

**6. Die Gesetze der Temperaturstrahlung  
und die Intensitätsverteilung im Spektrum  
der Quecksilberlampe;  
von A. Pflüger.**

---

1. Die Bestrebungen zur Schaffung eines brauchbaren Molekülmodelles machen quantitative Messungen in Linien- und Bandenspektren dringend wünschenswert. Zu dieser Frage einen Beitrag zu liefern ist der Zweck der nachfolgenden Untersuchungen, deren Veröffentlichung ich, durch andere Umstände an ihrer raschen Weiterführung verhindert, nicht länger hinausschieben möchte.

Man findet die experimentelle Literatur bis zum Jahre 1903 in einer Arbeit von K. Langenbach<sup>1)</sup> verzeichnet, der die Intensitätsverhältnisse der Spektren leuchtender Gase in Geisslerröhren photometrisch untersucht und wahrscheinlich gemacht hat, daß sich das Intensitätsmaximum wie bei der Temperaturstrahlung mit wachsender Belastung der Röhren (wachsender Temperatur) nach dem Violett verschiebt. Außer diesen und den in der gegenwärtigen Abhandlung erwähnten sind mir nur die Arbeiten von Vaillant<sup>2)</sup> und Castelli<sup>3)</sup> bekannt geworden.

Photometrische Messungen beschränken sich auf das Gebiet des sichtbaren Spektrums und bedürfen der Beziehung auf ein Spektrum bekannter Energieverteilung. Entschieden vorzuziehen ist ihnen die Benutzung der Thermosäule oder des Bolometers, die innerhalb der vorläufig anzustrebenden Genauigkeitsgrenze direkt vergleichbare Werte auch für die unsichtbaren Spektralgebiete liefern. Sie haben gegenüber photometrischen Beobachtungen den Nachteil geringer Empfindlichkeit und bedürfen darum starker Lichtquellen. Messungen an

---

1) K. Langenbach, Ann. d. Phys. 10. p. 789. 1903.

2) P. Vaillant, Compt. rend. 142. p. 81. 1906.

3) E. Castelli, Phil. Mag. 14. p. 784. 1907.

gewöhnlichen Geissleröhren sind mit ihnen nicht ausführbar und man ist beschränkt auf solche Spektren, die sich in großer Intensität herstellen lassen.

Als solche kommen zunächst die Funkenspektren der Metalle in Betracht. Ich habe gezeigt<sup>1)</sup>, daß diese ein Maximum der Intensität im äußersten Ultraviolett besitzen und daß auch die stärkeren Linien in anderen Teilen des Spektrums ausreichen, um Messungen mit der Thermosäule zu gestatten. Unzweifelhaft deutet das starke ultraviolette Maximum auf interessante Gesetzmäßigkeiten hin, die zu untersuchen eine wichtige Aufgabe wäre. Indessen gehören dazu größere Mittel als diejenigen des hiesigen Instituts. Denn es kommt offenbar darauf an, die Erzeugung der Funken unter ganz einfachen experimentellen Bedingungen vorzunehmen. Die gewöhnliche Methode mittels Induktorium und Kapazität führt zu unübersichtlichen und verwickelten elektrischen Verhältnissen, deren Entwirrung wieder komplizierte Hilfsapparate und entsprechende Versuchsfehler bedeutet, — Fehler, die im Verein mit den Übelständen des zur Thermosäule gehörigen hochempfindlichen Galvanometers keine zuverlässigen und reinlichen Messungen gestatten würden. Nur eine Gleichstromquelle von sehr hoher Spannung kann hier in Frage kommen, die aber im hiesigen Institut nicht zur Verfügung steht.

Nun besitzen wir mit der Heraeus'schen Quecksilberlampe ein verhältnismäßig einfach gebautes Spektrum von sehr hoher Intensität. Ihre Konstanz, auf die es bei ausgedehnten Messungen ankommt, ist befriedigend und die äußeren Bedingungen, unter denen sie brennt, lassen sich leicht reproduzieren. In der Tat haben die Herren Küch und Retschinsky<sup>2)</sup> durch sorgfältige Vergleichung photometrischer Aufnahmen des Spektrums eine Reihe interessanter Gesetzmäßigkeiten aufgefunden. Diese Resultate waren nunmehr quantitativ nachzuprüfen und auf meine Bitte hat mir die Firma W. C. Heraeus in lebenswürdigster Weise die benutzten für den speziellen Zweck gebauten Quarzlampen überlassen. Ich spreche der

---

1) A. Pflüger, Ann. d. Phys. 13. p. 890. 1904.

2) R. Küch u. T. Retschinsky, Ann. d. Phys. 20. p. 563. 1906; 22. p. 595 u. 852. 1907.

Firma und den Herren Küch und Retschinsky auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank aus.

2. Zum Verständnis des folgenden ist es wünschenswert, die Besonderheiten der Quarz-Quecksilberlampe und die Ergebnisse der genannten Forscher kurz anzuführen.

