

### Selbststrahlende Materie, Atome und Elektronen.

Von Privatdocent Dr. Paul Köthner in Halle a./S.

Als wir vor 2 Jahren über die fremdartigen Phänomene der selbststrahlenden Materie im Zusammenhang berichteten<sup>1)</sup>, befand sich dieses Gebiet noch im Anfangsstadium seiner Entwicklung. Damals hätte die kühnste Phantasie kaum ausgereicht, die Eigenart der radioactiven Substanzen dem gewohnten naturwissenschaftlichen Denken verständlich zu machen, wir mussten daher jene Besprechungen mit einem grossen Fragezeichen abschliessen. Inzwischen sind nun unsere Kenntnisse über die Natur der Becquerelstrahlen durch zahlreiche Experimentaluntersuchungen bereichert worden; Chemiker und Physiker haben gemeinsam an der Lösung des interessanten Problems weiter gearbeitet.

Trotz dieser Bemühungen ist es aber noch keineswegs gelungen, eine allgemein anerkannte Theorie über Wesen und Ursache der Becquerelstrahlen aufzufinden, ja die ermittelten Thatsachen selbst widersprechen sich noch vielfach und dadurch wird eine übersichtliche Darstellung der Experimentalergebnisse sehr erschwert. Wer daher dieses Forschungsgebiet nicht von den ersten Anfängen an verfolgt hat, den wird das Studium der neueren einschlägigen Litteratur wenig befriedigen und selbst der Eingeweihte sucht in der Fülle von aneinandergereihten Einzelthatsachen vergeblich nach einem Standpunkt, welcher eine freiere Übersicht gewährt. An Hypothesen ist freilich kein Mangel, aber sie sind meist auf die Beobachtungen an einer bestimmten selbststrahlenden Substanz zugeschnitten und versagen den Dienst, wenn man versucht, sie zu verallgemeinern.

Die vorliegende Studie ist nun zunächst aus dem Bedürfniss des Verfassers heraus entstanden, das reichhaltige Thatsachenmaterial so weit zu sichten, dass möglichst alle Einzelbeobachtungen unter einem einheitlichen Gesichtspunkt verstanden werden können.

Es ist hier der Versuch gemacht worden, die Becquerelstrahlen ihrer geheimnissvollen Sondernatur zu berauben und Wesen und Ursache derselben auf bekannte Erscheinungen

zurückzuführen. Um schliesslich auch das Allerräthselhafteste, die Erzeugung von neuem Stoff und die scheinbar unzerstörbare Energie der Strahlung verständlich zu machen, war es nothwendig, die neuesten Forschungen auf den Nachbargebieten eingehend zu berücksichtigen, vor Allem die letzten Untersuchungen über Kathoden- und Röntgenstrahlen, über Phosphoreszenzerscheinungen sowie die Ionen- und Elektronentheorie.

Neues bietet die vorliegende Arbeit nur in der Verwerthung der Experimentalergebnisse verschiedener Gebiete zur Gewinnung eines übersichtlichen Gesamtbildes.

Besonders reizvoll wurde die Lösung der gestellten Aufgabe dadurch, dass jede einzelne der Arbeiten über radioactive Substanzen von Neuem die schon früher aufgefundenen Widersprüche mit dem Gesetz der Erhaltung der Energie und der Atomhypothese bestätigt.

Diese Bedenken gegen die Fundamentalgesetze unserer Wissenschaft, denen gegenüber kein Naturforscher gleichgültig bleiben wird, forderten natürlich dazu heraus, einen Versuch zur Rettung des Energiegesetzes und der Atomhypothese zu wagen.

### Allgemeines über Becquerelstrahlen.

Eine Anzahl natürlich vorkommender Mineralien besitzt die Fähigkeit, Becquerelstrahlen<sup>2)</sup> auszusenden. Becquerelstrahlen selbst sind durch unseren Gesichtssinn nicht wahrnehmbar, wohl aber reagirt eine Folgeerscheinung derselben auf die Netzhaut des Auges. Die radioactiven Substanzen, wie man Becquerelstrahlen aussendende Körper zusammenfassend nennt, besitzen nämlich ein starkes Leuchtvermögen, das besonders deutlich im Dunkeln wahrgenommen wird: sie phosphoresciren. Ihre Leuchtkraft ist u. U. erstaunlich gross; so berichtet Giesel<sup>3)</sup>, dass ein solches Präparat, nur 0,3 g schwer, am hellen Tage — in der hohlen Hand gehalten — deutlich blaues Licht aussendet; in dem Phosphorescenzlicht dieses Präparates kann man im Dunkeln noch in einer Entfernung von 20 cm die Uhr ablesen und ein weisses Blatt Papier ist noch auf 1 m hin erkennbar. Auch

<sup>2)</sup> Nach dem Entdecker benannt.

<sup>3)</sup> Wiedemann's Annalen der Physik 1899, 69, 91.

<sup>1)</sup> Diese Zeitschrift, 1900, Heft 4.

durch eine Bleikapsel hindurch äussern solche Substanzen noch ihre Wirkung: nähert man das eingeschlossene Präparat im Dunkeln plötzlich dem Auge, so werden die Flüssigkeiten und Bindehäute des Auges zu lebhafter Phosphoreszenz erregt, die Lichtempfindung gleicht der durch einen Schlag ins Auge ausgelöst; selbst von der Seite her durch das Schläfenbein hindurch ist die Wirkung dieselbe<sup>4)</sup>.

Die Phosphoreszenz an sich ist nun kein Charakteristicum der radioactiven Substanzen; denn wir kennen seit Jahrhunderten die natürlichen und künstlichen Leuchtsteine; auffallend ist nur die ausnehmend hohe Intensität ihres Phosphoreszenzlichtes. Diese Erscheinung gehört aber so wenig zum Wesen der eigentlichen Becquerelstrahlen, dass sie immer nur dann besonders kräftig auftritt, wenn sich Becquerelstrahlen im Entwicklungsstadium befinden.

Eigenthümlicherweise reagirt aber ein anderer Sinn sehr energisch auf diese unsichtbaren Strahlen, nämlich das Gefühl. Es genügt, eine kleine Menge einer radioactiven Substanz in einem beiderseitig zugeschmolzenen Glasröhrchen in der Westentasche zu tragen, um sich schmerzhaft eiternde Wunden an der betreffenden Stelle der Haut zuzuziehen. Becquerel theilt mit<sup>5)</sup>, dass eine solche Wunde bei ihm erst nach sieben Wochen vernarbte; Giesel<sup>6)</sup> berichtet von ähnlichen heftigen Entzündungen; auch der Haarwuchs wird für immer zerstört, sowie das Chlorophyll der Pflanzen. Die Strahlen üben also durch Glas hindurch einen heftigen Reiz auf organisierte Gewebe aus; Entzündungen der Hände treten in Folge dessen nicht selten auf bei Denen, welche mit diesen Substanzen arbeiten, obgleich alle radioactiven Körper chemisch durchaus harmloser Natur sind, sie besitzen weder ätzende noch saure Eigenschaften.

Aber auch diese merkwürdige Erscheinung charakterisirt nicht die Becquerelstrahlen; denn man hat ähnliche, wenn auch nicht so heftige Wirkungen durch Röntgenstrahlen hervorrufen können; diese werden z. B. als Enthaarungsmittel erfolgreich verworther.

Zur Deutung der Natur der Becquerelstrahlen genügen also die directen sinnlichen Wahrnehmungen nicht; ihr eigenstes Wesen offenbaren sie erst der photographischen Platte und dem Elektroskop. Diese beiden physikalischen Hilfsmittel waren es denn auch, welche zu ihrer Entdeckung führten.

Das französische Physikerhepaar Curie<sup>7)</sup>, verdienstvoll durch die erste erfolgreiche Weiterbearbeitung der Entdeckung Becquerel's, berichtet diesbezüglich über folgenden Fundamentalversuch: Legt man einen Krystall irgend einer radioactiven Substanz auf eine Bromsilbergelatineplatte, die so dicht in schwarzes Papier eingewickelt ist, dass die Sonne auf derselben während eines Tages keinen Eindruck hervorruft, so erscheint — je nach der Art der verwendeten Substanz — nach Secunden, Minuten oder Stunden beim Entwickeln die Silhouette der Krystalle schwarz auf der Platte. Dieser Eindruck auf der photographischen Platte kommt aber nicht etwa unter dem Einfluss irgend einer natürlichen oder künstlichen Lichtquelle zu Stande; denn er erreicht in völliger Dunkelheit genau die gleiche Stärke. Becquerelstrahlen wirken also wie gewöhnliches Licht auf lichtempfindliche Schichten; im Gegensatz zu diesem durchdringen sie aber schwarzes Papier; auch durch Aluminium- und Kupferblech, durch Metallsalzlösungen, durch Paraffin und Schwefel u. A. m. gehen sie ungehindert hindurch.

Nicht minder wichtig für die Erkennung von Becquerelstrahlen ist ihre Wirkung auf das Elektroskop, welche von Becquerel<sup>8)</sup> selbst zuerst beobachtet worden war: Nähert man einem geladenen Elektroskop, in welches ein Aluminiumfenster eingesetzt ist, eine radioactive Substanz, so beobachtet man mehr oder weniger schnell eine Entladung des Elektrometers, erkennbar an dem Zusammenfallen der Goldblättchen; eine geeignete Anordnung dieses Versuches ermöglicht eine quantitative Bestimmung der Strahlungsintensität. Das Aluminiumfenster wird überflüssig, wenn man die Substanz auf eine geladene Metallplatte legt, die mit den Goldblättchen leitend verbunden ist, und über dieser in kurzer Entfernung eine zweite zur Erde abgeleitete Metallplatte anbringt<sup>9)</sup>. Als zweite wesentliche Eigenschaft der Becquerelstrahlen erkennen wir also ihre Fähigkeit, atmosphärische Luft (und andere Gase) für Elektrizität leitend zu machen oder, was dasselbe ist, geladene Leiter zu entladen.

Wir haben die beiden Haupteigenschaften der Becquerelstrahlen kennen gelernt; sie genügen vollkommen, die Existenz derselben nachzuweisen. Was veranlasst uns nun aber, uns so eingehend mit der selbststrahlenden Materie zu beschäftigen? — Die erwähnten Thatsachen selbst jedenfalls nicht; denn sie

<sup>4)</sup> Miethe, Prometheus 1899, 522.

<sup>5)</sup> Comptes rendus 1901, 132, 1289.

<sup>6)</sup> Berichte d. deutsch. chem. Ges. 1900, 33, 3569.

<sup>7)</sup> Compt. rend. 1898, 126, 1101.

<sup>8)</sup> Compt. rend. 1896, 122, 559, 689, 1086.

<sup>9)</sup> Elster u. Geitel, Physikalische Zeitschrift 1899, 1 u. 2; S. 11.

sagen uns nichts weiter, als dass von einer Anzahl Substanzen eine bisher nicht bekannte Art von Strahlen ausgesendet wird. Als man nichts weiter wusste als dies, d. h. zu jener Zeit, als Becquerel seine Strahlen zum ersten Male nachwies, da war auch in der That das Interesse an dieser Entdeckung nicht allzu gross. Zwei Jahre später aber brachten die Curies eine Enthüllung über die Becquerelstrahlen, welche sofort lebhaftes Interesse wachrief. Die Substanzen, von denen die Strahlen ausgehen, hatten nämlich im Laufe der Zeit eine ganz unerwartete, kostbare Eigenschaft erkennen lassen: sie wurden nicht müde, ihre Strahlen in den Raum hinauszusenden, trotzdem man sie unbeachtet im Dunkeln hatte liegen lassen; mit unverminderter Intensität strahlten sie noch nach zwei Jahren und — sie strahlen heute noch. — Dies ist auch der Grund, weshalb man jene Körper radioactiv nennt, sie sind „thätig im Ausstrahlen“, strahlen von selbst.

