

Über radioaktive Substanzen.

Von

R. Wegscheider.

Vortrag, gehalten den 18. Jänner 1905.

(Mit Experimenten.)

Das Wort „radioaktive Substanzen“ deutet an, daß es sich um Körper handelt, welche sich durch ein besonderes Strahlungsvermögen auszeichnen. Um die bei diesen Stoffen vorliegenden Verhältnisse verstehen zu können, wird es jedenfalls gut sein, wenn wir das, was uns über die Strahlenarten bekannt ist, kurz rekapitulieren, und darum wollen wir mit einem guten alten Bekannten, dem Lichte, beginnen. Das Licht geht gewöhnlich von Körpern aus, die eine hohe Temperatur (über 500°) haben. Unter Umständen leuchten aber auch Körper, welche eine niederere Temperatur haben. Das Leuchten bei hoher Temperatur ist eine allgemeine Eigenschaft der Körper.

Von einem leuchtenden Körper verbreitet sich das Licht durch den Raum und wenn es unser Auge trifft, so erregt es jene Empfindung, welche wir Licht nennen. Wir können also das Licht als eine Art von Energie bezeichnen, denn alles, was Wirkungen hervorbringt, nennen wir Energie (nach einer Definition von Ostwald). Das ist wichtig; denn wenn der Satz von der Erhaltung der Energie, welcher die ganze moderne Physik beherrscht, richtig ist, dann wissen wir, daß keine Energie ver-

schwindet, ohne daß eine äquivalente Menge anderer Energien entsteht.

Das Licht geht von dem leuchtenden Körper nach allen Richtungen aus. Ich erwähne dies, weil wir Strahlenarten besprechen werden, bei denen dies nicht der Fall ist. Das Licht breitet sich im Raume im allgemeinen geradlinig fort. Diese geradlinige Fortpflanzung erleidet aber eine Ablenkung, wenn das Licht auf die Trennungsfläche zweier verschiedener Stoffe fällt. An einer solchen Trennungsfläche wird ein Teil des Lichtes zurückgeworfen, reflektiert, ein anderer Teil des Lichtes tritt zwar in die zweite Substanz ein, verändert aber im allgemeinen seine Richtung, ausgenommen den Fall, daß das Licht senkrecht auf die Trennungsfläche der beiden Stoffe auffällt. Diese Richtungsänderung, welche der nicht reflektierte Teil des Lichtes beim Auffallen auf die Trennungsfläche zweier Stoffe erleidet, nennen wir Brechung. Wir wollen gleich einen Versuch machen, bei dem Brechung eintritt. Wir leiten Licht durch ein Prisma aus Glas. Als Lichtquelle benützen wir eine Projektionslampe, elektrisches Bogenlicht. Sie sehen hier auf dem Schirme die allgemein bekannte Erscheinung des Spektrums. Das Licht der Bogenlampe erscheint unserem Auge weiß; dadurch, daß wir das Licht durch ein Prisma treten lassen, wird das Weiß in die verschiedenen Farben Rot, Gelb, Grün, Blau und Violett zerlegt. Diese verschiedenen Farben treten an verschiedenen Stellen des Schirmes auf. Daraus sehen wir, daß die verschiedenen Farben in verschieden starkem Maße durch das Prisma

abgelenkt werden, sie werden also verschieden stark gebrochen. Der Versuch lehrt, daß das weiße Licht der Bogenlampe nicht etwas Einheitliches ist, sondern daß es verschiedene Lichtarten gibt, welche sich durch die Brechbarkeit und durch den Einfluß unterscheiden, den sie auf unser Auge ausüben, also durch die Farbe. Wir können uns bei dieser Gelegenheit davon überzeugen, daß der Gang der Lichtstrahlen durch den Magnet nicht beeinflußt wird. Wir machen dieses Experiment, denn wir werden noch Strahlen kennen lernen, welche durch den Magnet abgelenkt werden. Wie Sie sehen, ändert der Magnet am Spektrum nichts.

Zu seiner Fortpflanzung braucht das Licht keinen wägbaren Körper, es geht durch die Luft, durch feste und flüssige Körper, es geht aber auch durch den leeren Raum und hierdurch unterscheidet es sich von dem Schalle, der nicht durch den leeren Raum geht. Ich kann vielleicht noch bemerken, daß man die Bewegung des Lichtes durch den Raum eine Strahlung nennt und daß man im allgemeinen eine Strahlung als einen Vorgang betrachten kann, bei welchem sich eine Energie ohne Vermittlung der gewöhnlichen wägbaren Körper durch den Raum fortpflanzt.

Wie bekannt, pflanzt sich das Licht nicht durch jeden Körper fort. Ich brauche nur ein Papier zu nehmen oder mich selbst vorzustellen; der Lichtstrahl wird dadurch aufgehalten. Die Erscheinung, daß das Licht durch einen Körper verschluckt wird, nennt man Absorption. Es gibt Körper, welche Licht überhaupt nicht durch-

lassen, und solche, die nur bestimmte Strahlen durchlassen, andere aber nicht. Wir sehen hier das Spektrum einer Kaliumpermanganatlösung. Die Lichtarten werden ungleichmäßig ausgelöscht. Die roten und gelben Strahlen gehen hindurch, die grünen Strahlen sehen wir nicht, sie sind also durch die Lösung absorbiert worden; die blauen Strahlen gehen wieder durch.

Wenn Licht durch einen Körper absorbiert wird, also als Licht verschwindet, so muß nach dem Satze von der Erhaltung der Energie etwas anderes entstehen. Gewöhnlich wandelt sich das Licht in Wärme um. Dies ist aber nicht die einzige Umwandlung, welche das Licht erleiden kann: das Licht kann sich auch umwandeln in ein Licht anderer Beschaffenheit oder es kann Stoffe umwandeln (in chemische Energie übergehen). Eine durch das Licht hervorgerufene chemische Reaktion wird bekanntlich in der Photographie verwendet. Hier verwandelt das Licht das Chlor- oder Bromsilber der photographischen Platte derart, daß es durch den Entwickler leicht in metallisches Silber übergeführt wird. Auch das Wachstum der Pflanze wird durch das Licht beeinflusst. Das Chlorophyll bildet sich nur unter der Einwirkung des Lichtes. Wirksam sind immer nur jene Lichtarten, welche absorbiert werden (bei der Photographie insbesondere violette, bei der Chlorophyllbildung rotes Licht).

Das Licht kann auch Körper zum Leuchten bringen in der Weise, daß anderes Licht entsteht als jenes, welches das Leuchten erregt hat, dann tritt Umwandlung einer Lichtart in eine andere ein, und zwar kann das in

zweierlei Weise geschehen. Manche Körper leuchten nur so lange, als sie von der primären Lichtquelle getroffen werden: diese Erscheinung heißt Fluoreszenz. Andere Körper leuchten, wenn sie einmal belichtet worden sind, auch nachträglich im Dunkeln: das ist die Phosphoreszenz. Zwischen beiden Gruppen von Erscheinungen kann man keine scharfe Grenze ziehen. Die Phosphoreszenz tritt bei den sogenannten Leuchtsteinen auf, die zur Herstellung von Aufschriften verwendet werden, die im Dunkeln lesbar sein sollen. Die Leuchtsteine bestehen gewöhnlich aus Schwefelkalzium oder ähnlichen Stoffen und leuchten nur, wenn sie außerdem eine geringe Menge von Mangan, Wismut usw. enthalten, und zwar je nach der Beimengung in einer bestimmten Farbe. Wir haben hier Leuchtsteine, welche nach der Belichtung in verschiedenen Farben leuchten. Wenn wir einen Leuchtstein dem Lichtbogen aussetzen, so bekommt er die Fähigkeit, lebhaft zu leuchten, und diese Fähigkeit dauert längere Zeit an; die nichtbelichtete Seite zeigt diese Fähigkeit nicht.

