

gestattet, nunmehr aus den Daten der β -Radioaktivität auf die Lebensdauer des freien Mesotrons — wie es in der Höhenstrahlung vorkommt — zu berechnen. Sie ergibt sich zu einigen 10^{-8} s.

Nunmehr gibt es einige Experimente mit der Höhenstrahlung, die als eine direkte Messung der Lebensdauer des Mesotrons zu interpretieren sind, und die tatsächlich eine Bestätigung der Yukawaschen Abschätzung (etwa $3 \cdot 10^{-8}$ s) ergeben.

Die direkteste Messung ist von P. Ehrenfest¹⁰⁾ durchgeführt worden. Er bestimmte durch Differenzmessungen die Intensität eines bestimmten Energiebereiches der harten Komponente (Anteil, welcher mindestens 40 cm Pb und höchstens 60 cm Pb durchsetzt), einmal auf dem Jungfraujoch und einmal den entsprechenden Energiebereich in Paris. Der Höhenunterschied ist etwa 3 km; die Mesotrons, die sich bei dieser Energie nahezu mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, brauchen bis Paris herunter etwa 10^{-6} s länger. Aus dem Intensitätsunterschied ergibt sich dann die Anzahl der in zwischen zerfallenen Mesotrons und daraus ihre Lebensdauer zu $3,4 \cdot 10^{-8}$ s.

Eine andere Berechnungsmöglichkeit bieten die Messungen von Ehmer¹¹⁾. Hier mußten die Mesotrons in 2 Versuchen eine gleiche Menge Material praktisch gleicher Zusammensetzung durchlaufen, so daß der gewöhnliche Energieverlust durch Ionisation der gleiche ist. Jedoch brauchten sie in beiden Fällen verschieden lange Zeit. Nämlich eine Koinzidenzanordnung — 2 Zählrohre, dazwischen 50 cm Pb — wurde einmal 30 m tief in senkrechter Lage im Bodensee angebracht und die Koinzidenzen gezählt, und zum Vergleich wurde in Höhe des Wasserspiegels mit solcher Neigung der Apparatur die Messung wiederholt, daß die mehr durchlaufene Luftschicht der Wassersäule von 30 m entsprach. Im zweiten Fall brauchten die Mesotrons eine dem längeren Weg entsprechend längere Zeit. Aus dem Vergleich der Intensitäten läßt sich wieder die Lebensdauer bestimmen. Durch verschiedene Wahl der Wassertiefe und entsprechender Neigungswinkel ließen sich die Versuchsbedingungen abändern. Dabei ergab sich das zunächst überraschende Resultat, daß die Lebensdauer scheinbar proportional zur Energie der Mesotrons ist. Dies ist jedoch eine unmittelbare Konsequenz des Relativitätsprinzips — und zugleich eine augenfällige Bestätigung desselben. — Die Lebensdauer ist für die Mesotrons verschiedener Energie sicherlich die gleiche in dem jeweiligen Bezugssystem, in dem das Mesotron ruht. Der ruhende Beobachter, gegen den die Mesotrons bewegt sind, muß dann die relativistische Zeitdilatation in Rechnung ziehen, und diese ist gerade $= E/mc^2$, (E = Energie, m = Ruhmasse des Mesotrons). Bei Berücksichtigung dieses Umstandes¹²⁾ berechnet sich dann die Lebensdauer des Mesotrons zu ungefähr $3 \cdot 10^{-8}$ s, in ausgezeichnete Übereinstimmung mit dem Ehrenfestischen Ergebnis und Yukawas theoretischer Schätzung.

Auf den zitierten Anderssonischen und Kunzeschen Aufnahmen ist neben dem Mesotron auch die Bahnspur eines Elektrons zu sehen, dessen Energie und geometrische Lage relativ zur Spur des Mesotrons die Deutung zuläßt bzw. nahelegt, daß dieses Elektron durch Zerfall aus dem Mesotron entstanden ist.

