

Herrn Prof. Dr. W. Heisenberg danke ich für sein großes Interesse und für sehr viele anregende Diskussionen, mit denen er die Arbeit gefördert hat.

Die Ballonaufstiege sind durch die Hilfe vieler Angehöriger des Max-Planck-Instituts für Physik ermöglicht worden. Seinen technischen Mitarbeitern — besonders den Herren K. Böttcher und S. Deike — gebührt besonderer Dank für ihren unermüdlichen Einsatz und das große Verständnis, mit dem sie auch ungewohnte Probleme gelöst haben.

Den Wissenschaftlern und Dienststellen des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone (Präsident Prof. Dr. Weickmann, Bad Kissingen) und des Meteorologischen Amtes für Nordwestdeutschland (Direktor Dr. Benkendorf, Hamburg) danken wir für sehr viele Ratschläge und Erfahrungen, sowie für leihweise Überlassung von Geräten. Herr Prof. Dr. Scherhag hat uns ganz ausgezeichnete Wetterprognosen für die Stratosphäre zur Verfügung gestellt. Herr Dr. Dieminger vom Max-Planck-Institut für Ionosphärenforschung und seine Mitarbeiter haben uns bereitwilligst in Hochfrequenzfragen beraten.

Verschiedene Firmen haben uns durch Sonderkonstruktionen und durch Schenkung von Spezialmaterial sehr geholfen.

Die Photoplatten wurden im Max-Planck-Institut für Physik entwickelt und durchmustert. Dafür danken wir besonders Frau H. Baumbach und Frl. Chr. Schriel.

Bei der Auswertung hatte ich viele sehr anregende Diskussionen mit den Herren P. Budini, K. Gottstein, G. Moliere und K. Symanzik, denen ich für ihre freundliche Kritik zum größten Dank verpflichtet bin.

Herrn Prof. Dr. F. G. Houtermans danke ich für die Möglichkeit, diese Arbeit in Bern zu Ende führen zu können.

Zusatz b. d. Korr.: In einer inzwischen erschienenen Arbeit von I. G. Roederer (Z. Naturforsch. 7a, 765 [1951]) wird ebenfalls versucht, aus Sternstatistiken auf das Energiespektrum der Sternerzeugenden Strahlung zu schließen, wobei Roederer eine eigene Statistik aus südlichen Breiten mit unseren Statistiken vergleicht.

Weitere Messungen über die Schauerauslösekurve

Von H. THURN

Aus dem Institut für Physik im Max-Planck-Institut für medizinische Forschung und dem I. Physikalischen Institut der Universität Heidelberg

(Z. Naturforsch. 8a, 134—137 [1953]; eingegangen am 19. Dezember 1952)

In Fortsetzung früherer Versuche wurde festgestellt, daß sowohl das (feste) 3. Maximum als auch das (luftdruckabhängige) 4. Maximum der Schauerauslösekurve durch nicht-ionisierende Auslösestrahlen entstehen. Ferner wurde die Abhängigkeit der Schauerauslösekurve von dem Abstand Pb-Schauerstrahler-Zählrohre untersucht. Schließlich wurden auch mit Eisen und Graphit als Schauerstrahler die Auslösekurven aufgenommen und diskutiert.

Mit der schon früher¹ beschriebenen Apparatur wurden die Untersuchungen der Rossi-Kurve fortgesetzt. Die Ergebnisse werden im folgenden mitgeteilt.

1. Die schauerauslösenden Strahlungen

Bei früheren Messungen war durch Koinzidenz- und Antikoinzidenzbeobachtungen festgestellt worden, daß, in etwa 100 m Höhe gemessen, das 2. Maximum der Schauerkurve von ionisierenden Einzelstrahlen und das Maximum zwischen 25—29 cm Pb von nichtionisierenden Strahlen ausgelöst wird. Inzwischen hat sich herausgestellt, daß das Maximum bei 25—29 cm Pb unter den damaligen Beobachtungsbedingungen eine zufällige Überlagerung eines

bei 26 cm Pb festliegenden 3. Maximums und eines mit dem Luftdruck wandernden 4. Maximums ist². Da es durch Messung in größeren Höhen (600 m über dem Meere, Sternwarte Heidelberg) und damit bei geringerem Luftdruck gelungen war, das 4. Maximum bei so großen Bleidicken zu beobachten, daß es vollkommen von dem 3. Maximum getrennt war, wurden die Messungen zur Bestimmung der Schauer auslösenden Strahlungen dort wiederholt. Die Ergebnisse für einen Schauerwinkel von $3^{\circ},4$ zeigt Abb. 1. Die Kurve a wurde bei der Antikoinzidenzschaltung der Zählrohrlage III (unmittelbar über dem Schauerstrahler) zu den Vierfachkoinzidenzen aus den gekreuzten Zählrohrlagen I + II (100 cm unter dem Schauerstrahler) gewonnen. Bei dieser

¹ H. Thurn u. W. Bothe, Z. Naturforsch. 6a, 576 [1951].

