Archiv von Heisenbergs Briefen

von: Werner Heisenberg
an: Pauli
Datum: 21.01.1957
Stichworte: Ein- und auslaufende Kugelwelle in der Quantentheorie nichtlinearer Wellengleichungen, Hinweis auf frühere Vorhersage der Paritätsverletzung
Ursprung: Pauli Archiv in Genf
Kennzeichen im Pauli Archiv in Genf: heisenberg_0017-158r
Meyenn-Nummer: 2462

Göttingen 21. 1. 57.

Lieber Pauli!

Der erste Teil Deines letzten Briefs beruht auf einem jener beliebten Missverständnisse, bei denen man zunächst voraussetzt, der andere habe garnicht nachgedacht. Das habe ich aber in diesem Fall doch getan und mir sehr genau überlegt, inwieweit die Forderung ein- oder auslaufende Kugelwelle physikalisch berechtigt ist. Ich will es ausführlich erklären. Fassen wir das Streuproblem nicht in der Form

$$N + 2\theta \rightarrow \begin{cases} N + 2\theta \\ V_+ + \theta \\ V_- + \theta \end{cases}$$

auf, sondern in der anderen

$$N + 2\theta \rightarrow \begin{cases} N + 2\theta \\ V_0 + \theta \\ V_{Dip} + \theta, \end{cases}$$

wobei V_0 Deinen „Nullzustand" u. V_{Dip} den berüchtigten Dipolzustand (negativer Norm) bedeutet.

Nehmen wir für einen Moment an, dass (was noch zu beweisen wäre) die Übergänge in $V_{Dip} + \theta$ nicht vorkommen u. dass für den Rest Deine Beziehung

Falsch!

$\eta S^* \eta S = 1$ gelte. Dann, behaupte ich, gilt schon für die Übergänge $N + 2\theta \rightarrow N + 2\theta$ allein

$$S S^* = 1.$$

Denn der Zustand V_0 tritt in der Wahrscheinlichkeit überhaupt nicht in Erscheinung, da er auf den anderen Zuständen orthogonal ist u. selbst die Norm 0 hat. In anderen Worten V_0 ist überhaupt kein „Teilchen", sondern ein rein virtuelles Feld, dem keine physikalische Bedeutung als Teilchenwahrscheinlichkeit zukommt. Man kann dieses virtuelle Feld als ein- und auslaufendes addieren oder subtrahieren, ohne an der physikalischen Interpretation etwas zu ändern. Also kann man auch für dieses Feld (und <u>nur</u> für dieses) nicht verlangen, dass es keinen Anteil $\frac{1}{r}e^{-ikr}$ geben soll, denn ein solcher Anteil bedeutet ja gewiss, dass irgendetwas „einläuft". Am deutlichsten sieht man das, wenn man vom Grenzfall der beiden komplexen Eigenwerte den Dipol annähert. Die Lösung, die sich im Unendlichen manierlich verhält, hat hier sicher die <u>beiden</u> Kugelwellen

$$\frac{1}{r}e^{ik_r r - k_i t} \quad \text{und} \quad \frac{1}{r}e^{-ik_r r - k_i t}$$

($k = k_r + i k_i$ gesetzt). ~~Es gibt kein~~ Wenn man nur „auslaufende" Wellen haben wollte, müsste man $e^{ik_r r + k_i r}$ zulassen, was unsinnig ist. Bei $e^{-ik_r r - k_i r}$ kann man aber auch nicht sagen, dass etwas „einläuft".

Also für das Feld eines Nullvektors wird die

(weil der Vektor kein Teilchen enthält.)

Randbedingungen ein- oder auslaufende Welle frei; das so definierte virtuelle Feld umgibt das N-Teilchen wie ein Coulombfeld (in beiden Formen: $\frac{1}{r}e^{+ikr}$ u. $\frac{1}{r}e^{-ikr}$) und hat indirekt gewisse Abweichungen von der Kausalität zur Folge (wie halt das Coulombfeld auch!); aber es bedeutet nicht, dass irgendetwas ein- oder ausläuft.

Aus diesem Grunde halte ich die Lösung mit dem nur einfachen Pol von $\Phi(k)$ bei $\omega = \omega_0$ für völlig legitim. Ich bin sogar überzeugt, dass es ~~das~~ eine andere mit ~~dem~~ einem Doppelpol $\frac{1}{(\omega-\omega_0)^2}$ nicht gibt, da eben sonst das Integral $\int \Phi(k') f(\omega, \omega') dk'$ unendlich wird. Dagegen wirst Du nichts machen können. Man kann sich übrigens leicht davon überzeugen, dass die Welle, bei der ich den Faktor der δ-Funktion zur Lösung ausnütze, eben ~~die~~ den Nullzustand bedeutet.

Haag, der entgegen Deinen Prognosen sehr schnell weitergekommen ist, hat auch inzwischen zeigen können, dass für die Streumatrix $N + 2\theta \rightarrow N + 2\theta$ allein* (d.h. nach Streichung aller anderen Übergänge) bereits

$$S S^* = 1$$

gilt. In diesem Beweis geht allerdings das Verhalten von $\Phi(k)$ an der kritischen Stelle $\omega = \omega_0$ entscheidend ein.

Wenn $\Phi(k)$ einen Doppelpol hätte, wäre S nicht unitär. Der einfache Pol von $\Phi(k)$ genügt aber zum Beweis der Unitarität. Wir werden uns also zunächst über die Zulässigkeit dieser Lösung einigen oder streiten müssen. Wenn wir uns hier in meinem Sinne geeinigt haben, glaube ich, sind wir schon ganz dicht bei dem Beweis, dass die S-Matrix in sämtlichen Sektoren unitär ist u. es stationäre Zustände mit negativer Norm nicht gibt. Aber darüber schreibe ich später. Einstweilen würde ich vorschlagen, dass wir die physikalische Interpretation zunächst undiskutiert lassen (Kausalitätsabweichungen?) u. uns rein auf die mathematische Frage beschränken: ist die S-Matrix im Sektor $N + 2\theta$ unitär? Es spitzt sich also alles auf die Frage: „einfacher Pol oder Doppelpol" zu. Bis dahin wollen wir die Faustzitate noch ruhen lassen.

Viele herzliche Grüsse!

Dein W. Heisenberg

P.S. Die Nichterhaltung der Parität hatte ich, wie Du aus meiner Arbeit weisst, schon erwartet. Allerdings soll man sie bestimmt nicht nur auf Neutrino schieben, denn beim τ-Zerfall kommt das Neutrino gar nicht vor. Ich bin einstweilen überzeugt, dass sie mit Nullvektoren u. Dipolgeistern zu tun hat, aber davon später.