

**22. Beugungsversuche und Wellen-
längenbestimmung der Röntgenstrahlen¹⁾;
von M. Maier.**

Aus den experimentell festgestellten Eigenschaften der Röntgenstrahlen, sich geradlinig auszubreiten, Fluorescenz zu erregen und aktinisch oder chemisch wirksam zu sein, schloss schon Prof. Röntgen bereits in seiner ersten Mittheilung vom December 1895 auf eine Art von Verwandschaft zwischen den neuen Strahlen und den Lichtstrahlen. Handelt es sich bei den Röntgenstrahlen um eine transversale oder longitudinale Wellenbewegung, so müssen die neuen Strahlen interferenzfähig sein.

Da bei den Röntgenstrahlen trotz eingehender Versuche von Röntgen, Voller, Walter, Winkelmann, Straubel, Sagnac u. a. weder eine regelmässige Reflexion, noch eine Refraction nachgewiesen werden konnte, so können Interferenzerscheinungen nur durch Beugung entstehen.

Um bei den Röntgenstrahlen Beugungserscheinungen nachzuweisen und hieraus die Wellenlänge der neuen Strahlen zu bestimmen, habe ich in meinem Privatlaboratorium unter sehr schwierigen Verhältnissen, fern von einem grösseren Physikalischen Institut folgende experimentelle Arbeit ausgeführt.

Bei allen angestellten Versuchen wurde die betreffende Röntgenröhre von einem Funkeninductorium von 15 cm maximaler Schlagweite bedient. Als Stromquelle diente eine Accumulatorenbatterie — System Tudor — von fünf Zellen. In den primären Stromkreis wurde bei jedem Versuche ein Ampèremeter eingeschaltet.

Parallel zu der Röntgenröhre wurde bei jeder Beugungsaufnahme eine Funkenstrecke in den secundären Stromkreis eingeschaltet. Es geschah dieses mit Rücksicht auf die Haltbarkeit des Inductoriums und der Röntgenröhre; dann hängt

1) Auszug aus einer Münchener Inaugural-Dissertation.

aber auch, worauf bereits Prof. Röntgen aufmerksam gemacht hat¹⁾, die Qualität der von einer und derselben Röhre gelieferten Strahlen von einer in den secundären Kreis vor den Entladungsapparat eingeschalteten Funkenstrecke ab.

Zu den Beugungsaufnahmen dienten folgende Röntgenröhren: Drei Hittorf'sche Röhren von Geissler in Bonn, Funkenlänge 3 — 4 cm; fünf birnförmige Crookes'sche Röhren von Leybold, Funkenlänge 5 cm; Focusröhre von Leybold, Funkenlänge 4 cm; Focusröhre von Hirschmann, Funkenlänge 5 cm — ein Aluminiumring bildete die Anode! —; Focusröhre der „Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft“, Funkenlänge 13 cm; regulirbare Focusröhre der „Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft“, Funkenlänge 8 cm; Focusröhre von Kohl in Chemnitz mit Doppelanode und einer Funkenlänge von 10 cm; regulirbare Focusröhre von Siemens;²⁾ Focusröhre von Dr. Levy mit Doppelanode und einer Funkenlänge von 12 cm; Focusröhre von Müller in Bonn, Funkenlänge 6 cm; Focusröhre von Greiner und Friedrichs, Funkenlänge 8 cm; Focusröhre von Müller in Hamburg mit Doppelanode und einer Funkenlänge von 10 cm; mit einer Doppelanode versehene Focusröhre von Reiniger und Schall in Erlangen, Funkenlänge 10 cm; und eine einpolige Röntgenröhre für Teslaströme.³⁾

Die Funkenlänge jeder bei den Versuchen gebrauchten Röntgenröhre wurde in der Weise bestimmt, dass während des Betriebes die Funkenständer auf die maximale Schlagweite des Inductoriums auseinandergezogen, kurz vor Beendigung des Versuches jedoch langsam so weit einander genähert wurden, bis die Entladungen zum Theil sich auch durch die Funkenstrecke ausglich. Die dadurch sich ergebende Entfernung zwischen der positiven Spitze und der negativen Platte stellt die gesuchte Funkenlänge oder Schlagweite der betreffenden Röntgenröhre dar.

