

The relation between the social life of subjects and the beginning of puberty is negligible.

Comparing blonds and brunetts a small correlation was found in favor of the blonds, where puberty begins a little earlier than in brunetts.

ΦΥΣΙΚΗ.—Beitrag zur Theorie der Zertrümmerung der Atomkerne*, von **Kessar D. Alexopoulos**. Ἀνεκρινώθη ὑπὸ κ. Κ. Ζέγγελη.

Die Theorie der Atomzertrümmerung durch Zusammenstoss mit leichten Kernen hoher Geschwindigkeit ist aus der Theorie des natürlichen α -Zerfalls entstanden. Nach Gamow¹ sind zur Zertrümmerung eines Kernes folgende drei Bedingungen notwendig.

a. Das Geschoss muss den Kern «treffen» d. h. es muss innerhalb eines weiter unten berechneten Abstandes vom Kernmittelpunkt vorbeigehen.

b. Es muss die Abstossungskräfte, welche von den Kernladungen herrühren, überwinden und in den Kern eindringen.

c. Nach dem Eindringen muss eine Kernumwandlung unter Trümmerausschleuderung stattfinden.

Nach der obigen Überlegung ergibt sich die Wahrscheinlichkeit, dass ein Geschoss längs einem cm. seines Weges eine Zertrümmerung herbeiführt, zu

$$W = W_a \cdot W_b \cdot W_c \quad (1)$$

wobei W_a , W_b und W_c die Wahrscheinlichkeiten der Erfüllung der unter a, b und c angegebenen Bedingungen darstellen.

Die «Treff» — Wahrscheinlichkeit W_a lässt sich durch quantenmechanische Überlegungen über den Drehimpuls der zusammenstossenden Teilchen zu

$$W_a = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot N$$

berechnen, wobei λ die «de Broglie» — Wellenlänge des Geschosses und N die Anzahl Kerne pro cm³ darstellen.

Die Wahrscheinlichkeit W_b , dass ein Teilchen, welches einen Kern

* ΚΑΙΣΑΡΟΣ ΔΗΜ. ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΥ.—Ἐπὶ τῆς θεωρίας τῆς διασπάσεως τῶν ἀτομικῶν πυρήνων.

¹ G. GAMOW, Bau des Atomkerns, Leipzig, 1932.—G. GAMOW, *Ann. de l'Inst. H. Poincaré*, 1935, S. 102.

trifft, in denselben eindringt, hat Gamow aus der Durchlässigkeit des den Kern umgebenden Potentialbergs zu

$$W_b = \exp \left\{ -\frac{2\pi \cdot \epsilon^2 \cdot z \cdot Z}{h} \cdot \sqrt{\frac{2m}{E^*}} \cdot (2u - \sin 2u) \right\}$$

berechnet, wobei $\exp \{ \} = e^{\{ \}}$

ϵ = elektr. Elementarladung,

z, m = Atomzahl und Masse des Geschosses,

Z = Atomzahl des Kernes,

E^* = die beim Stoss wirksame Energie,

$$\cos^2 u = \frac{E^* \cdot r_0}{z \cdot Z \cdot \epsilon^2},$$

r_0 = Kernradius bedeutet.

Aus dieser Formel entnehmen wir, dass die Eindringungswahrscheinlichkeit von der Energie des Geschosses E^* exponentiell abhängt, und zwar solange diese kleiner als die Höhe des Potentialbergs

$$\frac{z \cdot Z \cdot \epsilon^2}{r_0} \text{ ist. Wenn } E^* \geq \frac{z \cdot Z \cdot \epsilon^2}{r_0}, \text{ so ist } W_b = 1.$$

Die Wahrscheinlichkeit W_c ist eine Funktion genau gleichen Charakters, stellt aber die Durchlässigkeit des Potentialbergs für das Trümmer, welches bei der Zertrümmerung ausgeschleudert wird, dar. Auch für diese Funktion ergibt sich

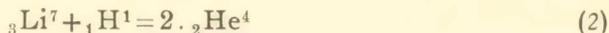
$W_c < 1$ solange $E^{*'} < \text{Höhe des Potentialbergs}$

und $W_c = 1$ solange $E^{*'} \geq \text{Höhe des Potentialbergs}$,

wobei $E^{*'}$ die wirksame Energie des Trümmers darstellt.