Diese Erscheinung steht nun so stark im Widerspruch mit allen bekannten Phänomenen, dass man mit wohlbegreiflicher Spannung an die Arbeit ging, um dies Räthsel zu lösen. Physiker und Chemiker widmen sich nun schon seit Jahren dieser Aufgabe. Bei dem unermüdlichen Suchen nach der Ursache der permanenten Strahlung wurde eine Fülle von Thatsachenmaterial zu Tage gefördert, das zunächst einmal unsere Kenntnisse über die Natur der Becquerelstrahlen erheblich erweitert hat.

Unsere nächste Aufgabe soll daher sein, die

### Natur der Becquerelstrahlen

mit Hilfe dieser experimentellen Thatsachen zu ergründen und dabei zugleich nach bekannten Erscheinungen auf dem Gebiete der Physik zu suchen, welche mit den neuen Strahlen vergleichbar sind.

Röntgenstrahlen und Becquerelstrahlen. — Schon kurz nach der Entdeckung der Becquerelstrahlen wurde darauf hingewiesen, dass die Fähigkeit, undurchsichtige Körper zu durchdringen und die Bromsilberschicht der photographischen Platte zu beeinflussen, auch den Röntgenstrahlen zukommt; dass ferner beide Arten von Strahlen die Luft und andere Gase für Elektrizität leitend machen. Manche andere gemeinsame Eigenschaft führte denn auch zu dem etwas vorläufigen Schluss, dass man es hier mit Röntgenstrahlen zu thun habe. Unzweifelhaft aber stand von Anfang an fest, dass Becquerelstrahlen mit Röntgen- und auch mit Kathodenstrahlen nahe verwandt sind.

So kommt es, dass die Forschungsergebnisse über Becquerelstrahlen gar nicht mehr

von denen über Röntgen- und verwandte Strahlen zu trennen sind; beide Gebiete haben in der letzten Zeit gemeinsam eine grosse Erweiterung erfahren. Wollen wir also ein klares Bild über das Wesen der Becquerelstrahlen gewinnen, so werden wir unsere Aufmerksamkeit auch den Röntgenstrahlen zuwenden müssen.

Röntgen- oder X-Strahlen bilden sich bekanntlich in einer bis auf milliontel Millimeter evacuirten Geissleröhre durch hochgespannte Wechselströme von starker Frequenz. Ihre Entstehung verdanken sie den von der Kathode ausgehenden Strahlen; sie durchdringen die Glaswände der Röhre und üben — in die Luft hinaustretend — ihre charakteristischen Wirkungen aus. Treffen sie auf Substanzen, wie Baryumplatincyannür, Schwefelstrontium u. A., so wandeln sie sich in Fluorescenzlicht um; dieselbe Erscheinung zeigen Becquerelstrahlen; undurchsichtige, feste Körper, welche sich in ihrer Bahn befinden, bieten den Röntgenstrahlen kein unbedingtes Hinderniss dar. Das Durchdringungsvermögen der Strahlen für die verschiedenen Substanzen ist allerdings sehr verschieden; doch ist zu vermuthen, dass bei genügend grosser Intensität auch die den X-Strahlen am meisten Widerstand bietenden Metalle durchdrungen werden. Um die Durchschlagswirkung der X-Strahlen sichtbar zu machen, hat man nur nöthig, in den Weg der Strahlen den zu durchdringenden Gegenstand und dahinter einen Baryumplatincyannürschirm aufzustellen. Zur objectiven Prüfung bedient man sich aber meist an Stelle des Schirmes der photographischen Platte, welche zum Schutz vor dem Fluorescenzlicht der Röntgenröhre in schwarzes Papier eingewickelt wird. Diese Methode gewinnt noch an Werth, wenn man weiss, dass — nach Messungen von Rutherford und Clung<sup>10)</sup> — nur 4,4 Proc. von der Strahlungsenergie der X-Strahlen durch den Fluorescenzschirm in sichtbares Licht umgewandelt wird. X-Strahlen sowohl wie Becquerelstrahlen von geringer Intensität sind daher nur auf photographischem Wege nachzuweisen.

Bezüglich der Durchlässigkeit der Metalle für Röntgenstrahlen hat Benoist<sup>11)</sup> eine bemerkenswerthe Gesetzmässigkeit gefunden; er stellte fest, dass X-Strahlen um so schwerer Metalle durchdringen, je höher deren Atomgewicht ist, so dass man das Atomgewicht eines Metalls aus seiner Durchlässigkeit für X-Strahlen zu ermitteln im Stande ist.

<sup>10)</sup> Proceedings 1900, 67, 245.

<sup>11)</sup> Sitzungsber. Acad. des sciences, Paris 1901, 25. März.

Derselbe Forscher fand auch kürzlich<sup>12)</sup>, dass man unter geänderten Versuchsbedingungen sehr verschiedene Sorten von X-Strahlen beobachten kann, die man mit den Farben des gewöhnlichen Lichtes vergleichen kann. Wie nämlich das weisse Licht beim Durchgang durch ein Glasprisma in seine Bestandtheile zerlegt wird, d. h. in Licht von bestimmter Farbe und Wellenlänge, so kann man auch das unsichtbare Röntgenlicht durch geeigneten Wechsel der Stromelemente in seine Bestandtheile zerlegen, welche an ihrem verschiedenen Durchdringungsvermögen mit Hülfe eines sog. Radiochromometers erkannt werden. Dieser Apparat besteht aus einer Scheibe von 12 verschiedenen dicken (1—12 mm) Aluminiumblättchen, welche ein Silberblättchen von 0,11 mm Dicke (als Vergleichsmetall) umschliessen<sup>13)</sup>.

Die beiden Haupteigenschaften der Becquerelstrahlen, sowie ihre Fluoreszenzwirkungen, haben wir also bei den Röntgenstrahlen wiedergefunden; und auch in der zuletzt besprochenen Erscheinung, der Zerlegung der Röntgenstrahlen, können wir ein Analogon zu den Becquerelstrahlen erkennen, denn diese Strahlung ist in der That sehr verschieden bei den einzelnen radioactiven Körpern, so dass man auch hier Benoist's X-Farben vermuthen könnte.

Der Physiker kennt nun noch eine Reihe von wichtigen Merkmalen, welche ihm über die Natur einer neuen Strahlung Klarheit verschaffen können. Gewöhnliches Licht pflanzt sich, wie man weiss, in transversalen Schwingungen gradlinig nach allen Seiten hin fort; durch Turmalin hindurchgehend, werden seine Schwingungen in eine Ebene gedrängt: das Licht wird polarisirt; die Körper, auf die ein Lichtbündel trifft, werfen das Licht zum Theil oder vollständig zurück: es erleidet Reflexion; durch einen schmalen Spalt hindurchgezwängt, zeigt es die bekannten Beugungserscheinungen; beim Eintritt in Medien von grösserer oder geringerer Dichte als Luft verändern die Lichtwellen ihre Fortpflanzungsrichtung: man beobachtet Refraction.

Diese Kriterien für gewöhnliches Licht konnten nur zum Theil an Röntgen- und Becquerelstrahlen wiedererkannt werden, welche in dieser Hinsicht auch unter sich

<sup>12)</sup> Compt. rend. 1902, 134, 225.

<sup>13)</sup> Diese Entdeckung Benoist's wird übrigens auch praktisch nicht ohne Werth sein; denn man ist nun im Stande, die für einen bestimmten Zweck geeignete Strahlensorte auszuwählen. So geben z. B. die X-Strahlen niedriger Nummer die Details der Blutgefässe im Fleische gut wieder, während die intensivsten Strahlen höherer Nummer Knochen durchdringen.

Verschiedenheiten aufweisen. Röntgenstrahlen pflanzen sich wie das Licht gradlinig fort und verhalten sich wie Licht in trüben Medien: sie werden zerstreut. Um die dadurch bedingten unscharfen Bilder zu vermeiden, giebt man der Kathode der Röntgenröhre die Form eines Hohlspiegels und bringt in den Brennpunkt dieses Spiegels — unter 45° zur Spiegelachse geneigt — ein Platinblech an; von diesem Punkt aus, der Antikathode, in welchem sich die Kathodenstrahlen vereinigen, gehen auch die Röntgenstrahlen aus und liefern nun scharfe Bilder ohne Halbschatten. Ähnliches wurde bei den Aufnahmen mit Becquerelstrahlen beobachtet: die Bilder sind unscharf, die Knochen der Hand z. B. sind nicht sichtbar, nur Dicken- und Dichtigkeitsunterschiede können erkannt werden<sup>14)</sup>, analog also den X-Strahlen, welche direct von der Kathode ausgehen.

Auch polarisierbar sind die Röntgenstrahlen; nicht dagegen die Becquerelstrahlen, und hier erkennen wir bereits einen sehr gewichtigen Unterschied beider Strahlungen, denn die Polarisirbarkeit schliesst auf Gegenwart von transversalen, also den Lichtwellen analogen Schwingungen, welche demnach den Becquerelstrahlen nicht eigen sind. Ferner konnten die Beugungserscheinungen, welche Licht- und Röntgenstrahlen zeigen, an den neuen Strahlen nicht beobachtet werden.

Reflexion und Refraction kommt den Röntgenstrahlen nicht zu; ob diese beiden Erscheinungen bei den Becquerelstrahlen vollständig fehlen, ist noch zweifelhaft; die älteren Untersuchungen scheinen diese Analogie mit den X-Strahlen zu ergeben. Tommasina<sup>15)</sup> hat aber kürzlich eine reflectirende Wirkung von Radiumchlorid, einem stark activen Körper, unzweifelhaft bewiesen, indem er in den Brennpunkt eines parabolischen Spiegels das active Präparat brachte, welches von dort aus ein Goldblattelektroskop doppelt so schnell entlud als ohne den Spiegel. Auch Giesel<sup>16)</sup> berichtet, dass Radiumstrahlen deutlich reflectirt werden.

Eine recht auffallende Verschiedenheit zwischen X- und Becquerelstrahlen kennzeichnet noch ihr Verhalten gegen Selen. Dieser chemische Grundstoff besitzt eine für Lichttelegraphie werthvoll gewordene Eigenschaft, er leitet die Elektrizität im Licht bedeutend besser als im Dunkeln, so dass ein nach Art des Morsealphabets gehandhabter rythmischer Wechsel zwischen Belichtung und

<sup>14)</sup> Giesel, Über radioactive Substanzen, S. 15. Stuttgart 1902, Verlag von Enke.

<sup>15)</sup> Compt. rend. 1901, 133, 1299.

<sup>16)</sup> l. c.

Dunkelheit an dem analog verlaufenden Wechsel des Widerstandes einer Selenzelle erkannt und für eine Verständigung in die Ferne hin verwertbar werden kann. Eine solche Selenzelle, welche dem elektrischen Strom im Dunkeln einen Widerstand von 30 100 Ohm entgegensetzte, gewann nach den Untersuchungen von Bloch<sup>17)</sup> im Licht einer Glühlampe etwa die doppelte Leitfähigkeit, ihr Widerstand fiel auf 15 000 Ohm. Röntgenstrahlen üben eine ähnlich kräftige Wirkung aus (Perseu); bei Weitem geringer aber ist der Einfluss eines Radiumpräparates; in 1 mm Entfernung bewirkt es nur eine Verminderung des Widerstandes um 800 Ohm, eine Änderung, wie sie sehr schwach diffuses Tageslicht an der Selenzelle hervorbringt.