Die elektrische Charakteristik der Lampe ist abhängig von der aus den Elektroden entwickelten Dampfmenge, und diese von der Kühlung der Elektroden. Schaltet man Vorschaltwiderstand aus, so kann man durch *starke* Kühlung (Luftstrom oder Wasserspülung) bewirken, daß Dampfdruck und Klemmenspannung konstant bleiben und nur die Stromstärke wächst. Umgekehrt wachsen Dampfdruck und Spannung stark, die Stromstärke bleibt konstant, wenn man die Kühlung entsprechend schwächer wählt. In beiden Fällen steigt mit wachsender Wattbelastung die Temperatur zu sehr hohen Werten an. Sorgt man für gleichmäßige Kühlung, so kann man die Lampe stundenlang bei beliebig gewählter Stromstärke und Spannung mit befriedigender Konstanz brennen lassen. Die Empfindlichkeit der Lampe gegen die Kühlung ist indessen sehr groß und eine vollkommene Konstanz nur sehr schwierig und selten zu erreichen.

Bei niedriger Belastung erfüllt der Lichtbogen den ganzen Querschnitt des Lampenrohres, bei hoher Belastung zieht er sich auf einen Faden von ca. 5 mm Durchmesser zusammen.

Die wesentlichsten Resultate der Strahlungsmessungen von Küch und Retschinsky sind die folgenden:

Mit wachsender Temperatur (wachsender Wattbelastung) wächst die ultraviolette Gesamtstrahlung schneller als die sichtbare (Messung mit photoelektrischem Strom).

Im kontinuierlichen Grunde des sichtbaren Spektrums wächst die Intensität kürzerer Wellen schneller als die der längeren (photometrische Messung).

Im Linienspektrum zeigen die Linien ein gruppenweise verschiedenes Anwachsen der Intensität (photometrische Messung).

Die Linien werden verschieden stark innerhalb des leuchtenden Quecksilberdampfes absorbiert und zwar ergibt sich eine deutliche Gesetzmäßigkeit, indem in allen Serien die Linien kleiner Wellenlängen weniger absorbiert werden als diejenigen großer Wellenlängen (Vergleich photographischer Aufnahmen

des aus verschiedenen dicken Schichten des Dampfes stammenden Spektrums).

Von nahe beieinander liegenden Linien wird die stärkere am stärksten absorbiert (Vergleich photographischer Aufnahmen; es sei schon hier bemerkt, daß dies Resultat in solcher Allgemeinheit nicht zutrifft, sondern vermutlich nur innerhalb einer Serie gilt).

Erhöht man die Belastung, so kann man das Wachstum der Intensität mit steigender Temperatur verfolgen, vorausgesetzt, daß man den Dampfdruck durch gute Kühlung konstant hält, um die Verbreiterung der Linien zu verhindern. Dann wächst die Intensität der kürzeren Wellenlängen schneller als die der langsamen (Vergleich photographischer Aufnahmen. Auch dies Resultat gilt, wie unten gezeigt werden soll, nur innerhalb einer Serie).

Schon häufig ist die Vermutung geäußert worden, daß die bekannten Strahlungsgesetze bis zu einem gewissen Grade auch bei Linienspektren zutreffen, wenn man nur Linien derselben Serie miteinander vergleicht. Zu weitertragenden Schlüssen bedarf es indessen ausreichenden Beobachtungsmateriales, mit dessen Beschaffung die nachfolgenden Untersuchungen einen Anfang machen. Es gilt, bei verschiedenen Belastungen (Temperaturen) der Lampe die Intensität und Absorption verschiedener Linien miteinander zu vergleichen.

#### Die Versuchsanordnung.

3. Die benutzten Lampen sind von Küch und Retschinsky ausführlich beschrieben. Ich beschränke mich auf die Angabe, daß zwei Lampen aus Quarzröhren von 46 cm Länge und 2 cm Weite, mit planparallelen angeschmolzenen Quarzverschlußplatten bestehen. Eine dritte hat 10 cm Länge. Diese drei, „Längslampen“ genannt, dienen für Längsdurchsicht und sind für Wasserkühlung eingerichtet.

Die vierte „Querlampe“ hat die gewöhnliche Form der Heraeus'schen Quarzlampen, mit Kühlung durch Kupferkühlrippen. Sie ist mit seitlich angeschmolzenen planparallelen Quarzplatten ausgerüstet, um den Lichtbogen in Querdurchsicht benutzen zu können. Die Kühlung kann durch einen

gegen die Kühlrippen gerichteten Luftstrom verstärkt werden, wobei die Konstanz indessen nicht sehr befriedigend ist. Dasselbe gilt von der Wasserkühlung der anderen Lampe. Es treten häufig kleine Schwankungen ein, die besonders bei Differenzmessungen sehr nachteilig sind, und zu ständiger Kontrolle und vorsichtiger Beurteilung der Messungen nötigen.

