

Über die Eigenschaften der durchdringenden Korpuskularstrahlung im Meeresniveau.

Von **Bruno Rossi** in Florenz, Arcetri.

Mit 16 Abbildungen. (Eingegangen am 24. Februar 1933.)

Die Absorbierbarkeit der durchdringenden Korpuskularstrahlung wurde bis zu einer Absorberdicke von 101 cm Blei untersucht; die Versuchsergebnisse werden im Zusammenhang mit der Frage nach dem Wesen der Ultrastrahlung und nach ihrer Energie diskutiert. — Das Entstehen einer Sekundärstrahlung in der von den Ultrakorpuskularstrahlen durchsetzten Materie wurde nachgewiesen. Die wichtigsten Eigentümlichkeiten dieser Erscheinung und der Einfluß der Sekundärstrahlung auf die Ultrastrahlungsphänomene wurden untersucht.

I. Zweck und allgemeine Methode der Untersuchung.

1. Nach den Versuchen von Bothe und Kolhörster¹⁾ und vom Verfasser²⁾ weiß man, daß im Meeresniveau die Ultrastrahlungserscheinungen von einer durchdringenden Korpuskularstrahlung hervorgerufen werden. Um die Eigenschaften dieser Korpuskularstrahlung eingehend zu untersuchen, habe ich Ende vorigen Jahres eine Versuchsreihe unternommen, die insbesondere eine genauere Messung ihres mittleren Durchdringungsvermögens und Aufklärung über die in der Materie hervorgerufenen Sekundärercheinungen bezweckte.

Einige der gewonnenen Resultate sind schon kurz in deutschen Zeitschriften veröffentlicht worden³⁾. Vollständigere Berichte über die Einzelversuche sind in italienischen Zeitschriften erschienen⁴⁾. Die vorliegende Arbeit ist einer zusammenfassenden Darstellung und Diskussion aller Ergebnisse gewidmet.

2. Sämtliche Versuche wurden mit der Koinzidenzmethode durchgeführt, die sich bereits bei den früheren Versuchen von Bothe und Kolhörster und vom Verfasser für die Untersuchung der durchdringenden Korpuskularstrahlung bewährt hatte.

Wie bekannt werden bei dieser Methode die gleichzeitigen Ausschläge von zwei oder mehreren Geiger-Müllerschen Zählrohren beobachtet, die entweder den Durchgang einer und derselben Korpuskel durch alle benutzten Zählrohre, oder auch den gleichzeitigen Durchgang einer Korpuskel

¹⁾ W. Bothe u. W. Kolhörster, ZS. f. Phys. **56**, 751, 1929.

²⁾ B. Rossi, ebenda **68**, **64**, 1931.

³⁾ B. Rossi, Naturwissensch. **20**, 65, 1932; Phys. ZS. **33**, 304, 1932.

⁴⁾ B. Rossi, Rend. Lincei **15**, 734, 1932; B. Rossi u. B. Crinò, ebenda **15**, 741, 1932; B. Rossi, Ricerca Scientif. **3**, I, Nr. 7—8, 1932; **3**, II, Nr. 7—8, 1932.

durch einige Zählrohre und eines davon ausgelösten Sekundärteilchens durch die übrigen anzeigen. Der letztgenannte Vorgang ist in der Tat zum erstenmal im Laufe der vorliegenden Versuche festgestellt worden.

Die Koinzidenzen wurden nach dem vom Verfasser angegebenen Verfahren¹⁾ ausgesondert und mechanisch registriert. Die zu vergleichenden Messungen wurden immer abwechselnd durchgeführt, um eventuelle Intensitätsänderungen der Ultrastrahlung unschädlich zu machen. Die Meßgenauigkeit wird somit nur durch die statistischen Schwankungen begrenzt.

Die Apparatur befand sich etwa in der Mitte eines ziemlich großen Raumes, im ersten Stock des Physikalischen Instituts der Universität Florenz, welches außerhalb der Stadt auf einem Hügel liegt, in einer Seehöhe von 150 m. Die Dicke der darüberliegenden Luftschicht betrug somit 1031 g/cm²; dazu hatte die Ultrastrahlung, bevor sie auf die Apparatur traf, noch das Dach und die Decke zu durchsetzen, mit einer gesamten Dicke von etwa 12 g/cm². Der Abstand der Apparatur von der Decke betrug etwa 4,5 m.

II. Die Absorbierbarkeit der durchdringenden Korpuskularstrahlung.

3. Die Absorbierbarkeit der durchdringenden Korpuskularstrahlung wurde zuerst von Bothe und Kolhörster (a. a. O.) mit der Koinzidenzmethode in 4,1 cm Gold gemessen. Dabei wurde die Absorberschicht zwischen zwei übereinanderliegende Zählrohre gebracht und die entsprechende Abnahme der Koinzidenzhäufigkeit als Maß für die Absorption der vorhandenen Korpuskularstrahlung genommen.

Mit derselben Methode hat später der Verfasser²⁾ eine Absorptionsmessung in 9,7 cm Blei vorgenommen und gleichzeitig die Absorbierbarkeit der Korpuskularstrahlung mit derjenigen der gesamten Ultrastrahlung direkt verglichen, indem die Koinzidenzen einmal mit der Absorberschicht über den beiden Zählrohren, einmal mit der Absorberschicht dazwischen gezählt wurden.

Weder beim Versuch von Bothe und Kolhörster, noch beim schärferen Vergleich des Verfassers gelang es, einen Unterschied zwischen den Absorbierbarkeiten der durchdringenden Korpuskularstrahlung und der gesamten Ultrastrahlung festzustellen, aus welchem man auf die Entstehung neuer durchdringender Korpuskularstrahlen im Absorber und somit auf die Existenz einer Ultra- γ -Strahlung am Beobachtungsort hätte schließen können. Die Messungen des Verfassers hatten zwar einen kleinen Unter-

¹⁾ B. Rossi, *Nature* **125**, 636, 1930.

²⁾ B. Rossi, *ZS. f. Phys.* **68**, 64, 1931.

schied ergeben, der aber (wie schon damals vermutet und nachträglich sichergestellt wurde; vgl. unten § 10) auf Sekundäreffekte der durchdringenden Korpuskularstrahlung selbst zurückzuführen ist.

Es war von großem Interesse, die Absorptionskurve der durchdringenden Korpuskularstrahlung weiter zu verfolgen, um zu entscheiden, ob ihre Übereinstimmung mit der Absorptionskurve der gesamten Ultrastrahlung auch bei wesentlich größeren Absorberdicken erhalten blieb. Die besondere Schwierigkeit dieses Versuchs bestand nur in der Notwendigkeit, die Zählrohre in großem gegenseitigen Abstand aufzustellen, was die Häufigkeit der Koinzidenzen stark herabdrückt. Deshalb waren sehr lange Beobachtungsreihen und ein sehr gutes Auflösungsvermögen unentbehrlich; letzteres um die Häufigkeit der zufälligen Koinzidenzen genügend unter diejenige der systematischen herabzudrücken.

Um unnötigen Zeitaufwand zu vermeiden, schien es zweckmäßig, die Versuche in zwei Reihen zu unterteilen: eine für die kleineren Absorberdicken (0, 10, 25 cm Blei), die andere für die größeren Absorberdicken (25, 101 cm Blei). Bei der ersten Versuchsreihe wurden, wie gewöhnlich, zweifache Koinzidenzen benutzt; bei der zweiten dagegen konnte das nötige Auflösungsvermögen nur durch Benutzung von dreifachen Koinzidenzen erreicht werden. In beiden Fällen war die Strahlung durch eine Schicht von 7 cm Blei vorgefiltert, die sich dicht über dem obersten Zählrohr befand.

4. Die angewandten Versuchsanordnungen sind in den Fig. 1 und 2 dargestellt. Die Geiger-Müllerschen Zählrohre C_1 und C_2 bzw. C_1, C_2, C_3 hatten einen Durchmesser von 5 cm und eine wirksame Länge von 15 cm; sie waren durch einen Bleipanzter gegen die Umgebungsstrahlung geschützt. Bei den Messungen zwischen 0 und 25 cm Absorberdicke (Fig. 1) bestanden die Absorberschichten A_1 und A_2 (15 cm bzw. 10 cm dick) je aus zwei Bleiklötzen, die leicht auf passenden Messingschienen zwischen die Zählrohre gebracht oder seitlich hinausgeschoben werden konnten. Das Auflösungsvermögen der Registrieranordnung betrug $0,35 \cdot 10^{-3}$ sec. Die Koinzidenzen wurden abwechselnd ohne Absorber, mit dem unteren Absorber (d. h. mit 10 cm Pb) und mit beiden Absorbern (d. h. mit 25 cm Pb) zwischen den Zählrohren gezählt. Das Gesamtergebnis ist in Tabelle 1 wiedergegeben, wobei die zufälligen Koinzidenzen nach der bekannten Formel: $\nu = 2 \tau N_1 N_2$ (ν = Häufigkeit der zufälligen Koinzidenzen; N_1 und N_2 = jeweilige Häufigkeiten der Einzelausschläge; τ = Auflösungsvermögen) berechnet wurden.

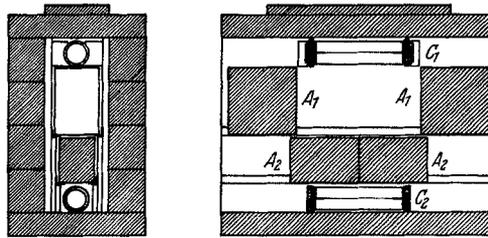


Fig. 1.