Als charakteristisches gemeinsames Merkmal von Röntgen- und Becquerelstrahlen nannten wir oben die ionisierende Wirkung auf Luft und andere Gase. Hierüber liegen nun so viel neuere Beobachtungen vor, dass wir an dieser Stelle unsere diesbezüglichen Erfahrungen vervollständigen müssen.

Die Ionisation eines Gases lässt sich messend verfolgen, indem man entweder die entladende Kraft der Strahlen an einem geladenen Elektroskop bez. am Quadrantelektrometer bestimmt, oder direct die Stärke desjenigen Stromes ermittelt, welchen die Strahlen durch Spaltung der Gasmoleküle in positive und negative Ionen erzeugen. Aus directen Messungen der Leitfähigkeit von Rutherford und Clung<sup>18)</sup> ergibt sich für die Energie der Röntgenstrahlung der Werth 19,5 Calorien pro Secunde, d. i. 560mal so viel als die Energie der Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche pro qcm beträgt; für die Energie der Becquerelstrahlung eines stark wirksamen Radiumsalzes wurde pro Gramm Substanz im Minimum der Werth 3000 Cal. pro Jahr erhalten. Dieser Zahl wird man aber wohl noch einige Nullen anhängen müssen, wenn es gilt, die Energie derjenigen Strahlung anzugeben, welche von dem radioactiven Element Polonium (vgl. w. unten) ausgeht, das neulich Marckwald<sup>19)</sup> elektrolytisch abgeschieden hat. Dieser Stoff besitzt eine so stark ionisierende Wirkung, dass er schon auf 1 cm die Blättchen eines geladenen Elektroskops zusammenschlagen lässt und sogar einen kräftigen Guttaperchastab, der mit einem Fuchsschwanz stark gerieben war, bei der blossen Annäherung sofort gänzlich entladet.

Eine leicht verständliche Folge dieses stark fördernden Einflusses auf die Leitfähigkeit der Gase ist die Erhöhung der Lumineszenz der Gase unter dem Einfluss von Röntgen- und Becquerelstrahlen. Jedes Gas, dessen Druck man mittels der Vacuumpumpe allmählich vermindert, beginnt bei einem genau bestimmbar Druck zu leuchten, wenn es in einem Geisslerrohr durch elektrische Schwingungen erregt wird. Diese Druckgrenze für das Leuchten wird nach oben hin verschoben, das Gas beginnt schon bei einem höheren Druck zu leuchten, wenn die Geissleröhre von X- oder von Becquerelstrahlen durchdrungen wird<sup>20)</sup>.

Die elektrische Leitfähigkeit aller Körper und mithin auch der Gase ist von deren chemischer Natur und von ihrem physikalischen Zustande abhängig; ein bestimmtes Gas aber wird unter demselben Druck und bei derselben Temperatur stets eine unveränderliche Leitfähigkeit besitzen. Gänzlich andere Resultate gewinnt man jedoch, wenn man diese physikalische Constante für Gase bestimmt, welche Röntgen-, (Kathoden-) und Becquerelstrahlen ausgesetzt sind. Der Erhöhung der Leitfähigkeit durch die unsichtbaren Strahlen liegen Bedingungen zu Grunde, deren ursächlicher Zusammenhang erst im Laufe des vergangenen Jahres durch eine Reihe sehr verdienstvoller Arbeiten klargelegt wurde.

Übereinstimmend von vielen Forschern<sup>21)</sup> ist zunächst gefunden worden, dass die Leitfähigkeit der Gase unter dem Einfluss von Becquerelstrahlen sowohl wie von Röntgen- und Kathodenstrahlen ganz unabhängig ist von der Temperatur, während doch unter gewöhnlichen Verhältnissen die Temperatur ein wesentlicher Factor für die Bestimmung der Leitfähigkeit ist. Radioactive Substanzen entfalten aber noch bei der Temperatur der siedenden flüssigen Luft (— 193°) die gleiche ionisierende Wirkung wie bei gewöhnlicher Temperatur.

Mac Lennan<sup>22)</sup> fand dann 1901, dass „die Absorption eines bestimmten Betrages an strahlender Energie immer von dem Auftreten eines festen Betrages potentieller Energie in Form von freien Ionen begleitet ist.“ Demgemäss ist also der Ionisationscoefficient: die Leitfähigkeit eines Gases, vollständig bestimmt, wenn man seinen Absorptionscoefficienten kennt. Dieses zunächst für Kathodenstrahlen bewiesene Gesetz besitzt

<sup>20)</sup> De Hemptinne, Compt. rend. 1902, 133, 934; 125, 428.

<sup>21)</sup> Becquerel, Compt. rend. 1901, 133, 199. Curie, Compt. rend. 1902, 134, 420, u. Andere.

<sup>22)</sup> Zeitschr. f. physik. Chemie 1901, 37, 538.

<sup>17)</sup> Compt. rend. 1901, 182, 914.

<sup>18)</sup> Proceedings 1900, 67, 245.

<sup>19)</sup> Berichte der deutsch. chem. Ges. 1902, 35, 2285.

aber auch volle Gültigkeit für Röntgen- und für Becquerelstrahlen<sup>23)</sup>.

Ferner hat Mac Lennan ein schon 1895 von Lenard<sup>24)</sup> vorgeschlagenes Gesetz in vollem Umfange bestätigen können, das unser Interesse in hohem Grade in Anspruch nimmt, weil es uns einen Einblick gewährt in die merkwürdige Wirkungsart der „strahlenden Materie“ überhaupt. Es lautet in der Fassung von Mac Lennan<sup>25)</sup>: Wenn Kathodenstrahlen von einer bestimmten Stärke durch ein Gas gehen, so ist die Menge der in einer Secunde in 1 ccm erzeugten Ionen nur von der Dichte des Gases abhängig, dagegen unabhängig von seiner chemischen Zusammensetzung. So ist z. B. die Leitfähigkeit von Luft unter 53 mm Druck dieselbe wie von Wasserstoff unter Atmosphärendruck, weil die beiden Gase unter diesen Verhältnissen die gleiche Dichte besitzen. Für Röntgenstrahlen gilt das Gesetz auch, nicht aber bezüglich aller Gase; während sich Luft, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlendioxyd, Wasserstoff, Stickoxyd in Röntgen- und Kathodenstrahlen ganz gleich verhalten, treten bei anderen Gasen, die Schwefel und Halogene enthalten, ganz uncontrolirbare, nicht constante Leitfähigkeiten auf.

Für Becquerelstrahlen lässt sich ein solches bedingungsweises Abweichen von dem Gesetz nicht erkennen, denn sie erzeugen Leitfähigkeiten, welche für alle Gase wenigstens annähernd den relativen Dichten gleich sind<sup>26)</sup>. Und so entdecken wir hier zum ersten Male ein bis in die Einzelheiten analoges Verhalten zwischen den Becquerel- und den Kathodenstrahlen.

Bisher haben uns im Wesentlichen nur die Beziehungen interessirt, welche zwischen den Becquerel- und Röntgenstrahlen obwalten. Es zeigte sich, dass zwar einige Eigenschaften, wie

- die physiologische Wirkung,
- die Wirkung auf die photographische Platte,
- die Ionisirung der Gase,
- die Fluoreszenzwirkung,
- die Erhöhung der Luminescenz der Gase,
- die bedingungsweise Übereinstimmung mit Lenard's Absorptionsgesetz und schliesslich auch
- das Fehlen der Refraction

für eine Verwandtschaft der Becquerelstrahlen mit den Röntgenstrahlen sprechen.

Andererseits haben wir aber mindestens ebensoviel Merkmale kennen gelernt, welche auf eine innere Wesensverschiedenheit beider Strahlungen hindeuten:

Röntgenstrahlen zeigen

Polarisation und Beugung und erhöhen die Leitfähigkeit einer Selenzelle in hohem Grade,

Eigenschaften, welche den Becquerelstrahlen nicht zukommen.

Diese, die Becquerelstrahlen, besitzen ihrerseits wieder Eigenschaften, welche jenen fehlen:

sie werden reflectirt und folgen dem Lenard'schen Absorptionsgesetz genau (X-Strahlen nur theilweise).

Wenn also Elster und Geitel<sup>27)</sup> 1899 die Becquerelstrahlen als Röntgenstrahlen von geringer Intensität charakterisirten, so erkennen wir heute, dass diese Auffassung das Wesen der Strahlung nicht ausreichend erklärt.

Kathodenstrahlen und Becquerelstrahlen. — Eine viel grössere Wahrscheinlichkeit hat die in jüngster Zeit immer entschiedener ausgesprochene Vermuthung für sich, dass die Becquerelstrahlen vielleicht mit Kathodenstrahlen identificirt werden können; und in der That, wenn man die Wirkungsart der Becquerelstrahlen von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet, so gelangt man zu einer besseren Einsicht in die wahre Natur derselben.

So kommen z. B. alle diejenigen der erwähnten Eigenschaften, in denen sich Becquerel- und X-Strahlen unterscheiden, gemeinsam den Becquerel- und Kathodenstrahlen zu. Ausserdem stimmen beide Strahlen in einer für Kathodenstrahlen höchst charakteristischen Eigenschaft überein: sie werden beide im magnetischen Felde von ihrer gradlinigen Bahn abgelenkt, eine Beobachtung, die Becquerel<sup>28)</sup> und Giesel<sup>29)</sup> zugleich schon 1899 gemacht hatten.

Wenn auch keine andere Ähnlichkeit beider Strahlen bekannt wäre, als diese eine, so wäre damit allein schon die Existenz von Kathodenstrahlen in den Becquerelstrahlen als erwiesen zu erachten. Die Deutung fast aller Eigenthümlichkeiten der Becquerelstrahlung aus dem Wesen der Kathodenstrahlen heraus konnte aber erst versucht werden, nachdem die Phänomene des Kathodenlichts so vollständig erforscht

<sup>23)</sup> Rutherford, Phil. Mag., April 1897, 254.

<sup>24)</sup> Wiedemann's Annalen 1895, 56, 255.

<sup>25)</sup> l. c. 538.

<sup>26)</sup> Die völlig abweichenden Resultate einiger Forscher sind nach Mac Lennan auf eine fehlerhafte Versuchsanordnung zurückzuführen. Über Verhalten flüssiger Dielektrica vergl. Curie 1902, 134, 420.

<sup>27)</sup> Wiedemann's Annalen 1899, 69, 83.

<sup>28)</sup> Compt. rend. 1899, 129, 912.

<sup>29)</sup> Wiedemann's Annalen 1899, 69, 834.

waren, wie das in den letzten Jahren geschehen ist.

Diese neuen Errungenschaften werden uns jetzt umsomehr interessiren, als wir mit der Besprechung derselben zugleich die erste unserer Aufgaben lösen: Erklärung des Wesens der Becquerelstrahlen. Gleichzeitig werden wir dadurch die nothwendigen Vorkenntnisse gewinnen, um eine der merkwürdigsten Erscheinungen der selbststrahlenden Materie zu verstehen: die Übertragung ihrer Wesensäusserung auf völlig indifferente Körper.

