

Mitteilungen des Institutes für Radiumforschung

Nr. 222.

Über die durch α -Strahlen erregte Lumineszenz
und deren Zusammenhang mit der Teilchenenergie

Von

Berta Karlik und Elisabeth Kara-Michailova

(Mit 11 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 24. Mai 1928)

I.

Obwohl die Zählung von Szintillationen in der Methodik der Radioaktivität und der künstlichen Atomzertrümmerung eine bedeutende Rolle spielt, liegen bisher nur wenige Untersuchungen vor, die geeignet wären, Anhaltspunkte zu Rückschlüssen über die Natur des Szintillationsvorganges selbst zu geben. Die in der Literatur gelegentlich auftretenden Bemerkungen über diese Frage¹ haben vorwiegend den Charakter von Vermutungen. Kürzlich angestellte Versuche² über die Abhängigkeit der Szintillationshelligkeit von der Restreichweite der α -Strahlung ergaben aber enge Zusammenhänge mit der Energie und dem Ionisationsvermögen der α -Teilchen, so daß der Versuch einer näheren Untersuchung des Szintillationsvorganges nicht aussichtslos erscheint.

Eine eingehende Kenntnis dieses Prozesses wäre aber nicht nur methodisch wichtig — was die Herstellung, Behandlung und Verwendung von Szintillationssubstanzen betrifft, — sondern könnte auch theoretisch fruchtbringend sein.

Man wird wohl zu einer detaillierten Vorstellung von dem Vorgange nur durch eine lange Reihe systematischer Untersuchungen geführt werden können. Dieselben dürften in ihren Einzelergebnissen aber auch für andere Gebiete interessante Beobachtungen liefern: so wie beispielsweise Untersuchungen über die Ermüdungser-

¹ R. W. Wood, *Phil. Mag.*, 10, 427, 1905.

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

F. Hauer, *Wiener Ber.*, IIa, 127, 369, 1918.

H. Geiger und Werner, *Zeitschr. f. Phys.*, 8, 191, 1922.

Dieselben, *Zeitschr. f. Phys.*, 21, 192, 1924.

H. Petterson und E. Kara-Michailova, *Wiener Ber.*, IIa, 133, 163, 1924. *Mitt. d. Ra-Inst.* Nr. 164.

B. Karlik, *Wiener Ber.*, IIa, 136, 531, 1927, *Mitt. d. Ra-Inst.* Nr. 209.

B. Karlik und E. Kara-Michailova, *Zeitschr. f. Phys.*, 48, 765, 1928.

scheinungen¹ von Phosphoren unter radioaktiver Bestrahlung von Bedeutung sind für die Herstellung von Leuchtfarben.

In der vorliegenden Arbeit soll über die ersten Ergebnisse solcher Untersuchungen berichtet werden. Zunächst handelt es sich hier um die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Lumineszenzhelligkeit und Teilchenzahl. Eine Proportionalität dieser beiden Größen ist die notwendige Bedingung für die weitere Verwendbarkeit der Beobachtung des Gesamtleuchtens für die beabsichtigten Experimente. Weiter wurde der Zusammenhang zwischen Helligkeit und Energie, beziehungsweise Restreichweite der auffallenden Teilchen untersucht.

II.

Lumineszenzhelligkeit und Teilchenzahl.

Die Messung der durch reine α -Strahlung im Zinksulfid erregten Lumineszenz erfolgte durch Messung der Aufladung eines Wulf-Einfadenelektrometers durch den in einer Photozelle (Rubidiumbeschlag) erregten Strom. Gemessen wurden die Zeiten, welche der Elektrometerfaden zum Durchlaufen eines bestimmten Bereiches der Skala benötigte. Die Rubidiumzelle eignet sich besonders gut für diese Versuche, da ja ihr Empfindlichkeitsmaximum bei $\lambda = 436 \mu\mu$ liegt, während das Maximum der Hauptbande des von Zinksulfid emittierten Lumineszenzlichtes sich bei $\lambda = 520 \mu\mu$ befindet.² Die benutzten Zinksulfidproben verschiedenster Herkunft zeigten bei Erregung mit reiner α -Strahlung alle dasselbe Verhalten bezüglich der Hauptbande und wiesen nur geringe Unterschiede hinsichtlich der langwelligen, beziehungsweise kurzwelligen Grenze des Emissionsspektrums auf.

Die Versuche wurden in folgender Anordnung (Fig. 1) gemacht: In die Öffnung des geerdeten Gehäuses der Photozelle paßte lichtdicht ein zylindrisches Gefäß, in dessen Boden ein kreisrunder Zinksulfidschirm *Z* (Durchmesser 1 cm) eingekittet war. Als Schirmunterlage diente ein dünnes Deckglas. Verwendet wurde Zinksulfid von De Haën, welches nach einigen Vorversuchen als das günstigste gewählt wurde: es gibt bei gleichbleibender Präparatstärke im Vergleich mit anderem uns zur Verfügung stehenden Material die größte Lichtintensität. Dies rührt einerseits von seiner ausgezeichneten Qualität als Szintillationssubstanz und andererseits von seiner Korngröße (im Mittel 30 bis 40 μ Tiefe) her, bei der also die ganze Restreichweite der α -Teilchen im Zinksulfid voll ausgenützt wird.

¹ G. Berndt, Radioaktive Leuchtfarben, Sammlung Vieweg, Heft 47, 1920. Derselbe, Zeitschr. f. Phys., 1, 42, 1920.

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

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

I. W. Walsh, Proc. Phys. Soc., London, 39, 318, 1927.

H. Herzfinkiel und L. Wertenstein, Journ. de Phys. et le Radium,

31, 1921; E. Marsden, l. c.

Zu anderen Werten für das Maximum des Szintillationslichtes kommt W. Kutzner, Zeitschr. f. Phys., 45, 343, 1927.

