Paul Scherrer und die Streuung von Röntgenstrahlen

Autor(en): **Debye, P.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **33 (1960)**

Heft [5]: **Supplementum 5. Beiträge zur Entwicklung der Physik**

PDF erstellt am: **25.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-513234

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Paul Scherrer und die Streuung von Röntgenstrahlen

Von P. Debye, Cornell University, Ithaca, New York, USA

In einer Zeit, nicht lange vor Ausbruch des Ersten Weltkrieges, beschloss Woldemar Voigt in Göttingen, dass er in Zukunft nur noch theoretische Vorlesungen halten wolle und dass die Sorge für das Laboratorium anderen Händen übergeben werden sollte. In Utrecht, wo ich Professor für theoretische Physik war, konnte ich den dortigen Experimentalphysiker nicht dazu bringen, mir in seinem Laboratorium einen Platz einzuräumen für die Ausführung einiger Versuche. So kam es, dass ich 1914 einen Ruf an die Universität Göttingen annahm, als theoretischer Physiker mit zugehörigem Laboratorium.

Die Versuche, die ich im Auge hatte, waren neben solchen, welche die Polarität von Molekeln nachweisen und messen sollten, hauptsächlich Versuche über Röntgenstreuung. Ihre Winkelverteilung sollte, wie ich hoffte, zu interpretieren sein als Interferenzphänomen und deshalb Aufschluss geben über eventuelle Regelmässigkeiten in der Elektronenverteilung, selbst in solchen Fällen, wo von einer kristallinen Struktur nicht die Rede sein konnte.

Neben dem kleinen Hörsaal des Physikalischen Instituts war ein Vorbereitungszimmer. Der mittlere Teil dieses Zimmers wurde eingenommen von einem alten Foucault-Transformator riesiger Dimensionen. Dieser wurde betrieben mit einem Quecksilberstrahl-Unterbrecher und lieferte die Hochspannung zu der Röntgenröhre mit vorgeschalteter Gleichrichterröhre. Hier begann ich die ersten Streuversuche mit Hilfe einer aus einer Papprolle angefertigten Kamera, und hier war es, wo ich Paul Scherrer zum ersten Male begegnete. Er war mit seiner Frau nach Deutschland gekommen, um Physik zu studieren, und hatte, wie mir erzählt wurde, versucht, in Königsberg anzufangen. Bald aber waren die beiden nach Göttingen gekommen, und zu der Zeit, als ich Scherrer kennenlernte, war er, angeregt von Voigt, damit beschäftigt, im Göttinger Institut Versuche über den Zeemaneffekt in Absorption zu machen. Er war neugierig, zu erfahren, was ich vorhatte. Wir kamen ins Gespräch, er wurde mehr und mehr interessiert, und es dauerte nicht lange, bevor er im Vorbereitungszimmer neben dem Hörsaal ganz zu Hause war und die Versuche übernahm. Mit Hilfe des Mechanikers wurde die Kamera neu konstruiert und aus Metall angefertigt. Die

Röntgenröhren, welche SCHERRER benutzte, bestanden aus einem wassergekühlten Fuss, der die Antikathode enthielt, während der Rest eine Glaskugel mit eingeschmolzener Aluminiumkathode war, die in den Antikathodenfuss eingekittet wurde. Eine neu zusammengesetzte Röntgenröhre benötigte immer eine Vorbereitung an der Gaede-Pumpe von einigen Stunden, bevor sie als solche brauchbar wurde. Wenn die Röhre nach mehreren Stunden Betrieb infolge von Zerstäubung unbrauchbar geworden war, wurde eine neue Glaskugel eingekittet, deren immer mehrere auf Vorrat vorhanden waren.

