15. *Ueber das Strahlungsgesetz des schwarzen Körpers. Entgegnung auf Ausführungen der Herren O. Lummer und E. Pringsheim;*

von F. Paschen.

Die von den Herren Lummer und Pringsheim neulich[1]) angezeigte Beleuchtung meiner Arbeiten ist nun erschienen.[2]) Allein ich kann mit ihren Auseinandersetzungen in keiner Weise einverstanden sein. Es mögen im Folgenden nur einige Punkte besprochen werden, welche mir entweder besonders unrichtig von den Verfassern dargestellt oder welche mir wichtiger erscheinen; doch bemerke ich im übrigen, dass ich fast jedem Satze ihrer langen Ausführungen widersprechen müsste.

In der Einleitung p. 194 steht: „Nachdem wir aber durch Ausdehnung unserer Versuche auf das Wellenlängengebiet von 12 μ bis 18 μ Abweichungen von der Wien'schen Gleichung bis 50 Proc. erhalten hatten, war erwiesen, dass die Paschen'schen Versuche fehlerhaft seien."

Hier extrapoliren die Verfasser wieder aus Versuchen über grosse Werte $\lambda . T$ auf ein Gebiet viel kleinerer Werte λT: genau wie in ihrer früheren Bemerkung.[3]) Ich kann dagegen nur wieder auf das verweisen, was in meiner letzten Arbeit[4]) p. 282 Anm. gegen diese frühere Bemerkung der Verfasser gesagt ist.[5]) Die neuen Behauptungen der Verfasser p. 204 f),

---

1) O. Lummer u. E. Pringsheim, Verhandl. d. Deutsch. Physik. Gesellsch. 3. p. 39. Anm. 1. 1901.

2) O. Lummer u. E. Pringsheim, Ann. d. Phys. 6. p. 192—211. 1901.

3) O. Lummer u. E. Pringsheim, Verhandl. d. Deutsch. Physik. Gesellsch. 2. Nr. 12a. p. 171 u. 172. 1900.

4) F. Paschen, Ann. d. Phys. 4. p. 277 1901.

5) Eine ähnliche Extrapolation schieben Lummer und Pringsheim in ihrer vierten Arbeit (Verhandl. d. Deutsch. Physik. Gesellsch. 3. p. 39. 1901), in der sie die photometrischen Versuche von Wanner

sie hätten solche Schlüsse nicht gezogen, erledigen sich damit. Aus den Versuchen der Verfasser bei 12 μ und 18 μ kann höchstens etwas über das Verhalten der Function in dem Gebiete entsprechender Werte λT gefolgert werden. Dass in dem Gebiete bis 9 μ bei den von mir untersuchten Temperaturen die Resultate meiner Versuche falsch seien, kann nie daraus gefolgert werden. Auch ist dadurch nicht bewiesen, dass die Abweichungen, welche Lummer und Pringsheim früher schon in dem Gebiete kleinerer Wellenlängen von Wien's Gesetz fanden, und welche sie als systematische Fortsetzungen der Abweichungen bei 12 μ und 18 μ erkannt zu haben meinen, reell sind. Thatsächlich gehen die systematischen Abweichungen von Wien's Gesetz, welche die Verfasser vor dem Erscheinen meiner letzten Arbeit veröffentlicht haben, weit in dasjenige Gebiet hinein, in welchem nach dem jetzigen Stande unserer Kenntnis keine nennenswerte Abweichung von Wien's Gesetz existirt. Hiermit meine ich nicht Abweichungen der hierin weniger beweiskräftigen Energiecurven von Wien's Gesetz, womit das von den Verfassern p. 198 unter a) Gesagte hinfällig wird, sondern, wie sehr deutlich von mir p. 298 Anm. 1 l. c. gesagt ist, die Abweichungen der Isochromaten kleiner Wellenlänge, welche in allen Arbeiten der Verfasser vor meiner letzten zu dem Zwecke publicirt scheinen, um die systematischen Aenderungen der von ihnen mit c bezeichneten

