8. *Über Emissionsspektra von Metallen im elektrischen Ofen; von A. S. King.*

Spektroskopische Untersuchungen am elektrischen Bogen und Funken haben es sehr wahrscheinlich gemacht, daß die auftretenden Spektrallinien in hohem Grade von den Bedingungen abhängen, welchen der den leuchtenden Dampf durchfließende elektrische Strom gerade unterworfen ist. So finden sich in den Funkenspektren vieler Metalle Linien, welche niemals im Bogen auftreten, und deren Intensität leicht durch kleine Unterschiede der Funkenentladung verändert wird. Auch im Bogen rühren viele Anderungen des Spektrums wahrscheinlich von veränderten Bedingungen ab, unter denen der Bogen brennt. Freilich sind unsere Kenntnisse über das eigentliche Wesen dieser elektrischen Einflüsse wenig vorgeschritten; eindeutige Versuche scheinen fast unmöglich, da die Änderung einer Bedingung gleichzeitig zahlreiche andere in unbekanntem Grade beeinflußt.

Offenbar würde die Erzeugung von Emissionsspektren unter Ausschluß jeder elektrischen Wirkung uns sehr fördern; aber dabei müßte eine Temperatur erreicht werden, welche nicht weit unterhalb der des Bogen liegt; sonst würden nur wenige Linien sichtbar werden, wie etwa in den Flammenspektren. Versuche zur Erzeugung von Spektren in Röhren, welche in Ofen erhitzt wurden, sind schon früh gemacht worden, aber die erste wirklich erfolgreiche Methode wurde von Liveing und Dewar[1]) eingeführt; sie benutzten sie bei ihren Untersuchungen über die Umkehrbarkeit der Spektrallinien und fanden dabei, daß zahlreiche helle Linien auftreten. Dasselbe Prinzip eines elektrischen Ofens ist auch bei den Untersuchungen verwandt worden, welche im folgenden beschrieben werden sollen: man bildet einen Bogen zwischen einem vertikalen Kohlestabe und einer horizontalen ausgebohrten Kohle, welche das zu verflüchtigende Metall ent-

1) G. D. Liveing and J. Dewar, Proc. Roy. Soc. **34.** p. 119. 1882.

hält. Das Kohlerohr wird gerade über dem Bogen sehr heiß und das Spektrum des Dampfes tritt auf. Die Beobachtungen und Photographien von Liveing und Dewar bewiesen die Brauchbarkeit der Methode, aber sonst scheint sie nicht weiter benutzt worden zu sein, ist jedenfalls keine allgemein gebrauchte Methode geworden, um den Temperatursprung zwischen Flamme und Bogen zu überbrücken.

Die nächsten Arbeiten in dieser Richtung knüpfen sich an die Frage, ob Spektra durch hohe Temperatur allein hervorgebracht werden können. Die Arbeit Pringsheims[1]) im erhitzten Porzellanrohr und die darauf bezüglichen Experimente Paschens[2]) sind ausführlich von Kayser[3]) besprochen worden; ihr Hauptthema ist die wichtige Frage, ob es möglich ist, alle chemischen Wirkungen auszuschließen, welche Lumineszenz hervorrufen können; aber die erreichten Temperaturen liegen weit unter der des elektrischen Bogens.

Bei dieser Sachlage unternahm ich es auf den Vorschlag von Prof. Kayser zu versuchen, ob man mit Hilfe eines elektrisch erhitzten Rohres soweit wie möglich nur durch Wärme Emissionsspektra erzeugen könne. Nachdem ich einen praktischen Ofen gebaut hatte, wurden die Versuche, deren Resultate hier beschrieben werden sollen, mit der ursprünglichen rohen Form des Ofens durchgeführt, da es mir nur darauf ankam, die Brauchbarkeit der Methode zu zeigen. Verbesserungen des Ofens sollen bei einer späteren Reihe von Versuchen eingeführt werden.

Während ich mit dem Abschluß der Resultate für die Veröffentlichung beschäftigt war, erschien eine Abhandlung von Nasini und Anderlini[4]), welche den gleichen Zweck verfolgt und auch in einem elektrischen Ofen durchgeführt wurde. Die Beschreibung desselben ist aber nicht ausführlich genug, daß man erkennen könnte, wie weit er dem meinigen ähnelt. Ihr Hauptversuch bestand darin, daß sie in einem

---

1) E. Pringsheim, Wied. Ann. **45.** p. 428—459. 1892.

2) F. Paschen, Wied. Ann. **50.** p. 409—443. 1893; **51.** p. 1—39. 1894; **52.** p. 209—237. 1894.

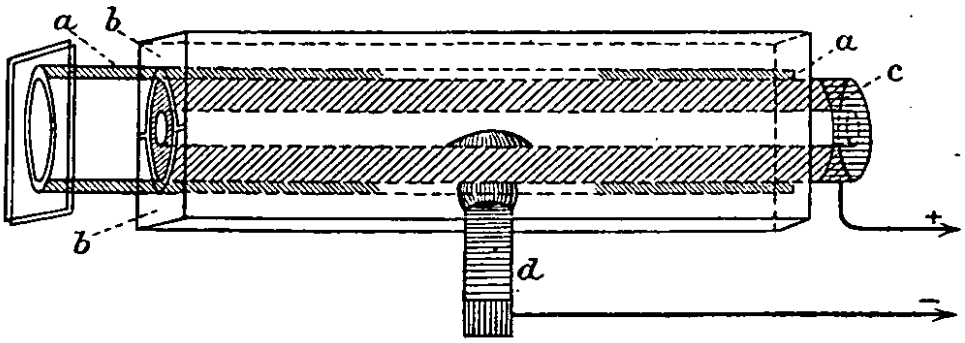
3) H. Kayser, Handbuch der Spektr. **2.** p. 150—157.

4) R. Nasini e F. Anderlini, Rendic. acc. dei Lincei (5) **13.** p. 59—66. 1904.

Graphitrohr Mg verdampften, den Sauerstoff verbrauchten, und ein Spektrum des N (?) durch Wärme allein erhielten. Mein Resultat mit Mg, der einzige ihrer Arbeit entsprechende Versuch, soll nachher angegeben werden.

Apparat.

