

Das Radium und die radioaktiven Stoffe : gemeinverständliche Darstellung nach dem gegenwärtigen Stande der Forschung mit Einflechtung von experimentellen Versuchen und unter besonderer Berücksichtigung der photographischen Beziehungen / von Karl Frhr. von Papius ; mit 36 Abbildungen.

Contributors

Papius, Karl, Frhr. von.
Francis A. Countway Library of Medicine

Publication/Creation

Berlin : Verlag von Gustav Schmidt (vorm. Robert Oppenheim), 1905.

Persistent URL

<https://wellcomecollection.org/works/v6c2gbrb>

License and attribution

This material has been provided by This material has been provided by the Francis A. Countway Library of Medicine, through the Medical Heritage Library. The original may be consulted at the Francis A. Countway Library of Medicine, Harvard Medical School. where the originals may be consulted. This work has been identified as being free of known restrictions under copyright law, including all related and neighbouring rights and is being made available under the Creative Commons, Public Domain Mark.

You can copy, modify, distribute and perform the work, even for commercial purposes, without asking permission.

**wellcome
collection**

Wellcome Collection
183 Euston Road
London NW1 2BE UK
T +44 (0)20 7611 8722
E library@wellcomecollection.org
<https://wellcomecollection.org>



HARVARD MEDICAL
LIBRARY

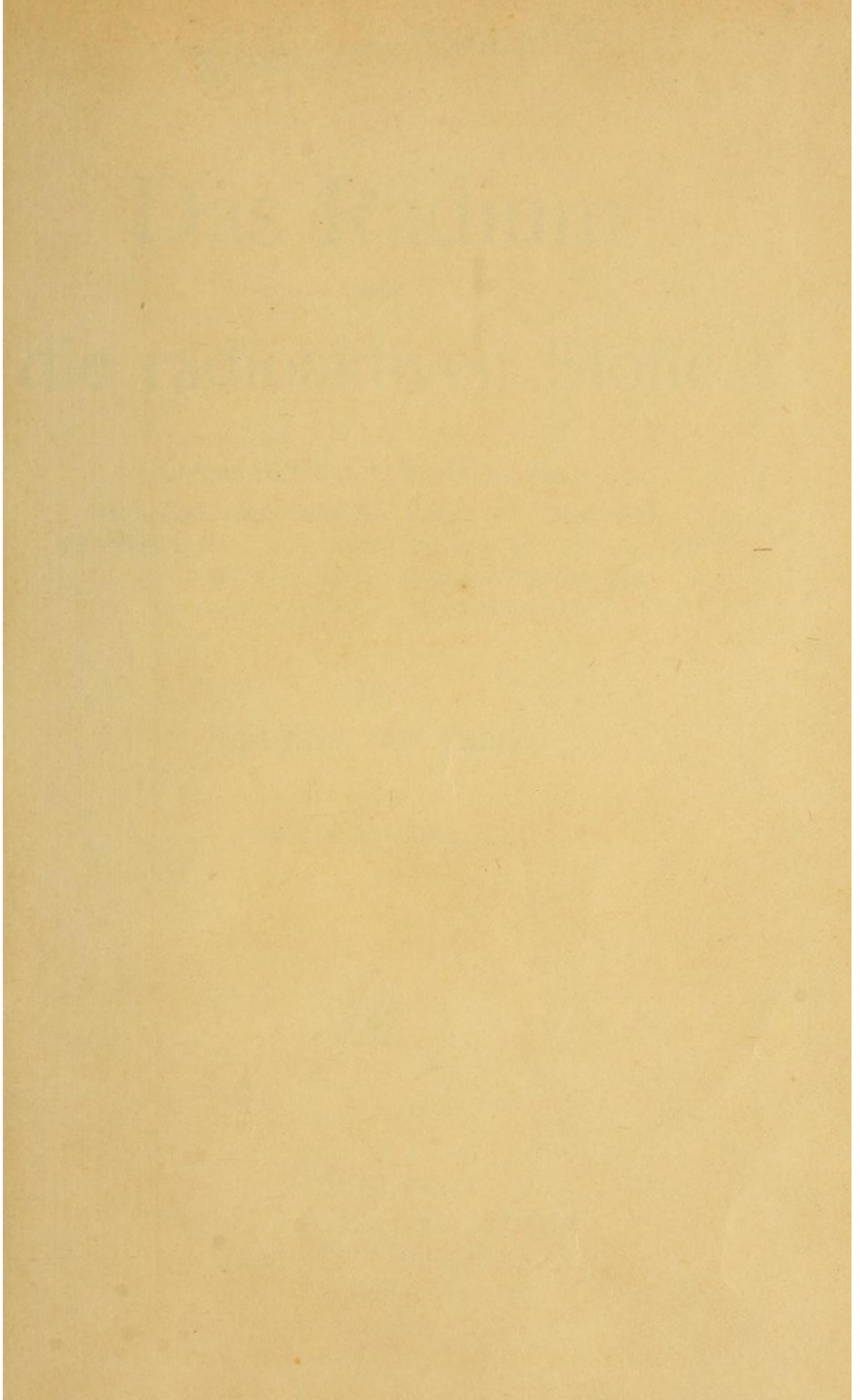


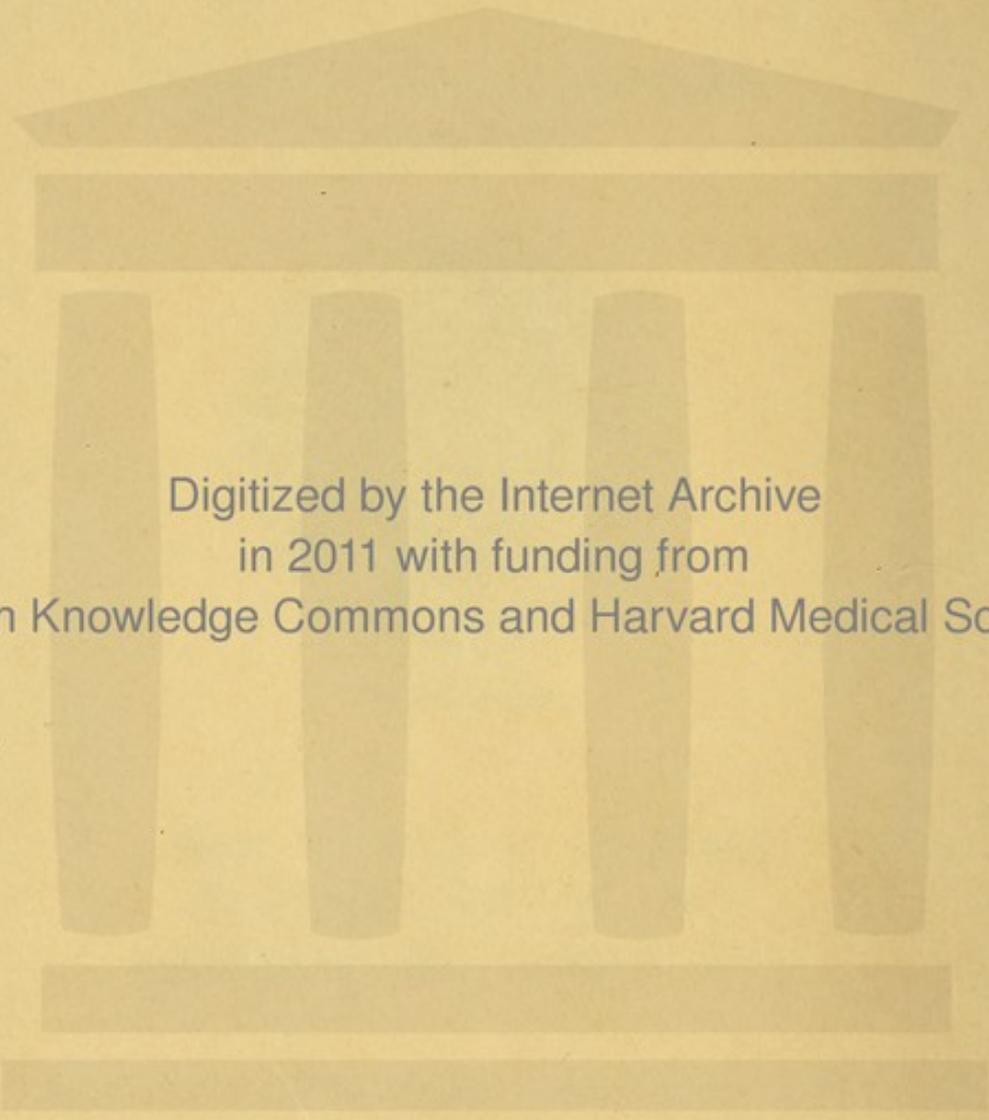
RÖNTGEN

THE LLOYD E. HAWES
COLLECTION IN THE
HISTORY OF RADIOLOGY

☞ Harvard Medical Library
in the Francis A. Countway
Library of Medicine ~ Boston

VERITATEM PER MEDICINAM QUÆRAMUS





Digitized by the Internet Archive
in 2011 with funding from
Open Knowledge Commons and Harvard Medical School

Das Radium

und

die radioaktiven Stoffe.

Gemeinverständliche Darstellung
nach dem gegenwärtigen Stande der Forschung
mit Einflechtung von experimentellen Versuchen
und unter besonderer Berücksichtigung der
photographischen Beziehungen.

Von

Karl Frhr. von Papius.

Mit 36 Abbildungen.



BERLIN.

Verlag von Gustav Schmidt
(vorm. Robert Oppenheim).

1905.

Alle Rechte vorbehalten.

Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

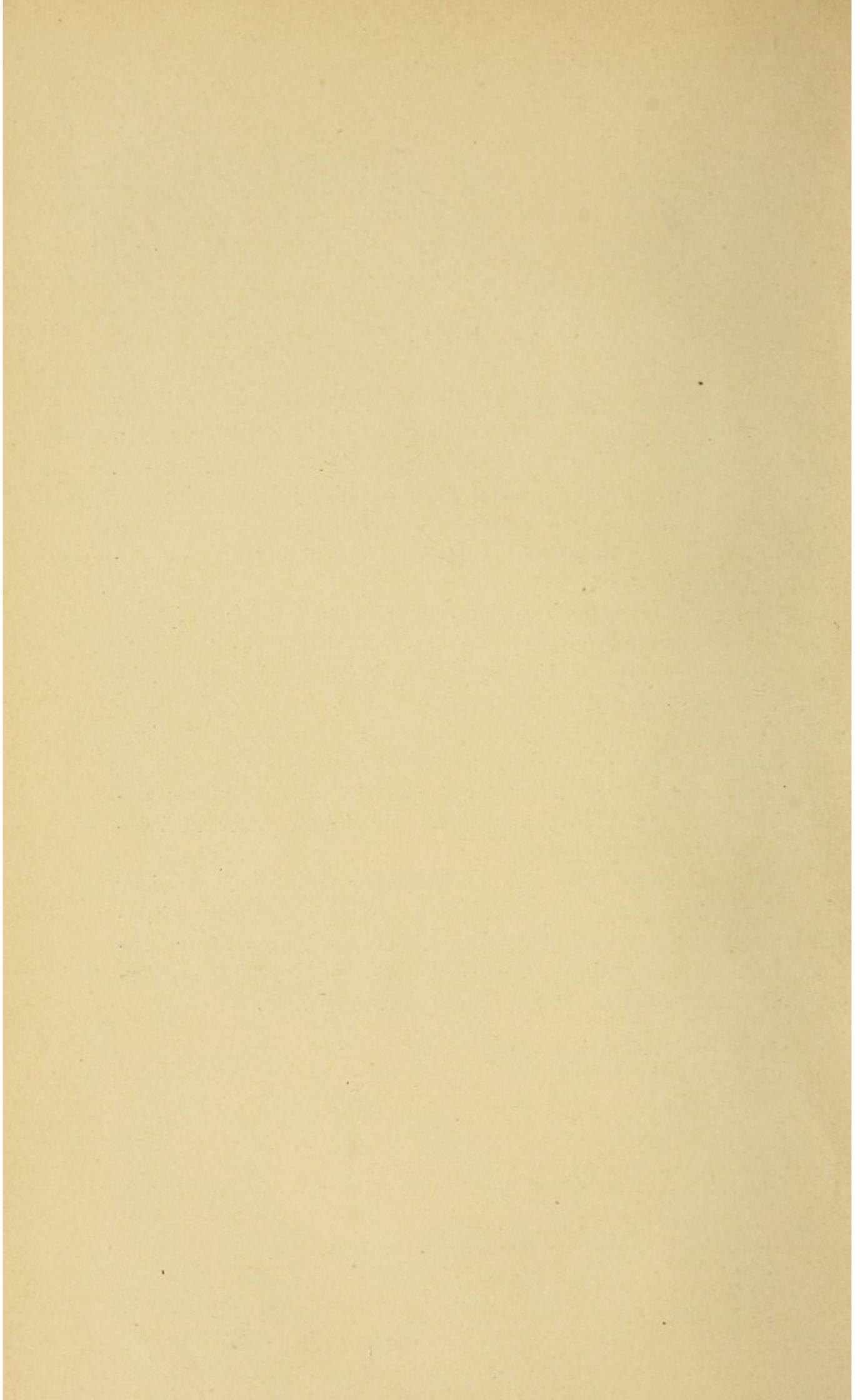
Vorwort.

Über Radium und die radioaktiven Substanzen entstand in den wenigen Jahren, die nun seit Entdeckung dieser merkwürdigen Stoffe verflossen sind, eine sehr große Literatur. Diese setzt sich zusammen zum größeren Teil aus Mitteilungen einzelner Eigenheiten der radioaktiven Substanzen, nur zum kleineren Teil aus zusammenhängenden Darstellungen der gesamten Erscheinungen.

Letztere sind jedoch meist rein wissenschaftlich gehalten und dem größeren Publikum, welches Aufklärung über die sich oft widersprechenden kleinen Notizen in Zeitungen und Zeitschriften wünscht, nicht zugänglich. Das vorliegende Buch will diesem Bedürfnis abhelfen durch eine gemeinverständliche Gesamtdarstellung nach dem heutigen Stand der Forschung mit Einflechtung experimenteller Versuche und besonderer Berücksichtigung der photographischen, physiologischen und überhaupt praktischen Beziehungen.

Zu besonderem Dank ist der Verfasser dem Chef-Ingenieur des durch Förderung der modernen Röntgen-Technik rühmlichst bekannten Elektrotechnischen Laboratoriums Aschaffenburg, Herrn Friedrich Dessauer, für bereitwilligste Überlassung einer größeren Menge Radium verpflichtet.

München, im März 1905.



Inhalt.

Einleitung	Seite I
----------------------	------------

Erster Abschnitt.

Entdeckung der Radioaktivität.

Forschung nach Ursprung der Röntgenstrahlen — Untersuchung des Zusammenhanges der Röntgenstrahlen mit Fluoreszenz . . .	4
Entdeckung der photographischen Wirkung der Uransalze durch Becquerel — Forschung nach dem Ursprung dieser Wirkung .	7

Zweiter Abschnitt.

Die Radioaktivität des Urans.

1. Wirkungen der Radioaktivität	9
2. Untersuchungsmethoden	9

Dritter Abschnitt.

Entdeckung der Radioaktivität bei verschiedenen Substanzen und kurze Charakterisierung dieser Stoffe.

Thor — Polonium — Radium — Aktinium und andere Stoffe . . .	11
Verwandschaft — Bedeutung	12

Vierter Abschnitt.

Das Radium.

A. Vorkommen	13
1. Verbreitung	13
2. Fundstätten	13
B. Gewinnung	14
Entfernung des Urans aus der Pechblende — Fabrikmäßige Gewinnung radiumhaltiger Baryumsalze — Abscheidung der Radiumsalze.	
C. Eigenschaften	15
I. Der normale Charakter des Radiums als Glied der Familie der Erdalkalimetalle	15
1. Atomgewicht	15
2. Spektrum	17

	Seite
II. Der radioaktive Charakter	18
Aussendung von Becquerelstrahlen — Dauerhaftigkeit und spezifischer Charakter dieser Erscheinung bei den einzelnen radioaktiven Substanzen — Aussenden von „Emanation“; Erscheinung der übertragenen Aktivität.	
D. Die Strahlung der radioaktiven Substanzen	20
I. Einteilung und Wesen der früher bekannten Strahlen	20
Korpuskulartheorie — Undulationstheorie — Einfache — Gemischte Strahlen.	
II. Natur und Einteilung der Becquerelstrahlen	22
Verhalten der Becquerelstrahlen im magnetischen Feld — Unterschied der einzelnen Strahlen in der Durchdringungs- fähigkeit.	
III. Charakteristik der Becquerelstrahlen	24
1. Die γ -Strahlen	25
Unablenkbarkeit durch den Magneten — Durchdringungs- kraft — Verwandtschaft mit Röntgenstrahlen — Unter- schied in der Stärke und der Entstehung der Ätherimpulse.	
2. Die β -Strahlen	27
Verwandtschaft mit den Kathodenstrahlen — Ablenkung im magnetischen Feld — Negative Ladung der Korpuskeln — Unterschied der einzelnen Strahlenteilchen bezüglich Durchdringungskraft — Ablenkung und Geschwindigkeit.	
3. Die α -Strahlen	30
Absorbierung — Verwandtschaft mit den Kanalstrahlen — Ablenkung und Ladung — Masse der Korpuskeln.	
E. Wirkungen der Becquerelstrahlen	32
I. Chemische Wirkungen	32
1. Fluoreszenzerscheinungen verschiedener Stoffe	32
a) Stoffe, bei denen Fluoreszenz erregt wird	32
b) Beteiligung und Eigenheiten der einzelnen Strahlen- typen	33
c) Verwendungsmöglichkeit dieser chemischen Wirkung	34
2. Durch Becquerelstrahlen erzeugtes Leuchten	35
a) Zusammenhang mit Wassergehalt der Präparate	35
b) Nötige Vorsicht bei Beurteilung der Intensität	35
3. Durch Becquerelstrahlen hervorgerufene Färbungserschei- nungen	36
a) Stoffe, bei welchen Färbungsänderung bewirkt wird	36
b) Verwertung der Eigenschaft der Becquerelstrahlen, Färbungsänderungen herbeizuführen	37
4. Einfluß auf Gase und Flüssigkeiten	38
a) Verwandlung des Sauerstoffs in Ozon	38
b) Zersetzung des Wassers	38
c) Okkludierung von Gasen	39
5. Zersetzung der Silbersalze der photographischen Platte	39
a) Art der Einwirkung	39
b) Praktische Verwertung	40

α) Prüfung von Mineralien auf radioaktive Beimengungen	40
β) Herstellung von Radiographien	41
Verfahren	41
Eigentümlichkeiten der Radiographien als Schattenbilder	43
Einfluß der β -Strahlen auf die Bildschärfe	45
Radiographien mittels γ -Strahlen	47
Wert der Verwendung der Becquerelstrahlen zur Erzielung von Radiographien	47
II. Elektrische Wirkungen	48
1. Elektrische Aufladung durch Becquerelstrahlung	48
Verwendung zur Berechnung von Geschwindigkeit und Masse der Elektronen	49
2. Elektrische Radiographie	49
3. Ionisierung von Flüssigkeiten und Gasen	50
Praktische Verwendung zur Bestimmung der Elektrizität der Atmosphäre	50
4. Erleichterung des Ausgleichs elektrischer Spannung	51
Notwendigkeit der Anwendung von Vorsichtsmaßregeln bei elektrischen Messungen in der Nähe radioaktiver Stoffe	53
III. Thermische Wirkungen	54
1. Herkunft der Wärme der radioaktiven Substanzen	54
2. Höhere Temperatur der Radiumsalze	54
a) Bestimmung der Wärmemenge	55
α) Mit Hilfe des Eiskalorimeters	55
β) Durch Vergleich mit elektrischer Erwärmung	55
γ) Durch Wiedervergasung eines verflüssigten Gases	56
b) Wirkungen, welche sich mit der in bestimmter Zeit von einer bestimmten Menge Radium freiwerdenden Wärmemenge erzielen lassen	56
3. Bedeutung der thermischen Wirkung des Radiums	57
a) Aufklärung über das Bestehen der Erde in bewohnbarem Zustand	57
b) Aufklärung über die kalorische Energie der Sonne	58
IV. Mechanische Wirkungen	59
1. Fortschleuderung kleiner Masseteilchen	59
2. Hebung der Blättchen des Elektroskops	59
3. Fortbewegung fremder Körperchen	60
4. Durchbohrung von isolierendem Glas	60
5. Bedeutung für praktische Verwendung	61
V. Physiologische Wirkungen	61
1. Entstehen der physiologischen Einflüsse	61
2. Arten derselben	62
a) Hervorrufen einer Helligkeitsempfindung im Auge	62
b) Zerstören der Haut	63
c) Störung der Entwicklung der Bakterien	64
d) Erschütterung des gesamten Nervensystems	64
e) Wirkungen auf Pflanzenorganismen	64

	Seite
3. Praktische Verwertung der physiologischen Wirkungen	65
a) Bedeutung für die Blindheit	65
b) Heilung krankhafter Gewebe und Geschwülste	65
c) Vorteile gegenüber der Verwendung von Röntgenstrahlen	65
F. Erscheinungen der mitgeteilten Radioaktivität	68
I. Aktivierung von Stoffen durch Emanation	68
1. Entdeckung der Emanation	68
a) Entdeckung der Eigenschaft radioaktiver Stoffe, anderen Körpern Radioaktivität mitzuteilen	68
b) Gesetze der Aktivierung im ungeschützten Raum bei Gasleitung	68
c) Beobachtungen bei Aktivierung in geschlossenem Raum	69
d) Erklärung der Aktivierungserscheinungen durch An- nahme eines radioaktiven Gases „Emanation“	69
2. Die Emanation	70
a) Entstehung	70
b) Vorkommen und Verbreitung	71
c) Eigenschaften	73
α) Normale Gaseigenschaften	73
Expansion	73
Gay-Lussacsches Gesetz	73
Diffusion	73
Verdichtung	74
β) Besondere Eigenschaften der Emanation	75
Strahlung — Schwärzung der photographischen Platte — Ionisation — Fluoreszenz — Über- tragung von Radioaktivität — Elektrische La- dung.	
d) Unterschiede der Emanationen der verschiedenen radio- aktiven Stoffe	78
α) Dauer der Aktivität der Emanationen	78
β) Dauer der Aktivität der aktivierten Stoffe	78
γ) Verwertung der Unterschiede	79
e) Entstehung von Helium aus der Radiumemanation	79
II. Aktivierung von Stoffen durch Eintauchen in Radiumlösung	81
III. Aktivierung von Stoffen durch Auflösung in Radiumlösung	82
IV. Praktische Verwertung der Erscheinung der mitgeteilten Radio- aktivität	84

Fünfter Abschnitt.

Erklärung der Erscheinungen der Radioaktivität	85
--	----

Einleitung.

Zeiten, in welchen die Allgemeinheit wenig oder nichts von Fortschritten der Physik und Chemie vernimmt, werden bisweilen unterbrochen von Entdeckungsperioden, welche durch ihre Bedeutung die ganze Welt erregen. Erhöhte Aufmerksamkeit und intensiveres Arbeiten wenden sich dann einem solchen Gebiete des Erfolgs zu und führen zu abermaligen Fortschritten — ein Verlauf, welchen wir im letzten Jahrzehnt auf dem Gebiet der Strahlungserscheinungen beobachten können.

Bei jenen, welche der Physik und Chemie ferner stehen, wird dadurch der Anschein erweckt, als ob die Entwicklung dieser beiden Gebiete des Wissens einen sprunghaften Verlauf nähme. Wer jedoch die Verhältnisse kennt oder die Entdeckungsgeschichte genauer verfolgt, weiß oder gelangt zur Erkenntnis, daß die äußeren Glanzperioden in innigem Zusammenhang stehen mit den stillen, scheinbar unfruchtbaren Vorperioden. Die wissenschaftlichen Ergebnisse dieser Zeit sind eben meist nur einem kleinen Kreis bekannt; in ihrer Bedeutung und der Tragweite der Schlußfolgerungen sind sie oft jenen Forschern selbst nicht bewußt, deren schöpferischer Tätigkeit sie zu danken sind. Allein diese Arbeit der stillen Periode, welche einem bedeutenden Fortschritt voranzugehen pflegt, ist insofern von großer Wichtigkeit, als sie, wenn auch klein in ihren Ergebnissen, doch die Grundlage bildet für die großen äußeren Erfolge.

Der allmähliche Ausbau der Wissenschaften erfolgt in der Weise, daß die Forscher auf Grund eigener oder fremder Erkenntnisse, die als richtig befunden wurden, weitere Schlüsse ziehen, neue Untersuchungen anstellen und so einem festen Bau Stück für Stück anfügen. Verhältnismäßig selten tritt ein spekulativer Forschergeist auf, der mit seinen Untersuchungen den festen Untergrund verläßt, also zu Ergebnissen gelangt,

welche nicht lückenlos aus den vorhandenen herauswachsen und mit diesen in keinem unmittelbaren Zusammenhang stehen. Bei diesem Vorgehen ist die häufige Folge: solche Forscher werden von vielen überhaupt nicht oder nur teilweise richtig verstanden; ihre Theorien werden von Phantasten übermäßig erhoben und ausgebeutet, von andern nicht weiter beachtet.

Wenn später die Entwicklung der exakten Wissenschaften auf dem gewöhnlichen, sicheren Weg vorgeschritten ist, wacht die Erinnerung an alte Theorien, welche mit den neuen Ergebnissen in Beziehung stehen, wieder auf; man kann jetzt beurteilen, ob und in welchem Umfang die Spekulationen jener, der damaligen Entwicklung vorausseilenden Forscher mit der Wirklichkeit übereinstimmten.

Diese Beobachtungen lassen sich sehr gut anstellen bei einer der spekulierenden Größen auf dem Gebiet der Physik, dem hervorragenden Engländer Faraday, dessen unermüdlicher Arbeit wir eine Menge höchst wichtiger Fortschritte und Anregungen verdanken. Bei der vorliegenden Arbeit ist dieser Forscher um so interessanter, da er noch als Student im zweiten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts eine Reihe von Vorträgen hielt, in welchen er die Ergebnisse seiner Untersuchungen über die Eigenschaften der Materie mitteilte, und in den Jahren 1816 und 1819 sehr bemerkenswert „Über strahlende Materie“ sprach.

Faraday betrachtet in diesen Vorträgen die Materie in dem verschiedenen Verhalten in den Aggregatzuständen und weist auf die zunehmende Vereinfachung hin, welche bei der Überführung der Stoffe aus dem festen in den flüssigen, und aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand eintritt. Er zeigt, wie einerseits physikalische, die einzelnen Körper stark unterscheidende Eigenschaften bei Umwandlung wegfallen, zum Beispiel im flüssigen Zustand, die Verschiedenheit an Härte und Weichheit der Körper in fester Form, im gasförmigen Zustand der Unterschied in bezug auf Durchsichtigkeit und Elastizität der flüssigen Körper, andererseits neue Eigenschaften erscheinen, welche verschiedenen Stoffen gemeinsam sind und diese so in näheren Zusammenhang bringen.

Dadurch kommt Faraday zur Vermutung, daß diese allmähliche Abnahme der Verschiedenheiten an Dichte, Härte, Durchsichtigkeit, Farbe, Elastizität und Gestalt, welche im

gasförmigen Zustand nur mehr geringe Unterschiede im Gewicht und in der Färbung zurückläßt, im gasförmigen Stadium nicht ihr Ende erreicht habe, daß vielmehr ein weiteres Abstreifen von Unterschieden vorhanden sei in einem vierten Aggregatzustand. Dieses Stadium bezeichnet er als den Zustand der strahlenden Materie.

Einen Beweis für das Vorhandensein der strahlenden Materie konnte Faraday nicht erbringen; er konnte bloß die Wahrscheinlichkeit für ihre Existenz durch sinnreiche Analogien glaubhaft machen. Der Forscher war eben seiner Zeit weit vorausgeeilt. Wenn er auch selbst in späterer Zeit nicht imstande war, einen exakten Nachweis für das Bestehen eines vierten Aggregatzustandes zu führen — der Glaube an einen solchen fand Verbreitung. Als 50 Jahre später Crookes sich mit den Untersuchungen stark verdünnter Gase beschäftigte und die Kathodenstrahlen entdeckte, glaubte er bei den neuen und charakteristischen Eigenschaften der Gasreste berechtigt zu sein, für diesen Zustand den Faradayschen Ausdruck „strahlende Materie“ anwenden zu dürfen. Zum Thema seines Vortrages, in welchem er 1879 die Ergebnisse seiner Forschung über die neuentdeckten Strahlen zu Sheffield einem größeren Kreise mitteilte, wählte er: „Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand“.

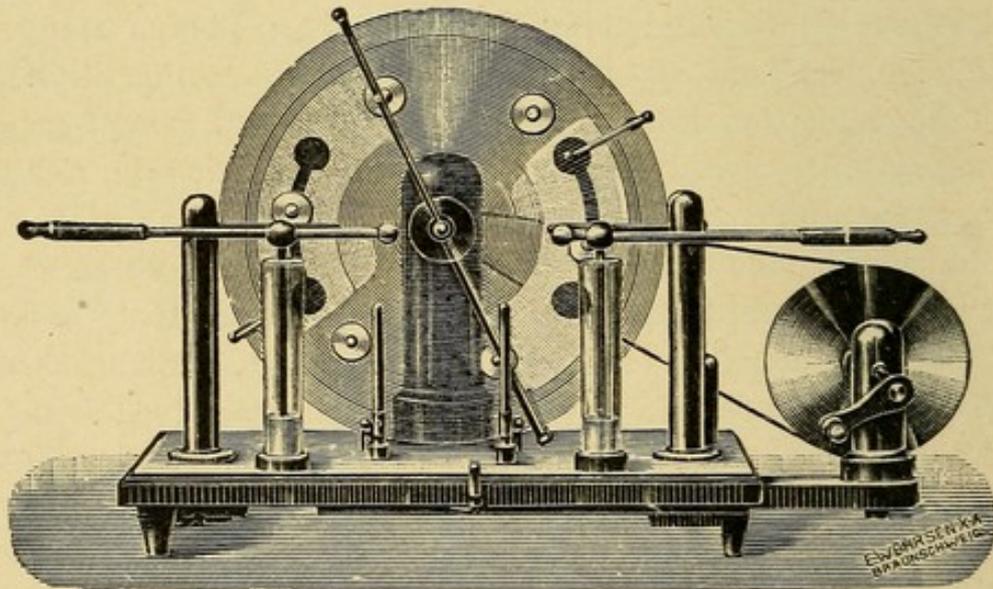
Es zeigte sich bald, daß die Strahlung mit ihren charakteristischen Eigenschaften nicht stark verdünnten Gasen an sich eigentümlich ist, sondern nur auftritt, falls elektrische Einwirkungen auf die stark verdünnten Gase bestehen. Mit der Entdeckung der Kathodenstrahlen war also der Zustand der strahlenden Materie noch nicht gefunden. Diesem sich zu nähern, blieb der jüngsten Zeit überlassen. Ein Fortschritt in dieser Hinsicht wurde gemacht durch die Entdeckung des Radiums und der anderen radioaktiven Substanzen, welchen diese Abhandlung gewidmet ist.

Erster Abschnitt. Entdeckung der Radioaktivität.

Die Entdeckung der radioaktiven Stoffe ist eine Folge der Forschungen nach dem Ursprung und der Ursache der Röntgenstrahlen.

Als vor nunmehr fast 10 Jahren Professor Röntgen eine Strahlenart entdeckte, welche die wunderbare Eigenschaft be-

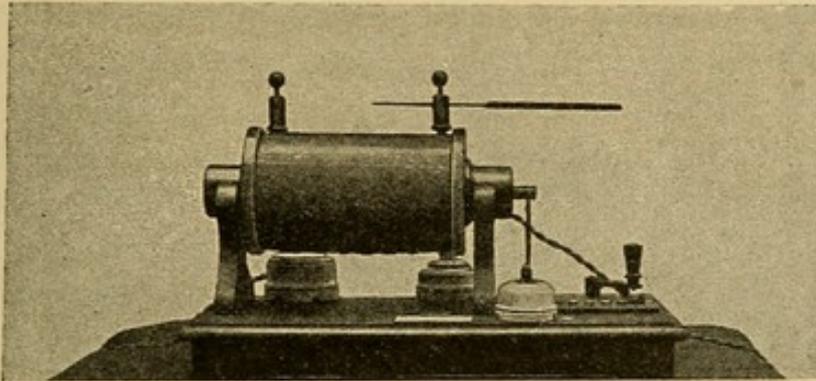
Fig. 1.



saß, feste Körper zu durchdringen und nach ihrem Durchgang noch wie Licht auf die photographische Platte zu wirken, wetteiferten die physikalischen Institute in der Wiederholung der von Röntgen angestellten Versuche und in den Untersuchungen über die rätselhafte Natur der X-Strahlen. Die Röntgenstrahlen entstanden, wenn man hochgespannten elektrischen Strom, wie er von Elektrisiermaschinen (Fig. 1) und Rühmkorffschen Apparaten (Fig. 2) geliefert wird, durch eine stark evakuierte Glasröhre gehen ließ.

