

Gald
①

ZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK

HERAUSGEGEBEN UNTER MITWIRKUNG
DER
DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT
VON
KARL SCHEEL

Sonderabdruck Bd. 33, Heft 9

H. Mark und L. Szilard

**Ein einfacher Versuch zur Auffindung eines selektiven
Effektes bei der Zerstreuung von Röntgenstrahlen**



VERLAG VON JULIUS SPRINGER, BERLIN

1925

Die

Zeitschrift für Physik

erscheint zwanglos in einzelnen Heften, die zu Bänden von 60 Bogen vereinigt werden.

Die Zeitschrift für Physik ist durch jede Buchhandlung sowie durch die Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24 zu beziehen. Die Mitglieder der Deutschen Physikalischen Gesellschaft erhalten die Zeitschrift für Physik zu einem mit dem Vorstände der Gesellschaft vereinbarten Vorzugspreis geliefert.

Die Verfasser erhalten von Arbeiten bis zu $1\frac{1}{2}$ Druckbogen Umfang 100^o Sonderabdrucke, von größeren Arbeiten 50 Sonderabdrucke kostenfrei, weitere gegen Berechnung.

Manuskriptsendungen sind zu richten an Herrn **Geh. Reg.-Rat Professor Dr. Karl Scheel, Berlin-Dahlem, Werderstraße 28.**

33. Band.

Inhalt.

9. Heft.

	Seite
P. Jordan, Über das thermische Gleichgewicht zwischen Quantenatomen und Hohlraumstrahlung. (Eingegangen am 8. Juli 1925)	649
F. W. Oudt, Messung der Intensitätsverhältnisse von Dubletten von Alkalimetallen in der Hauptserie. (Mitteilung aus dem Physikalischen Institut der Universität Utrecht.) (Eingegangen am 20. Juli 1925)	656
T. Bouma, Intensitätsverhältnisse einiger Interkombinationslinien. (Mitteilung aus dem Physikalischen Institut der Universität Utrecht.) (Eingegangen am 20. Juli 1925)	658
R. K. Chaturvedi, Über eine ernstliche Schwierigkeit in der Bestimmung der Zahl der vom Bohrschen Atom ausgestrahlten Schwingungen. Mit einer Abbildung. (Eingegangen am 8. Juni 1925)	660
Theodor Steinebach, Über die Bestimmung der Elastizitäts- und Torsionskoeffizienten von Steinsalz und Sylvin bei tiefen Temperaturen. Mit drei Abbildungen. (Eingegangen am 12. Juli 1925)	664
H. Mark und S. Tolksdorf, Über das Beugungsvermögen der Atome für Röntgenstrahlen. (Eingegangen am 23. März 1925)	681
H. Mark und L. Szilard, Ein einfacher Versuch zur Auffindung eines selektiven Effektes bei der Zerstreuung von Röntgenstrahlen. Mit einer Abbildung. (Eingegangen am 23. Juni 1925)	688
M. Polanyi und G. Sachs, Über elastische Hysteresis und innere Spannungen in gebogenen Steinsalzkristallen. (Mitteilung aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Metallforschung.) Mit zehn Abbildungen. (Eingegangen am 19. Juni 1925)	692
K. Schaposchnikow, Über Zusammenstöße von Lichtquanten. (Eingegangen am 4. Juli 1925)	706
K. Schaposchnikow, Zur Rotverschiebung der Spektrallinien. Bemerkung zur Arbeit von G. Maneff: „Die Gravitation und das Prinzip von Wirkung und Gegenwirkung“. (Eingegangen am 4. Juli 1925)	710
Guido Beck, Zur Theorie binärer Gravitationsfelder. (Eingegangen am 11. Juli 1925)	713

Ein einfacher Versuch zur Auffindung eines selektiven Effektes bei der Zerstreung von Röntgenstrahlen.

Von **H. Mark** und **L. Szilard** in Berlin-Dahlem.

Mit einer Abbildung. (Eingegangen am 23. Juni 1925.)