Die Beobachtungen wurden teils mittels eines Lummer-Brodhunschen Photometers, teils mittels eines sehr lichtstarken Spektrometers (Objektive 61 mm Öffnung, Öffnungsverhältnis 1:5) mit Rubensscher Thermosäule im Okular und Panzergalvanometer ausgeführt. Für das sichtbare Spektrum diente ein großes Flintglasprisma. Im Ultraviolett wurde ein großes Steinsalzprisma von  $60^\circ$  brechendem Winkel benutzt, dessen brechende Flächen durch Quarzplatten, mit Glycerin aufgekittet, geschützt sind. Ein solches Prisma verbindet den Vorzug der Billigkeit mit viel größerer Dispersion (zwischen 358 und  $231 \mu\mu$   $11^\circ$ ) gegenüber einem Quarzprisma ( $4^\circ 40'$ ). Für die gegenwärtige Untersuchung war dies von Hrn. Hans Heele in Berlin in vorzüglicher Qualität angefertigte Prisma wegen seiner großen Lichtstärke ( $5 \times 12$  cm Fläche) von unschätzbarem Wert. Genauere Beschreibung gebe ich an anderer Stelle. Die zugehörigen Quarzlinsen haben 5 cm Durchmesser und 32 cm Brennweite für *D*-Licht.

Eine Beobachtungsreihe dauert im allgemeinen eine bis mehrere Stunden. Es hängt von Zufälligkeiten ab, ob die Lampen während dieser Zeit genügende Konstanz bewahren und das Galvanometer keine allzu unberechenbaren Nullpunktswanderungen infolge der starken Heizkraft der großen Lampen und der dadurch bedingten Ungleichmäßigkeit der Zimmertemperatur ausführt. Es kommt hinzu die starke Ozonentwicklung der Lampen, die ein dauerndes Verweilen nur bei guter Ventilation des Beobachtungsraumes möglich macht. Eine Abdeckung der Lampen hätte diese Unannehmlichkeiten nur zum Teil beseitigt und dafür ihre bequeme Zugänglichkeit verhindert. Infolge dieser Umstände waren die Beobachtungen sehr zeitraubend. Zahlreiche Beobachtungsreihen mußten verworfen werden, wenn die Konstanz der Anordnung sich in unkontrollierbarer Weise geändert hatte.

## Intensitätsmessungen an Serienlinien.

4. Wir stellen uns zunächst die Aufgabe, das relative Wachstum der Intensität von Linien derselben Serie mit wachsender Belastung der Lampe zu bestimmen. Wachsende Belastung bedeutet wachsende Temperatur des leuchtenden Dampfes. Ohne behaupten zu wollen, daß die Strahlung des Dampfes eine Temperaturstrahlung sei, wird es doch von Interesse sein zu untersuchen, ob und in welchem Maße die Gesetze der Temperaturstrahlung wenigstens qualitativ befolgt werden.

Ich setze zunächst eine Tabelle der Serienlinien des Quecksilberspektrums hierher.<sup>1)</sup> Man vergleiche auch die photographische Aufnahme des Spektrums in der Arbeit von Kühn und Retschinsky.<sup>2)</sup>

Tabelle 1.

Serienlinien des Quecksilberspektrums.

$\lambda$	1. Neben- serie	2. Neben- serie	$\lambda$	1. Neben- serie	2. Neben- serie
5460,97		3 <sub>I</sub>	2803,69	6 <sub>I</sub>	
4358,56		3 <sub>II</sub>	2759,83		6
4046,78		3 <sub>III</sub>	2752,91		4
3663,46	4 <sub>I</sub>		2699,74	7 <sub>I</sub>	
3663,05			2675,20		7
3655,00			2655,29	5 <sub>II</sub>	
3650,31			2653,86		
3341,70		4	2652,22		
3131,95	4 <sub>II</sub>		2576,31		5
3131,66			2536,12	5 <sub>III</sub>	
3125,78			2534,89		
3027,66	5 <sub>I</sub>		2482,14	6 <sub>II</sub>	
3025,79			2462,15		5
3023,64			2446,96		6
3021,68	4 <sub>III</sub>		2399,64	7 <sub>II</sub>	
2967,64			2378,40	6 <sub>III</sub>	
2967,97			2345,41		6
2925,51		5	2301,75	7 <sub>III</sub>	
2893,87		4			

1) Nach Kayser's Handbuch der Spektroskopie 2. p. 545.

2) Ann. d. Phys. 22. Taf. IV. 1907.

Wir unterscheiden zwei Serien von Triplets. Von letzteren sind die für uns wichtigsten durch angehängte römische Ziffern als zusammengehörig bezeichnet und wir werden die Linien später durch diese Bezeichnungsweise charakterisieren. Die beiden Tripletserien sind sehr wahrscheinlich als sechs, durch Gesetzmäßigkeiten in zwei Gruppen geteilte Serien aufzufassen und unsere Untersuchungen werden diese Auffassung bestätigen. Wir sehen ferner, daß die Linien der ersten Nebenserie eine sehr komplizierte Struktur haben. Die erste jedes Triplets besteht aus vier, die zweite aus drei, die dritte aus zwei Komponenten. In der Tabelle sind diese Komponenten nur bei den Triplets 4 und 5 angegeben.