Bei meinen Versuchen wurden zwei Formen von Öfen benutzt; da aber fast alle Versuche mit der einen Form erhalten wurden, soll sie zuerst beschrieben werden. Dies war eine Modifikation des von Liveing und Dewar gebrauchten Ofens, mit den einfachsten Mitteln hergestellt; die Figur zeigt die Einrichtung im Querschnitt: zwei Kohlenstäbe *b b* eines Bunsenschen Elementes wurden an der Seite so ausgehöhlt,



daß sie zusammengelegt einen zylindrischen Raum von etwa 2,5 cm frei ließen. Eine gewöhnliche Dochtkohle *c* von 1,6 cm Durchmesser wurde mit einer Bohrung von 0,5 cm versehen und in jenen Hohlraum zwischen den Kohleblöcken eingeschoben, von ihnen isoliert durch zwei Asbeströhren, *a a*, die von beiden Enden etwa 5 cm hineinragten, die Mitte des Kohlerohres aber frei ließen. Durch die Mitte des unteren Kohleblockes war ein Loch gebohrt, durch welches ein Kohlestab *d* von 12 mm gesteckt wurde. Kupferleitungen verbanden die Enden der vertikalen und horizontalen Kohle mit Quecksilbernäpfen, welche mit den Enden eines Dynamostromes von 220 Volt verbunden waren. Das Kohlerohr bildete den positiven Pol. Ein Heben der vertikalen Kohle entzündete den Bogen zwischen ihr und der Außenseite des horizontalen Rohres. Da ein zu schnelles Erhitzen das Rohr leicht springen läßt, mußte man mit einem Strom von nur 2 oder 3 Amp. beginnen und ihn allmählich steigern. Dieser Haupt-

teil des Apparates wurde noch von weiteren Batteriekohlen umgeben, welche dazu dienten, den Wärmeverlust zu schwächen und die Oxydation der inneren Kohlenblöcke zu verzögern, da sie schnell rotglühend werden.

Diese einfache Form des Ofens erwies sich sehr dauerhaft und brauchbar; ein Bogen mit 30 Amp. ließ sich leicht erhalten, und der Ofen konnte einen Monat lang täglich gebrannt werden ohne Erneuerung der Kohleblöcke. Da das Kohlerohr den positiven Pol bildete, wurde es sehr heiß und brannte schließlich durch; es hielt aber den stärksten Strom eine halbe Stunde aus, einen von 15—20 Amp. weit länger. Das Metall oder Salz, dessen Spektrum man untersuchen wollte, wurde in das Rohr direkt über den Bogen gelegt, und weitere Mengen konnten mit einem dünnen Kohlestab hineingeschoben werden. Das Spektrum ließ sich mit dem Auge oder photographisch durch das andere Ende des Rohres beobachten. Wenn nicht die Bildung undurchsichtiger Dämpfe in großer Menge eine Offnung erforderte, konnte das Rohr nahezu luftdicht abgeschlossen werden, indem man die Asbestisolationen weiter herausragen ließ, und das eine Ende durch ein Quarzfenster, das andere durch einen Asbestpfropf verschloß. Wir haben damit einen Apparat, in welchem die zu verdampfende Substanz sich im positiven Pol eines starken Bogens befindet, nur 5 mm von diesem entfernt. Die Innenseite des Rohres wurde auf eine Länge von etwa 5 cm weißglühend, und man erhielt starke Emissionsspektra sowohl von der Kohle und ihren Verunreinigungen als auch von vielen eingeführten Metallen und Salzen.

Nach einigen vorläufigen Beobachtungen mit dem Auge wurden diese Spektra ausschließlich photographisch untersucht, zuerst mit einem Prismenspektrograph, dessen eines Glasprisma kleine Dispersion, aber sehr lichtstarke Spektra gab, später so oft wie möglich mit einem Rowlandschen Konkavgitter von 1 m Radius, welches natürlich viel längere Expositionen erforderte.

Wegen der Enge des Kohlerohres erschien ein kontinuierliches Spektrum von seinen weißglühenden Wänden; aber es störte wenig, selbst schwache Linien waren deutlich sichtbar. Um es soviel wie möglich zu beseitigen, wurde mit einer

Quarzlinse ein scharfes Bild auf dem Spalt entworfen, welches so groß war, daß der von den glühenden Wänden erzeugte Ring außerhalb des Spaltes fiel. Dadurch verlor man zwar etwas an Intensität, aber der kontinuierliche Grund wurde namentlich bei den Gitteraufnahmen sehr geschwächt.

Zur Erkennung der Linien und zum Vergleich mit dem Bogenspektrum wurde meist ein Bogenspektrum daneben photographiert. Dazu wurde ein Bogen, welcher das untersuchte Metall enthielt, hinter das Kohlerohr gesetzt, so daß seine Strahlen durch den nicht benutzten Ofen gingen, bevor sie auf den Spalt fielen.

Wahrscheinliche Temperatur des Ofens.

Um eine Vorstellung von der Temperatur im Ofen zu erhalten, wurden Schmelzversuche gemacht und eine Messung der Strahlung mit Thermosäule. Bei dem schwachen Strom von 15 Amp. schmolzen kleine Quarzstücke, die hineingebracht wurden; bei Steigerung auf 25 Amp. schmolzen sie nicht nur, sondern verdampften und bildeten einen dicken weißen Überzug der Wände, in dem sich kleine Quarzkügelchen fanden. Da dieser Versuch aber keinen Begriff von der erreichten Temperatur gibt, wurde die Lage des Strahlungsmaximums im Spektrum aufgesucht. Hr. Pflüger war so freundlich, diese Messung für mich mit seinem Fluoritapparat und Thermosäule auszuführen. Man kann so natürlich nur einen Mittelwert der Temperatur erhalten, nicht die des Bodens, auf welchem die verdampfenden Körper liegen. Um dieser Temperatur möglichst nahe zu kommen, war bei Kohle nur bis zu dem Punkt über dem Bogen ausgebohrt, und es wurde so die direkte Strahlung der Kohle gemessen. Da aber die Temperatur sehr schnell mit der Entfernung vom Bogen abnimmt, ist die gemessene Temperatur jedenfalls zu niedrig. Das Maximum der Strahlung lag zwischen 1,6 und 1,5 μ, nähert sich mit der Brenndauer letzterem Werte. Reduziert man auf das normale Spektrum, betrachtet die Strahlung als die eines schwarzen Körpers und rechnet nach Wiens Formel, so ergibt sich eine Temperatur von etwa 2000° abs. Aber diese Zahl ist aus mehreren Gründen als untere Grenze zu betrachten: 1. Das Zimmer, in welchem diese Messung aus-

geführt werden mußte, hatte keine Leitungen, die dick genug gewesen wären, den starken Strom längere Zeit auszuhalten; während der möglichen Beobachtungsdauer wanderte das Maximum nach kürzeren Wellen. 2. Die Rechnung betrachtet den Ofen als schwarzen Körper, was wegen der vorderen Öffnung nur teilweise der Fall ist. 3. Quarz verdampft. — So scheint die Annahme richtig, daß die Temperatur des Bodens des Rohres etwa 2500° abs. gewesen sei.