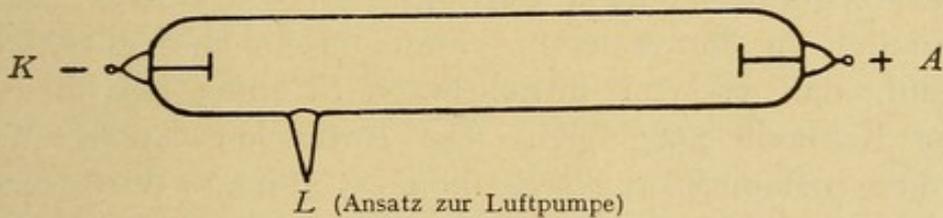
Die Entladung der Elektrizität in Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit kennen wir alle im elektrischen Funken, als kräftigste Erscheinung im Blitz. Zum Verständnis der späteren Betrachtungen ist es zweckdienlich, wenn wir auch die Erscheinungen kennen, welche durch den elektrischen Strom hervorgerufen werden, wenn er gezwungen wird, Gase von geringerer Dichte, also zum Beispiel verdünnte Luft zu pas-

Fig. 2.



sieren. Man benützt zu diesem Experiment eine Glasröhre, wie sie in Fig. 3 abgebildet ist. An zwei Punkten ist die Röhre von Metalldrähten, sogenannten Elektroden (*ἤλεκτρον* und *ὁδός* = Weg) durchbrochen, welche dazu dienen, den elektrischen Strom in die Röhre einzuführen. Der Ansatz *L* verbindet den Luftraum der Glasröhre mit der Luftpumpe, welche, in Tätigkeit gesetzt, die abgeschlossene Luft durch Wegnahme

Fig. 3.



derselben allmählich verdünnt, so daß wir Gelegenheit haben, die Äußerungen des Stromes bei jedem Dichtegrad des Gases festzustellen. Verbinden wir den positiven Pol der Stromquelle mit *A*, den negativen mit *K*, so nennen wir die Elektrode *A* die Anode (*ἀνά* = hinauf; *ὁδός* = Weg), die Elektrode *K* Kathode (*κατά* = herab), weil der elektrische Strom von *A* zu *K* herabkommt, also die Richtung vom + zum — Pol hat.

Anfangs hat die Luft innerhalb der Röhre dieselbe Dichte wie außerhalb; die Entladungserscheinungen sind daher dieselben: die Elektrizität gleicht sich in leuchtenden Funken aus. Durch das Arbeiten der Luftpumpe nimmt nun die Menge des Gases in der Röhre ab, und damit vermindert sich der Widerstand, der dem Stromdurchgang entgegengesetzt ist. Die Funken folgen immer häufiger aufeinander, verbreitern sich und gehen allmählich in förmliche Lichtbänder über.

Hat die Pumpe die Luft in der Röhre auf einen sehr hohen Grad der Verdünnung gebracht, so stellt sich jene Erscheinung ein, welche nach dem ersten Verfertiger solcher Röhren als Geißlerlicht bezeichnet wird.

Es ist kein Band mehr, welches die Elektroden verbindet, sondern von der Anode zieht sich ein bläuliches Licht oft in eigentümlichen Schichten (Fig. 4) fast bis an die Kathode hin.

Fig. 4.



Diese selbst ist mit bläulichen Glimmlicht umgeben und durch einen kleinen dunklen Raum von dem Lichtband getrennt. Mit zunehmendem Vakuum wird die geschichtete Lichtstrecke immer kürzer, der dunkle Raum vor der Kathode immer größer und größer. Schließlich verschwindet das Geißlerlicht ganz, um von einer andern Erscheinung abgelöst zu werden. Der Teil der Glasröhre nämlich, welcher der Kathode gegenüberliegt, beginnt, je nach Bestandteilen des Glases, grünlich oder bläulich zu fluoreszieren. Man untersuchte dieses Licht und fand, daß es von unsichtbaren Strahlen herrührte, die von der Kathode ausgingen. Der Entdecker Crookes nannte daher diese neuen Strahlen Kathodenstrahlen. Wird das Vakuum noch mehr vergrößert, so gehen von der durch die Kathodenstrahlen leuchtenden Glasseite Wirkungen aus, die sich von denjenigen der Kathodenstrahlen wesentlich unterscheiden. Man schrieb sie einer neuen unbekanntem Strahlenart zu und nannte diese Röntgenstrahlen. Viele Forscher glaubten, die rätselhaften Wirkungen der Fluoreszenz des Glases selbst zuschreiben zu müssen. Der Franzose Poincaré meinte, die Strahlen seien eine Äußerung der Fluoreszenz überhaupt, die bisher unbekannt war. Man machte sich nun

an die Prüfung anderer fluoreszierender Körper, um zu untersuchen, ob diese gleiche oder ähnliche Effekte hervorzubringen imstande seien.

Es gibt eine ganze Reihe von Stoffen, welche die Eigenschaft haben, Phosphoreszenz- und Fluoreszenzstrahlen auszusenden. Diese Körper nehmen Strahlen mit kurzer Wellenlänge in sich auf und geben sie dann als Strahlen mit größerer Wellenlänge wieder ab, und zwar leuchten die fluoreszierenden Körper nur solange, als sie selbst einer Bestrahlung ausgesetzt sind, die phosphoreszierenden Substanzen senden dagegen ihr Licht auch noch aus, nachdem die Bestrahlung aufhörte; sie leuchten noch einige Zeit nach. Die Fluoreszenz kann also nur dann vor sich gehen, wenn die Körper irgendwelche Strahlen, seien es Wärme, Licht, ultraviolette oder Kathodenstrahlen absorbierten, da sie keine eigenen Lichtäußerungen zeigen, sondern nur in einer Form empfangene Energie in anderer Form wieder abgeben, also nur umformen. Nun fand ein

Fig. 5.*)



Pariser Professor H. Becquerel, der auch Untersuchungen darüber anstellte, ob nicht durch Phosphoreszenz überhaupt stark durchdringende Strahlen erzeugt würden, schon 1896, daß Uransalze, namentlich Urankaliumsulfat, welches nach der Bestrahlung mit Tageslicht stark phosphoresziert, auch imstande war, allerdings erst nach tagelanger Einwirkung, durch lichtdichtes Papier hindurch denselben Vorgang wie Lichtstrahlen auf der photographischen Platte hervorzurufen.

Becquerel stellte seine Versuche in der Weise an, daß er

*) Die Abbildung gibt das Positiv der photographischen Platte wieder. Die hellen Stellen der Abbildung entsprechen also den nach Auflage wirkender Substanzen geschwärzten Stellen der Platte.

eine photographische Platte lichtdicht einwickelte, die fragliche Substanz darauflegte und der Einwirkung der Sonnenstrahlen aussetzte. Das Resultat bestand, wie in Fig. 5 wiedergegeben, in einer Schwärzung der Stelle der Platte, auf der sich fluoreszierende Materie befunden hatte.

Die Veröffentlichung dieser Entdeckung in den „Comptes rendus“ erregte allgemeine Aufmerksamkeit und förderte das Streben, Substanzen zu finden, welche auch die Fähigkeit besaßen, mit unbekanntem Strahlen dichte Körper zu durchdringen. Die verschiedensten Stoffe wurden untersucht und vielfach ähnliche Resultate wie bei den phosphoreszierenden Uransalzen gefunden. Allein bald zeigte es sich, daß diese Einwirkungen chemischen Vorgängen zugeschrieben werden mußten und nicht einer spezifischen Eigenschaft der phosphoreszierenden Körper.

Becquerel setzte seine Studien fort, und nun stellte er die Merkwürdigkeit fest, daß auch Uransalze, die lange Zeit im Dunkeln aufbewahrt waren, welche also keine Energie durch Lichtstrahlen erhalten hatten und daher auch nicht fluoreszierten, die nämliche Wirkung hatten, wie sie an fluoreszierenden Uransalzen festgestellt waren. Die Uransalze mußten die Fähigkeit also schon in sich tragen. Weitere Experimente zeigten, daß die Wirkung sich mit zunehmendem Gehalt an Uran steigerte und ihren größten Wert in metallisch reinem Uran erreichte. Man schrieb nun dem Uran die spezifische (atomistische) Eigenschaft zu, chemisch wirksame, unsichtbare Strahlen auszusenden.

Ein Vergleich mit den Röntgenstrahlen zeigte, daß diese von den vom Uran ausgehenden Strahlen verschieden waren. Die Forschung nach der Natur der Röntgenstrahlen hatte also zur Entdeckung neuer, unbekannter Strahlen geführt. Nach ihrem Entdecker nannte man sie „Becquerel“-Strahlen, die diese Strahlen aussendenden Substanzen „radioaktiv“, die Fähigkeit, solche Strahlen auszusenden, „Radioaktivität“.

Zweiter Abschnitt.

Die Radioaktivität des Urans.

1. Wirkungen der Radioaktivität.

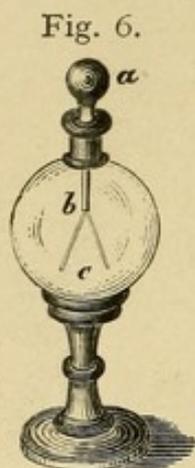
In den Wirkungen waren die Becquerelstrahlen den Röntgenstrahlen sehr ähnlich. Die photographische Platte unterlag derselben Beeinflussung; sie wurde geschwärzt.

Gewisse Substanzen begannen, den Becquerelstrahlen ausgesetzt, zu leuchten; die Luft, welche für Elektrizität für gewöhnlich ein Isolator ist, wurde unter dem Einfluß der Strahlung leitend, so daß geladene isolierte Körper in Gegenwart von Uranverbindungen ihre Ladung verloren. Dagegen bestand ein großer Unterschied bezüglich der Durchdringungsfähigkeit. Wie die Röntgenstrahlen waren die Uranstrahlen wohl fähig, feste, flüssige und gasförmige Körper zu durchdringen; allein, während Röntgenstrahlen ganz gesetzmäßig mit einigen Ausnahmen durch die einzelnen Elemente um so leichter hindurchgehen, je geringer deren Atomgewichte sind, ist die Durchdringungsfähigkeit bei den Becquerelstrahlen viel verwickelter, da diese Strahlen nicht gleichartig sind, sondern, wie später dargelegt werden wird, zusammengesetzt sind aus Strahlenarten, die sich durch ihre Durchdringungskraft voneinander unterscheiden. Was aber der Uranstrahlung eine ganz exzeptionelle Stellung gab, war das Geheimnis, woher die Strahlung stammte. Bei den Röntgenstrahlen hatte man die erregende Kraft in dem elektrischen Strom, den man durch das stark verdünnte Gas schickte; bei den fast gleichen Äußerungen des Urans konnte man keine Ursache feststellen. Das Uran schien seine Kraft aus sich selbst zu nehmen, aber seine Intensität blieb immer gleich. Auch die genauesten Versuche konnten keine Abnahme der Energie feststellen.

2. Untersuchungsmethoden.

Zur Untersuchung der Strahlung des Urans ist uns in den genannten Energieäußerungen die Handhabe geboten. Das wichtige Untersuchungsmittel des Chemikers, die Wage, mit

der man imstande ist, noch $\frac{1}{100}$ mgr eines Stoffes zu messen, trat ebenso wie die Spektralanalyse, welche ermöglicht, den $\frac{1}{1000000}$ Teil eines mgr, also dem Auge schon lange nicht mehr sichtbare Teilchen eines Körpers noch festzustellen, zurück. Zur Messung kam hier neben der Wirkung auf die lichtempfindliche Platte und fluoreszierende Substanzen eine viel empfindlichere Reaktion in Betracht, welche von den Becquerelstrahlen auf einem der einfachsten und ältesten elektrischen Instrumente ausgeübt wird, das wir besitzen, das Elektroskop (Fig. 6).



Dieses besteht in seiner einfachsten Ausführung aus zwei leichten Gold- oder Aluminiumblättchen, welche am Ende eines Metallstabes befestigt sind, dessen anderes Ende meist von einer Kugel gebildet wird. Der Metallstab ist isoliert in einen Glasballon eingeführt, welcher Einflüsse der Luftbewegung von den Blättchen abhält.

Wenn man durch Berührung dem Metallknopf die Ladung eines durch Reiben elektrisch gemachten Körpers, z. B. einer Siegellackstange, mitteilt, gehen die Goldplättchen infolge Abstoßung gleichnamiger Elektrizitäten auseinander. Ist der Metallstab gegen die Umgebung gut isoliert, so hält sich die Ladung sehr lange; die Plättchen divergieren stunden-, ja tagelang.

Bringt man aber ein Stückchen Uran in die Nähe der divergierenden Blättchen, so fallen dieselben in wenigen Minuten zusammen. Durch die Strahlung des Urans wird also Entladung bewirkt.

Die Empfindlichkeit des Elektroskops ist so groß, daß das Vorhandensein der kleinsten Mengen radioaktiver Substanz noch festgestellt werden kann. Es lassen sich nämlich mit dem Elektroskop noch radioaktive Körperchen nachweisen, die 150000mal kleiner sind als jene, welche man mit Hilfe der Spektralanalyse eben noch feststellen kann.

Natürlich regten die rätselhaften Eigenschaften des Urans und seiner Verbindungen zu weiteren Studien an. Wenn man andere Elemente fand, welche Becquerelstrahlen aussenden, so konnte man vielleicht aus den Umständen, unter denen die Erscheinung dort auftrat, einen Schluß ziehen auf den Ursprung der Strahlung. Und hier kam die Fähigkeit der Becquerel-

strahlen, auf die photographische Platte einzuwirken, als sehr einfaches und praktisches Verfahren in Betracht, da man mit Hilfe dieses Momentes größere Mengen von Substanzen gleichzeitig auf ihre Radioaktivität prüfen konnte. Die Versuche waren von Erfolg begleitet.

Dritter Abschnitt.

Entdeckung der Radioaktivität bei verschiedenen Substanzen und kurze Charakterisierung dieser Stoffe.

Bei der Untersuchung des Urans hatte man beobachtet, daß dieses Element meist in Verbindung mit einem anderen Element, dem lange bekannten Thor, vorkam. Der Gedanke lag nahe, diese Substanz auf ihre mögliche Radioaktivität hin zu untersuchen. Bald gelang es auch Frau Curie und unabhängig von dieser Herrn Schmidt, die Aussendung von Becquerelstrahlen beim Thor festzustellen. Wie bei Uran war auch bei Thor die Wirkung um so stärker, je mehr Thor in der Verbindung vorhanden war. Unabhängig war die Aktivität von der Natur der Elemente, die dem Thor beigemischt waren und von den Zustandsbedingungen, unter denen sich das Mineral früher befunden hatte. So war damit festgestellt, daß die Radioaktivität auch beim Thor eine Eigenschaft des Atoms Thor sei. Frau Curie erschien es unwahrscheinlich, daß Radioaktivität nur der Materie dieser beiden Elemente zukomme, und so unterwarf sie alle Elemente und eine große Zahl Mineralien einer genauen Untersuchung.

In der Stärke des Urans konnte Frau Curie zunächst Radioaktivität bei keinem Element finden, bei den Mineralien nur in jenen, welche Uran oder Thor enthielten. Bei einigen dieser Mineralien überraschte jedoch die Intensität der Strahlung. Die Pechblende z. B. ein uranoxydhaltiges Mineral, zeigte

sich viermal so stark, als es der Beimengung an Uran entsprach. Es war dadurch wahrscheinlich, daß diese Körper ihre Aktivität einer vom Uran und Thor und den bekannten Elementen verschiedenen Beimengung verdankten.

Mittels gewöhnlicher, peinlich durchgeführter chemischer Analyse fanden nun Herr und Frau Curie in der untersuchten Pechblende wirklich ein neues radioaktives Element, das sie Polonium nannten, und darauf im Verein mit Bémont in demselben Mineral noch ein strahlendes Element, das sie mit „Radium“ bezeichneten. Ein drittes radioaktives Element wurde in der Pechblende von Herrn Debierne festgestellt und bekam den Namen „Aktinium“. Deutsche Forscher fanden außerdem in verschiedenen Bleiverbindungen Äußerungen von Radioaktivität, Markwald entdeckte in der Pechblende eine aktive Substanz, die wahrscheinlich mit Polonium identisch ist, das Radiotellur.

Die Ausscheidung dieser radioaktiven Stoffe ist äußerst schwierig; die reine Darstellung bisher nur beim Radium gelungen.

Das Polonium ist dem Wismut in seinen chemischen Eigenschaften nahe verwandt und deshalb schwer von demselben zu trennen.

Das Aktinium steht in gleicher Beziehung zum Thor und konnte noch nicht frei von demselben erhalten werden.

Als die wichtigste radioaktive Substanz erscheint das Radium, welches meist das Baryum begleitet; seine Darstellung in Form sehr wirksamen Radiumbromids gelang Giesel.

Von allen diesen erwähnten radioaktiven Substanzen wird allgemein bis jetzt nur dem Radium der Charakter eines Elementes zugesprochen.

Dieser Stoff repräsentiert gewissermaßen noch die ganze Reihe der seltenen radioaktiven Substanzen und wird auch im folgenden den Hauptgegenstand der Darstellung bilden.

Vierter Abschnitt.

Das Radium.

A. Vorkommen.

1. Verbreitung.

In den letzten Jahren war der literarische Markt überschwemmt mit Nachrichten über das neue Element Radium. Namentlich überboten sich Zeitschriften und Zeitungen in sensationellen Berichten über die wunderbaren Eigenschaften. Die meisten der Leser werden erstaunt sein und ungläubig lächeln, wenn sie einmal Gelegenheit haben, das Element auch zu sehen. Eine kleine Menge eines unscheinbaren gelblichen Pulvers hat die große Bewegung hervorgerufen.

Die Gelegenheit, das Radium vor Augen zu bekommen, ist äußerst selten; denn die Menge des reinen Elements, die man auf der ganzen Erde bis jetzt darstellte, beträgt im ganzen vielleicht nur einige Gramm.

2. Fundstätten.

Gefunden wurde das Radium nämlich bisher nur in jenen Mineralien, welche Uran enthalten. Allein die Menge, in der es sich in diesen Mineralien findet, ist meist so gering und die Trennung so schwer, daß sich eine Ausbeute nicht lohnt. Die Pechblende, die hauptsächlich in Johannegeorgenstadt, Joachimsthal, Freiberg i. S., Przibram und Cornwall gefunden wird, ist das radioaktivste Mineral.

Die Stärke der Radioaktivität ist in diesen vier Fundstätten nicht gleich; die stark unranhaltige Pechblende von Cornwall ist so wenig aktiv, daß sie gegenüber dem Mineral von Johannegeorgenstadt nur ganz geringe Spuren Radium enthalten kann.

Die Gewinnung des Radiums beschränkt sich in Europa hauptsächlich auf die Pechblende von Freiberg i. S. und von Joachimsthal. Aus dieser letztgenannten Fundstätte stammte auch die erste größere Menge Untersuchungsmaterial, welche die österreichische Regierung Frau Curie zur Verfügung stellte.

B. Gewinnung.

Die Art der Gewinnung ist sehr umständlich. Es handelt sich vor allem darum, die großen Mengen Uran, welche in der Pechblende enthalten sind, zu entfernen, was durch eine Röstung und folgende Auslaugung der Pechblendenstücke mit warmem Wasser und verdünnter Schwefelsäure bewerkstelligt wird, indem sich das Uran dabei löst und mit der Flüssigkeit entfernt werden kann.

Dieser Behandlung wurde die Pechblende seit langem unterworfen, da man das Uran, welches vielfache Verwendung in der Technik findet, auf diese Weise gewinnt. Der Rückstand, der bisher als wertlos beiseite geschafft wurde, enthält das Radium, vermischt mit Erden und größeren oder kleineren Mengen fast sämtlicher Metalle. Nun wird dieser Rückstand einer fabrikmäßigen Behandlung unterworfen, die von Debierne ausgebildet wurde und uns hier nicht näher interessiert. Als Endresultat dieser Behandlung erscheint die Gewinnung der Chloride von Baryum und Radium. Die Menge dieser Verbindung, welche man durch Abscheidung der andern Beimengungen erhält, ist sehr gering. Von 1000 kg des Rückstandes der Pechblende bekommt man ungefähr nur 8 kg des radiumhaltigen Chlorbaryums. Die Aktivität hat aber bedeutend zugenommen; während sie früher nur 4,5mal größer war als die Aktivität des Urans, ist sie jetzt schon ungefähr 60mal so groß.

Der fabrikmäßigen Behandlung folgte nun eine Behandlung im Laboratorium, die von Frau Curie ausgebildet und von Giesel verbessert wurde.

Es ist notwendig, das Radium noch vom Baryum zu trennen, eine Aufgabe, die dadurch, wie erwähnt, so schwierig ist, daß man es mit zwei chemisch verwandten Elementen zu tun hat.

Es ist bezeichnend, daß Frau Curie erst nach Jahren zum Ziele gelangte. Sie benutzt die leichtere Löslichkeit des Baryumchlorids. Durch fraktionierte Kristallisation zuerst in reinem, dann in mit Salzsäure versetztem Wasser gelang es ihr, durch Wegnahme des gelösten Baryumchlorids reines Radiumchlorid herzustellen.

Giesel verringerte die Zahl der Fraktionierungen und damit die große Umständlichkeit, indem er nicht die Chloride, sondern die Bromide des Baryums und Radiums zur Ausscheidung benutzte.

An Radiumchlorid erhielt so Frau Curie aus einer Tonne (1000 kg) der vorbehandelten Erzurückstände aus Joachimsthal nur einige Bruchteile von Grammen, Giesel an Radiumbromid etwa 0,25 gr.

Eine Kontrolle bei den Fraktionierungen der Radioaktivität der einzelnen Teile läßt sich an der Hand der bekannten Wirkungen auf die photographische Platte, das Elektroskop und fluoreszierende Substanzen ausüben. Ein weiteres Hilfsmittel gibt noch die Entdeckung von Giesel, daß das Radium der Flamme des Bunsenbrenners eine schöne karminrote Färbung erteilt.

Durch die geringe Menge, in der die radioaktiven Stoffe in der Pechblende enthalten sind, sowie die außerordentlich großen Schwierigkeiten, die bei der Absonderung entgegenstehen, wird die Tatsache erklärt, daß wir auf der ganzen Welt bisher nur wenig reines Radium besitzen, und ein reines Präparat so hoch im Preise steht.

C. Eigenschaften.

I. Der normale Charakter.

1. Atomgewicht.

Ungeachtet der geringen Mengen Radium, welche der Untersuchung dienten, haben wir doch ein gutes Bild dieses Elementes infolge der ungeheuren Energie, welche dasselbe besitzt und in so kräftiger, teilweise neuer Form äußert.

Die Versuche der Chemiker, welche dahin zielen, den Grund und die Gesetzmäßigkeit zu bestimmen, welche bei der vollständigen Änderung in den wesentlichen Eigenschaften der Körper vorhanden ist, haben ergeben, daß man alle Stoffe, gleichviel ob sie feste, flüssige oder gasförmige Gestalt haben, in zwei große Abteilungen bringen kann:

1. Zusammengesetzte Körper oder Verbindungen, das sind Stoffe, welche sich in zwei oder mehrere unter sich und dem ursprünglichen Körper verschiedene Stoffe zerlegen lassen und

2. einfache Körper oder Elemente, das sind Stoffe, aus denen man nicht noch einen anderen, wesentlich verschiedenen ausscheiden kann.

Alle Verbindungen lassen sich also in Elemente auflösen, die für uns, wenigstens bei dem heutigen Stand der Untersuchungsmethoden, sich nicht mehr teilen lassen.

Durch verbesserte Hilfsmittel ist es möglich, noch neue bisher nicht bekannte Elemente aufzufinden, und es entbehrt nicht der Wahrscheinlichkeit, daß sich solche Körper, die uns als einfache erscheinen, mit den Fortschritten der Technik und Chemie als zusammengesetzte erweisen.

Die kleinste Menge eines Elementes, welche fähig ist, mit einem anderen Element eine Verbindung einzugehen, bezeichnet der Chemiker als Atom. Diese Atome besitzen für jedes Element eine spezifische Größe und unterscheiden sich durch ihr verschiedenes Gewicht. Um einen leichten Vergleich zu gewinnen, setzte man das Gewicht des Atoms von Wasserstoff gleich 1 und bestimmt die Atomgewichte jedes einzelnen Elementes, indem man ermittelt, um wievielmal jedes schwerer ist als das Wasserstoffatom. Ordnet man nun die Elemente ihrer Atomschwere nach, so erkennt man etwas sehr Merkwürdiges. Man findet nämlich, daß die Atomgewichte in einer gewissen Proportion zueinander stehen. Man hat ein periodisches System der Elemente vor sich, in welchem die verwandten Stoffe sich beieinander gruppieren und offenbar noch Lücken vorhanden sind, da man Atome berechnen kann, für welche man keine Elemente kennt. So ist man imstande, genau zu wissen, daß an bestimmten Stellen der Platz noch mit dem Namen eines Elementes auszufüllen ist, und man konnte schon vorher einige Eigenschaften dieser noch unentdeckten Elemente vorhersagen. Wenn wir eine ältere Tabelle des natürlichen Systems der Elemente ansehen, so finden wir einen Platz reserviert für ein Element mit dem Atomgewicht 225. Durch die Entdeckung des Radiums ist dieser leere Platz ausgefüllt; Frau Curie hat mit einem genauen Meßverfahren das Gewicht des Radiums bestimmt und aus den verschiedenen Resultaten den Mittelwert 225 berechnet.

Das Radium ist unter den bis jetzt bekannten Elementen das drittschwerste. Es wird nur noch von Thor (232) und Uran (238) an Atomgewicht übertroffen. Es ist bemerkens-

wert, daß unsere drei schwersten Elemente gerade die radioaktiven sind.

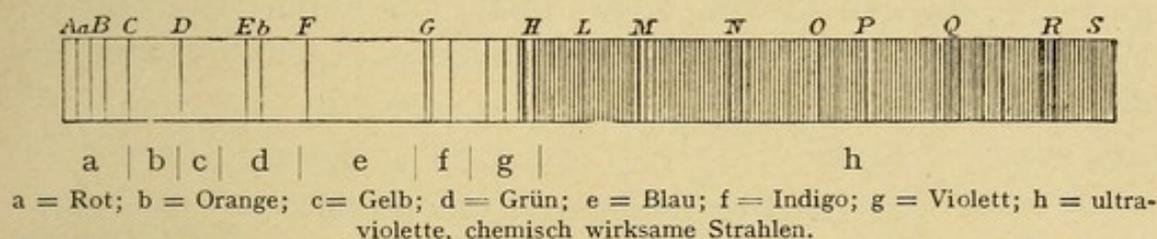
Daß hier ein Zusammenhang besteht, wird jedem einleuchten. Wie man die Relation erklärt und auslegt, werden wir später sehen.

Durch sein Atomgewicht ist das Radium in die Familie der Erdalkalimetalle Baryum, Strontium, Calcium eingereiht.

2. Spektrum.

Eine sehr gute analytische Methode zur Aufklärung der Atome besitzen die Chemiker in der Spektralanalyse.

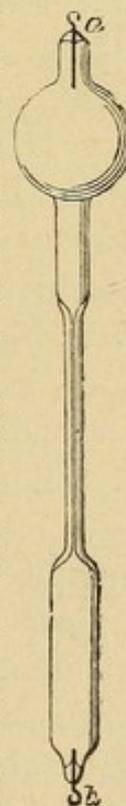
Fig. 7.



Unser Sonnenlicht ist bekanntlich zusammengesetzt aus farbigen Strahlen, die sich durch ihre Wellenlänge und verschiedene Brechbarkeit unterscheiden. Falls wir Sonnenlicht durch ein Prisma gehen lassen, erhalten wir daher ein farbiges Band, Spektrum genannt (Fig. 7). Nun haben Untersuchungen ergeben, daß jedes Element, sobald es (z. B. durch den elektrischen Strom in Spektralröhren [Fig. 8]) auf eine so hohe Temperatur erhitzt ist, daß sein Dampf glühend wird, ein aus bestimmten Linien bestehendes Spektrum ergibt. Kennt man einmal die einem Element eigentümlichen farbigen Linien, so kann man bei deren Anwesenheit im Spektrum einer Verbindung sofort auf die Beimengung dieses Elementes schließen. Verwandte Stoffe zeigen auch in ihren Spektralfarben Ähnlichkeiten. Beim Radium hat jene Spektraluntersuchung, welche von Demarçay angestellt wurde, die Ähnlichkeit mit den Spektren der anderen Erdalkalimetalle ergeben.

Atomgewicht und Spektralfarben reihen also das Radium in die Familie der Erdalkalimetalle ein. Nach dem chemischen Charakter und der Art des Spektrums tritt das Radium als normales Element hervor. Das Spektrum,

Fig. 8.



das schon viel Aufklärung gebracht hat über die Eigentümlichkeit des Atoms, verrät nichts von einem besonderen Charakter, den das Radium neben seinem normalen besitzt.

Und doch ist es ja gerade diese zweite Natur des Radiums, jene Erscheinungen, welche wir als Radioaktivität bezeichnen, die überhaupt zur Entdeckung des bisher nicht bekannten Elementes führte; denn diese Äußerungen der Materie sind so merkwürdig und so stark, daß wir von den Substanzen Polonium und Aktinium nur wissen, daß sie radioaktiv sind, dagegen keine Kenntnis der gewöhnlichen Natur dieser Stoffe haben. Es ist bisher weder gelungen, das Atomgewicht oder andere chemische Eigenschaften, noch die Spektrallinien zu ermitteln, dagegen lassen diese Stoffe in ihren radioaktiven Eigenschaften sogar gewisse Unterschiede gegenüber dem Radium erkennen.

II. Der radioaktive Charakter.

Wenn bei der bisherigen Besprechung gelegentlich der Becquerelstrahlung und der Entdeckung der radioaktiven Stoffe auch schon einige charakteristische Eigenschaften der Radioaktivität erwähnt wurden, so ist es vielleicht doch zweckmäßig, einer eingehenden Darstellung jener einen kurzen Überblick vorzuschicken.

Die fünf bis jetzt bekannten radioaktiven Elemente Uran, Thor, Polonium, Radium und Aktinium zeichnen sich alle dadurch vor den übrigen Elementen aus, daß sie unsichtbare Strahlen aussenden. Die Strahlen der fünf Stoffe unterscheiden sich hierbei durch die Dauerhaftigkeit des Auftretens, dann auch hauptsächlich durch ihren spezifischen Charakter und ihr Durchdringungsvermögen.

Die Emission der Strahlen scheint nämlich bei Uran, Thor oder Radium beständig, wenigstens viele Jahrhunderte hindurch anzuhalten, bei Polonium und Aktinium dagegen innerhalb einiger Jahre aufzuhören. Die ausgesandten Strahlen sind nicht gleichartig, sie werden nach der Größe ihres Durchdringungsvermögens in aufsteigender Ordnung als α -, β - und γ -Strahlen bezeichnet. Während nun Uran, Thor, Radium und Aktinium diese drei Strahlensorten gleichzeitig aussenden, äußert das Polonium nur die wenig durchdringenden α -Strahlen.

Die Strahlungsenergie der radioaktiven Elemente kann wie jede Form der Energie in eine andere verwandelt werden. Direkte Eindrücke, wie bei Lichtstrahlen, empfangen wir durch die Becquerelstrahlen nicht. Kein Sinnesorgan des menschlichen Körpers ist zur direkten Wahrnehmung dieser Energieform geeignet. Doch wird uns die in der Strahlung aufgespeicherte Energie sofort bemerklich, wenn sie sich in chemische oder elektrische, in thermische, mechanische, optische oder physiologische Energieform umgewandelt hat. Die Arten der radioaktiven Strahlen unterscheiden sich in der größeren oder geringeren Neigung und Leichtigkeit, sich in diese oder jene Energieform umzuwandeln.

