

12. *Beiträge zur Kenntniss der Becquerelstrahlen; von O. Behrendsen.*

Seit der Entdeckung der Uranstrahlen durch Becquerel wurde über deren Wesen und Eigenschaften namentlich nach zwei Richtungen hin weiter gearbeitet. Einmal gelang es G. C. Schmidt¹⁾, die nämliche Strahlung an Thorverbindungen, sowie dem Ehepaar Curie²⁾ an neuen, ganz besonders radioactiven Substanzen, dem Polonium und Radium nachzuweisen. Andererseits bemühte man sich, die Energiequelle für die so räthselhafte Strahlung ausfindig zu machen; in dieser Richtung haben die Herren Elster und Geitel³⁾ Versuche angestellt.

Meine hier mitzutheilenden Versuche sollten hauptsächlich den Einfluss der Temperatur auf die Intensität der Becquerelstrahlen studiren, um dadurch zur Lösung der Energiefrage einen geringen Beitrag zu liefern. Doch sollen auch noch einige andere, die Strahlung betreffende Fragen im Folgenden berührt werden.

I. Fluorescenzerregung durch Becquerelstrahlen und Polarisirbarkeit derselben.

Eine Reihe von Vorversuchen, die ich mit Becquerelstrahlen vornahm, bestätigten wiederum, dass sich dieselben ganz wie Röntgenstrahlen verhalten. Dies zeigte sich auch darin, dass die von Joachimsthaler Pechblende ausgesandten Strahlen in einer Flussspathplatte Fluorescenz zu erregen vermochten, ähnlich wie Winkelmann⁴⁾ dies bei Röntgenstrahlen zuerst nachgewiesen hat.

Dazu wurde ein Blatt sehr empfindlichen Bromsilberpapiers (Negativpapier von Moh) mit der Schichtseite auf eine grosse Flussspathplatte gelegt. Auf die Rückseite des Papiers legte ich ein Stück Joachimsthaler Pechblende so, dass es

1) G. C. Schmidt, Wied. Ann. 65. p. 141. 1898.

2) P. Curie, M^{me} Curie et Bémont, Compt. rend. 127. p. 1215. 1898.

3) J. Elster u. H. Geitel, Wied. Ann. 66. p. 735. 1898.

4) A. Winkelmann, Wied. Ann. 59. p. 324. 1896.

etwas über den Rand der unter dem Papier liegenden Platte hinausragte. Nach 45 Stunden Belichtung zeigte sich dort, wo die Bromsilberschicht dem Flussspath aufgelegt hatte, eine sehr viel intensivere photographische Wirkung, als da, wo dies nicht der Fall gewesen war; es hob sich infolgedessen die Contour der Platte deutlich auf dem Bilde ab.

Liess man die Strahlen der Pechblende auf der Rückseite des Papiers durch die Schicht desselben hindurch auf die Bromsilberschicht wirken, während diese dem Flussspath auflag, so erhielt man schon nach sechs Stunden (bei gleicher Entwicklungsdauer) die nämliche Schwärzung, wie in 24 Stunden, wenn die empfindliche Schicht nur einer Glasplatte auflag.

In einer seiner ersten Abhandlungen über Uranstrahlen hatte Becquerel¹⁾ auf photographischem Wege eine Polarisation der Uranstrahlen nachgewiesen. Nachdem G. C. Schmidt²⁾ gezeigt, dass ihm eine Polarisation bei Thorstrahlen nicht gelungen und auch Rutherford³⁾ dieselbe nicht bei Uranstrahlen erhalten, berichtete Becquerel⁴⁾, dass spätere Versuche, die er sowohl mit Uran- als Radiumpräparaten ausgeführt habe, ebenfalls erfolglos verlaufen seien. Er schliesst daraus auf ein verschiedenes dichroitisches Verhalten der Turmalinplatten, die zur Verwendung kommen. Ich habe den Versuch *viermal*, jedesmal mit ganz verschiedenen Plattencombinationen, *ohne jeden Erfolg* wiederholt. Ich möchte demnach doch annehmen, dass Becquerelstrahlen überhaupt nicht polarisierbar seien und dass es nicht an einer abweichenden Beschaffenheit mancher Turmaline liegen kann, wenn der Versuch nicht gelingt. Uebrigens giebt Becquerel nicht an, ob er später andere Turmalinplatten verwandt habe, wie bei seinen ersten Versuchen.

II. Einfluss der Temperatur auf die Strahlungsintensität.

A. Untersuchte Substanzen.

Zur Verwendung kamen als strahlengebende Substanzen zunächst zwei tiefschwarze, sehr reine Stücke von Joachims-

1) H. Becquerel, Compt. rend. 122. p. 767. 1896.