Nun ist die Dispersion des Spektralapparates zu gering, und die hohe für die Thermosäule erforderliche Intensität bedingt eine zu große Breite des Spaltes, als daß wir diese Komponenten voneinander trennen könnten. Unsere Messungen werden daher nur die Gruppe als ganzes betrachten. Aus demselben Grunde müssen wir solche Linien von der Messung ausschließen, denen andere starke Linien zu sehr benachbart sind, um bei dieser Spaltbreite von ihnen getrennt zu werden. Endlich ist das ganze Gebiet 250—260  $\mu\mu$  auszuschließen, da hier der Quecksilberdampf eine auch im nicht leuchtenden Zustande vorhandene sehr starke Absorptionsbande besitzt (vgl. weiter unten) und schließlich sind insbesondere in der zweiten Nebenserie viele Linien zu schwach. Es bleiben somit von der ersten Nebenserie nur die folgenden Glieder übrig:

$4_I$	$5_I$	$6_I$	$7_I$
$4_{II}$	$5_{II}$	$6_{II}$	$7_{II}$
$4_{III}$		$6_{III}$	

von der zweiten Nebenserie nur:

$3_I$	$3_{II}$	$3_{III}$
-------	----------	-----------

5. *Erste Nebenserie.* Zu den Messungen dienten Querlampe und Thermosäule, wobei durch Quarzlinsen ein Bild des Bogens auf den Spalt des Spektrometers entworfen oder auch die Lampe direkt vor den Spalt gestellt wurde. Um größtmögliche Konstanz zu erzielen, wurde auf künstliche Kühlung verzichtet, und somit die bei wachsender Belastung eintretende Spannungssteigerung und damit Verbreiterung der Linien in Kauf

genommen. Diese Verbreiterung ist übrigens außerordentlich gering und nur bei sehr großer Dispersion merkbar. Die Methode war schon aus dem Grunde bei der Querlampe nötig, weil man bei konstanter Spannung zur Erzielung einer genügend großen Belastungsdifferenz größere Stromstärken hätte wählen müssen, als die Lampe verträgt.

Gemessen wurde bei zwei verschiedenen Belastungen, deren kleinere noch gerade genügend große Galvanometerausschläge gab, unter ständiger Kontrolle sowohl der Wattbelastung mittels eines Präzisionsampere- und Voltmeters, wie der Empfindlichkeit des Galvanometers. Wenn die Spannung und Stromstärke während der ganzen Dauer des Versuches sich nur in geringem Maße änderte, wurde Proportionalität der Intensität der Strahlung mit der Wattbelastung als in sehr kleinen Bereichen richtig angenommen (nach vorhergehenden Kontrollversuchen) um sämtliche Messungen auf gleiche Belastung reduzieren zu können. Überschritt die Änderung 3 Proz., so wurde die Messung verworfen. Die Messungen wurden mehrfach wiederholt, und in einer Sitzung sowohl sämtliche Linien, als auch einzelne Triplets und Glieder mit gleicher römischer Indexziffer für sich untersucht.

Da unsere Messungen zunächst nur relative sind, wurde weder auf die geringe Verbreiterung der Linien mit wachsender Spannung, noch auf die Zusammenschnürung und die Veränderung der Struktur des Lichtbogens mit wachsender Belastung Rücksicht genommen. Ich glaube, daß diese Vernachlässigungen auf die Allgemeinheit der Resultate ohne Einfluß sind.

Die Tab. 2 und 3 geben die Messungsergebnisse für eine willkürlich herausgegriffene Beobachtungsreihe an sämtlichen Linien der ersten Nebenserie für die Belastungen 300 und 600 Watt. Diese Ergebnisse decken sich durchaus mit denen der übrigen Beobachtungsreihen.

Tab. 2 gibt die reduzierten Galvanometerausschläge. Die Einrichtung der Tabelle ist ohne Erläuterung verständlich. Skt. bedeutet Skalenteile. Die eingeklammerten Zahlen bedeuten das Verhältnis der Skalenteile und damit der Intensität der Linien größerer Wellenlänge zu der nachfolgenden.



Tabelle 2.

Intensität der Linien der ersten Nebenserie:

1. bei 800 Watt Belastung.

	4		5		6		7
I	260 Skt.	(3,80)	68,5 Skt.	(2,97)	23 Skt.	(2,37)	9,7 Skt.
II	186 „	(4,71)	39,6 „	(2,93)	13,5 „	(2,50)	5,4 „
III	38,9 „				5,7 „		

2. bei 600 Watt Belastung.

