,5°
$\frac{\alpha' - \alpha''}{\alpha'}$	0,54	0,49	0,50	0,16

Die Abnahme beträgt also im ersten Fall etwa 50 Proc., im letzteren nur 16 Proc. des grössten Werthes. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die  $\alpha'$  und  $\alpha''$  entsprechenden Werthe von  $i$  ( $i'$  und  $i''$ ) nicht in demselben Verhältniss zu einander stehen, da der Quotient  $i'/i''$  für das Rohr I (Tab. 3) etwa 6 bis 7, für II (Tab. 5 aber nicht ganz 4 beträgt. Es ist daher, wenn man die Resultate miteinander vergleichen will, für dieses nicht 16 Proc., sondern ungefähr das Doppelte anzunehmen. Aber auch so ist der oben hervorgehobene Unterschied noch deutlich zu erkennen. Woher derselbe stammt, ob die Verschiedenheit der Stromdichte ihn bedingt, oder ob auch die Rohrwände wegen ihres Wärmeleitvermögens einen gewissen Einfluss ausüben, der natürlich bei engerem Querschnitt grösser ausfallen muss, darüber geben die Versuche keine Auskunft. Sicher ist nur, dass bei hinreichend weitem Querschnitt und dadurch bedingter *kleiner* Stromdichte die Lichtintensität der Stromstärke *nahezu* proportional ist.

Ich habe versucht, die Beziehung zwischen  $l$  und  $i$  durch eine quadratische Function mit zwei Constanten darzustellen, und gefunden, dass sich ein Ausdruck von der Form

$$l = \sqrt{Ai + B^2} - B$$

am besten dazu eignet. Die Gleichung stellt eine Parabel dar, deren Axe parallel der  $i$ -Axe liegt.

Sie hat jedoch nur den Werth einer Interpolationsformel, welche den Gang der Function annähernd darstellt.

§ 16. Da sich für das engere Rohr Nr. I keine einfache Beziehung zwischen Strahlung und Stromstärke ergab, so untersuchte ich, ob vielleicht eine solche zwischen der Strahlung und der durch Stromstärke und Potentialgefälle bestimmten Stromarbeit besteht. Zu dem Zweck wurde ein Rohr von denselben Dimensionen wie Nr. I mit dünnen Platinsonden versehen, deren Spitzen sich an den Einmündungsstellen der Mittellöhre in die Seitenschenkel befanden, wo sie bis zur Mitte hineinragten. Bis auf die Spitze waren sie mit einem angeschmolzenen Glasmantel umgeben. Zur Messung der Potentialdifferenz, welche diese Sonden beim Stromdurchgang annahmen, diente ein Braun'sches Electrometer, dessen ursprünglich in Intervalle von je 100 Volt getheilte Scala so vervollständigt wurde, dass man Differenzen von 10 Volt ablesen konnte; einzelne Volt liessen sich annähernd schätzen. Calibriert wurde es mit Hilfe der successive hintereinander geschalteten Elementgruppen der Hochspannungsbatterie, deren Potentiale vor- und nachher mit dem Raps'schen Präcisionsvoltmeter bestimmt wurden. In dem zur Messung in Betracht kommenden Intervall von 150—370 Scth. erwiesen sich die Nadelausschläge proportional dem wahren Werth der Potentiale.

Tab. 6 zeigt die Resultate der Messungen,  $i$  ist wieder die Stromstärke in Mikroampères,  $v$  das Potentialgefälle zwischen den 10 cm voneinander entfernten Sonden in Volt,  $i \cdot v$  die Stromarbeit in Tausendstel Watts.

Tabelle 6.

Hg, Rohr III,  $2R = 3$  mm,  $\lambda = 546$ ,  $t = 119,5^\circ$ ,  $p = 0,8$ .

$i$	$v$	$i \cdot v$	$l$	$l/i$	$l/i v$
96	256	24,6	200	2,08	8,13
174	236	41,0	278	1,60	6,78
212	225	47,4	366	1,73	7,72
260	211	54,8	399	1,54	7,28
302	197	59,4	414	1,37	6,97
334	194	64,6	419	1,26	6,49
348	197	68,6	418	1,20	6,10

Aus dieser Tabelle ergibt sich zunächst folgendes:

1. Der Potentialgradient (d. h. das Potentialgefälle in Volt pro Centimeter) im positiven Quecksilberglimmlicht nimmt mit wachsender Stromstärke ab.

2. Die Grösse des Gradienten schwankt in dem in Betracht kommenden Versuchsbereich und bei einer Rohrweite von 3 mm zwischen 25,6 und 19,4 Volt, beträgt also im Mittel etwa 23 Volt.

