

Werk

Jahr: 1927

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:3

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0003

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0003

LOG Id: LOG_0037

LOG Titel: Versuche über die durchdringende Strahlung

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Versuche über die durchdringende Strahlung.

Von Konrad Büttner, Potsdam. — (Mit elf Abbildungen.)

I. Teil: Strahlen irdischer Herkunft. § 1. Die Apparate, deren Konstanten und Beeinflussung durch äußere Umstände werden beschrieben. Im Steinsalzbergwerk geht von einem Ra-Präparat dieselbe γ -Strahlenwirkung aus, wie in Göttingen, so daß der radioaktive Zerfall auch durch Höhenstrahlung nicht merklich beeinflusst erscheint. § 2. Die Eigenstrahlung (Strahlung des Gefäßes) ist zeitlich konstant. Der von ihr erzeugte Ionenstrom wächst mit der Spannung; Grund hierfür ist die mangelnde Sättigung des von den α -Strahlen erzeugten Stromes. Das benutzte Panzerblei erweist sich praktisch γ -strahlenfrei. § 3. Wirkung von Schneefällen. Die Abnahme der Erdstrahlung mit der Höhe entspricht der theoretischen Berechnung. Starke Einflüsse von Streuung fehlen. — II. Teil: Die Höhenstrahlung. § 4. Die Flugzeugmessungen der Höhenstrahlung ergeben gleiche Werte wie die im Freiballon von Hess und Kolhörster. Flugzeug- und Hochgebirgsbeobachtungen haben gleiche Resultate. Aus dem Verhältnis der Empfindlichkeiten zweier Apparate gegen γ - und Höhenstrahlung zeigt sich eine Ähnlichkeit der Höhenstrahlung mit harter γ -Strahlung. § 5. Die tägliche Periode wurde in Göttingen (Ergebnis unsicher) und an zwei Stellen in den Alpen gemessen. Die Versuche stimmen untereinander überein. § 6. Absorptionsmessungen in Wasser und Eis bestätigen die bisherigen Ergebnisse. Versuche mit Bleipanzern in vier verschiedenen Höhen und bei verschiedenen dicken überlagernden Eisschichten ergeben quantitative Werte für den Absorptionskoeffizienten in Blei. Sie betragen $\frac{\mu}{\rho_{\text{Pb}}} = 12.4 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ bis $3.4 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$. Die Koeffizienten werden kleiner, wenn durch Verstärkung der überlagernden Materie die Intensität der Höhenstrahlung abnimmt („Härtung“). Mit der Annahme, daß bei weiter verringerter Intensität die Härtung noch weiter geht, ist der sehr kleine μ -Wert erklärbar, den Hoffmann hinter dicken Bleipanzern fand. § 7. Bleipanzerversuche auf einem Gletscher zeigen einen starken Richtungseffekt. Theoretisch und experimentell wird gezeigt, daß, in Abänderung einer Theorie Millikans, weiche Streustrahlen (weder als γ -Strahlen noch als bewegte Elektronen) praktisch nicht nachweisbar sind.

I. Teil: Strahlen irdischer Herkunft.

Unter den Strahlenarten, die ein in dicke Metallwände eingeschlossenes Gasvolumen zu ionisieren vermögen, nimmt die durchdringende Höhenstrahlung unstreitig eine Sonderstellung ein. Ihr ist das Hauptinteresse der Arbeit gewidmet (Teil II). In diesem Teile werden eine Reihe von Versuchen mitgeteilt, die sich mit den Strahlenarten befassen, die von bekannten irdischen radioaktiven Erregern stammen. Es galt hierbei zunächst, im Hinblick auf die späteren Gebirgsmessungen die nötigen Geländeerfahrungen zu erhalten und die Brauchbarkeit der Instrumente an bekannteren Problemen zu prüfen. Es galt aber auch einige Effekte zu studieren, die störend auf die Messung der Höhenstrahlung einwirken konnten. Es gelang der Nachweis, daß der bei allen Versuchen als Zusatzglied mit gemessene Ionisationsstrom der Eigenstrahlung, d. h. der Strahlung der Wände des Ionisationsraums, wegen mangelnder Sättigung in systematischer Weise von der Spannung des

Elektrometers abhängt; ferner, daß das Blei des später (Teil II) benutzten Panzers praktisch γ -strahlungsfrei ist. Nichtbeachtung dieser Tatsachen hätte wahrscheinlich die Unmöglichkeit der Angabe von Absolutzahlen für Höhenstrahlung zur Folge gehabt. Verschiedene, die Erdstrahlung berührende Einflüsse, insbesondere deren Abnahme mit der Höhe, wurden untersucht.

§ 1. Die Apparate. Die durchdringende Strahlung, zusammen mit der Eigenstrahlung des Apparats bewirkt bekanntlich eine dauernde Ionisation aller Gase. So zeigt sich in jedem geschlossenen Gefäß, das eine isolierte Innenelektrode enthält, ein dauernder, schon bei niedriger Spannung gesättigter Strom i , der bei den von mir benutzten Apparaten die Stärke von beiläufig 10^{-15} Amp. hat. Es ist $i = N \cdot e \cdot V$, wenn e das elektrische Elementarquantum, V das Gefäßvolumen und N die Zahl der in der Raum- und Zeiteinheit im Gefäß gebildeten Ionenpaare ist. Es ist üblich, diesen tatsächlich gemessenen Strom i darzustellen durch die Zahl N ; als Einheit dient dann 1 J , d. h. 1 Ionenpaar erzeugt pro Kubikzentimeter und Sekunde. Der Elektrizitätsverlust über den Isolator spielt praktisch keine Rolle, ebensowenig wirken die β -Strahlen der Umgebung, da die Gefäßwände für sie zu dick sind. Besonders vielseitige Verwendung (Laboratorium, Flugzeug, Bergwerk, Wasser, Hochgebirge) ist möglich bei den Apparaten mit Zweifadenelektrometern als Innenelektroden, wie sie von Wulf und später Kolhörster gebaut und oft beschrieben sind^{2) 4)}. Die von mir verwandten Instrumente dieser Art seien durch folgende Angaben charakterisiert:

Tabelle 1. Die Apparate.

Bezeichnung	Nummer	Volumen cm	Kapazität cm	Wandung cm	Eigenstrahlung J	Evesche Zahl Ionenpaare $\text{cm}^{-1} \text{g}^{-1} \text{sec}^{-1}$	
A	Günther	4833	4000	0.95	0.3 Zn	2.5 bis 2.7	$4.7 \cdot 10^9$
	&						
B	Tegetmeyer	5127	4100	0.82	0.3 Zn + Papier	3.5 „ 3.8	$3.7 \cdot 10^9$

A hat magnetische, B mechanische Ladesonde; A ein Wulf-Kolhörster-Elektrometer mit Nickelstahl-Quarz-Temperaturkompensation, B ein Kolhörstersches Quarzschlingenelektrometer.

Zur Strahlungsmessung wird der Ausschlag des auf etwa 100 bis 300 Volt geladenen Elektrometers alle $1/2$ bis 3 Stunden abgelesen. Aus dem so bekannten Abfall der Spannung in der Zeiteinheit läßt sich dann mit Hilfe der Instrumentkonstanten (Kapazität und Gasvolumen) der Ionenstrom in J berechnen. Zur Erhöhung der Ablesegenauigkeit wurden meist äußere und innere Ränder der beiden Elektrometerfäden an der Okularskala abgelesen. Da die Fadenbreite ja konstant ist, konnte hierdurch die Ablesegenauigkeit (etwa 0.2 Skalenteile oder 0.3 Volt) geprüft werden. Die Strahlungsangaben sind im allgemeinen auf 0.1 bis 0.2 J (s. § 5) genau. Die Voltempfindlichkeit der Elektrometer wurde mit Anodenbatterien und einem Siemens-Halske-Präzisionsvoltmeter oft gemessen. Sie hat sich bei Apparat A seit 1922 praktisch nicht geändert.

Die Geradlinigkeit der auf Volt reduzierten Abfallkurve des Elektrometerausschlags bei konstanter äußerer Strahlung (Radium) ist übrigens ein scharfes Prüfmittel für die Richtigkeit der Volteichung.

Ein Einfluß der seitlichen Neigung der Elektrometer auf deren Ausschlagsweite bei gegebener Spannung war nicht festzustellen. Eichungen bei $+5^{\circ}$ und $+26^{\circ}\text{C}$ ergaben bei Apparat A keinen merkbaren Temperatureffekt (bei 21° Erhöhung weniger als 0.1 Proz. Änderung der Empfindlichkeit); dagegen zeigt sich, wohl als Wirkung der Kompensation bei starker schneller Temperaturänderung, eine Schwankung der Ausschläge, die in 10 bis 20 Minuten verschwindet.