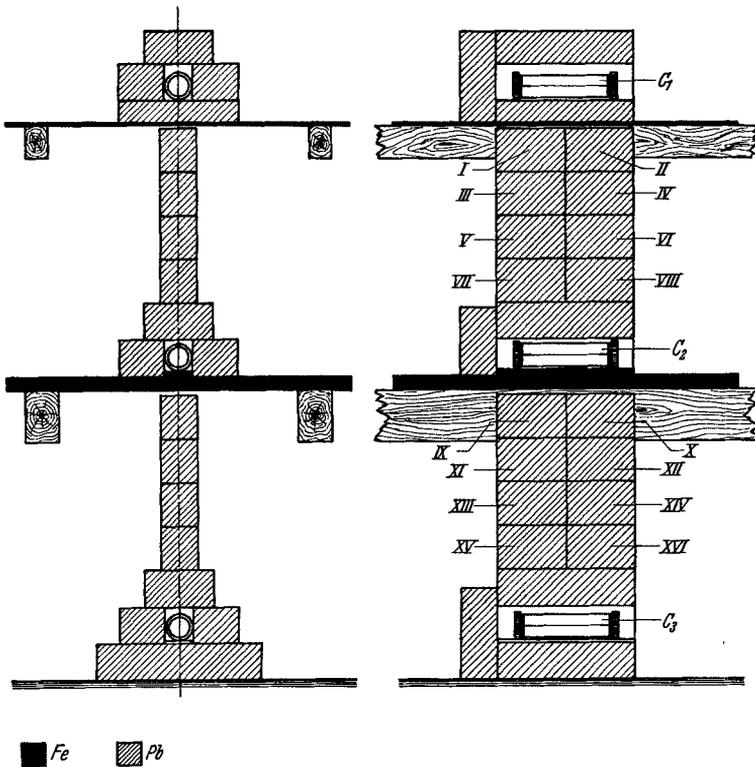


Fig. 2.

Tabelle 1.

Absorberdicke in cm Pb:	0	10	25
Versuchsdauer	73 h 45 m	73 h 45 m	73 h 45 m
Beobachtete Koinzidenzen	3309	2711	2498
Zufällige Koinzidenzen	170	165	162
Systematische Koinzidenzen	3139	2546	2336

Bei der zweiten Meßreihe (Fig. 2) befand sich dauernd zwischen den Zählrohren eine Schicht von 20,8 cm Blei plus 5,5 cm Eisen, was insgesamt einer Schicht von 25 cm Blei äquivalent ist. Die eigentliche Absorberschicht bestand aus 16 Bleiklötzen von $15 \times 9,5 \times 8 \text{ cm}^3$ (in der Abbildung mit I bis XVI bezeichnet); die gesamte Dicke des Absorbers betrug 76 cm, wovon je die Hälfte zwischen die beiden oberen und die beiden unteren Zählrohre gebracht werden konnte.

Die dreifachen Koinzidenzen wurden abwechselnd ohne Absorber (d. h. mit 25 cm Pb zwischen den Zählrohren) und mit dem Absorber (d. h. mit

Tabelle 2.

Versuchsreihe Nr.	25 cm Pb		101 cm Pb		Zufällige Koinzidenzen	
	Versuchsdauer	Koinzidenzen	Versuchsdauer	Koinzidenzen	Versuchsdauer	Koinzidenzen
1	4 h	7	9h 30m	21	14h 10m	2 *
2	14	36	13 10	12	10	3 **
3	10	15	12	13	10	0 ††
4	9	14	14 10	19	9	0 †
5	13	35	8 10	10	10 50	1 ††
6	8 40m	21	13	18	9	0 †
7	14 15	25	12	11	9	0 ††
8	9 30	23	14 40	20	7	0 *
9	13	28	14	9	9	0 ††
10	8 15	20	14 30	18	9 20	0 **
11	16	27	14 30	19	6 50	0 †
12	21 40	36	23 30	27	—	—
13	20 30	39	24	32	19 35	2 **
14	8 45	16	23	29	17	3 *
15	18	33	21	32	8 40	0 †
16	23	35	17 30	14	—	—
17	20 10	37	26	34	17 35	2 †
18	19	33	23 30	29	8 37	0 **
19	21	45	17	19	—	—
20	25	53	32	33	—	—
Σ	296h 45m	578	347h 10m	419	175h 37m	13
Zufällige Koinzidenzen (berechnet)	296h 45m	15	347h 10m	14	175h 37m	13
Systematische Koinzidenzen	296h 45m	563	347h 10m	405	175h 37m	0
Systematische Koinzidenzen pro Stunde	—	$1,897 \pm 0,081$	—	$1,166 \pm 0,059$	—	$0 \pm 0,021$

* Oberes Zählrohr um 10 cm seitlich verschoben; ohne Absorber. — ** Oberes Zählrohr um 10 cm seitlich verschoben; mit Absorber. — † Oberes Zählrohr weit entfernt; ohne Absorber. — †† Oberes Zählrohr weit entfernt; mit Absorber.

101 cm Pb) gezählt; die Resultate sind in der Tabelle 2 wiedergegeben. Die Häufigkeit ν der zufälligen Koinzidenzen wurde nach der Formel

$$\nu = 2 \tau (n_{12}N_3 + n_{23}N_1 + n_{31}N_2) + 3 \tau^2 N_1 N_2 N_3$$

berechnet; darin sind N_1, N_2, N_3 die Häufigkeiten der Einzelausschläge; n_{12} die Häufigkeit der zweifachen systematischen Koinzidenzen zwischen C_1 und C_2 , die nicht mit einem Ausschlag von C_3 systematisch koinzidieren; n_{23} und n_{31} haben entsprechende Bedeutung (insbesondere ist hier n_{31}

gleich Null zu setzen, weil die $C_1 C_3$ -Zweifachkoinzidenzen stets systematisch mit C_2 -Ausschlägen koinzidieren). Das Auflösungsvermögen τ wurde, wie gewöhnlich, durch Zählung der zweifachen zufälligen Koinzidenzen gemessen und gleich $1,2 \cdot 10^{-3}$ sec gefunden. Zur Kontrolle wurde im allgemeinen nach jeder Versuchsreihe (die je eine Zählung ohne und mit Absorber umfaßte) eine Zählung der dreifachen zufälligen Koinzidenzen vorgenommen, indem das oberste Zählrohr aus seiner Lage

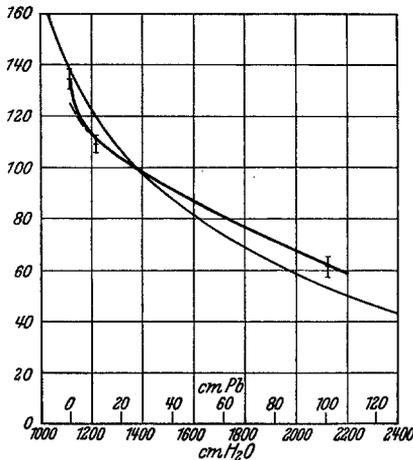


Fig. 3.

verschoben wurde. Die gefundenen Zahlen sind in der letzten Spalte der Tabelle 2 angegeben; ihre Summe fällt mit der berechneten Gesamtzahl von zufälligen Koinzidenzen zusammen (die genaue Übereinstimmung ist natürlich als reiner Zufall zu betrachten).

Aus den Tabellen 1 und 2 entnimmt man für die absorbierten Bruchteile der durch 7 cm Blei vorgefilterten Korpuskularstrahlung folgende Werte:

$$\begin{aligned} &0,19 \pm 0,023 \text{ zwischen } 0 \text{ und } 10 \text{ cm Blei}^1), \\ &0,08 \pm 0,027 \quad \text{,, } 10 \quad \text{,, } 25 \quad \text{,, } \quad \text{,,} \\ &0,385 \pm 0,037 \quad \text{,, } 25 \quad \text{,, } 101 \quad \text{,, } \quad \text{,,}^2). \end{aligned}$$

¹⁾ Innerhalb der Meßfehlergrenzen ist dieser Wert in guter Übereinstimmung mit dem unter ähnlichen Versuchsbedingungen früher gefundenen Wert der Absorbierbarkeit zwischen 0 und 9,7 cm Pb (vgl. B. Rossi, ZS. f. Phys. **68**, 64, 1931).

²⁾ In der schon zitierten vorläufigen Notiz an die Naturwissenschaften wurde wegen eines Rechenfehlers der Wert 0,051 statt 0,037 für den statistischen Fehler dieser Messung angegeben.

Man kann diese Resultate in Form einer Absorptionskurve darstellen (Fig. 3, stark ausgezogene Linie), indem man die Intensität der Korpuskularstrahlung bei 25 cm Absorberdicke willkürlich gleich 100 setzt; als Abszisse ist hier die Dicke der zwischen den Zählrohren liegenden Bleischicht in Zentimetern und zugleich der Abstand des untersten Zählrohrs von der oberen Grenze der Atmosphäre in Zentimetern H_2O eingetragen, wobei angenommen wurde, daß 10 cm Wasser dieselbe Absorption wie 1 cm Blei ausüben¹⁾. (Der Abstand des obersten Zählrohrs unter der oberen Grenze der Atmosphäre ist somit gleich $1031 + 12 + 70 = 1113$ cm H_2O zu setzen.) Die statistischen Fehler sind mit vertikalen Strecken oberhalb und unterhalb jedes Meßpunktes eingezeichnet.

5. Hier ist jetzt schon hervorzuheben, daß wegen des Vorhandenseins der Sekundärstrahlung die beobachtete Abnahme der Koinzidenzen nicht immer die Absorbierbarkeit der primären Ultrakorpuskularstrahlung darstellt. Sieht man von den Übergangsgebieten²⁾ ab (wie es in unserem Falle gestattet ist, da wir die Strahlung mit 7 cm des Absorbermaterials vorgefiltert haben), so steht zwar die Zahl der Sekundärteilchen, die das unterste Zählrohr erreichen, in einem konstanten Verhältnis zur Zahl der Primärteilchen, unabhängig von der Dicke des Absorbers. Wie jedoch weiter unten ausführlicher dargelegt werden soll, ist die Anzahl der von den Sekundärstrahlen erzeugten Koinzidenzen sehr verschieden, je nachdem sie oberhalb der Zählrohre, wie bei den Messungen ohne Absorber, oder dazwischen, wie zum Teil bei den Messungen mit dem Absorber, erzeugt werden (vgl. § 10).

Daher muß die scheinbare Absorbierbarkeit der Korpuskularstrahlung in den ersten Zentimetern Blei merkbar von der Sekundärstrahlung beeinflusst sein; und in der Tat zeigt die Absorptionskurve in diesem Gebiet einen anomal steilen Abfall. (Der vermutliche Verlauf der Absorptionskurve ist in der Fig. 3 durch die gestrichelte Linie angedeutet.) Nach den ersten Zentimetern dürften aber die Sekundärstrahlen den Verlauf der Absorptionskurve nicht mehr beeinflussen. Wegen ihres kleinen Durchdringungsvermögens (vgl. § 8) können nur die in den untersten Schichten des Absorbers entstehenden Sekundärstrahlen zum Austritt gelangen, und die Koinzidenzen, die sie erzeugen, stellen daher einen konstanten Bruchteil der Gesamtzahl der Koinzidenzen dar.

¹⁾ Vgl. W. Heisenberg, Ann. d. Phys. **13**, 430, 1932.

