

hinzugefügt. Nach 4tägiger Gärung war Testosteron in einer Ausbeute von 81 % zu isolieren. Diese auf rein enzymatischem Wege verlaufene Umwandlung von Dehydroandrosteron in Testosteron bestätigt ferner die Möglichkeit der Auffassung von *Butenandt*, daß das Dehydroandrosteron eine Zwischenstufe bei der Entstehung des Testosterons im Organismus darstellen könnte.

Physikalisches Colloquium Hamburg

am 1. Dezember 1938.

Prof. Dr. W. Heisenberg, Leipzig: „Das schwere Elektron (Mesotron) und seine Rolle in der Höhenstrahlung.“

Einleitung. Die Höhenstrahlung läßt sich zerlegen in eine sogenannte „weiche“ und „harte“ Komponente von relativ geringer bzw. großer Durchdringungsfähigkeit. Die weiche Komponente wird durch einige cm Pb absorbiert, die harte dagegen vermag noch Koinzidenzen auszulösen in 2 Zählrohren, welche durch Bleischichten von 1 m und mehr getrennt sind. Die Absorption der weichen Komponente ist eng verknüpft mit dem Phänomen der „Schauer“ und „Stöße“. Dieser Erscheinungskomplex ist während der letzten Jahre durch enge Zusammenarbeit von Theorie und Experiment aufgeklärt worden¹⁾.

Die Entwicklung der Theorie führte weiter zu der Konsequenz, daß die durchdringende Komponente der Höhenstrahlung nicht aus energiereichen Elektronen oder γ -Quanten bestehen kann, denn es zeigt sich, daß die γ -Strahlung von großer Energie in der Materie eine sehr starke Absorption infolge von Pärchenbildung erfährt, — die Absorption durch Compton-Effekt, welche bei früheren Betrachtungen allein zugrunde gelegt worden war, ist oberhalb einiger Millionen Volt (MV) daneben ganz zu vernachlässigen —. Für schnelle Elektronen andererseits besteht beim Durchtritt durch Materie eine sehr große Wahrscheinlichkeit für Energieverluste infolge von Bremsstrahlung. Beide Teilchenarten können deshalb, auch bei extrem hohen Energien, nicht mehr als einige cm Pb durchsetzen.

Das neue Teilchen. Einen wesentlich geringeren Energieverlust beim Durchtritt durch absorbierendes Material würden Teilchen größerer Masse, etwa Protonen erleiden. Jedoch ist die Möglichkeit, die durchdringende Komponente auf Protonen zurückzuführen, dadurch ausgeschlossen, daß bei Wilson-Aufnahmen von Ultrastrahlungsteilchen viel zu wenig Protonen im Vergleich zur Intensität der harten Komponente gefunden werden. Das Verständnis dieser harten Komponente brachte erst eine Entdeckung *Anderssons*²⁾, der in der Nebelkammer Bahnsuren von geladenen Teilchen beobachtete, die weder einem Elektron noch einem Proton zugehören konnten. Es läßt sich nämlich in der Nebelkammer einerseits durch die Krümmung im Magnetfeld der Impuls des Teilchens, andererseits durch die Tröpfchendichte (Ionenzahl) seine Geschwindigkeit feststellen. Aus beiden Daten errechnete *Andersson* die Masse zu etwa der 200fachen Elektronenmasse bzw. $\frac{1}{10}$ Protonenmasse³⁾. Inzwischen wurden diese Teilchen auch von verschiedenen anderen Forschern beobachtet⁴⁾. Ihre Existenz ist experimentell als gesichert anzusehen, die Ladung kann sowohl positiv als auch negativ sein. *Andersson* schlägt den Namen „Mesotron“ für dieses Teilchen vor,

¹⁾ Vgl. *Euler u. Heisenberg*, *Ergebn. exakt. Naturwiss.* XVII, 1 [1938] (im Erscheinen); dort ausführliches Schrifttumverzeichnis; vgl. auch z. B. *Geiger u. Heyden*, diese Ztschr. 51, 657 [1938] und die neue Arbeit von *Trumpp*, *Z. Physik* 111, 338 [1938].

²⁾ *Andersson u. Neddermeyer*, *Physic. Rev.* 51, 220 [1937]; 54, 88 [1938].

³⁾ Die Aufnahmen *Anderssons* gestatten daneben noch einige weitere Schätzungen der Masse, welche alle ungefähr denselben Wert liefern.

⁴⁾ Die erste Aufnahme eines solchen Teilchens ist in der Arbeit von *Kunze*, *Z. Physik* 88, 1 [1933], Fig. 5 enthalten. Leider wurde damals die Konsequenz, daß es sich hier wirklich um ein neuartiges Teilchen handelt, noch nicht entschieden genug gezogen und ihre Tragweite für die Höhenstrahlung nicht verfolgt. Literatur über spätere Aufnahmen bei *Euler u. Heisenberg* 1. c.

der weiterhin verwendet wird⁵⁾. Partikel solcher Masse erfahren nun nach der Theorie, wie oben gesagt, einen so geringen Energieverlust beim Durchgang durch absorbierendes Material, daß sie durchaus für die durchdringende Komponente der Höhenstrahlung verantwortlich gemacht werden können. Daß sie bisher der Beobachtung entgangen waren, liegt wohl einerseits daran, daß sie in alten *Wilson*-Aufnahmen immer entweder für Protonen oder Elektronen gehalten wurden, andererseits an ihrer Instabilität, auf die wir nachher eingehen.