Entstehung des Mesotrons. Da das Mesotron eine so geringe Lebensdauer besitzt, kann es natürlich nicht aus dem Welt-raum kommen, sondern muß in der oberen Atmosphäre erzeugt werden, wobei die Energie aus der „primären“ kosmischen Strahlung geliefert wird. Diese primäre Komponente wird wahrscheinlich zum überwiegenden Teil aus sehr energiereichen (über 10^{10} V) Elektronen und Positronen und evtl. auch aus γ -Quanten bestehen, d. h. aus energiereicher, aber weicher¹³⁾

Strahlung. Dies ist im Einklang mit dem starken Anstieg der Gesamtstrahlung (Regener, Pfozner) mit der Höhe und ihrem Maximum in der oberen Atmosphärenschicht bei etwa 10 cm Hg Luftdruck. Übrigens hatten schon Millikan und Mitarbeiter¹⁴⁾ aus einer Reihe von Daten geschlossen, daß die harte Komponente nicht primär sei, sondern in der oberen Atmosphäre aus der weichen Komponente entstehen muß.

Die Yukawasche Theorie gibt nun auch die Möglichkeit, wenigstens eine Abschätzung der Wahrscheinlichkeit für die Entstehung von Mesotrons beim Durchtritt schneller Elektronen durch Materie und gestattet damit, das Verhältnis der weichen zur harten Komponente der Höhenstrahlung in der oberen Atmosphäre und auch an der Erdoberfläche zu berechnen. Tatsächlich läßt sich darnach das gesamte experimentelle Material — einstweilen erst mehr qualitativ — verstehen. Wir dürfen deshalb nun wohl mit Recht von der quantitativen Durchführung dieser Ansätze die Bestätigung erhoffen, daß wir nunmehr — mit den Entdeckungen der letzten Jahre, vor allem der des Positrons der Pärchenzeugung und schließlich auch des Mesotrons und seiner endlichen Lebensdauer — den Schlüssel zum vollen Verständnis der komplexen Natur der Höhenstrahlung gewonnen haben.

In der Aussprache betonte Heisenberg noch folgende Gesichtspunkte.

1. Ein wichtiger Zug der Yukawaschen Ansätze, den sie mit der alten Theorie des β -Zerfalls gemeinsam haben¹⁵⁾, ist, daß bei Energien, welche groß gegen die Ruhmasse des Mesotrons (100 MV) sind, eine große Wahrscheinlichkeit dafür besteht, daß in einem einzigen Elementarakt nicht nur ein Teilchen erzeugt wird, sondern eine größere Anzahl¹⁶⁾. Dieses Phänomen wird wohl mit den von Bothe und Schmeiser¹⁷⁾ beschriebenen „harten“ Schauern im Zusammenhang stehen. Das gleichzeitige Entstehen mehrerer Teilchen in einem Elementarakt ergibt sich im Formalismus der Quantentheorie beim Überwiegen der höheren Näherungen gegenüber den niedrigeren, und das bedeutet, daß wir uns bei diesen Prozessen an der Grenze des durch die heutige Quantenmechanik beschreibbaren Bereichs befinden, und daß hier diejenigen Abänderungen an der Quantentheorie wesentlich werden, welche die Berücksichtigung einer unversellen kleinsten Länge vermutlich mit sich bringen wird¹⁸⁾. Diese Energiekonzentrationen, bei denen solche neuen Erscheinungen zu erwarten sind, lassen sich derzeit nicht entfernt im Laboratorium erzeugen, und wir sind deshalb, im Hinblick auf das experimentelle Material, an dem wir uns bei der genannten Fortentwicklung der Quantentheorie orientieren können, für lange Zeit ganz auf den betreffenden Erscheinungskomplex in der Höhenstrahlung angewiesen.

2. Die Erzeugung der Mesotrons geschieht nach der Yukawaschen Theorie innerhalb oder in der Nähe eines Atomkerns. Dabei wird zugleich dem Kern im allgemeinen eine hohe Anregungsenergie übertragen, der Kern wird „heiß“, und es werden nachträglich mehrere Kernbausteine „verdampfen“. Auf diese Prozesse werden die von Blau und Wambacher¹⁹⁾ und Anderson beobachteten „Kernzertrümmerungen“ durch die Höhenstrahlung zurückzuführen sein.

¹⁴⁾ Bowen, Millikan u. Neher, Physic. Rev. 58, 217 [1938].