2) G. C. Schmidt, Wied. Ann. 65. p. 141. 1868.

3) E. Rutherford, Phil. Mag. 47. p. 109. 1898.

4) H. Becquerel, Compt. rend. 128. p. 771. 1899.

thaler Uranpecherz, das eine 96,5 g, das andere 125 g schwer; diese Stücke sollen im Folgenden als Stein I und II bezeichnet werden. Stein III ist ein unreines, von Ganggestein durchsetztes Stück Joachimsthaler Pechblende.

Stein IV hat eine Masse von 38 g, Stein V von 30 g, Stein VI von 26 g. Diese drei letztgenannten Stücke sind weniger glänzend, mehr grauschwarz; ihr Fundort ist unbekannt. Einen Theil dieses Materials verdanke ich den Herren Prof. Dr. Liebisch und Dr. v. Braun in Göttingen, denen ich hiermit verbindlichst danke, ebenso Hrn. Dr. Goldschmidt in Essen, der mir ein 24 g schweres Stück von Uranmetall gütigst zur Verfügung stellte, welches Moissan in Paris in einem elektrischen Ofen durch Reduction von Uranoxyd mit Knochenkohle hergestellt hat. Diese Darstellung gestattet die Annahme, dass das Uranmetallstück keine Spur der Curie'schen Substanzen mehr enthält, welche schon bei viel niedrigeren Temperaturen, als sie im elektrischen Ofen auftreten, flüchtig sind.

Eine Substanz, die in weit höherem Maasse radioactiv sich zeigte, als das wirksamste Uranpecherz, wurde dadurch erhalten, dass in einem Tiegel ein nicht zu grosses Quantum möglichst sorgfältig gepulverten Pecherzes geglüht wurde, während der Tiegel sorgfältig mit einem Metallschälchen bedeckt war, welches Wasser enthielt und folglich keine höhere Temperatur als 100° annahm.

Es setzte sich dann an der Deckfläche eine bald schwarzbraune, bald mehr gelbliche oder röthliche Substanz an, die sehr radioactiv war und offenbar eine oder beide der Curie'schen Substanzen (Polonium, Radium) enthielt. Wir wollen im Folgenden diese Substanz mit dem Namen „X-Sublimat“ bezeichnen.

Die Intensitäten der von diesen drei Substanzen, Uranmetall, Joachimsthaler Pechblende, X-Sublimat, ausgehenden Strahlungen wurden gemessen und verhielten sich wie 1 : 8,47 : 52,24.

Ich möchte hierbei bemerken, dass es keineswegs allein die Joachimsthaler Pechblende ist, welche diese radioactiven Substanzen liefert. Auch die Schneeberger und eine andere Pechblende unbekannter Herkunft (der die Stücke IV—VI

angehören) gaben das „X-Sublimat“, wenn auch nicht so rein, sondern namentlich mit arseniger Säure vermenget.

B. Methode der Messung.

Zur Untersuchung der Intensität der Becquerelstrahlung und der Beeinflussung derselben durch Temperaturveränderungen der strahlenden Substanz wurde die Entladungsmethode verwandt. Dabei wurde die Zeit gemessen, welche verfloss, bis die Blättchen des Elektroskopes um zwei bez. einen Theilstrich einer willkürlichen Scala unter dem Einflusse der Strahlung zusammengingen. Dieser Entladungsvorgang wird bekanntlich durch eine Ionisirung der Gasart erklärt, in welcher die Strahlung stattfindet.

Zur Verwendung kam ein Goldblattelektroskop E mit nur 12 mm langen und 1,8 mm breiten Blättchen, welche an einem dünnen Drahte sitzen, der oben in ein kleines Kügelchen von nur 3 mm Durchmesser endet. Der obere Theil des Drahtes ist horizontal zur Seite gebogen. Das Ganze sitzt in einem Metallgehäuse H , dessen Deckel eine über dem Kügelchen befindliche Oeffnung O von 15 mm Durchmesser besitzt und unten mit zwei seitlichen, diametral angebrachten Löchern O_1 zur Beobachtung der Blättchen versehen ist. Das Instrument hat nur geringe Capacität, allerdings ist auch die Eigenentladung desselben verhältnissmässig erheblich. Dicht hinter einer der seitlichen Oeffnungen steht eine Mattscheibe mit einer aus verticalen Theilstrichen bestehenden Scala; vor die andere Oeffnung ist in einiger Entfernung eine Linse gestellt zur genauen Beobachtung der dadurch vergrösserten Blättchen und der Scalenstriche. Um eine Parallaxe zu vermeiden, wird durch einen wenige Centimeter vor der Loupe stehenden Diopter gesehen. Geladen wurde das Elektroskop durch eine Zambonisäule.