---

und mir und Wanner nach gleicher Methode (und nicht nach einer von ihnen öfter angekündigten bolometrisch-photometrischen Methode) wiederholen und bis ins kleinste bestätigen, Hrn. Wanner unter, indem sie sagen (p. 39): „Als Stütze für diese Annahme dienten ihm (Wanner) die spectrobolometrischen Versuche von F. Paschen, welcher erwiesen zu haben glaubte, dass die Wien'sche Spectralgleichung innerhalb der Wellenlängen von 0,7 μ bis 9,2 μ und im Temperaturbereich 400° bis 1600° abs. gültig ist.“ Wanner stützt sich vielmehr auf die Arbeit von Paschen und Wanner (Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin p. 5. 1899), welche er mit besseren Strahlungskörpern wiederholt, und diese sucht zu erforschen, ob Wien's Formel im Sichtbaren gültig sei, um eine Constante zu bestimmen. Ob die Formel in anderen Gebieten galt oder nicht, konnte für diese, wie für Wanner's Versuche in keiner Weise eine Stütze bilden. Durch meine ältesten Versuche wurde nur eine zu prüfende Formel dargeboten, ohne welche die Resultate der photometrischen Versuche wohl schwerlich eine Wiedergabe erhalten hätten, welche einen wesentlichen Fortschritt erkennen liess.

Grösse zu zeigen. Wiederholt von ihnen angeführte Zahlen z. B. sind folgende:

	λ	1,21	1,96	2,20	3,63	4,96	
	c	13510	13810	14240	14800	16510	Lummer u. Pringsheim
Paschen		14500	14500	14500	14890	15590	für $T = 1100^0$ abs. (mittl. T der Messungen der Verfasser)
		14500	14500	14500	14770	15320	für $T = 1000^0$ abs.

Abgesehen davon, dass diese Zahlen, die Veränderung von c vorausgesetzt, sehr unbestimmt definirt sind, solange die zugehörigen Temperaturen nicht genau angegeben sind, ändert sich die Grösse c höchstwahrscheinlich gar nicht wie diese Zahlen. Die untersten Reihen geben vielmehr für $T = 1000$ und $T = 1100^0$ abs. die Zahlen, welche meiner Arbeit und Planck's Gesetz entsprechend wohl jetzt als die richtigen anzusehen sind. Lummer und Pringsheim führen aber diese sich fälschlicherweise fortwährend ändernden Zahlen an, um „systematische Aenderungen" zu beweisen.

Es blieb daher nach meiner Ansicht trotz der Versuche von Lummer und Pringsheim bei 12 μ und 18 μ und der älteren von Beckmann bei noch längeren Wellenlängen die Möglichkeit bestehen, dass alle meine früheren Resultate richtig sind. Die Frage wäre vielmehr gewesen: wo hört Wien's Formel auf, gültig zu sein? Diese Frage glaube ich durch meine letzten Versuche zuerst scharf dahin beantwortet zu haben, dass die Gültigkeit dort aufhört, wo meine früheren Versuche über Energiecurven aus verschiedenen angegebenen Gründen nicht mehr beweisend waren, und wo auch Lummer und Pringsheim die Abweichungen der Energiecurven ihrer Flussspatspectren nicht als ganz zwingende betrachtet haben.

Es hat sich nun durch meine letzte Arbeit gezeigt, dass bei den ersten beiderseitigen Versuchen in dem Gebiete 1 μ bis 6 μ (soweit gehen die von Lummer und Pringsheim veröffentlichten Flussspatspectren nur) jedenfalls beiderseits Fehler gemacht sind. Lummer und Pringsheim haben ihre diesbezüglichen Versuche so angestellt, dass sie ein und dieselbe Anordnung des strahlenden Körpers und der Spectralanordnung beibehielten und dann zwischen den Temperaturen 621^0 und 1646^0 (Serie IV) oder 814^0 und 1430^0 (Serie I u. II) Beobachtungen machten, welche entweder als Energiecurven

