**8. Versuche zur Prüfung
des Wien-Planckschen Strahlungsgesetzes
im Bereich kurzer Wellenlängen;
von Erich Baisch.**

(Auszug aus der Würzburger Dissertation.)

In den Jahren 1896—1902 wurden zahlreiche Versuche angestellt, die Gesetzmäßigkeiten in der Energieverteilung im Spektrum des schwarzen Körpers aufzudecken. Im Mittelpunkt der Untersuchung stand anfangs das von W. Wien¹⁾ auf Grund von Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen abgeleitete Gesetz, das die Form hat:

$$E_{\lambda T} = \frac{c_1}{\lambda^5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}.$$

Dies Gesetz fand durch die Arbeiten von O. Lummer und E. Pringsheim²⁾, F. Paschen u. H. Wanner³⁾, H. Wanner⁴⁾ und F. Paschen⁵⁾ befriedigende Bestätigung. Andere Versuche von F. Paschen⁶⁾ und namentlich von O. Lummer und E. Pringsheim⁷⁾ zeigten dann allerdings, daß das Gültigkeitsbereich der Wienschen Formel beschränkt sei auf die Gebiete der Wellenlänge und Temperatur, die durch die Beziehung

$$\lambda T < 3000 \text{ } (\mu \times \text{Grad abs. Temp.})$$

gekennzeichnet sind, während mit wachsendem λT zunehmende Abweichungen vom Gesetz gefunden wurden.

-
- 1) W. Wien, Wied. Ann. 58. p. 662. 1896.
 - 2) O. Lummer und E. Pringsheim, Verh. d. Deutsch. Physik. Ges. 1. p. 23. 1899.
 - 3) F. Paschen u. H. Wanner, Berl. Ber. p. 5. 1899.
 - 4) H. Wanner, Ann. d. Phys. 2. p. 141. 1900.
 - 5) F. Paschen, Berl. Ber. p. 405. 1899.
 - 6) F. Paschen, Ann. d. Phys. 4. p. 277. 1901.
 - 7) O. Lummer u. E. Pringsheim, Verh. d. Deutsch. Physik. Ges. 2. p. 163. 1900.

Das von M. Planck im Jahre 1900 theoretisch begründete Gesetz¹⁾, wonach

$$E_{\lambda T} = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}$$

wird für die Werte von λT , die klein sind gegen c_2 (ungefähr = 15000) mit dem Wienschen identisch und zeigt für große Werte von λT nur geringe Abweichung vom Experiment. Durch die oben genannten sowohl, wie durch die neueren Versuche, insbesondere durch die von H. Rubens und F. Kurlbaum²⁾ wurde dieses Gesetz in dem Bereich von

$$\lambda T = 500 \quad \text{bis} \quad \lambda T = 100000$$

als gültig erwiesen. Von diesen Versuchen seien die von F. Paschen und H. Wanner³⁾, H. Wanner⁴⁾, O. Lummer und E. Pringsheim⁵⁾ besonders hervorgehoben, weil bei diesen Versuchen bis jetzt die kürzesten Wellen zur Beobachtung herangezogen wurden. Die genannten Autoren untersuchten zur Prüfung des Strahlungsgesetzes die isochromatischen Kurven, deren Gleichung für kleines λT aus der Wienschen Formel folgt:

$$\log \frac{E_1}{E_2} = \frac{c_2}{\lambda} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \log e.$$

Das Ergebnis war eine Bestätigung des Wienschen Gesetzes bis zu Wellenlängen von $0,486 \mu$ bei Temperaturen die der Ungleichung $\lambda T < 3000$ genügten, denn erstens zeigten die Isochromaten den durch die Theorie geforderten linearen Verlauf und zweitens stimmte die Konstante c_2 numerisch mit dem auf andern Wege gefundenen Werte befriedigend überein.

Auf Veranlassung von Herrn W. Wien habe ich nun eine Methode ausgebildet, mit deren Hilfe es möglich ist, kürzere Wellen, als bisher, zur Prüfung des Strahlungsgesetzes heranzuziehen. Ich kam bis zu Wellen von $0,334 \mu$.

1) M. Planck, Ann. d. Phys. 4. p. 553. 1901.

2) H. Rubens u. F. Kurlbaum, Ann. d. Phys. 4. p. 649. 1901.

3) F. Paschen u. H. Wanner, Berl. Ber. p. 5. 1899.

4) H. Wanner, Ann. d. Phys. 2. p. 141. 1900.

5) O. Lummer u. E. Pringsheim, Verh. d. Deutsch. Physik. Ges.

Das Prinzip der Prüfung des Gesetzes ist dasselbe, welches F. Paschen und H. Wanner und O. Lummer und E. Pringsheim¹⁾ verwandten: Die Untersuchung der Isochromaten der Wienschen Formel. Da ich aber für die einzelnen Kurven wegen der experimentellen Schwierigkeiten nicht genügend Punkte erhalten konnte, um ihren linearen Verlauf festzustellen, mußte ich mich damit begnügen, zu untersuchen, ob die aus meinen Versuchen berechnete Konstante c_2 numerisch mit der von F. Paschen und O. Lummer und E. Pringsheim gefundenen übereinstimmt.

Im äußersten Violett und Ultraviolett lassen alle bisher verwendeten Hilfsmittel zur Messung der Strahlung wie Bolometer und Thermosäule der geringen Strahlungsintensität wegen im Stich. Das Spektralphotometer kommt in Ultraviolett natürlich auch nicht in Betracht. Als einziges Maß für die Strahlungsintensität blieb also hier die Schwärzung der photographischen Platte übrig, da diese durch die zeitliche Summierung auch noch sehr geringe Intensitäten zu messen gestattet.

Der von K. Schwarzschild²⁾ aufgestellte Satz, daß bei gleicher Schwärzung der photographischen Platte die Beziehung gelte

$$J_1 t_1^p = J_2 t_2^p,$$

worin J_1 und J_2 die Intensitäten des aufgefallenen Lichtes, t_1 und t_2 die entsprechenden Expositionszeiten bedeuten; während p eine Plattenkonstante ist, schien besonders nach den Versuchen von G. Leimbach³⁾ eine brauchbare Methode einer photographischen Photometrierung in sich zu bergen. Meine eigenen Versuche in dieser Richtung, die durch die inzwischen veröffentlichten Versuche von P. P. Koch⁴⁾ und von Parkhurst⁵⁾ gestützt wurden, schienen aber bei Anwendung dieser Methode eine geringe Genauigkeit zu versprechen, so

1) O. Lummer u. E. Pringsheim, Verh. d. Deutsch. Physik. Ges. 3. p. 36. 1901; insbesondere p. 42.

2) K. Schwarzschild, Astrophys. Journ. 11. p. 89. 1900.

3) G. Leimbach, Zeitschr. f. wiss. Phot. 7. p. 157. 1909.

4) P. P. Koch, Ann. d. Phys. 30. p. 841. 1909; insbesondere Fußnote auf p. 843.

5) Parkhurst, Astrophys. Journ. 30. p. 33. 1909.

daß ich mich entschloß, eine andere Methode zu verwenden. Ihr Prinzip ist dasselbe wie das von P. P. Koch¹⁾ angegebene.

Auf der photographischen Platte wird eine Anzahl von Spektren des schwarzen Körpers — meist 4 — bei Temperaturen, die von 10 zu 10° anstiegen — z. B. 1120, 1130, 1140 und 1150 — mit einer für die in diesem Temperaturbereich und in dem zu untersuchenden Wellenlängenbezirk emittierte Energie als günstig ermittelten Expositionszeit aufgenommen. Mit derselben Expositionszeit werden dann eine Reihe von Spektren einer Lichtquelle mit variablen Intensitäten photographiert, deren Intensitätsverhältnisse bekannt sind. Dasselbe Verfahren wird dann mit einer entsprechend längeren Expositionszeit für eine Reihe von tieferen Temperaturen bei entsprechend geringeren Intensitäten der Vergleichslichtquelle wiederholt. Auf der entwickelten Platte wird endlich mit einem geeigneten Photometer der Schwärzungsgrad der Platte für bestimmte Wellenlängen in jedem Spektrum gemessen. Dieses Vorgehen gestattet, diejenigen Intensitäten der Vergleichslichtquelle durch Interpolation zu ermitteln, die bei gleicher Expositionszeit die gleichen Schwärzungen der photographischen Platte hervorbringen, wie die Strahlung des schwarzen Körpers bei verschiedenen Temperaturen, und da es ja selbstverständlich scheint, außerdem von J. Hartmann²⁾ schon erörtert wurde, braucht nicht mehr gesagt zu werden, daß die relativen Intensitäten des schwarzen Körpers dann gleich denjenigen der interpolierten Vergleichsintensitäten sind.

Die Schwierigkeit bestand nur darin, eine Lichtquelle zu finden, deren Intensität meßbar variabel war. Dieselben Gründe, die P. P. Koch³⁾ anführt, verboten mir eine Lichtquelle durch einen photometrierten Satz absorbierender Platten in geeigneten Abstufungen zu schwächen. Eine zweite Möglichkeit der Schwächung einer Lichtquelle in bekanntem Grad bietet sich durch Verwendung eines rotierenden Sektors mit verstellbarer Sektoröffnung. Für die photographische Platte ist aber dieses Schwächungsprinzip nicht zu verwenden. Während nämlich nach dem von Talbot ausgesprochenen

1) P. P. Koch, l. c.

2) J. Hartmann, Zeitschr. f. Instrumentenk. 19. p. 97. 1899.

3) P. P. Koch, l. c.

Satz für die unmittelbare Beobachtung mit dem Auge der rotierende Sektor aus physiologischen Gründen lediglich eine Herabsetzung der Intensität im Verhältnis der Sektoröffnung erzeugt, bewirkt er für die photographische Platte nach meinen Vorversuchen anscheinend ein Mittelding zwischen Verminderung der auffallenden Intensität und Herabsetzung der Expositionszeit.