In 1 *cm* Abstand vom Schirm befand sich das zu messende Poloniumpräparat *P* in einem auswechselbaren Träger. Ein dünnes Blatt Aluminium von zirka 1·2 *mm* Luftäquivalent hielt eventuelle Lumineszenz, welche durch die intensive α -Strahlung in der Präparatunterlage erregt wird, vom Schirm ab. Mittels des Schiebers *S*₂ konnte die α -Strahlung vom Schirm abgehalten werden; der Schieber *S*₁ deckte den Schirm gegen die Zellöffnung zu. Dies ermöglichte einerseits ein eventuell vorhandenes Abklingen oder Anklingen der im Zinksulfid durch reine α -Bestrahlung erregten Lumineszenz und anderseits den natürlichen Effekt im Elektrometer nach jeder Messung des Aufladestromes, beziehungsweise das regelmäßige Funktionieren der Photozelle festzustellen. Gemessen wurde die Zeit, die der Elektrometerfaden zum Durchlaufen eines bestimmten Bereiches benötigte (Schieber *S*₁ und *S*₂ offen). Dazu wurde noch der natürliche Effekt (ermittelt, wenn Schieber *S*₁ geschlossen)

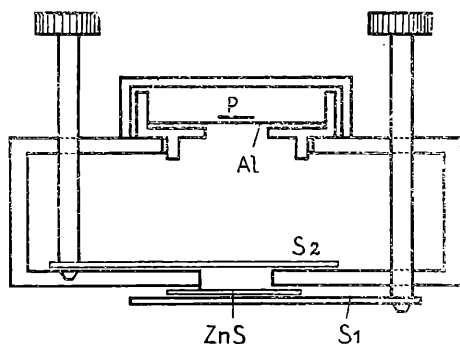


Fig. 1.

addiert. Die pro Skalenteil reduzierten Stromwerte stimmten für verschiedene Bereiche der Skala gut überein. Eine Ermüdung des Schirmes war auch bei 15 Minuten lang dauernder Bestrahlung mit einem der stärksten Präparate nicht festzustellen.¹ Die Anordnung erlaubte es ohne weiteres, die Lumineszenz bei Präparatstärken von 20—3000 el. st. E. (halbseitig gemessen)² zu vergleichen. Stärkere Präparate konnten verglichen werden, indem man entweder die Schirmfläche verringerte, beziehungsweise die Entfernung Präparat—Schirm vergrößerte oder die Reichweite der α -Strahlen durch Einschieben eines Glimmerblattes verkürzte. Auf diese Weise war der Vergleich von Präparaten mit Aktivitäten im Bereich von 900 bis 12.000 el. st. E. möglich. Die auf einen *mm*² des Schirmes auffallende Teilchenzahl betrug im Maximum zirka $2\cdot7\cdot 10^5$ pro Sek.

¹ Die von E. Marsden mit α -Strahlen beobachteten Ermüdungserscheinungen wurden bei größerer auffallender Teilchenzahl und im Beisein von β -, γ -Strahlen untersucht.

² H. Fonovits, Wiener Ber., II a, 128, 761, 1919, Mitt. d. Inst. f. Radiumforschung Nr. 117.

gestellt. Die Reichweite der α -Strahlen war bis auf 1.9 *cm* abgekürzt. Die Meßgenauigkeit hängt bei schwachen Präparaten hauptsächlich von der Konstanz des natürlichen Elektrometereffekts ab, während bei starken Präparaten die kurzen Laufzeiten eine Fehlerquelle bilden, falls nicht gerade als Vergleichspräparat ein solches von einer Aktivität gleicher Größenordnung zur Verfügung steht. In letzterem Fall kann man durch geeignete Wahl der Versuchsbedingungen auch eine größere Genauigkeit des Helligkeitsvergleiches erzielen.

Die an ein und demselben Tage gemessenen Photoströme ergeben eine lineare Funktion zwischen auffallender Teilchenzahl und Lumineszenz; die an verschiedenen Tagen erfolgten Messungsreihen weisen etwas voneinander verschiedene Absolutwerte auf, welche aus der veränderlichen Zellempfindlichkeit, Spannungsabfall der Batterie, ohne weiteres erklärlich sind. Die Werte, relativ zueinander bezogen (es wurden immer dieselben Vergleichspräparate benutzt), liegen aber für alle Präparate nahe an einer durch den Nullpunkt des Koordinatensystems (Aktivität¹—Photostrom) gehenden Geraden.

Diese einfache Relation zwischen Teilchenzahl und Lumineszenz würde es ermöglichen, Aktivitäten von α -Strahlern auf verhältnismäßig einfache Weise zu bestimmen. Der Helligkeitsvergleich kann hierbei mit der lichtelektrischen Zelle oder auch okularphotometrisch erfolgen. Die aus dem Helligkeitsvergleich erhaltenen Werte der Präparatstärken stimmten auch mit den nach einer photographischen Methode² erhaltenen gut überein.

III.

Zusammenhang zwischen Partikelenergie und α -Lumineszenz.

Ergebnisse früherer Untersuchungen.

Nachdem durch die eben besprochenen Versuche die Proportionalität des photoelektrischen Stromes und somit der Lumineszenz mit der Teilchenzahl festgestellt worden war, konnte die Frage nach der Abhängigkeit des Leuchtens von der Geschwindigkeit (Energie, Restreichweite) der Teilchen mit derselben Methode in Angriff genommen werden. Für Kanalstrahlen hatte E. Rüchardt³ Proportionalität zwischen Lumineszenzhelligkeit und Energie der Teilchen gefunden. Für α -Strahlen wurde die Frage an einzelnen Szintillationen mittels eines Vergleichsmikroskops bereits vor einiger Zeit untersucht.⁴

¹ Die Präparatsstärken waren durch Messung des Ionisationsstromes im Plattenkondensator, beziehungsweise durch Berechnung aus der Abklingung mit nachträglicher Kontrollmessung bestimmt. Bei starken Aktivitäten mußte der Sattwert durch Extrapolation erhalten werden.

² M. Blau, Wiener Ber., II a, 137, 1928, Mitt. d. Inst. f. Radiumforschung, Nr. 220.

³ E. Rüchardt, Ann. d. Phys., 48, 838, 1915.

⁴ B. Karlik, I. c.

