



O. Lummer, E. Gehrcke

Über den Bau der Quecksilberlinien; ein Beitrag zur Auflösung feinsten Spectrallinien

In:

Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. – Berlin: Verlag der Königlich Akademie der Wissenschaften (in Commission bei Georg Reimer)

Jahrgang 1902 : Erster Halbband (Januar bis Juni)

S. 11-17

Persistent Identifier: [urn:nbn:de:kobv:b4-opus4-41377](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:b4-opus4-41377)



Über den Bau der Quecksilberlinien; ein Beitrag zur Auflösung feinsten Spectrallinien.

Von Prof. Dr. O. LUMMER und Dr. E. GEHRCKE
in Charlottenburg.

(Vorgelegt von Hrn. KOHLRAUSCH.)

§ 1. Kürzlich hat der eine von uns gezeigt¹, dass die Interferenzen an einer planparallelen Glasplatte von grosser Dimension bei streifenförmiger Incidenz der Strahlen ganz besonders geeignet sind, die feinsten Spectrallinien zu analysiren. Hierbei wurde auch darauf hingewiesen, dass diese Planparallelitätsringe an Auflösungskraft den bisherigen Interferenzmethoden überlegen seien. Neuere von uns gemeinsam angestellte Versuche haben diese Vermuthung vollkommen gerechtfertigt: es hat sich gezeigt, dass die Methode bei ihrer consequenten, principellen Durchführung einen weit complicirtern Bau der feinsten Spectrallinien, insbesondere der Quecksilberlinien erkennen lässt als nach den bisherigen Untersuchungen bekannt ist.

Die im Folgenden mitgetheilten Resultate erhielten wir einerseits durch Einführung eines Nicol'schen Prismas in den Strahlengang, andererseits durch Anwendung eines Kunstgriffs, welcher die streifende Incidenz der Strahlen ohne einen zu grossen Intensitätsverlust zu verwirklichen gestattet. Auch ist die früher benutzte Platte nach genauerer Untersuchung auf ihre Planparallelität einer nochmaligen Bearbeitung unterzogen und von ihnen, wenn auch nur geringen Fehlern nahezu vollständig befreit worden.

§ 2. Die Auflösungsfähigkeit der Planparallelitätsringe ist um so grösser, je steiler die Intensität vom Interferenzmaximum zum Minimum abfällt, d. h. je schärfer sich die Interferenzstreifen vom Hintergrund abheben. Die Intensitätsvertheilung ist bekanntlich durch die Amy'sche Formel für die Farben dünner Plättchen, unter Berücksichtigung aller vielfach reflectirten Strahlen, gegeben. Diese Formel enthält ausser

¹ O. LUMMER, Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. III, 7, 85 ff. 1901.

der Phasendifferenz der interferirenden Strahlen nur den FRESNEL'schen Reflexionsefficienten σ^2 : von diesem allein hängt also die Vertheilung der Intensität im Interferenzphänomen ab. Dabei ist der Intensitätsabfall ein um so steilerer, je näher σ dem maximalen Werthe 1 kommt. An der planparallelen, un belegten Glasplatte, mit der allein wir uns hier beschäftigen wollen, tritt dieser Fall bei streifender Incidenz ein.

Der Coefficient σ hat nun aber verschieden grosse Werthe, je nach dem Polarisationszustand des einfallenden Lichtes. Bezeichnet i den Einfallswinkel, r den Brechungswinkel, wobei der Brechungsindex $n = \sin i : \sin r$ ist, so gilt bekanntlich nach FRESNEL für in der Einfallsebene polarisirtes Licht:

$$\sigma_1 = \frac{\sin (r - i)}{\sin (r + i)},$$

für senkrecht zur Einfallsebene polarisirtes Licht:

$$\sigma_2 = \frac{\operatorname{tg} (r - i)}{\operatorname{tg} (r + i)};$$

dennach wird:

$$\left| \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right| = \left| \frac{\cos (r - i)}{\cos (r + i)} \right| > 1,$$

