Archiv von Heisenbergs Briefen

von: Werner Heisenberg
an: Pauli
Datum: 17.07.1933
Stichworte: Löchertheorie, Selbstenergie des Elektrons
Ursprung: Pauli Archiv in Genf
Kennzeichen im Pauli Archiv in Genf: heisenberg_0017-0575r
Meyenn-Nummer: 316

Leipzig 17.7. 33

Lieber Pauli! Hab vielen Dank für Deinen interessanten und lehrreichen Brief. Zunächst möchte ich Dir kurz schreiben, was ich mir über die Löchertheorie überlegt habe.

Wenn man mit der Hamiltonfunktion der Quantenel.dyn. anfängt:

$$E = \sum N_s E_s + \sum M_{r\lambda} h\nu_{r\lambda} + \sum \pi \nu_r (P_3^r)^2$$

$$(1) \qquad + ie\sqrt{\frac{h}{4\pi}} \cdot \sum c_{st}^{r\lambda} N_s \Delta_s V_s V_t \Delta_t N_t \left(M_{r\lambda}^{\frac{1}{2}} \Delta_{r\lambda}^- - \Delta_{r\lambda}^+ M_{r\lambda}^{\frac{1}{2}}\right),$$

$$P_3^r = -e \sum N_s \Delta_s V_s V_t \Delta_t N_t d_{st}^r,$$

(die Bezeichnungen sind dieselben wie in unserer Arbeit), so kann man [illegible] die Summen über s, t zerlegen in [illegible] eine Summe über positive Energien (von jetzt ab Index: s,t) und eine über negative Energien (Index α, β). Ersetzt man ferner die Anzahl N_α durch $1 - N_\alpha'$ – das ist eine reine Umbenennung, so ergibt sich

$$E = \sum_s N_s E_s + \sum_\alpha E_\alpha (1 - N_\alpha') + \sum \pi \nu_r (P_3^r)^2$$

$$(2) \qquad + ie\sqrt{\frac{h}{4\pi}} \Big\{ \sum c_{st}^{r\lambda} N_s \Delta_s V_s V_t \Delta_t N_t + \sum c_{s\alpha}^{r\lambda} N_s \Delta_s V_s N_\alpha' \Delta_\alpha V_\alpha - \sum c_{\alpha t}^{r\lambda} V_\alpha \Delta_\alpha N_\alpha' V_t \Delta_t N_t + \sum c_{\alpha\beta}^{r\lambda} V_\alpha \Delta_\alpha N_\alpha' N_\beta' \Delta_\beta V_\beta \Big\} \left(M_{r\lambda}^{\frac{1}{2}} \Delta^-_{r\lambda} \ldots\right)$$

$$P_3^r = -e \Big\{ \sum N_s \Delta_s V_s V_t \Delta_t N_t d_{st}^r + \sum d_{s\alpha}^r N_s \Delta_s V_s N_\alpha' \Delta_\alpha V_\alpha - \sum d_{\alpha t}^r V_\alpha \Delta_\alpha N_\alpha' V_t \Delta_t N_t + \sum d_{\alpha\beta}^r V_\alpha \Delta_\alpha N_\alpha' N_\beta' \Delta_\beta V_\beta \Big\}$$

Das Wegstreichen der Wirkung der unendlichen Ladung geschieht nun einfach durch Weglassen von $\sum E_\alpha$ und durch Vertauschung der Reihenfolge im letzten Glied der beiden Gleichungen:

$$E = \sum N_s E_s - \sum N'_\alpha E_\alpha + \sum \pi r_2 (\bar{P}^r_\beta)^2$$

$$+ ie\sqrt{\frac{h}{4\pi}}\Big\{\sum c^{r\lambda}_{st} N_s \Delta_s V_s V_t \Delta_t N_t - \sum c^{r\lambda}_{s\alpha} N_s \Delta_s V_s N'_\alpha \Delta_\alpha V_\alpha - \sum c^{r\lambda}_{\alpha t} V_\alpha \Delta_\alpha N'_\alpha V_t \Delta_t N_t$$

$$+ \sum c^{r\lambda}_{\alpha\beta} N'_\alpha \Delta_\alpha V_\alpha V_\beta \Delta_\beta N'_\beta\Big\}(M^{\pm}_{r\lambda}\Delta^-_{r\lambda} - \Delta^+_{r\lambda} M^{\pm}_{r\lambda})$$