Da wir im folgenden des öfteren auf diese Versuche zurückkommen werden, mögen die Ergebnisse dieser Untersuchung hier kurz zusammengefaßt werden.¹ Die Helligkeit der Szintillationen ist (bei gleicher Güte des Materials) proportional der Energieabgabe des α -Teilchens im Zinksulfidkrystall. Ist die Tiefe der Krystalle also größer als die maximale Reichweite der Teilchen im Zinksulfid, so wird jeweils die gesamte Energie abgegeben: die Kurve der Helligkeit als Funktion der Restreichweite hat die Gestalt der Energiekurve, berechnet nach der Geiger'schen Beziehung. Für große Krystalle, speziell für größere Agglomerate aus sehr vielen kleinen Körnchen, wird die Helligkeitskurve aber in noch befriedigenderer Weise dargestellt, wenn man auch die optische Absorption und die Reflexionen in den Zinksulfidkryställchen in Rechnung zieht, wie sie durch den »scheinbaren Absorptionskoeffizienten«^{2 3} ausgedrückt werden. Man erhält dann für die Helligkeit als Funktion der Reichweite folgende Formel

$$H(R) = \int_0^R \frac{b}{x^{1/3}} \cdot e^{-k(x-[R-a])} dx, \quad (1)$$

wobei b eine Materialkonstante und a die Tiefe des Krystalls bedeutet; k ist der scheinbare Absorptionskoeffizient.

Ist die Korntiefe kleiner als die maximale Strahlenreichweite, so erhält man ein Maximum der Szintillationshelligkeit an der Stelle, wo die Restreichweite des Teilchens gleich dem Luftäquivalent der Krystalltiefe ist. Dieses Maximum ist natürlich nicht so scharf ausgeprägt, wie es der Berechnung der Energieabgabe nach Geiger entsprechen würde, wird aber qualitativ gut dargestellt, wenn man die Energieabgabe ermittelt aus dem Integral über das Ionisationsvermögen, wie es experimentell beobachtet wurde. Eine quantitative Darstellung des Maximums ist schwer zu geben, da eine Verbreiterung stets hervorgerufen wird durch die Verschiedenheit an Tiefe bei den einzelnen Krystallen, dieser Umstand aber in dem beobachteten Mittelwert wohl kaum in Rechnung gesetzt werden kann.

Einige Zinksulfidproben zeigten Abweichungen von den eben geschilderten Verhältnissen: sie ergaben eine Proportionalität zwischen Szintillationshelligkeit und Restreichweite bis zur vollen Durchsetzung des Kornes; der an dieser Stelle erreichte Helligkeitswert blieb bei weiterer Steigerung der Restreichweite konstant. Es scheint sich um eine Art Sattwert zu handeln, der möglicherweise auf eine geringe Anzahl von Zentren in den betreffenden ZnScu-Phosphoren zurückzuführen ist, da diese Erscheinung durchgehend an schlecht szintillierendem Material und nur an solchem beobachtet wurde.

¹ Was die Bezeichnung und nähere Beschreibung der verwendeten Leuchtsubstanzen betrifft, muß auf die Angaben der zitierten Arbeit verwiesen werden.

² A. J. Guntz, Ann. d. Chim., 5, 175, 1926.

G. Berndt, l. c.

Es war nun einerseits wünschenswert, einige der besprochenen Versuche nach einer objektiven Methode, wie es die Messung des photoelektrischen Stromes ist, zu wiederholen, um zeigen zu können, daß die Subjektivität, die Messungen an Einzelszintillationen, stets anhaftet, doch bei der großen Anzahl von Beobachtungen, die angestellt wurden, im Endergebnis keine wesentliche Rolle spielt. Durch Verwendung neuer Substanzen konnten die Szintillations-

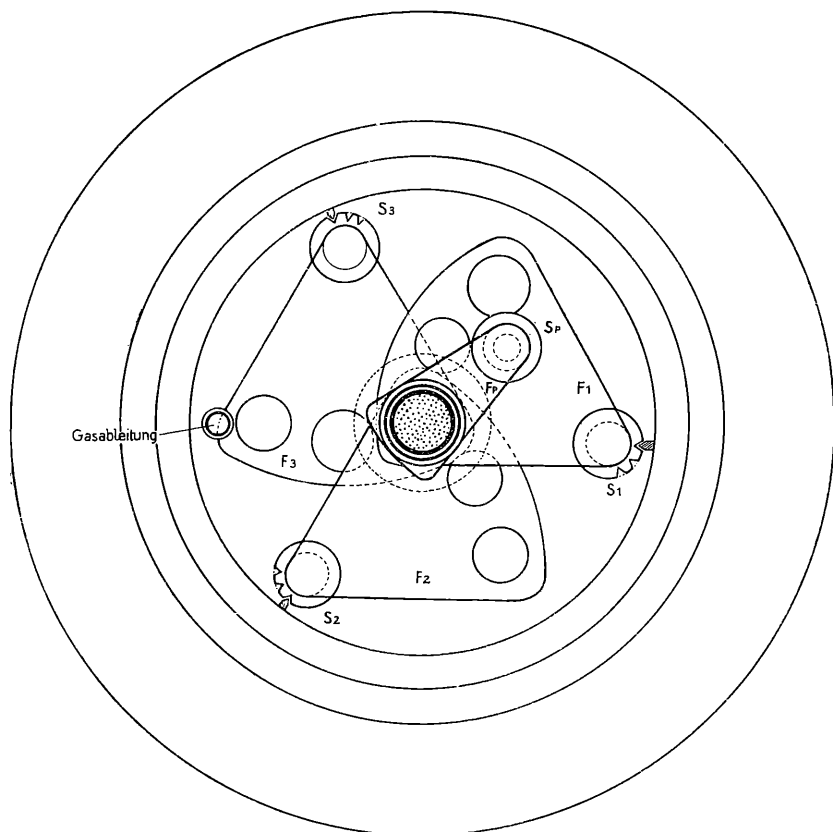


Fig. 3 a.

versuche aber noch ergänzt werden, so daß die gezogenen Schlüsse nun durch ein insbesondere über ZnSCu-Phosphore hinaus erweitertes Beobachtungsmaterial gestützt werden.

Versuchsanordnung.