Die α -Strahlen neigen zum Beispiel sehr dazu, sich in Wärmeenergie umzuwandeln; chemische Wirkung in Zersetzung der Silbersalze auf der photographischen Platte bringen die α -Strahlen dagegen nur wenig hervor. Die β -Strahlen hinwiederum wandeln sich gern in chemische Energie um; ihnen ist besonders die photographische Beeinflussung zu danken.

Durch stärkeres oder geringeres Aussenden der einen oder anderen Strahlenart unterscheiden sich dann die radioaktiven Substanzen in der mehr oder weniger hervortretenden Wirkung in dieser oder jener Energieform.

Das Auftreten unsichtbarer Strahlen würde genügen, um die radioaktiven Elemente zu den merkwürdigsten Substanzen zu machen, dazu kommt aber eine weitere Eigentümlichkeit, welche dieselben noch bedeutend an Interesse gewinnen läßt. Rutherford entdeckte nämlich, daß das Thor die Fähigkeit besitzt, ein radioaktives Gas auszuströmen, zwar nicht in großer Menge, allein von so starker Radioaktivität, daß seine Existenz leicht nachgewiesen werden kann.

Der Entdecker nannte das von Thor erzeugte radioaktive Gas „Emanation“. Nicht alle fünf radioaktiven Substanzen scheinen imstande zu sein, Emanation auszuströmen; wenigstens kann man bei Uran und Polonium das Vorhandensein derselben nicht nachweisen.

Dagegen entwickeln Radium, Thor und Aktinium fortwährend kleinste Mengen Emanation. Die Emanationen dieser drei Elemente sind nicht gleichartig, sie unterscheiden [sich durch die Dauer ihrer Aktivität. Die Erscheinung der Radioaktivität der erzeugten Gasmengen ist nämlich nicht beständig;

sondern nach einiger Zeit hat das Gas seine Aktivität verloren. Der Verlust tritt beim Aktinium am allerschnellsten, innerhalb weniger Sekunden ein; das Thor bewahrt die Energie einige Minuten; die Emanation des Radiums ist am dauerhaftesten, denn sie verliert die radioaktive Energie erst nach einigen Wochen.

Neben der Äußerung der Radioaktivität in den von Radium, Thor und Aktinium ausgesandten Gasmengen tritt eine stets damit verbundene Begleiterscheinung auf. Es entdeckte nämlich Rutherford an der Thoremation, Herr und Frau Curie bei derjenigen des Radiums, daß gleichzeitig mit der Emanation die Aktivierung der Stoffe eintritt, welche sich in der Umgebung der radioaktiven Substanzen befinden. Die Radioaktivität wird also anderen Stoffen mitgeteilt, so daß diese selbst wieder die Wirkungen der Radioaktivität ausüben. Die Fähigkeit, Aktivität anzunehmen, ist unabhängig von der Natur der aufnehmenden Körper; die Stärke der Aufnahme richtet sich nach der einwirkenden Emanationsmenge, sowie nach der Länge der Zeit, während welcher radioaktive Energie ausgeübt wird.

Die Aussendung der Emanation und die Übertragung der Aktivität an andere Körper bildet ein sehr gutes Charakteristikum der radioaktiven Substanzen. In der Verschiedenheit der Aussendungs- und Mitteilungstärke und in der verschiedenen Abfallgeschwindigkeit der übertragenen Energie besitzen wir ein leichtes Unterscheidungsmittel für die radioaktiven Substanzen selbst untereinander.

Wenn wir im folgenden die verschiedenen Eigenschaften der Radioaktivität betrachten wollen, können wir die Abhandlung in zwei große Gruppen scheiden. Die erste beschäftigt sich mit der Strahlung der neuentdeckten Substanzen und der durch Strahlung hervorgerufenen Erscheinungen; die zweite erstreckt sich über die mitgeteilte Radioaktivität und deren Äußerungen.

D. Die Strahlung der radioaktiven Substanzen.

I. Einteilung und Wesen der früher bekannten Strahlen.

Seit langer Zeit kennt und unterscheidet man eine Reihe verschiedener Strahlen: Schallstrahlen, Lichtstrahlen, Wärme-

strahlen und elektrische Strahlen. Die letzten Jahre brachten die Entdeckungen der Kathodenstrahlen, Röntgenstrahlen, Sekundärstrahlen, Kanalstrahlen und Becquerelstrahlen.

Das Gemeinsame ist also das „Strahlen“, d. h. die geradlinige Verbreitung einer Wirkung von dem Orte des Entstehens auf die Umgebung.

Da man eine Fernwirkung von einem Körper auf einen anderen ohne übertragendes Medium auch früher nicht glauben wollte, nahm man bei den Lichtstrahlen einen der mechanischen Bewegung analogen Vorgang an und glaubte, daß ein leuchtender Körper kleine materielle Teilchen eines Lichtstoffs geradlinig nach allen Richtungen ausschleudere, welche die Sehnerven reizen und dadurch Lichtempfindung hervorrufen.

Es ist dies die sogenannte Korpuskular- oder Emissionstheorie des Lichts, wie sie von Newton aufgestellt wurde. Die optischen Erscheinungen ließen sich bei Annahme dieser Theorie jedoch nicht vollkommen erklären. Man kam zu der Ansicht, daß nicht von dem leuchtenden Körper abgeschleuderte Teilchen, sondern Wellenbewegungen des Äthers die Lichteindrücke hervorrufen. Dies ist die sogenannte Undulationstheorie des Lichts, welche die optischen Erscheinungen vollkommen erklärt. Strahl bedeutet hier also die Richtung, in welcher die Schwingungen des Äthers fortschreiten. Zur Erklärung der Kathodenstrahlen mußte die alte Newtonsche Korpuskulartheorie wieder herangezogen werden. Die Kathodenstrahlen werden nämlich durch bewegte Teilchen gebildet, welche die Eigenschaften der Materie besitzen und als negativ geladene Ionen äußerst schnell fortgeschleudert sind.

Beim Aufprallen dieser negativen Ionen der Kathodenstrahlen auf Hindernisse entstehen Stoßwellen elektromagnetischer Natur, also unregelmäßige Folgen von Ätherwellen, Röntgenstrahlen genannt.

Die Kanalstrahlen, die Begleiterscheinung der Kathodenstrahlen, werden wie jene aus materiellen bewegten Teilchen gebildet, welche sich aber dadurch unterscheiden, daß sie positiv geladen sind, eine größere Masse und dadurch bedingt eine weniger große Geschwindigkeit besitzen.

Die Sekundärstrahlen, beim Auftreffen und Durchgang der Röntgenstrahlen in allen Körpern erzeugt, stellen keine beson-

dere Strahlenart, sondern eine Mischung bekannter Strahlenarten, der Licht-, Kathoden- und Röntgenstrahlen dar.

Wir kennen also einfache und aus einfachen Strahlenarten zusammengesetzte Strahlen.

Die einfachen Strahlen zerfallen in zwei Gruppen:

Die erste Gruppe umfaßt jene Strahlenarten, welche auf Wellenbewegung des Äthers beruhen (Licht-, Wärme-, Röntgenstrahlen).

Die zweite Gruppe umfaßt die Strahlenarten, bei welchen von der Strahlungsquelle fortgeschleuderte Masseteilchen den Einfluß auf die Umgebung übertragen (Kathoden-, Kanalstrahlen).

II. Natur und Einteilung der Becquerelstrahlen.

Nach Entdeckung der Becquerelstrahlen handelte es sich nun darum, festzustellen, ob die neuen Strahlen zu einer der beiden Gruppen gehörten oder eine ganz neue Art darstellten.

Man suchte also den beiden Gruppen charakteristische Eigenheiten auch bei den Becquerelstrahlen zu finden.

Die Äußerungen der neuentdeckten Strahlen schienen ihre Verwandtschaft mit den Röntgen- und Kathodenstrahlen darzutun. Die Verschiedenheit dieser beiden Strahlenarten zeigt sich besonders gut, wenn sie gezwungen werden, ein magnetisches Feld zu passieren.

Unter dem Einfluß eines starken Magneten werden nämlich die kleinen, negativ geladenen Teilchen der Kathodenstrahlen aus ihrer geraden Flugbahn abgelenkt; die Röntgenstrahlen verhalten sich dagegen wie die übrigen Glieder der Ätherwellengruppe, sie gehen unbeeinflusst in ihrer geraden Ausgangsrichtung weiter.

Die Untersuchung der Becquerelstrahlen unter dem Einfluß eines starken Magneten führte zu einem sehr fruchtbaren Resultat. Man hatte es mit einer sehr verwickelten Strahlenart zu tun; man fand, daß die Becquerelstrahlen nicht eine Art gleichmäßiger Strahlen, sondern vielmehr eine Vielheit von Strahlenarten darstellten. Es zeigte sich nämlich, daß die vom Radium ausgehenden Strahlen teils aus ihrer geraden Bahn vom Magneten abgelenkt wurden, teils unbeeinträchtigt weitergingen; und von den beeinflussten Strahlen wurde ein Teil mehr, der andere Teil weniger und nach ver-

schiedener Richtung abgelenkt. Rutherford, der sich wie Becquerel, Herr und Frau Curie, Giesel, Meyer, v. Schweidler, Villard und viele andere Forscher sehr mit den Untersuchungen nach der Natur der Becquerelstrahlen beschäftigte, nannte die drei verschiedenen Strahlentypen, wie schon erwähnt, α -, β - und γ -Strahlen.

Sehr veranschaulicht wird uns dies Verhalten der Strahlenarten unter dem Einfluß eines starken Magneten durch eine Zeichnung (Fig. 9) der Strahlenwege, wie sie zuerst von Frau Curie ausgeführt wurde.

Wir denken uns das Radiumpräparat in eine Höhlung eines Bleiblockes eingeschlossen, der infolge seiner großen Absorbier-

Fig. 9.

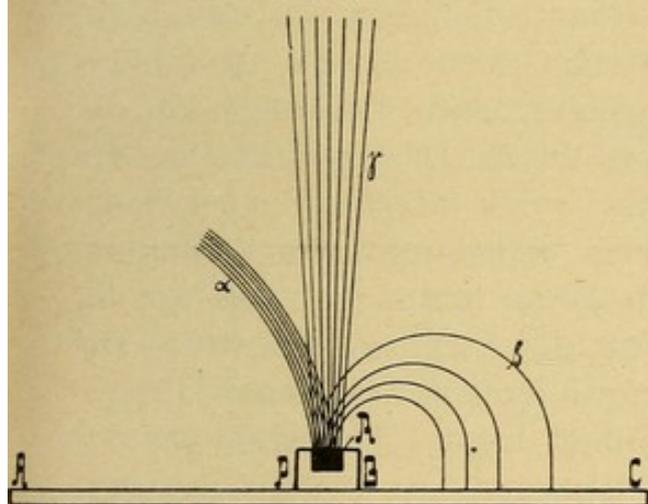
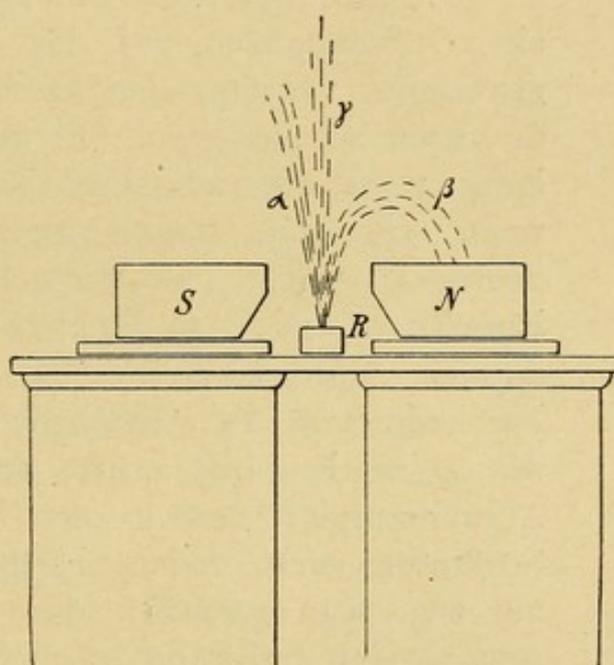


Fig. 10.



fähigkeit der Strahlung gestattet, nur in der Richtung der Bohrung in einem geradlinigen und wenig sich verbreiternden Bündel zu entweichen. Senkrecht zur Richtung des Strahlenbündels und zur Zeichnungsebene lassen wir, wie in Fig. 10 wiedergegeben, ein sehr intensives magnetisches Feld eines starken Elektromagneten einwirken. Dann erhalten wir eine Trennung des Strahlenbündels durch Abzweigen zweier Strahlenarten vom geraden Wege.

Ein Teil der Strahlung, als γ -Strahlen bezeichnet, verharrt in seiner geradlinigen Ausdehnung und zeigt durch sein neutrales Verhalten gegenüber dem magnetischen Feld seine Verwandtschaft mit den Röntgenstrahlen.

Die beiden anderen, wie Kathodenstrahlen der Beeinflus-

sung durch den Magneten unterliegenden Teile der Radiumstrahlung unterscheiden sich durch die Stärke und Richtung der Ablenkung. Während der als α -Strahlen bezeichnete Teil, dessen Abweichung in der Zeichnung übertrieben wurde, nur so wenig abgelenkt wird, daß man anfangs an eine Nichtbeeinflussung glaubte, wird der als β -Strahlen bezeichnete Teil sehr stark abgelenkt und zeigt sich hierdurch sowie durch die Richtung der Ablenkung als den Kathodenstrahlen verwandt.

Wie durch die Verschiedenheit des Verhaltens der drei Strahlungstypen gegenüber dem Magneten, tritt der Unterschied hervor in der Fähigkeit, feste Körper zu durchdringen.

Rutherford untersuchte die Stärke der Einwirkung radioaktiver Substanzen auf das Elektroskop, wenn die Strahlen gezwungen wurden, eine kleinere oder größere Reihe von Hindernissen zu passieren. Er beobachtete die Intensität der Wirkung, wenn die radioaktive Substanz unbedeckt war und dann, wenn sie mit Aluminiumplättchen von 0,0012 Millimeter überdeckt war. Der Versuch zeigte, daß die Intensität der Einwirkung auf das Elektroskop durch Dazwischenlegen der dünnen Aluminiumplättchen sehr rasch abnahm, aber nach Passieren von 15 Plättchen einen konstanten Wert annahm, der keine Einbuße erlitt, auch wenn man 30 oder 40 der Aluminiumplättchen in den Weg der Strahlen brachte. Die Schlußfolgerung, welche Rutherford damals bei diesem Ergebnis zog, war natürlich die, daß er sagte, die Strahlung der radioaktiven Substanz ist nicht homogen, sie besteht aus verschiedenen Strahlenarten, von denen die eine sehr leicht absorbiert wird, die andere bedeutend größere Durchdringungsfähigkeit besitzt. Die bei dieser Untersuchung von Rutherford benutzte Substanz war eine Uranverbindung; die ermittelte leicht absorbierte Strahlentype war in den α -Strahlen, die durchdringungsfähigere Strahlentype in den β -Strahlen gegeben. Die durchdringungsfähigere Strahlentype wurde zunächst beim Radium durch Villard als nicht einfach bewiesen, und von den β -Strahlen eine noch durchdringungsfähigere Sorte, die γ -Strahlen abgeschieden. Während die α -Strahlen durch 15—20 Aluminiumplättchen von 0,0012 Millimeter Dicke fast ganz zurückgehalten werden, erleiden die β -Strahlen selbst durch 50 Plättchen keine wahrnehmbare Schwächung, und die γ -Strahlen sind sogar noch 100mal durchdringungsfähiger als die β -Strahlen.

III. Charakteristik der Becquerelstrahlen.

In dem verschiedenen Verhalten der drei Strahlentypen dem magnetischen Feld gegenüber und in dem Unterschied der geringeren oder größeren Aufsaugung der Strahlen haben wir ein leichtes Mittel, die Strahlenarten aus ihrer Gebundenheit zu trennen und jede einzelne Type für sich allein einer Untersuchung zu unterwerfen.

Zum Studium der γ -Strahlen benützen wir ihre Ausnahmestellung gegenüber dem Magneten, um durch Ablenkung der α - und β -Strahlen nur γ -Strahlen zu bekommen.

1. Die γ -Strahlen.

Unter den drei Strahlentypen des Radiums sind die γ -Strahlen am wenigsten bekannt. Es kommt dies daher, daß sie nur einen ganz geringen Teil der Strahlung ausmachen und bei der meist sehr kleinen Menge der zur Untersuchung dienenden aktiven Substanzen noch mehr in den Hintergrund treten. Als Charakteristikum der γ -Strahlen erscheint neben der Unablenkbarkeit durch den Magneten hauptsächlich das außerordentliche Durchdringungsvermögen. Durch diese beiden Eigentümlichkeiten zeigen die γ -Strahlen ihre Intensität bzw. Verwandtschaft mit den Röntgenstrahlen.

Wir dürfen uns die γ -Strahlen nicht als fortgeschleuderte geladene Teilchen denken, sondern wir müssen sie für Ätherwellen halten und zwar für unregelmäßige, momentane Ätherimpulse. Ein Unterschied zwischen Röntgen- und γ -Strahlen besteht in der Stärke und der Entstehung der Ätherimpulse.

Die in der Röntgenröhre beim Stromdurchgang entstehenden Strahlen sind nicht gleichartig; sie unterscheiden sich durch geringere oder stärkere Durchdringungsfähigkeit, und hierauf beruht die Feinheit in der Differenzierung der Wiedergabe der durchleuchteten Körper. Die Verschiedenheit der Durchdringungskraft der gleichzeitig auftretenden Röntgenstrahlen liegt innerhalb gewisser Grenzen, und diese Grenzen verschieben sich je nach dem stärksten und schwächsten eben noch auftretenden Ätherimpuls. Die Stärke der Ätherimpulse, also damit die Größe der Durchdringungskraft der Strahlen, läßt sich durch weitere Verdünnung des in der Röntgenröhre

zurückgebliebenen Gasrestes erhöhen. Allein auch die stärksten Röntgenstrahlen werden durch eine Bleiplatte von wenigen Millimetern vollständig aufgehalten, während die γ -Strahlen 5—6 cm dicke Bleiplatten zu durchdringen vermögen und dann noch gut wahrnehmbare Effekte hervorbringen.

Rutherford hat Untersuchungen angestellt über das Maß der Schwächung, welche die γ -Strahlen des Radiums beim Durchgang durch absorbierende Stoffe erleiden, und hat gefunden, daß bei Blei 7 cm, bei Eisen 19 cm dicke Platten, bei Wasser Schichten von $1\frac{1}{2}$ m nötig sind, um zu bewirken, daß die Stärke auf $1\frac{0}{10}$ der ursprünglichen Größe sinkt. Die Absorptionsgesetze für die γ -Strahlen sind dieselben wie jene für die Röntgenstrahlen, welche in einer stark verdünnten Röhre erzeugt sind, also heftige Ätherimpulse darstellen.

Nicht wie beim Licht kommt es auf die Natur der Materie an (ob Glas oder Metall), sondern auf die Dichte, auf die Gewichte der Materien. Bei gleicher Dicke der Substanzen wächst ihr Aufsaugungsvermögen mit ihrer Dichtigkeit. Die γ -Strahlen stellen also Röntgenstrahlen dar von teilweise erhöhter Durchdringungsfähigkeit.

Einen zweiten Unterschied kann man in der Entstehung der verwandten Strahlen finden.

Wie früher erwähnt, entstehen die Ätherimpulse der Röntgenstrahlen dadurch, daß das Gas durch Einwirkung der hochgespannten Ströme zerlegt wird, die negativen Ionen beginnen zu wandern, sie bewegen sich von der Kathode weg und erhalten auf ihrem Weg eine wachsende Beschleunigung durch elektrische Einwirkungen; durch Aufprallen der Elektronen auf Hindernisse, also durch Hemmung der Kathodenstrahlen, entstehen die Stoßwellen. Und zwar richtet sich die Menge der Strahlen nach der Menge der Kathodenstrahlen, und die Stärke der Durchdringungskraft nach der Heftigkeit der Hemmung.

Die gleichen Beziehungen wie zwischen den Röntgen- und Kathodenstrahlen bestehen zwischen γ - und β -Strahlen. Je größer die Intensität der β -Strahlen einer radioaktiven Substanz, desto größer auch die Intensität der γ -Strahlen. Diese Proportion hat sich bei allen Untersuchungen feststellen lassen. Es besteht also ein inniger Zusammenhang der beiden Strahlengruppen, der durch die Annahme von Rutherford erklärt wird. Die β -Strahlen werden vom Radium explosionsartig mit großer

Gewalt fortgeschleudert, und dabei bilden sich nun heftige, elektromagnetische Stoßwellen, die γ -Strahlen. Die Geschwindigkeit und Energie der β -Strahlen ist so groß, daß sie durch Hindernisse nicht im gleichen Maß wie die Kathodenstrahlen aufgehalten werden, und die bei Zusammenstößen entstehenden Stoßwellen nur geringe Durchdringungskraft besitzen. Dieser Teil der γ -Strahlen, der den X-Strahlen analog ist, tritt in seinem Effektbeitrag zurück vor der Hauptmasse, die sich dadurch unterscheidet, daß sie als Begleiterscheinung des Austritts, nicht erst der Hemmung auftritt.

2. Die β -Strahlen.

Von den drei Strahlentypen des Radiums erfreuten sich in der ersten Zeit der Untersuchungen die β -Strahlen wohl des größten Interesses.

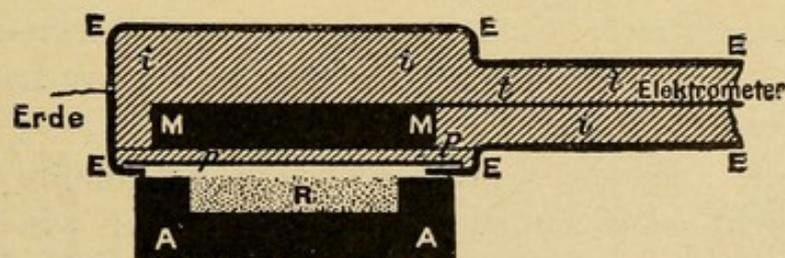
Zum Gesamtstrahlungseffekt tragen die β -Strahlen in weit höherem Maße bei als die γ -Strahlen.

Durch ihre photographische Wirkung machen sie sich leicht bemerklich. Wie die Kathodenstrahlen bestehen die β -Strahlen aus bewegten, negativ geladenen Teilchen. Daß hier keine Ätherschwingungen, sondern Korpuskeln die Wirkung übertragen, zeigt sich darin, daß der Strahlenweg durch magnetische Einwirkung eine starke Krümmung erfährt. Daß die Teilchen negative Ladung mit sich führen, läßt sich experimentell leicht nachweisen. Denn wenn ein Körper die β -Strahlen absorbiert, so erhält er damit auch deren Ladung und zeigt sich, je nach deren positiver oder negativer Art, dann auch positiv oder negativ geladen.

Und umgekehrt, wenn eine Materie fortwährend positive oder negative Elektrizität verliert, dann wird sich ein Überschuß der ihr verbleibenden Elektrizität feststellen lassen.

Die Versuchsanordnung ist daher sehr einfach. Wie in Fig. 11 angegeben, hält man die α -Strahlen des Radiumsalzes R , das sich in dem

Fig. 11.

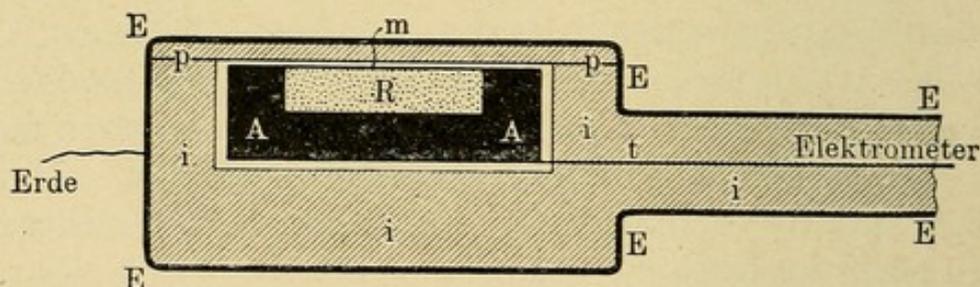


Bleitrog A befindet. in der Metallplatte P zurück und läßt die β -Strahlen einwirken auf einen absorbierenden Körper (z. B. die Metallplatte) M , dessen Ladung durch einen mit demselben verbundenen Elektrometer gemessen wird. Wegen der schwachen Elektrizitätsentwicklung der β -Strahlen sucht man die ausgestrahlte Energie möglichst vollkommen abzufangen und wendet daher die größte Vorsicht an, daß die absorbierende Substanz die erhaltene Ladung nicht gleich wieder verliert. Man bettet daher die auffangende Platte M ganz in isolierendes Material und umgibt das Ganze noch mit einer zur Erde abgeleiteten Metallhülse E .

Alsdann läßt sich am Elektrometer ablesen, daß sich die Metallplatte M allmählich negativ ladet, und damit ist gezeigt, daß die β -Strahlen negative Ladung mit sich führten. Je nach der Menge und der Art der radioaktiven Substanz ist die mitgeteilte Ladung in der gleichen Zeit stärker oder schwächer.

Um das zweite Experiment anzustellen, bringen wir, wie Fig. 12 anzeigt, das Radium an die Stelle der absorbierenden

Fig. 12.



Platte in die Isoliermasse und stellen die Verbindung mit dem Elektrometer her. Wir finden dann, daß das Radium allmählich positive Ladung zeigt in gleicher Weise wie die Metallplatte beim ersten Versuch negative Ladung.

Außer diesem Curieschen Versuch wurde durch eine Anzahl von Versuchen durch Dorn und Becquerel auch die direkte Abstoßung der β -Strahlen durch negativ geladene Körper konstatiert, nach dem Gesetz: „Gleichnamige Elektrizitäten stoßen sich ab“, also damit die negative Ladung der β -Strahlen gezeigt.

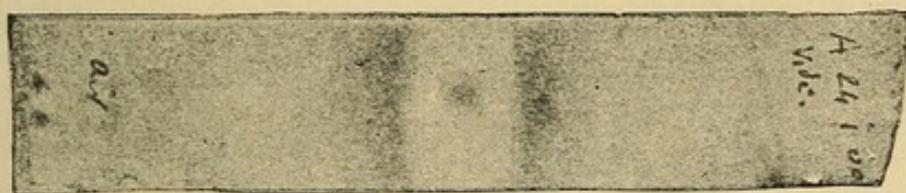
Die als β -Strahlen zusammengefaßte Gruppe ist jedoch nicht eine Summe gleicher Strahlen; wie bei den γ -Strahlen gibt es auch hier wieder Unterschiede in der Durchdringungs-

fähigkeit und außerdem noch in der Stärke der Beeinflussung durch den Magneten.

Ein sehr anschauliches Bild erhalten wir, wenn wir die in Fig. 9, S. 23, angegebene Versuchsanordnung benutzen und den Bleiblock auf eine in schwarzes Papier eingewickelte photographische Platte *AC* legen.

Durch ein intensives, elektromagnetisches Feld werden die β -Strahlen so stark aus ihrer geraden Richtung abgelenkt, daß sie Kreisbogen beschreiben und auf die photographische Platte wirken. Hätten wir es mit einem homogenen Strahlenbündel zu tun, so müßte in einer bestimmten Entfernung des Bleiblockes als Zentrum auf der Platte die Einwirkung zu sehen sein; allein wie die Platte (Fig. 13) zeigt, erhalten wir ein dif-

Fig. 13.



fuses Band. In größerer oder geringerer Entfernung vom Bleiblock sind die Strahlen auf die Platte gelangt; ihre Kreisbogen waren größer oder kleiner, also die Ablenkung kleiner oder größer.

Entsprechend der verschiedenen Widerstandskraft der β -Strahlen gegen die magnetische Ablenkung ist auch die Fähigkeit, auf dem Weg Widerstand zu überwinden, also Körper zu durchdringen, nicht gleich.

Wenn wir dieselbe Anordnung wie beim letzten Versuch benutzen, können wir dies sehr gut beobachten.

Wir legen unter den das Radium bergenden Bleiblock auf die lichtempfindliche Platte dünne Schichten von Papier, Blei oder sonstigen Stoffen, und lassen dann das magnetische Feld auf die Strahlung einwirken.

Die Bilder, welche wir dann erhalten, unterscheiden sich von den früheren durch die Breite des Bandes, also die Fläche der Einwirkung. Und zwar sind jene Beeinflussungen nicht mehr erfolgt, welche früher in der Nähe der Strahlungsquelle stattfanden. Jemehr Bleiplättchen wir in den Weg einschal-

teten, in desto größerem Umkreis des Bleiblockes erfolgt keine Schwärzung.

Diejenigen unter den β -Strahlen, welche am meisten durch elektrische Einflüsse abgelenkt werden, werden also auch am kräftigsten absorbiert.

Mit dieser großen Verschiedenheit der β -Strahlung, was Absorbierung und Ablenkung betrifft, hängt der Unterschied zusammen, der zwischen den einzelnen Strahlen bezüglich ihrer Geschwindigkeit besteht.

Becquerel und Kaufmann bestimmten durch Messung der Ablenkungen im magnetischen Feld die Geschwindigkeiten der negativen Projektilen. Die Grenzwerte liegen weit auseinander. Die festgestellte mittlere Geschwindigkeit der β -Strahlen übertrifft den Wert der Kathodenstrahlen ganz bedeutend und ist der Lichtgeschwindigkeit vergleichbar.

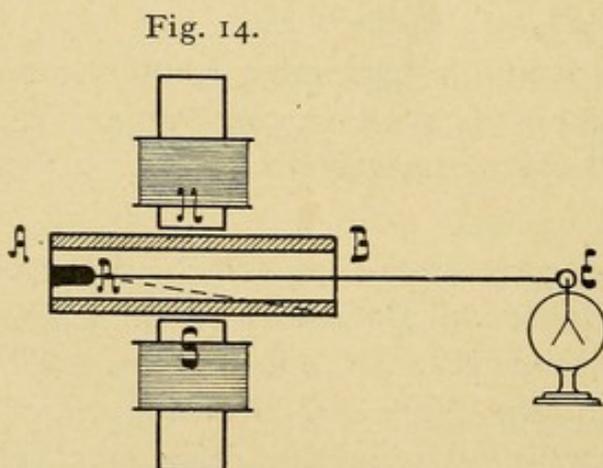
Durch die größere Geschwindigkeit erklärt sich das stärkere Durchdringungsvermögen der β -Strahlen gegenüber den Kathodenstrahlen.

3. Die α -Strahlen.

Bei weitem am wichtigsten unter den drei vom Radium ausgesandten Strahlentypen sind die α -Strahlen. Sie tragen auch bei allen radioaktiven Substanzen am meisten zur Strahlung bei.

In ihrer Durchdringungsfähigkeit stehen sie gegen die anderen Typen sehr zurück. Feste Körper und Flüssigkeiten werden nur in äußerst dünnen Schichten durchdrungen; selbst Gase vermögen in geringer Dichte die α -Strahlen völlig zu verschlucken.

Letzteres läßt sich leicht zeigen in dem Versuch, der in Fig. 14 dargestellt ist. Das Radiumpräparat R befindet sich



wieder in einem Bleiblock P , und dieser ist in einem sehr dicken Bleizylinder AB verschickbar. An dem einen Ende des Bleizylinders, dem offenen Radiumpräparat gegenüber, befindet sich ein geladenes Elektroskop E . Falls wir keinen Magneten auf das Radium einwirken lassen, fallen die Blätt-

chen des Elektroskops bald zusammen. Die Erscheinungen gestalten sich verschieden, wenn wir ein magnetisches Feld erregen und dadurch die β -Strahlen zur Seite werfen. Befindet sich nämlich das Radiumpräparat in dem Bleizylinder nahe dem Ende *B*, also nahe beim Elektroskop, so wird dieses wie bei Nichtwirkung des Elektromagneten rasch entladen; der Entladungsvorgang ändert sich aber, wenn wir das Radium in der Bleiröhre vom Elektroskop entfernen; er spielt sich desto langsamer ab, je größer die Entfernung wird, und sobald einmal der Abstand zwischen Radium und Elektroskop 7 cm beträgt, dauert die Entladung unendlich lang. Sämtliche β -Strahlen sind bei 7 cm Entfernung bei einem sehr intensiven magnetischen Feld abgelenkt; die Entladung rührt nur mehr von dem geringen Prozentsatz der enthaltenen γ -Strahlen her. Die α -Strahlen sind also durch 7 cm Luft absorbiert. Um genau zu erkennen, welche Dicke von Luft zur Aufsaugung der α -Strahlen genügt, müssen wir eine Substanz untersuchen, die nur α -Strahlen aussendet, das Polonium.