Die Funktion W_a lässt sich genau ausrechnen. Die numerische Ausrechnung von W_b und W_c ist nicht möglich, da die genaue Kenntnis der Form des Potentialbergs dazu erforderlich ist. Aus diesem Grunde ist die Prüfung der quantitativen Gültigkeit der Formel (1) in den meisten Fällen nicht möglich. Immerhin, wie ich gleich nachweisen werde, kommt es manchmal vor, dass W_b und W_c den konstanten Wert 1 annehmen. In solchen Fällen vereinfacht sich die Formel (1) und zu ihrer Prüfung genügt ein Vergleich zwischen der gemessenen Zertrümmerungswahrscheinlichkeit W und der berechneten Treffwahrscheinlichkeit W_a .

Als ersten solchen Fall erwähne ich die Zertrümmerung des Lithiums durch schnelle Protonen



Die entstehenden α -Teilchen haben eine kinetische Energie von je 8,5 MeV¹. Da dieser Wert die Höhe des Potentialberges zwischen den beiden α -Teilchen bei weitem übersteigt², muss der Wert von W_c , 1 betragen. Die Funktion W nimmt folgende Form an:

$$W = W_a \cdot W_b \cdot 1$$

Da W_a eine Funktion ist, welche sich langsam mit der Energie ändert, so wird W (wegen dem Faktor W_b) einen exponentiellen Verlauf zeigen. Dieses Verhalten wurde bis zu Energien von 0,4 MeV. durch Messungen bestätigt³. Von 0,4 MeV. aber aufwärts zeigt sich, dass W nicht mehr zunimmt, sondern unveränderlich bleibt. Dies drückt sich auf der Kurve der totalen Ausbeute als eine Zunahme proportional der Reichweite der Protonen in der Lithiumschicht aus. Daraus schliessen wir, dass die Höhe des Potentialberges von Li-Kernen gegen Protonen 0,4 MeV. beträgt. Wenn wir uns also auf Energien höher als 0,4 MeV. beschränken, so sind beide Voraussetzungen, welche zur Prüfung der Formel (1) notwendig sind, erfüllt:

$$W_b = 1 \qquad W_c = 1$$

Greifen wir auf der Ausbeute-Kurve zwei Punkte $E = 0,8$ MeV. und $E = 1$ MeV. aus; in diesem Intervalle nimmt die Ausbeute um $\frac{1}{2 \cdot 10^7}$ zu, während die Reichweite der Protonen im Lithium um 0,7 cm. Normalluft anwächst⁴. Aus der Reichweite und dem zu $7,2 \cdot 10^{-25}$ cm² berechneten Wirkungsquerschnitt für «Treffen», ergibt sich in diesem Energieintervall die Zunahme der Kerntreffer zu $\frac{1}{2 \cdot 10^4}$. Dies ist nur so zu verstehen, dass nicht jedes eingedrungene Proton, sondern im Mittel nur jedes tausendste zur Zertrümmerung führt. Wir stellen also fest, dass bei hohen Energien ein direktes Überfliegen der Potentialmulde stattfindet; nur jedes tausendste Teilchen

¹ OLIPHANT, RUTHERFORD und KEMPTON, *Proc. Roy. Soc.*, **149**, 406, S. 1935.

² Durch Streuversuche von α -Teilchen an Helium wurde die Höhe des Potentialberges zu 1,6 bis 2 MeV. bestimmt.

³ HENDERSON, *Phys. Rev.*, **43**, S. 98, 1933.

⁴ COCKROFT, *Int. conf. on Ph. London*, Oct. 1934.

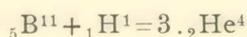
bleibt im Kern stecken unter Aussendung eines Trümmers. Im vorliegenden Beispiel ist also $W \neq W_a$, trotzdem $W_b = 1$ und $W_c = 1$ ist.

Diese Unstimmigkeit in der Formel (1) wird in der vorliegenden Arbeit durch die Einführung eines weiteren Faktors W_d beseitigt

$$W = W_a \cdot W_b \cdot W_c \cdot W_d \quad (3)$$

Der Faktor W_d hat in diesem Beispiel den Wert 10^{-3} und stellt die Wahrscheinlichkeit der Einfangung des eingedrungenen Geschosses dar.

Als zweites Beispiel erwähne ich die Umwandlung



In ganz analoger Weise lässt sich W_d zu 10^{-3} berechnen.