Die Kapazität der Elektrometer wurde vom Hersteller, Günther & Tegetmeyer in Braunschweig, mit einem von der P. T. R. geeichten Harnskondensator bestimmt und von mir mit einem Gerdienkondensator nachgeprüft.

Die Evesche Zahl¹⁾, die die Empfindlichkeit eines Instruments gegen Radium- γ -Strahlen ausdrückt, wurde mit Radiummengen von 0.1 bis 2 mg in Entfernungen von $\frac{1}{2}$, 1, 2, 10 m gemessen bei möglichster Vermeidung der in der Umgebung an Wänden, Tischen usw. erzeugten Streustrahlen⁶⁾. Als Normaldiente ein von der Chininfabrik Braunschweig geeichtes 0.1-mg-Präparat. Neben dieser schwierigen, leicht durch Sekundärstrahlen gestörten absoluten Methode wurde oft eine nur relative Bestimmung der γ -Strahlenempfindlichkeit benutzt. Ein 0.1-mg-Präparat wurde in stets derselben Lage unmittelbar auf den Apparat gesetzt; hierbei sind Störungen durch Streustrahlen praktisch ausgeschlossen. Bei einer Wiederholung dieser Eichungen im Steinsalzbergwerk „Wittekind“ in Volpriehausen, gelegentlich der Eigenstrahlungsbestimmung (s. § 2), ergab die relative Methode genau denselben Wert wie in Göttingen, die absolute einen etwas (6 Proz.) kleineren. Bei den beschränkten Raumverhältnissen im Schacht ist eine Störung bei der absoluten Messung leicht möglich. Aus der Übereinstimmung in der relativen Bestimmung muß auf die Gleichheit der Intensität der γ -Strahlung eines Ra-Präparats hier und an der Erdoberfläche geschlossen werden. Im Steinsalz fehlt nun aber alle äußere Strahlung, auch die Höhenstrahlung; die Messung widerspricht daher der neuerdings³⁾ wieder vermuteten Beeinflussung des radioaktiven Zerfalls durch äußere, besonders Höhenstrahlung.

Bei Apparat B ging die Evesche Zahl durch Innenauskleidung mit ganz dünnem Papier von 5.5 auf $3.7 \cdot 10^9$ Ionenpaare $\text{cm}^{-1} \text{g}^{-1} \text{sec}^{-1}$ herunter. Man erkennt hier die starke Beteiligung weicher Sekundärstrahlen an der Ionisation des Gases. Ähnliches gilt in geringerem Maße auch für die Höhenstrahlung (s. § 4).

§ 2. Die Eigenstrahlung. Nach unserer derzeitigen Kenntnis dürfte der nach Abschirmung aller äußeren Strahlung in den Gefäßen verbleibende Reststrom wirklich auf Eigenstrahlung beruhen, d. h. zum größten Teile von den α -Strahlen herrühren, die die Gefäßwände verlassen. Er muß daher bei gut

verschlossenem Gefäß über lange Zeiten konstant sein⁴⁾. Für die beiden Apparate wurde die Restionisation mehrfach untersucht, Februar und Juli 1926 im Steinsalzbergwerk, Juni 1926 im Tiefen See bei Potsdam und September 1926 in der Eishöhle im Eigergletscher (nur Apparat A). Dort mußte allerdings erst eine Felsstrahlung von etwa 1 J durch Bleipanzern abgeschirmt werden. Es zeigte sich durchweg völlige zeitliche Konstanz der Eigenstrahlung (bis auf 0.2 J).

Im Salzbergwerk „Wittekind“ in Volpriehausen i. Hann. (Direktor Berg-assessor Albrecht) wurde in der 540-m-Sohle in einem vom Verkehr abgelegenen Blindschacht beobachtet, der allseitig von mehreren 100 m älterem Steinsalz umgeben war. Die mehrtägigen Beobachtungen im Februar ergaben zunächst als Absolutwerte der Eigenstrahlung bei mittlerer Spannung 2.5 J für A und 10 J für B.

Bei längeren Meßreihen in Göttingen und Dorfmark i. Hann., bei denen die äußere Strahlung durch Gebäude oder Blei- und Eisenschirme möglichst konstant gehalten wurde, hatte sich ein Sinken des Ionenstromes mit abnehmender Spannung des Elektrometers gezeigt. Da für γ -Strahlen stets Sättigungsspannung herrschte, lag es nahe, diese aus über 300 Einzelwerten gefolgerte Abhängigkeit von Ionisationsstrom und Spannung dem Verhalten der Eigenstrahlung zuzuschreiben. Dies konnte im Bergwerk bestätigt werden, da sich dort, wo ja nur Eigenstrahlung wirkt, die gleiche Erscheinung zeigte*).

Die einfachste Erklärung hierfür liegt wohl darin, daß für die verwandten Spannungen der durch α -Strahlen erzeugte Ionenstrom noch gar nicht gesättigt ist. Die Säulenionisation, die bei α -Strahlen längs ihrer Bahn auftritt, bringt es mit sich, daß für Feldstärken von 30 bis 10 Volt/cm, wie sie im Mittel während der Messung in den Instrumenten herrschen, der Strom um 11 Proz., nämlich von 80 Proz. auf 72 Proz. des Wertes für volle Sättigung abnimmt [nach den Arbeiten von Moulin¹⁾]. Für die Apparate mußte also der Reststrom als α -Strahlenstrom in diesem Gebiet von 2.6 auf 2.4 J für A, für B wegen der damals viel stärkeren Eigenstrahlung (s. unten) noch mehr sinken. — Starke unregelmäßige Erhöhung der Strahlung zeigte sich damals zuweilen bei Apparat A für Spannungen oberhalb 220 Volt. Wahrscheinlich handelt es sich dabei um dielektrische und mechanische Nachwirkungen des Isolators bzw. Elektrometers. Bei Apparat B scheint damals vor der Papierauskleidung (s. unten) auch eine geringe Isolatorleitfähigkeit (entsprechend etwa $2 \cdot 10^{17}$ Ohm) bestanden zu haben. Näheres hierüber wurde schon in meiner ersten vorläufigen Mitteilung¹⁷⁾ berichtet.

Die reichlich hohe Eigenstrahlung von Apparat B konnte ich im Mai 1926 — zum Teil mit den Hilfsmitteln des zweiten Physikalischen Instituts in Göttingen — durch Innenauskleidung der Wände mit dünnem Schreibmaschinenpapier auf 3.5 J herabsetzen.

^{*)} Im Februar 1927 konnte mit beiden inzwischen neu gereinigten Apparaten derselbe Effekt im Bergwerk beobachtet werden.

Im Folgenden ist bei allen Angaben von der Gesamtstrahlung die Eigenstrahlung, der Spannung entsprechend, abgezogen worden.

Tabelle 2.

Ionisation durch Eigenstrahlung bei verschiedenen Spannungen.

Volt	100	150	200	250
Eigenstrahlungsstrom A	2.35	2.43	2.50	2.57 <i>J</i>
„ B	3.3	3.4	3.5	3.6 <i>J</i>

Es sei noch bemerkt, daß es unmöglich war, aus Schwankungserscheinungen den Charakter der Eigenstrahlung als α -Strahlung zu zeigen. Nach einer Berechnung und nach Messungen ist nämlich für diese und für die Fehlerschwankung der gleiche Betrag, etwa 0.1 *J*, zu erwarten.

Für die Absorptionsversuche war ein Panzermaterial hohen Atomgewichtes nötig (s. § 6). Da Quecksilber im Gelände kaum brauchbar ist, mußte Blei genommen werden, dessen Isotope RaD aber durch ihre γ -Strahlen vielleicht die Messungen stören konnte. Zur Prüfung wurde im Steinsalzbergwerk die Strahlung gemessen, einmal im ungepanzerten Instrument, dann mit 2 bzw. 3 cm Blei. Es ergab sich hierdurch keine die Meßfehlergrenze (0.1 *J*) übersteigende Strahlungsänderung. Es muß also auf Strahlungsfreiheit sowohl des Panzerbleies als auch des Steinsalzes geschlossen werden. Der Bleipanzer wurde dann später zu den unten zu beschreibenden Versuchen verwandt. Das mindestens 20 Jahre alte Blei war so gegossen, daß die einzelnen transportablen Stücke Panzer von 2; 3 und ineinandergesetzt 5 cm Dicke bildeten, die um beide Apparate paßten.