Die Elektronentheorie. — „Strahlende Materie“ nannte Crookes<sup>30)</sup> die Materie in jenem Zustand höchster Verdünnung, der unter der Wirkung schneller elektrischer Entladungen die Bildung von Kathodenstrahlen bedingt.

„Selbststrahlende Materie“ nennen wir jene Substanzen, welche ohne willkürliche Energiezufuhr „von selbst“ wesensverwandte Strahlen, die Becquerelstrahlen, aussenden.

Im wissenschaftlichen Sinne von Lichtstrahlen zu sprechen, ist incorrect; in der Physik giebt es seit der Annahme der Undulationstheorie von Huyghens und Young nur Lichtwellen, höchstens Lichtwellenbündel. Wenn also Crookes das Kathodenlicht eine Strahlung nennt, so erkennt man schon an der Wahl des Namens, dass die Natur der Kathodenstrahlen unter dem Gesichtspunkte der Wellentheorie des Lichts nicht verstanden werden kann. Nach allen bisherigen Erfahrungen haben denn auch diese Strahlen mit Lichtwellen nichts gemein.

Crookes versuchte nun das Verhalten derselben im Magnetfelde [vergleichbar den frei beweglichen Theilchen eines Magnetfeldes (Plücker)], die Wärmewirkungen und vor Allem die rein mechanischen Wirkungen [z. B. Drehen und Fortbewegen eines auf Glasstäben aufliegenden Schaufelrädchens in der Richtung der Strahlen] durch die Annahme zu erklären, „dass diese Strahlen aus Gasmoleculen beständen, die an der Kathode negativ geladen, von dieser wie beim elektrischen Kugeltanz abgestossen und in den Röhrenraum hineingeschleudert werden“.

In dieser Form war die Crookes'sche Hypothese nicht haltbar; das eingehendere Studium einer Reihe von Forschern<sup>31)</sup> hatte jedoch ergeben, dass es nur einer geringen Abänderung dieser Hypothese bedarf, um die beobachteten Erscheinungen einwandfrei zu

erklären. Nicht die Gasmoleculé sind es, welche von der Kathode mit der ungeheuren Geschwindigkeit von ca. 150 000 km in der Secunde<sup>32)</sup> — negativ geladen — in den Raum abgeschleudert werden, sondern 1—2000 mal kleinere Massentheichen, Theilchen von jener Grössenordnung, wie man sie beim Zeemaneffect beobachtet hatte, frei existirende elektrische Ladungen: Die Elektronen.

Wer würde hier nicht an die alte, längst überwundene Emissionstheorie Newton's erinnern, nach welcher „jeder leuchtende Körper fortwährend nach allen Richtungen unendlich kleine Theilchen eines unwägbaren Stoffes in den Raum aussendet und zwar geradlinig und mit ungeheurer Geschwindigkeit“<sup>33)</sup> — Es ist in der That die Newton'sche Emissionstheorie, welche ohne Weiteres das Rätsel der Kathodenstrahlung löst.

Jene unendlich kleinen Theilchen eines unwägbaren Stoffes sind die Elektronen, nicht wägbare zwar, aber doch mit grösster Präcision messbar durch physikalische Methoden. Ihre Grösse beträgt den zweitausendsten Theil eines Wasserstoffatoms.

In seinem schönen Vortrag gelegentlich der Naturforscherversammlung in Hamburg 1901 verwertet W. Kaufmann<sup>34)</sup> einen Vergleich, der uns eine Vorstellung giebt von der ungeheuren Kleinheit der Elektronen, dieser „kleinsten bisher bekannten Massentheilchen unserer sichtbaren Welt“, er sagt: „Die Grösse eines Elektrons verhält sich zu der Grösse eines Bacillus, wie dieser zur ganzen Erdkugel.“ Kaufmann entrollt in seinem Vortrage ein anschauliches Bild von der bedeutsamen Rolle, welche die Elektronen überall in allen Aggregatzuständen bei den optischen und elektrischen Vorgängen spielen. Die wichtigen Schlussfolgerungen, zu denen er gelangt, werden weiter unten unser volles Interesse in Anspruch nehmen.

Elektronentheorie und Becquerelstrahlen. — Während nun die Existenz von Elektronen bei optischen Vorgängen nur erschlossen werden kann, nehmen diese in den Kathodenstrahlen gleichsam greifbare Gestalt an. Aber sie sind hier immer noch gebunden an elektrische Vorgänge, sind abhängig von unserer Experimentirkunst, also gewissermaassen ein Kunstproduct. Den

<sup>32)</sup> J. J. Thomson, Philosophical Magazine, October 1897, 305: 10<sup>10</sup> cm/sec.

<sup>33)</sup> Aus A. Ganot's Lehrbuch der Physik und Meteorologie, 1858.

<sup>34)</sup> Die Entwicklung des Elektronenbegriffs, Naturwiss. Rundschau 1901, 557, 569; vgl. auch die Vorträge von Kaufmann und von Abraham auf der diesjährigen Naturforscher-Versammlung in Karlsbad (Physik. Zeitschr.).

<sup>30)</sup> Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand, Leipzig 1882.

<sup>31)</sup> Wiechert, W. Kaufmann, Aschkinass, J. J. Thomson, Lenard, Mac Lennan u. A.

höchsten Trumpf aber, den die Anhänger der Elektronentheorie auszuspielen haben, ist der Nachweis ihrer selbständigen Existenz in der Natur. Und diesen Nachweis brachte das Studium der selbststrahlenden Materie.

Hier haben wir wirkliche Körper vor uns, welche ohne unser Zuthun fortdauernd Elektronen in den Raum hinausschleudern, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die fast der des Lichts (300 000 km in der Secunde) gleichkommt. Der Energieinhalt dieser Substanzen ist demnach weit grösser, als wir ihn künstlich durch elektrische Kräfte erzeugen können.

Es ist nun für unsere Frage nach der Natur der Becquerelstrahlen entscheidend, dass die erwähnte grosse Geschwindigkeit der Emanation (wie wir die Ausstrahlung nach dem Vorschlag von Rutherford<sup>35</sup>) nennen wollen) für Becquerelstrahlen wirklich nachgewiesen ist. Die diesbezüglichen Untersuchungen verdanken wir Dorn<sup>36</sup>) und Becquerel<sup>37</sup>).

Damit ist nämlich der Nachweis erbracht, dass die Röntgenstrahlung in der Emanation der radioactiven Substanzen mindestens nur von untergeordneter Bedeutung sein kann. Die Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen ist nämlich fast 1000 Millionen Mal kleiner als die der Kathodenstrahlen. Rutherford<sup>38</sup>) berechnet sie zu 1,6 cm pro Sec., während die Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen von J. J. Thomson<sup>39</sup>) zu 10<sup>10</sup> cm pro Sec. angegeben wird.

Deutung der Becquerelstrahlen als Kathodenstrahlen. — Diese Thatsachen berechtigen uns jetzt zu dem Versuch, sämtliche Erscheinungen der Becquerelstrahlen durch Wirkung von Kathodenstrahlen zu erklären.

Als eine der wesentlichsten Eigenschaften unserer Strahlen haben wir ihre ionisierende Wirkung auf Gase kennen gelernt und dieselbe Eigenschaft bei den Röntgenstrahlen angetroffen. Wenn wir aber hören, dass die Ionisation der Gase durch Kathodenstrahlen nach den Untersuchungen Mac Lennan's<sup>40</sup>) 300mal stärker ist als die durch X-Strahlen, so werden wir nicht im Zweifel darüber sein können, dass die energische Entladung eines Elektroskops durch radioactive Körper jedenfalls nicht den Röntgenstrahlen zugeschrieben werden darf. Mac

Lennan weist experimentell nach, dass die Erhöhung der Leitfähigkeit nicht von Röntgenstrahlen herrührt, sobald überhaupt Kathodenstrahlen zugegen sind. Sie könnte in unserem Falle höchstens von noch viel stärker wirkenden Strahlen herrühren, eine Möglichkeit, die wir im Laufe unserer Untersuchung wahrscheinlich machen werden.

Ebenso wie die Ionisierungsfähigkeit kommen auch einige andere Eigenschaften der Becquerelstrahlen sowohl den Röntgen- wie den Kathodenstrahlen zu, so die Unabhängigkeit des Ionisierungseffectes von der Temperatur und die Einwirkung auf die Luminescenz der Gase. Bereits erwähnt wurde die Ähnlichkeit beider Strahlungen in der genauen Befolgung des Lenard'schen Absorptionsgesetzes, in dem Fehlen von Polarisation und Beugungserscheinungen; ebenfalls hervorgehoben wurde als gemeinsame Eigenschaft die so charakteristische magnetische und elektrische<sup>41</sup>) Ablenkung der Strahlen. Auch die eigenthümlichen Färbungen von Glas, das einige Zeit mit einem radioactiven Präparat in Berührung war, sowie die Färbungen von Steinsalz, Bromkalium und Flussspath (Giesel<sup>42</sup>) sind Erscheinungen, welche sowohl Kathoden- wie Becquerelstrahlen zukommen<sup>43</sup>).

Nicht ohne Weiteres auf Kathodenstrahlen zurückführbar scheint aber die Wirkung der Becquerelstrahlen auf die photographische Platte. Um auch hierfür eine ausreichende Erklärung zu gewinnen, müssen wir uns die secundären Wirkungen der Kathodenstrahlen vergegenwärtigen.

Wenn die negativ geladenen Elektronen, welche von der Kathode senkrecht zur Fläche derselben abgeschleudert werden, auf die gegenüberliegende Wandung der Glasröhre aufprallen, so wird ein Theil ihrer Bewegungsenergie in Wärme umgewandelt, ein anderer wandelt sich in ultraviolettes Licht um und veranlasst einen hellleuchtenden Fluoreszenzfleck an der getroffenen Stelle der Röhre, während der Rest ihrer Bewegungsenergie jene eigenthümliche Umwandlung erfährt, die als Röntgenstrahlen in die Erscheinung tritt. Nach der jetzt allgemein angenommenen Theorie haben wir uns die X-Strahlen als elektromagnetische Wellen zu denken, welche überall da entstehen können, wo die elektrisch

<sup>35</sup>) Phil. Magazine (5) 49, 161, 1900.

<sup>36</sup>) Abhandl. d. Naturforsch. Ges. Halle 1900, 22.

<sup>37</sup>) Compt. rend. 1899, 129, 997.

<sup>38</sup>) Phil. Mag. Nov. 1897, 436.

<sup>39</sup>) l. c.

<sup>40</sup>) l. c.

<sup>41</sup>) Dorn, Beiblatt zu Wiedemann's Annalen 1900, 24, 519.

<sup>42</sup>) l. c. S. 17.

<sup>43</sup>) Diese vorübergehenden Farben werden wahrscheinlich durch Abscheidung von freiem Metall veranlasst, (Giesel, Berichte d. deutsch. chem. Ges. 1897, 30, 156).



geladenen Massentheiligen der Kathodenstrahlen plötzlich aufgehalten werden. Gleichgültig nun, ob die X-Strahlen erst beim Auftreffen auf die Glaswand entstehen, oder ob sie schon innerhalb der Röhre an der Antikathode (vgl. S. 1156) fertig gebildet werden, diese elektromagnetischen Wellendurchdringen das Glas, gelangen in die Luft und äussern hier u. A. auch ihre spezifische Wirkung auf die photographische Platte.