Versuche mit einem Widerstandsofen.

Wie schon bemerkt, habe ich einen Ofen von anderer Form so weit geprüft, um seine Brauchbarkeit zu erkennen. Er wurde durch ein Kohlerohr gebildet, das durch einen starken durchfließenden Strom erhitzt wurde. Ein Graphitrohr, 20 cm lang, 1 cm im Lichten, wurde an den Enden elektrolytisch verkupfert und horizontal gelegt, wobei die Enden auf Kupferträgern ruhten, welche zu Quecksilbernäpfen und den Enden des Dynamostromes führten. Um die Oxydation des erhitzten Rohres zu vermeiden, war das Rohr und seine Träger in einem Kasten ganz mit Asbestpulver umgeben. Um den Einblick in das Rohr zu ermöglichen, war das Kohlerohr an einem Ende durch ein Asbestrohr verlängert, welches aus dem Kasten herausragte und durch ein Quarzfenster verschlossen war.

Die zu meiner Verfügung stehenden Rohre hatten so kleinen Widerstand, daß der vorhandene Strom von 50 bis 60 Amp. nicht ausreichte, um sie sehr hoch zu erhitzen. Erst wenn sie durch Oxydation dünner geworden waren, trat hohe Temperatur ein, aber dann verbrannten sie auch meist nach kurzer Zeit. Die Hauptbeobachtungen mit diesem Ofen betrafen Ca; die Veränderungen in dessen Spektrum sollen nachher besprochen werden. Als ein Mittel, um eine dicke Schicht gleichförmig erhitzten Dampfes zu erhalten, ist diese Form des Ofens der ersten überlegen, und die Spektra erscheinen leicht, sobald die Kohle weißglühend ist; auch daß man durch größeren Durchmesser das kontinuierliche Spektrum schwach machen kann, ist ein Vorteil.

Da aber die Mittel nicht vorhanden waren, den Widerstandsofen richtig auszunutzen, so habe ich mich hauptsächlich

in dieser Arbeit mit dem Ofen beschäftigt, der von außen durch den Bogen erhitzt wird. Es sollen nun die Spektra der untersuchten Elemente und die erhaltenen Resultate im einzelnen angegeben werden.

Cäsium.

Drei Paare der Hauptserie von Cäsium erschienen sehr leicht, wenn das Sulfat ins Rohr gebracht wurde; daher wurde an ihnen genauer der Einfluß der Temperatur auf die Intensität studiert und zahlreiche Photographien gemacht, bei welchen der Ofen durch schwache oder starke Ströme verschieden erhitzt war.

Die Photographien zeigen deutlich, daß mit steigender Temperatur die Serienlinien von kürzerer Wellenlänge relativ stärker werden, d. h. das Strahlungsmaximum dieses Dampfes verschiebt sich nach Ultraviolett. Mit einem Bogen von 15 Amp. gab der Prismenspektrograph die Paare 4593, 4555 und 3889, 3877, das letztere viel schwächer. Von dem dritten Paar, 3617, 3612 war keine Spur sichtbar. Mit einem Strom von 25 Amp. war das zweite Paar fast so stark als das erste, ohne daß dies überexponiert gewesen wäre, und das dritte Paar war schwach sichtbar. Ich ging nun auf 15 Amp. zurück, während der Ofen noch von den benutzten 25 Amp. heiß war, und erhielt eine Aufnahme, in welcher das dritte Paar unsichtbar war, der Unterschied zwischen den beiden ersten Paaren aber viel geringer, als bei der ersten Aufnahme mit derselben Stromstärke. Nachdem weitere Photographien dies Resultat bestätigt hatten, wurde versucht, auch mit dem Gitter solche Aufnahmen zu erhalten. Es waren zwar viel größere Expositionszeiten nötig, und die Intensität fiel nach dem Ultraviolett hin viel schneller ab, als beim Prisma, aber die Erscheinung ist deutlich sichtbar. Bei Aufnahmen mit 15 und 25 Amp. ist in beiden das erste Paar von fast genau derselben Intensität; sie sind nicht überexponiert, da eine andere Aufnahme mit längerer Expositionszeit sie um etwa 50 Proz. stärker gab. Das zweite Paar ist reichlich doppelt so stark bei 25 Amp., wie bei 15. Das dritte Paar kann nur auf der Aufnahme mit 25 Amp. gesehen werden.

Danach muß man schließen, daß ein glühender Dampf

dem Strahlungsgesetz der festen Körper folgt in betreff der Verschiebung des Maximums, oder wenigstens die Teilchen, welche diese Serie geben.

Anwendung auf die relative Temperatur von Bogen und Funken.

Nach Photographien, die ich bei einer früheren Untersuchung gemacht hatte, und anderen, welche mir Hr. Konen freundlichst zur Verfügung stellte, habe ich für einige Elemente, die Serien enthalten, eine Vergleichung über den Abfall der Intensitäten in den Serien nach Ultraviolett im Bogen und Funken angestellt. Bei manchen Elementen ist es ganz deutlich, daß im Funken die Intensität der Serien nach kurzen Wellenlängen hin viel schneller abfällt, als im Bogen. Bei K und Na ist dies sichtbar bei der ersten und zweiten Nebenserie, bei Cu ist es sehr deutlich für die erste Nebenserie; der Unterschied zwischen den beiden ersten Paaren ist im Funken sehr viel größer, und es ist bekannt, daß das dritte Paar, 3688, 3654, im Funken überhaupt nicht mehr erscheint. Bei Ca ist die gleiche Erscheinung deutlich bei den Triplets der ersten Nebenserie; sie ist auch vorhanden, aber schwach, bei der ersten Nebenserie von Mg. Bei den Spektren von Cd, Zn, Hg, Al war ich nicht imstande einen Unterschied dieser Art zu sehen, der Abfall schien vielmehr der gleiche für Bogen und Funken zu sein, und die erste Nebenserie von Li schien sich sogar entgegengesetzt zu verhalten, obgleich die Unsicherheit, ob diese Linien doppelt oder umgekehrt sind, eine Entscheidung schwierig macht.