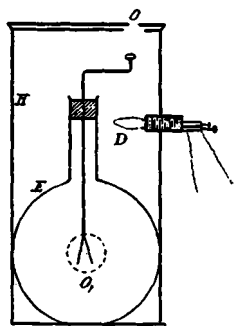


Fig. 1.

Auf die Oeffnung, welche durch eine aufgesetzte, mit einem Loche versehene Bleischeibe noch verkleinert werden konnte, wurde die strahlende Substanz stets mit derselben

Fläche gelegt. Die Entladungszeiten wurden in Secunden notirt, wobei zur Messung bei grösseren Zeiträumen die Taschenuhr, bei kürzeren ein Secundenpendel benutzt wurde, das hörbar die Secunden angiebt.

Den von den Herren Elster und Geitel¹⁾ zuerst angegebenen, bei Versuchen mit Becquerelstrahlen gewöhnlich gebrauchten Apparat, bei welchem die strahlengibende Substanz auf die untere zweier Platten in pulverförmigem Zustande gebracht wird, während die obere mit einem Elektrometer verbunden ist, glaubte ich bei meinen Versuchen nicht verwenden zu können. Einmal durfte ich manche der mir zur Verfügung stehenden Substanzen nicht pulverisiren, dann aber schien mir die Oberfläche eines pulverförmigen Materiales viel zu variabel zu sein und von zu vielen Nebenumständen abzuhängen, als dass sie für vergleichende Messungen hätte wünschenswerth sein können.

Vor allem aber hätte eine Erwärmung bez. Abkühlung der unteren Platte eine Convection der ionisirten Luft nach oben bez. unten zur Folge gehabt, welche eine Beschleunigung oder Verzögerung der Entladung mit sich gebracht hätte, derart, dass man kein richtiges Urtheil über den Einfluss der thermischen Variation hätte gewinnen können. Bei meiner Anordnung zeigt aber eine infolge von Erwärmung der strahlenden Substanz auftretende Beschleunigung der Entladung, oder eine Verlangsamung derselben bei Abkühlung an, dass *trotz der Convection* eine wirkliche Variation des Strahlungsvermögens eintritt.

C. Eigenentladung und Correction der zu beobachteten Zeiten.

Die schon vorher erwähnte Selbstentladung des Elektroskopes musste bei den beobachteten Entladungszeiten selbstredend mit in Rechnung gezogen werden, um die wirklichen, der Strahlung allein zukommenden Zeitwerthe zu ermitteln. Bezeichnet a die Zeit der Eigenentladung des Instrumentes, t die beobachtete Entladungszeit unter dem Einfluss der Strahlung,

1) J. Elster u. H. Geitel, Wied. Ann. 44. p. 722. 1891.

so ist die allein den Becquerelstrahlen zukommende Entladungszeit x durch die Gleichung gegeben:

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{a} = \frac{1}{t},$$

mithin ist

$$x = t \cdot \frac{a}{a - t}.$$

Vermittelst dieser Formel wurden im Folgenden die beobachteten Zeiten sämtlich umgerechnet. Die Zeit a der Eigenentladung des Elektroskopes wurde durch zahlreiche Versuche für trockenes und feuchtes Wetter bestimmt. — Um auch zu erfahren, ob dieselbe durch Temperaturdifferenzen in dem Luft-raum alterirt wurde, in dem sich die Strahlung geltend macht, wurde unterhalb des Elektroskopskugelchens eine feine Platinspirale (Fig. 1, D) in das Gehäuse eingeführt, welche zu einem Ringe gebogen war. Durch diese Spirale wurde der Strom eines Bunsenelementes geleitet. Infolge der Erwärmung des Drahtes trat auch oberhalb des Knopfes Erwärmung der Luft ein, die in der Strecke zwischen dem Knopf und der über ihm liegenden Deckelöffnung $35 - 43^\circ$ betrug. Die Zeiten der Eigenentladung sind für diese Fälle aus folgender Tabelle ersichtlich.

	trockene Luft		feuchte Luft
t	20°	$35 - 63^\circ$	20°
3	615	619	600
2	350	358	330
1	—	—	—

In dieser und allen folgenden Tabellen bedeuten die Zahlen in der Reihe mit t die Temperaturen, in der Columne vor dem Verticalstrich stehen die Scalentheile, rechts davon die Entladungszeiten in Secunden.