oder isochromatische Curven verwertet wurden. Sie sind dabei nicht zu so tiefen Temperaturen hinabgekommen wie ich. Diese Anordnung erforderte ferner, dass die Wände des Hohlraumes bei jeder Temperatur gleichtemperirt sind, was schwierig, aber von ihnen doch wohl zuletzt gut erreicht ist. Ich habe mit der Beobachtung von Energiecurven allein begonnen und dazu die Anordnung für jede Temperatur möglichst günstig, für niedere Temperaturen z. B. erheblich anders als für höhere gewählt. Dann habe ich schliesslich Isochromaten als solche beobachtet mit einer wieder dafür günstig gewählten Anordnung. Die Gründe der Wahl, besonders der doppelten spectralen Zerlegung, habe ich sehr ausführlich besprochen, und es scheint mir ein grosser Irrtum von Lummer und Pringsheim, wenn sie, ohne meine Gründe zu beachten, meinen, mit einfacher Zerlegung sei ceteris paribus genau das gleiche Resultat zu erhalten, und die doppelte Zerlegung sei eine unnötige Complication. Auch dass es mir bei dieser Arbeit nur auf grosse Werte λT ankam, ist ein Irrtum von ihnen. Vielmehr wollte ich das gesamte Gebiet, welches ich früher mit Energiecurven durchmessen hatte, nun durch ganz anders angeordnete Versuche mit Isochromaten durchmessen. Für die Messung erster Art waren nur Hohlräume erforderlich, welche für ein gewisses Temperaturgebiet gleichtemperirt waren. Dagegen musste die Erzeugung des Spectrums einfach berechenbar sein. Die zweite Art Messung erforderte nur die Erzeugung eines schmalen, scharf begrenzten Spectralgebietes in beliebiger Weise, setzte aber Hohlräume voraus, welche bei allen Temperaturen gleichtemperirt waren.

Was zunächst die von Lummer und Pringsheim beobachteten Energiecurven in dem Gebiete bis 6 μ (sogenannte Flussspatversuche) betrifft, so sagen sie auch jetzt wieder, wie sie es wiederholt früher gesagt haben, dass sie die Abweichungen am absteigenden Aste aus diesen Versuchen allein noch nicht mit Sicherheit als reell hätten ansehen können. Nur um diese Abweichungen handelt es sich: erstens bei den von mir berichtigten Fehlern meiner Energiecurven höchster Temperatur und längster Wellenlängen, zweitens bei der ganzen Beweisführung von Lummer und Pringsheim, welche sie gegen meine Arbeiten anwenden. Dagegen haben

Lummer und Pringsheim bisher kein Wort veröffentlicht, wie es sich denn mit den ebenfalls grossen Fehlern verhält, welche die p. 648 angeführten Zahlen ihrer an Isochromaten gewonnenen Resultate enthalten. Diese Fehler sind um so auffälliger, als sie in dem durch viele ältere Arbeiten genau bekannten ultraroten Gebiet kleiner Wellenlängen gemacht sind und ebenfalls Beträgen von über 20 Proc. in der Grösse der Energie entsprechen. Die Methoden, diese Fehler zu vermeiden, waren alle gegeben. In meiner Arbeit aus dem Jahre 1897 sind sie ausführlich dargelegt und angewandt. Trotzdem scheinen Lummer und Pringsheim diese Fehler erst nach meiner letzten Arbeit erkannt zu haben, und, nachdem sie sich überzeugt hatten, dass sie die Resultate der photometrischen Versuche von Wanner und mir und Wanner[1]) alle bis ins kleinste qualitativ und quantitativ wieder erhielten.[2]) Jetzt steht mit einem Male überall auch bei ihnen, dass Wien's Gesetz erst für $\lambda T > 3000$ ungültig sei, nachdem ich diese neue Thatsache in meiner letzten Arbeit zuerst ausgesprochen und bewiesen habe. Vorher war auch für $\lambda T < 3000$ Thiesen's Formel eine bessere Darstellung von Lummer und Pringsheim's Versuchen. „Dass die Thiesen'sche Formel auch für unsere Flussspatversuche gilt, bedarf unsererseits keines Beweises, da sie ja diesem Umstande ihre Entstehung verdankt.“ Der Wert $c = 13510$ der Lummer-Pringsheim'schen Isochromate bei 1,21 μ bestätigt eben Thiesen's Formel, ist aber im Widerspruch mit Wien's oder Planck's Gesetz, wie ich in meiner letzten Arbeit p. 298 Anm. darlegte. Hierauf bezieht sich die Anm. 3 p. 278 meiner Arbeit, welche die Verfasser angreifen, welche ich aber voll und ganz aufrecht erhalten muss. Wollte ich mich der Ausdrucksweise von Lummer und Pringsheim bedienen, so könnte ich ebenfalls sagen, dass ihre Resultate in anderen Beobachtungsgebieten „an Wert verlieren“ und sich „zufällig“ der Wahrheit näherten, da sie solche genau bekannte Fehlerquellen ausser acht liessen.