Warburg<sup>1)</sup> hatte ihn in einem 5,7 cm weiten Rohr bei 150°—190° (3—14 mm Druck) zwischen 30 und 40 Volt gefunden; er scheint demnach bei höherem Druck grösser zu sein, eine Eigenschaft, die sich auch bei anderen Gasen gezeigt hat. Die Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke lässt sich annähernd durch einen linearen Ausdruck  $v' = a - bi$  darstellen. Die Constanten  $a$  und  $b$  sind nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet als  $a = 27,91$ ,  $b = 0,02535$ .  $a$  ist der Maximalwerth, welchen  $v'$  für unendlich kleine Stromstärke annehmen würde,  $b$  die Abnahme des Gradienten für die Zunahme 1 der Stromstärke, d. h. für 1 Mikroampère. Tab. 7 enthält die beobachteten und berechneten Werthe des Gradienten  $v'$ .

Tabelle 7.

$v'$ beob.	$v'$ ber.	$v'$ beob.	$v'$ ber.
25,6	25,48	19,7	20,25
23,6	23,50	19,4	19,44
22,5	22,54	19,7	19,09
21,1	21,32		

§ 17. Was nun die Beziehungen zwischen  $l$  und  $i$  bez.  $iv$  betrifft, so giebt Fig. 5 einen Ueberblick über dieselben. Für Curve 1 stellen die Abscissen die Stromstärke in Mikroampères dar, für 2 die Stromarbeit in Zehntausendstel Watt, die Ordinaten sind in beiden Fällen  $l$ . Man sieht, dass Curve 2 etwas gestreckter ist als 1, aber bei weitem noch keine gerade Linie darstellt, dass also auch zwischen  $l$  und der Stromarbeit keine einfachere Beziehung besteht.

1) Warburg, Wied. Ann. 40. p. 1. 1890.

Dasselbe Resultat ergibt sich aus der Betrachtung der Werthe  $l/i$  und  $l/vi$  in Tab. 6. Beide zeigen eine stetige Abnahme mit wachsendem  $i$ . Setzt man wie früher

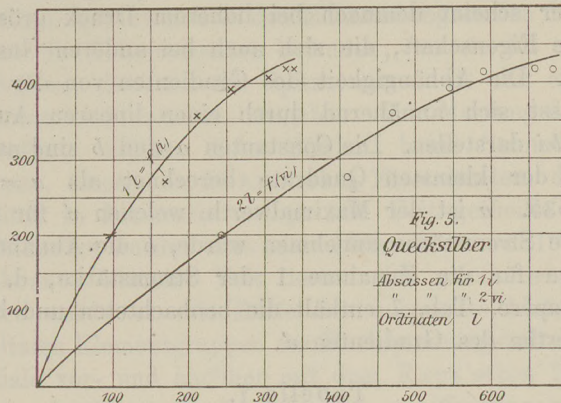
$$\frac{l}{i} = a, \quad \frac{l}{iv} = b$$

und bildet

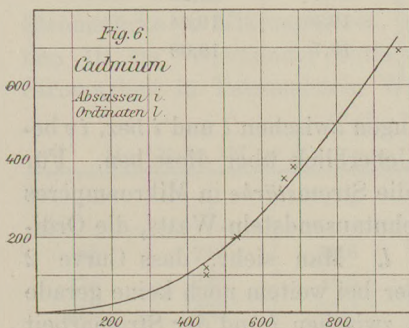
$$\frac{a' - a''}{a'} = A, \quad \frac{b' - b''}{b'} = B,$$

so erhält man

$$A = \frac{2,08 - 1,20}{2,08} = 0,42, \quad B = \frac{8,13 - 6,10}{8,13} = 0,25.$$



Die relative Abnahme des Quotienten ist im zweiten Falle etwas über die Hälfte derjenigen im ersten, die Curve, welche  $l$  als Function der Stromarbeit darstellt, daher schwächer gekrümmt; sie beträgt aber immer noch 25 Proc. des grössten Werthes bei Vergrößerung der Stromarbeit auf das Dreifache des Anfangswerthes.



§ 18. Beim Cadmium habe ich nur mit einem 8 mm weiten Rohre Versuche angestellt und zwar für die

rothe Linie  $\lambda = 643,9$ . Es ergab sich, dass die Strahlung dieser Linie schneller zunimmt, als die Stromstärke, da der

Quotient  $l/i$  mit wachsendem  $i$  selber zunimmt. In Tab. 8 ist eine diesbezügliche Beobachtungsreihe mitgetheilt.

Tabelle 8.

Cadmium,  $2R = 8 \text{ mm}$ ,  $t = 404,5^\circ$ .

$i$	$l$	$a$	$i$	$l$	$a$
447	103	0,230	659	342	0,519
449	119	0,265	683	384	0,562
521	201	0,386	961	683	0,710

Fig. 6 zeigt den Verlauf der Curve für diesen Fall, die Stromstärken sind ebenso wie in der Tabelle in Mikroampères angegeben.

