2. Ueber mechanische Bewegungen unter dem Einfluss von Kathodenstrahlen und Röntgenstrahlen; von L. Graetz.

1. Die in evacuirten Röhren auftretenden Rotationen von leicht beweglichen Körpern unter dem Einfluss von Kathodenstrahlen werden vielfach als Beweis für die Hypothese der geschleuderten Teilchen angesehen. Bei Röntgenstrahlen liessen sich solche Rotationen bisher nicht erzeugen, was zuweilen als Beweis dagegen angesehen wird, dass auch diese aus geschleuderten Teilen bestehen. Indes beobachtet man in Crookes'schen Röhren beim allmählichen Evacuiren, dass die Rotation von passend aufgesetzten Körpern schon sehr bald anfängt, lange ehe noch merkliche Kathodenstrahlen auftreten. In den käuflichen Röhren sind auf die beweglichen Glasglocken etc. häufig Figuren aus phosphorescirender Masse aufgetragen. Man findet nun, dass die Glocke bereits rotirt, ehe noch diese Figuren phosphoresciren, sodass also darnach die Kathodenstrahlen nicht unbedingt zur Rotation notwendig sind. Mit der Ausbildung kräftiger Kathodenstrahlen wird allerdings die Rotation bedeutend lebhafter. Evacuirt man aber weiter, so beobachtet man, dass, wenn das Vacuum sehr hoch getrieben wird, die Rotationen aufhören, obwohl immer noch kräftige Kathodenstrahlen vorhanden sind, die das Glas und die gemalten Figuren zu lebhafter Phosphorescenz bringen. Es ergibt sich daraus, dass diese mechanischen Bewegungen schon eintreten, ehe merkliche Kathodenstrahlen vorhanden sind und wieder aufhören, während noch starke Kathodenstrahlen existiren, sodass also die Erklärung dieser Rotationen jedenfalls nicht eine so einfache sein kann, dass der Stoss der bewegten Teile der Kathodenstrahlen die Rotation hervorbringt.

2. Es lassen sich nun aber auch durch passende Anordnungen bei Röntgenstrahlen sehr leicht derartige Rotationen hervor-

bringen und der Mechanismus, durch welchen diese zu stande kommen, lässt sich vollständig aufklären, sodass man dadurch, da in evacuirtten Röhren dieselben Bedingungen herrschen, auch die Erklärung für die Bewegungen unter Kathodenstrahlen gewinnt. Bisherige Versuche, etwaige Bewegungen unter dem Einfluss der Röntgenstrahlen zu finden, verliefen negativ. Es wurden Radiometer den Strahlen ausgesetzt¹⁾ und die Flügel rotirten nicht nur nicht, sondern es fand sogar eine Hemmung schon vorhandener Bewegungen statt, was offenbar auf elektrostatischer Anziehung beruht und auch so gedeutet wurde.²⁾ Bei den Versuchen, über die hier berichtet wird, wurden leichte Körper aus dielektrischer Substanz, Paraffin, Schwefel, Ebonit drehbar auf

Spitzen aufgesetzt. Sie wurden zum Teil in der Form von Kugeln wie in der Figur, Nr. 1, angewendet, wobei die Kugel in der Richtung des verticalen Durchmessers durchbohrt und die Bohrung oben durch ein Achathütchen verschlossen wurde. Es wurden ferner glockenförmige Körper (Figur, Nr. 2) benutzt, dann Körper, die aus zwei parallelen, verticalen hängenden runden Scheiben aus dem Dielektricum bestanden, die an einem Querstück aus Ebonit befestigt waren, in dessen Mitte ein Achat sass (Figur, Nr. 3), oder endlich Körper, die eine Reihe von Scheiben speichenförmig an einem Mittelstück trugen, welches durch den Achat auf die Spitze gesetzt wurde (Figur, Nr. 4). Die letzteren Formen der Körper eignen sich zur Projection der Be-

1) Gossart u. Chevallier, *Compt. rend.* 122. p. 316. 1896.

2) J. R. Rydberg, *Compt. rend.* 122. p. 715. 1896; Fontana u. Umani, *Rendic. Acc. Lincei* (5) 5. p. 170. 1896.

wegungen, welche bei Kugeln und Glocken nicht ohne weiteres möglich ist. Man kann auch metallische Scheiben (Figur, Nr. 5) an einem isolirenden Querstück aufsetzen. Diese verhalten sich im wesentlichen ebenso, wie die dielektrischen. Dagegen mit ganz metallischen Körpern (ohne Isolation zwischen den einzelnen Teilen) gelingen die Versuche nicht.