---

1) F. Paschen u. H. Wanner, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin p. 5. 1899; H. Wanner, Ann. d. Phys. 2. p. 141. 1900.

2) O. Lummer u. E. Pringsheim, Verhandl. d. Deutsch. Physik. Gesellsch. 3. Nr. 4. p. 36. 1901.

Zu dem „historischen Teile“ der Verfasser habe ich besonders zwei Ausstellungen zu machen: Erstens kann es wohl keine Frage sein, dass meine früheren Versuche sich mit demselben Gegenstande beschäftigten, und auf die Bemerkung, ich hätte keine „schwarze Strahlung“ untersucht, muss ich antworten, dass nach meiner Meinung einige der von mir früher untersuchten Strahlungen der idealen fast ebenso nahe kamen, wie die Strahlung der Serie II von Lummer und Pringsheim.

Zweitens sagen Lummer und Pringsheim wieder, wie Hr. Lummer in seinem Pariser Referat, dass meine damals abgeleiteten Gesetze nicht die wahren Strahlungsgesetze der von mir untersuchten Körper seien. Aus meiner früheren Darstellung geht meines Erachtens sehr deutlich hervor, dass ich diese Versuche als in vieler Hinsicht unvollkommen ansah. Die einzelnen Fehlerquellen habe ich hervorgehoben. Ich glaube zwar nicht, dass meine damaligen Temperaturmessungen so fehlerhaft waren, wie Lummer und Pringsheim meinen. Denn das Thermoelement war mit Schmelzpunkten in einer bezüglich der Wärmeableitung ähnlichen Anordnung geaicht, wie es bei den Messungen benutzt wurde. Dagegen könnten grössere Fehler durch die Abweichung meines damals benutzten berussten Bolometerstreifens von der absoluten Schwärze verursacht sein.

Auf die Behauptungen Lummer's und Lummer und Pringsheim's, meine an Platin und Russ gefundenen Zahlenwerte: 5,43^{te} bez. 4,53^{te} Potenz der Temperatur für die Gesamtstrahlung von Platin bez. Russ seien falsch, und in Wirklichkeit seien die Zahlenwerte 5,0 bez. 4,0, muss ich entgegnen, dass man bei diesen Strahlungskörpern vorläufig gar nicht sagen kann, welches Gesetz in Wirklichkeit gelte. Beide sind dafür viel zu schlecht definirbar. Jedenfalls stimmen meine beiden Messungen der Gesamtstrahlung, die directe und die indirecte, für beide Fälle sehr gut miteinander überein. Unrichtig werden natürlich sowohl meine wie Lummer und Pringsheim's Werte sein, dass aber meine Versuche die Potenzen 5,0 bez. 4,0 hätten ergeben müssen, scheint mir doch eine sehr gewagte Behauptung. Uebrigens sind die experimentellen Grundlagen der von den Verfassern angeführten Versuche und Resultate über Russ nirgends veröffentlicht. Es

würde gewiss interessiren, auf welche Weise bei einer „genügend dicken Schicht“ die Temperaturen der äusseren wirksamen und gewöhnlich verschieden temperirten Schichten überall gleich gemacht sind. Denn solange sie verschieden sind, aussen kühler, als innen, ist die Strahlung zusammengesetzt aus Strahlungen verschieden temperirter Schichten, welche sich gegenseitig durchscheinen und also schwerlich als einwandfrei gelten können. Gerade diese Schwierigkeit veranlasste mich, dünne Schichten Russ zu benutzen (auch beim Bolometer), deren Dicke nach meinen damaligen Angaben gerade genügte, um den Metallglanz des darunter liegenden Platins zu vernichten.

