

Mitteilungen des Institutes für Radiumforschung

Nr. 219

Über Kalium- und Rubidiumstrahlung

Von

Marie Kuban

(Mit 5 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 26. April 1928)

Außer den eigentlichen radioaktiven Substanzen, die alle in einer Beziehung zu den Elementen mit höchstem Atomgewicht, dem Uran und Thorium, stehen, ist noch bei den Alkalimetallen *K* und *Rb* eine analoge Strahlung, eine β -Emission nachgewiesen worden.¹

Alle Untersuchungen beim *K* und *Rb* darüber, ob die Aktivität nicht von Spuren beigemengter, stark aktiven Substanzen herrührten, führten zu keinem Erfolg: Die Strahlung beliebiger Kalium- und Rubidiumsalze war immer proportional dem Metallgehalt.²

Durch Absorptionsmessungen im Vergleich mit radioaktiven Elementen bekannter β -Strahlgeschwindigkeit fanden O. Hahn und M. Rothenbach³, daß die β -Strahlen des *Rb* weicher als die β -Strahlen des *Ra*, aber härter als die der β -Strahlen von UX_1 sind. Danach schließen sie auf eine durchschnittliche Geschwindigkeit $0\cdot90 c$ für die β -Strahlen des *K*. A. Holmes und R. W. Lawson⁴ bekommen als wahrscheinlichen Wert für die Geschwindigkeit der β -Strahlen von *K* $0\cdot85 c$. Die kinetische Energie per β -Strahl von *K* ist $7\cdot3\cdot 10^{-7}$ erg. Für *Rb* berechnen sie die Geschwindigkeit $0\cdot60 c$ und die kinetische Energie für einen β -Strahl $2\cdot04\cdot 10^{-7}$ erg.

Schon N. R. Campbell und A. Wood⁵ war es klar, daß die Kalium- und Rubidiumstrahlen nicht ein und derselben Art sein können, da Absorptionsversuche in *Sn* gezeigt haben, daß *Rb* eine

¹ N. R. Campbell u. A. Wood, Proc. Cambr., 14, 15, 1906.

N. R. Campbell, Proc., Cambr., 14, 211, 1907.

E. Henriot u. G. Vavon, C. R., 149, 30, 1909.

K. Bergwitz, Phys. Zeitschr., 14, 655, 1913.

² Über die umfangreiche Literatur siehe die zusammenfassenden Berichte:

J. Elster u. H. Geitel, Jahrb. d. Rad. u. Elektr., 10, 323, 1913.

M. C. Neuburger, Sammlung chem. u. chem.-techn. Vorträge, 26, 1921.
St. Meyer und E. v. Schweidler, Radioaktivität, 1927.

³ O. Hahn u. M. Rothenbach, Phys. Zeitschr., 20, 196, 1919.

⁴ A. Holmes u. R. W. Lawson, Nature, 620, 1926.

⁵ N. R. Campbell u. A. Wood, l. c., 1906.

sehr weiche, d. h. von geringer Schichtdicke eines absorbierenden Mediums zurückgehaltene, K aber eine härtere Strahlung emittiert,

Es sind bereits zahlreiche Absorptionsversuche gemacht worden¹ und bei diesen Messungen war die Intensität der β -Strahlen des K und Rb durch ihr Ionisationsvermögen ermittelt worden. Der Absorptionskoeffizient wurde nach dem einfachen Exponentialgesetz berechnet und zeigte, bei wachsender durchstrahlter Schichtdicke, eine Abnahme. Nach W. D. Harkins und W. G. Guy² wächst der Absorptionskoeffizient für KCl von $39\cdot6$ bis $55\cdot4\text{ cm}^{-1}$, wenn die Aluminiumfilter von $0\cdot0135$ bis $0\cdot0405\text{ cm}$ Dicke ansteigen; für $RbCl$ nimmt der Absorptionskoeffizient ab von 593 bis 522 cm^{-1} , für wachsende Aluminiumschichten $0\cdot0017$ bis $0\cdot0051\text{ cm}$. Diese auffallende Abweichung von den bisherigen Ergebnissen war der Anlaß, in den folgenden Untersuchungen die Absorption der Kalium- und Rubidiumstrahlen zu überprüfen. Es werden zunächst Absorptionsverhältnisse bestimmt:

- I. auf photographischem Wege,
- II. nach der Ionisationsmethode.

I. Absorptionsmessungen auf photographischem Wege.

K und Rb senden eine β -Strahlung von geringer Intensität aus, daher schien das photographische Verfahren sehr geeignet. Aus einer Anzahl von Untersuchungen³ geht hervor, daß Kalium- und Rubidiumverbindungen bei genügend langer Wirkungsdauer auf einer photographischen Platte einen Eindruck hervorbringen, der nach Entwicklung als Schwärzung sichtbar wird. Die relativen Aktivitäten sind bei den bisherigen Arbeiten durch visuelle Abschätzung der Schwärzungen der photographischen Platte ermittelt worden.

Im folgenden werden Versuche angestellt, um den Absorptionskoeffizienten des Al für die β -Strahlung des K und Rb quantitativ zu bestimmen.

Während der ganzen Arbeit wurde eine Plattengattung, »Ultra-Rapid« der Firma Lainer & Hrdlička verwendet. Auf die photographischen Platten wurden Holz- oder Kartonschablonen von 4 mm Dicke und von gleicher Größe mit der Platte gelegt. Aus diesen Schablonen waren acht quadratische Fenster von 15 mm Seitenlänge herausgestemmt worden. Es waren vier Reihen zu je zwei Fenster und nach Bedarf sind diese an der Unterseite mit

¹ St. Meyer u. E. v. Schweidler, Radioaktivität, p. 532, 1927.

² W. D. Harkins u. W. G. Guy, Wash., Proc., 11, 628, 1925.

³ N. R. Campbell, l. c., 1907.

M. Levin u. R. Ruer, Phys. Zeitschr., 9, 248, 1908.

W. W. Strong, Phys. Rev., 29, 170, 1909.

M. Levin u. R. Ruer, Phys. Zeitschr., 10, 576, 1909.

E. Henriot, l. c., 1910.

verschieden starken Al-Folien verschlossen worden. In diesen Vertiefungen waren die Salze von gleicher Korngröße locker gelagert. Die verwendeten Al-Folien waren alle lochfrei und ihre Dicke wurde durch Auswägen ermittelt.