Es sei hier als Ergänzung zu meinem zusammenfassenden Bericht⁵⁾ darauf hingewiesen, daß wir im Wasser von Seen, Eis von Gletschern und vor allem Steinsalz praktisch völlig strahlungsfreie Substanzen haben. Gegen die Ansicht Hoffmanns¹⁴⁾ und Millikans²¹⁾, daß Seewasser strahlungsverdächtig sei, ist neben meinen Messungen, die für die Reststrahlung in verschiedenem Material stets den gleichen Betrag ergaben (s. oben), anzuführen, daß (nach einer Berechnung Kolhörsters) selbst Wasser von so hoher Aktivität wie der Karlsbader Sprudel (10^{-13} g Ra/g H₂O) nur 0.1 *J* Strahlung, die eben merkbar wäre, ergibt. Selbst destilliertes Wasser ist stärker aktiv als Seewasser⁸⁾. Bisher wurde bei solchen Rechnungen die Streuung im Wasser vernachlässigt. Hoffmann¹⁴⁾ wies nach, daß die Gesamtwirkung der Strahlung von Radium durch Streueffekte nur um 70 Proz. steigt; dies spricht für die Brauchbarkeit von Wasser als Schirmsubstanz.

Meine Absorptionsmessungen mit verschieden dicken Bleiplatten auf dem Jungfrauoch (§ 7, Fig. 11) zeigen keinen Strahlungsanteil von der Härte gewöhnlicher γ -Strahlen. Hier gibt es somit keine merkbare Strahlung von im Gletscher, auf ihm (Oberflächenbelag) oder in der Luft befindlichen Ra-Substanzen.

§ 3. Die Erdstrahlung. Nach Abzug der Eigen- und Höhenstrahlung bleibt im wesentlichen die Erdstrahlung, die herstammt von der im Boden enthaltenen Radioaktivität und deren Emanationen. Ihr Studium wird erschwert durch die vielen, meist auf meteorologische Einflüsse begründeten, oft unregelmäßigen Schwankungen. Aus meinen Messungen sei hier nur Folgendes mitgeteilt:

Die Erdstrahlung ist an fast allen Punkten in der Nähe des Geophysikalischen Instituts nahezu dieselbe, etwa $2.2 J$. In und an Gebäuden, Zementwänden usw. höher. Im Zimmer hat sie starke Schwankungen.

Beim Studium meteorologischer Einflüsse, Druck, Temperatur, Sonnenschein usw., die ja oft bearbeitet sind²⁾, wurden wesentlich neue Ergebnisse nicht erzielt.

Millikan²²⁾ fand bei Messungen in großer Höhe eine Erniedrigung der Gesamtstrahlung inner- und außerhalb eines 5 cm dicken Bleipanzers nach einem Schneesturm. Dies bisher noch ungeklärte Phänomen, das Millikan damals als Hauptgrund gegen die Existenz der Höhenstrahlung anführte, veranlaßte mich, möglichst häufig (etwa zehnmal) bei Schneefällen zu messen. Es zeigte sich stets der auch für Regen charakteristische zeitliche Verlauf der Strahlungsänderung, der durch die Radioaktivität des Erdbodens und der Luft völlig erklärt werden kann: bei Beginn steigt die Strahlung um 0.2 bis $2 J$, je nach Art des Falles; kurze, feuchte Schneefälle und Schneesturm, die viel Radioaktivität in der Luft adsorbieren können, bringen starke, andauernde „leise“ Fälle geringe Erhöhung. Hernach sinkt die Strahlung, wie ich mehrmals beobachten konnte, entsprechend dem Abklingen der mitgeschleppten Radioaktivität. Bei allen Schneemessungen zeigte sich schließlich die Deckenwirkung, das Absinken der Strahlungsstärke unter den normalen Wert. Bei einem starken Schneesturm auf dem Brocken (1100 m hoch), wo die Erdstrahlung durch eine alte Schneewehe fast völlig absorbiert war, und sonst nur die Höhenstrahlung ($3 J$) wirkte, zeigte sich derselbe Verlauf. Eine Erklärung für die merkwürdige Beobachtung Millikans konnte auch hier nicht gefunden werden. Andere als rein meteorologisch-luftelektrische Faktoren scheinen bei Schneefällen nicht in Frage zu kommen.

Nach den Messungen von G. Hoffmann¹⁴⁾ mit Radium- γ -Strahlen im Wasser wird der Absorptionsvorgang durch Streuung (Comptoneffekt) außerordentlich verwickelt. Besonders in der Nähe der Strahlenquelle gibt es so viele Streustrahlen, daß die Strahlungsintensität zuerst überhaupt nicht abnimmt. Erst in etwa 1 m Entfernung im Wasser kommt nach Hoffmanns Messung ein annähernd gleichmäßiger Wert für den Absorptionskoeffizienten zustande. Es schien nun aussichtsreich, zu untersuchen, ob Ähnliches gilt für die Abschirmung der Erdstrahlung in der Luft, d. h. für die Abnahme der Intensität mit der Höhe über dem Erdboden. Hier werden die untersten Schichten die weicheren Strahlen absorbieren, dann aber muß, falls die Streuung nicht stört, im wesentlichen der Absorptionskoeffizient der harten Ra- γ -Strahlen in

Luft maßgebend sein [$\mu_{\text{Ra-}\gamma\text{-Luft}} = 4.6 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$ nach V. F. Hess¹⁾]. Die Strahlung (näherungsweise betrachtet) geht aus von einem halb unendlichen, gleichmäßig mit strahlender und absorbierender Substanz erfüllten Raume (der Erde), der durch eine unendliche Ebene (die Erdoberfläche) von einem gleichmäßig absorbierenden Medium getrennt wird (der Luft). Die Strahlung $\Phi(x)$ beträgt dann im Abstände x von der Grenzfläche in diesem Medium¹⁾

$$\Phi(x) = \Phi(0) \left[e^{-\mu x} - \mu x \int_{\mu x}^{\infty} y^{-1} e^{-y} dy \right],$$

wenn $\Phi(0)$ den Wert für $x = 0$ bedeutet.

Tabelle 3. Abnahme der Erdstrahlung mit der Höhe.
21. Juni 1926, 10^a bis 6^p. Apparat A.

X = Höhe in Metern	Strahlung				$\Phi(x)$
	gemessen	Eigen-	Höhen-	Erdstrahlung	
0	6.37	2.40	2.00	1.97	1.60
10	5.88	2.53	2.00	1.35	1.35
30	5.49	2.52	2.03	0.94	1.05
70	5.35	2.50	2.07	0.78	0.72
110	5.05	2.48	2.12	0.45	0.51
170	4.95	2.47	2.17	0.31	0.33
230	4.77	2.45	2.20	0.12	0.22
	± 0.05				

Auf dem großen Funkenturm in Königswusterhausen bei Berlin bot sich die Gelegenheit, Messungen in verschiedenen Höhen bis 230 m zu machen. Die

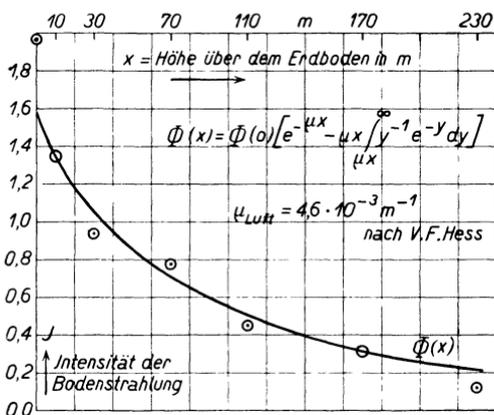


Fig. 1. Abnahme der Erdstrahlung mit der Höhe.

Umgebung des Turmes weicht von der Ebene nur wenig ab. Auf den einzelnen Plattformen wurde je etwa 1 bis 2 Stunden lang alle 10 Minuten abgelesen.

In Tabelle 3 ist von dem gemessenen Gesamtstrom der der Eigen- und Höhenstrahlung entsprechend der gerade herrschenden Elektrometerspannung bzw. Höhe abgelesen. Neben die so erhaltenen Werte der Erdstrahlung sind

die von $\Phi(x)$ gesetzt. Wegen der zuerst absorbierten weichen Strahlungskomponenten wurde der Wert in 10m Höhe als Basis für die theoretische Rechnung genommen. Wie die aus Tabelle 3 gewonnene Fig. 1 zeigt, ist der größte Teil der Erdstrahlung harter Ra- γ -Strahlung ähnlich. Eine merkbare Beeinflussung der Absorptionsgesetze durch Streuung ist nicht zu erkennen. Die Abweichungen von der theoretischen Kurve — im Mittel $\pm 0.07 J$ — lassen sich allein durch Meßfehler erklären, denn diese betragen etwa $0.05 J$. Der Wert der Höhenstrahlung am Boden von $2.0 J$, der kurz vorher auf einem See bestimmt wurde, wird hier bestätigt durch die Messung in 230 m Höhe, wo die Erdstrahlung fast verschwindet.

