

Archiv von Heisenbergs Briefen

von: Werner Heisenberg

an: Pauli

Datum: 21.01.1937

Stichworte: Kaskadenprozesse dominieren Schauerbildung über Meeresniveau, Schauer in grosser Tiefe von sekundären Neutrinos, Kopie eines Briefes an Bhaba: Vorschläge zur experimentellen Untersuchung von Höhenstrahlung in grosser Tiefe

Ursprung: Pauli Archiv in Genf

Kennzeichen im Pauli Archiv in Genf: heisenberg_0017-111r

Meyenn-Nummer: 465

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.

Leipzig 21. 1. 37.

NACHLASS
PROF. W. PAULI

Lieber Pauli!

Vielen Dank für Deinen Brief! Ich habe inzwischen die Arbeit von Bhabha u. Keitel bekommen, die mir sehr gut scheint. Ganzes sieht es so aus, als ob praktisch alle Prozesse unter dem Meeresniveau mit der elektromagnetischen Theorie allein gedeutet werden können. Dies stimmt aber auch durchaus zu den Zahlen meiner Arbeit. Ich habe für den Wirkungsquerschnitt für echte Scherenbildung als Maximum (bei sehr energiereichen Teilchen) 10^{-26} bis 10^{-28} cm² angegeben. Da der V. Qu. für Ausstrahlung nach Bethe-Keitel $\sim 10^{-24}$ cm², also ca. tausendmal grösser ist, so werden die echten Scheren sehr selten sein im Vergleich zu den Reststrahlung. Ob diese Rest von echter Scherenbildung beobachtet werden kann, weiss ich nicht. (Dabei möchte ich anmerken, dass die Bethe-Keitelformel bis zu beliebigen Energien stimmt, dies war die Voraussetzung für meine Reichweiten tabelle). Ein wesentlicher Unterschied zwischen Bhabhas Auffassung und meiner ergibt sich jedoch hinsichtlich der Höhenstrahlung in grosser Tiefe. Für diese insofern durchdringende Strahlung müsste Bhabha (wenn er die Neutrinon ganz vernachlässigt) die Protonen (und Neutronen) verantwortlich machen, die praktisch nicht strahlen. Die Höhenstrahlung würde also mit wachsender Tiefe immer energiereicher. Meiner Ansicht nach würden jedoch energiereiche Teilchen

gleichwid welcher Art wegen des ~~W~~ für Scherenbildung von 10^{-27}cm^2 muss sein ein paar Meter Blei (~ 20-30 cm Wasser) hindurchkommen.

Ich stelle mir die Höhenstrahlung in grosser Tiefe vielmehr so vor:

In den Scheren aus der Wasseroberfläche oder in der Atmosphäre entstehen Neutrinos, deren Energie- und Winkelverteilung etwa an der Oberfläche durch $J(\epsilon, \theta)$ in $\text{d}\epsilon \text{d}\theta$ gegeben sei. Der Wirkungsquerschnitt für Scherenbildung hängt nun sehr stark von der Energie ab; bei grossen Energien wird er $\sim 10^{-27} \text{cm}^2$, bei kleinen wird er ~~viel~~ sehr schnell verschwinden. Ich setze etwa $Q(\epsilon) = \begin{cases} c \cdot \epsilon^n & \text{für } 0 < \epsilon < \epsilon_0 \\ 10^{27} \text{cm}^2 & \epsilon_0 < \epsilon \end{cases}$,

wobei n ~~sehr~~ gross ist. Dann wird der Absorptionskoeffizient der ~~Neutrinos~~ $\mu(\epsilon) = \alpha \epsilon^n$ für $\epsilon < \epsilon_0$. Ich nehme ferner an, dass ein

Neutrino, das einen Scheren produziert hat, sich nicht weiter bemerkbar macht; ~~da~~ ^{da} die sekundären Neutrinos, die es erzeugt, werden im allgemeinen eine erheblich kleinere Energie haben und praktisch überhaupt nicht mehr in Betrachtung treten. Dann wird

die Intensität in der Tiefe x : $J(\epsilon, \theta)$ mit $\text{d}\epsilon \text{d}\theta$ $e^{-\frac{x}{\cos \theta} \alpha \epsilon^n}$
die Anzahl der ^{in dx} erzeugten Scheren wird $J(\epsilon, \theta)$ mit $\text{d}\epsilon \text{d}\theta$ $\frac{\alpha \epsilon^n}{\cos \theta} e^{-\frac{x}{\cos \theta} \alpha \epsilon^n}$

da der Faktor von $J(\epsilon, \theta)$ ein sehr steiles Maximum als Funktion von ϵ (an der Stelle $\epsilon = \epsilon'$) ^{($J(\epsilon, \theta) = J(\epsilon', \theta)$)} hat, kann man $J(\epsilon, \theta)$ als praktisch konstant ansehen und erhält für die Intensität ^{*} $J(\epsilon', \theta) \frac{1}{x} \cdot \left(\frac{\alpha x}{\cos \theta}\right)^{-\frac{1}{n}} \cdot T\left(\frac{1}{n}\right) \sim \frac{\text{const.}}{x}$. Natürlich

wandelt es sich auch hier um „größten Schwindel“. Bei genauerer Rechnung müsste man die möglichen Sekundärprozesse der