²⁾ Vgl. E. Steinke, Phys. ZS. **31**, 1019, 1930; H. Schindler, ZS. f. Phys. **72**, 625, 1931.

Was übrigens die Messungen mit den dreifachen Koinzidenzen betrifft, so ist hier überhaupt (bei der erreichten Meßgenauigkeit) die Zahl der von den Sekundärstrahlen erzeugten Koinzidenzen ganz zu vernachlässigen, was auch experimentell auf folgende Weise nachgeprüft worden ist. Bei den in der letzten Spalte der Tabelle 2 wiedergegebenen Messungen wurde das obere Zählrohr manchmal weit entfernt, manchmal aber nur um 10 cm seitlich verschoben. Auch im letzten Falle fiel die Anzahl der Koinzidenzen nicht größer aus als diejenige der zufälligen, im Gegensatz zu dem, was man erwarten dürfte, wenn ein nennenswerter Teil der mit übereinanderliegenden Zählrohren beobachteten Koinzidenzen etwa beim Durchgang eines Primärteilchens durch zwei Zählrohre und eines dazugehörigen Sekundärteilchens durch das dritte Zählrohr entstehen würde. Alle beobachteten systematischen Koinzidenzen bedeuten hier also tatsächlich den Durchgang einer und derselben Korpuskel durch die drei Zählrohre und daher durch die zwischenliegende Materieschicht.

Zusammenfassend kann man behaupten, daß die Kurve der Fig. 3, wenn man vom allerersten Stück absieht, die Absorbierbarkeit der primären Korpuskularstrahlung bis zu 101 cm Blei wirklich darstellt.

6. Aus den gewonnenen Resultaten geht zunächst hervor, daß ein bedeutender Bruchteil (etwa 50%) der am Beobachtungsort vorhandenen Korpuskularstrahlen eine Reichweite hat, die größer ist als 1 m Blei, und man kann abschätzen, daß ihre durchdringendste Komponente wenigstens 2,5 m Blei zu durchsetzen vermag; nach Heisenbergs Angaben über die Energieverluste sehr harter Korpuskularstrahlen in der Materie (a. a. O.) würde man daraus schließen, daß die maximale Energie der durchdringenden Korpuskularstrahlen den Wert von $1,4 \cdot 10^{10}$ e-Volt übertrifft.

Die Absorptionskurve der durchdringenden Korpuskularstrahlung soll nun mit derjenigen der Ultrastrahlung selbst verglichen werden, um zu entscheiden, ob unsere Messungen in Einklang mit der Hypothese von Bothe und Kolhörster sind, daß die primäre Ultrastrahlung bereits eine Korpuskularstrahlung ist. Die Absorptionskurve der Ultrastrahlung in Blei wurde bisher nicht mit genügender Genauigkeit und bis zu genügend dicken Absorberschichten gemessen; wir sind daher auf die Unterwassermessungen angewiesen. Dabei besteht eine gewisse Willkür in der Wahl des Reduktionsfaktors zwischen Wasser und Blei, und außerdem sind die geometrischen Bedingungen bei den zu vergleichenden Versuchen ganz verschieden (allseitiger Einfall bei den Unterwassermessungen, nahezu vertikaler Einfall bei den Koinzidenzmessungen); auch wenn also die Hypo-

these von Bothe und Kolhörster zu Recht besteht, ist nur eine angenäherte Übereinstimmung der beiden Absorptionskurven zu erwarten.

In der Fig. 3 ist neben unserer Absorptionskurve der Korpuskularstrahlung auch die Millikan-Camersonsche Absorptionskurve der Ultrastrahlung¹⁾ dünn eingezeichnet.

Das Absorptionsvermögen des Bleies wurde dabei (nach Heisenberg) zehnmal größer als dasjenige des Wassers angenommen und die Intensität der Ultrastrahlung (abzüglich des Nulleffektes) in einer Entfernung von 1363 cm H₂O unter der oberen Grenze der Atmosphäre willkürlich gleich 100 gesetzt, wie es für die Intensität der Korpuskularstrahlung bei der gleichen Abszisse geschah.

Wie man sieht, fallen die beiden Kurven nicht genau zusammen; die Absorptionskurve der Korpuskularstrahlung scheint sogar einen *langsameren* Abfall zu zeigen als die der gesamten Ultrastrahlung, umgekehrt, als man erwarten sollte, wenn die beobachtete Korpuskularstrahlung sekundären Ursprungs wäre. Die Abweichung ist allerdings nicht groß und durch die verschiedenen Versuchsbedingungen leicht zu erklären. Wir können daher schließen, daß unsere Messungen bis zu einer Dicke von 101 cm Blei keinen Unterschied zwischen den Absorbierbarkeiten der durchdringenden Korpuskularstrahlung und der gesamten Ultrastrahlung zutage gefördert haben, der das Vorhandensein einer Ultra- γ -Strahlung im Meeresniveau beweisen würde. Die einfachste Annahme zur Deutung unserer Versuche ist daher die, daß eine Ultra- γ -Strahlung überhaupt nicht existiert; d. h. daß die primäre Ultrastrahlung bereits eine Korpuskularstrahlung ist.

Viel schwieriger würde es sein, unsere Ergebnisse mit der entgegengesetzten Hypothese zu vereinigen.

Frühere Versuche des Verfassers²⁾ hatten zum Schluß geführt, daß, wenn die Primärstrahlung eine γ -Strahlung wäre, ihre sekundäre Korpuskularstrahlung ein größeres Durchdringungsvermögen als sie selbst besitzen müßte. Dies wird durch die vorliegenden Messungen auf die direkteste Weise bestätigt. Sie haben nämlich bewiesen, daß 1 m Blei noch etwa 50% der vorhandenen Korpuskularstrahlen hindurchläßt. Wenn man berücksichtigt, daß diese beim Auftreffen auf die Apparatur schon mehr oder weniger von ihrer Energie in der darüberliegenden Materieschicht eingebüßt haben, so muß man schließen, daß ihre mittlere Anfangsreichweite beträchtlich größer ist als 1 m Blei. Das Durchdringungsvermögen der primären

¹⁾ R. A. Millikan u. G. H. Cameron, Phys. Rev. **37**, 235, 1931.

²⁾ B. Rossi, ZS. f. Phys. **68**, 64, 1931.

γ -Strahlung am Beobachtungsort dagegen (als der reziproke Absorptionskoeffizient definiert) ist sicher kleiner als 1 m Blei, da wegen der mangelnden Sättigung mit Sekundärstrahlen, der Absorptionskoeffizient der primären Ultra- γ -Strahlung größer als der beobachtete Absorptionskoeffizient der Ultrastrahlung sein muß¹⁾ und letzterer bereits größer als $10^{-2} \text{ cm}_{\text{Pb}}^{-1}$ ist.

Durch etwas genauere Betrachtungen²⁾ gelangt man zum Schluß, daß die mittlere Anfangsreichweite der im Beobachtungsort vorhandenen Korpuskularstrahlen größer als 157 cm Blei und zugleich der mittlere Absorptionskoeffizient der sie erzeugenden γ -Strahlen größer als $1,8 \cdot 10^{-2} \text{ cm}_{\text{Pb}}^{-1}$ sein muß. Das Durchdringungsvermögen der Sekundärstrahlung dürfte somit wenigstens dreimal größer als dasjenige der Primärstrahlung ausfallen. Dieser Schluß, der notwendig aus unseren Versuchen folgt, wenn man die γ -Strahlenhypothese annimmt, erscheint recht unwahrscheinlich, da nach der Theorie ein Verhältnis 0,17 (statt 3) zwischen dem Durchdringungsvermögen der Sekundär- und Primärstrahlung zu erwarten wäre (vgl. W. Heisenberg, a. a. O.).

Von unseren Versuchen wird also die Korpuskularhypothese von Bothe und Kolhörster wesentlich gestützt.

Mit dieser Hypothese stehen übrigens alle bisher bekannten Erfahrungstatsachen in Einklang, insbesondere die von Clay³⁾, von Clay und Berlage⁴⁾ und von Compton⁵⁾ neuerdings gefundene geographische Abhängigkeit der Ultrastrahlungsintensität, die auf einen Einfluß des erdmagnetischen Feldes auf die Primärstrahlung hinzuweisen scheint⁶⁾. Auch der Gang der Ultrastrahlungsintensität mit der Seehöhe, der neuerdings von Piccard und Cosyns bis zu einer Höhe von 17000 m⁷⁾ und von Regener bis zu einer Höhe von 28000 m⁸⁾ untersucht worden ist, wird leichter durch die Korpuskular- als durch die γ -Strahlenhypothese gedeutet. Nach der γ -Strahlenhypothese wäre nämlich⁹⁾ ein Maximum der beobachteten Intensität (d. h. der Ionisation) zu erwarten, in einem Abstand unter der oberen Grenze der Atmosphäre, der von der Größenordnung des

¹⁾ Vgl. dazu B. Rossi, ZS. f. Phys. **68**, 64, 1931, § 8.

²⁾ Vgl. dazu B. Rossi, Ricerca Scientif. **3**, I, Nr. 7—8, 1932.

³⁾ J. Clay, Proc. Amsterdam **30**, 1115, 1927.

⁴⁾ J. Clay u. H. P. Berlage, Naturwissensch. **20**, 687, 1932.

⁵⁾ A. H. Compton, Phys. Rev. **41**, 111, 1932; **41**, 681, 1932.

⁶⁾ Vgl. E. Fermi u. B. Rossi, Rend. Lincei (im Erscheinen).

⁷⁾ A. Piccard u. M. Cosyns, C. R. **195**, 604, 1932.

⁸⁾ E. Regener, Naturwissensch. **20**, 695, 1932.

⁹⁾ Vgl. dazu B. Rossi, ZS. f. Phys. **68**, 64, 1931, § 8.