Die Thatsache, dass Kathodenstrahlen beim Auftreffen auf feste Körper in Röntgenstrahlen umgewandelt werden können, legt uns nun die Vermuthung nahe, dass auch die Beeinflussung der photographischen Platte durch Becquerelstrahlen nur eine secundäre Erscheinung der in diesen angenommenen Kathodenstrahlen ist. Es hat somit den Anschein, als könnten wir auch zur Erklärung des photographischen Effects der Becquerelstrahlen die ursprüngliche Gegenwart von X-Strahlen ganz entbehren.

Vielleicht haben wir aber nicht einmal nöthig, die Beeinflussung der Bromsilberplatte der secundären Bildung von X-Strahlen zuzuweisen. Man könnte z. B. daran denken, diese Wirkung auf das ultraviolette Licht zurückzuführen, welches — wie erwähnt — ebenfalls entstehen kann, wenn Kathodenstrahlen auf ihrem Wege ein Hinderniss finden. Diese Vermuthung ist thatsächlich schon 1880 von Goldstein<sup>44)</sup> ausgesprochen worden. Zu einem ganz anderen Resultat gelangte aber neuerdings G. C. Schmidt<sup>45)</sup> bei seinen Untersuchungen über chemische Wirkungen der Kathodenstrahlen. Er liess diese auf eine Schicht von Chlorsilber (oder Eisenchlorid, Quecksilberchlorid und -chlorür, Alkalihaloide) einwirken, die zur Hälfte mit farblosem Flussspath bedeckt war; dieses Mineral besitzt die Eigenschaft, die kurzen Wellen des ultravioletten Lichts durchzulassen, während es für die Kathodenemanation selbst, die Elektronen, völlig undurchdringbar ist. Dieser Versuch führte nun zu dem bemerkenswerthen Ergebniss, dass die von Flussspath bedeckte Hälfte der Chlorsilberschicht unverändert blieb, die von den Strahlen direct getroffenen Salz-moleculé dagegen reducirt wurden. Damit ist zur Evidenz bewiesen, dass nicht das ultraviolette Licht die Zersetzung bewirkt, sondern die von der Kathode ausgesandten Elektronen. Aus der Erklärung, die G. C. Schmidt von diesem Reduktionsvorgang giebt<sup>46)</sup>, geht klar hervor, dass er nicht an

die Bildung von Röntgenstrahlen denkt; nach seiner Auffassung wird dieser chemische Vorgang direct bedingt durch die grosse Geschwindigkeit und durch die negative Ladung der Kathodenstrahlen.

Das ist also ein Beispiel für eine directe chemische Wirkung von Kathodenstrahlen ohne Vermittlung der Röntgenwellen. Da aber die Schwärzung der Bromsilberplatte auch nichts Anderes ist, als eine chemische Reduction, so schliessen wir: wie alle erwähnten Eigenschaften der Becquerelstrahlen, so ist auch ihr photographischer Effect durch eine directe Wirkung von Kathodenstrahlen zu erklären.

Nachweis von Nichtkathodenstrahlen. — Unsere nächste Frage wird nun sein: Besteht die Strahlung radioactiver Körper wirklich ausschliesslich aus Kathodenstrahlen, da doch ihre Wirkungsweise die Gegenwart von Röntgenstrahlen wenigstens nicht nothwendig fordert?

Über diese Frage hat das Experiment bereits entschieden. Der Nachweis von Röntgenwellen neben Kathodenstrahlen gelingt auf verschiedene Weise, indem man z. B. die Strahlung der betr. Substanzen in einem kräftigen Magnetfelde im Vacuum durch eine kleine Öffnung hindurch auf eine photographische Platte wirken lässt, die in der Richtung der Strahlen aufgestellt ist (Dorn). Bei geeigneter Versuchsanordnung wird sich nach dem Entwickeln der Platte die Röntgenstrahlung als grader, die Kathodenstrahlung als gebogener Streifen markiren<sup>47)</sup>. Legt man die Platte senkrecht zur Strahlenrichtung auf einen ausgehöhlten Bleiklotz, auf dessen Boden sich die Substanz befindet, so lenkt der Hufeisenmagnet, welcher den Bleiklotz einschliesst, die Kathodenstrahlen so ab, dass sie nicht auf die Platte gelangen, sondern schon vorher vom Blei absorbiert werden. Auf diese Weise zeigt die Platte nur X-Strahlen an; ein Vergleich der Intensität des so erhaltenen photographischen Eindrucks mit dem durch die gesammte Strahlung ohne den Magneten gewonnenen giebt Aufklärung über die relative Intensität beider Strahlen (Curie<sup>48)</sup>). An Stelle der photographischen Methode wurde auch vielfach die elektrische Methode angewendet, welche durch Messung der rela-

vereinigen sich mit den positiv geladenen Silberatomen des Chlorsilbers und verdrängen das negativ geladene Chloratom, welches — weil flüchtig — entfernt wird; es entsteht:  $\text{Ag Cl} + \text{Ag} = \text{Ag}_2 \text{Cl}$ , ein Reduktionsproduct.

<sup>47)</sup> Übrigens wieder ein Beweis für die directe Beeinflussung der photographischen Platte durch Kathodenstrahlen.

<sup>48)</sup> Compt. rend. 1900, 130, 76.

<sup>44)</sup> Annalen der Physik 1880, 11, 832.

<sup>45)</sup> Annalen der Physik 1902, (4) 7, 321.

<sup>46)</sup> Er gelangt zu folgendem Resultat: Die negativen Elektronen, welche die Kathodenstrahlen bilden,

tiven Entladungsgeschwindigkeit der Gesamtstrahlen und der Teilstrahlen ebenfalls die Frage nach der Existenz von Röntgenstrahlen entscheidet. Rutherford und Grier<sup>49)</sup> verwenden an Stelle des Magneten einen Elektromagneten und führen die Emanation durch einen Luftstrom dem Messapparat zu.

Alle diese Methoden führten übereinstimmend zu dem Resultat, dass alle permanent radioactiven Körper neben den Kathodenstrahlen noch eine andere Strahlung aussenden, welche — den Röntgenstrahlen ähnlich — vom Magneten nicht beeinflusst wird.

Sind denn das aber wirklich Röntgenstrahlen? — Haben wir mehr als dies eine Characteristicum für deren Existenz in der Emanation? Und wenn nicht — wo finden wir dann eine Erklärung für diese Teilstrahlen?

Theorie über die Natur der Becquerelstrahlen. — Die letzten Arbeiten von Rutherford und Soddy<sup>50)</sup> geben uns über diese Fragen vollkommen Aufschluss. Diese Forscher kommen nämlich auf Grund ihrer Experimentaluntersuchungen zu folgendem Resultat: Man hat in der Emanation radioactiver Körper eine  $\alpha$ - und eine  $\beta$ -Strahlung zu unterscheiden. Die  $\alpha$ -Strahlung ist die ursprüngliche, welche nur vorübergehend verloren gehen kann und — unbeeinflusst durch elektrische und thermische Reize — sich von selbst regeneriert.  $\beta$ -Strahlung dagegen wird erst durch jene hervorgerufen und kann daher u. U. ganz oder theilweise verschwinden und kann auch willkürlich vernichtet werden.

Damit führt also Rutherford die beiden Strahlungen auf einen gemeinsamen Ursprung zurück.

Ein sehr überraschendes Resultat ergibt sich jetzt aber, wenn man die Gesamtwirkung der Becquerelstrahlen auf die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung vertheilt. Die primären ( $\alpha$ -)Strahlen haben nach Soddy<sup>51)</sup> folgende Eigenschaften: sie bewegen sich gradlinig durch den Raum, werden also vom Magneten nicht abgelenkt; sie bewirken die Ionisirung der Gase, sind demnach die Ursache der Elektrizitätszerstreuung und werden sehr leicht von Luft absorbiert (Ionisationscoefficient = Absorptionscoefficient: Lenard vgl. oben S. 1158); deshalb ist ihre Gegenwart auf photographischem Wege nur im Vacuum nachzuweisen (Dorn<sup>52)</sup>) und bewirkt eine Schwächung

des photographischen Eindrucks der  $\beta$ -Strahlen.

Für die  $\beta$ -Strahlen bleiben demgemäss folgende Eigenschaften übrig: sie sind im Magnetfelde völlig ablenkbar, wirken schwächer auf das Elektroskop und bedingen ganz allein den photographischen Effect. ■

Hier also erkennen wir unsere Kathodenstrahlen wieder, aber wie es scheint, in einer etwas minderwerthigen Verfassung. Sie sollen doch 300mal stärker ionisirend wirken als Röntgenstrahlen; nun erkennen wir aber, dass nahezu der ganze Ionisationseffect der Becquerelstrahlen der  $\alpha$ -Strahlung und nicht der Kathodenstrahlen ähnlichen  $\beta$ -Emanation zukommt. Vielleicht wird man die Ursache dieser im Verhältniss zu Kathodenstrahlen stark abgeschwächten Ionisationswirkung in der um fast das Doppelte grösseren Geschwindigkeit der  $\beta$ -Strahlung zu suchen haben; ihre Ablenkbarkeit durch den Magneten ist z. B. auch nicht so gross wie die gewöhnlicher Kathodenstrahlen. Und diese verminderte Wirkung ist zweifelsohne auf die grössere Geschwindigkeit der  $\beta$ -Strahlung zurückzuführen. Man mag sich denken — um einen grobsinnlichen Vergleich zu gebrauchen — dass der Magnet nicht so viel Zeit hat, die  $\beta$ -Emanation, welche mit rasender Schnelligkeit an ihm vorbeistürmt, so stark von ihrem Wege abzulenken, wie die etwa um die Hälfte langsamer eilenden Kathodenstrahlen; und ebenso fehlt es der  $\beta$ -Emanation an Zeit, auf ihrem schnellen Fluge die Luft stark zu ionisiren.

Minderwerthig erscheint aber die  $\beta$ -Strahlung auch der  $\alpha$ -Strahlung gegenüber; denn sie fungirt hier erst an zweiter Stelle, wird erst hervorgerufen durch diese, während doch die Kathodenstrahlen in Beziehung zu den Röntgenstrahlen als primäre Strahlung gelten muss. Für solche secundäre Bildung von Kathodenstrahlen kennen wir jedoch Analogien; so hatte z. B. Dorn<sup>53)</sup> nachgewiesen, dass die sog. secundären X-Strahlen von Sagnac den Charakter von Kathodenstrahlen tragen, sich jedoch erst aus den X-Strahlen beim Auftreffen derselben auf schwarzes Papier entwickeln. Dieselbe Erscheinung zeigten Becquerelstrahlen. Hier hatten sich also auch Kathodenstrahlen secundär gebildet. Die  $\beta$ -Strahlung radioactiver Substanzen hält demnach ihren Charakter als Kathodenstrahlung aufrecht.

Wird es uns aber gelingen, auch für  $\alpha$ -Strahlung eine Analogie mit bekannten Erscheinungen zu finden?

<sup>49)</sup> Physikalische Zeitschrift 1902, III, 385.

<sup>50)</sup> Journal Chemical Society, London 1902, 81, 321; Proceedings Chemical Society 1902, 18, 120. Soddy, Proceedings 1902, 18, 121.

<sup>51)</sup> l. c.

<sup>52)</sup> l. c.

<sup>53)</sup> Abhandl. d. Naturforsch. Ges. Halle 1900, 22, 37.

Röntgenstrahlen sind es keinesfalls, obwohl sie, wie diese, vom Magneten aus ihrer Richtung nicht abgelenkt werden. Alle übrigen Eigenschaften der  $\alpha$ -Strahlung sprechen dagegen: Röntgenstrahlen bewirken im Verhältniss zu Kathodenstrahlen nur geringe Ionisation der Gase, werden also nicht leicht absorbiert und wirken energisch auf die photographische Platte.