Es wird eine Methode angegeben, die eine sprunghafte Änderung im Beugungsvermögen für Röntgenstrahlen mit großer Empfindlichkeit nachzuweisen gestattet. Sie beruht darauf, daß von der Oktaederebene des RbBr in erster Ordnung zwar keine Röntgenstrahlung reflektiert wird, welche das Brom- und Rubidiumion in gleicher Weise zerstreuen, die Reflexion aber auftritt, sobald die Strahlung vom Bromion selektiv anders gebeugt wird als vom Rubidiumion. Eine solche selektive Beugung wurde z. B. für Strontium- $K\alpha$ -Strahlung gefunden, welche härter ist als die Absorptionskante des Broms, aber weicher als die des Rb, so daß sie wohl vom Br, nicht aber vom Rb selektiv absorbiert wird.

Bestrahlt man irgend eine Substanz mit Röntgenlicht, so gehen von ihr sekundäre Röntgenstrahlen aus, welche man im Rahmen der klassischen Theorie als Kugelwellen ansehen kann und welche sich dadurch charakterisieren lassen, daß man angibt, wie sich ihre Amplitude zur Amplitude des Primärstrahles verhält und welchen Phasenunterschied die sekundären Kugelwellen gegen die Primärwellen besitzen. Stellt man die Frage, wie sich Phasendifferenz und Amplitudenverhältnis verändern, wenn man die Frequenz des auffallenden Primärstrahles variiert, so ist es wohl sicher, daß man im allgemeinen beide als langsam veränderliche Funktionen der Wellenlänge ansehen darf. Es könnte aber sein, daß bei bestimmten Wellenlängen, welche für die zerstreuende Substanz charakteristisch sind, fast sprunghafte Änderungen auftreten. Wenn man das Bild, welches sich die klassische Theorie vom Zerstreungsvorgang macht, als richtig ansieht, so muß man z. B. erwarten, daß bei kontinuierlicher Verkleinerung der Primärwellenlänge eine derartige sprunghafte Änderung dann eintritt, wenn man aus dem langwelligen Bereich diesseits der Absorptionskante, innerhalb dessen die Strahlung von der Substanz nur sehr wenig absorbiert wird, durch Überschreiten der Absorptionskante in denjenigen Frequenzbereich eintritt, in welchem die Strahlung sehr stark absorbiert wird. Dies ist um so mehr zu erwarten, als der von der klassischen Theorie geforderte Zusammenhang zwischen Amplitude und Phase der sekundären Kugelwellen einerseits, und dem Absorptionskoeffizienten andererseits für das optische Gebiet sich in dem bekannten anomalen Gange des Brechungsindex in der Nähe der Absorptionslinie widerspiegelt.

Um eine derartige, etwa vorhandene sprunghafte Änderung im Gebiet der Röntgenfrequenzen wirklich nachzuweisen, kann man die

Reflexionen von Röntgenstrahlen an einem Rubidiumbromidkristall untersuchen; Rubidium und Brom stehen im periodischen System nahe beisammen, sie sind nur durch ein Edelgas voneinander getrennt. Da bei der Bildung des Salzes das Rubidiumion ein Elektron abgegeben und das Bromion eines aufgenommen hat, ist außerdem die Elektronenzahl der beiden Ionen die gleiche. Es ist daher nach der bisherigen Erfahrung¹⁾ — von selektiven Effekten abgesehen — zu erwarten, daß Röntgenstrahlen von beiden Ionen in gleicher Weise zerstreut werden. Belichtet man z. B. die (111)-Ebene (Oktaederebene) von Rubidiumbromid unter dem Glanzwinkel in erster Ordnung mit Kupfer K -Strahlen, so ist zu erwarten, daß keine Reflexion eintritt; denn die (111)-Ebenen sind abwechselnd gleich dicht mit Brom und Rubidiumionen belegt, und wenn diese Ebenen die Röntgenstrahlen in gleicher Weise zerstreuen, so heben sich ihre Wirkungen gegenseitig gerade auf. Tatsächlich fanden wir diese Reflexion bei Verwendung von Kupfer-, Eisen-, Kobalt- oder Zinkstrahlung vollkommen ausgelöscht. Belichtet man aber mit einer Wellenlänge, welche von Bromionen anders zerstreut wird, als von Rubidiumionen, so muß die Reflexion auftreten. Dies liefert eine empfindliche Methode, um einen Sprung in Phase oder Amplitude der sekundären Kugelwellen nachzuweisen.

