

stellungen aufweist, sich nicht zwanglos bei einer Revision der Grundlagen der statistischen Mechanik aufklären werden.

Man hat von vielen Seiten versucht, das Knäuel von Fragen, das so entstanden ist, zu entwirren, aber ohne irgendwie zu einer Klärung zu gelangen. Schon vor mehr als einem Jahr unternahm man den Versuch, durch gemeinsame Arbeit und Aussprache der hervorragendsten Forscher auf dem Gebiete der Molekularphysik vorwärts zu kommen; die Sitzungsberichte dieses internationalen „Brüsseler Quantenkongresses“, der von Herrn *Solvay* einberufen worden war, sind soeben erschienen¹⁾ und geben die beste Übersicht über den Stand der Quantentheorie, der sich seit jenem Kongresse wenig verschoben hat. Heute steht die Begründung dieser Lehre im Vordergrund und, was aufs engste damit zusammenhängt, die Revision der Grundlagen der statistischen Mechanik. Der Diskussion all dieser Fragen soll ein neuer Kongreß dienen, welcher von der Kommission der Wolfskehlstiftung der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen für die Zeit vom 21. bis 26. April 1913 einberufen worden ist. Eine Übersicht über die Gegenstände, welche dort verhandelt werden sollen, gibt am besten das Verzeichnis der Vorträge, an welche sich die Diskussionen anschließen sollen²⁾:

1. *M. Planck*, Berlin: Gegenwärtige Bedeutung der Quantenhypothese für die Gastheorie.
2. *P. Debye*, Utrecht: Die Zustandsgleichung auf Grund der Quantenhypothese.
3. *W. Nernst*, Berlin: Kinetische Theorie der festen Körper.
4. *M. v. Smoluchowski*, Lemberg: Gültigkeitsgrenzen des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie.
5. *A. Sommerfeld*, München: Probleme der freien Weglänge.
6. *H. A. Lorentz*, Haarlem: Anwendung der kinetischen Methoden auf Elektronenbewegung.

Es ist zu hoffen, daß an diesem Kongreß, der die Aufhellung der tiefsten Probleme der Physik anstrebt, sich alle diejenigen beteiligen werden, die ihre Kräfte diesem Zweige der Naturforschung weihen.

Die neuen Versuche von C. T. R. Wilson zur Sichtbarmachung der Bahnen der radioaktiven Strahlen.

Von Prof. Dr. Erich Regener, Berlin.

(Mit einer Tafel.)

Zu den schönsten Resultaten, welche die junge Forschung der Radioaktivität aufzuweisen hat, gehören zweifellos die Methoden, welche eine Beobachtung der Einzelwirkung von α - und β -Teilchen ermöglichen. Da die α -Teilchen nachgewiesenermaßen Heliumatome sind, die β -Teilchen Elektronen, so ist durch diese Beobachtungen der direkteste Beweis für die korpuskulare Struktur

der Materie und der Elektrizität gegeben. So erwünscht ein solcher Beweis von jeher seit der Aufstellung der Atomistik und der kinetischen Gastheorie war, so ist er doch erst durch die Entdeckung der Strahlen der radioaktiven Körper möglich gemacht worden. Denn *diese* erst lehrte uns Korpuskeln (materielle und elektrische) kennen, welche auf natürlichem Wege, nämlich durch Abschleuderung von radioaktiven Atomen sich mit einer so großen Geschwindigkeit bewegen, wie sie künstlich im Laboratorium nicht herstellbar ist. Vermöge dieser großen Geschwindigkeit (bei den α -Strahlen ca. 20 000 km¹), bei den β -Strahlen bis nahe Lichtgeschwindigkeit) ist die an der einzelnen Korpuskel haftende Energie so groß, daß die Wirkung der *einzelnen* Korpuskel zur direkten Beobachtung gelangen kann. Solche „Zähl“-methoden gibt es für α -Teilchen bereits eine ganze Reihe: die Scintillationsmethode²⁾, die elektrische Methode³⁾, die photographische Beobachtung der Einzelwirkungen und andere mehr. Auch für β -Teilchen arbeitet man neuerdings an Zählmethoden. Keine dieser Methoden gibt uns aber ein so direktes Bild von dem Verhalten der α -Strahl- oder der β -Strahlkorpuskel, wie die neuen Versuche von *C. T. R. Wilson*, welcher die Bahn der α -Teilchen und β -Teilchen in feuchter Luft sichtbar machen und photographieren konnte. Nachdem *Wilson* vor Jahresfrist⁴⁾ bereits vorläufige Resultate veröffentlicht hatte, gibt er neuerdings⁵⁾ eine ausführliche Beschreibung seines Apparates und außerordentlich schöne Photographien, welche des allgeringsten Interesses würdig sind.