#### B. Abhängigkeit der Strahlung vom Dampfdruck.

§ 19. Ausser von der Art und Stärke des erregenden Stromes hängt die Strahlung von Druck, Dichte und Temperatur des Gases ab, von welchen drei Grössen jedoch nur zwei beliebig gewählt werden können, da vermöge der Zustandsgleichung die dritte jedesmal durch die Werthe der beiden anderen bestimmt ist. Welche von ihnen man als unabhängige Variable betrachten und hinsichtlich ihres Einflusses auf die Strahlung untersuchen will, ist zunächst ganz beliebig und wird lediglich durch Gründe der Zweckmässigkeit und Bequemlichkeit bestimmt. Da der Druck am leichtesten und sichersten zu messen ist, so liegt es am nächsten, ihn als eine derselben zu benutzen. Um seinen Einfluss *allein* zu bestimmen, müsste man aber noch die andere Zustandsvariable (Temperatur oder Dichte) constant halten. Das ist jedoch sowohl bei den Ångström'schen, als auch erst recht bei meinen Versuchen nicht streng erfüllt, denn im allgemeinen variirt bei constant gehaltener Stromstärke mit dem Druck auch der Potentialgradient, folglich die Stromarbeit pro Cubikcentimeter und infolge dessen die Erwärmung der Gastheilchen. Bei meinen Versuchen, bei denen gesättigter Dampf benutzt wurde, musste ohnehin schon der Dampf auf verschiedene Temperaturen erhitzt werden, um die gewünschten Drucke zu erzeugen. Die von Ångström für N, H und CO, sowie von mir für Hg und Cd ermittelte Beziehung zwischen Strahlung und Druck ist

daher keine reine Function des letzteren, sondern enthält als „verborgene Coordinate“ noch die Temperatur. Einen wie grossen Einfluss bei constant gehaltenem Druck dieselbe bei Quecksilber und Cadmium hat, ist unbekannt; beim Stickstoff ist er jedenfalls nur sehr gering, wie aus einem Versuch von Hrn. Herz<sup>1)</sup> folgt, welcher fand, dass die Helligkeit der Glimmentladung sich nicht änderte, wenn bei constanter Stromstärke und constantem Druck das Entladungsrohr auf etwa 100° C. erwärmt wurde. Wahrscheinlich überwiegt übrigens auch bei Quecksilber und Cadmium in den folgenden Versuchen der Einfluss des Druckes bei weitem den der Temperatur, schon aus dem Grunde, weil die Temperaturänderungen relativ klein sind gegen die Druckänderungen.

§ 20. Die Wirkungen, welche Druckänderungen auf das Spectrum der Glimmentladung ausüben, können nun folgende sein:

1. Kann bei gleicher Energiezufuhr (bez. constanter Stromstärke) die absolute Grösse des in Strahlung umgesetzten Theiles derselben mit dem Druck variiren.

2. Kann sich die relative Intensitätsvertheilung zwischen den einzelnen Linien desselben Spectrums ändern, wozu auch Verbreiterung der Linien durch Hinzutreten benachbarter Schwingungen gehört.<sup>2)</sup>

3. Kann sich die relative Vertheilung der Intensität zwischen mehreren gleichzeitig nebeneinander auftretenden Spectren verschiedener Ordnung ändern.

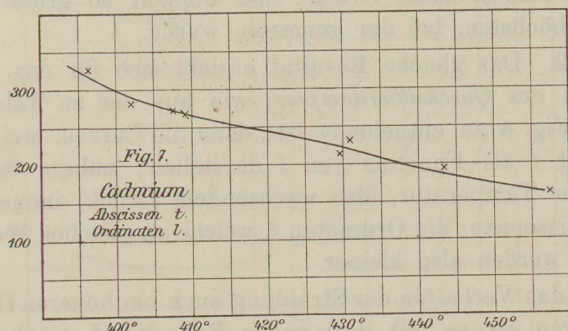
Ist wie beim Stickstoff nur *ein* einheitliches Spectrum (Bandenspectrum) vorhanden, so kommen nur die unter 1. und 2. genannten Möglichkeiten in Betracht; beide hat Ångström in der That bestätigt gefunden. Treten jedoch wie beim Quecksilber und Cadmium gleichzeitig mehrere Spectra verschiedener Ordnung unter dem Einfluss der Glimmentladung auf, so muss man alle drei Fälle berücksichtigen. Da man ohne genaue Kenntniss der gesammten in den einzelnen Spectren enthaltenen Energiemengen nicht entscheiden kann, auf welche von diesen möglichen Ursachen etwaige Intensitäts-

1) Vgl. Warburg, Wied. Ann. 54. p. 265. 1895.

2) Es mag hier gleich bemerkt werden, dass die Linien bei den folgenden Messungen sich nicht verbreiterten, sondern bei jedem Druck gleichmässig scharf und schmal blieben.

