Archiv von Heisenbergs Briefen

von: Werner Heisenberg
an: Pauli
Datum: 24.06.1925
Stichworte: Neue Quantenmechanik des anharmonischen Oszillators, Fortsetzung der Diskussion des Hanle-Effekts
Ursprung: Pauli Archiv in Genf
Kennzeichen im Pauli Archiv in Genf: heisenberg_0017-018r
Meyenn-Nummer: 93

Göttingen 24. 6. 1925

Lieber Pauli!

Hinsichtlich des Henleeffekts weiss ich nicht, ob es überhaupt möglich ist, zu einer eindeutigen Entscheidung zu gelangen. Der Grund liegt eben darin, dass man nicht sicher weiss, ob hier ~~die~~ Starkeffektkomponenten $\Delta m = 0$ $\parallel$, $\Delta m = \pm 1$ $\perp$ polarisiert sind, oder nicht (den Satz von Rubinowicz-Bohr wird man ja doch nicht anwenden dürfen). Unsere theoretischen Gesichtspunkte unterscheiden sich insofern, als Sie die Aufspaltung als gegeben ansehen und geeignete Oscillatoren zu ihrer Darstellung verwenden, während ich mich stets an die Mechanik des Modells zu halten suche. Aus dem letzteren Grunde nehme ich auch an, dass es sich ~~[illegible]~~ bei den 6. Komponenten stets um zirkulare Schwingungen handelt – denn beim Modell ist dies zweifellos der Fall, sofern ~~mit~~ überhaupt eine Aufspaltung vorhanden ist (oder irre ich mich hier, aber das gilt doch, glaub ich, für jedes axialsymmetrische Feld?) –, die nur zufällig, weil alle Atome zusammenwirken, unpolarisiert werden (Diese Aussage der zirkularen Komp. hat doch auch prinzipiell einen Sinn, denn man könnte ja nach den Sternschen Versuchen alle Atome mit bestimmter Quantenzahl m aussondern u. von denen dann wirklich zirkulare Komponenten bekommen).

Was aber meine Argumente betrifft, so haben Sie wohl recht, dass diese auch nicht zwingend sind. ~~[illegible]~~ Ausführlich war mein Gedankengang der: Aus der Theorie schliesse ich, dass lineare u. zirkulare Strahlung ~~[illegible]~~ ohne Feld ~~Komponenten~~ 100% polarisierte ~~sind~~ Fluoreszenzstrahlung ergeben, auch wenn das Lichtfeld stark ist. Mir schien es dann

Zirk. Kompon. hat Sinn – aber nicht nach Stern trennbar!

die einfachste Annahme, dass auch elliptisches Licht 100% Polarisation ergibt, selbst wenn es stark ist, und ~~mir scheint~~ Hanle beobachtete ja auch bei ellipt. Licht. Aber Sie haben recht, dass es gar nicht sicher ist, dass die 100% noch gelten, wenn das elliptische Licht stark ist. Wenn es richtig ist, dann würde es bedeuten, dass das Hg sich wie ein harmonischer isotroper Oszillator verhält und dann wird man, wie mit den 2 Frequenzen im letzten Brief gemeint war, wohl ~~dann~~ auch im Feld 100% Polarisation haben. Aber die Annahme des harmonischen isotropen Oszillators folgt aber noch gar nicht aus der 100% Polarisation bei linear. u. zirkularem Licht. z. B. leistet der isotrope anharmonische Oszillator dasselbe, gibt jedoch im elliptischen Licht bei starkem ~~Feld~~ Lichtfeld wohl keine 100%, u. gibt natürlich einen Hanleeffekt. Trotzdem weiss ich nicht, ob der isotrope harmonische Oszillator nicht doch einfacher ist u. natürlicher ist. Also – etwas bestimmtes kann man nicht sagen, ein klassisches Analogon* gibt es aber nicht, weil es sich um Kombination eines entarteten mit einem nichtentarteten Term handelt.

Das Lustigste dran aber sind die Experimente, die jetzt zwar bei 40000 $\frac{V}{cm}$ noch nichts, wohl aber bei 50000 ein bissl u. bei 70000 $\frac{V}{cm}$ starke ~~Depolarisation~~ Drehung u. Depolar. geben. Das kann man wohl weder nach mir noch nach Ihnen verstehen. Denn in Ihrem Sinn als gewöhnlichen Starkeffekt das zu deuten, fänd ich kühn: 70000 $\frac{V}{cm}$ entsprechen nach Hanle etwa 1 Gauss, also wäre die Aufspaltung in $\Delta\nu$ etwa $4{,}7\cdot10^{-5}$,

*) klassisches Analogon vielleicht doch ~ Da auch im Magnetf.!

2) Doch möglich, Übergangswahrsch. viel kleiner! 1000mal kleiner

während Ladenburg bei Na u. 100000 V doch schon so etwas, wie $\frac{1}{100}$ Å ~ 0,03 in Av hat, d. h. der Starkeffekt bei Hg wär etwa mindestens 1000 mal kleiner, als der bei Na.