Unsere Gedanken befassten sich hauptsächlich mit den Elektronen und ihrer Anordnung. So hatten wir das Gefühl, dass wir Atome von möglichst niedrigem Atomgewicht für die Streuversuche bevorzugen sollten. Das sollte bewirken, dass wir es nur mit einer kleineren Elektronenzahl zu tun hatten, ein Umstand, von dem wir hofften, dass er die Interpretation der Resultate vereinfachen würde. So kam es, dass wir unter anderem auf Lithiumfluorid als Versuchssubstanz verfielen. Ein Gelatinröhrchen mit etwa 2 mm Durchmesser wurde mit dem LiF-Puder gefüllt und der Strahlung einer Kupferantikathode, filtriert durch ein Ni-Filter, ausgesetzt. Die Streuung wurde photographisch auf einem Film registriert, der den Winkelbereich von nahezu 180° beiderseits umspannte. Als SCHERRER den Film entwickelte, zeigten sich zu unserer Überraschung eine Reihe von scharfen Linien. Das konnte nun unmöglich als Interferenzen einer Strahlung von wenigen Zentren gedeutet werden. Die richtige Erklärung als kristallinische Laue-Interferenzen war jetzt sofort ersichtlich, und die «Pulvermethode» zur Untersuchung der Struktur sogenannter amorpher Körper war geboren. Von einer Reihe solcher Pulver wurde gezeigt, dass sie in der Tat kristallinisch waren. Ein besonders interessanter Fall war die Bestimmung der Struktur von Graphit und der Vergleich dieser Struktur mit der von Diamant.

Die Notiz, welche diese Versuche beschreibt, ist datiert vom 3. Dezember 1915. Sie wurde der Göttinger Akademie sofort vorgelegt und ist abgedruckt in den Göttinger Nachrichten 1916, S. 1, mit dem Titel: P. DEBYE und P. SCHERRER, Interferenzen an regellos orientierten Teilchen im Röntgenlicht I. In der Physical Review *10*, 661, 1917, ist eine Arbeit von A. W. HULL abgedruckt mit dem Titel: A new method of X-ray Crystal Analysis. Es heisst dort in einer Fussnote: A brief description of this method was given before the American Physical Society in October 1916 and published in this Journal for January 1917 (Phys. Rev. *9*, 84, 1917). Es ist interessant zu beobachten, wie in diesem Falle dieselben Versuche, nahezu gleichzeitig, von verschiedenen Beobachtern, gänzlich unabhängig voneinander, erdacht und ausgeführt wurden. Diese Erscheinung, welche nicht so vereinzelt ist, als man zuerst denken möchte, gibt meines Erachtens Kunde von der Existenz einer wissen-

schaftlichen Atmosphäre, die keine Landesgrenzen kennt und deren Erhaltung offensichtlich von grösster Bedeutung ist.

Anschliessend an diese erste Arbeit ist in den Göttinger Nachrichten eine zweite von denselben Verfassern mit demselben Titel, aber mit der zusätzlichen Bezeichnung II abgedruckt (Gött. Nachr. 1916, S. 16), welche vom 16. Dezember 1915 datiert ist. An diese zweite Arbeit hat eine langjährige Entwicklung angeknüpft.

Es handelt sich in diesem Falle um die erste Beobachtung von Röntgeninterferenzen, welche von Flüssigkeiten erzeugt werden. An Stelle des zentralen Stäbchens in der Kamera wurde jetzt ein Flüssigkeitsstrahl benutzt, um ganz sicher zu sein, dass nur die Flüssigkeit und nichts anderes die Interferenzen verursachte. Die Flüssigkeit wurde im Kreislauf erhalten durch eine kleine, elektrisch betriebene Pumpe, die von SCHERRER mit gewohnter Handfertigkeit hergestellt worden war aus einer kleinen Dampfmaschine, die in der Vorweihnachtszeit 1915 in einem Spielzeugladen in Göttingen gekauft wurde. Die Breite der Interferenzringe demonstrierte, dass wir es in diesem Falle mit der Interferenzwirkung weniger Zentren zu tun hatten.

Dies legte die Erklärung nahe, dass die Intensitätsverteilung eine innermolekulare Ursache habe und als Interferenz der Atomstreuungen der einzelnen Atome im Molekül aufzufassen sei. Die Formeln, welche einen solchen Fall beschreiben, waren vorhanden (P. DEBYE, Zerstreuung von Röntgenstrahlen, Gött. Nachr. 1915, S. 70, auch Ann. d. Phys. *46*, 809, 1915. Die Notiz wurde der Göttinger Akademie am 27. Februar 1915 vorgelegt. Genau am gleichen Tage wurde der Amsterdamer Akademie eine Notiz von P. EHRENFEST vorgelegt, in welcher der spezielle Fall der Interferenz von zwei miteinander starr verbundenen Zentren, wie in einem zweiatomigen Molekül, behandelt wird).