änderungen an einer Stelle im Spectrum zurückzuführen sind, derartige Bestimmungen jedoch mit den angewandten Hilfsmitteln nicht auszuführen waren, so habe ich mich darauf beschränkt, zu untersuchen, ob und in welchem Sinne Zustandsänderungen des Dampfes, speciell Druckänderungen, einen Einfluss auf die Strahlung bestimmter Wellenlängen ausüben.

§ 21. Ich beginne mit *Cadmium*, bei dem wieder die rothe Linie  $\lambda = 643,9 \mu\mu$  zur Messung benutzt wurde, theils weil das Auge in dieser Spectralregion nicht so schnell ermüdet, theils weil hier nicht wie im grünen und blauen Gebiet ein, wenn auch schwaches, continuirliches Spectrum vorhanden ist, das bei höheren Drucken die Intensität der in ihm liegenden Linien zu gross erscheinen lässt. Tab. 9' giebt die Re-



sultate der Messung, Fig. 7 eine graphische Darstellung derselben. Die Stromstärke betrug 680 Mikroampère,  $t$  ist die Temperatur des Heizbades in Celsiusgraden, durch welche der Druck  $p$  im Innern des Rohres bestimmt ist.<sup>1)</sup>

1) In meiner Dissertation habe ich angegeben, dass die Dampfspannung des Cd noch nicht gemessen sei. Nachträglich habe ich jedoch gefunden, dass Barus dieselbe schon bestimmt hat. (Phil. Mag. (5) 29. p. 141. 1890.) Nach der von ihm angegebenen Formel

$$\log p = -30,567 - \frac{1391}{T} + 11,180 \log T,$$

worin  $T$  die absolute Temperatur bedeutet, sind die obigen Werthe des Druckes berechnet. Allerdings können sie auf Genauigkeit keinen allzu-grossen Anspruch machen, da Barus selbst seine Resultate als nur annähernd richtig bezeichnet. Vermuthlich sind sie etwas zu klein.

Tabelle 9.

Cadmium,  $\lambda = 643,9$ ;  $2R = 8$  mm;  $i = 680 \cdot 10^{-6}$  Amp.

$t$	$p$	$l$	$t$	$p$	$l$
396,5°	1,0	324	430,0°	2,1	213
402,0	1,1	272	430,5	2,2	231
407,5	1,3	260	443,0	2,8	197
409,0	1,3	260	457,0	3,8	167

Es ergibt sich hieraus, dass die Intensität der Linie  $643,9 \mu\mu$  bei constanter Stromstärke erheblich durch den Dampfzustand beeinflusst wird, indem sie bei geringerer Temperatur, also kleinem Druck, fast doppelt so gross ist wie bei der höchsten, bei der gemessen wurde.

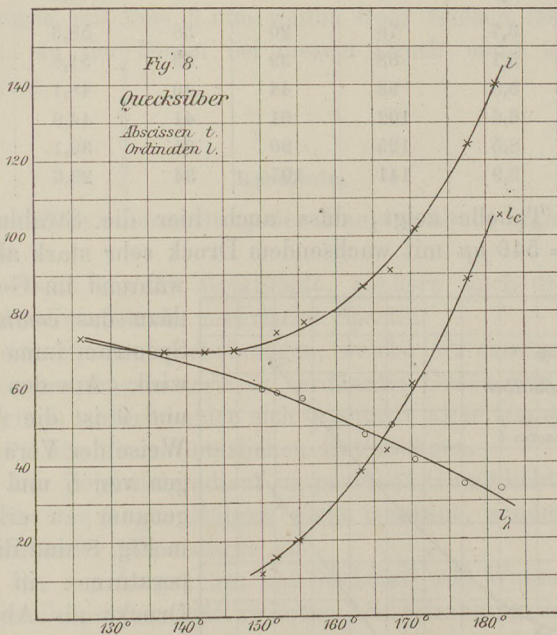
§ 22. Das gleiche Resultat ergibt sich für das Linienspectrum des *Quecksilberdampfes*, wie aus der zu Tab. 3 gehörigen Fig. 4 zu entnehmen ist; denn die Curven, welche die Intensität  $l$  als Function von  $i$  darstellen, nähern sich mit steigender Temperatur, also wachsendem Druck, immer mehr der Abscissenaxe; die Ordinaten  $l$ , welche zu gleichen Werthen  $i$  gehören, werden also kleiner.