Durchdringungsvermögens der Sekundärstrahlung wäre; bei Annäherung an die Grenze der Atmosphäre sollte dann die Intensität gegen Null streben. Regener dagegen findet bis zu einem Abstand von nur 30 g/cm^2 unter der oberen Grenze der Atmosphäre eine dauernde Zunahme der Ultrastrahlungsintensität, wenn auch diese Zunahme viel langsamer bei den maximalen Höhen als bei mittleren Höhen erfolgt. Dies ist genau das, was man nach der Korpuskularhypothese erwarten sollte, wenn das Geschwindigkeitsspektrum der einfallenden Korpuskularstrahlung sich nicht bis zu Null erstreckt¹⁾. [Auch die in den obersten Schichten der Atmosphäre (d. h. im Übergangsbereich zwischen Vakuum und Luft) erzeugten Sekundärstrahlen müssen allerdings eine Abflachung des Anfangsteils der Absorptionskurve verursachen.] Um den gefundenen Verlauf nach der γ -Strahlungshypothese zu erklären, müßte man dagegen annehmen, entweder (mit Regener), daß die primäre γ -Strahlung beim Auftreffen auf die Atmosphäre schon von sekundären Korpuskularstrahlen begleitet ist (nicht aber in Gleichgewichtszustand!); oder daß eine sehr intensive weiche Komponente der Primärstrahlung vorhanden ist, welche das Maximum der Intensität ganz in die Nähe der oberen Grenze der Atmosphäre verschiebt.

III. Die Sekundärstrahlung der durchdringenden Korpuskularstrahlung.

7. Beim Kongreß für Kernphysik in Rom (Oktober 1931) wurden von Bothe die „Übergangseffekte“ der Ultrastrahlung durch die Annahme gedeutet, daß die durchdringenden Korpuskularstrahlen in der Materie eine weichere sekundäre Korpuskularstrahlung erzeugen. Kurz nachher gelang es dem Verfasser nach dem beifolgenden Verfahren, das Vorhandensein dieser Sekundärstrahlung direkt zu beweisen: drei Geiger-Müllersche Zählrohre wurden einander so gegenübergestellt, daß sie von einer und derselben Korpuskel nicht durchsetzt werden konnten; zahlreiche dreifache Koinzidenzen traten jedoch auf, wenn sich eine Bleischicht oberhalb der Zählrohre befand. Diese wurden gedeutet durch das gleichzeitige Auftreffen eines primären und eines dazugehörigen sekundären Teilchens auf die Apparatur, wovon das eine ein Zählrohrpaar, das andere das dritte Zählrohr durchsetzte²⁾.

¹⁾ E. Fermi u. B. Rossi, a. a. O.

²⁾ Dreifache Koinzidenzen zwischen nicht hintereinander liegenden Zählrohren sind auch von W. Heidecke (Tübinger Dissertation 1931) beobachtet worden; der Verfasser erklärt sie aber nicht durch eine Sekundärstrahlung, sondern durch Streuung der Primärstrahlung. Bei unseren Versuchen können die dreifachen Koinzidenzen durch diese Annahme nicht gedeutet werden.

Dieser Befund wurde durch die von Millikan und Anderson¹⁾, Skobeltzyn²⁾, Blackett und Occhialini³⁾ nachträglich veröffentlichten Versuche mit der Wilsonkammer bestätigt, die das häufige Vorkommen von Bahngruppen beweisen. Drei Doppelbahnen und eine Tripletgruppe waren zwar schon früher von Skobeltzyn beobachtet worden⁴⁾; daraus konnte man aber nicht viel Bestimmtes schließen, besonders da in weiteren Berichten über ähnliche Versuche⁵⁾ auf das Wiederauftreten dieser Erscheinung nicht mehr hingewiesen worden war.

Sowohl die dreifachen Koinzidenzen zwischen nicht hintereinanderliegenden Zählrohren, wie auch die mit der Wilsonkammer beobachteten Doppelbahnen könnte man zwar auf andere Weise als durch eine Sekundärstrahlung zur durchdringenden Korpuskularstrahlung zu deuten versuchen. So werden z. B. die Doppelbahnen von Auger und Skobeltzyn⁶⁾ auf zwei aufeinanderfolgende Comptonprozesse, von Millikan und Anderson (a. a. O.) auf die Ausschleuderung zweier Bestandteile eines Kernes durch einen γ -Strahl zurückgeführt; während Bothe⁷⁾ auf die Möglichkeit hinweist, daß die Ultrastrahlung aus „Neutronen“ besteht, die beim Zusammenstoß mit den Atomen in ein Elektron und ein Proton aufgespalten werden.

Trifft irgendeine der hier erwähnten Hypothesen zu, dann wird das Primärteilchen (γ -Quant oder Neutron) von unseren Apparaten nicht wahrgenommen, da es kein Ionisierungsvermögen besitzt; beide assoziierte Bahnen

 entstehen gleichzeitig an einer bestimmten Stelle der Materie (oder an zwei benachbarten Stellen nach Auger und Skobeltzyn). Besteht dagegen unsere erste Hypothese zu Recht, dann müßten die beobachteten Doppelbahnen durch *Gabelung* der Bahn der ionisierenden Primärteilchen erzeugt werden.



Fig. 4.

Um zwischen diesen Möglichkeiten zu entscheiden, wurde folgendermaßen verfahren. Drei Geiger-Müllersche Zählrohre C_1 , C_2 , C_3 (2,5 cm Durchmesser, 25 cm lang) wurden nach der Fig. 4 angeordnet und ihre dreifachen Koinzidenzen gezählt, einmal mit einer 1 cm dicken Bleischicht A ($2,5 \times 30 \text{ cm}^2$) ober-

¹⁾ R. A. Millikan u. C. D. Anderson, Phys. Rev. **40**, 325, 1932.

²⁾ D. Skobeltzyn, C. R. **195**, 315, 1932.

³⁾ P. M. S. Blackett u. G. Occhialini, Nature **130**, 363, 1932.

⁴⁾ D. Skobeltzyn, ZS. f. Phys. **54**, 686, 1929.

⁵⁾ D. Skobeltzyn, C. R. **194**, 118, 1932; L. M. Mott-Smith u. G. B. Locher, Phys. Rev. **38**, 1399, 1931.

⁶⁾ P. Auger u. D. Skobeltzyn, C. R. **189**, 55, 1929.

⁷⁾ W. Bothe, Verhandl. d. D. Phys. Ges. (3) **13**, 6, 1932.

halb C_1 , einmal mit derselben Bleischicht unterhalb C_1 , und schließlich noch ohne Blei. Werden die Koinzidenzen durch eine Sekundärstrahlung zur durchdringenden Korpuskularstrahlung erzeugt, dann sollten sie sowohl mit dem Blei oberhalb als auch unterhalb des Zählrohres C_1 auftreten; entstehen sie dagegen durch die Wirkung von zwei Sekundärteilchen eines nicht ionisierenden Primärstrahls, dann sollte man die Koinzidenzen nur im ersten Falle beobachten.

Tabelle 3.

	Ohne Blei	Blei oberhalb C_1	Blei unterhalb C_1
Versuchsdauer	50h 6m	50h 14m	50h
Beobachtete Koinzidenzen . . .	339	709	511
Koinzidenzen pro Stunde	$6,75 \pm 0,37$	$14,1 \pm 0,53$	$10,2 \pm 0,45$

Das Gesamtergebnis ist in der Tabelle 3 zusammengefaßt. Das Auflösungsvermögen der Registrieranordnung beträgt etwa $1,3 \cdot 10^{-3}$ sec. Ohne Blei ist die erwartete Häufigkeit der dreifachen zufälligen Koinzidenzen etwa 3 pro Stunde; die Häufigkeit der beobachteten Koinzidenzen dagegen fällt größer aus, was auf die Erzeugung von Sekundärteilchen in den Wänden des obersten Zählrohres zurückgeführt werden kann. Die Häufigkeit der Koinzidenzen ist jedenfalls sicher größer mit dem Blei unterhalb C_1 als ohne Blei; die dreifachen Koinzidenzen werden also, wenigstens zum Teil, durch die im Blei von einer Korpuskularstrahlung ausgelöste Sekundärstrahlung erzeugt¹⁾. Der Bleischirm erzeugt immerhin eine bedeutend größere Anzahl von Koinzidenzen, wenn er sich oberhalb des Zählrohres C_1 befindet. Dadurch könnte man z. B. zur Annahme eines Gemisches von Neutronen und ionisierenden Teilchen geführt werden; zurzeit aber erscheint eine derartige Hypothese nicht zwingend, da wahrscheinlich der gefundene Unterschied durch die verschiedenen geometrischen Bedingungen der beiden Versuche erklärt werden kann. Wir werden uns daher im folgenden an die zuerst formulierte Auffassung halten, daß die dreifachen Koinzidenzen das gleichzeitige Auftreffen eines Ultra-Korpuskularstrahls und eines von ihm ausgelösten Sekundärteilchens anzeigen.

8. Das Durchdringungsvermögen der Sekundärstrahlung, die die dreifachen Koinzidenzen hervorruft, wurde in Blei in drei verschiedenen Versuchsreihen untersucht, die sich gegenseitig ergänzen und kontrollieren.

¹⁾ Dieselben Schlüsse haben neuerdings J. C. Street u. T. H. Johnson (Phys. Rev. **42**, 142, 1932) aus ähnlichen Versuchen gezogen; Heidecke dagegen (a. a. O.) findet mit drei Zählrohren so gegenübergestellt, wie in der Fig. 4, und dem Blei dazwischen keine systematischen dreifachen Koinzidenzen.

Die angewandten Versuchsanordnungen sind in den Fig. 5, 6, 7 dargestellt und sollen im folgenden der Reihe nach als Anordnung I, II, III bezeichnet werden.

Mit der Anordnung I wurde die Häufigkeit der dreifachen Koinzidenzen zwischen den Zählrohren C_1 , C_2 , C_3 (C_1 : 5 cm Durchmesser, 15 cm lang; C_2 und C_3 : 2,5 cm Durchmesser, 15 cm lang) als Funktion der Dicke der Bleischicht A gemessen, in welcher die Sekundärteilchen entstehen („Streuschicht“). Letztere war $40 \times 50 \text{ cm}^2$ groß, ihre Entfernung von den oberen Zählrohren betrug manchmal 14,6 cm, manchmal 1,2 cm.

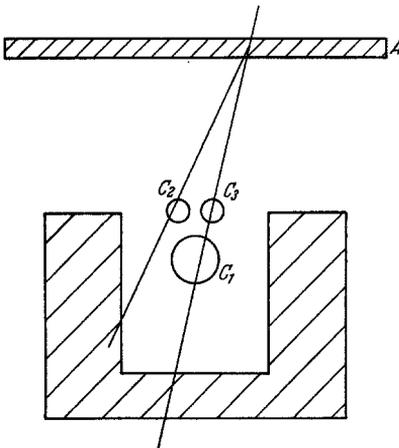


Fig. 5.