II. Teil: Die durchdringende Höhenstrahlung*).

Das Hauptinteresse der Arbeit galt der Höhenstrahlung, deren Ursprung und Härte zu ganz besonderer Beachtung zwingen. Es herrschten hier, als ich vor einem Jahre meine Arbeit begann, eine Reihe von Widersprüchen, deren Aufklärung versucht werden sollte: Millikan²²⁾ fand im Flugzeug nur ein Viertel der Stärke der Strahlung in größeren Höhen (bis 5000 m), verglichen mit Kolhörsters Werten von 1914; dagegen fand Millikan²¹⁾ im Hochgebirge dieselben Werte wie Kolhörster im Ballon, Kolhörster am Jungfraujoch (3500 m) aber nur die Hälfte davon. Weiter wurde das Bestehen einer täglichen Periode, wie sie Kolhörster im Sommer 1923 und 1924 und vor allem 1926 beobachtete, von vielen Seiten bezweifelt [Hoffmann¹⁸⁾, Böhounek¹⁶⁾, Millikan²²⁾]. Besonders große Unklarheit aber herrschte über die Härte der Strahlung bei Anwendung von Bleischirmen. Hierauf wies Kolhörster¹⁹⁾ kürzlich besonders hin. Messungen im Blei haben aber vor anderen das voraus, daß bei ihnen die Streueffekte weit weniger stören als etwa bei solchen in Luft oder Wasser⁵⁾. Die im folgenden beschriebenen Versuche sprechen dafür, daß die Höhenstrahlung in gewisser Höhe in freier Luft (Flugzeug) und im Gebirge die gleiche Intensität hat (§ 4); ferner daß sie eine tägliche Periode hat. Der Hauptzweck der Alpenexpedition war, brauchbare Messungen der Härte der Höhenstrahlung bei Anwendung von Panzermaterial hoher Ordnungszahl (Blei) zu bekommen (§ 6). Hierbei gemachte Erfahrungen erlauben eine Diskussion der Millikanschen Theorie des Streueffektes (§ 7).

§ 4. Absolutwerte in verschiedenen Höhen im Flugzeug und Hochgebirge. Absolutwerte der Intensität der Höhenstrahlung wurden von mir auf Seen, Gletschern bis 3800 m und im Flugzeug bis 6800 m Höhe gewonnen. Zu den Flügen Nr. 1 bis 3, die von Staaken bei Berlin ausgingen

*) Wegen der von mir der Vollständigkeit halber in meinem zusammenfassenden Bericht⁵⁾ mit angeführten Bezeichnung „Hesssche Strahlung“ vgl. Wigand⁹⁾.

und über die schon berichtet wurde¹⁸⁾, kommen noch zwei in Passagierflugzeugen der Lufthansa. Der erste hiervon (Nr. 4, Berlin—Hannover, 500 m Höhe) brachte leider kein Ergebnis, da eine Fehlerquelle, die Leuchtuhr eines Mitreisenden, zu spät entdeckt wurde. Nr. 5, München—Innsbruck, führte auf eine Gipfelhöhe von 2600 m. Bei diesen Flügen wurden die Instrumente zum Ablesen frei in der Hand gehalten. Die Erschütterungen des Motors scheinen so weniger zu stören als bei der früher von mir verwandten Aufhängung mit Gummiseilen. In den Alpen wurde die Strahlung an verschiedenen Stellen, stets unter völligem Ausschluß der Erdstrahlung durch Eis, Schnee oder Wasser bestimmt, ferner auf einem See bei Potsdam¹⁷⁾, in Königswusterhausen (§ 3) und mit einem Eisenpanzer in Göttingen¹⁷⁾.

Bei den Radiummessungen in den Alpen zeigte sich eine um 26 Proz. kleinere Evesche Zahl (s. § 1) als in Göttingen, wohl wegen teilweisen Aus-

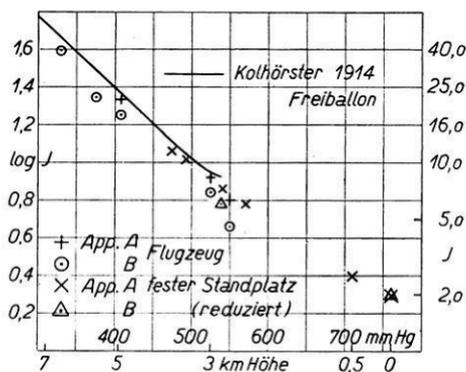


Fig. 2. Höhenverlauf der Höhenstrahlung.

laufens des inneren Überdrucks der Instrumente durch die Transportstöße. In Tabelle 4 sind die Angaben bei Nr. 3, 5, 7, 8 entsprechend reduziert, um sie mit den Flugzeugmessungen, bei denen die Radiummessungen unmittelbar nachher normale Werte gaben, vergleichbar zu machen. Um den Absorptionsvorgang der Strahlung in Luft zu zeigen*), wurde in Fig. 2 der Logarithmus der Intensität in Abhängigkeit vom überlagernden Luftdruck (in Millimetern Quecksilber) gezeichnet und zum Vergleich die Werte von Kolhörsters Hochfahrt von 1914 mit eingetragen; letztere nach der Reduktion von v. Schweidler⁷⁾.

In Tabelle 4 bedeutet F 5 Flug Nr. 5. Die Angaben über die zu erwartende Ungenauigkeit ΔN sind nur annähernd richtig, jedenfalls eher zu groß als zu klein. t bedeutet die ungefähre Versuchsdauer.

*) In den vorläufigen Mitteilungen [Naturw. 1927, Heft 7 und Zeitschr. f. Geophys. 2, 291 (1926)] wurden die Messungen in der bisher üblichen Form (Abhängigkeit von Höhe und Strahlungsstärke) graphisch aufgetragen.

Aus Tabelle 4 und Fig. 2 lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

1. Die Angaben N_A des Apparates A fallen mit den Messungen von Hess und Kolhörster, die mit ähnlich gebauten Instrumenten im Freiballon gewonnen wurden, zusammen. Die Höhenstrahlung ist also über lange Zeiten konstant.

Tabelle 4. Höhenverlauf der Höhenstrahlung.

Nr.	Ort	Höhe m	Druck mm Hg	N_A	N_B	$\frac{N_A}{N_B}$	ΔN	t
1	Potsdam, Tiefer See; Göttingen, Eisenpanzer	30	760	2.0	2.0	(1.0)	0.2	2 ^d
2	Brienzer-, Vierwaldstätter See	500	710	2.5	—	—	0.3	1 ^h
3	Eigergletscher (Schweiz)	2300	571	6.0	—	—	0.2	1 ^d
4	F 5	2600	549	6.3	4.6	—	0.5	20 ^m
5	Guslarferner (Tirol)	2800	540	7.2	6.0	1.20	0.2	15 ^d
6	F 1 und F 3	3000	525	8.4	6.9	1.21	0.3	20 ^m
7	Jungfrauoch	3500	493	10.5	—	—	0.2	1 ^d
8	Wildspitze (Tirol), Nordgipfel	3770	474	11.5	—	—	0.4	2 ^h
9	F 1 und F 3	5030	407	21.4	17.6	1.21	0.5	20 ^m
10	F 2	5630	380	—	22.0	—	1.0	20 ^m
11	F 3	6770	330	—	39.0	—	2.0	20 ^m

Verhältnis der Eveschen Zahlen (Ra-Empfindlichkeit) $\frac{N_A}{N_B}$: 1.27

2. Nach Anbringung der oben besprochenen Reduktion entsprechend den Radiumempfindlichkeiten herrscht Übereinstimmung zwischen den auf festen Standplatz und in freier Luft gewonnenen Werten. Der kleinere Wert (ein Viertel) bei Millikans Flugzeugmessungen^{21) 22)} wird vielleicht der anderen Bauart der Apparatur, der bei Kolhörsters Gebirgsmessungen (etwa die Hälfte) zum Teil ungenügender Abschirmung bei der Bestimmung der Eigenstrahlung zuzuschreiben sein. (Die Eishöhlen im Jungfraugebiet sind nicht strahlungsfrei, S. 164.)

