Gedruckt mit Unterstützung aus dem Jerome und Margaret Stonborough-Fonds

Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung

Nr. 172

Über das Kraftfeld des Atomkernes und Coulomb's Gesetz

Von

Hans Pettersson

(Mit 1 Textfigur)

(Vorgelegt in der Sitzung am 4. Dezember 1924)

Bei der Deutung ihrer Versuche über Atomzertrümmerung haben Sir Ernest Rutherford und Dr. J. Chadwick die sogenannte Satellithypothese für die Struktur von zertrümmerbaren Atomkernen aufgestellt.[1] Es wird angenommen, daß das befreite Proton vor seiner Ausstoßung aus dem Kerne als eine Art von Planet existiert, der außerhalb der Hauptmasse des Kernes in einer genügend großen Entfernung rotiert, welche es ermöglicht, daß es von einem herannahenden α-Teilchen getroffen wird, bevor das letztere einen beträchtlichen Impuls dem Reste des Atomkernes übertragen hat. Diese Erklärung enthält die Voraussetzung, »daß bei den hier auftretenden sehr kleinen Abständen positiv geladene Körper einander anziehen«,[2] das bedeutet einen Vorzeichenwechsel in Coulomb's Gesetz. Weiterhin wird angenommen, »daß solche anziehende Kräfte bestehen müssen, um den gewöhlichen zusammengesetzten Kern im Gleichgewichte zu halten«.

Eine andere Erklärung, die vom Autor in einer früheren Arbeit[3] vorgeschlagen wurde und die man kurz als Explosionshypothese bezeichnen kann, nimmt an, daß das Proton infolge der beim Zusammenstoß auftretenden Instabilität des ganzen Systems aus dem Kerne freigemacht wird. Bei diesem Vorgange wird angenommen, daß die elektrostatischen Kräfte zwischen α-Teilchen und Einheitsladungen entgegengesetzten Zeichens innerhalb des Kernes eine wichtige Rolle spielen. Übereinstimmend mit dieser Ansicht werden die anziehenden Kräfte, welche die Protonen an ihren Kern binden und die Stabilität des letzteren aufrechterhalten, von den Kernelektronen hervorgerufen, welche wie eine Art Zement wirken. Das würde auch erklären, warum Elektronen in jedem Kern in einer Mindestzahl vorhanden sind, die der halben

---

E. Rutherford und J. Chadwick, Phil. Mag. Vol. 42, p. 822, 1921.

ibid p. 824.

H. Pettersson, Proc. Phys. Soc. London. Vol. 36, Part. 3, p. 194, 1924.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Anzahl der vorhandenen Protonen gleichkommt. Außerdem wird angenommen, daß Abstoßung zwischen Ladungen gleichen Vorzeichens und Anziehungen zwischen solchen entgegengesetzten Vorzeichens bei Entfernungen von der Größenordnung der Kerndimensionen bestehen bleiben.

Die Resultate kürzlich von Bieler[1] gemachter Versuche über die Streuung von α-Teilchen durch Kerne von Magnesium und Aluminium über große Winkel (105° und weniger) werden von ihm dahin gedeutet, daß die abstoßende Kraft zwischen α-Teilchen und diesen Kernen, welche in großen Distanzen Coulomb's Gesetz befolgt, innerhalb einer gewissen kritischen Distanz in Anziehung umschlägt, und daß diese anziehende Kraft umgekehrt

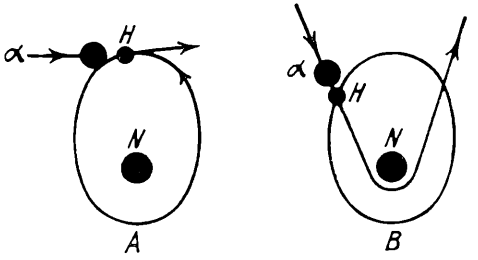

Fig. 1.
Satellitvorstellung nach Rutherford und Chadwick.

proportional einer höheren Potenz des Abstandes als des Quadrates variiert (nach Bieler's Berechnungen[2] ungefähr der vierten Potenz).

Dieser kritische Abstand, bei welchem der Zeichenwechsel eintritt, soll demnach $3 \cdot 44\ 10^{-13}\,cm$ vom Zentrum des Kernes aus betragen und den Radius des Kernes selbst bedeuten.