C. T. R. Wilsons Methode beruht auf folgenden Eigenschaften der radioaktiven und der Röntgenstrahlen. Alle diese Strahlen haben bekanntlich die Fähigkeit in einem Gase, durch das sie hindurchtreten, Ionen zu erzeugen. Sind diese Strahlen korpuskulär, haben sie also den Charakter eines fliegenden Geschosses, das also bei den α -Strahlen ein Heliumatom, bei den β -Strahlen ein Elektron darstellt, so sind auch die gebildeten Ionen längs der Flugbahn dieses Geschosses angeordnet. Auch bei der Ionisation der γ -Strahlen und der Röntgenstrahlen sollte eine Anordnung der gebildeten Ionen längs einzelner Bahnen erfolgen, da die Ionisation dieser Strahlen nach einer von *Bragg* eingeführten Ansicht keine direkte ist, sondern erst durch Sekundärstrahlen, welche β -Strahl-Charakter haben, erfolgt.

Bereits seit längerer Zeit ist die Eigenschaft dieser Ionen bekannt, Kondensationskerne in übersättigtem Wasserdampf zu bilden⁶⁾. Über

¹⁾ Die Geschwindigkeit der Gasmoleküle bei gewöhnlicher Temperatur ist von der Größenordnung eines Kilometers, die kinetische Energie also etwa 4 · 10⁸mal kleiner als diejenige eines Moleküls mit α -Strahl-Geschwindigkeit.

²⁾ *Regener*, Verh. d. D. Phys. Ges. 10, 78, 1908.

³⁾ *Rutherford* und *Geiger*, Proc. Roy. Soc. (A) 81, 141 u. 162, 1908.

⁴⁾ *C. T. R. Wilson*, Proc. Roy. Soc. A. 85, 285, 1911.

⁵⁾ Derselbe. Proc. Roy. Soc. A. 87, 277, 1912. Deutsch in Jahrb. d. Radioakt. u. Elektronik 10, 34, 1913.

⁶⁾ *R. v. Helmholtz*, Wied. Ann. 32, 1887, *R. v. Helmholtz* und *Richarz*, Wied. Ann. 59, 592, 1896.

¹⁾ Gauthier-Villard.

²⁾ Eine ausführliche Inhaltsangabe der Vorträge erhalten Interessenten bei *Dr. E. Hecke*, Göttingen, Nikolausbergweg 48.

diese Erscheinung hat *C. T. R. Wilson* früher eine Reihe wertvoller Untersuchungen gemacht, insbesondere konnte er feststellen, daß die positiven und negativen Ionen die Kondensation des Wasserdampfes verschieden stark beeinflussen¹⁾. Er stellte die Übersättigung des Wasserdampfes so her, daß er ein bestimmtes, bei Zimmertemperatur mit Wasserdampf gesättigtes Volumen Luft v_1 plötzlich auf ein größeres Volumen v_2 expandierte. Dabei tritt eine plötzliche Abkühlung ein, welche bewirkt, daß unmittelbar nach der Expansion die Luft mit Wasserdampf übersättigt ist. Die Größe der Übersättigung kann durch das Verhältnis $\frac{v_2}{v_1}$, der Volumina nach und vor der Expansion gemessen werden. *Wilson* fand, daß an negativen Ionen Kondensation bei einer Expansion größer als 1,25 auftritt; erst bei einer Expansion größer als 1,31 bilden auch die positiven Ionen Kondensationskerne, während oberhalb $\frac{v_2}{v_1} = 1,38$ auch in ionenfreier Luft dichte Wasserwolken entstehen.

Dieselbe Methode ist jetzt von Herrn *Wilson* so ausgearbeitet worden, daß sich durch sie auch die Bahnen einzelner korpuskulärer Strahlen sichtbar machen lassen.