3. Bekanntlich ändert sich wegen der verschiedenen starken Sekundärstrahlen-erzeugung die Ionisationswirkung von γ -Strahlen, wenn die Substanz, aus der die Wände der Ionisationskammer insbesondere auf der Innenseite bestehen, eine andere wird. Je härter nun die γ -Strahlung ist, desto geringer wird erfahrungsgemäß der Einfluß des Wandmaterials. Kolhörster¹¹⁾ fand auch dementsprechend, daß für γ -Strahlen die Ionisationswirkung durch Innenauskleidung der Kammer mit einer hochatomigen Substanz (Wolfram) im Verhältnis 1.8:1 stieg; bei Höhenstrahlung ergab sich eine kleinere Zahl 1.3:1. Dies wurde als Beweis dafür angesehen, daß die Höhenstrahlung eine besonders harte γ -Strahlung (Ultra- γ -Strahlung) ist. — Analog muß nun bei Innenauskleidung mit einer leichten Substanz die Ionisationswirkung sinken, für γ -Strahlen mehr als für Höhenstrahlung. Apparat B hat (§ 2) im Innern eine Papiereinlage, die das Verhältnis der Eveschen Zahlen (γ -Ionisation) der beiden Apparate auf 1:1.27 herabgedrückt hat. Für Höhenstrahlung ergab sich tatsächlich eine kleinere Zahl: 1:1.21 (im Mittel aus Tabelle 4, falls Versuch 1 wegen

der besonderen Komplikationen, die anscheinend im Meeresniveau herrschen, und Nr. 4 wegen zu großer Ungenauigkeit fortgelassen werden). Dies kann als Gegenversuch und Bestätigung der Kolhörsterschen Messung¹¹⁾ betrachtet werden.

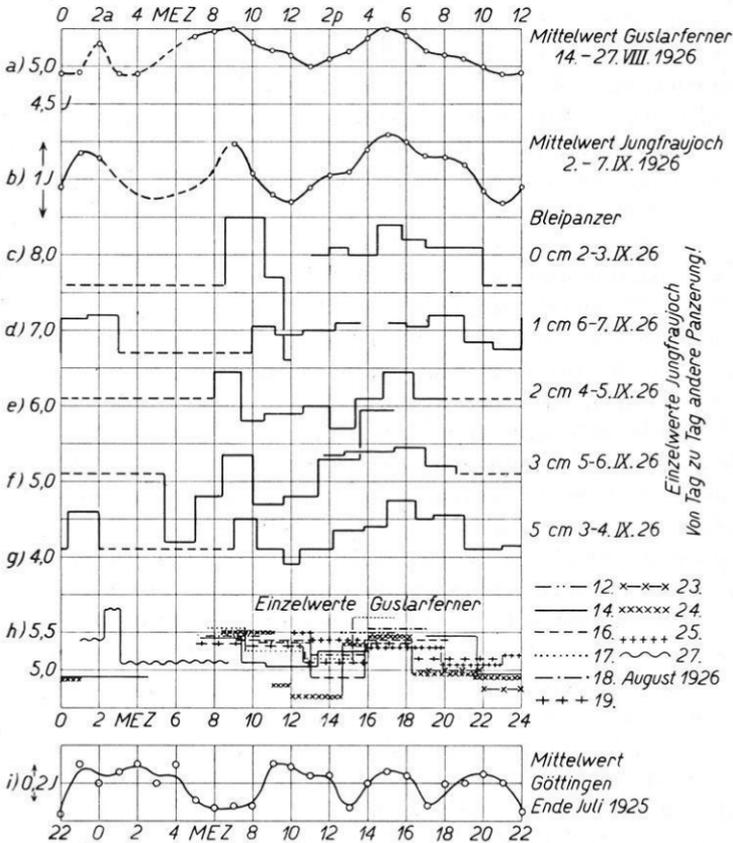
§ 5. Die tägliche Periode. Aus den Messungen der täglichen Periode, die uns ja über die Herkunft der Höhenstrahlung Auskunft geben soll, schloß man bis vor kurzem mit Sicherheit nur auf die Einflußlosigkeit direkter Sonnenstrahlen²⁾. Als wichtigste andere Möglichkeit blieb eine Herkunft der Strahlung von der Sonne auf indirektem Wege, d. h. etwa im Zusammenhang mit Polarlichtern¹⁰⁾, oder von radioaktiven Massen in der hohen Stratosphäre oder vom Fixsternhimmel. Die ersten Arbeiten Kolhörsters am Jungfraujoch¹¹⁾, angeregt von Nernst, deuteten auf eine Periode, die dem Stande der Milchstraße entsprach. Die Schwankung der Maxima dort betrug etwa 12 Proz. der Gesamtintensität der Höhenstrahlung.

Es war also hiernach in Meereshöhe bei 2.0 *J* Stärke der Höhenstrahlung eine Periode mit einer Amplitude von 0.2 bis 0.3 *J* zu erwarten. Dies mußte nachzuweisen sein. Im Juli 1925 wurde mehrere Wochen hindurch im Gauß-Haus (Holzbaracke) beim Geophysikalischen Institut die Strahlung registriert. Wegen des Zementfußbodens war eine Störung durch Schwankungen der Erdstrahlung nicht zu erwarten. Ein eigentlich zur magnetischen Wage gehörender Registrierapparat mit 20 cm breitem photographischen Film und Apparat A wurden benutzt. Zuerst ließ ich das Elektrometer von einer Anfangsspannung an abklingen. So zeigte sich zuerst der Einfluß der Spannung auf die Stärke der Eigenstrahlung (siehe § 2). Später wurde durch Uhrwerk und Elektromagnete stündlich automatisch auf dieselbe Spannung aufgeladen, wobei die magnetische Ladesonde von Apparat A sehr von Nutzen war. Es ergaben sich Andeutungen einer Periode der erwarteten Stärke, die Maxima abends stimmten ungefähr mit denen Kolhörsters überein (Fig. 3); dagegen fiel das gegen 3^a auf ein Minimum bei den Jungfraujochmessungen des Juli 1924. Im August dieses Jahres konnten jedoch Kolhörster und ich zeigen, daß ein Maximum gegen 2^a existiert, das vielleicht mit dem Juli 1925 von mir gemessenen identisch ist.

Im März bis Mai 1926 wurde die tägliche Periode unter fast völligem Ausschluß der Erdstrahlung durch Panzer in Meereshöhe gemessen. Hierüber wurde schon berichtet¹⁷⁾. Es zeigten sich wieder Andeutungen einer Periode der erwarteten Stärke und einer Verschiebung der Maxima entsprechend der Sternzeit.

Während diese langwierigen Arbeiten wegen der geringen Intensität und der vielen Fehlerquellen fast ergebnislos waren, zeigte sich in den Alpen die Periode mit unerwarteter Deutlichkeit. Meine zweiwöchige Messung auf dem Guslarferner in Tirol (etwa 46° 51' geogr. Breite und 10° 49' östl. Länge) steht in Übereinstimmung mit der unmittelbar danach am Jungfraujoch

(etwa $46^{\circ} 32.5'$ geogr. Breite und $7^{\circ} 59'$ östl. Länge) ausgeführt. Dort fand ich Anfang September die Periode auch in Bleipanzern verschiedener Stärke. In Fig. 3 sind diese Messungen ohne die bisher übliche Mittelbildung gezeichnet (Kurve *c—g*; *h* für Guslarferner), darüber die Mittel vom Guslarferner und Jungfrauoch (*a* und *b*), darunter die oben besprochene Göttinger Reihe (*i*).



Bei Kurve *c) — g)* bedeutet — — den Wert der Strahlung über mehr als vier Stunden (dabei verschwinden die Einheiten der Periode, während die Genauigkeit sich erhöht).
Zum Vergleich nach Sternzeit ist *i)* gegen *a) — h)* um 2^h verschoben.

Fig. 3. Tägliche Periode der Höhenstrahlung.

Eine Fehlerrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate ergab als mittleren Fehler einer Einzelmessung $\pm 0.2 J$ (sowohl am Guslarferner als im Jungfraugebiet); als mittleren Fehler eines Punktes der aus den Einzelmessungen nach MEZ gemittelten Periodenkurve des Tages $\pm 0.08 J$ und endlich als mittleren Fehler des aus einer 24-Stundenreihe entnommenen Tages-

mittels der Höhenstrahlung, d. h. für deren Betrag bei der betreffenden Anordnung $\pm 0.06 J^*$).

In Fig. 3 sind die Messungen vom Guslarferner und Jungfrauoch (ohne die in § 4 verwandte Reduktion auf gleiche γ -Strahlenempfindlichkeit) aufgetragen. Bei der Bildung der Kurve der mittleren täglichen Periode am Jungfrauoch sind die bei stärkeren Bleipanzern erhaltenen Schwankungen entsprechend dem Sinken der Gesamtintensität erhöht worden.

Die kurz hintereinander an zwei verschiedenen 185 km entfernten Orten erhaltenen Kurven stimmen überein in der Stärke der Amplitude (10 Proz. der gesamten Höhenstrahlung) und in den Zeiten der Hauptmaxima: 2^a, 9^a, 5^p MEZ.

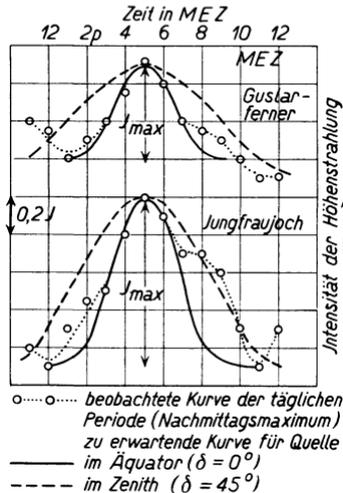


Fig. 4. Tägliche Periode und Meridiandurchgang einer Strahlenquelle.