Die Lage des Maximums im Funkenspektrum nach längeren Wellen und das Verhalten der Cs-Serie bei verschiedenen Temperaturen würde zunächst den Schluß nahe legen, daß die Temperatur des Funkens niedriger sei als die des Bogens. Das steht zwar im Widerspruch zu der gewöhnlichen Annahme, aber man kann nicht bestreiten, daß die meisten Eigenschaften des Funkens, welche gewöhnlich als Beweis für die hohe Temperatur angeführt werden, wie die große Helligkeit bei dem kleinen Volumen, der Reichtum an ultravioletten Linien etc. auch aus der heftigeren elektrischen Wirkung gefolgert werden können. Aber die neueren Ansichten deuten darauf hin, daß im Funken etwas so anderes

als thermische Strahlung vorliegt, daß wir das Wort „Temperatur" für Funken und Bogen nicht in demselben Sinne anwenden dürfen. Der stärkere Abfall der Serienlinien im Funken nach kurzen Wellenlängen genügt nicht, um die entgegenstehenden Gründe zu widerlegen; erstlich ist die Erscheinung nicht so allgemein, wie wir erwarten müßten, und zweitens ist es denkbar, daß die Funkenentladung das schwingende Teilchen so beeinflussen kann, daß eine Verschiebung entsteht. Wenn das richtig sein sollte, so bleibt es aber doch sehr merkwürdig, daß eine stärkere Funkenentladung in derselben Richtung wirkt, wie niedrigere Temperatur, daß beide das Maximum nach Rot verschieben. Bei akustischen Erscheinungen sind allerdings auch Fälle bekannt, in denen stärkere Anregung die ersten Glieder der Tonreihe verstärkt.

Calcium.

1. Beobachtung der stärkeren Linien mit dem Auge.

a) Mit dem Widerstandsofen.

Es wurde metallisches Ca in das stromdurchflossene Graphitrohr gelegt und beobachtet, wie die steigende Temperatur die stärkeren Linien beeinflußt. Als der Ofen anfing heiß zu werden, erschienen die Na-Linien von Verunreinigung der Kohle, dann Linien im Rot und Grün, nach ungefährer Messung 6434, 5594, 5589. Bei noch höherer Temperatur verbreiterten sich diese Linien und es erschien 5858, dann 6162, 6122. Die Linie *g*, 4227, konnte ich nicht sehen, aber das Spektroskop war auch für den violetten Teil ungeeignet. Die genannten Linien erwiesen sich sehr empfindlich für Temperaturänderungen, die sich durch den Strom leicht hervorbringen ließen. Eine Änderung des Stromes um 2 oder 3 Amp. konnte eine ganz andere Intensitätsverteilung unter den Linien hervorbringen; der Versuch bildete ein schlagendes Beispiel für die großen Änderungen des Spektrums, welche durch kleine Änderungen der Bedingungen des Entstehens erzeugt werden können.

b) Mit dem Bogenofen.

Auch in diesem Ofen konnte mit metallischem Ca die Entwickelung der Linien mit steigender Temperatur gut be-

obachtet werden, und das kontinuierliche Spektrum der Wände, welches in dem engeren Rohr stärker hervortrat, erzeugte viele Umkehrungen. Auch ohne Einführung von Ca ließen die als Verunreinigung der Kohle vorhandenen Spuren von Ca die Linie 6439 bald nach den *D*-Linien sichtbar werden. Mit eingeführtem metallischem Ca erschienen zuerst die rote Ca-Linie und *D* umgekehrt durch die Zusammenwirkung des glühenden Rohres und des relativ kühlen Dampfes. Bei steigender Temperatur wurde *D* hell, während für die Ca-Linie Emission und Absorption sich das Gleichgewicht hielten, so daß die Linie ganz verschwand. Auch *g* erschien nun. Wurde ein kleiner Kohlestab in das Rohr geschoben, so daß ein hellerer Hintergrund entstand, so erschienen alle Linien umgekehrt, wurden aber wieder hell bei Entfernung des Stabes. Wenn der Ofen sehr heiß wurde und viel Dampf vorhanden war, sah ich nur dunkle Linien, wobei die starken Linien im Rot, Gelb und Grün jetzt auch umgekehrt erschienen. Wurde in diesem Augenblick der Bogen unterbrochen, so wurden die Linien fast augenblicklich hell und blieben verschieden lange Zeit sichtbar, die im Rot und Gelb etwa $^1/_4$ Minute.

2. Photographische Beobachtungen im Bogenofen.

a) Verhalten der H- und K-Linien im Vergleich zur *g*-Linie.

Die Photographien zeigten manche Differenzen gegen das Bogenspektrum, am interessantesten war das Verhalten der Linien 3968 und 3934, H und K. Diese Linien, welche sonst immer von Bogen und Funken stark emittiert werden, wenn auch nur die kleinste Spur Ca vorhanden ist, erschienen in meinem Ofen nur bei höchster Temperatur und dichtestem Dampfe, und auch dann nur sehr schwach. Mit einer großen Menge Ca und 25 Amp. lassen sich H und K mit Hilfe eines Bogenspektrums im Vergleich als äußerst schwache schmale Linien erkennen bei sehr langer Exposition. Dann ist gleichzeitig *g* überexponiert und breit umgekehrt, die Serientriplets, deren längste Linie bei 4455 und 3644 liegt, sind deutlich, das erste stark, ebenso die Gruppe von sechs Linien zwischen 4319 und 4283. Das nicht zu den Serien gehörende Triplet,

welches bei 4586 beginnt, fehlt, ebenso das im kondensierten Funken starke Paar 3737 und 3706, welches dieselbe Schwingungsdifferenz hat, wie H und K. Die höhere Temperatur des Bogens wird wahrscheinlich diesen Unterschied zum Teil bedingen, aber seine Größe und die Wirkung von H und K im Spektrum des Funkens[1]), wenn derselbe stark kondensiert und mit Selbstinduktion versehen ist, deuten doch darauf hin, daß elektrische Bedingungen im Funken und Bogen nötig sind, um den Linien die gewöhnliche Intensität zu geben.

b) Unsymmetrische Verbreiterung der umgekehrten *g*-Linie.

Die *g*-Linie zeigt bei einigen Aufnahmen mit dem Gitter eine scheinbare Verschiebung. Das Vergleichsspektrum gibt *g* gewöhnlich umgekehrt; in mehreren Fällen, wo das Spektrum des Ofens scharf war, fiel *g* mit einem Rande der Bogenlinie zusammen. Die Messung einer Platte ergab eine Verschiebung der Bogenlinie um 0,48 Å, auch hier nach größeren Wellen hin. Auf derselben Platte gingen zahlreiche scharfe Linien vollkommen kontinuierlich durch beide Spektra durch. Aber hier nahm die scheinbare Verschiebung ab, wenn die Bogenlinie schmaler wurde, und auf einigen Photographien, welche die Bogenlinie nicht umgekehrt enthielten, waren beide Linien genau die Verlängerung voneinander. So scheint das Verhalten von *g* am besten als unsymmetrische Vebreiterung aufgefaßt zu werden.

c) Umkehrungserscheinungen des Ca-Dampfes.