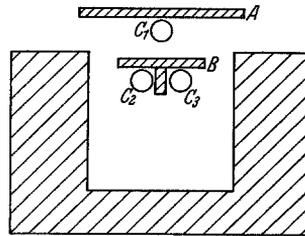


Fig. 6.

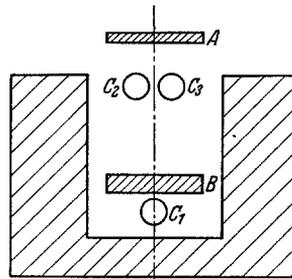


Fig. 7.

Mit den Anordnungen II und III dagegen wurde bei Konstanthalten der Dicke der Streuschicht A die Häufigkeit der Koinzidenzen als Funktion der Dicke einer zweiten Bleischicht B gemessen, die wegen ihrer besonderen Stellung zu einer vernachlässigbaren Anzahl von dreifachen Koinzidenzen Anlaß gibt und im wesentlichen nur eine Absorptionswirkung ausübt (vgl. weiter unten).

Die benutzten Zählrohre hatten 2,5 cm Durchmesser und 25 cm Länge. Bei der Anordnung II war die Streuschicht A $14 \times 25 \text{ cm}^2$, die Absorberschicht B $9 \times 26 \text{ cm}^2$ groß; zwischen C_2 und C_3 befand sich eine 1 cm dicke

Bleischicht. Bei der Anordnung III hatten die Streuschicht *A* und die Absorberschicht *B* $10 \times 33 \text{ cm}^2$. Das Auflösungsvermögen der Registrieranordnung war $0,8 \cdot 10^{-3} \text{ sec}$ bei den Versuchen mit den Anordnungen I und II; $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ sec}$ bei den Versuchen mit der Anordnung III. Die Anzahl der dreifachen zufälligen Koinzidenzen in Abwesenheit der Bleischirme war: bei der Anordnung I etwa 1 pro Stunde, bei der Anordnung II etwa 2 pro Stunde, bei der Anordnung III etwa 1,5 pro Stunde.

Die gewonnenen Resultate sind in den Tabellen 4 bis 9 zusammengefaßt, wobei die Dicken immer in g/cm^2 angegeben werden.

Tabelle 4.
Anordnung I. Bleischirm *A* in 14,6 cm Entfernung.

Schirmdicke in g/cm^2	0	2,84	5,85
Versuchsdauer	65 h 6 m	64 h 20 m	78 h 4 m
Beobachtete Koinzidenzen . . .	224	460	692
Koinzidenzen pro Stunde	$3,44 \pm 0,23$	$7,15 \pm 0,33$	$8,86 \pm 0,34$
Schirmdicke in g/cm^2	11,7	23,4	46,8
Versuchsdauer	64 h 20 m	67 h 55 m	75 h 17 m
Beobachtete Koinzidenzen . . .	862	951	672
Koinzidenzen pro Stunde	$13,39 \pm 0,46$	$14,00 \pm 0,45$	$8,92 \pm 0,34$

Tabelle 5.
Anordnung I. Bleischirm *A* in 14,6 cm Entfernung.

Schirmdicke in g/cm^2	23,4	35,1	46,8	105,3
Versuchsdauer	85 h 12 m	69 h 7 m	70 h 32 m	73 h 32 m
Beobachtete Koinzidenzen . . .	1101	752	643	467
Koinzidenzen pro Stunde . . .	$12,92 \pm 0,4$	$10,87 \pm 0,4$	$9,11 \pm 0,36$	$6,35 \pm 0,29$

Tabelle 6.
Anordnung I. Bleischirm *A* in 1,2 cm Entfernung.

Schirmdicke in g/cm^2	0	2,84	5,85	11,7
Versuchsdauer	41 h 58 m	41 h 32 m	42 h 40 m	44 h 17 m
Beobachtete Koinzidenzen . . .	110	412	761	1136
Koinzidenzen pro Stunde	$2,62 \pm 0,25$	$9,91 \pm 0,49$	$17,83 \pm 0,65$	$25,65 \pm 0,76$
Schirmdicke in g/cm^2	23,4	35,1	46,8	58,5
Versuchsdauer	42 h 57 m	43 h 24 m	42 h 39 m	40 h 35 m
Beobachtete Koinzidenzen . . .	1073	878	749	553
Koinzidenzen pro Stunde	$24,97 \pm 0,76$	$20,22 \pm 0,7$	$17,56 \pm 0,64$	$13,62 \pm 0,58$

Tabelle 7.

Anordnung II. Streuschicht *A* aus 9,9 g/cm² dickem Blei.

Dicke des Bleiabsorbers <i>B</i> in g/cm ²	0	2,84	5,85	11,7	17,55	23,4
Versuchsdauer	23 h 35 m	25 h 18 m	24 h 45 m	26 h 2 m	33 h 47 m	24 h 50 m
Beobachtete Koinzidenzen	854	602	463	376	436	250
Koinzidenzen pro Stunde	36,2 ± 1,2	23,8 ± 1	18,7 ± 0,9	14,4 ± 0,7	12,9 ± 0,6	10 ± 0,6

Tabelle 8.

Anordnung II. Ohne Streuschicht *A*.

Dicke des Bleiabsorbers <i>B</i> in g/cm ²	0	11,7	23,4
Versuchsdauer	19 h 10 m	20 h 22 m	22 h 58 m
Beobachtete Koinzidenzen	94	114	110
Koinzidenzen pro Stunde	4,9 ± 0,5	5,6 ± 0,5	4,8 ± 0,5

Tabelle 9.

Anordnung III. Streuschicht *A* aus 11,7 g/cm² dickem Blei.

Dicke des Bleiabsorbers <i>B</i> in g/cm ²	0		23,4		105,3	
	mit <i>A</i>	ohne <i>A</i>	mit <i>A</i>	ohne <i>A</i>	mit <i>A</i>	ohne <i>A</i>
Versuchsdauer	39 h 42 m	39 h 41 m	50 h 27 m	56 h 22 m	67 h 7 m	70 h 36 m
Beobachtete Koinzidenzen	912	166	645	153	272	127
Koinzidenzen pro Stunde	23,0 ± 0,76	4,2 ± 0,33	12,8 ± 0,5	2,7 ± 0,22	4,05 ± 0,25	1,8 ± 0,16
Von <i>A</i> erzeugte Koinzidenzen (pro Stunde)	18,8 ± 0,83	—	10,1 ± 0,55	—	2,25 ± 0,3	—

Wie im vorigen Versuch (§ 7) ist die Anzahl der Koinzidenzen, auch ohne Streuschicht, größer als diejenige der zufälligen; die Differenz läßt sich erklären durch die Sekundärstrahlen, die in den Wänden der Zählrohre und in der Panzerung erzeugt werden.

Die mit der Anordnung I ausgeführten Messungen (vgl. Tabellen 4, 5, 6) sind graphisch in der Fig. 8 (Kurven I und II) dargestellt; als Abszisse ist dabei die Dicke der Streuschicht *A* in g/cm² und in Zentimetern eingetragen, als Ordinate die Anzahl der dreifachen Koinzidenzen pro Stunde.

Mit zunehmender Dicke der Streuschicht nimmt zunächst die Häufigkeit der Koinzidenzen zu, wegen der Zunahme der erzeugten Sekundärteilchen. Bald aber macht sich die Wiederabsorption der Sekundärteilchen in der Streuschicht bemerkbar; die Intensität der austretenden Sekundärstrahlung (und damit die Häufigkeit der dreifachen Koinzidenzen) steigt daher immer langsamer an, geht durch ein Maximum und setzt sich endlich (bei genügend dicken Bleischichten) ins Gleichgewicht mit der Primärstrahlung. Die Stelle des Maximums wird im wesentlichen durch die Härte der Sekundärstrahlung bestimmt. Nun erreichen unsere Kurven das Maximum zwischen 10 und 20 g/cm^2 ; wir schließen daraus, daß das mittlere Durchdringungsvermögen der in Blei erzeugten Sekundärstrahlen von der Größenordnung 10 g/cm^2 ist.

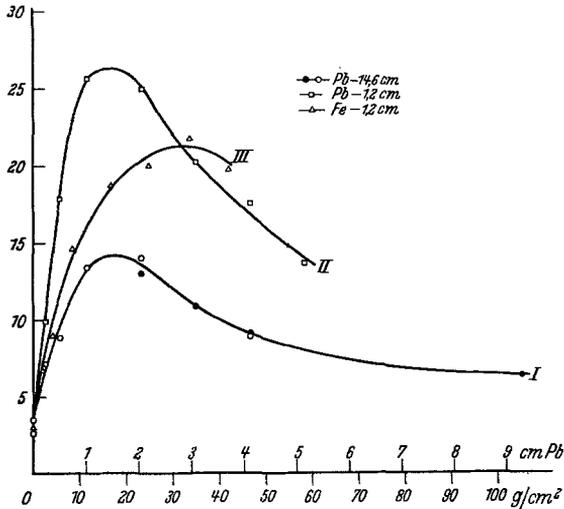


Fig. 8.

Was die Absolutzahl der dreifachen Koinzidenzen betrifft, so beträgt ihr Maximalwert bei den Messungen mit der Bleischicht in 14,6 cm Entfernung etwa 4%, bei den Messungen mit der Bleischicht in 1,2 cm Entfernung etwa 8% der Anzahl der zweifachen Koinzidenzen zwischen C_1 und C_2 (oder C_1 und C_3). Sieht man von der Absolutzahl der Koinzidenzen ab (deren Abhängigkeit von der Lage der Streuschicht A läßt sich leicht durch geometrische Überlegungen deuten), so zeigen die Kurven I und II keinen wesentlich verschiedenen Verlauf, obwohl nach der Auffassung von Heisenberg die scheinbare Härte der Sekundärstrahlung vom Winkel zwischen den beiden Bahnzweigen (und somit vom Abstand des Verzweigungs-

punktes von den Zählrohren) abhängen müßte. Vielleicht aber sind bei unseren Versuchen die geometrischen Bedingungen nicht scharf genug, um diese Abhängigkeit ans Licht zu bringen.