Frau Curie beschäftigte sich mit diesen Feststellungen und fand, daß eine Luftschicht von 4 cm genügt, um elektrische Einwirkungen zu verhindern.

Die Erscheinung, daß die Durchdringungskraft der α -Strahlen desto mehr abnimmt, je größer die Zahl der schon durchdrungenen Substanzen ist, legte den Gedanken nahe, daß auch die α -Strahlen aus Elektronen gebildet sind und gleich Projektilen in ihrer Geschwindigkeit beim Überwinden von Hindernissen allmählich abnehmen.

Den Beweis für die Richtigkeit dieser Vermutung zu erbringen, gelang zuerst Rutherford, indem dieser Forscher, dann auch Becquerel und Des Coudres, die Ablenkung der α -Strahlen zeigten.

Die α -Strahlen sind also keine Ätherwellen, sondern es sind, wie die Tatsache und Richtung der Ablenkbarkeit ergibt, gleich den Kanalstrahlen, kleine positiv elektrische Stoffteilchen, deren Geschwindigkeit sehr groß, aber vielmals geringer ist als jene der β -Strahlen, und deren Masse ganz bedeutend jene der β -Strahlenteilchen übertrifft. Durch die größere Masse der α -Projektilen gegenüber den β -Strahlenteilchen wird die geringere Durchdringungskraft erklärt.

In den Becquerelstrahlen haben wir also nicht dem Wesen

nach eine neue, bisher nicht bekannte Strahlenart vor uns, sondern wir haben sie als eine Mischung bekannter Strahlenarten zu betrachten.

Dementsprechend sind auch die Wirkungen, welche durch die Strahlung der radioaktiven Substanzen hervorgerufen werden, an sich nicht neue; allein sie zeigen die größere Energie der Ursache an. Jede Strahlung muß dem Energievorrat der Strahlungsquelle entsprechend längs ihrer Bahn gewisse Wirkungen ausüben. Letztere zerfallen in fünf Klassen, nämlich in chemische, elektrische, thermische, mechanische und physiologische.

E. Wirkungen der Becquerelstrahlen.

I. Chemische Wirkungen.

Unter den durch Strahlung der Radiumsalze erzeugten Effekten sind die chemischen wohl am wichtigsten. Nicht nur Fluoreszenz und Lichtwirkungen, auch Färbungserscheinungen und chemische Reaktionen auf die Silbersalze der photographischen Platte, auf feste Körper und Gase werden durch Radiumstrahlen hervorgerufen. Die Strahlen der anderen radioaktiven Substanzen sind gegenüber der Emission des Radiums so schwach, daß viele Wirkungen sich beim Radium feststellen lassen, die bei den anderen Stoffen durch Schwäche ihres Auftretens sich der Wahrnehmung gänzlich entziehen.

1. Fluoreszenzerscheinungen verschiedener Stoffe.

a) Stoffe, bei denen Fluoreszenz erregt wird.

Die Fluoreszenzwirkung der radioaktiven Substanzen wurde zuerst von Herrn und Frau Curie bei der Untersuchung des Poloniums auf Barymplatincyanür beobachtet. Baryumplatincyanür leuchtet auch auf, wenn es von Röntgenstrahlen getroffen wird, und dieses Salz findet schon seit der Röntgenstrahlenentdeckung in dieser Technik ausgedehnte Verwendung zu Untersuchungen in der Diagnostik, da es sich durch Stärke der Beeinflussung von anderen Materien sehr günstig unterscheidet. Auch bei den Becquerelstrahlen ist Baryumplatincyanür zur Untersuchung am geeignetsten. Je stärker die radioaktive Substanz, desto stärker leuchtet das Salz auf, und

je näher sich das Baryumplatincyanür der Strahlungsquelle befindet, desto intensiver ist auch die Fluoreszenz.

Die Empfindlichkeit dieses Salzes ist so groß, daß selbst bei einer Entfernung von zwei Metern noch Leuchteffekte konstatiert werden können.

Die Fluoreszenzwirkung tritt auch ein, falls absorbierende Schirme in den Strahlenweg eingeschaltet werden. Natürlich ist die Erscheinung dann nicht so kräftig; je nach dem Absorptionsvermögen der verschiedenen Stoffe dringen die Strahlen mehr oder weniger hindurch und bringen den Baryumschirm zu stärkerem oder geringerem Aufleuchten. Man bekommt also Schattenbilder, wenn man einen Gegenstand zwischen die Strahlungsquelle und den Leuchtschirm bringt.

Die Feinheit der Differenzierung ist jedoch bei den radioaktiven Substanzen nicht so groß, daß man, wie bei den Röntgenstrahlen, Nutzen für Körperdurchleuchtung und derartige Untersuchungen ziehen könnte.

Die Erzeugung dieser Strahlungseffekte durch die radioaktiven Stoffe ist nicht auf Baryumplatincyanür beschränkt; die Einwirkung ist hier nur am kräftigsten.

Eine große Zahl von Körpern wird durch Becquerelstrahlen zum Leuchten gebracht. Organische Stoffe, wie Papier, Baumwolle, Haut, dann auch Quarz und Glas werden phosphoreszierend. Die verschiedenen Glasarten werden nicht in gleicher Weise beeinflußt. Am kräftigsten wird das sogenannte Thüringer Glas erregt.

Zu intensiverem Leuchten als die genannten Stoffe werden jene Körper gebracht, welche auch durch Licht- und Röntgenstrahlen phosphoreszierend werden.

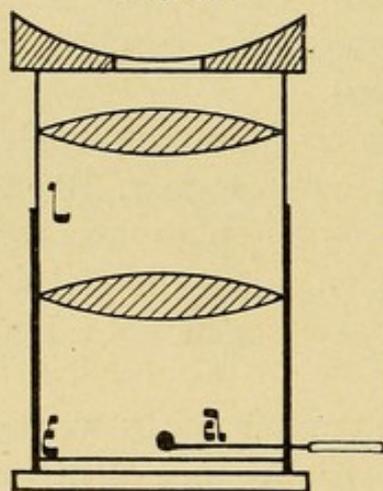
Hierher gehören vor allem die Salze der Alkalien und der alkalischen Erden, dann das schon erwähnte Baryumplatincyanür, ferner Kalium, Zinkoxyd und Zinksulfid, ebenso von Mineralien Diamant, Flußspat, Willemit und Kunzit. Bei Metallen hat man eine Leuchtwirkung durch die Becquerelstrahlen nicht gefunden.

b) Beteiligung und Eigenheiten der einzelnen Strahlentypen.

Die drei Strahlenarten der radioaktiven Substanzen bringen Leuchteffekte hervor; allein einige phosphoreszierende Körper werden je nach der auftreffenden Strahlenart mehr oder weniger

stark beeinflußt. Baryumplatincyranür zeigt sich für β -Strahlen sehr empfindlich; Zinkoxyd und Zinksulfid (sogenannte Sidotblende) wird dagegen nur von α -Strahlen lebhaft erregt. Man kann letzteres sehr gut beobachten, wenn man mit einem starken Radiumpräparat experimentiert, das in eine Aluminiumbüchse eingeschlossen ist. Die α -Strahlen werden dann durch das Metall absorbiert und die Sidotblende sendet ein so minimales Licht aus, daß es schwer fällt, dasselbe zu bemerken. Nimmt man dagegen das Radium aus der Metallhülse heraus und bringt es möglichst nahe an die Sidotblende, so entsteht ein sehr intensives Leuchten.

Einen Unterschied der Wirkung der α - und β -Strahlen auf phosphoreszierende Substanzen fand Crookes. Er beobachtete nämlich, daß die α -Strahlen im Gegensatz zu den β -Strahlen kein kontinuierliches Leuchten erzeugen. Zur Beobachtung der Wirkung der α -Strahlen benutzte Crookes einen kleinen Apparat, den er Spinthariskop nennt (Fig. 15).



Er bringt an einem Draht *a* eine Menge α -Strahlen aussendender radioaktiver Substanz möglichst nahe über einen Schirm *E*, der mit einer Schicht Sidotblende bedeckt ist. Wenn man nun im Dunkeln den der radioaktiven Materie zugekehrten Teil des Schirmes mit einer starken Lupe (Fig. 15) betrachtet, so sieht man, daß nicht der ganze Schirm leuchtet, sondern man bemerkt auf diesem nur kleine strahlende Pünktchen, die momentan aufleuchten und verschwinden. Der Anblick hat einen großen Reiz und erinnert an das Sternengefunkteln des nächtlichen Himmels.

Der Anblick hat einen großen Reiz und erinnert an das Sternengefunkteln des nächtlichen Himmels.

c) Verwendungsmöglichkeit dieser chemischen Wirkung.

Die Fluoreszenz- und Phosphoreszenzwirkung der von radioaktiven Materien ausgesandten Strahlen kann Anwendung finden vor allem zur Untersuchung der radioaktiven Stoffe selbst. Man nennt die Untersuchungsmethode, welche hierauf gegründet ist, die fluoroskopische. Dann aber kann praktischer Nutzen gezogen werden aus der verschiedenen Stärke der

Phosphoreszenz des Diamants und seiner Fälschungen. Das Leuchten ist nämlich beim Diamant viel stärker als bei den Stoffen, die zur Nachahmung dienen, wie Straß, Bleiglas etc.

2. Durch Becquerelstrahlen erzeugtes Leuchten.

a) Zusammenhang mit Wassergehalt der Präparate.

Curie und Giesel haben konstatiert, daß die radiumhaltigen Baryumverbindungen neben den Becquerelstrahlen noch fortwährend Lichtstrahlen aussenden. Die Lichtentwicklung kann so kräftig sein, daß es möglich ist, mit einer geringen Menge Radiumsalz eine zum Lesen genügende Helligkeit zu erlangen. Die Leuchtkraft hängt jedoch wesentlich zusammen mit dem Gehalte der Salze an Wasser. Das stärkste Licht senden die radiumhaltigen Baryumpräparate dann aus, wenn sie kein oder wenig Wasser enthalten. Bei feuchter Luft büßen die Salze sehr an ihrer Leuchtfähigkeit ein, erlangen dieselbe aber in ihrer früheren Stärke wieder, wenn ihnen durch Trocknen die aufgenommene Feuchtigkeit entzogen wird.

b) Nötige Vorsicht bei Beurteilung der Intensität.

Es scheint jedoch, daß die Lichtaussendung nicht dem Radium an sich zuzuschreiben ist, daß wir es vielmehr mit einem sekundären Prozeß zu tun haben, indem die vom Radium erzeugten Becquerelstrahlen die Phosphoreszenz des beigemischten Baryumchlorids oder Baryumbromids erregen und dadurch die Lichtwirkung hervorrufen. Man hat nämlich gefunden, daß die Radiumstrahlen bei wasserfreien Baryumsalzen Phosphoreszenz erregen, bei den wasserhaltigen jedoch nicht.

Es ist klar, daß bei einer chemischen Verbindung zwischen Radium und Baryum die Phosphoreszenzerscheinung besonders stark hervortritt und das Licht von der ganzen Masse des Präparates ausgeht. Zu der Lichtwirkung verbraucht das Radium Energie; die noch ausgesandte Becquerelstrahlung ist gemindert. Da selbst die teuersten, käuflichen Radiumpräparate noch einen erheblichen Gehalt an Baryum haben, ist es daher nicht praktisch, scharf getrocknetes, also leuchtendes Radiumsalz zu den Versuchen zu verwenden, da sonst die Wirkung stark geschwächt ist. Ebenso dürfen wir die Intensität eines Präparates nicht nach dessen Lichtaussendung be-

messen, da radiumreiches aber wasserhaltiges Salz mit seiner Selbststrahlung ganz zurücktritt vor einem scharf getrockneten Gemenge, dessen Radiumprozentgehalt ganz minimal ist.

Die meisten der unter dem Einfluß von Becquerelstrahlen fluoreszierenden und phosphoreszierenden Substanzen werden bei längerer Dauer der Einwirkung allmählich weniger empfindlich für den Reiz und leuchten nicht mehr in der früheren Stärke.

Es erfolgt also eine Ermüdung der bestrahlten Körper und es tritt eine Veränderung derselben ein. Diese Umänderung ist meist begleitet von einer neuen Gestaltung der Färbung.

3. Durch Becquerelstrahlen hervorgerufene Färbungserscheinungen.

a) Stoffe, bei welchen Färbungsänderung bewirkt wird.

Glas und Porzellan wird durch Bestrahlung der Radiumsalze violett, gelb, braun oder grau. Man bemerkte hier die Einwirkung auf die Farbe besonders, da man die radioaktiven Präparate vielfach in Glasröhrchen aufbewahrte. Die Färbung ist bei Glas allgemein und scheint nicht an die Anwesenheit von Blei oder einer anderen Substanz in der Glasmasse gebunden zu sein. Entfernt man das Glas aus dem Bereich der Strahlung, so bleibt seine Farbe bestehen. Es handelt sich also um eine durch die Strahlung in der Glasmasse hervorgerufene chemische Veränderung.

Die alkalischen Salze werden gelb, violett, blau oder grün gefärbt. Kochsalz wird zum Beispiel braungelb; der klare durchsichtige Quarz verwandelt sich in Rauchquarz; der farblose Topas wird orangegelb.

Unter Einwirkung des Tageslichtes oder durch Erhitzen verschwinden indessen diese Modifikationen wieder. Ebenso entfärbt sich auch das beeinflusste Glas wieder; allein hier muß man das Glas auf bedeutende Temperatur bringen, um die Entfärbung herbeizuführen. Diese ist dann von einer Lichtaussendung begleitet. Diese Erscheinung wird als Thermolumineszenz bezeichnet und ist bei einigen Substanzen, wie Flußspat, bekannt. Durch Erhitzung wird Flußspat leuchtend; allein seine Kraft erschöpft sich bald und man muß ihn erst

der Einwirkung elektrischer Funken oder auch der Radiumstrahlen aussetzen, um ihm seine Leuchtfähigkeit bei Erwärmung wieder zu verschaffen. Analog ist die Erscheinung beim Glas. Das Glas bekommt durch die Becquerelstrahlen Energie zugeführt, die in der Färbung ihren Ausdruck findet; durch Erhitzen verschwindet die Färbung unter Aussendung von Lichtstrahlen. Sobald das Glas seine Färbung verloren hat, hört auch seine Lichtaussendung wieder auf. Setzt man das Glas wieder einige Zeit der Einwirkung der Radiumstrahlen aus, so kann man den Vorgang wiederholen.

Auch die hohe Empfindlichkeit des Baryumplatincyanürs verringert sich mit der Zeit, und kann man gleichzeitig eine Bräunung des Salzes beobachten. Dieselbe Veränderung des Baryumsalzes wird durch die Röntgenstrahlen hervorgerufen. Setzt man den Schirm einige Zeit der Einwirkung des Tageslichtes aus, so tritt die frühere Reizbarkeit wieder ein.

b) Verwertung der Eigenschaft der Becquerelstrahlen, Färbungsänderungen herbeizuführen.

Die Einwirkung der Radiumstrahlen auf die Farbe von Chemikalien hat einen hohen praktischen Wert bei der medizinischen Anwendung der Becquerelstrahlen.

Wird die Haut in die Nähe von radioaktiven Substanzen gebracht, so tritt je nach der Stärke des Salzes, dessen Entfernung und der Zeit der Bestrahlung, wie wir später noch bei Besprechung der physiologischen Wirkung des Radiums sehen werden, eine mehr oder minder heftige Reaktion ein. Es ist nun von großer Wichtigkeit, ein exaktes Dosierungsmittel zu besitzen, um Unglücksfälle zu verhindern und eine Probebestrahlung, wie sie anfangs bei der Behandlung mit Röntgenstrahlen empfohlen wurde, unnötig zu machen. Ein solches, physikalisch hinreichend einwandfreies Dosierungsmittel besitzen wir in dem Chromoradiometer von Holzknecht. Dieses besteht aus einer Mischung von Natriumsulfat und Natriumchlorid, die je nach der absorbierten Strahlenmenge verschiedene Färbungen annimmt, und einer Farbenvergleichsskala, bei welcher die einzelnen dem Färbungsgrad entsprechenden Reaktionen verzeichnet sind. Bei Anwendung in der Therapie setzt man nun eine kleine Menge der Mischung gleichzeitig und in derselben Lage wie das behandelte Objekt den Strahlen aus, und läßt diese

so lange einwirken, bis das bestrahlte Salz die der gewünschten Reaktion entsprechende Färbung angenommen hat. Die quantitative Bestimmung der absorbierten Strahlungsmenge ist auf diese Weise außerordentlich einfach. Die Eigenschaft der Becquerelstrahlen, Färbungserscheinungen hervorzurufen, hat so eine große Bedeutung durch die praktische Anwendung gefunden.

4. Modifizierung des Sauerstoffs und Zersetzung des Wassers.

a) Verwandlung des Sauerstoffs in Ozon.

Daß das Radium eine große Energie besitzt, hat man zuerst aus seiner Wirkung auf Sauerstoff und Wasser ersehen.

Unter dem Einfluß der Strahlung der radioaktiven Substanzen wird nämlich der Sauerstoff in Ozon verwandelt, und erfordert diese Umwandlung einen großen Aufwand von Kraft. Die strahlende Materie muß jedoch mit der sauerstoffhaltigen Luft in direkte Berührung kommen. Öffnet man ein Glasröhrchen, in welchem radioaktive Substanz eingeschlossen war, so ist der Ozongeruch leicht zu bemerken.

Die Veränderung, welche Papier, das der Radiumstrahlung ausgesetzt ist, erleidet, indem eine gelbe Färbung und Zerstörung der Haltbarkeit eintritt, ist wohl erst ein sekundärer Prozeß der Radiumstrahlen, eine Wirkung des entwickelten Ozons.

b) Zersetzung des Wassers.

Wasser, das bekanntlich aus Sauerstoff und Wasserstoff zusammengesetzt ist, wird unter Einwirkung der Radiumsalze in seine Bestandteile zerlegt. Dieselbe Zersetzung wird ja auch herbeigeführt, falls man elektrischen Strom durch Wasser gehen läßt. Es ist aber nicht bloß die Lösung von Radiumbromid, welche fortwährend Gase entwickelt; auch die festen Radiumsalze führen Gasentwicklung herbei, nehmen aber die Gase in sich auf und lassen sie bei Auflösung frei.

Die Gasentwicklung ist in beiden Fällen sehr stark. Ein Gramm reines Radiumbromid ist fähig, in einem Tag ungefähr 10 ccm Sauer- und Wasserstoffgas aus der Lösung auszuscheiden. Der Vorgang spielt sich fortwährend ab und man kann auch in langer Zeit keine Abnahme der entwickelten Gasmenge feststellen.

c) Okkludierung von Gasen.

Der Einschließung von Gasen durch trockene Radiumsalze sind wohl auch zwei Unfälle zuzuschreiben, welche Herrn Curie bei seinen Versuchen zustießen. Infolge von Erhitzen der Glasröhrchen, welche Radiumsalze enthielten, kamen nämlich Explosionen vor; die Zerschmetterung der geschlossenen Glasröhrchen ist wohl dem durch die Erhitzung herbeigeführten höheren Druck der durch die Radiumsalze eingeschlossenen Gase zuzuschreiben.

5. Zersetzung der Silbersalze der photographischen Platte.**a) Art der Einwirkung.**

Zu den chemischen Wirkungen der radioaktiven Substanzen gehören natürlich auch die Veränderungen, welche durch sie auf den photographischen Platten veranlaßt werden. Wie durch Licht und das Auftreffen der Röntgenstrahlen wird das Brom-, ebenso das Chlor- und Jodsilber, welches sich in der Emulsion der empfindlichen Schicht befindet, in analoger Weise auch durch die Becquerelstrahlen beeinflusst. Trotz der gewaltigen Fortschritte der Photographie in den letzten Jahren, ist man sich der Vorgänge, welche sich infolge der Strahlen in der Emulsion abspielen, nicht klar bewußt.

Nach der chemischen Theorie nimmt man an, daß eine Zersetzung der Bromsilberschicht hervorgerufen wird, daß sich das Bromsilber zerlegt in Silbersubbromid und Brom. Die Zersetzung vollzieht sich um so vollkommener, je größer die auftreffende Strahlenmenge ist; an jenen Stellen der empfindlichen Schicht, auf welche keine Strahlen auffallen, bleibt daher die Emulsion in ihrer Bindung als Bromsilber bestehen. Nach der Einwirkung der Strahlen auf der Platte nehmen wir bekanntlich mit unseren Sinnesorganen keine Veränderung wahr. Wir müssen die beeinflusste Emulsion mit einer reduzierenden Flüssigkeit behandeln; dann erkennen wir die Veränderung; sie wird entwickelt. Die reduzierende Flüssigkeit entzieht nämlich dem Silbersubbromid das Brom; metallisch schwarzes Silber bleibt zurück. Entsprechend der Verschiedenheit in der Stärke der Beeinflussung der empfindlichen Schicht durch die Strahlen, also entsprechend der größeren oder geringeren Zersetzung der Silbersalze tritt die Entziehung des Broms und

die Schwärzung des Silbers durch den Entwickler in stärkerem oder geringerem Maße ein. Die entwickelte Platte gibt also ein Bild der Kraft der Strahlen, welche auf sie einwirkten, durch die Tiefe der Schwärzung wieder.

Diese Eigenschaft der Becquerelstrahlen, wie Licht auf der photographischen Platte Effekte hervorzurufen, ist von großer Bedeutung. Danken wir ja gerade dieser Eigentümlichkeit erst die Entdeckung der Becquerelstrahlen!

b) Praktische Verwertung der Eigenschaft der Becquerelstrahlen, auf die photographische Platte einzuwirken.

α) Prüfung von Mineralien auf radioaktive Beimengungen.

Die Nutzbarmachung dieser photographischen Wirkung der Becquerelstrahlen ist außerordentlich einfach und praktisch zur Untersuchung, ob eine Substanz radioaktive Beimengungen enthält oder nicht. Bei der Entdeckung der radioaktiven Materien hat diese Art der Untersuchung unschätzbare Dienste geleistet. Die Versuchsanordnung ist mit keinerlei Schwierigkeiten verbunden. Wenn wir ein Mineral oder irgend einen Körper auf seine Radioaktivität prüfen wollen, so legen wir ihn einfach im Dunkeln auf die Schicht einer photographischen Platte auf und entwickeln die Platte dann, nachdem die Versuchsanordnung — lichtempfindliche Schicht — Probesubstanz — angemessene Zeit im Dunkeln dauerte. Zeigt sich eine Schwärzung der Platte, so muß man nach dem Grund forschen. Es kann nämlich bei direktem Aufliegen der untersuchten Substanz auch eine nicht auf Aussendung der Strahlen zurückzuführende chemische Veränderung hervorgerufen werden; es kann ebenso, wie man jetzt festgestellt hat, durch Ozon eine Schwärzung erzeugt sein, und auch Druck scheint einen gleichen Erfolg hervorzurufen. Letzterer kann zum Beispiel die Ursache der Schwärzung der photographischen Platten bilden, welche man häufig an jenen Stellen der Schicht beobachtet, an welchen die Papierreiter sich befanden.

Druckbeeinflussung kann man aber leicht vermeiden, indem man eben die zur Untersuchung verwendeten Substanzproben nicht so groß wählt. Direkte chemische Einwirkungen lassen sich durch Zwischenlage einer neutralen, den Becquerelstrahlen aber wenig Widerstand leistenden Substanz, zum Beispiel Papier,

verhindern. Übrigens ist es bei allen Untersuchungen rätlich, Vergleichsversuche anzustellen. Man setzt also eine photographische Platte denselben Bedingungen aus, nur daß man eben hier die untersuchte Materie wegläßt. Muß man die Wirkung auf der lichtempfindlichen Plattenschicht auf Becquerelstrahlen zurückführen, so handelt es sich nun um Feststellung, welcher Bestandteil des Minerals oder der untersuchten Verbindung die wirkenden Strahlen aussendet. Zu diesem Zweck prüft man dann die einzelnen Bestandteile in der gleichen Weise nach dem angegebenen einfachen Verfahren.

Diese Anwendung der photographischen Wirksamkeit der radioaktiven Stoffe war von überaus großer Wichtigkeit bei Entdeckung und Auffindung der Substanzen, welche Becquerelstrahlen aussenden. Die Methode ist außerordentlich einfach und hat den großen Vorteil, keine feinen Apparate oder kostbares Material zu erfordern.

Mit einer kleinen Platte 9×12 kann man eine ganze Reihe von Mineralien prüfen. Man schlägt von den Mineralien, deren Untersuchung man vornehmen will, kleine Stückchen ab und legt diese kleinen Proben auf die zur Verhütung direkter chemischer Einflüsse mit einem Papier überdeckte, empfindliche Schicht der Trockenplatte. Hat die Exposition etwa während 10—12 Stunden stattgefunden, so hebt man das Papier mit den Mineralproben vorsichtig ab und entwickelt die Platte. Diejenigen Stellen der Platten, auf welchen sich radioaktive Substanzen enthaltende Proben befanden, schwärzen sich dann je nach der Aktivität mehr oder weniger, und es ist leicht, eine Sonderung vorzunehmen. Fig. 5 (S. 7) gibt das Bild einer solchen Versuchsplatte wieder.

β) Herstellung von Radiographien.

Verfahren.

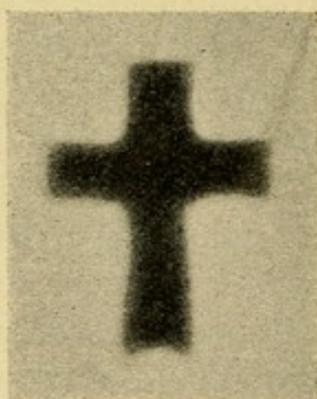
Die Fähigkeit der Becquerelstrahlen, auf die photographische Platte einzuwirken, und die Eigenschaft, von Körpern in verschiedener Stärke absorbiert zu werden, ermöglichen in ihrer Verbindung, mittels der radioaktiven Substanzen Radiographien zu erhalten. Das Zusammentreffen derselben beiden Eigenschaften bei den Röntgenstrahlen bildet den Grund für die gewaltige Bedeutung und ausgedehnte Anwendung derselben in der Medizin.

Die Nutzbarmachung dieser beiden Eigenschaften ist jedoch bei den Becquerelstrahlen viel einfacher.

Bei den Röntgenstrahlen brauchen wir ein kompliziertes Apparatsystem, wie brauchen eine Stromquelle, welche die für den Betrieb der Apparate nötige Elektrizitätsmenge liefert — bei den Becquerelstrahlen haben wir eine kleine Menge radioaktiver Substanz; Induktorium, Unterbrecher, Röntgenröhre, Apparate, welche infolge Feinheit der Konstruktion leicht einer Störung unterliegen und viele Umständlichkeiten hervorrufen, fallen hier weg.

Um mittels Becquerelstrahlen eine Radiographie zu erhalten, setzen wir die lichtempfindliche Schicht der photographischen Platte den Strahlen einer radioaktiven Substanz aus und bringen zwischen die Platte und die strahlende Materie, also in den Strahlenweg, jenen Körper, dessen Bild wir erhalten wollen. In dem in Fig. 16 u. 17 wiedergegebenen Versuch

Fig. 16. *)



Radiographie eines Zinnkreuzes durch direkt aufliegendes Radiumsalz.

Fig. 17. *)



Radiographie eines Zinnkreuzes durch eine entfernte, kleine Strahlungsquelle.

war auf die Emulsion einer photographischen Platte ein kleines Kreuz aus Silberpapier gelegt; über diesem befand sich Radiumsalz. Die Strahlen gehen nach allen Seiten aus; um in unserem Versuch auf die Platte zu gelangen, mußten sie an der Stelle, wo sich das Zinnkreuz befand, dieses und um dieses herum einen mehr oder minder langen Luftraum durchsetzen. Dabei wurden Strahlen absorbiert, von dem Zinnkreuz in stärkerem Maße als von der Luft; je nach Menge und Stärke

*) Die Abbildung gibt das Positiv wieder!

der auftreffenden Strahlen wurde die empfindliche Bromsilberschicht schwächer oder stärker beeinflußt, und so hebt sich das Zinnkreuz als weniger geschwärzte Stelle auf der Platte von der Umgebung ab.

Eigentümlichkeiten der Radiographien als Schattenbilder.

Wir erhalten also durch die Becquerelstrahlen Schattenbilder. Die Tiefe der Schatten ist einerseits abhängig von der Strahlungsintensität der radioaktiven Substanz, andererseits von der Dicke des durchstrahlten Objekts und dessen Fähigkeit, die Becquerelstrahlen zu absorbieren. Je dicker und je undurchlässiger das Objekt ist, desto weniger wirksame Strahlen gelangen bei gleichbleibender Strahlungsintensität auf die empfindliche Schicht, desto heller bleiben also diese Stellen im Vergleich zu jenen, auf welche die Strahlen ungeschwächt oder nicht in dem gleichen Maße geschwächt einwirken können.

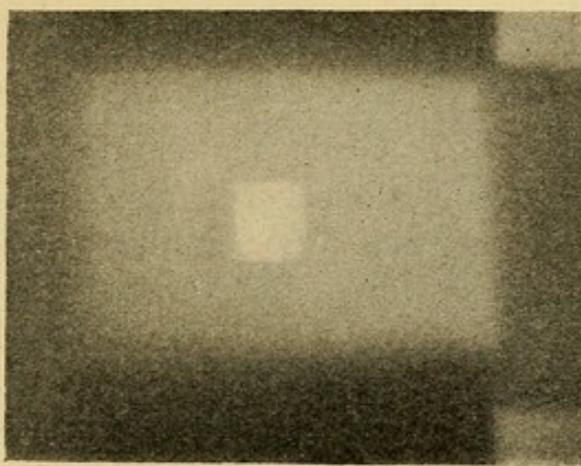
In Fig. 18 ist ein Durchleuchtungsbild wiedergegeben, bei welchem das Objekt aus einer Anzahl aufeinandergelegter Zinnfolien bestand, von denen bei jeder in der Mitte ein mit jeder Schicht größeres Quadrat herausgeschnitten war. Je größer die Zahl der aufeinandergelegten Blätter, also je dicker die zu durchdringende

Schicht war, desto weniger vermochten die Strahlen auf die Platte einzuwirken, desto heller sind daher diese Stellen.

Bei dem in Fig. 19 wiedergegebenen Bild bestand der eine Teil des durchleuchteten Objekts aus leicht durchlässigem Aluminium, der andere Teil aus dem schwerer zu durchdringenden Blei. Jene Stelle, auf welche die Strahlen einfielen, nachdem sie das Blei durchdrangen, ist daher viel weniger affiziert, sie ist heller.

Die Größe der Schatten ist bei gleichem Objekt abhängig

Fig. 18. *)



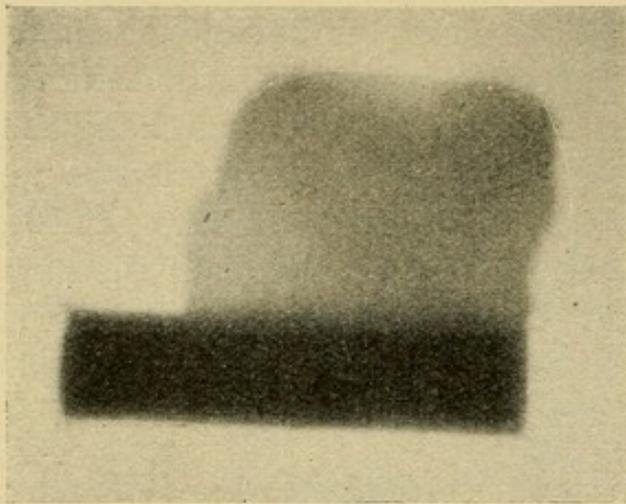
Radiographie von Zinnfolien verschiedener Dicke.

*) Die Abbildung gibt das Positiv wieder!

von dessen Entfernung von der Strahlungsquelle und von der lichtempfindlichen Schicht.

Je näher sich das Radiumsalz dem zu durchdringenden Körper befindet, desto größer ist das Bild, das von ihm entworfen wird. Ebenso wächst der Schatten mit zunehmender

Fig. 19.



Radiographie eines Aluminium- und eines Bleiblechs.

Um also im Schatten die dem Objekt in Wirklichkeit zukommende Größe zu erhalten, muß man das Objekt möglichst der Projektionsebene, also hier der empfindlichen Emulsion, nahe bringen, die Strahlungsquelle aber entfernen.