Das Einlegen erfolgte in der Dunkelkammer. Die Platte wurde mit der Schichtseite nach oben in eine gleich große, lichtdichte photographische Schachtel hineingegeben und darauf die Holzschablonen gelegt. Bei den einzelnen Fensterreihen sind stets verschieden dicke Al-Filter gewählt worden. Die Fenster der ersten Reihe wurden nicht mit Al verschlossen, so daß in diesen Fenstern die Salze direkt auf der photographischen Platte zu liegen kamen.

Die eine Kolonne der Fenster wurde mit dem betreffenden radioaktiven Salz gefüllt; die zweite Kolonne blieb zur Kontrolle leer. Stets wurden Parallelversuche angestellt.

Auch das Aufbewahren erfolgte in der Dunkelkammer. Die Plattenschachteln wurden unter eine Glasglocke gegeben, unter der auch ein Gefäß mit CaCl_2 sich befand, um die Luft trocken zu halten.

Als Expositionszeit wurden 90 Tage gewählt, denn K. Przibram hatte bereits früher Versuche über die Einwirkung der Kaliumstrahlen auf die photographische Platte gemacht und als günstige Expositionszeit 3 Monate ermittelt.

Die Entwicklung der Platte erfolgte völlig im Dunkeln 5 Minuten lang mit frisch vorbereitetem Agfa-Rodinal-Entwickler 1:20. Die Platte wurde 3 Minuten in fließendem Wasser abgespült, 20 Minuten in saurem Fixierbad fixiert und 1 Stunde im fließenden Wasser gewässert. Künstlich beschleunigte Trocknung der Platte wurde vermieden.¹

Aus einigen Versuchen hat sich ergeben, daß es nicht gleichgültig ist, aus welchem Material die Schablonen sind. Ich verwendete kleine Karton-, Messing- und zweierlei Holzschablonen. Die einen waren aus Erlen- und die anderen aus Buchenholz. Alle Schablonen hatten, wie schon erwähnt wurde, die quadratisch ausgestemmtten Fenster. Die verschiedenen Schablonen wurden auf die photographischen Platten gelegt, diese wurden nach 90 Tagen entwickelt und man konnte folgendes beobachten: Der Teil der photographischen Platte, auf der die Messingschablone lag, war ganz klar ohne geringsten Schleier. Die Schablonen aus Karton und Buchenholz verhielten sich gegenüber der photographischen Platte ganz gleich. Auf der Platte zeigte sich ein geringer Schleier mit hellen quadratischen Feldern, entsprechend den quadratischen Fenstern der Schablone. Die Schablonen aus Erlenholz bewirkten jedoch einen kräftigen Schleier auf der photographischen Platte.

¹ Die photographischen Versuche wurden um vor jeder radioaktiven Verseuchung geschützt zu sein in der Biologischen Versuchsanstalt d. Akademie der Wissenschaften (Vivarium, Prater) ausgeführt. Für die Erlaubnis, die Dunkelkammer zu benutzen, bin ich Herrn Prof. Dr. Hans Przibram zu großem Dank verpflichtet.

Ähnliche Erscheinungen hat W. J. Russel¹ gefunden, und zwar, daß viele Hölzer und Fasern im Dunkeln auf die photographische Platte einwirken, wenn sie mit dieser in Berührung gebracht werden. Er schreibt dies der Wirkung von H_2O_2 zu, das von dem im Holz enthaltenen harzigen Substanzen erzeugt würde. Die Wirkung wird bei feuchter Luft noch gesteigert.

Da Messingschablonen sich gut bewährt haben, untersuchte ich noch, wie Aluminium auf die photographische Platte wirkt. Ich hatte die Holz- und Kartonschablonen auf der Unterseite und auch den Rand der Fenster mit Al-Folien beklebt. Die so behandelten Schablonen zeigten keinen Einfluß auf die photographische Schicht und wurden zu den weiteren Versuchen verwendet.

Die Kalium- und Rubidiumsalsze hatten auf der photographischen Platte eine dem Fenster der Holzschablone entsprechende quadratische Schwärzung hervorgebracht. Die Fläche des Quadrates war gleichmäßig geschwärzt. Visuell konnte man beobachten, daß *Rb* eine viel intensivere Schwärzung als *K* hervorruft.

Zum Ausphotometrieren wurden die Platten in kleine Streifen zerschnitten. Die Schwärzung wurde mit Hilfe eines Glan'schen Spektrophotometers² im Grün ermittelt. Es wurde immer der mittlere Teil des geschwärzten Quadrates ausphotometriert. Die Schwärzung ist definiert durch $S = \log_{10} \frac{i_0}{i}$ ³. Man mißt $\frac{i_0}{i}$, indem man das auffallende Licht mit dem durch die geschwärzte Platte gegangenen vergleicht. Außer den Schwärzungen wurde noch der Schleier (das ist die Trübung der unbelichteten Stellen) gemessen, der dann von allen Schwärzungen abgezogen wurde.

W. Bothe⁴ hat in seiner Arbeit über photographische Messungen der β -Strahlen gezeigt, daß für die Wirkung der β -Strahlen auf die photographische Platte das Bunsen-Roscoe'sche Reziprozitätsgesetz mit großer Genauigkeit gilt. Auch C. D. Ellis und W. A. Wooster⁵ bestätigen die Gültigkeit dieses Gesetzes. Die Schwärzung ist dem Produkte Intensität \times Expositionszeit proportional. $S = k(J \cdot t)$, *k* ist Proportionalitätsfaktor.

Im Verlauf der Schwärzungskurve für Licht und ebenso für korpuskulare Strahlen⁶ unterscheidet man: das Gebiet der Unterexposition, in dem die Zunahme der Schwärzung proportional mit der Belichtungszeit erfolgt; das Gebiet der Normalexposition, in dem die Schwärzung mit dem Log der Zeit zunimmt (für Licht beginnt

1 W. J. Russel, Proc. Royal Soc., 64, 409, 1899.

W. J. Russel, Zeitschr. f. phys. Chemie, 37, 118, 1901.

2 F. Kohlrausch, Lehrbuch d. prakt. Physik, p. 349, 13. Auflage.

3 J. M. Eder, Handbuch der Photographie, Bd. III, p. 221.

4 W. Bothe, Zeitschr. f. Phys., 8, 243, 1922.

5 C. D. Ellis und W. A. Wooster, Proc. Royal Soc., 114, March 1, 1927.

6 W. Bothe, Zeitschr. f. Phys., I. c., 1922.

H. Salbach, Zeitschr. f. Phys., 11, 107, 1922.

die Normalexposition bei $S = 0.9$, für korpuskulare Strahlen¹ bei der Schwärzung 0.35); das Gebiet der Überexposition, in dem die Schwärzung kaum merklich zu und schließlich wieder abnimmt (Solarisation).