Endlich konnte die Variation der Intensität einer Lichtquelle noch durch Veränderung des Abstandes einer Lampe von einer weißen Fläche vorgenommen werden. Da durch die Abstandsänderung die Intensität aller Wellenlängen in gleichem Maße verändert wird, konnte die Abhängigkeit der Helligkeit der Fläche vom Abstand der Lampe in weißem Licht photometriert werden. Nach diesem Prinzip verfuhr ich bei den unten näher zu beschreibenden Messungen.

Versuchsanordnung.

Allgemeines.

Vor den Spalt des Spektrographen (1) (Fig. 1) konnte der schwarze Körper gebracht werden, der sich in einem Heraeus-

Fig. 1.

ofen (2) befand. Dieser Ofen stand auf einem kleinen Wagen, der auf Rollen in Schienen lief, und konnte so vom Spalt ent-

fernt werden. Vor dem letzteren konnte eine Kühlblende angebracht werden, die von Leitungswasser durchströmt, verhindern sollte, daß sich der Spalt durch die unnötig auffallende Strahlung erwärme. Unterhalb der Schienen des Ofens war das eine Ende einer 3 m langen Photometerbank aufgestellt, so daß, wenn der Ofen zurückgeschoben war, auf der Photometerbank ein Wagen (3) vorgeschoben werden konnte, auf dem eine Gipsplatte so aufmontiert war, daß ihre Normale den Winkel zwischen der Achse des Kollimatorrohrs und der Richtung der Photometerbank halbierte. Alles war auf festen Gestellen an den Fußboden gekittet wie auch der Tisch, auf dem der Spektrograph stand. So konnte sowohl der schwarze Körper als auch die Gipsplatte leicht immer wieder an denselben Platz vor dem Spalt gebracht werden. Auf einem zweiten Wagen (4), auf der Photometerbank verschiebbar, waren 2 Osramlampen zu 65 Volt und jede zu 100 HK. montiert.

Der Spektrograph.

Der verwendete Spektrograph war ein Quarzspektrograph mit langen (ca. 100 cm) Brennweiten von Adam Hilger in London. Der Rahmen, der die Kassette trug, konnte senkrecht zur Längsausdehnung der Spektren in einem Schlitten mit Zahn und Trieb verschoben und seine Stellung an einer Skala abgelesen werden. Der Spalt war in einer Längsausdehnung von 4 mm geöffnet; die übrigen Teile waren durch eine von der Seite übergeschobene schwalbenschwanzförmige Blende zugedeckt. Im Kamerateil war unmittelbar vor der Kassette (etwa 3–4 mm vor der Platte) eine Blende angebracht, die eben groß genug war, das Lichtband in der Breite von 4 mm, wie es durch die Längsausdehnung des Spaltes bedingt war, durchzulassen. Diese Breite der Spektren war durch die Größe der Blende in den Hartmannschen Mikrophotometer, mit dem die Schwärzung gemessen wurde (siehe unten), gefordert. Die Kollimatorlinse des Spektrographen wurde mit Hilfe eines auf Unendlich eingestellten Fernrohres so justiert, daß das Licht von der Wellenlänge der violetten Quecksilberlinie (4047 Å.-E.) aus ihr als Bündel von möglichst parallelen Strahlen austrat. Für dieselbe Wellenlänge wurde das Prisma in das Minimum der Ablenkung gestellt. Durch eine Reihe

von Aufnahmen des Quecksilberspektrums wurde dann diejenige Kombination von Stellung der Kameralinse und Plattenneigung ermittelt, die für die zu untersuchenden Wellenlängen die schärfsten Linien ergab.

Mit dem so eingestellten Spektrographen wurde das Quecksilberspektrum aufgenommen. In dem gewonnenen Spektrogramm wurden die Linien mit denen der von R. Küch und T. Retschinsky¹⁾ und L. Arons²⁾ veröffentlichten Spektren identifiziert und die dortigen Angaben über die Wellenlängen übernommen. Die Abstände der Linien wurden unterm Mikroskop des Hartmannschen Mikrophotometers mit der in $\frac{1}{100}$ mm geteilten ($\frac{1}{1000}$ mm konnten geschätzt werden) Mikrometerschraube dieses Instrumentes ausgemessen. Diese Ausmessungen enthält Tabelle 1. Da die Länge der Mikrometerschraube

Tabelle 1.

Wellenlänge Å.-E.	mm auf der Mikrometerschraube reduziert	
5790	0,000	0,000
5769	0,291	0,291
5461	5,200	5,200
4358	30,963	30,963
4347	31,268	31,268
4339	31,536	31,536
4109	39,628	39,628
4078	40,775	40,775
4047	41,991	41,991
3984	44,516	44,516
3908	47,808	47,808
3738	9,558	57,366
3663	11,685	59,510
3655	12,135	59,959
3650	12,469	60,277
3573	15,511	63,319

nicht für das ganze Spektrum ausreichte, so ist sie bei der Linie 3908 Å.-E. auf den Nullpunkt zurückgestellt. Die Aus-

1) R. Küch u. T. Retschinsky, Ann. d. Phys. 22. p. 852. 1907.

2) L. Arons, Ann. d. Phys. 23. p. 176. 1907.

messungen der folgenden Linien sind auf den ursprünglichen Nullpunkt in Kolonne 3 reduziert. Die so erhaltenen Größen wurden zu einer Kurve vereinigt, deren Aussehen Kurve 1 wiedergibt. Als Abszisse wurden die Ausmessungen mit der Mikrometerschraube, als Ordinate die Wellenlängen aufgetragen.

Anmerkung. Die Originalkurve ist nach links bis zur Wellenlänge $\lambda = 0,58 \mu$ fortgesetzt. In dem hier nicht reproduzierten Gebiet liegen drei Kurvenpunkte: $\lambda = 0,5461$, $\lambda = 0,5769$, $\lambda = 0,5790$.

Kurve 1.

Die Originalkurve war in der Größe gezeichnet, daß 0,2 mm des an der Mikrometerschraube abgelesenen Linienabstandes, denen eine Wellenlängendifferenz von $0,002 \mu$ entsprach, abgelesen und 0,05 mm bzw. $0,0005 \mu$ geschätzt werden konnten. Mit Hilfe dieser Kurve konnten auf den Platten, auf denen eine Reihe von Linien durch Aufnahme des Hg-Spektrums festgelegt waren, Wellenlängen graphisch bei $0,3 \mu$ auf etwa 1 Proz. genau interpoliert werden.

Da die zu messenden Energiemengen selbst für die photographische Messung immer noch sehr klein sind, mußte, um die Expositionszeiten nicht allzu groß werden zu lassen, bei den Aufnahmen der kontinuierlichen Spektren ein breiter Spalt verwendet werden. Die Breite betrug 1 mm und wurde während der ganzen Messungen nicht verändert. Demgemäß erhält man aber eine bedeutende Übereinanderlagerung von Wellenlängen in jedem Teil des Spektrums. Als die an jeder Stelle in Betracht kommende Wellenlänge wurde die mittlere Wellenlänge dieses Bereichs angesehen. Dies wurde durch Ausmessung der Breite des Spalbildes, das von einer Hg-Linie auf der Platte entworfen wurde, und durch Feststellung seiner Lage gegenüber derselben Linie, die mit feinem Spalt aufgenommen war,

mit Hilfe der Dispersionskurve leicht ermittelt. Eine Überschlagsrechnung zeigt, daß dieses Wellenlängenbereich noch klein genug ist, daß der Verlauf der Isotherme in ihm als linear angesehen werden kann. Die Abhängigkeit der absoluten Empfindlichkeit der Platte von der Wellenlänge des auffallenden Lichts endlich ist, wie die Kurven von G. Leimbach¹⁾ selbst an den Stellen, an denen sie den größten Wert hat, also zwischen $\lambda = 0,45$ und $0,55 \mu$, zeigen, noch nicht so groß, daß man sie in dem kleinen Spektralbereich, welches der breite Spalt entwarf, hätte berücksichtigen müssen. Eine Berücksichtigung würde, wie ein Überschlag zeigt, zu einer so geringen Verschiebung der mittleren Wellenlänge führen, daß sie nicht ohne weiteres zu ermitteln und jedenfalls erheblich kleiner wäre, als der Fehler bei Bestimmung der Wellenlänge.

Der schwarze Körper.

Den schwarzen Körper bildete ein Pt-Hohlraum, den Fig. 2 im Längsschnitt zeigt. In einem Zylinder aus Pt-Blech von 29 mm Durchmesser und 70 mm Länge war 12 mm von dem einen Ende entfernt ein Boden aus demselben Material ein-

Fig. 2.

geschweißt. 3 mm vom anderen Ende befand sich eine Blende von 21 mm Durchmesser. Die Dimensionen waren so gewählt, daß der von der Rückwand aus durch die Blende austretende Strahlenkegel den Öffnungswinkel des Spektrographen eben erfüllte. Der Hohlraum war innen mit Eisenoxydul geschwärzt. Um einen Anhaltspunkt dafür zu haben, inwieweit dieser Hohl-

1) G. Leimbach, l. c.

körper einen schwarzen Körper realisiere (die Öffnung ist recht beträchtlich und die Wände reflektieren trotz des Eisenoxyduls merklich), wurde photometrisch bestimmt, wieviel Prozent einer auffallenden Lichtmenge aus dem Hohlraum wieder austritt. Das Resultat dieser Bestimmung ergab, daß weniger als

1 Proz.

einer eingefallenen Lichtmenge aus dem Hohlraum wieder austrat.¹⁾

Der Pt-Hohlkörper war in einem elektrischen Ofen von Heraeus, der eine Länge von 60 cm hatte, hineingeschoben, so daß der Boden des Hohlkörpers in die Mitte der Ofenlänge zu liegen kam. Der Durchmesser des Pt-Zylinders war so gewählt, daß er der lichten Weite des Tonrohres, welches durchs Innere des Ofens gesteckt war, genau entsprach. Dieses innere Rohr ragte vorn und hinten je 5 cm aus dem Ofen heraus. Die Enden trugen zwei Stäbe. Auf dem vom Spektrographen entfernteren Stab befand sich ein Visier, auf dem anderen eine feine Nadel. Ebenso waren auf dem Kollimatorrohr des Spektrographen zwei Stäbe befestigt, deren einer eine zweite Nadel, der andere eine weiße Scheibe mit einer schwarzen Marke trug. Nun wurde der Ofen koaxial mit dem Kollimatorrohr so aufgestellt, daß nur Licht, welches von der Rückwand des schwarzen Körpers ausging, auf die Kollimatorlinse auffiel. Durch Einstellen der genannten Nadeln in die Visierlinie Visier-schwarze Marke war es dann später möglich, den richtigen Stand des Ofens jederzeit zu kontrollieren, eventuell eine geringe Verschiebung, die der Ofen auf irgendwelche Weise erlitten hatte, zu verbessern.