Um das Verhalten der Strahlung auch bei höheren Drucken zu studiren als es mit dem engen Rohr Nr. I möglich war, wurden besondere Versuche darüber mit dem 8 mm weiten Rohr Nr. II angestellt, bei denen die Temperatur zwischen  $125^{\circ}$  und  $180^{\circ}$ , der Druck also zwischen 1 und 10 mm variirte. Hier konnte aber nicht mehr der für die Wellenlänge  $\lambda = 546 \mu\mu$  beobachtete Werth  $l$  der Linie  $\lambda = 546$  zugeschrieben werden, sondern es musste darauf Rücksicht genommen werden, dass das continuirliche Spectrum ebenfalls Licht von derselben Wellenlänge enthält, dass also die gemessene Intensität  $l$  sich als Summe der Intensitäten der Linie  $l_i$  und des continuirlichen Spectrums  $l_c$  darstellt. Um  $l_i$  zu erhalten, muss man ausser  $l$  noch  $l_c$  kennen. Nun kann man dies zwar nicht direct messen, wohl aber die Intensitäten der unmittelbar benachbarten grösseren und kleineren Wellenlängen und aus diesen  $l_c$  als arithmetisches Mittel ableiten, was erlaubt ist, weil die Intensität im continuirlichen Spectrum sich stetig mit



der Wellenlänge ändert. Durch besondere Versuche überzeugte ich mich ferner, dass die Intensitäten zu beiden Seiten der Linie so wenig verschieden waren, dass man in Anbetracht der Beobachtungsfehler diese Differenz vernachlässigen und einfach die auf *einer* Seite neben  $\lambda = 546$  gemessene Intensität für  $l_c$  setzen konnte, wodurch die Beobachtungen sehr erleichtert wurden.

Tab. 10 enthält unter  $l$  und  $l_c$  die direct gemessenen Werthe dieser Grössen, unter  $l_\lambda$  die Differenzen  $l - l_c$ ,  $t$  ist wieder die Temperatur des Heizbades und  $p$  der derselben



entsprechende Druck des gesättigten Quecksilberdampfes. Die Stromstärke betrug 700 Mikroampères.

Dass in der Column 4 ( $l_c$ ) die drei ersten Werthe fehlen, erklärt sich durch die Lichtschwäche des continuirlichen Spectrums, welche die Messung unmöglich machte. Infolge dessen kann man hier auch nicht  $l_\lambda$  berechnen und die mit einem Stern versehenen Werthe  $l$ , welche für  $l_\lambda$  gesetzt sind, sind etwas zu gross, während  $l_\lambda = 73$  nahezu richtig sein

wird, da bei diesem Druck (1 mm) das kontinuierliche Spectrum kaum erst zu sehen ist.

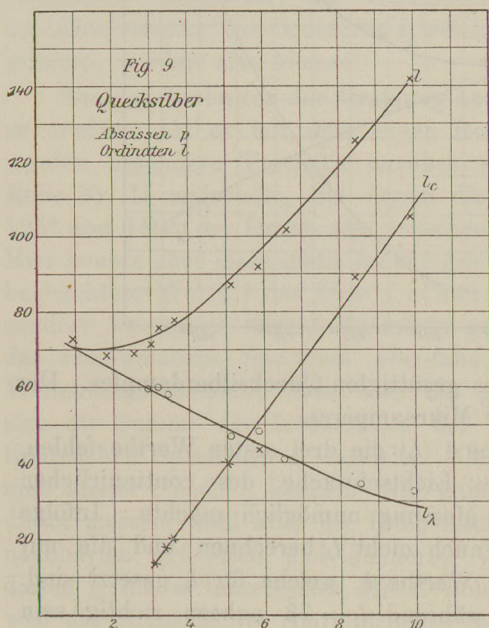
Tabelle 10.

Quecksilber,  $\lambda = 546$ ;  $2R = 8$  mm;  $i = 700 \cdot 10^{-6}$  Amp.

$t$	$p$	$l$	$l_c$	$l_\lambda$	$l_\lambda$ ber.	$l_c$ ber.
125,7	1,0	73	—	73	70,8	—
140,2	1,9	69	—	69*	66,7	—
146,7	2,5	70	—	70*	63,9	—
150,3	3,0	72	12	60	61,6	10,5
152,6	3,3	77	17	60	60,2	14,6
155,7	3,7	78	20	58	58,3	20,2
164,1	5,1	88	39	49	51,8	39,7
167,4	5,9	93	44	49	48,1	50,9
170,3	6,6	102	61	41	44,9	60,6
177,9	8,5	125	90	35	36,1	87,1
182,0	9,9	141	107	34	29,6	106,6

Die Tabelle zeigt, dass auch hier die Strahlung der Linie  $\lambda = 546 \mu\mu$  mit wachsendem Druck sehr stark abnimmt,

während im Gegensatz dazu das kontinuierliche Spectrum immer heller wird. Aus den Figg. 8 und 9 ist die Art und Weise der Veränderungen von  $l_\lambda$  und  $l_c$  noch genauer zu erkennen; in Fig. 8 sind die Temperaturen, in 9 die Drücke als Abscissen,  $l$ ,  $l_c$  und  $l_\lambda$  als Ordinaten aufgetragen. Die Helligkeitszunahme des kontinuierlichen, wie die Abnahme des Linienspectrums ist danach nahezu proportional der Druckzunahme. Die Colum-  
nen 6 und 7 der Tab. 10



enthalten die auf Grund linearer Functionen  $l_c = a + bp$  bez.  $l_i = a' - b'p$  berechneten Werthe von  $l_i$  und  $l_c$ , welche das Gesagte bestätigen.