Es wurde zunächst die Schwärzung als Funktion der Expositionszeit untersucht. Zu diesem Zwecke sind Schwärzungskurven

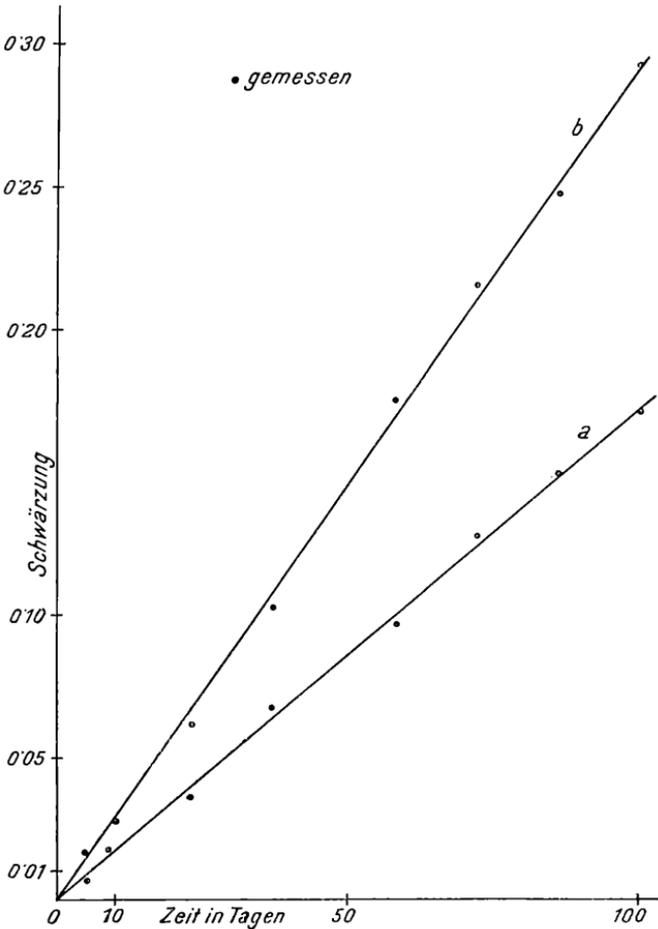


Fig. 1.

für KCl und RbCl aufgenommen worden. In beiden Fällen wurden die Fenster der Schablonen nach und nach in gewissen Zeitabschnitten mit Salz gefüllt. Wie Fig. 1 zeigt, erhält man nach Abzug der Schleierschwärzung lauter Gerade durch den Nullpunkt. Die Expositionszeit ist in Tagen angegeben. Kurve a gilt für KCl; Kurve b für RbCl und aus dem Verhältnis der Schwärzung bei

¹ C. D. Ellis und W. A. Wooster, I. 1927.

gleicher Expositionszeit ersieht man schon die größere Intensität der Rubidiumstrahlen. Aus den Kurven läßt sich noch entnehmen, daß die Schwärzung proportional der Expositionszeit ist und daß wir es mit sehr geringen Schwärzungen zu tun haben. Der höchste Wert der Schwärzung für RbCl für 100 Tage Expositionszeit erreicht nicht einmal den Schwärzungswert 0·3. Wir haben es hier mit Unterexposition zu tun. Es wurden zu verschiedenen Strahlintensitäten (indem in den Strahlengang verschieden starke Al-Folien eingeschaltet wurden) die Zeitskalen für *K* und *Rb* aufgenommen und immer erhielt ich nach Reduktion des Schleiers Gerade durch den Nullpunkt. Bis zu den kleinsten Schwärzungen herab ist die Schwärzung offenbar der Strahlintensität proportional. Alle Zeit- und Intensitätsskalen ergeben gerade Linien.

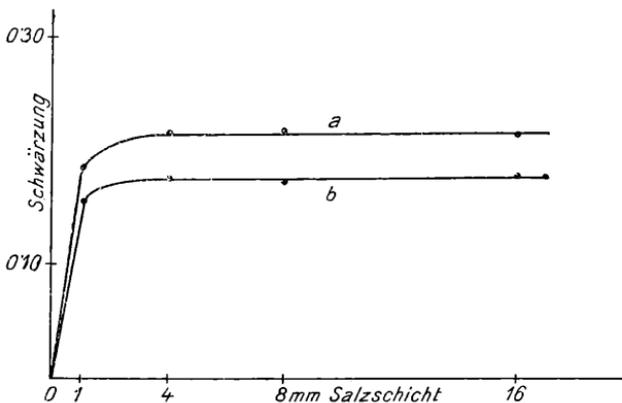


Fig. 2.

Es wurde auch beobachtet, wie sich die Schwärzung bei verschieden dicken Salzschriften verhält (Fig. 2). Als Ordinate wurde die Schwärzung und als Abszisse die Salzschrift in Millimeter eingetragen. Unter *S* wird im folgenden die Schwärzung verstanden, von der der Schleier schon abgezogen ist. Die Kurve *a* wurde aufgenommen bei direkter Strahlung, denn das KCl lag in der Schablone auf der photographischen Schicht und bei *b* war das Salz durch eine 0·005 *cm* starke Al-Folie von der photographischen Platte getrennt. Bei diesem Versuch wurden auf die photographische Platte Schablonen von 1, 4, 8 und 16 *mm* Dicke nebeneinander gelegt. Die Fenster der Schablonen wurden mit dem Kalisalz voll angefüllt. Bis zu einer Salzschrift von 1 *mm* erfolgt ein steiler Anstieg der Kurve, die bei ungefähr $2\frac{1}{2}$ bis 3 *mm* einen Wert erreicht, der konstant bleibt. Alle weiteren Versuche wurden bei der Sättigungsschicht von 4 *mm* aufgenommen.

Um die Resultate der verschiedenen Platten miteinander vergleichen zu können, wurden stets gleiche Expositionszeiten von 3 Monaten gewählt. Daß die Schwärzungen, die durch gleiche

Strahlintensität und Expositionszeit hervorgerufen worden sind, um einen kleinen Betrag variieren, liegt einmal in der Ungenauigkeit der photometrischen Meßmethode und weiters in den durch die geringen Verschiedenheiten der Platten hervorgerufenen Fehlern.

