

Archiv von Heisenbergs Briefen

von: Werner Heisenberg

an: Pauli

Datum: 07.11.1936

Stichworte: Zustand tiefster Energie im Dirac-See

Ursprung: Pauli Archiv in Genf

Kennzeichen im Pauli Archiv in Genf: heisenberg_0017-102r

Meyenn-Nummer: 440

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.

7.11.36. Leipzig. 027,

NACHLASS
PROF. W. PAULI

PLC 0017, 102

Bosenerweg 14.

Lieber Pauli!

Auf den Vortrag von Neumann bin ich gespannt. - Ich möchte
Sie einweisen über die Ergebnisse berichten, die sich bei der
weiteren Untersuchung des mathematischen Eigenwertproblems

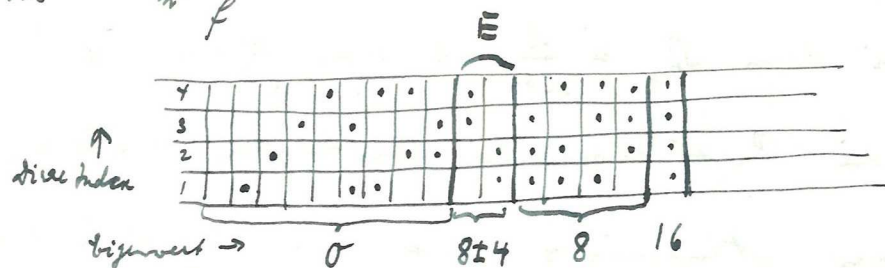
Gitterwelt mit $\psi = \bar{K}_0 + \bar{\Omega}$,

$$\bar{\Omega} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \alpha_i^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \alpha_i^2 \right)} \psi$$

herausgestellt haben. Zunächst hat ich für die genaueren Eigenwerte
von $\bar{\Omega}_n$ (bisherige Werte) folgendes erhalten: Wenn man die

Matrix $\beta = \beta_3 = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix}$ und $\beta_1 = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{vmatrix}$ ansetzt und
die Zustände ^(des Systems) dadurch charakterisiert, ~~das man angibt, ob die zu einem~~ ^{einigen} ~~Teil des~~ ^{Index gehörige}
nicht, erhält man für die 16 Zustände folgende Eigenwerte

von $\bar{\Omega}_n \cdot \frac{d^3}{f}$:



□ bedeutet 'besetzt'
□ " 'unbesetzt'.

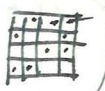
Jetzt sind die beiden mit E bezeichneten Zustände in Resonanz,
d.h., dass die Summe der Zustände zum Eigenwert 4,
die Differenz zum Eigenwert 12 gehört. Die übrigen Zustände
sind alle symmetrisch in gleicher Linie, der Zustand des
Gesamtsystems, bei dem für jedes $\bar{\Omega}_n$ alle vier N verschwinden,
hat die Energie Null und behält sie auch, wenn $\bar{K}_0$ mitge-

nommen wird. Der nächste Zustand sei dadurch festgelegt,
 dass für alle Ω_n die vier $N=0$, nur für ein Ω_n
ein Teilchen vorhanden ist. Dieser Zustand hat zunächst ebenfalls
 verschwindende Energie; rechnet man aber $\bar{H}_0$ mit, so
 bewirkt $\bar{H}_0$ Übergänge zwischen verschiedenen Zuständen dieser
 Art. Da man aber hier durch $\bar{H}_0$ nicht in einen Zustand
 gelangt kann, der ^(für Ω_n) eine höhere Energie hat, wird das
 Ergebnis das gleiche sein, wie wenn $\bar{H}_0$ allein berücksichtigt
 wird: also wir erhalten Teilchen der Ruheenergie 0 mit
 allen Eigenschaften der Neutrinos. Wenn nun zwei solche
 Neutrinos vorhanden sind, so wird die Sache komplizierter;
 denn dann besteht, wenn die Neutrinos benachbart sind,
 die Möglichkeit, durch $\bar{H}_0$ in einen Zustand des Typus

1	1
1	1
1	1
1	1

 zu geraten, ~~was~~ bei dem $\Omega_n = \frac{1}{d^3} \cdot 12$ bzw. $\frac{1}{d^3} \cdot 4$ ist, dies
 bedeutet aber, in die Partikelsplache einzutreten, unter, dass
 zwischen den beiden Neutrinos mit den Koordinaten x u. x'
 ein Lins $d \rightarrow 0$ eine Wechselwirkung vom Typus $f(x, x')$
 besteht. Eine solche Wechselwirkung führt bekanntlich nicht
 zu irgendwelchen ^{angenehmen} Fingervibrationen.

