

Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung

Nr. 209

Über die Abhängigkeit der Szintillationen von der Beschaffenheit des Zinksulfids und das Wesen des Szintillationsvorganges

Von

Berta Karlik

(Mit 21 Textfiguren und 1 Tafel)

(Vorgelegt in der Sitzung am 14. Juli 1927)

Schon die ersten Untersuchungen von E. Marsden¹ und E. Rutherford² an H-Strahlen, die durch schnelle α -Teilchen in Wasserstoffgas oder Wasserstoffverbindungen erzeugt wurden, zeigten eine Abhängigkeit der Helligkeit der in Zinksulfid auftretenden Szintillationen von der Art der sie erregenden Partikeln. Die Untersuchungen von H-Teilchen aus Atomkernen bestätigten diese Beobachtung.^{3 4} E. Kara-Michailova und H. Pettersson⁵ stellten die ersten Versuche zu einer quantitativen Untersuchung an und bestimmten das Verhältnis der Flächenhelligkeit von α - und H-Szintillationen.

Auf die Abhängigkeit der Szintillationshelligkeit von der Restreichweite des Teilchens hatte E. Rutherford bereits im Jahre 1906⁶ hingewiesen und aus theoretischen Gründen einen linearen Zusammenhang zwischen Helligkeit und Restreichweite vermutet. E. Kara-Michailova unternahm es, diesen Zusammenhang in einer vorläufigen Untersuchung zu beobachten, und fand, im Gegensatz zur Vermutung E. Rutherfords, eine angenäherte Konstanz der Helligkeit bis ungefähr 2 cm Restreichweite, von wo an ein allmählicher, später rascherer Abfall erfolgt. Diese Abhängigkeit konnte in der letztgenannten Arbeit bei den H-Teilchen aus technischen Gründen nicht in Rechnung gezogen werden, was in einer vor kurzem erschienenen Arbeit von E. Kara-Michailova⁷ nachgeholt wurde.

¹ E. Marsden, Phil. Mag., 27, 824, 1914.

² E. Rutherford, Phil. Mag., 37, 537, 1919.

³ 37, 537, 1919.

⁴ G. Kirsch und Pettersson: Wiener Ber., Mitt. d. Ra-Inst., Nr. 160, 1923.

⁵ E. Kara-Michailova und H. Pettersson: Mitt. d. Ra-Inst. Nr. 164, Wiener Ber., 133, 1925.

⁶ E. Rutherford: Phil. Mag., 12, 145, 1906.

E. Kara-Michailova, Wiener Ber., Mitt. d. Ra-Inst. Nr. 204, 1927.

Es war nun die Aufgabe der vorliegenden Arbeit, den Einfluß festzustellen, den die Größe der Krystalle und ihre Szintillationsfähigkeit auf die Abhängigkeit der Helligkeit der Szintillationen von der Restreichweite der α -Partikel ausübt.

Es wurde dabei ein doppelter Zweck verfolgt: einerseits bestand die Hoffnung, durch geeignete Variation der Korngröße einiges über die Verteilung der Helligkeit längs der Bahn des α -Teilchens in Zinksulfid zu erfahren und auf diese Weise einen Beitrag zur Kenntnis der Natur der Szintillationserscheinung zu erhalten. Andererseits ist es von methodischer Bedeutung, die Abhängigkeit der Szintillationshelligkeit von den verschiedenen Faktoren zu kennen, da die Wahl einer Szintillationssubstanz von optimalen Eigenschaften, insbesondere für Untersuchungen im Gebiete der Atomzertrümmerung, von größtem Gewicht ist.¹

Aus diesem Grund wurden im Rahmen dieser Arbeit noch einige Beobachtungen über die Helligkeitsunterschiede von Szintillationen, erzeugt von Teilchen homogener Geschwindigkeit in den verschiedenen Schirmmaterialien, angestellt.

Experimenteller Teil.

1. Die Versuchsanordnung.

Die Versuchsanordnung war in ihren wesentlichen Teilen dieselbe, wie sie von E. Kara-Michailova und H. Pettersson² zu ihrer Bestimmung der relativen Helligkeit der H- und α -Szintillationen verwendet wurde; das sogenannte Vergleichsokular der Firma C. Reichert (Wien) ist in folgender Weise eingerichtet: Durch eine Verschiebung des Stiftes *St* (Fig. 1) an den beiden totalreflektierenden Prismen *Pr*, die in der Aufrißdarstellung hintereinander erscheinen, ist es möglich, abwechselnd nach Wunsch das Gesichtsfeld des Objektivs 1 oder 2 oder je ein beliebiges Segment beider Gesichtsfelder im Okular *Ok* einzustellen. Hingegen wurde die Optik selbst gegenüber den letzterwähnten Versuchen bedeutend verbessert. Verwendet wurden zwei gleiche Watson-Holoscopic-Objektive mit 0·70 numer. Apertur und 12 mm Brennweite und ein fünffaches Holosokular.³ Die Vergrößerung des ganzen Systems war ungefähr 55fach. Der Durchmesser des Gesichtsfeldes betrug 1·8 mm.

Die Veränderung der Restreichweite geschah nun in der Weise, daß die von dem Präparat P_1 ausgehenden α -Teilchen vor dem Auftreffen auf dem Schirm S_1 einen der Glimmer *G* durchsetzen mußten, die in zwölf Stufen in der Trommel *T* eingesetzt

¹ H. Pettersson und G. Kirsch, Hdb. d. Phys., 22, p. 147. Verl. Springer.

² E. Kara-Michailova und H. Pettersson, Wiener Ber., Mitt. d. Ra-Inst. Nr. 164, 1925.

³ Diese Kombination hat sich nach mehrjährigen Erfahrungen in diesem Institut als die geeignetste für die Zählung von schwachen Szintillationen erwiesen: R. L. Hasche, Mitt. d. Ra-Inst. Nr. 191, 1926.

waren. Durch eine Drehung des Drehkopfes D , der mit einer Einschnappvorrichtung versehen war, konnten die Glimmer auch im Dunkeln eingestellt werden. Die Schirmträger Tr konnten ausgetauscht werden. Der Durchmesser der Blende B_1 , die sich unmittelbar über dem Präparat befand, betrug 0.1 bis 0.2 mm , so daß die Ausdehnung der Strahlungsquelle praktisch vernachlässigt werden konnte. Es ergibt sich dann aus der Distanz Präparat—Schirm ($= 3$ mm) und dem Durchmesser des Gesichtsfeldes ($= 1.8$ mm) für

$\frac{1}{\cos \alpha}$ der Wert 1.04 , wobei 2α der Öffnungswinkel des ausgenützten Strahlungskegels ist. Die Reichweitschwankung der beobachteten Teilchen betrug somit höchstens 4% .

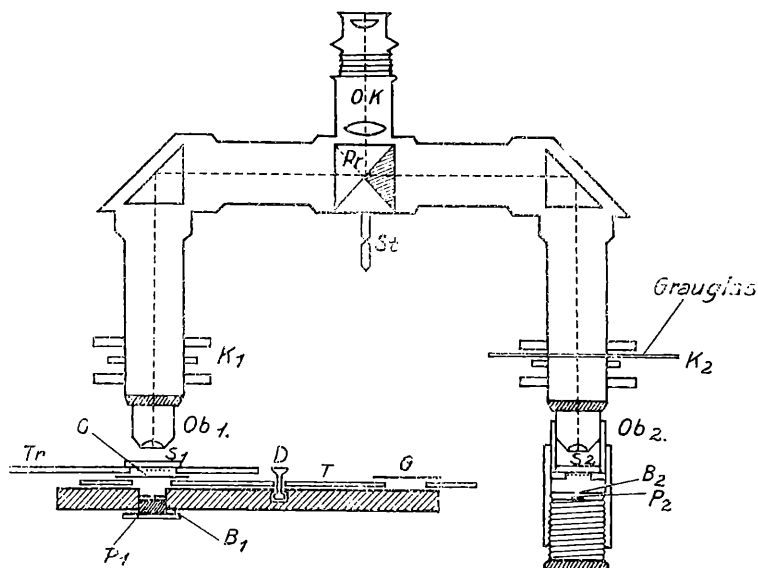


Fig. 1.

Die in der Zeichnung rechte Seite der Anordnung lieferte die Vergleichsszintillationen: Von dem Präparat P_2 wurde ein kleiner Teil der Strahlung durch B_2 ausgeblendet und fiel auf den Schirm S_2 . Durch Auf- und Abwärtsschrauben von K konnte die Entfernung zwischen Präparat und Schirm verändert werden, doch wurden sie für die meisten Versuche konstant gleich 3 mm gehalten.

Für Beobachtungen von der Schichtseite des Szintillationsschirmes her (»Draufsichtbeobachtungen«), die aus später ausgeführten Gründen angestellt wurden, trat an die Stelle des Präparats der Schirm (Fig. 1a), doch in etwas geringerer Entfernung, wegen der geringen Brennweite und dem Schutzglas des Objektivs. Das

auf einem Glimmer befestigte Präparat wurde an dem Schutzglas angebracht. Als Strahlungsquelle diente ein Poloniumpräparat von zirka 0·1 bis 0·2 *mm* Durchmesser. Das Glimmerblättchen wurde durch ein Tröpfchen einer sehr verdünnten Lösung von Kanadabalsam in Xylol an dem Schutzglas festgehalten.

K_1 und K_2 (Fig. 1) sind Kassetten, in die Graugläser eingeschoben werden konnten. Durch zwei Spalten übereinander war

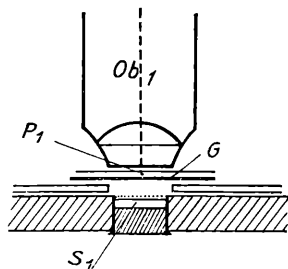


Fig. 1 a.

es möglich, auch zwei Graugläser gleichzeitig einzuschieben und so die Anzahl der Absorptionsstufen durch Kombinationen zu vermehren.

2. Die Graugläser.

Als optische Absorptionsmittel wurden für die Feststellung des Zusammenhangs von Helligkeit und Restreichweite gleichmäßig geschwärzte photographische Platten benützt. Es wurden 15 verschiedene Stufen hergestellt, von denen gewisse untereinander kombiniert werden konnten (siehe die Versuchsanordnung), so daß insgesamt zirka 80 Absorptionen zur Verwendung kamen. Die Gläser wurden im Glan'schen Spektrophotometer geeicht in einem Bereich, dessen mittlere Wellenlänge 518 $\mu\mu$ betrug, entsprechend der Hauptbande des Zinksulfidkupfer-Phosphors, die von R. Tomaschek¹ mit 520 $\mu\mu$ angegeben wird. E. Marsden² findet bei Bestrahlung mit α -Teilchen für die Wellenlänge des Maximums der Lumineszenz 515 $\mu\mu$ und H. Herzfinkiel und L. Wertenstein³ 556 bis 486 $\mu\mu$ (im Mittel also: 521 $\mu\mu$). Die Gläser wurden aber auch noch durch einige Stichproben in anderen Spektralgebieten geprüft. Es zeigte sich keine selektive Absorption im Grünen.