Es wurden viele Platten, aber stets von einer Plattensorte, bei gleicher Strahlintensität und Zeit exponiert und so konnte ich das Verhältnis zweier Plattenkonstanten durch Ausgleichung mittels

kleinster Quadrate ermitteln: $\frac{k}{k_1} = 1 \pm 0.20$. Die Schwankungen in

der Plattenkonstante k sind bedingt durch Ungleichmäßigkeiten im Guß der Platte und der empfindlichen Schicht, durch die Entwicklung und die Ungenauigkeit der photometrischen Messungen. Da man das Verhältnis zweier Plattenkonstanten kennt, so kann man Messungen der einen Platte auf die der zweiten Platte beziehen und sie in eine Tabelle oder Kurve aufnehmen.

Bei den geringsten Schwärzungen zeigte die Fehlerberechnung beim Ausphotometrieren immer einen relativ größeren Fehler. Ich suchte die Fehler so weit als möglich zu eliminieren, indem ich von einer beträchtlichen Anzahl der Messungen die Durchschnittswerte nahm. Außerdem vereinigte ich auf einer Platte Zeitskala und Absorptionsmessungen. Es wurde zu jeder durch die Schwärzung gemessenen Strahlintensität die Zeitskala exponiert. Diese Art der Durchführung ist ersichtlich in Tab. I und gibt von einer Platte für RbCl die gemessenen und berechneten Werte der Schwärzungen an. S ist die Schwärzung nach Abzug des Schleiers. In der ersten Kolonne der Tabelle sind die Dicken der Al-Schicht angegeben,

Tabelle 1.

Al-Schicht in <i>cm</i>	Zeit in Tagen	S gemessen	$k.J$	S berechnet
0	90	0.32437	0.00360	0.33404
	60	0.22920	0.00382	0.22260
			Mittel .. 0.00371	
0.002	90	0.13140	0.00146	0.14440
	60	0.10483	0.00174	0.09600
			Mittel .. 0.00160	
0.004	90	0.07706	0.00085	0.07646
	60	0.05088	0.00084	0.05094
			Mittel .. 0.00084	
0.007	90	0.04140	0.00046	0.03777
	60	0.02167	0.00036	0.02460
			Mittel .. 0.00041	

welche in den Strahlengang eingeschaltet wurden. Die durch die Al-Filter durchgelassene Strahlintensität J wird gemessen durch die Schwärzung S . Wir können aber J nicht allein ermitteln, sondern das $k \cdot J$. In unserem Fall ist S ein relatives Maß der Strahlintensität; das ist die Wirkung der durch die Filter durchgelassenen, verminderten Teilchenzahl. Aus dem Reziprozitätsgesetz folgt: $k \cdot J = \frac{S}{t}$.

Die Zeit wurde in allen Tabellen und Rechnungen in Tagen angegeben. k ist Proportionalitätsfaktor und zugleich Plattenkonstante. Da zu einem jeden $k \cdot J$, wie es die Tabelle zeigt, eine Zeitskala exponiert wurde, so kann durch lineare Interpolation ein genauer Wert der Schwärzung berechnet werden.

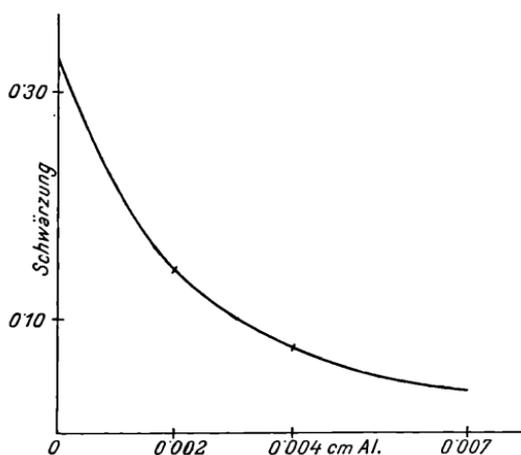


Fig. 3.

Auf diese Art und Weise wurden alle Absorptionsmessungen ausgeführt. Fig. 3 zeigt, wie sich die Schwärzungen verhalten, wenn in den Strahlengang von RbCl verschieden dicke Al-Filter von 0.002 bis 0.007 *cm* eingeschaltet werden. Als Abszisse ist die Dicke der absorbierenden Al-Schicht in Zentimeter, als Ordinate die Schwärzung angegeben, die ein relatives Maß der Strahlintensität ist. Es zeigt sich eine exponentielle Abnahme der Schwärzung mit wachsender Al-Schicht.

Auch für die Absorptionsmessung für K wurde dieselbe Anordnung getroffen. Auf jeder zu messenden Platte wurde Zeit und Absorptionsskala vereinigt. Die Absorptionsmessungen wurden so vorgenommen, daß zwischen radioaktivem Salz und photographischer Schicht Al-Folien eingeschaltet wurden. Fig. 4 gibt uns das Ergebnis der Absorptionsmessung der Kaliumstrahlung durch 0.001 bis 0.05 *cm* dicke Al-Schichten an. Als Ordinate wurde die Schwärzung, als Abszisse die Dicke der Al-Filter in Zentimeter gewählt. Die durch die Schwärzung gemessene Strahlintensität nimmt anscheinend

beim Durchgang durch wachsende Al-Schichten nach einer exponentiellen Kurve ab.

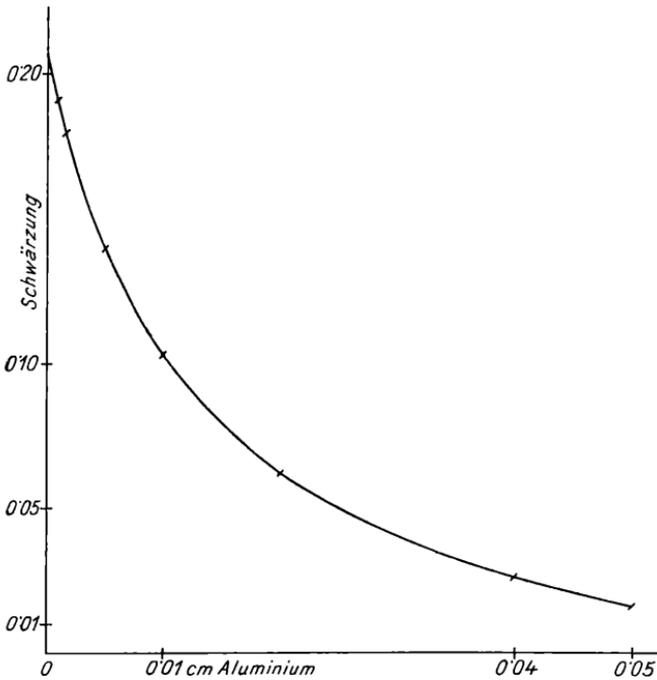


Fig. 4.