Die Hauptschwierigkeit lag darin, die Kondensation des Wasserdampfes an den Ionen möglichst unmittelbar nach ihrer Entstehung durch den betreffenden korpuskulären Strahl vorzunehmen und dann auch sofort durch Momentanbeleuchtung eine Photographie von der entstandenen Wassertröpfchenwolke herzustellen. Ferner mußten die Ionen entfernt werden, welche vor der Expansion im Apparate entstanden waren, denn diese hätten vermöge der gebildeten Wassertröpfchen eine allgemeine Verschleierung der Bilder verursacht. Die letztere Schwierigkeit vermeidet Herr *Wilson* dadurch, daß er in der Expansionskammer ein elektrisches Feld (ca. 10 Volt/cm) erzeugt, welches die Kammer ionenfrei erhält. In einigen Fällen wendet Herr *Wilson* auch die Methode an, daß er die zu untersuchenden Strahlen mit der Expansion zwangsläufig in die Kammer eintreten läßt. Die sofortige Aufnahme der gebildeten Wassertröpfchen wird in sinnreicher Weise dadurch erreicht, daß die Öffnung des Ventils, welches die Expansion in der Beobachtungskammer betätigt, selbsttätig den Fall einer Kugel auslöst, welche durch Schließen einer Leydener-Flaschen-Batterie den zur Aufnahme dienenden Beleuchtungsfunken auslöst.

Der Hauptteil des Wilsonschen Apparates ist in Fig. 1 dargestellt. *A* ist die Expansionskammer. Die Wände bestehen aus Glas, das zum Schutze gegen das Beschlagen mit Wassertropfen innen mit Gelatine überzogen ist. Die untere Wand der Kammer *A* ist als Kolben ausgebildet und kann durch Betätigung des Ventils *B*, welches nach der evakuierten Kugel *C* führt, plötzlich nach unten bewegt werden. *D* sind Holzklötze, welche das Luftvolumen unterhalb des Kolbens ver-

kleinern. Die Abdichtung erfolgt durch Wasser, welches gleichzeitig die Luft in der Kammer *A* mit Wasserdampf sättigt. Der Expansionsgrad kann durch die Größe der Bewegung des Kolbens reguliert werden. Die Expansion lag meistens zwischen 1,33 und 1,36, so daß sowohl von den positiven wie von den negativen Ionen Wassertröpfchen kondensiert wurden. Das elektrische Feld wurde durch die in der Figur angedeutete Batterie zwischen Dach und Boden der Expansionskammer erzeugt. Die Auslösung des Ventils *B* geschah durch eine mit einer Kugel beschwerte Schnur. Von der Kugel löste sich beim Fall eine zweite an einem dünnen Faden befestigte ab, welche beim Fall die Entladung der Leydener-Flaschen-Batterie und damit den zur Photographie dienenden Beleuchtungsfunken auslöst. Der Beleuchtungsfunke schlug in Quecksilberdampf von Atmosphärendruck über, der in einer Quarzröhre erzeugt wurde. Meist war die photographische Kamera mit horizontaler Achse seitlich von der Expansionskammer aufgestellt. Die Beleuchtung durch den Funken erfolgte dann schräg von oben unter einem Winkel von 25 Grad. In den hier in Fig. 2—4 wiedergegebenen Aufnahmen stand da-

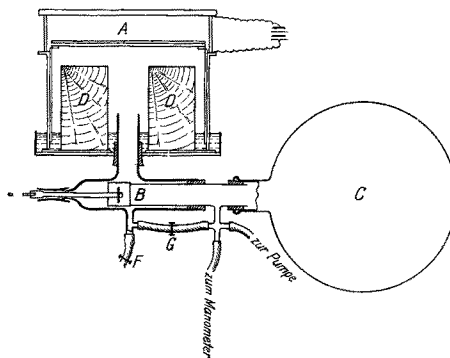


Fig. 1.

gegen die Kamera mit vertikaler Achse über der Kammer, der Beleuchtungsfunke dagegen seitlich.