Eine der untersuchten Flüssigkeiten war Benzol. Frau SCHERRER-SONDEREGGER führte die numerische Rechnung für den Benzol-Sechsring durch und ist damit die erste, welche eine innermolekulare Interferenzkurve berechnete, die publiziert wurde. Der Durchmesser des Benzolringes wurde berechnet unter der Annahme, dass der beobachtete erste Interferenzring dem ersten Maximum der errechneten Kurve entspricht. Wenn ich die Publikation in den Göttinger Nachrichten jetzt lese, komme ich zu dem Schluss, dass wir beide, SCHERRER und ich, bei der Abfassung der Notiz doch gewisse Bedenken bezüglich der Erklärung gehabt haben müssen. Wir bemerken, dass der errechnete Durchmesser des Benzol-Sechsecks so gross sei, dass wir ein recht dünnes Molekül annehmen müssen, um den Raumverhältnissen in der Flüssigkeit gerecht zu werden. Ferner stellen wir fest, dass der Interferenzring auch für Wasser beobachtet wird und hier die einzig mögliche Erklärung auf eine zwischenmolekulare Interferenz beruhen müsse.

Die weitere Entwicklung hat die Berechtigung dieser Befürchtungen bewiesen. 1920 war ich davon überzeugt, dass eine Art quasikristalline Regelmässigkeit der Molekülanordnung in Flüssigkeiten existieren müsse, welche allerdings nur wenige Moleküldurchmesser weit reicht, aber doch genügt, um intermolekulare Interferenzen zu erzeugen. Ich berichtete darüber in der Sitzung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft in Jena desselben Jahres. 1925 veröffentlichte ich eine Notiz über denselben Gegenstand (Journal of Mathematics and Physics *4*, 133, 1925, übersetzt von R. SÄNGER in Phys. Zschr. *28*, 135, 1927), in der errechnet wird, dass ein «Flüssigkeitsring» auftreten muss, sobald ein Gas eine grössere Dichte erreicht, und dieses nur deshalb, weil die Moleküle ein gewisses Volumen einnehmen. Ganz klar wird die Sachlage durch Versuche von W. H. KEESOM und J. DE SMEDT (Journ. de Phys. [6] *4*, 144, 1923; siehe auch Proc. Amst. Akad. *25*, 118, 1922, und *26*, 112, 1923), die zeigen, dass das einatomige flüssige Argon einen «Flüssigkeitsring» zeigt und dass die Durchmesser solcher Ringe im allgemeinen zu dem mittleren Abstand der Moleküle in der Flüssigkeit in Beziehung stehen. Der Schlußstein dieser Entwicklung wird geliefert von F. ZERNIKE und J. A. PRINS in einer Arbeit mit dem Titel: «Die Beugung von Röntgenstrahlen in Flüssigkeiten als Effekt der Molekülanordnung», in welcher die Korrelation in der räumlichen Anordnung von Nachbarmolekeln mittels einer Verteilungsfunktion beschrieben wird (Zschr. f. Phys. *41*, 184, 1927). Seitdem sind viele Arbeiten erschienen über die genauere Bestimmung dieser Verteilungsfunktion und die damit verbundene Reichweite der Korrelation. Das Neueste in dieser Beziehung ist die Feststellung, dass die Korrelationsdistanz anwachsen kann bis auf Längen, welche mit der Wellenlänge sichtbaren Lichtes vergleichbar sind, wenn Flüssigkeiten in der Nähe des kritischen Punktes der Untersuchung unterworfen werden. Nachdem somit die Diskussion von Flüssigkeitsinterferenzen nicht zum gewünschten Ziel, der sauberen experimentellen Untersuchung der Molekülstruktur selber, geführt hatte, war es notwendig, die Streuversuche auf Gase auszudehnen. Das begann mit Erfolg 1929 mit der Arbeit von P. DEBYE, L. BEWILOGNA und F. EHRHARDT: «Zerstreuung von Röntgenstrahlen an einzelnen Molekeln», Phys. Zschr. *30*, 84, 1929.