Über diese letzte Schwierigkeit hilft uns eine Hypothese hinweg, welche von William Crookes<sup>54)</sup> aufgestellt wurde und der Idee nach mit den Vorstellungen anderer Forscher, wie Becquerel<sup>55)</sup>, Curie und Debierne<sup>56)</sup>, Geoffrey Martin<sup>57)</sup> u. A. übereinstimmt.

Nach dieser Hypothese sind die ablenkbaren  $\beta$ -Strahlen jene uns schon bekannten negativ geladenen Corpuskeln, welche mit der ungeheuren Geschwindigkeit von fast 300 000 km pro Secunde von der Substanz fortfliegen, die nicht ablenkbaren, leicht absorbirbaren primären ( $\alpha$ -) Strahlendagegen sind positive Ionen von geringer Geschwindigkeit und relativ grosser Masse.

Man würde geneigt sein, die hiernach geforderte Bildung von positiven und negativen Massentheilchen, welche an ein und demselben Körper entstehen und getrennt von einander wirken, für unwahrscheinlich zu halten, wenn Crookes nicht diese gleichzeitige Bildung von + und - Corpuskeln durch einen recht instructiven Versuch zur Thatsache erhoben hätte<sup>58)</sup>.

Er stellte fest, dass Silber, Gold, Platin als negative Pole eines Inductoriums im Vacuum sich sehr leicht verflüchtigen, nicht aber, wenn sie den positiven Pol bilden. Wenn die Kathode z. B. aus Silber bestand, so wurden die negativen Elektronen weit fortgeschleudert und erregten die Glaswand der Röhre zur Phosphoreszenz. Dabei bildet das Silber, weil es von den - Elektronen befreit ist, schwere + Ionen, die gleichfalls, aber weniger weit wegfliegen und ein durchloches Glimmerblättchen - nahe der Kathode - schwärzen. Die Ladung dieser Theilchen ist in der That positiv. Dabei kommt eine enorm hohe Temperatur zu Stande; denn ein Diamant - unter gleichen Bedingungen als negativer Pol angebracht - wurde oberflächlich in Graphit verwandelt, was auf

eine Temperatur von über 3600° schliessen lässt.

Die ganze räthselhafte Erscheinung der Becquerelstrahlung ist damit am ungezwungensten erklärt: Die  $\alpha$ -Strahlung kann nur in nächster Nähe der Substanzen wahrgenommen werden (in einiger Entfernung höchstens im Vacuum), weil sie nicht aus den kleinsten Massentheilchen, den Elektronen, besteht, sondern aus den viel schwereren Atommassen + einer positiven Ladung, also den positiven Ionen. [Für die Theorie der elektrolitischen Dissociation, nach welcher schon seit langer Zeit mit Ionen operirt wird, ohne dass diese bisher in freiem Zustande nachgewiesen werden konnten, ist der Nachweis frei existirender Ionen eine kräftige Stütze.] Die positiven Ionen sind naturgemäss sehr unbeständig und geben ihre Ladung leicht an negativ geladene Körper, z. B. an ein Elektroskop ab, daher ihre stark ionisirende Wirkung. Aus demselben Grunde bewirken sie eine Schwächung des photographischen Eindrucks der  $\beta$ -Strahlung, indem sich die Ladungen ausgleichen (negativ geladenes Elektron und +-Ladung eines Ions).

Wesen der Emanation. — Um nun auch ein vollständiges Bild von dem viel interessanteren Verhalten der  $\beta$ -Strahlung zu gewinnen, sollen noch einige anschauliche Experimente von Crookes<sup>59)</sup> erläutert werden, welche gleichzeitig überleiten zu den Erscheinungen der radioactiven Induction.

Am Boden eines Messingcylinders von 28 mm Höhe befindet sich eine Schicht selbststrahlender Substanz; die obere Öffnung des Cylinders ist mit einer Bromsilberplatte zugedeckt. Eine gleiche Menge Substanz liegt unter einer anderen photographischen Platte in derselben Höhe von 28 mm, der Cylinder fehlt aber hier. Beide Substanzmengen sind zum Schutz der Platte gegen etwaige directe chemische Einwirkung mit einer gewöhnlichen Glasplatte bedeckt. Nach einiger Zeit findet man die Platte über dem Messingcylinder nach dem Entwickeln stark geschwärzt, während die andere fast unverändert geblieben ist<sup>60)</sup>. — Gingen von der Substanz Lichtwellen irgend welcher Art (auch Röntgenwellen) aus, so würden beide Platten, falls der Reflexionswirkung von den Wänden her vorgebeugt war, gleichmässig stark beeinflusst

<sup>54)</sup> Chemical News 1902, 85, 85, 97, 109.

<sup>55)</sup> Compt. rend. 1901, 133, 977; 1902, 134, 208.

<sup>56)</sup> Compt. rend. 1901, 133, 276.

<sup>57)</sup> Chemical News 1902, 85, 205.

<sup>58)</sup> Aehnliche Versuche von W. Wien (Zeitschr. f. Elektrochemie 1902, 8, 585) führen zu demselben Resultat. Die Hypothese ist überhaupt weitgehend anwendbar.

<sup>59)</sup> l. c.

<sup>60)</sup> Dass die  $\beta$ -Emanation — im Gegensatz zu den Kathodenstrahlen — hier Glasplatten durchdringt und überhaupt stets durch Glas hindurch ihre Wirkung äussert, ist hinreichend befriedigend aus ihrer viel grösseren Geschwindigkeit im Vergleich zu Kathodenstrahlen zu erklären.

worden sein. Hier beobachten wir aber in dem abgeschlossenen Raum eine stärkere Wirkung. Das beweist zunächst wieder die völlige Verschiedenheit der ( $\beta$ )-Emanation von Lichtwellen und führt uns zu der Vorstellung, dass die abgeschleuderten Elektronen sich wie Nebeltröpfchen oder wie eine riechende Substanz in der Luft vertheilen.

Der letztere Vergleich, welcher von Crookes wie von Becquerel<sup>61)</sup> herangezogen wird, macht das Verhalten der Ausstrahlung sehr plausibel. Riechende Stoffe sowohl wie radioactive Substanzen senden ihre Molecüle bez. Elektronen schon bei gewöhnlicher Temperatur aus und beide sind scheinbar eine unerschöpfliche Quelle ihrer specifischen Wirkungen, da man eine Gewichtsabnahme der wirksamen Stoffe in beiden Fällen nicht nachzuweisen vermag. — Wenn diese beiden Substanzarten nur einen beschränkten Raum zur Verfügung haben, so wird sich nach einiger Zeit nothwendig ein Gleichgewichtszustand zwischen den in dem Raume bereits angehäuften und den ausstrahlenden Partikelchen herstellen. Und je grösser der abgeschlossene Raum ist, einen um so höheren Betrag wird die Ausstrahlung erreichen, da ja immer derselbe Endzustand angestrebt wird.

Diese Analogieschlüsse stimmen vollkommen mit den thatsächlichen Beobachtungen einiger Forscher<sup>62)</sup> überein.

Auch andere Erscheinungen sind mit Hülfe dieses Vergleichs leichter verständlich. Ist z. B. die Emanation eines Präparates, welches lange Zeit an freier Luft gelegen hat, stark vermindert, so hat man nur nöthig, dasselbe in kleine Glasröhrchen einzuschliessen, um nach einigen Tagen seine ursprüngliche Wirkung wieder zu erkennen.

Man weiss, dass der höchst intensiv riechende Moschus seinen „Duft“ in sehr kurzer Zeit durch eine ganze Wohnung verbreiten kann. — Unter einem ähnlichen Übelstande haben die Physiker zu leiden, welche in ihren Laboratorien viel mit selbststrahlender Materie arbeiten; ebenso wie der Moschusgeruch aufdringlich allen Gegenständen anhaftet, so auch die Ausstrahlung jener Substanzen: da werden ganze Vorräthe von lichtempfindlichen Platten unbrauchbar, alle Gegenstände senden Becquerelstrahlen aus und die empfindlichen Messinstrumente,

die Elektrometer, zeigen in einem anderen Stockwerk die Gegenwart von Becquerelstrahlen an<sup>63)</sup>.

Grade wie der Wind die Düfte der Blumen unserem Geruchsorgan entgegenweht, so führt ein Luftstrom die Elektronen radioactiver Substanzen der photographischen Platte zu und mit Hülfe dieses Organs für unsichtbare Ausstrahlungen nehmen wir die Gegenwart derselben überall dort wahr, wo der Wind die Emanation hinträgt.

Ein Experiment Crookes'<sup>64)</sup> wird uns die Thatsache erläutern. Drei nebeneinander aufgestellte Messingcylinder *A*, *B* und *C* sind mit Bromsilbergelatineplatten zugedeckt; am Boden der Cylinder *A* und *B* befindet sich radioactive Substanz, Cylinder *C* ist leer. In den Cylinder *B* — dicht über der Substanz — ist ein Glasrohr eingesetzt, durch welches ein Luftstrom eingeblasen wird; dieser Luftstrom tritt aus *B* durch ein zweites Rohr aus, das an der gegenüberliegenden Wand von *B* oben eingefügt ist und in Cylinder *C* dicht unter der photographischen Platte mündet; durch ein zweites Rohr in *C* strömt die Luft heraus.

Bei diesem Versuch ergab sich Folgendes: Die Platte über Cylinder *A*, welcher ruhende Luft enthält, war fast noch einmal so stark geschwärzt, als über *B*, weil hier die Luft fort dauernd erneuert wurde. Der Luftstrom hatte aber die Elektronen mitgeführt bis in den Cylinder *C*, dessen Deckplatte deutliche Schwärzung zeigte, obgleich dieser Cylinder gar keine wirksame Substanz enthielt<sup>65)</sup>.

Dufour<sup>66)</sup> hat kürzlich denselben Effect sogar mit einer in Glas eingeschmolzenen Probe erzielt.

Damit sind nun unsere Beobachtungen und Aufklärungen über die Natur der Becquerelstrahlen im Allgemeinen erschöpft. Soweit Klarheit in diese eigenartigen Phänomene gebracht werden kann, haben wir sie gewonnen. Jetzt bleibt nur noch jene unter dem Namen radioactive Induction bezeichnete Erscheinung zu besprechen.

Radioactive Induction. — Kräfte als solche können wir nicht appercipiren. Der Begriff Kraft ist daher nur eine aus der Wirkung der Kraft abgeleitete Vorstellung. Diese Thatsache kommt uns besonders deutlich bei der selbststrahlenden Materie zum

<sup>61)</sup> Compt. rend. 1902, 133, 977.

<sup>62)</sup> Vgl. z. B. Henning, Annalen der Physik 1902 (4), 7, 562. Curie und Debierne (Compt. rend. 1901, 133, 276), welche in diesem Anstreben eines Gleichgewichtszustandes ein Analogon mit den Wärmeerscheinungen erblickten.

<sup>63)</sup> Nach der Mittheilung von Giesel (l. c.) über Beobachtungen von Elster und Geitel.

<sup>64)</sup> l. c.

<sup>65)</sup> Ganz ähnliche Versuche hatte übrigens schon Rutherford 1900 ausgeführt (Philos. Magaz. (5), 49, 161).

<sup>66)</sup> Arch. Scient. phys. nat. Genève 1902 (4), 18, 537.