Was das Wesen des Lichtes betrifft, so stellt man sich vor, daß es eine Bewegung des sogenannten Äthers ist. Darunter denken Sie sich ein Ding, welches in jedem Raume, auch im sogenannten Vakuum vorhanden und gewichtlos ist. Das Licht wird aufgefaßt als eine Wellenbewegung des Äthers.

Wir können uns die Frage vorlegen, ob das Spektrum durch das, was wir gesehen haben, schon vollständig erschöpft sei. Ich habe schon erwähnt, daß sich die

Lichtarten, die verschiedenen Farben, durch die Brechbarkeit unterscheiden. Die Brechbarkeit hängt mit der Wellenlänge zusammen und die verschiedenen Lichtarten haben verschiedene Wellenlängen. Das rote Licht, welches am wenigsten brechbar ist, hat nach der Wellentheorie die größte Wellenlänge, das violette, die brechbarste Farbe, hat die kleinste Wellenlänge. Die Wellenlängen der verschiedenen Lichtarten liegen zwischen rund 0.0008 und 0.0004 *mm*. Es ist sehr unwahrscheinlich, daß es bloß Strahlen dieser Wellenlänge geben sollte. In der Tat gibt die Bogenlampe außer den sichtbaren Strahlen auch noch andere. Es gibt Strahlen, welche eine größere Brechbarkeit als das violette, und solche, welche eine geringere Brechbarkeit haben als das rote Licht; man kann sie aber nicht sehen, weil sie nicht auf das Auge wirken. Die Strahlen, welche eine geringere Brechbarkeit als das rote Licht haben, nennt man ultrarote Strahlen und man kann sie dadurch nachweisen, daß sie Körper, auf welche sie fallen, erheblich erwärmen. Strahlen, welche stärker brechbar sind als das violette Licht, heißen ultraviolette Strahlen. Sie sind auch nicht direkt sichtbar, aber sie wirken auf die photographische Platte und erzeugen Fluoreszenz wie sichtbares Licht. Vom sichtbaren Licht sind besonders die blauen und violetten Anteile diejenigen, welche (ohne Anwendung von Sensibilisatoren) auf die photographische Platte wirken und Fluoreszenz erregen. Wenn wir das Spektrum auf einen Schirm entwerfen, dessen obere Hälfte mit einer fluoreszierenden Substanz bedeckt ist, so

reicht auf der fluoreszierenden Hälfte oben die Lichterscheinung weiter, als unten das sichtbare Spektrum reicht. Es müssen also Strahlen da sein, welche zwar durch das Auge nicht direkt wahrgenommen werden, aber auf der oberen Hälfte des Schirmes Fluoreszenz erregen.

Die ultravioletten und ultraroten Strahlen unterscheiden sich nicht wesentlich von dem sichtbaren Licht, abgesehen davon, daß sie auf das Auge nicht einwirken.

Nicht wesentlich von den Lichtstrahlen verschieden sind auch die sogenannten elektrischen Wellen, welche wegen ihrer Verwendung zur drahtlosen Telegraphie sehr populär geworden sind. Der Unterschied der elektrischen Wellen von den Lichtstrahlen besteht nur darin, daß sie eine sehr viel größere Wellenlänge haben. Während die Wellenlängen des sichtbaren Lichtes nach Zehntausendtel von Millimetern zu messen sind, beträgt die Wellenlänge der elektrischen Wellen mehrere Zentimeter oder Meter.

Die elektrischen Wellen sind brechbar und reflektierbar, gerade so wie die Lichtstrahlen; sie durchdringen manche Körper, andere wieder nicht. In dieser Beziehung sind die Verhältnisse bei den elektrischen Wellen leichter zu beschreiben als bei dem Lichte. Im großen und ganzen werden Isolatoren von elektrischen Wellen durchdrungen, Metalle aber nicht. Organische Körper, welche eine bestimmte Konstitution haben (Hydroxylgruppen enthalten), absorbieren bestimmte elektrische Wellen, wie etwa das Kaliumpermanganat das grüne Licht ab-

sorbiert. Ein Unterschied zeigt sich allerdings zwischen den Licht- und den elektrischen Wellen, der aber, wie sich aus der Theorie ergibt, nur auf der verschiedenen Wellenlänge beruht. Das Licht pflanzt sich, soweit nicht die Trennungsfläche zweier Stoffe in Betracht kommt, geradlinig fort, infolgedessen werfen undurchsichtige Körper einen Schatten. Das gilt von den elektrischen Wellen von sehr großer Wellenlänge nicht; sie gehen wie der Schall um die Ecke herum. Die bisher besprochenen Strahlenarten bilden eine Gruppe, die in ihrem äußeren Auftreten recht verschieden sind, aber doch von derselben Wesenheit und nach der Theorie sich eigentlich nur quantitativ unterscheiden, und zwar in bezug auf die Wellenlänge; diese Unterschiede bedingen dann verschiedene Wirkungen.

Strahlen von ganz anderer Art bekommen wir, wenn wir den Durchtritt der Elektrizität durch Luft, überhaupt durch Gase betrachten. Der Apparat, den man hierzu verwendet, ist die sogenannte Geißlersche Röhre, d. i. eine zugeschmolzene Röhre, in der sich ein Gas befindet und in die zwei metallische Zuleitungen eingeschmolzen sind, durch welche man dem Gas Elektrizität zuführen kann. Wenn nun eine solche Röhre mit Gas von höherem Druck (etwa Atmosphärendruck) gefüllt wird, so geht die Elektrizität nicht durch, oder wenn die Spannung sehr groß ist, springen Funken über. Wenn der Druck aber nur einige Millimeter Quecksilber beträgt, bekommt man glänzende Lichterscheinungen. Die Lichterscheinung besteht darin, daß sich von der Anode, d. h.

von dem Metallteile, durch den die positive Elektrizität eintritt, Licht durch fast die ganze Röhre verbreitet; nur an der Kathode ist ein bläuliches Licht, vom Anodenlicht getrennt durch einen dunklen Raum. Das Licht an der Kathode ist bei gewöhnlichen Geißlerschen Röhren kaum sichtbar. Wenn man aber in das Rohr Gas von noch größerer Verdünnung einführt, so daß der Druck nur einen Bruchteil eines Millimeters ausmacht, dann ändern sich die Erscheinungen. Je weiter die Verdünnung fortschreitet, desto mehr zieht sich das Anodenlicht zurück und desto größer wird der dunkle Raum. Wenn man ein derartiges Rohr benützt, so treten zwei neue Arten von Strahlen auf, die Kathodenstrahlen und die Kanalstrahlen.

Diese beiden Strahlen zeigen in vieler Beziehung Auffälliges. Ich werde mich nur mit den Kathodenstrahlen näher befassen. Von ihren Eigenschaften sind vor allem zwei hervorzuheben. Während die Lichtstrahlen von der Lichtquelle nach allen Richtungen ausgehen, tun dies die Kathodenstrahlen nicht: sie gehen von der Quelle, von der Kathode, nur senkrecht zur Oberfläche weg. Eine zweite Eigenschaft, welche die Kathodenstrahlen von den Lichtstrahlen sehr augenfällig unterscheidet, ist die, daß sie vom Magnet abgelenkt werden. Wir können uns davon überzeugen. Wir haben hier eine Röhre, die folgendermaßen angeordnet ist. Hier haben wir die Kathode, hier die Anode; an letzterer befindet sich parallel zur Kathodenfläche ein metallisches Kreuz. Die Kathodenstrahlen treffen daher senkrecht auf die Fläche des

Kreuzes; dieses hält die Kathodenstrahlen auf. Nur Strahlen, die nicht auf das Kreuz treffen, gelangen auf die Glaswand. Eine weitere Eigenschaft der Kathodenstrahlen ist nun die, daß sie fast alle Körper zu lebhafter Fluoreszenz erregen. Dort also, wo die Kathodenstrahlen auf die Glaswand treffen, entsteht lebhaftere Fluoreszenz. Das Kreuz, welches sich im Innern der Röhre befindet, zeichnet sich als Schatten ab, weil das Kreuz die darauf treffenden Strahlen aufhält. Wenn wir in der Nähe dieser Röhre einen Magnet hin und her bewegen, bewegt sich auch der Schatten deutlich, ein Beweis dafür, daß der Gang der Kathodenstrahlen durch den Magnet beeinflußt wird.