Es zeigt sich somit, dass bei einer Erwärmung des Strahlungsraumes keine wesentliche Aenderung der Eigenentladung eintritt. Auch bei feuchtem Wetter ist der Einfluss desselben auf die Eigenentladung nicht erheblich.

D. Erwärmung und Abkühlung der strahlenden Substanzen.

Die untersuchten Stücke von Uranpecherz wurden, nachdem ihr Verhalten bei Zimmertemperatur beobachtet worden

war, in einem Trockenschranke erwärmt; ein das Stück jedesmal berührendes Thermometer zeigte wohl mit ziemlicher Sicherheit die Temperatur, bis zu welcher das Pecherzstück erwärmt worden war. Dasselbe wurde dann mit Watte bedeckt auf die Elektroskophülle über die Oeffnung gelegt und zwar stets mit der nämlichen Fläche. Die Stücke III—IV wurden ausserdem in einem Gasgebläse bis zum Rothglühen erhitzt und dann hinsichtlich ihrer Strahlungsfähigkeit beobachtet. Jeder weiteren Beobachtung ging ein erneutes Glühen des Stückes voraus.

Das Uranmetallstück wurde in ein weites Reagenzrohr gebracht, in welches gleichzeitig ein Thermometer hineingesteckt war; das Reagenzrohr wurde dann in heisses Oel getaucht und gewartet bis das Thermometer die gewünschte Temperatur anzeigte. Darauf wurde das Uranstück mit Watte überdeckt auf die Elektroskopöffnung gelegt.

Um die Erwärmung des X-Sublimats vornehmen zu können, wurde ein röhrenförmiges, 20 cm langes und 3,5 cm breites, unten geschlossenes Gefäss aus Weissblech benutzt, welches unten mit etwas übergreifendem Rande auf einen Tiegel passte. So wurde auf die äussere Bodenfläche ein Ueberzug von X-Sublimat niedergeschlagen. Zur Erwärmung wurde heisses Oel in das Gefäss gegossen. Die strahlende Fläche erhielt auf diese Weise (vielleicht bis auf eine geringe Differenz) die Temperatur des Oeles.

Zur Abkühlung wurde für das Pecherz ein cylindrisches Metallgefäss construiert, 20 cm im Durchmesser und 15 cm hoch, in dessen Mitte ein kleineres, nur 6 cm im Durchmesser haltendes, und 5 cm hohes Gefäss *a* eingefügt war. Durch den Deckel desselben ging ein Toluolthermometer für tiefe Temperaturen hindurch. Im Boden dieser inneren Zelle befand sich eine 2 cm grosse Oeffnung *o*, durch welche die Strahlung hinaustreten konnte. In der

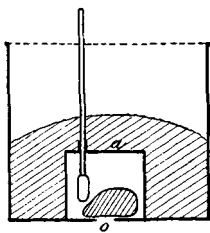


Fig. 2.

Zelle wurde ein Stück Pechblende nebst einem Stück Chlorcalcium untergebracht; die Bodenöffnung wurde über die Oeffnung der Elektroskophülle gestellt.

Die Abkühlung wurde zunächst durch eine Kältemischung

von Kochsalz und Eis, dann durch feste Kohlensäure besorgt, mit welcher die innere Zelle umgeben wurde.

Um ein Beschlagen der strahlenden Fläche thunlichst zu verhindern, wurde bei der Abkühlung mit fester Kohlensäure, bei welcher die Temperatur des Uranpecherzes auf -53 bis -57° sank, der ganze Apparat in einen Glaskasten (kleiner Abzug) gestellt, dieser überall möglichst luftdicht gemacht. Doch musste eine Oeffnung zum Durchstecken der Hand gelassen werden, die indessen durch eine doppelte Sammetdecke fest verschlossen und jedesmal nur wenige Secunden geöffnet wurde. In dem Glaskasten befanden sich vier grosse, flache Schaalcn mit Schwefelsäure, auch das Kühlgefäss mit der Pechblende stand stets auf einer solchen; sie wurde nur auf eine kurze Zeit von derselben abgehoben, während sie zur Strahlungsbeobachtung über das Elektroskop gesetzt wurde. —

Für die Strahlungsversuche mit abgekühltem Uranmetall und X-Sublimat wurde ebenfalls zur Verhütung eines Beschlagens der strahlenden Fläche folgende Einrichtung getroffen. In ein grosses cylindrisches Standgefäss von Glas *G* wurde das Elektroskop *E* auf einen Glasfuss *F* gesetzt, welcher von Schwefelsäure *S* umflossen war (vgl. Fig. 3). Ueber die Oeffnung des Standgefässes wurde ein Sack *B* von Gummizeug gebunden; in diesen waren durch zwei Löcher hineingesteckt und ebenfalls fest und luftdicht eingebunden, erstens eine dickere Glasröhre *R*, in welche unten das Uranmetall eingekittet war, sodass seine ebene, metallische Oberfläche *U* unten herausragte, zweitens eine ganz dünne Glasröhre *L*, in die ein mit zwei Kügelchen endender Platindraht eingeschmolzen war, zur Ladung des Elektroskopes bestimmt.