1) W. C. Röntgen, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin p. 401. 1897; Wied. Ann. **64**. p. 29. 1898.

2) Abbildung dieser Röhre in L. Grätz, Die Elektrizität und ihre Anwendung. Stuttgart. 7. Aufl. p. 278. 1898.

3) Diese Röhre hat A. Pflüger in Wied. Ann. **60**. p. 775 ff. 1897. beschrieben.

Zur Controle wurden die verschiedenen Beugungsversuche auch immer mit gewöhnlichem Lichte angestellt, das durch farbige, spectroscopisch geprüfte Glasplatten homogen gemacht wurde.

Den einfachsten Fall unter den Beugungsversuchen mit gewöhnlichem Lichte stellt die Erscheinung dar, welche eintritt, wenn ein Theil der Lichtwellen durch einen vorgestellten, für die Wellenbewegung undurchdringlichen und unbegrenzten Schirm aufgehalten wird. Man beobachtet dann von der geometrischen Schattengrenze nach Innen eine stetig und rasch abnehmende Lichtintensität, nach Aussen dagegen eine Reihe hellerer und dunklerer, paralleler Streifen, Maxima und Minima der Lichtintensität.

Um derartige Erscheinungen auch an den Röntgenstrahlen aufzufinden, stellte ich viele Versuche an. Hierzu wurden ausschliesslich Focusröhren benutzt. Bei den Focusröhren bildet sich während des Betriebes von der im Krümmungsmittelpunkt der hohlspiegelförmigen Kathode befindlichen „Antikathode“ (Platinspiegel) aus ein Strahlenkegel, dessen Spitze in dem Platinspiegel liegt. Die aufzunehmenden Objecte werden von diesem Strahlenkegel am günstigsten bestrahlt, wenn die Verbindungslinie der Spitze mit der Mitte der Grundfläche des Strahlenkegels die Mitte der Objecte trifft.¹⁾

In diesem Strahlenkegel wurde aus der von der Höhe des Kegels senkrecht getroffenen Stelle der Glaswand der Röntgenröhre mit Hülfe eines Eisenspalt es eine Lichtlinie abgegrenzt. Der Eisenspalt war jedesmal parallel mit der Antikathode und wechselte in der Breite zwischen 0,5 und 2 mm. Hinter dem Spalt war eine 2 mm dicke Bleiplatte so aufgestellt, dass die den engen Spalt durchdringenden Röntgenstrahlen an der scharfen Kante vorbeigehen mussten. War nun z. B. die Breite der Lichtlinie oder des Spalt es 1 mm, die Entfernung der beugenden Bleikante von der Lichtlinie 118 mm und betrug die Distanz der hochempfindlichen photo-

1) An der Emission der Röntgenstrahlen betheiligen sich auch die Wandungen der Focusröhre und die Hilfsanode, wo eine solche vorhanden ist. Wie man sich mit dem Bariumplatincyanschirm leicht überzeugen kann, gehen bekanntlich auch von der Rückseite der Antikathode Röntgenstrahlen aus.

graphischen Platte von der beugenden Kante 40 mm, so erhielt ich ein ganz scharfes Bild, auf welchem man von der geometrischen Schattengrenze weder nach innen eine abnehmende Helligkeit, noch nach aussen Beugungsstreifen wahrzunehmen vermag. Die Dauer der Exposition betrug 60 Sekunden und die Stärke des Primärstromes war 4,5 Amp. Mit der oben beschriebenen Anordnung wurden mehrere Versuche gemacht, wobei sowohl die Röntgenröhren gewechselt als auch die Entfernungen zwischen Lichtlinie, beugender Kante und photographischer Platte variiert wurden. Aber jedesmal ergab sich dasselbe Resultat.

