Zeitschrift: Helvetica Physica Acta
Band: 10 (1937)
Heft: II

Artikel: Zur Frage der -Wechselwirkung
Autor: Wentzel, G.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-110733

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Zur Frage der β-Wechselwirkung

von **G. Wentzel.**

(21. I. 37.)

Inhalt: Es ist wahrscheinlich, dass es ausser den bekannten β-Umwandlungen elementare Kernprozesse gibt, bei denen neutrale Paare leichter Teilchen (Elektron + Positron oder Neutrino + Antineutrino) emittiert werden[1]). Die Bedeutung dieser Prozesse für die β-Theorie der Kernkräfte wird diskutiert.

1. Breit, Condon und Present[2]) haben kürzlich, auf Grund einer wellenmechanischen Analyse der Proton-Proton-Streuversuche von Tuve, Heydenburg und Hafstad[3]), die Vermutung ausgesprochen, dass die Kernkräfte zwischen Proton und Proton denjenigen zwischen Proton und Neutron gleich oder doch angenähert gleich sind. Es ist in der Tat eine sehr plausible Annahme, dass in den eigentlichen nuclearen Wechselwirkungen die elektrischen Ladungen der Partner nur eine sekundäre Rolle spielen.

Wenn aber diese Annahme sich bezüglich des Protons und Neutrons als begründet erweist, so liegt es nahe, sie versuchsweise auch für die leichten Teilchen (Elektron, Positron, Neutrino, Antineutrino) gelten zu lassen. Insbesondere stellt sich die Frage, ob nicht beim β-Zerfall (in der Pauli-Fermi'schen Deutung) Elektron und Neutrino durch andere leichte Teilchen ersetzbar sind, d. h. ob es nicht auch elementare Kernprozesse gibt, bei denen zwei geladene oder zwei ungeladene Teilchen emittiert werden. Natürlich ist die Ladung hier insofern von Wichtigkeit, als die Forderung der Ladungserhaltung (sowohl für die elektrische als für die duale Neutrinoladung[4])) eine „Auswahlregel" für die möglichen Prozesse darstellt; wird aber angenommen, dass die Ladungen der einzelnen beteiligten Partikeln im übrigen irrelevant sind, so

---

[1]) Auf die Möglichkeit solcher Prozesse hat der Verfasser bereits in einem anderen Zusammenhang hingewiesen; vgl. Zeitschr. f. Phys. **104**, 1936, S. 36.

[2]) G. Breit, E. U. Condon, R. D. Present, Phys. Rev. **50**, 1936, S. 825.

[3]) M. A. Tuve, N. P. Heydenburg, L. R. Hafstad, Phys. Rev. **50**, 1936, S. 806.

[4]) Im Sinne von P. Jordan (Zeitschr. f. Phys. **98**, 1936, S. 759, § 2).

sind ausser den β^-- und β^+-Prozessen weitere gleichberechtigte Prozesse zu erwarten: mit den Bezeichnungen

Proton $= P$	Neutron $= N$
Elektron $= e$	Neutrino $= n$
Positron $= p$	Antineutrino $= a$

wird man dem Proton ausser dem β^+-Zerfall

$$P \rightarrow N + p + a \tag{1}$$

die Übergänge

$$P \rightarrow P' + e + p \tag{2}$$

$$P \rightarrow P' + n + a \tag{3}$$

zuschreiben müssen (P' bedeutet einen neuen Zustand des Protons), entsprechend dem Neutron ausser dem β^--Zerfall

$$N \rightarrow P + e + n \tag{4}$$

die Übergänge

$$N \rightarrow N' + e + p \tag{5}$$

$$N \rightarrow N' + n + a\,. \tag{6}$$

Aus energetischen Gründen können solche „β-Prozesse 2. Art" natürlich nur in zusammengesetzten Kernen stattfinden.

