

Archiv von Heisenbergs Briefen

von: Werner Heisenberg

an: Pauli

Datum: 08.02.1934

Stichworte: Schrödingergleichung der Löchertheorie, Ladungsdichte

Ursprung: Pauli Archiv in Genf

Kennzeichen im Pauli Archiv in Genf: heisenberg_0017-069r

Meyenn-Nummer: 353

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.

Leipzig 8.2.34

NACHLASS
PROF. W. PAULI

Lieber Pauli!

Vielen Dank für deinen Brief! Ich habe natürlich völlig recht, dass die Beimpfung der Lörkertheorie schon auf deiner Karte vom 27.1. steht - ich hatte sie mir damals nicht richtig verstanden. Nachdem ich sie aber verstanden habe, bin ich nun eigentlich von dem ganzen Stand der Lörkertheorie sehr zufrieden. Denn erstens glaube ich, dass der Unterschied der beiden in deiner Karte besprochenen Auffassungen gar nicht besteht - jedenfalls nicht in den physikalischen Konsequenzen -, zweitens habe ich die Strassche Theorie, die ich bisher nur aus zwei von Verzweiflungsaussbrüchen aus Zürich und Kopenhagen kenne, für einen gelehrten Mist, den kein Mensch ernst nehmen kann. Mir scheint das ganze Problem der Lörkertheorie aber so zu liegen:

I. Man kann die Frage stellen, durch welche Schrödingergleichung die Lörkertheorie charakterisiert ist und was zu jedem Zeitpunkt die Erwartungswerte der Strom- und Ladungsdichte sind.

II. Man kann darüber hinausgehend auch nach den Erwartungswerten der Energiedichte fragen.

Das Problem I hat folgende Lösung: man stellt fest,

den ~~kleine~~ Annahme (IV)

$$(IV) \quad \int R_k dV = \int \left(R_k^0 dV + \frac{ie}{hc} R^0 \Phi_k \right) dV$$

mit allen Bedingungen, die an die Theorie zu stellen sind, verträglich ist (Lichinvarianz, rel. Invar.).

Man wähle nun als Variable die Anzahlen N_k der freien Elektronen im Zustand k , führe ferner statt der N_k mit negat. Energiezuständen k die Größen $1 - N_k = N'_k$ ein, und statt der a_k^*, a_k ($a_k^* = N_k \Delta$ u. p. v.) für solche Zustände $b_k = a_k^*$; $b_k^* = a_k$. Dann folgt aus (IV) für die Gesamtenergie der Operator:

$$(1) \quad H = \sum_+ E_k N_k - \sum_- E_k N'_k \left(\begin{array}{l} + M_k h k \\ + \sum_{r,s,g} f_{r,s,g} a_k^* a_s c_g \\ + 2f_{r,s,g} a_k^* b_s^* c_g \\ + 2f_{r,s,g} b_r a_s c_g \\ - 2f_{r,s,g} b_r^* b_s c_g \\ + \text{konj.} \end{array} \right)$$

hierbei sind die $f_{r,s,g}$ die Matrixelemente, die wie in der gewöhnlichen An. Gl. d. g. zum Übergang eines Elektrons von einem in den anderen Zustand unter Einwirkung bzw. Absorption von Lichtquanten gehören, ferner ist $c_g^* = M_g^{\frac{1}{2}} \Delta^-$ u. p. v.

Damit ist die Schrödingergleichung des Problems gewonnen

und die Erwartungswerte der Ladungsdichte folgen aus der Gleichung $R(PP) = R^0(PP)$:

$$(2) \quad \mathcal{G}(P) = e \sum \left\{ \underset{+}{a}_r^x \underset{+}{a}_s \cdot \underset{+}{u}_r^x \underset{+}{u}_s + \underset{+}{a}_r^* \underset{-}{b}_s^* \underset{+}{u}_r^* \underset{-}{u}_s + \underset{-}{b}_r \underset{+}{a}_s \underset{-}{u}_r^* \underset{+}{u}_s - \underset{-}{b}_r^* \underset{-}{b}_s \underset{-}{u}_r \underset{-}{u}_s^* \right\}.$$

Es ist richtig, festzustellen, dass bis hierher eine Annahme über die Größen $R(PP')$, die über die Gl. (II) hinausgeht, nicht notwendig ist. Die Ausdehnungen von Dirac scheinen mir hier ein völliger Luxus - die Gl. (2) sagt nämlich von selbst dafür, dass die Ladungsdichten endlich bleiben. (Z.B. reicht man ganz trivial, dass die Gesamtladung endlich ist, wenn sie es im ungestörten System ist $\frac{1}{2}$, und dem gleichen Wert hat, wie im ungest. System.)