² H. Thurn, Z. Naturforsch. 7a, 497 [1952].



Schaltung wurden nur Schauer erfaßt, die durch *nichtionisierende* Strahlen im Blei ausgelöst worden waren. Der konstante Untergrund rührt von Seitenschauern her, welche die Zählrohrlage III nicht passiert haben. Die Koinzidenzschaltung *aller* Zähl-

ximums bei 25–29 cm Pb. Bei den meisten Messungen war der Abstand vom Schauerstrahler zu den Zählrohren 100 cm. Die Kurven der Abb. 2 wurden bei den drei Abständen 50 cm, 100 cm und 160 cm bei einem Luftdruck um 750 Torr gemessen.

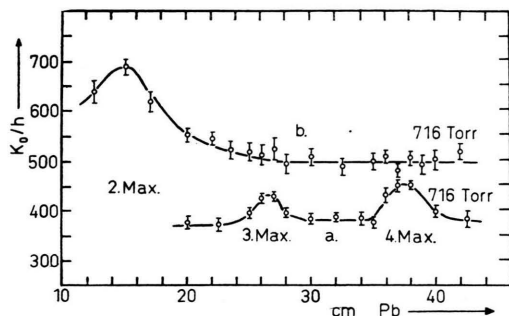


Abb. 1. Auslösekurven mit Blei als Schauerstrahler für verschiedene Primärstrahlungen bei einem Schauerwinkel von $3^\circ,4$ in 600 m Meereshöhe bei 716 Torr unter 40 g/cm^2 Decken: a) für nichtionisierende einfallende Strahlen, b) für ionisierende einfallende Strahlen.

rohre der Lage III (Schaltung gegenüber früher¹ geändert!) zu den Vierfachkoinzidenzen aus I + II lieferte die Kurve b. In ihr sind alle Schauer erfaßt, die durch *ionisierende* Teilchen im Blei ausgelöst worden waren. Die Kurve a zeigt, daß sowohl das 3. wie das 4. Maximum nur durch nichtionisierende Strahlen ausgelöst werden; dies ist in Übereinstimmung mit dem früheren Befund¹, daß in 100 m Höhe das Maximum bei 25–29 cm Pb bei Koinzidenzschaltung *vollständig* ausgelöscht wird. Das 2. Maximum wird dagegen durch ionisierende Strahlen ausgelöst, wie ebenfalls in etwa 100 m Höhe festgestellt wurde¹. Wie bei den gewöhnlichen Vierfachkoinzidenzmessungen² ist auch hier die Höhe des 4. Maximums größer als die des 3. Maximums. Die Lage des 4. Maximums entspricht wiederum genau der früher mitgeteilten Kurve für deren Abhängigkeit vom Luftdruck (²Abb. 3). Die absoluten Koinzidenzzahlen der Kurven a und b sind aus apparativen Gründen nicht miteinander vergleichbar. Die Beobachtungen bestätigen und ergänzen also die früheren Messungen.

2. Abhängigkeit der Höhe der Maxima von dem Abstand Schauerstrahler-Zählrohre

Bei einer Änderung des Abstandes der gekreuzten Zählrohrlagen vom Schauerstrahler, in 100 m Höhe und bei ungeänderter Vierfachkoinzidenzschaltung, ändert sich die Höhe des 2. Maximums und des Ma-

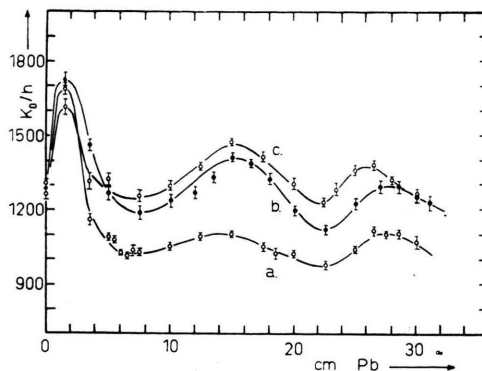


Abb. 2. Auslösekurve mit Blei als Schauerstrahler in 100 m Meereshöhe unter 30 g/cm^2 Decken bei verschiedenen Abständen Zählrohre-Schauerstrahler: a) Abstand Zählrohre-Pb = 50 cm, Divergenzwinkel = $6^\circ,4 \pm 5^\circ,6$, Luftdruck 750 Torr; b) Abstand Zählrohre-Pb = 100 cm, Divergenzwinkel = $3^\circ,4 \pm 3^\circ,0$, Luftdruck 745 Torr; c) Abstand Zählrohre-Pb = 160 cm, Divergenzwinkel = $2^\circ,2 \pm 2^\circ,0$, Luftdruck 753 Torr.