Für die Untersuchung der Abhängigkeit des Leuchtens von der Geschwindigkeit der α -Teilchen wurde der in Fig. 3 a und 3 b abgebildete Apparat der photoelektrischen Zelle aufgesetzt.

Im Boden des zylindrischen Gefäßes A spielen über einer kreisförmigen Öffnung, die mit einer Glasplatte G verschlossen ist,

3 Fächer F_1 , F_2 , F_3 , übereinander, die durch Schleife S_1 , S_2 , S_3 im Apparatdeckel von außen auch bei evakuiertem Gefäß bewegt werden können. Jeder Fächer trägt drei kreisförmige Löcher. Diese können nun abwechselnd in verschiedener Weise zur Deckung gebracht und über der Öffnung im Apparatboden zentrisch eingestellt werden. Die Löcher der beiden oberen Fächer F_1 und F_2 sind mit Glimmerblättchen verschiedenen Absorptionsvermögens versehen und gestatten die vom Präparat P ausgehende Strahlung beliebig abzubremsen. Die Öffnungen des untersten Fächers F_3 trugen auf Deckgläsern die zu untersuchenden Leuchtsubstanzen. Durch die Nichtbesetzung eines Loches hatte man die Möglichkeit, einen etwaigen Dunkelstrom der Photozelle festzustellen.¹ Als Strahlungsquelle diente ein nach dem Destillationsverfahren auf einem Platinscheibchen von 3·5 mm Durchmesser hergestelltes

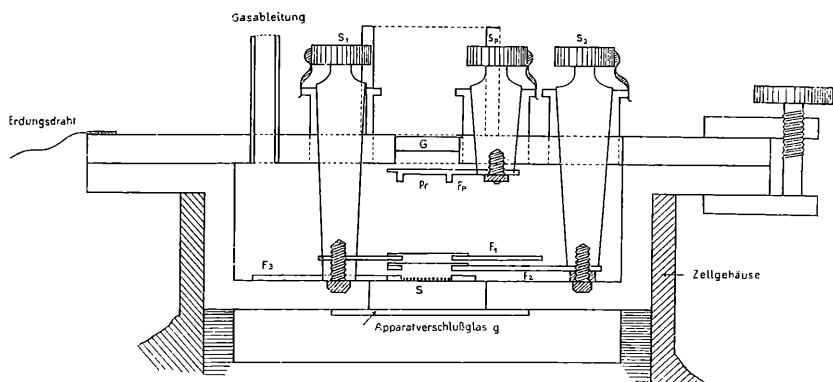


Fig. 3 b.

Poloniumpräparat. Dasselbe erzeugte halbseitig einen Sättigungsstrom von zirka 12.000 el. St. E. Es konnte ebenfalls durch eine Drehung des Schliffes Sp in verschiedene Lagen gebracht werden und war noch durch eine runde Glimmerblende von 2 mm Durchmesser abgeblendet. Eine mit grünem Glas verschlossene Öffnung im Apparatdeckel erlaubte es, wenn erwünscht, das Licht einer Vergleichslampe in die Photozelle fallen zu lassen. Die Distanz Schirm—Präparat betrug 11 mm. Durch das Rohr R konnte der Apparat evakuiert werden, wodurch die Absorption im Strahlenwege (abgesehen von der geringen Absorption im Schutzglimmer des Präparates, welche 4·2 mm betrug) auf ein Minimum herabgesetzt wird. Die maximale Reichweite der α -Strahlen betrug daher 3·52 cm (bezogen auf Luft von 15° C und 760 mm Hg Druck). Über den einzelnen Leuchtsubstanzen wurden stets Blenden von 3 mm Durchmesser angebracht, so daß die Reichweitenunterschiede am Rande

¹ Versuche mit einem nichtbelegten Deckglas ergaben keinen Elektrometergang. Die durch die α -Strahlen im Glase erregte Lumineszenz war also bei den Versuchsbedingungen unmeßbar.

des Schirmes relativ zur Schirmmitte 2.5% betragen. Das Evakuieren des Apparates ermöglicht es außerdem, die Leuchtsubstanz zwischen den einzelnen Versuchen von zerstörenden Einflüssen der Feuchtigkeit oder eventueller Zersetzung durch die Ozonbildung in Luft bei Verwendung starker Präparate zu bewahren. Die Elimination solcher Einflüsse ist insbesondere wesentlich bei längerer Versuchsdauer, wie es z. B. bei der Verfolgung von Ermüdungserscheinungen der Fall ist.

Versuche mit Zinksulfiden, welche schon nach der Szintillationsmethode untersucht wurden.

Die ersten Versuche wurden mit der ZnSCu -Phosphorprobe Nr. 112, die uns von Prof. A. A. Guntz (Nancy) freundlichst überlassen wurde, gemacht. Die Szintillationshelligkeit dieser Substanz

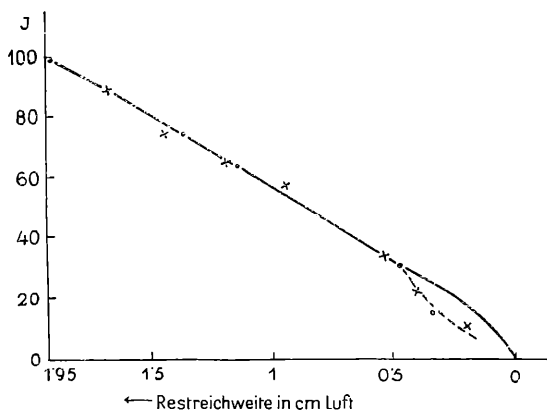


Fig. 4.

war bereits mit dem Vergleichsmikroskop sorgfältig untersucht worden. Die Versuche wurden im Gegensatz zu allen späteren in Luft, bei einer Distanz Präparat—Schirm von 1.85 cm ausgeführt. Dazu kam noch die Absorption des Schutzglimmers über dem Präparat, so daß die maximale Reichweite nur 1.95 cm Luft betrug. Die Reichweiteschwankung betrug höchstens 3.5% .