Das über die Verzeichnung der Schattenbilder Gesagte gilt in voller Schärfe nur für die Zentralprojektion, also für den Fall, daß die Strahlen alle nur von einem Punkte, dem Strahlencentrum, ausgehen. Dies trifft nun bei den meisten Versuchen fast zu, da die radiumhaltigen Salze meist in winzigen Mengen verwendet werden. Sobald mit einer größeren Menge experimentiert wird, gehen die Becquerelstrahlen nicht mehr von einem Punkt aus. Es ist, der Ausdehnung der radioaktiven Stoffe entsprechend, eine Vielheit von Zentren vorhanden; jeder Punkt der Fläche der aktiven Menge ist für sich ein Ausgangszentrum von Strahlen; jeder projiziert das Objekt auf die Platte; es entsteht eine Vielheit von Schatten, die untereinander nicht zusammenfallen; die Folge ist: die Platte gibt die Konturen des Objekts nicht scharf wieder; die Umrisse sind verschleiert, verschwommen (vgl. Fig. 16, S. 42).

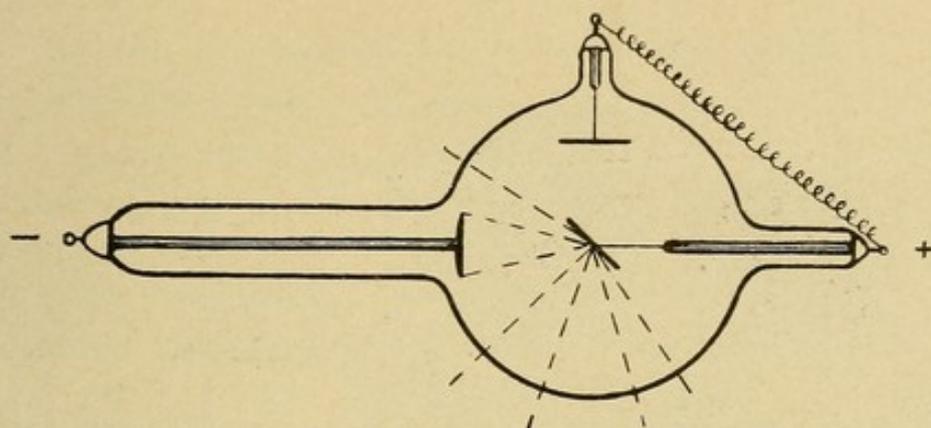
Mit den Röntgenstrahlen bekam man bei den ersten Röhren

Entfernung zwischen Objekt und Platte.

Liegt bei einem Versuch auf der lichtempfindlichen Schicht direkt das Objekt und auf diesem die radioaktive Substanzmenge auf, so ist die Verzeichnung nur dann unerheblich, wenn das Objekt sehr geringe Dicke besitzt, wie zum Beispiel bei der ersten Bildwiedergabe (Fig. 16, S. 42) das Kreuz aus sog. Silberpapier.

auch sehr unscharfe Bilder, da die Strahlen von einer Fläche ausgingen. Von der Eigenheit der Röntgenstrahlen, beim Auftreffen der Kathodenstrahlen auf feste Körper zu entstehen, hat man aber später zur Konstruktion von Röhren Gebrauch gemacht,

Fig. 20.

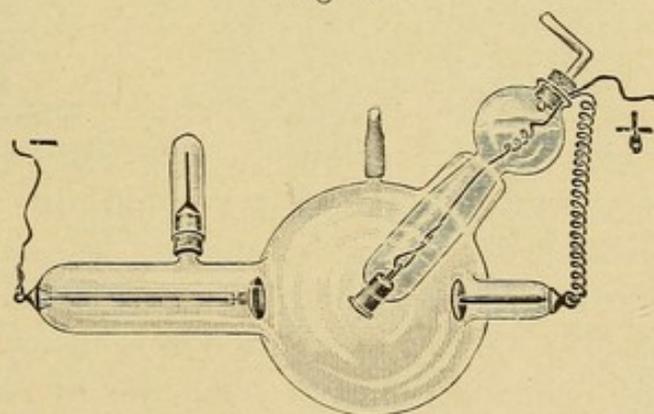


Allgemein angenommene Konstruktion der Röntgenröhre.

bei welchen durch das Auftreffen der Kathodenstrahlen auf einen Punkt eines festen Körpers eine einzige Ausgangsstelle für die Röntgenstrahlen

und damit eine fast vollkommene Zentralprojektion geschaffen wurde (vgl. Fig. 20 und 21). Bei den Becquerelstrahlen ist im allgemeinen das Entstehen einer Vielheit von Projektionsbildern bei dem leider meist sehr flächenarmen Radium unbedeutend und bei der rein experimentellen Anwendung der radiographischen Wirkung unwichtig.

Fig. 21.



Müller - Röhre.

Die durch mehrere Projektionszentren erzeugten Schattenbilder eines durchstrahlten Objekts fallen übrigens desto mehr in ihren Umrissen zusammen, je weiter die Strahlungsquelle vom Objekt entfernt ist.

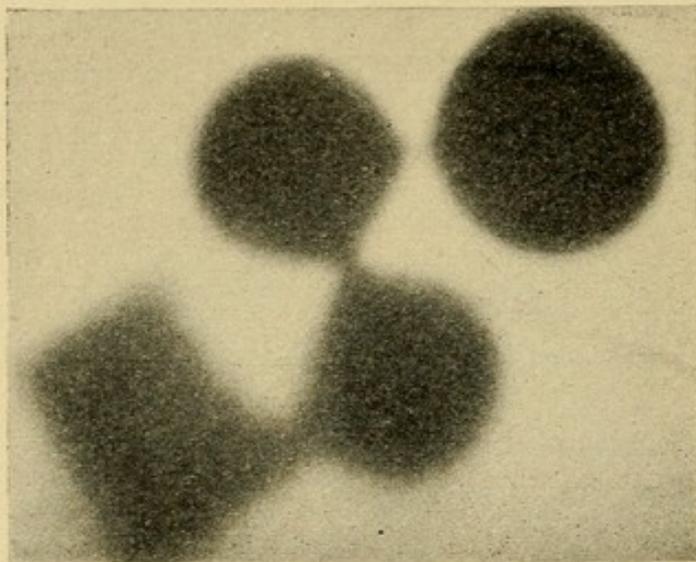
Einfluß der β -Strahlen auf die Bildschärfe.

Wenn wir nun auf große Entfernungen und mit Strahlungsquellen kleinster Dimension Aufnahmen machen, so sind

unsere Erwartungen bezüglich der Bildschärfe meist nicht ganz erfüllt (Fig. 22).

Die Strahlung, welcher wir in größerem Abstand noch die radiographische Wirkung verdanken, besteht aus β - und γ -Strahlen; die α -Strahlen gelangen nicht zu dem Objekt, da sie in nächster Nähe der Strahlungsquelle absorbiert werden.

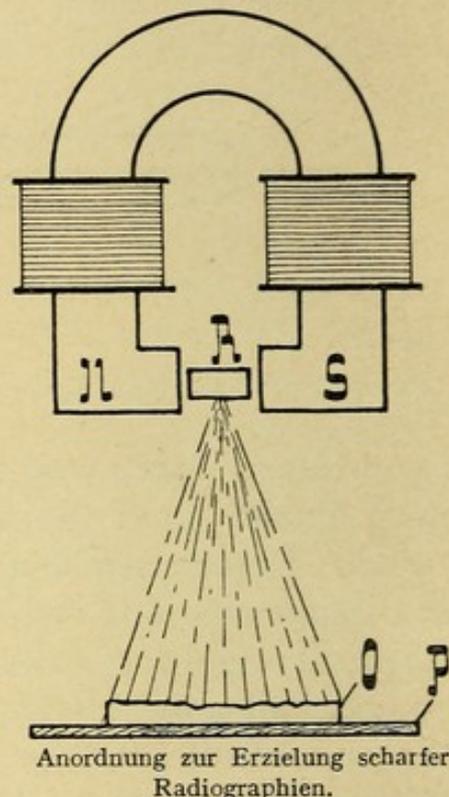
Fig. 22.*)

Radiographie von Münzen ohne Ablenkung der β -Strahlen.

Zur Untersuchung, welche der beiden Strahlenarten die Unschärfe hervorruft, brauchen wir bloß die Wirkung der β -Strahlen zu beseitigen, indem wir durch Einwirkung eines starken Magneten diese Strahlenart ablenken. Die Anordnung ist also die in Fig. 23 wiedergegebene: Zu unterst befindet sich mit Schichtseite nach oben die in schwarzes Papier gewickelte photographische Platte *P*, auf ihr ist das Objekt *O* aufgelegt, dessen Durchleuchtung wir vornehmen wollen, und oben befindet sich zwischen den Polen eines starken Magneten die Strahlungsquelle *R*.

Wie der Vergleich der Radiographie (Fig. 24) mit der unter Mitwirkung der β -Strahlen erhaltenen (Fig. 22) ergibt, ist die Bildschärfe bei γ -Strahlenwirkung bedeutend größer; die β -Strahlen sind also die Ursache der Unschärfe bei Fig. 22. Es spielt sich bei den β -Strahlen derselbe Vorgang wie bei den

Fig. 23.



*) Die Abbildung gibt das Positiv wieder.

Röntgenstrahlen ab; die β -Strahlen erleiden in allen Körpern eine starke diffuse Reflexion; es entstehen Sekundärstrahlen, welche auch Durchdringungskraft und chemische Wirksamkeit besitzen und durch ihre Diffusion auf der Platte den Schleier hervorrufen, der die Konturen verwischt, welche durch die γ - und primären β -Strahlen erzeugt werden.

Radiographien mittels γ -Strahlen allein.

Um möglichst scharfe, kontrastreiche Durchleuchtungsbilder mit den Becquerelstrahlen zu erlangen, werden wir also stets durch Ablenkung der β -Strahlen bloß mit γ -Strahlen arbeiten.

Allein die γ -Strahlen bilden nur einen geringen Teil der Gesamtstrahlung und infolge ihrer großen Durchdringungskraft werden sie auch nicht alle auf der chemischen Platte wirksam; dies hat zur Folge, daß wir unter sonst gleichen Umständen zur

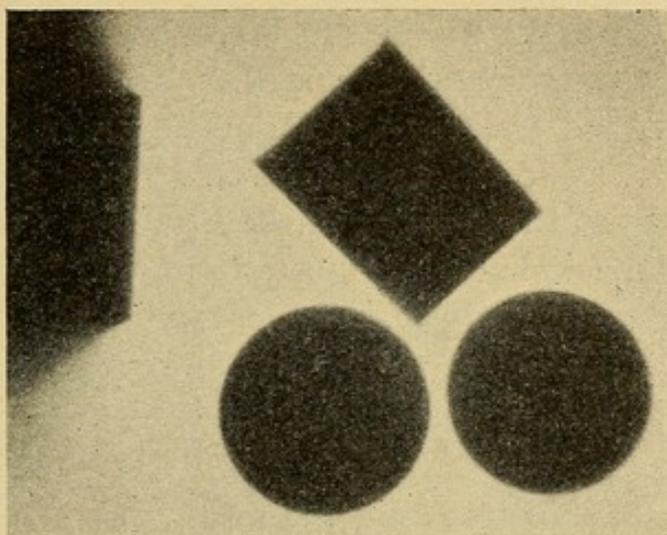
Erzielung derselben Stärke des radiographischen Effekts ohne Mitwirkung der β -Strahlen bedeutend längere Zeit exponieren müssen.

Ebenso wird bei wachsender Entfernung zwischen Strahlungsquelle und Objekt das gleiche Resultat nur in bedeutend längerer Zeit erzielt. Zum Beispiel mußte Frau Curie zur Radiographie eines Portemonnaies, die sie bei 20 cm Entfernung zwischen Strahlungszentrum und Platte in einer Stunde erzielte, bei 1 m Entfernung, aber sonst gleichen Verhältnissen, einen ganzen Tag exponieren.

Wert der Verwendung der Becquerelstrahlen zur Erzielung von Radiographien.

Trotz der Vorteile, welche die Erzeugung der Radiographien mittels Becquerelstrahlen gegenüber jener mittels

Fig. 24. *)



Radiographie von Münzen mit γ -Strahlen.

*) Die Abbildung gibt das Positiv wieder.

Röntgenstrahlen durch Wegfall des komplizierten Apparatsystems genießt, werden die radioaktiven Substanzen auf dem radiographischen Gebiet wenigstens wohl nicht das Röntgeninstrumentarium verdrängen. Der Wert der Röntgenstrahlen in der Durchleuchtung beruht nämlich auf ihrem Differenzierungsvermögen der feinsten Dichtigkeitsunterschiede, wie sie zwischen den Geweben des menschlichen Körpers bestehen, und dieses Vermögen geht den Becquerelstrahlen in jener Feinheit ab. Selbst sehr ungleich dichte Stoffe, wie Fleisch und Knochen, besitzen für Radiumstrahlen kaum merklich veränderte Durchlässigkeit. Es kommt dies daher, daß die einzelnen Strahlen, aus welchen Becquerel- und Röntgenstrahlung zusammengesetzt ist, sich bei der erstgenannten Art untereinander nicht in der minimalen Weise bezüglich der Durchdringungsfähigkeit unterscheiden, wie dies bei den einzelnen Strahlen der Fall ist, aus welchen die Röntgenstrahlung besteht.

Da die radiographische Wirkung bei intensiven Radiumpräparaten noch in einer Entfernung von über 2 m stattfindet, sind empfindliche Substanzen, wie photographische Platten und Bromsilberpapier, aus der Nähe zu entfernen.

II. Elektrische Wirkungen.

Von größerer praktischer Bedeutung für die Bestimmung der Intensität der radioaktiven Strahlung, und zwar was Qualität und Quantität angeht, sind gegenüber den chemischen Wirkungen die elektrischen Effekte, welche durch die Strahlung der radioaktiven Substanzen hervorgerufen werden.

1. Elektrische Aufladung durch Becquerelstrahlung.

Bei Betrachtung der einzelnen Strahlengattungen haben wir schon festgestellt, daß α - wie β -Strahlen als geladene, von radioaktivem Stoff fortgeschleuderte Korpuskeln zu betrachten sind; wir haben auch gesehen, daß sie beim Auftreffen ihre Ladung mitteilen oder ganz abgeben. Die Größe dieser Aufladung durch die treffenden Partikelchen, also die durch die Strahlung empfangene Energie kann man dann direkt am Elektrometer ablesen.

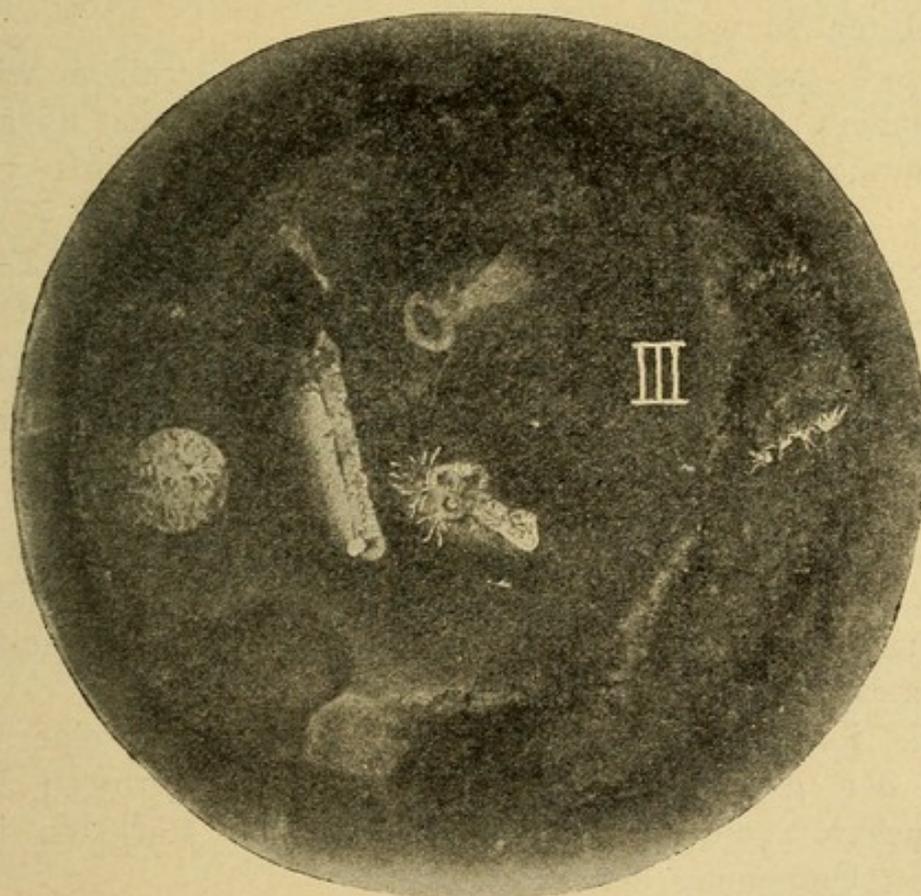
Praktische Verwendung zur Berechnung von Geschwindigkeit und Masse der Elektronen.

Da geladene Teilchen, welche sich mit großer Geschwindigkeit geradlinig fortbewegen, durch elektrische und magnetische Kräfte aus der Richtung abgelenkt werden, sind wir bei den Becquerelstrahlen imstande, nach bekannten Gesetzen sowohl die Geschwindigkeit als auch die Masse der von den radioaktiven Stoffen ausgestrahlten Elektronen zu berechnen.

2. Elektrische Radiographie.

Wie V. Gabriitschewski veröffentlichte, erhält man scharfe Abbildungen von Gegenständen, welche man auf eine elektrisierte Ebonitfläche gelegt und den Radiumstrahlen etwa

Fig. 25.



Elektrische Radiographie.

10—15 Minuten ausgesetzt hat, wenn man nach der Exposition die Platte, wie bei den Lichtenbergschen Figuren, mit Schwefel- und Mennigpulver bestreut.

Fig. 25 gibt die photographische Aufnahme eines Gabriitschewskischen Versuchs wieder und läßt zwei kleine Schlüssel,

eine Münze und ein Streichhölzchen gut erkennen. Der Versuch läßt sich leicht anstellen und gibt prächtige Effekte, besonders wenn die Gegenstände die elektrisierte Platte innig berühren.

3. Ionisierung von Flüssigkeiten und Gasen.

Die Becquerelstrahlen haben auch die Wirkung, daß sie Flüssigkeiten, welche dem elektrischen Strom vollkommenen Widerstand leisten, also beste Isolatoren, wie flüssige Luft oder Petroleumäther, Vaselineöl etc., zu schwachen Leitern machen. Ebenso wird die Luft, welche unter gewöhnlichen Umständen ein Nichtleiter ist, fähig, Elektrizität zu übertragen; man sagt, die Luft wird ionisiert. Man stellt sich vor, daß unter dem Einfluß der Becquerelstrahlen die die Luft bildenden Gasmoleküle zerlegt werden und als Ionen wie in einem flüssigen Elektrolyten zu wandern beginnen.

Durch diese Eigenschaft der Becquerelstrahlen wird in Anwesenheit radioaktiver Substanzen das Auftreten aller jener Erscheinungen verhindert, welche Isolation der Luft voraussetzen.

So fallen die isolierten, geladenen Plättchen des Elektroskops zusammen, sobald man ein Radiumsalz nähert. Da sich das Zusammenfallen um so rascher vollzieht, je stärker das Präparat ist, so kann man aus der Geschwindigkeit der Entladung die Intensität schätzen und vergleichend messen.

Die Spannung von Leidenerflaschen wird funkenlos ausgeglichen. Kugeltanz, elektrisches Glockenspiel und, wie die kleinen Experimente alle heißen, die wir mit der Elektrisiermaschine machen können, gelingen nicht in Anwesenheit einer Becquerelstrahlen aussendenden Substanz.

Die ionisierende Wirkung ist hauptsächlich eine Eigenschaft der α -Strahlen; sie ist infolge der geringen Durchdringungskraft dieser Strahlenart daher am stärksten in der nächsten Umgebung der Salze.

Praktische Verwendung zur Bestimmung der Elektrizität der Atmosphäre.

Verwendung kann diese Eigenschaft finden zur Bestimmung der Elektrizität der Atmosphäre. Bisher wurden zu dieser Untersuchung meist die Eigenschaft der Flammen oder Kelwinsche Tropfapparate benutzt. Ein mit einem Elektro-

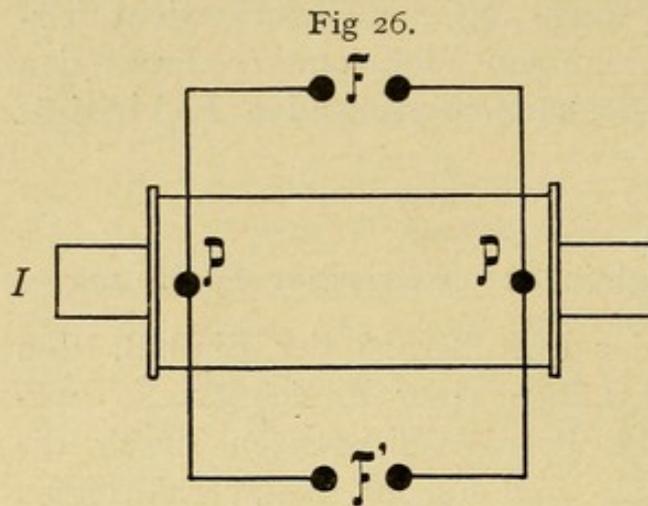
meter verbundener Metalldraht wird mit einer Metallbüchse verbunden, die Radium enthält; in der Umgebung des Salzes wird die Luft leitend; der Metalldraht nimmt aus der umgebenden Luft Elektrizität so lange auf, bis Gleichgewicht hergestellt ist, und dann kann man am Elektrometer direkt den Wert der jeweils in der Atmosphäre herrschenden Elektrizität ablesen.

4. Erleichterung des Ausgleiches elektrischer Spannung.

Nicht auf Ionisierung der Luft beruht der Einfluß, den die Becquerelstrahlen auf die Länge einer Funkenstrecke ausüben. Wenn sich elektrische Potentialdifferenzen durch die Luft, also einen je nach Druck- und Feuchtigkeitsverhältnissen mehr oder weniger guten Isolator ausgleichen, so muß der Strom Widerstand überwinden. Der Widerstand ist um so größer, je länger die zum Elektrizitätsausgleich notwendig zu durchbrechende Luftstrecke unter sonst gleichen Umständen ist. Jeder Spannungsdifferenz entspricht also bei sonst gleichen Verhältnissen eine bestimmte Luftstrecke, die gerade noch überbrückt wird; wächst die Entfernung, so reicht die Energie nicht mehr zu einem Ausgleich. Die Becquerelstrahlen vermindern nun den Widerstand, welchen Luft dem Stromdurchgang entgegensetzt. Lassen wir also ein Radiumsalz auf eine Luftstrecke einwirken, welche so groß gewählt ist, daß zwei Potentiale sich gerade nicht mehr ausgleichen können, so tritt die Funkenentladung ein. Der Stromdurchgang wird also durch Becquerelstrahlen erleichtert. Und zwar sind es die β - und γ -Strahlen, welche diese Veränderung hervorbringen; die Wirkung tritt ein, auch wenn wir das Radium in Bleigefäße einschließen oder den Einfluß der α -Strahlen auf die Funkenstrecke durch Entfernung unmöglich machen. Haben zwei elektrische Potentiale die Möglichkeit, sich auf zwei, gleichen Widerstand bietenden Funkenstrecken gerade noch auszugleichen, so geht der elektrische Strom, falls man eine der Funkenstrecken der Becquerelstrahlung aussetzt, nur mehr auf dieser über.

Fig. 26 zeigt die Anordnung, wie sie von Herrn Curie zur Demonstration dieser Eigenschaft der Becquerelstrahlen angegeben wurde.

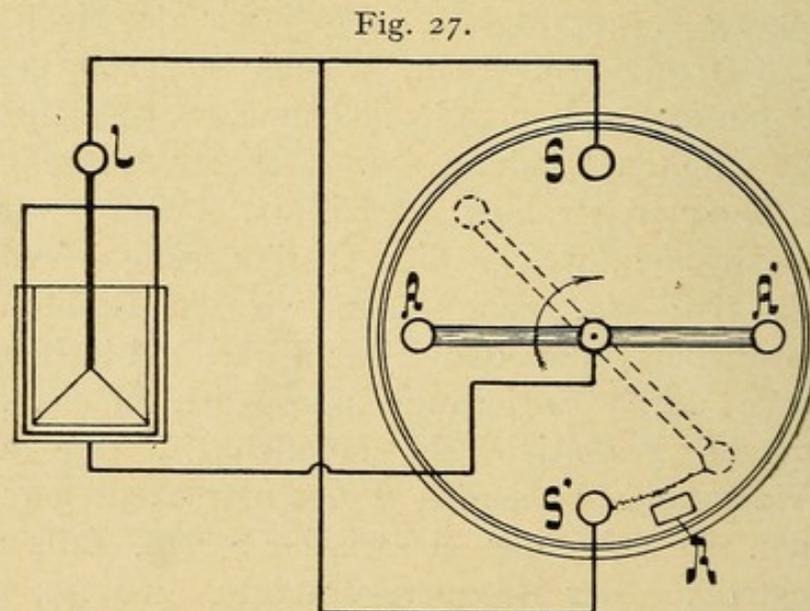
Mit I ist der Funkeninduktor bezeichnet, der uns in den Polen P und P' der Sekundärspule fortwährend hochgeladene



Anordnung von P. Curie zur Demonstration der Eigenschaft der Radiumsalze, den Ausgleich elektrischer Spannung in Luft zu erleichtern.

Potentiale liefert; diesen Potentialen ist die Möglichkeit gegeben, sich durch zwei Funkenstrecken F und F' gleicher Länge auszugleichen. Sobald wir nun in diesem System der einen Funkenstrecke F ein Radiumpräparat nähern, gehen hier die Funken in verstärkter Weise über, während bei der nichtbestrahlten Strecke F' die Entladung aufhört.

Haben wir keinen Induktionsapparat, so können wir dasselbe Experiment auch mit einer geladenen Leidener Flasche anstellen. Wir teilen die Ladung des einen Belags der Leidener Flasche einem langen metallischen Leiter RR' mit, der isoliert in seiner Mitte auf einem Zapfen drehbar aufsitzt (Fig. 27). Auf der



Anordnung zur Demonstration der Eigenschaft der Radiumsalze, den Ausgleich elektrischer Spannung in Luft zu erleichtern.

Kreisbahn, welche bei einer Drehung des Stabes von dessen Enden RR' beschrieben wird, befinden sich genau diametral

gegenüberstehend zwei mit dem anderen Belag der Leidener Flasche verbundene Metallleiter S und S' .

Sind die Entfernungen exakt gemessen, so wird sich die dem Stab von der Leidener Flasche mitgeteilte Elektrizität bei der durch Drehung desselben hervorgerufenen Annäherung der Endpunkte R und R' an die Metallleiter S und S' gleichzeitig an beiden Seiten ausgleichen. Legt man aber an die eine Zuleitung S' ein wenig Radium R , so gleicht sich die von der Leidener Flasche mitgeteilte Elektrizität bloß an diesem Pol aus, wenn man den Metallstab durch Drehen annähert. Trotz der gleichen Entfernung entsteht zwischen R und S kein Funke; der Elektrizitätsübergang ist also bei S' infolge der Wirkung des Radiumsalzes erleichtert. Bringt man zu S auch ein radioaktives Salz, so kann man ermitteln, welches der Präparate in stärkerem Maße dem elektrischen Strom den Durchgang durch Luft ermöglicht. Der Funken wird in diesem Fall bei jenem Punkt S oder S' auftreten, bei welchem sich die kräftigere radioaktive Substanz befindet.

Auf Büschel- und Funkenentladung einer Influenzmaschine werden durch Radiumsalze ähnliche Wirkungen hervorgerufen wie durch ultraviolettes Licht.

Notwendigkeit der Anwendung von Vorsichtsmaßregeln bei elektrischen Messungen in der Nähe radioaktiver Stoffe.

Wie die radioaktiven Substanzen wegen ihrer radiographischen Eigenschaften eine Gefahr für das lichtempfindliche Material des photographischen Laboratoriums bilden und am ratsamsten von diesem fernzuhalten sind, so bedeuten sie infolge der ionisierenden Wirkung eine ernste Störung und Fehlerquelle bei allen Vorgängen und Messungen des elektrischen Laboratoriums, bei denen es darauf ankommt, mit isolierten Apparaten zu arbeiten. Es ist daher auch hier die größte Vorsicht anzuwenden; besondere Vorkehrungen, wie Isolation mit festen Körpern, sind zu ergreifen, oder am besten sind die radioaktiven Stoffe auch hier aus jenen Räumen zu verbannen, in welchen Experimente gemacht werden, die durch Becquerelstrahlen ungünstig beeinflusst werden.

III. Thermische Wirkungen.

1. Herkunft der Wärme der radioaktiven Substanzen.

Wie die radioaktiven Substanzen imstande sind, chemische und elektrische Erscheinungen hervorzurufen, sind sie auch fähig, fortwährend und selbsttätig thermische Wirkungen zu erzeugen.

Wenn eine Massenbewegung gehemmt wird, so verschwindet sie als Bewegung ganz oder teilweise; allein die Kraft geht nicht verloren; aus einer Bewegung von Masseteilchen entsteht eine mehr oder weniger heftige Vibrationsbewegung der Moleküle, welche für unsere Sehnerven nicht bemerkbar ist, aber auf unsere Gefühlsnerven als Wärme wirkt. In den α - und β -Strahlen haben wir eine Massenbewegung; kleinste Teilchen sind von der Strahlungsquelle fortgeschleudert; wie wir gesehen, besitzen die α -Strahlen zum Unterschied von den γ -Strahlen ganz geringes Durchdringungsvermögen; die Bewegung der Projektile, welche die α -Strahlen bilden, wird durch Luft, noch mehr durch feste Körper gehemmt. Schon in dem radioaktiven Salze selbst, in dem die Strahlen entstehen, tritt der Bewegung eine Hemmung entgegen; die Bewegungsenergie geht aber nicht verloren, sie wird bloß umgewandelt und zeigt sich uns als Wärmewirkung.

2. Höhere Temperatur der Radiumsalze infolge selbständiger Wärmeentwicklung.

Mit unseren Gefühlsnerven können wir nicht wahrnehmen, daß die Radiumpräparate infolge des Bombardements mit Strahlenteilchen wärmer sind als die Umgebung, dagegen kann ein Thermometer zur Feststellung der höheren Temperatur dienen. Giesel beobachtete mit Hilfe des Thermometers bei einem Gemisch von 0,7 g Radiumbromid einen dauernden Temperaturunterschied von 5° gegenüber der Umgebung. Dies läßt auf eine bedeutende Wärmequelle in den Radiumsalzen schließen. Mit der Bestimmung des Temperaturgrades einer Substanz mit Hilfe des Thermometers fassen wir ja bloß den Wärmezustand, nicht aber die in ihr aufgespeicherte Wärmemenge. Diese letztere messen wir in Kalorien, indem wir vergleichend durch Experiment bestimmen, um wieviel Grad durch die untersuchte Wärmequelle 1 kg Wasser erwärmt werden kann.

a) Bestimmung der Wärmemenge.

 α) Mit Hilfe des Eiskalorimeters.

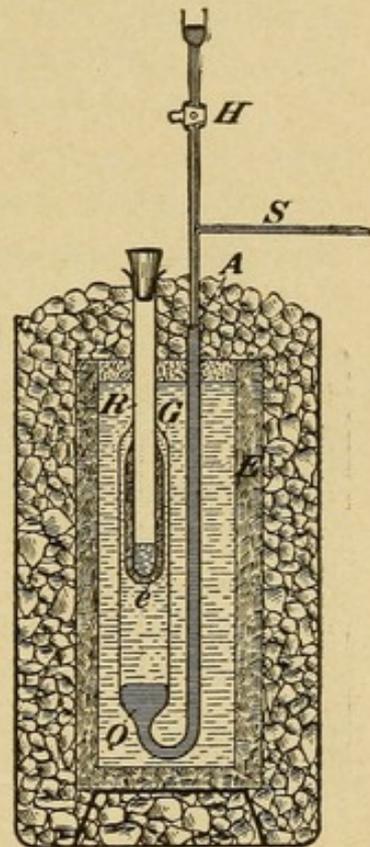
Herr Curie und Laborde bestimmten die Wärmemenge auf verschiedene Methoden. Bei der einen bestimmten sie mit dem Bunsenschen Eiskalorimeter (Fig. 28), wieviel Eis in einer bestimmten Zeit von einer bestimmten Menge eines Radiumpräparates zum Schmelzen gebracht wurde. Aus der Größe der geschmolzenen Eismenge kann man dann die bei dem Vorgang abgegebene Wärmeenergie berechnen.

