**4. Über die von den sekundären β - und γ -Strahlen des Radiums in verschiedenen Gasen hervorgebrachte Ionisation¹⁾;
von Gottlieb Kučera.**

Einleitung. Wenn Radiumstrahlen auf feste oder flüssige Körper auffallen, so entsteht an den bestrahlten Stellen eine neue Radiation, die sogenannte Sekundärstrahlung. Dieselbe wurde von Becquerel im Jahre 1901 auf photographischem Wege entdeckt und ist im gewissen Sinne der von Sagnac entdeckten Sekundärröntgenstrahlung analog. Gegenstand der vorliegenden Untersuchung war die Ionisation, welche von den Sekundärstrahlen in verschiedenen Gasen verursacht wird. Einen indirekten Anstoß zu dieser Arbeit gab die Ansicht Rutherfords²⁾, daß überall da, wo sich Elektronen losreißen oder wo sie auftreffen, eine Röntgenstrahlung entstehen muß, und zwar im ersten Falle eine harte, im zweiten eine weiche. Wenn aber die Sekundär- β -Strahlung aus weichen Röntgenstrahlen bestehen sollte, so müßte sie eine von den β - und γ -Strahlen stark abweichende Ionisation verursachen.

Versuchsanordnung. Als Strahlungsquelle diente eine Kapsel mit 5 mg von reinstem Radiumbromid (Gieselsches Präparat). Die α -Strahlen werden im Glimmerblatt, welches das Salz bedeckt, absorbiert, so daß nur die β - und γ -Strahlen heraustreten. Die Radiumkapsel *R* (Fig. 1) befand sich am Ende einer zentralen (10,4 cm tiefen und 2,8 cm breiten) Bohrung eines Bleizylinders *V* von 14,5 cm Länge und 9,5 cm Durchmesser. Die Wand der Bohrung war ihrer ganzen Länge

1) Auszug aus den „Rozpravy“ der böhm. Kaiser Franz Joseph-Akademie der Wissenschaften in Prag.

2) E. Rutherford, Radioactivity, Cambridge 1904. p. 145; Nature 69. p. 436. 1904.

nach mit einer 2 mm dicken Papierschicht bedeckt, um die an dieser Wand entstehende Sekundärstrahlung zu verringern, denn diese kann nach ihrem Austritt aus der Öffnung der Bohrung eine Tertiärstrahlung veranlassen. Der Bleizylinder war zwischen den Polschuhen S und N eines starken Elektromagnets gelagert, dessen Feld die β -Strahlen ablenken sollte, um das Experimentieren mit den γ -Strahlen allein zu ermöglichen. Bei den definitiven Messungen wurde es jedoch nicht benutzt, da es sich herausstellte, daß das Feld auch auf die Sekundärstrahlung wirkte, und zwar in einer Weise, der zahlen-

Fig. 1.

mäßig keine Rechnung getragen werden konnte. Vor der Öffnung der Bohrung war in einem Winkel von weniger als 45° ein kleines Holzgestell M (zwei parallele mit je einer Nut versehene vertikale Holzleisten) aufgestellt und festgeklemmt, und zwar so, daß auf die Holzteile die direkte β - und γ -Strahlung nicht auftreffen konnte; Platten D aus verschiedenem Material, die als Radiatoren dienten, konnten in die Nuten eingeschoben werden. Die an ihnen entstehende Sekundärstrahlung fiel durch eine seitliche, mit einem Glimmerblättchen von 0,0094 mm Dicke bedeckte Öffnung in ein Elektroskop E hinein und ionisierte das darin befindliche Gas. Die Einrichtung des

Elektroskopes, daß mit verschiedenen Gasen gefüllt werden konnte, eine kleine Kapazität und daher große Empfindlichkeit für Strommessungen besaß und mittels Bernstein isoliert war, soll an einer anderen Stelle des näheren beschrieben werden. Das Elektroskop wurde instinktmäßig so aufgestellt, daß der Einfallswinkel der direkten Radiumstrahlung dem Abgangswinkel der Sekundärstrahlen ungefähr gleich war; später erfuhr ich aus einer weiter unten zitierten Arbeit von McClelland, daß in dieser Richtung die Sekundärstrahlung am kräftigsten ist. Damit in das Elektroskop keine Sekundärstrahlung vom äußersten Ende der Bohrungswand eindringen kann (denn sie hatte eine merkliche Wirkung), wurde ihr ständig ein Bleischirm *A* von 6 mm Dicke in den Weg gestellt, der sie absorbierte. Das Elektroskopplättchen wurde mit einem ziemlich stark vergrößernden Mikroskop *K* betrachtet, welches mit einem Okularmikrometer versehen war. Es waren ca. 60 Teilstriche seiner nach 0,2 mm geteilten Skala im Gesichtsfeld, und es wurde die Zeit gemessen, welche das Elektroskopplättchen brauchte, um 40 Teilstriche zu durchlaufen; beim Wasserstoff waren es nur 10 Teilstriche. Zur Zeitmessung wurden zwei Stoppchronometer benutzt, die Fünftelsekunden angaben.