d. h. bei jedem Einfallswinkel wird von der in der Einfallsebene polarisirten Componente mehr reflectirt, als von der dazu senkrechten Componente; dennach erzeugt auch die erstere den steilern Intensitätsabfall in der Interferenzerscheinung. Die Erfahrung bestätigt diesen Schluss. Thatsächlich gewinnen die Interferenzringe durch Einschalten eines Nicols in der Stellung, bei welcher nur in der Einfallsebene polarisirtes Licht hindurchgeht, bedeutend an Schärfe, während sie verwaschener werden, wenn man den Nicol dreht oder ganz fortnimmt. So z. B. sieht man ohne das Nicol'sche Prisma bei einem Incidenzwinkel von etwa 85° die Trabanten der hellgrünen Quecksilberlinie nur angedeutet, man kann sie aber nicht deutlich zählen. Bei Einschaltung des Nicols in der richtigen Hauptlage erscheinen sofort ausser der Hauptlinie drei von einander getrennte Trabanten, so scharf wie gestochen.

Dennach ist die früher a. a. O. angegebene Versuchsanordnung dahin zu vervollständigen, dass man vor die strahlenbegrenzende Öffnung drehbar ein Nicol'sches Prisma einfügt. Diese Operation ist gleichbedeutend mit einer ideellen Vergrößerung des Einfallswinkels, verursacht dementsprechend einen steilern Intensitätsabfall und somit auch eine Erhöhung der Auflösungskraft. Unter alleiniger Berück-

sichtung der im durchgehenden Lichte auftretenden Interferenzen¹ haben wir so die lichtstarken Linien untersucht, welche von einer Quecksilberbogenlampe geliefert werden. Wir fanden, dass die dem rothen Ende des Spectrums zunächst stehende gelbe Linie ausser einer Hauptlinie fünf feine Nebenlinien besitzt, während die andere gelbe Linie deutlich vier Trabanten zeigte. Nach den Untersuchungen von PEROT und FABRY² soll jeder gelben Linie nur je ein Trabant zukommen. Die früheren Untersuchungen von A. A. MICHELSON³ ergaben bei der einen der beiden Linien zwei Trabanten.

Ferner ergab sich, dass die hellgrüne Linie von drei, vielleicht auch vier, Trabanten begleitet ist. Die dunkelgrüne Linie erschien einfach, die blaue Linie dagegen doppelt, wobei die zwischen den Doppellinien vorhandene Helligkeit darauf schliessen liess, dass hier noch Trabanten vorhanden sein müssen. Die lichtstärkere der violetten Doppellinien endlich hatte einen Trabanten, die andere zeigte nur ein einfaches Ringsystem.

§ 3. Der weitere Fortschritt in der Auflösung hing davon ab, ob es gelang, den mit der Anwendung der streifenden Incidenz verbundenen



enormen Intensitätsverlust zu vermeiden. Denn da für uns allein die Interferenzringe im durchgehenden Lichte in Frage kommen, so geht die bei der ersten Reflexion zurückgeworfene Lichtmenge von 90 Procent (entsprechend etwa 88° Incidenz) nutzlos verloren. Man erhält sich diese und vertheilt sie auf die zur Erscheinung beitragenden mehrfach reflectirten Büschel durch folgende Anordnung.

Es treffen (vergl. die Figur) die aus dem Collimator parallel austretenden Strahlen nicht direct die planparallele Platte PQ , sondern sie durchsetzen erst das kleine, auf die Platte aufgekittete Prisma p .

¹ Die im reflectirten Lichte entstehende, zu der im durchgehenden complementäre Interferenzerscheinung ist für unsern Zweck ungeeignet, da beim Vorhandensein von mehreren, isolirten Wellen in der Lichtquelle, die ihnen zukommenden Einzelsysteme sich auf einer allgemeinen Helligkeit aufbauen und sich nicht, wie im durchgehenden Lichte, auf dunkeln Hintergründe erheben (vergl. O. LUMMER, Arch. Néerland. (2), VI, 773 ff. 1901).

² PEROT und FABRY. Ann. de chim. et phys. (7) 12, 459—501. 1897.