Den Heizstrom lieferte die Akkumulatorenbatterie des Instituts; er wurde vom Nebenzimmer aus, wo sich das Meßinstrument für die Temperaturbestimmung befand, mit einem Ampèremeter gemessen und an zwei Widerständen reguliert bzw. konstant gehalten.

Das Thermoelement.

Zur Bestimmung der Temperatur des schwarzen Körpers diente ein Thermoelement nach Le Chatelier von Pt-PtRh.

1) Vgl. hierzu die Dissertation, Leipzig 1911.

Es hatte sich gezeigt, daß die Tonmasse des elektrischen Ofens und Chamotte bei hoher Temperatur einen geringen elektrischen Widerstand besitzen, so daß es bedenklich erschien, das Thermoelement im Innern des Ofens, etwa durch ein Auflager von Chamotte, zu stützen. Deshalb wurden die beiden Drähte des Thermoelementes in zwei Röhrchen aus Marquardscher Masse gesteckt und diese Röhrchen, die eine Länge von etwa 40 cm hatten, jeweils bis 5 mm an die Lötstelle herangeschoben. Diese beiden Röhrchen wurden in die hintere Öffnung des Ofens so eingeführt, daß sie weder einander noch die innere Wand des Tonrohres berührten. An dem aus diesem Rohr herausragenden Teil wurden sie mit einer Klammer an einem Stativ festgehalten, das auf demselben Wagen montiert war, auf dem der ganze Ofen stand. Die Lötstelle des Elementes wurde auf diese Weise etwa 1 mm von der Rückwand des Pt-Hohlkörpers entfernt in der Achse des Ofenrohres gehalten. Endlich wurde die Öffnung des Ofenrohres, durch die das Element in den Ofen gesteckt war, um eine Luftzirkulation durch den Ofen zu vermeiden, mit Asbestwolle möglichst fest verstopft.

Die Drahtenden des Thermoelementes waren mit den Drähten eines Leitungskabels mit Gummiader verschraubt, das durch ein Loch in der Wand zu dem im Nebenzimmer aufgestellten Millivoltmeter führte. Die Anschlußstellen der Drahtenden an das Kabel waren auf ein schellacktiertes Hartgummistück aufgeschraubt und so gegeneinander isoliert. Das Hartgummistück endlich stak in einem innen ganz mit Schellack ausgegossenen Messinggefäß, das mit einem Kork mittels Siegelack dicht verschlossen war. Durch den Kork waren die vier Drähte mit Schellack isoliert und mit Siegelack gedichtet durchgeleitet. Ferner war durch den Kork, auch mit Siegelack gedichtet, ein langes Glasrohr geführt, durch welches das Innere des Messinggefäßes mit der Atmosphäre in Verbindung stand. Das ganze Messinggefäß wurde während der Messungen in Eiswasser gesetzt, wobei durch die Verbindung des Innenraumes mit der Atmosphäre vermieden werden sollte, daß durch die Abkühlung innen ein Unterdruck entstand, durch den möglicherweise Eiswasser ins Innere hätte gesaugt werden können.

Zur Messung der Spannung des Thermoelementes diente ein Millivoltmeter von Siemens & Halske, welches außer einer Teilung in $\frac{1}{10}$ Millivolt eine Teilung in Temperaturgrade besaß, die für das benutzte Thermoelement galt. Auf dieser Gradskala konnten 10° abgelesen, 1° geschätzt werden. Ich war nicht sicher, wie genau diese Gradteilung war, und ob seit der Lieferung des Thermoelementes zusammen mit dem Millivoltmeter sich die Thermokraft des Elementes nicht etwa durch Zerstäuben des Pt geändert habe. Ich verglich daher das beschriebene Thermoelement mit einem neuen, soeben von der Reichsanstalt geeichten. Das geschah auf die Weise, daß das Thermoelement der Reichsanstalt genau in derselben Weise in den Ofen gesteckt wurde, wie es für das andere Element schon beschrieben ist. Die Einführung erfolgte aber von der anderen Seite, also durch die dem Spektrographen zugewendete Öffnung des Ofens.

Unter Berücksichtigung der nötigen Vorsichtsmaßregeln hinsichtlich der Temperatur der zweiten Lötstelle¹⁾ wurde bei zwölf verschiedenen Temperaturen zwischen 619 und 1351°C . die elektromotorische Kraft dieses Vergleichsinstrumentes bestimmt und nach den Angaben der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt auf die Temperatur der Lötstelle geschlossen.

Es ergab sich dabei, daß beide Thermoelemente eine Differenz von $3,4^{\circ}$ aufwiesen, und zwar zeigte das ursprüngliche Element die tiefere Temperatur an. Die Genauigkeit des neuen Thermoelementes wird auf $\pm 5^{\circ}$ angegeben. Mißt man beiden Elementen dieselbe Genauigkeit bei, so dürfte also durch eine Korrektur $+2^{\circ}$ an den Angaben des ursprünglichen Elementes die wahrscheinlichste Temperatur mit einem Fehler von $\pm 5^{\circ}$ festgelegt sein.

Die Osramlampen und die Photometerbank.

Die in Fig. 1 angedeutete Photometerbank war im physikalischen Institut nach Art der von Schmidt & Haensch gefertigten hergestellt und hatte eine nutzbare Länge von 236 cm. Neben dem einen Führungsrohre war ein Stab mit einer Millimeterteilung montiert. Zwei Wagen konnten auf

1) Vgl. hierüber die Dissertation, Leipzig 1911.

Rollen auf der Bank verschoben werden und ihre Stellung mittels Zeigern, die an den Wagen festsaßen, an der Teilung abgelesen werden, wobei 0,2 mm geschätzt werden konnten. Der eine Wagen trug, wie oben schon angedeutet, eine Gipsplatte, während auf dem zweiten Wagen zwei Osramlampen zu je 100 HK. bei 65 Volt Spannung befestigt waren. Über die ganze Photometerbank war ein Holzgestell gesetzt, das so mit schwarzen Tüchern ausgekleidet war, daß die Bank bis auf eine kleine Öffnung, durch welche das Kollimatorrohr des Spektrographen hineinragte, eingeschlossen war. An dem vorderen Ende der Bank konnte diese Umhüllung leicht entfernt werden, wenn der schwarze Körper vor den Spalt gebracht werden mußte.

Um die Abhängigkeit der Helligkeit der Gipsplatte von der Stellung der Osramlampen auf der Bank festzustellen (von einem quadratischen Entfernungsgesetz konnte bei der Ausdehnung der Lichtquelle keine Rede sein), wurde folgendermaßen verfahren:

An die Stelle, an der sich später der Spalt des Spektrographen befand, wurde ein Photometer von Lummer und Brodhun (*Ph* vgl. Fig. 3) gestellt. Als Vergleichslicht dienten

Fig. 3.

zwei Osramlampen (*O*) zu je 50 HK. und 65 Volt, welche an derselben Batterie lagen wie die obengenannten Lampen. Das Licht dieser Vergleichslampen fiel durch einen rotierenden Sektor (vgl. oben), ins Photometer. Durch ein innen mit Samt verkleidetes Papperohr, das bis dicht an den Sektor heranreichte, war dafür gesorgt, daß nicht die geringste Helligkeit im Photometer zu bemerken war, wenn der Sektor geschlossen

war. Ebenso war auf die Gipsplatte ein innen mit Samt ausgekleidetes Kästchen geschoben, welches eine Öffnung für die auf die Gipsplatte auffallenden Strahlen hatte und verhinderte, daß die geringsten Spuren falsches Licht ins Photometer fielen. Dieses Kästchen blieb auch späterhin an der Gipsplatte und reichte bei der Aufstellung der letzteren vor dem Spektrographen bis eben an den Spalt heran.

Dem rotierenden Sektor wurden nun verschiedene Öffnungen gegeben und durch Verschieben des Wagens, der die Osramlampen trug, die Stellung ermittelt, die die gleiche Helligkeit im Photometer erzeugte. Durch Ablesen des Schwächungsgrades am rotierenden Sektor (vgl. oben) konnten so die relativen Helligkeiten der Gipsplatte in ihrer Abhängigkeit von der Lampenstellung bestimmt werden.

Es ist noch zu bemerken, daß dem rotierenden Sektor gelegentlich bei einer und derselben Öffnung verschiedene Tourenzahlen erteilt wurden, nämlich ca. 1600 Umdrehungen und 1100 Umdrehungen pro Minute. Die Mittel aus je sechs Einstellungen in den beiden Fällen stimmten dabei auf $\frac{1}{100}$ miteinander überein. Das beweist, daß die Tourenzahl von 1600 Umdrehungen pro Minute, wie sie bei den Messungen verwendet wurde, groß genug war, daß das Resultat von der Umdrehungszahl unabhängig wurde.

Die Tab. 2 gibt folgende Daten: Kolonne I gibt die Ablesung an einem Nonius am roten Sektor, Kolonne II die am anderen Nonius, Kolonne III das Mittel, Kolonne IV das daraus berechnete Intensitätsverhältnis, wenn man willkürlich eine der gemessenen Intensitäten gleich 1 setzt, Kolonne V gibt die Stellung der Lampen auf der Bank und zwar als Mittel von je sechs Einstellungen in Millimetern.