Statt der Uranröhre wurde das oben erwähnte röhrenförmige Metallgefäss in den Gummisack eingefügt, als es sich um Abkühlungsversuche des X-Sublimates handelte, welches ja als Niederschlag auf der äusseren Bodenfläche sich befand. In dieses Metallrohr, bez.

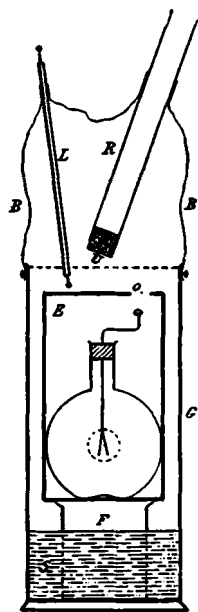


Fig. 3.

in die Glasröhre mit dem eingekitteten Uranmetall wurde feste Kohlensäure hineingestopft — bei der *X*-Sublimatuntersuchung noch mit Aether vermischt — sodass die Temperatur hier bis auf -80° sank. Vorher wurde jedoch der Apparat jedesmal 48 Stunden stehen gelassen, ehe er zur Messung gebraucht wurde. Es konnte dann auf ein völliges Trockenwerden der Luft gerechnet werden.

E. Messungsergebnisse.

1. Uranpecherz.

Die einzelnen Stücke wurden stets bei Zimmertemperatur ($17-21^{\circ}$) untersucht, dann erwärmt beobachtet und wiederum erkalten gelassen, wobei oft mehrere Tage zwischen Erwärmung und darauffolgender Wiederabkühlung lagen. Die hier mitgetheilten Zahlen sind Mittelwerthe aus einer ganzen Reihe von gewöhnlich sehr gut untereinander stimmenden Zahlen. Bei der Erwärmung der Pechblende auf $110-130^{\circ}$ wurde meist ein leichter Geruch nach schwefliger Säure bemerkt; derselbe steigerte sich zunächst beim Glühen der Steine erheblich, wobei dann ausserdem meist noch eine durch ihren Knoblauchgeruch sich verrathende Ausscheidung von arseniger Säure auftrat. Nach längerem Glühen verschwand beides.

a) Erwärmungen.

	Stein I.			Stein II.			Stein III.					
<i>t</i>	20°	110°	18°	20°	110°	20°	20°	130°	glühend			
3	63	53	60	57	51	58	100	79	99	105	119	108
2	36	32	34	32	29	31	58	44	57	62	77	64
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Stein IV.

<i>t</i>	20°	135°	glühend		20°	glühend	20°
3	101	88	188	181	142	162	90
2	52	45	104	104	75	80	51
1	—	—	—	—	—	—	—

Stein V.

<i>t</i>	17°	120°	16°	glühend			
3	92	89	91	181	206	213	254
2	58	44	49	88	104	111	149
1	—	—	—	—	—	—	—

Stein VI.

<i>t</i>	19°	20°	glüh.	20°	glüh.	21°	glüh.	20°	glüh.	20°	glüh.	20°
3	162	163	169	159	174	167	182	167	189	191	223	166
2	93	93	99	86	91	88	100	87	97	101	113	89
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

b) Abkühlungen.

Stein I.

<i>t</i>	+19°	-15°	-16°	-16,5°	-17°	-17°	+20°
3	60	64	66	65	69	76	67
2	34	40	39	77	38	52	40
1	—	—	—	—	—	—	—

Stein II.

<i>t</i>	15°	15°	-53°	-61°	-58°	-53°	15°	15°	-57°	-65°	-66°
3	122	124	235	220	215	195	109	128	173	169	160
2	69	71	120	126	121	115	60	77	100	95	91
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Für diese letzte Beobachtungsreihe ist zu bemerken, dass dabei die Entfernung der strahlenden Fläche vom Elektroskopkugélchen grösser war als bei der ersten (Stein I).