Eine quantitative Deutung dieser Kurven ist nicht leicht. Bei diesem Luftdruck liegen das 3. und 4. Maximum etwa bei der gleichen Bleidicke und werden als ein einziges Maximum beobachtet. Bei einer Abstandsänderung beeinflussen mehrere Effekte die Höhe der Maxima in teilweise entgegengesetztem Sinne; und zwar sind dies 1) Änderung des Raumwinkels, aus dem die Apparatur einfallende Strahlen anzeigt, 2) Änderung des mittleren Schauerdivergenzwinkels, den die Apparatur ausblendet, 3) Änderung des Divergenzwinkelbereiches, den die Apparatur erfaßt, 4) Änderung in der Zahl der schauerauslösenden Teilchen, die den Schauerstrahler schräg durchsetzen. Dieser letzte Effekt ist für die Wahl des Abstandes Zählrohre-Schauerstrahler bei Messungen der Schauerkurve von ganz besonderer Bedeutung. Für ein senkrecht einfallendes Teilchen beträgt z. B. der Weg, auf dem der Schauer in Blei gebildet wird, für das 2. Maximum 15 cm. Fällt ein schauererzeugendes Teilchen schräg ein, so hat es diese zur Schauerausbildung erforderliche Strecke schon zurückgelegt, wenn die vertikal gemessene Schauerstrahlerdicke noch kleiner als 15 cm Pb ist. Das bedeutet, daß der Beitrag, den schräg einfallende Teilchen zur Schauernerzeugung liefern,

in der Pb-Kurve sich schon unterhalb 15 cm Pb bemerkbar macht. Deshalb zeigt auch die Form der Maxima eine leichte Unsymmetrie. Bei einigen Kurven¹ kann man deutlich beobachten, daß die Maxima auf der Flanke zu größeren Bleidicken hin steiler abfallen, als sie auf der entgegengesetzten Seite ansteigen. Verkleinert man den Abstand Zählrohre-Schauerstrahler, so wird der Raumwinkel und damit die Intensität vergrößert. Die neuen zusätzlich zur Anzeige kommenden Schauer stammen aber alle von Teilchen her, die den Schauerstrahler sehr schräg durchsetzt haben. Ihr Beitrag fällt deshalb in den Bereich unterhalb von 15 cm Pb Dicke und füllt das Minimum zwischen dem 1. und 2. Maximum auf. Dadurch erscheint das 2. Maximum niedriger. Außerdem verschieben sich die Maxima etwas zu kleineren Bleidicken, wie dies in Kurve a für das 2. Maximum zu erkennen ist. Hinzu kommt beim 2. Maximum der Effekt 2), der das Maximum in Kurve a in Abb. 2 weiter verflacht. Bei vergrößertem Abstand (Kurve c) scheinen sich die beiden Einflüsse 1) und 2) gerade etwa zu kompensieren, während 4) praktisch keine Rolle mehr spielt. Beim 3. und 4. Maximum kommt als weitere Komplikation der Barometer-Effekt hinzu, deshalb soll hier auf die Abhängigkeit vom Abstand nicht näher eingegangen werden.

Die Abnahme der Höhe des 2. Maximums bei einer Verkleinerung des Abstandes Schauerstrahler-Zählrohre erklärt teilweise, warum andere Beobachter der Rossi-Kurve dieses Maximum nur sehr schwach ausgeprägt fanden. Bei ihren Anordnungen war fast durchweg der Abstand zu gering gewählt, so daß die Maxima durch schrägen Strahlengang verschmiert wurden (vgl. hierzu auch Chaudhary³).

