

Archiv von Heisenbergs Briefen

von: Werner Heisenberg

an: Pauli

Datum: 28.10.1926

Stichworte: Lage und Geschwindigkeit nicht gleichzeitig bestimmt
(Paulis Hinweis darauf)

Ursprung: Pauli Archiv in Genf

Kennzeichen im Pauli Archiv in Genf: heisenberg_0017-037r

Meyenn-Nummer: 144

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.

DEN 28. 10. 1926.

Lieber Pauli!

Vielen Dank für Ihren letzten Brief. Dass ich so spät antworte, kommt daher, dass Ihr Brief dauernd hier die Runde macht und Bohr, Dirac u. Kramel uns dauernd ranfen. Hinsichtlich der Diracschen ψ -Funktion sind wir jetzt wohl einig. Ihre Kritik habe ich sehr ~~wohl~~^{gut} verstanden. Aber wenn die Atome Ihren Befehl gehorchen, müssten es die ~~so~~ ~~müssen~~ es das Ges. doch auch tun.

Wen Ihre Behauptung über die Stossprozesse bin ich sehr begeistert, weil man den physikalischen Sinn des Bornschen Formalismus nun wirklich viel besser versteht als vorher. Das Rotationsbeispiel ist ja etwas sehr allgemeines: Das Überall, wo in der klassischen Mechanik ein Bewegungstypus diskontinuierlich in einen anderen übergeht, liefert die Qu. M. einen kontinuierlichen Übergang, der

38

sofern man ihn ausdeutlich deuten will, eine
 Spannungswahrscheinlichkeit bedeutet. Und das von
 Kund neuerdings untersuchte und von Ihnen so
 gern betrachtete Übergang $K + K^+ \rightarrow K_2^+ \rightarrow K_2^+$ kann
 ist ja mathematisch Ihrem Rotator sehr ähnlich.
 (Kund hat seine Rechnungen unabhängig von Ihrem Brief
 gefunden, ich sagte ihm daher, er solle Ihnen ^{davon} schreiben).
 Übergang findet ich auch die kundische Überlegung sehr
 schön. Dass nun das Bornsche Krossproblem and dasselbe
 ist, ist doch sehr erfreulich. Übrigens hat der Rotator
 and ansehnliche Ähnlichkeit mit dem Beispiel der
 zwei Atome in Resonanz, das ich wegen der Schwankungen
 so gern betrachte: Als momentane Übergangswahrscheinlich-
 keit an etwa der einen der beiden Atome möchte
 man freilich $\frac{d^2 P}{dt^2}$ betrachten. Dessen Bestwert
 ist aber natürlich Null und vielleicht kann man
 später doch plausibel machen, dass im aperiodischen
 Fall f bei Mittelung über alle Phasen $(\frac{dE_n}{dt})^2$ die
 Spannungswahrscheinl. bestimmt, (das wäre eben Ihr $E_{n,-n}^2$).
 Haben Sie sich nicht mehrere Gedanken über den Fall
 $E_{n,-n}^2$ gemacht? Das interessanteste an Ihren Bemerkungen
 ist aber natürlich der oben „dunkle Punkt“.

Druckausg.
 (Satzulose Ma.
 Leitzugl.)

$\frac{DP}{Dt} = \dot{P}$

Ich möchte glauben, dass Fare p -Wellen eine ~~etwas~~
ebenso große physikalische Realität haben, wie die q -Wellen;
nur natürlich keine so große praktische Bedeutung.
Aber die prinzipielle Äquivalenz von p und q ist mir
stets sympathisch. Die Gleichung $pp - qq = h^2$ bedeutet entspricht
also immer in der Wellenvorstellung der Tatsache, dass es
keinen Lini hat, von einer monodirektionalen Welle in
einem bestimmten Zeitpunkte (oder sehr kurzen Zeitintervall)
zu sprechen. Macht man aber die Linie nicht zu oberflächlich,
dass Zeitintervall nicht zu kurz, so hat das sehr wohl einen
Lini. Analog hat es keinen Lini, von der Lage einer
Korpuskel bestimmter Geschwindigkeit zu reden. Nimmt
man es aber mit Geschwindigkeit und Lage nicht so genau,
so hat das sehr wohl einen Lini. Man versteht also
stets wohl, dass es makroskopisch einen Lini hat, von
Lage und Geschwindigkeit eines Körpers in grosser Annäherung
zu sprechen. (Dies alles ist Ihnen natürlich durch aus nicht
ajendwie neu). Ich hat bei alledem eine Koffnung statt
eine spätere Lösung von etwa der folgenden Art (aber man
wollte sozusagen nicht so stark sagen): dass Raum und Zeit
wirklich nur statistische Begriffe, wie etwa Temperatur

In einem
gegenüber
Periode
kurzen
Zeitintervall
hat es auch
nicht Lini
von Punkt
(Geschwindigkeit)
zu sprechen.