Bieler's Resultate werden von Rutherford und Chadwick anscheinend als Stütze ihrer Ansicht herangezogen,[3] daß das Vorzeichen des Coulomb'schen Gesetzes für Entfernungen von der Größenordnung der Kernabmessungen wechselt.

Bei Untersuchung der nach rückwärts ausgeschleuderten Atomtrümmer, d. h. H-Teilchen, welche unter dem Bombardement mit α-Teilchen von Radium C aus verschiedenen Elementen ausgeschleudert werden, fand der Autor, daß bei Aluminium und Magnesium (wie auch bei Kohlenstoff) keine oder sehr wenige α-Teilchen beobachtbar waren, die unter einem Winkel von 150° gestreut wurden, sogar

---

[1] Bieler, Proc. R. Soc. A. Vol. 105, p. 434, 1924.

derselbe, Proc. Cambridge Phil. Soc. Vol. 21, Part 6, p. 686, 1923.

[2] E. Rutherford und J. Chadwick, Proc. Phys. Soc. London. Vol. 36, Part 5, p. 417, 1924.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

dann, wenn die Absorption so weit vermindert wurde, daß sie nur mehr einen Bruchteil der nach der Rutherford'schen Theorie[1] für die elastischen Zusammenstöße solcher Teilchen berechneten Reichweite betrug.[2] Gleichzeitig wurden zahlreiche H-Teilchen beobachtet, deren genaue Anzahl bis jetzt nicht bestimmt worden ist. Andrerseits wurde bei zwei schwereren Elementen, Nickel und Kupfer, gefunden, daß α-Teilchen in großer Anzahl unter denselben Versuchsbedingungen gestreut (reflektiert) werden. Ihre Reichweiten waren aber bedeutend kleiner als die nach der Theorie des elastischen Zusammenstoßes berechneten, und zwar ungefähr 3 bis 3·5 *cm* in Luft anstatt fast 5 *cm*.

Mit den zwei letzteren Elementen wurde auch eine Anzahl von H-Teilchen beobachtet. Daß diese von einer Zertrümmerung der bombardierten Atome herrühren, erscheint sehr wahrscheinlich, muß aber durch derzeit im Gang befindliche Versuche entschieden werden.

Diese Ergebnisse sind vom Autor dahin gedeutet worden, daß α-Teilchen von genügend hoher Geschwindigkeit bei fast zentralem Stoße gegen einen zertrümmerbaren Atomkern in diesen eindringen und möglicherweise darin haften bleiben.

Es scheint von Interesse, zu untersuchen, inwieweit diese Resultate sowie die Bieler's erklärt werden können, indem man annimmt, daß das Coulomb'sche Gesetz auch bei Abmessungen, wie sie bei Kerntreffern vorkommen, gilt.

Wenn wir einen aus P positiven und Q negativen Einheitsladungen bestehenden Kern annehmen, so wird jede von ihnen eine anziehende oder abstoßende Kraft auf eine außerhalb in einem Abstande R vom Mittelpunkte des Kernes befindliche positive Punktladung von $+e$ Einheiten ausüben. Die resultierende Kraft zwischen Punktladungen und Kern wird die geometrische Summe aller Teilkräfte sein. Aus geometrischen Überlegungen geht klar hervor, daß so lange R groß ist im Vergleich zu den Kerndimensionen, die resultierende Kraft durch die Gleichung

$$F = \frac{N}{R^2}$$

gegeben ist, wo $N = P - Q$, d. h. der eigentlichen Kernladung ist, also durch das Coulomb'sche Gesetz. Wenn dagegen R Werte annimmt, die mit den Kernabmessungen vergleichbar sind, so wird die Kraft einer komplizierteren Gleichung gehorchen. Nimmt man an, daß die Ladungen innerhalb des Kernes eine gewisse Bewegungsfreiheit haben, und behält man im Auge, daß für Werte von R, die fast gleich dem Kernradius sind, die elektrostatischen

---

[1] E. Rutherford, Phil. Mag. Vol. 22, p. 669, 1911.