II. Man kann nun das weitere Problem stellen, die Energiedichte als Operator auszurechnen. Dabei ist festzustellen, dass die Gesamtenergie nach (1) ^{vermutlich} ~~endlich~~ (endlich und positiv bleibt, sofern die Selbstenergie die Lücke nicht zerstört. Für dieses weitere Problem sind die Überlegungen dieses Briefs ^{über die H_{int}} nötig, sofern man an die Differentialform der Erhaltungssätze festhält. Ich muss gestehen, dass ich nicht ganz sicher bin, inwieweit man in diese Differentialform

vgl. meinen Brief vom 25.10.19!
glauben soll. Aber jedenfalls ist dein Schema eine konsequente
Lösung. —

Mit dieser Formulierung der Löchertheorie bin ich jetzt
völlig zufrieden, ich glaube, es ist alles, was sich ohne
Lösung der tiefer liegenden Probleme (Selbstenergie etc.)
erreichen läßt. Dass die Ladungsdichte endlich bleibt,
scheint mir nach (2) trivial, denn ich sehe nicht, wie
durch Anwendung eines Operators, der durch die N_k und N'_k
ausdrückbar ist, etwas Unendliches herauskommen sollte, solange
nur endlich viele Teilchen N_k und Löcher N'_k vorhanden
sind. Bei der E Energiedichte steht es genau so, nur
wird hier in weiterer Näherung die Selbstenergie alles
erstochen. Das ist aber nicht zu vermeiden.

Denn du mit dieser genau Auffassung einverstanden bist,
so wäre ich sehr dafür, dass die Löchertheorie so publiziert
wird. Dabei ist es mir klar, dass du die Hauptarbeit daran
geleistet hast, also ~~was~~ möchte ich dich nochmal fragen, ob du
sie nicht allein publizieren willst. Eine Berücksichtigung für
meine Teilnahme fies würde sich nur daraus konstruieren
lassen, dass wir die An. d. Phys. bisher gemeinsam publiziert
haben. Also darüber bestimmte Bte, mir ist beides gleich recht.

Jedenfalls finde ich die Lörchertheorie in dieser Fassung ~~so~~ viel besser als die Diracsche, dass man sie unbedingt veröffentlichen sollte.

Seine Kritik meiner Selbstenergie-Versuche war mir sehr wertvoll. Ich glaube zwar noch wie vor, dass der Grundgedanke meines Besuchs richtig ist - und denn, wenn geordnete Teutchen vorhanden sind; aber ich fühle sehr deutlich, dass man hier an das Problem $\frac{e^2}{\hbar c}$ richtet und vollstän-
dige Lösung braucht, um das formale Programm, das ich mir gestellt habe, durchzuführen. -

Die de Brogliesche Arbeit ist mir in der Tendenz sehr sympathisch; ich empfinde sie aber doch als eine Art unverdaulichen Aphorismus. Sehr viel kann ich wohl damit anfangen. (Übrigens kann man de Broglie formal wohl so verstehen: man ersetze in der kl. H. Dyn. die P_r durch seine: $\psi B_i \psi \cdot \psi$. Dann ergibt die Quantenell. Dyn. von selbst, dass die Neutrinos stets in Paaren abstrahiert u. emittiert werden.)

Die Arbeit von Joliot u. Lurie finde ich herrlich: es wird Tag in der Kernphysik. Ich halte nun sowohl die Fermische Arbeit als den β -Zerfall, wie die Austauschkräfte

der Neutronen u. Protonen für ziemlich gesichert. Auch
an das $\frac{\text{const}}{r^5}$ Gesetz glaube ich o. halb u. halb - Fermi
meint, es verhalte sich ähnlich wie im Atom: Durch
die Wechselwirkung Elektron - Feldquanten bekommt man
in weiter höherer Mag. Wechselwirkungskräfte mit $\frac{1}{r}$, die aber
 10^4 bis 10^6 mal so klein sind (magnetische Kräfte!). So könnte
es neben den Kräfte aus Fermi berechneten Kräfte $\frac{\text{const}}{r^5}$
noch andere stärkere geben, die aber wohl die gleiche
Abhängigkeit von r haben. —

Liebe Grüsse!

Dein
W. Heisenberg.