UNIVERSITÄTSTETZ INSTITUT
FOR
PHYSIK

38

BLEDGMSVLEJ 12 KOBENHAVN 2

Druck
~~und~~ u. p. v. in einem Gas sind. Ich meine, dass räumliche
 und zeitliche Begriffe bei einer Korpuskel simultan sind u.
 dass sie mehr und mehr Sinn bekommen, je mehr
 Partikel vorhanden sind. Ich versuche oft, in dieser
 Richtung weiter zu kommen, aber es will bis jetzt nicht
 gelingen. Solange man Ihre Rechnungen haben mit vieler
 sehr Hoffnung gemacht, weil sie zeigen, dass der Bohrsche
~~aber~~ dogmatische Standpunkt der Behauptung nicht haltbar
 nur eines vieler möglicher Schemata ist. - Übrigens
 eine praktische Frage: Kann man die p-Wellenfeld
 nicht zur anständigen Wellenformulierung des
 drehenden Elektrons benutzen?? Bei der gewöhnlichen
 Methode liegt eine Schwierigkeit darin, dass Aus-
 drücke wie $\sqrt{p_x^2 + p_y^2}$ in der Wellenfunktion
 vorkommen, was ja wegen $\sqrt{\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}}$ keineswegs schön ist.

Über die Bedeutung der Matrixelemente habe ich
 auch oft nachgedacht. Ich bin hier nicht ganz Ihrer
 Meinung. Ich glaube, dass man sie nicht mit kinetischen
 Elementen in einem Zustand verknüpfen kann.
 Ich glaube, dass ein solches Element stets an zwei Zustände
 geknüpft sein muss. Aber vielleicht ist dies von

Nach
 Analyse
 des
 "Zustand"
 nötig, um Matrixelemente
 kinematisch definieren
 zu können.

Ihrem Programm doch nicht sehr verschieden.
 Denn bei irgendwelcher Reifung der Frage, so wird

die Partikel befindet, kommen ja die Übergangs-
möglichkeiten wohl automatisch hinein. Das es
Definitionen der Matrixelemente unabhängig von der
elektronenquanten Ausbreitung geben wird, glaub
ich aber auch. Übrigens ist eine solche doch wohl
implizit durch irgendwelche Störüberlegungen
zu erhalten, etwa dass einer α -Partikel auf ein
Atom, wobei wir in Brennschweig sprachen. Aber
man möchte doch eine einfache Definition haben.

Zu selbst hat in der letzten Zeit noch manchmal
über Schwankungen nachgedacht - es ist wohl alles
in ganz guter Ordnung, führt aber, wie Sie auch
selbst sagt, nicht viel weiter. Vielleicht würdest
aber doch eine kurze Note darüber schreiben, weil
es für die Herren der Kontinuumstheorie sehr
gesund ist, so etwas zu lesen. Kirac hat, zur
Erläuterung der Feldänderungen der elektrischen Dichte,
eine sehr lustige Betrachtung angestellt. Frage:
"Was ist die quantenmed. Matrix der elektrischen
Dichte". Definition der Dichte: ρ ist überall

UNIVERSITÄTETS INSTITUT
TEORETISK FYSIK

32

DEN

Kull, vor des Elektron nicht ist. In Gleichungen:

$$\rho(x_0, y_0, z_0, t_0) (x_0 - x(t)) = 0$$

$$\rho(\dots) (y_0 - y(t)) = 0$$

Ferner, die Gesamtladung ist e :

$$\int \rho(t_0, y_0, z_0, t_0) dt_0 dy_0 dz_0 = e.$$

Die Lösung ist (wie man nämlich leicht beweisen kann):

$$\rho_{nm}(t_0, y_0, z_0, t_0) = e \psi_n \psi_m^* (t_0, y_0, z_0, t_0),$$

wo ψ_n und ψ_m ^{normierte} Schrödis-Funktionen. Diese Formulierung ist ^{nur} eigentlich sehr sympathisch, besonders gibt diese betriebsformulierung wie der der richtige Schwankungsquadrat (so viel ist bis jetzt sehe) für die Schwankungen oder elektrischer Ladung in einem kleinen Volumenelement (= also die grossen Schwankungen, die der Bewegung von Punktladungen entsprechen-).

So, mehr weiss ich nicht. Haben Sie nochmal vielen Dank für Ihren Brief. Von Anten Bohm, Dirac, händ und mir viele herzliche Grüsse an Sie und das ganze Hamburger Institut!

V. Klenck.