¹⁵⁾ Heisenberg, diese Ztschr. 49, 691 [1936]; Z. Physik 101, 533 [1936].

¹⁶⁾ Im Gegensatz zur kaskadenartigen Entstehung der weichen Schauer vgl. z. B. Geiger u. Heyden, diese Ztschr., 1. c.

¹⁷⁾ Bothe u. Schmeiser, Ann. Physik 82, 161 [1938].

¹⁸⁾ Heisenberg, ebenda 82, 20 [1938]; Z. Physik 101, 251 [1938].

¹⁹⁾ Wambacher, diese Ztschr.; erscheint demnächst (Bericht über d. Physikertag in Baden-Baden).

Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie

Colloquium am 8. November 1938, Berlin-Dahlem.

E. Hückel, Marburg: „Die Mesomerievorstellung und einige ihrer Anwendungen in der organischen Chemie“¹⁾.

Ausgehend von den klassischen Strukturformeln der organischen Chemie und den Versuchen, die Konstitution und das Verhalten dieser Verbindungen durch eine chemische Formel zu beschreiben (Beispiel: Benzolformeln), entwickelte der Vortragende die Vorstellungen, zu denen die neuere Quantentheorie für die Konstitution dieser Verbindungen geführt hat. Nach dieser kann ein Zustand bestimmter Energie

¹⁾ S. auch E. Hückel Z. Elektrochem. angew. physik. Chem. 43, 752, 849 [1937] bzw. Abdruck davon: E. Hückel: Grundzüge der Theorie ungesättigter u. aromatischer Verbindungen, Verlag Chemie, Berlin 1938.

¹⁰⁾ Noch unveröffentlichte Ergebnisse.

¹¹⁾ Ehmer, Z. Physik. 106, 751 [1937]; vgl. auch Rossi, Nature, London 142, 993 [1938].

¹²⁾ Wenn man alle Überlegungen in dem Bezugssystem, in welchem das Mesotron ruht, durchführen wollte, so müßte man die entsprechende Lorentz-Kontraktion der Erdatmosphäre in Rechnung setzen; es ergibt sich dann natürlich das gleiche Resultat. Das zerfallende Mesotron ist also das einfachste Beispiel der im Zusammenhang mit dem Relativitätsprinzip viel diskutierten „bewegten Uhr“.

¹³⁾ Es sei nochmals betont, daß die übliche Bezeichnung harte bzw. weiche Komponente sich nicht auf die Energie der Partikeln bezieht, sondern auf ihre geringe bzw. große Absorbierbarkeit.

dieser Moleküle als Superposition von Strukturen angesehen werden, die bestimmten, verschiedenen Konstitutionsformeln entsprechen (Beispiel: Beim Benzol kann der Grundzustand als Superposition der beiden *Kekulé*- und der 3 *Dewar*-Formeln angesehen werden; daneben sind noch sogenannte „polare“ Strukturen zu berücksichtigen). Man sagt dann, der Zustand sei „mesomer“ in bezug auf die an der Superposition beteiligten Strukturen. Die Zustände eines solchen Moleküls können aber noch in anderer Weise als durch Superposition der Strukturen beschrieben werden, indem man nämlich den Elektronen, die den zweiten Strichen der Doppelbindungen entsprechen, bestimmte Elektronenschwingungen („Elektronenbahnen“) zuschreibt, die sich durch das ganze Molekül erstrecken („molecular orbitals“, nach *Mulliken*). Diese „Bahnen“ sind für den Grundzustand des Moleküls in ihrer energetischen Reihenfolge zu besetzen, wobei — analog wie bei den Atomen — gemäß dem *Paulischen* Ausschließungsprinzip jede Bahn mit nicht mehr als 2 Elektronen besetzt werden kann, die dann entgegengesetzten Spin besitzen müssen. Unter diesen Bahnen sind solche, die die Atome binden, und solche, welche sie lockern. Durch Besetzung der Bahnen ergeben sich je nach dem vorliegenden Fall abgeschlossene oder nicht abgeschlossene Elektronengruppen, analog wie bei den Atomen des Periodischen Systems. Z. B. ergibt sich in der Reihe C_nH_n ($n = 5, 6, 7$) eine abgeschlossene Elektronengruppe für die Zahl von 6 Elektronen, die den zweiten Strichen der Doppelbindungen zuzuordnen sind. Der Ring C_6H_6 , bei dem ein Elektron zur abgeschlossenen Sechsergruppe fehlt, verhält sich zum Benzol analog wie ein Halogen zum darauffolgenden Edelgas. In der Tat bildet er ionoid aufzufassende Alkalimetallverbindungen wie das Cyclopentadienkalium $[C_5H_5]^-K^+$.