Der Schnittpunkt der beiden Curven  $l_i$  und  $l_c$  liegt ungefähr bei der Abscisse  $p = 5,9$  mm ( $t = 167^0$ ); bei diesem Druck haben also beide die gleiche Helligkeit. Wahrscheinlich ist die Lage dieses Punktes abhängig von der Stromdichte, ändert sich also bei verschiedenen Röhrenweiten, denn nach Warburg's Beobachtungen war in einem 5,7 cm weiten Rohr bei diesem Druck von einer Linie, die sich von dem hellen Hintergrunde abgehoben hätte, nichts zu sehen. Meine eigenen Beobachtungen mit dem 3 mm weiten Rohr reichen leider nicht so weit, da der Strom bei diesem Druck nicht mehr hindurch ging.

#### Resultate.

Eine Zusammenstellung der Hauptresultate ergibt somit folgendes:

1. Nicht nur die Metalloide, sondern auch die Metalle zeigen im Geisslerrohr mehrfache Spectra.

2. Die Spectralerscheinungen, welche der constante Strom der Hochspannungsbatterie in verdünnten Gasen und Dämpfen hervorbringt, unterscheiden sich qualitativ *nicht* von denjenigen bei schwachen discontinuirlichen Entladungen.

3. Der Potentialgradient im positiven Glimmlicht ist beim Quecksilber in engen Röhren nicht constant, sondern nimmt mit wachsender Stromstärke ab.

4. Die von Ångström bei Stickstoff und Wasserstoff beobachtete Proportionalität zwischen Lichtstrahlung und Stromstärke gilt beim Quecksilber- und Cadmiumdampf nicht; beim Cadmium wächst die Intensität der Linien schneller, beim Quecksilber langsamer als die Stromstärke. Die Abweichung vom Proportionalitätsgesetz wird bei Hg mit abnehmender Rohrweite grösser.

5. Bei constanter Stromstärke nimmt die Intensität der Linien im Hg- wie im Cd-Spectrum mit steigendem Druck *ab*, die des continuirlichen Spectrums dagegen *zu*.



Zum Schluss erlaube ich mir, meinem hochverehrten Lehrer, Hrn. Prof. Warburg, der mir die Anregung zu dieser Arbeit gegeben, sowie bei der Ausführung durch Rath und That seine Hülfe hat angedeihen lassen, meinen aufrichtigen Dank dafür auszusprechen.

Berlin, Physik. Inst. der Universität. December 1897.

(Eingegangen 27. Mai 1898.)

**ELBS, KARL, Die Akkumulatoren.** Eine gemeinfassliche Darlegung ihrer Wirkungsweise, Leistung u. Behandlung. 2. Aufl. 48 S. mit 3 Fig. 1896. M. 1.—

Das Schriftchen giebt eine äusserst klare und gemeinverständliche Erklärung des Principis der Akkumulatoren, sowie die Regeln für deren Behandlung und Benutzung. Es wendet sich nicht nur an Chemiker und Physiker, sondern ebenso an Physiologen, Gymnasial- und Mittelschullehrer, Ärzte und Zahnärzte, welche aus Unkenntnis oft schlimme Erfahrungen mit Akkumulatoren machen.

**ERHARD, TH., Einführung in die Elektrotechnik.** Die Erzeugung starker elektrischer Ströme und ihre Anwendung zur Kraftübertragung. VI, 183 Seiten mit 96 Abbildungen. geh. M. 4.—, geb. M. 4.80

Das vorliegende Buch soll angehenden Ingenieuren in kurzer Form und genügend begründet die Hauptsätze vorführen, auf denen die heutige Starkstromtechnik beruht, und gewissermassen die Mitte halten zwischen einerseits denjenigen Werken, welche, für die Bedürfnisse ausführender Elektrotechniker geschrieben, tief in die Einzelheiten des Gebietes eingehen, und andererseits denjenigen Büchern, welche von den geringsten Vorkenntnissen ausgehend für den Ingenieur zu wenig bieten.