Die Gase, mit welchen das Elektroskop gefüllt wurde, wurden in destilliertem Wasser gewaschen, durch konzentrierte Schwefelsäure getrocknet und passierten weiter zwei Stopfen aus Glaswolle. Um eine mögliche Ionisation vollends zu beseitigen, wurden sie dann durch eine 35 cm lange Messingröhre von 2 cm Durchmesser hindurchgeleitet, die durch zwei Ebonitpfropfen an beiden Enden verschlossen war und in der Achse einen 1 mm dicken Messingdraht trug. Die Röhre war geerdet, und der Messingdraht, der mit einer Leidener Batterie verbunden war, auf ein Potential von 500—1000 Volt (mit einem Braunschen Elektrometer bestimmt) geladen. Durch dieses starke Feld wird das hindurchstreichende Gas von gewöhnlichen Ionen befreit. War das Elektroskop mit einem anderen Gase als Luft gefüllt, so wurde darin ein kleiner Überdruck von einigen Zentimetern Wassersäule gegenüber dem äußeren barometrischen Druck aufrecht erhalten, der mittels eines Wassermanometers gemessen wurde.

Berechnung der Ionisation. Die Ionisation eines Gases wird gemessen, indem man sie dem Sättigungsstrom proportional setzt, der darin bei genügender Voltage entsteht. Wird die Messung mit einem Elektroskop ausgeführt und sind φ_1 , V_1 und C_1 sein Ausschlag, Potential und Kapazität, die in der Zeit t auf die Werte φ_2 , V_2 und C_2 fallen, so ist die Intensität i des Sättigungsstromes

$$i = \frac{V_1 C_1 - C_2 V_2}{t},$$

also der Fallzeit des Blättchens von φ_1 auf φ_2 umgekehrt proportional.

In den nachfolgenden Versuchen wurden folgende Größen gemessen:

1. Der Strom i_0 , welcher im Elektroskop entsteht, wenn die ganze β -Strahlung und ein Teil der γ -Strahlen abgefangen werden, teils durch den Bleizylinder, teils durch einen 6,2 mm dicken Bleischirm B , der vor seine Öffnung gestellt wird (Fig. 1). Die Ionisation im Gase rührt hauptsächlich her von der in das Elektroskop direkt hineingelangenden γ -Strahlung, die allerdings durch die Wände des Zylinders hindurchgehen mußte („harte γ -Strahlung“) zum Teil aber auch von einer sekundären γ -Strahlung, die an den inneren Wänden des Elektroskopes an den Austritt- bez. Auffallstellen dieser Strahlen entsteht. Die beobachtete Fallzeit des Blättchens sei t_0 .

2. Der Strom $i_0 + i_1$, welcher entsteht, wenn man den Schirm B beseitigt; der Teil i_1 rührt von der Sekundärstrahlung der Luft vor der Öffnung des Bleizylinders her. Fallzeit t_1 .

3. Der Strom $i_0 + i_1 + i_P$, welcher nach dem Hinzutreten der sekundären Strahlung von Blei, also nach dem Einschieben einer Bleiplatte in den Holzrahmen entsteht. Die Fallzeit sei t_P .

4. Die analoge Stromstärke $i_0 + i_1 + i_x$ für die Sekundärstrahlung eines anderen Stoffes x .

5. Die Stromstärke $i_0 + i_\gamma$, wenn die Sekundärstrahlung von Blei nur durch γ -Strahlen erregt wird, also der Schirm B und die strahlende Bleiplatte angewandt werden; entsprechende Fallzeit sei t_γ .

Wenn man anstatt der Fallzeiten t ihre reziproken Werte τ mit den entsprechenden Indizes einführt, so hat man

$$i_0 = K \cdot \tau_0, \quad i_0 + i_1 = K \cdot \tau_1, \quad i_0 + i_1 + i_P = K \cdot \tau_P, \\ i_0 + i_1 + i_x = K \cdot \tau_x \quad i_0 + i_\gamma + K \cdot \tau_\gamma,$$

wo K eine Konstante ist, die bei gleichbleibendem φ_1 und φ_2 den Wert nicht ändert. Bezeichnen wir noch die Stromstärken bez. Ionisationen und reziproke Fallzeiten bei einem anderen Gase als Luft mit großen Buchstaben J resp. T .

Dann haben wir folgende Beziehungen:

$$(1) \quad \frac{i_x}{i_P} = \frac{\tau_x - \tau_1}{\tau_P - \tau_1}, \quad (2) \quad \frac{i_1}{i_P} = \frac{\tau_1 - \tau_0}{\tau_P - \tau_1}, \quad (3) \quad \frac{i_\gamma}{i_P} = \frac{\tau_\gamma - \tau_0}{\tau_P - \tau_1}, \\ (4) \quad \frac{J_P}{i_P} = \frac{T_P - T_1}{\tau_P - \tau_1}, \quad (5) \quad \frac{J_0}{i_0} = \frac{T_0}{\tau_0}.$$