³ A. A. MICHELSON, Phil. Mag. 34, p. 280—299. 1892. Journ. de phys. (3) 3, 5—22. 1894.

Die dadurch erzielte Verstärkung der Helligkeit ist so bedeutend, dass man auch bei den lichtschwächeren, z. B. den violetten Linien das Phänomen bis zur Grenze der inneren Totalreflexion bequem verfolgen kann. Bei der in der Figur angedeuteten Stellung des Fernrohrs F gelangen die an jeder Seite der Platte austretenden Strahlencomplexe α und β gleichzeitig in dasselbe und man erblickt die ihnen entsprechenden Interferenzsysteme nur durch einen schmalen dunkeln Zwischenraum von einander getrennt.

Abweichend von der gewöhnlichen Erscheinung sind hier die von den Strahlencomplexen α und β gebildeten Interferenzsysteme nicht complementär zu einander, sondern vollkommen identisch. Es liegt diess daran, dass jetzt im »reflectirten« Lichte der erste, direct reflectirte Strahl unterdrückt worden ist, welcher sich von den übrigen durch einen Phasensprung von π unterscheidet. Demnach bleibt von den beiden, im reflectirten Lichte stets vorhandenen »complementären« Ringsystemen¹ nur dasjenige übrig, welches dem System im durchgehenden Lichte bis auf einen Intensitätsfactor gleichkommt.

Mit der Verwirklichung streifender Incidenz geht ein anderer Vortheil Hand in Hand, welcher auf eine weitere Steigerung der Lichtstärke hinausläuft. Die Coefficienten σ_1 und σ_2 für beide Polarisations Ebenen kommen einander um so näher, je steiler die Incidenz wird und erreichen beide im Grenzfall den Werth Eins. Demnach darf man bei der jetzt getroffenen Anordnung das Nicol'sche Prisma fortlassen, ohne praktisch die Schärfe der Streifen zu beeinträchtigen. Damit gewinnt man aber mindestens das Doppelte der Intensität.

Es sei noch erwähnt, dass mit grösser werdender Incidenz auch der Abstand benachbarter Ringe, also die »Dispersion«, immer mehr zunimmt. Bekanntlich ist die Streifendistanz bei allen Platten von bestimmtem Brechungsexponenten ein Minimum für den Einfallswinkel von etwa 60° und erreicht grösste Werthe sowohl für senkrechte wie für streifende Incidenz.²

§ 4. Mit der Anwendung streifender Incidenz macht sich aber auch ein Übelstand bemerkbar, welcher zwar der schräg gestellten Platte immer anhafet, bei kleinerem Einfallswinkel jedoch unter der Schwelle bleibt. Derselbe beruht darin, dass die gesehene Intensitätsvertheilung nicht identisch ist mit der durch die AMY'sche Formel gegebenen. Die durch die Theorie berechnete Intensitätsvertheilung im Interferenzphänomen tritt nur dann wirklich ein, wenn alle unendlich vielen Spiegelbilder zur Erscheinung beitragen. Dieser ideale

¹ Vergl. LUMMER, diese Sitzungsber. 1900. S. 504—513.

² Vergl. LUMMER, Inauguraldissertation. WIED. ANNAL. 23, 70. 1884.

Fall ist jedoch in Folge der gegebenen Plattendimensionen nicht zu realisiren.

Einen Überblick über den Einfluss der einzelnen Glieder der AIRY'schen Reihe auf den Gesamteffect erhält man z. B. durch Berechnung der Intensitäten der vielfach reflectirten Strahlen für einige besondere Winkel.