	4		5		6		7
I	878 Skt.	(3,34)	262 Skt.	(2,58)	101 Skt.	(1,91)	52,8 Skt.
II	508 „	(2,95)	172 „	(2,45)	70,4 „	(2,35)	29,9 „
III	138 „				29,0 „		

Trotz der oben erwähnten Vernachlässigungen lassen diese Zahlen aufs deutlichste die Gesetzmäßigkeiten in der Intensitätsverteilung erkennen. Würde man die Galvanometeraussschläge einfach nach Wellenlängen ordnen, so erhielte man folgende Reihe mit der größten Wellenlänge beginnend:

878 508 262 138 101 52,8 172 70,4 29,9 29,

also keine erkennbare Gesetzmäßigkeit. Wohl aber tritt diese hervor beim Betrachten der Tab. 2. Wir sehen, daß wir die

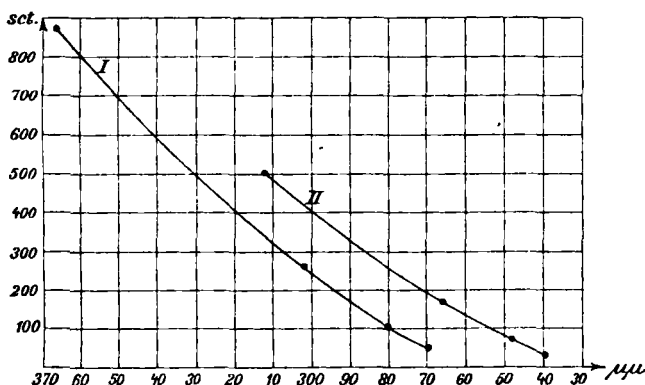


Fig. 1. Intensitätsverteilung in den Teilserien I und II der ersten Nebenserie bei 600 Watt Belastung.

*Tripletserie in drei selbständige Serien zerfallen können, deren jede von den Gliedern mit gleicher römischer Indexziffer gebildet wird. Innerhalb jeder dieser Serien fällt die Intensität mit abnehmender Wellenlänge, und zwar ist die Intensitätskurve deutlich nach unten konvex. Dies Verhalten ist ganz analog dem der Intensitätskurve der Temperaturstrahlung, auf der kurzwelligen Seite des Maximums.*

*Auch innerhalb eines jeden Triplets fällt die Intensität mit abnehmender Wellenlänge.*

Endlich schwanken die Intensitätsverhältnisse zwischen zwei aufeinanderfolgenden Gliedern jeder Serie zwischen ca. 5:1 und 2:1, und nehmen innerhalb jeder Serie mit abnehmender Wellenlänge ab — ein Umstand, der bei der Konstruktion von Molekülmodellen zu beachten ist.

Noch deutlicher treten die Analogien zur Temperaturstrahlung hervor, wenn man Tab. 3 betrachtet. Die Zahlen dieser Tabelle bedeuten die Verhältnisse der Intensitäten derselben Linie bei wachsender Belastung (wachsender Temperatur). Die Zahl 4,35 in der zweiten Horizontalreihe bedeutet z. B., daß die Intensität der Linie 5<sub>II</sub> bei Steigerung der Wattbelastung von 300 auf 600 Watt im Verhältnis 1:4,35 gewachsen ist.

Tabelle 3.

Intensitätssteigerung von Linien der ersten Nebenserie bei Belastungssteigerung von 300 auf 600 Watt.

	4	5	6	7
I	3,36	3,82	4,38	5,43
II	2,73	4,35	5,22	5,53
III	3,43	—	5,10	—

Man sieht wiederum, wie die Tripletserie sich ungezwungen in drei selbständige Serien zerfallen läßt. In jeder dieser drei Serien ist das Gesetz der Temperaturstrahlung, nämlich schnelleres Anwachsen der kürzeren Wellen, qualitativ erfüllt. Es gilt nicht, wenn man die drei Glieder desselben Triplets oder die Tripletserie als Ganzes betrachtet, d. h. wenn man die Zahlen nur nach abnehmender Wellenlänge ordnet.

6. Allerdings bedürfen unsere Ergebnisse einer Einschränkung. Denn die Gesetze der Temperaturstrahlung beziehen sich auf die Funktion  $E/A$ , wo  $E$  die Intensität der Strahlung für die betreffende Wellenlänge,  $A$  das Absorptionsvermögen bedeutet. Nur wenn  $A=1$  ist, d. h. wenn der leuchtende Dampf für die betreffende Wellenlänge als undurchlässig bezeichnet werden kann, ist unser Schluß ein bündiger. Nun haben aber die Untersuchungen von Küch und Retschinsky gezeigt, daß  $A$  für die Querlampe zwar von beträchtlicher Größe, aber nicht gleich 1 ist, und meine Nachprüfungen haben dies bestätigt. Ferner werden nach Küch und Retschinsky in allen Serien die Linien kleiner Wellenlänge schwächer absorbiert, und dies würde die Funktion  $E/A$  für die kleineren Wellen im Verhältnis größer machen als in unserer Tabelle. Wenn ferner in jeder Serie das Absorptionsvermögen mit steigender Belastung in genau gleichem Maße wachsen würde, wie das Emissionsvermögen, so wären die Zahlen der Tab. 3 ohne jede Beweiskraft. Letzteres ist indessen wenig wahrscheinlich und für einige Linien der zweiten Nebenserie habe ich, wie unten gezeigt werden soll, sogar erwiesen, daß das Absorptionsvermögen in gleichem Maße, das Emissionsvermögen in verschiedenem Maße wächst. Ich glaube daher, daß auch eine genaue Untersuchung der Absorptionsverhältnisse, die ich demnächst hoffe ausführen zu können, an meinen Schlüssen nichts ändern wird.

