

## **Archiv von Heisenbergs Briefen**

von: Werner Heisenberg

an: Pauli

Datum: 27.02.1957

Stichworte: Freude über Verständigung mit Pauli, Aufspaltung des  
"Geisterdipols" stört nicht die Unitarität der S-Matrix, Akausale Wellen  
tragen nicht zu den Erwartungswerten bei

Ursprung: Pauli Archiv in Genf

Kennzeichen im Pauli Archiv in Genf: heisenberg\_0017-1609r

Meyenn-Nummer: 2542

Veröffentlichung mit freundlicher Genehmigung der Familie Heisenberg  
und des Pauli-Archivs in Genf.

Copyright (c) Heisenberg-Gesellschaft e. V., München, VR 204617, 2016

Reproduktion (auch auszugsweise) nur mit Erlaubnis der Rechteinhaber.

Göteborg 27.2.57.

PLC 0017, 1609 r

Beaumont 3. III.

Lieber Pauli!

NACHLASS  
PROF. W. PAULI 1/468

Über deinen letzten Brief war ich ebenso froh, wie über den vorhergehenden. Es wäre doch heutzutage, wenn wir beide schon so alt wären, dass eine Diskussion zwischen uns so ausgehen müsste wie die zwischen Einstein u. Bohr vor 30 Jahren, besonders, wo wir uns so viel hätte sagen haben.

Aber ich sehe, dass ich einen Fehler gemacht habe, nicht gleich auf deine Einwände einzugehen, und ich will das daher jetzt sofort tun. Deine Haupteinwände scheinen mir die Aufspaltung des Quasidipols durch eine Wechselwirkungsenergie  $2V$ , das und, davon unabhängig, die Kausalitätsfrage.

Zur Wechselwirkung  $2V$ : Du hast natürlich völlig recht, dass jede Wechselwirkung, wenn sie nicht ganz besondere Bedingungen erfüllt, zu einer Aufspaltung führt. Aber diese Aufspaltung bedeutet auch gar nichts für das, was ich erreichen will. Ich will dass wieder am Fall  $N + 2\theta$  auseinander setzen. Betrachten wir ~~also~~ also ein Hauptproblem  $N + \theta + \theta$  und über die Lösung mit dem einfachen Pol (also ohne B-Zustände im asymptotischen Verhalten). Die Eigenfunktionen diese Lösungen sind ja, wie du weißt, das Kernstück meiner Theorie.

denken wir uns im Ortsraum angesprochen:  $\psi(x_1); \psi(x_1, x_2)$ .  
 (des  $N$ -Teilchen ist bei  $x=0$ ). Für  $x_1 \rightarrow \infty$ , aber  $x_2$  endlich  
~~stellt man sich  $x_1$  konstant vor~~ Für jeden Wert von  $x_2$  können  
 wir entwickeln nach den l.f.f. des  $(N-0)_V$ -Systems u.  
 erhalten:

$$\left. \begin{array}{l} \psi(x_1) \\ \psi(x_1, x_2) \end{array} \right\} = \sum f_k(x_1) \cdot \left\{ \begin{array}{l} \psi_k \\ \psi_k(x_2) \end{array} \right.,$$

wobei  $k$  alle Zustände des  $(\frac{N-0}{V})$  Systems, und der  
 Zustand  $B$ , umfasst. Man weiß nur<sup>\*)</sup>, dass  $f_B(x_1) \rightarrow 0$  für  $x_1 \rightarrow \infty$ .

Man kann statt dessen auch entwickeln nach einem  
 zweiten Orthogonalsystem, das aber einem festen endlichen  
 Wert  $x_1$  (d.h. des  $\Theta$ -Teilchen wird gewaltsam an der Stelle  
 $x_1$  festgehalten u. dann das Problem für  $\frac{N-0}{V}$  gelöst)  
 entspricht. In diesem System gibt es statt des Signals  
 zwei Zustände, von denen einer eine positive,  
 der andere eine negative Norm hat. Nennt man  
 in diesem zweiten System die Koeffizienten  $g_k(x_1)$  und  
 seien  $g_+(x_1)$  bzw.  $g_-(x_1)$  die Koeffizienten der <sup>beiden</sup> Zustände  
 mit positiver bzw. negativer Norm, so tritt an die  
 Stelle der Bedingung  $f_B(x_1) \rightarrow 0$  für  $x_1 \rightarrow \infty$  die  
 andere Bedingung  $[g_+(x_1) - g_-(x_1)] \rightarrow 0$  für  $x_1 \rightarrow \infty$ .