Hingegen war es nicht gleichgültig, ob die Schichtseite oder die Glasseite der Lichtquelle zugekehrt war. Es wurden die

¹ R. Tomaschek, Ann. d. Ph., 65, 189, 1921.

² E. Marsden, Proc. Roy. Soc. A., 83, 1910, 548.

³ H. Herzfinkiel und L. Wertenstein, Jour. d. Phys. et de Radium, 2, 31, 1921.

Vgl. auch P. Lenard, Ann. d. Ph., 31, 641.

Eichungen und photometrischen Beobachtungen durchwegs mit der Lichtquelle zugekehrter Schichtseite durchgeführt.

Durch mehrere Eichungen an verschiedenen Kombinationen wurde festgestellt (Tabelle 1), daß die Werte in guter Übereinstimmung mit der Formel $d_k = d_1 \times d_2$ stehen, in der d_1 und d_2 die Bruchteile des durchgelassenen Lichtes für die einzelnen Gläser, d_k den der Kombination bedeutet.

Um festzustellen, ob für die Szintillationsbeobachtungen ein beträchtlicher Dispersionseffekt des Lichtes in der Gelatineschicht der Absorptionsgläser auftritt, der das Resultat der photometrischen Beobachtungen beeinflussen könnte, wurden die photographischen Platten mit Gläsern verglichen, die mit einer feinen Silberschicht überzogen waren. Diese Gläser wurden einerseits im Spektrophotometer geeicht, andererseits wurde ihr Absorptionswert in der Vergleichsanordnung mit photographischen Gläsern in der Weise bestimmt, daß die auf beiden Seiten eingestellten möglichst gleich hellen und gleichartigen Szintillationen auf der einen Seite mit dem in Frage stehenden Silberglass abgeschwächt wurden, während auf der andern Seite eine entsprechende Kombination von photographischen Graugläsern gesucht wurde, die die Szintillationen gleich hell

Tabelle 1.

Experimentell	Theoretisch
19·0	17·9
18·9	17·9
45·2	44
25	23·5
49·2	49·2

Tabelle 2.

Im Spektrophotometer	Mit Szintillation und Graugläsern
32	32·3
22·9	22·4
	(22—24)
10	10·6
	(9—11)
6	8

erscheinen ließ. Es ergaben sich die in Tabelle 2 angegebenen Werte. Es schien tatsächlich nur bei den hohen Absorptionen eine Abweichung vorhanden zu sein, die für das Problem aber nicht ins Gewicht fällt und jedenfalls kaum die in diesem Gebiet recht beträchtlichen Meßfehler übersteigt. (Die Zahlen bedeuten den Bruchteil des durchgelassenen Lichtes in Prozenten des einfallenden.)

3. Glimmer.

Das Luftäquivalent der Glimmerblättchen wurde zuerst näherungsweise durch Wägung und Auszählen der Fläche nach dem Umrechnungsfaktor von R. W. Lawson bestimmt.¹ Die genaue Eichung erfolgte dann mit α -Szintillationen.

¹ R. W. Lawson, Wiener Ber., Mitt. d. Ra-Inst. Nr. 109, 943, 1918.

4. Schirme.

Die Zinksulfidschirme wurden auf folgende Weise hergestellt: Eine kleine Menge einer möglichst homogenen Fraktion des betreffenden Zinksulfids wurde auf eine kleine, sorgfältig gereinigte Glasscheibe gebracht, ein paar Tröpfchen Alkohol zugesetzt und mittels eines Glasstabes zu einer feinen Schichte ausgebreitet, möglichst ohne die Körner durch Druck zu beanspruchen. Es wurde vor allem darauf gesehen, daß keine Übersichtungen der Krystalle erfolgen, damit die gemessenen Korngrößen rein zur Wirkung gelangen. Das konnte hier leichter erreicht werden als bei Schirmen für Szintillationszählungen, da es ja auf Lückenfreiheit in der Zinksulfidschichte hier nicht ankommt. Es wurde, um Störungen in der Absorption der α -Teilchen und eventuelle »natürliche Szintillationen« (siehe H. Geiger und A. Werner¹) zu vermeiden, kein Klebemittel verwendet; die Körner hafteten auch so sehr gut. Nur die traubenförmigen Gebilde des Zinksulfids von Harrisson-Glew (siehe den Abschnitt über das Schirmmaterial) fielen bei stärkerer Erschütterung vereinzelt ab.

5. Zinksulfidmaterial.

Die verwendeten Zinksulfidkupferphosphore wurden von den Firmen Kuhnheim (Berlin), De Haën (Hannover) und Harrisson-Glew (London) bezogen. Ferner sind wir Herrn Prof. H. Geiger für ein selbsthergestelltes Zinksulfid und Herrn Prof. A. Guntz für die Übersendung einiger Proben aus dem Institut de Chemie in Nancy zu großem Dank verpflichtet.

Die einzelnen Zinksulfide unterschieden sich in der Ausbildung der Krystalle, in Korngröße, Färbung, Phosphoreszenz und Szintillationsfähigkeit.

Die Unterschiede in der Ausbildung der Krystalle werden durch die in Tafel I wiedergegebenen Mikrophotographien illustriert. Die Vergrößerung war für alle Aufnahmen dieselbe (88fach).

Die Bilder von »Guntz 112« und »Guntz 3« zeigen schön ausgebildete Krystalle, die große Ähnlichkeit aufweisen mit den hexagonalen Wurtzit-Krystallen der Aufnahmen von A. Guntz.²

Die Krystalle des mittleren »De Haën« sind scharfkantiger und haben eine etwas länglichere Form. Einige sind deutlich als sechsseitige Prismen mit aufgesetzten Pyramiden zu erkennen.

Die Körner von »Kuhnheim C« sind kugelförmig. »Kuhnheim N« und »Geiger« zeigen ein ganz ähnliches Bild, weshalb keine besonderen Aufnahmen gemacht wurden.

Das Zinksulfid von Harrisson-Glew zeigt vollkommen unregelmäßige, traubenförmige Agglomerate sehr vieler kleiner Kryställchen, es finden sich aber auch einzelne große Krystalle eingestreut.

¹ H. Geiger und A. Werner, Zeitschr. f. Ph., 21, 192, 1924.

A. Guntz, Ann. de Chimie, 10, V., 190, 1926.

Substanz	Tiefe des Kornes			Länge des Kornes			Breite des Kornes in μ			Verhältnisse der Fraktionen	Form der Krystalle	Färbung	Bemerkung	
	größ.	mittel	klein.	größte	mittel	kleinst.	größte	mittel	kleinst.					
Kuhnheim C	19	12	6	22	11	6	22	11	6	die kleinen in der Mehrzahl	kugelförmig	gelblich trüb	} Sind nicht die bei den Atomzertrümmungsversuchen verwendeten Proben.	
N	12	8	4	24	11	5-6	17	9	3-4	die Mehrzahl mittlere	kugelförmig, einige prismat.			
De Haën (klein)	25	15	9	28	14-15	8-6	28	14-15	6-7	$\frac{2}{3}$ kleine (geschätzt)	prismat., auch dreieckig	grünlich		
De Haën (mittel)	40	25-30	15	44	30-35	17-18	44	30-35	17-18	mittlere u. große zu kleinen - so wie 1:2	prismatisch			
De Haën (groß)	130	95	46	114	70	40 (31)	100	64	31 (24)	—				
Guntz 112	34, 32	29	17, 18	42-44	33	24	42-44	33	22	fast alle groß; sehr homogen	kugelförmig und Δ	weiß	} * Werte für die eingestreuten prismatischen Krystalle, an d. Plättchen sind die Tiefenmessungen schwer durchzuführen.	
3	48	38	31	42-44	38	26	42-44	38	26	die Mehrzahl groß	—			
85	10 20*	9-10 18*	5-6 11*	28	10	5-6	28	10	5-6	Verhält. d. mittl. zu den kleinen 1:1.7 (Statistik)	plättchenförm., einige prismat.	grün		
Geiger A (groß)	40	26	17, 18	46	24-26	13	46	25	13	nicht sehr homogen	kugelförmig, einige prismat.	weiß		
Geiger B (klein)	18	10-12	5-6	22	15	4-5	21	15	4-5	sehr homogen; sehr wenig große	kugelförmig, manchmal Würfel			
Glew (fein)	—	—	—	73	37	23	55	18-28	11	wenig große	} traubenförm., einige Einzelkrystalle } traubenförm. Agglomer.		} Tiefenmessung nicht durchführbar.	
(mittel)	—	—	—	134	84	55	110	68	44	sehr wenig große; haupts. 70-75				
(groß)	—	—	—	220	129	84	172	103	73	nicht sehr homogen				
zerpulvert De Haën	—	—	—	10-20	5-7	5	10-20	5-6	5	sehr wenig große	—	gelblichgrün		

Die verschieden große Tiefe dieser Gebilde macht eine einheitliche mikroskopische Einstellung nicht möglich. Das photographische Bild ist daher nicht sehr befriedigend.

Die überwiegende Mehrzahl der Krystalle bei »Guntz 85« besteht aus Blättchen, stellenweise aber finden sich auch größere Krystalle von ähnlichem Aussehen wie »Guntz 3« und »Guntz 112«.

Das Bild des kleinen »De Haën« zeigt, wie weit es mit dem im folgenden beschriebenen Verfahren gelang, aus dem Gemisch sehr verschieden großer Körner (siehe Tabelle 3) einzelne Fraktionen abzutrennen.

Der makroskopische Eindruck der Färbung des Zinksulfidpulvers ist in der sechsten Spalte der Tabelle 3 angedeutet.