Aus Fig. 5 ersieht man die schnelle Absorption der weichen Strahlen von *Rb*, während die β -Strahlen des *K* viel härter erscheinen.

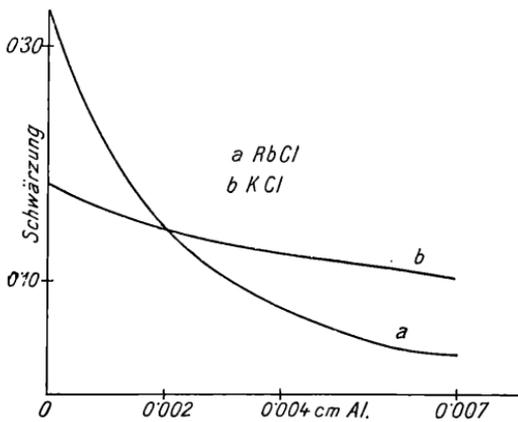


Fig. 5.

Zum Vergleich mit *Rb* wurden hier für *K* ebenfalls geringe absorbierende Al-Schichten gewählt.

Es wurde auch untersucht, wie sich die Schwärzungen auf der photographischen Platte von verschiedenen Kaliumsalzen verhalten.

Tab. II enthält Absorptionsversuche¹ für einige Kaliumsalze. Auch hier zeigt sich ein Abnehmen der Schwärzung mit wachsender absorbierender Aluminiumschicht. Die Schwärzungen bei den einzelnen Kaliumsalzen verhalten sich ungefähr wie der Prozentgehalt an Kalium. Es ergibt sich eine geringe Abweichung, die bedingt ist durch die verschiedene Dichte der Salze (Tab. III).

Tabelle II.

Salz	Metallgehalt in Prozenten an K	S bei 0·002 cm Al	S bei 0·005 cm Al	S bei 0·01 cm Al
KCl	52	0·19275	0·14287	0·10420
KJ	24	0·09360	0·07105	0·05217
KBr	33	0·12606	0·09493	0·07014
K ₂ SO ₄	45	0·16718	0·12540	0·09037

Eine große Zahl von Arbeiten über β -Strahlen verschiedener radioaktiver Elemente hat gezeigt, daß durch Absorptionsmessungen mittels Metallfiltern der wahre Absorptionskoeffizient nicht so einfach für die benutzten Metalle bestimmt werden kann. Die Verhältnisse werden durch das Auftreten verschiedener Momente sehr

Tabelle III.

Salz	Metallgehalt in Prozent an K	Strahlintensität in willk. Einheiten J	$\frac{J}{K}$ 10 ⁻³
KCl	52	0·19275	3·70
K ₂ SO ₄	45	0·16718	3·71
K ₂ CO ₃ (H ₂ O) ₂	45	0·16728	3·71
KNO ₃	39	0·14826	3·8
KBr	33	0·12606	3·82
KJ	24	0·09360	3·90

verwickelt. Beim Durchgang durch absorbierende Schichten tritt einmal eine allmähliche Geschwindigkeitsverringerung ein, dann erfolgt auch eine Verminderung der Teilchenzahl. Außerdem erfahren die Teilchen eine Richtungsänderung, eine starke Streuung und ein Teil der Korpuskeln verläßt die absorbierende Folie aus der Eintrittsfläche. Man spricht dann nach P. Lenard¹ von Rückdiffusion. Da aus dem bereits Gesagten mit der Absorption sowohl Streuung als auch Geschwindigkeitsabnahme verbunden ist und diese Einwirkungen sich nie ganz trennen lassen, so hat diese Absorptions-

¹ P. Lenard, Quantitatives über Kathodenstrahlen.

betrachtung keine einfache theoretische Bedeutung. Nach P. Lenard's¹ eingehender Darstellung über den Durchgang der β -Strahlen durch Materie ergibt sich folgende Auffassung.

P. Lenard unterscheidet zwei Grenzfälle: 1. den »Parallellfall« der β -Strahlen, der bei so dünner Schicht eintritt, daß die Zerstreung unmerklich bleibt. Die Verminderung der Teilchenzahl erfolgt nach einem Exponentialgesetz $Z_x = Z_0 e^{-\alpha_0 x}$. α_0 ist der wahre Absorptionskoeffizient, und dieses Gesetz gilt streng für homogene parallele Strahlen, die eine Schichtdicke $x_I = 0.0015 \text{ cm}$ durchsetzen. $x_I =$ Parallellfalldicke. 2. In den meisten Fällen liegt der »Normalfall« vor, in dem die Strahlen bereits eine Schichtdicke x_{II} (Normalfalldicke) durchsetzen und daher nach allen Richtungen gestreut worden sind. Einige Teilchen verlassen die Materie aus der Einfallsseite (Rückdiffusion). Der Weg der Elektronen setzt sich im Mittel aus dem Produkt der Schichtdicke und des Umwegfaktors B zusammen. Der Wert des Umwegfaktors, den P. Lenard aus Rückdiffusionsmessungen ableitet, ergibt sich aus der Rückdiffusions-

konstante p : $B = \frac{1+p}{1-p}$. Die Verminderung der Teilchenzahl erfolgt

daher bei Berücksichtigung der Streuung bei parallelen Strahlen nach einem Exponentialgesetz $Z_x = Z_0 e^{-\alpha_0 Bx}$. $B \alpha_0$ ist nach P. Lenard der praktische Absorptionskoeffizient und wird als α bezeichnet. Der praktische Absorptionskoeffizient α ist dem wahren α_0 proportional. Denn es gilt $\alpha = B \alpha_0$. Der Umwegfaktor B ist anscheinend unabhängig von der Geschwindigkeit und beträgt für Al 1.6 bis 1.8 im Geschwindigkeitsbereich von 0.92 bis 0.35 c .