Daß ein Einfluß der Absorption in dem Sinne vorhanden ist, den Abfall der Intensitätskurve weniger steil zu machen als die Werte von  $E$  allein ihn bestimmen, scheint aus einer Vergleichung der Kurven bei 300 und 600 Watt hervorzugehen. Bei 600 Watt hat, wie eine rohe Messung ergab,  $A$  Werte über 0,6. Im zentralen Teil des Lichtbogens ist  $A$  vermutlich gleich 1. Bei 300 Watt ist die Absorption anscheinend nur etwa ein Drittel so groß. Dieser starke Anstieg der Absorption hat bewirkt, daß die Kurve für 600 Watt erheblich flacheren Abfall hat als die für 300 Watt, wie aus den Verhältniszahlen der Tab. 2 deutlich zu erkennen ist. Andererseits kommt infolge der starken Absorption die  $E$ -Kurve für 600 Watt wahrscheinlich sehr nahe an die wahre  $E/A$ -Kurve heran.

Es sei schließlich bemerkt, daß auch im Ultraviolett ein „kontinuierlicher Grund“ des Spektrums vorhanden ist, der als geringfügig gegenüber der Intensität der Linien vernachlässigt wurde. Er würde, wenn wir ihn berücksichtigen wollten, nur auf die Intensitätsbestimmung der schwächsten Linien bedeutenderen Einfluß üben, und die Steigerung der Intensität der kürzeren Wellen relativ noch größer machen als in Tab. 3 angegeben.

7. *Das Triplet  $3_I$ ,  $3_{II}$ ,  $3_{III}$  der zweiten Nebenserie.* Die große Intensität dieser Linien erlaubte die Benutzung eines engen Spaltes und damit die Trennung von  $3_{II}$  und  $3_{III}$  von den sehr nahe benachbarten, zu keiner Serie gehörigen Linien. Die Versuchsanordnung ist dieselbe wie oben, nur besteht die Optik aus Glas; das Prisma ist ein Rutherfordsches.

Die Intensitäten der Linien verhalten sich bei 620 Watt Belastung:

$$3_I : 3_{II} : 3_{III} = 780 : 113 : 213.$$

Die mittlere Linie ist also die schwächste.

Küch und Retschinsky haben bis ca. 430 Watt Belastung der Querlampe gleiches Anwachsen der Intensität der drei Linien gefunden. Meine Messungen mittels der Thermosäule bestätigen dies Resultat, zeigen aber, daß die Intensitätskurven oberhalb 400 Watt auseinanderzweigen derart, daß  $3_I$  erheblich schneller wächst als  $3_{II}$ , und  $3_{II}$  etwas stärker wie  $3_{III}$ . Wir sehen also, daß auch hier *innerhalb eines Triplets die Gesetze der Temperaturstrahlung nicht gelten*, und dieser Schluß ist ein bündiger, da es gelungen ist, nachzuweisen, daß das Absorptionsvermögen für die drei Linien in gleichem Maße anwächst. Die übrigen Linien dieser Nebenserie sind zu schwach, um eine Untersuchung zu gestatten. Man wird aber wohl annehmen dürfen, daß die Überlegungen für die erste Nebenserie auch hier gelten, daß also die Serie in drei Serien zu zerfallen ist, innerhalb deren die Gesetze der Temperaturstrahlung qualitativ erfüllt sind.

#### Absorptionsmessungen.

8. *Absorption der emittierten Linien nur eine Eigenschaft des leuchtenden (ionisierten) Dampfes.* Küch und Retschinsky

haben an der Quecksilberlampe starke Absorption für diejenigen Wellenlängen konstatiert, die der leuchtende Dampf aussendet. Durch einen Kontrollversuch habe ich festgestellt<sup>1)</sup>, daß dies Absorptionsvermögen nur eine Eigenschaft des leuchtenden, d. h. also des ionisierten Dampfes ist. Mittels einer Differentialmethode wurde nachgewiesen, daß der Dampf dies Absorptionsvermögen schon  $\frac{1}{10}$  Sek. nach Unterbrechung des Stromes und Verlöschen der Lampe verloren hatte. Wenn man nun annahm, daß Temperatur und Dichte des Dampfes sich in diesem Zeitraum nicht wesentlich geändert hatten, wohl aber die Ionisierung verschwunden war (letzteres wird durch die Unmöglichkeit, den Bogen mit Wechselstrom zu betreiben, erhärtet), so konnte man in der Tat schließen, daß sowohl die Fähigkeit zu leuchten, als auch die Fähigkeit die ausgesandten Wellenlängen zu absorbieren, nur dem Ionisationszustande eigentümlich ist.