Vorausgesetzt, dass die Matrixelemente dieser Prozesse nicht wesentlich grösser sind als die der bekannten β-Prozesse (1) und (4), wird ein unmittelbarer experimenteller Nachweis ihres Vorkommens schwerlich zu erbringen sein. Da nämlich die betreffenden Kernübergänge ($P \rightarrow P'$ bzw. $N \rightarrow N'$) hier nicht mit einer Ladungsänderung verbunden sind, können dieselben Übergänge auch unter Lichtemission erfolgen, und diese γ-Übergänge sind unter allen Umständen um viele Zehnerpotenzen wahrscheinlicher als die entsprechenden β-Prozesse 2. Art. Ferner haben jene γ-Quanten noch die Möglichkeit, sich in der Umgebung des Kerns in Elektron-Positron-Paare umzuwandeln[1]), und eine solche Paarerzeugung durch Vermittlung eines γ-Quants ist immer noch sehr viel wahrscheinlicher als die direkte Paarerzeugung gemäss (2) oder (5), so dass eine experimentelle Unterscheidung der letzteren Paare von den anderen unmöglich scheint. Selbst der Ausnahmefall, dass der betreffende γ-Übergang auswahlmässig ver-

[1]) Die Umwandlungswahrscheinlichkeit ist nach L. Nedelsky und J. R. Oppenheimer (Phys. Rev. **44**, 1933, S. 948) sowie nach J. C. Jaeger und H. R. Hulme (Proc. Roy. Soc. **148**, 1935, S. 708) für Energien von einigen Millionen Elektronen-Volt von der Grössenordnung 10^{-3}, auch bei kleinen Kernladungen.

boten ist (Drehimpuls = 0 im Anfangs- und im Endzustand des Kerns), dürfte kaum aussichtsreicher sein: hier wird die Kernenergie vorzugsweise an ein Hüllen-Elektron abgegeben[1]), und auch dieses kann im Kernfelde wiederum Paare erzeugen, die den gesuchten Effekt verdecken würden, auch wenn keine störenden γ-Strahlen anderer Energien anwesend wären. Die Matrixelemente (2) und (5) müssten also schon um mehrere Zehnerpotenzen grösser sein als (1) und (4), wenn sie zur gesamten Paarerzeugung einen merklichen Beitrag geben sollen.

2. Die Kenntnis aller elementaren Kernprozesse und ihrer Matrixelemente ist namentlich von Wichtigkeit für die Theorie des „β-Feldes", d. h. der in der Umgebung von Protonen und Neutronen virtuell vorhandenen leichten Teilchen, die nach einer bekannten Hypothese die Kernkräfte zwischen den schweren Teilchen vermitteln sollen. Wenn sich die Gleichheit der Proton-Proton-Kräfte und der Proton-Neutron-Kräfte bestätigt, so lässt sich dies im Rahmen einer β-Theorie wohl nur erklären, wenn auch beim β-Prozess geladene und ungeladene Teilchen, wenigstens in einem gewissen Umfange, einander ersetzen können.

Falls nur die β-Prozesse 1. Art (1) und (4) existieren, so ergibt sich in der ersten Näherung der Störungsrechnung (Störungsmatrix 2. Ordnung) bekanntlich zwar eine Proton-Neutron-, aber keine Proton-Proton-Wechselwirkung. Ein Zusammenstoss von Proton und Neutron kann dann durch das Schema

$$P + N \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} N' + p + a + N \\ P + e + n + P' \end{array} \right\} \rightarrow N' + P' \tag{7}$$

dargestellt werden[2]); die zugehörige Kraft ist eine Austauschkraft (die Partikeln tauschen ihre Ladung aus). Durch die Prozesse 2. Art (2), (3), (5), (6) werden nun folgende weitere Übergänge ermöglicht:

$$P + N \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} P' + e + p + N \\ P' + n + a + N \\ P + e + p + N' \\ P + n + a + N' \end{array} \right\} \rightarrow P' + N' \tag{8}$$

---

[1]) Vgl. R. H. Fowler, Proc. Roy. Soc. **129**, 1930, S. 1; H. M. Taylor und N. F. Mott, Proc. Roy. Soc. **138**, 1932, S. 665.