Fig. 4 zeigt nun den photoelektrischen Strom als Funktion der Restreichweite. Die eingetragenen Punkte bedeuten die Mittelwerte aus den verschiedenen Messungsserien. Die durchgezogene Kurve stellt die Funktion

$$H(R) = \int_0^R \frac{b}{x^{1/3}} e^{-k(x-[R-a])} dx$$

dar, berechnet mit dem scheinbaren Absorptionskoeffizienten $k = 0.005$ für 1μ Zinksulfid.¹ Wie man sieht, ist die Überein-

¹ G. Berndt, Radioaktive Leuchtfaden, Sammlung Vieweg, Heft 47 1920.

stimmung eine sehr befriedigende. Die in der Figur eingetragenen Kreuze sind die relativen Szintillationshelligkeiten, nach der Vergleichsmethode gemessen. Entsprechend der etwas größeren Unsicherheit bei dieser Methode streuen die einzelnen Punkte etwas mehr, doch kann die Kurve auch für diese Werte sehr gut als Mittellinie aufgefaßt werden. Eine nennenswerte Abweichung von der Kurve findet aber für beide Meßmethoden bei Reichweiten kleiner als 0.45 cm statt. Dies ist das Gebiet, wo einerseits für das einzelne α -Teilchen das Geiger'sche Gesetz^{1 2} versagt, andererseits aber auch der Abfall der Teilchenzahl auf Grund der Reichweitenschwankung (straggling) zu wirken beginnt. Daß es sich nicht nur um einen Meßfehler handeln kann, sondern um den Ausdruck einer

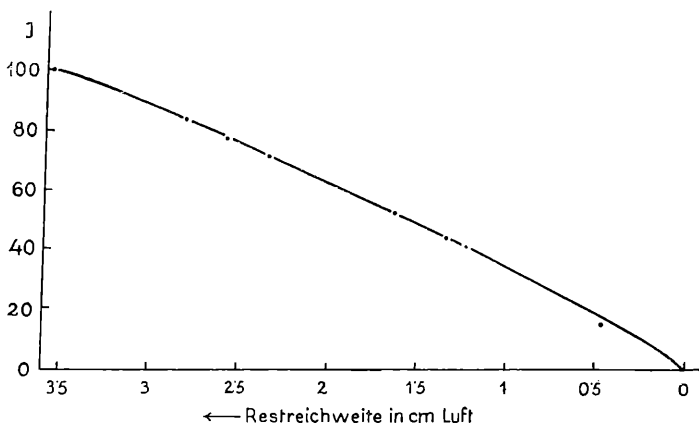


Fig.

Gesetzmäßigkeit, zeigt wohl schon die Tatsache, daß die Punkte, die nach zwei verschiedenen Meßmethoden gewonnen sind, sich schön zu einer Kurve verbinden lassen (in der Abbildung strichliert). Überdies ist diese Erscheinung bei allen übrigen Substanzen und Meßserien aufgetreten (siehe die weiteren Figuren). Aus der Kurve würde sich ergeben, daß bei ungefähr 0.2 cm vom Ende der Reichweite nur mehr die Hälfte der Teilchen für die Lumineszenz wirksam ist, was mit den Reichweitenschwankungsmessungen nach der Wilson-Methode³ gut übereinstimmt.

Eine gleiche Übereinstimmung mit dem angegebenen Integral zeigt auch die Kurve des großen »De Haën« (Fig. 5). Die mikrometrische Ausmessung der Krystalle hatte bei diesem entsprechend $53\text{ }\mu$ für die mittlere Tiefe ergeben. Unterhalb 0.45 cm Reichweite tritt wieder die schon erwähnte Abweichung auf.

¹ P. M. S. Blackett, Proc. Roy. Soc., London, A 103, 62, 1923.

² P. Kapitza, Proc. Roy. Soc., London, A 102, 48, 1922.

³ I. Curie, Ann. d. Phys., 10, 3, 1925; vgl. auch die Untersuchung mit Th C + C' von L. Meitner und K. Freitag, Zeitschr. f. Phys., 37, 481, 1926.

Den nach den Szintillationsversuchen erwarteten Verlauf zeigte auch die Lumineszenz-Restreichweitenkurve des »zerpulverten De Haën«. Es handelt sich dabei um Zinksulfid, das nach feinem Verreiben in einer Achatschale durch Glühen im elektrischen Ofen bei Rotglut in seiner Szintillationsfähigkeit wieder regeneriert wurde. Quantitativ ist allerdings zu bemerken, daß gegenüber den Messungen mit der Vergleichsmethode an Einzelszintillationen das Maximum (s. Fig. 6) erst bei einer etwas größeren Reichweite erreicht wird, (1.6 cm gegen 1.1 cm nach der Vergleichsmethode) und der Abfall mit zunehmender Teilchengeschwindigkeit weniger ausgeprägt ist. Dies hat seinen Grund darin, daß bei den geringen Mengen an

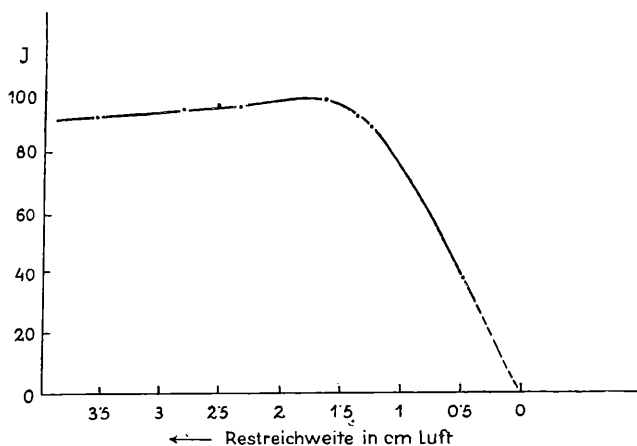


Fig. 6.