Die erste und die zweite geben die auf Blei bezogenen Intensitäten der Sekundärstrahlung des Stoffes x resp. der Luft; die dritte gibt den Anteil der γ -Strahlen an der Erregung der Sekundärstrahlen. Die vierte gibt die relative Ionisation eines Gases bezogen auf Luft als Einheit durch die Sekundärstrahlung von Blei; dieselbe Größe für einen anderen Stoff als Radiator folgt aus anderweitig bekannten Größen als

$$\frac{J_x}{i_x} = \frac{J_r}{J_P} \cdot \frac{J_P}{i_P} \cdot \frac{i_x}{i_P}.$$

Bei der Berechnung der Größe J_P/i_P ist noch darauf Rücksicht zu nehmen, daß bei der Messung die Luft allgemein unter einem anderen Druck b gestanden, als das Gas (B). Da die Ionisation in ziemlich weiten Grenzen dem Druck des Gases proportional ist, so gilt allgemein

$$\frac{J_P}{i_P} = \frac{T_P - T_1}{\tau_P - \tau_1} \cdot \frac{b}{B}.$$

Die letzte 5. Beziehung gibt die relative Ionisation in verschiedenen Gasen durch „harte γ -Strahlen“.

Gase und Radiatoren. Die Luft wurde in das Elektroskop entweder aus dem Laboratorium oder von außen hineingeleitet; die Ergebnisse waren in beiden Fällen die gleichen. Der

Wasserstoff wurde einem mit zincum purissimum pro analysi und chemisch reiner verdünnter H_2SO_4 beschickten Kipp-schen Apparate entnommen, die Kohlensäure aus chemisch reiner Salzsäure und Marmorstückchen bereitet. Der Sauerstoff entstammte einer Bombe der Berliner Sauerstofffabrik. Das Schwefeldioxyd wurde aus H_2SO_4 und NaHSO_3 hergestellt. Als Radiatoren dienten je drei hintereinander gestellte und je 1 mm dicke und 1 dm² große gewalzte Bleche aus Pb, Al, Zn, Fe, Cu, Ni. Glas wurde in der Form von zwei abgewaschenen photographischen Platten von der Gesamtdicke von 3,9 mm, Ebonit als eine einzige 2,15 mm dicke Platte benutzt. Aus vier schmälere Platinplatten wurde eine 1 dm² große und in der Mitte 0,8 an zwei Seiten 0,4 mm dicke Platte durch geeignete Klammern hergestellt. Von Papier wurden 1 bis 8 Lagen Zeichenpapier von je 0,25 mm Dicke benutzt.

Die Messungen. Als Beispiel wie die Messungen und die Berechnung durchgeführt wurden, stehe hier als Tabelle I ein Auszug aus dem Beobachtungsprotokoll und zwar eine Reihe mittlerer Genauigkeit, die zweite für Kohlensäure.

Beim Wasserstoff wurde, um die Zeit der einzelnen Messungen zu verkürzen, die Fallzeit des Blättchens zwischen zehn mittleren Teilstrichen (49—39, 48—38) gemessen — für Luft als Radiator dauerte dann die Beobachtung ca. 12 Minuten. Dadurch wird die Genauigkeit etwas verringert, da der Augenblick des Durchgangs des Blättchens durch einen Teilstrich der sehr langsamen Bewegung wegen schwer genau richtig zu erfassen ist.

Eine Übersicht aller in der Weise, wie sie Tabelle I zeigt, gewonnenen Ergebnisse enthält die Tabelle II. Es ist zu bemerken, daß die drei Reihen für „Luft“ unter verschiedenen Anfangs- und Endpotentialen (ca. 250—225, 300—275, 350—330 Volt) erhalten wurden, die Übereinstimmung der Ergebnisse zeigt, daß die angewandte Voltage zur Hervorbringung des Sättigungsstromes genügt. Bei den übrigen Gasen war das Anfangspotential ca. 300 Volt.

Zur Bestimmung von J_P/i_P und J_0/i_0 wurden besondere Meßreihen gemacht und zwar in der Weise, daß die Größen τ_0 , τ_1 und τ_P zuerst für Luft und womöglich anschließend für

Tabelle I.
Kohlensäure II.

Barometerdruck 747,0 mm Hg 0°. Überdruck in CO₂ 9,0 cm H₂O = 7,4 mm Hg. Mittlere Beobachtungstemperatur 20,5° C.
Das Elektroskop wurde um 8^h p. m. mit CO₂ gefüllt.
Chronometer I gibt die Fallzeit von 64 bis 24, Chronometer II von 63 bis 23 Skt. des Mikrometers.