Ordnungs- zahl	Intensitäten		
	$\sigma = 0,95$ ($i = 88^\circ$)	0,80 (85°)	0,2 (6°)
1	0,9	0,6	0,04
2	0,009	0,08	0,04
3	0,007	0,03	0,06. 10^{-3}
4	0,006	0,01	0,09. 10^{-6}
5	0,005	0,006	0,02. 10^{-8}
6	0,004	0,002	0,02. 10^{-11}
7	0,003	0,0009	0,04. 10^{-14}
8	0,003	0,0004	0,06. 10^{-17}
9	0,002	0,0002	0,01. 10^{-20}
10	0,002	0,00007	0,02. 10^{-22}
....
20	0,0002	0,00000001	0,02. 10^{-50}

Auf Grund dieser Zahlen lässt sich ohne weiteres erkennen, dass bei der von uns benutzten Platte von $5^{mm} +$ Dicke und 20^{cm} Durchmesser oberhalb eines gewissen Einfallswinkels die auftretende Intensitätsvertheilung von der theoretischen beträchtlich abweichen muss. Bei streifendem Austritt können sich an unserer Platte nämlich nur 17 Spiegelbilder entwickeln, so dass z. B. für $\sigma = 0,95$ die übrigen fehlenden Glieder der Reihe nicht vernachlässigt werden dürfen.

Die ausführlichere Berechnung der durch eine endliche Anzahl p von Strahlen erzeugten Intensitätsvertheilung $J_{1 \text{ bis } p}$ führt zu der Formel:

$$J_{1 \text{ bis } p} = \left[(1 - \sigma^{2p})^2 + 4\sigma^{2p} \sin^2 p \cdot \frac{\beta}{2} \right] \cdot J_{1 \text{ bis } \infty}$$

hier bedeutet $J_{1 \text{ bis } \infty}$ die durch die AIRY'sche Formel für alle Strahlen, von 1 bis ∞ , gegebene Vertheilung, β die Phasendifferenz und σ^2 wieder den Reflexionscoefficienten. Man sieht, dass das Abbrechen der unendlichen Reihe um so weniger auf die Grösse $J_{1 \text{ bis } \infty}$ von Einfluss ist, je mehr σ^{2p} gegen 1 vernachlässigt werden kann. Ist σ an und für sich klein, so genügen wenige Bündel, um σ^{2p} nahezu zum Verschwinden zu bringen, d. h. die AIRY'sche Vertheilung wird dann praktisch schon von wenigen Büscheln dargestellt. Anders dagegen, wenn σ sehr nahe gleich 1 ist, also streifender Incidenz entsprechend. Hier ist eine sehr grosse Anzahl p von Büscheln nothwendig, um mit derselben Annäherung wie vordem die AIRY'sche Intensitätsver-

theilung zu ergeben. In unserm Fall, wo $p = 17$, wird somit nothwendig bei der streifenden Incidenz eine Abweichung von der durch die AMY'sche Formel gegebenen Vertheilung eintreten.

Wie hier nur kurz angeführt werden mag, läuft das Abbrechen der unendlichen Reihe im wesentlichen auf ein Herabrücken und ein Verbreitern der Maxima hinaus, ohne neue Maxima zu erzeugen. In der That sind die allerletzten Interferenzstreifen nahe dem Plattenrand so lichtschwach, dass man trotz der hier herrschenden bedeutenden »Dispersion« keine sehr scharfen Maxima erhält. Am günstigsten ist die Erscheinung etwa bei den dritt- oder viertletzten Maximis. Dass die hier beobachteten neuen Nebenlinien oder Trabanten der Hg-Linien der Lichtquelle zukommen und keine Folge des soeben besprochenen Übelstandes der »abgebrochenen« AMY'schen Reihe sind, folgt indirect auch daraus, dass so nahe benachbarte Linien wie die gelben Hg-Linien einen ganz verschiedenen Bau aufweisen.

§ 5. Mit der zuletzt beschriebenen Verbesserung der Methode haben wir eine noch weit complicirtere Zusammensetzung der Quecksilberlinien constatiren können als mit dem Nicol'schen Prisma. Zu den früher gefundenen Trabanten (vergl. S. 13) treten jetzt noch theils lichtschwächere, theils sehr nahe den bereits bekannten stehende neue hinzu. Beobachtet wurde Folgendes.

1. Gelbe Linie (mehr roth): eine ziemlich breite Hauptlinie mit 5 deutlich von einander getrennten Trabanten verschiedener Dicke und Helligkeit; ausser der Hauptlinie sieht man unter günstigen Umständen noch 2 Trabanten doppelt, so dass hier im ganzen neun Linien vorhanden zu sein scheinen.