Die mittleren Fehler der Mittelwerte dieser sechs Einstellungen gibt Kolonne VI.

Dabei ist zu bemerken, daß die unmittelbaren Ablesungen am Nonius II einer Korrektur von $+0,10$ bedurften, da die Teilung dieses Nonius, wie sich aus Ablesungen bei geschlossenem Sektor zeigte, offenbar um diesen Betrag verschoben war. Diese Korrektur ist in Kolonne II schon angebracht.

Tabelle 2.

Nonius I	Nonius II	Mittel der Nonien	Helligkeit der Gipsplatte	Stellung der Osramlampen (Mittel aus 6 Einst.)	Mittlerer Fehler
49,88	49,88	49,88	1,140	263,2	$\pm 0,5$
43,74	43,74	43,74	1,000	285,8	$\pm 0,6$
40,76	40,76	40,70	0,933	296,9	$\pm 0,6$
38,06	38,04	38,05	0,869	315,0	$\pm 0,8$
35,27	35,28	25,27	0,806	330,2	$\pm 0,5$
32,81	32,88	32,85	0,751	344,0	$\pm 0,9$
30,93	30,91	30,92	0,706	354,3	$\pm 0,8$
28,39	28,39	28,39	0,648	374,1	$\pm 1,2$
25,55	25,56	25,55	0,583	393,6	$\pm 0,9$
23,06	23,07	23,06	0,526	418,6	$\pm 0,5$
20,12	20,10	20,11	0,459	451,8	$\pm 0,5$
17,99	17,99	17,99	0,411	477,9	$\pm 0,6$
15,99	15,99	15,99	0,366	507,9	$\pm 1,2$
15,57	15,57	15,57	0,355	516,0	$\pm 0,5$
15,25	15,25	15,25	0,3489	524,3	$\pm 0,6$
14,52	14,56	14,54	0,3325	541,5	$\pm 1,5$
13,83	13,77	13,80	0,3149	550,1	$\pm 0,5$
12,27	12,29	12,28	0,2807	587,2	$\pm 0,5$
10,94	10,94	10,94	0,2509	623,3	$\pm 0,8$
10,43	10,42	10,43	0,2385	641,4	$\pm 0,5$

Der Variationsbereich des rotierenden Sektors war nicht groß genug, um mit ein und derselben Vergleichslampe auf der Photometerbank ein Intensitätsintervall von genügendem Umfang zu photometrieren. Es wurde daher eine zweite Reihe von Messungen mit einer Osramlampe von 8 Volt und 16 HK. als Vergleichslichtquelle angestellt, die in Tab. 3 angegeben sind, die analog der Tab. 2 angeordnet sind.

Den Anschluß der zweiten Messungsreihe an die erste erhielt ich dadurch, daß ich die Teile der beiden Messungs-

Tabelle 3.

Nonius I	Nonius II	Mittel der Nonien	Helligkeit der Gipsplatte	Stellung der Osramlampen (Mittel aus 6 Einst.)	Mittlerer Fehler
49,89	49,89	49,89	1,000	569,1	$\pm 0,4$
47,27	47,28	47,27	0,951	580,7	$\pm 0,4$
44,86	44,84	44,85	0,901	603,9	$\pm 1,2$
41,94	41,94	41,94	0,841	625,3	$\pm 0,6$
39,88	39,85	39,87	0,801	640,9	$\pm 0,9$
37,43	37,41	37,42	0,753	661,4	$\pm 0,6$
34,60	34,59	34,60	0,695	693,1	$\pm 0,8$
32,27	32,28	32,28	0,649	718,1	$\pm 0,5$
29,99	29,98	29,99	0,602	749,6	$\pm 0,7$
28,31	28,30	28,30	0,568	773,8	$\pm 0,9$
26,01	25,96	25,99	0,5215	808,0	$\pm 0,9$
23,55	23,55	23,55	0,4730	852,2	$\pm 1,3$
19,77	19,77	19,77	0,3966	938,1	$\pm 1,0$
17,62	17,60	17,61	0,3535	994,8	$\pm 0,9$
16,08	16,04	16,06	0,3225	1048,0	$\pm 1,2$
14,42	14,42	14,42	0,2895	1111,8	$\pm 1,3$
12,67	12,65	12,66	0,2541	1187,3	$\pm 1,0$
11,73	11,74	11,73	0,2355	1229,8	$\pm 1,4$
10,82	10,82	10,82	0,2169	1269,6	$\pm 1,3$
10,15	10,13	10,14	0,2033	1323,9	$\pm 1,2$

reihen, die sich auf das beiden gemeinsame Stück der Photometerbank bezogen, zu Kurven ordnete, indem ich als Abszissen die Teilung der Photometerbank, als Ordinaten den Logarithmus der relativen Intensität auftrug. Dadurch erhielt ich zwei Kurven (vgl. die Reproduktion von $\frac{1}{3}$ der Größe des Originals Kurve 2), die mir durch ihren parallelen Verlauf bewiesen, daß in der Tat Messungsreihe II die Fortsetzung von I ist, aus denen ich aber ferner durch Messung des Abstandes an verschiedenen Stellen den Reduktionsfaktor bestimmen konnte,

der die Messungen II auf das Relativmaß der Messungen I brachte. Diese Messung, die in Tab. 4 im Maße der Ordinaten gegeben sind, zeigen den oben erwähnten parallelen

Kurve 2.

Tabelle 4.

Ordnungszahl des gemess. Abstandes	Abstand der Kurven im Maße der Ordinaten
1	0,526
2	0,522
3	0,523
4	0,526
5	0,528
6	0,528
7	0,529
8	0,526
9	0,528
10	0,528
11	0,527
12	0,527
13	0,527
14	0,526
15	0,526
16	0,526

Mittel 0,5264

Verlauf der Kurven, denn ein Gang ist nicht zu erkennen. Das Mittel ist 0,5264 und stellt den Logarithmus des Reduktionsfaktors dar. Die Tab. 5 enthält als Endresultat in Kolonne I

Tabelle 5.

Stellung der Osramlampen	log. Helligkeit der Gipsplatte	Stellung der Osramlampen	log. Helligkeit der Gipsplatte
263,2	0,0569	603,9	0,4281 - 1
285,8	0,0000	623,3	0,3995 usw.
296,9	0,9699 - 1	625,3	0,3981
315,0	0,9390 usw.	640,9	0,3769
330,2	0,9063	641,4	0,3775
344,0	0,8756	661,4	0,3502
354,3	0,8488	693,1	0,3156
374,1	0,8116	718,1	0,2856
393,6	0,7657	749,6	0,2531
418,6	0,7210	773,8	0,2276
451,8	0,6618	808,0	0,1906
477,9	0,6131	852,2	0,1486
507,9	0,5635	938,1	0,0719
516,0	0,5502	994,8	0,0216 - 1
524,3	0,5427	1048,0	0,9814 - 2
541,5	0,5218	1111,8	0,9345 usw.
550,1	0,4982	1187,3	0,8785
569,1	0,4735	1229,8	0,8451
580,7	0,4516	1269,6	0,8095
587,2	0,4482 - 1	1323,9	0,7810 - 2

die Stellung der Lampen, in Kolonne II den Logarithmus der relativen Intensität, bezogen auf die Intensität bei Lampenstellung 285,8 mm. Diese Werte wurden zu einer Kurve von der Größe vereinigt, daß die Abszisse die Teilung der Bank in natürlicher Größe wiedergab, während die dritte Dezimalstelle der Ordinatenwerte auf ± 1 genau geschätzt werden konnte. Der Grund dafür, daß als Ordinate der Logarithmus der relativen Intensität aufgetragen wurde, lag darin, daß die Kurve, wenn ich den Numerus im gleichen Maßstabe hätte auftragen wollen, zu umfangreich geworden wäre. Die größten Abweichungen der photometrierten Punkte von der durch-

gelegten Kurve betrugen 1 Proz. der Intensität. So war es möglich, für jede Lampenstellung die relative Helligkeit der Gipsplatte graphisch zu interpolieren. Die beigegebene Verkleinerung gibt ein Bild vom Aussehen der Originalkurve (Kurve 3).

Kurve 3.

Von großer Wichtigkeit war es, daß die Osramlampen stets mit derselben Spannung brannten. Orientierende Messungen hatten mir gezeigt, daß eine Schwankung der Spannung um 1 Proz. eine solche von 4 Proz. der Intensität des weißen Lichtes hervorruft. Die Lampen wurden daher nebeneinander geschaltet an die Akkumulatorenbatterie des Instituts von 70 Volt Spannung und 180 Ampèrestunden angelegt, die außer von mir im Institut nicht benutzt wurde. Im Stromkreis lagen außerdem ein Widerstand von etwa 2Ω (w_1 , Fig. 4) und parallel dazu zwei Ruhstratschiebewiderstände (w_2 , w_3) von 15 und 120Ω . An einem festen Widerstand (W), der in Petroleum lag, lag eine Kompensationsvorrichtung mit drei parallel geschalteten Normalelementen (E) (Westonelemente), die in einem Kasten in Watte gepackt waren, und einem Millivoltmeter als Nullinstrument (G). Der Kompensationsapparat und die Widerstände waren im Nebenzimmer aufgestellt. Die Zuleitungen waren durch ein Loch in der Wand geführt. Mit dieser Vor-

richtung war es jederzeit möglich, eine bestimmte Stromstärke mit einem Fehler $< \pm 0,003$ Proz. an die Lampen anzulegen und diese Stromstärke durch eventuelles Nachregulieren von w_2 oder w_3 auf weniger als $\pm 0,003$ Proz. konstant zu halten.

Fig. 4.

Diesem Fehler entsprechen 0,012 Proz. der gesamten Lichtintensität der Lampen.