Wir haben nun an mehreren wohlausgebildeten Rubidiumbromidkristallen von etwa 6 mm Kantenlänge die Oktaederebene angeschliffen und dann Strontium- $K\alpha$ -Strahlung daran in verschiedenen Ordnungen reflektiert. Diese Strahlung ist ein wenig härter als die Absorptionskante des Broms, aber weicher als die betreffende Kante des Rubidiums; ihre Wellenlänge liegt in dem schmalen Bereich zwischen den beiden Kanten und die Strahlung wird daher vom Brom selektiv absorbiert, nicht aber vom Rubidium. Wenn sie daher vom Brom auch anders zerstreut wird als vom Rubidium, so müßten nunmehr die sonst ausgelöschten Reflexionen der ungeraden Ordnungen von (111) hier auftreten. Sie treten in der Tat mit recht merklicher Intensität auf, dagegen verhält sich der Kristall der Emissionslinie des Broms gegen über wie gegen Kupferstrahlung. Die Emissionslinie des Broms wird also vom Bromion nicht merklich selektiv zerstreut, wie man dies nach einer Arbeit von R. Clark und W. Duane²⁾ hätte erwarten können.

¹⁾ W. H. und W. L. Bragg, Proc. Roy. Soc. **88**, 428, 1913; **89**, 248, 1914, und W. P. Davey, Phys. Rev. **21**, 143, 1923.

²⁾ R. Clark und W. Duane, Journ. Optical Soc. **8**, 90, 1922.

Zur Herstellung der verwendeten Rubidiumbromidkristalle haben wir reinstes RbBr aus fast gesättigter wässriger Lösung durch langsames Abdunsten auskristallisiert; nach mehreren Wochen bildeten sich hierbei neben unbrauchbaren Kristalldrüsen auch ganz wasserklare Würfel bis zu 6 mm Kantenlänge. Die Analyse mehrerer solcher Kristalle ergab einen Bromgehalt von 48,10, 48,35, 48,45 Proz., während sich 48,33 Proz. berechnet. Da es uns nicht gelang, die Oktaederebene als Wachstumsfläche zu erhalten, haben wir sie durch Anschleifen für die spektroskopischen Aufnahmen freigelegt. Da der Kristall sehr hygroskopisch

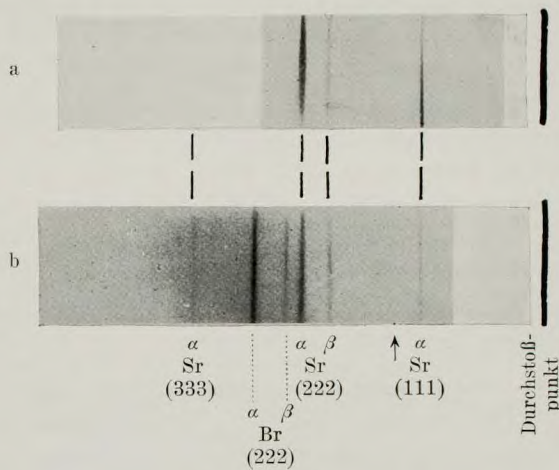


Fig. 1.

ist, muß man dabei schnell verfahren und ihn sofort mit einem wasserschützenden Lack überziehen, weil er sonst in kurzer Zeit unbrauchbar wird.