Die Versuche wurden auch dahin abgeändert, dass die Bleiplatte zwischen der Entladungsröhre und dem Spalt aufgestellt wurde. Hinter dem Spalt befand sich dann die photographische Platte. Bei dieser Anordnung mussten die Röntgenstrahlen zuerst streifend an der Bleikante vorübergehen, dann durchdrangen sie den engen Spalt und gelangten schliesslich auf die photographische Platte. Hr. Dr. Precht hat dieselben Versuche angestellt.¹⁾

War bei meinen Versuchen z. B. die Breite des Spaltes 0,5 mm, die Entfernung der Bleikante von dem Spalt 60 mm und befand sich hinter dem Spalt in einem Abstand von 85 mm die lichtempfindliche Platte, so erhielt ich bei einer Expositionszeit von 3 Minuten und einer Intensität des Primärstromes von 4,5 Amp. einfach ein deutliches Bild des Spaltes. An der Grenze von Hell und Dunkel liessen sich Interferenzstreifen nicht beobachten.

Werden die beugenden Oeffnungen nach Grösse, Gestalt und Zahl in vielfacher Weise variiert, so entwickeln sich beim Licht die Erscheinungen, welche Schwerd auf den von Fresnel gelegten Grundlagen rein deductiv abgeleitet hat. Bei Anwendung von gewöhnlichem, aber homogen gemachtem Licht ist immer, wie beschaffen die beugenden Oeffnungen auch sein mögen, die Mitte der beobachteten Erscheinung hell; von der Mitte nach den Seiten hin entwickeln sich abwechselnd helle und dunkle Stellen, nämlich Maxima und Minima der Lichtintensität. Diese hellen und dunklen Stellen

1) J. Precht, Wied. Ann. **61**. p. 355. 1897.

zeigen sich ganz besonders intensiv auf gewissen Richtungen, die von der Gestalt der beugenden Oeffnungen abhängen.

Es wurden nun von mir mit Beugungsöffnungen von verschiedener Form Versuche angestellt. Besondere Sorgfalt wurde darauf verwendet zu untersuchen, welche Erscheinungen eintreten, wenn die Röntgenstrahlen eine feine kreisförmige Oeffnung durchdringen mussten, bevor sie auf die photographische Platte gelangen konnten. Die Lichtlinie wurde 0,5 mm breit gemacht, die Entfernung der sehr kleinen, in einer Messingplatte befindlichen kreisförmigen Oeffnung betrug 200 mm; in einer Distanz von 50 mm von der beugenden runden Oeffnung war die photographische Platte angebracht. Bei einer Expositionszeit von 60 Secunden und einer Intensität des Primärstromes von 5,0 Amp. zeigten sich auf der entwickelten photographischen Platte anstatt der kreisrunden Oeffnung feine Streifen, wie von Beugung herrührend. Diese Erscheinung konnte ich aber nur dann beobachten, wenn die Röntgenstrahlen in einer birnförmigen Crookes'schen Röhre erzeugt wurden. Bei Anwendung einer Focusröhre zeigte sich auf dem Negativ nur die sehr feine kreisförmige Oeffnung.

Auch mit sogenannten Schwerd'schen, aus ganz feinem Metalldrahteigens zu diesem Zwecke hergestellten Beugungsgittern stellte ich viele Versuche an. War das Gitter z. B. 40 mm von der 1 mm breiten Lichtlinie entfernt, so wurde bei einer Expositionszeit von 30 Secunden und einer primären Stromstärke von 4,5 Amp. ein ganz deutliches Bild des Beugungsgitters ohne irgend welche Beugungserscheinungen erhalten. Das Bild blieb immer das gleiche, ob nun die Stäbe des Gitters parallel mit der Lichtlinie oder senkrecht zu derselben waren. Auch bei Anwendung von Kreuzgittern zeigte sich keine Beugungserscheinung. Dabei wurden die Entfernungen des betreffenden Gitters von der Lichtlinie und von der photographischen Platte, die Röntgenröhre und die Breite der Lichtlinie zwischen 0,05 mm und 1,5 mm variirt. Auf der lichtempfindlichen Platte zeigten sich aber niemals irgend welche Beugungserscheinungen.