Es war nicht von vornherein sicher, ob die Lampen nicht während der langen Brenndauer, die die Exposition einer Platte forderte (die längste war 19 Stunden), so verändert wurden, daß die emittierte Intensität gegen Schluß der Exposition eine andere war, als zu Anfang. Der Zweifel wurde dadurch entschieden, daß die Lampen vor Beginn und nach Beendigung der Hauptversuche im Violett mit einem Königsschen Spektralphotometer in der von F. F. Martens und

F. Grünbaum verbesserten Form¹⁾ photometriert wurden. Als Mittel von drei Beobachtungsreihen zu je 16 Ablesungen nach dem von Martens und Grünbaum als vorteilhaft angegebenen Schema ergab sich vor Beginn der Versuche ein Winkel von $48^{\circ} 16' 13''$, nach Beendigung der Versuche ein solcher von $47^{\circ} 40' 57''$. Das bedeutet also eine Zunahme der Intensität um etwa 4 Proz. Die Zunahme ist leicht erklärlich, wenn man bedenkt, daß der Widerstand der Lampen mit der Brenndauer wächst und daß auf konstanten Strom kompensiert wurde. Zwischen den beiden Photometrierungen hatten die Lampen länger als 94 Stunden gebrannt (laut Tagebuch). Es entfällt also auf die obigen 19 Stunden eine Änderung der Intensität um höchstens 0,8 Proz., wenn man einen linearen Abfall der Intensität mit der Zeit annimmt, was für die Zeit von 94 Stunden gegenüber der Lebensdauer der Lampen von einigen Tausend erlaubt ist.

Ausführung der Messungen.

Die Exposition der Spektren.

Die Ausführung der Messungen gestaltete sich demnach wie folgt: Zunächst wurde die Gipsplatte an ihren Platz vor den Spalt der Spektrographen gebracht und fünf Spektren bei verschiedenen Stellungen der Osramlampen mit ein und derselben Expositionszeit t_1 aufgenommen. Diese Expositionszeit war durch Vorversuche so ermittelt, daß für das zu untersuchende Wellenlängengebiet bei dem verwendeten Entwicklungsverfahren günstige Schwärzungen auf der photographischen Platte entstanden. Daran anschließend wurden fünf weitere Spektren aufgenommen, bei Intensitäten, die durch weite Verschiebung der Osramlampen gegenüber den Stellungen bei den ersten fünf Aufnahmen bedeutend herabgesetzt waren und demgemäß eine längere Belichtungszeit t_2 erforderten. Es folgten mit der Expositionszeit t_1 vier Spektren des schwarzen Körpers bei Temperaturen, die von 10 zu 10° anstiegen und durch Vorversuche so ermittelt waren, daß die erzeugten Schwärzungen für das zu untersuchende Wellenlängenbereich

1) F. F. Martens u. E. Grünbaum, *Ann. d. Phys.* **12**, p. 984. 1903.

in dem durch die fünf ersten Spektren festgelegten Schwärzungsintervall lagen. Analog wurden dann vier weitere Spektre des schwarzen Körpers jeweils mit Expositionszeit t_2 bei entsprechend geringeren Temperaturen erhalten.

Die Expositionszeiten schwankten für die verschiedenen Wellenlängen von 7 Minuten bis 4 Stunden. Sie wurden auf 1 Sekunde genau — der Sicherheit halber an zwei Uhren — gemessen.

Die verwendeten Platten hatten ein Format von $3\frac{1}{4}$ zu $4\frac{1}{4}$ Zoll (= 81 zu 107 mm). Am oberen und unteren Rand wurde jeweils ein Streifen von 12 mm wegen des Randschleiers freigelassen (ebenso natürlich auf jeder der beiden anderen Seiten). Bei der Breite der Spektren von 4 mm und einem Abstand von 2 mm voneinander waren also neun Spektren auf eine Platte zu bringen. Dadurch, daß nun jeweils die Hälfte der Platte, auf der die Teile der Spektren abgebildet wurden, deren Wellenlänge nicht zur Messung herangezogen wurde, durch ein lichtdichtes Papier abgedeckt wurden, konnten durch Umdrehen der Platte nach dem neunten Spektrum im ganzen 18 Spektren auf die Platte aufgenommen werden.

Während der Expositionen der Osramlampen wurde in kürzeren oder längeren Zwischenräumen (2—15 Min.), je nachdem die Spannung der Batterie rascher oder langsamer sank, das Nullinstrument des Kompensationsapparates kontrolliert und gegebenenfalls der Lampenstrom nachreguliert. Die höchste zugelassene Schwankung war $\pm 0,02$ Proz. der Stromstärke ($= \pm 0,08$ Proz. der Lichtintensität).

Die Temperatur des schwarzen Körpers wurde während der Belichtungen von 5 zu 5 Min. abgelesen und je nach den Schwankungen der Heizstrom reguliert. Das Mittel dieser Ablesung wurde als die ausschlaggebende Temperatur angesehen und zur Berechnung verwertet. Die Schwankungen betrugen bei den längsten Expositionen in seltenen Fällen $\pm 5^\circ$ auf die Dauer von < 5 Min.

Ich verwendete zu den Messungen meist Schleußnerplatten und zwar die Spezialrapidplatte, Spezialplatten für Sternwarten. Platte 5—7 sind jedoch Lumière Σ -Platten, die etwas empfindlicher sind als die Schleußnerplatten, dagegen nicht von

deren Gleichmäßigkeit der Schicht. Als Entwickler benutzte ich Brenzkatechin nach folgendem Rezept:

Lösung A: 5 g Brenzkatechin
 25 g Natriumsulfat
 250 g Wasser

Lösung B: 5 g Natriumhydroxyd
 47 g Natriumphosphat
 250 g Wasser.

Zur Entwicklung wurden

20 ccm der Lösung A
10 ccm der Lösung B
20 ccm Wasser

gemischt unter Zusatz von 10 Tropfen Bromkaliumlösung $\frac{1}{10}$. Die Dauer der Entwicklung war 7 Min. Durch diese Behandlung erhielt ich außerordentlich schleierfreie Platten.

Die Ausmessung und Verwertung der Spektren.

Zur Messung des Schwärzungsgrades der Platten wurde ein Mikrophotometer nach J. Hartmann¹⁾ verwendet. Den dazugehörigen Keil stellte ich mir aus demselben Plattenmaterial, das zu den Messungen diente, mit einem Scheinerschen Sensitometer her. Die Intensität der Belichtung war dabei so bemessen, daß die Expositionszeit annähernd die gleiche war wie diejenige, mit der die Mehrzahl der Spektren aufgenommen wurde.

Dadurch erreichte ich, daß der Keil genau dasselbe Korn hatte, wie die zu photometrierenden Platten. Besondere Vorsicht wurde darauf verwendet, einen von Staubteilchen und anderen Fehlern möglichst freien Keil zu erhalten.

Die Bestimmung der Wellenlänge in den kontinuierlichen Spektren erfolgte in der Weise, daß am oberen und unteren Rand jeder Platte auf beiden Hälften das Quecksilberspektrum vor Beginn bzw. nach Beendigung aller Expositionen aufgenommen wurde. Linien gleicher Wellenlänge in den beiden Quecksilberspektren einer Plattenhälfte wurden dann durch

1) J. Hartmann, Zeitschr. f. Instrumentenk. 19. p. 97. 1899.

einen feinen Riß mit einem scharfen Messer miteinander verbunden, der auf den dazwischen liegenden kontinuierlichen Spektren die Stellen dieser Wellenlänge bezeichnete. Auf diesen Riß wurde für jedes zu untersuchende Spektrum die Einstellungsmarke des Mikrophotometers eingestellt und in einem gewissen Abstand davon, der mit der Mikrometerschraube gemessen wurde, photometriert. Unter Berücksichtigung der Spaltbreite (vgl. oben) wurde dann auf der oben (vgl. p. 550) erhaltenen Kurve die Wellenlänge graphisch interpoliert, bei der die Schwärzungsmessungen vorgenommen wurden. Der durch dieses Verfahren bedingte Fehler in der Bestimmung der Wellenlängen ist nicht größer als die schon oben besprochenen.

Um lokale Plattenfehler auszuschalten, wurden in jedem Spektrum zwei benachbarte Punkte photometriert, die einen Abstand von 1 mm voneinander hatten. Jede Photometrierung dieser Punkte wurde fünfmal ausgeführt und das Mittel aus diesen fünf Ablesungen am Photometerkeil gezogen. Die einzelnen Messungen wichen von diesem Mittel nur wenig ab. Als Beispiel ist ein Teil der Messungen an Platte 4 willkürlich herausgegriffen und in Tab. 6 wiedergegeben.

Tabelle 6.

1. Spektrum.		2. Spektrum.	
Photometerablesungen		Photometerablesungen	
1. Punkt	15,7	1. Punkt	18,2
	16,6		18,2
	15,9		18,5
	16,1		17,8
	15,9		17,9
Mittel	16,04	Mittel	18,12
2. Punkt	15,2	2. Punkt	16,9
	15,4		17,0
	15,8		17,1
	15,3		17,2
	15,1		17,8
Mittel	15,34	Mittel	17,10

Tabelle 6 (Fortsetzung).

3. Spektrum.		4. Spektrum.	
Photometerablesungen		Photometerablesungen	
1. Punkt	19,9	1. Punkt	22,5
	19,8		22,7
	19,7		22,5
	19,9		22,3
	19,7		22,3
Mittel	19,80	Mittel	22,46
2. Punkt	18,7	2. Punkt	21,5
	18,5		21,5
	18,9		21,3
	18,7		21,2
	19,0		21,2
Mittel	18,76	Mittel	21,34

Diese Messungen wurden dann derart zu Kurven geordnet, daß für die Spektren der Osramlampen die relative Helligkeit der Gipsplatte als Abszisse, als Ordinate der Schwärzungsgrad in Skalenteilen ($\frac{1}{10}$ mm) am Keil des Mikrophotometers aufgetragen wurde. Für die Spektren des schwarzen Körpers wurden als Abszissen die Temperaturen angemerkt, während die Ordinaten dieselben wie oben waren. Zu einer Kurve wurden naturgemäß nur die Punkte für gleiche Wellenlängen in den Spektren vereinigt, die durch ein und dieselbe Expositionszeit gewonnen waren.