Die Fig. 1a zeigt eine Spektralaufnahme von Strontiumstrahlung an der (111)-Ebene in einer Seemannschen Kamera. Man erkennt die erste und zweite Ordnung der Reflexion, welche der Lage nach genau mit der theoretisch geforderten übereinstimmen (vgl. Tabelle 1). Das Intensitätsverhältnis ist jedoch zugunsten der ersten Ordnung verschoben, da bei dieser Aufnahme — welche im wesentlichen die Auffindung der ersten Ordnung bezweckte — die Wackelvorrichtung so eingestellt war, daß der Kristall in der Reflexionsstellung erster Ordnung etwa fünf- bis achtmal solange verweilte, als unter dem Glanzwinkel der zweiten Ordnung.

Die Fig. 1b zeigt eine Spektralaufnahme eines anderen RbBr-Kristalls in derselben Kamera. Diesmal wurde eine Antikathode aus SrBr_2 verwendet; die Drehung des Kristalls erfolgte gleichmäßig. Man kann

Tabelle 1.

Kristall Nr.	Verwendete Strahlung	Abstand der Linie vom Nullpunkt in Millimeter $1^0 = 2,54 \text{ mm}$	$\vartheta/2$ gefund.	$\sin \vartheta/2$ gefund.	$\sin \vartheta/2$ berechn.	In- dizierung
1 Br = 48,10 Proz.	Cu K $\lambda_{\beta} = 1,389$ $\lambda_{\alpha} = 1,541$	51,5	20 ⁰ 20'	0,347	0,348	222 β
		57,2	22 35	0,384	0,385	222 α
		112,2	44 10	0,696	0,696	444 β
		128,0	40 20	0,769	0,770	444 α
3 Br = 48,45 Proz.	Zn K $\lambda_{\beta} = 1,294$ $\lambda_{\alpha} = 1,435$	48,0	18 ⁰ 55'	0,323	0,323	222 β
		53,8	21 10	0,360	0,359	222 α
		102,3	40 15	0,646	0,646	444 β
		116,5	45 50	0,717	0,718	444 α
2 Br = 48,35 Proz.	Cu K + Sr K $\lambda_{\beta} = 0,779$ (Sr) $\lambda_{\alpha} = 0,875$ (Sr)	16,1	6 ⁰ 20'	0,110	0,109 ₅	111 Sr α
		28,4	11 10	0,194	0,194	222 Sr β
		32,4	12 45	0,220	0,219	222 Sr α
		49,0	19 15	0,329	0,329	333 Sr α
		51,5	20 20	0,347	0,348	222 Cu β
		57,3	22 35	0,385	0,385	222 Cu α
		58,2	22 55	0,389	0,388	444 Sr β
		66,2	26 5	0,439	0,438	444 Sr α
1 Br = 48,10 Proz.	Sr K $\lambda_{\beta} = 0,779$ $\lambda_{\alpha} = 0,875$	16,1	6 ⁰ 20'	0,110	0,109 ₅	111 α
		28,3	11 10	0,193	0,194	222 β
		32,4	12 45	0,219	0,219	222 α
		49,1	19 20	0,330	0,329	333 α
		58,2	22 55	0,388	0,388	444 β
		66,2	26 5	0,439	0,438	444 α
2 Br = 48,35 Proz.	Br K + Sr K $\lambda_{\beta} = 0,929$ $\lambda_{\alpha} = 1,040$	16,0	6 ⁰ 20'	0,110	0,109 ₅	111 Sr α
		28,2	11 6	0,192	0,194	222 Sr β
		32,0	12 36	0,217	0,219	222 Sr α
		33,8	13 20	0,231	0,232	222 Br β
		38,0	15 0	0,259	0,260	222 Br α
		47,8	18 50	0,323	0,329	333 Sr α

auf diesem Diagramm zunächst die erste Ordnung der Strontiumlinie erkennen (Sr α 111); etwa 2 mm links von ihr müßte die erste Ordnung der Bromemissionslinie liegen (durch einen Pfeil angedeutet); sie ist jedoch nicht¹⁾ vorhanden, obwohl, wie man an den Reflexionen der zweiten Ordnungen erkennen kann, die Intensitäten der Brom- und Strontiumstrahlung im Primärstrahl von derselben Größe waren.