Dieselben Bilder ohne Beugungserscheinungen wurden auch erhalten, wenn die von einem Spalt kommenden Röntgenstrahlen durch einen zweiten Spalt gehen mussten, hinter

welchem sich ein Schwerd'sches Beugungsgitter befand. Hatten die Röntgenstrahlen dieses ganze System durchlaufen, so gelangten sie erst auf die photographische Platte. Hr. Sagnac hat ganz ähnliche Versuche angestellt mit negativem Erfolge.¹⁾

Die allermeisten und eingehendsten Beugungsversuche wurden jedoch angestellt nach der Methode, welche Hr. Dr. L. Fomm zuerst beschrieben hat.²⁾

Ist die beugende Oeffnung von zwei parallelen Geraden begrenzt, bildet die homogene Lichtquelle eine der Spaltöffnung parallele Lichtlinie und hat endlich die beugende Oeffnung eine symmetrische Lage zur Lichtquelle, so beobachtet man auf einem zum beugenden Spalt parallelen Schirm drei Fransen- oder Streifensysteme, von denen zwei zu beiden Seiten des directen Spaltbildes liegen und mit der Entfernung vom Schattenrande rasch abnehmende helle und dunkle Streifen (Fransen), die Maxima und Minima der Lichtintensität bilden, während das dritte Streifensystem innerhalb des Lichtbildes entsteht. Dieses innere Streifensystem zeigt die Eigenthümlichkeit, dass bei einer bestimmten Entfernung der homogenen Lichtlinie vom beugenden Spalt und Projectionsschirm und einer bestimmten Breite des Beugungsspalt in der Mitte des Spaltbildes ein dunkler Streifen, das erste Minimum erscheint, während sich die zu beiden Seiten der Beugungsöffnung auftretenden Streifen immer mehr gegen das Mittelbild hin zusammendrängen. Erweitert man den Beugungsspalt, so tritt an die Stelle des Minimums ein Maximum der Lichtintensität und so fort.

In zwei grossen Abhandlungen: „Die Beugungserscheinungen einer kreisrunden Oeffnung und eines kreisrunden Schirmchens“ und „Die Beugungserscheinungen geradlinig begrenzter Schirme“³⁾ führt E. von Lommel die beiden bekannten Fresnel'schen Integrale

1) G. Sagnac, *Compt. rend.* 122. p. 783. 1896.

2) L. Fomm, *Sitzungsber. d. math.-physik. Klasse d. k. b. Akad. d. Wissensch. zu München.* 26. Heft II; *Wied. Ann.* 59. p. 350 ff. 1896.

3) E. von Lommel, *Abhandl. d. k. b. Akad. d. Wissensch. zu München.* II. Kl. 15. Abth. II u. III. München 1884 u. 1886.

und

$$C = \int \cos \frac{\pi}{2} v^2 dv$$

$$S = \int \sin \frac{\pi}{2} v^2 dv$$

auf Bessel'sche Functionen zurück und beweist, dass die Beugungserscheinungen bei geradliniger und kreisförmiger Begrenzung des beugenden Schirmes durch eine und dieselbe Formel ausgedrückt werden können.

E. von Lommel zeigt auch, wie man bei geradlinig begrenzten Oeffnungen aus dem Auftreten der oben beschriebenen Maxima und Minima und einiger Constanten die Wellenlänge des den Beugungsspalt durchdringenden homogenen Lichtes berechnen kann. Zur Berechnung der Wellenlänge λ giebt E. v. Lommel folgende einfache Beziehungen:

$$(\alpha) \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{a+b}{a \cdot b},$$

$$(\beta) \quad y = k \cdot r^2$$

und daraus erhält man die bequeme Formel:

$$y = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{a+b}{a \cdot b} \cdot r^2.$$

In dieser Lommel'schen Formel bedeutet λ die gesuchte Wellenlänge, a den Abstand der homogenen Lichtlinie von dem beugenden Spalt, b den Abstand des letzteren von dem Projectionsschirm, beziehungsweise bei den Versuchen mit Röntgenstrahlen den Abstand von der lichtempfindlichen photographischen Trockenplatte, r die halbe Breite des Beugungspaltes und y eine absolute Zahl — y bildet die Ordinate eines rechtwinkligen Coordinatensystems —, deren Grösse aus der am Schlusse der Abhandlung „Ueber die Beugungserscheinungen geradlinig begrenzter Schirme“ befindlichen Fig. 1 zu entnehmen ist.