Ich möchte noch erwähnen, dass bei einer vielleicht etwas besser reproducirbaren Strahlung, der des Eisenoxydes, aus meinen älteren Spectralversuchen indirect folgt, dass die Gesamtstrahlung der 4,6^{ten} Potenz der Temperatur proportional sich ändert, während Lummer (allerdings ohne Beweis) angiebt, er hätte im Verein mit Kurlbaum direct die 4,5^{te} Potenz[1]) gefunden. Die gute Uebereinstimmung, die hier herrscht, scheineu aber Lummer und Lummer und Pringsheim wohl ganz übersehen zu haben.

Ich gebe zu, dass meine damaligen Versuche unvollkommener waren, als die neuen von Lummer und Pringsheim (dies ist in der erfreulichen Entwickelung der Hülfsmittel für diese Arbeiten in den letzten Jahren begründet), aber in der von den Verfassern dargelegten Weise dürften sie nicht zu beurteilen sein.

Was in dem „antikritischen Teile“ der Verfasser gesagt wird, ist durch das Bisherige grösstenteils erledigt, z. B. die Teile a) und b). Zum Teil c) bemerke ich, dass ich Thiesen's Formel in den unter a) citirten Worten nicht „auf einem Gebiete in Anspruch nehme, auf welchem sie durch Lummer und Pringsheim's Versuche gar nicht geprüft werden kann“, sondern auf dem Gebiete kleinerer Wellenlängen der zwei ersten Arbeiten der Verfasser. Sie haben selber gesagt, dass die Formel auch dort ihre Versuche darstelle. Auch ist der von ihnen angegebene, jetzt als falsch zu bezeichnende systematische Gang der Werte c für $\lambda T < 3000$ in guter Ueber-

1) O. Lummer, Pariser Referat p. 76. 1900.

einstimmung mit Thiesen's Formel (vgl. p. 650). Ich habe das in meiner letzten Arbeit p. 298 Anm. betont. Aber diese einzige „kritische Bemerkung" von mir ist im „antikritischen Teil" der Verfasser nicht behandelt. Im Widerspruch mit dem systematischen der Thiesen'schen Formel entsprechenden Gange der Werte c bei den Isochromaten kleiner Wellenlänge der Verfasser steht ihre Bemerkung: „Für die niederen Temperaturen zeigt nämlich die Thiesen'sche Formel merkliche Abweichungen."

Es ist unrichtig, dass ich Thiesen's Formel herangezogen hätte, um Schlüsse zu entschuldigen.

Zu d) bemerke ich, dass ich es nach wie vor als einen Mangel der Arbeiten Lummer und Pringsheim's ansehe, dass sie nicht von vornherein zeigten, wie weit ihre Resultate dem von ihnen sogenannten „Verschiebungsgesetze" genügten. Erst durch die Behauptung, dass die Resultate Thiesen's Formel folgten (deren Beweis übrigens für die Flussspatversuche nie veröffentlicht wurde), wurde dieser Mangel beseitigt, wobei aber dann der Widerspruch bleibt, dass diese Formel für kleine Wellenlängen galt, nicht aber für niedere Temperaturen, obwohl das Gebiet der Werte λT in beiden Fällen das gleiche ist. Die von den Verfassern bemerkten, aber nicht genauer beschriebenen Abweichungen ihrer Resultate bei niederen Temperaturen von Thiesen's Formel würden also zugleich Abweichungen ihrer Resultate von Wien's Verschiebungsgesetz bedeuten.

Der Absatz e) scheint mir auf einem Missverständnis zu beruhen. Unter den Gründen, welche mich bewogen, die gefundenen Abweichungen bei grösseren Werten λT solange als fehlerhaft anzusehen, bis ich sie als richtig erkannte, führte ich auch den an, dass es nur ein verhältnismässig kleines Gebiet meiner Beobachtungen war, in welchem ich Wien's Gesetz nicht gültig fand. Ich hatte eben in dem Gebiete kleinerer Werte λT nicht die unrichtigen „systematischen Aenderungen" des Wertes c.

Im Absatze f) stellen die Verfasser nochmals in ihrer Weise den von mir begangenen und ausführlich von mir selber berichtigten Fehler dar.

