Archiv von Heisenbergs Briefen

von: Werner Heisenberg
an: Pauli, Källen
Datum: 05.03.1954
Stichworte: Hilbertraum II = deus ex machina, der den massiven punktförmigen Kern der Teilchen beseitigt
Ursprung: Pauli Archiv in Genf
Kennzeichen im Pauli Archiv in Genf: heisenberg_0017-139r
Meyenn-Nummer: 1737

Göttingen 5.3.54.

Heckelotti 18

Lieber Pauli u. lieber Källén!

Habt vielen Dank für Euren Brief, aus dem ich mit Freude sehe, dass wir uns jetzt über wesentliche Punkte verstanden haben. Nur in einem Punkt besteht offenbar noch ein kleines Missverständnis: Ich behaupte ja nicht, dass Gl(31) d. Bl. schon die exakte Form von $\langle 0|\{\psi^+(x), \psi(x')\}|0\rangle$ gibt; ebensowenig soll (33) die exakte Form für $\langle 0|[\psi^+(x), \psi(x')]|0\rangle$ geben. Vielmehr wird nur behauptet, dass diese Formeln in der unmittelbaren Umgebung von $s=0$ richtig sein sollen, weiter aussen sind sie sicher falsch, da es ja viele Massen u. kontinuierliche Spektren gibt. Das liegt in Gl.(28) an dem Ersatz des $\kappa(s)$ durch κ. Meine Meinung ist also: um $\langle 0|\{\psi^+(x), \psi(x')\}|0\rangle$ zu erhalten, soll man richtig, so wie üblich, über alle Zustände des Hilbertraumes I summieren, bzw. integrieren, bekommt von jedem Zustand einen Beitrag der Form $S(x-x', \kappa)$, wobei κ die Masse des Zustandes ist, und ~~stets~~ kann für ~~s≠~~ $s \neq 0$ die Beiträge des Hilbertraums II weglassen. Damit kann man dann in Gl(35) eingehen, d.h. man kann mit jedem Näherungsschritt auch die Funktion S_F verbessern; das wird allerdings umso weniger ausmachen, je grösser N gewählt ist. In meiner ersten Arbeit hatte ich ja auf S. 119 diese Verbesserung der Kontraktionsgrössen Δ, Γ mit Oszillatoren auch vorgenommen, aber selbst bei $N=3$ beträgt dort die Veränderung der Eigenwerte nur etwa 1%.

Der entscheidende Begriff des Hilbert-Raums II soll also nur in der Wegnahme der Singularität bei $s = 0$ bestehen, und da habt Ihr natürlich recht, dass dieser Begriff mehr nach Masse = Null als nach Masse = unendlich aussieht, ~~st~~ obwohl das letztere wegen $\delta'(p^2)$ auch nicht stimmt. (Siehe auch Abschn. 1 auf S. 12 des Bl. dr.).

Im Ganzen bin ich natürlich mit Euch einig, dass der Hilbert-Raum II hier als „deus ex machina" eingeführt ist; aber erstens scheint mir, dass man damit zu einem geschlossenen mathematischen Formalismus kommt, zweitens glaube ich, dass man ihn im Lauf der Zeit auch physikalisch noch besser verständlich machen kann. Ich will ~~das~~ Euch dazu noch ein paar unfertige Gedanken schreiben.

Zunächst ein Problem aus der Gr. Bl.: Wie sieht die Ladungsdichteverteilung des Elektrons aus? Dazu bilde man (x = Raumkoordinaten) etwa den Hilbertvektor (stellt d. Zustand: ein Elektron im Gebiet x' dar) $\int f(x')\,dx'\,\psi^{\dagger}_{\alpha}(x')\,\Omega$ (t = 0, integriert wird nur über den Raum!), wobei $f(x)$ eine eventuell beliebig schmale Gaussfunktion oder dergl. ist, und frage nach dem Erwartungswert von $\frac{1}{2}[\psi^{*}(x)\psi(x) - \psi(x)\psi^{*}(x)]$. In der unrelativistischen Theorie müsste man nach $\psi^{*}(x)\psi(x)$ fragen und da käme einfach $|f(x)|^2$ als Dichte heraus, das Elektron ist also punktförmig. In der relativistischen Theorie ohne Wechselwirkung aber kommt der Wert

$$\rho(x) = \langle \Omega | \int \psi_{\alpha}(x') \overset{*}{f}(x')\,dx' \; \frac{1}{2}\left[\psi^{\dagger}_{\gamma}(x) \beta_{\gamma\delta} \psi_{\delta}(x) - \psi_{\delta}(x) \beta_{\delta\gamma} \psi^{\dagger}_{\gamma}(x)\right] \int \psi^{\dagger}_{\alpha}(x'') f(x'')\,dx'' | \Omega \rangle$$

$$= \frac{1}{2} \int dx'\,dx''\, \overset{*}{f}(x')\, f(x'') \left(S_{\alpha\gamma}(x'-x) - i S^{(1)}_{\alpha\gamma}(x'-x) \right) \left(S_{\delta\alpha}(x-x'') - i S^{(1)}_{\delta\alpha}(x-x'') \right) \beta_{\gamma\delta}$$

$$= \frac{1}{2} |f(x)|^2 + \dots$$

Von der Ladung ist also etwa die Hälfte in einem Punkt konzentriert, die andere Hälfte ist über einen Raum von der Grössenordnung der Compton-Wellenlänge ausgebreitet. Treibt man anständige Qu. El. mit Renormierung, so ändert sich daran grundsätzlich wahrscheinlich nichts, und ich vermute den allgemeinen Satz: In jeder Theorie mit Renormierungsphilosophie enthalten die Elementarteilchen einen „massiven punktförmigen Kern", der aussen von einer „Quelle" umgeben ist. Diesen punktförmigen Kern halte ich physikalisch für Unsinn.

In meiner Theorie beseitigt der Hilbert-Raum II mit seinem „Zauber" den punktförmigen Kern; es bleibt nur noch eine logarithmische Spitze, die aber praktisch keine Ladung mehr enthält (auch ~~die~~ Spitze würde ich gerne noch beseitigen, aber das scheint nicht zu gehen!). Für das Nichtvorhandensein des „massiven punktförmigen Kerns" gibt es auch ein experimentelles Argument, nämlich die Winkelverteilung der ganz grossen Luftschauer. Es scheint nämlich beim Zusammenstoss energiereicher Nukleonen fast nie vorzukommen, dass im Schwerpunktsystem senkrecht zur Primärrichtung Mesonen sehr grosser Energie ($E \gg m_\pi$) ausgesandt werden. Das ist leicht zu verstehen, wenn die Nukleonen keinen punktförmigen Kern haben (siehe meine Arbeit Zs. f. Phys. 133, 65, 52), würde aber bei punktförmigen Kern unverständlich bleiben.

Also schreib mal, was Du zur „Gestalt der Elementarteilchen" meinst!

Mit vielen Grüssen

Dein W. Heisenberg