In § 7 wird gezeigt werden, daß eine starke Ablenkung der von außen eindringenden Höhenstrahlung aus ihrer Richtung nicht zu erwarten ist. Da nun andererseits die Absorption in der Lufthülle der Erde bekannt ist, erscheint es lohnend, zu untersuchen, ob die Form der wirklich beobachteten Intensitätskurve sich erklären läßt durch den Meridiandurchgang gewisser begrenzter

*) Ein Einfluß der Luftdruckänderungen auf die Strahlungsstärke, der wegen der geänderten absorbierenden Masse zu erwarten wäre [s. L. Myssowski und L. Tuwim: Zeitschr. f. Phys. **39**, 146 (1926)], kann aus den Periodenmessungen am Jungfrauoch nicht ersehen werden. Die größte Tagesschwankung des Druckes betrug dort nur 1.8 mm Hg, was nur 1 bis 2 Proz. Strahlungsänderung geben könnte. Vom Guslarferner liegen keine Barogramme vor. Messungen auf der Zugspitze im März 1927²⁵), die eine Andeutung für die Sternzeitlichkeit der täglichen Periode brachten, ergaben einen Druckeinfluß von 0.9 Proz./mm Hg, ohne daß die Form der Periodenkurve dadurch beeinflusst wurde.

Stellen des Himmels, Mirasterne nach Corlin²³). Jedem Stundenwinkel τ vor und nach der Kulmination entspricht bei gegebener Deklination δ und geographischer Breite b eine bestimmte Absorption der Strahlung:

$$e^{-\mu d / \sin b \cdot \sin \delta + \cos b \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau},$$

wobei $\mu = 5 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ den Massenabsorptionskoeffizienten in Luft, d den Atmosphärendruck in cgs-Einheiten am Beobachtungsort bedeuten. Fig. 4 zeigt das Ergebnis der Rechnung für $\delta = 0^\circ$ (Quelle im Himmelsäquator) und $\delta = 45^\circ$ (Quelle passiert den Zenit) mit $b = 45^\circ$ in graphischer Darstellung, wobei als Intensität der Quelle bei der Kulmination die Gesamtamplitude (0.9 bzw. 0.5 J) genommen wurde. Der Vergleich wurde durchgeführt für das Nachmittagsmaximum (5^h), da hier die meisten Einzelmessungen vorliegen. Übrigens erkennt man ein schwaches sekundäres Maximum um 8^h

Fig. 4 zeigt nun für $\delta = 0^\circ$ (Himmelsäquator) für das Hauptmaximum annähernd Übereinstimmung von Rechnung und Messung; für $\delta = 45^\circ$ (Zenit-Quelle) verläuft die Kurve zu flach.

Auf eine weitere „astrophysikalische“ Diskussion muß, da die Sternzeitbedingtheit der Periode noch nicht erwiesen ist, vorläufig verzichtet werden.

§ 6. Absorption in Wasser, Luft und Blei. Aus den Freiballonmessungen von Hess und Kolhörster hat man schon früh den Absorptionskoeffizienten in Luft bestimmen können. Die Abschirmversuche⁴) mit Wasser und Eis von Gockel, Kolhörster, Millikan und Cameron, Myssowski und Tuwim ergaben auch die Härte der Höhenstrahlung für dieses Material, wobei die Absorptionskoeffizienten in Luft sich größer erwiesen als in Wasser. Natürlich muß bei jeder Berechnung dieser Art eine Annahme über die Einfallrichtung der Strahlung gemacht werden.

Bei meinen Versenkversuchen bei Potsdam¹⁷) ergab sich für die verschiedenen Tiefen folgende Intensität der Strahlung (in den ungepanzerten Apparaten N_A und N_B ; ferner für B mit Panzer):

Tabelle 5. Absorption in Wasser (Juni 1926).

Tiefe in Metern	N_A	N_B	N_B mit 5 cm Blei
0	1.97	2.05	1.2
1.0	1.72	—	—
2.0	1.23	1.05	0.98
4.0	0.86	0.75	0.52
6.5	0.42	0.37	0.26
8.5	0.27	0.25	0.04

Der mittlere Fehler der N_A und N_B beträgt $\pm 0.1 J$; berechnet sowohl aus Mehrfachmessungen in derselben Wassertiefe als auch aus den Abweichungen der Einzelwerte von der mittleren exponentiellen Abnahme der Intensität.

Nimmt man paralleles senkrecht einfallendes Höhenstrahlung an, so ergibt sich aus Tabelle 5 ein Massenabsorptionskoeffizient in Wasser:

$$\mu/\rho = (2.43 \pm 0.1) \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}.$$

Auf dem Guslarferner in Tirol ließ ich Apparat B auf verschiedene Tiefen in eine oben etwa 80 cm breite Gletscherspalte hinab. Die Form der Spalte war so, daß von 2 m Tiefe an direkte Strahlung das Instrument kaum noch treffen konnte. Es ergab sich:

Tabelle 6. Absorption in der Eisspalte.

Tiefe in Metern	0	2.0	4.5	6.5
Zahl der Messungen	6	6	2	2
Strahlung N_B	4.4	2.8	1.8	$1.3 \pm 0.1 J$
$\mu/\rho \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1}$	2.4	2.05	1.8	



Fig. 5. Apparat A im 2-cm-Bleipanzer; Guslarferner.
[Der Eispickel (1 m) diene als Maßstab.]

Die Strahlung scheint nach unten hin härter zu werden, der Absorptionskoeffizient nimmt ab. Vielleicht spielt hierbei der kleine Anteil direkter Strahlung eine Rolle. Dann wäre der unterste, sehr kleine Wert $\mu/\rho = 1.8 \cdot 10^{-3}$ maßgebend.

Unter besser definierten Verhältnissen arbeitete ich in dem Eisgang auf dem Jungfraujoch (Fig. 6). Dort ging durch eine überlagernde Eisschicht von 5.6 m die Strahlung in Apparat A von 7.8 auf $1.4 J$ herunter. Das ergibt, wieder bei Annahme einer senkrecht von oben kommenden Strahlung bei einer Eisdichte von 0.9

$$\mu/\rho = 3.4 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}.$$

Kolhörster fand in gleichen Höhen etwas kleinere Absorptionskoeffizienten, dabei auch Andeutungen für deren Zunahme mit der Höhe [Härtung⁴⁾ 5)].

Wovon die Unterschiede zwischen den einzelnen in gleicher Höhe gemachten Messungen herrühren, ist noch nicht zu ersehen.

Als Massenabsorptionskoeffizient in Luft ergibt sich aus meinen Flugzeug- und Gebirgsmessungen (§ 4, Fig. 2 und Tabelle 18) für senkrechten Einfall der Strahlung:

Höhe in Metern	0—2500	2500—7000
μ/ρ Apparat A	4.2	6.4
μ/ρ Apparat B	3.9	$6.1 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$

Dabei sind die Werte für 0 bis 2500 m Höhe etwas unsicher.

Während man für Wasser, Eis und Luft wenigstens einigermaßen einheitliche Absorptionsverhältnisse fand, brachte die erste mit Bleipanzern gemachte



Fig. 6. Apparat A, Eisgang unter dem Jungfrauoch.
Davor der 5-cm-Bleipanzer.

Abschirmung eine große Überraschung. Sie führte Hoffmann zunächst zur Ablehnung der Existenz der Höhenstrahlung im Meeresniveau¹³⁾, da sich hinter 12 cm Blei nur noch eine ganz geringe Änderung [nach der neuesten Arbeit $0.08 J$]¹⁵⁾ durch Panzerverstärkung auf 32 cm zeigte. Wollte man damals nicht die Existenz der Höhenstrahlung aufgeben, so blieb nur die Möglichkeit, dem Blei besondere Eigenschaften bei der Absorption der Strahlung zuzuschreiben oder sonst eine besondere Komplikation beim Absorptionsvorgang anzunehmen⁵⁾. Hoffmann¹³⁾ wies darauf hin, daß infolge der starken Streuung bei einer so harten Strahlung in Stoffen niederer Ordnungszahl von Absorption eigentlich keine Rede sein könne. An der Ionisation im Gefäß würden die im Wasser und Luft der Umgebung erzeugten weichen Sekundärstrahlen so beteiligt sein, daß über die Durchdringungsfähigkeit der Initialstrahlen auf diese Weise nicht ohne weiteres etwas gesagt werden könne. (Über einen neueren Standpunkt in dieser Frage siehe § 7.)