Bei meinen Versuchen war das β -strahlende Salz in dicker Schicht vorhanden, so daß die Strahlen innerhalb der Schicht schon eine Ablenkung erfahren und bereits als schräge Strahlen auf die Al-Folie auftreffen. Unter der Voraussetzung, daß das exponentielle Gesetz gilt, tritt für nicht parallele Strahlen die Funktion $\Phi(\alpha_0 x)^2$ an Stelle $e^{-\alpha_0 x}$. Da aber beim Durchgang durch absorbierende Schichten vor allem eine starke Streuung auftritt, so muß noch ein Streuungsfaktor berücksichtigt werden. Als annähernden Faktor verwendete ich bei den Berechnungen des Absorptionskoeffizienten den Lenard'schen Umwegfaktor B . Für die Verminderung der Strahlintensität bei der Strahlung einer radioaktiven Flächenbelegung durch eine absorbierende Schicht ergibt sich die Gleichung:

$$J_x = J_0 \Phi(\alpha_0 Bx)^3$$

$B \alpha_0 = \alpha =$ praktischer Absorptionskoeffizient,
 $\alpha_0 =$ wahrer Absorptionskoeffizient.

¹ P. Lenard. Quantitatives über Kathodenstrahlen.

² Die Funktion $\Phi(\alpha_0 x)$, die in der »Radioaktivität« von St. Meyer und E. v. Schweidler (p. 84) abgeleitet ist, ist definiert durch:

$$\Phi(\alpha_0 x) = e^{-\alpha_0 x} + \alpha_0 x \cdot Ei(-\alpha_0 x).$$

³ St. Meyer und E. v. Schweidler, Radioaktivität, p. 85; 1927.

J_x ist die durch die Schwärzung gemessene Strahlintensität nach dem Durchgang durch eine bestimmte Al-Schicht von der Dicke x .

J_0 ist die durch die Schwärzung gemessene gesamte Strahlintensität.

In der Tab. IV ist der praktische Absorptionskoeffizient α und der daraus ermittelte wahre α_0 für Al der β -Strahlung des Rb aus

Tabelle IV.

$\alpha \text{ cm}^{-1}$	$\alpha_0 \text{ cm}^{-1}$	Aluminiumschicht cm
173	101	0·002
173	101	0·004
169	98	0·007

der oben angeführten Gleichung berechnet. Der Umwegfaktor B entspricht bei dieser Strahlung 1·71. Bei wachsender Aluminiumschicht ist nur eine sehr geringe Abnahme des Absorptionskoeffizienten zu beobachten. Ja man könnte sogar Konstanz des Absorptionskoeffizienten annehmen.

Tabelle V.

$\alpha = B\alpha_0$ cm^{-1}	α_0 cm^{-1}	Aluminium cm
28	17	0·001
31	19	0·002
28	17	0·004
27	16	0·005
28	17	0·010
27·6	17	0·020
28	17	0·040
29	17·8	0·050

Für die β -Strahlung des K erhielt ich ähnliche Verhältnisse. Da K eine durchdringendere Strahlung zeigt, so konnten Absorptionsversuche bis 0·05 cm Al ausgeführt werden. Tab. V gibt für K bei den einzelnen absorbierenden Aluminiumschichten den praktischen Absorptionskoeffizienten α und den wahren α_0 an. $B = 1·62$. In dem großen Meßbereich zeigt sich der Absorptionskoeffizient nahezu konstant.

II. Absorptionsmessungen nach der Ionisationsmethode.

W. D. Harkins und W. G. Guy¹ fanden nach der Ionisationsmethode, daß der Absorptionskoeffizient für KCl von 39·6 bis

¹ W. D. Harkins und W. G. Guy, l. 1925.

$55 \cdot 4 \text{ cm}^{-1}$ wächst, wenn die Al-Filter von $0 \cdot 0135$ bis $0 \cdot 0405 \text{ cm}$ ansteigen. Dies auffallende Ergebnis war der Anlaß, daß ich noch auf diesem Wege Absorptionsversuche für die β -Strahlung des K anstellte.

Die Absorption der β -Strahlung des K wurde gemessen, indem die Ionisation in einem abgeschlossenen Luftraum durch die Entladungsgeschwindigkeit eines geladenen Elektroskopes bestimmt wurde, nachdem die Strahlen verschieden dicke Al-Filter durchgesetzt hatten. Durch die Ionisationsmethode erhält man ein relatives Maß für die Strahlintensität.

Eine notwendige Voraussetzung ist, daß die Luft des Arbeitsraumes nicht radioaktiv verseucht ist, sonst übertreffen bei der Messung so schwacher Aktivitäten die Nebeneffekte die zu bestimmenden Größen und schließen von vornherein jede größere Meßgenauigkeit aus.¹

Ich benutzte ein Wulfsches Zweifadenelektrometer. Auf dem Kopf des Elektrometers wurde eine Metallplatte aufgeschraubt, während ein Metalltischchen von 14 cm Durchmesser mittels eines Stiftes an dem Fadenträger angebracht war. Ein seitlicher Stift, der den Träger des Tischchens berührte, diente zum Laden des Elektroskopes. Über das ganze war ein Topf aus verzinnem Eisenblech gestülpt. Das Gehäuse des Elektroskopes war geerdet.

Der Vorgang bei der Messung war folgender. Zuerst wurde die Geschwindigkeit der Bewegung des Quarzfadens des geladenen Elektroskopes für eine gewisse Anzahl Skalenteile (normale Zerstreuung) mehrere Male bestimmt. Dann wurde auf das Tischchen ein Schälchen mit dem radioaktiven Salz gegeben. Das Salz war in einer Sättigungsschicht von $2 \cdot 5 \text{ mm}$ auf dem kreisförmigen Schälchen von 14 cm Durchmesser gleichmäßig verteilt. Hierauf erhielt das Elektroskop dieselbe Ladung und man bestimmte wiederum die Zeit, bis der Quarzfaden die gleiche Anzahl Skalenteile zurückgelegt hatte. Aus diesen beiden mittels Stoppuhr gemessenen Zeitangaben läßt sich die durch die radioaktive Substanz bewirkte Spannungsabnahme berechnen.

Das radioaktive Salz war auf dem Schälchen in gleicher Dicke flächenförmig verteilt und die Strahlung wurde durch $0 \cdot 005 \text{ cm}$ dicke Al-Folien abgeschirmt. Von jedem Punkt der aktiven Fläche gehen Strahlen nach allen Richtungen aus und es muß berücksichtigt werden, daß bei der gewählten Anordnung man es nicht mit parallelen Strahlen, sondern mit Strahlen aller möglichen Richtungen zu tun hat. In diesem Fall wird bei der Berechnung des Absorptionskoeffizienten für die schräge Strahlung die Funktion $\Phi(\alpha_0, x)$ an Stelle von $e^{-\alpha_0 x}$ verwendet.² Bei Berücksichtigung der

¹ Die Ionisationsversuche wurden im I. phys. Institut ausgeführt. Für die Erlaubnis, den dortigen Raum zu benutzen, spreche ich Herrn Prof. Dr. E. Schweidler meinen verbindlichsten Dank aus.