3. Die Auslösekurve mit Eisen und Graphit als Schauerstrahler

Mit Eisen als Schauerstrahler wurden mit Vierfachkoinzidenzen bei einem Schauerwinkel von $3^{\circ},4$ die Auslösekurven der Abb. 3 beobachtet, und zwar die Kurve a in 100 m Meereshöhe unter etwa

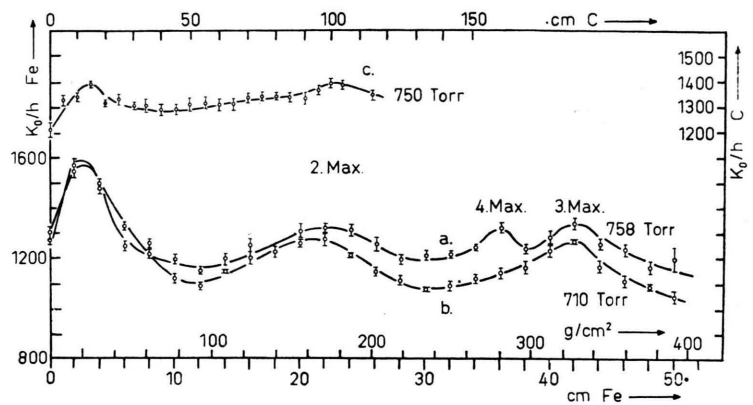


Abb. 3. Schauerkurve mit Eisen und Kohlenstoff als Schauerstrahler bei einem Schauerwinkel von $3^{\circ},4$. a) mit Eisen in 100 m Meereshöhe bei 758 Torr unter 30 g/cm^2 Decken, b) mit Eisen in 600 m Meereshöhe bei 710 Torr unter 40 g/cm^2 Decken, c) mit Graphit in 100 m Meereshöhe unter 60 g/cm^2 Decken bei etwa 750 Torr

30 g/cm^2 Decken bei 758 Torr und die Kurve b in 600 m Meereshöhe unter etwa 40 g/cm^2 Decken bei 710 Torr. Während bei Blei als Schauerstrahler bei einem Luftdruck von 758 Torr das 3. und 4. Maximum zusammenfallen und sich erst bei einem Druck unter 730 Torr trennen lassen, liegen bei Eisen diese beiden Maxima schon bei Normaldruck getrennt. Das festliegende 3. Maximum ist hier das bei 42 cm Fe, denn es liegt in beiden Kurven an der gleichen Stelle. Das mit dem Luftdruck veränderliche 4. Maximum tritt in der Kurve a auf und liegt bei 758 Torr sogar bei einer kleineren Schauerstrahlerdicke als das 3. Maximum. Bei 710 Torr fällt das 4. Maximum entweder mit dem 3. Maximum zusammen, oder es liegt bereits jenseits 50 cm Fe. Letzteres ist wahrscheinlicher, wenn die Druckabhängigkeit der Lage und Höhe ähnlich ist wie beim Blei.

Die Kurve c in Abb. 3 zeigt die mit Graphit von der Dichte $1,775 \text{ g/cm}^3$ gewonnene Schauerkurve. Bei einer maximalen Graphitdicke von 115 cm konnte gerade noch das 2. Maximum erfaßt werden. Es liegt bei etwa 100 cm Graphit. Die Kurve wurde unter etwa 60 g/cm^2 Beton bei 750 Torr mit Vierfachkoinzidenzen beim Winkel $3^{\circ},4$ gemessen. In Tab. 1 ist die Lage des 2. und 3. Maximums für Blei, Eisen und Kohlenstoff zusammengestellt.

Wie man sieht, liegt das 2. Maximum unabhängig vom Material des Schauerstrahlers stets bei etwa 180 g/cm^2 . Ob die für das 3. Maximum angedeutete Verschiebung zu größeren Flächendichten mit abnehmendem Atomgewicht reell ist, können erst weitere Messungen mit anderen Schauerstrahlermaterialien entscheiden.

³ P. K. Sen Chaudhary, Physic. Rev. 81, 274 [1951].

Schauerstrahler	2. Maximum	3. Maximum
Blei	15—16 cm 170—180 g/cm ²	26 cm 295 g/cm ²
Eisen	21—23 cm 160—180 g/cm ²	42 cm 330 g/cm ²
Kohlenstoff	95—105 cm 170—190 g/cm ²	—

Tab. 1. Lage des 2. und 3. Maximums für Pb, Fe und C.

Die Höhen der Maxima bei Pb, Fe und C lassen sich nicht direkt miteinander vergleichen, weil

die Einfallsraumwinkel wegen der verschiedenen Schauerstrahlerdicken nicht gleich sind.

Ein Zusammenhang des in der Auslösekurve auftretenden 2. Maximums mit einem der von Schopper und Mitarbb.⁴ beobachteten Maxima der Sternhäufigkeit in Photoplatten unter Materie scheint trotz ähnlicher Züge nicht zu bestehen.