Fassen wir die in den obenstehenden Tabellen zum Ausdruck kommenden Erscheinungen zusammen, so ist folgendes hervorzuheben: Bei tieferen Temperaturen (-60°) findet eine auffällige Verminderung der Strahlungswirkung statt. Bei darauffolgender Erwärmung auf normale Temperaturen ($+20^{\circ}$) erhebt sie sich wieder auf ihre alte Intensität. Findet eine abermalige Steigerung um etwa $80-100^{\circ}$ statt, so pflegt eine Erhöhung der Strahlungsfähigkeit einzutreten. Dieselbe sinkt aber bei einer Steigerung der Temperatur bis zum Rothglühen

nicht allein auf die alte Grösse, sondern oft noch wesentlich weiter. Angesichts der Curie'schen Entdeckung lässt sich vermuthen, dass beim Glühen der Pechblende eine Ausscheidung der so viel radioactiveren Substanzen eintritt und hierauf das Herabgehen der Strahlungsfähigkeit beruht.

c) Convectionseinflüsse bei der Strahlung der Pechblende.

Durch die Erwärmung der strahlenden Substanzen muss eine Convection der ionisirten Luft nach oben hin zu Stande kommen, welche eine Verlangsamung der Strahlungswirkung zur Folge haben muss. Um über dieselbe wenigstens bis zu einem gewissen Grade ein Urtheil zu gewinnen, wurde durch die oben erwähnte Platinschlinge (*D*, Fig. 1) wiederum ein Strom geleitet, während gleichzeitig eine Entladung durch die Strahlen der Pechblende vorgenommen wurde.

Die Erwärmung der Luft im Strahlungsraume betrug ca. 40°. Dieser aufsteigende warme Luftstrom brachte dann freilich bei längerer Bestrahlungszeit ein Erwärmen der strahlenden Fläche zu wege, ein Umstand, der möglicherweise seinerseits wieder eine beschleunigte Strahlung zur Folge haben konnte, die der Convectionswirkung wieder entgegen wirken mochte. Andererseits könnte auch nach längerer Zeit im Elektroskopgehäuse ein Ausgleich der Temperatur und damit ein Aufhören der Convection auftreten.

Stein I.

<i>t</i>	20°	63° mit Convection											
		70	67	68	65	64	62	61	61	62	64	63	62
3	60												
2	35	40	38	38	37	36	33	33	34	33	34	36	35
1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Stein II.

<i>t</i>	20°	59° mit Convection		
3	55	69	64	63
2	27	35	36	35
1	—	—	—	—

Es tritt also zunächst beim Einsetzen der Convection eine *deutliche Verzögerung* ein. — Allmählich geht dieselbe

aber zurück, theils weil die Convection geringer wird, theils auch wegen eintretender Erwärmung der strahlenden Fläche, obschon dieser letztgenannte Einfluss nicht erheblich sein kann.

2. Uranmetall.

a) Erwärmung.

Da die 15 mm im Durchmesser haltende Oeffnung im Elektroskopgehäuse als zu gross für das Uranmetallstück sich erwies, wurde eine Bleiplatte mit einer nur 7,5 mm grossen Oeffnung daraufgelegt. Wegen der grösseren Bestrahlungszeit boten die Beobachtungen hier eine gewisse Unsicherheit dar, obschon nur die Entladung um einem Theilstrich (3—2) in Betracht gezogen wurde. Folgende Tabelle giebt die beobachteten Zeiten zweier Versuchsreihen, I nicht corrigirt, II corrigirt.

t	I direct beobachtet						II					
	15°	120°	130°	150°	20°	150°	15°	120°	130°	150°	20°	150°
3	153	120	130	137	180	178	361	218	254	274	558	514
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Es lässt sich aus diesen Zahlen eine ganz sichere Vermehrung der Strahlungswirkung zwar nicht entnehmen, doch glaube ich mich ohne weiteres nicht zu dem Schlusse berechtigt, dass bei dem regulinischen Uran infolge der Erwärmung eine solche nicht einträte. Man könnte sich vorstellen, dass bei den langen Entladungszeiten eine Convection der erwärmten, ionisirten Luft sich besonders fühlbar macht und die etwaige Erhöhung der Strahlung ausgleicht. — Bei den Versuchen mit Uranpecherz wurde ja dieser Convectionseinfluss thatsächlich gefunden. Die entsprechenden Versuche mit Uranmetall zeigten keine Verlangsamung durch Convection. Es scheint eben bei der verhältnissmässig grossen Dauer der Entladung eine so complicirte Wechselwirkung zwischen Convection, Erwärmung der strahlenden Fläche und Eigenentladung des Instrumentes aufzutreten, dass eine sichere Beurtheilung der Erscheinungen einstweilen nicht möglich wird. Indessen möchte ich doch aus dem Umstande, dass 1. eine Zunahme der Entladungszeit bei der Strahlung des erwärmten Uranmetalles nie wahrgenommen wurde, 2. eine deutliche Verlang-

samung der Entladung infolge künstlich eingeleiteter Convection sich bei Uranpecherz zeigt, den Schluss *nicht für unberechtigt* erachten, dass auch bei Uranmetall eine, wenn auch nicht erhebliche Erhöhung der Strahlungswirkung bei gesteigerter Temperatur des Metalles auftritt.

b) Abkühlung.