² St. Meyer und E. v. Schweidler, Radioaktivität, p. 84, 1927.

Streuung ergibt sich dieselbe Berechnung für den praktischen Absorptionskoeffizienten α und den wahren α_0 , wie oben nach der Gleichung:

$$J_x = J_0 \Phi(\alpha_0 Bx) \quad \alpha_0 B = \alpha = \text{praktischer Absorptionskoeffizient}$$

$$\alpha_0 = \text{wahrer Absorptionskoeffizient}$$

$B = \text{Lenard's Umwegfaktor, } J_x \text{ relatives Maß der Strahlintensitäten}$

durch eine absorbierende Schicht x , J_0 relatives Maß der gesamten Strahlintensitäten.

Tab. VI enthält die nach dieser Methode berechneten Werte des praktischen Absorptionskoeffizienten α und des wahren α_0 . Ich

Tabelle VI.

$\alpha \text{ cm}^{-1}$	$\alpha_0 \text{ cm}^{-1}$	Aluminiumschicht <i>cm</i>
29.90	18.6	0.005
29.92	18.6	0.010
28.6	17.6	0.015
27.5	16.9	0.020

erhielt etwas höhere Werte als bei dem photographischen Verfahren. Der Absorptionskoeffizient nimmt innerhalb eines kleinen Bereiches bei wachsender Al-Schicht ab.

Die Messungsergebnisse W. D. Harkins und W. G. Guy¹ stehen nicht im Einklang mit meinen Resultaten, obwohl ihre Messungen auch mit einem flächenförmig verteilten Kaliumsalz bei Sättigungsschicht durchgeführt wurden. Sie berechnen den Absorptionskoeffizienten nach dem einfachen Exponentialgesetz und berücksichtigen auch die Streuung noch nicht. Ich hatte aus meinem Meß-

Tabelle VII.

Verfasserin		Harkins und Guy		
Al <i>cm</i>	$J_x = J_0 \Phi(\alpha_0 Bx)$ $\alpha = B \alpha_0$	$J_x = J_0 e^{-\alpha x}$		Al <i>cm</i>
	$\alpha \text{ cm}^{-1}$	$\alpha \text{ cm}^{-1}$	$\alpha \text{ cm}^{-1}$	
0.01	28.0	74	39.6	0.0135
0.02	27.6	60	↓	↓
0.04	28.0	51	55.4	0.0405

ergebnis nach dem einfachen Exponentialgesetz ohne Rücksicht auf Streuung den Absorptionskoeffizienten berechnet, um die so erhaltenen Werte mit denen von W. D. Harkins und W. G. Guy zu vergleichen (Tab. VII). Nach dem einfachen Exponentialgesetz erhalte ich ein Fallen des Absorptionskoeffizienten mit wachsender Al-Schicht, gerade das Gegenteil von W. D. Harkins. Der eine Wert des Absorptionskoeffizienten für 0.04 cm Al , nach dem einfachen Exponentialgesetz gerechnet, kommt dem einen Wert von W. D. Harkin für dieselbe absorbierende Schicht am nächsten. Die Abnahme des Absorptionskoeffizienten nach dem einfachen Exponentialgesetz kann nicht maßgebend sein, da diese Berechnung für den Absorptionskoeffizienten einer strahlenden Flächenbelegung nicht Geltung hat. Außerdem gilt $J_x = J_0 e^{-\alpha x}$ nur für den idealen Fall ohne Streuung.

Tabelle VIII.

Al <i>cm</i>	Verfasserin		Hahn und Rothenbach	Harkins und Guy	Al <i>cm</i>
	$J_x = J_0 \Phi(a_0 B x)$ $\alpha = a_0 B$		$J_x = J_0 e^{-\alpha x}$		
	$\alpha \text{ cm}^{-1}$	$\alpha \text{ cm}^{-1}$	$\alpha \text{ cm}^{-1}$	$\alpha \text{ cm}^{-1}$	
0.002	173	419		593	0.0017
0.004	173	368	347	↓	
0.007	169	311		522	0.0051

Für die β -Strahlung des *Rb* erhielten O. Hahn und M. Rothenbach¹ den Absorptionskoeffizienten $347 \text{ cm}^{-1} \text{ Al}$. Bei ihren Versuchen war ebenso wie bei W. D. Harkins und W. G. Guy weder Rückdiffusion noch gestreute Strahlung berücksichtigt worden. Sie berechnen auch den Absorptionskoeffizienten nach dem einfachen Exponentialgesetz. In der Tab. VIII ist der Absorptionskoeffizient nach der photographischen Methode, nach beiden Rechnungsarten aufgenommen worden. Nach dem einfachen Exponentialgesetz bekomme ich eine Abnahme des Absorptionskoeffizienten mit wachsender Al-Schicht, wie W. D. Harkins und W. G. Guy. Einen annähernd gleichen Wert erhalte ich mit O. Hahn und M. Rothenbach für die Absorption bei 0.004 cm Al . Mit W. D. Harkins' und W. G. Guy's Werten bekomme ich keine Annäherung, aber denselben Gang.

Aus meinen berechneten Absorptionskoeffizienten, bei Berücksichtigung der schiefen Strahlung und Streuung, könnte man mit

¹ O. Hahn und M. Rothenbach, I. 1919.

großer Wahrscheinlichkeit auf einen konstanten Absorptionskoeffizienten schließen und homogene Strahlen vermuten. Aber erst künftige Untersuchungen der magnetischen Spektren für die β -Strahlen des K und Rb werden uns über die Homogenität, beziehungsweise genauere Zusammensetzung dieser Strahlen Aufschluß geben.