Daß Temperatur und Dichte des Dampfes sich nach  $\frac{1}{10}$  Sek. nicht wesentlich geändert hätten, beruhte auf bloßer Schätzung. Inzwischen habe ich den Beweis erbringen können, daß diese Schätzung richtig ist. Quecksilberdampf hat nach Hartley<sup>2)</sup> und Wood<sup>3)</sup> eine sehr starke Absorptionsbande bei ca.  $253\ \mu\mu$ . Diese Absorptionsbande ist also auch im nicht leuchtenden Zustande vorhanden, sie ist, wie man sich vorstellen möge, eine Eigenschaft des Quecksilbermoleküles in demjenigen Zustande, in dem es sich im nicht leuchtenden Dampfe befindet. Es besteht wohl kaum ein Zweifel, daß zwischen der sehr starken, leicht umkehrbaren und zu keiner Serie gehörigen Emissionslinie der Quecksilberlampe bei  $2536,7\ \mu\mu$  und dieser Absorptionsbande ein Zusammenhang besteht.

Für uns bietet die Absorptionsbande eine Möglichkeit, die oben erwähnte Schätzung über das Abklingen von Dichte und Temperatur des Dampfes zu kontrollieren. In der Tat zeigte sich, daß diese Absorption noch mehrere Sekunden nach Verlöschen der Lampe in nahezu gleicher Stärke vorhanden

1) A. Pflüger, Ann. d. Phys. 24. p. 524. 1907.

2) W. N. Hartley, Chem. News. 92. p. 102. 1905.

3) R. W. Wood, Astrophys. Journ. 26. p. 41. 1907.

und allmählich sich verringern noch nach Ablauf von 4 Min. nachweisbar war. Entsprechend diesem Befunde gab der oben erwähnte Kontrollversuch, mit dieser Wellenlänge ausgeführt, ein starkes Zurückgehen und langsames Wiederansteigen der Galvanometernadel. Damit ist evident erwiesen, daß das Absorptionsvermögen für die emittierten Wellen an den Ionisationszustand des Dampfes geknüpft ist.

9. *Quantitative Absorptionsmessungen am Triplet  $3_I$ ,  $3_{II}$ ,  $3_{III}$  der zweiten Nebenserie.* Wir stellen die Frage, in welchem Maße die Absorption für bestimmte Wellenlängen sich ändert, wenn ihre Intensität durch größere Wattbelastung der Lampe erhöht wird.

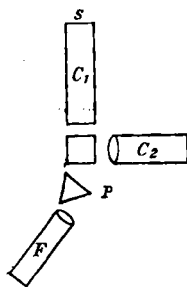
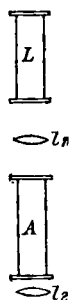


Fig. 2.

Ich habe zunächst geglaubt photometrische Messungen anstellen zu können. Die Versuchsanordnung war derjenigen ähnlich, die ich zur Bestimmung des Absorptionsvermögens lumineszierender Gase angewandt habe<sup>1)</sup> und sie würde, wenn sie zum Ziele geführt hätte, eine sehr exakte Bestimmung erlaubt haben.  $L$  und  $A$  sind die beiden Längslampen, wo  $L$  wie damals als Lichtquelle,  $A$  als „Absorptionsrohr“ dient. Beide sind von genau gleichen Dimensionen und werden mit derselben Spannung, aber die vordere mit verschiedenen Stromstärken (durch geeignete Kühlung) betrieben. Dann ist das Licht von  $L$  von genau derselben Beschaffenheit wie das von  $A$ . Die Linse  $l_1$  sendet das Licht von  $L$  durch  $A$  hindurch;  $l_2$  konzentriert das Licht von  $L$  und  $A$  auf den Spalt  $s$  des Spektralphotometers. Zwei Blenden von

wenigen Millimetern Durchmesser an beiden Enden von  $A$  lassen das Licht von  $L$  nur durch den axialen Teil des Lichtbogens in  $A$  dringen. Man mißt nun für eine beliebige Spektrallinie:

1) A. Pflüger, Ann. d. Phys. 24. p. 517. 1907.

1. die Intensität von  $L$ , während  $A$  nicht leuchtet, aber an seinem Platze verbleibt,
2. die Intensität von  $A$ , während  $L$  durch einen Schirm abgeblendet wird,
3. die Intensität beider Röhren zusammen.

Daraus läßt sich das Absorptionsvermögen von  $A$  im leuchtenden Zustande berechnen.

Ich habe sehr viel Mühe darauf verwandt, diese Messung für die Linien  $3_i$  und  $3_{iii}$  auszuführen, ohne genügende Übereinstimmung zwischen verschiedenen Beobachtungsreihen zu erhalten. Der Grund dafür liegt erstens in der Schwierigkeit photometrischer Einstellungen im äußersten Violett für die Linie  $3_{iii}$ , ferner in dem Mangel geeignet heller konstanter Lichtquellen für dieses Gebiet. Es blieb nur übrig, das Licht von  $L$  durch eine Spiegelanordnung zum Vergleichsspalt zu senden, wobei die Justierung sehr schwierig ist und die Schwankungen der Lichtintensität das Resultat in doppelter Weise beeinflussen. Ein Vergleich der Linien  $3_i$  und  $3_{ii}$  scheiterte an Beugungserscheinungen infolge zu geringer Okularspaltbreite, da die Dispersion des benutzten Prismas zu gering war, um  $3_{ii}$  bei größerer Spaltbreite von den sehr nahen Nachbarlinien trennen zu können. Bei Benutzung eines Gitters in hoher Ordnung war wiederum die Lichtstärke zu gering. Ich will daher auf die Einzelheiten dieser Untersuchung, die mit besseren Hilfsmitteln zu wiederholen wäre, nicht eingehen, sondern mich zu den Messungen mit der Thermosäule wenden, die von Erfolg begleitet waren.