Bewusstsein, weil deren Wirkungen nicht unmittelbar von unseren Sinnen wahrgenommen werden können. Wenn die neuere Forschung uns nicht die indirecte Wahrnehmung von Kraftwirkungen erschlossen hätte, so würden wir weder von unsichtbaren Strahlen noch von Elektronen etwas wissen.

Wie aber jede Energieform — ob für uns nachweisbar oder nicht — Wirkungen äussern muss, weil überall im Raume Materie vorhanden, welche je nach ihrer Natur auf die Kräfte reagirt, so erschliessen wir die Gegenwart von Elektronen aus ihren Wirkungen beim Auftreffen auf feste Körper oder beim Durchgang durch Gase. — Und auch die radioactive Induction unterscheidet sich principiell durchaus nicht von den anderen Eigenschaften der selbststrahlenden Materie: wie der Fluoreszenzschirm beim Auftreffen der Strahlen leuchtet, das Elektroskop entladen, die photographische Platte geschwärzt wird, so reagiren viele andere feste Körper auf die Strahlung in ihrer Weise: sie werden selbst radioactiv.

Alle bisher besprochenen Eigenschaften haben aber etwas Gemeinsames: stets wird die Bewegungsenergie der Elektronen in eine andere Energieform umgesetzt, während die Ladungen sowohl der  $\alpha$ - wie der  $\beta$ -Strahlung abgegeben werden und sich ausgleichen. Die Eigenthümlichkeit der radioactiven Induction aber beruht darauf, dass sich die influenzirten Körper gerade so verhalten, wie die ursprüngliche Energiequelle selbst; es scheint somit, als trete hier keine Umwandlung in andere Energieformen ein.

Wir wollen diese interessante Erscheinung näher untersuchen. Zunächst wieder die Thatsachen, welche aus den Arbeiten von Rutherford<sup>67)</sup>, Dorn<sup>68)</sup>, Curie<sup>69)</sup>, Debierne<sup>70)</sup>, Becquerel<sup>71)</sup> und Henning<sup>72)</sup> entnommen werden können.

Gegenstände beliebiger Art, wie Papier, Glas, Wachs, Flussspath, Schwefelzink und Metalle (Aluminium, Nickel, Kupfer, Zink, Zinn, Wismuth, Platin, Blei) gewinnen die Fähigkeit, die photographische Platte zu beeinflussen und geladene Leiter zu entladen, wenn sie sich in der Nähe von radioactiven Substanzen befinden. Sie tragen auch insofern den gleichen Charakter, wie die primär activen Körper, als ihre Strahlen theils vom

Magneten abgelenkt werden und theils nicht. — Active Salze, welche man — in Glasröhren eingeschmolzen — in Wasser taucht, machen dieses activ, manchmal sogar stärker activ, als das Salz selbst war. — Stellt man unter einer Glasglocke zwei Schalen, die eine mit der Lösung eines activen Salzes, die andere mit Wasser gefüllt auf, so wird dieses Wasser activ.

Die Wirkung der inducirten Radioactivität geht um so schneller verloren, je mehr Berührungsflächen mit der Luft vorhanden sind. Schliesst man die influenzirten Gegenstände in Röhren ein, so behalten sie lange ihre ausstrahlende Kraft. — Die Stärke der Induction und ebenso die Geschwindigkeit, mit der sie eintritt, ist ganz unabhängig von der Natur und dem Druck des Gases, in welchem die Wirkung vor sich geht; sie wächst dagegen mit der Menge der wirksamen Substanz und ist proportional der Raumgrösse der verwendeten Gefässe. — Je grösser die dargebotenen Flächen sind, um so ergiebiger erscheint das active Präparat. — Unter Einwirkung starker elektrischer Energie erzielt man erhöhte Wirkungen; auf diese Weise vermögen z. B. dünne Platin- oder Kupferdrähte eine hohe Strahlungsenergie zu gewinnen. Theoretisch lässt sich nach Rutherford's Ansicht diese Anhäufung bis ins Unendliche fortsetzen, da deren Werth bei genügend gesteigerter elektrischer Ladung nur von der Menge der radioactiven Substanz abhängt, welche bei dieser Übertragung ihrer Energie allmählich wirkungslos wird. Neuere quantitative Versuche von Henning<sup>73)</sup> zeigen jedoch, dass Erhöhung der Stromspannung (von 50 auf 300 Volt) die activirende Wirkung auf Metalldrähte nur wenig beeinflusst. — Während nun einige Substanzen, wie z. B. die Fluoride, die Activität nur an ihrer Oberfläche festhalten und dieselbe an Wasser, mit dem man die Krystalle abspült, leicht abgeben, behält ein Metalldraht seine strahlende Kraft, wenn er in kaltes oder warmes Wasser getaucht wird, und verliert diese erst nach Einwirkung von Säuren oder nach dem Abreiben mit Sandpapier.

Sowcit die allgemeinen Thatsachen. — Will man nun den Ursprung und die Natur dieser von inducirt radioactiven Körpern ausgehenden Strahlung ergründen, so ist zu bedenken, dass dieselbe nur von den  $\beta$ -(Kathoden-)Strahlen herühren kann und keinesfalls von den primären ( $\alpha$ -)Strahlen, welche ja schon von dünnen Luftschichten absorbirt werden und daher nicht auf grössere Entfernungen hin wirksam sein können.

<sup>67)</sup> Philos. Magazine 1900 (5), 49, 161.

<sup>68)</sup> Sitzungsberichte d. Naturforsch. Ges. Halle 1900, Juni.

<sup>69)</sup> Compt. rend. 1899, 129, 714.

<sup>70)</sup> Compt. rend. 1902, 133, 276, 931.

<sup>71)</sup> Compt. rend. 1901, 132, 371.

<sup>72)</sup> Annalen der Physik 1902 (4), VII, 562.

<sup>73)</sup> l. c.

Trotzdem aber zeigt die Emanation jener inducirten Körper neben denen der  $\beta$ -Strahlen auch alle Eigenschaften der  $\alpha$ -Strahlen. Somit wird uns besonders die Frage interessieren: Was kann aus den  $\beta$ -Strahlen werden, wenn sie auf feste Körper treffen?

Naheliegend ist die Annahme, dass der Ansturm der Elektronen Wärme erzeugt; dies wird aber nicht die einzige Wirkung sein. Haben die getroffenen Körper Neigung zur Fluorescenz, wie z. B. die Sulfide von Zink und Strontium, die Fluoride u. A. m., so wird auf jeden Fall ein Theil der Bewegungsenergie der Elektronen in ultraviolettes Licht und Fluorescenzlicht umgewandelt werden. Ausserdem können — wie wir wissen — die elektromagnetischen Röntgenwellen entstehen. Und schliesslich können die Elektronen auch einfach reflectirt werden; dabei erleiden sie einen Geschwindigkeitsverlust; demgemäss wird ihr Durchdringungsvermögen geringer, und der Magnet wird sie stärker aus ihrer gradlinigen Bahn ablenken, als vor der Reflexion. Da diese Überlegungen mit den thatsächlichen Beobachtungen übereinstimmen<sup>74)</sup>, so ist anzunehmen, dass wir hier jene leicht absorbirbaren Strahlen vor uns haben, welche nach J. J. Thomson<sup>75)</sup> durch das Aufstossen von langsam sich bewegenden Kathodenstrahlen hervorgerufen werden. Die Nichtablenkbarkeit eines Theiles der Strahlen wird man der gleichzeitigen Bildung von transversalen Schwingungen, also den ultravioletten oder auch den Röntgenwellen zuzuweisen haben.

Danach liegt mehr als eine Möglichkeit zur Bildung von Strahlen vor, welche jene Eigenschaften äussern, die aus einer ganz anderen Ursache heraus die  $\alpha$ -Strahlung primär activer Substanzen erkennen lassen.

Man wird nun die Schwierigkeiten begreifen, welche sich einstellen bei der Entscheidung der Frage, ob ein Körper primär activ ist oder ob er nur inducirte Activität besitzt.

Nur ein sicheres Merkmal giebt es, das hierüber definitiv aufklärt: die secundäre Activität geht allmählich unwiederbringlich verloren, während die primäre sich immer von selbst regenerirt.

Das Merkwürdigste an der inducirten Radioactivität ist aber gerade ihre langanhaltende Wirkung; wir würden diese Induction gar nicht besonders auffallend finden, wenn sie nur so lange wahrnehmbar wäre, wie die activen Körper direct einwirken (vgl. secundäre X-Strahlen). Die

activirten Gegenstände sind aber oft noch nach Monaten wirksam.

Das zwingt uns zu der Annahme, dass die Energie der inducirten Strahlung an den Gegenständen in irgend einer Form aufgespeichert wird.

Halten wir einmal Umschau nach ähnlichen Erscheinungen. — Der gewaltigste Energiesammler ist wohl ohne Frage die Vegetation unserer Erde. Was die Erde vor vielen Jahrtausenden von der Sonne in Form von Wärme- und Lichtenergie empfangen und zum Wachsthum ihrer Pflanzen verworthe hat, das entnehmen wir heute der Erde wieder und gewinnen beim Verbrennen jener abgestorbenen Vegetation, unserer Kohlen, die eingestrahle Licht- und Wärmeenergie zurück. — Für unsere Zwecke brauchen wir einen so complicirten Energiesammler nicht zu berücksichtigen; denn wir finden bequemere Vergleiche. Jeder kennt die Accumulatoren für elektrische Energie, deren Wirkung, im Princip wenigstens, ziemlich einfach ist: der elektrische Strom, welcher der Batterie zugeführt wird, löst eine chemische Umwandlung des Elektrodenmaterials aus, die nach dem Verbinden der beiden Pole im umgekehrten Sinne verläuft, währenddem die zugeführte Energie in Form eines elektrischen Stromes wieder erscheint.

Ferner erkennen wir in den phosphorescirenden Körpern Accumulatoren für Lichtenergie. Strontiumsulfid und andere Sulfide und Fluoride besitzen die Fähigkeit, Licht zu sammeln und als Phosphorescenzlicht wieder abzugeben: sie leuchten im Dunkeln, verlieren diese Eigenschaft allmählich und leuchten nach der Bestrahlung von Neuem.

Diese Erscheinung kommt dem Inductionsmechanismus, welchen radioactive Substanzen veranlassen, sehr nahe und verschiedentlich<sup>76)</sup> ist auf diese Analogie hingewiesen worden.

Theorie langdauernder Phosphorescenz. — Zur Erklärung der Phosphorescenzerscheinungen ist nun schon manche Theorie aufgestellt worden, ein Beweis dafür, dass diese Phänomene einer experimentellen Untersuchung schwer zugänglich sind. Soweit aber das Experiment eine Entscheidung fällen kann, ist dies geschehen; wir finden besonders in einer neuen Arbeit von de Visser<sup>77)</sup> wichtige Anhaltspunkte für die wahren Ursachen der Phosphorescenz.

De Visser gelang es festzustellen, dass reine Erdalkalisulfide gar nicht phosphores-

<sup>74)</sup> Gehrke, Sitzungsberichte d. Berliner Akademie 1901, 461.

<sup>75)</sup> Philos. Mag. 1901, 6, I, 361.

<sup>76)</sup> u. A. von Becquerel, Compt. rend. 1901, 132, 371.