Die Aufnahme Fig. 2 auf Tafel I zeigt die α -Strahlen, welche von einer winzigen Menge Radium ausgehen, das sich auf der Spitze eines in die Expansionskammer hineinragenden Drahtes befindet. Die scharf definierten Strahlen sind solche, welche in der sehr kurzen Zeit zwischen der Expansion und der Auslösung des Beleuchtungsfunkens von dem Präparat ausgesandt wurden. Daneben sieht man verwaschenerer Strahlen. Sie rühren von solchen α -Teilchen her, welche kurz vor der Expansion ausgesandt wurden, so daß die gebildeten Ionen durch Diffusion und durch die Kräfte des elektrischen Feldes auseinandergezogen wurden.

Fig. 3 (Tafel I) ist eine Aufnahme, bei der durch ein am Expansionskolben angebrachtes Fenster automatisch bewirkt wurde, daß die α -Strahlen nur nach der Expansion zur Wirksamkeit kamen. Man sieht, daß jetzt alle α -Strahlen scharf geworden sind, da die Ionen jetzt im Momente ihrer Entstehung auch Wassertröpfchen

¹⁾ *C. T. R. Wilson*, Phil. Trans. 189, 265, 1897.

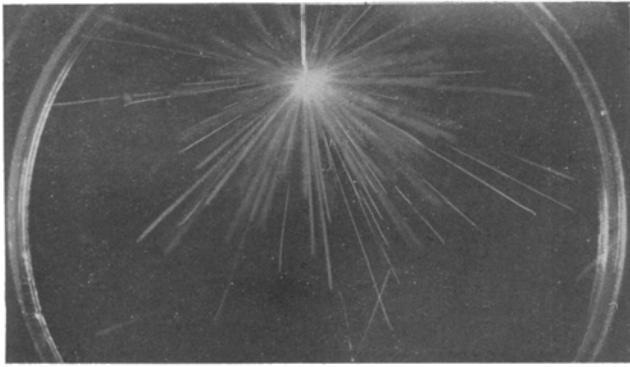


Fig. 2. Vergrößerung 1 : 2,18. α -Strahlen eines Radiumkornes.

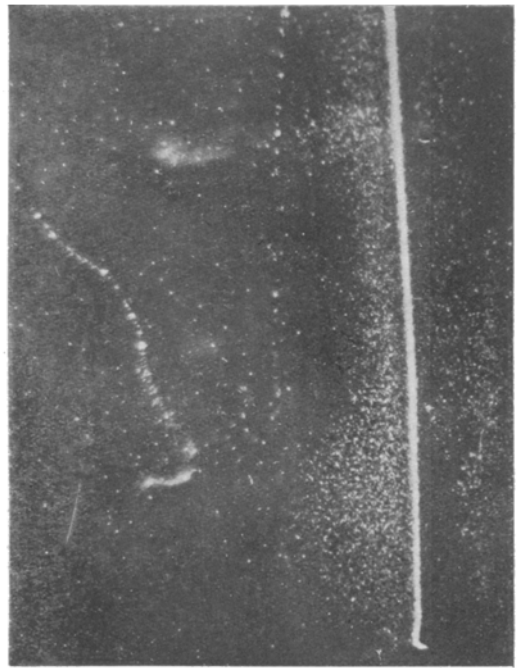


Fig. 5. Vergrößerung: 6fach. Links β -Strahlen, rechts ein α -Strahl von Radium.

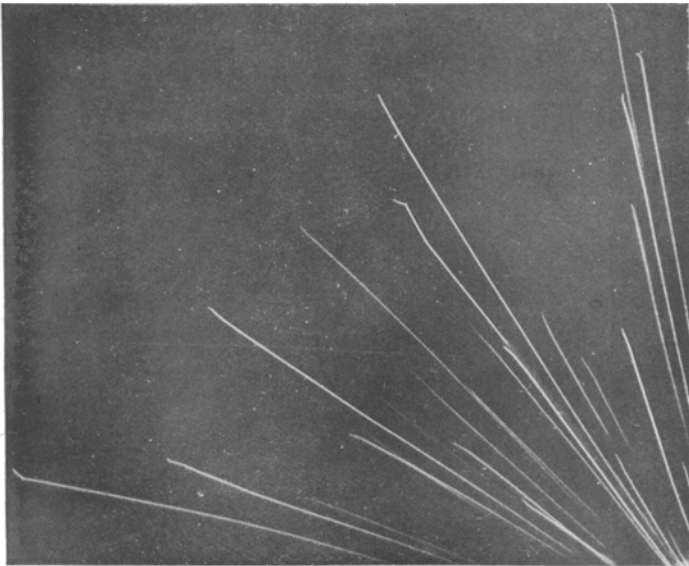


Fig. 3. Vergrößerung: 1,05. α -Strahlen von Radium.