Für die Beugungsversuche, die ich nach der Methode des Hrn. Dr. Fomm anstellte, liess ich mir von Dr. Steeg und Reuter in Homburg einen geeigneten Beugungsapparat fertigen. Der Apparat besteht aus einem Messingrohr, an dessen beiden Enden je ein aus 1,5 mm dicken Stahlplatten gefertigter Spalt angebracht ist. Die beiden Spalte, von denen der eine zur Abgrenzung der Lichtlinie, der andere als beu-

gende Oeffnung dient, sind genau einander parallel und können beliebig zu einander verschoben werden. Bei jedem der zwei Spalte ist die eine Stahlplatte fest, während die andere durch eine Mikrometerschraube verschoben werden kann, sodass man dem Spalt eine innerhalb 0 und 4 mm veränderliche Breite zu geben vermag. Die Ganghöhe der Mikrometerschraube beträgt an jedem der zwei Spalte 1 mm, der Trommelumfang ist in 20 Theile getheilt, sodass noch eine lineare Verschiebung von 0,05 mm abgelesen werden kann.

Hinter dem Beugungsspalt wurde bei jedem Versuche, bez. bei jeder Aufnahme die hochempfindliche photographische Platte angebracht, welche auf einem am Messingrohr des Beugungsapparates befestigten Metallrahmen in beliebige Entfernungen vom beugenden Spalt verschoben werden konnte.

Zu den Aufnahmen benutzte ich auch einige sogenannte Röntgenplatten und Röntgenfilms (System Levy) mit doppelschichtiger, lichtempfindlicher Emulsion. Bei Anwendung solcher Platten und Films konnte die Expositionszeit bedeutend abgekürzt werden. Die zur Aufnahme benutzten Platten und Films wurden abwechselnd mit Rodinal, Hydrochinon oder auch mit Metol entwickelt.

Da die Röntgenstrahlen bekanntlich an allen Stoffen, sogar an den Theilchen der atmosphärischen Luft eine sehr starke diffuse Reflexion erfahren, so habe ich, um ganz reine Bilder zu erhalten, den Beugungsspalt und die photographische Platte durch eine grosse Bleiplatte vor der diffundirten Strahlung geschützt. Die 50 cm lange, 40 cm breite und 0,2 cm dicke Bleiplatte hatte in der Mitte eine kreisförmige Oeffnung, in welche der zur Abgrenzung der Lichtlinie dienende Spalt mit einem Theil des Messingrohres genau passte.

Jede einzelne Aufnahme mit einer bestimmten Breite des Beugungsspalt wurde mit verschiedenen Röntgenröhren und mit verschiedenen Expositionszeiten von einer bis fünfzig Minuten angestellt. Die Lichtlinie war bei den meisten Versuchen 0,5 mm breit. Die Breite des beugenden Spalt wurde von 2 mm angefangen successive bei jeder neuen Versuchsreihe um einen Theilstrich auf dem Trommelumfang der Mikrometerschraube, d. h. um 0,05 mm, verringert, sodass bei der letzten Versuchsreihe die Grösse r in der oben an-

geführten Lommel'schen Formel gleich 0,025 mm wurde. Die Grösse a wechselte bei den verschiedenen Versuchsreihen zwischen 50 und 200 mm, die Grösse b zwischen 30 und 220 mm.

Zuerst benutzte ich bei den Fomm'schen Beugungsversuchen zur Erzeugung der Röntgenstrahlen ausschliesslich nur Focusröhren. Bei allen mit diesen Röhren gemachten Aufnahmen erhielt ich immer nur das genaue Bild des beugenden Spaltes; im Inneren des Spaltbildes aber war ein dunkler, dem ersten Minimum entsprechender Streifen niemals zu beobachten.