Nr.	Radiator	Schirm	Zeit der Beobachtung	Chronometer		Mittlere Fallzeit t sec	$T = \frac{1}{t} \cdot 10^3$	$T_z - T_1$	$\frac{J_z}{J_1}$
				I	II				
1	Luft	A	3 ^h 35 ^m	5 ^m 17,6 ^s	5 ^m 19,6 ^s	—	—	—	—
2	"	A	3 44	5 39,8	5 38,6	—	—	—	—
3	"	A	4 9	5 39,0	5 39,0	339,4 [*]	2,95 ^o	—	0,040
4	"	A	4 18	5 37,0	5 40,6	—	—	—	—
5	"	AB	4 37	6 19,8	6 21,8	380,8	2,62 ⁷	—	—
6	Blei	AB	4 45	6 3,8	6 4,4	364,1	2,74 ⁸	—	0,015
7	Luft	A	4 54	5 39,2	5 39,2	—	—	—	—
8	Blei	A	—	1 31,4	1 31,2	91,3 ^{**}	10,96	8,01	1,000
9	"	A	5 7	1 31,4	1 31,4	—	—	—	—
10	Aluminium	A	5 13	3 2,8	3 2,6	182,7	5,47 ⁶	2,51 ⁶	0,314
11	Zink	A	5 17	2 6,4	2 6,0	126,2	7,92 ⁶	4,97 ⁶	0,821
12	Glas	A	5 21	3 9,0	3 7,6	188,3	5,31 ⁴	2,36 ⁴	0,293
13	Papier, 1 Schicht	A	5 30	4 51,2	4 52,8	292,0	3,42 ⁷	0,47 ⁷	0,059
14	" 8 Schichten	A	5 36	4 20,0	4 19,2	259,6	3,85 ⁶	0,90 ⁶	0,113
15	" 5 "	A	5 43	4 18,0	4 12,4	252,7	3,96	1,01	0,126
16	" 8 "	A	5 48	4 6,8	4 7,0	246,9	4,05	1,10	0,137
17	Luft	A	5 57	5 38,6	5 39,4	—	—	—	—
18	Eisen	A	6 3	2 17,6	2 18,0	137,8	7,26	4,31	0,338
19	Kupfer	A	6 8	2 8,8	2 9,8	129,3	7,73 ⁶	4,78 ⁶	0,396
20	Nickel	A	6 12	2 9,8	2 10,0	129,9	7,70 ⁴	4,75 ⁴	0,393
21	Platin	A	6 22	1 35,2	1 36,0	95,6	10,46	7,51	0,398
22	Blei	A	—	1 31,0	1 31,4	—	—	—	—
23	Ebonit.	A	—	3 35,8	3 37,4	216,6 ^{***}	4,62	1,67	0,208
24	"	A	6 33	3 36,2	3 36,8	—	—	—	—
25	Luft	A	6 48	5 40,4	5 41,0	—	—	—	—

*) Mittel aus Nr. 3, 4, 17, 25.

**) Mittel aus Nr. 8, 9, 22.

***) Mittel aus Nr. 23, 24.

Tabelle II.

Relative Intensitäten der Ionisation infolge der Sekundärstrahlung verschiedener Stoffe in verschiedenen Gasen;
Ionisation durch Sekundärstrahlung von Blei = 1000.

Radiator	H ₂		Luft		O ₂		CO ₂		SO ₂	Mittel	Eve	Me	Gleiland	Dichte des Radiators	At.- Gew.	Ionis. Dichte	Ionis. At.-Gew
	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.									
Blei	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	11,3	207	87,5	4,84
Platin	—	930	—	—	—	914?	—	938	937	932	—	920	920	21,4	195	43,5	4,78
Zink	644?	618	616	623	610	618	623	621	627	622	560	650	650	7,1	65,4	86,7	9,5
Kupfer	605	597	590	596	590	590	592	601	596	595	560	640	640	8,9	63,6	67,0	9,36
Nickel	—	588	—	—	—	584	—	593	582	587	—	—	—	8,8	58,7	66,6	10,0
Eisen	549	548	546	541	538	541	536	538	529	541	530	620	620	7,8	55,9	69,4	9,7
Aluminium	322	298	319	319	317	315	304	321	314	315	300	330	330	2,7	27,1	117	11,6
Glas	295	293	286	296	295	290	295	293	281	292	312	310	310	2,5	—	117	—
Ebonit	218	229	203	217	209	215	—	209	205	212	227	270	270	1,2	—	177	—
Papier: 1 Schicht	67	55	—	62	54	60	62	60	51	59	—	—	—	—	—	—	—
3 Schichten	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5 „	—	119	—	127	118	118	109	121	106	116	—	—	—	—	—	—	—
8 „	151	137	134	134	141	140	141	143	137	140	149	230	230	—	—	—	—
Luft	48	47	—	39	38	41	39	34	35	40	—	—	—	0,0012	—	175	—
Sek. γ -Strahlung	0,009	0,012	0,008	0,010	0,009	0,013	0,014	0,011	0,015	0,012	0,190	—	—	—	—	—	—
Sek. γ + β -Strahlung	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

das andere Gas bestimmt wurden. Die Ergebnisse sind in der Tabelle III zusammengestellt.

Tabelle III.

Relative Ionisation verschiedener Gase durch die Sekundärstrahlung $\left(\frac{J_P}{i_P}\right)$
und durch harte γ -Strahlen $\left(\frac{J_0}{i_0}\right)$.