Der IV. kritische Teil der Lummer-Pringsheim'schen Ausführungen gipfelt in einem meines Erachtens ziemlich

künstlichen Nachweise, dass die von mir benutzten Hohlräume die „schwarze Strahlung“ nicht aussendeten. „Denn soviel aus der Beschreibung ersichtlich ist, sind bei ihm weder die Bedingungen erfüllt, welche notwendig sind, um die Oberfläche des strahlenden Hohlraumes auf eine gleichmässige Temperatur zu bringen, noch sind Kriterien vorhanden, welche eine genaue Beurteilung der Temperaturgleichheit gestatten.“ Dagegen behaupte ich, dass, wenn man überhaupt die Wände eines *Hohlraumes mit Oeffnung* gleich temperiren kann, dies bei meinen letzten Hohlräumen geschehen ist. Der abgeschlossene Luftraum, welcher sich zwischen dem heizenden Platinbleche und den Wänden des Hohlraumes befindet, sorgt sogar bei dem einen aus dem schlechten Wärmeleiter Porzellan gebildeten Hohlraum III für eine gleichmässige Temperatur. Hohlräume mit dicken Metallwänden, wie ich deren drei verschiedene anwandte, glühen infolge der Luftschicht völlig gleichmässig. Dazu kommt eine im Verhältnis zur Grösse des Hohlraumes sehr kleine Oeffnung. Meine Angabe: „Ich habe gefunden, dass die Temperaturungleichheiten der Wände durch diese beiden Verbesserungen für alle Temperaturen vollständig beseitigt werden“, gründet sich auf messende Versuche, bei denen die Lötstelle eines Thermoelementes an verschiedene Stellen des Hohlraumes geführt wurde und keine merklichen Temperaturdifferenzen angab. Zur Beurteilung der Temperaturungleichheiten diente ferner der blanke Draht des Thermoelementes, dessen Verschwinden auf dem *geschwärzten* Grunde nach meinen Angaben[1]) und meiner Meinung ein sehr empfindliches Kriterium bildet. Ich habe Lummer und Kurlbaum's Hohlräume nie gesehen, möchte aber bemerken, dass der von ihnen beschriebene[2]) erstens keinen Luftraum zwischen heizendem Blech und Hohlraum und damit eine Anordnung nicht besitzt, welche nach meiner Erfahrung ausserordentlich wirksam einen gleichmässigen Glühzustand erzeugt. Zweitens ist die Oeffnung des von Lummer und Kurlbaum[3]) beschrie-

1) F. Paschen, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin p. 965. 1899.

2) O. Lummer u. F. Kurlbaum, Ann. d. Phys. 5. p. 829. 1901.

3) Weder Hr. Wanner noch ich haben bisher gegen den von Lummer u. Kurlbaum construirten elektrisch geglühten schwarzen

benen Hohlraumes verhältnismässig gross, und Lummer und Pringsheim glauben ja in ihrer II. Serie erfahren zu haben, dass eine grosse Oeffnung stören kann.

Die Meinung der Verfasser, dass meine Strahlung nicht die richtige war, scheint mir aus diesen Gründen unrichtig. Auch übersehen sie bei ihren weiteren Ausführungen ganz die von mir betonte Thatsache, dass, je kleiner die Oeffnung war, um so grösser die Abweichung der Resultate am absteigenden Aste der Energiecurven von Planck's Gesetz ausfiel. Bei einer grossen Oeffnung hatte ich nach meinen Angaben in meinen Versuchen über Energiecurven höherer Temperaturen bei 7,7 μ nur 6 Proc. und bei 9,3 μ nur 9 Proc. Abweichung. Die von mir zur Erklärung angegebene Vermutung, dass diese Abweichungen durch Beugung hervorgebracht waren, halte ich entgegen den unbewiesenen Behauptungen von Lummer und Pringsheim für sehr wahrscheinlich. Ich habe dies für einige meinen Anordnungen entsprechende Fälle rechnerisch bestätigt gefunden und habe schliesslich eine Energiecurve der Temperatur 1300° abs. aufgenommen, bei welcher die spaltförmige Oeffnung eines meiner letzten Hohlräume direct auf dem Spalte des Spectralapparates abgebildet war. Hier ist die Störung durch Beugung ausgeschlossen, und es ergab sich bei Berücksichtigung der neuen Reflexion Planck's Gesetz. Damit „fallen" so gut wie alle vorwurfsvollen Ausführungen der Verfasser in ihrem kritischen Teile „in sich zusammen".