Bei einer mit der Focusröhre von Levy gemachten Aufnahme waren z. B. die Constanten folgende:

Breite der Lichtlinie = 0,5 mm, $2r = 0,10$ mm, $a = 150$ mm, $b = 110$ mm; die Intensität des Primärstromes betrug während der Aufnahme 4,5 Amp. und die Dauer der Expositionszeit war 2 Minuten. Senkrecht zum Beugungsspalt und in der Mitte zwischen dem letzteren und der lichtempfindlichen Platte war eine feine Nähnadel angebracht. Auf dem erhaltenen Negativ ist das Bild des Spaltes und der Nadelspitze sehr deutlich, aber ohne irgend welche Beugungserscheinung. Wurde die Breite der Lichtlinie auf 2,0 mm vergrössert und waren die übrigen Constanten: $2r = 0,10$ mm, $a = 140$ mm, $b = 200$ mm, so erhielt ich bei einer Expositionszeit von zwei Minuten und einer primären Stromstärke von 4,2 Amp. ein etwas verbreitertes Bild des Spaltes ohne Interferenzstreifen.

Waren die in der Lommel'schen Formel vorkommenden Grössen folgende:

Breite der Lichtlinie = 0,5 mm, $2r = 0,05$ mm, $a = 180$ mm, $b = 150$ mm, die Intensität des Primärstromes gleich 4,1 Amp. und betrug die Expositionszeit 3 Minuten, so wurde mit jeder Focusröhre nur ein ganz scharfes Bild des Spaltes erhalten ohne Beugungserscheinung. Bei einer Expositionsdauer von 3 Minuten und einer Intensität des primären Stromes von 5,0 Amp. erhielt ich, wenn die Breite der Lichtlinie = 0,5 mm, $2r = 0,10$ mm, $a = 200$ mm, $b = 190$ mm war, nur das Bild des Beugungsspalt.

Nachdem bei allen möglichen Veränderungen der in der Lommel'schen Formel vorkommenden Grössen, wenn zur Er-

zeugung von Röntgenstrahlen Focusröhren verwendet wurden, Beugungserscheinungen niemals erhalten werden konnten, so änderte ich die Versuche dahin ab, dass ich in den Gang der von einer Focusröhre kommenden Röntgenstrahlen fluorescirende und absorbirende Medien brachte.

Zu den Versuchen liess ich mir nun einen Glaszylinder fertigen, der genau in die Messingröhre des Beugungsapparates passte und der an dem einen Ende geöffnet werden konnte. Dieser Glaszylinder wurde mit verschiedenen Fluorescenz zeigenden Körpern gefüllt, z. B. mit Flussspathkrystallen, mit Lösungen von Chininsulfat, Fluorescein, Urannitrat, Eosin, mit Petroleum u. a. Bei den Beugungsaufnahmen mussten somit die von der 0,5 mm breiten Lichtlinie kommenden Röntgenstrahlen die fluorescirenden Körper durchdringen, dann erst gelangten sie durch den beugenden Spalt auf die photographische Platte. —

Die Bilder, welche bei diesen Versuchsbedingungen erhalten wurden, unterschieden sich durchaus nicht von den auf gewöhnliche Weise erhaltenen. Beugungserscheinungen waren auch bei diesen Aufnahmen nicht zu beobachten.

Die nämlichen Bilder wurden erhalten, wenn der oben beschriebene Glaszylinder mit chemischen Verbindungen gefüllt war, welche die Röntgenstrahlen zum Theil absorbiren. Bei meinen Versuchen mussten die Röntgenstrahlen Chloroform, Bromoform (CHBr_3) durchdringen, bis sie zum beugenden Spalt und zur lichtempfindlichen Platte gelangen konnten. Bei diesen Versuchen war eine sehr lange Exposition nothwendig, wenn ich überhaupt ein Bild erhalten wollte.

Bei allen Versuchen mit fluorescirenden und absorbirenden Körpern wurden die in der Lommel'schen Formel vorkommenden Grössen: r , a und b ebenso variirt, wie bei den früheren Versuchen.

Nachdem alle Versuche, bei Anwendung von Focusröhren Beugungserscheinungen zu erhalten, erfolglos waren, entschloss ich mich, die früheren Versuchsreihen nochmals zu wiederholen, indem ich zur Erzeugung der Röntgenstrahlen nur Crookes'sche und Hittorf'sche Röhren verwendete. Von den fünf, ca. 25 cm langen, birnförmigen Crookes'schen Röhren, die von Geissler in Bonn und von Leybold in Köln

bezogen waren, wurden drei während der Versuche schadhaf durch die intensive Erwärmung jener Stelle der Glaswand, auf welche die Kathodenstrahlen auffielen und die Röntgenstrahlen erzeugten. Die Versuchsanordnung blieb die gleiche wie bei den Versuchen mit den Focusröhren.