Die Kathodenstrahlen haben noch eine Reihe von sehr bemerkenswerten Eigenschaften: z. B. haben sie ein sehr geringes Durchdringungsvermögen. Die Kathodenstrahlen erhitzen ferner die Körper, auf die sie treffen, sehr stark; dünne Metallblättchen können zum Glühen gebracht werden. Sie wirken lebhaft auf die photographische Platte. Allerdings muß man die empfindliche Platte in die Röhre hineinstecken, weil die Kathodenstrahlen aus dieser nicht in erheblichem Maße herausgehen. Eine weitere Eigenschaft der Kathodenstrahlen ist die, daß sie die Luft zu einem Leiter der Elektrizität machen. Trockene Luft ist bekanntlich unter normalen Umständen ein recht guter Isolator. Die Luft, durch welche Kathodenstrahlen gehen, isoliert nicht mehr, sie wird also zu einem Leiter.

Ferner ist noch zu erwähnen, daß die Kathodenstrahlen auch mechanische Wirkungen hervorrufen.

Wenn man in eine solche Röhre ein Rädchen bringt, so kommt es in eine lebhafte Rotation, eine Erscheinung, die insbesondere von Crookes untersucht wurde. Endlich haben die Kathodenstrahlen noch eine merkwürdige Eigenschaft: jedes Metall, auf welches sie treffen, bekommt eine negative elektrische Ladung.

Dieser letztere Umstand und die Ablenkbarkeit durch den Magnet ist für die Deutung der Kathodenstrahlen von ausschlaggebender Bedeutung. Man faßt sie auf als negativ geladene materielle Teilchen, welche mit großer Geschwindigkeit von der Kathode weggeschleudert werden. Die Größe dieser Teilchen kann man aus der Ablenkung, welche sie durch den Magnet erfahren, berechnen und da hat es sich gezeigt, daß die Größe dieser Teilchen sehr viel kleiner angenommen werden muß als die Größe der Atome. Bekanntlich stellen wir uns die Teilbarkeit der Materie nicht als eine unbegrenzte vor und nehmen an, daß sie den Raum nicht kontinuierlich ausfüllt. Wir nehmen an, daß wenn wir einen Körper beliebig lang mechanisch verkleinern könnten, wir auf kleinste Teilchen (Molekeln) kämen, welche sich mechanisch nicht mehr zerteilen lassen. So besteht z. B. Wasser nach unserer Auffassung aus einer sehr großen Anzahl von untereinander gleichartigen Wassermolekeln, welche sich mechanisch nicht mehr weiter teilen lassen. Diese Molekeln bestehen nach der herrschenden Auffassung aus Atomen jener Elemente, welche aus dem Wasser ausgeschieden werden können, also aus Wasserstoff- und Sauerstoffatomen. Eine Mo-

lekel Wasser hat zwei Atome Wasserstoff und ein Atom Sauerstoff. Die Größe, die wir den Atomen zuschreiben müssen, um die physikalischen Erscheinungen zu erklären, hat man berechnet und man ist zu dem Resultat gekommen, daß ein Wasserstoffatom 8×10^{-22} Milligramm wiegt, d. i.

0.000.000.000.000.000.000.000.8 Milligramm.

Man hat die Masse der Teilchen ausgerechnet, aus denen die Kathodenstrahlen bestehen, und da hat man gefunden, daß die Masse eines solchen Teilchens, welches man Elektron nennt, ein Zweitausendstel von der genannten Zahl beträgt, also eine verschwindend kleine Größe. Um sich von der Kleinheit einen Begriff zu machen, führe ich Ihnen folgenden hübschen Vergleich an: Die Größe der Elektronen verhält sich zur Größe eines Bazillus wie die Größe des Bazillus zur Größe der Erdkugel! Durch diese Untersuchungen ist man zu der Auffassung gekommen, daß die Atome nicht die einzige Art von Massen sind, mit denen man zu rechnen hat, sondern daß man noch viel kleinere Massen in Betracht zu ziehen hat.

Die Kathodenstrahlen sind schon seit vielen Dezenenien bekannt. Sie wurden von Hittorf entdeckt, aber erst im letzten Dezennium sind sie in den Vordergrund des Interesses getreten, und zwar zunächst darum, weil sie zur Auffindung der Röntgenstrahlen geführt haben. Überall, wo Kathodenstrahlen auf einen festen Körper auftreffen und ihn zum Fluoreszieren bringen,

gehen die Röntgenstrahlen aus. Die Röntgenstrahlen unterscheiden sich von den Kathodenstrahlen dadurch, daß sie sich gerade so wie die Lichtstrahlen vom Ausgangspunkt nach allen Richtungen, nicht bloß senkrecht von der Oberfläche weg, ausbreiten, ferner dadurch, daß sie durch den Magnet nicht ablenkbar sind. Aber sie unterscheiden sich wesentlich auch von den Lichtstrahlen: die Röntgenstrahlen sind nicht brechbar. Sie wirken auf die photographische Platte, sie machen die Luft zu einem Leiter wie die Kathodenstrahlen und sind insbesondere durch ein hohes Durchdringungsvermögen ausgezeichnet und dadurch ist die praktische Anwendung der Röntgenstrahlen bedingt. Zahlreiche Körper, welche für das Licht undurchlässig sind, werden von den Röntgenstrahlen durchdrungen. Es hat sich im großen und ganzen gezeigt, daß die Durchdringbarkeit durch Röntgenstrahlen hauptsächlich mit der Dichte der Körper zusammenhängt und relativ, wenn auch nicht ganz unabhängig von der Natur der Körper ist. Körper von geringem spezifischen Gewicht wie z. B. Glas und Aluminium lassen die Strahlen durch, dagegen lassen schwere Metalle die Strahlen wenig durch. Ganz genau nach dem spezifischen Gewicht geht es nicht, denn Blei hält die Strahlen vollständiger zurück als Gold, welches ein höheres spezifisches Gewicht hat.

Was die Röntgenstrahlen eigentlich sind, darüber ist man sich noch nicht klar. Da die Brechung diesen Strahlen fehlt, so liegt hierin ein so wesentlicher Unterschied gegenüber dem Licht, daß man sie nicht mit den

Lichtstrahlen zusammenwerfen kann; es ist aber auch keine Möglichkeit vorhanden, sie den Kathodenstrahlen anzureihen. Wahrscheinlich sind sie eine besondere Art von Bewegungen des Äthers. Das Durchdringungsvermögen der Röntgenstrahlen läßt sich leicht zeigen und ebenso ihre fluoreszenzerregende Wirkung. Hier haben wir einen Karton, dessen Vorderseite mit einer fluoreszierenden Substanz (Baryumplatinzyanür) überzogen ist. Man sieht, daß der Schirm fluoresziert, obwohl die Röntgenstrahlen auf die Rückseite des Kartons auffallen; sie können die fluoreszierende Substanz nur erreichen, wenn sie durch den undurchsichtigen Karton hindurchgehen. Hält man eine Hand vor den Karton, so sieht man das Bild der Knochen. Diese Erscheinung beruht darauf, daß das Fleisch für Röntgenstrahlen durchlässiger ist als die Knochen. Wenn man eine Geldbörse vorhält, so sieht man das darin enthaltene Metall.