Bei einigen Proben war es sehr schwer, befriedigende Homogenität in der Korngröße zu erreichen. Besonders die Zinksulfide von De Haën und Harrisson-Glew wiesen eine große Inhomogenität der Körner auf. Zur Herstellung einzelner Fraktionen wurde folgendes Verfahren verwendet: ein kleiner Teil der Probe wurde auf eine sorgfältig mit Alkohol gereinigte Glasplatte geschüttet; die Platte wurde gegen die Horizontale etwas geneigt und am Rand mit dem Finger geklopft. Es fielen nun die großen Körner ab, während die mittleren und kleinen auf der Glasplatte zurückblieben. Durch etwas kräftigere Wiederholung des Verfahrens konnten auch die mittleren Körner von den ganz kleinen abgetrennt werden, so daß es auf diese Weise gelang, ohne die Körner zu beschädigen, bei »De Haën« und »Glew« je drei Fraktionen desselben Zinksulfids herzustellen. Die feinkörnigen Zinksulfide von Kuhnheim sowie die Proben von Prof. Guntz waren so weit homogen, daß sie keine weitere Fraktionierung auf die beschriebene Art zuließen. Leider gelang es auch nicht bei »Guntz 85«, die eingestreuten prismatischen Krystalle von den blättchenförmigen abzutrennen, da die Blättchen leicht aneinanderhafteten und so Agglomerate von der Größe der prismatischen Krystalle bildeten, die erst durch den Alkohol aufgelöst wurden.

Die Längen- und Breitenmessungen der Krystalle wurden mit einem Okularraster durchgeführt. Für die Tiefenmessungen wurden die Krystalle auf eine fein geritzte Glasplatte gebracht und erst das Glas, dann eine sich besonders scharf abzeichnende Kante oder ein Höcker auf der obersten Krystallfläche eingestellt. Die Tiefe wurde dann an einer Mikrometerschraube abgelesen. Die tatsächlich wirksame Tiefe ist also eine etwas geringere.

Die in Tabelle 3 angegebenen Ausmessungen beziehen sich auf die bereits fraktionierten, für die Schirmherstellung verwendeten Zinksulfide.

Die Güte der einzelnen Zinksulfide als Szintillationssubstanz wird durch Tabelle 4 zum Ausdruck gebracht. Die Helligkeit der Szintillationen, erzeugt von α -Teilchen gleicher Restreichweite ($\approx 3.6 \text{ cm}$) in den verschiedenen Substanzen, ist in Prozenten der

Helligkeit von »Guntz 112« angegeben, da dieses besonders schöne und helle Szintillationen gab.

In derselben Tabelle ist auch der Charakter der Szintillationen angedeutet.

Tabelle 4.

Substanz	Relative Helligkeit	Charakter der Szintillationen
Guntz 112.....	100	sehr groß, der helle Kern ist von einem Hof umgeben.
3.. ..	90—95	Ebenso.
85.....	90	sehr lichtstark, scharf umrissen, nicht groß.
Großes De Haën ..	95—100	sehr groß, verschwommen.
Mittleres ..	90—95	etwas kleiner, schärfer umrissen.
Kleines » ..	65	kleiner, scharf.
Mittleres Glew ...	80	Hof, mit scharfem Kern.
Kleines ..	78	Ebenso.
Geiger B ..	47	groß, ziemlich scharf.
» A.....	95—100	sehr groß, mäßig scharf.
Kuhnheim N ..	39	sehr scharf, klein.
C	33	sehr scharf, sehr klein.
Zerpulvert. De Haën	34	Ebenso.

Es war aus später auszuführenden Gründen sehr wünschenswert, besonders feinkörniges Zinksulfid zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde Zinksulfid von De Haën in einer Achatschale fein verrieben. Die durch den Druck zerstörten Zentren wurden durch Glühen des Materials in einem elektrischen Ofen bis zu gelblicher Rotglut wieder hergestellt (siehe P. Lenard und Klatt,¹ ferner P. Lenard,² Waentig³). Tatsächlich zeigte das Präparat, dessen Szintillationsfähigkeit durch den Druck stark herabgesetzt worden war, nach dem Glühen recht helle, sehr scharfe Szintillationen.

6. Versuche.

Als Strahlungsquelle diente vorwiegend Polonium; doch wurde auch eine Versuchsreihe mit Radium C durchgeführt. Die auf dem Schirm zur Beobachtung gelangende Teilchenzahl wurde so gewählt, daß einerseits das Auge durch Warten nicht ermüdet wurde, andererseits aber auch keine zu häufigen gegenseitigen Überdeckungen der Szintillationen stattfanden, die den Helligkeitseindruck irgendwie beeinflussen konnten. Zum Vergleich wurden

¹ P. Lenard und Klatt, Ann. d. Ph., 12, 439, 1903.

² P. Lenard, Elster-Geitel-Festschrift, 669.

³ P. Waentig, Zeitschr. f. phys. Chem., 51, 450, 1905.

immer die Szintillationen von α -Teilchen von 3·6 cm Restreichweite auf einem möglichst gleichartigen Schirm des betreffenden Zinksulfids verwendet. Die Schirme wurden beiderseits vor den Beobachtungen schwach rot belichtet, um die Phosphoreszenz des Zinksulfids zu entfernen.

Die Photometrie wurde nun in der Weise durchgeführt, daß die Helligkeit und Größe der Vergleichsszintillationen so lange durch Graugläser herabgesetzt wurde bis sie den Szintillationen der durch die Glimmer abgebremsten Teilchen möglichst ähnlich erschienen.

Über das Aussehen von Szintillationen bei großer Restreichweite ist dabei noch folgendes zu bemerken: bei großkörnigem Zinksulfid ist die Lichterscheinung niemals vollkommen scharf abgegrenzt, sondern es zeigt sich um den bedeutend helleren Kern immer ein Hof von wechselnder Ausdehnung, je nach dem Material. Ebenso ist auch der Übergang zwischen Hof und Kern von der Art des Zinksulfids abhängig: in manchen Fällen hebt sich der Kern ganz scharf vom Hof ab, in anderen Fällen ist der Übergang etwas verwischter. Die Erscheinung des Hofes dürfte auf mehrere Ursachen zurückzuführen sein: erstens sind bei großen Restreichweiten und fast senkrechter Inzidenz nie alle Teile der Bahn des Teilchens im Zinksulfid gleich scharf eingestellt, so daß sich schon aus Gründen der geometrischen Optik das Bild im Mikroskop verbreitert, zweitens aber bilden die vielen Krystallflächen, an denen Reflektionen stattfinden, eine quantitativ unkontrollierbare Ursache für die Verzerrung der Szintillationserscheinung.

Was zur eigentlichen Photometrie gelangt, ist vorwiegend die Flächenhelligkeit des innersten Kernes.

Einige Vorversuche wurden auch in der Weise ausgeführt, daß auf beiden Seiten die Szintillationen durch Graugläser eben zum Verschwinden gebracht wurden und aus dem Verhältnis der dafür gebrauchten Absorptionen ihre relative Helligkeit bestimmt wurde.

Ferner wurde der Versuch gemacht, Graugläser einzuschieben, und durch Variation der Distanz Präparat—Schirm so lange die Restreichweite verändert, bis die Szintillationen verschwanden. Die beiden letzterwähnten Methoden erwiesen sich aber als weit weniger empfindlich als die zuerst beschriebene, so daß diese für die endgültigen Versuche benützt wurde.

Versuchsergebnisse und ihre Diskussion.

A. Zusammenhang von Szintillationshelligkeit und Restreichweite des erzeugenden α -Teilchens.

Es zeigte sich, daß die Größe der verwendeten Zinksulfidkrystalle tatsächlich von ausschlaggebender Bedeutung für den Zusammenhang zwischen Helligkeit der Szintillationen und Restreichweite des α -Teilchens ist. Es ergab sich eine große Mannig-

faltigkeit in den Kurven, die diesen Zusammenhang darstellen, doch konnte die Bedeutung der Korngröße in eindeutiger Weise festgestellt werden.

Um den folgenden Bericht der Versuchsergebnisse und deren Diskussion übersichtlicher zu machen, ist in Fig. 2a der Verlauf der Kurven schematisch angedeutet.

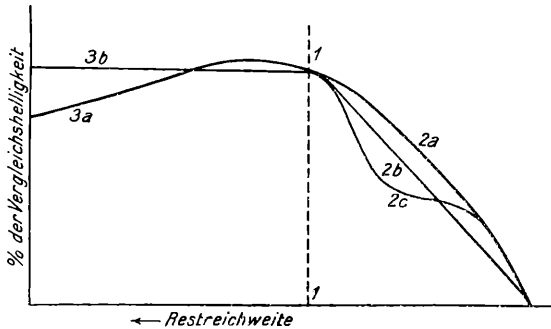


Fig. 2a.

Mit abnehmender Restreichweite zeigen die Kurven, von einem für die verschiedenen Zinksulfide verschiedenen Wert an, einen Abfall der Helligkeit. Es läßt sich nach diesem der Verlauf der Kurven in folgender Weise gliedern:

1. der Beginn des Abfalls (in Figur 2a mit »1« bezeichnet);
2. der Verlauf desselben (»2a«, »2b«, »2c«);
3. das Gebiet größerer Restreichweiten als der Abfallsbeginn (»3a«, »3b«).

Die Besprechung der Versuchsergebnisse soll nach diesen drei Punkten durchgeführt werden.

1. Der Beginn des Abfalls.

Die Stelle, an der der Abfall der Helligkeit einsetzt, zeigte einen einfachen Zusammenhang mit der Korngröße des Zinksulfids. Setzt man nämlich nach Rutherford¹ für die Absorption der Teilchen in dieser Substanz 1μ Zinksulfid = 1.88 mm Luft und berechnet aus diesem Wert und einer mittleren Tiefe des Kornes das Luftäquivalent der betreffenden Zinksulfidkrystalle, so ergibt sich eine Übereinstimmung für dieses mit der Restreichweite, bei der der Abfall beginnt. Tabelle 5 gibt die einander entsprechenden Werte für die verschiedenen Zinksulfide; in Spalte 3 sind die zur Berechnung verwendeten Korntiefen angegeben, die auf Grund von Spalte 5 der Tabelle 3 gewählt wurden.

Es ist also der Weg, den das Teilchen im Zinksulfid zurücklegt, für die Helligkeit der Szintillation durchaus maßgebend.

¹ E. Rutherford: Proc. Roy. Soc. 83, 561, 1910.

Tabelle 5.

Substanz	Restreichweite des Abfallbeginns	Luftäquivalent des Krystalls	Zur Berechnung verwendete Korngröße	Bemerkung
Kleines De Haën	2·4—2·6	2·6	14 μ	die prismat. Kryst. sind für die Helligkeit von Bedeutung. Siehe Tabelle 3.
Guntz 85 ...	2·3—2·5	1·9	10	
112 ...	5·5—5·8	5·6	30	
Zerpulv. De Haën	0·9—1·0	0·9	5	a) aus Breitenmessung; b) aus Tiefenmessungen, die nicht immer ganz verlässlich sind.
Geiger B.	2·8—2·9	2·8	a) 15 b) 11	
Kuhnheim N ...	1·8—1·9	1·7	9	
C ...	1·8—2·0	2·07	11	

2. Der Abfall.

Dieser hängt stark von der Homogenität an Korngröße des Zinksulfids ab: je inhomogener das Material ist, desto komplizierter erscheint auch der Verlauf des Abfalls.

a) Bei großem, homogenem Material ergibt sich eine deutliche Proportionalität der Szintillationshelligkeit mit der Energie des erzeugenden Teilchens, berechnet nach der Geiger'schen Beziehung. Tabelle 6 bringt die Werte für »Guntz 112«, ausgedrückt in Prozenten der Helligkeit der Vergleichsszintillationen.