Aus der der Kathode gegenüberliegenden Stelle der Glaswand, welche die lebhafteste Fluoreszenz zeigte, wurde mit Hülfe des einen Spaltes an dem früher beschriebenen Beugungsapparat eine Lichtlinie von 0,5 mm abgegrenzt. Sobald nun bei den mit einer birnförmigen Crookes'schen Röhre gemachten Aufnahmen die in der Lommel'schen Formel vorkommenden Grössen folgende waren:

$$r = 0,05 \text{ mm}, \quad a = 200 \text{ mm}, \quad b = 180 \text{ mm},$$

zeigte sich in dem Spaltbilde ein dunkler Streifen, das erste Minimum. Setzt man in die Lommel'sche Formel:

$$y = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{a+b}{ab} \cdot r^2$$

die Constanten des Versuches ein, so erhält man die Wellenlänge der Röntgenstrahlen

$$\lambda = \frac{2\pi}{11} \cdot \frac{380}{36000} \cdot 0,05^2 = 0,000\,015 \text{ mm},$$

y ist bei den Versuchen gleich 11 zu setzen. Unter denselben Versuchsbedingungen wurden die Beugungsaufnahmen von mir der Sicherheit des Resultates wegen sehr oft wiederholt, und jedesmal war im Spaltbilde der dunkle Streifen, das erste Minimum, zu beobachten. Die Expositionsdauer variierte bei diesen Versuchen zwischen 5 und 10 Minuten und die Intensität des primären Stromes betrug meist 5,0 Amp.

Verwendete ich zur Erzeugung der Röntgenstrahlen eine 32 cm lange, cylinderförmige Hittorf'sche Röhre, so erhielt ich im Spaltbilde das erste Minimum, wenn

$$r = 0,05 \text{ mm}, \quad a = 200 \text{ mm}, \quad b = 175 \text{ mm}$$

waren. Daraus ergibt sich wieder mit Hülfe der Lommel'schen Formel die Wellenlänge

$$\lambda = \frac{2\pi}{11} \cdot \frac{375}{35000} \cdot 0,05^2 = 0,000\,015\,3 \text{ mm}.$$

Dieser Werth für die Wellenlänge unterscheidet sich von dem vorigen mit der birnförmigen Röhre erlangten nur um 0,3 Milliontel mm. Die aus meinen Versuchen sich ergebende Wellenlänge weist nur einen minimalen Unterschied auf von der, welche Hr. Dr. Fomm gefunden hat. Die Constanten des Fomm'schen Beugungsversuches, bei welchem das erste Minimum auftrat, waren folgende:

$$a = 200 \text{ mm}, \quad b = 200 \text{ mm}, \quad r = 0,05 \text{ mm} \quad \text{und} \quad y = 11.$$

Daraus ergibt sich die Wellenlänge

$$\lambda = \frac{2\pi}{11} \cdot \frac{400}{40000} \cdot 0,05^2 = \mathbf{0,000\,014 \text{ mm.}}$$

Die Länge der von Schumann unter Anwendung von Flussspathprisma, Vacuumcamera und gelatinloser Bromsilberplatte photographirten Welle im ultravioletten Spectrum beträgt 0,0001 mm.¹⁾