Ich machte einen Versuch mit Ca-Dampf, welcher allgemeiner zum Studium der Umkehrungserscheinungen verwandt werden kann, wenn man den Ofen so umformt, daß dickere Schichten von Dampf erhitzt werden können. Im Rohre wurde eine möglichst große Menge Ca-Dampf erzeugt, und eine Bogenlampe, welche Ca enthielt, hinter das Rohr gesetzt, so daß ihr Licht den Dampf im Rohr zu durchdringen hatte, bevor es auf den Spalt fiel. Das auffallendste Resultat war die starke Absorption von *g* verglichen mit der der anderen Linien. Die geringe Dispersion ließ schlecht erkennen, ob noch andere Linien umgekehrt waren, aber jedenfalls war *g* die

1) A. S. King, Astrophyh. Journ. 19. p. 225—238. 1904.

einzige Linie, deren Umkehrung bei dem Durchgang der Strahlen durch den Ofen erheblich verstärkt wurde. Die Umkehrung von *g* war immer breiter als ohne Ofen, und ihre Breite nahm zu mit der Temperatur des Ofens, erreichte bei der höchsten Temperatur mehrere Å. Wahrscheinlich wirkte die vermehrte Dampfmenge und gesteigerte Temperatur zusammen.

3. Bandenspektrum von Ca.

Die bekannten Banden des Ca im Rot und Orange, welche manchmal im Bogen auftreten, waren im Ofen immer sehr hell vorhanden. Außerdem trat eine Reihe von Banden im Violett auf, die, soviel ich weiß, noch nicht bekannt sind; fünf Banden liegen in dieser Gruppe; sie sind zwar sehr unscharf, scheinen aber nach Rot abschattiert zu sein. Ich erhielt sie mit dem Gitter, und habe die Lage der dunkelsten Stelle, so gut es die Definition erlaubte, in folgender Weise gemessen:

3691 schwach, unscharf,
3766 unscharf,
3835 scharfe Kante, nach Rot abschattiert,
3892 „ „ „ „ „
3959 unscharf.

Die Banden erscheinen bei mäßiger Temperatur sowohl mit metallischem Ca als mit dem Chlorid, besser mit letzterem. Das deutet auf das Oxyd als ihre Ursache, da Luft gegenwärtig war; aber eine genauere Untersuchung habe ich bisher nicht darüber angestellt.

Strontium.

1. Linienspektrum.

Strontiumchlorid im Ofen erzeugt ein viel weniger empfindliches Spektrum als Ca. Ich erhielt indessen einige der stärksten Linien und fand relative Intensitäten, die von denen im Bogen weit abweichen. Man nimmt an, daß die Linien 4607, 4215, 4077 homolog zu den Ca-Linien *g*, H und K sind, und ihre Änderungen im Ofen sind auch ähnlich denen der Ca-Linien, wenn auch entschieden weniger. 4215, 4077 hängen durch ihre Schwingungsdifferenz 801,5 mit mehreren anderen Paaren des Sr-Spektrums zusammen. Im Bogen sind sie immer stark, fast ebenso stark wie 4607; im Ofen aber erscheint nur eine

schwächste Spur dieses Paares, während 4607 immer sehr stark ist, bei weitem die stärkste Linie des Spektrums.

2. Bandenspektrum.

Wie bei Ca bringt der Ofen ein starkes Bandenspektrum hervor. Sehr starke Banden im Orange wurden mit dem Auge beobachtet, außerdem zeigten meine Photographien eine schwächere Bandengruppe im Violett, die ich für neu halte. Vier Bänder liegen hier, deren Messung ergab:

3937 scharfe Kante, nach Rot abschattiert,
3962 „ „ „ „ „
3992 unscharf,
4014 „

Die beiden ersten Bänder haben deutliche Kanten nach Ultraviolett hin; eine Auflösung in Linien wurde bei der benutzten Dispersion nicht erzielt, so daß die Linien viel dichter liegen müssen als bei den Banden im Orange.

Baryum.

1. Linienspektrum.

Es wurde Baryumchlorid im Ofen verwandt. Auch hier bieten drei Linien das Hauptinteresse, 5536 und das Paar 4934, 4554, die allein in diesem Teil des Spektrums auftraten. Das Paar, im Bogen sehr stark, war im Ofen äußerst schwach, nur eine Spur von 4934 sichtbar, während 5536 stark ist. Die Intensitätsverhältnisse im Ofen und im Bogen sind für 4554 etwa 1 : 20, für 5536 etwa 3 : 4.

Das Verhalten im magnetischen Feld zeigt[1]), daß das Paar 4934, 4554 von demselben Typus ist, wie Sr 4215, 4077 und Ca, H und K. Diese Homologie wird durch das Verhalten der drei Paare im Ofen bestätigt. Da der magnetische Typus derselbe ist, wie der der *D*-Linien, so hält man sie für die ersten Glieder der Hauptserie dieser Elemente, deren höhere Glieder noch unbekannt sind. Ist das richtig, so haben wir hier eine Ausnahme von der Regel, daß die Hauptserie unter den einfachsten Bedingungen erzeugt wird, da ihre Schwäche im Ofenspektrum beweist, daß eine besondere Anregung nötig ist, um ihnen die Stärke zu geben, welche sie im Funken und Bogen haben.

1) H. Kayser, Handbuch der Spektr. 2. p. 671.

2. Bandenspektrum.

Die Bandengruppe im Gelbgrün wird im Ofen kräftig erzeugt. Ihre Struktur scheint ein genaueres Studium zu verdienen, als ich bei der geringen Dispersion ihnen zu Teil werden lassen konnte. Nach Beobachtungen mit dem Ange scheinen die Banden sehr ähnlich denen von Ca und Sr zu sein. Diese Ba-Banden kehren sicher ihre Kante nach Violett hin, aber die Stelle maximaler Intensität scheint sich in ihnen zu verschieben; im ersten Band von Rot aus zeigt die Kante maximale Intensität, sie ist so stark, daß sie unscharf ist. Das zweite Band hat eine scharfe Kante, erstreckt sich von ihr kräftig nach Rot hin. Das dritte Band ist in feine Linien von nahe gleicher Intensität aufgelöst, die Kante ist stärker und umgekehrt. Im vierten Band ist das rote Ende, welches wir den Schwanz nennen können, weit stärker als die Kante, die aber noch sichtbar ist; im fünften Band ist die Intensität noch mehr im Schwanz konzentriert, von der Kante nur eine Spur sichtbar, während vom sechten Bande nur der Schwanz erscheint.