 β) Durch Vergleich mit elektrischer Erwärmung.

Die andere von den beiden Forschern angewandte Methode bestand darin, daß sie eine bestimmte Menge Radium in einen Metallblock einschlossen. Bekanntlich nimmt jeder Körper die Temperatur seiner Umgebung an. Temperaturunterschiede gleichen sich also aus, indem der wärmere Körper von seiner Wärme abgibt und den anderen auf eine höhere Temperatur bringt. Nun bestimmte man bei dem Versuch von Curie-Laborde die Temperatur des Metallblocks vor und eine gewisse Zeit nach der Einführung des Radiums, fand also, um wieviel Grad sich der Block erwärmte. Nun entfernte man das Radium aus dem Körper, stellte die alten Temperaturverhältnisse wieder her und führte dann in den Block eine elektrisch erwärmbare Drahtspirale ein. Nun wurde der Strom gemessen, der nötig war, um den gleichen Temperaturunterschied, wie er vorher durch das eingeführte Radiumpräparat hervorgerufen war, zu erzeugen. Aus der ermittelten Stromenergie bestimmte man dann die durch sie hervorgerufene Wärmeenergie und damit auch die vom Radium gelieferte Wärmemenge.

Beide Meßmethoden ergaben, daß 1 g Radium in der Stunde ungefähr 100 sog. kleine Kalorien entwickelt.

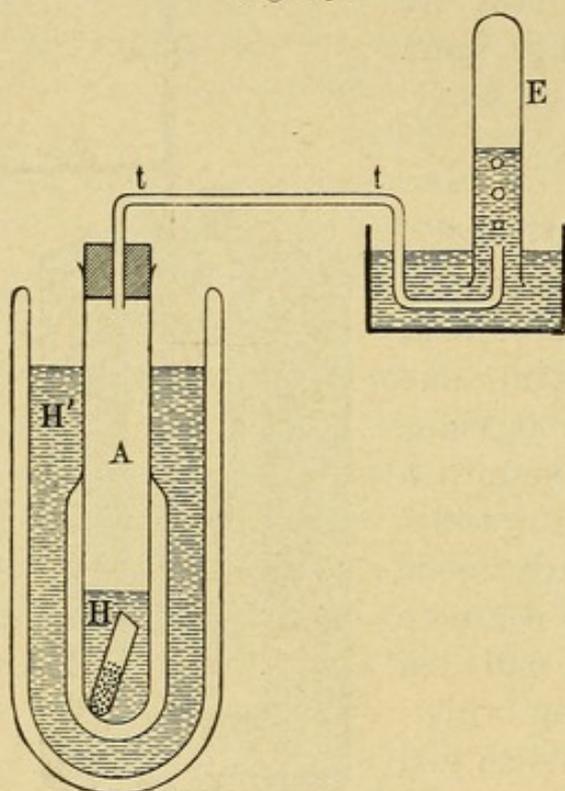
Fig. 28.



γ) Durch Wiedervergasung eines verflüssigten Gases.

Zu gleichem Resultat führte auch eine dritte Methode, welche von Curie und Dewar angewendet wurde. Die Anordnung des Versuchs gibt Fig. 29 wieder. Die beiden Forscher bestimmten die Wärmeenergie des Radiums durch Messung der Gasmenge, welche sich entwickelt, wenn man das radioaktive Salz seine Kraft einem verflüssigten Gas abgeben läßt.

Fig. 29.



Wiedervergasung verflüssigten Wasserstoffs durch Radium.

Als besonders gut geeignet zu diesem Versuch erwies sich der Wasserstoff. In Fig. 29 enthält das Reagenzglaschen A verflüssigten Wasserstoff *H*; zur Wärmeisolation taucht es in ein größeres Gefäß ein, in welchem sich auch flüssiger Wasserstoff *H'* befindet. Bringt man ein wenig Radium in das Reagenzglaschen, so wird durch die Wärmeentwicklung das verflüssigte Gas zum Sieden gebracht; es nimmt den gasförmigen Aggregatzustand wieder an und kann durch das Rohr *t* in dem Gläschen *E* unter Wasser aufgefangen und seine Menge gemessen werden. Mit 7 dg Radiumbromid fingen die beiden

Forscher bei diesem Versuch in jeder Minute 73 ccm Gas auf. Da man weiß, welche Wärmemenge zur Vergasung verflüssigten Wasserstoffs notwendig ist, kann man berechnen, wieviel Kalorien in bestimmter Zeit von dem Radiumpräparat abgegeben werden.

b) Wirkungen, welche sich mit der in bestimmter Zeit von einer bestimmten Menge Radium freiwerdenden Wärmemenge erzielen lassen.

Von der Größe der Wärmeenergie eines Radiumsalzes machen wir uns am leichtesten einen Begriff, wenn wir uns die Wirkungen vorstellen, welche sich mit der in bestimmter Zeit abgegebenen Wärmemenge erzielen lassen.

Ein Kilogramm, also einen Liter Wasser können wir mit der gleichen Menge Radium in einer Stunde vom Gefrierpunkt auf Siedetemperatur erhitzen. Da die Wärmeentwicklung fortwährend stattfindet, sind die Effekte, welche bei längerer Einwirkung eintreten, natürlich ganz kolossal große.

Wenn man in einem großen Eiskeller, der vielleicht zweihundert Zentner faßt, eine Menge Radium vom zehntausendsten Gewichtsteil, also von 1 kg, hineinbrächte, so würde nach einem Jahr bei Ausschluß aller anderwärtiger Wärmezufuhr von der großen Eismenge nur mehr ganz wenig vorhanden sein.

Die kräftigste chemische Reaktion, die wir kennen, tritt bei der Entzündung eines Gemisches von zwei Teilen Wasserstoff mit einem Teil Sauerstoff, der Explosion des sogenannten Knallgases, ein. Die von einem Kubikzentimeter des Gasgemisches entwickelte Wärmeenergie beträgt jedoch nicht einmal zwei Kalorien. Wenn wir uns dagegen die Wärmemenge vorstellen, welche von einem Kubikzentimeter Radium bis zur vollständigen Umwandlung abgegeben wird, so bekommen wir einen Begriff von der millionenmal größeren Wirkung, welche hervorgerufen würde, wenn man die in einem Kubikzentimeter Radium aufgespeicherte Energie plötzlich abgeben lassen könnte. Wenn die Wärmeenergie, welche 1 g Radium in einem Jahre ausstrahlt, in einem Moment abgegeben werden könnte, so würde die Wirkung erzielt, welche durch eine Tonne des kräftigsten Sprengstoffs hervorgerufen wird.

3. Bedeutung der thermischen Wirkung des Radiums für die Wissenschaft.

Zu einer praktischen Verwendung der Wärmewirkung der radioaktiven Substanzen im täglichen Leben wird es wohl nie kommen. Dagegen sind diese thermischen Erscheinungen außerordentlich interessant und wertvoll für wissenschaftliche Ausbeute.

a) Aufklärung über das Bestehen der Erde in bewohnbarem Zustand.

Bekanntlich nimmt die Temperatur der Erde zu, je tiefer man in der Richtung ihres Mittelpunktes vordringt, sobald man einmal den Punkt der Erdoberfläche hinter sich hat, in welchem die von äußeren Einwirkungen herrührenden Temperaturschwan-

kungen verschwinden. Die Temperaturzunahme ist eine ganz regelmäßige und beträgt für je 30 m ungefähr 1 Grad.

Von der Annahme ausgehend, daß die Erde ohne innere Wärmezufuhr durch beständige Wärmeabgabe von selbst erkalte, berechnete man aus der Zunahme der inneren Erdwärme nach dem Mittelpunkt, daß die Erdoberfläche vor nicht mehr als 10 Millionen Jahren sich noch in geschmolzenem Zustand befunden hatte, also noch nicht bewohnbar gewesen sei. Dieser Berechnung der Physiker standen die Forderungen der Geologen und Biologen gegenüber, welche auf ein höheres Alter der Erde, als bewohnbare Welt gingen.

Durch Entdeckung der Wärmewirkung der radioaktiven Stoffe kommen wir diesen Forderungen weit entgegen. Bei der beständigen, kolossalen Wärmezufuhr durch die radioaktiven Substanzen, konnte natürlich die Abkühlung nicht in dem kurzen Zeitraum erfolgen; wir müssen heute der Erde eine Lebensdauer bis 100 000 Millionen Jahre zugestehen.

b) Aufklärung über die kalorische Energie der Sonne.

Eine andere höchst wichtige Erkenntnis bietet uns die Wärmewirkung des Radiums, indem sie uns eine Erklärung für die ungeheuere kalorische Energie der Sonne gibt. Als Beweis für das kurze Alter der Erde als bewohnbare Welt hatten die Physiker früher auch angeführt, daß die Sonne nicht länger als 15 bis 20 Millionen Jahre die Erde in dieser Stärke mit Wärme habe versorgen können.

Heute wissen wir, daß außer den anderen Stoffen unserer Erde auch Radium auf der Sonne vorhanden ist. Die Berechnung der von der Sonne ausgestrahlten Wärme auf ihre Masse durch Langley ergab, daß ein Kubikmeter der Sonnenmasse in der Stunde ungefähr 828 Millionen Kalorien aussendet. Nehmen wir nun als entwickelte Wärmemenge pro Gramm Radium in der Stunde nur 80 kleine Kalorien an, so ergibt die Berechnung, daß die Sonne in einem Kubikmeter eine verhältnismäßig nur geringe Menge Radium enthalten müßte, um doch zu der stattfindenden Wärmeabgabe einen beträchtlichen Beitrag zu besitzen.

IV. Mechanische Wirkungen.

In innigstem Zusammenhang mit den thermischen Effekten der Becquerelstrahlen stehen die mechanischen Wirkungen, welche durch die radioaktiven Substanzen hervorgerufen werden.

1. Fortschleuderung kleiner Masseteilchen.

Als Hauptursache der Wärmestrahlung des Radiums haben wir die Reibungsarbeit zu betrachten, welche von den Strahlenprojektilen bei ihrer Hemmung geliefert wird. Die kinetische Energie, welche das Radium in seinen Strahlenteilchen besitzt, ist eine sehr große. Die Bewegungsenergie, welche die abgeschleuderten β -Korpuskeln mit sich führen, ist ungleich größer als jene, welche die α -Strahlen enthalten; es geht dies aus der größeren Durchdringungskraft hervor, welche die β -Strahlen auszeichnet; denn die Fähigkeit, dichte Körper zu durchdringen, ist notwendig außer durch Größe der Partikelchen durch deren kinetische Energie bedingt.

Die schon bei Besprechung der einzelnen Strahlenarten der radioaktiven Substanzen behandelte Penetrationsfähigkeit der Strahlenteilchen gehört also als mechanische Wirkung auch hierher.

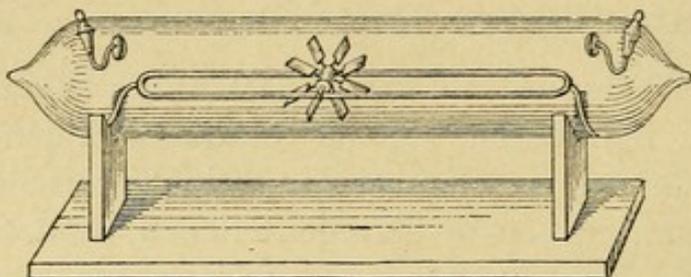
2. Hebung der Blättchen des Elektroskops.

Mechanische Arbeit leisten die radioaktiven Substanzen auch, wenn sie durch Mitteilung ihrer Ladung die Blättchen des Elektroskops zum Divergieren bringen. Ein kleines von Strutt hergestelltes Perpetuum mobile beruht auf dieser Wirkung der Becquerelstrahlen. In einem evakuierten Glasbehälter befindet sich an einem isolierenden Quarzfaden befestigt eine kleine Menge Radiumsalz, und daran zwei dünne Goldplättchen. Die durch das Radium herbeigeführte Ladung des kleinen Elektroskops bewirkt nun, daß die Blättchen sich immer mehr spreizen; sobald die Blättchen dies jedoch in einer bestimmten Stärke tun, berühren sie zwei in den Glasbehälter eingeführte Metallplättchen, welche mit der Erde verbunden sind. Die Goldplättchen geben ihre Ladung ab, sie fallen zusammen und der Vorgang spielt sich von neuem ab.

3. Fortbewegung fremder Körperchen.

Um die mechanische Wirkung zu zeigen, welche beim Auftreffen von Kathodenstrahlen geliefert wird, läßt man bekanntlich die Strahlen in einer evakuierten Glasröhre auf ein hem-

Fig. 30.



mendes, bewegliches Objekt fallen, so daß man durch dessen Bewegung die kinetische Energie der aufprallenden Strahlenteilchen ersieht. Zum Beispiel werden in der Versuchsanordnung, wie sie in Fig. 30 wieder-

gegeben ist, beim Ausgang der Kathodenstrahlen von der einen Elektrode die jeweils im Strahlenweg befindlichen Glimmerschaukeln des auf einer Glasbahn leicht beweglichen Rädchens durch das Korpuskelbombardement fortbewegt; das Rädchen wird in Drehung versetzt und entfernt sich von der Kathode. Mit den Becquerelstrahlen kann man den gleichen Effekt erzielen.

4. Durchbohrung von isolierendem Glas.

Kräftige mechanische Wirkung äußern auch Radiumsalze bei Durchbohrung schlechter Leiter und Isolatoren. Die Curies beobachteten mehrere Male die Durchbohrung von Glas durch den Funken eines Radiumpräparates. Ein starkes Radiumsalz war schon längere Zeit in einem Glasröhrchen aufbewahrt gewesen. Wie wir früher beobachteten, sind die negativ geladenen β -Strahlenteilchen infolge ihrer Kleinheit und großen kinetischen Energie imstande, durch die Glashülle hindurch sich weiterzupflanzen; die positiven α -Strahlenteilchen können jedoch das Glas infolge ihrer großen Masse nicht durchbrechen; die Folge ist: Das Radium verliert fortwährend negative Elektrizität und ladet sich positiv auf. Das Glasröhrchen erscheint also als Leidener Flasche. Wenn wir eine Leidener Flasche mit Elektrizität laden, so herrscht eine Spannung zwischen ihrem inneren Belag und dem durch das isolierende Glas getrennten Leiter. Wenn wir dem inneren Belag fortwährend Elektrizität zuführen, so wird nach einer gewissen Zeit diese Spannung so

groß, daß das isolierende Glas schließlich an irgend einer Stelle nicht mehr genügend Widerstand bietet. Das Glas wird durchbrochen; die Elektrizitäten gleichen sich in einem Funken aus. Dasselbe war nun bei dem erwähnten Curieschen Radiumpräparat der Fall. In der Länge der Zeit war die aufgespeicherte positive Elektrizitätsmenge ziemlich bedeutend geworden, und als Frau Curie zur Öffnung des Röhrchens mit dem Glasmesser einen Strich machte, hörte sie in dem Moment das Geräusch eines elektrischen Funkens. Genaue Untersuchung zeigte, daß das Glasröhrchen eine winzige Durchbohrung hatte an der Stelle, an welcher durch den Strich des Glasmessers die Isolation des Röhrchens geschwächt war. Die Durchbohrung des Glases wäre natürlich auch ohne den Eingriff von Frau Curie eingetreten, wenn man das Radiumsalz ruhig noch längere Zeit in dem Glas belassen hätte. Durch die beständige Aufspeicherung einer Elektrizitätsart wird je nach der Stärke des Radiumpräparats und der Güte des isolierenden Glasröhrchens eine Durchbohrung in längerer oder kürzerer Zeit herbeigeführt.

5. Bedeutung für praktische Verwendung.

Praktische Verwendung werden die mechanischen Wirkungen der radioaktiven Stoffe wohl kaum finden. Die einzelnen Strahlen unterscheiden sich, wie wir schon früher hervorgehoben haben, zu wenig von einander in ihrer kinetischen Energie und damit in ihrer Durchdringungskraft. Eine Anwendung in der Chirurgie als Diagnostifizierungsverfahren werden daher die Becquerelstrahlen bei der hohen technischen Entwicklung der mit Röntgenstrahlen erzielten Resultate nicht finden dürfen. Als Explosionsstoff könnte Radium nur dienen, wenn es gelänge, ein Abgeben der ungeheuren Kraft statt in langen Jahren in einem Moment zu erzielen.

V. Physiologische Wirkungen.

1. Entstehen der physiologischen Einflüsse.

Es erübrigt uns noch, die physiologischen Wirkungen zu betrachten, welche durch die Strahlung der radioaktiven Substanzen hervorgerufen werden.

Wie oben erwähnt, beeinflussen die Becquerelstrahlen organische Gebilde; es werden molekulare Umänderungen der

bestrahlten Körper bewirkt. Diese Eigenschaft der radioaktiven Stoffe und ihre Lichtstrahlung sind die Ursachen ihrer Fähigkeit, auch bei tierischen und pflanzlichen Organismen Veränderungen herbeizuführen.

In den physiologischen Wirkungen gleichen die Becquerelstrahlen den Effekten, welche durch Röntgenstrahlen erzeugt werden. Die Erscheinungen treten bei gleicher Dauer der Bestrahlung bei den radioaktiven Substanzen meist in größerer Intensität auf.

2. Arten derselben.

a) Hervorrufen einer Helligkeitsempfindung im Auge.

Wenn Röntgenstrahlen das Auge treffen, so entsteht eine schwache Lichtempfindung. Derselbe Reiz wird durch die Strahlung der Radiumpräparate ausgeübt, nur in viel stärkerem Grade. Diese Eigenschaft wurde von Giesel entdeckt und näher studiert. Es ist notwendig, daß das Auge nicht durch Lichteindrücke ermüdet ist. Hat man das Auge durch Verweilen in gänzlicher Dunkelheit sehr empfindlich gemacht, so verspürt man eine Helligkeit, sobald ein Radiumsalz dem Auge genähert wird. Es ist nicht erforderlich, den radioaktiven Stoff in unmittelbare Nähe zu bringen; der Effekt wird schon bei geringer Entfernung hervorgerufen, so daß auch eine Annäherung des Präparats an den Hinterkopf zu gleichem Resultat führt. Die Eigenschaft scheint also den durchdringungsfähigen Strahlen zuzukommen.

Die Lichterscheinung beruht nach Giesel darauf, daß die auftreffenden Strahlen die Augenteile, wie Hornhaut, Linse und besonders den Glaskörper zum Fluoreszieren bringen. Die Netzhaut des Auges wird durch dieses Leuchten der benachbarten Teile angeregt; es entsteht die Lichtempfindung. Die Wirkung der Becquerelstrahlen auf das Auge ist also eine indirekte. Die gewöhnlichen Lichtstrahlen wirken bloß auf die Netzhaut; die anderen Teile des Auges bleiben unbeeinflusst durch die Lichtstrahlen, ja sie selbst beeinflussen sogar letztere. Die Becquerelstrahlen wirken dagegen auf die Netzhaut, besonders stark aber auf die anderen Augenteile ein, und der durch diese Einwirkung entstandene Effekt löst dann erst eine stärkere Empfindung der Netzhaut aus.

b) Zerstören der Haut.

Gleich den Röntgenstrahlen bringen die Becquerelstrahlen bedeutende Veränderungen auf der Haut hervor. Diese Eigenschaft wurde zuerst von Walkhoff beobachtet.

Wenn man nämlich ein aktives Radiumpräparat in einer dünnen, die Strahlen möglichst wenig absorbierenden Celluloid- oder Aluminium- oder Gummikapsel auf die Haut auflegt und einige Zeit auf dieselbe Stelle wirken läßt, so entsteht an dieser Stelle, je nach Dauer der Einwirkung und Stärke des Präparates eine mehr oder minder heftige Zerstörung der Haut. Schmerzempfindung und irgend welche äußere Veränderung während einer kurzen Exposition tritt nicht auf. Einige Zeit nach der kurzen Bestrahlung, bei längerer Dauer und größerer Stärke der Einwirkung noch während oder sehr bald nach der Bestrahlung, zeigt sich an der bestrahlten Hautstelle eine Rötung. War die Einwirkung nur schwach, so beschränkt sich die Veränderung der Haut auf diese wie bei einer Verbrennung nach einiger Zeit wieder verschwindende Rötung; es fallen höchstens nach zwei bis drei Wochen die Haare an der bestrahlten Stelle aus.

War die Einwirkung etwas stärker, so nimmt die gerötete Hautstelle nach einiger Zeit ein weißliches Aussehen an und löst sich ab. Bei sehr intensiver Bestrahlung ist der Prozeß damit nicht abgeschlossen; es bilden sich an der bestrahlten Stelle kleine Wunden, die sich allmählich vergrößern und ein Geschwür bilden, das erst nach Wochen ausheilt und eine Narbe zurückläßt. Je nach der Heftigkeit der durch das Geschwür herbeigeführten Zerstörung der Haut- und Körperoberfläche, ist die Narbe infolge ihrer Farbe, Glätte und Weichheit kaum zu bemerken und unauffällig oder sehr entstellend.

Mikroskopische Untersuchung der Haut nach der Bestrahlung mit Radiumsalzen ergab, daß sich die Reaktion in einer deutlichen Erweiterung der Gefäße bemerkbar macht. Die Wirkungen, welche auf die Haut durch Becquerelstrahlen ausgeübt werden, treten viel eher als bei der Röntgenstrahlenbehandlung hervor. Veränderungen, welche bei dieser erst nach vierzehn Tagen dem Auge wahrnehmbar sind, zeigen sich bei Anwendung eines starken Radiumsalzes oft schon nach einem Tage.

Experimente von Schwarz ergaben, daß die Becquerelstrahlen eine chemische Zersetzung des Lecithins herbeiführen.

Da das Lecithin eine wichtige Rolle spielt bei dem Vorgang der stetigen Erneuerung der Haut und der Haare, erklärt sich die starke Wirkung, welche auf diese Gebilde durch Radium ausgeübt wird.

c) Störung der Entwicklung von Bakterien.

Den ultravioletten Lichtstrahlen gleichen die Becquerelstrahlen in ihrer Wirkung, welche sie auf die Entwicklung der Bakterien ausüben.

Die Mikroben werden durch die α -Strahlen getötet oder doch in ihrer Weiterentwicklung gehemmt. Diese Wirkung tritt bei den Becquerelstrahlen nicht in der gleichen Stärke wie bei den ultravioletten Strahlen hervor; doch vermögen die β -Strahlen tiefer einzudringen und Bazillen zu töten, auf welche die ultravioletten Strahlen wegen der Entfernung keine Beeinflussung mehr ausüben können.

d) Erschütterung des gesamten Nervensystems.

Eine beträchtliche Wirkung vermögen die radioaktiven Substanzen auch auf das gesamte Nervensystem auszuüben. Es wurden von Danysz Versuche angestellt, welche dies beweisen.

Wenn man längs des Rückenmarks einer Maus während einer Stunde ein intensives Radiumpräparat einwirken ließ, so traten bei allen Versuchstieren nach einigen Tagen Lähmungen auf. Nach einiger Zeit trat plötzlicher Tod ein. Dieselben Beobachtungen machten London und andere Forscher. Ließ man die Becquerelstrahlen bei Kaninchen auf das Gehirn einwirken, so fanden dieselben Vorgänge statt. Die Beeinträchtigung der Nerven durch die radioaktiven Strahlungen ist also eine sehr starke.

e) Wirkungen auf Pflanzenorganismen.

Andere physiologische Wirkungen der Becquerelstrahlen wurden noch beobachtet, doch sind sie von geringerer Bedeutung. Giesel zeigte, daß die Pflanzenblätter allmählich gelb werden und dann absterben. Bei aufkeimendem Kressensamen fand Dixon in der Nähe des Radiums ein Zurückbleiben im Wachstum. Matont beobachtete, daß Samenkörner ihre Keimfähigkeit verlieren, wenn sie einige Zeit den Radiumstrahlen ausgesetzt werden.

3. Praktische Verwertung der physiologischen Wirkungen.

Die physiologischen Wirkungen, welche durch die Strahlung der radioaktiven Substanzen erzeugt werden, sind also sehr mannigfaltig. Fragen wir nach der Möglichkeit einer praktischen Verwendung, so treten einige der eigentümlichen Wirkungen zurück.

a) Bedeutung für die Blindheit.

Man hat nämlich gehofft, die Wirkung der Becquerelstrahlung auf das Auge nutzbar machen zu können, um den unglücklichen Blinden das Sehen zu ermöglichen. Die Blinden nehmen nämlich auch eine diffuse Helligkeit in ihrem Kopfe wahr, wenn man ihnen ein Radiumsalz nähert, falls nur ihre Netzhaut nicht gestört ist. Allein es wird leider nie möglich sein, den Unglücklichen mit Hilfe des Radiums ein Bild von der Außenwelt geben zu können. Mehr als eine diffuse Helligkeitsempfindung kann man nicht bewirken.

b) Heilung krankhafter Gewebe und Geschwülste.

Sehr erfolgreich läßt sich dagegen von der Eigenschaft der Becquerelstrahlen, auf die Haut einzuwirken, in der praktischen Verwendung Nutzen ziehen.

Wenn man krankhafte Neubildungen, Karzinome, Sarkome, Lupus, Krebs und andere Hautkrankheiten der Strahlung radioaktiver Stoffe aussetzt, so werden diese Gebilde zerstört und die Haut stellt sich bei Heilung der Wunde wieder gesund her. Die Behandlung ist schmerzlos, und bei vorsichtiger Anwendung sind die sich bildenden Narben glatt und weich, so daß keine Entstellung eintritt. Da die krankhaften, schnellwachsenden Geschwülste sehr lecithinreich sind, so kann man sie infolge der zersetzenden Wirkung, welche Radium auf Lecithin ausübt, stark beeinflussen. Auch Entfernung von Haaren, welche störend an abnormen Stellen gewachsen sind, läßt sich leicht bewirken.

c) Vorteile der Verwendung der radioaktiven Stoffe gegenüber Röntgenstrahlenbehandlung.

Die Erfolge sind also jenen ähnlich, welche sich bei pathologischen Gebilden mit Röntgenstrahlen- und Finsen-Behandlung erzielen lassen. Die Anwendung der Becquerelstrahlen

hat jedoch den großen Vorzug, nicht, wie die anderen Behandlungsweisen, umständliche, kostbare und umfangreiche Apparate zu erfordern. Kleinste Mengen eines Radiumsalzes bringen die gleichen Resultate. Infolge der geringen Größe lassen sich auch Stellen behandeln, die bei den anderen Verfahren völlig unzugänglich oder doch nur sehr schwer zugänglich waren. Die Radiumsalze werden meist in kleine Glasröhrchen oder in Gutta-perchakapseln eingeschlossen. Marckwald riet die Verwendung von Aluminiumröhrchen an, da dieselben sowohl leicht desinfiziert werden können, als auch dem Durchgang der Strahlen keinen so großen Widerstand entgegensetzen.

Große Erleichterung in der therapeutischen Anwendung der Becquerelstrahlung ist durch den Erfolg geschaffen, den Marckwald bei den Versuchen mit der von ihm entdeckten radioaktiven Substanz, dem sogenannten Radiotellur, erzielte. Es gelang nämlich, aus einer Lösung dieses Stoffes auf elektrolytischem Wege kleinste Mengen der wirksamen Substanz auf Kupfer und anderen Metallen niederzuschlagen. Das dünne Häutchen der aktiven Substanz auf dem Kupferstäbchen oder -Plättchen sendet dann die wirksamen Strahlen aus. Man hat durch diesen Fortschritt vor allem die Möglichkeit, die Strahlen ganz unmittelbar auf die kranken Stellen einwirken zu lassen. Die Menge der ausgesandten Strahlen wird also nicht wie bei einer Fassung des Salzes durch Glas, Aluminium, Glimmerplättchen oder sonst eine absorbierende Umhüllung verringert; durch Abstand des strahlenden Körpers von der behandelten Stelle kann man beliebig durch die Luft die α -Strahlen mehr oder weniger absorbieren lassen oder durch unmittelbares Auflegen die ganze Emission wirken lassen.

Außerdem ist man aber auch im stande, die strahlende Oberfläche der Kupferplatte ganz der behandelten Körperfläche anzupassen. Man kann auch durch Einführen eines solchen mit einem radioaktiven Niederschlag versehenen Metallstücks in das Innere des menschlichen Körpers eine direkte Bestrahlung der Hals- und Magenwände und eine unmittelbarere Beeinflussung innerer Organe herbeiführen.

Wie bei der Röntgenstrahlenbehandlung, hat man in der Eigenschaft der Becquerelstrahlen, Färbungen zu erzeugen, die Möglichkeit, mit Hilfe des schon beschriebenen Chromoradiometers von Holzknecht die Menge der absorbierten Strahlen

festzustellen. Man bestrahlt so lange, bis die gleichzeitig mit der kranken Stelle und unter gleichen Verhältnissen ausgesetzte Salzmenge jene Farbe angenommen hat, welche jener Reaktion entspricht, die man in dem betreffenden Fall bei der krankhaften Körperstelle erzielen will. Probebestrahlung oder Behandlung mit ungewissen, vielleicht recht bedenklichen Folgen wird dadurch möglichst vermieden. Eine zu lange oder kurze, aber sehr intensive Bestrahlung mit einem Radiumpräparat kann ja die unangenehmsten Folgen mit sich führen.

Als Herr Curie einmal ein verhältnismäßig wenig aktives Präparat während zehn Stunden auf eine Stelle seines Armes einwirken ließ, wurde die Haut derartig beeinträchtigt, daß er eine Wunde bekam, die erst nach vier Monaten mit Hinterlassung einer deutlichen Narbe wieder zuheilte. Es ist daher anzuraten, die Radiumpräparate möglichst zu isolieren, also dieselben in dicken Bleischachteln aufzubewahren, und man muß sehr davor warnen, die Salze als kostbare Stoffe mit sich herumzutragen. Man weiß ja auch nicht, welche Einwirkungen die durchdringungsfähigeren Strahlen auf die tiefer liegenden, inneren Organe ausüben. Möglicherweise machen sich diese Folgen erst nach längerer Zeit bemerkbar.

Unter den verschiedenen Wirkungen der Strahlung radioaktiver Substanzen ist die Fähigkeit, physiologische Effekte hervorzurufen, durch die Möglichkeit einer praktischen Verwendung zum Heile und Segen der leidenden Menschheit wohl am allerbedeutsamsten und zu größten Hoffnungen berechtigt. Und in der Tat hat die Radiumtherapie seit der kurzen Zeit ihres Bestehens schon sehr erfreuliche Erfolge erzielt.

Nachdem wir bisher die radioaktiven Stoffe hinsichtlich ihrer Strahlungserscheinungen und der durch Strahlung hervorgerufenen Wirkungen betrachtet haben, kommen wir jetzt zur Untersuchung der außerordentlich merkwürdigen und interessanten Erscheinung der Emanation, der von primär Becquerelstrahlen aussendenden Substanzen anderen Körpern mitgeteilten Radioaktivität und der durch diese sekundär erzeugten Wirkungen.

F. Erscheinungen der mitgeteilten Radioaktivität.

I. Aktivierung von Stoffen durch Emanation.

1. Entdeckung der Emanation.

a) Entdeckung der Eigenschaft radioaktiver Stoffe, anderen Körpern Radioaktivität mitzuteilen.

Gelegentlich der Untersuchungen über radioaktive Substanzen machten Herr und Frau Curie die Wahrnehmung, daß jeder Körper, der sich einige Zeit in der Nähe radiumhaltiger Salzmengen befand, im Gegensatz zu seinem früheren Verhalten selbst auch Radioaktivität zeigte. Es lag der Gedanke nahe, daß diese neu erscheinende Radioaktivität vielleicht durch radioaktiven Staub erzeugt sei, der sich auf den Körpern niedergesetzt hatte. Eine dahin gehende Untersuchung ergab die Unrichtigkeit dieser Vermutung und führte die Curies zu der Ansicht, daß man es bei dieser Erscheinung mit induzierter Radioaktivität zu tun habe.

b) Gesetze der Aktivierung im ungeschützten Raum bei Gasleitung.