**HELMHOLTZ, H. v., Vorlesungen über theoretische Physik.** In 6 Bänden. Bisher erschienen:

I. Band, 2. Abt.: Dynamik discreter Massenpunkte, herausgegeben von Otto Krigar Menzel. 1898. M. 15.—, geb. M. 16.50

III. Band: Mathematische Principien der Akustik, herausgegeben von Arthur König und Carl Runge. XIV, 256 S. mit 21 Figuren. 1898. M. 12.—, geb. M. 13.50

V. Band: Elektromagnetische Theorie des Lichtes, herausgegeben von Arthur König und Carl Runge. XII, 370 S. mit 54 Figuren. 1897. M. 14.—, geb. M. 15.50

Mit allseitiger Freude wird es begrüsst werden, dass die Vorlesungen des grossen Gelehrten nun doch noch gedruckt erscheinen werden. Sie sind hochbedeutend, da in ihnen Forschungsergebnisse niedergelegt sind, die H. anderweitig noch nicht veröffentlicht hatte.

**HELMHOLTZ, H. v., Wissenschaftliche Abhandlungen.** 3 Bände. Mit 2 Porträts und 8 lithographisch. Tafeln in Leinen gebunden unbeschnitten M. 58.— (I. Band VIII, 938 Seiten. 1882. M. 20.—. II. Band VIII, 1021 Seiten. 1883. M. 20.—. III. Band XXXIX, 655 Seiten. 1895. M. 18.—)

Die wissenschaftlichen Arbeiten von Helmholtz sind von beträchtlichem Einfluss auf den Entwicklungsgang der theoretischen Physik unserer Zeit gewesen. Durch die Vereinigung der seiner Zeit als Einzeldrucke oder in verschiedenen wissenschaftlichen Zeitschriften erschienenen Arbeiten in gleichmässigem modernen Wiederabdruck werden dieselben der wissenschaftlichen Welt bequemer zugänglich gemacht.

**HERTZ, H., Gesammelte Werke.** Band I. Schriften vermischten Inhalts. Etwa 380 Seiten mit vielen Fig., 1 Tafel. Einleitung von Ph. Lenard u. Porträt des Verf. 1895. Preis M. 12.—. Band II. Untersuchungen über die Ausbreitung der elektr. Kraft. VIII, 296 S. m. 40 Fig. 2. Aufl. 1895. M. 6.—. Band III. Die Principien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt. Mit einem Vorwort von H. v. Helmholtz. XXIX, 312 S. 1894. M. 12.—. In Halbfranz gebunden jeder Band M. 1.50 mehr.

Das Lebenswerk des früh dahingegangenen Gelehrten liegt in den vorstehenden drei Bänden nun abgeschlossen vor. Je mehr man sich in die geistvollen und klaren Darstellungen versenkt, um so mehr bedauert man, dass der Tod seinem Wirken ein so kurzes Ziel gesteckt hat.

**HEYDWEILLER, AD., Hilfsbuch für die Ausführung elektrischer Messungen.** VIII, 262 Seiten mit 58 Figuren. 1892. geh. M. 6.—, geb. M. 7.—

Das Buch wird jedem willkommen sein, der, sei es zu rein wissenschaftlichen Zwecken, sei es bei praktischem Bedarf mit elektrischen Messungen zu thun hat. Es enthält wohl alle Methoden, die in neuerer Zeit bekannt geworden sind. Dabei ist auf Fehlerquellen und Korrekturen besondere Rücksicht genommen.

**KIRCHHOFF, G. R., Gesammelte Abhandlungen.** VIII, 641 Seiten mit Porträt und 2 lithograph. Tafeln. 1882. In Leinen geb. unbeschnitten. M. 15.—

Dazu: **BOLTZMANN, L., Nachtrag.** 137 Seiten mit einer Tafel. 1892. M. 3.60

Die Sammlung enthält Aufsätze aus dem Gebiete der Lehre von der Electricität und vom Magnetismus, über Elasticität, Optik, Hydrodynamik, Wellentheorie, Wärmetheorie und über Emission und Absorption von Licht und Wärme und schliesst mit den berühmten Abhandlungen über Spektralanalyse. Der von Boltzmann nach Kirchhoff's Tode zusammengestellte Nachtrag bildet die willkommene Ergänzung zu dem Hauptwerk.

**L ODGE, OLIVER J.**, Neueste Anschauungen der Anna v. Helmholtz und Estelle Du durch Richard Wachsmuth. XII, 550 1896.

Hermann v. Helmholtz erklärte einst die eigenartigen Anschauungen einer weiteren Verbreitung für wert. Zwar mag es den deutschen Leser befremden, von den auf diesem Gebiete so tief eingreifenden Arbeiten unserer Landsleute kaum etwas erwähnt zu finden. Aber die besondere Bedeutung dieses Buches beruht ja gerade darauf, dass es ganz einseitig den Standpunkt der Cambridger Schule, der orthodoxen Schüler Maxwells, wiedergibt. Maxwells Theorie ist aber gegenwärtig durch die epochemachenden Untersuchungen von Hertz vielfach bestätigt und dadurch wieder in den Brennpunkt des Interesses gerückt.