Substanz, die nur mehr zur Verfügung standen, das Fraktionieren nicht so weit getrieben werden konnte, daß sämtliche großen Körner entfernt worden wären. Eine mikrometrische Ausmessung der Zinksulfidkörner ergab als Mittelwert der Tiefe für die überwiegende Mehrheit $7\text{ }\mu = 1.32\text{ cm}$ Luft. Es zeigt die mikroskopische Betrachtung aber auch noch einige wenige Körner um 15 bis $20\text{ }\mu$. Wenn man bedenkt, daß die tieferen Krystalle aber auch eine größere Länge und Breite besitzen und daher der Strahlung eine größere Fläche aussetzen, so muß man erwarten, daß der angegebene Wert für die Restreichweite bei dem Maximum sich erhöht. Während es nach der Szintillationsmethode möglich ist, von dem geringen Bruchteil der ganz hellen Szintillationen, die in diesen Krystallen erzeugt werden, abzusehen, tragen sie bei der Messung der Gesamtlumineszenz nicht unwesentlich bei und verbreitern das Maximum.

Weitere Versuche wurden noch ausgeführt mit »Kunheim N« und verschiedenen Guntzschirmen, die neben mittleren Körnern auch noch größere Mengen kleinerer Körner enthielten und entsprechend allmähliche Übergänge zum Maximum zeigten.

Weitere Versuche an Zinksulfiden.

Es wurde nun aus dem eben besprochenen zerpulverten und durch Glühen wieder szintillationsfähig gemachten Zinksulfid von De Haën ein dicker Schirm (durch Überlagerung mehrerer Krystallschichten) von ungefähr $30\ \mu$ Tiefe hergestellt.

Fig. 7 zeigt wieder eine schöne Übereinstimmung der experimentellen Punkte mit der nach Formel (1) berechneten Kurve. Der etwas frühere Beginn der Abweichungen dürfte wohl darauf zurückzuführen sein, daß der zur Berechnung verwendete scheinbare Absorptionskoeffizient, der an größeren Krystallkörnern gemessen wurde, in diesem Falle, wo es sich um eine dicke Schicht sehr kleiner Kryställchen handelt, zu klein ist.

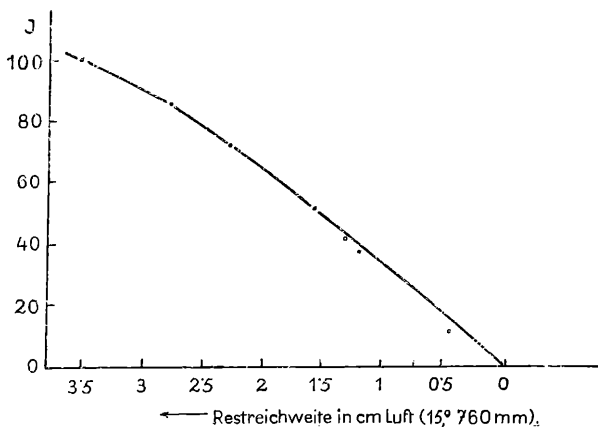


Fig. 7.

Interessant versprach der Vergleich dieses Schirmes zu werden mit einem anderen, der aus demselben Material, aber noch im ungeglühten, also nicht regenerierten Zustand ebenfalls in dicker Schicht hergestellt war; also Zinksulfid, das entsprechend der Druckzerstörung der Phosphore¹ verfärbt war und nur mehr eine stark herabgesetzte Lumineszenz- und Szintillationsfähigkeit besaß. Geht man von den Versuchen an Einzelszintillationen aus, so wäre für dieses Material zu erwarten, daß die Lumineszenz für jedes Bahnelement des α -Teilchens einfach diesem proportional ist. Setzt man die optische Absorption und Reflexionen für das Lumineszenzlicht in Rechnung, so erhält man

$$H(R) = \int_0^R c \cdot e^{-k[x-(R-a)]} dx = -\frac{c}{k} e^{-ka} \cdot e^{kR} [e^{-kx}]_0^R \quad (2)$$

¹ P. Lenard, Elster-Geitel, Festschrift 1915, p. 669.

P. Lenard und M. Klatt, Ann. d. Phys., 12, 439, 1903.

setzt man:

$$\frac{c}{k} e^{-kR} = \text{constans} = C,$$

so ergibt sich

$$H(R) = C \cdot (e^{kR} - 1). \quad (3)$$

Berechnet man diesen Ausdruck mit dem Absorptionskoeffizienten von Berndt, so bekommt man die in Fig. 8 punktiert gezeichnete Kurve. Die Gestalt der Kurve entspricht wohl den Messungen, die Übereinstimmung ist aber quantitativ nicht sehr befriedigend.

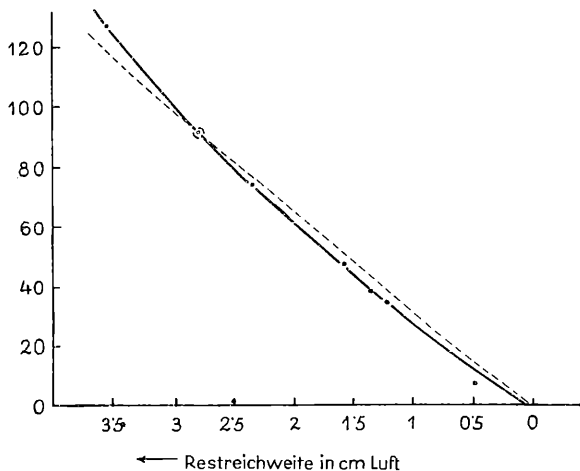


Fig. 8.

G. Berndt stellte seine Messungen aber jedenfalls an unzerstörtem, also auch unverfärbtem Zinksulfid, vor allem aber wohl an etwas größeren, wohlausgebildeten Kryställchen an, während das hier in Frage stehende Material verrieben, also sehr feinpulverig war. Für solche Substanzen gilt dann offenbar ein höherer Wert.¹ Berechnet man nun aus verschiedenen Punkten der experimentellen Kurve den Absorptionskoeffizienten, so erhält man untereinander gut übereinstimmende Werte, die im Mittel $k = 0.035$ für 1μ Zinksulfid ergeben. Wird mit diesem Koeffizienten gerechnet, so erhält man die ausgezogene Kurve der Fig. 8, welche mit den gemessenen Punkten recht gut übereinstimmt. Zum Vergleich sind die Werte in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Eine Messung des scheinbaren Absorptionskoeffizienten im Spektrophotometer für eine mittlere Wellenlänge von 518μ ergab einen noch etwas höheren Wert, nämlich 0.08 für 1μ Zinksulfid. Für

¹ P. Lenard. Heidelberger Ber., A, 13. Abh. 1914.