Gas	$\frac{J_P}{i_P}$	β -Strahlen Strutt	$\frac{J_0}{i_0}$	γ -Strahlen Strutt
Luft . .	1,00	1,00	1,00	1,00
H ₂ . . .	0,160 ₅ 0,162 ₅	0,157	0,179 0,168	0,169
O ₂ . . .	1,20	1,21	1,14 ₅	1,17
CO ₂ . .	1,55	1,57	1,51	1,53
SO ₂ . .	1,81 (2,32)	2,31	1,84	2,13

Zur Durchführung der Rechnung wurde ein 50 cm langer logarithmischer Rechenschieber benutzt.

Diskussion zur Tabelle II. Wie aus den angeführten Zahlen ersichtlich, ist die auf Blei bezogene relative Ionisation durch Sekundärstrahlen verschiedener Stoffe in allen Gasen innerhalb der Versuchsfehler dieselbe. Man könnte erwarten, daß wenigstens bei den wenig die β -Strahlen absorbierenden Radiatoren die Ionisation wachsen wird, wenn wir zu dichteren Gasen übergehen. Da nämlich diese Radiatoren nur die langsamsten β -Strahlen absorbieren, werden sie wahrscheinlich die weichste sekundäre Strahlung aussenden, welche in dichteren Gasen relativ mehr absorbiert werden könnte, als in dünneren. Wenn ein solcher Effekt existiert, muß die Differenz der Ionisierungsstärke innerhalb der durch die Methode unvermeidlichen Versuchsfehler liegen. Die Sekundärstrahlung muß also von einer ziemlich durchdringenden Art sein und kann also auf keinen Fall den α -Strahlen analog sein. Die relativ sehr große Radiation der Luft wird dadurch erklärlich, daß eine sehr dicke Schicht strahlt, wogegen bei den anderen Stoffen die Strahlung auf eine ziemlich dünne Oberflächenschicht beschränkt ist. Dies erhellt aus den Angaben für 1, 3, 5 und 8 Schichten von Papier (Fig. 2). Je mehr Schichten hinzugefügt werden, desto langsamer wächst die Strahlung und

nähert sich einem Grenzwert, welcher dann erreicht wird, wenn die Dicke des Radiators so groß ist, daß die von seiner untersten Schicht ausgehende Sekundärstrahlung im Radiator selbst absorbiert wird, bevor sie aus ihm heraustreten kann. In zwei Spalten der Tab. II sind die Resultate von Eve¹⁾ u. McClelland²⁾ angeführt, die sich mit einer ähnlichen Messung der relativen Strahlungsfähigkeit verschiedener Stoffe beschäftigt hatten. Die Übereinstimmung der Resultate dieser beiden Forscher ist nicht besonders befriedigend; die

Fig. 2.

Zahlen der Tab. II liegen meistens zwischen ihren beiden. Die Gesamtresultate ihrer Arbeiten werden aber durch die Daten der Tabelle bestätigt. Eve fand, daß das Verhältnis $\frac{\text{Sek. Radiation}}{\text{Dichte}}$ gar nicht konstant ist, wogegen McClelland die Vermutung aussprach, daß das Verhältnis $\frac{\text{Sek. Radiation}}{\text{Atomgewicht}}$ dazu neigt, bestimmte Gruppen zu bilden, z. B. eine, wo es ca. 5 beträgt, eine andere, wo es ca. 10 gleich ist. Es scheint eher, daß dieses Verhältnis als Funktion des Atomgewichtes aufgetragen eine glatte zur Abszissenachse schwach konvexe Kurve bildet. Es wären aber mehr Beobachtungen bei verschiedenartigen Atomgewichten nötig, um diese Frage zu entscheiden. Allgemein scheint die Intensität der sekundären Strahlung mit wachsendem Atomgewicht kleiner zu werden.

In der letzten Zeile der Tab. II ist das Verhältnis der sekundären Strahlung, die durch γ -Strahlen nach dem Passieren eines 6,2 mm dicken Bleischirmes hervorgerufen wird, zur gesamten, durch alle β - und γ -Strahlen verursachten angeführt. Aus meinen Messungen folgt, daß etwa 1 Proz. der Gesamtstrahlung von den allerdings durch den Bleischirm geschwächten

1) A. S. Eve, Phil. Mag. (6) 8. p. 669. 1904.

2) J. A. McClelland, Phil. Mag. (6) 9. p. 230. 1905.

γ -Strahlen herrührt. Eve fand dagegen, daß die γ -Strahlen nach dem Passieren eines 6,3 mm dicken Bleischirmes etwa 19 Proz. der gesamten Sekundärstrahlung veranlaßten. Nach dem Durchgang durch eine x mm dicke Bleischicht verbleibt von den ursprünglichen γ -Strahlen J_0 der Teil J , welcher gleich ist $J = J_0 \cdot e^{-\lambda x}$. Der Absorptionskoeffizient λ berechnet sich aus der Angabe Rutherfords, daß in einer 9 mm dicken Schicht 50 Proz. der Strahlen absorbiert werden. Aus einer kleinen Rechnung folgt also, daß durch 6,2 mm Blei 62 Proz. der γ -Strahlen hindurchdringen; also würde die totale γ -Strahlung nach meinen Messungen etwa $1,2 \cdot \frac{100}{62} = 1,9$ Proz., nach Eve aber $19 \cdot \frac{100}{62} = 30$ Proz. der gesamten sekundären Radiation zur Folge haben. Eves Resultat ist wenig begreiflich, wenn wir bedenken, daß die Ionisationsvermögen der β - und γ -Strahlen des Radiums ungefähr im Verhältnis 100:1 stehen und umgekehrt das Verhältnis der Durchdringungsvermögen ca. 1:100 beträgt. Auch ein Ergebnis von McClelland verträgt sich besser mit meinen Messungen als mit denjenigen von Eve; er führt nämlich an, daß die sekundäre Radiation auf 7 Proz. sank, wenn in den Weg der Radiumstrahlen eine Schicht aus Zinnfolie von 0,4 mm Dicke eingeschaltet wurde, durch welche die γ -Strahlen fast gar nicht geschwächt wurden und durch welche noch ein Teil der β -Strahlen hindurchging.