Nachdem ich bei Anwendung von Crookes'schen oder Hittorfschen Röhren zur Erzeugung der Röntgenstrahlen Beugungserscheinungen erhalten hatte, ordnete ich die Versuche mit Rücksicht auf die von Walter²⁾ aufgestellte Hypothese von der Natur der Röntgenstrahlen noch anders an. Ich liess die Röntgenstrahlen, bevor sie den beugenden Spalt passirten und zur photographischen Platte gelangten, durch ein Hochfrequenzfeld gehen. Das Hochfrequenzfeld wurde hergestellt durch einen Teslatransformator, welcher in den secundären Kreis eines Inductoriums von 8 cm maximaler Schlagweite eingeschaltet war. Allein das Hochfrequenzfeld äusserte keinen Einfluss auf den Gang der Röntgenstrahlen; denn es erschien bei den nämlichen Versuchsconstanten, wie bei den früheren Versuchen, in dem Spaltbilde der dunkle Streifen, das erste Minimum, sodass sich auch bei dieser Versuchsanordnung die Wellenlänge der Röntgenstrahlen $\lambda = 0,000\,015 \text{ mm}$ ergibt. Das Resultat änderte sich nicht, wenn das Hochfrequenzfeld nach der von Lecher³⁾ beschriebenen Anordnung erzeugt wurde.

1) Die von anderen Beobachtern erhaltenen Werthe für die Wellenlängen der Röntgenstrahlen sind in der Dissertation zusammengestellt.

2) B. Walter, Wied. Ann. **66**. p. 73 ff. 1898.

3) E. Lecher, Wied. Ann. **41**. p. 850. 1890.

Des Coudres¹⁾ hat durch Versuche gefunden, dass ein von den sogenannten Lenardstrahlen in freier Luft getroffenes Platinblech Röntgenstrahlen aussendet. Kupferblech wirkte noch besser. Leider war es mir bei meinen beschränkten Hilfsmitteln nicht möglich, derartige Versuche mit diesen Strahlen anzustellen.

Auch mit den nach der von Sagnac²⁾ angegebenen Methode transformirten Röntgenstrahlen habe ich Beugungsversuche gemacht. Zur Umwandlung der Röntgenstrahlen benutzte ich Platten von Zinn, Zink und Aluminium. Die Anordnung bei den Versuchen wurde so getroffen, dass die Röntgenstrahlen erst dann in den Beugungsapparat und auf die lichtempfindliche Platte gelangen konnten, wenn sie zuvor von der betreffenden Metallplatte reflectirt wurden. Allein, obwohl ich die Lichtlinie 1 mm breit gemacht hatte, konnte ich auch bei langdauernder Exposition nie ein deutliches Bild auf der lichtempfindlichen Platte erhalten. Auf einem vorgehaltenen Bariumplatincyankürschirm war ein schwaches Leuchten zu beobachten. Uebrigens haben Sagnac und Hurmuzescu³⁾ gefunden, dass die transformirten Strahlen ein viel kleineres Durchdringungsvermögen besitzen als die directen Röntgenstrahlen.

Resultat.

Aus den obigen Versuchen ergibt sich: Die Röntgenstrahlen zeigen Interferenzerscheinungen, Beugung durch Spalte; die neuen Strahlen besitzen also Wellennatur. Aus den auftretenden Beugungserscheinungen lässt sich die Wellenlänge der Röntgenstrahlen zu 0,000 015 mm berechnen.

Aus dem Auftreten von Interferenzerscheinungen kann man noch nicht entscheiden, ob die Röntgenstrahlen bildenden Wellen transversal oder longitudinal sind. Indess ist bis jetzt⁴⁾ eine Polarisation bei den Röntgenstrahlen nicht

1) Des Coudres, Wied. Ann. **62**. p. 139 ff. 1897.

2) G. Sagnac, Compt. rend. **125**. p. 942. 1897; **126**. p. 40, 467, 887. 1898; die Versuche Roiti's in „Nuovo Cimento“. (4) **7**. p. 204. 1898.

3) G. Sagnac u. D. Hurmuzescu, L'éclairage électrique. **15**. p. 166. 1898.

4) L. Grätz, Wied. Ann. **65**. p. 453. 1898.

nachgewiesen worden, sodass ein Beweis für eine Transversalität nicht vorhanden ist.

Es sei mir gestattet, Hrn. Prof. Dr. E. von Lommel meinen Dank auszusprechen für die freundliche Anregung zu dieser Arbeit. Ebenso erlaube ich mir, Hrn. Assistenten Dr. L. Fomm meinen Dank abzustatten für die freundlichen Rathschläge bei meiner Arbeit.

Schaufling bei Deggendorf, Physikal. Privatlaboratorium,
April 1899.

(Eingegangen 17. Juni 1899).
