

Bereich zeigt die untersuchte Substanz einen für durchsichtige Medien ungewöhnlich hohen Brechungsindex ($n_D = 3,37$) und sehr hohe Dispersion $(dn/d\lambda)_D \approx -1,6 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-1}$, so daß die Na-D-Linien von dem benutzten Prisma noch getrennt werden. Im infraroten Spektralgebiet nimmt der Brechungsindex auf etwa 2,9 und die Dispersion auf weniger als $-1 \cdot 10^2 \text{ cm}^{-1}$ ab. Die Absorptionskonstante durchläuft ein Minimum bei etwa 1μ und steigt nach längeren Wellen wieder an.

Die erschmolzenen Proben waren im allgemeinen p-leitend, durch Dotieren der Schmelze mit Schwefel konnten jedoch auch n-leitende Kristalle hergestellt werden.

Nach freundlicher Mitteilung von Herrn Dr. R. Gremmelmaier zeigt Galliumphosphid Spitzengleichrichterwirkung; außerdem wurde ein lichtelektrischer Effekt festgestellt.

Über die elektrischen Eigenschaften von Galliumphosphid wird noch ausführlich berichtet werden.

Über die Erhaltung der Fermionenladung

Von G. Marx

Institut für Physik der Roland Eötvös Universität,
Budapest

(Z. Naturforschg. 9a, 1051—1052 [1954]; eingeg. am 26. Oktober 1954)

Im letzten Jahrzehnt trat an die Stelle der Annahme von der Unveränderlichkeit der Elementarteilchen die Erkenntnis, daß die Neigung, sich umzuwandeln — die Instabilität — eher eine Regel als eine Ausnahme bei den Elementarteilchen darstellt. Man kann sagen, daß sie jede Umwandlung erleiden, die nicht durch irgendein physikalisches Gesetz (Erhaltungssatz) untersagt wird. Hier sind die dynamischen Sätze (Erhaltungssätze von Energie, Impuls und Drehimpuls) sowie der Erhaltungssatz der elektrischen Ladung zu erwähnen. Bei der Untersuchung der zwischen den Elementarteilchen vorkommenden Umwandlungen folgte Wigner in den letzten Jahren das Bestehen eines weiteren Erhaltungssatzes, der in der klassischen Physik unbekannt war, nämlich die Erhaltung der Nukleonenladung^{1,2}. Dieses Gesetz erklärt die Beobachtung, daß die Zahl der Nukleonen bei den Umwandlungen unverändert bleibt, sowie die Gleichheit der zwischen den verschiedenen Nukleonen wirkenden Kernkräfte (vgl. l. c.^{3,4}).

Mehrere Forscher wiesen darauf hin, daß die oben erwähnten Erhaltungssätze keine befriedigende Erklärung für sämtliche Gesetzmäßigkeiten geben, die sich bei den Wechselwirkungen der Elementarteilchen beobachten lassen⁵. Es ist bekannt, daß die Kopplungskonstante der zwischen den vier Fermionen auftretenden Wechselwirkungen (β -Zerfall und K-Einfang, Zerfall bzw. Einfang des μ -Mesons) innerhalb der empirischen und theoretischen Genauigkeit von gleicher Größe ist⁶. Klein zog auf ähnlicher Grundlage den Schluß, daß zwischen vier beliebigen Fermionen stets eine universale Fermionenwechselwirkung besteht⁷. Aus dieser Annahme würden sich allerdings auch Zerfallsprozesse ergeben, die man in der Natur nicht beobachten kann^{8,9}.

Zur Erklärung der erwähnten Erscheinungen folgten der Verfasser¹⁰ und, unabhängig von ihm und in einer etwas anderen Form, Seldowitsch⁸ einen neuen Erhaltungssatz. Nach dieser Annahme besitzt jedes Fermion (außer der eventuellen elektrischen und Nukleonenladung) eine sog. Fermionenladung, und auch diese Ladung bleibt bei allen Umwandlungen erhalten. (In der Fassung von Seldowitsch heißt es Neutrino-ladung, und nach ihm besitzen nur die leichten Fermionen — Neutrino, Elektron-Positron, μ -Meson — eine Neutrino-ladung.) Berücksichtigt man den eingeführten Erhaltungssatz und die Fähigkeit der Fermionen, sich ineinander umzuwandeln, so gelangt man zur Folgerung, daß der Zahlenwert der Ladung sämtlicher Fermionen gleich ist, und zwar beträgt die Ladung der „wirklichen“ Teilchen $+f$ und die der im Diracschen Sinn genommenen Antiteilchen $-f$. Seldowitsch betrachtet den Zahlenwert von f als durch Messung unbestimmbar. Nach Ansicht des Verfassers wird die Stärke der Fermionenwechselwirkung durch die f -Ladung bestimmt. Die Fermische Wechselwirkungskonstante F des β -Zerfalls und anderer Prozesse ergibt sich aus dem Produkt der f -Ladungen der an der Wechselwirkung teilnehmenden vier Fermionen. Die aus dem Erhaltungssatz folgende Gleichheit der f -Ladungen gibt die Erklärung für die beobachtete Übereinstimmung der Wechselwirkungskonstante F bei den verschiedenen Prozessen. Zieht man die aus Messungen ermittelte Größe der Kopplungskonstante F in Betracht, so erhält man einen Wert von ungefähr

$$f = F^{1/4} = (5 \cdot 10^{49} \text{ erg cm}^3)^{1/4} \\ = 2,5 \cdot 10^{-12} \text{ cm}^{3/4} \text{ g}^{1/4} \text{ sec}^{1/2}.$$