In einigen Versuchen wollte ich das Elektroskop gänzlich vor der sekundären Strahlung der Luft abschirmen, und stellte schräg vor seine Öffnung einen dritten Bleischirm C von 6,0 mm Dicke (vgl. Fig. 1). Aber in diesem Falle trat anstatt der erwarteten Verminderung immer eine, wenn auch kleine Vergrößerung der Ionisation auf. Daraus folgt, daß die γ -Strahlen auch da, wo sie aus einem Körper *heraustreten*, eine Emission von sekundärer Strahlung veranlassen, die schon Eve beobachtet hat. Diese Beobachtung führe ich nur deshalb an, weil die γ -Strahlen eine weit über 5 cm dicke Bleischicht durchdrungen hatten, und doch diesen Effekt zeigten. Dadurch erklärt Eve die Resultate Paschens¹⁾ ohne die Annahme, daß die γ -Strahlen negative Ladungen mit sich führen.

1) F. Paschen, Ann. d. Phys. 14. p. 164. 1904.

Diskussion zur Tabelle III. Unter J_P/i_P sind die durch die Sekundärstrahlen von Blei in verschiedenen Gasen verursachten relativen Ionisationen aufgeführt, unter J_0/i_0 die durch „harte“ γ -Strahlen entstandenen. Zum Vergleich geben zwei nebenstehende Spalten relative Ionisationen durch direkte β - und γ -Strahlen des Radiums, wie sie von Strutt¹⁾ bestimmt worden sind. Da die Werte von Strutt als auf 1—2 Proz. genau bezeichnet werden, so sieht man bis auf die letzte Zeile eine in den Grenzen der Versuchsfehler *vollständige Übereinstimmung zwischen den relativen Ionisationen durch Sekundärstrahlen und die β -Strahlen des Radiums*. Auch die Werte für γ -Strahlen, welche 1 cm (Strutt) oder 3,5 und mehr Zentimeter Blei (J_0/i_0) durchdrungen hatten, sind gleich. Die erste Übereinstimmung bestätigt das Resultat, welches McClelland durch magnetische Ablenkung erhalten hatte, daß die Sekundärstrahlung wenigstens vorwiegend aus β -Strahlen besteht. Keineswegs bestätigt sich die Vermutung Rutherfords, daß auf der Anprallstelle von Elektronen eine weiche Röntgenstrahlung entstehen würde. Da in der Formel

$$\frac{J_x}{i_x} = \frac{\frac{J_x}{J_P}}{\frac{i_x}{i_P}} \cdot \frac{J_P}{i_P}$$

der Faktor bei J_P/i_P laut Tab. II in den Grenzen der Versuchsfehler überall gleich 1 ist, sind auch die relativen Ionisationen durch Sekundärstrahlen verschiedener Radiatoren innerhalb der Versuchsfehler gleich. Es bleibt nur noch die Diskrepanz der Werte in der letzten Zeile beim SO_2 zu erklären übrig. Sie steht im Zusammenhang mit besonderen, bei frisch bereiteten Gasen auftretenden Erscheinungen.

Die Ionisation in frisch bereiteten Gasen. Frisch bereitetes Schwefeldioxyd wurde durch Glaswolle, konzentrierter Schwefelsäure und wiederum Glaswolle in das Elektroskop eingefüllt und seine durch spontane Ionisierung und harte γ -Strahlen verursachte Ionisation gemessen. Es ergaben sich Zahlen, die in der Tab. IV zusammengestellt und in der Kurve I des Diagramms 3 graphisch aufgetragen sind.

1) R. J. Strutt, Phil. Trans. London A. 196. p. 508. 1901 u. Proc. Roy. Soc. 72. p. 208. 1903.

Tabelle IV.

Kurve I, Diagramm 3		
Beobachtungs- zeit	Fallzeit des Blättchens t sec	Leitfähigkeit $\tau = \frac{1}{t} \cdot 10^5$
0 ^m bis 5 ^m	225,3	444
„ 11	247,9	403 _s
„ 18	262,7	381
„ 24	267,2	374
„ 31	272,5	367
„ 40	279,5	358
„ 48	282,4	354
„ 56	285,4	350 _s
„ 64	285,6	350 _s
„ 73	286,9	349
„ 95	286,2	349 _s
„ 147	287,8	348

Tabelle V.