Das weitere Verfahren war nun das, daß aus den Kurven für den schwarzen Körper eine Reihe von Punkten, die besonders sicher erschienen, herausgegriffen wurden, in den Kurven der gleichen Wellenlänge und Expositionszeit der Osramlampen die Punkte derselben Schwärzung interpoliert wurden und die zugehörige Helligkeit der Gipsplatte abgelesen wurde. So konnte eine Reihe von Intensitätsverhältnissen bestimmt werden.

Resultate.

Tab. 7 gibt die Resultate der Photometrierungen an Platte 1 wieder. Darin sind in der Tab. I in Kolonne I die

Ordnungsnummer des betreffenden Spektrums, in Kolonne II die Expositionszeit, in Kolonne III die Stellung der Osramlampen auf der Bank angegeben. Kolonne IV enthält die graphisch interpolierte log. relative Helligkeit, Kolonne V die relative Helligkeit selbst, Kolonne VI, a und b das Mittel der fünf Schwärzungsmessungen bei den beiden Wellenlängen $\lambda = 0,492 \mu$ und $0,496 \mu$ in Skalenteilen der Keilskala. In der Tab. II sind in Kolonne I die Ordnungsnummern der Spektren, in Kolonne II die Expositionszeiten, in Kolonne III die abgelesenen mittleren Temperaturen in Grad Celsius, in Kolonne IV die mit Korrektur (vgl. p. 554) versehene Temperatur, in Kolonne VI die Schwärzungen wie oben enthalten.

Tabelle 7.

Platte 1. Tabelle I. Spektren der Osramlampen.

Nr. des Spektr.	Expo- sitions- zeit	Stellung der Lampen cm	log. Helligkeit der Gipsplatte	Helligkeit d. Gips- platte	Schwärzung d. Platte (Photometerablesungen)	
					$\lambda = 0,492 \mu$	$\lambda = 0,496 \mu$
1	15'	29,0	0,996 -1	0,992	49,44	42,14
2	"	33,0	0,906 -1	0,806	45,27	38,34
3	"	38,0	0,794 -1	0,623	38,66	32,32
4	"	44,0	0,674 -1	0,473	33,29	28,24
5	"	51,0	0,561 -1	0,364	29,00	24,42
6	45'	79,0	0,210 -1	0,162	30,54	25,42
7	"	90,0	0,103 -1	0,1269	27,01	23,20
8	"	100,0	0,0042 -1	0,1010	24,46	20,04
9	"	114,0	0,902 -2	0,0799	21,21	17,36
10	"	130,0	0,797 -2	0,0627	18,53	15,74

Kurve 4
Kurve 5
Kurve 6

Tabelle II. Spektren des schwarzen Körpers.

Nr. des Spektr.	Expo- sitions- zeit	Temperatur in ° C. unkorrigiert	Temperatur in ° C. korrigiert	Schwärzung der Platte (Photometerablesungen)	
				$\lambda = 0,492 \mu$	$\lambda = 0,496 \mu$
11	15'	1030	1032	36,56	31,82
12	"	1041	1043	40,16	36,08
13	"	1050	1052	44,50	38,90
14	"	1060	1062	48,37	43,82
15	45'	930	932	21,40	18,82
16	"	919,6	922	18,34	16,62
17	"	951,5	953	26,80	23,50
18	"	939,8	942	22,99	20,50

Kurve 6
Kurve 7
Kurve 8

Kurve 5. Platte 1. Osramlampen, geringe Helligkeiten der Gipsplatte.

Kurve 4. Platte 1. Osramlampen, große Intensitäten.

Kurve 6. Platte 1. Hohe Temperaturen des schwarzen Körpers.

Kurve 7. Platte 1. Niedrige Temperaturen des schwarzen Körpers.

Die Kurven 4—7 geben die graphische Darstellung dieser Resultate. Und zwar stellen Kurve 4 die Photometrierungen an den Spektren der Osramlampen von hoher Intensität bei den beiden Wellenlängen, Kurve 5 die der Spektren der Lampen bei geringer Intensität, Kurve 6 diejenige der Spektren des schwarzen Körpers bei hoher und Kurve 7 bei niedriger Temperatur dar. Tab. 8 enthält dann die aus den Kurven 4—7 berechneten Werte von c . Tab. I ist eine Hilfstabelle, aus der hervorgeht, welche Kurvenpunkte zur Berechnung herangezogen wurden.

Tabelle 8.
Platte 1. Tabelle I.

T absolut		T absolut	
$T_1 = 1195,5$	} aus Kurve 7	$T_5 = 1305,3$	} aus Kurve 6
$T_2 = 1203,0$		$T_6 = 1313,0$	
$T_3 = 1213,0$		$T_7 = 1323,0$	
$T_4 = 1225,5$		$T_8 = 1333,0$	

Tabelle II. Wellenlänge 0,496 μ .

$T_a T_b$	$\left(\frac{1}{T_b} - \frac{1}{T_a}\right) 10^5$	$\log \frac{J_a}{J_b}$	c_2	Diff. $\frac{T_b - T_a}{\Delta}$	$\Delta \cdot c_2 \cdot 10^{-3}$
$T_1 T_5$	6,91	0,9376	15490	110	1703
$T_1 T_6$	7,47	0,9900	15150	118	1788
$T_1 T_7$	8,06	1,0787	15290	128	1957
$T_2 T_5$	6,39	0,8637	15470	102	1579
$T_2 T_6$	6,95	0,9161	15070	110	1657
$T_2 T_7$	7,54	1,0048	15220	120	1826
$T_3 T_5$	5,70	0,7779	15600	92	1436
$T_3 T_6$	6,26	0,8303	15170	100	1517
$T_3 T_7$	6,85	0,9190	15340	110	1687
$T_4 T_5$	4,90	0,6754	15760	80	1261
$T_4 T_6$	5,46	0,7278	15220	88	1338
$T_4 T_7$	6,05	0,8175	15440	98	1513

Tabelle III. Wellenlänge 0,492 μ .

$T_1 T_5$	6,91	0,9305	15240	110	1676
$T_1 T_6$	7,47	0,9941	15070	118	1778
$T_1 T_7$	8,06	1,0698	15030	128	1924
$T_1 T_8$	8,66	1,1743	15300	138	2111
$T_2 T_5$	6,39	0,8597	15240	102	1554
$T_2 T_6$	6,95	0,9213	15020	110	1652
$T_2 T_7$	7,54	0,9970	14970	120	1797
$T_2 T_8$	8,14	1,1015	15330	130	1992
$T_3 T_5$	5,70	0,7679	15260	92	1404
$T_3 T_6$	6,26	0,8375	15040	100	1504
$T_3 T_7$	6,85	0,9072	15000	110	1650
$T_3 T_8$	7,45	1,0117	15370	120	1844
$T_4 T_5$	4,90	0,6640	15340	80	1227
$T_6 T_6$	5,46	0,7276	15080	88	1327
$T_6 T_7$	6,05	0,8033	15030	98	1473
$T_6 T_8$	6,65	0,9078	15450	108	1668

In Tab. II und III sind die Berechnungen durchgeführt. Kolonne I enthält die Temperaturen, zwischen denen das Verhältnis gebildet ist, Kolonne II die Größe $(1/T_b - 1/T_a)$, Kolonne III das gefundene Verhältnis $\log J_a/J_b$, Kolonne IV

Kurve 8. Platte 2. Osramlampen, große Helligkeiten der Gipsplatte.

endlich das daraus nach der Isochromatengleichung berechnete c_2 . Die Genauigkeit der einzelnen Bestimmungen ist proportional der Temperaturdifferenz; daher wurde bei der

Mittelbildung von c_2 diese Differenz, die in Kolonne VI enthalten ist, als Gewicht p eingeführt. Kolonne VII enthält $p c_2$.

Auf Platte 2 und 3 wurden die gleichen Wellenlängengruppen untersucht. $\lambda = 0,446 \mu$ und $\lambda = 0,444 \mu$. Die

Kurve 9. Platte 2. Osramlampen, geringe Helligkeiten der Gipsplatte.

graphische Darstellung¹⁾ dieser Resultate findet sich für Platte 2 in den Kurven 8—11, für Platte 3 in den Kurven 12—15.

1) Die Resultate der Schwärzungsmessungen in Tabellenform sind in der Dissertation, Leipzig 1911, enthalten.

Ferner geben die Tab. 9 und 10 die Berechnungen für bzw. Platte 2 und 3 in derselben Art wie Tab. 8 diejenigen für Platte 1 gibt.

Kurve 10. Platte 2. Hohe Temperaturen des schwarzen Körpers.

Kurve 11. Platte 2. Niedrige Temperaturen des schwarzen Körpers.

Tabelle 9.

Platte 2. Tabelle I.

T absolut	
$T_1 = 1270,0$	aus Kurve 11
$T_2 = 1345,5$	} aus Kurve 10
$T_3 = 1353,0$	
$T_4 = 1363,0$	
$T_5 = 1373,0$	

Tabelle II.
Wellenlänge 0,446 μ .

$T_a \ T_b$	$\left(\frac{1}{T_b} - \frac{1}{T_a}\right) 10^5$	$\log \frac{J_a}{J_b}$	c_2	Diff. $T_b - T_a$ Δ	$\Delta \cdot c_2 \cdot 10^{-3}$
$T_1 \ T_2$	4,40	0,5985	13980	75	1048
$T_1 \ T_3$	4,86	0,6680	13920	83	1155
$T_1 \ T_4$	5,39	0,7519	14330	93	1333
$T_1 \ T_5$	5,92	0,8438	14640	103	1507
$T_2 \ T_5$	1,52	0,2453	16590	28	465

Kurve 12. Platte 3. Osramlampen, große Helligkeiten der Gipsplatte.

Tabelle III.

Wellenlänge 0,444 μ .