**L OMMELE, E. von**, Lehrbuch der Experimentalphysik. Vierte Auflage. IX, 558 Seiten mit 430 Fig. u. 1 Spectraltafel. 1897. geh. M. 6,40, geb. M. 7,20

Das „Lehrbuch der Experimentalphysik“, aus den Vorträgen des Verfassers entstanden ist bestrebt, die Grundlehren der Physik, ohne weitläufige mathematische Entwicklungen, dem heutigen Standpunkte unserer Kenntnisse gemäss allgemeinverständlich darzustellen. Unter Anknüpfung an alltägliche Erfahrungen und leicht anzustellende Versuche sind die Thatsachen überall zum Ausgangspunkte gewählt. Die Darstellung ist immer anziehend und klar. So reich die Litteratur an Lehrbüchern der Physik ist, war doch ein wirklich brauchbares Buch über die ganze Physik unter Berücksichtigung der neuen Forschungen auf dem Gebiete der Electricität ein Bedürfnis, was auch daraus hervorgehen dürfte, dass seit Erscheinen der 1. Auflage im Jahre 1893 sich jetzt schon die 4. (Doppel-) Auflage nötig gemacht hat.

**MACH, E.**, Die Prinzipien der Wärmelehre, historisch-kritisch dargestellt. Mit vielen Abbild. im Texte u. 6 Porträts. 1896. M. 10.—, geb. M. 11.—

Das vorliegende Buch stellt sich eine analoge Aufgabe wie die „Mechanik“ desselben Verf. Es strebt nach erkenntniskritischer Aufklärung der Grundlagen der Wärmelehre, legt die Thatsachen dar, unter deren Eindruck die Begriffe der Wärmelehre entstanden sind, und zeigt wie weit und warum erstere von letzteren durchleuchtet werden.

**MACH, E.**, Populär-wissenschaftliche Vorlesungen. VIII, 336 Seiten mit 46 Abbildungen. 2. Aufl. 1897. geh. M. 5.—, geb. M. 5,75

Inhalt: I. Die Gestalten der Flüssigkeit. II. Über die Cortischen Fasern des Ohres. III. Die Erklärung der Harmonie. IV. Zur Geschichte der Akustik. V. Über die Geschwindigkeit des Lichtes. VI. Wozu hat der Mensch zwei Augen. VII. Die Symmetrie. VIII. Bemerkungen zur Lehre vom räumlichen Sehen. IX. Über die Grundbegriffe der Elektrostatik (Menge, Potential, Capacität u. s. w.). X. Über das Prinzip der Erhaltung der Energie. XI. Die ökonomische Natur der physikalischen Forschung. XII. Über Um- bildung und Anpassung im naturwissenschaftlichen Denken. XIII. Über das Prinzip der Vergleichung in der Physik. XIV. Über den Einfluss zufälliger Umstände auf die Entwicklung von Erfindungen und Entdeckungen. XV. Über den relativen Bildungswert der philologischen und der mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts-fächer der höheren Schulen.

**POGGENDORFF'S Biographisch-literarisches Handwörterbuch** zur Geschichte der exakten Wissenschaften, enthaltend Nachweisungen über Lebensverhältnisse und Leistungen von Mathematikern, Astronomen, Physikern, Chemikern, Mineralogen, Geologen, Geographen u. s. w. aller Völker und Zeiten. III. Band (die Jahre 1858 bis 1883 und viele Ergänzungen umfassend) herausg. von Dr. W. Feddersen u. Prof. A. von Oettingen. X, 1498 Seiten. M. 45.—, geb. M. 49.—

Mit allseitiger Freude wird es begrüsst werden, dass eine Fortsetzung und Ergänzung dieses einzig dastehenden Werkes erschienen ist. Sie ist mit Zustimmung und auf Veranlassung des Herrn Dr. W. Feddersen, der bereits einen Teil des Materials von Poggendorff erhalten und das Werk bis 1883 im Manuscript fortgeführt hatte, von Herrn Professor Dr. A. von Oettingen besorgt. Der soeben fertig gewordene Bd. III schliesst sich direkt an Poggendorff's Werk an und reicht bis 1883 incl., der geplante Bd. IV soll die Zeit von 1884 bis 1900 umfassen.

*Der Preis von Band I u. II ist auf M. 28.—, geb. M. 34.— ermässigt.*

**WIEDEMANN, E.**, Das neue physikalische Institut der Universität in Erlangen. 56 Seiten mit 8 Figuren im Text und 7 Tafeln. 1896. M. 6.—

Eine genaue Beschreibung des mit allen modernen Hilfsmitteln ausgestatteten Instituts, die nicht nur für die Institutsvorsteher an Hochschulen, sondern auch für Architekten, Baumeister, elektrotechn. Fabriken etc. von Interesse ist.