Um die Sekundärstrahlen, die den γ -Strahlen ähnlich sein müssen, wenigstens teilweise abzudrosseln, wiederholte ich in Potsdam den Versenkversuch im Wasser, indem ich dabei den Apparat B mit 5 cm Blei allseitig umgab (Tabelle 5). Vom Preußischen Wasserbauamt war hierzu ein großer

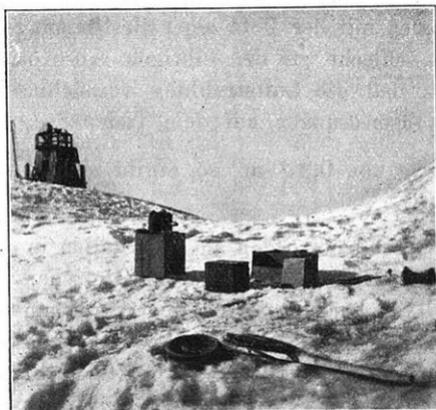


Fig. 7. Apparat A auf dem Jungfrauoch.
Dahinter der geophysische Pavillon.



Fig. 8. Apparat A auf dem Jungfrauoch im 5-cm-Bleipanzer.
Im Hintergrunde der Aletschgletscher.

Prahm, der für fünf Tage vor Anker lag, und eine Schiffskrananordnung für das Versenken zur Verfügung gestellt. Das Gewicht des zu diesen Messungen benutzten Panzers beträgt 270 kg (siehe § 2, S. 165). Die Wassertiefe war etwa 11 m. Die Absorptionsverhältnisse (Tabelle 5) für das bleigepanzerte Instrument sind wesentlich anders als im ungepanzerten. Erklären lassen sie sich vielleicht durch Annahme einer starken Härtung der Strahlen mit wachsender Wassertiefe.

Der merkwürdig hohe Wert des Absorptionskoeffizienten in Blei auf der Seeoberfläche wurde nachgeprüft in Göttingen mit Apparat A. Die Strahlung ohne Panzer betrug $3.9 J$, die mit 5 cm Bleipanzer $1,4 J$. Da die Höhenstrahlung ohne Panzer $2.0 J$ ist und also die Erdstrahlung $1.9 J$, die durch den Panzer auf $0.1 J$ sinkt, so muß in 5 cm Blei noch $1,3 J$ Höhenstrahlung sein. Dies stimmt einigermaßen mit der Potsdamer Bestimmung überein, paßt jedoch (siehe Fig. 8 und 9) schlecht zu den übrigen Absorptionsmessungen. Die Ursache ist vielleicht, daß die Luftstrahlung vernachlässigt wurde, hier wie auch bei den Absorptionsmessungen auf dem Tiefen See. Setzt man sie hier mit dem üblichen Betrag von $0.2 J$ an, so ergibt sich $\frac{\mu}{\rho_{Pb}} = 5.5 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ (Tabelle 7, Nr. 7a).

Im August und September wurden an drei Stellen in den Alpen stets unter völligem Ausschluß der Erdstrahlung durch Gletscher Bleipanzermessungen gemacht. Wegen der Transportschwierigkeiten wurde am Guslarferner in Tirol nur mit einem 2-cm -Panzer gemessen (Fig. 5). Bei dem Versuch, die Messung in der Spalte mit gepanzertem Instrument (70 kg Gewicht) zu wiederholen, verunglückte dann leider Apparat B, so daß im Jungfraugebiet nur A zur Verfügung stand. Auch ein Stück des Panzers konnte nicht aus der Spalte geborgen werden.

Im Anschluß an die Jungfraubahn wurde mit vollem Panzer (5 cm) auf dem Jochplateau (Fig. 7 und 8) und Eigergletscher gearbeitet. Zur Prüfung der Potsdamer Versuche wurde dann die Bleiabsorption noch gemessen an zwei verschieden tiefen Stellen in dem Eisgang, der vom Hotel Berghaus unter dem Jungfraujoch zum Geophysischen Pavillon der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft führt (Fig. 6). Die Einzelmessung mit einer Panzerstärke dauerte durchweg einen Tag mit $1\text{- bis }2\text{ stündiger}$ Einzelablesung. Die Fehler der so erhaltenen Mittelwerte betragen $\pm 0.06 J$ (siehe § 4, S. 173). Wegen der Unsicherheit in der Bestimmung der Eigenstrahlung, die ja stets abgezogen wurde (siehe § 2), können alle Werte gleichmäßig um etwa 0.1 bis $0.2 J$ falsch sein.

Aus den Messungen konnten für acht verschiedene überlagernde Schichten (Luft, Wasser, Eis, Blei) bzw. für acht Intensitäten der Höhenstrahlung (außerhalb des Panzers) Absorptionskoeffizienten berechnet werden. Zum besseren Vergleich mit anderen Materialien sind die Koeffizienten auf die Dichte 1 reduziert (s. Tabelle 7).

In Tabelle 7 und Fig. 9 bedeutet D (Spalte VI) die gesamte überlagernde Massenschicht, gerechnet in Äquivalentmetern Wasser. D setzt sich zusammen aus dem Luftdruck (berechnet aus Spalte III), der überlagernden Wasser- oder Eisschicht (IV) und der umgebenden Bleischicht (V).

N_A bedeutet die mit der betreffenden Panzerstärke gefundene nicht reduzierte Intensität für Apparat A (VII).

μ/ρ ist der daraus berechnete Massenabsorptionskoeffizient für Blei (VIII). In Fig. 10 ist die Härte der Höhenstrahlung in Abhängigkeit

von deren Intensität außerhalb des Panzers (schräggedruckte Zahlen in Tabelle 7, Spalte VII; in Fig. 10 ist an Nr. 1 bis 6 die Reduktion nach S. 169 angebracht) dargestellt.

Tabelle 7. Absorptionskoeffizienten in Blei.

I Nr.	II Ort	III Höhe in m	IV H ₂ O in m	V Pb in cm	VI <i>D</i> in m	VII N _A bei ... cm Bleipanzern in <i>J</i>					VIII <i>u</i> / <i>q</i> · 10 ³ cm ⁻¹
						0	1	2	3	5	
1	Jungfrauoch	3470	0	0	6.7	7.8	7.0	6.0 ₅	5.0 ₅	—	12.4
2	"	3470	0	3	7.0	—	—	—	5.0 ₅	4.3	7.5
3	" Eisingang	3470	3.3	0	10.0	2.6 ₅	—	—	—	2.0 ₂	5.0
4	" "	3470	5.0	0	11.7	1.4 ₃	—	—	—	1.2 ₂	2.9
5	Guslarferner	2800	0	0	7.4	5.3	—	4.3	—	—	9.0
6	Eigergletscher	2300	0	0	7.8	4.4	—	3.9	—	3.0 ₅	6.3
7	Göttingen—Potsdam	30	0	0	10.5	2.0	—	—	—	1.3	8.0
7a	" "	30	0	0	10.5	1.8	—	—	—	1.3	5.5
8	Potsdam	30	2	0	12.5	1.0	—	—	—	0.9*)	3.0
9	Königsberg i. Pr.	0	1	20	12.0	—	bei 12 bis 32 cm 0.5 — 0.4 —			1.0**)	

Zu Tabelle 7 und Fig. 9 und 10 ist Folgendes zu bemerken:

1. Es sind hier zum ersten Male Absorptionskoeffizienten in Blei für Höhenstrahlung unter Ausschluß der Erdstrahlung gemessen worden¹⁹⁾. Sie liegen zwischen

$$\mu/q = 12 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1} \text{ und } 3 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1} \text{ (Halbwertsdicke 4.9 und 18.0 cm Blei).}$$

Die hier gefundenen weichen Bestandteile der Höhenstrahlung ($\mu/q = 12 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$) sind immer noch härter als die härtesten γ -Strahlen [$16 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ nach Hoffmann¹⁸⁾]. Die Bleiabsorptionskoeffizienten weichen für große Intensität der Höhenstrahlung wesentlich von denen für Wasser ab, die nur 2.5 bis $3.4 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ betragen. Darauf, daß infolge der Streuung die mit Blei gemessenen Härten größere Bedeutung als die mit Wasser haben, wurde schon hingewiesen.