Bringt man diese Körper, auf eine Nadelspitze aufgesetzt, zwischen zwei Condensatorplatten und bringt zwischen den Platten durch eine Hochspannungsbatterie oder eine Influenzmaschine ein constantes elektrisches Feld hervor, so bleiben die Körper in Ruhe. Sobald man aber durch eine Röntgenröhre Strahlen in dieses Feld hineinwirft, beginnen die Körper zu rotiren und rotiren so lange, als die Bestrahlung dauert. Dabei ist es ganz gleichgültig, ob die Strahlen von der Seite oder von oben oder von unten in das Feld hineingeworfen werden. Der Sinn der Rotation ist unbestimmt und hängt von der Anfangstendenz ab. Die Körper können sowohl in dem einen Sinne, wie im andern Sinne rotiren. Am einfachsten wird der Versuch so angestellt, dass man den Inductionsapparat selbst, mit dem man die Röntgenröhre betrübt, zur Erzeugung des constanten Feldes in der Weise benutzt, dass man die Röntgenröhre mit den Condensatorplatten verbindet. Dann überwiegt die Spannung des Oeffnungsstromes auch an den Condensatorplatten und das Feld verhält sich wie ein constantes. Bei diesem Versuch waren Condensatorplatten von der Grösse, wie sie die Kohlrausch'schen Condensatoren besitzen, angewendet. Die Röntgenröhre hatte dabei also immer einen nicht kleinen Abstand von dem drehbaren Körper. Die Erscheinung erwies sich als ein Analogon zu den von Quincke¹⁾ entdeckten Rotationen von Körpern in dielektrischen Flüssigkeiten, die von Heydweiller²⁾ erklärt sind. Es lassen sich die Bewegungen aus dieser Theorie vollständig ableiten³⁾, da die Luft durch Röntgenstrahlen ionisirt, etwas leitend wird, und sich also ganz wie eine der Flüssigkeiten bei den Quincke'schen Versuchen verhält.

1) G. Quincke, Wied. Ann. 59. p. 417. 1896.

2) A. Heydweiller, Verh. phys. Ges. 16. p. 32. 1896.

3) L. Graetz, Ann. d. Phys. 1. p. 530. 1900.

3. Wenn man aber die Condensatorplatten kleiner nimmt, etwa von 5 cm Durchmesser, so beobachtet man zwar an den ganz dielektrischen Körpern immer noch, dass der Sinn der Rotation ein beliebiger ist, aber wenn man den Körper, der aus zwei verticalen Kupferscheiben mit verbindendem isolirenden Querstück besteht, in das Feld bringt, und die Strahlen von der Seite in das Feld dringen lässt, so kehrt sich die Richtung der Rotation um mit der Umkehrung des Feldes. Man findet leicht, dass auf die Richtung der Rotation die Stellung der Röntgenröhre einen Einfluss hat. Bezeichnet man eine von den beiden gleichen Condensatorplatten als I, die andere als II, und sieht man von I nach II hin, so kann die Röntgenröhre rechts oder links stehen. Steht sie rechts, so ergiebt sich, wenn I positiv, II negativ geladen ist, eine Drehung entgegengesetzt dem Uhrzeiger, bei Umkehrung des Feldes dreht sich die Richtung der Rotation um. Bringt man die Röntgenröhre links an, so findet bei der ersten Richtung des Feldes Rotation im Uhrzeigersinn, bei der zweiten gegen den Uhrzeiger statt. Die verschiedenen Fälle lassen sich in der Weise zusammenfassen, dass die Rotation immer von der positiv geladenen Platte über die Röntgenröhre zur negativ geladenen Platte geht. Lässt man die Röntgenstrahlen nicht von der Seite, sondern von oben in das Feld fallen, so bleibt der Sinn der Drehung wieder unbestimmt, wenn die ebene Antikathode genau senkrecht über der Mitte des drehbaren Körpers liegt; ist sie etwas nach rechts oder links gestellt, so findet wieder die Drehung in dem oben festgestellten Sinne statt.

Dass die Lage der Röntgenröhre einen Einfluss auf die Rotation hat, führt naturgemäss dazu anzunehmen, dass die Ladung, die die Wand der Röntgenröhre besitzt, den Rotationsinn mit bestimmt. Diese Wand ist immer negativ geladen und sie muss also die positiv geladenen Teile des drehbaren Körpers, welche der positiv geladenen Condensatorplatte gegenüberliegen, anziehen. Dadurch erklärt sich die Richtung der Rotation in jedem Falle. Dass dieser Einfluss nur auf den metallischen Körper, nicht auch auf die dielektrischen stattfindet, kann dann nur daher rühren, dass, wenn die durch Leitung positiv geladene Scheibe der Röntgenröhre sich zudreht,

sie noch durch Influenz stärker positiv wird. Die Ladung wird dann bei der Weiterbewegung durch die Leitung neutralisirt und die Rotation dauert an. Bei den dielektrischen Körpern ist die Influenzwirkung geringer und daher bleibt der Sinn der Rotation unbestimmt. Wenn das richtig ist, so muss man aber auch bei dielektrischen Körpern einen bestimmten Sinn der Rotation erzwingen können, wenn man nur die Röntgenröhre näher an dieselben bringt. Das ist in der That der Fall und die Erscheinungen sind, wenn man sie allein, ohne die vorhergehenden Erklärungen betrachtet, sehr auffallend. Es wurde zu dem Zwecke die eine Platte des Kohlrausch'schen Condensators entfernt und an ihre Stelle eine kleine Kugel angebracht. Der drehbare Körper befand sich zwischen Kugel und Platte. Man kann nun die Röntgenröhre nahe an den Körper heranbringen und es lässt sich nun bei allen drehbaren Körpern, den leitenden sowohl wie den dielektrischen, der Sinn der Rotation durch Umkehrung des Feldes umkehren. Die Rotation geht auch hierbei immer von dem positiv geladenen Teile des Condensators über die Röntgenröhre zum negativ geladenen.