Eine zweite neue Bandengruppe erscheint im Ultraviolett, sehr schwach im Vergleich zur grünen Gruppe. Ich habe acht Bänder messen können, unter welchen zwei ziemlich scharfe Kanten nach Rot hin haben. Sonst sind die Banden zu schwach, als daß man entscheiden könnte, ob ihre Struktur ähnlich der der grünen Gruppe ist. Die angenäherten Wellenlängen sind:

3646	unscharf,	3822	unscharf, ziemlich stark,
3694	„	3872	deutliche Kante nach Rot,
3725	„	3922	„ „ „ „
3768	„	3961	schwach.

Kupfer.

Metallisches Cu im Ofen gab ein Linien- und Bandenspektrum.

1. Linienspektrum.

Der Vergleich der Ofenlinien mit den von mir früher[1]) im Funken und Bogen studierten führt zu einigen interessanten Schlüssen. Die wenigen Linien die im Ofen auftreten, sind

1) A. S. King, Astrophys. Journ. **20.** p. 21—40. 1904.

nicht die auffallendsten des Bogens; ich erhielt nur 5106, 5700, 5782, aber keine Spur von dem Paare 3274, 3247, welches in jedem Bogen- und Funkenspektrum am stärksten ist, oder von den Paaren der ersten Nebenserie 4023, 4063, 5153, 5218, die auch im Bogen immer stark sind, und von vielen anderen Linien. Das Verhalten von 3274, 3247 deutet darauf hin, daß im Ofen nur geringe chemische Wirkungen statthaben; Lanzrath, welcher vor kurzem das Spektrum des Cu in der Leuchtgas-Sauerstoffflamme photographierte,[1]) mit demselben Gitter und gleichen Platten, gibt an, daß diese Linien immer in der Flamme auftreten, meist umgekehrt. Bei mir sind sie im Vergleichsspektrum in der üblichen Stärke vorhanden, aber der Ofen gibt nichts jenseits des Cyanbandes 3590, obgleich seine Temperatur erheblich höher gewesen sein muß als die der Flamme. Daraus muß man schließen, daß andere Bedingungen als hohe Temperatur diese Linien hervorbringen, und daß sie im Ofen fehlen oder sehr schwach sind. Da die Temperatur des Ofens nicht hoch genug ist, um in irgendeinem Spektrum Linien von so kleiner Wellenlänge zu erzeugen, so können wir ihr Auftreten nicht erwarten, wenn sie nur auf Temperaturstrahlung beruhen.

Der Fall, daß die grünen Linien 5106, 5700, 5782 stark sind, aber 5153, 5218 fehlen, kommt im Bogen nur vor, wenn der Strom sehr schwach ist, etwa 0,5 Amp., oder noch besser, wenn bei einem Strom von 1 Amp. die äußeren Schichten des Bogens auf den Spalt projiziert werden. In letzterem Falle war die Schwäche des Paares sehr auffallend; sobald die Stromstärke über 0,5 wächst, nimmt die Intensität des Paares zu, bei etwa 6 Amp. war die schwächere Linie 5153 etwa ebenso stark wie 5106, und übertraf sie bei noch stärkeren Strömen. Wie in meiner früheren Abhandlung ausgeführt wurde, besteht der Bogen mit hoher Spannung und 0,3 Amp. aus einer Reihe von Entladungen, und ähnelt in manchen Beziehungen dem Bogen mit sehr starkem Strom; offenbar treten durch die Unterbrechungen ungewöhnliche Bedingungen ein. Im Funken sind 5153, 5218 immer stark, außer wenn Selbstinduktion eingeführt wird, oder wenn die Elektroden heiß sind;

1) W. Lanzrath, Dissertation. Bonn 1904.

dann nähern sich die relativen Intensitäten der Linien mehr dem Bogen.

So scheint das Verhalten der Cu-Linien im Ofen auf eine niedrigere Stufe, als sie der Bogen mit schwächstem Strom hat, hinzudeuten, und das Fehlen des Paares 3274, 3247 spricht für das Fehlen anderer als reiner Temperaturbedingungen.

2. Bandenspektrum.

Der Ofen erwies sich sehr geeignet bei Einführung von metallischem Cu zur Erzeugung des Bandenspektrums. Die nach Rot verlaufenden Bänder mit Kanten bei 4005 und 4280 erscheinen deutlich und in feine Linien aufgelöst. Im prismatischen Spektrum erhielt ich das Band 4280 stark umgekehrt. Diese Bänder wurden in der Flamme von Hartley photographiert und neuerdings von Lanzrath gemessen. Außerdem erscheinen Bänder bei 4649 und 4689, welche in der Flamme undeutlich waren. Endlich gibt der Ofen noch drei Bänder, welche offenbar zu den vorigen gehören und die gleiche Struktur haben; sie sind stärker als diese, in der Flamme aber wahrscheinlich durch den kontinuierlichen Grund verdeckt. Ich habe ihre Kanten, die wie bei den andern Banden nach Violett hin liegen, und ziemlich scharf sind, zu 4598, 4547, 4499 gemessen.

Eisen.

Die Verunreinigung des Kohlerohrs gab eine große Zahl von Eisenlinien, die durch Einführung von Eisen nicht wesentlich vermehrt wurden. Dabei zeigte sich sehr gut der Unterschied zwischen Ofen- und Bogenspektrum, viele relative Intensitätsunterschiede waren sichtbar. Auf der besten Photographie, die ich erhielt, war das Spektrum des Bogens neben das des Ofens photographiert, und einige Linien im Blau, nämlich 4482, 4461, 4427, 4376 hatten in beiden Spektren die gleiche Intensität. Andere Bogenlinien, die ebenso stark oder stärker als diese im Bogen auftreten, fehlten im Ofen ganz, wieder andere waren relativ sehr geschwächt. Die folgende Tabelle enthält einige der stärkeren Linien mit ihren Intensitäten, um eine Vorstellung von der Art der Unterschiede zwischen den beiden Spektren zu geben.

λ	Bogen	Ofen	λ	Bogen	Ofen
3878,75	8	2	4271,95	12	2
86,45	6	2	4308,09	10	2
95,83	4	1	25,97	10	2
99,89	4	1	76,11	2	2
3920,42	5	1	83,71	15	3
23,10	5	1	4404,95	12	2
28,10	6	1	15,31	10	1/2
30,49	6	1	27,50	3	3
69,41	8	0	61,83	2	2
4005,42	8	0	82,39	2	2
45,99	12	1	4528,80	6	0
63,77	11	1	5269,72	8	2
71,92	10	1	5328,21	6	3
4132,25	8	1/2	71,67	6	3
44,05	10	1/2	97,32	3	1
4250,99	9	0	5429,81	3	1
60,68	9	0			

Magnesium.