Die Gründe, welche mich bewogen, die doppelte spectrale Zerlegung anzuwenden, habe ich ausführlich dargelegt. Zum Beispiel konnte man nicht wissen, welche Fehler infolge der

---

Körper Einwände erhoben, wie Lummer u. Kurlbaum behaupten, und ihre „jetzt als richtig erwiesene Annahme, dass der von ihnen beschriebene Körper die schwarze Strahlung vollkommener liefert, als der von uns nachgebildete", kann sich nur beziehen auf einen Hohlraum aus Porzellan, dessen Resultate Wanner und ich aus angegebenen Gründen verworfen haben. Da wir über die jetzt erst genauer beschriebene Construction der Lummer-Kurlbaum'schen Strahlungskörper nichts Näheres wussten, konnte der von uns verworfene diesem nicht wohl nachgebildet sein. Dass Lummer und Kurlbaum's Hohlraum die Strahlung des schwarzen Körpers auch vollkommener liefert, als die übrigen vielen Hohlräume, deren Resultate wir allein verwertet haben, dafür scheint mir kein Anzeichen vorhanden zu sein.

Diffusion der Strahlung durch blinde Stellen der Spiegel oder Inhomogenitäten des Prismas möglich waren. Ich halte die Anordnung keineswegs für eine unnötige Complication (auch nicht für die langen Wellen). Ihr glaube ich vor allem danken zu müssen, dass die Isochromaten so klar die Gültigkeit von Wien's Gesetz bis $\lambda T = 3000$ zeigten und von hier an ihre Krümmung erhielten. Lummer und Pringsheim haben keine Daten über dies Gebiet veröffentlicht, aus denen es auch nur annähernd möglich gewesen wäre, diesen Verlauf zu erkennen. Dagegen sind allerdings Lummer und Pringsheim der Meinung, „dass meine neuesten Versuche nichts Neues zur Kenntnis der schwarzen Strahlung beitragen".

Gegenüber den Bemerkungen der Verfasser unter IV. d) halte ich die Correctionen aufrecht, welche ich aus genau angegebenen Gründen an meinen Energiecurven niederer Temperatur noch für möglich halte. Diese Correctionen sind so geringfügig, dass die fraglichen Energiecurven entgegen der unbewiesenen Behauptung der Verfasser auch corrigirt noch Wien's oder Planck's Gesetz gleich gut bestätigen, und dass durch die Correction „auf der einen Seite etwas gewonnen und auf der anderen" *nichts* „verloren wird".

Ich sehe entgegen der Behauptung von Lummer und Pringsheim meine letzte Arbeit sowie alle meine früheren mit Ausnahme des von mir als unrichtig erkannten Teiles derjenigen über Energiecurven höherer Temperaturen als gute Bestätigung von Planck's neuem Gesetze an. Ich hätte die letzte Arbeit nicht veröffentlicht, wenn sie nicht folgende neue Thatsachen bewiese: 1. die scharfe Grenze der Gültigkeit von Wien's Gesetz, 2. die Bestätigung von Planck's Gesetz in dem angegebenen Gebiete der Variabelen λT.

Zum Schlusse möchte ich darauf hinweisen, dass es gewiss erwünscht wäre, wenn Lummer und Pringsheim ihre Beobachtungen, besonders die mit Flussspatprismen angestellten, ein wenig ausführlicher, d. h. mehr durch Begründung der Behauptungen mit wiedergegebenem Beobachtungsmaterial veröffentlichen würden, damit auch Andere die Ueberzeugung gewinnen können, dass die Arbeiten von Lummer und Pringsheim wirklich die Beweiskraft haben, welche sie für dieselben in Anspruch zu nehmen scheinen. Ueber die so wichtige Wellen-

längenmessung sind nur wenige Angaben vorhanden. Auch schreiben sie II. Arbeit, p. 218 von „der bekannten Absorptionsbande der Kohlensäure bei 4,5 μ." Nach meinen Wellenlängenbestimmungen (die doch nach ihrer eigenen Angabe I. Arbeit, p. 32 die Grundlage ihrer Versuche im Flussspatspectrum bilden) ist bei 4,5 μ keine grössere Absorption vorhanden, als an anderen Stellen des Spectrums, und es erstreckt sich der schmale Absorptionsstreifen der Kohlensäure der Zimmerluft höchstens von 4,13 bis 4,39 und hat sein Maximum bei 4,25 μ.

