

Archiv von Heisenbergs Briefen

von: Werner Heisenberg

an: Pauli

Datum: 13.06.1928

Stichworte: Diracs Theorie der Strahlungsemission und -absorption,
Paulis Quantenstatistik

Ursprung: Pauli Archiv in Genf

Kennzeichen im Pauli Archiv in Genf: heisenberg_0017-054r

Meyenn-Nummer: 200

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

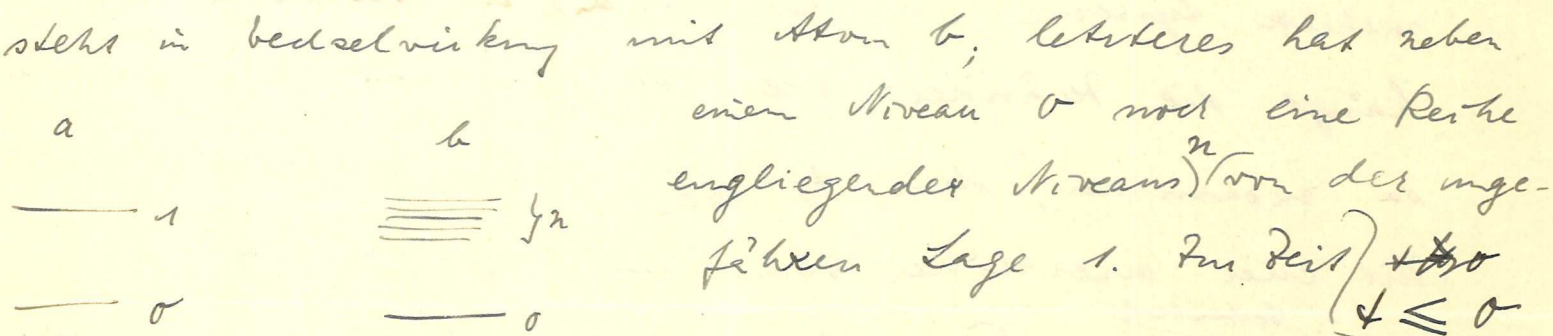
Copyright (c) Heisenberg-Gesellschaft e. V., München, VR 204617, 2016

Reproduktion (auch auszugsweise) nur mit Erlaubnis der Rechteinhaber.

Lieber Pauli!

Vielen Dank für deinen Brief, ich glaube jetzt, deine Überlegungen zum H-Theorem verstehen zu haben. Der Einfluss der Beobachtungsunsicherheit würde ich quantitativ so formulieren - das ist wohl, was du meinst: Wenn mehrere Systeme (z.B. Brillatoren) in Wechselwirkung, so hängt die Veränderlichkeit der $c(t)$ mit der Wechselwirkung so zusammen, dass $t_c = \frac{h}{\Delta E}$, wenn t_c die "Lebensdauer" (Zeit einer merklichen Veränderung von $c(t)$), ΔE die ^{bedeutet} Wechselwirkungsenergie. Die zur Feststellung des Zustandes benötigte Zeit muss $\ll t_c$ sein, also $\Delta E \gg \frac{h}{t_c} \gg E$, ΔE = Unsicherheit der Energie. In Übergangsprozessen eignen sich alle ungestörten Zustände, bei denen die Energie im Bereich einer bestimmten Energie $\pm \frac{1}{2}$ (der Ordnung der Wechselwirkungsenergie liegt - was natürlich wieder trivial ist. Es scheint mir aber fraglich, ob diese Beobachtungsunsicherheit etwas mit der Diracschen Regel (Integration über v) zu tun hat, denn im Prinzip kann man immer Messungen der folgenden Art machen: Zuerst schalte man die Wechselwirkung aus (z.B. die Kerklung), dann kann man den Zustand beliebig genau bestimmen.

Dann stelle man von $t=0$ bis $t=t$ die V.v. ein,
dann wieder aus. Danach kann wieder die Energie beliebig
gemessen werden; dies ist doch der Sinn der Dirac-
schen $c(t)$. Übrigens geht Dirac zweifellos von exactly
definierten Zuständen aus: (gl. 122) bei Dirac: $a(\alpha')$ für
 $t=0$ ~~ist~~ ^{gleich} ~~ist~~ $a^0 \delta(\alpha' - \alpha^0)$.) Zur Veranschaulichung der
Diracschen Methode hat ich mit folgendes Modell
gemacht: Ein Atom ~~a~~ a mit den Zuständen 1 und 0