* die Energieverteilung der Neutrinos ist für das, was in grosser Tiefe passiert, aber ziemlich gleichgültig, da das was uns in kleineren Abständen aus der Wirkung wird: die energiereicheren kommen nicht in grossen Tiefen, die energiereicheren bilden keine Scheren mehr.

Neutrinon geklärt untersuchen und dann die Experimente
 einzeln diskutieren. Das wichtigste Experiment wie ~~das~~ ^{ist}
 aber die Untersuchung der Elektronenenergien in grosser Tiefe
 (etwa mit Wilsonkammer). Nach meiner Ansicht sollte die ^{Energie} ~~die~~
 Winkel kleiner sein als an der Oberfläche, nach der Protonen-
 Theorie sollte sie grösser sein. - Wenn die Protonentheorie
 recht behielte, so würde es bedeuten, dass ^(multiplikative) die Extrapolation der
 Targetkurve bis zu Energien der Ordnung 1000 mc^2 unzulässig ist;
 mir kommt das unwahrscheinlich vor. - Würdest du es denn
 finden, hierüber eine Note in die Nat. Wiss. zu schreiben, damit
 die Experimentatoren zur Untersuchung ermuntert werden? -
 Inzwischen sehe ich übrigens im letzten Brief von Brewster doch eine
 wichtige Angabe von diese Frage (vollständig steht sie auch in
 seinem Bericht): Er schreibt: „der Absorptionskoeffizient der
 Schauerfelder (also der \pm Elektronen) ist im Hohlen $5,3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{cm}^2}{\text{gr}}$,
 und Oberlag $2,1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{cm}^2}{\text{gr}}$.“ Die Reichweite der Schauer
 ist im Hohlen also sicher erheblich ^(ca 2 cm Pt) grösser, als ^(ca 5 cm Pt) oben,
 was gut mit Martinichs Hypothese passt. -

Mit der Arbeit von Fierz ist hier leider ein halbes
 passiert, was mich sehr grund ist, dass es nicht eher den
 schick. Ich hätte gedacht, ich hätte sie Fuller gegeben, der aber

glaubte, sie sei bei mir, und wir haben fast sehr aufmerksam
 Ludens keine Gabe der Arbeit finden können. Dies tut mir sehr
 leid und ist eine Fier, doch eine Arbeit gleich an die TS.
 zu schicken und mir, wenn er noch einen Durchschlag hat, und
 noch einen Durchschlag zu senden. Denn jeder falls würde ich mir
 geringfügige Änderungen vornehmen lassen, die sich leicht in
 der Korrektur behandeln lassen. Hoffentlich entschuldigt Fier
 unsere Schlämperei. - Fier's Korrektur der Weissäckerschen Arbeit
 hat ich gesehen, sie scheint mir sehr vernünftig.

Was die Anwendung der Vellen sein ist nicht viel Neues.

Ich bin übrigens völlig mit dir einig, dass man nur von
 einem ^{genau} bestimmten Impuls bei freien Partikeln, wo man zur
 Messung beliebig lange Zeit hat, sprechen kann. Keine Überlegungen
 über $\frac{\hbar}{\omega} e^{-iH_0 t}$ gehen, sogar eigentlich von dem Wunsch aus, diesen
 Differentialoperator durch einen Integralen zu ersetzen, aus dem man
 dann mit Wirkungsquerenschnitt für den Übergang von freien Partikeln
 zu anderen freien Partikeln sprechen ausdauern kann. Eine vernünftige
 Verallgemeinerung ist mir dabei aber noch nicht eingefallen.

- In dieser Funktion: der Fall paralleler Vektor $\vec{k}_1, \vec{k}_2, \vec{k}_3$
 k_0 wird durch den Impulsatz, der ja durch die Raumintegrale von
 erzwungen wird, unmöglich gemacht.

Die Arbeit von Beteghin ist wohl nicht viel wert, die Beteghin kann
 nicht klar denken. - Ich lege noch einen Durchschlag meines Briefs
 an Bhabha bei. - sonst nichts Neues!

viele Grüße Dein V. Weissacker.

