Archiv von Heisenbergs Briefen

von: Werner Heisenberg
an: Pauli
Datum: 18.02.1955
Stichworte: Antwort auf Paulis Kritik am Hilbert-Raum II
Ursprung: Pauli Archiv in Genf
Kennzeichen im Pauli Archiv in Genf: heisenberg_0017-143r
Meyenn-Nummer: 2020

Göttingen 18.2.55.

Lieber Pauli!

Zunächst zu Deinen speziellen Fragen über meinen Hilbert-Raum II-Formalismus. Deine Frage über die V. R. des Energie-Impulsvektors habe ich, offen gestanden, nicht ganz verstanden. Du meinst doch wohl die Relation

$$\partial_\mu \psi(x) - \psi(x)\,\partial_\mu = -i\,\frac{\partial \psi}{\partial x_\mu}\ .$$

Dazu habe ich in meiner zweiten Arbeit gesagt, dass sie nur im Hilbert-Raum I, nicht aber im Hilbert-Raum II gelten solle. Deine Bedenken beziehen sich also offenbar auf die Gültigkeit im Hilbert-Raum I. Hier ist die Gleichung aber doch völlig trivial, da ich die ∂_μ überhaupt nicht anders einführe als durch die Forderung, dass die Matrixelemente zwischen d. Vakuum u. einem stationären Zustand wie $e^{i\partial_\mu x_\mu}$ von den mittleren x_μ $\left(x_\mu = \frac{x_\mu^{(1)} + x_\mu^{(2)} + \dots x_\mu^{(n)}}{n}\right)$ abhängen sollen. Dass die exponentielle Abhängigkeit immer eine Lösung ist, folgt natürlich daraus, dass die Wechselwirkungen stets nur von den Relativkoordinaten abhängen. Da dies trivial ist, vermute ich, dass Du mit Deiner Frage noch etwas anderes im Sinn gehabt hast; aber was?

Dann zu der „zu speziellen Wahl" des Operators (25). In einer linearen Theorie ist es trivial, dass die V. R.

aufs engste mit den Fortpflanzungsfunktionen der <u>klassischen</u> Gleichung zusammenhängen. In einer nichtlinearen Theorie ist das zwar nicht ganz so trivial, aber es müsste doch merkwürdig zugehen, wenn diese beiden so ähnlich gebauten Funktionen nichts miteinander zu tun hätten. Es handelt sich also nur um das mathematische Problem, diesen Zusammenhang klarzustellen. Dazu ist (25) ein mathematischer Trick, aber man könnte die gleiche Beziehung sicher auch mit hundert anderen Methoden beweisen. Mir ist also der spezielle Operator (25) ganz unwichtig, aber die Beziehung zwischen Fortpflanzungsfunktion u. V.R. hat mit dem speziellen Operator (25) nichts zu tun und scheint mir ausserordentlich wichtig.

Du fragst im ersten Teil Deines Briefs nach einem Beweis dafür, dass auch in der Qu. El. Dyn. die V.R. auf dem Lichtkegel <u>nicht</u> die δ-Funktion enthalten können. Ich möchte Dich wieder fragen, was Du an folgendem Beweis anfechtbar findest.

Neben den Feldoperatoren $\psi(x)$ und $A(x)$ definieren wir die Operatoren

$$
(1)\qquad
\begin{aligned}
A_\mu(x\,x') &= e^{-i[a_\nu A_\nu(x') + b_\varrho \psi_\varrho(x') + b_\varrho^+ \psi_\varrho^+(x')]} \cdot A_\mu(x) \cdot e^{+i[a_\nu A_\nu(x') + \dots]}\,,\\
\psi_\alpha(x\,x') &= \qquad \text{"} \qquad \cdot \psi_\alpha(x) \cdot \qquad \text{"} \;.
\end{aligned}
$$

Für diese Feldoperatoren $A(xx')$ u. $\psi(xx')$ müssen nun offenbar wieder die Feldgleichungen gelten. Entwickelt man die $A_\mu(xx')$ u. $\psi_\alpha(xx')$ nach den willkürlichen Konstanten Parametern a_ν u. b_ϱ, so erkennt man, dass als Glieder erster Ordnung die V.R. auftreten. Wenn nun die V.R. in der Nähe des Lichtkegels die δ-Funktion ergäben, so entstünde ein Widerspruch. Denn beim Einsetzen in die Feldgleichungen entstünden durch die nichtlinearen Glieder Produkte von δ-Funktionen, die stets sinnlos d.h. zu hoch unendlich sind. Ich sichere, dass ich auch hier die Operatoren (1) nur als mathematisches Hilfsmittel einführe. Aber ich sehe nicht, was man, wenn man ehrlich ist, gegen die Schlusskette des Beweises einwenden kann. Ein möglicher Einwand wäre höchstens, dass man, wie Lehmann es tut, auf die Feldgleichungen einfach verzichtet. Ich habe aber den stärksten Verdacht, dass man dann die Beweiskette einfach an die Stelle legen kann, wo die Ersatzgleichung für die Feldgleichung angenommen wird. In anderen Worten: Mein „ceterum censeo" ist: Man muss den Zusammenhang zwischen V.R. u. Fortpflanzungsfunktion ernstnehmen u. darf ihn nicht wegdiskutieren oder verdrängen.

Deinen Vorschlag, die Axiomatik meiner Theorie klar darzustellen, will ich mir zu Herzen nehmen u. eine dementsprechende Einleitung zu Mitters u. meiner Arbeit schreiben.

Nun noch zu Deiner „Bieridee". Ich habe den Verdacht, dass Du die Wichtigkeit der Konstante $\frac{e^2}{\hbar c}$ etwas überschätzt. Ich halte die bisherige Qu. El. Dyn. nicht für besser als die Bohr'sche Theorie des Wasserstoffatoms. Dabei gebe ich zu, dass $\frac{e^2}{\hbar c}$ mit einer Gruppeneigenschaft, nämlich der Eichgruppe verknüpft ist, und dass dies etwas Besonderes bedeuten dürfte. Aber sonst ist $\frac{e^2}{\hbar c}$ nicht wichtiger als $\frac{m}{M}$ oder irgendeine derartige Konstante. Aber natürlich kann man über dies alles bisher nur herumreden. —

In den nächsten Tagen bin ich in Genf, werde aber leider kaum in Zürich Station machen können.

Viele Grüße!

Dein W. Heisenberg