

Archiv von Heisenbergs Briefen

von: Werner Heisenberg

an: Pauli

Datum: 19.11.1921

Stichworte: Zeeman-Effekt, halbzahlige Quantenzahlen, Ellipsenbahnen der Elektronen

Ursprung: Pauli Archiv in Genf

Kennzeichen im Pauli Archiv in Genf: heisenberg_0017-002r

Meyenn-Nummer: 16

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.

München, 19. Nov. 1922 W 1.)

PLG 0017, 002 r

NACHLASS
PROF. W. PAULIHakenkollern
sh. 110.

Lieber Pauli!

Ihre Ihre Briefe sind sehr wertvoll! Ihr Motto
gefällt mir sehr, besonders, ja, wie Sie von
Ihrer unempfindlichen H_2 so sehr bedacht!

Übrigens: Eigentlich spricht die Quantentheorie
von unbestimmten Zuständen. Das ist gewiss richtig.
Beispiel: Wasserstoff im Magnetfeld. Es kann sich
so einstellen, daß es räumlich symmetrisch
ist, mit $\cos \vartheta = -1$. Es ist dann das Wasserstoffatom
eines reinen reinen Magnetfeld, so daß man,
daß die Wellenfunktion unbestimmt ist. Aber, das ist
genau. zu Ihrer Relativitätstheorie, ist mir
unklar. — Aber ich will Ihnen zu einem
Wort kommen (cf. Anmerkung!) über die Abhängigkeit
des unvollständigen Quantenfeldes. Motto: „Der
Fehler liegt in der Mittel.“ Also — — —

1.) Doublet alone, sie besprechen uns

in einem Polungsl. u. einem Rücksp. Im
Normalzust. (6 Zonen) sei das Atom der Gesamt-
energie 1. Diese verteilt sich (gleichförmig!)
auf ein Zeitintervall gleichmäßig auf Rücksp.
u. Feldstrom. Also mittlerer Energie $\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$.

Im unigenzten Zustand: Mittlerer Energie
von Rücksp. wieder $\frac{1}{2}$, von Polungsl. $n - \frac{1}{2}$.
Zwischen beiden besteht eine ungenutzte
Ausgleichslösung. (Größe ungenutzt!) H_1 . Die
beiden Energie $\frac{1}{2}$ u. $n - \frac{1}{2}$ sollen sich gleichen.
müssen gegeneinander sein. Bei $\frac{1}{2}$ als Mittel
zwischen den beiden Energiezuständen, besteht
die Ausgleichslösungsmenge $\Delta E = (\frac{1}{2}) \cdot H_1 \cdot \frac{e}{4\pi m c} \cos \alpha$.
 $\frac{1}{2}$ kommt dazu, dass H_1 der Hauptteil der
höheren Feldstrom zum Rücksp. beizubringen soll.
Gleichzeitbedingungen: $\cos \alpha = +1$ oder -1 .
Das sind die beiden Gleichzeitigkeiten. Gegen-

eingesetzt also $n - \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = n$ oder $n - \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = n-1$.

Die Quantenbedingung für $\cos \vartheta_2$ setzen wir hier die eigens. ungenutzte (d. h. für den Fall) $\frac{\partial \Delta E}{\partial \vartheta} = 0$. Die zwei oben gezogenen Werte sind ein äußeres Hauptquantenzahl H . Die Werte der Quantenzahlen (für das äußere Elektron = mittleren Elektronen) charakterisieren wir durch die Quantenzahlen p_1 bzw. p_2 (Zahl 1 für das äußere El., Zahl 2 für den inneren) u. abgesehen (bzw. unabhängig) sind die Quantenzahlen q_1 u. q_2 von den Quantenzahlen p_1 u. p_2 unabhängig. Also $\cos \vartheta_1 = \frac{q_1}{p_1}$, $\cos \vartheta_2 = \frac{q_2}{p_2}$ u. $\cos \vartheta_1 = \frac{2\pi q_1}{n - \frac{1}{2}}$, $\cos \vartheta_2 = \frac{2\pi q_2}{\frac{1}{2}}$. Wenn man also, man hier einsetzen kann:

$$\cos \vartheta_{12} = \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2 + \sin \vartheta_1 \sin \vartheta_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Setzt man also die ganzen Quantenzahlen als Funktion der Quantenzahlen:

$$2\pi q_1$$

$$\Delta E = \Delta r \cdot h \left[(n - \frac{1}{2}) \cos \vartheta_1 + \frac{1}{2} (\cos \vartheta_1 + v \cos \vartheta_2) \right], \text{ wo}$$

$$\Delta r \text{ die normale magnet. Woffg.} = \frac{e}{4\pi m c} H \text{ u. } v = \frac{H_1}{H}$$

der soeben schon benutzt war ist eben Bild u. 2. Teilung des soeben, d. gezeigte von der S. in Richtung der Strahl von der Aufspaltungslin. Auf der Aufspaltungslin. der Kumpen mit ϑ_1 u. ϑ_2 so gemacht sein, dass ΔE ein Minimum wird.