Mit der Mesomerie ist ein charakteristischer energetischer Effekt für die Bindungsenergie der Atome verknüpft: Die Bindungsenergie ist stets größer, d. h. die Atome sind stets fester gebunden, als sie es wären, wenn die Doppelbindungen isolierte wären, d. h. als wenn eine bestimmte Strukturformel den Grundzustand des Moleküls richtig wiedergeben würde. Der Betrag, um den diese Bindungsenergie größer ist als für isoliert gedachte Doppelbindungen, wird als „Sonderanteil“ der Bindungsenergie bezeichnet. (In der amerikanischen und englischen Literatur wird der Ausdruck „Resonanzenergie“ angewendet; doch ist diese Benennung nach dem Vortr. abzulehnen.) Das Auftreten dieses Sonderanteils der Bindungsenergie bedingt die geringe Dissoziationsenergie von Verbindungen wie des Hexaphenyläthans, und damit deren Dissoziation in freie Radikale (z. B. des Hexaphenyläthans in zwei Triphenylmethyl). Dieser Sonderanteil der Bindungsenergie ist nämlich für die getrennten Radikale erheblich größer als für deren Dimere. Wesentlich ist hierfür die räumliche Symmetrie der Elektronenschwingungen der Elektronen, die den zweiten Strichen der Doppelbindungen zuzuordnen sind und damit der Symmetrie ihrer Ladungsverteilung. Letztere ist Null in der Ebene der durch diese Elektronen verbundenen C-Atome und hat ein Maximum ober- und unterhalb der Ebene, in der diese C-Atome liegen. Diese Ladungsverteilung stabilisiert auch die ebene Anordnung der C-Atome in diesen Verbindungen, so z. B. im Äthylbenzol und im Triphenylmethyl. In ähnlicher Weise wie die energetische Stabilität der freien Radikale ist diejenige der vom Triphenylmethyl sich ableitenden Farbstoffionen zu deuten. Dabei ist für letztere noch das Vorhandensein von Gruppen wie NH_2 , OCH_3 usw. wesentlich, welches den Sonderanteil der Bindungsenergie in den Ionen der Farbstoffradikale erhöht.

Colloquium am 15. November 1938, Berlin-Dahlem.

K. Molière, Berlin: „Über den Einfluß der Absorption auf den Brechungseffekt der Elektronenstrahlen.“

Bei der Reflexion von Elektronenstrahlen an den beiden polaren Tetraederflächen (111) und ($\bar{1}\bar{1}\bar{1}$) der Zinkblende wurden für die niederen Reflexionsordnungen Unterschiede in den Brechungsindizes bzw. verschiedene Werte des nach der modifizierten *Bragg*schen Formel errechneten „scheinbaren inneren Potentials“ gefunden³⁾. Für hohe Ordnungsahlen scheint der Brechungsindex für beide Flächen identisch zu

³⁾ P. A. Thießen u. K. Molière, Ann. Physik, erscheint demnächst.

sein. Die Flächen wurden, unter Bezugnahme auf die Röntgenmessungen von *Coster*, *Knol* und *Prins*⁴⁾ mit Hilfe des piezoelektrischen Effektes identifiziert.