Tabelle 6.

Restreichweite in <i>cm</i>	Energie	Experiment. Helligkeit
4·85	121	119
4·63	117	116
4·35	110·5	111
3·67	101	102
3·6	100	100
3·2	91	93
2·73	81·5	85
2·05	67·5	68·5
1·70	58·5	64
1·45	49·5	53
1·20	46	46
0·95	38·5	35
0·55	25	24
0·4	20	15·5
0·2	—	8

Die gestrichelte Kurve in Fig. 2 stellt die Energie des Teilchens als Funktion der Restreichweite dar. Einen ähnlichen

Verlauf wie »Guntz 112« zeigt auch »Guntz 3« (siehe noch weiter unten »mittleres Glew«).

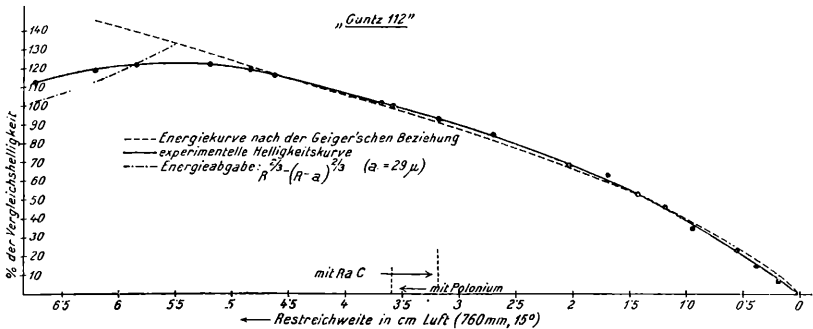


Fig. 2.

Für »kleines Glew« (siehe Tabelle 7 und Fig. 3) und zerpulvertes »De Haën« (Fig. 7) erhält man eine gute Übereinstimmung mit den Energiewerten, wenn man diese in Prozenten des Wertes von 3.4 cm , beziehungsweise 0.9 cm Restreichweite ausdrückt, wo der Abfallsbeginn der kleinen Körner sowohl nach der Beobachtung wie nach der Berechnung zur Geltung kommt (siehe bezüglich »Glew« auch 2c).

Tabelle 7.

Restreichweite in <i>cm</i>	Energie	Experiment. Helligkeit
3.4	100	100
3.2	95.0	98
2.73	84.5	90
2.05	70	76
1.7	61	66
1.45	51.5	51
0.95	40	40
0.55	26	25
0.4	20.8	18

b) Der lineare Abfall bei »Geiger« und »Kuhnheim N« (siehe Fig. 13 und 14) soll später diskutiert werden.

c) Bei einigen Substanzen (»Kleines De Haën«, Fig. 4, »Guntz 85«, Fig. 6, »Kuhnheim C«, Fig. 15, »Mittleres De Haën«, Fig. 5) zeigte sich im Abfall eine Art »Sattelbildung«, die auf eine Inhomogenität der Zinksulfidkörner zurückgeführt werden konnte (siehe den Abschnitt über »Optische Absorptionskurven«). Es handelt sich in diesen Fällen um zwei distinkte Korngrößengruppen. Zwischenstufen sind, wie nachgewiesen werden wird, praktisch fast nicht vertreten. In Tabelle 8 sind die Ausmessungen und Luft-

äquivalente der kleineren Gruppen zusammengestellt und mit der Restreichweite des »Sattels« verglichen.

Solange die Helligkeit der in den größeren Krystallen erzeugten Szintillationen nur um wenig größer ist als die der kleinen, stellt der Beobachter auf einen Mittelwert ein, da die schwächeren Szintillationen doch in relativ großer Zahl vorhanden sind (siehe weiter unten den Abschnitt: Optische Absorptionskurven). Erst bei bedeutendem Helligkeitsunterschied wird abgesehen von den schwächeren, und es erfolgt das Einstellen auf die hellen. Man kann wohl annehmen, daß der Verlauf der einzelnen Kurven für

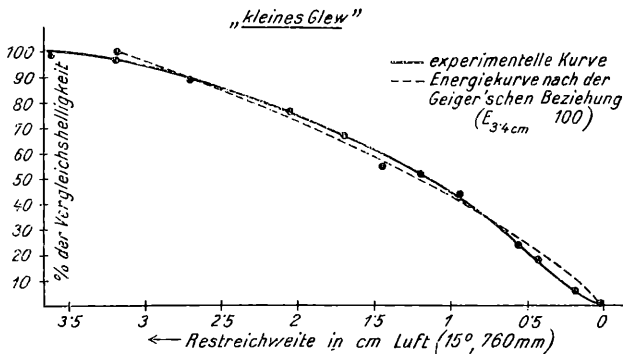


Fig. 3.

jede Korngruppe, so wie unter *a* bei größerer Einheitlichkeit der Korngröße gezeigt wurde, erfolgt. In den Figuren ist der Verlauf der einzelnen Kurven punktiert angedeutet. Die Mittelwertbildung des Beobachters ist dann der Grund für den scheinbaren »Sattel« in der photometrischen Kurve.

Tabelle 8.

Substanz	Kleinste Korntiefe	Entsprechendes Luftäquivalent	Restreichweite des Sattels
Kleines De Haën ..	6 μ .	1·13	1·0—1·2
Kuhnheim C	6	1·13	0·9
Guntz 85 ...	5—6	0·95—1·13	1·2
Mittleres De Haën..	15	2·8	2·2—2·5
Kleines Glew	18	3·4	3·4

3. Helligkeitsverlauf vor dem Abfall.

a) Die Tatsache, daß die Helligkeit mit steigender Restreichweite des Teilchens nur so lange wächst, bis der Krystall von dem Teilchen ganz durchsetzt wird und an dieser Stelle ein Maximum,

beziehungsweise einen Sattwert erreicht, weist bereits darauf hin, daß die Proportionalität zwischen Szintillationshelligkeit und Partikelenergie, wie sie an »Guntz 112« und anderen gezeigt wurde, sich nicht auf die gesamte kinetische Energie des auftreffenden α -Teil-

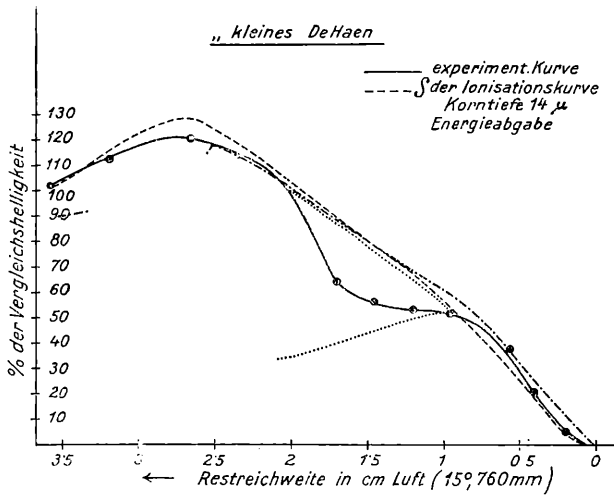


Fig. 4.

chens bezieht. Dies wäre allerdings am ehesten zu erwarten, falls die Erregung der Szintillation in einem Zerbrechen der Krystalle bestünde, eine zuerst von H. Becquerel, später auch von H. Geiger¹ angegebene Vorstellung. Es wird vielmehr die Annahme nahe-

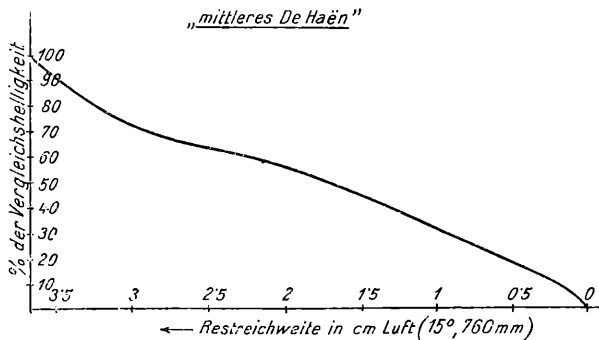


Fig. 5.

gelegt, daß die im Krystall vom Teilchen längs seiner Bahn im Zinksulfid abgegebene Energie maßgebend ist, die natürlich, solange sich das Teilchen im Zinksulfid totläuft, die gesamte Energie des Teilchens ausmacht.

¹ H. Geiger und A. Werner, Zeitschr. f. Phys., 21, 192, 1924.

Berechnet man nun mittels der Geiger'schen Beziehung die Energieabgabe im Zinksulfid

$$\Delta E = R^{2/3} - (R - a)^{2/3},$$

R = Restreichweite des auftreffenden Teilchens,

a = Luftäquivalent des Zinksulfidkristalls,

so ergibt sich nur eine sehr grobe Übereinstimmung mit den experimentellen Helligkeitskurven. (Fig. 4, 6 und 7), wie ja nicht anders zu erwarten ist, da vor allem im Gebiete des Maximums $R - a$ sehr kleine Werte hat und also bei dieser Berechnung die

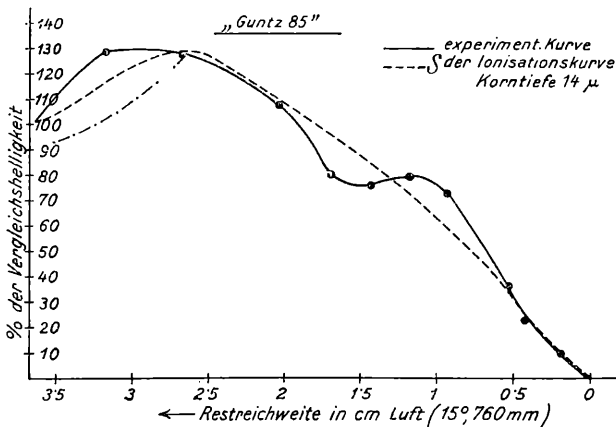


Fig. 6.

Geiger'sche Beziehung zum Teil in einem Gebiet verwendet wird, wo sie, wie Blackett¹ gezeigt hat, nur mehr in erster Näherung gilt. Auch wurden bei dieser Berechnung weder das »stragging« noch die Inhomogenität der Krystalle an Größe berücksichtigt.