G. Hoffmann¹ nimmt bei Rb noch eine weiche Strahlung mit $\mu = 900 \text{ cm}^{-1}$ Al an. Diese weiche Strahlung ging natürlich bei meinen Messungen bei Sättigungsschicht verloren. W. Kolhörster² hat bei Sylvin eine sehr harte Strahlung $\mu_{Fe} = 0.19 \text{ cm}^{-1}$ gefunden, die bei den obigen Messungen aber nicht in Betracht kam. In der Tab. IX habe ich das Verhältnis der Aktivitäten des Rb zu K aus einigen Arbeiten aufgenommen. G. Hoffmann arbeitet mit sehr dünnen Schichten, dadurch wurden die Einflüsse der Absorption der Strahlung innerhalb der Substanz sehr stark herabgesetzt. Er bekommt auch den größten Wert für die Aktivität des Rb . Aus meinen Messungen ergibt sich die Aktivität des Rb als geringer, weil bei den dicken Salzsichten alle weichen Komponenten nicht in Betracht kommen. Dasselbe gilt für die Werte von E. Henriot³ und W. D. Harkins und W. G. Guy.⁴

Tabelle IX.

		Rb : K	
Hoffmann4.1	1	bei dünnen Schichten
Verfasserin2.4	1	
Henriot2.0	1	bei satten Schichten
Harkins und W. Guy	.1.39	1	

Aus dem erhaltenen Intensitätsverhältnis kann man Schlüsse auf die Lebensdauer des K ziehen. A. Holmes und R. W. Lawson⁵ sowie andere Forscher erhalten aus der Relationierung U und Rb für Rb die Halbwertszeit 10^{11} Jahre. Für das ganze gewöhnliche K erhielten sie als Halbwertszeit $1.5 \cdot 10^{12}$ Jahre und in bezug auf das Kaliumisotop vom Atomgewicht 41 bekommen sie die Halbwertszeit $7.5 \cdot 10^{10}$ Jahre. Nach den Einschätzungen, wie sie A. Holmes und R. W. Lawson machen, erhalte ich für das Kaliumisotop vom Atomgewicht 41 die Halbwertszeit $1.31 \cdot 10^{10}$ Jahre.

Es ist aber nicht gesichert, daß gerade das Kaliumisotop vom Atomgewicht 41 für die Radioaktivität des K verantwortlich sei. Die Arbeiten von G. v. Hevesy⁶ und M. Biltz und H. Ziegert⁷ zeigen nur, daß das aktive Isotop ein größeres Atomgewicht als 39 hat. Man könnte daher auch einem anderen in geringer Menge vorhandenen Kaliumisotop vom Atomgewicht > 39 z. B. 40 die Radioaktivität zuschreiben. G. v. Hevesy konnte durch sorgfältig aus-

¹ G. Hoffmann, Zeitschr. f. Phys., 25, 177, 1924.

² W. Kolhörster, Naturwiss., 16, 28, 1928.

³ E. Henriot, l. c., 1912.

⁴ W. D. Harkins und W. G. Guy, l. c., 1925.

⁵ A. Holmes und R. W. Lawson, Phil. Mag., (7), 2, 1224, 1926.

⁶ G. v. Hevesy, Nature, Dec., 10, 1927.

⁷ M. Biltz und H. Ziegert, Phys. Zeitschr., 29, 197, 1928.

geführte Untersuchungen eine partielle Trennung der Kaliumisotope durchführen. Es wurden die einzelnen Fraktionen des K auf ihre Radioaktivität von M. Biltz und H. Ziegert sorgfältigst geprüft und sie fanden dabei, daß die Aktivität der schwereren Kaliumfraktion um $4.2 \pm 0.8\%$ größer ist als die des gewöhnlichen Kalium. Auch wurde von der schwereren Kaliumfraktion das Atomgewicht bestimmt¹ und dieses wurde um $0.005 (\pm 1)$ Einheiten größer als das des gewöhnlichen K gefunden.

Nach diesem Ergebnis kann man mit großer Wahrscheinlichkeit schließen, daß bei der Kaliumstrahlung es sich um eine Emission aus dem Kern der Atome handelt; danach wäre das Umwandlungsprodukt des K ein Ca-Isotop vom Atomgewicht des höheren aktiven Kaliumisotops und erst künftige Untersuchungen werden vollständige Klärung dieser Verhältnisse geben. Entscheidend und bedeutend für die Entdeckung des Endproduktes (Ca-Isotop) wäre die Bestimmung des Atomgewichtes des Ca, das aus geologisch sehr alten Kaliumlagern abgeschieden worden ist.²

Zusammenfassung.

W. D. Harkins und W. G. Guy hatten angegeben, daß der Absorptionskoeffizient für die β -Strahlen des KCl von 39.6 bis 55.4 cm^{-1} wächst, wenn Aluminiumfilter ansteigend von 0.0139 bis 0.0405 cm Dicke verwendet wurden; für RbCl nimmt hingegen nach diesen Autoren der Absorptionskoeffizient von 593 bis 522 cm^{-1} ab, wenn Aluminiumfilter von 0.0017 bis 0.0051 cm Dicke benutzt werden. Die Berechnung erfolgte trotz Verwendung flächenförmig verteilter Salze in dicker Schicht nach dem einfachen Exponentialgesetz ohne Rücksicht auf die Streuung der Strahlen.

Die vorliegenden Meßergebnisse beruhen auf Untersuchungen auf photographischem Wege und nach der Ionisationsmethode und berücksichtigen Strahlungsrichtung und Streuung aus dicker, strahlender Substanz. Danach werden für Kalium- und Rubidium- β -Strahlung konstante Absorptionskoeffizienten erhalten, und zwar für Kalium $\mu = 28 \text{ cm}^{-1}$, für Rubidium $\mu = 173 \text{ cm}^{-1}$ in Aluminium.

Aus dem erhaltenen Intensitätsverhältnis der Strahlungen von Rb:K = $2.4:1$ kann man Schlüsse auf die Lebensdauer des Kaliums ziehen. Nach der Art der Einschätzungen, wie sie A. Holmes und R. W. Lawson machen, erhält man unter der Annahme, daß das Kaliumisotop des Atomgewichtes 41 für die Aktivität maßgeblich sei, für K_{41} eine Halbwertszeit $T = 1.31 \cdot 10^{10}$ Jahre. Sollte ein Isotop anderen Atomgewichtes (> 39) hierfür in Frage kommen, so würde diese Zahl eine Abänderung erfahren müssen.

¹ Die Bestimmung des Atomgewichtes der zurückgebliebenen schweren Kaliumfraktion hat O. Hönigschmid ausgeführt.

² St. Meyer und E. v. Schweidler, Radioaktivität, p. 534, 1927.

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): Kuban Marie

Artikel/Article: [Mitteilungen des Institutes für Radiumforschung Nr. 219. Über Kalium- und Rubidiumstrahlung. 241-257](#)