Da bei jeder reinen Interferenzerscheinung das Vorhandensein eines Symmetriezentrums sich im Beugungsbild nicht bemerkbar machen kann (*Friedelsche* Regel), müssen zur Erklärung der erwähnten Unterschiede andere Ursachen, z. B. Absorption des Elektronenstrahles, herangezogen werden. Auf theoretischem Wege (durch eine einfache, formale Modifikation des *Betheschen* Ansatzes) wurde versucht, über den Einfluß der Absorption auf die Lage der Intensitätsmaxima Aussagen zu machen. Obwohl die Rechnung gewisse grobe Näherungsannahmen enthält, scheint es sicher zu sein, daß zwar die Absorption eine starke Verschiebung der Maxima nach größeren Winkeln (also im Sinne einer Erniedrigung des scheinbaren inneren Potentials) hervorrufen kann. Dagegen vermag der Ansatz die experimentell gefundenen Verschiedenheiten an den polaren Gegenflächen der Zinkblende nicht zu erklären.

Als Ursachen für den gefundenen Effekt kommen also vermutlich Unterschiede im Feinbau der beiden Oberflächen in Betracht. Ob es sich im einzelnen um verschiedene Häufung von Fehlstellen (submikroskopische Rauigkeit) oder verschiedene adsorbierte Fremdstoffschichten an den beiden Oberflächen handelt, kann zunächst nicht entschieden werden.

H. Witzmann, Berlin: „Die Messung der Porosität von Filtern“⁴⁾.

³⁾ *Coster*, *Knol* u. *Prins*, Z. Physik 68, 345 [1930].

⁴⁾ Erscheint demnächst ausführlich in dieser Ztschr.

Physikalische Gesellschaft zu Berlin und Deutsche Gesellschaft für technische Physik

Gemeinsame Sitzung am 23. November 1938 in der T. H. Berlin-Charlottenburg.

C. F. v. Weizsäcker, K. W. I. für Physik, Berlin-Dahlem: „Elementumwandlungen als Quelle der Sternenergie.“

Das Alter der Sonne läßt sich, übereinstimmend nach verschiedenen Methoden, zu einigen 10^9 Jahren abschätzen. Es ist ein altes Problem der Astronomie, woher die Sonne die Energie genommen hat, die sie im Laufe dieser gewaltigen Zeiträume abstrahlte. Erwähnt sei hier nur, daß die Energieerzeugung z. B. durch Kontraktion nur für $1/100$ des bisherigen Lebensalters der Sonne diese Ausstrahlung hätte decken können. Heute hat sich wohl allgemein die Ansicht durchgesetzt, daß die Kernumwandlungen die wichtigste Quelle der Sonnenenergie sind. Diese Annahme reicht zur Erklärung der Sonnenstrahlung aus, wie eine Überschlagsrechnung zeigt: im einfachsten Fall, bei welchem die Sonne ursprünglich aus Wasserstoff bestand und sich dieser allmählich in schwerere Elemente umwandelte, würde sich eine Mindestlebensdauer der strahlenden Sonne von $3 \cdot 10^{12}$ Jahren ergeben, also ein durchaus ausreichendes Alter der Sonne. Hier tritt aber sogleich eine weitere Frage auf: Wenn die Sonne ursprünglich nur aus Wasserstoff bestanden hätte, wäre dann unter den Druck- und Temperaturbedingungen in der Sonne — die in gleicher Weise wie heute sicher schon sehr lange bestehen — ein Elementaufbau zu erwarten, der schließlich zu einer Elementverteilung in der Sonne führen würde, wie sie heute vorhanden ist, wäre vor allem ein Aufbau der zweifellos reichlich vorhandenen schwereren Elemente (z. B. Ca, Fe und viele andere) möglich? Der Vortr. glaubt diese Frage auf Grund einer eingehenden Diskussion der möglichen Kernaufbauprozesse¹⁾ verneinen zu müssen. Denn selbst wenn die zu einem solchen Aufbau notwendigen, bisher nicht als stabil nachgewiesenen Kerne He und Li der Masse 5 existieren, würde ein sich bildender Kern von der Masse 8 sogleich in 2 α -Teilchen zerfallen und einen weiteren Aufbau unmöglich machen. Ferner kann man zeigen, daß auch beim Vorhandensein von Kohlenstoff mit der Masse 12 ein weiterer Kernaufbau scheitern würde an der Tatsache, daß C^{13} nur als Katalysator

¹⁾ Vgl. Physik. Z. 89, 633 [1938].