Wie Geiger² und Taylor³ gezeigt haben, besteht bis zu ziemlich kleinen Restreichweiten eine sehr gute Proportionalität zwischen Energieabgabe und Ionisationsvermögen. Man hat also Grund anzunehmen, daß durch eine Integration der experimentellen Ionisationskurve die hier in Betracht kommende Energieabgabe dann auch für den letzten halben Wegzentimeter und somit auch für das Maximum besser dargestellt wird, als dies durch die Geiger-

¹ H. Blackett, Roy. Soc. Proc., 103, 62, 1923.

² H. Geiger, Roy. Soc. Proc., 83, 505, 1910.

³ T. S. Taylor, Phil. Mag., 21, 571, 1911.

sche Beziehung in diesem Gebiet erfolgt. Auf Grund dieser Erwägungen wurde hier die experimentelle Ionisationskurve von Polonium zwischen den Grenzen R und $R-a$ mechanisch integriert und die Werte als Funktion der Restreichweite R aufgetragen. Es wurde für die Integration die für Polonium von Irene Curie¹ mit besonderer Sorgfalt aufgenommene Bragg'sche Kurve gewählt, die auch eine sehr schöne Übereinstimmung mit den von G. H. Henderson² für Radium C bestimmten Ionisationsvermögen zeigt. Wie die Beispiele des kleinen »De Haën«, zerpulverten »De Haën« und

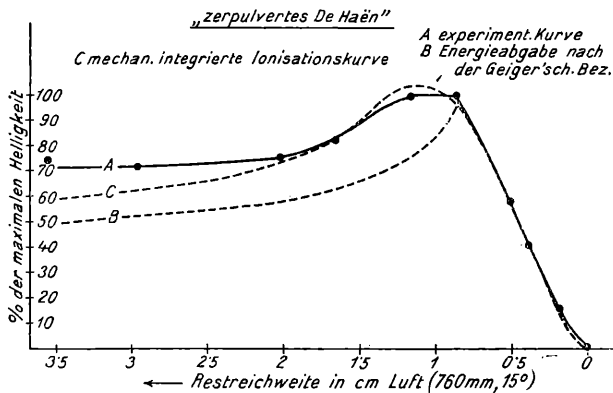


Fig. 7.

»Guntz 85« zeigen, ist die Übereinstimmung mit der Helligkeitskurve eine recht gute; jedenfalls so gut, wie man es bei der Inhomogenität an Korngröße zu erwarten hätte. Daß tatsächlich mit zunehmender Restreichweite wieder ein Abfall einsetzt, wird auch durch Beobachtungen an den »optischen Absorptionskurven« (siehe dieses Kapitel) gestützt.

Die mit Radium C untersuchten Reichweitengebiete bei kleinen »De Haën« und »Guntz 112« (Fig. 2 und 4) zeigen den erwarteten Verlauf. Dasselbe ergab sich auch für »Guntz 85«.

Bis auf »Kuhnheim« und »Geiger«, die später besprochen werden sollen, weist also der Verlauf der Kurven vor dem Abfall auf einen engen Zusammenhang von Szintillationshelligkeit und Ionisation hin. (Stillschweigende Voraussetzung dabei ist, daß die Variation des Ionisationsvermögens längs der Bahn des Teilchens im Zinksulfid genau so verläuft wie in Gasen.)

Die Annahme der Proportionalität mit der Ionisation liegt auch der Theorie Rutherfords³ zugrunde, nach der dieser die Ab-

¹ Irene Curie, Ann. de Phys., 3, 299, 1925.

² G. H. Henderson, Phil. Mag., 42, 538, 1921.

³ E. Rutherford, Proc. Roy. Soc., 83, 561, 1910.

klingung der Luminiszenz von Zinksulfid bei radioaktiver Bestrahlung berechnet und gute Übereinstimmung mit der Erfahrung findet.

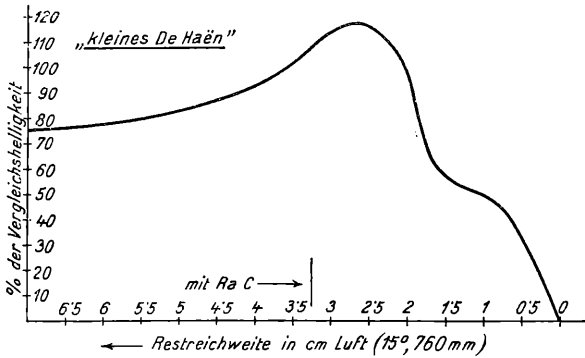


Fig. 8.

b) Für einzelne Zinksulfide ergab sich kein Maximum, sondern ein Sattwert. Diese Erscheinung soll später in dem Abschnitt über »Bemerkungen zur Natur der Szintillationen« besprochen werden.

4. Einfluß der Absorption des Szintillationslichtes im Zinksulfidkristall (»Draufsichtbeobachtungen«).

Um zu überprüfen, ob die gefundenen Eigenschaften der Restreichweiten-Helligkeits-Kurve noch merklich beeinflusst sein können durch die besonderen Reflexionsverhältnisse bei der Durch-

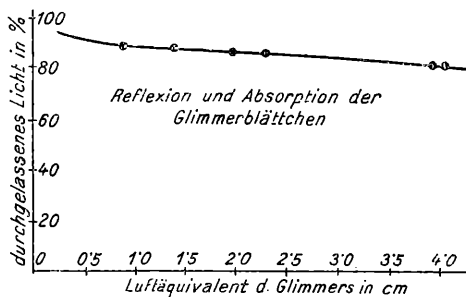


Fig. 9a.

sichtbeobachtung, wurden auch einige Zinksulfide in Draufsicht in der weiter oben beschriebenen Weise (Fig. 1a) untersucht.

Da bei dieser Art der Beobachtung zwischen die Szintillationserscheinungen und das Objektiv des Mikroskops Glimmerblättchen zu stehen kommen, war es notwendig, ihren Einfluß auf die Beobachtung der Helligkeit festzustellen. Es wurde zu diesem Zweck das Absorptionsvermögen von Glimmerblättchen mit verschiedenem Luftäquivalent im Spektrophotometer bei ungefähr $518 \mu\mu$ gemessen. Fig. 9a stellt die Absorption als Funktion des Luftäquivalents dar. Die Helligkeitsbeobachtungen wurden dann entsprechend korrigiert.

Wie die Kurven in Fig. 10a und 11a zeigen, decken sich die in Draufsicht beobachteten Kurven für kleine Körner innerhalb der Fehlergrenzen vollständig mit den Durchsichtbeobachtungen. Es konnte nur festgestellt werden, daß der Charakter der Szintillationen bei den beiden Beobachtungsarten nicht ganz derselbe ist.

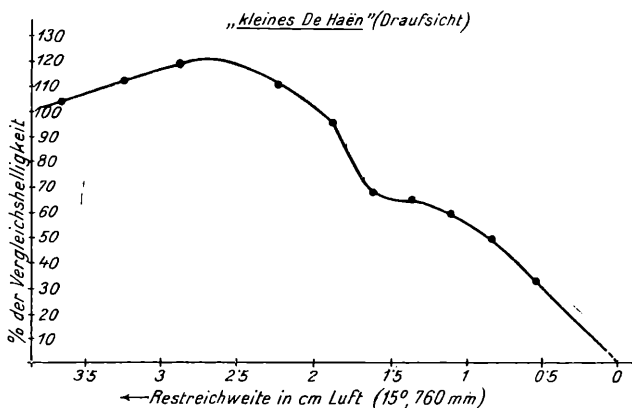


Fig. 10a.

Bei Draufsichtbeobachtungen sind die Szintillationen, da die Absorption und Reflexion des Lichtes im Schirmglas wegfällt, etwas heller und schärfer umrissen. Der Hof ist weniger ausgebreitet.

Für größere Krystalle wurde nun der Versuch unternommen, direkt den Absorptionskoeffizienten für Zinksulfid für das Szintillationslicht zu bestimmen. Es wurde nämlich die Helligkeit der Szintillationen einmal in Draufsicht und einmal in Durchsicht für ein und dieselbe Schirmstelle gegenüber einer Vergleichshelligkeit bestimmt. Daraus ließe sich aus der Formel

$$H_1 = H_0 \cdot e^{-\kappa d}$$

näherungsweise der Absorptionskoeffizient κ bestimmen, wenn d die bei der Durchsichtbeobachtung noch über dem Ende der Bahn des α -Teilchens liegende Zinksulfidschicht bedeutet. Bei den Einzelkrystallen ist aber der Absorptionseinfluß so gering, daß eine

genauere Bestimmung unter diesen Versuchsbedingungen nicht möglich war.

Der Einfluß, der sich bei großen, traubenförmigen Gebilden auf einem andern Weg zeigte, wird am Ende des nächsten Kapitels besprochen.

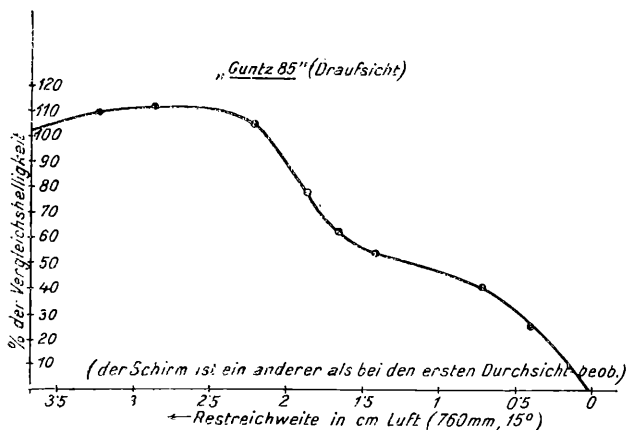


Fig. 11a.

Allgemeine Formulierung des Zusammenhangs von Szintillationshelligkeit und Restreichweite der α -Partikel.

Setzt man gemäß den Arbeiten von H. Geiger,¹ Taylor², Gurney³ das Ionisationsvermögen I für eine bestimmte Restreichweitenstelle proportional der Änderung der Energie, also

$$I = c \frac{dE}{dx} \Big|_{x=R} = c \cdot m \cdot \frac{d(v^2)}{dx} \Big|_{x=R},$$

so erhält man durch Einführung der Geiger'schen Beziehung ($R = a \cdot v^3$)

$$I = \frac{c'}{x^{1/3}} \Big|_{x=R} = \frac{c'}{R^{1/3}}.$$

x = Restreichweite als Variable.