2. Gelbe Linie (mehr grün): eine ziemlich feine Hauptlinie, kaum als Hauptlinie vor einem ihr nahe stehenden hellen Trabanten ausgezeichnet, an den sich 3 weitere anschliessen, von denen jeder folgende lichtschwächer ist als der vorhergehende. Ferner ist noch ein breiter, lichtschwächerer Trabant da, der vielleicht doppelt ist. Sonach würde die ganze Linie aus sechs bis sieben getrennten Linien bestehen.

3. Hellgrüne Linie (am lichtstärksten von allen): ausser der (wahrscheinlich dreifachen) Hauptlinie fünf deutlich helle und 2 weniger helle Trabanten, von denen einer doppelt zu sein scheint. Hiernach sind es wahrscheinlich im Ganzen elf Linien

4. Dunkelgrüne Linie (lichtschwach): eine Hauptlinie mit 2 oder mehr neben einander liegenden Trabanten, von denen immer der nächste dunkeler ist als der vorhergehende.

5. Blaue Linie: dieselbe besteht aus einer grossen Anzahl sehr feiner scharfer Trabanten, welche zu beiden Seiten der Hauptlinie (wenn man von einer solchen sprechen darf) mit abklingender Inten-

sität angeordnet sind. Im ganzen konnten wir sieben Linien zählen, höchstwahrscheinlich sind es aber mehr.

6. Violette Linie (mehr blau): eine Hauptlinie, an den Rändern verwaschen, mit einem feinen und einem breitem Trabanten.

7. Violette Linie (mehr violett und lichtschwach): eine verwaschene, doppelt erscheinende Hauptlinie.

Somit haben sich die Quecksilberlinien nach jeder Anbringung einer Verbesserung von complicirterer Zusammensetzung erwiesen als vordem; man wird daher auch nicht annehmen dürfen, dass die von uns zuletzt gefundenen Zahlen eine obere Grenze bedeuten.

Es muss erwähnt werden, dass von anderen Beobachtern ganz neuerdings, freilich nur an der hellgrünen Hg-Linie, ebenfalls eine grössere Anzahl von Trabanten festgestellt worden ist, als man nach den bisherigen Publicationen vermuthete. Die genannte Linie besitzt nach Angabe von Hrn. ZEEMAN¹, welcher sie mit einem Stufenspektroskop von 30 Glasplatten untersuchte, 5 Componenten, während nach einer persönlichen Mittheilung die HH. PEROT und FABRY im ganzen 6 Nebenlinien feststellten. In einer späteren schriftlichen Mittheilung der HH. PEROT und FABRY sind sogar die Wellenlängendifferenzen dieser Linien angegeben.²

Von besonderm Interesse scheint uns der überaus complicirte Bau der einzelnen Hg-Linien für die von MICHELSON zuerst beobachtete Anomalie des ZEEMAN-Effects zu sein; hiernach weisen einzelne Spectrallinien ein von der Theorie unerwartetes Verhalten auf, indem sie, anstatt ein Duplet oder Triplet zu bilden, in eine weit grössere, symmetrisch angeordnete Anzahl von Linien zerspalten werden. Wir meinen, dass dieses complicirte Phänomen erst dann als Ausgangspunkt theoretischer Speculationen angenommen werden kann, wenn sicher nachgewiesen ist, dass die untersuchten Linien homogen waren. Man kann nicht erwarten, dass eine »Linie«, welche von vorn herein aus einer ganzen Anzahl sehr nahe benachbarter, mit dem besten Gitter nicht mehr auflösbarer, discreter Wellen besteht, bei Erregung eines Magneten in nur 2 oder 3 Linien zerfällt. Eingehendere Versuche in dieser Richtung sind im Gange.

¹ ZEEMAN, Arch. Néerland. BOSSCHA'scher Jubelband, Ser. 2 Bd. VI, 320. 1901.

² Diese PEROT- und FABRY'schen Zahlen sind soeben von Hrn. ZEEMAN (Kon. Akad. Amsterdam, 24. December 1901) veröffentlicht worden.