Ni also

$$1) X = \cos \vartheta_1 + v \cos \vartheta_2 = \cos \vartheta_1 + v \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2 + \sin \vartheta_1 \sin \vartheta_2 \cos (\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$\text{somit sein } 2) \frac{\partial X}{\partial \vartheta_2} = 0 = \sin \vartheta_1 + v (\cos \vartheta_1 \sin \vartheta_2 - \sin \vartheta_1 \cos \vartheta_2 \cos (\varphi_1 - \varphi_2))$$

$$\text{u. } 3) \frac{\partial X}{\partial \varphi_2} = 0 \text{ d.h. } \sin (\varphi_1 - \varphi_2) = 0.$$

Man multipliziert mit 1) mit $\cos \vartheta_2$ u. 2) mit $\sin \vartheta_2$, ein anderes Mal 1) mit $\cos \vartheta_2$ u. 2) mit $(\cos \vartheta_1 \sin \vartheta_2 - \sin \vartheta_1 \cos \vartheta_2 \cos (\varphi_1 - \varphi_2))$ u. addiert, so kommt:

$$X \cos \vartheta_2 = 1 + v \cos \vartheta_1 \text{ u.}$$

$$X \cos \vartheta_2 = \cos \vartheta_1 + v (\cos \vartheta_1 + \sin^2 \vartheta_1 \cos (\varphi_1 - \varphi_2));$$

Setzt man nun, dass $\cos (\varphi_1 - \varphi_2)$ nach 3) = 1 ist,

2.)

PLC 0017,002 r

so ergibt sich durch Einsetzen der letzten beiden Gleichungen in 1.)

$$x^2 = 1 + 2v \cos \varphi + v^2$$

Setzt man nun noch $\cos \varphi$ durch $\frac{2\pi \bar{q}_1}{n - \frac{1}{2}}$ (siehe oben) ein, so wird

$$\Delta E = \Delta x_i \cdot h \left(2\pi \bar{q}_1 \pm \frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{2\pi \bar{q}_1}{n - \frac{1}{2}} v + v^2} \right)$$

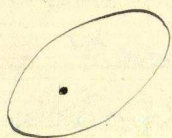
Einem Summe p_i muss nunmehr noch, als zugehörig, $\bar{q}_1$ zu geordnet werden. $\int \bar{q}_1 dp_i = m h$, und bekannt ist für m ein aus $\bar{q}_1$ abgelesenes zugehöriges Wert. Es kommt

$$\Delta E = \Delta x_i \cdot h \left(m \pm \frac{1}{2} \sqrt{1 + 2 \frac{m}{n - \frac{1}{2}} v + v^2} \right)$$

Das sind die 2 vergleichen Formeln (s. Haupttext). Als m die Werte $(\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2})$ mit 1, 2, 3 einzunehmen, ist gleichgültig, als $\bar{q}_1$ muss $n - \frac{1}{2}$ eingesetzt werden. Der Wert ist zu den Vergleichsabweichungen, wie immer geordnet.

hinein flüchtet: 1.) Wir betrachten die Ableitungen
bei $z=0$, dann ist es für den z von, also
einige Funktion, so sind die Bedingungen in guter
Übereinstimmung als sinnvoll. Eine weitere Folge davon

das in der Funktion befindet sich



Flächeninhalt (quadratisch) gegeben,
was natürlich in der Funktion ist, mit

$$\text{den Ausprägung } a \cdot z^2 = 4a \text{ u. } a \cdot 2 \cdot \frac{3}{2} = 3a.$$

(da für den z von z ist die, Funktion "identisch" ist,
2, die Funktion ist, nur in der Funktion $\frac{3}{2}$).