Bevor ich auf meine eigenen dummen Arbeiten eingeh, will ich Ihnen noch etwas lustiges schreiben: Sie kennen doch die neue Einsteinsche Arbeit über die Atome, die sich nach Wellentheorie bewegen? Man wende diese Theorie auf langsame Elektronen an und erhält die Ramsauerschen Edelgaskurven („Streuung des Lichts an kolloidalen ~~Atome~~ Teilchen") oder noch besser: man schiesse langsame Elektronen auf ein Kristall-Gitter und bekommt ein Spektrum 1. Ordnung, 2. Ordnung u.s.w., die Experimente sind längst gemacht u. stehen ~~beim~~ im Artikel von Minkowski u. Sponer (wer sie gemacht hat, der Namen bring ich nicht mehr heraus, er benützt aber statt Kristallgitter Metall, das durchgeglüht war, also „Einkristalle"). Ob der Mist ist, was ich hier schreib, weiss ich nicht, behauptet wird der von Hr. Elsasser hier und ich glaubs beinahe. —

Schnelle Elekt. Al anders wie Pt —

Über meine eigenen Arbeiten hab ich fast keine Lust zu schreiben, weil mir selbst alles noch unklar ist und ich nur ungefähr ahne, wie es werden wird; aber vielleicht sind die Grundgedanken doch richtig. Grundsatz ist: Bei der Berechnung von irgendwelchen Grössen, als Energie, Frequenz u.sw. dürfen nur Beziehungen zwischen ~~in der~~ prinzipiell kontrollierbaren Grössen vorkommen. (Insofern scheint mir z. B. die Bohrsche H-Theorie ein Versuchstoff ~~f~~ viel formeller, als die Kramerssche Dispersionstheorie). Also beim Oszillator heisst die Bewegungsgleichung

$\ddot{q} + \omega^2 q = 0$; setzt man symbolisch an ~~$q = a(n,n-1)e^{i\omega}$~~

$q = a(n,n-1)\, e^{i\omega(n,n-1)t}$, so kriegt man natürlich

$\omega(n,n-1) = \omega_0$; beim anharmonischen Oszillator

~~dagegen kriegt man etwa~~ bekommt man z.B.

$$\ddot q + \omega^2 q + \lambda q^2 = 0.$$

$$a_2(n,n-2)\left(-\omega^2(n,n-2) + \omega_0^2\right) + \lambda\, a_1(n,n-1)\, a_1(n-1,n-2) = 0.$$

u.s.w.

Das wichtigste ist aber die Festlegung der Konstanten, d.h. die Quantenbedingung:

Klassisch heisst sie:

$$J = 2\pi m \sum_\tau a_\tau^2 (\omega\tau)\cdot\tau, \quad \left(, \text{wo } q = \sum_\tau a_\tau e^{i\omega t\cdot\tau};\ p = m\dot q = \sum a_\tau\, i(\omega\tau) e^{i\omega t\cdot\tau}\right)$$

oder

$$1 = 2\pi m \sum \tau \frac{\partial}{\partial J}\cdot(a_\tau^2\, \omega\tau), \text{ dies wird quantentheoretisch}$$

$$h = 2\pi m \sum_\tau \left\{a^2(n+\tau,n)\,\omega(n+\tau,n) - a^2(n,n-\tau)\,\omega(n,n-\tau)\right\}$$

Also beim Oszillator $\left(q = \frac{1}{2}\left[a(n,n-1)e^{i\omega t} + a(n,n-1)e^{-i\omega t}\right]\right)$

$$h = \pi m\left[a^2(n,n+1) - a^2(n,n-1)\right]\omega_0$$

Durch diese Gleichung, könnte man meinen, sind die $a(n,n-1)$ nur bis auf eine ~~K~~ additive Konstante ermittelbar. Dies ist aber nicht der Fall; denn es muss einen tiefsten Zustand geben, von dem aus keine Sprünge mehr möglich sind; die Definition des Normalzustandes ist, dass die a ~~von d~~ (nach abwärts) verschwinden. Hierdurch ist die Konstante festgelegt. Numeriert man die Zahl n noch so, dass für den Normalzustand $n = 0$ ist (dies ist keine physikalische Aussage), so ergibt sich:

$$a^2(n,n-1) = \frac{nh}{m\pi\omega_0}.$$

Die Energie ist (die Quadrate von $\dot q$ u. q sind wieder symbolisch gemeint:)

$$W = \frac{m}{2}(\dot q^2 + \omega_0^2 q^2) = \frac{m}{2}\left[-\omega_0^2 \frac{\left(a(n,n-1)e^{i\omega t} - a e^{-i\omega t}\right)^2}{4} + \omega_0^2 \frac{a\left(e^{i\omega t} + e^{-i\omega t}\right)^2}{4}\right]$$

$$= \frac{m}{2}\omega_0^2 \frac{a^2(n,n+1) + a^2(n,n-1)}{2} = \frac{(n+\frac{1}{2})\omega_0 h}{2\pi}.$$

Für den anharmonischen Oszillator ergibt sich im wesentlichen Ihre Form, B'': $E = (n+\frac{1}{2})h\nu + \beta(n^2+n+\frac{1}{2})$

Ich wär Ihnen sehr dankbar, wenn Sie mir schreiben könnten, welche Argumente zu ungunsten dieser Formel sprechen. Abgesehen von der Formulierung der Quantenbedingg. bin ich mit dem ganzen Schema noch nicht recht zufrieden. Der stärkste Einwand scheint mir der, dass die Energie, als Funktion der q u. q̇ geschrieben, im allgemeinen keine Konstante zu werden braucht, auch wenn die Bewegungsgleichungen erfüllt sind; es liegt dies letzten Endes daran, dass ~~die Fourier~~ das Produkt zweier Fourierreihen doch nicht eindeutig definiert ist – aber ich will Sie mit solchem Zeug nicht länger langweilen. Genauer durchgerechnet hab ich den Rotator, da kann man die Kronigschen u. die Kembleschen Formeln bekommen; aber, wie gesagt, ich muss das Verfahren noch eine Zeitlang nach der Vossschen Methode behandeln. Auch würd ich gern verstehen, was eigentlich die Bewegungsgleichungen bedeuten, wenn man sie als Relation zwischen die Übergangswahrscheinlichkeiten auffasst. – Viele Grüsse an alle Hamburger!

Ihr
W. Heisenberg.