Bei der Anordnung II müssen die in der Bleischicht *B* entstehenden Sekundärteilchen unter einem großen Winkel zu den entsprechenden Primärbahnen wegfliegen und eine ziemlich dicke Materieschicht durchdringen, um dreifache Koinzidenzen hervorrufen zu können. Da bei so großen Emissionswinkeln die Energie eines Sekundärteilchens wahrscheinlich sehr klein ist¹⁾, so ist zu erwarten, daß die Anzahl der von der Bleischicht *B* verursachten dreifachen Koinzidenzen sehr klein ausfällt. Ohne *B* und *A*

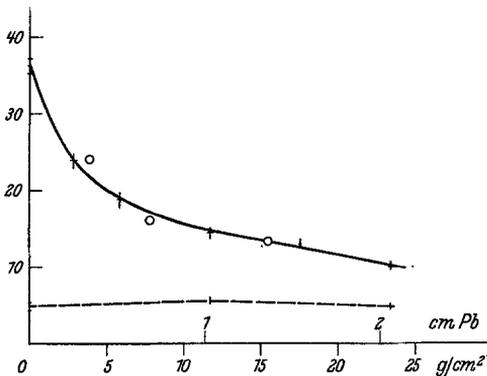


Fig. 9.

sind nun (wie schon gesagt) die beobachteten dreifachen Koinzidenzen zum Teil zufällige, zum Teil durch Sekundärstrahlen erzeugt, die in den Wänden der Zählrohre und in der Panzerung entstehen. Durch die Bleischicht *B* dürfte die Anzahl solcher Koinzidenzen etwas herabgedrückt werden; es ist anzunehmen, daß diese Abnahme durch die wenigen

Koinzidenzen nahezu kompensiert wird, welche die in *B* entstehenden Sekundärstrahlen erzeugen; denn erfahrungsgemäß (vgl. Tabelle 8) wird die Anzahl der bei Abwesenheit von *A* beobachteten Koinzidenzen nicht merklich von der Bleischicht *B* beeinflusst.

Bringt man nun die Streuschicht *A* oberhalb der Zählrohre an, so wird dadurch die Häufigkeit der schon erwähnten, auch ohne *A* auftretenden Koinzidenzen (die wir als „Nulleffekt“ bezeichnen wollen) nicht wesentlich geändert; dazu werden aber neue Koinzidenzen von den Sekundärteilchen erzeugt, die in *A* entstehen und die Absorberschicht *B* zu durchdringen vermögen. Stellt man daher graphisch (Fig. 9, ausgezogene Linie) die Häufigkeit der dreifachen Koinzidenzen als Funktion der Dicke des Absorbers *B* dar und zieht man davon den Nulleffekt ab (gestrichelte Linie), so bekommt man die Absorptionskurve der aus *A* austretenden Sekundärstrahlen. Die Kreise geben einige im Eisen gemessene Absorptionswerte für die im Blei

¹⁾ Vgl. W. Heisenberg, a. a. O.

erzeugten Sekundärstrahlen wieder. Diese Messungen wurden gleichzeitig mit den eben besprochenen Absorptionsmessungen ausgeführt, indem man die Bleischicht *B* durch eine Eisenschicht ersetzte; sie sollen weiter unten diskutiert werden.

Aus der Fig. 9 ergibt sich im Einklang zu den mit der Anordnung I gewonnenen Resultaten, daß das mittlere Durchdringungsvermögen der in Blei erzeugten Sekundärstrahlen von der Größenordnung 10 g/cm^2 ist.

Kehren wir nun zu den Kurven der Fig. 8 zurück. Ihr Abfall jenseits des Maximums ist durch die Absorption der Primärstrahlung bedingt und sollte daher, wenn die Dicke der Streuschicht *A* größer ist als das maximale Durchdringungsvermögen der Sekundärstrahlen, nach der Schwächungskurve der Primärstrahlung erfolgen, während bei kleineren Dicken von *A* offenbar ein langsamerer Abfall zu erwarten wäre. Der experimentell gefundene Abfall ist zwar anfangs viel steiler als nach der Absorptionskurve der Primärstrahlung, doch dürfte sich darin lediglich der bekannte „Übergangseffekt“ zwischen den leichtatomigen Substanzen des Gebäudedaches und dem Blei der Streuschicht äußern [vgl. die ganz ähnlichen Übergangskurven von Schindler¹⁾]. Es ist ja zu beachten, daß der Übergangseffekt sich hier bemerkbar machen muß, weil der Absorber über den Zählrohren liegt. Die Deutung dieses Effektes ist, daß die einfallende Strahlung zum Teil aus primären durchdringenden Korpuskularstrahlen, zum Teil aber auch aus Sekundärteilchen besteht, die in der darüberliegenden Materieschicht (Luft, Ziegel, Mörtel) erzeugt worden sind. Letztere werden von einigen Zentimetern Blei gänzlich absorbiert und durch die im Blei selbst neu erzeugten Sekundärstrahlen nur zum Teil ersetzt. Es könnte sein, daß der erste Abfall hier noch steiler ist als in den entsprechenden Kurven von Schindler. Dies wäre so zu deuten, daß der weichere Anteil der Primärstrahlung mehr Sekundärteilchen liefert als der härtere. Diese Deutung wird durch die mit der Anordnung III ausgeführten Messungen bestätigt. Hier ist die Anzahl der vom Absorber *B* verursachten Koinzidenzen ganz zu vernachlässigen; der Nulleffekt (zufällige Koinzidenzen und solche, die von Sekundärteilchen herrühren, welche nicht in der Streuschicht *A* entstehen) nimmt daher bei zunehmender Dicke von *B* deutlich ab. Der wichtigste Unterschied gegenüber der vorigen Versuchsanordnung ist aber folgender. Bei der Anordnung II müssen beide Korpuskel, die eine dreifache Koinzidenz erzeugen (d. h. sowohl das Primär- wie das in *A* erzeugte

¹⁾ H. Schindler, ZS. f. Phys. **72**, 625, 1931.

Sekundärteilchen), den Absorber B durchdringen; die Abnahme der Koinzidenzen bei zunehmender Absorberdicke ist also, im wesentlichen, durch die Absorption des Sekundärstrahles bedingt. Bei der Anordnung III dagegen hat nur das Primär- bzw. nur das Sekundärteilchen den Absorber zu durchsetzen, je nachdem der Fall der Fig. 10 (a) oder (b) vorliegt. Vom Absorber B werden die Koinzidenzen erster Art nach der Absorbierbarkeit der Primärstrahlung, die Koinzidenzen zweiter Art dagegen nach der Absorbierbarkeit der Sekundärstrahlung herabgedrückt. In der Tat (vgl. Tabelle 9) fällt die Häufigkeit der Koinzidenzen (abzüglich des Nulleffektes)

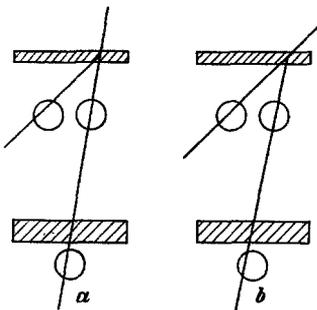


Fig. 10.

in den ersten $23,4 \text{ g/cm}^2$ Absorberdicke auf etwa die Hälfte ab; was im wesentlichen auf die weitgehende Unterdrückung der Koinzidenzen zweiter Art zurückzuführen ist. Nach $23,4 \text{ g/cm}^2$ sind fast nur Koinzidenzen erster Art übrig; für die Koinzidenzenabnahme zwischen $23,4$ und $105,3 \text{ g/cm}^2$ dürfte daher hauptsächlich die Absorbierbarkeit der Primärstrahlung verantwortlich sein. Der experimentell gefundene steile Abfall in diesem Gebiet läßt sich wieder durch

die Annahme deuten, daß der weichere Anteil der Primärstrahlung mehr Sekundärteilchen erzeugt als der härtere.

Zum Schluß sei noch darauf hingewiesen, daß durch die Geometrie der benutzten Anordnungen gewisse Winkel zwischen Primär- und Sekundärstrahl bevorzugt werden. Es ist daher möglich, wenn auch nicht sehr wahrscheinlich, daß die Ergebnisse nur für diese Winkel, nicht aber für die gesamte Sekundärstrahlung gelten. Ferner wurde bei der Diskussion die Möglichkeit außer Betracht gelassen, daß mehrere Sekundärstrahlen desselben Primärteilchens zur Wirkung kommen. Den einzigen Hinweis auf solche Vorkommnisse bieten einige der obenerwähnten Wilsonaufnahmen.

9. Mit den Anordnungen I und II wurde auch das Verhalten von Stoffen verschiedener Ordnungszahl untersucht.

Mit der Anordnung I wurde die Häufigkeitsänderung der dreifachen Koinzidenzen bei zunehmender Dicke einer Eisenschicht gemessen, die oberhalb der Zählrohre in einer Entfernung von $1,2 \text{ cm}$ (wie die Bleischicht in den Messungen der Tabelle 6) aufgestellt wurde. Die gewonnenen Resultate sind in der Tabelle 10 zusammengefaßt und in der Fig. 8 zum Vergleich mit der entsprechenden Bleikurve II graphisch dargestellt (Kurve III; als Abszisse sind g/cm^2 der Eisenschicht eingetragen). Daraus würde man

schließen, daß die Sekundärstrahlen des Eisens *durchdringender* und *weniger zahlreich* sind (bei gleicher Masse pro cm²) als die des Bleies, wie auch (nach Bothe) aus den Übergangskurven Schindlers (a. a. O.) folgt.

Hierbei handelt es sich um die Absorbierbarkeit im Eisen der im Eisen erzeugten Sekundärstrahlen und die Absorbierbarkeit im Blei der im Blei erzeugten Sekundärstrahlen. Um die Absorbierbarkeit der Sekundär-

Tabelle 10.

Anordnung I. Eisenschirm *A* in 1,2 cm Entfernung.

Schirmdicke in g/cm ²	0	1,97	4,2	8,4
Versuchsdauer	43 h 38 m	43 h 43 m	47 h 13 m	44 h 24 m
Beobachtete Koinzidenzen	132	292	425	651
Koinzidenzen pro Stunde	3,02 ± 0,27	6,68 ± 0,39	9,00 ± 0,44	14,66 ± 0,58
Schirmdicke in g/cm ²	16,8	25,2	33,6	42
Versuchsdauer	44 h 36 m	42 h 35 m	45 h 37 m	42 h 56 m
Beobachtete Koinzidenzen	834	852	992	848
Koinzidenzen pro Stunde	18,69 ± 0,65	20,00 ± 0,69	21,74 ± 0,68	19,74 ± 0,68

strahlung des Bleies im Eisen und im Blei zu vergleichen, wurden mit der Anordnung II einige Meßreihen mit Absorberschichten *B* aus Eisen (statt Blei) unter sonst denselben Bedingungen, wie die in den Tabellen 7 und 8 zusammengestellten Messungen, ausgeführt. Die Resultate sind in den Tabellen 11 und 12 angeführt und in der Fig. 9 mit den Kreisen dargestellt. Hiernach hat die Sekundärstrahlung des Bleies dieselbe Absorbierbarkeit pro Masseneinheit Eisen und Blei.