Unmittelbar an die Röntgenstrahlen knüpfen die Erscheinungen an, über die ich eigentlich zu sprechen habe. Die Röntgenstrahlen gehen von dem fluoreszierenden Teil der Geißlerschen Röhre aus, welcher von den Kathodenstrahlen getroffen wird. Es war der Gedanke naheliegend, zu versuchen, ob nicht auch bei Körpern, die nicht unter dem Einfluß der Kathodenstrahlen, sondern unter der Wirkung des Lichtes fluoreszieren, Röntgenstrahlen auftreten.

Von diesem Gesichtspunkt ausgehend, hat man zahlreiche fluoreszierende Substanzen untersucht, aber in der Regel nichts gefunden. Zu den im Licht fluoreszierenden

Körpern gehören auch verschiedene Verbindungen des Urans, Uranglas usw. An diesen Uranverbindungen hat nun Becquerel eine Strahlung gefunden, welche aber andere Eigenschaften zeigt als die Röntgenstrahlen. Die von den Uranverbindungen ausgehenden Strahlen (Becquerelstrahlen) gleichen den Röntgenstrahlen dadurch, daß sie auch auf die photographische Platte einwirken und die Luft leitend machen; dagegen haben sie ein sehr geringes Durchdringungsvermögen, denn sie werden schon durch einige Zentimeter Luft sehr abgeschwächt, ja fast vollständig aufgehalten. Bald hat man gefunden, daß diese Strahlen durch den Magnet abgelenkt werden. Das wurde ungefähr gleichzeitig von Becquerel, von Giesel und von Meyer und von Schweidler in Wien entdeckt. Es hat sich ferner gezeigt, daß die Becquerelstrahlen nicht bloß von fluoreszierenden Uranverbindungen, sondern von allen Uranverbindungen und auch von metallischem Uran, welches nicht die Spur einer Fluoreszenz zeigt, ausgesendet werden. Dadurch ist nachgewiesen, daß ein Zusammenhang zwischen den Becquerelstrahlen und der Fluoreszenz nicht besteht, sondern daß vielmehr das Uran die Eigenschaft hat, sowohl im freien Zustande als in seinen Verbindungen diese Strahlen auszusenden. Die Fähigkeit, Becquerelstrahlen auszusenden, ist also eine Eigenschaft des Uranatoms, gleichgültig, in welcher Verbindung es sich befindet. Dies ist der Punkt, wo die Untersuchungen des Ehepaares Curie in Paris einsetzen, welche so berühmt geworden sind. Sie fanden zunächst, daß das Strahlungsvermögen

von Uranverbindungen im allgemeinen dem Urangehalt entspricht, unabhängig von der Natur der Verbindung. Dann wurde sowohl von den Curies wie gleichzeitig von Schmidt gefunden, daß auch die Thoriumverbindungen diese Eigenschaft haben. Thorium ist bekanntlich der Hauptbestandteil der Auerstrümpfe.

Ich habe erwähnt, daß die Intensität der Strahlen dem Urangehalt entspricht. Davon macht eine merkwürdige Ausnahme das wichtigste Uranerz, die Pechblende, ein ziemlich seltenes Mineral, welches in Joachimstal verarbeitet wird, um Uranverbindungen daraus zu machen, weil sie als Farbe in der Glas- und Porzellanmalerei verwendet werden. Speziell dieser Pechblende und der von Příbram kommt die Eigentümlichkeit zu, daß ihr Strahlungsvermögen etwa fünfmal größer ist, als es dem Urangehalt entsprechen würde. Nicht jede Pechblende zeigt dieses Verhalten. Die englische Pechblende hat ein Strahlungsvermögen, welches nicht oder nicht viel größer ist, als dem Urangehalt entspricht.

Der Umstand, daß gewisse Pechblenden ein stärkeres Strahlungsvermögen haben, ließ die Vermutung auftauchen, daß sie neue Stoffe enthalten müssen, welche ein stärkeres Strahlungsvermögen als Uran haben. Das war der Leitfaden, welcher die Curies bei ihren Untersuchungen führte und einen so schönen Erfolg zeitigte.

Durch die Untersuchungen der Curies und anderer Forscher ist es sehr wahrscheinlich geworden, daß es eine ganze Reihe von neuen sogenannten radioaktiven Elementen gibt, welche die Eigenschaft haben, in allen

ihren Verbindungen Becquerelstrahlen auszusenden. Gut charakterisiert wurde von diesen Elementen nur das Radium. Das erste hierher gehörige Element ist das Polonium. Ich muß nunmehr anführen, wie die Pechblende aufgearbeitet wird. Sie wird in Joachimstal nach den vorliegenden Angaben nötigenfalls geröstet, um den Schwefelgehalt wegzubringen, und dann mit Soda und eventuell etwas Salpeter aufgeschlossen. Dann wird mit Wasser und verdünnter Schwefelsäure ausgezogen. Dabei geht das Uran in Lösung über. Es bleibt ein Rückstand, den die verdünnte Schwefelsäure nicht auflöst; dieser hat stark radioaktive Eigenschaften, viel stärker als Uran.

Die Pechblende hat im wesentlichen die Formel U_3O_8 . Aber fast alle natürlich vorkommenden Minerale sind nicht rein. Das Uranerz enthält viele andere Substanzen, so Blei, Baryum, Wismut, Eisen usw.; die fremden Substanzen bleiben bei der Verarbeitung größtenteils im unlöslichen Rückstand zurück. Wenn man dann seine Bestandteile trennt, bekommt man Blei-, Baryum-, Wismutverbindungen usw. Die abgeschiedenen Wismutverbindungen zeigten den Curies starke Radioaktivität, und zwar eine viel stärkere, als Uran aufzuweisen hat. Daraus schlossen sie, daß in dem Wismut aus Pechblende ein neues, stark radioaktives Element sein müsse, welches sie Polonium nannten; denn Wismutpräparate anderer Herkunft sind nicht radioaktiv. Die radioaktive Substanz, welche das Wismut begleitet, wurde auch von anderen Forschern untersucht, so von Giesel, dem Chemiker der Braunschweiger Chininfabrik, und von Mark-

wald in Berlin. Es ist hier noch nicht alles klargestellt; jedenfalls ist es noch nicht gelungen, radioaktive Begleiter der Wismutpräparate aus Uranpecherz rein darzustellen.

Viel glücklicher war das Ehepaar Curie mit einem zweiten Element, das sie mit Bémont entdeckten und welches das Baryum aus Pechblende begleitet, mit dem Radium. Es ist auf Grund der Eigenschaft, daß das Radiumchlorid im Wasser schwerer löslich ist als Baryumchlorid, gelungen, das Baryum vom Radium fast vollständig zu trennen. Ferner vermutet man ein radioaktives Element, welches dem Thorium nahesteht. Diesbezüglich wurde zuerst eine Beobachtung gemacht von Debierne, dem Chemiker jener Fabrik, welche für Curie große Mengen von Uranrückständen verarbeitete. Es handelt sich da um Quantitäten, welche man in einem Laboratorium nicht bewältigen könnte, daher muß die Scheidung in einer Fabrik vorgenommen werden. Debierne hat gefunden, daß die Anteile der Uranrückstände, welche nicht durch Schwefelwasserstoff, wohl aber durch Ammoniak fällbar sind, ebenfalls stark radioaktiv sind, und hat vermutet, daß sie ein radioaktives Element enthalten, welches chemisch dem Thorium nahesteht. Dieses nannte er Aktinium; es war bisher nicht möglich, es rein darzustellen. Andere radioaktive Stoffe übergehe ich, weil ihre Existenz noch nicht genügend sichergestellt ist.

Wir müssen uns daher bezüglich der chemischen Beschreibung auf das Radium beschränken, welches das

einziges radioaktive Element ist, das bisher annähernd rein dargestellt worden ist.