Mit metallischem Mg oder dem Carbonat erschien im Ofen ein ziemlich schwaches Linienspektrum, bestehend aus den beiden Triplets, deren stärkste Linie bei 3838 und 5184 liegt, und der Bogenlinie 4571; die relativen Intensitäten waren sehr verschieden von denen im Bogen, die starken Bogenlinien 4352, 4703 erscheinen gar nicht. Die Resultate zeigt folgende Tabelle:

λ	Bogen	Ofen	λ	Bogen	Ofen
3829	15	12	4703	8	0
3832	20	15	5167	8	8
3838	40	30	5173	12	12
4352	5	0	5184	20	20
4571	2	50			

Man sieht daraus, daß das violette Triplet im Ofen geschwächt ist im Vergleich zum grünen, während 4571, eine schwache Linie im Bogen, eine ganz abnorme Stärke erhält. Meine Resultate erlauben keinen Vergleich mit denen von Nasini und Anderlini, außer daß ich die Linien nicht erhalte, welche sie als N-Linien betrachten, die auftreten sollen, nachdem der Sauerstoff durch Verbindung mit Mg verbraucht ist.

Negative Resultate mit Quecksilber und Zink.

Diese Metalle wurden in großen Quantitäten in den sehr heißen Ofen eingeführt, ohne Linien zu geben. Es kann sein, daß ihre Spektra noch höhere Temperatur oder elektrische

Wirkung erfordern; aber es ist auch möglich, daß diese Dämpfe bei der Erhitzung in Luft sich oxydieren, bevor sie noch genug erhitzt sind.

Weitere Bemerkungen.

Blei. Die starke Bogenlinie 4058 erschien fast immer von der Verunreinigung der Kohle. Wurde metallisches Blei verdampft, so erschien die Linie stark, daneben noch 3640, 3684; die letzte, verglichen mit 4058, viel schwächer als im Bogen.

Aluminium. Die Verunreinigung der Kohle gab immer 3944, 3962, eingeführtes Metall verstärkte sie bedeutend.

Natrium. Die *D*-Linien erscheinen in allen Fällen sehr leicht, lange bevor der Ofen heiß genug geworden ist, um andere Linien zu erzeugen. Metallisches Na konnte in den Ofen nicht eingeführt werden, um die Dampfdichte zu steigern, da es auf die Substanz einzuwirken schien, welche die Kohle zusammenhält; diese zerfiel sofort.

Mangan. Die Linien des violetten Triplets 4031, 4033, 4035 sind wegen ihres leichten Erscheinens und der Umkehrbarkeit hervorzuheben. Die Verunreinigungen lassen es immer stark erscheinen, und sobald ein kontinuierlicher Hintergrund vorhanden ist, genügt die geringe Menge Dampf, die Linien umzukehren. In dieser Beziehung ähnelt das Triplet den *D*-Linien und *g* von Ca.

Linien von Verunreinigungen.

Als ein Beispiel dafür, wie geeignet der Ofen ist, Spuren von anwesenden Elementen zum Vorschein zu bringen, seien die Elemente angeführt, die auf einer Photographie erschienen, nachdem Cäsiumsulfat eingeführt war. Die Empfindlichkeit der Platte reichte nur bis etwa 4600:

Sr	4607,5
Cr	4289,9, 4275,0, 4254,5
Ca	4226,9
Rb	4215,7, 4202,0
Ga	4172,2
Pb	4058,0
K	4047,4, 4044,3
Mn	4034,6, 4033,2, 4030,9
Al	3961,7, 3944,2
Fe	Es wurden 28 Linien identifiziert.

Rechnet man dazu die *D*-Linien, die Cs-Linien und die Cyanbande 3883, so gibt es zusammen 13 Elemente, welche im Spektrum des „chemisch reinen" Salzes im Ofen auftraten.

Bogenspektrum von ionisiertem Dampf.

Bei meinen Versuchen zeigte sich, daß der Dampf, welcher vom Bogen kommt, auch weit entfernt von der Strombahn, das Bogenspektrum erzeugt. Verschiedene Male erschien das Bogenspektrum sofort, als ein Loch in den Boden des Kohlerohrs gebrannt war und Dampf einströmte, obgleich der Bogen ganz unterhalb des Rohres brannte. Auch wenn das Rohr so gestellt war, daß der Bogen nahe unter dem Ende brannte, statt unter der Mitte, zeigt der vor dem Ende aufsteigende Dampf das Bogenspektrum der Kohle und der Verunreinigungen; die gewöhnliche Stellung des Bogens unter der Mitte der Kohle ließ aber keinen Bogendampf an Stellen gelangen, welche durch die Linse auf den Spalt projiziert wurde.

Wirkung von Wasserdampf.

Da es bekannt ist, daß Wasser im Bogen die Wasserstofflinien erzeugt, wollte ich versuchen, ob sie vielleicht auch im Ofen entstehen können. Ich verschloß dazu das eine Ende des Kohlerohres durch eine Asbestverlängerung mit Fenster, ließ am andern Ende des Rohres einen Dampfstrom eintreten, welcher durch ein kleines Loch in der Seitenwand des Rohres nahe der Mitte einen Ausweg fand. Das Rohr war so nahezu luftdicht abgeschlossen. Die Wasserstofflinien traten nicht auf, aber andere Linien, welche offenbar zu Verunreinigungen der Kohle gehörten, wurden sehr hell. So verhielten sich z. B. Linien bei 550 und 620, vielleicht Ca-Linien, die im Bogen nur schwach sind; da aber die Beobachtungen nur mit dem Auge und kleiner Dispersion gemacht sind, war die Identifizierung unsicher. Der Dampfstrom ließ die rote Linie sehr hell werden und sich umkehren, und bei noch längeren Wellen erschien, wenn der Dampfstrom reichlich war, ein unscharfes bandenartiges Gebilde, welches zur Messung viel zu unscharf war. Diese Verstärkung einzelner Linien durch Wasserdampf mag bei genauerem Studium zu interessanten Schlüssen führen, vorläufig ist die Wirkung unerklärt.

Besprechung der Resultate.