R in cm Luft	J beobachtet	J berechnet	
		für $k = 0.035$	$k = 0.006$
3.52	127	127	119
2.77	92	92.5	92
2.32	74	74.2	76.5
1.57	48	47	51
1.34	37.7	38.9	43
1.22	34.5	35.3	40
0.47	7.2	11.6	14

das etwas größere und unverfärbte geglühte Material ergibt die spektrophotometrische Messung erwartungsgemäß einen etwas geringeren Wert des Absorptionskoeffizienten, und zwar 0.04 für 1μ Zinksulfid. Der an und für sich hohe Wert des gemessenen Absorptionskoeffizienten ist erklärlich, wenn man bedenkt, daß an der obersten Schichte des Schirmes starke Reflexionen für das durchfallende Licht stattfinden, die dann natürlich einen viel höheren Absorptionskoeffizienten vortäuschen.

Dasselbe ungeglühte Material wurde noch weiter in dünner Schichte untersucht. Es war leider nicht möglich, eine Anzahl größerer Krystalle von 6 bis 7μ Tiefe zu eliminieren, deren Szintillationsfähigkeit nur in geringem Maße zerstört war.

Auf ihren Einfluß ist das Maximum in Fig. 9 bei 1.34 cm Luft $= 7 \mu$ Zinksulfid zurückzuführen. Es ist beinahe noch ausgeprägter als beim regenerierten Material, was seinen Grund darin hat, daß bei dem Schirm aus ungeglühtem Material praktisch fast überhaupt keine größeren Krystalle als die Gruppe zu 7μ vorhanden sind, so daß eine Verbreiterung des Maximums wie in Fig. 6 (regeneriertes Material) nicht erfolgt.

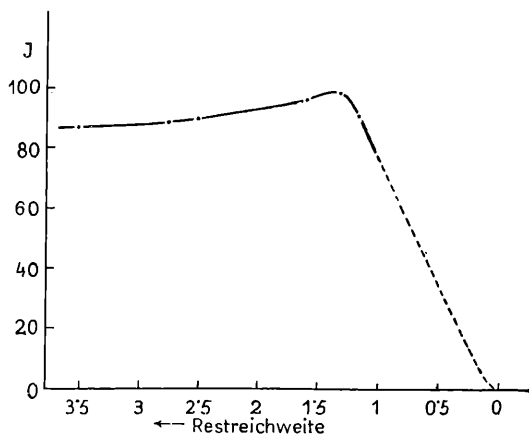


Fig. 9.

Versuche mit Diamant.

Verwendet wurde zuerst ein völlig farbloses Stück mit parallelen Grund- und Deckflächen von ungefähr 16 mm^2 und einer Höhe von 1.5 mm , was einem Luftäquivalent entspricht, das um ein Vielfaches größer ist als die maximale Reichweite der einfallenden Strahlung. Es wurde eine kreisförmige Fläche von 3 mm Durchmesser ausgeblendet. Die optische Absorption des Stückes war sehr gering. Es ist also in der Helligkeitskurve kein Einfluß derselben zu erwarten. Die Lumineszenz war verglichen mit gutem Zinksulfid bei gleicher Reichweite gering. Sie betrug bei maximaler Reichweite nur ungefähr 5% der Helligkeit im Zn S von »De Haën« in großen Körnern.

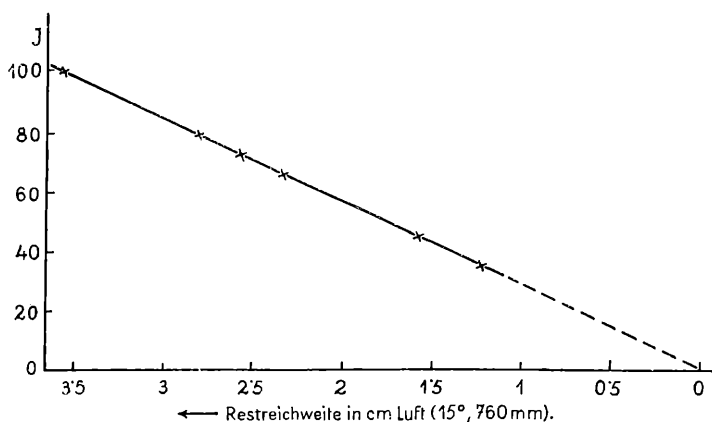


Fig. 10.

Dehnt man die Schlüsse, die aus den Beobachtungen an Zinksulfiden gezogen wurden, auf Diamant aus, so wäre nach den geschilderten Eigenschaften des Stückes ein geradliniger Verlauf der Helligkeitskurve zu erwarten. Tatsächlich zeigt Fig. 10 eine Gerade.

Es wurde nun noch ein zweiter Diamant untersucht, der eine zitronengelbe Färbung hatte. Seine Lumineszenz war auf die Flächeneinheit bezogen größer als die des farblosen Stückes. Fig. 11 stellt wieder den Zusammenhang zwischen der Intensität des Leuchtens und der Restreichweite der α -Teilchen dar. Ähnlich wie in Fig. 8 ist die Gerade etwas nach aufwärts gekrümmt, was der optischen Absorption im Diamant selbst entspricht. Die Lumineszenz konnte, da der Diamant sehr klein und daher die zur Photozelle gelangende Lichtmenge gering war, nicht unterhalb 2 cm Restreichweite weiter verfolgt werden.

Schließlich wurden noch Schirme gefertigt aus natürlichem Willemit und Troostit. Diese Substanzen standen uns leider nur in fein gepulvertem Zustand zur Verfügung. Die ganz dünnen Schirme,

die damit hergestellt werden konnten, ergaben bei maximaler Restreichweite der α -Teilchen bereits einen kaum meßbaren photoelektrischen Strom. Eine Verfolgung des Zusammenhangs zwischen Energie und α -Lumineszenz konnte daher an diesem Material nicht vorgenommen werden. Dasselbe Verhalten zeigte künstlich hergestellter Willemit (mit einigen Prozenten Mn-Zusatz¹).