$T_a T_b$	$\left(\frac{1}{T_b} - \frac{1}{T_a}\right) 10^6$	$\log \frac{J_a}{J_b}$	c_2	Diff. $\frac{T_b - T_a}{\Delta}$	$\Delta \cdot c_2 \cdot 10^{-3}$
$T_1 T_2$	4,40	0,6201	14410	75	1080
$T_1 T_3$	4,86	0,6845	14400	83	1195
$T_1 T_4$	5,39	0,7687	14580	93	1356
$T_1 T_5$	5,92	0,8581	14810	103	1526
$T_2 T_5$	1,52	0,2380	16000	28	446

Kurve 13. Platte 3. Osramlampen, geringe Helligkeiten der Gipsplatten.

Kurve 14. Platte 3. Hohe Temperaturen des schwarzen Körpers.

Kurve 15. Platte 3. Tiefe Temperaturen des schwarzen Körpers.

Tabelle 10.

Platte 3. Tabelle I.

<i>T</i> absolut		<i>T</i> absolut	
$T_1 = 1268,0$	} aus Kurve 15	$T_4 = 1343,0$	} aus Kurve 14
$T_2 = 1278,9$		$T_5 = 1353,0$	
$T_3 = 1288,0$		$T_6 = 1363,0$	
		$T_7 = 1373,0$	

Tabelle II. Wellenlänge 0,446 μ .

$T_a \ T_b$	$\left(\frac{1}{T_b} - \frac{1}{T_a}\right) \cdot 10^5$	$\log \frac{J_a}{J_b}$	c_2	Diff. $\frac{T_b - T_a}{\Delta}$	$\Delta \times c_2 \cdot 10^{-3}$
$T_1 \ T_4$	4,41	0,6511	15160	75	1137
$T_1 \ T_5$	4,96	0,7182	14880	85	1265
$T_1 \ T_6$	5,50	0,8227	15360	95	1459
$T_1 \ T_7$	6,04	0,8725	14840	105	1557
$T_2 \ T_4$	3,80	0,5628	15220	65	989
$T_2 \ T_5$	4,35	0,6297	14870	75	1116
$T_2 \ T_6$	4,89	0,7076	14860	85	1163
$T_2 \ T_7$	5,43	0,7840	14830	95	1408
$T_3 \ T_4$	3,19	0,4685	15060	55	828
$T_3 \ T_5$	3,74	0,5354	14690	65	955
$T_3 \ T_6$	4,28	0,6133	14710	75	1103
$T_3 \ T_7$	4,82	0,6897	14690	85	1248

Tabelle III. Wellenlänge 0,444 μ .

$T_1 \ T_4$	4,41	0,6715	15560	75	1167
$T_1 \ T_5$	4,96	0,7408	15270	85	1297
$T_1 \ T_6$	5,50	0,7961	14770	95	1403
$T_1 \ T_7$	6,04	0,9041	15300	105	1617
$T_2 \ T_4$	3,80	0,5722	15400	65	1001
$T_2 \ T_5$	4,35	0,6415	15070	75	1130
$T_2 \ T_6$	4,89	0,7234	15120	85	1285
$T_2 \ T_7$	5,43	0,8048	15150	95	1439
$T_3 \ T_4$	3,19	0,4642	14860	55	818
$T_3 \ T_5$	3,74	0,4335	14590	65	948
$T_3 \ T_6$	4,28	0,6154	14690	75	1102
$T_3 \ T_7$	4,82	0,6968	14770	85	1255

Auf Platte 4 wurden Messungen bei den Wellenlängen $\lambda = 0,359 \mu$ und $\lambda = 0,357 \mu$ ausgeführt, deren graphische Darstellung die Kurven 16—19 wiedergeben.

Kurve 16. Platte 4. Osramlampen, große Helligkeiten der Gipsplatten.

Kurve 17. Platte 4. Osramlampen, geringe Helligkeiten der Gipsplatte.

Tab. 11 gibt die Verwertungen der Messungen an Platte 4.

Tabelle 11.
Platte 4. Tabelle I.

T absolut		T absolut	
$T_1 = 1383,0$	} aus Kurve 19	$T_5 = 1468,0$	} aus Kurve 18
$T_2 = 1393,0$		$T_6 = 1478,0$	
$T_3 = 1403,0$		$T_7 = 1488,0$	
$T_4 = 1408,0$			

Tabelle II. Wellenlänge 0,359 μ .

$T_a T_b$	$\left(\frac{1}{T_b} - \frac{1}{T_a}\right) 10^5$	$\log \frac{J_a}{J_b}$	c_2	Diff. $\frac{T_b - T_a}{\Delta}$	$\Delta \cdot c_2 \cdot 10^{-3}$
$T_1 T_6$	4,18	0,7889	15610	85	1327
$T_1 T_6$	4,61	0,8592	15410	95	1464
$T_1 T_7$	5,10	0,9283	15060	105	1581
$T_2 T_5$	3,65	0,6712	15210	75	1141
$T_2 T_6$	4,08	0,7414	15030	85	1277
$T_2 T_7$	4,57	0,8106	14680	95	1394
$T_3 T_6$	3,14	0,5643	14870	65	967
$T_3 T_6$	3,57	0,6345	14700	75	1102
$T_3 T_7$	4,06	0,7037	14330	85	1217
$T_4 T_5$	2,90	0,5154	14700	55	808
$T_4 T_6$	3,33	0,5856	14550	65	946
$T_4 T_7$	3,82	0,6548	14190	75	1064

Tabelle III. Wellenlänge 0,357 μ .

$T_1 T_5$	4,18	0,7947	15660	85	1331
$T_1 T_6$	4,61	0,8618	15380	95	1461
$T_1 T_7$	5,10	0,9216	14870	105	1562
$T_2 T_5$	3,65	0,6719	15160	75	1137
$T_2 T_6$	4,08	0,7390	14910	85	1267
$T_2 T_7$	4,57	0,7988	14310	95	1367
$T_3 T_5$	3,14	0,5692	14920	65	970
$T_3 T_6$	3,57	0,6363	14670	75	1099
$T_3 T_7$	4,06	0,6961	14110	85	1199
$T_4 T_5$	2,90	0,5255	14920	55	820
$T_4 T_6$	3,33	0,5826	14410	65	936
$T_4 T_7$	3,82	0,6524	14060	75	1054

Die Kurven 20—23 sind die Darstellungen der Schwärzungsmessungen an Platte 5 bei den Wellenlängen $\lambda = 0,336 \mu$ und $\lambda = 0,334 \mu$.

Platte 5 ist — im Gegensatze zu 1—4, welche Schleussnerplatten sind — eine Σ -Platte von Lumière. Die langen Expositionszeiten, die erforderlich waren, um selbst auf dieser

Kurve 20. Platte 5. Osramlampen, große Helligkeiten der Gipsplatte.

Kurve 21. Platte 5. Osramlampen, geringe Helligkeiten der Gipsplatte.

Kurve 22. Platte 5. Hohe Temperaturen des schwarzen Körpers.

Kurve 23. Platte 5. Tiefe Temperaturen des schwarzen Körpers.

Tabelle 12.

Platte 5. Tabelle I.

T absolut		T absolut	
$T_1 = 1395,5$	} aus Kurve 23	$T_4 = 1465,5$	} aus Kurve 22
$T_2 = 1405,5$		$T_5 = 1475,5$	
$T_3 = 1415,5$		$T_6 = 1485,5$	
		$T_7 = 1495,5$	

Tabelle II. Wellenlänge 0,396 μ .

$T_a T_b$	$\left(\frac{1}{T_b} - \frac{1}{T_a}\right) 10^5$	$\log \frac{J_a}{J_b}$	c_2	Diff. $\frac{T_b - T_a}{\Delta}$	$\Delta \cdot c_a 10^{-3}$
$T_1 T_4$	3,42	0,6562	14820	70	1037
$T_1 T_5$	3,88	0,7427	14790	80	1183
$T_1 T_6$	4,34	0,8253	14700	90	1323
$T_1 T_7$	4,79	0,9116	14720	100	1472
$T_2 T_4$	2,91	0,5460	14470	60	868
$T_2 T_5$	3,38	0,6325	14480	70	1013
$T_2 T_6$	3,83	0,7151	14430	80	1154
$T_2 T_7$	4,28	0,8014	14470	90	1303
$T_3 T_4$	2,41	0,4507	14440	50	722
$T_3 T_5$	2,87	0,5372	14440	60	866
$T_3 T_6$	3,33	0,6198	14390	70	1007
$T_3 T_7$	3,78	0,7061	14550	80	1156

Tabelle III. Wellenlänge 0,384 μ .

$T_2 T_4$	2,91	0,5944	15670	60	941
$T_2 T_5$	3,38	0,6792	15480	70	1084
$T_2 T_6$	3,83	0,7558	15170	80	1214
$T_2 T_7$	4,28	0,8495	15250	90	1372
$T_3 T_4$	2,41	0,4946	15770	50	788
$T_3 T_5$	2,87	0,5794	15490	60	930
$T_3 T_6$	3,33	0,6560	15160	70	1066
$T_3 T_7$	3,78	0,7497	15260	80	1221

empfindlichen Platte bei den geringen Intensitäten Schwärzungen zu erhalten, die im Bereich der normalen Exposition lagen, waren so groß, daß ich mich damit begnügen mußte, von den Osramlampen nur 8, vom schwarzen Körper nur 6 Spektren aufzunehmen.

Von den Kurven 20—23 sei auf Kurve 22, und zwar auf die untere ($\lambda = 0,334 \mu$) besonders aufmerksam gemacht. Es ist auffallend, daß diese Kurve im Gegensatze zu allen anderen einen so stark gekrümmten Verlauf aufweist. Dieser stammt offenbar von einem unkontrolliert gebliebenen Versuchsfehler. Aus diesem Grunde dürften die Angaben der Tab. 12 III, die gerade mit Hilfe dieser fehlerhaften Kurve gewonnenen Berechnungen enthält, nicht so sicher sein wie die der übrigen Tabellen. Dementsprechend wurde bei der Bildung des Gesamtmittels dieser Unsicherheit dadurch Rechnung getragen, daß diesen Berechnungen ein geringeres Gewicht ($1/2$ der übrigen Resultate) beigemessen wurde.