21. Jan. 1937

NACHLASS
PROF. W. PAULI

Herrn

Dr. Bhabha,

Blegdamsvej 15

Haben Sie vielen Dank für Ihren Brief, den ich gleich

beantworte, da ich mir in der letzten Zeit auch Einiges über

die Höhenstrahlung überlegt habe, was ich Ihnen gern schrei-

ben möchte. Ich bin ganz einig mit Ihnen darin, dass man wahr-

scheinlich die Bethe-Heitlersche Formel für die Ausstrahlung

schneller Elektronen bis zu beliebigen Energien glauben soll.

Andererseits sehe ich aber auch keinen Grund, an der quali-

tativen Richtigkeit der Fermischen Theorie hinsichtlich der

Erzeugung von Schauern zu zweifeln. Daraus würde sich etwa

folgendes Bild ergeben:

Sehr schnelle Elektronen werden mit einem Wirkungsquer-

schnitt von 10^{-27} cm² Fermische Schauer machen, dagegen mit

einem Wirkungsquerschnitt von 10^{-24} cm² ausstrahlen. Die letzte-

re Wahrscheinlichkeit ist also etwa 1000 mal größer als die

erste. Der erste Fall wird also sehr selten zu beobachten sein.

Das gleiche gilt für Lichtquanten. Für eine sehr hohe Durch-

dringungsfähigkeit bleiben also zunächst nur Protonen, Neutro-

nen und Neutrinos übrig. Aber auch diese Teilchen werden, wenn

man der Fermischen Theorie glauben kann, bei sehr hohen Ener-

gien mit einem Wirkungsquerschnitt von 10^{-27} cm² Schauer aus-

lösen, werden also etwa nur durch 10 m Wasser hindurchgehen

können.

Für eine hohe Durchdringungsfähigkeit kommen also allein
die langsameren Neutrinos in Betracht, die durch umso dickere
Schichten hindurchgehen können, je weniger Energie sie enthal-
ten. Ich würde also vermuten, dass die in sehr grosser Wasser-

b.w.

21. Jan. 1957

tiefe beobachtete Höhenstrahlung ausschliesslich durch langsamere Neutrinos bedingt ist, die kleine Schauer auslösen. Im Gegensatz zu Ihren Anschauungen würde sich also ergeben, dass man in grosser Wassertiefe nur noch relativ energiearme Teilchen vorfindet. Ich würde die Nachprüfung dieses Sachverhalts für sehr wichtig halten, und wie mir scheint, auch nicht für sehr schwierig. Der Unterschied zwischen Ihren Anschauungen und den meinen würde sich also experimentell an zwei Stellen deutlich äussern. Einerseits würde nach meiner Ansicht von, sagen wir, 1000 sehr energiereichen Elektronen im Mittel eine mit einem Schläge einen grossen Schauer erzeugen können, bei dem alle Sekundärteilchen von gleichem Punkt ausgehen, während dieser Prozess nach Ihrer Auffassung wohl viel seltener sein müsste. Ich kann mir aber vorstellen, dass es empirisch sehr schwer sein wird, einem Schauer anzusehen, ob er gerade von einem Punkt ausgeht oder durch Kaskadenbildung entsteht. Die zweite, aber sicherste Entscheidungsmöglichkeit würde bei der Untersuchung der Höhenstrahlung in grossen Tiefen bestehen. Welche von beiden Auffassungen richtig ist, kann natürlich nur das Experiment entscheiden. Ich gebe zu, dass die Anwendung der Fermi'schen Theorie auf die Stösse sehr energiereicher Elektronen eine weite Extrapolation vom β -Zerfall darstellt. Andererseits ist es eine ebenso unsolide Hypothese für die Diskussion der Höhenstrahlung, als ob es keinen β -Zerfall gäbe. Vielleicht wäre es gut, wenn man die Experimentalphysiker auf diese Unterscheidungsfragen hinweisen könnte, und mich überlegt, ob ich nicht eine Note in den "Naturwissenschaften" schreiben sollte. Ich würde mich sehr freuen, wenn Sie Ihre Meinung über den Zusammenhang zwischen den Durchdringungsfähigkeit für Neutronen, Neutronen und Neutrinos äussern. Aber auch diese Teilchen werden, wenn man der Fermi'schen Theorie glauben kann, bei sehr hohen Energien mit einem Wirkungsquerschnitt von $\sim 10^{-28}$ cm² Schauer auslösen, werden also etwa nur durch 10 m Wasser hindurchgehen können.

Für eine hohe Durchdringungsfähigkeit kommen also allein die langsameren Neutrinos in Betracht, die durch umso dickere Schichten hindurchgehen können, je weniger Energie sie enthalten. Ich würde also vermuten, dass die in sehr grosser Wassertiefe beobachtete Höhenstrahlung ausschliesslich durch langsamere Neutrinos bedingt ist, die kleine Schauer auslösen.