Mit dem Erhaltungssatz der Fermionenladung läßt sich auch jene von Konopinski und Mahmoud empirisch aufgestellte Forderung⁹ erklären, daß der Hamilton-Operator der universalen Fermionenwechselwirkung die Form

$$H = F \int (\psi_1^* \alpha \psi_2) (\psi_3^* \alpha \psi_4) dx$$

haben müsse. In dieser Gleichung bedeutet ψ_i einen die Absorption eines Fermions (die Emission eines Antifermions) und ψ_j^* einen die Emission eines Fer-

¹ E. Wigner, Proc. Amer. Phil. Soc. **93**, 521 [1949].

² E. Wigner, Proc. Nat. Akad. Sci. **38**, 449 [1952].

³ L. I. Schiff, Phys. Rev. **85**, 374 [1952].

⁴ A. B. Seldowitsch, Dokl. Akad. Nauk SSSR **86**, 505 [1952].

⁵ E. Fermi, Elementary Particles, 1951.

⁶ Tiomno-Wheeler, Rev. Mod. Phys. **21**, 153 [1949].

⁷ O. Klein, Nature, Lond. **161**, 897 [1948].

⁸ A. B. Seldowitsch, Dokl. Akad. Nauk SSSR **91**, 1317 [1953].

⁹ E. J. Konopinski u. H. M. Mahmoud, Phys. Rev. **92**, 1045 [1953].

¹⁰ G. Marx, Acta Phys. Hung. **3**, 55 [1953].



mions (die Absorption eines Antifermions) beschreibenden Spinoroperator, während α eine Dirac-Matrix darstellt. In dieser Form vermindert nämlich H die Fermionenladung um $2f$ und erhöht sie um $2\bar{f}$, läßt sie also letztlich unverändert. Konopinski und Mahmoud hatten die oben angesetzte Form des Wechselwirkungsoperators zum Ausschließen folgender, in der Natur nicht vorkommender Umwandlungen postuliert:

$$\begin{aligned} \mu^- + \pi^+ &\rightarrow p^+ + e^-, & {}_A K^Z &\rightarrow {}_A K^{Z+2} + e^- + e^-, \\ \mu^- &\rightarrow e^\pm + e^+ + e^-, & \mu^+ &\rightarrow e^\pm + \gamma. \end{aligned}$$

Hier bedeutet ${}_A K^Z$ einen Atomkern mit der Ordnungszahl Z und einem Atomgewicht A . Alle diese Prozesse werden von den bisher bekannten physikalischen Gesetzen und von der unbeschränkt angewandten Fermionenwechselwirkung zugelassen. Wenn man aber voraussetzt, daß Neutrino, Elektron, μ^+ -Meson, Proton und Neutron eine Ladung $+f$ und Antineutron, Positron, μ^- -Meson und die Antinukleonen eine Ladung $-f$ besitzen, während die Teilchen mit ganzem Spin ungeladen sind, dann läßt die Erhaltung der Fermionenladung das Eintreten der aufgezählten Umwandlungen nicht zu. Demgegenüber wird der Erhaltungssatz von den untenstehenden, in der Natur wirklich beobachtbaren Umwandlungen befriedigt:

$$\begin{aligned} {}_A K^Z &\rightarrow {}_A K^{Z+1} + e^- + \nu^*, & {}_A K^Z &\rightarrow {}_A K^{Z-1} + e^+ + \nu, \\ {}_A K^Z + e^- &\rightarrow {}_A K^{Z-1} + \nu, & {}_A K^Z + \mu^- &\rightarrow {}_A K^{Z-1} + \nu^*, \\ N &\rightarrow p^+ + e^- + \nu^*, & \pi^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu^*, \\ \pi^- &\rightarrow \mu^- + \nu, & \mu^+ &\rightarrow e^+ + \nu + \nu, & \mu^- &\rightarrow e^- + \nu^* + \nu^*. \end{aligned}$$

¹¹ A. Pais, *Physica* **19**, 869 [1953].