Hier wurde ebenfalls nur die Entladungszeit um einen Scalentheil (3—2) beobachtet. Die Temperatur der strahlenden Fläche lässt sich nicht bestimmen; doch mag sie, da die feste Kohlensäure im Gefässe die Temperatur von -62° besass, immerhin auf etwa -50° geschätzt werden.

t	19°	circa -50					
3	615	677	660	657	502	677	758
2	—	—	—	—	—	—	—

Es tritt zunächst eine, wenn auch nicht sehr erhebliche Verzögerung auf, die wohl sicher der Abkühlung zuzuschreiben ist, dann infolge gesteigerter Convection (nach unten) ein Ausgleich zwischen Convectionsbeschleunigung und Strahlungsverminderung, endlich nach Aufhören (bez. Abnahme) der Convection eine wieder hervortretende Verlangsamung.

3. X-Sublimat.

a) Erwärmung.

t	21°	125°	118°	100°	96°
3	52	46	47	44	49
2	33	30	28	27	31
1	—	—	—	—	—

Diese Zahlen wurden bei Anwendung der engen Oeffnung (7,5 mm) beobachtet. Bei Anwendung der weiten Oeffnung (15 mm) konnte nur die Entladung um das Intervall von zwei Scalentheilen (3—1) beobachtet werden. Bei 21° vollzog sich diese Entladung in 11,2 sec. Bei einer Erwärmung der strahlenden Fläche auf 100° vollzog sich die Entladung schon in 10 sec. Es nimmt also in beiden Fällen die Intensität um 9—10 Proc. zu. Allerdings ist hierbei die Convectionsverzögerung nicht berücksichtigt. Um von dem Einflusse derselben auch hier

ein Bild zu erhalten, wurde wieder die oben erwähnte stromdurchflossene Platinspirale benutzt. Die Erwärmung im Strahlungsraum betrug im Mittel 33° .

Anfangs trat Zunahme der Entladungszeit ein. Durch Abnahme der Convection und auch durch Erwärmung der strahlenden Fläche geht diese Verlangsamung wieder zurück. Wurde in das Gefäß (dessen äussere Bodenseite den radioactiven Niederschlag trägt) eine genügende Menge Wasser von Zimmertemperatur gegossen, sodass eine Erwärmung seitens des aufsteigenden, warmen Luftstromes ausgeschlossen war, so blieb die Verzögerung fast constant.

t	21°	Convection 54°			Conv. + 54° , strahl. Fläche + 21°				
3	46	57	50	49	55	55	55	53	55
2	27	32	28	29	32	29	29	29	29
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—

b) Abkühlung.

t	20°	— 81 bis — 76°							
3	46	59	57	59	56	53	46	42	
2	25	34	33	33	32	30	28	27	
1	—	—	—	—	—	—	—	—	

Eine deutliche, anfängliche Verzögerung wird durch fortschreitende Convection ausgeglichen.

F. Kurze Uebersicht der beobachteten Erscheinungen.

Bei *Uranpecherz* tritt ein Einfluss der Temperatur auf die Strahlung besonders deutlich hervor. Bei Abkühlung auf -50 bis -60° eine Verminderung der Strahlung, bei Erwärmung auf Temperaturen von 100° — 130 eine Erhöhung der Intensität. Ein Rothglühen der Substanz bringt ein erhebliches Zurückgehen der Strahlung mit sich. Hierbei treten augenscheinliche, chemische Zersetzungen auf.

Uranmetall zeigt zwar auch eine Abnahme der Strahlung bei tieferen Temperaturen (-50° ?), eine Erhöhung der Intensität bei Erwärmung lässt sich nicht ganz sicher beobachten, ist aber unter Berücksichtigung der Convectionswirkungen nicht unwahrscheinlich.

Bei dem *X-Sublimat* tritt die nämliche Temperaturbeeinflussung auf wie bei dem Uranpecherz.