Durch fortwährendes Umkristallisieren des Baryumchloridpräparates kommt man zu einem Präparat, welches in seinem Spektrum die Linien des Baryums kaum mehr zeigt. Dafür enthält das Spektrum neue Spektrallinien, welche keinem bekannten Elemente zukommen. Dadurch ist bewiesen, daß ein neuer Körper da ist, und es ist ferner unwahrscheinlich gemacht, daß der Körper noch erhebliche Mengen von Baryum enthält. Neue Linien im sichtbaren Spektrum wurden zuerst von Demarcay in Paris gefunden. Später hat sich gezeigt, daß auch im Ultraviolett neue Linien auftreten. An letzterer Feststellung ist in Wien Dr. Haschek beteiligt.

Ich will noch Angaben der Curies über die Mengen des Radium erwähnen. Aus 1000 *kg* Uranrückständen läßt sich nur ein Zentelgramm Radium gewinnen, also der 10millionste Teil. Dabei bilden die Uranrückstände nur einen verhältnismäßig kleinen Teil des ursprünglichen Erzes. Das metallische Radium rein darzustellen, ist nur eine Frage der Beschaffung des nötigen Materials. Coehn in Göttingen ist es bereits gelungen, ein Amalgam des Radiums darzustellen.

Die Radiumverbindungen zeigen außerordentlich merkwürdige Eigenschaften. Vor allem leuchten sie von selbst. Es ist allerdings kein intensives Leuchten, welches man bei Tageslicht sehen könnte; man sieht es nur im Dunkeln, am besten mit ausgeruhtem Auge. Das hier befindliche Radiumpräparat, welches Herr Dr. med.

Kaiser zur Verfügung gestellt hat, zeigt das Leuchten sehr schön.

Radiumsalze zeigen ganz merkwürdige chemische Reaktionen. Das feste Radiumbromid zersetzt sich fortwährend und gibt Brom ab, was absolut unerwartet ist. Luft wird ozonisiert gerade so wie durch elektrische Entladungen. Radiumsalze zersetzen Wasser ebenso wie die Elektrolyse, wenn auch mit geringerer Geschwindigkeit. Wenn man feste Radiumpräparate aufbewahrt, so entwickeln sich ebenfalls Gase.

Eine ebenfalls völlig unerwartete Eigenschaft des Radiums ist die, daß es fortwährend eine sehr bedeutende Wärmemenge abgibt. Ein Gramm Radium liefert in einer Stunde mindestens 100 Kalorien, ohne daß es eine nachweisbare Veränderung erleidet. Ferner senden die Radiumverbindungen in intensivster Weise Becquerelstrahlen aus. Die Strahlung des Radiums ist eine millionmal so intensive wie die der Pechblende und diese ist fünfmal so groß wie die der Uranverbindungen. Diese Strahlung hat eine Menge von starken Wirkungen, sie wirkt fluoreszenzerregend, macht wie die Uranstrahlen die Luft leitend, sie ist magnetisch ablenkbar und übt eine intensive chemische Wirkung aus. Gläser färben sich unter ihrem Einflusse mit der Zeit tiefbraun oder (je nach der Natur des Glases) auch violett. Papier, welches längere Zeit bestrahlt wird, wird brüchig und zerfällt schließlich ganz. Auch Porzellan färbt sich; ferner auch Kochsalz und Chlorkalium wie durch Kathodenstrahlen. Ein baryumhaltiges Radiumpräparat färbt sich ebenfalls.

Man kann eine Fluoreszenzerregung durch ein Radiumpräparat leicht zeigen. Wenn man das Radiumpräparat hinter einen fluoreszierenden Schirm hält, so sieht man das Leuchten des Schirmes. Sehr gut leuchten auch Willemit und Kunzit (Versuch).

Die Radiumstrahlen machen Luft zu einem Leiter. Um diesen Versuch zu machen, verwenden wir das Elektroskop. Ich werde mir erlauben, Ihnen diesen Apparat kurz ins Gedächtnis zurückzurufen.

Das Elektroskop ist im wesentlichen ein Metallstab, an welchem sich zwei dünne Metallplättchen befinden. Wenn ich diesen Metallstab mit einem elektrischen Körper berühre, so wird das ganze Metall gleichnamig elektrisch und die zwei beweglichen Plättchen werden sich abstoßen. Wenn nun die Luft, in welcher sie sich befinden, kein Leiter ist, so werden die Plättchen längere Zeit divergierend bleiben. Wenn man in die Nähe des geladenen Elektroskops einen radioaktiven Körper gibt, so fallen die Plättchen rasch zusammen (Versuch). Das ist erklärlich. Die Ladung des Elektroskops muß rasch an die Umgebung abgegeben werden, wenn die Luft zu einem Leiter wird.

Nun zu den physiologischen Wirkungen der Radiumstrahlen. Die Radiumstrahlen verursachen auf der Haut Veränderungen, welche ungefähr den Brandwunden entsprechen. Eine lange und intensive Einwirkung von Radium bewirkt die Entstehung von Geschwüren, die nur langsam heilen. Ferner ist die Wirkung auf das Auge zu beachten. Radium erzeugt im dunklen Raume

auf das Auge eine Lichtwirkung, und zwar auch auf das geschlossene Auge. Wenn man ein Radiumpräparat an die Schläfe anlegt, so entsteht im Auge eine Lichtempfindung. Hierbei durchdringen die Radiumstrahlen zunächst Haut und Knochen. Wahrscheinlich kommt dann die Lichtempfindung in der Weise zustande, daß das Radium den Augapfel zur Fluoreszenz bringt und daß dieses Fluoreszenzlicht auf die Netzhaut wirkt. Diese Lichtempfindung kann infolgedessen nur dann eintreten, wenn der der Wirkung ausgesetzte Mensch eine intakte Netzhaut hat. Man hat Hoffnungen erwecken wollen, dahingehend, daß mit Hilfe des Radiums Blinde sehend gemacht werden. Doch ist dafür nach dem, was man weiß, keine Aussicht vorhanden. Dann ist zu erwähnen, daß die Radiumstrahlen in viel ausgeprägterem Maße als die Uran- und Thoriumstrahlen auf die photographische Platte wirken; daher kann man ebenso wie mit Röntgenstrahlen auch mit Radiumstrahlen Aufnahmen machen. In der Aufnahme zeigt sich, daß die einen Stoffe für Radiumstrahlen durchlässiger sind als die anderen. Die nicht durchlässigen oder die nur wenig durchlässigen geben einen Schatten. Ich will jetzt die „Radiographie“ eines Schlüssels in einem Lederfutteral zeigen, welche von Herrn Dr. Kaiser hergestellt ist (Projektion). Sie sehen, daß man mit Radium auch photographieren kann.

Die Strahlen des Radiums bestehen aus drei verschiedenen Strahlenarten, die von verschiedenen Forschern untersucht worden sind und von Rutherford als α -, β - und γ -Strahlen bezeichnet werden. Die α -Strahlen

sind Strahlen, welche vom Magneten sehr wenig, aber doch abgelenkt werden und welche ein geringes Durchdringungsvermögen haben. Einige Zentimeter Luft vernichten zum großen Teile diese Strahlen. Sie haben Ähnlichkeit mit den Kanalstrahlen, die ich im Zusammenhang mit den Geißlerröhren erwähnt habe. Die β -Strahlen gehören zu den Kathodenstrahlen. Sie werden vom Magneten stark abgelenkt, und zwar nach der entgegengesetzten Richtung wie die α -Strahlen. Man sieht bei dem Versuch deutlich, daß die β -Strahlen selbst nicht einheitlich sind, sondern daß sie aus Strahlen von verschiedener Ablenkbarkeit bestehen, geradeso wie die sichtbaren Lichtstrahlen von verschiedener Brechbarkeit sind. Von den Kathodenstrahlen der Kathodenröhren unterscheiden sich die β -Strahlen hauptsächlich durch ein viel größeres Durchdringungsvermögen. Man faßt die Strahlen als Kathodenstrahlen, d. h. negativ geladene Elektronen auf, welche eine größere Geschwindigkeit haben als Kathodenstrahlen der Geißlerröhren. Entsprechend dieser großen Geschwindigkeit sind auch die β -Strahlen durch den Magneten weniger ablenkbar als die Kathodenstrahlen.