Die Anordnung ist die eben beschriebene, mit Spektrometer und Thermosäule statt des Photometers. Leider mußten aber die Blenden von größerem Durchmesser gewählt werden, so daß man nicht nur im axialen Teile des Lichtbogens beobachtete. Denn bei diesen auf eine Messung von verhältnismäßig kleinen Intensitätsdifferenzen hinauslaufenden Beobachtungen ist Gewicht auf große Galvanometerausschläge zu legen, um die Beobachtungsfehler relativ klein zu machen.

Ich setze eine Messungsreihe in Tab. 4 hierher. Bei  $3_i$  wurde die Intensität durch ein Rauchglas reduziert.  $E$  für  $3_i$  und  $3_{iii}$  ist also nicht vergleichbar.

Tabelle 4.

Wachstum des Absorptionsvermögens  $A$  (in Prozenten) und der Intensität der Strahlung  $E$  (in Skalenteilen) bei wachsender Wattbelastung.

	$3_I$		$3_{III}$
	280 Watt	588 Watt	280 Watt
$E =$	29,3 Skt.	122,4 Skt.	31 Skt.
$A =$	22,4 Proz.	50,5 Proz.	27,8 Proz.
			61,4 Proz.
Wachstum			
von $E = 1:$	4,18		3,57
„ $A = 1:$	2,25		2,21

Man sieht, daß mit wachsender Belastung der Querlampe die Absorption für beide Linien in gleichem Maße, die Intensität für  $3_I$  (größere Wellenlänge) schneller wächst.

Messungen an  $3_I$  und  $3_{II}$  ließen sich mit dieser Anordnung wegen zu geringer Lichtstärke nicht ausführen. Eine etwas lichtstärkere Anordnung, bei der als Absorptionsrohr die Querlampe diene, gab aus demselben Grunde schlecht übereinstimmende Resultate, auch als statt des Flintglasprismas ein von Hrn. Hans Heele in Berlin mir freundlichst zur Verfügung gestelltes großes Rutherfordprisma mit doppelt so großer Dispersion benutzt wurde. Ich verzichte auf Wiedergabe des Zahlenmaterials und bemerke nur, daß auch bei diesen beiden Linien die Absorption in gleichem Maße zu wachsen *scheint*, während, wie wir schon oben gesehen haben, die Intensität von  $3_I$  oberhalb 400 Watt bedeutend schneller wächst als die von  $3_{II}$ .

Auf das Ultraviolett, wo die Linien der ersten Nebenserie  $4_I$ ,  $4_{II}$  und  $5_I$  geeignete Objekte darbieten, habe ich die Messungen bislang nicht ausdehnen können und werde darüber später berichten. Schlüsse aus diesen Ergebnissen in bezug auf die Funktion  $E/A$  haben wir schon oben gezogen. Prinzipielle Einwände gegen dies Verfahren scheinen mir nicht vorzuliegen, auch wenn man geltend machen will, daß die Struktur des Lichtbogens und darum die Absorption keine homogene ist. Genauere Messungen sind nur möglich mittels einer erheblich empfindlicheren Anordnung als der von mir benutzten, also noch größerer Lichtstärke und noch größerer Empfindlichkeit des Galvanometers.



10. *Absorptionsmessung an der gelben Doppellinie 5790/5769.*  
 Wenn das Kirchhoffsche Gesetz ohne weiteres auf die Strahlung der Quecksilberlampe anwendbar wäre, so müßte von zwei nahe beieinander liegenden Linien die stärkere stärker absorbiert werden. Küch und Retschinsky haben diese Annahme durch Vergleichung photographischer Aufnahmen des Spektrums der Quer- und Längslampe in vielen Fällen bestätigt gefunden. Die nachstehende Messung zeigt, daß diese Annahme nicht uneingeschränkt gültig ist, und man wird vermuten dürfen, daß, wenn sie gültig ist, ihr Gültigkeitsbereich sich nur auf Linien derselben Serie erstrecken kann. Eine mehrfach wiederholte Messung an der gelben Doppellinie mittels der oben beschriebenen photometrischen Versuchsanordnung ergab nämlich das entgegengesetzte Resultat, daß die *stärkere* der beiden Linien *schwächer* absorbiert wird.

Tabelle 5.

Absorptionsvermögen  $A$  und Intensität  $E$  für die Linien 5790 und 5769 bei 232 Watt Belastung der größeren Längslampe.

	5790	5769
$E =$	22,6 Skt.	19,8 Skt.
$A =$	50,2 Proz.	57 Proz.

Bonn, Physik. Institut der Universität, Mai 1908.

(Eingegangen 6. Juni 1908.)