Der Beitrag, der von einem Bahnelement im Zinksulfid zur Gesamthelligkeit geleistet wird, beträgt dann:

$$b' \cdot \frac{c'}{x^{1/3}} \cdot dx.$$

¹ H. Geiger, Proc. Roy. Soc., 83, 505, 1910.

T. S. Taylor, Phil. Mag., 21, 571, 1911.

³ R. W. Gurney, Proc. Roy. Soc., 107, 332, 1925.

Die bei Durchsichtsbeobachtung darüberliegende Zinksulfidschichte = $x - (R - a)$. (a = Tiefe des Krystalls in Zentimeter Luft.) Also die beobachtbare Helligkeit:

$$\frac{b}{x^{1/2}} e^{-\kappa [x - (R - a)]} dx.$$

κ = optischer Absorptionskoeffizient des Zinksulfids pro Zentimeter Luft für $\lambda = 520 \mu\mu$.

Durch Integration über den im Zinksulfid verlaufenden Teil der Bahn erhält man dann die Gesamthelligkeit:

$$H(R) = \int_{R-a}^R \frac{b}{x^{1/2}} e^{-\kappa [x - (R - a)]} dx.$$

Für $a > R$ muß die untere Grenze des Integrals = 0 gesetzt werden, da das Ionisationsvermögen eine wesentlich positive Größe ist.

$H(R)$ stellt die Helligkeit als Funktion der Restreichweite dar für das individuelle Teilchen in einem Korn von der Tiefe a ; für das Gebiet des Maximums und Restreichweiten kleiner als 0.4 cm wird die Formel nur in erster Näherung gelten wegen des bereits besprochenen Versagens der Geiger'schen Beziehung.

Für kleine Korngrößen mit einheitlichen Krystallen ist nun die optische Absorption so gering, daß wir gute Übereinstimmung mit der Energieformel, also

$$H(R) = \text{const. } R^{2/3},$$

beziehungsweise mit der mechanisch integrierten experimentellen Ionisationskurve für das Gebiet des Maximums erhielten.

Bei sehr großen Körnern hingegen, die nicht aus einfachen Krystallen bestehen, sondern aus vielen kleinen Krystallen aufgebaute Gebilde sind, so daß zur Absorption noch die Reflexionswirkung an den zahlreichen kleinen Krystallflächen kommt, kann die optische Absorption doch auch bei diesen Versuchen bemerkbar werden, wie das folgende Beispiel des mittleren »Glew« zeigt.

Es wurde schätzungsweise $a = 60 \mu$ gewählt, da keine Tiefenmessungen durchgeführt werden konnten, man aber annehmen muß, daß die Körner sich so lagern, daß ihre mittlere Tiefe geringer ist als die mittleren Werte der Länge und Breite (70μ). Für den scheinbaren Absorptionskoeffizienten, der die Absorption und Reflexionswirkung enthält, wurde ein von G. Berndt¹ bestimmter

¹ G. Berndt, »Radioaktive Leuchtfarben«, Sammlung Vieweg.

Wert gewählt: $\mu = 0.05$ für 10μ ZnS; dieser wurde für $520 \mu\mu$ im Spektrophotometer bestimmt und bezieht sich jedenfalls, wie aus dem Zusammenhang, in dem er verwendet wird, hervorgeht, auf

Tabelle 9.

Restreichweite in cm	$\int_0^R \frac{b}{x^{1/3}} - \mu(x- R-a) dx$	Experimentelle Helligkeit	Energie
3.6	100	100	100
3.2	92	94	91
2.73	81	82.5	81.5
2.05	64	63.5	67.5
1.7		54.7	58.5
1.45	48	48	49.5
0.95	34	33.3	38.5
0.4	17.5	15	20
0.55	22	20	25
0.2	9		—

eine Schichte von Zinksulfidpulver, enthält also außer der Absorption auch noch die Reflexionswirkung der kleinen Krystallflächen, so daß er hier sehr gut verwendet werden kann.

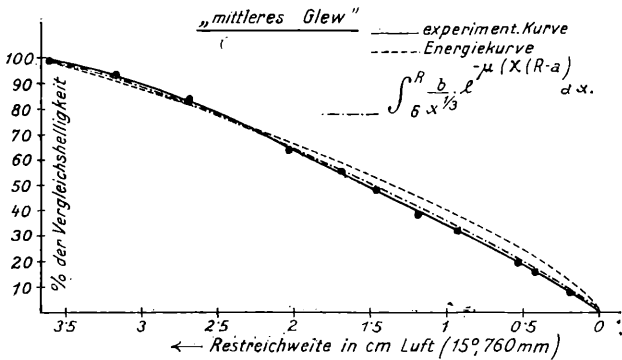


Fig. 12.

Das Integral wurde durch mechanische Integration ausgewertet. Tabelle 9 und Fig. 12 zeigen, daß die Übereinstimmung der beobachteten Helligkeit mit dem Wert des Integrals eine sehr gute ist, während die Abweichung von der Energiekurve eine etwas größere ist. Doch liegen die Diskrepanzen auch hier fast innerhalb der Fehlergrenzen.

Bemerkungen zur Natur der Szintillationen (Besprechung der Sattwerte).

Drei der untersuchten Zinksulfide (»Kuhnheim *N* und *C*«, »Geiger *B*«, siehe Fig. 13, 14, 15) zeigten einen etwas anderen Verlauf der Helligkeits-Restreichweite-Kurve als die übrigen. Sie zeigen nämlich kein Maximum, sondern die Helligkeit erreicht einen Sattwert; der Abfall nach den kleineren Restreichweiten ist, abgesehen von der Komplikation durch die Korninhomogenität bei Kuhnheim *C*, linear.¹ Es sind nun gerade diejenigen Zinksulfide, die, wie aus Tabelle 4 hervorgeht, besonders schwache Szintillationen geben; so daß die Annahme naheliegt, die Abweichung der Helligkeitskurve auf eine geringere Szintillationsfähigkeit zurückzuführen.

Der Berechnung der Luminiszenzabnahme von E. Rutherford² liegt die Annahme zugrunde, auf die auch die vorliegende Helligkeitsuntersuchung geführt hat, daß es sich bei der Szintillation um

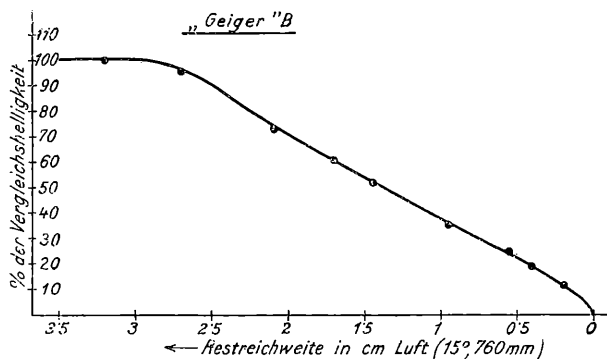


Fig. 13.

eine Einwirkung auf die Lenard'schen Zentren in dem betreffenden Phosphor handelt, die proportional dem Ionisationsvermögen des α -Teilchens ist. Über den näheren Mechanismus sind nun prinzipiell zwei Annahmen möglich:

1. Das α -Teilchen ionisiert die in einem bestimmten Umkreis längs seiner Bahn liegenden Momentanzentren; ihre (auf irgendeine Weise) erfolgende Rekombination liefert die Szintillationserscheinung;
2. das Zinksulfid besitzt bereits in irgendeinem Erregungszustand befindliche Zentren. Das α -Teilchen bei seinem Durchgang durch das Zinksulfid liefert nur die zu ihrer Rekombination nötigen Elektronen.

Die erste Annahme ist die näherliegende, sie vermag aber das Auftreten eines Sattwertes nicht zu erklären; denn nach dieser

¹ In der Untersuchung von E. Kara-Michailova und H. Pettersson (Wiener Ber., 133, 1925, Mitt. d. Ra.-Inst. Nr. 164) handelt es sich um »Kuhnheim *N*«. Die beiden Kurven, auf dieselbe Darstellung bezogen, stimmen gut überein.

E. Rutherford, Proc. Roy. Soc., 83, 561, 1910.

Annahme müßte unter allen Umständen Proportionalität mit dem Integral über den im Zinksulfid verlaufenden Teil des Weges über das Ionisationsvermögen bestehen, d. h. nach vollem Durchsetzen des Kornes ein Abfall mit wachsender Restreichweite eintreten, da der für die Ionisation wirksamste Teil der Bahn, das Maximum am Ende der Reichweite, nicht mehr ins Zinksulfid fällt. Die Inhomogenität der Körner, die eine Verflachung des Maximums der photometrischen Kurve zur Folge hat, scheint nicht hinreichend zur Erklärung der Konstanz der Helligkeit bis zu 6·7 cm Restreichweite. Eine Möglichkeit der Erklärung würde noch die Annahme bieten, daß der Wirkungsquerschnitt des Teilchens auf die Zentren nicht so wie auf Gasatome mit abnehmender Restreichweite wächst, sondern längs der ganzen Bahn konstant bleibt. Dieser Annahme widerspricht aber schon das Auftreten eines Maximums bei andern Zinksulfiden.

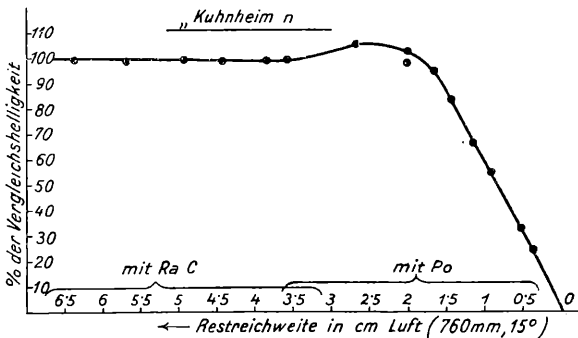


Fig. 14.

Die zweite Annahme hingegen ist sowohl mit dem Auftreten eines Maximums als auch eines Sattwertes in Einklang zu bringen. Setzt man nämlich die von einem Teilchen von Radium C insgesamt erzeugte Ionenzahl gleich der in einem Zylinder von der Höhe der Reichweite im Zinksulfid vorhandenen Zentrenzahl, so erhält man bei einer Zentrenkonzentration von 10^{-4} (wie sie von R. Tomaschek¹ und A. Guntz² als günstig angegeben wird) für den Radius dieses Zylinders $2 \cdot 65 \cdot 10^{-6}$. Man kann wohl annehmen, daß die erzeugten freien Elektronen auf Zentren in einem Umkreis von dieser Größenordnung einwirken können. Bei einer geringeren Zentrenkonzentration, wie man sie in einem Zinksulfid von geringerer Szintillationsfähigkeit annehmen muß, könnte es aber dann sehr wohl vorkommen, daß in dem für die Wirkung der Elektronen in Betracht kommenden Volumen die Zentrenzahl bedeutend kleiner ist als die Zahl der zur Verfügung stehenden Elektronen. Man

¹ R. Tomaschek, Ann., 65, 189, 1921.