Bis hierher führt die ^{mit $\bar{H}_0 + \bar{H}_1$} gittertheoretische also nicht zu Schwierigkeiten. Nun
 kann man aber feststellen, dass die bisherigen Zustände nicht die

der tiefsten Energie sind. Denn man kann jedenfalls zunächst durch Einführung neuer Nuklino's mit negativer Energie die Gesamtenergie (trotz der Abstoßung der Nuklino's) noch erheblich herabsetzen. Ich denke nun zuerst, der tiefste Zustand des Gesamtsystems sei wahrscheinlich der, wo für jedes Ω_n zwei Teilchen anwesend sind mit verschiedenen σ -Indizes, (also eine der vier Möglichkeiten: ). Berücksichtigt man hier $\bar{H}$ allein, so wird die Gesamtenergie 0. ^{(die Übergang, dann ist von H_0 fiktiv man in} Allgemein in Zuständen positiver Energie, aber der zeitliche Inhalt von $\bar{H}_0$ der die ungestörte Bewegung verschwindet; es fließt ^{daher} eine ^{durch H_0} Höherer zweiter Ordnung, ^{Strich}, die negativ und von der Größenordnung $\frac{d}{f}$ ^{ist} pro Teilchen ist; die Energie pro cm würde also $\sim \frac{d}{f} \frac{1}{d^3} \sim \frac{1}{d^2 f}$ und divergieren für $d \rightarrow 0$. Auch dies ist aber noch nicht der Zustand tiefster Energie. Denn man kann in dieser Diracschen See ein 'Loch' anbringen, für dessen Bewegung wieder H_0 praktisch allein massgebend ist; das Loch stellt also wieder eine Partikel dar, die ebenfalls eine Ruhemasse der Ordnung $\frac{d}{f}$ hat, die aber jedenfalls positive und negative Energien haben kann. Man kann also die Energie durch Hineinbringen weiterer Löcher weiter erniedrigen. Wo genau das Minimum liegt, hat

Ich nicht herangezogen. Ungenauere Rechnungen deuten
 darauf hin, dass das Minimum bei einer Teilchendichte
 von $\sim \frac{1}{df}$ erreicht wird und dass dort die mittlere Energie
 pro cm etwa $\sim \frac{1}{d^2 f}$ wird (also ist nur um einen Faktor
 von dem das bei der Dichte $\frac{1}{d^3}$ unterscheidet). Ich vermutete
 dennoch, dass die Nullpunktsenergie des Vakuums in diesen
 $d \rightarrow 0$ ~~versteht sich~~ divergiert. Gegenwärtig vermutete ich, dass die
 Ruhemasse der "Teilchen" (erste Annäherung vom "Vakuum")
 in einem $d \rightarrow 0$ verschwindet oder eventuell endlich bleibt ($\frac{1}{f}$);
 denn sie tut dies erstens im Grenzfall ~~verschwindet~~,
~~verschwindet~~ zweitens im Grenzfall , im letzten
 wird sie $\sim \frac{d}{f}$.

Ich glaube, dass sich auch die weitere Untersuchung dieses
 Modells noch lohnen wird. Insbesondere interessiert mich die
 Frage, ob so ein Modell gleichzeitig zwei Teilchenarten liefern
 kann (eine mit, eine ohne Ruhemasse). Ich glaube auch immer
 noch, dass unsere jetzigen Rechnungen als korrespondenzmäßige
 Analogien zur endgültigen Theorie gut zu benutzen sind.

Viele Grüße

Dein

V. Kisilberg.