Tabelle 11.

Anordnung II. Streuschicht *A* aus 9,9 g/cm² dickem Blei.

Dicke des Eisenabsorbers <i>B</i> in g/cm ²	3,89	7,77	15,54
Versuchsdauer	25 h 19 m	23 h 37 m	24 h 15 m
Beobachtete Koinzidenzen	608	376	321
Koinzidenzen pro Stunde	24 ± 1	15,9 ± 0,8	13,2 ± 0,7

Tabelle 12.

Anordnung II. Ohne Streuschicht *A*.

Dicke des Eisenabsorbers <i>B</i> in g/cm ²	7,77	15,4
Versuchsdauer	20 h 33 m	21 h 32 m
Beobachtete Koinzidenzen	84	101
Koinzidenzen pro Stunde	4,1 ± 0,5	4,7 ± 0,5

Endlich wurden mit der Anordnung II die Koinzidenzen abwechselnd ohne Streuschicht und mit Blei-, Eisen- und Aluminiumschichten an der Stelle *A* gezählt, einmal ohne Absorber zwischen den Zählrohren, einmal mit einer Bleischicht von $5,85 \text{ g/cm}^2$ an der Stelle *B*. Die gewonnenen Resultate sind in den Tabellen 13 und 14 zusammengefaßt. Hier ist kein

Tabelle 13.

Anordnung II. Ohne Absorber *B*.

Streuschicht <i>A</i>	0	Pb $3,3 \text{ g/cm}^2$	Fe $4,03 \text{ g/cm}^2$	Al $5,5 \text{ g/cm}^2$
Versuchsdauer	46 h 14 m	42 h 48 m	49 h 58 m	45 h 46 m
Beobachtete Koinzidenzen . .	261	873	736	555
Koinzidenzen pro Stunde . .	$5,6 \pm 0,35$	$20,4 \pm 0,7$	$14,7 \pm 0,55$	$12,1 \pm 0,51$
Von <i>A</i> erzeugte Koinzidenzen (pro Stunde)	—	$14,8 \pm 0,78$	$9,1 \pm 0,65$	$6,5 \pm 0,62$

Tabelle 14.

Anordnung II. Absorber *B* aus $5,85 \text{ g/cm}^2$ dickem Blei.

Streuschicht <i>A</i>	0	Pb $3,3 \text{ g/cm}^2$	Fe $4,03 \text{ g/cm}^2$	Al $5,5 \text{ g/cm}^2$
Versuchsdauer	45 h 35 m	42 h 14 m	45 h 54 m	42 h 17 m
Beobachtete Koinzidenzen . .	270	498	437	347
Koinzidenzen pro Stunde . .	$5,9 \pm 0,36$	$11,8 \pm 0,53$	$9,5 \pm 0,45$	$8,2 \pm 0,44$
Von <i>A</i> erzeugte Koinzidenzen (pro Stunde)	—	$5,9 \pm 0,64$	$3,6 \pm 0,58$	$2,3 \pm 0,57$

Unterschied zwischen den Absorbierbarkeiten im Blei der Sekundärstrahlen des Bleies, Eisens, Aluminiums zu beobachten, im Gegensatz zu dem, was man nach den vorigen Resultaten erwarten dürfte. Eine sichere Deutung für diesen Widerspruch steht noch aus, vielleicht spielt dabei die Diffusion der weicheren Sekundärstrahlen in den hochatomigen Substanzen, deren Wirkung verschieden je nach den geometrischen Versuchsbedingungen ausfallen kann, eine gewisse Rolle.

IV. Einfluß der Sekundärstrahlung auf Ultrastrahlungsmessungen.

10. Der Einfluß der Sekundärstrahlung auf die beobachteten Ultrastrahlungserscheinungen wird sehr verschieden ausfallen je nach den angewandten Meßapparaten.

Mit der Ionisationsmethode mißt man einfach die Summe der im Ionisationsgefäß von den Primär- und Sekundärstrahlen erzeugten Ionisation. Die Abhängigkeit der Gleichgewichtsmenge der Sekundärstrahlung

von der Ordnungszahl des absorbierenden Materials macht sich durch die „Übergangseffekte“¹⁾ bemerkbar.

Mit dem Geiger-Müllerschen Zählrohr mißt man die Gesamtzahl der Primär- plus Sekundärteilchen, die durch das Zählrohr gehen, falls sich darüber keine dicke Materieschicht befindet, so daß praktisch alle beobachteten Sekundärstrahlen in sehr großer Entfernung vom Zählrohr erzeugt werden. Wenn dagegen eine Absorberschicht unweit oberhalb des Zählrohres liegt, dann entziehen sich (wie es von Bothe bemerkt wurde) mehrere Sekundärteilchen der Beobachtung, indem sie das Zählrohr zusammen mit den sie erzeugenden Primärstrahlen durchsetzen.

Bei der Koinzidenzmethode, in Abwesenheit jedes Absorbers, mißt man die Gesamtzahl der Teilchen, die die beiden Zählrohre durchsetzen. Ziemlich kompliziert sind die Verhältnisse, wenn sich eine Absorberschicht unweit oberhalb der Zählrohre (oder dazwischen) befindet. Hier kann man offenbar die Zahl der beobachteten Koinzidenzen gewinnen, indem man von der Gesamtzahl der Primär- und Sekundärteilchen, die die beiden Zählrohre durchsetzen, die Anzahl solcher Strahlen abzieht, die im Absorber ein Sekundärteilchen erzeugen, welches gleichfalls beide Zählrohre durchsetzt, so daß der Primär- und der Sekundärstrahl zusammen als ein einziger Strahl gezählt werden (Fig. 11 a), und andererseits die Anzahl der Strahlen hinzufügt, die *nur ein* Zählrohr durchsetzen und im Absorber ein Sekundärteilchen erzeugen, welches durch das andere Zählrohr geht (Fig. 11 b).

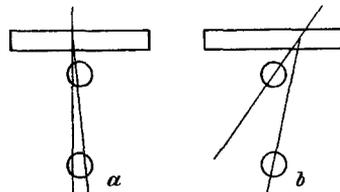


Fig. 11.

Wenn der Absorber sich zwischen den Zählrohren befindet, können die im Absorber entstehenden Sekundärstrahlen nicht beide Zählrohre durchsetzen. Wenn außerdem der Absorber dicht oberhalb des unteren Zählrohres liegt und seine Breite den Durchmesser dieses Zählrohres nicht übertrifft, so ist auch praktisch die Zahl der Koinzidenzen zu vernachlässigen, die beim Durchgang des Primärteilchens durch das obere allein und eines im Absorber erzeugten Sekundärteilchens durch das untere Zählrohr auftreten (Fig. 12 a), so daß die Zahl der Koinzidenzen (wie in Abwesenheit des Absorbers) im großen und ganzen die Zahl der primären und sekundären Teilchen wiedergibt, welche beide Zählrohre durchsetzen.

¹⁾ Vgl. z. B. H. Schindler, a. a. O.

Dies ist nicht mehr der Fall, wenn der Absorber breiter als das untere Zählrohr ist (Fig. 12b), wie der folgende Versuch beweist.

Mit der in Fig. 13 dargestellten Anordnung (C_1 und C_2 sind zwei Geiger-Müllersche Zählrohre von 2,5 cm Durchmesser, 25 cm Länge) wurden die Koinzidenzen gezählt einmal mit einer 10 cm breiten, einmal mit einer nur 2,5 cm breiten Bleischicht zwischen den Zählrohren; in beiden Fällen war die Dicke der Bleischicht $23,4 \text{ g/cm}^2$, und ihre Entfernung vom unteren Zählrohr betrug 1 cm. Im ersten Falle wurden in 42 Stunden 34 Minuten 6098 systematische Koinzidenzen gezählt; im zweiten Falle in derselben Zeit nur 5640. Bei der angewandten Anordnung werden also $(7,5 \pm 2)\%$ der mit dem breiten Absorber beobachteten Koinzidenzen durch die im Blei ausgelösten Sekundärstrahlen erzeugt.

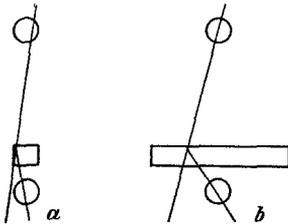


Fig. 12.

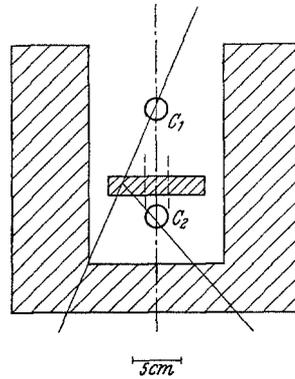


Fig. 13.

Noch größer fällt die Zahl der Sekundärkoinzidenzen aus, wenn der Absorber sich oberhalb der beiden Zählrohre befindet. Mit der eben beschriebenen Anordnung wurden nämlich $(10 \pm 1)\%$ mehr Koinzidenzen mit einer $23,4 \text{ g/cm}^2$ dicken, $40 \times 100 \text{ cm}^2$ großen Bleischicht oberhalb der Zählrohre (in 5,8 cm Entfernung von C_1) als mit der schon angewandten $23,4 \text{ g/cm}^2$ dicken, $10 \times 30 \text{ cm}^2$ großen Bleischicht dazwischen gezählt. (Bei diesem Vergleich war die Strahlung durch eine 8 cm dicke, 20 cm breite und 150 cm lange Bleischicht vorgefiltert, die sich oberhalb des Panzers in einer Entfernung von 14 cm vom oberen Zählrohr befand.) Dieses Ergebnis läßt sich zwanglos durch die Überlegung deuten, daß die im oberen Absorber erzeugten Sekundärstrahlen auf dreierlei Weisen zusätzliche Koinzidenzen erzeugen können, wie in der Fig. 14 gezeigt wird. Für die

im unteren Absorber erzeugten Sekundärstrahlen gibt es dagegen nur die in der Fig. 12b dargestellte Möglichkeit.