Zusammenhang mit der Kernphysik. Durch die Entdeckung dieses Teilchens ist für die Physik eine besonders reizvolle Situation geschaffen, als sich hier eine Verknüpfung zu ergeben scheint zwischen zwei ganz heterogenen Gebieten, nämlich der Höhenstrahlung einerseits, der Theorie der Wechselwirkungskräfte zwischen den Bausteinen des Atomkerns andererseits. Schon vor einigen Jahren hatte *Yukawa* darauf hingewiesen, daß man zu einer guten Beschreibung der Kernkräfte gelangen könnte, wenn man die Existenz eines Teilchens von etwa 100facher Elektronenmasse annimmt⁶⁾. Sein Gedanke ist kurz folgender: Die Wechselwirkungskräfte zwischen Proton und Neutron unterscheiden sich von der elektrischen Wechselwirkung geladener Teilchen durch ihre kurze Reichweite; statt des Abfalls des elektrischen Potentials wie r^{-1} legen die Daten der Kernphysik einen Abfall des Potentials der Kernkräfte wie $r^{-1} \cdot e^{-r/\lambda}$ nahe, worin die „Reichweite“ λ von der Größenordnung einiger 10^{-13} cm ist. Statt der Potentialgleichung $\Delta\varphi = 0$ genügt ein solches Kraftfeld der Gleichung $\Delta\varphi - \varphi/\lambda^2 = 0$. Zu den feineren Zügen der Kernkräfte gelangt man dann, wenn man zur Quantentheorie dieses Kernfeldes übergeht; und dabei ergibt sich, daß die Quanten dieses Feldes eine von Null verschiedene Ruhmasse haben müssen, von der Größenordnung $h/\lambda c$ — im Gegensatz zu den Quanten des elektromagnetischen Feldes, den Lichtquanten —. Setzt man für λ die experimentelle Reichweite der Kernkräfte ein, so ergibt sich als Masse des *Yukawaschen* Quants gerade etwa die 100fache Elektronenmasse. Wegen des Austauschcharakters der Kernkräfte muß außerdem das *Yukawasche* Quant die elektrische Elementarladung (positiv oder negativ) besitzen.

Es liegt nun nahe, dies *Yukawa*-Quant mit dem *Andersson*-Mesotron zu identifizieren, und damit ergibt sich dann die Möglichkeit, aus seiner Rolle bei den Kernphänomenen weitere Eigenschaften zu erschließen und diese Konsequenzen in der Höhenstrahlung zu verfolgen. Möglicherweise wird sich auch der umgekehrte Weg einschlagen lassen.

Instabilität und Lebensdauer des Mesotrons. Zunächst muß man zur Erklärung der Tatsache, daß das Mesotron nicht sonst in der Natur vorgefunden wird, wohl annehmen, daß es instabil ist⁷⁾. *Yukawa* nahm an, daß es sich in ein gewöhnliches Elektron verwandeln könne und dabei den Massenüberschuß in kinetische Energie umsetze; aus Gründen der Erhaltung des Impulses und Drehimpulses⁸⁾ muß dabei gleichzeitig — ganz wie beim β -Zerfall — ein ungeladenes leichtes Partikel, das Neutrino, entstehen. Mit dieser Vorstellung ergibt sich die Möglichkeit einer neuen Interpretation des β -Zerfalls: Ein β -aktiver Kern emittiert zunächst — virtuell⁹⁾ — ein *Yukawa*-Quant und dieses zerfällt weiter in Elektron und Neutrino. Der Wert dieser Theorie liegt darin, daß sie

⁵⁾ In der Literatur vorläufig gebrauchte Bezeichnungen waren: neues Teilchen, schweres Elektron, Yukon, Baritron, Penetron; der Name Mesotron (Mittellage zwischen Proton und Elektron) wurde kürzlich von *Andersson* vorgeschlagen.

⁶⁾ *Yukawa*, *Proc. phys.-math. Soc. Japan* 17, 48 [1935]; 19, 1084 [1937]; eine leicht verständliche zusammenfassende Darstellung s. *Wentzel*, *Naturwiss.* 26, 273 [1938].

⁷⁾ Ein stabil geladenes Teilchen wäre sicherlich nicht während der letzten 30 Jahre der Beobachtung entgangen.

⁸⁾ Aus der Natur der Kernkräfte folgt, daß das *Yukawasche* Quant ganzzahligen Spin besitzt, beim Zerfall in ein Elektron mit halbzahligem Spin muß dann gleichzeitig ein zweites Teilchen mit halbzahligem Spin entstehen. Die Verhältnisse liegen ganz ebenso wie beim β -Zerfall.

⁹⁾ Virtuell deshalb, weil beim β -Zerfall nur Energien von wenigen mV umgesetzt werden; zur wirklichen Erzeugung des *Yukawa*-Quants mit der Masse von etwa 100 mV reicht die Energie nicht aus. Deshalb muß die Entstehung des Quants und sein nachfolgender Zerfall bei den β -Zerfalls-Prozessen als ein einziger Akt angesehen werden. Diese Vorstellungsweise ist in der Quantentheorie geläufig.

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 Mesotrone, 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 Mesotrone und daraus ihre Lebensdauer zu $3,4 \cdot 10^{-8}$ s.

Eine andere Berechnungsmöglichkeit bieten die Messungen von Ehmer¹¹⁾. Hier mußten die Mesotrone 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 Mesotrone 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 Mesotrone ist. Dies ist jedoch eine unmittelbare Konsequenz des Relativitätsprinzips — und zugleich eine augenfällige Bestätigung desselben. — Die Lebensdauer ist für die Mesotrone verschiedener Energie sicherlich die gleiche in dem jeweiligen Bezugssystem, in dem das Mesotron ruht. Der ruhende Beobachter, gegen den die Mesotrone 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 Mesotrone 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 Mesotrone 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.