Das wichtigste der besprochenen Resultate ist, daß sie durch eine Methode erhalten wurden, welche hohe Temperatur erzeugt, aber alle elektrischen Wirkungen ausschließt, die im Bogen und Funken immer vorhanden sind. Unter elektrischer Wirkung ist dabei diejenige zu verstehen, welche von der Leitung der Elektrizität durch den Dampf herrührt, während bei mir der Bogen nur als Wärmequelle gebraucht wird. Die hohe Temperatur im Rohre muß eine gewisse Ionisierung hervorbringen, und in diesem Sinne ist auch bei mir elektrische Wirkung vorhanden; aber das würde auch gelten, wenn das Rohr durch Gasflammen oder einen Kohleofen ebenso hoch erhitzt werden könnte.

Chemische Wirkung ist zweifellos vorhanden, wenn der Ofen in Luft benutzt wird, und vollkommener Ausschluß jeder denkbaren chemischen Wirkung scheint überhaupt unmöglich, da der Dampf immer in einem geschlossenen Raum erhitzt werden muß; selbst wenn dieser evakuiert wäre, könnten noch Wirkungen zwischen dem Dampf und den Wänden auftreten, sich Verbindungen bilden, die bei gewöhnlicher Temperatur unbekannt sind.

Ich gebe also die Möglichkeit solcher anderer Wirkungen bei der Hervorbringung der beobachteten Spektra zu, glaube aber doch, daß die Temperatur die Hauptursache war, aus drei Gründen:

Erstens zeigte sich in allen untersuchten Fällen, daß die Einführung eines dünnen Kohlestäbchens und damit die Erzeugung eines kontinuierlichen Grundes alle Emissionslinien beseitigte oder umkehrte. Damit ist bewiesen, daß die Strahlung eines schwarzen Körpers von gleicher Temperatur immer stärker war als die des leuchtenden Dampfes, was ebensogut erfüllt, wie nicht erfüllt sein könnte, wenn die Strahlung von irgend einer anderen Ursache herrührte, als von hoher Temperatur. Selbst die *D*-Linien folgten dieser Regel, obwohl sie bei so niedriger Temperatur auftraten, daß sie Chemilumineszenz nahe legen. Wenn das Rohr glühende feste Teile enthält, erscheinen die Linien umgekehrt gegen ihren kontinuierlichen Grund, in den freien Teilen des Rohres aber hell.

Zweitens besitzt das vom Ofen erzeugte Spektrum eine Grenze nach kurzen Wellenlängen hin, welche es niemals über-

schreitet, selbst wenn Linien, die im Bogen und Funken gewöhnlich stark sind, dicht jenseits der Grenze liegen. Die Temperatur, welche ich erzeugen konnte, gab auf den Photographien keine Linie jenseits 3500, obwohl die Platten bis 2200 empfindlich waren. Das beste Beispiel dafür liefert Cu; wie schon angeführt, erscheint von den sonst sehr starken Linien 3274, 3247 keine Spur, während im Bogen viel schwächere Linien wie im Ofen erscheinen. Wenn andere Bedingungen als hohe Temperatur nötig sind, um diese Linien zu erzeugen, so fehlen dieselben im Ofen, und es können keine Linien jenseits der durch die Temperatur gegebenen Grenze erscheinen.

Einen dritten Beweis kann man in der Verschiebung der maximalen Intensität mit steigender Temperatur in der Cäsiumserie finden. Wenn man nicht annehmen will, daß auch wachsende chemische Wirkung das Maximum der Strahlung verschiebt — wofür, soviel ich weiß, kein Versuch vorliegt —, bleibt nur übrig, die Temperatur als Grund für die Verschiebung und daher auch für die Strahlung anzunehmen.

Die vorstehenden Beobachtungen sind mit äußerst einfachen Mitteln gewonnen worden, da der Hauptzweck war, die Anwendbarkeit der Methode zu untersuchen. Viele weitere Versuche sind möglich, indem man nicht nur die Leistungsfähigkeit des Ofens erhöht, sondern auch mögliche chemische Wirkungen mehr ausschließt. Ich beabsichtige namentlich einen ganz geschlossenen Ofen zu bauen, der entweder ausgepumpt oder mit reinen Gasen gefüllt werden kann.

Resultate.

Die Hauptresultate der Untersuchung lassen sich so zusammenfassen:

1. Der Ofen liefert Emissionsspektra mit zahlreichen Linien, deren relative Intensitäten von denen des Bogens stark abweichen.

2. Die Methode ist besonders geeignet zur Erzeugung von Bandenspektren.

3. Die Änderungen in der Intensität der Serienlinien des Cäsiums zeigen, daß ein glühender Dampf die Strahlungsgesetze der festen Körper befolgt.

4. Ein Vergleich der Serienlinien in Bogen- und Funken-

spektren verschiedener Elemente deutet darauf hin, daß veränderte elektrische Bedingungen in derselben Weise wirken können, wie veränderte Temperatur.

5. Das Calciumspektrum des Ofens zeigt:

a) große Empfindlichkeit für kleine Änderungen der Temperatur,

b) ein besonderes Verhalten der Linien H und K, die nur bei maximaler Temperatur erscheinen, und dann sehr schwach.

c) Die g-Linie zeigt eine unsymmetrische Verbreiterung der Umkehrung, so daß sie sich scheinbar verschiebt.

d) Der Dampf des Ofens zeigte viel größeres Absorptionsvermögen für g, als für die übrigen Linien; dasselbe variiert mit der Temperatur.

6. Die homologen Paare in den Spektren von Ca, Sr, Ba mit gleichem magnetischen Typus sind im Ofenspektrum relativ viel schwächer als im Bogenspektrum.

7. Das Ofenspektrum gibt neue Bandengruppen in den Spektren von Ca, Sr, Ba und Cu. In der grünen Bandengruppe von Ba scheint eine Verschiebung der Stelle maximaler Intensität von Band zu Band vorhanden zu sein.

8. Die relativen Intensitäten der Cu-Linien des Ofens nähern sich denen eines sehr schwachen Bogens. Das Fehlen des ultravioletten Paares spricht für Temperatur als Strahlungsquelle.

9. In vielen Fällen genügt eine Spur einer Substanz, um charakteristische Linien zu erzeugen.

10. Es wurde gezeigt, daß ionisierter Dampf, der vom Bogen herkommt, aber von ihm abgegrenzt ist, das Bogenspektrum liefert, auch wenn er ganz außerhalb der Strombahn liegt.

11. Wasserdampf im Ofen erhöht die Intensität einiger Metalllinien.

Ich möchte zum Schluß Prof. Kayser meinen Dank aussprechen für das Interesse, welches er an meiner Arbeit genommen hat, und für die Ratschläge, die zu geben er jederzeit bereit war.

Bonn, Physikal. Institut, Oktober 1904.

(Eingegangen 21. Dezember 1904.)