(3) $$P^r_\beta = -c\Big[\sum d^r_{st} N_s \Delta_s V_s V_t \Delta_t N_t - \sum d^r_{s\alpha} N_s \Delta_s V_s N'_\alpha \Delta_\alpha V_\alpha - \dots$$

$$+ \sum d^r_{\alpha\beta} N'_\alpha \Delta_\alpha V_\alpha V_\beta \Delta_\beta N'_\beta\Big]$$

Das Weglassen von $\sum E_\alpha$ ist hier wohl unbedenklich, weil [illegible] die elektrostatische Selbstenergie. Fraglich erscheint jedoch, ob die Vertauschung der Reihenfolge im letzten Glied (d.h. Weglassen eines Ausdrucks der Form $\sum_\alpha c^{r\lambda}_{\alpha\alpha}(M^{\pm}_{r\lambda}\Delta^-_{r\lambda} - \Delta^+_{r\lambda}M^{\pm}_{r\lambda})$) die relativistische Invarianz stört. Hierüber bin ich mir nicht ganz klar. Sicher scheint mir aber folgendes: Angenommen wir schreiben in (3) nicht nur die Elektronen sondern auch die Protonen (Anzahlen L_s und L_α, Wechselwirkungsglieder C^λ_{st} u. D^r_{st}) hinein, so kommt statt (3)

$$E = \sum N_s E_s - \sum N'_\alpha E_\alpha + \sum L_s E^p_s - \sum L'_\alpha E^p_\alpha + \sum \pi r_2 (P^r_\beta)^2$$

(4) $$+ ie\sqrt{\frac{h}{4\pi}}\Big\{\dots\quad c^{r\lambda}_{\alpha\beta} N'_\alpha \Delta_\alpha V_\alpha V_\beta \Delta_\beta N'_\beta\Big\}$$

$$- ie\sqrt{\frac{h}{4\pi}}\Big\{\dots - \lambda C^{r\lambda}_{\alpha\beta} L'_\alpha \Delta_\alpha V_\alpha V_\beta \Delta_\beta L'_\beta\Big\}$$

Dieser Ausdruck unterscheidet sich von dem der normalen Qu. El. dyn. ausser durch $\Sigma E_\alpha + \Sigma E_\alpha^P$ nur durch

$$\left(\Sigma c_{\alpha\alpha}^{\lambda\lambda} - \Sigma C_{\alpha\alpha}^{\lambda\lambda}\right)\left(M_{\lambda\lambda}^{\frac{1}{2}} \ldots\right)$$

, in P_3^1 heisst das entsprechende ~~Nun ist also~~ Glied $\Sigma d_{\alpha\alpha}^{\lambda\lambda} - \Sigma D_{\alpha\alpha}^{\lambda\lambda}$.

Nun ist ~~übrigens~~ aber $d_{\alpha\alpha} = D_{\alpha\alpha}$, also fällt die Summe, wenn man gliedweise subtrahiert, weg, ebenso geht es bei $\Sigma\left(c_{\alpha\alpha}^{\lambda\lambda} - C_{\alpha\alpha}^{\lambda\lambda}\right)$, wobei hier jedoch noch mitberücksichtigt werden muss, dass die Impulsvektoren in allen Richtungen stehen können. In anderen Worten: Nimmt man Elektronen u. ~~Positronen zusammen~~, so heben sich bei „wohlwollender" ~~Summation~~ die Beiträge der unendlichen ~~Lösungen~~ (was auch unsachlich [illegible]) [illegible] auf. Ich glaube also, der Schwindel, der darin besteht, dass man (2) durch (3) ersetzt, ist nicht schlimmer als irgendein anderer Schwindel der Qu. El. Dyn. (Selbstenergie!), und Schema (3) scheint mir daher genau so solid (oder wenig solid) fundiert wie die ganze Qu. El. dyn.