Genaue experimentelle Untersuchungen über die Aktivierung, wie sie sich mit Hilfe der elektrischen Methode an den verschiedenen Körpern feststellen ließ, die in der Nähe fester radiumhaltiger Salze gewesen waren, führten Herrn und Frau Curie zu folgenden Ergebnissen:

Bringt man einen Körper in die Nähe eines trockenen Radiumsalzes, so steigt die Aktivität allmählich entsprechend der Expositionszeit an, bis sie einen gewissen Grenzwert erreicht hat. Dieser Grenzwert ist für alle Körper bei dem nämlichen Präparat gleich hoch; der Grenzwert ist jedoch bei verschiedenen Radiumsalzen ungleich; er steigt mit zunehmender Aktivität des Präparats.

Die von Natur aus nicht radioaktiven Körper verlieren ihre von Radiumpräparaten erhaltene Aktivität wieder innerhalb weniger Tage, sobald sie aus der Nähe der wirksamen Stoffe entfernt werden.

Die nämlichen Gesetze fand Rutherford für die Erscheinung der induzierten Radioaktivität, deren Auftreten er für Thorverbindungen entdeckte. Rutherford fand außerdem noch, daß negativ geladene Körper sich in Gegenwart aktiver

Thorverbindungen stärker aktivieren, und stellte ein eigentümliches Verhalten der Luft fest. Er beobachtete nämlich, daß auch Luft, die mit dem radioaktiven Thor in Berührung gekommen war, sich als aktiviert erwies und wie die ursprünglich radioaktive Substanz die Fähigkeit hatte, andere nicht aktive Körper, besonders solche mit negativer Ladung, zu aktivieren.

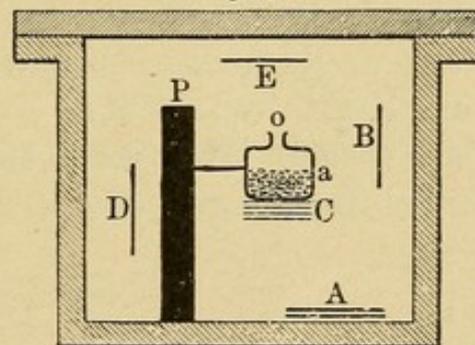
Das Auftreten der gleichen Erscheinungen wurde von Debierne für das radioaktive Aktinium konstatiert.

Die Resultate, zu welchen man bei Untersuchung der induzierten Radioaktivität kam, waren sehr unregelmäßig, wenn man das Radiumsalz und den Probierkörper ungeschützt, also der Luftströmung und anderen äußeren Einflüssen ausgesetzt ließ.

e) Beobachtungen bei Aktivierung in geschlossenem Raum.

Herr Curie und Debierne machten nun die Beobachtung, daß die Erscheinungen der induzierten Radioaktivität viel stärker und exakter wurden, wenn man die Aktivierung in einem geschlossenen Gefäß vor sich gehen ließ. Sie stellten nun ihre Untersuchungen an, indem sie, wie in Fig. 31 wiedergegeben, die Versuchsanordnung in ein gegen äußere Einflüsse isolierendes Gefäß brachten. Die Beobachtungen von Curie bei Radiumpräparaten wurden bestätigt. Außerdem zeigte sich, daß die Aktivierung unabhängig ist von der Natur und dem Druck des Gases in dem Gefäß. Die Aktivierung kam ferner nicht bloß in Anwesenheit fester Radiumsalze zustande; dieselbe Erscheinung wurde hervorgerufen, sogar intensiver und regelmäßiger, wenn man das Radiumsalz in Wasser aufgelöst in den Behälter brachte.

Fig. 31.



d) Erklärung der Aktivierungserscheinungen durch Annahme eines radioaktiven Gases der „Emanation“.

Wie war die Erscheinung der induzierten Radioaktivität zu erklären, in welcher Kraft des Radiums lag die Ursache? Man konnte an eine bisher nicht bekannte Eigenschaft der Strahlung denken. Das Experiment bewies die Nichtbeteiligung

der Strahlung. Wenn man nämlich, wie in Fig. 31 dargestellt, zwischen das Radiumpräparat *a* und eine der Versuchsplatten *D* eine dicke Bleiplatte *P* einschaltete, so wurde trotzdem die Platte *D* in derselben Stärke aktiv wie die der Strahlung ausgesetzten Versuchsplatten *A*, *B*, *C*, *E*.

Zum Gelingen der Aktivierungserscheinung erwies sich jedoch erforderlich eine Verbindung der radioaktiven Substanz mit den Versuchskörpern durch Luft oder sonst ein Gas. Schloß man das Radiumpräparat in einem zugeschmolzenen Glasröhrchen in den Behälter ein, so wurde keiner der Versuchskörper aktiv. Der Effekt kam also auf dem Wege der Leitung zustande. Man hatte also etwas Neues entdeckt.

Eine Erklärung der Vorgänge gab Rutherford. Dieser Forscher sagte, die Erscheinung beruhe darauf, daß die Stoffe Radium, Thor und Aktinium fortwährend ein materielles, radioaktives Gas ausströmen ließen. Dieses Gas bezeichnete er mit dem Namen „Emanation“, und diesem sollte die Eigenschaft zukommen, die Körper, mit denen es in Berührung kommt, aktivieren zu können.

Diese Erklärung Rutherfords hat sich als richtig erwiesen. Wir wissen heute, daß die drei radioaktiven Substanzen, Radium, Thorium und Aktinium wirklich fortwährend eine Kraft ausströmen, die sich in vieler Beziehung wie ein Gas verhält und die Aktivierung bewirkt. Für dieses radioaktive Gas wurde der Name Emanation beibehalten.

2. Die Emanation.

a) Entstehung.

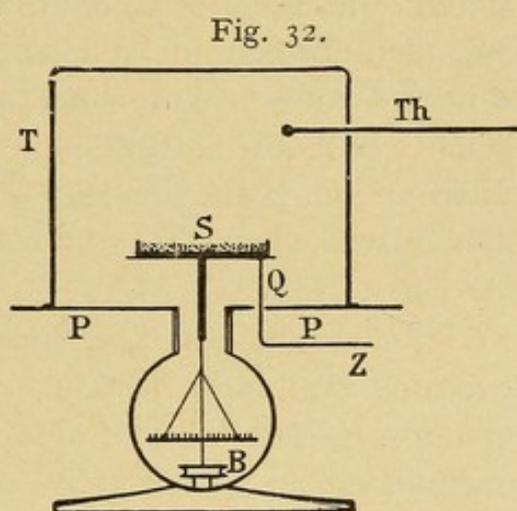
Die Emanation ist ein Gas, welches den drei genannten radioaktiven Stoffen: Radium, Thorium und Aktinium seinen Ursprung verdankt, vielleicht auch noch von anderen Substanzen entwickelt wird, ohne daß wir Gewißheit darüber besitzen.

Die Stärke, in welcher Emanation von radiumhaltigem Salz ausströmt, ist verschieden. Sie richtet sich nach dem Gehalt des Präparats an Radium, nach der Form der Verbindung und deren Temperatur. Wenn man in den Aktivierungskasten das Radium zuerst in fester Form, dann in einer Flüssigkeit gelöst einführt, so sind bei sonst ganz gleichen Verhält-

nissen die Aktivierungserscheinungen im zweiten Fall viel stärker. Die radioaktive Energie des Radiums in Form der Emanation kann sich also von einem gelösten Präparat leichter verbreiten als von demselben Präparat in fester Form. Von der Temperatur des Radiumsalzes ist die Emanation in besonderem Maße abhängig. Wenn man ein Präparat erhitzt, so entweicht das Gas viel leichter und in größerer Menge als bei niedriger Temperatur in der nämlichen Zeit.

Die verstärkte Emanationsabgabe geht auf Kosten der anderen radioaktiven Äußerungen. Meyer und v. Schweidler fanden mit Hilfe eines Elster-Geitelschen Elektroskops mit Bernsteinisolierung (*B*), das zu dem Versuch, wie Fig. 32 zeigt, mit einem Metallkasten (*T*) überdeckt wurde, daß der Entladungsstrom bei Auflage von Radiumsalz auf die Platte *S* durch Erwärmung des Kastens bis zu 200° eine starke Verminderung erleidet. Der Grund liegt in der Schwächung der radioaktiven Substanz durch die verstärkte Abgabe von Emanation.

Die Summe der in verschiedener Form von einem Radiumpräparat abgegebenen Energie ist für gleiche Zeitabschnitte konstant.



b) Vorkommen und Verbreitung.

Emanation läßt sich nun selbstverständlich in der Umgebung der Muttersubstanzen finden; ihr Vorhandensein läßt sich aber auch in einer Menge von Fällen nachweisen, in welchen wir die Existenz der Muttersubstanzen nicht mehr wahrnehmen können.

So fanden Elster und Geitel, daß die Emanation radioaktiver Substanzen in der Luft vorhanden ist. Das Gas bildet nicht einen ständigen regelmäßigen Bestandteil des Gasgemisches, das wir als Luft bezeichnen. Vielmehr ist die Emanation eine Beimischung, die ganz unregelmäßig und in verschiedener Stärke auftritt. Die genannten Forscher stellten ihre Untersuchungen in der Weise an, daß sie einen blanken, langen Kupferdraht isoliert in der Luft ausspannten und negativ elektrisch aufluden.

Nach einiger Zeit untersuchten sie, ob der Draht sich radioaktiv zeigte oder nicht.

Es ergab sich bei diesen Untersuchungen, daß die freie Luft an der See fast keine Emanation enthielt. Dagegen stellten Elster und Geitel, Saake und Gockel von der Nordseeküste gegen die Alpen zu einen allmählich wachsenden Emanationsgehalt der Luft fest. Eine Abhängigkeit der Emanation der Luft von Temperatur, Feuchtigkeit, Wind und Bewölkung konnte mit Sicherheit nicht ermittelt werden. Über die Frage, woher der Emanationsgehalt der Luft stamme, bestehen zwei Ansichten. Nach der einen kommt der Emanationsgehalt aus höheren Schichten der Atmosphäre, nach der anderen aus dem Boden, in welchem radioaktive Substanzen verbreitet sind. Größere Wahrscheinlichkeit hat letztere Meinung; vielleicht daß die auffallende Höhe des Emanationsgehaltes der Luft in der Nähe der Alpen daher kommt, daß die Berührungsfläche zwischen Luft und Erdboden im Gebirge viel größer als in der Ebene ist.

Jedenfalls ist die Anschauung, der Luftemanationsgehalt stamme aus dem Boden, sehr unterstützt durch die Wahrnehmung, daß direkt dem Erdboden entnommene Luft emanationsreicher ist als freie, atmosphärische Luft, und daß Quellwasser beträchtliche Mengen von Emanation mit sich führt.

Die Luft von Kellern und Höhlen ist ungemein reich an Emanation. Zur Untersuchung der Emanationsverhältnisse der Luft im Erdinnern saugte man die Luft durch ein in den Boden gestecktes Rohr ein und nahm die Prüfung auf Radioaktivität vor.

Daß von verschiedenen Erdarten und Quellsedimenten Emanation in hohem Maße entwickelt wird, wurde namentlich von Elster und Geitel gezeigt.

In den Gasen der Quellwasser, besonders in jenen von Thermalquellen, ebenso in Ölquellen finden sich, wie Himstedt zeigte, ganz beträchtliche Mengen von Emanation.

Bei diesen Erscheinungen sind wir wohl zu der Annahme berechtigt, daß die Erdgase ihren Gehalt an Emanation radioaktiven Stoffen verdanken, welche in der Erdoberfläche und im Erdinnern verbreitet sind.

c) Eigenschaften.

Wenn wir die Eigenschaften der Emanation betrachten, so können wir dieselben in zwei Gruppen scheiden.

Die eine umfaßt die Eigenschaften, welche Rutherford zu der Ansicht führten, daß die Emanation ein materielles Gas sei.

Die andere Gruppe erstreckt sich über jene Eigenschaften, durch welche sich die Emanation von den Gasen unterscheidet, über die Aktivierungserscheinungen und deren Eigenheiten.

α) Normale Gaseigenschaften.

Expansion.

Allgemein charakterisiert sind die Gase durch das Bestreben, sich möglichst auszudehnen; sie füllen jeden Raum bei gleicher Temperatur vollständig aus. Dies ist auch bei der Emanation der Fall. Wenn man ein Gefäß *A*, das eine bestimmte Menge Emanation enthält, mit einem anderen Gefäß *B* von doppeltem Inhalt verbindet, so breitet sich die Emanation von *A* auch im Behälter *B* aus, und die Untersuchung ergibt, daß in dem Behälter *A* von der ursprünglichen Menge Emanation nur mehr $\frac{1}{3}$, in dem doppelt so großen *B* jetzt $\frac{2}{3}$ der Emanationsmenge verteilt sind.

Gay-Lussacsches Gesetz.

Ein sehr wichtiges Gesetz für Gase von Gay-Lussac sagt aus, daß gleiche Volumen aller Gase bei gleich großer Temperaturänderung dieselben Volumenänderungen erleiden. Bei gleicher Erwärmung dehnt sich ein Gas im Gegensatz zu dem Verhalten der Flüssigkeiten stets gleich stark aus.

Wenn man die Emanation dahin untersucht, indem man die Emanationsmenge eines von zwei in Verbindung stehenden Behältern zuerst bei gleicher Temperatur und dann nach bestimmter Erwärmung des anderen Behälters feststellt, so findet man, daß das Gay-Lussacsche Gesetz auch für die Emanation Geltung hat.

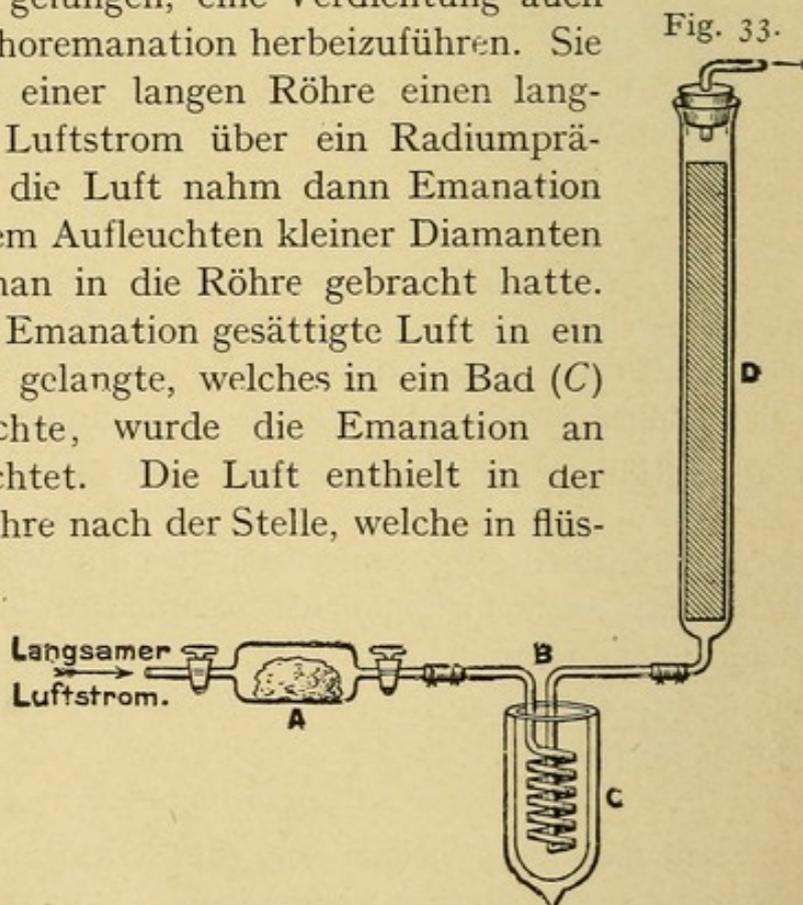
Diffusionsgesetz.

Die Gesetze, welche für die Diffusion der Gase gelten, bestehen auch für die Emanation. Unter Diffusion versteht man jenen Vorgang, der sich abspielt, so oft man einen mit

beliebigem Gas gefüllten Behälter durch eine feine Öffnung mit einem anderen Gas in Verbindung setzt, und der darin besteht, daß die beiden Gase sich mischen. Die Herren Curie und Danne stellten die Untersuchung für Radiumemanation an. Sie setzten ein großes mit Emanation gefülltes Glasgefäß durch eine ganz enge Röhre mit der Luft in Verbindung und beobachteten die Abnahme der Emanation des Behälters. Die beiden Forscher fanden, daß die Ausströmungsgeschwindigkeit der Emanation proportional ist der eingeschlossenen Emanation. Sie diffundiert um so rascher, je weiter und je kürzer das Verbindungsröhrchen ist. Es folgt die Emanation hier also den allgemeinen Gesetzen der Gase. Aus der Diffusionsgeschwindigkeit läßt sich die Dichte und das Atomgewicht berechnen und wurden für Radiumemanation die Werte 80 für Dichte und 160 für Atomgewicht gefunden.

Verdichtung.

Alle Gase lassen sich schließlich durch Temperaturerniedrigung verdichten und verflüssigen. Den Forschern Rutherford und Soddy ist es gelungen, eine Verdichtung auch bei Radium- und Thoremanation herbeizuführen. Sie ließen (Fig. 33) in einer langen Röhre einen langsamen, trockenen Luftstrom über ein Radiumpräparat *A* streichen; die Luft nahm dann Emanation mit, wie sich an dem Aufleuchten kleiner Diamanten ersehen ließ, die man in die Röhre gebracht hatte. Sobald nun die mit Emanation gesättigte Luft in ein Stück *B* der Röhre gelangte, welches in ein Bad (*C*) flüssiger Luft tauchte, wurde die Emanation an dieser Stelle verdichtet. Die Luft enthielt in der Fortsetzung der Röhre nach der Stelle, welche in flüssige Luft tauchte, keine Emanation mehr. Die Diamanten und Siodotsche Blende *D* leuchteten nicht auf. Die Fluoreszenz trat aber sofort und in ver-



Anordnung von Soddy zur Demonstration der Kondensation der Radiumemanation durch flüssige Luft.

stärktem Maße ein, wenn man den Behälter mit flüssiger Luft (C) entfernte.

Die Temperatur, bei welcher die Kondensation eintritt, ist für die Radiumemanation etwa bei -150° , für Thoremanation zwischen -120° und -150° .

Nach dem chemischen Verhalten zeigt sich die Radiumemanation dem jüngst entdeckten Bestandteil der Luft, dem Argon, verwandt. Wie dieses Gas, kann man die Emanation in einer Röhre über rotglühendes Magnesium und Calcium streichen lassen oder dem elektrischen Funken aussetzen, ohne daß eine Veränderung eintritt. Alle bekannten Gase mit Ausnahme des Argons und der in die Argonfamilie gehörenden Gase werden unter gleichen Verhältnissen absorbiert.

Dies sind ungefähr die Erscheinungen, durch welche Rutherford bewogen wurde, Emanation für ein materielles Gas zu erklären.

Die Mengen von Emanation, welche von den radioaktiven Stoffen entwickelt werden, sind äußerst klein; die Untersuchungen konnten sich nur mit ganz geringen Mengen befassen, und alle Ergebnisse beruhen nur auf der Eigenschaft der Emanation, radioaktiv zu sein.

Vielleicht ist es deshalb noch nicht gelungen, einen von Emanation herrührenden Druck, ein charakteristisches Spektrum oder durch Wägung die Anwesenheit eines materiellen Gases feststellen zu können.

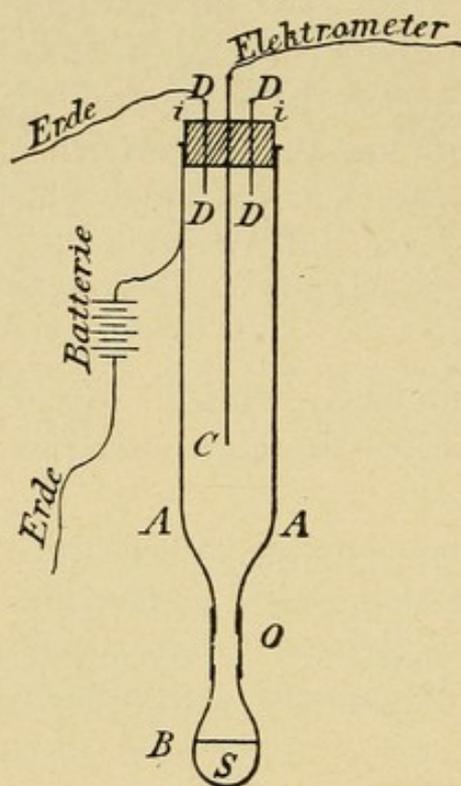
β) Besondere Eigenschaften der Emanation.

Von anderen materiellen Gasen unterscheidet sich die Emanation in sehr bedeutender Weise.

Debierne und Herr Curie beobachteten zum Beispiel, daß Emanation mit äußerster Leichtigkeit und Schnelligkeit durch die allerkleinsten Spalten und Poren fester Körper hindurchgeht, während die bekannten materiellen Gase sich unter den gleichen Umständen nur mit größter Schwierigkeit und Langsamkeit bewegen können. Außerdem ist ein Verhalten der Emanation mit der Natur eines materiellen Gases nicht vereinbar. Wenn man nämlich eine Glasröhre evakuiert, dann mit Emanation füllt und abschmilzt, so verschwindet die in dem Rohr ein-

geschlossene Emanation. Die Emanation ist also unstabil, sie zerstört sich selbst.

In den radioaktiven Eigenschaften gleicht die Emanation den Becquerelstrahlen. Die Strahlung der Emanation ist sehr wenig durchdringungsfähig. Mit der in Fig. 34 wiedergegebenen Anordnung von Curie läßt sich die Strahlungsintensität bestimmen. Das Gefäß *B* enthält eine radioaktive Lösung; die sich entwickelnde Emanation kommt in die Röhre *AA*, und kann man dann ihre Radioaktivität in dem Kondensator mit dem Elektrometer messen.



Die empfindliche Schicht der photographischen Platte wird geschwärzt; Ionisation und Fluoreszenz hervorgerufen. Von der letzteren Eigenschaft ist bei dem Demonstrationsversuch der Kondensation der Emanation bei starker Abkühlung Gebrauch gemacht, um deutlich erkennen zu lassen, daß der Luftstrom in der Glasröhre vor der Kühlung radioaktive

Emanation enthält, nach dem Durchgang durch das Bad flüssiger Luft aber frei davon ist. Die Stoffe, deren Fluoreszenz durch Emanation bewirkt wird, sind jene, welche der gleichen Beeinflussung durch Becquerelstrahlung unterliegen. Mit der in Fig. 35 dargestellten Vorrichtung kann man die Phosphoreszenzwirkungen beobachten. Die beiden Gefäße *A* und *B*, von welchen *A* eine Radiumlösung *R* enthält, können durch den Hahn *H* in ihrer Verbindung gestört werden.

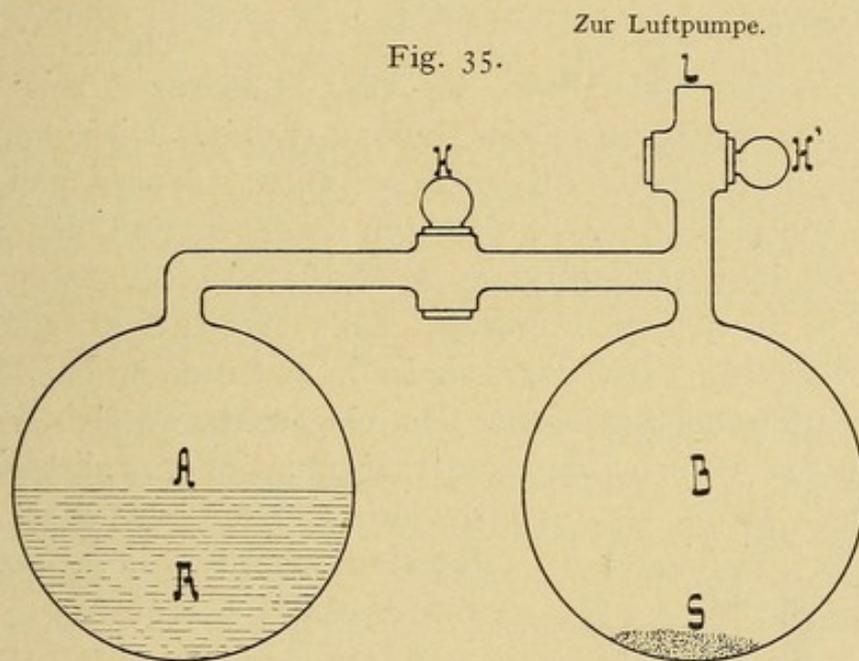
In den Behälter *B* bringt man Sidotsche Blende *S* oder sonst eine Substanz, deren Verhalten gegenüber Emanation man gerade untersuchen will. Man entfernt zu diesem Zweck durch das Rohr *L* mit der Luftpumpe die Luft aus dem Behälter *B* und läßt dann durch Öffnen des Hahnes *H* die in *A* entwickelte Emanation eintreten. Die Sidotsche Blende in *B* leuchtet dann so stark, daß man in der Nähe bei ihrem Licht lesen kann.

Die Haupteigenschaft, durch welche die Emanation hervor-

Die Haupteigenschaft, durch welche die Emanation hervor-

tritt, ist natürlich die Fähigkeit, anderen Körpern die Gabe zu übertragen, Becquerelstrahlen auszusenden und überhaupt radioaktive Wirkungen auszuüben. Durch die Beobachtung, daß negativ geladene Körper in stärkerem Maße als ungeladene, in besonderem Maße aber stärker als positiv geladenen Substanzen durch die Emanation mit dieser induzierten Radioaktivität ausgestattet werden, kam Rutherford zur Ansicht, die Emanation müsse positiv geladen sein.

Neuere Untersuchungen, namentlich von Mc. Clelland, A. Batteli und F. Maccarrone führten jedoch zu dem Ergebnis, daß die Emanation keine Ladung besitzt. Volle Klar-



heit über das Verhalten der Emanation geladenen Körpern gegenüber ist noch nicht gegeben. Alle drei bekannten Emanationen besitzen die Fähigkeit, wie schon hervorgehoben, allen Stoffen, seien sie fest, flüssig oder gasförmig, von ihrer Radioaktivität abzugeben, so daß diese nun Becquerelstrahlen auszusenden vermögen. Man kann sich denken, daß Emanation okkludiert, gelöst und mit fortgerissen wird. Feste Körper wie Celluloid, Kautschuk und Paraffin haben nach Entfernung von Radiumsalzen noch die Fähigkeit, selbst wieder stunden-, manchmal tagelang Emanation auszusenden. Dasselbe Verhalten zeigen emanierete Salzlösungen, ferner Wasser, Petroleum usw.

d) Unterschiede der Emanationen der verschiedenen radioaktiven Stoffe.

α) Dauer der Aktivität der Emanationen.

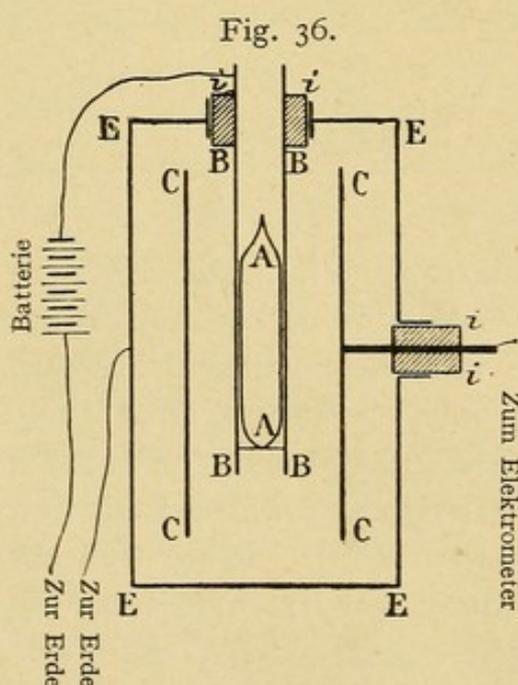
Die Emanationen unterscheiden sich nach der Dauer ihres Bestehens und nach der Zeit, während welcher sekundär durch sie erzeugte Radioaktivitätserscheinungen anhalten. Fängt man die Emanationen von Radium, Thor und Aktinium ab, so findet man, daß die Emanationsmenge des Radiums am längsten anhält; sie vermindert sich in vier Tagen auf die Hälfte, während bei Thor dieselbe Abnahme in 1 Minute 20 Sekunden, beim Aktinium sogar in 3,9 Sekunden erfolgt.

β) Dauer der Aktivität der aktivierten Stoffe.

Ein anderes Verhältnis der drei Substanzen zeigt sich in der Konstanz der mitgeteilten Radioaktivität. Diese vermindert sich nämlich auf die Hälfte fast bei allen Körpern gleichmäßig zuerst in einer Stunde. 2 Stunden nach Beginn der Entaktivierung erreicht die mitgeteilte Radioaktivität ihren halben Wert stets in je 28 Minuten, falls der Effekt durch Radium herbeigeführt ist, dagegen in je 11 Stunden bei Thor und in 40 Minuten bei Aktinium. Im Gegensatz zu dem Verhalten bezüglich des Verschwindens der Emanationen, hält sich also

die durch Thor erworbene Aktivität viel länger als diejenige, welche von Radium herrührt.

Das Gesetz der Strahlungsabnahme läßt sich mit der in Fig. 36 wiedergegebenen Anordnung von Curie finden, indem man die Röhre *AA* mit Emanation füllt und den Verlauf ihrer Radioaktivität mit Hilfe des Elektrometers kontrolliert. Die Konstanz der mitgeteilten Radioaktivität läßt sich mit demselben Apparat verfolgen, wenn man die Röhre *AA* mit Emanation füllt, die Emanation dann wieder



auspumpt und dann die Röhre *AA* in den Kondensator bringt.

γ) Verwertung der Unterschiede.

Das Verschwinden der Radioaktivität eines Körpers ist ein sicheres Zeichen dafür, daß die Quelle dieser Energie nicht in ihm selbst zu suchen ist. Der betreffende Stoff muß vielmehr von einer primär radioaktiven Substanz diese Kraft erhalten haben. Durch allmähliche Abgabe dieser mitgeteilten Energie stellt sich der frühere normale Zustand wieder her; der radioaktive Stoff dagegen schafft fortwährend diese neu entdeckte Kraftform in sich; es handelt sich hier nicht um einen übertragenen Vorrat, der in kürzerer oder längerer Zeit verbraucht wird.

Dieser Unterschied bietet ein wichtiges Mittel zur Erkenntnis, ob man es im einzelnen Fall mit einem primär radioaktiven Stoff zu tun hat oder nur mit mitgeteilter Aktivität.

Durch die Verschiedenheit der radioaktiven Substanzen in Bezug auf die Zeitgrößen, während welchen die Aktivität sich auf die Hälfte vermindert, hat man weiter ein zuverlässiges Erkenntnismittel dafür, daß die betreffende Aktivität von Radium, Thor oder Aktinium herrührt.

e) Entstehung von Helium aus der Radiumemanation.

Unter den Eigenschaften der Emanationen befindet sich ein Charakteristikum, das zu merkwürdig ist, als daß wir es nicht einer besonderen Betrachtung unterwerfen sollten: es ist die Tatsache, daß ein Quantum Emanation, luftdicht in einer Glasröhre eingeschlossen, nach einiger Zeit nicht mehr vorhanden ist.

Wohl die größte Errungenschaft des 19. Jahrhunderts auf dem Gebiete der Physik ist die Erkenntnis, daß Energie, wie zuerst Robert Meyer in seinem von vielen falsch aufgefaßten Buche „Erhaltung der Kraft“ aussprach, niemals verloren gehen kann. Mit dem Verschwinden der Emanation ist scheinbar diesem fundamentalen Satz widersprochen. Jedoch ist die Lehre von der Erhaltung der Energie zu fest gegründet, als daß wir uns durch das rätselhafte Verhalten des Radiumproduktes zum Umstoß entschließen sollten. Fragen wir lieber, ob nicht die Emanation doch ihre Energie abgibt, ob sie etwas Neues schafft, ob nicht doch nach Verschwinden der Emanation in der Glasröhre etwas vorhanden ist.