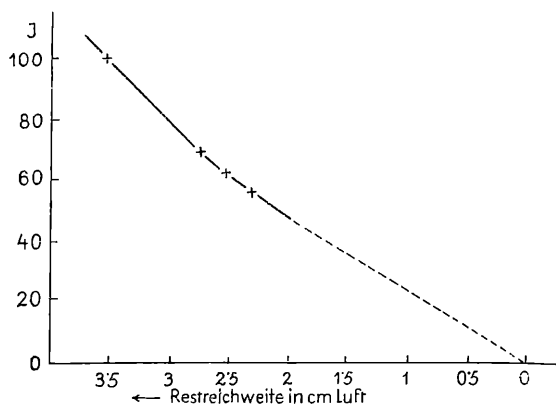


Fig. 11.

IV.

Allgemeine Bemerkungen.

Die durch die Messung eines photoelektrischen Stromes beobachtete Summationslumineszenz von α -Szintillationen hat, wie eben beschrieben wurde, einen sehr einfachen Zusammenhang zwischen der Intensität dieses Leuchtens und der Energie, beziehungsweise Restreichweite der α -Teilchen gezeigt. Für gewisse (»gute«) Szintillationssubstanzen herrscht Proportionalität mit der Energieabgabe. Für andere (»schlechte«) erhält man Proportionalität mit der Restreichweite bis zum vollen Durchsetzen des Kornes. Dabei ist es bis jetzt nicht möglich, für »gut« und »schlecht« absolute Angaben zu machen, da die Herstellungsart, Menge des Kupferzusatzes usw. uns nicht bekannt war. Bezogen auf das Zinksulfid von De Haën in großen Körnern als Vergleichssubstanz, erweisen sich Substanzen, welche Szintillationen von ungefähr 25% der Helligkeit der Vergleichssubstanz geben, bereits als »schlecht«. Dieser Unterschied ließe sich auf Grund einer Hypothese, die bereits an anderer Stelle² geschildert wurde, verstehen. Die Ergebnisse der

¹ Für die Überlassung solcher Proben sind Herrn Prof. Leitmeier zu bestem Dank verpflichtet.

² B. Karlik und E. Kara-Michailova, I.
B. Karlik, I. c.

Versuche an Einzelszintillationen finden durch die vorliegenden Versuche eine volle Bestätigung. Gleichzeitig wurden sie durch die Erweiterung des Versuchsmaterials (zerpulverte Substanzen in dicker Schicht, ungeglühtes Material, Diamant) noch ergänzt. Wie anfangs bereits erwähnt wurde, hat man einige Berechtigung anzunehmen, daß eine systematische Durchführung von ähnlichen Versuchen, wie sie hier beschrieben wurde, zu einer eingehenden Kenntnis des Szintillationsvorganges führen können. Von Interesse erscheint da in erster Linie die Frage, welche Art der in einem Phosphor vorhandenen verschiedenen Zentren in der Szintillationerscheinung wirksam ist. Um der Lösung dieser Frage näher zu kommen, sind weitere Versuche im Gang zwecks Untersuchung des Einflusses von β - und γ -Strahlung auf die Lumineszenz; ferner Versuche mit durch radioaktive Bestrahlung verfärbten Substanzen sowie Beobachtung der α -Lumineszenz in vorbelichteten und ausgeleuchteten Zinksulfiden. Ferner kann man einige Aufschlüsse erwarten von dem Studium der Zerstörung der Phosphore durch reine α -Strahlung, ähnlich den Versuchen von E. Marsden mit gemischter Strahlung und den Untersuchungen an radioaktiven Leuchtfarben.

Schließlich wird auch die Verfolgung der Temperaturabhängigkeit einige Aufklärungen geben können. Solche Versuche dürften auch beitragen zur Kenntnis des Aufbaues der Realkristalle¹ und einiges Neues aussagen über die Wechselwirkung von elektrisch geladenen schnellen Partikeln mit den Molekeln der Leuchtsubstanz.

Zusammenfassung.

Es wird eine Versuchsanordnung beschrieben, mit der die durch α -Strahlung aus Polonium in verschiedenen Substanzen erzeugte Lumineszenz mittels des photoelektrischen Stromes einer Rubidiumzelle gemessen wurde. Die Versuche ergaben, daß

1. für Zinksulfid die Intensität der Lumineszenz jedenfalls bis bis zu einer auffallenden Teilchenzahl von $2 \cdot 7 \cdot 10^5$ pro Sek. und mm^2 proportional derselben ist; größere Teilchendichten wurden nicht untersucht. Die Anordnung gestattet also auf verhältnismäßig einfache Weise große Präparatstärken (bis zu 12.000 el. st. E. und mehr) zu messen.

2. Eine Untersuchung der Abhängigkeit der Lumineszenzhelligkeit von der Partikelenergie ergab eine Proportionalität zwischen Helligkeit und Energieabgabe für gutszintillierende ZnS-Cu-Phosphore. Die optische Absorption des Szintillationslichtes im Zinksulfidmaterial selbst spielt dabei eine geringe, doch deutlich

¹ Die Zentren als Lockerstellen Kristall nach der Auffassung
A. Smekal.

nachweisbare Rolle. Für schlecht szintillierende Zinksulfidproben erweist sich die α -Lumineszenz als proportional der Restreichweite der Strahlung respektive der durchsetzten Schichtdicke bis zu einem Sattwert, der bei voller Durchsetzung des Krystalls erreicht wird. Dasselbe Verhalten zeigten zwei Diamantstücke. Diese Ergebnisse stimmen überein mit Messungen, die kürzlich an Einzelszintillationen durchgeführt wurden. Die damals gezogenen Schlüsse über die Natur des Szintillationsvorganges erfahren daher durch die vorliegende Untersuchung eine weitere Stütze.

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: 1928

Band/Volume: [137_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Karlik Berta, Kara-Michailova Elisabeth

Artikel/Article: [Mitteilungen des Institutes für Radiumforschung Nr. 222. Über die durch \$\alpha\$ -Strahlen erregte Lumineszenz und deren Zusammenhang mit der Teilchenenergie. 363-380](#)