Die Tabelle 1 enthält die Vermessung der beiden Aufnahmen sowie noch einiger mit anderen Strahlungen hergestellter Diagramme.

Kaiser Wilhelm-Institut für Faserstoffchemie und Institut für theoretische Physik der Universität.

¹⁾ Wenigstens nicht mit einer merklichen Intensität.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Die Grundlehren der mathematischen Wissenschaften in Einzeldarstellungen

mit besonderer Berücksichtigung der Anwendungsgebiete.
Gemeinsam mit W. Blaschke, Hamburg, M. Born, Göttingen,
C. Runge, Göttingen, herausgegeben von R. Courant, Göttingen.

Die neuesten Bände:

Band XVIII:

Relativitätstheorie in mathematischer Behandlung. Von A. S. Eddington, M. A., M. Sc., F. R. S., Plumian Professor of Astronomy and experimental Philosophy in University of Cambridge. Autorisierte, mit Zusätzen und Erläuterungen versehene Übersetzung von Dr. Alexander Ostrowski, Privatdozent an der Universität Göttingen, und Professor Dr. Harry Schmidt, Dozent am Friedrichs-Polytechnikum Cöthen, mit einem Anhang: Eddingtons Theorie und Hamiltonsches Prinzip von Albert Einstein. 391 Seiten. 1925. 18 Goldmark; in Leinen gebunden 19.50 Goldmark.

Aus dem Inhalt: Einleitung. Elemente der Theorie. Der Tensorkalkül. Das Gravitationsgesetz. Relativistische Mechanik. Die Krümmung des raumzeitlichen Kontinums. Elektrizität. Die Weltgeometrie. I. Teil: Die Weylsche Theorie. II. Teil: Die verallgemeinerte Theorie. Note: Die neue Einsteinsche Theorie. Anhang von Albert Einstein: Eddingtons Theorie und Hamiltonsches Prinzip.

Band XIX:

Aufgaben und Lehrsätze aus der Analysis von G. Pólya, Titl. Professor an der Eidgen. Techn. Hochschule Zürich, und G. Szegő, Privatdozent an der Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin.
Erster Band: **Reihen — Integralrechnung — Funktionentheorie.** 352 Seiten. 1925. 15 Goldmark; gebunden 16.50 Goldmark.

Inhaltsübersicht: Erster Abschnitt: **Unendliche Reihen und Folgen.** I. Kapitel: Das Rechnen mit Potenzreihen. II. Kapitel: Reihentransformationen. III. Kapitel: Die Struktur reeller Folgen und Reihen. IV. Kapitel: Vermischte Aufgaben. Zweiter Abschnitt: **Integralrechnung.** I. Kapitel: Das Integral als Grenzwert von Rechtecksummen. II. Kapitel: Ungleichungen. III. Kapitel: Einiges über reelle Funktionen. IV. Kapitel: Verschiedene Arten der Gleichverteilung. V. Kapitel: Funktionen großer Zahlen. Dritter Abschnitt: **Funktionen einer komplexen Veränderlichen.** Allgemeiner Teil. I. Kapitel: Komplexe Zahlen und Zahlenfolgen. II. Kapitel: Abbildungen und Vektorfelder. III. Kapitel: Geometrisches über den Funktionsverlauf. IV. Kapitel: Cauchyscher Integralsatz. Prinzip vom Argument. V. Kapitel: Folgen analytischer Funktionen. VI. Kapitel: Das Prinzip vom Maximum.

Band XX:

Zweiter Band: **Funktionentheorie — Nullstellen — Polynome — Determinanten — Zahlentheorie.** 417 Seiten. 1925. 18 Goldmark; gebunden 19.50 Goldmark.