Die Schwierigkeiten der Untersuchung so kleiner Gas-mengen, wie sie bei Radiumemanation zur Verfügung stehen, sind durch die Fortschritte von Ramsay, dem genialen Ent-decker der Luftbestandteile Argon, Neon, Xenon und Krypton, vermindert worden. Rutherford und Soddy machten bei ihren Untersuchungen die Bemerkung, daß unter den Gasen, welche sie beim Auflösen eines Gieselschen Radiumbromid-präparates in Wasser erhielten, stets das Element Helium vor-handen war. Es ist nun bekannt, daß Helium nur in Uran und Thor, zwei, wie wir heute wissen, radioaktiven Mineralien, vor-kommt. Da die Radiumbromidpräparate von großer Reinheit waren, handelte es sich nun darum, den Zusammenhang zu finden. Man mußte Klarheit darüber bekommen, ob das He-lium, schwer von Radium trennbar, selbst durch die vielen Reinigungen und chemischen Prozesse nicht abgeschieden, also noch von den Uranerzen „verschlepptes“ Gas sei, oder ob viel-leicht das Helium von Radium gebildet, ob es vielleicht ein Produkt der verschwindenden Emanation sei. Zahlreiche Unter-suchungen wurden angestellt. Ramsay und Soddy kamen zu der letztgenannten Ansicht, als sie spektralanalytisch fest-stellten, daß durch Abkühlung kondensierte und aufs sorgfäl-tigste gereinigte Radiumemanation anfangs nur unbekannte Linien enthielt, nach fünf Tagen jedoch die Linien des Helium-spektrums klar erkennen ließ.

Herr Curie und Dewar fingen auf andere Art die Gase einer verhältnismäßig sehr großen Menge Radiumbromids ab. Die spektroskopische Untersuchung durch Deslandres ergab auch hier mit Sicherheit die Anwesenheit von Helium.

Durch beide Versuche war wohl damit der innige Zusammen-hang zwischen Radium und Helium festgestellt, es war aber nicht Klarheit geschaffen über den Ursprung des Heliums. Es war nämlich beim Versuch von Ramsay-Soddy leicht möglich, daß die Emanation Helium beigemischt enthielt, aber nur in schwachen Spuren, so daß bei der spektroskopischen Unter-suchung die überwiegende Emanation die Leitung des elektri-schen Stroms übernahm, und das Heliumspektrum nicht ent-stehen konnte. Das spätere Entstehen des Heliumspektrums mußte man sich dann damit erklären, daß man annahm, die Emanation sei vielleicht durch Niederschlag an den Glaswänden der Röhre gegenüber dem vorhandenen Helium zurückgetreten,

und nach einiger Zeit habe dann das überwiegende Helium die Leitung des Stromes übernommen und daher sein Spektrum gezeigt. Erwiesen war die Entstehung des Heliums aus Emanation erst dann, wenn, wie Curie und Dewar auch hervorhoben, eine allmähliche Zunahme der Emanation an Helium entsprechend der Abnahme an radioaktiver Äußerung konstatiert worden war.

Diese grundlegende, überaus wichtige Untersuchung unternahmen die Forscher Himstedt und G. Meyer (Freiburg i. Brg.). Sie benutzten zwei Methoden, um möglichst reine Emanation zu erhalten. Bei der ersten Art erhitzten sie die Radiumpräparate nicht, um die Möglichkeit auszuschließen, daß das Helium vielleicht in dem festen Salz doch festgehalten und erst bei Erwärmung losgelassen wird, sondern ließen über ein Radiumpräparat Wasserstoffgas hinwegstreifen und von diesem die Emanation hinwegführen. Eine spektroskopische Untersuchung zeigte anfangs kein Helium, sondern nur das Wasserstoffspektrum; allein nach drei bis fünf Monaten, als das anfangs starke Selbstleuchten der Emanation nicht mehr bemerkbar war, zeigten sich allmählich die Heliumlinien und nahmen an Stärke des Auftretens immer mehr zu mit der Zeit.

Bei der anderen Methode wurde die Emanation durch Erhitzen rasch aus dem Radiumpräparat ausgetrieben, aufs sorgfältigste gereinigt und untersucht. Das Spektrum, das anfangs keine einzige Heliumlinie zeigte, wies nach zwei bis drei Wochen einige Heliumlinien auf, die mit der Zeit an Stärke des Auftretens zunahmen. Himstedt und Meyer kommen so zu dem Resultat, daß „in der Tat aus dem Radiumpräparat neues Helium hervorgegangen ist, wenn man nicht annehmen will, daß das Radium das Helium ähnlich festhält wie etwa das Palladium den Wasserstoff“.

II. Aktivierung von Stoffen durch Eintauchen in Radiumlösung.

Wie alle Körper aktiviert werden, wenn sie mit Emanation entwickelnden Substanzen durch Gasleitung in Verbindung gesetzt werden, so tritt eine Energiemitteilung auch ein, falls man einen Körper in eine Radiumlösung eintaucht. Diese Erscheinung ist jedoch wesentlich anderen Charakters. Bei dem früher besprochenen Vorgang werden unter gleichen Verhältnissen

alle Körper in demselben Maße aktiviert. Die Stärke der Aktivierung richtet sich nur nach der Intensität des radioaktiven Präparats, der Einwirkungszeit und -Fläche und ist unabhängig von der Natur der aktivierten Materie. Dagegen hängt die Stärke der Aktivierung der Körper in Lösung mit radioaktiven Substanzen ganz von der Art derselben ab. Taucht man eine Zink- und eine Silberplatte in eine Lösung eines Radiumsalzes ein, so zeigen sich beide Platten nach einiger Zeit bei der Untersuchung radioaktiv, allein trotz gleicher Umstände bei der Aktivierung ist das Zink viel stärker radioaktiv als die Silberplatte.

Untersucht man die verschiedenen Körper auf das Maß ihrer Aktivierung, so findet man, daß hier dieselben Verhältnisse bestehen, welche bei den galvanischen Elementen nutzbar gemacht sind. Alle Elemente haben Sauerstoffgier und werden bei Befriedigung dieses Bestrebens je nach größerer oder geringerer Sauerstoffaufnahme mehr oder weniger stark negativ elektrisch. Da die unedlen Metalle am stärksten nach Sauerstoffaufnahme streben, werden sie am kräftigsten negativ elektrisch, die Substanzen, denen der Sauerstoff entzogen wird, am stärksten positiv elektrisch. Es besteht dann eine elektrische Spannung, welche je nach der Potentialdifferenz ein mehr oder weniger heftiges Bestreben hat, die elektrischen Ladungen auszugleichen, also das Fließen eines elektrischen Stromes zu veranlassen. Man hat die Metalle nach der Stärke ihrer Sauerstoffgier, also damit nach den verschiedenen Größen der Potentialdifferenz gegenüber einem Stoff zum Beispiel Wasser oder Schwefelsäure geordnet, und nennt diese Ordnung die Spannungsreihe. Je edler ein Metall, desto geringer ist seine Potentialdifferenz, desto entfernter steht es in der Spannungsreihe von dem unedlen Zink.

Dieselbe Ordnung der Spannungsreihe gilt nun auch, wenn man die Metalle mit Rücksicht auf Größe ihrer Aktivierung durch Eintauchen in Radiumsalzlösung betrachtet. Je edler ein Metall, desto weniger wird es in gleicher Zeit radioaktiv.

III. Aktivierung von Stoffen durch Auflösung in Radiumlösung.

Wie durch Eintauchen in Radiumlösungen Substanzen Radioaktivität mitgeteilt bekommen, so tritt dieselbe Energie-

übertragung auch ein, wenn man die Substanzen in dem radiumhaltigen Gemisch auflöst. Schlägt man aus einer solchen Lösung die verschiedenen Metalle nach einiger Zeit nieder, so findet man bei Prüfung auf Größe der Radioaktivität, daß es bei diesem Vorgang auch auf die Natur der Metalle ankommt, daß aber hier nicht dieselben Verhältnisse wie bei der Spannungsreihe gegeben sind.

Nicht nur die drei Emanation entwickelnden Substanzen, auch Uran ist imstande, mitaufgelösten Stoffen Aktivität zu erteilen. Diese Art der Mitteilung von Radioaktivität macht sich störend bemerkbar, wenn es sich zum Beispiel darum handelt, reines Radium abzuscheiden. Daß die betreffenden Körper ihre Radioaktivität nicht aus sich, sondern von außen empfangen, läßt sich daran erkennen, daß sie ihre Energie durch aufeinanderfolgende chemische Umwandlungen verlieren, bei aktiviertem Baryum daran, daß die Aktivität nach drei Wochen dreimal schwächer als zu Anfang ist. Diese Art Aktivierung hat einen wesentlich anderen Charakter als jene, welche durch bloßes Verweilen eines festen Metalls in einer radioaktiven Lösung herbeigeführt wird.

Die Intensität der Strahlung und deren Dauerhaftigkeit ist bei weitem größer, wenn die aktivierten Substanzen in der feinen Verteilung des Lösungszustandes der Einwirkung radioaktiver Körper ausgesetzt waren. Außerdem hat bei diesem Vorgang die Aktivierung einen ganz elektiven Charakter, indem derselbe primär aktive Stoff die verschiedenen Elemente in verschiedenem Grad aktiviert. Auch in der Zeitdauer, während welcher die aktivierten Elemente die Fähigkeit, α - und β -Strahlen auszusenden, behalten, zeigen sich große Verschiedenheiten je nach dem behandelten Stoff. So hält zum Beispiel die α -Strahlung des aus einer Radiumlösung niedergeschlagenen Wismuts viele Monate an, während die β -Strahlung in wenigen Wochen vergeht. Umgekehrt verschwindet die α -Strahlung eines erhitzten, unter gleichen Verhältnissen aktivierten Platinniederschlags innerhalb weniger Sekunden, während die β -Strahlung länger andauert.

Der Vorgang bei dieser Aktivierungsart ist also anderer Natur. Über sein Wesen kann man sich mit Hofmann, Gonder und Wölfl die Vorstellung machen, daß sich von den in Lösung befindlichen radioaktiven Körperchen kleine

Teilchen abtrennen und sich den beigemischten Stoffpartikeln zugesellen. Die übertragenen Teilchen sind nicht den α - oder β -Strahlen identisch, da sich sonst bei Einwirkung von Kanal- und Kathodenstrahlen dieselben Effekte erzielen lassen müßten, was nicht der Fall ist. Die übertragenen Teilchen sind wohl wie die Emanationen zusammengesetzte Gebilde, welche beim Zerfall in α - und β -Elektronen als Becquerelstrahlen ausgesendet werden. Die von den radioaktiven Stoffen abwandernden Teilchen bewahren ihre Eigenheit, indem sie sich nicht in gleicher Zeit in gleicher Menge mit den verschiedenen beigemischten Substanzen verbinden, sondern sich je nach der Natur der mitgelösten Stoffe in größerem oder geringerem Grade von der Muttersubstanz abtrennen und den fremden Körpern zugesellen.

IV. Praktische Verwertung der Erscheinung der mitgeteilten Radioaktivität.

Fragen wir, wie bei allen Erscheinungen der Radioaktivität nach der Bedeutung für praktische Verwendung der in diesem Abschnitte behandelten Erscheinungen, so bekommen wir hier wohl die erfreulichste Antwort. Denn, wenn ein im Prinzip zwar gutes, durch allzu große Heftigkeit der hervorgerufenen Wirkungen aber gefährliches, vielleicht schädliches Heilmittel auf so einfache Weise wie bei den radioaktiven Stoffen unbedenklich und anwendbar gemacht werden kann, so ist dies zum Segen der Menschheit sehr zu begrüßen. Wir haben bei Besprechung der physiologischen Wirkungen der Radiumsalze zwei Feinde gefunden, welche sich einer allgemeinen segensreichen Nutzbarmachung entgegenstellen: die Heftigkeit der Wirkungen und die Kostbarkeit der radioaktiven Stoffe. Beide Hindernisse werden durch die Übertragbarkeit der radioaktiven Fähigkeiten beseitigt oder vermindert.

Man braucht zur Hautbeeinflussung nicht radioaktive Salze aufzulegen; man kann dieselben Effekte auch erzielen, indem man Körper einwirken läßt, denen von radioaktiven Stoffen ein bestimmtes, nach einiger Zeit verbrauchtes Maß radioaktiver Fähigkeit mitgeteilt wurde. Andererseits ist man nicht beschränkt auf die praktische Verwendung einer winzigen Salzmenge; indem man die beständige Energieabgabe eines kleinen Radium-

präparats in anderen Körpern, zum Beispiel in Stückchen von Metall oder $W_2^{+2}e$ auffängt, welche für den speziellen Anwendungsfall geeignet sind, kann man dann gleichzeitig viele Operationen vornehmen, während ohne die Mitteilungsfähigkeit nur eine einzige möglich wäre. Bei einer größeren Nachfrage nach radioaktiver Behandlung ist dadurch das Verfahren außerordentlich verbilligt.

Die Einatmung der Emanationen in größerer Menge wirkt, wie Versuche von Dorn und Wallstabe an weißen Mäusen zeigen, giftig. Bei den geringen Mengen, in welchen sich die Emanationen in der Luft, dann aber in fast allen kalten und warmen Quellwassern befinden, wie man durch Untersuchung der durch Auskochen oder Evakuieren aus Wasser erhaltenen Gasmengen feststellen kann, macht sich keine schädliche Wirkung bemerkbar. Vielmehr schreibt man jetzt die Heilwirkung, welche durch die emanationsreichen Wasser unserer Weltbäder, wie Baden, Tarasp, Wiesbaden, durch radioaktiven Schlamm z. B. von Ragaz, Leuk, Battaglia (Fango) und durch die Hochgebirgsluft erzielt wird, teilweise der Radioaktivität zu.

Fünfter Abschnitt.

Erklärung der Erscheinungen der Radioaktivität.

Die Erscheinungen der Radioaktivität waren so merkwürdig und neu, ihre Unvereinbarkeit mit fundamentalen Gesetzen der Naturwissenschaften schien so offenbar zu sein, daß eine Menge Hypothesen aufgestellt wurde, welche das sonderbare Verhalten erklären sollten.

Die Wirkungen, welche von den radioaktiven Substanzen ausgehen, lassen diese Stoffe als eine hervorragende Quelle von Energie und Elektrizität erscheinen. In der konstanten Ausstrahlung von Energie konnte man keine Minderung, also einen Verbrauch angehäufter Kraft feststellen. Vom Standpunkt des Gesetzes der Erhaltung der Energie aus betrachtet, waren die radioaktiven Stoffe ein Rätsel.

Die Erklärungsversuche gehen davon aus, entweder, daß die Energie in den radioaktiven Substanzen erzeugt wird, oder daß sie ihren Ursprung nicht in diesen Stoffen hat, sondern aus einer anderen, unbekanntem Quelle stammt.

Diese letztere Energiequelle sollte die Eigentümlichkeit besitzen, daß sie für uns nur dadurch bemerkbar wird, daß sich ihre Kraft nur den als radioaktiv erscheinenden Materien mitteilen kann und deren merkwürdiges Verhalten verursacht.

Diese letztere Anschauungsweise lag einer ganzen Reihe von Hypothesen zu grunde.

Nach Curie sollte sich im Weltraum eine besondere Strahlung befinden, die alle Körper durchdringt ohne Schwächung, aber von Radium, Polonium und den anderen radioaktiven Stoffen absorbiert wird.

Nach Geigel sollten die radioaktiven Äußerungen der Fähigkeit der fraglichen Stoffe zu danken sein, die Gravitationsenergie in sich anzusammeln und zu verwandeln.

Crookes trat für die Ansicht ein, daß die Energiequelle in der Bewegung der Luftmoleküle zu suchen sei. Die radioaktiven Stoffe sollten die Möglichkeit besitzen, diese kinetische Energie zu absorbieren und umzuwandeln.

Die zur Erklärung herangezogenen Energiequellen bieten selbst noch einer Erklärung große Schwierigkeiten und scheinen rätselhaft, infolge der geringen Kenntnisse, welche wir über sie besitzen. Daß es eine Gravitationskraft gibt, wissen wir; daß Explosionen und große Umänderungen der Sonne auch auf die Energieäußerungen unserer Erde Einflüsse ausüben, merken wir sehr unangenehm, da das Auftreten von Sonnenflecken stets mit Störungen unseres gesamten Telegraphennetzes verbunden ist; aber mehr als die Tatsache der Existenz wissen wir über diese Kräfte fast nicht.

An sich ist also die Hypothese, daß radioaktive Äußerungen durch Umwandlung einer solchen vorhandenen Kraft in den fraglichen Stoffen entstehen, nicht von der Hand zu weisen; da jedoch keine experimentelle Bestätigung für diese Hypothese gegeben ist, herrscht die andere Ansicht vor, daß es sich um innerliche Energieabgabe handelt.

Diese Erklärung stützt sich auf die Elektronentheorie.

Die Chemie betrachtete bisher die Atome als kleinste, unteilbare, unveränderliche Teilchen, die erst in ihrer Massen-

zusammenlagerung unserem Wahrnehmungsempfinden zugänglich werden. Die einzelnen Atome mußten nach dieser Anschauung verschieden sein je nach dem Element, welches sie bildeten, dagegen bei demselben Element durchaus gleichartig sein. Durch gesteigerte Möglichkeit, die Energie zu konzentrieren, gelangte man mit dem Fortschritt der Chemie zu immer ausgedehnterer Isolierung der Elemente. Wenn man also von einer Materie behauptete, sie sei ein Element, d. h. sie bestehe aus ganz gleichartigen, nicht mehr teilbaren Atomen, so sagte man damit eigentlich bloß, daß es mit den bis dahin bekannten Mitteln nicht möglich war, eine Zusammensetzung der betreffenden Materie oder eine Teilbarkeit ihrer kleinsten Teilchen zu beweisen.

Die Elektronentheorie betrachtet dagegen als kleinsten Baustein der Materie nicht das Atom; sie sagt, jedes Atom ist zusammengesetzt aus einer Menge kleinster Zentren gleich vieler positiver und negativer elektrischer Energie, den Elektronen. Die Atome der verschiedenen Elemente unterscheiden sich durch die Zahl der in ihnen gebundenen Elektronen, die an sich eine gemeinsame, gleichmäßige Urmaterie darstellen.

Je größer das Atomgewicht eines Körpers ist, desto größer muß die Menge der enthaltenen Elektronen sein; desto größer ist also die Menge der im Atom aufgespeicherten Energie.

Die Zeit, in welcher sich die Elektronen in verschiedener Menge zu Atomen gruppierten, liegt Jahrtausende zurück, und es läßt sich nun denken, daß Elektronenbindungen, welche in einem frühen Entwicklungsstadium der Erde entstanden, unter den veränderten Verhältnissen nicht mehr fort dauern können. Unter den verminderten Temperatur- und Druckverhältnissen überwiegt vielleicht die Ausgleichungstendenz der Energiemengen der Elemente mit hohem Atomgewicht. In diesem Fall werden diese Atome sich spalten; Elektronen werden frei und können sich als Energiezentren in mannigfaltiger Weise bemerklich machen. Elemente mit solchem Atomgewicht werden also in ihrer Fortdauer gehindert; sie werden von ihrer Energiemenge abgeben, so lange bis sich Elektronengruppen gebildet haben, die auch unter den veränderten Verhältnissen bestehen können. Es entsteht auf diese Weise durch Loslösung der Elektronen aus dem Atomverband eines Elementes ein neues Element mit niedrigerem Atomgewicht.

Unsere Erfahrungstatsachen lassen sich mit Hilfe der Elektronentheorie am besten erklären. Den stärksten Rückhalt bekommt diese Anschauung durch die Erscheinungen der radioaktiven Stoffe. Hier handelt es sich um die Elemente Uran (238), Thor (232) und Radium (225), welche die höchsten Atomgewichte besitzen von allen Elementen, die wir kennen. Bei ihnen ist also auch die Neigung und Möglichkeit einer Umwandlung in ein anderes Element wohl am stärksten. Tatsächlich finden fortwährend Abschleuderungen kleinster Teilchen bei allen drei Stoffen statt. Sie senden Strahlen aus, denen Materialität zukommt. Wir haben gesehen, daß Radium negativ geladene Teilchen aussendet in den β -Strahlen, positiv geladene Teilchen in den α -Strahlen. Die Radiumatome zerfallen also; eine Anzahl Elektronen wird frei; dabei geht ein Teil der im Atom aufgespeicherten Energie in die Form von Ätherstößen über; freie Elektronen vereinigen sich zur Emanation; allein auch diese Form ist nicht lebensfähig unter den gegenwärtigen Verhältnissen. Abermals lösen sich die Elektronen aus dem neuen Atomverband; wiederum gehen Teile der Energie in andere Formen über und zwar so lange, bis sich Elektronen in einer derartigen Weise gruppiert haben, daß sie auch unter den heutigen Verhältnissen bestehen können. Als ein bleibendes Endprodukt des zerfallenden Radiums lernten wir das Gas Helium kennen. Es entspricht ganz den Forderungen, die wir nach der Elektronentheorie stellen müssen. Sein Atomgewicht ist bedeutend niedriger als das Atomgewicht der Muttersubstanz; es beträgt nur 4. Die in Helium aufgehäufte Energie ist also sehr gering, wenn wir jene vergleichen, die sich in dem Atomgewicht des Radiums mit 225 aufgespeichert vorfindet. Die ganze übrige Energie hat sich in anderer Form vom Radium getrennt. Strahlung, Wärmeäußerung sind solche Formen. Daß diese Atomenergie sehr groß ist, sehen wir allein aus der Wirkung, welche sich mit der in Wärme umgewandelten Energie erzielen läßt.

Wie Bose neuerdings darauf hingewiesen hat, steht der Annahme einer Atomenergie beliebiger Größe von seiten der kinetischen Gastheorie nichts im Wege. Die Forderung dieser Theorie, daß nämlich die Temperatur auf diese Atomenergien keinen Einfluß ausübe, ist bei den radioaktiven Stoffen erfüllt. Zugleich ist damit gezeigt, daß die Energieabgabe der radio-

aktiven Stoffe nicht ein gewöhnlicher chemischer Vorgang ist, da diese alle in hervorragender Weise durch die Temperatur beeinflußt werden.

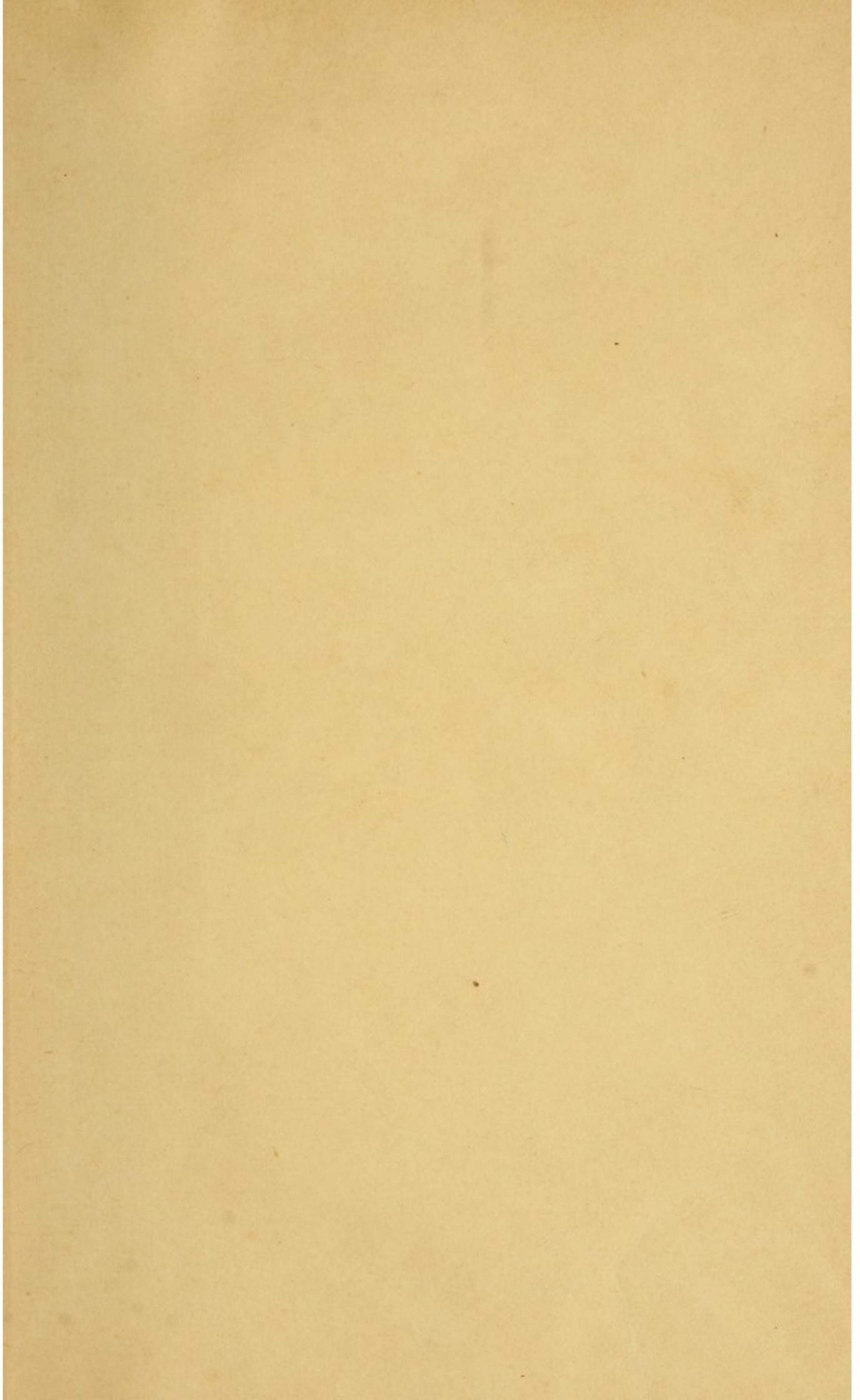
Wie die Radiumatome, sind auch die Energiekonzentrationen der Atome von Uran und Thor heute nicht mehr haltbar. Explosionsartig zerfallen die Atome; unter Aussendung von α -Strahlen wandeln sie sich in Formen niederen Atomgewichts in Uran X und Thor X; diese Formen sind aber auch nicht dauernd; abermals treten Umwandlungen ein und zwar so lange, bis die ausgesendeten Elektronen sich so gruppieren, daß sie auch unter den gegenwärtigen Verhältnissen Bestand haben können.

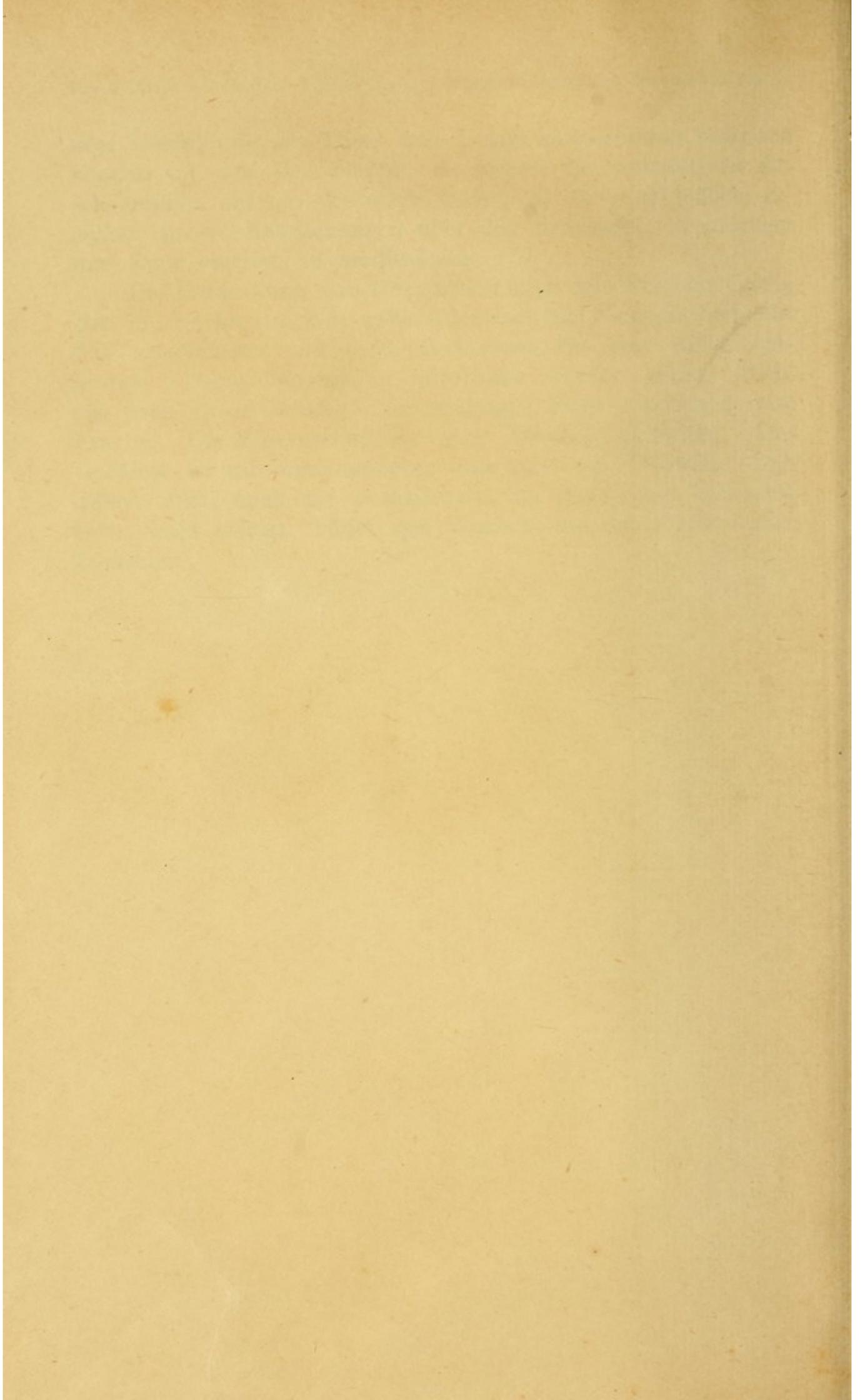
Soddy, welcher wie Rutherford und Ramsay die bedeutendsten Untersuchungen über diese sog. Desaggregation anstellte, fand für Thor, daß die Umwandlung in mindestens fünf Stadien erfolgt. Merkwürdig erscheint, daß trotz des fortwährenden Zerfalls der radioaktiven Stoffe, trotz der ungeheuren Energieabgabe, welche zum Beispiel von Rutherford für 1 g Radium mit 10^9 Grammkalorien berechnet wurde, d. h. einer Energiemenge, mit der man fähig ist, 424 t einen Kilometer hoch zu heben, die Masse derselben scheinbar nicht abnimmt. Dies ist jedoch zweifellos der Fall; denn in dem Elektronenverlust geben die Substanzen natürlich auch von ihrer Masse ab. Allein wir werden zu der Anschauung gedrängt, daß eben nicht alle Atome gleichzeitig in dem kritischen Zustand der Wandlung sich befinden, sondern immer nur einzeln, daß die Hauptmasse der Atome für unsere beschränkten Verhältnisse als konstant anzusehen ist, und daß wir mit den empfindlichsten Meßinstrumenten eben bei den geringen Gewichtsmengen, die uns überhaupt von reinen radioaktiven Substanzen zur Verfügung stehen, den Gewichtsverlust nicht bemerken können, der durch die Aussendung eines immerhin verhältnismäßig doch sehr geringen Teils der Elektronen eintritt. Die mittlere Lebensdauer des Radiums wurde mit etwa 2000 Jahren berechnet; von Uran und Thor wird hierin das Radium millionenmal übertroffen. Die radioaktiven Stoffe reichen somit in jene Periode zurück, in welcher nach den Berechnungen der Astronomen die Erde begann, als selbständiger Planet zu existieren. Die ganze Bildung der Erde kann sich also während der Zerfallzeit des Urans vollzogen haben. Wir sind nicht gezwungen, eine stän-

dige Neubildung des Thors oder Urans anzunehmen; beweisen können wir nur den Zerfall. So weisen die radioaktiven Erscheinungen auf ein entferntes Ende hin, sie sind jedoch geeignet, unsere Anschauungen über den Zeitpunkt, in welchem dies Ende eintritt, zu modifizieren.

Die Entdeckung von Becquerel und dem Ehepaar Curie hat in der kurzen Zeit außerordentlich viel Geistesarbeit auf sich konzentriert und große Bedeutung für eine Reihe entfernter Gebiete bekommen. Probleme wurden gelöst; allein aus jeder Beantwortung einer wichtigen Frage entstehen neue Fragen. Die Wissenschaft ist nicht arbeitslos geworden. Das Gebäude ist nur umfangreicher und harret des Ausbaues. Daß dieser, auch nach der praktischen, der Menschheit helfenden Seite, bald erfolgt, bildet den Wunsch und das Streben aller Forscher.

52032





COUNTWAY LIBRARY OF MEDICINE

QD

181

R1 P19