Fig. 6. Vergrößerung: 6fach. Durch γ -Strahlen erzeugte β -Strahlen.



Fig. 4. Vergrößerung 1 : 1,24. α -Strahlen der Ra-Emanation.

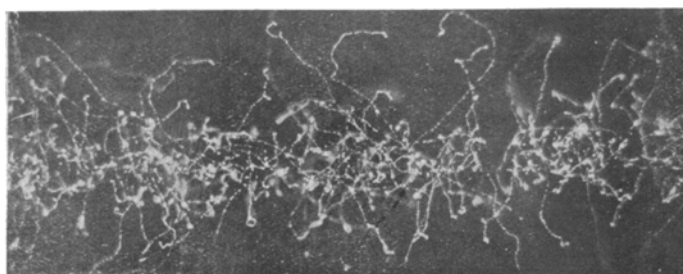


Fig. 7.
Vergrößerung: 2,45fach.
Röntgenstrahlbündel von
ca. 2 mm Durchmesser.

um sich kondensierten, wonach sie natürlich sofort ihre Beweglichkeit einbüßten und so photographisch fixiert wurden. Interessant ist an dieser Aufnahme, daß die Enden fast aller α -Strahlen einen kleinen, mehr oder weniger scharfen Knick haben. Wir erlangen dadurch einen direkten Einblick in die Streuung der α -Strahlen, die von verschiedenen Autoren auf anderen Wegen schon früher gezeigt war. Die Streuung kommt augenscheinlich durch den Zusammenstoß der α -Teilchen mit einem Atom zustande.

Fig. 4 zeigt die α -Strahlen, die von einer Spur Radiumemanation ausgingen, welche in der Kammer war. Entsprechend dem gasförmigen Charakter der Emanation werden jetzt die α -Teilchen von den jeweils zerfallenden Emanationsatomen an den verschiedensten Stellen im Gasraume nach verschiedenen Richtungen ausgesandt.

Die Zahl von Ionen, welche längs der Flugbahn eines α -Teilchens erzeugt werden, ist eine sehr große (ca. 20—30 000 auf 1 cm Wegs in normaler Luft). Es ist erklärlich, daß die Wassertröpfchen, die von diesen Ionen gebildet werden, so dicht liegen, daß wie in Fig. 2—4 der α -Strahl als ein zusammenhängender scharfer Streifen erscheint. Anders ist es bei den β -Strahlen. Hier ist die Zahl der längs der Bahn der β -Strahlpartikel gebildeten Ionen verhältnismäßig klein, einige Hundert bis Tausend Ionen auf den Zentimeter Weg. Bei der Wilsonschen Methode wird also auch der Weg eines β -Teilchens sich durch viel weniger dicht aneinandergelagerte Wassertröpfchen bemerkbar machen. In der Tat liegen die Verhältnisse so günstig, daß es möglich ist, die von einem β -Teilchen längs seines Weges gebildeten Ionen zu zählen. Fig. 5 zeigt eine Aufnahme, die den Unterschied von α - und β -Strahlen frappant zeigt. Rechts der α -Strahl mit seinen dicht aneinander gelagerten Ionen (einige von den Ionen sind unter der Wirkung des elektrischen Feldes ein Stück nach links gewandert, bevor sie zu Tropfen wurden), links ein β -Strahl, an dem sich die Tröpfchen und damit auch die Ionen zählen lassen. Man sieht auch, daß der β -Strahl am meisten Ionen an seinem Ende bildet, wo er am langsamsten geworden ist. Wie bekannt, hängt ja die Zahl der gebildeten Ionen von der Geschwindigkeit ab. Ein in der Mitte des Bildes sichtbarer β -Strahl ist ein sehr schneller, der nur wenig Ionen pro cm seines Weges bildet. Interessant ist auch die Verschiedenartigkeit der Streuung bei α -Strahlen und bei β -Strahlen. Der β -Strahl wird viel stärker gestreut als der α -Strahl, die Streuung ist aber keine plötzliche, sondern eine allmähliche und um so stärker, je langsamer der Strahl ist.