Vierter Abschnitt: **Funktionen einer komplexen Veränderlichen. Spezieller Teil.** I. Kapitel: Maximalglied und Zentralindex, Maximalbetrag und Nullstellenzahl. II. Kapitel: Schlichte Abbildungen. III. Kapitel: Vermischte Aufgaben. — Fünfter Abschnitt: **Die Lage der Nullstellen.** I. Kapitel: Der Satz von Rolle und die Regel von Descartes. II. Kapitel: Geometrisches über die Nullstellen von Polynomen. III. Kapitel: Vermischte Aufgaben. — Sechster Abschnitt: **Polynome und trigonometrische Polynome.** — Siebenter Abschnitt: **Determinanten und quadratische Formen.** — Achter Abschnitt: **Zahlentheorie.** I. Kapitel: Zahlentheoretische Funktionen. II. Kapitel: Ganzzahlige Polynome und ganzwertige Funktionen. III. Kapitel: Zahlentheoretisches über Potenzreihen. IV. Kapitel: Einiges über algebraische ganze Zahlen. V. Kapitel: Vermischte Aufgaben. — Neunter Abschnitt: **Anhang. Einige geometrische Aufgaben.**

Band XXI:

Einführung in die analytische Geometrie der Ebene und des Raumes. Von A. Schoenflies, ord. Professor der Mathematik an der Universität Frankfurt a. M. 314 Seiten mit 83 Textfiguren. 1925. 15 Goldmark; gebunden 16.50 Goldmark.

Aus dem Inhalt: Einleitende Betrachtungen. Die Punktkoordinaten. Die Kurvengleichung. Allgemeine Formeln für Parallelkoordinaten. Die gerade Linie. Linienkoordinaten und Dualität. Doppelverhältnis und projektive Beziehung. Homogene Koordinaten. Der Kreis, Ellipse, Hyperbel, Parabel. Die allgemeine Gleichung zweiten Grades. Kollineare und reziproke Verwandtschaft. Räumliche Punktkoordinaten. Allgemeine Formeln und Sätze für räumliche Parallelkoordinaten. Ebene und Gerade in Punktkoordinaten. Die räumliche Dualität. Die Flächen der zweiten Ordnung. Anhang.

Was ist Materie? Zwei Aufsätze zur Naturphilosophie. Von Hermann Weyl. 88 Seiten mit 7 Abbildungen. 1924.
3,30 Goldmark

Raum—Zeit—Materie. Vorlesungen über allgemeine Relativitätstheorie. Von Hermann Weyl. Fünfte umgearbeitete Auflage. 346 Seiten mit 23 Textfiguren. 1923.
10 Goldmark

Mathematische Analyse des Raumproblems. Vorlesungen, gehalten in Barcelona und Madrid. Von Dr. Hermann Weyl, Professor der Mathematik an der Eidgen. Techn. Hochschule Zürich. 124 Seiten mit 8 Abbildungen. 1923.
5 Goldmark

Der Aufbau der Materie. Drei Aufsätze über moderne Atomistik und Elektronentheorie. Von Max Born. Zweite, verbesserte Auflage. 92 Seiten mit 37 Textabbildungen. 1922.
2 Goldmark

Über den Bau der Atome. Von Niels Bohr. (Vortrag bei der Entgegennahme des Nobelpreises in Stockholm am 11 Dezember 1922. Ins Deutsche übersetzt von W. Pauli jr.) 60 Seiten mit 9 Abbildungen. Zweite unveränderte Auflage. 1924.
1,50 Goldmark

Fluoreszenz und Phosphoreszenz im Lichte der neueren Atomtheorie. Von Peter Pringsheim. Zweite, verbesserte Auflage. 236 Seiten mit 33 Abbildungen. 1923.
8,50 Goldmark

Valenzkräfte und Röntgenspektren. Zwei Aufsätze über das Elektronengebäude des Atoms. Von Dr. W. Kossel, o. Professor an der Universität in Kiel. Zweite, vermehrte Auflage. 93 Seiten mit 12 Abbildungen. 1924.
3,60 Goldmark