Die Wellenlängenbestimmung ist in mehrfacher Hinsicht wichtig: Z. B. für die Berechnung der zum Uebergange auf das normale Spectrum nötigen Dispersion, oder für den Zahlenwert des constanten Productes $\lambda_m T$. Für den letzteren berechnen die Verfasser als Mittelwert aus Werten, welche schwanken zwischen 2980 und 2814[1]), denjenigen 2940. Nach meinen Messungen kann er nicht erheblich grösser sein als 2920, ein Wert, der nach den einzelnen Zahlen der Tab. I p. 218, II. Arbeit von Lummer und Pringsheim ebensogut richtig sein kann, wie der 2940. Die aus meinen Energiecurven abgeleiteten Werte $\lambda_m T$, denen 2920 am besten entspricht, schwanken zwischen 2909 und 2929, obwohl mein Temperatur- und damit auch Wellenlängenbereich grösser ist[2]), und sind mit dem Wert 2940 nicht mehr im Einklang. Ausserdem befolgen meine bei doppelter Zerlegung beobachteten und die photometrischen Isochromaten Planck's Gesetz besser bei dem Werte $\lambda_m T = 2920$ als bei dem 2940. Daher bin ich vorläufig geneigt, meinen Wert für den richtigeren zu halten.

Ueber die Wiedergabe ihrer Isochromaten habe ich schon oben p. 648 gesprochen.

Es würde ferner wichtig sein, zahlenmässig zu sehen, welche Annäherung ihre mit Flussspatprismen aufgenommenen Energiecurven am absteigenden Aste an Planck's Gesetz zeigen.

Bei ihrer ersten und, wie es scheint, auch zweiten Veröffentlichung haben sie keine Correctionen wegen selectiver

1) Die Temperaturen der Energiecurven liegen zwischen 621 und 1646° abs. (diese letzte ist extrapolirt), die Wellenlängen zwischen 1,78 und 4,53 μ.

2) Die Temperaturen liegen zwischen 373 und 1580° abs. und die Wellenlängen zwischen 7,8 und 1,85 μ.

Reflexionsverluste, wegen der berechenbaren Unreinheit des Spectrums und wegen der Klappentemperatur angebracht. Die dort gegebenen Zahlenwerte, z. B. der 2940 für $\lambda_m \cdot T$, werden also voraussichtlich eine, wenn auch geringe Aenderung erfahren müssen. Demgegenüber betone ich, dass in allen meinen Veröffentlichungen alle mir bekannten Correctionen stets, so genau es möglich ist, angebracht sind. Gerade durch die Anbringung dieser zeitraubenden Correctionen an den vielen Messungen ist die Veröffentlichung meiner Arbeiten (auch der 1892—1894 ausgeführten) bedeutend verzögert worden.

Lummer und Pringsheim können ihre Behauptungen am Schlusse ihrer Kritik bezüglich Planck's Gesetz nicht besser begründen, als durch die Veröffentlichung einer möglichst eingehenden Vergleichung aller ihrer Versuche mit diesem Gesetze, wie es von den Herren Rubens und Kurlbaum und von mir geschehen ist.

Zuletzt möchte ich nun aber betonen, dass, wenn ich auch mit ihrer Beurteilung der Arbeiten anderer nicht einverstanden bin, ich doch die sämtlichen Arbeiten von Lummer und Pringsheim und Lummer und anderen Mitarbeitern ausserordentlich anerkenne und mich sehr über die Förderung freue, welche die Wissenschaft durch diese mit grosser Energie und glücklicher Hand geführten Arbeiten erfahren hat.

(Eingegangen 27. September 1901.)