Die Feldtheorie sieht zwischen den Erhaltungssätzen und den Invarianzeigenschaften der physikalischen Gesetze einen engen Zusammenhang. So ist der Energie- und Impulssatz die formale Folge der Invarianz gegenüber der Koordinatenverschiebung, der Drehimpulssatz die der Invarianz gegenüber der Verdrehung des Koordinatensystems, die Erhaltung der elektrischen Ladung die der Eichinvarianz. Pais bringt die Erhaltung der Nukleonenladung mit der Invarianz gegenüber der Verdrehung des isotopen Spinraumes in Zusammenhang¹¹ (vgl. auch¹²). Die Erhaltung der Fermionenladung folgt aus nachstehendem Invarianzpostulat: Sämtliche Gleichungen müssen kovariant sein, wenn man jeden ein Fermion beschreibenden Spinor ψ durch ψe^{ic} sowie ψ^* durch $\psi^* e^{-ic}$ ersetzt ($c = \text{const}$) und die Bose-Teilchen beschreibenden Potentiale unverändert läßt. Der oben angeschriebene Wechselwirkungsoperator befriedigt offenbar diese Bedingung (Invarianz gegenüber der „Phasentransformation“).

Neben den dynamischen Gesetzen, die aus den Bewegungsgleichungen folgen (Energie-, Impuls- und Drehimpulssatz) bestehen auch Erhaltungssätze für die elektrischen, Nukleonen- und Fermionenladungen. Diese können als ein sich auf die Kopplungskonstanten beziehender allgemeiner Erhaltungssatz zusammengefaßt werden. Die endgültige Antwort auf die Frage, ob die drei Wechselwirkungstypen (Maxwellsche, Yukawasche und Fermische Wechselwirkung) wirklich zur quantitativen Behandlung aller Prozesse genügen, die sich zwischen den Elementarteilchen abspielen, ist vom Ergebnis der Forschungen der nächsten Zukunft zu erwarten.

¹² P. Jordan, *Z. Naturforschg.* **7a**, 78, 701 [1952].

Über eine γ - γ -Winkelkorrelation beim Zerfall von ${}^{42}\text{K}$

Von U. Cappeller und R. Klingelhöfer

Physikalisches Institut der Universität Marburg/Lahn
Z. Naturforschg. **9a**, 1052—1054 [1954]; eingeg. am 1. November 1954)

Der Kern ${}^{42}\text{K}$ zerfällt nach den bisher bekannt gewordenen Untersuchungen mit einer Halbwertszeit von $T_{1/2} = 12,44$ h durch einen β^- -Zerfall in den Kern ${}^{42}\text{Ca}$. Aus der Energieverteilung im β -Spektrum lassen sich zwei Übergangsenergien $E_{\beta_1} = 3,58$ MeV und $E_{\beta_2} = 2,05$ MeV herauslesen. Die Beobachtung einer γ -Strahlung mit einer Energie von $E_{\gamma_1} = 1,51$ MeV stimmt hiermit gut überein¹⁻³.

Die Untersuchung eines Präparates aus ${}^{42}\text{K}$ in einer Koinzidenzapparatur führte uns indes zu der Beobachtung, daß beim Zerfall von ${}^{42}\text{K}$ γ - γ -Koinzidenzen

mit einer vom Winkel zwischen den beiden emittierten Quanten abhängigen Rate auftreten⁴ (Abb. 1). Die aufgefundene Anisotropie beträgt etwa 20%.

Aus diesen Messungen folgt zunächst, daß es für den ${}^{42}\text{K}$ -Kern neben dem bekannten mit der Emission eines 1,5 MeV- γ -Quants verbundenen Zerfall noch eine weitere Zerfallsmöglichkeit mit einer γ - γ -Kaskade geben muß. Die Existenz einer zweiten γ -Strahlung ist schon vor längerer Zeit von Bleuler und Zünti² zur Deutung ihrer Absorptionsmessungen an den von der ${}^{42}\text{K}$ - γ -Strahlung an Pb ausgelösten Sekundärelektronen herangezogen worden. Kürzlich publizierte Messungen von Lazar und Bell⁵ bestätigen diese Vermutung; von diesen Beobachtern ist eine γ -Strahlung E_{γ_2} von 0,309 MeV aufgefunden worden. Ihr Anteil an der Gesamt- γ -Strahlung kann aber nach den Messungen von Kahn und Lyon³ nur gering sein; er läßt sich aus unseren Messungen auf ungefähr 10% abschätzen.

¹ K. Siegbahn, *Arkiv Mat. Astron. Fysik* **34** A, Nr. 10 [1947]; **34** B, Nr. 4 [1947].

² E. Bleuler u. W. Zünti, *Helv. Acta* **20**, 195 [1947].

³ B. Kahn u. W. S. Lyon, *Phys. Rev.* **91**, 1212 [1953].

⁴ Solche γ - γ -Koinzidenzen sind schon von Siegbahn¹ gesucht, aber nicht gefunden worden.

⁵ N. H. Lazar u. R. R. Bell, *Phys. Rev.* **95**, 612 [1954].