Jedenfalls sind die  $g_+(x_1)$  u.  $g_-(x_1)$  also völlig festgelegt

\*) Diese Bedingung sollte genauer  $\left| \frac{f_B(x_1)}{f_A(x_1)} \right|^2 \rightarrow 0$  für  $x_1 \rightarrow \infty$  heißen.

durch die Ausgangslösung.

Nun kann man aus den freien Lösungen des besprochenen Typs auch Wellenpakete zusammensetzen. Für endliche Werte von  $x_1$ , die erheblich größer sind als die charakteristische Länge des Lee-Modells (die wohl durch  $\mu$  und die Lage des Quasidipols bestimmt ist), verschwindet zwar der von den  $f_B$ -Amplituden herrührende Teil nicht vollständig, aber er ist schon sehr klein geworden, verglichen mit dem anderen  $f_B(x_1)$ , insbesondere mit  $f_H(x_1)$ .

Seine physikalische Interpretation des Wellenpakets ist nun meiner Ansicht nach nur in der Annäherung möglich, in der man die Anteile  $f_B(x_1)$  vernachlässigen kann. Wenn  $f_B(x_1)$  hinreichend klein ist, kann man z. B. die Erwartungswerte von Energie u. Impuls berechnen, die Norm des Wellenpakets u. a. v., und alle diese Größen passen zu der Annahme, es handle sich um ein einfallendes  $\Theta$ -Teilchen. Wenn  $f_B(x_1)$  nicht klein ist, also für kleine Abstände  $x_1$ , bricht die physikalische Interpretation auf. Die Theorie ist in diesem Sinne ausdrücklich nicht-lokal.

Da sieht also, dass die Aufspaltung des Dipols  
weder die Linearität der S-Matrix noch die Beschreibung  
von Ballenpaketen stört, wobei für das Letztere aller-  
dings gewisse Punkte von  $\gamma$  vorausgesetzt sind.

Nun zur Kausalitätsfrage. Ich muss an dieser Stelle

voraussetzen - ob wir nicht, ob wir darüber schon einige  
wären - dass sich das gleiche Spiel, das zu den Streu-  
lösungen mit einfachem Pol im  $N+2\theta$ -Faktor geführt  
hat, in den höheren Feldern wiederholen lässt. Das also  
ist, wo durch die Doppelschwanzel  $\chi(\omega) = 0$  ein  
Doppelpol droht, dieser beseitigt werden kann durch  
einfallende Wellen des  $H$ -Zustands, multipliziert mit  
den entsprechenden Wellenfunktionen anderer Gebilde.

Bei vielen Teilchen gibt es dann natürlich die  
kompliziertesten Beziehungen, schon bei den ein-  
fallenden Teilchen, da wir ja immer auch einfallende  
 $H$ -Zustände als Streuwellen bekommen. Wir nehmen also  
an, dieses ganze mathematische Problem sei gelöst, und  
fragen, ob man an Ballenpaketen, die man aus diesen  
Lösungen zusammensetzt, Abweichungen von der Kausalität  
beobachtet.



In erste Näherung würde man ~~glauben~~ die Abweichungen von der Kausalität sind völlig makroskopisch u. hoffnungslos. Denn wenn zwei Teilchen zusammenstossen wollen, müssen sie schon vorher dafür sorgen, dass auch die richtige A-belle zur rechten Zeit zur Stelle ist, und das muss über alle früheren Zustände, von denen bis zur Festsetzung der Welt zurück, in Ordnung gebracht sein.

In zweite Näherung ist man versucht, zu sagen: Mit der Kausalität passiert gar nichts. Denn die abstrakten Wellen sind alle Nullwellen (Norm Null) u. tragen zu den Erwartungswerten nichts bei. Bei den anderen Wellen aber ist ebenso verhältig auf die Kausalität geachtet, wie in jeder anderen Theorie. An den Erwartungswerten sieht man also von Kausalität gar nichts.

In dritter Näherung erkennt man, dass die Nullwellen als virtuelle Gebilde doch Träger von Kräften sein können und demnach indirekt in die Kausalität eingreifen können. Diese Abweichungen von der Kausalität treten also doch auf, wo man die Kräfte zwischen <sup>realen</sup> Elementarteilchen <sup>(endlicher Norm!)</sup> als Folge der virtuellen Zwischenzustände studiert. Das ist

Zuerst im Lee-Modell bisher nicht untersucht worden, wohl aber in meinem Modell. Dabei haben sich die Coulombkräfte u. die Elektrodynamik ergeben.