Kurve II, Diagramm 3			Kurve III, Diagramm 3		
Beob- achtungs- zeit	Fallzeit t sec	Leitfähigkeit $\tau = \frac{1}{t} \cdot 10^5$	Beob- achtungs- zeit	Fallzeit t sec	Leitfähigkeit $\tau = \frac{1}{t} \cdot 10^5$
0 ^m bis 4 ^m	117	854	0 ^m bis 3 ^m	121,3	824
„ 9	124,5	803	„ 8	126,2	792
„ 14	127,4	785	„ 18	127,8	782
„ 19	129,0	775	„ 23	127,5	784
„ 28	127,1	786	„ 32	128,2	780
„ 37	130,0	769	„ 37	128,4	779
„ 45	131,2	762	„ 43	128,4	779
„ 67	131,2	762	„ 53	129,1	774
Elektroskop stand entladen			„ 63	129,0	775
97 ^m bis 99 ^m	127,5	785	„ 72	129,1	774
„ 104	127,8	783	„ 102	129,4	772
„ 109	129,1	774			
„ 115	130,7	765			
„ 127	131,2	762			
„ 135	131,1	763			

Wie man sieht, sinkt die Ionisation (und Leitfähigkeit) zuerst schnell, dann langsamer und erreicht nach etwa einer Stunde einen Wert, der in den Grenzen der Beobachtungsfehler eine lange Zeit hindurch konstant bleibt, vorausgesetzt, daß das Elektroskop während dieser Zeit immer geladen bleibt. Bei der Berechnung der Tab. III benutzte ich bei allen Gasen diese konstanten Werte, die sich nach ca. $1\frac{1}{2}$ Stunden eingestellt haben, wie ja auch aus der Tab. I ersichtlich ist. Auf diese Weise bekam ich für die relative Ionisation durch

Fig. 3.

Sekundärstrahlen im SO_2 den Wert 1,81. Wenn man bei der Berechnung den ersten beobachteten Wert bald nach dem Einfüllen des Gases benutzt, so bekommt man die eingeklammerte Zahl 2,32, die mit der Struttischen in vollständiger Übereinstimmung steht. Strutt arbeitete nach einer elektrometrischen Methode, bei welcher die einzelnen Beobachtungen nur eine relativ sehr kurze Zeit (weniger als 1 Minute) dauerten, so daß sie wahrscheinlich in schneller Aufeinanderfolge gemacht wurden. Deshalb vermute ich, daß er diese anfänglichen Werte bei der Berechnung benutzte.

Leider ist in seiner Abhandlung keine Andeutung über diesen Punkt zu finden. Es wäre erwünscht, bei den Messungen der Ionisation in Gasen diesem Umstande Rechnung zu tragen. Auch die übrigen Gase H_2 , CO_2 und sogar O_2 , welches aus der Bombe entnommen wurde, zeigten diese Erscheinung, wenn auch nicht in demselben Maße wie SO_2 .

Die Ionisation in der Luft. Die Erscheinungen in der Luft waren noch verwickelter. In das Elektroskop wurde entweder Luft aus dem Laboratorium, wo sich die Radiumkapsel ca. 3 Wochen lang befand, oder aber von außen her eingefüllt. Die Erscheinungen waren im ersten Falle ausgesprochenener, jedoch ähnlich wie im zweiten. Der Verlauf der Ionisation ist in der Tab. V zahlenmäßig angegeben, und in den Kurven II und III des Diagramms 3 graphisch dargestellt. Kurve II bezieht sich auf frisch eingefüllte Luft, Kurve III auf Luft, welche nachher während ca. 14 Stunden im ungeladenen Elektroskop eingeschlossen verblieb.

Ein Versuch zur Erklärung des zeitlichen Verlaufes der Ionisation in frisch bereiteten Gasen und in der Luft. Das frisch bereitete Gas ist ionisiert, aber nicht durch gewöhnliche Ionen, welche z. B. bei der Bestrahlung durch Becquerel- oder Röntgenstrahlen etc. entstehen. Diese Ionen besitzen nämlich eine ziemlich große Beweglichkeit und Rekombinationsfähigkeit, so daß sie im ziemlich starken Felde innerhalb des Elektroskops sehr schnell innerhalb weniger als einer Sekunde verschwinden müßten. Die Ionen, welche im frisch bereiteten Gase zugegen sind, brauchen aber eine ziemlich lange Zeit, um zu verschwinden, so daß sie eine außerordentlich kleine Beweglichkeit und außerdem einen sehr kleinen Koeffizienten der Rekombination besitzen müssen. Es wäre vielleicht nicht unmöglich, daß es sich um sehr langsame Ionen handelt, die Bloch¹⁾ neuerdings gefunden, und bei denen er einen außerordentlich kleinen Rekombinationskoeffizienten bestimmt hat. Daß es sich wirklich um eine gewisse Art von Ionisation handelt, erhellt aus folgenden Versuchen: Wenn ein frisch bereitetes Gas ständig durch ein geladenes Elektroskop hindurchgeht, so etabliert