(a quadratisch). Dann wird (Boole'sche Logik)

$$H_i = \frac{e}{c} \frac{[v v]}{r^3} = \frac{e}{mc} \cdot \frac{m [v v]}{r^3}$$

$$\text{mit } m [v v] = \frac{3}{2} \cdot \frac{h}{2\pi}; \text{ so findet}$$

bei gibt uns ein Mittel von $\frac{1}{r^3}$.

also wird (unmittelbar davon, a, große Aufg.,

a, kleine Aufg., $\frac{1}{2}$ Logarithm.)

$$\frac{1}{r^3} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{du}{a^3 (1 + \varepsilon \cos u)^2} = \frac{1}{a^3}.$$

$$\text{Also } H_i = \frac{3}{2} \cdot \frac{h}{2\pi} \cdot \frac{1}{a^3 \cdot 27} = \frac{h}{2\pi \cdot a^3 \cdot 18}$$

Manus folgt ~~mit~~ Ableitungsgesetz

$$\Delta v = \frac{c}{4\pi mc} \cdot H_i \text{ in. das wird}$$

$$\Delta v = 0,32 \text{ cm}^{-1}$$

Der experimentelle Wert ist $0,34 \text{ cm}^{-1}$
 Die Abweichung von p bzw. auf den Abstand ^{in cm} in
 Δv geht mit $\sim \frac{1}{n^3(n-\frac{1}{2})^2}$. Auf das ist
 p konstant. — Was aber anders will
 ist verifizieren. Im Zusammenhang der Physika
 muß, für mittlere Mergelplote, Paschen gewisse
 Messungen v.; die Summe der Abweichung
 bis auf $\pm 0,004 \text{ A}^\circ$ richtig sein, muß bei
 der Zeit (da ist das ein kleiner Teil von
 größerer Fehler, wenn die $0,009 \text{ A}^\circ$).

Am Ende, (da die zur Probierung
 des physikalischen Rindels Summen + -

Nehmen wir die einfachen Ausdrücke der
 Zylinder an die Reihe. Aus dem Ableit müssen
 wir nur Zylinderaborn, in dem wir wegen
 gewisser Melungelcher. abzuführen mit dem
 Zylinder 1, die Zylinder aber wieder gleichmäßig
 auf Ordnung u. Zylinder notieren. Also
 gibt zwei Möglichkeiten der Zylinder-
 notierung:

	1.)	2.)
Bewertung.	0	1
Melungel.	$+\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$
Melungel.	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$
das ist	15	15. den entsprechenden
	im ungeraden Zustand:	
Bewertung.	0	1
Melungel.	$n - \frac{1}{2}$	$n - \frac{1}{2}$
Melungel.	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$
Zylinder- ↑ Zylinder- ↑	Zylinder- ↑ Zylinder- ↑	Zylinder- ↑ Zylinder- ↑

Als der Rumpfwinkel θ ein Einheitskreisbogen
 kürzer, ist klar, dass der Baum sich mehr
 einstellen. ~~Wie es sich beim Einheitskreis~~
 normalen Zusammenhang, der sich nachfolgt
 die räumliche Grundbildung so folgt:

$$4.) \quad (n - \frac{1}{2}) \cos \vartheta_1 + \frac{1}{2} \cos \vartheta_2 = n, \text{ wo}$$

der Funkt. 2 sich auf das immer Melungelichte
 bezieht. Bei der 2. Möglichkeit (Eingelichtg.) wollen
 wir zunächst die Eingelichtung zwischen
 Melungel. u. Rumpf so kurz zusammenfassen, dass
 beide in einer Aufhängung die gleiche Koordinate
 haben; $p_2, \vartheta_2, \bar{q}_2$. Dann wird, genau wie
 bei der Ableitung (s. oben) sich von
 Anfang an, der Einheitskreis selbst $\theta_1 = \theta_2$ auf:

$$\Delta E = \Delta k_n: h((n - \frac{1}{2}) \cos \vartheta_1 + \frac{1}{2} \cos \vartheta_2 + \cos \vartheta_2 + \frac{3}{2} v \cos(\vartheta_1 - \vartheta_2)).$$

Auf dem wir wieder eine Größe θ ein u.

setzen nach $\frac{3}{2} v = v'$ u. $n - \frac{1}{2} = n_a$, so ist,

4.)