Die dritte Art der Strahlen, die sogenannten γ -Strahlen, sind wahrscheinlich identisch mit den Röntgenstrahlen. Die Menge der γ -Strahlen ist verhältnismäßig nur gering.

Die verschiedenen radioaktiven Substanzen unterscheiden sich im allgemeinen auch durch die Art der Strahlen, die sie aussenden. Das Curiesche Polonium

sendet nur α -Strahlen aus, oder, wenn noch andere Strahlen dabei sind, dann sind diese nur in so geringer Menge vorhanden, daß man sie kaum nachzuweisen in der Lage ist. Man kann also radioaktive Substanzen durch ihre Strahlung unterscheiden wie die chemischen Elemente mit Hilfe des Spektrums. Uran und Thorium geben α - und β -Strahlen. Doch damit sind die Eigenschaften der radioaktiven Substanzen nicht erschöpft. Wenn man über Radium oder Thorium einen Luftstrom sendet, so wird er selbst radioaktiv. Die Sache verhält sich nach den Untersuchungen von Rutherford genau so, wie wenn man der Luft ein radioaktives Gas beimengen würde. Man nennt das Ding, welches sich der Luft beimischt, Emanation. Die Emanation diffundiert wie ein Gas. Sie kann auch wie ein Gas durch Abkühlung kondensiert werden. Man hat ferner untersucht, wie sich die Emanation gegen chemische Reagentien verhält; sie wurde dadurch nicht verändert. Also verhält sich die Emanation wie ein chemisch indifferentes Gas, wie ein Gas der Argonreihe, soweit die Versuche bisher ein Urteil gestatten.

Radioaktive Substanzen machen also die Luft selbst radioaktiv. Diese Wirkung äußert sich aber nicht nur der Luft gegenüber, sondern jeder beliebige Körper, welcher mit einem radioaktiven Körper direkt oder durch Vermittlung von Gasen in Berührung kommt, wird selbst radioaktiv; verschiedenartige Körper werden unter gleichen Bedingungen ungefähr in dem gleichen Maße radioaktiv. Diese Radioaktivität, die auf andere Substanzen

übertragen wird, nennt man induzierte Radioaktivität. Besonders negativ elektrisch geladene Substanzen werden stark induziert. Diese induzierte Radioaktivität verhält sich wie ein Stoff. Wenn ein Platindraht radioaktiv gemacht wurde und man wischt ihn mit Watte ab, so wird die Watte radioaktiv. Auch durch Salzsäure kann die Radioaktivität vom Platindraht weggelöst werden. Die induzierte Aktivität ist im allgemeinen nicht haltbar. Sie verschwindet nach kurzer Zeit, je nach Umständen, in einigen Stunden oder Tagen. Ob sie länger oder kürzer hält, hängt zum Teil von der Natur des Stoffes ab, auf dem sie erregt wurde. So ist nachgewiesen, daß z. B. induziert aktiviertes Paraffin sehr lange die Aktivität beibehält. Die Dauer hängt aber insbesondere auch von dem radioaktiven Material ab, mit dem die induzierte Aktivität erregt wurde. Es ist nachgewiesen, daß z. B. die mit Thorium induzierte Aktivität viel länger andauert als die durch das Radium erregte. Auch in Lösungen treten Übertragungen der Radioaktivität auf. Wenn man beispielsweise gewöhnliches nicht radioaktives Baryumchlorid in Wasser löst, in diese Lösung etwas Aktinium gibt und dann kristallisieren läßt, so bekommt man in den ersten Kristallisationen stark radioaktives Baryumchlorid. Ein solches Chlorbaryum gibt kein Radiumspektrum. Es handelt sich also nicht um Verwandlung von Baryum in Radium, sondern um die Erteilung der Radioaktivität an das Baryumchlorid.

Ehe ich in die Theorie der radioaktiven Substanzen eingehe, will ich kurz bemerken, daß schwache

Radioaktivität ungemein verbreitet ist. Ein negativ geladener Draht wird in gewöhnlicher Luft (wenn auch nur schwach) radioaktiv. Es handelt sich hier um Radioaktivitäten, die etwa tausendmal geringer sind als die des Urans, welche selbst ein Millionstel von der des Radiums ist. Ferner ist es wahrscheinlich geworden, daß der Erdboden aktivierend wirkt. Es hat sich nämlich gezeigt, daß die Kellerluft radioaktiv ist, ebenso, daß Quellwässer, insbesondere auch manche Mineralquellen Radioaktivität aufweisen. Das ganze Gebiet ist noch in der Entwicklung begriffen und ich will nicht näher darauf eingehen.

Für die Theorie der radioaktiven Substanzen ist insbesondere die kolossale Energie, welche von ihnen ausgeht, wichtig. Ich habe schon gesagt, daß ein Gramm Radium in der Stunde 100 Kalorien entwickelt, ohne sich dabei merklich zu verändern. Das ist eine ganz enorme Leistung. Woher kommt diese Wärmeentwicklung? Anfangs hat man geglaubt, daß sie in ähnlicher Weise zustande kommt wie die Phosphoreszenz oder die Fluoreszenz, daß also eine Energie aufgenommen wurde und in anderer Form wieder abgegeben wird. Wenn man annimmt, daß es sich um eine Phosphoreszenzerscheinung handelt, so müßte man annehmen, daß die radioaktiven Materialien irgend einmal eine große Energiemenge aufgenommen haben, die sie jetzt noch allmählich abgeben, so wie ein Leuchtstein das Licht, das er aufgenommen hat, durch einige Stunden abgibt. Diese Annahme ist aber mit Rücksicht auf die große Energiemenge und

auch darum sehr unwahrscheinlich, weil Stücke, welche seit hundert Jahren aufbewahrt werden, geradeso radioaktiv sind wie diejenigen, welche frisch aus dem Bergwerk genommen werden. Eine andere Erklärung wäre folgende: Man könnte annehmen, daß die radioaktiven Substanzen fortwährend Energie aufnehmen und diese transformieren, daß also eine Art Fluoreszenz vorliegt. Woher sollte diese Energie stammen? Die größte Quelle von Energie ist für uns die Sonne. Der Annahme, daß das Radium seine Energie durch die Sonne erhält, steht der Versuch entgegen: wenn die Sonne die Quelle der Energie wäre, dann müßte, so sollte man meinen, das Radium zu Mittag stärker wirken als zu Mitternacht, wenn man nicht der aufzunehmenden Energie ein fabelhaftes Durchdringungsvermögen zuschreiben will. Ferner hat man den Versuch gemacht, in einem Schacht von 800 m Tiefe die Strahlung des Radiums zu beobachten, aber das Radium hat dasselbe Verhalten gezeigt wie an der Erdoberfläche und es hat mittags und mitternachts sich gleich verhalten. Man nimmt daher heutzutage meistens an, daß die Energie von einer chemischen Umwandlung herrührt, obwohl man das Radium als Element bezeichnet. Diese Annahme findet eine kräftige Unterstützung durch folgende Beobachtungen. Die emanationshältige Luft gibt Spektrallinien, welche ein nicht bekanntes Element anzeigen, und ferner hat Ramsay in London gefunden, daß die Emanation allmählich in Helium übergeht. Wenn man durch Radium aktivierte Luft einschließt, verliert sie allmählich die radioaktiven Ei-

enschaften. Dann gibt aber die Röhre, in welcher die Luft eingeschlossen war, ein Heliumspektrum. Es verwandelt sich also das Radium zuerst in Emanation und diese in Helium.