Wie ersichtlich, ist das eine lange und höchst interessante Entwicklung die aufgebaut worden ist auf das Resultat eines einfachen, im Herbst 1915 ausgeführten Versuches von PAUL SCHERRER.

In den Jahren, in denen SCHERRER und ich in Göttingen zusammen waren, wurde die Kolloidchemie dort von ZSIGMONDY vertreten. Dieser war zur damaligen Zeit besonders interessiert an kolloidalem Gold und an der Sichtbarmachung der in diesem Falle äusserst kleinen Kolloidteilchen im Ultramikroskop, mit Hilfe ihrer Lichtstreuung. SCHERRER hatte die

Idee, dass man mit Hilfe der «Pulvermethode» Genaueres über die Struktur jener Teilchen erfahren könne. Das kolloidale Gold, das er von ZSIGMONDY erhielt, zeigte in der Röntgenkamera ohne weiteres die charakteristischen Kristallringe. Teilchen mit einem Durchmesser, welcher 4–5 Elementarbereichen in einer Würfelkante entsprach, waren völlig gross genug, um Interferenzringe zu erzeugen. Zugleich aber zeigte sich, dass diese Ringe verbreitert waren. SCHERRER deutete diese Verbreiterung quantitativ als Folge der relativ kleinen Zahl der bei der Streuung zusammenwirkenden Atome. Damit begründete er eine neue, heute wohlbekannte Methode für die Grössenbestimmung kleiner Teilchen im Angströmbereich. Die Arbeit mit dem Titel: «Bestimmung der Grösse und der inneren Struktur von Kolloidteilchen mit Röntgenstrahlen» wurde am 26. Juli 1918 der Göttinger Akademie vorgelegt und ist abgedruckt Gött. Nachr. 1918, S. 98.

Im selben Jahre (Gött. Nachr. 1918, S. 10) veröffentlichten wir beide zusammen eine Notiz mit dem Titel «Atombau», in der berichtet wird über quantitative Messungen der Intensität der Interferenzringe von LiF und Diamant. Die Resultate werden benutzt, um die Winkelverteilung der Streuintensität vom einzelnen Atom, das, was man jetzt den Atomformfaktor nennt, experimentell zu bestimmen. Es wird gezeigt, dass der starke Abfall dieses Faktors mit zunehmendem Winkel erklärt werden muss als Folge des relativ grossen Raumes, der von den Elektronen im Atom eingenommen wird. Im Falle des LiF wird geschlossen, dass die Atome in Form von einwertigen Ionen im Kristall vorhanden sein müssen.

Inzwischen waren die Verhältnisse in Deutschland infolge des Krieges sehr schwierig geworden. Es herrschte nicht nur Hungersnot, es war auch kaum mehr möglich, den Laboratoriumsbetrieb aufrecht zu erhalten. Ich erinnere mich noch, wie dankbar der Kinderarzt Dr. med. GÖPPERT (der Vater der in den Kreisen der Kernphysiker wohlbekannten Frau JOSEPH E. MAYER-GÖPPERT in Chicago) war, als ich für ihn ein vergessenes kleines Fläschchen Glyzerin im Laboratorium auftreiben konnte. Unter diesen Umständen wurde ein Ruf an die Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich mit Freude begrüsst. Die damalige Behörde konnte ich ohne Mühe davon überzeugen, dass die Physik an der ETH in verschiedenen Formen, den Bedürfnissen der verschiedenen Klassen von Ingenieuren angepasst, geboten werden sollte. Einigkeit bestand auch darüber, dass die Physik von Physikern gelehrt werden müsse. So gab es eine neue Stelle zu besetzen an der ETH. SCHERRER war der Mann dafür. Seine glänzende Laufbahn in den nahezu 40 Jahren, die seitdem verflossen sind, hat für jeden, in der Schweiz wie im Ausland, die Richtigkeit jener Wahl bewiesen. Mögen ihm noch viele Jahre beschieden sein, die er geniessen kann, zu seiner eigenen Lebensfreude und in dankbar anerkanntem Dienste an seinem Vaterland.