Ich glaube deshalb ziemlich fest an die Löchertheorie und meine, man solle in Zukunft alle Probleme, z. B. die Streuung von γ-Strahlen an Kernen, mit Schema (3) rechnen.

– Die Selbstenergie eines Teilchens sieht in diesem Schema wesentlich anders aus, als bisher. Z. B. tritt an Stelle von

$$\frac{e^2}{2}\int u_\varrho^{s*}(P)\, u_\sigma^{s}(P')\,\frac{1}{r_{PP'}}\, u_\sigma^{t*}(P')\, u_\varrho^{t}(P)\, d\tau\, d\tau'$$

jetzt die ~~Gleichung~~ Formel

$$\frac{e^2}{2}\int u_\varrho^{s*}(P)\, u_\sigma^{s}(P')\,\frac{1}{r_{PP'}}\left(u_\sigma^{t*}(P')\,u_\varrho^{t}(P) - u_\sigma^{\alpha*}(P')\,u_\varrho^{\alpha}(P)\right) d\tau\, d\tau'$$

Leider hilft dies aber, wenn man bei Waller die entsprechende Änderung trifft, nichts für das Unendlichwerden der Selbstenergie.

– Ich werde durch einen gescheiten Doktoranden noch ~~einige~~ Konsequenzen der Gl. (3) ~~[illegible]~~ [illegible] u. wäre dankbar, wenn ich erführe, was ~~[illegible]~~ Landau u. Peierls schon gemacht ist. Übrigens müsste doch wohl in Brüssel ausführlich über die Löcher gesprochen werden. Schreibt keiner einen Bericht dazu?

Zu den anderen Fragen Deines Briefs: Bei Streuungen von Neutronen an Protonen, geben, wie Wick auseinandergesetzt hat, Austauschkräfte u. gewöhnliche Kräfte bei grosser Wellenlänge beide Isotropie. Der einzige Unterschied zwischen Austausch- u. gewöhnl. Kräften ist nämlich der, dass nach dem Stoss die beiden Teilchen vertauscht sind. Nur für sehr schnelle Neutronen, deren Wellenlänge vergleichbar mit Kerndimensionen ist, geben die gewöhnlichen Kräfte ein Maximum der gestreuten Neutronen bei kleinen Winkeln, während die Austauschkräfte ein Maximum der gestreuten Protonen bei kleinen Winkeln geben. Leider ist experimentell nichts bekannt.

Was den Zerfall der Neutronen in Elektron u. Proton betrifft, so meine ich: vom Standpunkt Deiner Theorie aus müsste man halt stets sagen: Zerfall in Elektr., Proton und Neutrino, wobei letzteres ein Elementarteilchen mit Spin ½ sein müsste. Auch dann würden Austauschkräfte entstehen. An Elsasser u. Anderson glaub ich garnicht. Wie weit ich an [illegible] glaube, weiss ich nicht genau. Die Energiebilanz beim β-Zerfall scheint mir empirisch ~~sehr~~ wahrscheinlich für die Stabilität massgebend.

Dass der Li_6-Kern $i = 1$ hat, scheint mir auch plausibel. Trotzdem bringt die Annahme, das Neutron habe entgegengesetzten Spin wie das Proton, ~~gar~~ die ich mit Bloch lange diskutiert hab, (Bloch hatte sich diese These schon überlegt) viele Schwierigkeiten mit sich, die g-Werte der anderen Kerne deuten (vgl. Fermi u. Segré) viel mehr darauf hin, dem Neutron das magnetische Moment Null zuzuschreiben.

So, das ist alles, was ich über die Kerne weiss, bedauerlicherweise. Ich freue mich auf die Diskussionen in Kopenhagen u. Brüssel. Bist Du im Sommer in Zürich? Wenn ja, so komme ich vielleicht, sofern das mit den neuen Gesetzen in Deutschland vereinbar ist, für ein paar Tage nach Zürich.

Herzliche Grüsse

Dein W. Heisenberg.