Herrn Prof. Dr. W. Bothe danke ich herzlich für wertvolle Anregungen bei der Durchführung der vorstehenden Arbeit.

⁴ E. Schopper, K. H. Höcker u. E. Rößle, Z. Naturforschg. **6a**, 603 [1951]; E. Schopper, K. H. Höcker u. G. Kuhn, Physic. Rev. **82**, 444 [1951].

Die Photospaltung des ${}^6\text{Li}$ -Kerns in Deuteron und α -Teilchen

Von PETER JENSEN und KURT GIS

Aus dem Physikalischen Institut der Universität Freiburg i. Br.

(Z. Naturforschg. **8a**, 137—141 [1953]; eingegangen am 20. Dezember 1952)

Versuche zum Nachweis des Prozesses ${}^6\text{Li}(\gamma, d){}^4\text{He}$ mit einem Proportionalzählrohr ergaben, daß der Wirkungsquerschnitt für die 2,62 MeV-Quanten von ThC'' mit 99% Wahrscheinlichkeit kleiner als $3,5 \cdot 10^{-29} \text{ cm}^2$ ist. Die Kleinheit des Wirkungsquerschnitts, die von anderer Seite auch für Photonen anderer Energien gefunden wurde, wird aus den Eigenschaften des ${}^6\text{Li}$ -Kerns erklärt.

Eine Durchmusterung der Energien, die zu einer Zerlegung der leichtesten stabilen Kerne in zwei Bruchstücke aufzuwenden sind, zeigt, daß es außer den altbekannten Fällen des ${}^2\text{D}$ und ${}^9\text{Be}$ noch mehrere Fälle gibt, in denen die Dissoziationsenergie nur wenige MeV beträgt. Hier seien nur genannt¹: ${}^6\text{Li} = {}^4\text{He} + {}^2\text{D} - 1,48 \text{ MeV}$, ${}^7\text{Li} = {}^4\text{He} + {}^3\text{H} - 2,47 \text{ MeV}$, ${}^9\text{Be} = {}^5\text{He} + {}^4\text{He} - 2,6 \text{ MeV}$. Durch eine Untersuchung der Photoeffekte, die zu einer Aufspaltung gemäß diesen Gleichungen führen, kann man hoffen, ebenso wie im Falle des ${}^2\text{D}$ und des ${}^9\text{Be}$ etwas über die Kernabsorption von γ -Quanten geringer Energien und über die theoretisch besonders interessanten tiefliegenden Anregungszustände der leichten Kerne zu erfahren. Die vorliegende Arbeit² beschäftigt sich mit dem Prozeß ${}^6\text{Li}(\gamma, d){}^4\text{He}$.

1. Die Versuchsanordnung³

Wir haben versucht, diesen Prozeß mit einem Proportionalzählrohr nachzuweisen. Wir benutzten die γ -Strahlen von ThC'' mit der Energie 2,62 MeV. Damit sollte die Energie der Deuteronen 0,76 MeV, die der He-Rückstoßkerne 0,38 MeV betragen; die Reichweite der Deuteronen in Luft sollte 1,16 cm, die der α -Teilchen 0,245 cm sein.

Das Zählrohr (s. Abb. 1) bestand aus einem gasdichten äußeren Rohr und einem darin isoliert angebrachten, offenen, coaxialen inneren Rohr. Letzteres, die Zählrohrkathode, war zur Erniedrigung des α -Null-effektes innen mit Aquadag überzogen und hatte ein etwa $4 \times 6 \text{ cm}$ großes Fenster. Vor dieses konnte mittels eines Schliffes entweder eine dicke Schicht von normalem Lithiumhydroxyd gebracht werden oder eine identische Schicht von solchem Lithiumhydroxyd, in dem das ${}^6\text{Li}$ von normal 7,4% auf 16,2% angereichert war⁴. Beide Schichten, die auf der Innenseite

¹ Massenwerte nach C. W. Li, W. Whaling, W. A. Fowler u. C. C. Lauritsen, Physic. Rev. **83**, 512 [1951].

² Vorläufige Mitteilung in Physik. Verh. **3**, 20 [1952].

³ Näheres bei K. Gis, Freiburger Diplomarbeit 1953.

⁴ An ${}^6\text{Li}$ angereichertes Lithiumchlorid hat uns freundlicherweise Dr. A. Klemm, Mainz, hergestellt. Dr. H. Hintenberger, Mainz, hat die Anreicherung massenspektrometrisch bestimmt, und Dr. J. Wernet, Freiburg, hat das Chlorid in Hydroxyd übergeführt. Allen drei Herren sei auch hier bestens gedankt.