1) E. Bloch, Journ. d. Phys. (4) 3. p. 913. 1904; Compt. rend. 138. p. 1599. 1904.

sich ein Gleichgewichtszustand zwischen den stetig neu gelieferten und den durch das Feld auf die Elektroden weggetragenen Ionen. Die Fallzeit des Blättchens, welche bei einem derartig eingerichteten Versuch beobachtet wurde, war $4^m 30^s$, $4^m 29^s$, $4^m 35^s$, $4^m 36^s$, $4^m 26^s$, $4^m 30^s$. Wenn der Gasstrom schneller durch das Elektroskop hindurchgeleitet wird, so werden in derselben Zeit mehr neue Ionen geliefert, und es ist zu erwarten, daß die Fallzeit der Blättchen kleiner wird; der Versuch ergab $4^m 6,6^s$, $4^m 8^s$. Aber ein solcher Gasstrom führt auch eine sehr große Menge von nicht verbrauchten Ionen wieder weg. Die größte Leitfähigkeit ist also zu erwarten, wenn man das nicht geladene Elektroskop mit frischem Gase füllt und gleich nachher die Leitfähigkeit bestimmt. Zwei derartige Versuche ergaben Fallzeiten $3^m 51^s$ und $3^m 51,5^s$. Augenscheinlich geschehen Rekombinationen von diesen trägen Ionen sehr langsam, so daß das hauptsächlichste Mittel, um sie aus dem Gase zu entfernen, das elektrische Feld ist; je stärker es ist und je länger es wirkt, desto schneller muß die Leitfähigkeit sinken. Es wurde also wiederum das ungeladene Elektroskop mit frischem Gase gefüllt und die Fallzeit zu $3^m 51^s$ bestimmt; dann blieb das Elektroskop ca. 5 Minuten lang auf etwa 300 Volt geladen und im Anschluß daran wurde die Fallzeit zu $4^m 21,5^s$ bestimmt. Wenn es nachher während 7 Minuten auf etwa 600 Volt geladen gehalten wurde, stieg sie auf $5^m 1,3^s$. Sowohl der zeitliche Verlauf der Ionisation, als auch alle diese Versuche sind auf Grund der Hypothese über die Anwesenheit von sehr trägen Ionen im frisch bereiteten Gase leicht zu erklären.

Der Verlauf der Kurve II, Diagramm 3 für Luft erinnert an die Kurven von Curie¹⁾ für den Abfall der Aktivität von Körpern, die während einer sehr kurzen Zeit dem Einflusse der Radiumemanation ausgesetzt waren, wenn man bedenkt, daß daneben noch eine andere konstante und relativ sehr starke Quelle der Ionisation (nämlich die harte γ -Strahlung) tätig ist. Alle diese Versuche wurden ja angestellt in Gegenwart von Radium in dem Bleizylinder, wie es Fig. 1 veranschaulicht. Es muß nur der zweite Teil der Kurve II über-

1) P. Curie, Phys. Zeitschr. 5. p. 316. 1904.

raschen, nachdem das Elektroskop von der 67. zur 97. Minute im ungeladenen Zustande gestanden hatte. Die Leitfähigkeit stieg während dieser Zeit etwas an, und kehrte zum ursprünglichen Werte erst dann zurück, nachdem im Gase durch eine längere Zeit hindurch ein elektrisches Feld hergestellt war. Ähnlich stieg sie auch an, wenn die Luft im Elektroskop über die Nacht während ca. 14 Stunden gestanden hatte (Kurve III). Es handelt sich wahrscheinlich um eine Erscheinung, welche derjenigen in frisch bereiteten Gasen analog ist. Schwieriger ist es aber hier die Quelle des Ursprungs der trägen Ionen aufzufinden. Möglich wäre es, daß bei der Ionisierung der Luft neben den gewöhnlichen auch diese wenig beweglichen und sich schwer rekombinierenden Ionen entstehen. Während einer halben Stunde entstanden bei der Ionisation durch harte γ -Strahlen so viele, daß die durch sie bedingte Leitfähigkeit ca. $\frac{785-762}{762} = 3$ Proz. der Leitfähigkeit infolge gewöhnlicher Ionen betrug. Ob es sich um eine neue Art von trägen Ionen *sui generis* handelt, oder ob es vielleicht suspendierte Staubteilchen sind, die ihre Ladung den gewöhnlichen Ionen verdanken, müssen neue Versuche entscheiden. Der zweiten Möglichkeit steht im Wege der Umstand, daß die Luft beim Einfüllen in das Elektroskop durch destilliertes Wasser und konzentrierte H_2SO_4 getrieben wurde und durch zwei Stöpsel aus Glaswolle filtriert war.

Zum Schluß erfülle ich eine angenehme Pflicht, indem ich meinem Chef, dem Vorstand des k. k. Physikalischen Instituts der böhmischen Universität, Hrn. Hofrat Prof. Dr. Strouhal, der mir die Mittel zur Ausführung dieser Arbeit bereitwilligst zur Verfügung stellte, meinen besten Dank ausspreche.

Prag, k. k. Physik. Inst. der böhm. Univ., Oktober 1905.

(Eingegangen 2. November 1905.)