Die Notwendigkeit der Erweiterung der Formel (1) kommt im dritten Beispiel besonders klar zum Ausdruck. Es handelt sich um die Zertrümmerung des Deuteriums durch Deuteronen. Die Umwandlung geht auf zwei verschiedene Weisen vor sich:



Die Kurven der Ausbeute in Funktion der Energie der Geschosse haben das besondere Merkmal¹, dass im ganzen untersuchten Gebiet die Ausbeute nach (4) grösser als die Ausbeute nach (5) um den konstanten Faktor 1,7 ist. Diese Eigenschaft erklärt sich folgendermassen: In beiden Prozessen handelt es sich um Zertrümmerungen des gleichen Kernes und mit gleichen Geschossen, so dass sowohl W_a wie W_b die gleichen Werte besitzen. Die Austrittswahrscheinlichkeit W_c ist in beiden Fällen gleich 1 und zwar a) bei der Zertrümmerung (4) wegen der freiwerdenden Energie, welche 4 MeV. beträgt und den Potentialberg bei weitem übersteigt, und b) bei der Zertrümmerung (5) wegen der Form des Potentialberges, welcher für Neutronen das Aussehen einer Mulde hat. Der Unterschied in den Ausbeuten kann also nur in der Verschiedenheit der Werte von W_d liegen. Unter Anwendung der gleichen Gedankengänge wie bei der Zertrümmerung (2) erhalten wir für die Umwandlungen (4) und (5) die Werte $W_d = 5 \cdot 10^{-2}$ und $W_d = 3 \cdot 10^{-2}$.

Die Wahrscheinlichkeit der Einfangung W_d kann als Übergangs-

¹ K. ALEXOPOULOS, *Naturwissenschaften*, **23**, 817, 1935.

wahrscheinlichkeit zwischen zwei Kernzuständen aufgefasst werden. Beim Anfangszustand ist das eingedrungene Geschoss auf dem labilen Energie-niveau, auf welchem es sich schon vor der Eindringung befand, und das Trümmer, dessen Emission bevorsteht, auf dem stabilen Grundniveau. Beim Endzustand ist das Geschoss vom Kern endgültig eingefangen (befindet sich somit auf einem stabilen Niveau) und das Trümmer hat sich zu einem instabilen Niveau gehoben.

Wie man aus den erwähnten drei Beispielen ersieht, hängt der Wert von W_d stark von den Teilchen, welche bei der Zertrümmerung vorkommen, ab. Über den Mechanismus dieses Einflusses lässt sich schwer etwas aussagen; vielleicht übt der Spin der Teilchen eine Wirkung auf die «Intensität» der Übergänge aus.

Die Frage ob W_d für eine gegebene Kernumwandlung energieunabhängig ist, wird erst dann beantwortet werden können, wenn der Wert von W_d in mehreren weit auseinander liegenden Energiegebieten bestimmt worden ist.

Zusammenfassung.—An Hand von drei Beispielen wird der Nachweis erbracht, dass die Gültigkeit der Gamowschen Formel der Zertrümmerungswahrscheinlichkeit nur qualitativer Natur ist. Eine quantitative Übereinstimmung wird erst erreicht, wenn man die Einfangswahrscheinlichkeit des eingedrungenen Geschosses berücksichtigt.

ΠΕΡΙΛΗΨΙΣ

Κατὰ τὴν θεωρίαν τοῦ Gamow ἡ πιθανότης τῆς διασπάσεως ἑνὸς πυρῆνος κατὰ τὴν σύγκρουσιν αὐτοῦ μετὰ σωματίου ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὰς πιθανότητας συγκρούσεως, εἰσχωρήσεως τοῦ σωματίου εἰς τὸν πυρῆνα καὶ ἐκπομπῆς θρύμματος ἀπὸ τὸν πυρῆνα. Ὁ ἐπὶ τῇ βᾶσει τῆς ἀνωτέρω θεωρίας ἀναπτυχθεὶς τύπος συμφωνεῖ ποιοτικῶς μὲ τὰ πειράματα· ὁ ἀκριβὴς ὅμως ἔλεγχος αὐτοῦ, ὁ ὁποῖος δὲν εἶναι δυνατὸς εἰμὴ κατὰ τὰς διασπάσεις τοῦ λιθίου καὶ τοῦ βορίου διὰ πρωτονίων ὡς καὶ τοῦ δευτερίου διὰ δευτερονίων, δεικνύει ὅτι μεταξὺ τύπου καὶ πειραμάτων ὑπάρχουσι ποσοτικαὶ διαφοραί.

Ἐν τῇ ἐργασίᾳ ταύτῃ προτείνεται ἡ εἰσαγωγή ἑνὸς συντελεστοῦ εἰς τὸν τύπον τοῦ Gamow ὁπότε καθίσταται δυνατὴ καὶ ἡ ποσοτικὴ συνταύτισις τῶν πειραματικῶν καὶ τῶν θεωρητικῶν ἀποτελεσμάτων. Ὁ συντελεστὴς οὗτος ἔχει τιμὰς μεταξὺ 10^{-2} καὶ 10^{-3} καὶ παριστᾷ τὴν πιθανότητα τῆς ἐν τῷ πυρῆνι συγκρατήσεως τοῦ εἰσχωρήσαντος σωματίου.