A. Guntz, Ann. de Chimie, 10, 5, 171, 1926.

könnte sich vorstellen, daß bereits die in den ersten Bahnelementen erzeugten Elektronen ausreichen, um eine Rekombination aller Zentren, die in ihrem Wirkungskreis liegen, herbeizuführen. Ein weiterer Zuwachs nimmt auf die Helligkeit keinen Einfluß. Es werden also in jedem Bahnstück sämtliche in einem bestimmten Umkreis liegende Zentren rekombiniert. Die Helligkeit wäre dann proportional der Reichweite bis zum vollen Durchsetzen des Kornes und behielte von hier an einen Sattwert bei, was den Beobachtungen vollkommen entsprechen würde.

Die zweite Annahme steht aber auch im Einklang mit der erwähnten Theorie der Lumineszenzabnahme von E. Rutherford, welcher voraussetzt, daß ein einmal getroffenes Zentrum durch ein

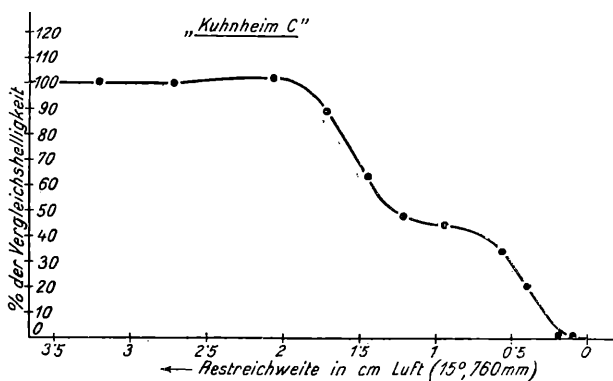


Fig. 15.

α -Teilchen nicht wieder zum Leuchten gebracht werden kann. Nach der ersten Annahme wäre nun nicht ohne weiteres einzusehen, warum dasselbe wieder rekombinierte Zentrum durch ein späteres α -Teilchen nicht wieder ionisiert werden sollte.

Nach den heutigen Vorstellungen über Lichtemission erscheint es nämlich schwer möglich anzunehmen, daß eine Rekombination überhaupt nicht erfolgt. Diese Annahme wurde früher von E. Rutherford gemacht, um die Unmöglichkeit der Wiederholung des Vorgangs zu erklären.

Es wird also die Vermutung nahegelegt, daß es sich im Fall der Szintillation um Zentren handelt, die nicht so wie die gewöhnlichen, durch Licht erregten, durch Bestrahlung mit rotem oder ultrarotem Licht zur Rekombination gebracht werden können. Dieses hatte nämlich nach den bisherigen Untersuchungen (E. Marsden¹ und eigene Beobachtungen) keinen wesentlichen Einfluß auf die Szintillationsfähigkeit; es dürfte sich hier eher um Zentren handeln, wie die beispielsweise bei der Tribolumineszenz

¹ E. Marsden, Proc. Roy. Soc., 83, 548, 1910.

wirksamen, die nach den Untersuchungen von A. Imhof¹ bereits während der Krystallisation in den Anregungszustand versetzt werden, während die mechanische Einwirkung lediglich eine auslösende Wirkung hat. Durch die Übereinstimmung des Kathodenstrahlspektrums mit dem Spektrum der Triboluminiszenz (R. Tomaschek²) wird wahrscheinlich gemacht, daß die Zentren, die für die Triboluminiszenz in Betracht kommen, auch durch schnelle Elektronen beeinflusst werden können. Die Regeneration der durch Strahlung zerstörten Szintillationsfähigkeit durch neues Krystallisieren ist eine bekannte Erscheinung. Außerdem ist aber schon vielfach betont worden, daß die szintillationsfähigen Substanzen auch schöne Triboluminiszenz zeigen. Diese Tatsache führte H. Geiger und Werner³ und andere dahin zu vermuten, daß auch die Szintillation eine Triboluminiszenzerscheinung ist, d. h. auf einer mechanischen Spaltung der Krystalle beruht, was durch die vorliegenden Versuche aber in keiner Weise begründet erscheint.⁴

Es ist natürlich denkbar, daß die Anregung auch in ganz anderer Weise als durch Krystallisation erfolgt.

Die vorliegenden Versuche sind jedenfalls nur geeignet, Hinweise der geschilderten Art zu geben. Eine nähere Aufklärung dieser Fragen wäre vielleicht zu erwarten von systematischen Untersuchungen über den Belichtungs- und Temperatureinfluß, Ermüdung und ähnliches. Versuche dieser Art sind im Gange.

B. „Optische Absorptionskurven“.

Nachdem die weiter oben geschilderten Sattelbildungen im Helligkeitsabfall besonders bei kleinem und inhomogenem Material auftraten und sowohl in Draufsicht als auch in Durchsicht zu beobachten waren, also wohl kaum durch besondere Reflexionsverhältnisse im Krystall zu deuten waren, erschien es wichtig zu untersuchen, ob und inwieweit Szintillationen, die von Teilchen gleicher Geschwindigkeit in einem bestimmten Zinksulfidschirm erregt werden, sich in ihrer Helligkeit unterscheiden. Diese Untersuchung ist auch von Bedeutung für die Szintillationsmethode im allgemeinen.

Zur Aufklärung dieser Frage wurde folgendes Verfahren gewählt: Ein Poloniumpräparat wurde stark abgeblendet, so daß ein nahezu homogenes (Reichweitenschwankung höchstens $3\frac{1}{2}$ bis 4%) α -Strahlenbündel mit konstanter Teilchenzahl fast senkrecht auf den Schirm fiel. Es wurden in die Kassette (Fig. 1) Graugläser eingeschoben und die Szintillationen bei verschiedenen Gläsern gezählt. Die Restreichweite der α -Teilchen betrug 3·5 cm.

¹ A. Imhof, Phys. Zeitschr., 18, 374, 1917.

² R. Tomaschek, Ann., 65, 189, 1921.

³ H. Geiger und A. Werner, Zeitschr. f. Phys., 21, 192, 1924.

⁴ Die Dauer der Szintillation stimmt auch mit der der Triboluminiszenzerscheinungen nicht überein, wie Wood, Phil. Mag., 10, 427, 1905, und v. Hauer, Wiener Ber., 127, 1918, gezeigt haben.

Es erfolgte mit wachsender optischer Absorption eine Abnahme an Helligkeit und Zahl der gezählten Szintillationen ähnlich der Abnahme beim Einschalten von absorbierenden Medien in die Bahn des Teilchens; es sollen daher die Kurven, die den Zusammenhang zwischen optischer Absorption und gezählten Teilchen darstellen, im folgenden kurz als »optische Absorptionskurven« bezeichnet werden. Ihre Gestalt zeigte sich stark abhängig von dem verwendeten Zinksulfid. Fig. 16 gibt die Teilchenzahl als Funktion der Absorption für »Guntz 112«. Entsprechend dem günstigen Material beginnt eine Abnahme der gezählten Szintillationen erst bei 85% Absorption; es folgt dann ein fast linearer Abfall. Dieser Effekt beruht nun auf zwei Ursachen: Einerseits sind, wie besonders durch die folgenden Versuche zum Ausdruck gebracht

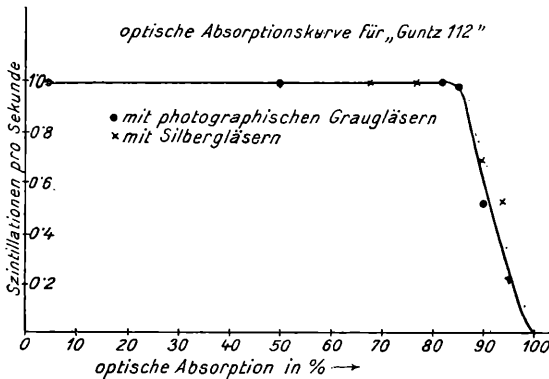


Fig. 16.

wird, die Szintillationen, die von Teilchen gleicher Geschwindigkeit auf einem Schirm eines mehr oder minder inhomogenen Zinksulfidmaterials hervorgebracht werden, nicht homogen an Helligkeit; es ist also nicht für alle Teilchen die Absorption, bei der ihre Helligkeit unter die Empfindlichkeitsschwelle des Auges tritt, dieselbe. Die zweite Ursache ist die, daß mit abnehmender Helligkeit der Bruchteil der Szintillationen, die von der tatsächlich vorhandenen Anzahl übersehen werden, aus physiologischen Gründen wächst. Der Anteil, der jedem der beiden Faktoren im Gesamteffekt zukommt, läßt sich nach diesen Versuchen nicht angeben, ließe sich aber beispielsweise durch Versuche mit künstlichen, vollkommen helligkeitshomogenen Szintillationen bestimmen. Der Anteil des zweiten Faktors könnte dann für jeden Zähler in eindeutiger Weise festgestellt werden.

Die Inhomogenität eines Gemisches von kleinem und mittlerem »De Haën« kommt (Fig. 17) in dieser Untersuchung sehr deutlich zum Ausdruck. Der frühe Abfallsbeginn in der optischen Absorptionskurve weist auf Szintillationen hin, die in sehr kleinen Körnern oder an den wenig tiefen Rändern der großen Krystalle

erzeugt wurden, von denen dann ein kontinuierlicher Übergang zu den Szintillationen der großen und mittleren Körner erfolgt. Man kann wohl annehmen, daß diese Inhomogenität bis zu einem gewissen Grad auch für kleinere Restreichweiten besteht; es erscheint dann als sehr wahrscheinlich, daß die Diskrepanzen, die sich bei Untersuchungen der sogenannten Taylorstreuung (Stragglings) nach der Szintillationsmethode zwischen den einzelnen Autoren und gegenüber der Wilsonmethode ergeben haben, auf Unterschiede in der Art der verwendeten Zinksulfide zurückzuführen sind. Denn während nach der Wilsonmethode,^{1,2} gute Übereinstimmung mit der Bohr'schen Theorie gefunden wurde, setzt der Abfallsbeginn nach der Szintillationsmethode früher ein und ist ein anderer je

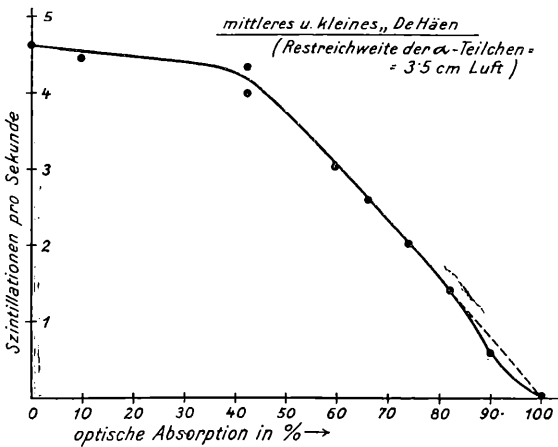


Fig. 17.

nach dem Autor.^{3,4} Außerdem dürfte auch noch die Art der Herstellung der Schirme und die Verwendung von Klebemitteln eine Rolle spielen, worauf bereits I. Curie⁵ hingewiesen hat.