In etwas schwächerem Grade $[(4 \pm 1)\%]$ hatte sich die jetzt gefundene Differenz schon bei früheren ähnlichen Messungen des Verfassers gezeigt. Damals lag es nahe, sie auf die Wirkung einer schwachen Ultra- γ -Strahlung zurückzuführen, obwohl auch die Möglichkeit ausdrücklich besprochen wurde, sie durch eine Sekundärstrahlung der durchdringenden Korpuskularstrahlung zu erklären. Es leuchtet nun ein, daß eben diese letzte Erklärung zu Recht besteht.

Einige weitere Versuche zeigten ebenfalls den bedeutenden Einfluß, welchen die im Absorber oder in der Panzerung erzeugten Sekundärstrahlen auf die Häufigkeit der zweifachen Koinzidenzen ausüben können:

a) Mit der in Fig. 5 dargestellten Anordnung wurden die zweifachen Koinzidenzen zwischen dem unteren und einem der oberen Zählrohre gezählt, mit Bleischichten verschiedener Dicke in 1,2 cm oder in 14,6 cm Ent-

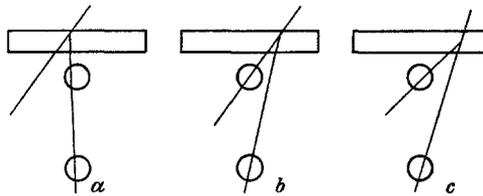


Fig. 14.

fernung von den oberen Zählrohren. Bei zunehmender Dicke des Absorbers beobachtet man zunächst in beiden Fällen eine *Zunahme* statt eine Abnahme der Koinzidenzen, da die Absorption der einfallenden Strahlen durch die Wirkung der im Absorber erzeugten Sekundärstrahlen überkompensiert wird, ebenso wie in den entsprechenden Übergangskurven von Schindler (a. a. O.).

b) Mit der in Fig. 6 dargestellten Anordnung wurden nach Entfernung des Zählrohres C_1 und des Absorbers B die Koinzidenzen zwischen C_2 und C_3 einmal in Abwesenheit der Streuschicht A , einmal mit einer $9,9 \text{ g/cm}^2$ dicken Bleischicht an der Stelle A gezählt. Im ersten Falle ergaben sich 60 ± 3 Koinzidenzen pro Stunde, im zweiten Falle 129 ± 5 . Mit der Bleischicht über den Zählrohren übertrifft also die Anzahl der Koinzidenzen, die beim Durchgang des Primärteilchens durch das eine Zählrohr und eines im Blei erzeugten Sekundärteilchens durch das andere Zählrohr stattfinden, die Anzahl der Koinzidenzen, die vom Durchgang einer und derselben Korpuskel durch die beiden Zählrohre erzeugt werden.

c) Mit der in Fig. 13 dargestellten Anordnung wurde die „Absorptionskurve der Korpuskularstrahlung“ zwischen 0 und 6 cm Blei aufgenommen durch Zählung der Koinzidenzen, die mit Bleischichten verschiedener Dicke zwischen den Zählrohren auftreten. Die einfallende Strahlung war dabei durch 8 cm Blei vorgefiltert. Die gewonnenen Resultate sind aus der Fig. 15 ersichtlich, wo die Häufigkeit der systematischen Koinzidenzen als Funktion der Absorberdicke aufgetragen ist. Der anomal steile Abfall der Kurve in den ersten Zentimetern zeigt, daß am Anfang die Häufigkeit der Koinzidenzen stärker als die Anzahl der primären Korpuskularstrahlen herabgedrückt wird. Obwohl die Dicke des Bleifilters genügt, um das für das Blei charakteristische Gleichgewicht zwischen Primär- und Sekundärstrahlung herzustellen, findet hier also eine dem „Übergangseffekt“ ähnliche

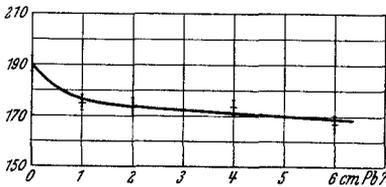


Fig. 15.

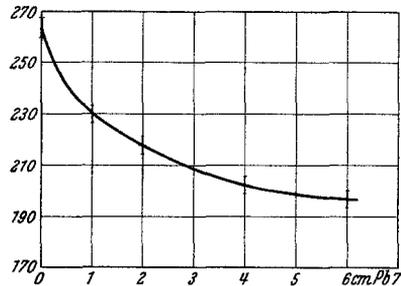


Fig. 16.

Erscheinung statt, die auf der verschiedenen Wirkung der über den Zählrohren bzw. zwischen denselben erzeugten Sekundärstrahlen zurückzuführen ist (vgl. oben). Diese Erscheinung hatte sich schon bei den im zweiten Abschnitt besprochenen Absorptionsmessungen bemerkbar gemacht; hierbei sei wieder darauf hingewiesen, daß die Anomalie nur für die ersten Zentimeter des Absorbers auftritt, so daß die aus den Absorptionsmessungen gezogenen Schlüsse dadurch keinesfalls berührt werden.

11. Mit derselben Anordnung (Fig. 13) wurde nach Abheben des oberen Bleifilters auch die Absorptionskurve der *ungefilterten* Korpuskularstrahlung aufgenommen. Fig. 16 stellt die unmittelbaren Versuchsergebnisse dar (Abszisse: Dicke der zwischen den Zählrohren liegenden Bleischicht in Zentimeter; Ordinate: Anzahl der systematischen Koinzidenzen pro Stunde). Hieran ist noch eine Korrektur anzubringen, wegen der Koinzidenzen, welche beim Durchgang eines Primärstrahls durch das obere und eines im Absorber erzeugten Sekundärstrahls durch das untere Zählrohr entstehen (der Absorber war nämlich 10 cm breit). Die ungefähre Größe dieser

Korrektion kann aus einem schon besprochenen Versuch (vgl. § 10) entnommen werden; die korrigierte Anzahl von Koinzidenzen stellt dann nach dem oben Gesagten die Anzahl der ankommenden Primär- und Sekundärteilchen dar, die die dazwischenliegende Bleischicht durchdringen können. Der steile Abfall in den ersten Zentimetern Blei ist offenbar auf die Absorption der Sekundärstrahlung zurückzuführen, welche mit den primären Korpuskularstrahlen in Gleichgewicht steht. Daraus kann man abschätzen, daß etwa ein Viertel der von den Medien niedriger Ordnungszahl (welche über der Zählordnung liegen) ankommenden Korpuskularstrahlen sekundären Ursprungs ist, was gut mit den Heisenbergschen Rechnungen übereinstimmt (a. a. O.). Die Übergangskurven von Schindler (a. a. O.) scheinen einen etwas höheren Prozentsatz von Sekundärstrahlen zu zeigen; dieser Unterschied ist wahrscheinlich dadurch zu erklären, daß die Sekundärstrahlen ein größeres Ionisierungsvermögen als die Primärstrahlen besitzen. (Bei Schindler wird nämlich die *Ionisation*, bei uns die *Anzahl* der Teilchen gemessen.)

Der Anteil an Sekundärteilchen ist allerdings stark von der Beobachtungsrichtung abhängig, wie aus einem früheren Versuch des Verfassers hervorgeht, welcher gezeigt hat, daß die Korpuskularstrahlung weicher unter einem Zenitalwinkel von 60° als in vertikaler Richtung erscheint¹⁾. Dies wurde neuerdings durch die folgende Absorptionsmessung nachgeprüft. Zwei Geiger-Müllersche Zählrohre von 2,5 cm Durchmesser, 25 cm lang, wurden nebeneinander in einer Horizontalebene aufgestellt; der gegenseitige Abstand (von Achse zu Achse gemessen) betrug 8,4 cm, so daß die maximale Neigung zur Horizontalebene der Korpuskularbahnen, die die Koinzidenzen hervorrufen konnten, etwa 17° war. Die Koinzidenzen wurden abwechselnd ohne Absorber und mit 5 cm Blei zwischen den Zählrohren gezählt. Ohne Absorber wurden 20,7 systematische Koinzidenzen pro Stunde gezählt, mit 5 cm Blei zwischen den Zählrohren nur 7,65 pro Stunde. Die Absorbierbarkeit der Korpuskularstrahlung in 5 cm Blei ergibt sich daraus (unter Berücksichtigung der statistischen Schwankungen) zu $(63 \pm 4,8)\%$. Die Größe der Absorbierbarkeit zeigt ganz eindeutig, daß bei sehr schiefen Einfallswinkeln der Hauptteil der Korpuskularstrahlung aus Sekundärstrahlen besteht.

Zusammenfassung.

Die Absorbierbarkeit der durchdringenden Korpuskularstrahlung wurde mit der Koinzidenzmethode bis zu einer Absorberdicke von 101 cm Blei

¹⁾ B. Rossi, Nature **128**, 408, 1931.

untersucht. Innerhalb der Meßgenauigkeit stimmt diese Absorbierbarkeit mit der von anderer Seite gemessenen Absorbierbarkeit der gesamten Ultrastrahlung überein. Dies ist, was man erwarten muß, wenn die primäre Ultrastrahlung selbst eine Korpuskularstrahlung ist; das Versuchsergebnis wäre dagegen sehr schwer zu erklären, wenn man die Primärstrahlung als eine Ultra- γ -Strahlung ansehen wollte.

Das Entstehen von Sekundärteilchen in der von den Ultrakorpuskularstrahlen durchstrahlten Materie wurde direkt nachgewiesen; das mittlere Durchdringungsvermögen dieser Sekundärteilchen ergab sich von der Größenordnung eines Zentimeters Blei.

Aufschlüsse über die relative Anzahl der in Stoffen verschiedener Ordnungszahl erzeugten Sekundärstrahlen, wie auch über die Beteiligung der verschiedenen Komponenten der Primärstrahlung an der Sekundäremission wurden erhalten. Der Einfluß der Sekundärstrahlung auf verschiedene Versuche, insbesondere auf Absorptionsmessungen an der Ultrakorpuskularstrahlung, wurde untersucht.

Der ungefähre Prozentsatz von Sekundärstrahlen in der ankommenden Korpuskularstrahlung bei nahezu vertikaler Einfallsrichtung wurde bestimmt, und es wurde bewiesen, daß dieser Prozentsatz mit zunehmendem Einfallswinkel stark zunimmt.

Die vorliegenden Versuche wurden mit vom „Consiglio Nazionale delle Ricerche“ gewährten Mitteln durchgeführt.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. W. Bothe, Herrn Prof. W. Heisenberg und Herrn Prof. E. Fermi für mehrfache, anregende Diskussionen meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Firenze, Arcetri, November 1932.