4. Indes sind hiermit die Erscheinungen noch nicht auf die einfachste Form gebracht. Man braucht nämlich schliesslich gar keinen geladenen Condensator, um die Rotation hervorzubringen, sondern es genügt, wenn man die drehbaren Körper einfach in der Luft in der Nähe der Röntgenröhre so aufstellt, dass sie bestrahlt werden. Die Rotation findet dann in sehr lebhafter Weise statt und zwar zunächst so, dass der Sinn der Drehung völlig unbestimmt bleibt, dass die Körper sowohl in dem einen Sinne als in dem anderen rotiren. Wenn man will, hat man hierin das vollständige Analogon zur Rotation von Körpern unter dem Einfluss der Kathodenstrahlen, nur dass letztere eben bloss in den evacuirten Röhren, diese aber in freier Luft vor sich gehen. Wollte man aber auch hieraus auf directen Stoss von geschleuderten Teilchen schliessen, so würde man irren. Es zeigt sich nämlich, dass die Rotation aufhört, wenn man beliebige Substanzen, durch welche die Röntgenstrahlen hindurchgehen, zwischen die Röntgenröhre und den drehbaren Körper bringt. Stellt man eine Ebonitscheibe oder eine abgeleitete oder eine isolirte Aluminiumplatte dazwischen,

so ist es nicht möglich, die Rotation zu erzeugen. Es beweist das, dass die Rotationen hierbei noch auf demselben Grunde beruhen, wie vorher. Durch die Strahlen wird die Luft in der Nähe des drehbaren Körpers leitend gemacht. Das Glas der Röntgenröhre selbst ist negativ elektrisch. Dadurch wird nun ein Teil der Elektrizität durch Leitung auf den Körper übertragen und durch die Abstossung der gleichnamigen Elektrizitäten beginnt die Rotation. Sie wird dauernd aufrecht erhalten dadurch, dass die Ladungen des Körpers auf der entgegengesetzten Seite wieder durch Leitung fortgeführt werden.

Man kann auch hierbei, bei diesen freien Rotationen, den Sinn der Drehung nach Belieben bestimmen und ändern, wenn man in der Nähe der Röhre seitlich von dem drehbaren Körper in passendem Abstand einen Metallstab isolirt oder nicht isolirt, aufstellt. Schon ein eisernes Stativ, durch welches man etwa die Spitze tragen lässt, auf der die Körper sitzen, genügt zu diesem Zweck. Es dreht sich dann der Körper immer in der Richtung von dem Stab zur Röntgenröhre, sodass man durch Umstellen des Stabes auch die Rotationsrichtung ändert. Der Stab wird hierbei durch Influenz von der Röntgenröhre zunächst positiv elektrisch und man hat daher denselben Fall, der oben bei dem Condensator erörtert wurde.

5. Weitere Consequenzen dieser Erscheinungen einer folgenden Mitteilung vorbehaltend, möchte ich zum Schluss nochmals auf die Rotationen in Crookes'schen Röhren zurückkommen. Es ist die Ansicht kaum abzuweisen, dass auch dort die Bewegungen einfach auf elektrostatischer Abstossung der geladenen Teile des Körpers und der Zerstreuung dieser Ladung durch Leitung beruhen. Die Kathodenstrahlen führen ihre negative Elektrizität dem Körper zu und laden dessen zunächst liegende Teile. Diese werden von der Kathode abgestossen und durch die Leitung des Gases in der evacuirten Röhre verlieren sie dann ihre Ladung, sodass die Rotation nicht zum Stillstand kommt, sondern dauernd fortgeht. Dadurch, dass man die Kathodenstrahlen durch den Magneten auf gewisse Partien des Körpers bringen kann, kann man die Richtung der Rotation beeinflussen. Die Rotationen treten aber bei passender Anbringung des rotirenden Körpers schon auf, noch bevor Kathodenstrahlen sich merklich entwickeln. Man

hat dann eben auch schon von der Kathode ausgehend negative Teile, nur mit *geringerer* Geschwindigkeit, von der Anode ausgehend positive, welche die gegenüberliegenden Teile laden und damit die Abstossung hervorbringen. Wird das Vacuum in einer Crookes'schen Röhre sehr hoch, sodass die Leitung des Gases in derselben sehr gering wird, so wird die auf dem drehbaren Körper erzeugte Ladung nicht mehr zerstreut und Rotationen finden dann nicht mehr statt.

Versuche, ebensolche Bewegungen mit ultraviolettem Licht und Radiumstrahlen zu erhalten, sind bisher nicht von Erfolg gewesen, im letzteren Falle vermutlich wegen der geringen Stärke des Präparates.

München, Phys. Inst. d. Univ., Februar 1900.

(Eingegangen 22. Februar 1900.)