Fig. 6 zeigt die Ionisation, die nach Ablenkung der α - und β -Strahlen von den γ -Strahlen eines Radiumpräparates hervorgerufen wird. Es bestätigt sich die Bragg'sche Annahme, daß die Ionisation durch sekundäre β -Strahlen hervorgerufen ist, welche von den Gefäßwänden und den Gasmolekülen ausgehen. Die erzeugten Sekundärstrahlen sind *schnelle* β -Strahlen, wie sich aus der geringen Zahl der gebildeten Ionen ersehen läßt.

Noch schöner als an den γ -Strahlen läßt sich die sekundäre Art der Ionisierung bei den wesensähnlichen Röntgenstrahlen ersehen, welche langsamere sekundäre β -Strahlen erzeugen als die γ -Strahlen des Radiums. Die Dichtigkeit der Ionen längs des Strahles ist darum größer und die Aufnahmen werden klarer als bei den primären β -Strahlen des Radiums. Von den vielen Aufnahmen *Wilson's* sei eine charakteristische in Fig. 7 wiedergegeben. Diese Aufnahme ist so gewonnen worden, daß der Röntgenstrahl *nach* der Expansion die Kammer durchsetzte, indem gleichfalls durch eine zwischen zwei Elektroden hindurch fallende Kugel der Röntgenstrahl automatisch ausgelöst wurde. Die Bahnen aller Strahlen sind darum scharf. Man sieht auf der Photographie mit einer überraschenden Klarheit, wie längs des ca. 2 mm breiten Röntgenstrahlbündels in der Luft Sekundärstrahlen ausgelöst werden, welche willkürlich nach allen Richtungen ausgehen und auch außerhalb des von den Röntgenstrahlen bestrichenen Raumes treten. Die Wege der sekundären β -Strahlen sind sehr krummlinig, da es sich um ganz langsame β -Strahlen handelt. Von primärer Ionisation ist auf den Photographien keine Spur. Die ganze ionisierende Wirkung der Röntgenstrahlen wird also über den Umweg durch die sekundären β -Strahlen ausgeübt. Die Zahl der auf 1 cm Wegs der Sekundärstrahlen erzeugten Ionen beläuft sich auf einige Hundert; unter zwölf Zählungen war die kleinste erhaltene Zahl 150 Ionenpaare pro cm am Anfang des Strahles, der größte Wert 2160 Ionenpaare pro cm auf dem letzten halben Millimeter des Strahles.

Die Verwendungsmöglichkeiten dieser sehr schönen Wilsonschen Methode sind sicher noch nicht erschöpft. So wird man leicht durch eine Statistik feststellen können, ob die Anwendung der Sekundärstrahlen in Richtung des einfallenden Röntgenstrahles bevorzugt ist. Die Wilsonschen Photographien, werden aber auch jedem willkommen sein, der über radioaktive — oder Röntgenstrahlen vorzutragen hat. Denn die einfache Projektion der Wilsonschen Photographien wird jedermann die sonst recht schwer darzustellenden Verhältnisse der so ergebnisreichen Forschungen über die korpuskulären Strahlen leicht und überzeugend erläutern.

Biologische Probleme¹⁾.

Von Prof. Dr. Max Kassowitz, Wien.

Assimilation.

Es ist eine fundamentale biologische Tatsache, daß, soweit unsere Beobachtung und Erfahrung reicht, Lebendes immer nur aus Lebendem hervorgeht. Das ist nicht so zu verstehen, daß nicht leblose Stoffe in lebende Teile der Organismen übergehen können; denn wir wissen ja, daß die zum Aufbau und zum Wachstum der lebenden Teile dienenden Nahrungstoffe vor dieser Verwendung noch leblos sind. Die fundamentale Tatsache besteht vielmehr darin, daß die Umwandlung von leblosem Ma-

¹⁾ Siehe S. 18 (Heft 1) und S. 136 (Heft 6).