[2] H. Pettersson, Mitt. Ra Inst. Nr. 173, diese Berichte.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Kräfte der herannahenden Punktladung mit den im Kerne selbst bestehenden vergleichbar werden, so ist es klar, daß die Punktladungen innerhalb des Kernes geneigt sein werden, ihre gewöhnliche Lage oder Bahn bei der Annäherung der außerhalb befindlichen Ladung zu verändern. Die negativen Ladungen werden sich entgegen, die positiven davon weg bewegen. Die Zunahme der anziehenden Komponenten in F muß daher schneller, die der abstoßenden langsamer erfolgen als nach dem Coulomb'schen Gesetz. Bei genügend kleinem Abstande mag F daher sein Zeichen ändern, das bedeutet Anziehung statt Abstoßung.

So weit stimmt die Überlegung qualitativ mit den experimentellen Daten überein. Um sie weiter auszugestalten, wollen wir annehmen, daß sich die Ladungen innerhalb des Kernes auf einer Kugelfläche frei bewegen können. Das Problem ist dann vergleichbar mit dem der Annäherung einer Punktladung an einen kugelförmigen Leiter, der eine Ladung gleichen Vorzeichens, in diesem Falle positiven, trägt.[1] Bezeichnet man die Ladung auf der Sphäre, d. i. die Kernladung, mit E und deren Radius mit a, so ist die Kraft zwischen Teilchen und Kern gegeben durch

$$F = \frac{e}{R^2}\left(E - e\,\frac{2\,b^2 - 1}{b\,(b^2-1)^2}\right) \tag{1}$$

wo $b = \frac{R}{a}$ ist.

Die Kraft wird bei einem kritischen Abstande $R_o = a\,b_o$ gleich Null, welcher Abstand gegeben ist durch die Gleichung

$$b_o^5 - 2\,b_o^3 - \frac{2}{c}\,b_o^2 + b_o + \frac{1}{c} = 0. \tag{2}$$

Hier bedeutet der Parameter c das Verhältnis zwischen den Ladungen auf der Sphäre und der Punktladung $c = \frac{E}{e}$.

Bei Abständen, die kleiner sind als R_o, wird die Kraft anziehend sein und ungefähr verkehrt proportional nach der fünften Potenz von R variieren. Wie man aus der Gleichung 2 ersieht, wird bei sehr hohen Werten des Parameters c der Wert von b nahezu gleich 1, d. h. $R_o = a$. Bei Kernen großer Ladung müßte

---

[1] Vide J. C. Maxwell, »A treatise on Electricity and Magnetism.« Vol. I, p. 197, Clarendon Press Series, Oxford 1873. Es ist von Interesse, zu bemerken, daß eine dem folgenden ähnliche Betrachtung über die Kräfte zwischen zwei sich einander nähernden Atomen von F. Haber angestellt worden sind. Verh. der Deutschen Phys. Gesellschaft, XXI. Jahrgang, Nr. 21 22, p. 750, 1919.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

demnach die kritische Fläche, wo die Abstoßung in Anziehung umschlägt, fast mit der Oberfläche des Kernes selbst (nach oben gemachte Annahme definiert) zusammenfallen, während bei Kernen kleinerer Ladung der Zeichenwechsel weiter nach außen eintreten sollte. Wählt man $e = +2$, wie es bei den α-Teilchen der Fall ist, so berechnet sich der Wert des kritischen Radius zu $R_o = 1 \cdot 34\, a$ für Kohle, $R_o = 1 \cdot 22\, a$ für Aluminium und $R_o = 1 \cdot 09\, a$ für Gold. Ein α-Teilchen, das fähig ist, die so definierten Grenzen zu überschreiten, wird überwiegend anziehenden Kräften ausgesetzt und mag im Kern stecken bleiben. Andrerseits wären nach dieser Auffassung die für den kritischen Radius experimentell gefundenen Werte durch die aus Gleichung 2 berechneten Werte von b_o zu dividieren, um den Radius des Kernes selbst zu finden. So würde sich z. B. aus Bieler's Resultate ergeben, daß der Radius des Aluminiumkernes nicht, wie er annimmt $3 \cdot 44\ 10^{-13}\, cm$ ist, sondern $2 \cdot 8\ 10^{-13}\, cm$, wobei allerdings die Tatsache außer acht gelassen ist, daß man für den kritischen Radius einen verschiedenen Wert aus Bieler's Messungen gefunden hätte, wenn man die Gleichung 1 der Berechnung zugrunde gelegt hätte, anstatt des von Bieler versuchsweise benutzten Kraftgesetzes.