Dieser Befund ist sehr überraschend, so überraschend, daß Fachgenossen folgende Vermutung ausgesprochen haben: Ramsay ist der Entdecker des Heliums. Es ist daher naheliegend anzunehmen, daß in seinem Laboratorium größere Mengen Helium vorhanden sind als anderswo. Daher hat man der Vermutung Ausdruck gegeben, daß die Annahme, die Emanation verwandle sich in Helium, lediglich auf einem hierdurch bewirkten Versuchsfehler beruhe. Nun hat man aber auch dasselbe Experiment an anderen Orten gemacht und ist hierbei zu demselben Ergebnis gekommen. Daher ist der Einwand, der von vornherein nicht sehr wahrscheinlich war, als unzutreffend zu betrachten. Weiters kommt noch eines in Betracht. Man hat gerade in den uranhaltigen Mineralien immer Helium gefunden; das deutete darauf hin, daß zwischen Uran, Radium und Helium ein näherer Zusammenhang besteht. Das steht mit der Annahme im Einklang, daß das Radium sich allmählich zersetzt und daß dabei Helium gebildet wird, und dies erklärt auch eine früher rätselhafte Sache: Wenn Radiumchlorid aufgelöst wird und dann wieder auskristallisiert, so sind die erhaltenen Kristalle sehr wenig radioaktiv, dagegen ist das Wasser, das abdestilliert wird, stark radioaktiv. Die Kristalle sind um so weniger radioaktiv, in je mehr Wasser sie gelöst waren. Wenn man dann die Kristalle aufbewahrt,

so nimmt die Radioaktivität zu und nach etwa einem Monat hat sie sich bis zu einem Grenzwerte erhöht; das Radium hat sich erholt. Wenn man nun annimmt, daß sich das Radium fortwährend in einen anderen Stoff umwandelt, z. B. in Emanation, und daß dieser viel radioaktiver ist als das Radium selbst, dann steht die Sache so: Das gewöhnliche Radium enthält Emanation und verdankt seine hohe Radioaktivität dem Gehalt an Emanation. Nun löse ich es in Wasser auf und lasse das Radium wieder ausscheiden; jetzt bleibt die Emanation in der Hauptsache im Wasser und das Radium zeigt seine eigene viel geringere Radioaktivität. Bewahre ich es auf, so nimmt seine Radioaktivität infolge der Neubildung von Emanation wieder zu. Diese Auffassung wurde insbesondere angebahnt durch die schönen Arbeiten von Rutherford in Montreal. Diese haben merkwürdige Resultate ergeben. Thorium ist ein Körper von ziemlich schwacher Radioaktivität. Wenn man aus seinen Lösungen Thoriumhydroxyd mit Ammoniak ausfällt, so bekommt man einen Niederschlag, der weniger radioaktiv ist als das ursprüngliche Thorium. Der sehr geringe Rest, der nicht ausgefällt wurde, ist 1000mal stärker radioaktiv als das ursprüngliche Thorium. Durch Wiederholung des Prozesses kann man das ausfallende Thorium in seiner Radioaktivität so weit vermindern, daß sie nur ein Viertel des Anfangswertes beträgt. Dieses inaktiver gewordene Thorium nimmt die ursprüngliche Aktivität allmählich wieder an. Das stark radioaktive Thorium, welches in der Lösung geblieben ist und von Ruther-

ford Thorium X genannt wird, verliert mit der Zeit seine hohe Radioaktivität völlig.

Es wäre noch zu bemerken, daß das Thorium X chemisch dieselben Reaktionen zeigt wie gewöhnliches Thorium. Rutherford faßt die Sache so auf, daß das gewöhnliche Thorium aus dem eigentlichen Thorium und dem daraus durch eine Umwandlung entstehenden Thorium X besteht; letzteres ist viel stärker radioaktiv. Wenn man die Fällung mit Ammoniak macht, so fällt das eigentliche Thorium aus und das Thorium X bleibt gelöst. Wenn man dann das eigentliche Thorium aufbewahrt, so tritt teilweise eine Umwandlung in Thorium X ein bis zu einem Gleichgewichte, wodurch die Radioaktivität steigt. Das Inaktivwerden des Thoriums X ist auf eine Umwandlung in einen dritten Stoff, das inaktive Thorium Y zurückzuführen, während ein zweites Umwandlungsprodukt, nämlich die Emanation, entweicht.

Das möglichst inaktiv gemachte (eigentliche) Thorium unterscheidet sich vom gewöhnlichen Thorium dadurch, daß es fast nur α -Strahlen aussendet und keine Emanation gibt; das gewöhnliche Thorium sendet α - und β -Strahlen aus und gibt eine Emanation. Eine Reihe von Beobachtungen deutet also darauf hin, daß es sich da um eine chemische Umwandlung handelt. Ich erwähne noch, daß als eines der Produkte der chemischen Umwandlung auch die Elektronen angesehen werden können. Denn die β -Strahlen betrachtet man als wesensgleich mit den Kathodenstrahlen; sie bestehen also aus materiellen Teilchen, den Elektronen. In dieser Form wird also bei der

radioaktiven Strahlung eine kleine Menge Materie vollständig abgespalten. Wir haben demgemäß bei Radium zunächst eine Abspaltung von Elektronen und Emanation. Wenn man so die Energieentwicklung auf eine chemische Umwandlung zurückführt, so bleibt doch die Tatsache bestehen, daß das eine Energieentwicklung von ganz anderer Ordnung ist als die gewöhnlicher chemischer Reaktionen. Ein Gramm Radium gibt in einem Tage 100 mal 24, also rund über 2000 Kalorien. Dabei ist an dem Radium keine Veränderung weder im Gewicht noch in der chemischen Zusammensetzung nachweisbar. Man kann nicht annehmen, daß sich mehr als ein Zehntel Milligramm umgewandelt hat, denn sonst müsste dies konstatiert werden können. Die 2000 Kalorien sind also äußerstenfalls durch Umwandlung von 0·1 *mg* entstanden. Die Umwandlung von einem Gramm Radium gibt daher über 20 Millionen Kalorien. Nun betrachten wir gewöhnliche chemische Reaktionen. Die größte Wärmeentwicklung tritt wohl bei der Verbrennung von Wasserstoff auf; da bekommen wir bei Vereinigung von 1 *gr* Wasserstoff mit 8 *gr* Sauerstoff, also bei der Umwandlung von 9 *gr* rund 70.000 Kalorien. Ein Gramm Substanz gibt in dem einen Falle rund 8000 Kalorien, in dem anderen über 20 Millionen.

Wenn ich zum Schlusse auf die Bedeutung der radioaktiven Substanzen übergehe, so habe ich zu unterscheiden zwischen der theoretischen und der praktischen Bedeutung. Die theoretische Bedeutung ist enorm groß. Sie gibt einen neuen Einblick in die Beschaffenheit der

Materie. Wir lernen eine Art Umwandlung kennen, für die wir früher keine Beispiele anzugeben in der Lage waren und die wir ruhig als eine Verwandlung von Elementen ansehen können. Wir definieren die Elemente zwar als Körper, die nicht weiter zerlegt werden können, aber darunter verstehen wir Körper, die man mit den bisherigen Hilfsmitteln nicht mehr zerlegen kann. Denn daß unsere Elemente überhaupt nicht zerlegbar sind, ist schon nach dem bisher Bekannten kaum anzunehmen. Sehr auffällig ist die Tatsache, daß die Eigenschaften der Elemente untereinander in einem vollständig gesetzmäßigen Zusammenhange stehen, der sich als Funktion der Atomgewichte darstellt. Diese Gesetzmäßigkeit ist unter dem Namen „Periodisches System“ bekannt und sie zeigt, daß die einzelnen Elemente nicht ganz unabhängig von einander bestehen, sondern daß bestimmte Beziehungen zwischen ihnen vorhanden sind. Es läßt sich daraus vermuten, daß die Elemente etwas Gewordenes und daher auch nicht unzerstörbar sind. Nun könnte man allerdings sagen: Wir können Radium und Thorium zerlegen, daher sind diese Körper keine Elemente, sondern sind als Radikale aufzufassen ähnlich wie Cyan. Cyan verhält sich vielfach wie das Element Chlor. So könnte auch Thorium eine Verbindung sein, welche das Verhalten von Elementen nachahmt. Dagegen spricht aber manches. Erstens zeigen die Verbindungen, wie das Cyan, Spektren, deren Beschaffenheit von der unserer Elemente charakteristisch verschieden ist. Uran, Thorium und Radium haben dagegen Spektren wie andere Elemente.