<sup>77)</sup> „Theorie langdauernder Phosphorescenz“ Rec. trav. chim. Pays-Bas 1902, 20, 435.

ciren; erst durch Zusatz von Schwefelwismuth wird die Phosphorescenz bedingt; es sind aber nur ganz minimale, chemisch kaum nachweisbare Mengen dazu nöthig. Die stärkste Wirkung wurde erzielt, wenn 100 000 Atome Baryum 2 Atome Wismuth enthielten; auch Calciumsulfid hat bei der gleichen Zusammensetzung seine maximale Intensität. — Diese Präparate leuchteten nach einmaliger Bestrahlung im Dunkeln noch nach einem Monat. Wärme erhöht die Phosphorescenz, zerstört sie aber in gleichem Maasse schneller; Abkühlung wirkt umgekehrt.

Um diese interessanten Vorgänge ohne Rest erklären zu können, werden wir die Theorie, welche de Visser<sup>78)</sup> selbst giebt, aus wohlbekannten Erscheinungen heraus entwickeln.

Man weiss, dass Energie dazu gehört, um eine Flüssigkeit in Dampf zu verwandeln, d. h. die Molecüle aus ihrem nahen Zusammenhang zu reissen und auf ein grösseres Volumen zu vertheilen. In diesem Falle wird Arbeit geleistet gegen die zwischen den Molecülen wirksamen anziehenden Kräfte. Die zugeführte Wärme leistet diese Arbeit; sie verschwindet dabei als solche und tritt wieder auf, wenn die Molecüle einander genähert werden.

Innerhalb des Molecüls sind ebenfalls Attractions-Kräfte thätig: Die Atome werden zusammengehalten durch ihre Valenzkräfte,  $+$ - und  $-$ -Valenzladungen. Trennt man die Molecüle von einander, indem man ihnen durch grosse Verdünnung viel Raum darbietet (z. B. beim Lösen eines Salzes in viel Wasser), so strebt jedes einzelne Molecül danach, auch diesen grösseren Raum auszufüllen; dabei entfernen sich seine Bestandtheile, die verschieden geladenen Ionen von einander und führen eine Sonderexistenz: die Molecüle sind dissociirt. Wir haben also auch hier durch die rein mechanische Vertheilung des Salzes in seinem Lösungsmittel Arbeit geleistet, erkennbar an der Temperaturverminderung der Flüssigkeit während des Lösungsvorganges<sup>79)</sup>: Wärme aus der Umgebung wird aufgenommen und verbraucht für die Spaltung der Molecüle in Ionen. Setzen wir jetzt zu der Lösung eine Flüssigkeit, in der das Salz unlöslich ist, so fällt es aus; die Ionen müssen wieder zu Molecülen zusammentreten, und die aufgespeicherte (latente) Wärme wird abgegeben.

Und nun zur Erklärung der Phosphorescenz. — Man kann sich vorstellen, dass die

<sup>78)</sup> l. c.

<sup>79)</sup> Es kann hier natürlich nur von solchen Salzen die Rede sein, welche keinerlei chemische Wirkungen auf das Lösungsmittel ausüben.

minimalen Mengen der Schwermetallsulfide in den Erdalkalisulfiden gelöst sind: das Schwermetallsulfid befindet sich im Zustande einer äusserst verdünnten festen Lösung, ist also vollständig in seine Ionen gespalten. — Das ist der Zustand der phosphorescenzfähigen Körper vor der Belichtung. — Trifft nun das Licht auf diese frei existirenden Ionen, so wird seine Energie verbraucht, um die Ionen in ihre Bestandtheile: ungeladene Atome und freie elektrische Ladungen, die Elektronen zu zerlegen.

Sobald die Lichtwirkung aufhört, beginnt ganz allmählich die starke Spannung zwischen den freien Ladungen nachzulassen; diese streben nach Wiedervereinigung mit den ungeladenen Atomen, und eine derartige Rückbildung von Ionen bedingt die Lichtentwicklung. — Welcher Art dieses Licht ist, hängt von speciellen Bedingungen ab; de Visser hält es für möglich, dass die Körper bei der Phosphorescenz auch ultrarotes oder ultraviolettes Licht aussenden.

Was aber tritt ein, wenn beliebigen Gegenständen Kathodenstrahlen oder unsere  $\beta$ -Strahlen, also freie elektrische Entladungen mit grosser Geschwindigkeit zugeführt werden? — Die Körper sind vor der Einwirkung natürlich nicht in Ionen gespalten; es ist also keine verfügbare Energie in ihnen aufgespeichert. Durch das heftige Aufprallen der Elektronen gerathen die Molecüle der Körper in so stürmische Bewegung, dass sie als Ganzes nicht mehr existenzfähig sind; aus dem engen Verbande innerhalb des Molecüls werden die Ionen losgelöst und schwingen selbständig. Die erste Wirkung wird also eine dissociirende sein (G. C. Schmidt<sup>80)</sup>), analog der bei Lösungsvorgängen eintretenden.

Gleichzeitig aber wird ein  $+$  an negativer Ladung zugeführt, welches sich mit einer äquivalenten Menge positiver Ladung von Ionen vereinigt; und so entstehen indifferenten Ionen. Demgemäss sind nun die Ionen mit negativer Ladung in der<sup>81)</sup> Überzahl vorhanden<sup>81)</sup>.

Das ist also der Zustand, in dem sich ein Körper nach der Bestrahlung durch Kathodenlicht befindet. — Er wird nun die heftige

<sup>80)</sup> l. c.

<sup>81)</sup> Für Metalle, welche keine verschiedenartigen Ionen besitzen, wird man annehmen dürfen, dass ihre im Ruhezustande gegenseitig gebundenen  $+$ - und  $-$ -Ladungen selbständige, getrennte Existenz gewinnen und nun in derselben Weise wie andere Körper die negativen Elektronen binden und einen Überschuss an freien negativen Ladungen erhalten. Solche freien Ladungen können ja auch in andern Körpern entstehen, wenn nur die Menge der zugeführten Elektronen grösser ist, als der Betrag der positiven Ionenladungen der vorhandenen Molecüle.

Erregung je nach seiner Natur schneller oder langsamer überwinden; immer aber gehört Zeit dazu, bis der ursprüngliche Gleichgewichtszustand wieder erreicht ist.

Der Vorgang verläuft dann rückwärts: die in der Überzahl vorhandenen Ionen mit negativer Ladung vereinigen ihre Ladungen mit den positiven Ladungen der indifferenten Ionen, deren überschüssige negative Ladungen nun entweder als Kathodenstrahlen wieder in die Erscheinung treten, also alle Merkmale der  $\beta$ -Strahlung erkennen lassen, oder secundäre Wirkungen ausüben: Fluoreszenzlicht erregen, ultraviolette bez. Röntgenwellen auslösen oder Thomson's leicht absorbierbare Strahlen bilden (vgl. S. 1166), welche der  $\alpha$ -Strahlung primär activer Substanzen so ähnlich sind; kurz, alle die Erscheinungen hervorrufen, welche an der Ausstrahlung inducirt radioactiver Körper beobachtet wurden.

[Schluss folgt.]

### Guaiamar.

Von H. Endemann.

Auf Herrn Dr. A. Eichengrün's Bemerkung in Heft 36 dieser Zeitschrift, ich hätte eine direct unwahre Behauptung gemacht, indem ich sagte, dass er nicht beabsichtigte, eine Berichtigung zu bringen, gestehe ich offen ein, dass ich den letzten Satz meines Artikels (diese Zeitschrift XV, S. 912) völlig unter dem Eindruck seines Briefes geschrieben habe. Formell hat Herr Eichengrün aber Recht und darum will ich gerne diesen Passus meines Artikels zurückziehen. Ich meine aber,

dass ein Referent, wenn er Fehler gemacht hat, dieselben bereitwilligst berichtigen soll, sobald seine Aufmerksamkeit darauf gelenkt ist. Der Brief des Herrn Dr. A. Eichengrün hat auf mich aber den Eindruck gemacht, als ob er sich dieser Aufgabe nur sehr ungern unterziehen wollte.

Ebenso kann ich es nicht billigen, dass er den Sinn des von mir angegriffenen Passus „der übrigens schon vor Jahren von Altschul dargestellte Glycerinester des Guajacols“ anders deutet, als wie ihn jeder vorurtheilsfreie Leser verstehen muss, nämlich dass Altschul mir zuvor gekommen ist.

Der von dem Infragestellen oder Absprechen der Priorität einer Erfindung betroffene Erfinder sieht die Sache durchaus nicht so unschuldig an, denn seine Ehrenhaftigkeit kann durch solche Bemerkungen in ein schlechtes Licht gesetzt werden, und ebenso können seine materiellen Interessen geschädigt werden.

Durch Berufung auf das deutsche Patentamt kann Herr Dr. Eichengrün seine Sache nicht stärken, da bekanntlich diese Behörde nicht über wirkliche Priorität entscheidet, sondern die Ertheilung eines Patentes von der Priorität der Anmeldung in ihrem Bureau abhängig macht. Seine Unkenntnis der Geschäftsführung im hiesigen Patentamt und die darauf bezüglichen Anspielungen sind aber wohl verzeihlich. Das Factum, dass die hiesige Patentbehörde meine Eingabe unter dem Datum Apr. 11. 1897 beglaubigt und veröffentlicht hat, hätte Herrn Dr. Eichengrün genügend Gewährleistung sein können, dass die Priorität meinerseits existirt.

Aus Gründen, deren Erörterung mich zu weit führen würde, liegt es mir besonders daran, gerade in deutschen Kreisen meine Priorität festzustellen.

New York, September 1902.

## Patentbericht.

### Klasse 12: Chemische Verfahren und Apparate.

Vorrichtung zur elektrolytischen Gewinnung von Brom aus bromhaltigen Endlaugen. (No. 134975. Vom 3. Januar 1902 ab. Dr. F. Mehns in Königsutter.)



Fig. 1.

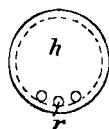


Fig. 2.

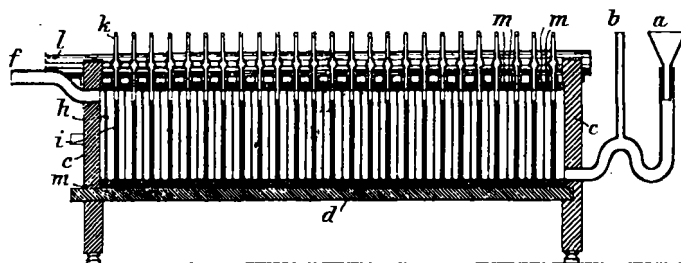


Fig. 3.

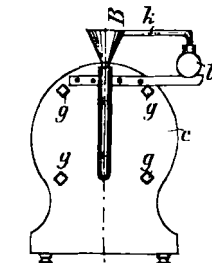


Fig. 4.

die Kohlenelektroden  $i$  oben Durchlässe  $r$  bez.  $q$  für den Elektrolyten besitzen und der frei werdende Wasserstoff, das ausgeschiedene Hydroxyd mitreissend, durch eine nach oben gerichtete Durchbrechung  $p$  (Fig. 1 im Querschnitt) der Elektroden  $i$  entweicht. In die Durchbrechungen  $p$  der Elektroden sind Pfeifen  $k$  (Fig. 3 und 4) eingesetzt, welche in

Im Wesentlichen besteht die Erfindung darin, dass die zwischen je zwei Kohlenelektroden  $i$  (Fig. 1) dicht eingesetzten Diaphragmen  $h$  (Fig. 2) unten,

einem gemeinschaftlichen, oben seitlich neben der Zersetzungsvorrichtung hinlaufenden Sammel- und Ableitungsrohr  $l$  münden. Der dichte Abschluss