G. Schlussbemerkungen.

Das Uranpecherz scheint ein Körper zu sein, dessen Moleküle die Atome des Urans, der Curie'schen Elemente ^(?) des Sauerstoffes und anderer in wahrscheinlich instabiler Verbindung enthält. Die langsame Umwandlung in einen stabileren Zustand ist Quelle der Strahlungsenergie. Durch thermische Variation wird dieser Umwandlungsprocess beeinflusst.

Vielleicht kann dies Verhalten mit dem der bekannten Balmain'schen Leuchtfarbe und sonstiger verwandter Substanzen verglichen werden, deren Phosphoreszenz durch eine ähnliche Annahme erklärt wird. Auch hier ist eine deutliche Beeinflussung der Strahlung durch die Temperatur zu bemerken (Thermoluminescenzen), d. h. eine Erhöhung der Intensität der Strahlung durch Erwärmung (schon durch die Hand), Abnahme durch Abkühlung, völliger Erlöschung bei sehr niedrigen Temperaturen (flüssige Luft). Gleichgültig ist es für diese Analogie mit dem Verhalten der Pechblende, ob der instabile Zustand schon lange Zeiten hindurch bestanden hat (wie beim Uranpecherz) oder erst durch Belichtung hervorgerufen wird, wie bei der Leuchtfarbe, und dann verhältnismässig schnell unter Abgabe von Strahlungsenergie rückgängig gemacht wird.

Beim Uranpecherz, welches doch seit langen Zeiträumen im Schoße der Erde geruht hat, scheint es freilich schwer begreiflich, dass der stabile Zustand noch immer nicht eingetreten ist.

Das Ehepaar Curie ¹⁾, sowie die Herren Elster und Geitel ²⁾ sind der Ansicht, dass bei der Becquerelstrahlung *kein Chemismus* mitspiele, sondern dass sie, weil eben die Strahlungsfähigkeit allen Verbindungen zukomme, eine *Atom-eigenschaft* der strahlenden *Elemente* sein müsse. Das *Atom* eines radioactiven Elementes sei nach Art der Moleküle einer instabilen Verbindung gebaut, derart, dass es unter Energieabgabe in einen stabilen Zustand übergehe.

1) P. Curie u. Mme Curie, *Compt. rend.* 127. p. 1225. 1898.

2) J. Elster u. H. Geitel, *Jahresber. d. ver. Naturw. Braun-schweig.* 1899.

Gegen diese Ansicht scheint mir vor allem zu sprechen, dass die Annahme eines instabil gebauten „Atomes“ nicht mit dem Atombegriff als solchem vereinbar sein dürfte. Auch würde es, wenn jeder Chemismus ausgeschlossen wäre, nicht verständlich sein, wie eine Verbindung des Urans, etwa des Urankaliumsulfat, welches nach Elster und Geitel¹⁾ sogar *sichtbare* Strahlen abgibt, so wesentlich höhere Strahlungsintensität besitzen sollte, wie das metallische Uran selbst, wenn eben *nur* das *Uranatom als solches* Quelle der Strahlungsenergie wäre. Diesem Einwurf begegnet die Annahme, dass derartige Verbindungen eben nicht reine Uranverbindungen seien, sondern neben Uran noch radioactivere Elemente enthielten, etwa Polonium oder Radium und dass auf die Atome dieser Stoffe die erhöhte Strahlung zu schieben wäre.

Hätte man die Strahlung der vier radioactiven Elemente wirklich schon genau untersucht und sie mit der ihrer sämtlichen Verbindungen verglichen, und hätte es sich dabei ergeben, dass keine der Verbindungen wirksamer wäre als das in ihr enthaltene Element — dann stünden die Chancen für eine Negirung des Chemismus und für die „Atomtheorie“ etwas günstiger. Thatsächlich aber wissen wir noch sehr wenig davon. Nur bei dem einzigen Uranmetall ist bislang die Strahlung beobachtet und diese ist verhältnissmässig gering. Die Elemente Radium und Polonium sind noch nicht dargestellt.

Sollte sich aber das von mir eben präcisirte Untersuchungsergebniss wirklich ergeben, so braucht auch dann noch nicht an ein labil gebautes Atom gedacht zu werden.

Immer bliebe noch die Vorstellung (die an Bekanntes anknüpft), dass die Atome der radioactiven Elemente die Fähigkeit besäßen, *miteinander und auch mit fremden Atomen zu instabil gebauten Molecülen* zusammen zu treten. — Ich erinnere an die offenbar labilen Molecüle mancher Allotropien von bekannten Elementen (Schwefel, Selen).

Eine thermische Beeinflussung wäre mit dieser Annahme wohl zu vereinbaren.

Göttingen, August 1899.

3) J. Elster u. H. Geitel, l. c.

(Eingegangen 10. August 1899.)