Der Radius der kritischen Oberfläche, wie er durch Gleichung 2 bestimmt ist, kann auch zur Berechnung des Maximalabstandes benützt werden, bis zu welchem sich ein Proton, das dem Kern angehört, von dessen Zentrum entfernen kann, ohne ausgestoßen zu werden. In diesem Falle hat man die Ladung auf der Sphäre gleich $N-1$ zu setzen und die des Teilchens gleich 1, so daß der Parameter $c = N-1$ wird. Entsprechende numerische Werte von dem kritischen Radius ergeben sich nach der Gleichung 2 zu $R_o = 1 \cdot 26\, a$ für Kohle, $R_o = 1 \cdot 17\, a$ für Aluminium und $R_o = 1 \cdot 06\, a$ für Gold.

Letztere Werte von R_o geben, von demselben Gesichtspunkt aus, auch den Maximalradius für die Bahn eines hypothetischen H-Satelliten. Ob man nun einem oder mehreren von den Protonen, die dem Atomkern angehören, diesen Namen gibt, ist zunächst Geschmacksache. Daß sie im Sinne der Satellitenhypothese keineswegs so genannt werden können, ist aber selbstverständlich, denn es ist für ein heranfliegendes α-Teichen nicht möglich, einem so nahe am Kern befindlichen Proton einen direkten Impuls zu erteilen, ohne den Kernrest in Mitleidenschaft zu ziehen, eine Tatsache, die ja auch direkt aus Bieler's Resultaten folgt.

Gegen die vorhergehenden Überlegungen können einige Einwände erhoben werden. Die α-Teilchen, die voraussichtlich selbst aus mehreren Ladungseinheiten zusammengesetzt sind, können nicht ohne weiteres als Punktladungen aufgefaßt werden. Eine exaktere Behandlung wird demgemäß die Kräfte zwischen zwei sich nähernden Sphären verschiedener Durchmesser, welche beide

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Ladungen positiven Vorzeichens tragen, berücksichtigen müssen, was ein komplizierteres Problem ergeben würde. Außerdem macht, selbst wenn die Ladungen innerhalb des Kernes als frei beweglich auf einer Kugeloberfläche aufgefaßt werden können, ihre Verteilung auf eine beschränkte Anzahl von diskreten Teilchen unbekannter Dimensionen die Analogie mit einer kontinuierlichen Elektrizitätsschicht auf einer leitenden Oberfläche fraglich. Schließlich können die Kräfte rings um den Kern und in ihm nicht als rein elektrostatische betrachtet werden, da voraussichtlich die subnuklearen Teilchen sich in einem Zustande sehr schneller Bewegung befinden, so daß andere Kräfte dynamischen Ursprunges angenommen werden müssen, die eine gewisse Bedeutung für das normale Gleichgewicht des Kernes sowohl als auch während seiner Zertrümmerung haben mögen. Dieselben Kräfte können dazu auch das sich nähernde α-Teilchen beeinflussen. Der letzte Einwand ist der allgemeinste und würde jeden Versuch, das Kernproblem anzupacken, so lange ad absurdum führen, als wir in Unkenntnis der inneren Struktur des Kernes und der Bewegungen der geladenen Teilchen in ihm sind.[1]

Es ist sicher ratsam, die Analogie zwischen Atomkern und einem geladenen kugelförmigen Leiter nicht zu weit zu führen, aber andrerseits scheint es prinzipiell der vorsichtigste Weg zum Verständnis eines neuen Phänomens zu sein, wenn man sich vorerst versichert, ob es nicht durch die anerkannten Gesetze der klassischen Physik erklärt werden könne (in diesem Falle durch das Coulomb'sche Gesetz), bevor man zu hypothetischen Kräften unbekannter Art seine Zuflucht nimmt. Es wird jedenfalls von Interesse sein, eine Theorie der Kernzusammenstöße zu entwickeln, welche die Wirkung der elektrostatischen Induktion in Rechnung zieht, um zu sehen, ob sie mit den Daten, die von Bieler gefunden wurden, wie auch mit anderen experimentellen Tatsachen, welche die allernächste Zukunft sicher liefern wird, in Übereinstimmung zu bringen ist.