Ich hoffe, es ist mir diesmal gelungen, klarzumachen, wohin ich will, und diese Einwände wirklich zu beantworten.

Du schreibst noch, dass es sich „auch im Sektor  $\pi$ “ nicht habe feststellen lassen, ob neben der Doppelwurzel noch konjugiert-komplexe oder eine oder mehrere reelle Wurzeln mit negativem Vorzeichen vorhanden sind. Hier hat sich die Frage nicht ganz verstanden: meinst du, dass die für  $N+0$  maßgebende Gleichung  $\chi(\omega) = 0$  eventuell noch weitere Wurzeln hat, oder fragt du nach diskreten Eigenzuständen des Systems  $N+20$ ? Im ersten Fall kann ich antworten: Auf der reellen Achse gibt es neben der von  $\chi(\omega) = 0$  Doppelwurzel sicher keine weiteren Wurzeln; das sieht man, wenn man die (für den unter angebbare) Funktion  $\chi(\omega)$  graphisch aufträgt. Ob es noch komplexe Wurzeln gibt, hat ich nicht nachgeprüft, da ich bisher nie so annahm, dass es sich aus Abzählungsgründen

nicht geben sollte. Wenn dieses Argument nicht richtig ist, müsste man's nachprüfen. Sollte es Gebilde geben (d.h. Legen des Quasidipols), für die noch andere komplexe Ursachen existieren, so wäre an dieser Stelle das Lee-Modell von meinem eigenen grundsätzlich verschieden, da ja meine v.R. so eingerichtet ist, dass es keine komplexen Ursachen, sondern nur den Dipol u. normale Zustände gibt. Aber ich glaube ziemlich bestimmt, dass es jedenfalls Legen für den Quasidipol gibt, bei denen andere komplexe Ursachen nicht vorkommen, und das wäre dann die volle Analogie zu meinem Modell.

Falls deine Frage sich aber auf die diskreten Eigenwerte von  $N+2\theta$  bezieht, so glaube ich, dass du damals ~~noch~~ gegen meine Beweise für das an freestisch oder mit dem elektrischen Hilfsfeld) es keine grundsätzlichen Einwände sehen kannst. Auch nicht mehr aus dem Beweis, dass die Norm nur dann verschwinden kann, wenn asymptotisch nur  $e^{ikx} \begin{cases} \psi_A \\ \psi_A(r_\infty) \end{cases}$  und kein anderes Zustand neben  $A$ , vorkommt, und



das kann bei einem gebundenen Zustand doch nicht eintreten. Ich glaube also: wenn ein unterster Sektor die Gt.  $\chi(\omega) = 0$  mit der Doppelwurzel hat (abgesehen vom Kontinuum), so kann es in den höheren Sektoren gegebenenfalls nicht schlimmer, sondern nur besser werden.

Noch zu Deinem letzten Brief: Ich bin jetzt mit Deinen Rechnungen voll einverstanden. Was denkst Du übrigens zur Bezeichnungsteige? Findest Du meine Art der Bezeichnung zweckmäßig oder hast Du Einwände?

Aber mein Brief wird schon zu lang. Ich hoffe, es ist mir diesmal wenigstens gelungen, genau Deine Fragen zu beantworten.

Viele herzliche Grüße!

Dein W. Heisenberg

28.2.57.

P.S. Deine Frage, ob der B-Zustand als  $\frac{e^{i(kr - \omega t)}}{r} [c_1 + c_2 i t]$  oder als  $\frac{e^{i(kr - \omega t)}}{r} [c_1 + c_2 i r]$  zu schreiben ist, muss mir erst noch eindeutig im ersten Sinn beantwortet werden, u. zwar wegen  $H\psi_B = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi_B$  und  $H\psi_B = E\psi_B + C\psi_A$ . Diese zweite Form ist m. G. ebenso wenig eine Lösung wie eine exponentiell wachsende Funktion. Die Randbedingung gehört eben wesentlich zur Störtingerfunktion dazu, und im k-Raum gehören die Eigenfunktionen natürlich mit zum "Rand". Deine alte Frage: "Warum bleibt der Geist in der Flasche" hat mathematisch die Antwort: Wegen der Randbedingung, dass es im k-Raum nur einfache Pole gibt; diese Bedingung ist ebenso streng von der anderen möglichen Grenzbedingung: Doppelpol getrennt, wie die antisymmetrischen von den symmetrischen Funktionen im Pauliprinzip.