Fig. 18 gibt nun die optische Absorptionskurve für kleines »De Haën«. Es wurde derselbe Schirm verwendet wie für die Untersuchung des Zusammenhangs von Restreichweite und Helligkeit. Schon die mikroskopischen Ausmessungen zeigten eine Bevorzugung von zwei bestimmten Korngrößen. Infolge der Kleinheit der Krystalle konnten aber die beiden Gruppen nicht voneinander getrennt werden. Wie aus Fig. 18 ersichtlich ist, sind so gut wie

¹ L. Meitner und K. Freitag, Zeitschr. f. Phys., 37, 481, 1926.

² I. Curie, Ann. de Phys., 3, 299, 1925.

³ R. Rothensteiner, Wr. Ber., 125, 1237, 1916.

⁴ F. Friedmann, Wr. Ber., 122, 1269, 1913.

I. Curie, l.

keine Zwischenstufen vorhanden, sondern den beiden Korngrößen entsprechen zwei distinkt voneinander unterschiedene Szintillationsgruppen.

Um den Zusammenhang mit den Korngrößen zu prüfen, wurde folgende Rechnung angestellt: Durch eine Statistik der Körner (Tabelle 10) wurde die für das Auftreffen des α -Teilchens maßgebende Fläche einerseits für die kleinen, andererseits für die

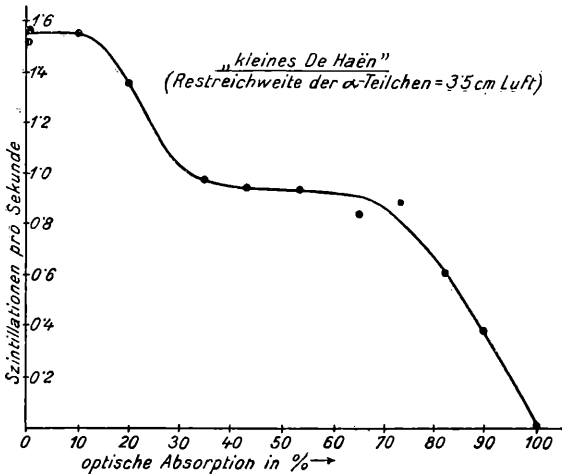


Fig. 18.

großen Körner bestimmt. Es ergab sich für das Verhältnis der Gesamtfläche zur Fläche der großen Körner: 1.53; während sich für das Verhältnis der Zahl der gesamten ohne Absorption gezählten Szintillationen zur Anzahl der hellen aus Fig. 18. 1.63 ergibt, was nach der schematischen Art der Flächenberechnung als eine gute Übereinstimmung betrachtet werden kann.

Tabelle 10.

Zahl der Krystalle.

Durchmesser über 22 μ .	Ungefähr 15 \times 18 μ .	Ungefähr 10 \times 11 μ .	Ungefähr 6 \times 6 μ .
9	22	43	11
8	21	44	12
8—9	22	45	13
Fläche F_1		Fläche F_2	

$$\frac{F_1 + F_2}{F_1} = 1.53.$$

Durch Einschalten eines Glimmers wurde nun die Restreichweite der α -Teilchen verändert. Fig. 19 stellt die optische Absorptionskurve für dieselbe Schirmstelle des kleinen »De Haën«

mit Teilchen von 1.7 cm Restreichweite dar. Der allgemeine Charakter der Kurve ist derselbe wie in Fig. 18. Für das Verhältnis der Gesamtzahl der Szintillationen zur Anzahl der hellen ergibt sich in sehr guter Übereinstimmung 1.66 . Hingegen erfolgt das Unsichtbarwerden der Gruppe der schwachen Szintillationen gegenüber den Teilchen mit 3.6 cm Restreichweite erst bei ungefähr der doppelten Absorption. Dieser Effekt war entsprechend dem Zusammenhang mit der Ionisation zu erwarten: nach diesem ist für 3.6 cm Restreichweite eine nur halb so große Helligkeit an-

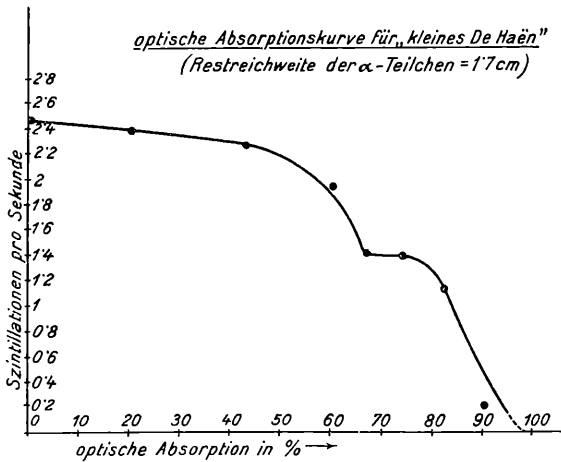


Fig. 19.

zunehmen wie für 1.7 cm , was dem Verschwinden bei nur halber optischer Absorption im ersten Fall entspricht. Die Erscheinung wird möglicherweise hier noch unterstützt durch den bei der geringeren Restreichweite geringeren Helligkeitsunterschied der beiden Gruppen, der wohl ein etwas längeres Zählen der schwächeren Gruppe zur Folge hat.

Der Sattel in der Restreichweiten-Helligkeits-Kurve des kleinen »De Haën« ist durch diese Untersuchung völlig aufgeklärt. Bei »Guntz 85« und »Kuhnheim C« handelt es sich um analoge Verhältnisse.

Zusammenfassung.

Es wird eine photometrische Methode beschrieben, die es gestattet, den Zusammenhang zwischen der Restreichweite des auftretenden α -Teilchens und der Helligkeit der in einem Zinksulfid-kupferphosphor erzeugten Szintillation zu verfolgen. Es wird die Bedeutung der Korngröße und Szintillationsfähigkeit des Materials untersucht.

Es ergibt sich, daß die Größe der verwendeten Krystalle durchaus maßgebend ist für den Verlauf der Kurven, die für die einzelnen Zinksulfide den Zusammenhang der Szintillationshelligkeit mit der Restreichweite darstellen.

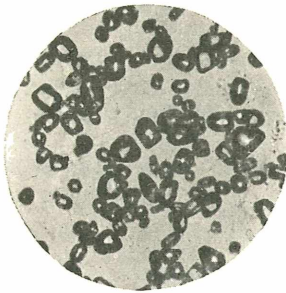
Es wird ferner auf eine Proportionalität hingewiesen zwischen Szintillationshelligkeit und Gesamtzahl der auf dem Weg im Zinksulfid erzeugten Ionen. Dadurch wird die — auch schon von anderer Seite gemachte — Annahme bekräftigt, daß es sich bei dem Szintillationsvorgang um eine Einwirkung auf die Lenard'schen Zentren im Zinksulfidkupferphosphor handelt, die in jedem Bahnelement proportional dem Ionisationsvermögen verläuft. Bei schlecht szintillierenden Substanzen treten Abweichungen ein; es werden Vermutungen für die Ursache besprochen.

Es wird auch der Einfluß der optischen Absorption und Reflexion im Krystall geprüft. Dieser erweist sich als sehr gering.

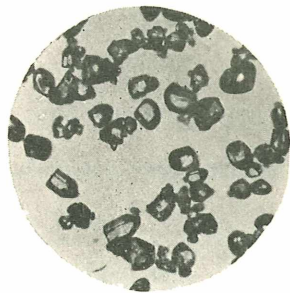
Ferner wird eine Reihe von Versuchen beschrieben, deren Zweck es war, festzustellen, wie groß die Helligkeitsunterschiede von Szintillationen, erzeugt durch α -Teilchen gleicher Geschwindigkeit, in einem bestimmten Zinksulfidmaterial sind. Es zeigte sich auch hier wieder ein großer Einfluß der physikalischen Eigenschaften des Materials, vorwiegend der Korngröße. Bei feinkörnigem und inhomogenem Zinksulfid konnten bedeutende Helligkeitsunterschiede nachgewiesen werden, während große Körner von hoher Szintillationsfähigkeit nur eine geringe Helligkeitsinhomogenität aufweisen.

Mikroaufnahmen von verschiedenen Zinksulfiden.

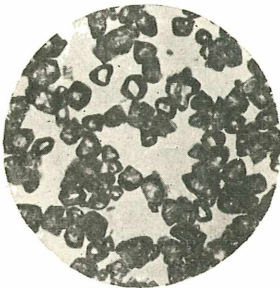
(Vergrößerung: 88 fach.)



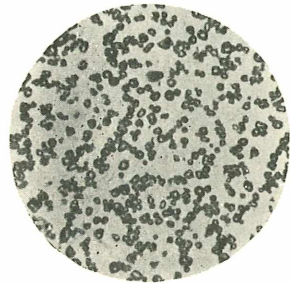
»Guntz Nr. 3.«



Mittleres »De Haën.«



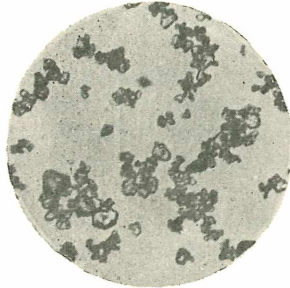
»Guntz 112.«



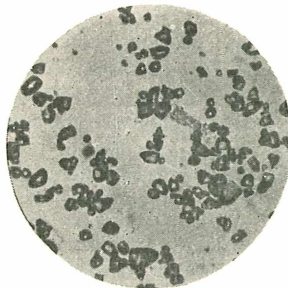
»Kubnheim C.«



»Glew« (unfraktioniert).



»Guntz 85.«



Kleines »De Haën.«

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1927

Band/Volume: [136_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Karlik Berta

Artikel/Article: [Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung Nr. 209. Über die Abhängigkeit der Szintillationen von der Beschaffenheit des Zinksulfids und das Wesen des Szintillationsvorganges. 531-561](#)