sei Atom a im Zustand 1, b im Zustand 0. Die unge-
hörige Schrödingersf. ist also $\psi_1(q_a) \psi_0(q_b)$. ^{(die ψ_2 enthalten noch den Zeitfaktor $e^{i(E_0+E_1)t}$)} Bei
bedeutung (für $t=0$ ab) Resonanz in bek. Weise ein, die
Schrödingersfunktion zur Zeit t_0 lautet, wenn in diesem
Augenblick die V.v. wieder abgeschaltet wird

$$a_{10} \psi_1(q_a) \psi_0(q_b) + \sum_n a_{0n} \psi_0(q_a) \psi_n(q_b), \text{ oder mit}$$

$$\text{Zeitfaktoren (von } t=t_0 \text{ ab)}$$

$$\psi = a_{10} \psi_1(q_a) \psi_0(q_b) e^{(E_0+E_1)\frac{2\pi i}{h}(t-t_0)} + \sum_n a_{0n} e^{(E_0+E_n)\frac{2\pi i}{h}(t-t_0)} \psi_0(q_a) \psi_n(q_b).$$

Dirac fragt nun nach der Wahrscheinlichkeit, dass
für $t \geq t_0$ das Atom 1 im Zustand 0 sei, unab-
(nach Abschalten der V.v.)

hängig davon, ob in welchem der Zustände n der Atom b sei. Diese Wahrscheinlichkeit ist (ohne jede Zusatzannahme) nach der Regeln der Qu. $\sum_n |a_{on}|^2$. Diese Formel ¹⁾ ist ~~identisch~~ identisch mit Dirac, Dirac und absorption, Gl. 23. Nun enthält die Formel für das Wellenpaket ψ zweifellos noch mehr Aussagen, als die über $\sum |a_{on}|^2$; ^{erst} ~~aber~~ nach einer Zeit der Ordnung $\frac{h}{\Delta E}$, wo ΔE den Abstand zweier Niveaus n bedeutet, haben sich alle Phasen vermischt in ψ im allgemeinen verwischt. Trotzdem muss die Aussage über $\sum |a_{on}|^2$ bereits von $t = t_0$ ab richtig sein, weil sich jedenfalls um Atom a von $t = t_0$ ab gar nichts mehr ändern kann. Ich sehe also überhaupt noch nicht, wo eine Angelegenheit bei Dirac steckt, jedenfalls ist für irgend eine Phasenmittelung gar keinen Platz in der ganzen Rechnung. (Und da merkt doch diese Formel der Diracktorie, wo über die Resonanz nemals integriert wird: $\int |a(v', j')|^2 J dv'$)

$\approx |a_{01}^0|^2$ Dabei ist noch zu beachten, dass die Diracsche Linearität $\int |a|^2$ erst herauskommt, wenn $t \gg \frac{h}{\Delta E}$ ($\Delta E \sim$ Differenz zweier Niveaus der Reihe n). Bisher bis dahin noch

1) Sie folgt auch ohne weiteres aus dem "Erhaltungssatz" $|a_{01}|^2 + \sum_n |a_{on}|^2 = \text{const.}$

keine Rückwirkung stellt gefunden haben soll, muss die Wechselwirkung $v \ll AE$ sein. - Wie du siehst, bin ich im Laufe dieses Briefs, im Gegensatz zu dem, was ich im Beginn glaubte, zu dem Resultat gekommen, dass bei Hiere gar keine Chogelei steht. Ich glaube bis jetzt allerdings erst halb daran, denn irgendwo muss doch mal der Sprung von reversiblen zu irreversiblen Vorgängen gemacht sein. Vielleicht liegt dieser Sprung aber doch wieder nur daran, dass die Wechselwirkung an und ausgeschaltet wird, ~~was~~ alle Quanten Lebensfähigkeit
(Kugenanalogie? u. p.v.)
kommt für mich an dieser Stelle herein, wenn ich aber nicht doch den Hiere missverstanden hab,
wird ich sagen, dass die Thermodynamik ohne Zusatzannahme abgeleitet werden kann. - Meine Ableitung des H-Theorems aus der radiativen Formel find ich übrigens sehr schön. "Ich bin immer sehr froh, wenn du mir über deine Überlegen schreibst, und wenn sie noch nicht klein sind"; nur danach halt dann auch Länge, bis ich verstehe, worum es sich handelt. - Für die Weissachen Magnetronzahlen gibt es ausser der trivialen Lösung (Messfehler, da Fälligkeit nirgend) noch die andere, dass die Atome im Gitter mehr oder weniger gleich berücksichtigt sind z.B. in zwei Gruppen + . + . + . u. so weiter. Von denen die eine Bestände gibt, die andere nicht. Mit solchen Möglichkeiten muss durchaus gerechnet werden.
Nun viele Grüsse dein V. Heisenberg.