Zweitens läßt sich ein Radikal wie Cyan in das periodische System der Elemente nicht einreihen. Dagegen paßt Thorium oder Uran in dieses System hinein und auch für das Radium ist diese Einreihung so gut wie gesichert. Man kann jedenfalls sagen, daß Thorium und Radium Körper sind, welche anderen Elementen ganz ähnlich sind. Sind sie zerlegbar, dann sind auch alle anderen Elemente im Prinzip zerlegbar. Allerdings ist die Leichtigkeit der Zerlegbarkeit eine verschiedene und es ist sehr auffällig, daß alle bekannten radioaktiven Substanzen zugleich diejenigen Elemente sind, welche das höchste Atomgewicht haben. Uran hat das höchste Atomgewicht, nämlich 240, Thorium hat 232 und Radium 225. Die Unbeständigkeit dieser Elemente erscheint also als Folge des hohen Atomgewichtes. Wie sich diese Fragen noch weiter entwickeln werden, läßt sich nicht sagen.

In einer anderen Beziehung war die Radiumstrahlung ebenfalls bereits wichtig, denn man hat auch an ihr die Größe der Elektronen bestimmt und sie ebenso groß gefunden wie in den Kathodenstrahlen. Es ist leicht möglich, daß man durch eine genauere Kenntnis der radioaktiven Substanzen auch verschiedene Detailfragen erledigen wird, die jetzt noch im Dunkeln liegen. Hierher gehören unter andern Fragen, die für die Medizin von hoher Bedeutung sind. Es ist bekannt, daß ein Schlamm aus Italien, der sogenannte Fango, gegen Gicht und dergleichen ein außerordentlich kräftiges Heilmittel sein soll. Die Heilwirkung ist aus der Zusammensetzung des Schlammes nicht recht erklärlich. Nun hat man gefun-

den, daß dieser Schlamm verhältnismäßig stark radioaktiv ist. Man kann nicht ohne weiteres behaupten, daß diese Radioaktivität die Ursache der Wirkung ist, aber es ist immerhin die Möglichkeit vorhanden, daß ein Zusammenhang besteht. Ähnliches gilt für die Thermen von der Art des Gasteiner Wassers. Es ist dies ein sehr reines Wasser, reiner als manche Brunnenwässer. Warum es wirksam ist, war früher ganz unerklärlich, denn daran, daß die Erdwärme eine andere Wärme ist als diejenige, welche wir künstlich erzeugen, glaubt niemand. Man hat geglaubt, die Wirkung dadurch erklären zu sollen, daß es eben ein sehr reines Wasser ist. Das Wasser wirkt auf den Organismus verschieden, je nachdem es mehr oder weniger fremde Körper enthält. Das reine Wasser hat ein größeres Bestreben, sich mit den Flüssigkeiten des Körpers zu vereinigen, als minder reines.

Der großen Reinheit des Wassers entspricht ein sehr kleines elektrisches Leitungsvermögen. Überzeugend ist aber ein Zusammenhang zwischen diesen Eigenschaften und der Heilwirkung bisher nicht dargetan. Vielleicht wird sich eine Aufklärung daraus ergeben, daß viele Quellen radioaktiv sind; speziell vom Gasteiner Wasser ist dies bereits durch Dr. Macho in Wien nachgewiesen.

Was die praktische Bedeutung der radioaktiven Substanzen anlangt, so ist diese vorläufig eine geringe. Der Grund hierfür liegt vor allem in der außerordentlichen Seltenheit dieser Substanzen. Fast alle bis-

her dargestellten radioaktiven Substanzen entstammen der Pechblende aus Joachimstal. Es sind wohl auch andere Fundorte und andere radioaktive Mineralien bekannt; aber wahrscheinlich ist die bergmännische Ausbeutung nicht so reichlich, wie es erforderlich wäre. Praktische Bedeutung hat bisher nur Joachimstal. Ich habe bereits auseinandergesetzt, wie klein der Gehalt der Erze an Radium ist. Ich kann noch beifügen, daß der Radiumgehalt des gesamten Joachimstaler Erzlagers auf kaum mehr als 100 *kg* geschätzt werden kann, jedenfalls handelt es sich nur um minimale Quantitäten. Der Seltenheit entsprechend ist auch der Preis: ein Gramm Radiumbromid kostete vor einigen Jahren 15.000 Kronen. Jetzt überläßt die österreichische Regierung die Rückstände nicht mehr dem freien Verkehr; zum Teil werden sie der Akademie der Wissenschaften in Wien, zum Teil dem Ehepaar Curie überwiesen. Für andere Leute ist radioaktives Material jetzt sehr schwer zugänglich; infolgedessen ist der Preis eines Gramms Radiumbromid auf fast 400.000 Kronen gestiegen. Vielleicht wird man noch andere Fundorte finden. Der Umstand, daß ein Körper gegenwärtig sehr selten ist, berechtigt indes noch nicht zu sagen, daß er technisch nicht anzuwenden sei. Man denke nur an die Geschichte von Auers Gasglühlicht. Zur Zeit seiner Erfindung waren das Thorium und Cerium auch äußerst selten und jetzt ist das für die Glühstrümpfe nur in geringer Menge erforderliche Cerium so billig geworden und in so großer Menge vorhanden, daß man nach Verwendungen sucht, um den Über-

schuß los zu werden. Bei den radioaktiven Substanzen wird es wohl nicht ganz so gehen, aber jedenfalls braucht einem nicht von vornherein bange zu werden, daß solche Minerale nicht gefunden würden. Jedenfalls wird man in absehbarer Zeit von der großen Wärmeentwicklung des Radiums keinen Gebrauch machen. Wir haben ja in der Sonne auch eine riesige Energiequelle und nützen sie nicht aus. Es kommt darauf an, daß uns die Energie in einer Form geboten werde, daß wir sie mit unseren gegenwärtigen Hilfsmitteln ökonomisch ausnützen können; das wird aber beim Radium wohl nie der Fall sein und demgemäß wird die praktische Anwendung eine sehr geringe bleiben. Die wichtigste Anwendung ist gegenwärtig die für wissenschaftliche Apparate, insbesondere zur Messung der Lufterlektrizität. Es handelt sich hierbei darum, die Luft leitend zu machen, damit die Meßapparate dieselbe Spannung annehmen wie die Luft.

Man hat auch an verschiedenen Orten versucht, das Radium in der Medizin anzuwenden. In Wien haben es die Herren Exner und Holzknicht zur Heilung von Krebs verwendet und es scheint, daß es gewisse Wirkungen erzielt. Man muß aber hierbei bedenken, daß eine ähnliche Wirkung auch z. B. mit den Röntgenstrahlen erzielt worden sein soll — doch darüber kann ich nicht urteilen. Immerhin bietet das Radium gewisse Vorteile, weil man einen festen Körper unter Umständen besser lokal applizieren kann, was sich mit den Röntgenstrahlen nicht so gut machen läßt. Jedenfalls befindet sich die medizinische Anwendung noch im Versuchsstadium.

Wenn man auch die praktische Bedeutung des Radiums nur gering taxieren kann, so muß man doch sagen, daß es eine der allerwichtigsten Entdeckungen gewesen ist, welche die Auffassung von der Materie und der ganzen Natur in epochemachender Weise beeinflußt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1905

Band/Volume: [45](#)

Autor(en)/Author(s): Wegscheider Rudolf Franz Johann

Artikel/Article: [Über radioaktive Substanzen. 259-297](#)