Um nun zur Satellithypothese zurückzukehren, kann also gesagt werden, daß von den vier Hauptgedanken, auf der sie beruht, nämlich

1. daß nur einige wenige Arten von Atomkernen, die eine spezielle Struktur haben sollen, zertrümmerbar sind;

2. daß die Gesamtzahl von H-Teilchen, die ausgeschleudert werden, nur einem kleinen Bruchteil der Zahl der Kernstöße gleichkommt;

Die vorangehenden Betrachtungen und Berechnungen beziehen sich selbstverständlich auf die durchschnittlichen Verhältnisse. Daß einzelne von den Protonen gelegentlich größere Elongationen vom Kernzentrum erreichen können, ohne ausgestoßen zu werden, ist, unter Voraussetzung einer entsprechenden Verschiebung einer oder mehrerer von den Kernelektronen, jedenfalls denkbar.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

3. daß der zertrümmerbare Kern wenigstens einen äußeren H-Satelliten besitzt, der in einem Abstande vom Hauptkern umläuft, welcher groß genug ist, es einem α-Teilchen zu gestatten, einen merklich großen Impuls dem Satelliten zu übertragen, ohne den Kern entsprechend zu beeinflussen, und

4. daß der umlaufende Satellit an seinen Kern durch eine Anziehung zwischen gleichnamigen Ladungen, wie sie im Widerspruch zum Coulomb'schen Gesetz bei sehr geringen Distanzen vorkommen soll, gebunden ist,

die ersten zwei durch die experimentell gefundenen Tatsachen widerlegt worden sind, während, wie man sieht, die beiden letzteren zumindest unnötig sind.

Die Satellithypothese für den Bau der Atomkerne, wie sie von Rutherford und Chadwick aufgestellt wurde, nimmt an, daß die elektrostatische Abstoßung zwischen Ladungen gleichen Vorzeichens bei einem bestimmten kritischem Abstand in eine Anziehung umschlägt, die verkehrt proportional einer höheren Potenz des Abstandes als der zweiten variiert und die wohl auch wieder in eine Abstoßung umschlägt, bei den Abständen, welche vorkommen, wenn ein α-Teilchen ein natürliches H-Teilchen in schnelle Bewegung versetzt. Es mag zukünftigen Erörterungen überlassen werden. ob das Bild des Kernes, wie es aus diesen Annahmen hervorgeht, den Vorzug der Einfachheit hat, der durch seine Autoren für dasselbe beansprucht wird.[1]

Zusammenfassung.

Es werden Versuche des Verfassers erwähnt, wonach die gegen die Atomkerne von drei als zertrümmerbar gefundenen Elementen geschleuderten α-Teilchen nicht reflektiert werden in einer mit den gleichzeitig ausgeschleuderten H-Teilchen vergleichbare Zahl, sondern anscheinend im getroffenen Atomkern haften bleiben. Diese Ergebnisse sowohl als früher von Bieler gefundene, wonach bei einem gewissen kritischen Abstand zwischen α-Teilchen und Atomkern die Abstoßung in Anziehung umschlägt, werden unter Berücksichtigung der elektrostatischen Induktion zwischen Teilchen und Kern im Sinne des Coulomb'schen Gesetzes erklärt. Die auf einer Umkehr des Zeichens in demselben Gesetz fußende Satellithypothese von Rutherford und Chadwick für die Struktur des Atomkernes wird demnach für unwahrscheinlich gehalten und es werden weitere dagegensprechende experimentelle Tatsachen erläutert.

---

[1] Our picture of the nucleus has, at any rate, the great merit of simplicity. E. Rutherford und J. Chadwick, Proc. Phys. Soc. London, Vol. 36, Part. 5, p. 422. 1924.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1924

Band/Volume: 133_2a

Autor(en)/Author(s): Pettersson Hans

Artikel/Article: Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung Nr. 172. Über das Kraftfeld des Atomkernes und Coulomb's Gesetz. 509-515