[2]) $N' + p + a + N$ und $P + e + n + P'$ sind die in Betracht kommenden „virtuellen Zwischenzustände".

$$P + P' \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} P'' + e + p + P' \\ P'' + n + a + P' \\ P + e + p + P''' \\ P + n + a + P''' \end{array} \right\} \rightarrow P'' + P''' \tag{9}$$

$$N + N' \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} N'' + e + p + N' \\ N'' + n + a + N' \\ N + e + p + N''' \\ N + n + a + N''' \end{array} \right\} \rightarrow N'' + N''' \tag{10}$$

Jetzt hat man also in der ersten Näherung auch Proton- Proton- und Neutron-Neutron-Kräfte. Zu beachten ist, dass die dem Schema (8) entsprechende Proton-Neutron-Kraft keine Austauschkraft ist: jede Partikel behält ihre Ladung.

Die nächstliegende Annahme wäre nun, dass die Matrixelemente der Übergänge (1) bis (6) alle einander gleich sind (nicht nur bezüglich der auf die Eigenfunktionen wirkenden Operatoren, sondern auch bezüglich des numerischen Faktors), und dass dies die einzigen Matrixelemente der β-Wechselwirkung sind. Bei dieser Annahme ergibt sich jedoch keine Gleichheit zwischen Proton-Proton- und Proton-Neutron-Kräften; zwar entsprechen die Übergänge (8) und (9) einander (der Massenunterschied von Proton und Neutron ist ja belanglos), aber bei der Proton-Proton-Kraft fehlt der zur Austauschkraft (7) analoge Term.

Immerhin kann man die beiden Kräfte durch besondere Wahl der Zahlkoeffizienten in den Matrixelementen (1) bis (6) einander gleich machen. Werden z. B. die Matrixelemente der β-Prozesse 2. Art untereinander gleich[1]), aber gross gegen diejenigen der Prozesse 1. Art gewählt, so sind die Übergänge (7) belanglos gegenüber (8) und (9), und die Proton-Proton-Kräfte werden nahezu gleich[2]) den Proton-Neutron-Kräften (auch in höheren Näherungen der Störungsrechnung). Freilich wäre die Proton-Neutron-Kraft in diesem Falle im wesentlichen eine gewöhnliche Kraft (ohne Ladungsaustausch, wenn auch eventuell mit Spinaustausch)[3]), und

---

[1]) Es genügt auch (2) = (5) und (3) = (6).

[2]) Eine *exakte* Gleichheit von P-P-, N-N- und P-N-Kräften für alle Zustände (in der ersten störungstheoretischen Näherung) lässt sich auch bei anderer Wahl der Koeffizienten nicht erzielen, sofern die β-Übergänge 1. Art überhaupt existieren.

[3]) Eine reine Austauschkraft erhält man (in der ersten störungstheoretischen Näherung) z. B., wenn die Matrixelemente (3) und (5) — oder (2) und (6) — verschwinden; dann können nämlich die Übergänge (8) nicht stattfinden. Bei dieser Annahme unterscheiden sich aber die P-P- und die P-N-Kräfte sogar im Vorzeichen.

der Sättigungscharakter der Kernbindungskräfte müsste dann anders als üblich erklärt werden[1]). Andererseits würde dann die absolute Grösse der Kernkräfte eher verständlich sein.

Natürlich ist daneben auch mit der Möglichkeit zu rechnen, dass die β-Wechselwirkung ausser den bisher diskutierten noch andere Matrixelemente enthält, die sogar in der Hauptsache für die Kernkräfte verantwortlich sein könnten. Aber auch dann wird die Annahme, dass geladene und ungeladene Teilchen im Rahmen der Ladungserhaltung einander vollständig ersetzen können, wie die obige Diskussion lehrt, keine exakte, sondern höchstens eine angenäherte Gleichheit von Proton-Proton- und Proton-Neutron-Kräften zur Folge haben können, auch wenn die kleinen Massenunterschiede und alle elektromagnetischen Wechselwirkungen ganz vernachlässigt werden.

Zürich, Physikalisches Institut der Universität.

[1]) Vgl. hierzu G. Breit und E. Feenberg, Phys. Rev. **50**, 1936, S. 850.