PLC 0017,002 x

$$(5) \quad \Delta E = \Delta_{ii} \cdot h(m + X) \text{ in.}$$

$$(6) \quad X = \cos \vartheta_2 + v' \cos(\vartheta_1 - \vartheta_2);$$

$$(7) \quad \frac{\partial}{\partial \vartheta_2} = 0 = \sin \vartheta_2 + v' \sin(\vartheta_1 - \vartheta_2); \text{ also gilt}$$

$$(4) \quad m = n_a \cos \vartheta_1 + \frac{1}{2} \cos \vartheta_2;$$

Aus 6 u 7 folgt

$$(8) \quad X^2 = 1 + 2v' \cos \vartheta_1 + v'^2$$

Aus 7) ergibt sich

$$\cos \vartheta_2 (1 + v' \cos \vartheta_1) = \cos \vartheta_1 \sin \vartheta_2 \text{ und}$$

$$\cos \vartheta_2 = \frac{1 + v' \cos \vartheta_1}{\sqrt{1 + v' \cos \vartheta_1 + v'^2}} = \frac{1 + v' \cos \vartheta_1}{X};$$

Nun ist $\cos \vartheta_2 = 2(m - n_a \cos \vartheta_1)$ in. also gilt

$$\cos \vartheta_2 = \frac{2xm - 1}{2 + n_a + v'}; \text{ wegen man}$$

nach 8) kommt:

$$X^2 - 1 - v'^2 = 2v' \frac{2xm - 1}{2 + n_a + v'} \text{ also}$$

$$9) \quad X^2 + \frac{v'}{2n_a} X^2 - X \left(1 + 2 \frac{m}{n_a} + v' \right) - \frac{v'^3 - v'}{2n_a} = 0;$$

ein kub. Glgung für X.

Lösen wir hier auf für $v \rightarrow \infty$, indem wir
 $X = \alpha v' + \beta$ setzen u. ~~die~~ ang. Potenz von v'
 monomialisieren, so folgen die Gleichungen
 $\alpha^3 + \frac{\alpha^2}{2na} - \alpha = \frac{1}{2na}$. (Es muß sich nicht mehr genau)
 Jedemfalls kommt also heraus

- 1.) $\Delta E = \Delta k \cdot h \left(+v' + m \left(1 + \frac{1}{n} \right) \right)$
- 2.) $\Delta E = \Delta k \cdot h \left(-\frac{v'}{2na} + m \left(1 + \frac{1}{n(n-1)} \right) \right)$
- 3.) $\Delta E = \Delta k \cdot h \left(-v' + m \left(1 - \frac{1}{n-1} \right) \right)$.

Also alles so, wie es sein soll: Läng der
 monierten Läng $\frac{7}{6}$ u. f. w. Für $v = 0$ kommt
 aus (9) $X^3 - X = 0$, $X = 1, 0, -1$. Also
 Lappen-Bed. steht mit Richtigkeit in Beziehung
 (Läng kgf.).

Die Substitution kommt in der folgenden:
 Wir wollen also Abstandsgesetz mit der
 Längstimmung verbinden: $\frac{\Delta E_1 - \Delta E_2}{\Delta E_2 - \Delta E_3}$

$$\text{das wird: } \frac{v' + \frac{v'}{2na}}{v' - \frac{v'}{2na}} = \frac{n}{n-1}$$

das Verhältnis im p von $\frac{p_1 - p_2}{p_2 - p_3}$ wird
 also 2:1, genau wie gewünscht ist
 überall Gruppen, sowie in dem $\frac{3}{2} = 1,5$,
 wie auf kindig beobachtet. Also kann
 man, hinsichtlich der Beobachtungen, nicht
 scheitern.

Zum guten Ende nimmt Werners will es
 aber mit der Hypothese der 2. Form
 nicht aufgeben. 1.) Es bedeutet bei der
 Vergleichsbeziehung der Erscheinungen,
 sondern dies wird hier mit dem Mittelwert
 nicht einmal mehr gerechnet. 2.) Die Aus-
 wahl von Rubrower ist also nicht,
 das Ergebnis. Es ist aber eine
 möglich begründen. 3.) Das mittlere Verhältnis

Ich überzeuge mich denn gottbeglückter
Menschen, die sich aber von mir nicht mehr
schaffen lassen. 4) Sei die Abkürzung d. Zergeltts
nach der Einsparungswahrung und abgeleitet
werden. Aber trotzdem: der Zergeltt ist
das Mittel.

Erstmal bin mir nicht alles, was die
Abkürzung d. lassen bin von Zergeltts
Einheit d. ein Zergeltt los (siehe Bl 4 ?). Die
Länge beim Paschen-Buchst. von D ist falsch gestellt,
es bleiben zu dem Schluss immer noch hoffentlich
von der Förmigkeit der ursprüngl. Abkürzung d.
Zergeltts, ganz egal, ob Zergeltts oder nicht
(vgl. Li, 16708). Bin ich also auf von
gezeigt in der Kritik in Gott. gut sein! Der
Zergeltts nicht mehr!

Der
Werner, Kisenberg