Die Berechnung des Gesamtmittels zeigt Tab. 13. Kolonne I enthält den Wellenlängenbereich, II den Temperaturbereich, III die Anzahl der berechneten Beobachtungen, IV die Summe der Gewichte, V die Summe $c_2 \cdot p$. (Die letzten zwei Kolonnen unter Berücksichtigung des geringen Gewichtes von Tab. 12 III.) Kolonne VI endlich bringt die Größe c_2 selbst.

Tabelle 13.

Wellenlängenbereich in μ		Temperaturbereich abs.		Anzahl d. zur Berechnung ben. Beob.	Σp	$\Sigma(p\ c_2)\ 10^{-3}$	c_2
von	bis	von	bis				
0,496	0,492	1195	1333	28	3008	45843	15230
0,446	0,444	1268	1373	34	2684	39901	14850
0,359	0,357	1383	1488	24	1920	28490	14830
0,336	0,334	1395	1495	20	1180	17412	14760
				$\Sigma =$	8792	131646	14970
					Mittel:		
					$\frac{\Sigma(p \cdot c_2)}{\Sigma p} =$		

Wie diese Resultate zeigen, dürfte c_2 in der Tat als Konstante angesprochen werden mit dem wahrscheinlichsten Wert

$$14970.$$

Eine kritische Beurteilung der ganzen Methode ergibt, daß ihre Genauigkeit bestenfalls einen Fehler von ± 2 Proz. im Gesamtmittel bedingt.

O. Lummer und E. Pringsheim¹⁾ finden für c_2 den Wert

$$14580,$$

während sie aus ihren Beobachtungen über das Wiensche Verschiebungsgesetz²⁾ durch sie die Konstante

$$\lambda_m T = 2940 \mu. \text{ Grad.}$$

bestimmten, nach der Planckschen Formel berechnen

$$c_2 = 14600.$$

H. Wanner³⁾ findet für c_2 den Wert

$$14509.$$

Der von mir gefundene Wert für c_2 zeigt also eine Abweichung von $+ 2,6$ Proz. von den von den genannten Forschern ermittelten. Die Abweichung ist in Anbetracht des möglichen Fehlers meiner Messungen eher der Methode zuzuschreiben, als daß eine Abweichung vom Strahlungsgesetz gefolgert werden darf. Man wird im Gegenteil aus der in dem von mir durchgemessenen Bereich sichtbaren Konstanz von c_2 einerseits und andererseits aus dem Umstand, daß das von mir bei langen Wellenlängen ($0,496$ und $0,492 \mu$) bestimmte c_2 , von dem der genannte Forscher in diesem Wellenbereich eine größere Abweichung zeigt, als mein Mittelwert, schließen können, daß das Wiensche Gesetz auch in dem von mir gemessenen Bereich (bis zu $\lambda = 0,334 \mu$) volle Gültigkeit besitzt.

1) O. Lummer u. E. Pringsheim, Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. Berlin 3. p. 36. 1901.

2) O. Lummer u. E. Pringsheim, l. c. 2. p. 176. 1900.

3) H. Wanner, Ann. d. Phys. 2. p. 141. 1900.

Anhang.

Mit den aus den vorstehenden Tabellen geschöpften Erfahrungen war es nun ein leichtes, zur Kontrolle der obigen Versuche eine Methode auszubilden, die, auf dem oben erwähnten Satz von Schwarzschild beruhend, die gleichfalls schon genannten Bedenken gegen eine derartige Methode im allgemeinen nicht aufkommen ließ. Wird nämlich der Exponent p auf jeder Platte gesondert bestimmt bei Schwärzungs- und Expositionsverhältnissen, die denjenigen, die durch die Strahlung des schwarzen Körpers hervorgebracht werden, möglichst gleich sind, so fallen die oben genannten Einwände weg.

Nach dieser Methode wurden zwei Platten exponiert und verwertet (Platte 6 und 7). Zunächst wurden eine Reihe von Aufnahmen der Osramlampen gemacht und zwar eine bei geringer Intensität und langer (fünfstündiger) Exposition und sechs bei ein und derselben großen Intensität mit verschiedenen Expositionszeiten. Auf derselben Platte wurde dann das Spektrum des schwarzen Körpers von tiefer Temperatur bei ebenfalls fünfstündiger Expositionszeit aufgenommen und sechs Spektren bei hoher Temperatur mit verschiedenen Expositionszeiten. Die Temperatur des schwarzen Körpers war dabei so gewählt, daß die Spektren nahezu die gleiche Schwärzung zeigten (allerdings nur bei einer bestimmten Wellenlänge) wie die der Osramlampen mit der entsprechenden Expositionszeit. Die Wellenlängenbestimmung erfolgte wie oben beschrieben.

Zur Auswertung der Platten verfuhr ich folgendermaßen: Das langexponierte Spektrum der Osramlampen wurde in Abständen von 0,5 bis 1 mm an einer Reihe von Stellen photometriert. Diese Abstände wurden als Abszisse, die Ablesungen am Photometerkeil als Ordinate einer Kurve aufgetragen. Dieses Verfahren hatte den Zweck, lokale Unregelmäßigkeiten zu eliminieren. Genau ebenso wurde mit dem langexponierten Spektrum des schwarzen Körpers verfahren. In dem so ausgemessenen Wellenlängenbereich wurden auf Platte 7:2, auf Platte 6:4 Wellenlängen in den anderen Spektren ausphotometriert. Für jede dieser gemessenen Wellenlängen wurden dann von den Spektren der Osramlampen und denen des

schwarzen Körpers Kurven gezeichnet, in denen die Expositionszeiten als Abszissen, die Photometerablesungen als Ordinaten aufgetragen waren. In diesen Kurven wurden dann diejenigen Expositionszeiten ermittelt, die dieselben Schwärzungen ergaben, wie sie das eine Spektrum mit der langen Expositionszeit bei den entsprechenden Wellenlängen zeigte. Somit war alles gegeben, um einerseits aus den Spektren der Osramlampen den Exponenten p zu berechnen. Nach oben muß für gleiche Schwärzungen sein:

$$p = \frac{\log J_2 - \log J_1}{\log t_1 - \log t_2}.$$

t_1 ist hierin die eine lange, t_2 die auf die eben beschriebene Art ermittelte Expositionszeit. J_1 und J_2 sind aus den Stellungen der Osramlampen zu entnehmen. Andererseits konnte man mit dem so berechneten p das Verhältnis J_2/J_1 für den schwarzen Körper bestimmen. Es ist

$$\log \frac{J_2}{J_1} = p(\log t_1 - \log t_2),$$

worin t_1 die lange, t_2 die aus den Kurven interpolierte Expositionszeit bedeutet.

Die Resultate sind in folgendem zusammengestellt:

1. Platte 6.

a) Spektren der Osramlampen zur Ermittlung von p :

$$\log J_1 = 0,054 - 1$$

$$\log J_2 = 0,972 - 1$$

$$t_1 = 180 \text{ Minuten.}$$

t_2 ermittelt für:

I	λ 0,361	zu	13,6 Min.
II	λ 0,356	„	14,0 „
III	λ 0,349	„	13,4 „
IV	λ 0,342	„	12,8 „

Daraus berechnet sich p für:

I	zu	0,818
II	„	0,827
III	„	0,813
IV	„	0,793

Da kein Gang in der Größe p mit der Wellenlänge zu bemerken ist, wurde das Mittel

$$p = 0,813$$

gezogen.

b) Spektren des schwarzen Körpers:

$$t_1 = 180 \text{ Minuten}$$

t_2 ermittelt für:

I	zu 18,4 Min.
II	„ 17,4 „
III	„ 18,0 „
IV	„ 16,4 „

Aus diesen Größen läßt sich $\log J_2/J_1$ berechnen unter Zugrundelegung von $p = 0,813$.

Tab. 14 enthält die Resultate; als unterste Reihe ist das berechnete c_2 angefügt.

Tabelle 14.

$$T_2 = 1505^\circ \text{ abs. } T_1 = 1405^\circ \text{ abs.}$$

Wellenlänge in μ	0,361	0,356	0,349	0,342
$\log \frac{J_2}{J_1}$	0,805	0,824	0,813	0,838
Konstante c_2 . .	14 150	14 275	13 820	13 970

2. Platte 7.

a) Spektren der Osramlampen:

$$\log J_1 = 0,103 - 1$$

$$\log J_2 = 0,972 - 1$$

$$t_1 = 302 \text{ Minuten.}$$

t_2 ermittelt für:

I	λ 0,361	zu 26,1 Min.
II	λ 0,356	„ 24,9 „

also p für:

$$I = 0,817$$

$$II = 0,802$$

$$\text{im Mittel: } 0,809.$$

b) Spektren des schwarzen Körpers:

$$t_1 = 300 \text{ Minuten}$$

t_2 ermittelt für:

I	zu 29,5 Min.
II	„ 27,0 „

Das daraus berechnete Verhältniß $\log J_2/J_1$ und die Konstante c_2 sind in Tab. 15 enthalten.

Tabelle 15.

$$T_2 = 1515^\circ \text{ abs. } T_1 = 1414^\circ \text{ abs.}$$

Wellenlänge in μ . . .	0,361	0,356
$\log \frac{J_2}{J_1}$	0,8155	0,8460
Konstante c_2	14540	14860

Diese Messungen sind nicht von derselben Genauigkeit wie die der Hauptmethode. Daß sie aber im Mittel 14270 ergeben, während aus den Hauptmessungen 14950 im Mittel folgt, scheint für die Sicherheit der letztgenannten Zahl zu sprechen.

Ich möchte diese Arbeit nicht abschließen, ohne meinem hochverehrten Lehrer, Hrn. Dr. W. Wien, für die Anregung dazu und das Interesse, welches er mir stets entgegenbrachte, verbindlichst zu danken. Auch Hrn. Dr. F. Harms möchte ich für das mir stets bewiesene Wohlwollen dankend gedenken.

Greifswald, 24. Mai 1811.

(Eingegangen 25. Mai 1911.)