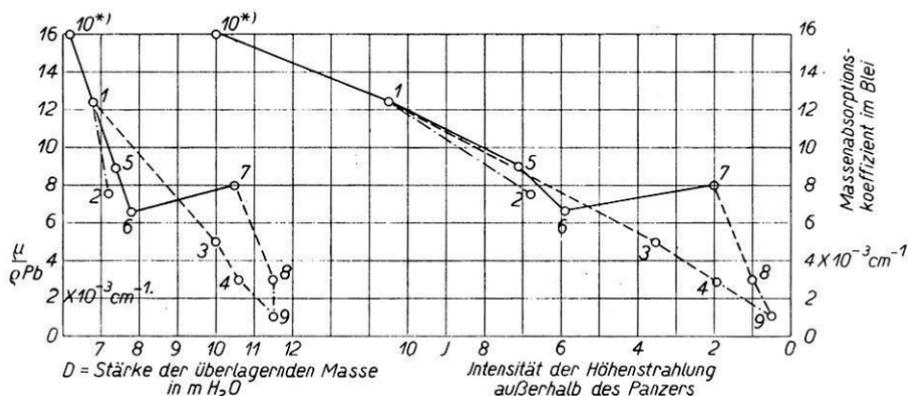
2. Trägt man aus Tabelle 7 die μ/q -Werte als Funktion der überlagernden Masse *D* (Spalte VI) auf, so zeigt sich eine deutliche Abnahme von μ/q mit wachsendem *D*, für Blei stärker als für Luft und Wasser (Fig. 9). Deutlicher wird dieser Härtungseffekt bei Betrachtung (Fig. 10) der Abhängigkeit von Härte (μ/q) und Intensität der Strahlung (Spalte VII). Bis auf Punkt 7 (siehe unten) zeigt sich für alle acht Einzelwerte ein fast lineares Ansteigen von μ/q mit wachsender Intensität *J*, einerlei ob Blei, Luft, Wasser oder Eis als zwischenlagernde, „härtende“ Schicht diene. Es wären sehr große Bleimengen nötig gewesen, um am selben Ort den ganzen Härtungseffekt nur am Blei zu messen. So mußten Wasser und Luft als zwischenlagernde Masse be-

*) Apparat B.

***) Nach G. Hoffmann [Persönliche Mitteilung und ²⁶⁾].

nutzt werden, und nur stichpunktartig konnte bei verschiedenen Intensitäten die Härte im Blei gemessen werden. — In Meereshöhe zeigt sich eine deutliche Abweichung vom allgemeinen Verlauf, die durch Meßfehler kaum erklärt werden kann (Punkt 7). Die Strahlung ist hier viel zu weich. Von vornherein sind auch hier besondere Komplikationen zu erwarten, die jedenfalls noch weiter zu klären sind.

Dieser hier beschriebene Härtungseffekt dürfte (siehe § 7) seinen Ursprung nicht in Einflüssen des Streuvorganges haben. Dann muß aber auf eine recht mannigfaltige Zusammensetzung der Höhenstrahlung aus sehr verschieden harten Strahlen — die Wellenlängen würden (§ 7) drei Oktaven umfassen — geschlossen werden.



Als zwischenlagernde, die Härte ändernde Materie diente Luft —, Wasser bzw. Eis — — —, Blei — · — · —. Die Zahlen an den gemessenen Punkten beziehen sich auf die Nummern der Tabelle 7.

Fig. 9. Abhängigkeit der Härte der Höhenstrahlung von der Stärke der überlagernden Massenschicht.

Fig. 10. Abhängigkeit der Härte der Höhenstrahlung von deren Intensität.

3. Nimmt man für noch weiter verringerte Intensität eine noch stärkere Härtung der Höhenstrahlung an, d. h. verlängert man in Fig. 9 die Kurve nach unten hin, so läßt sich die neueste Beobachtung Hoffmanns¹⁵⁾ gut einordnen. Er fand nämlich bei Panzerverstärkung von 12 auf 32 cm Blei eine Strahlungsabnahme um 0.08 J, also etwa von 0.5 auf 0.4 J. Dabei wurde nach freundlicher persönlicher Mitteilung Hoffmanns die Eigenstrahlung durch Vergleich mit einem Instrument bestimmt, dessen Reststrom durch Überlagerung von 10 m Beton und 10 cm Blei bestimmt worden war. Andererseits berechnet

*) Punkt 10 sei hier als vorläufiges Ergebnis einer Flugzeugmessung am 30. März 1927 mitgeteilt. In 2 cm Blei zeigte Apparat A in 4100 m Höhe 10.5 J. Durch Interpolation in Fig. 2 ergibt sich die Strahlung ohne Panzer zu 15.1 J und daher $\frac{\mu}{\rho} = 16 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$. Aufstiege mit Blei auf größere Höhen sind geplant.

sich unter Annahme der Koeffizienten von Tabelle 7 ein Betrag der Höhenstrahlung außerhalb des Panzers von etwa 1.5 J für die Hoffmannsche Apparatur, der mit den bisher gemessenen Intensitäten einigermaßen übereinstimmt.

§ 7. Streuvorgang, Richtungseinfluß und Sekundärstrahlen*). Millikan²³⁾ stellt eine interessante Betrachtung über den Streuvorgang bei der Höhenstrahlung an. Zunächst berechnet er durch Extrapolation mittels der Formel von Compton und Ahmad für die Absorption von γ -Strahlen in streuender und absorbierender Materie:

$$\frac{\mu}{\rho} = \left\{ \frac{\sigma_0}{1 + 2A/\lambda} + C \cdot \lambda^3 \cdot Z^3 \right\} \frac{ZN}{A}$$

[$\sigma_0 = 6.64 \cdot 10^{-25} \text{ cm}^{-1}$, der klassische Streukoeffizient;

$A = 2.42 \cdot 10^{-10} \text{ cm}$, $C = 2.29 \cdot 10^{-2}$, $N = 6 \cdot 10^{23}$ die Avogadro'sche Zahl;

Z, A Ordnungszahl und Atomgewicht der durchstrahlten Materie]

die Wellenlänge λ der Höhenstrahlung aus seinen Absorptionsmessungen ($\mu/\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 3 \text{ bis } 1.8 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$) zu $\lambda = 6.3 \text{ bis } 3.8 \cdot 10^{-12} \text{ cm}$. Aus meinen Bleimessungen (§ 6) würden sich analog λ -Werte errechnen $\lambda = 8.0 \text{ bis } 1.6 \cdot 10^{-12} \text{ cm}$.

In der obigen Formel verschwindet für kleine λ und Z (Wasser, Luft) der zweite Summand in der Klammer, der Koeffizient der wahren Absorption gegen den ersten, den Streukoeffizienten.

Leider gilt nun die Formel nicht für den Absorptionsvorgang bei allseitig ausgedehnter Schirmmasse, mit der ja tatsächlich die Absorption der Höhenstrahlung gemessen wurde. Vielmehr ist sie nur gültig für ein begrenztes Stück Materie, wo einmal gestreute Strahlen nicht wieder in das Bündel eintreten können. Wenn auch diese mehrfach abgelenkten und daher weicheren Strahlen durch wahre Absorption geschwächt werden, so wird doch mit etwas größerem λ zu rechnen sein. Auch die Ergänzungen zur Compton'schen Theorie²⁰⁾ ergeben Ähnliches. Doch ändert dies nach einer Überschlagerrechnung die folgenden Schlüsse nicht wesentlich.

Die mittlere Abweichung des in einem Comptoneffekt gestreuten Lichtquants und des bewegten Elektrons von der Richtung des Primärstrahles ist²³⁾:

$$\Theta = \arccos \left(1 - \frac{\lambda}{A} \right)$$

($A = 2.42 \cdot 10^{-10} \text{ cm}$). Θ ergibt sich nach Millikan zu 11° , nach Kollhörsters²⁰⁾ λ -Berechnung zu 24° , aus meinen Bleimessungen zu $7 \text{ bis } 14^\circ$. Bei jedem Prozeß geht nun die Energie des Primärstrahles je zur Hälfte über

*) In diesem Abschnitt sind einige Ergänzungen während der Drucklegung hinzugefügt; auch sei auf die sehr interessante Arbeit von G. Hoffmann²⁶⁾ verwiesen, deren Diskussion hier leider nicht mehr möglich war.

auf das bewegte Elektron und das neue Lichtquant, das die doppelte Wellenlänge des ursprünglichen hat. Hiernach haben (im Mittel) n -mal gestreute Strahlen nur noch 2^{-n} der ursprünglichen Energie; d. h. um 180° abgelenkte Strahlen ($n = 15$ bis 7 , je nach den Θ -Werten) noch 0.0001 bis 0.002 . Sie können also vernachlässigt werden*). Daraus, daß allein die wenig abgelenkten Strahlen Energie besitzen, folgt aber, daß die Höhenstrahlung in ihren Hauptbestandteilen gerichtet sein muß.

Eine Bestätigung hierfür konnte Millikan aus seinen Bleiabschirmungen²²⁾ nicht erhalten, vielleicht infolge der Störung durch die Erdstrahlung. Diese war bei der folgenden Richtungsmessung auf dem Guslarferner völlig ausgeschaltet. Ich fand mit einem 2-cm-Bleiapanzer (nicht reduziert):

Tabelle 8. Richtungsmessung mit 2 cm Pb. Apparat A, 2800 m Höhe.

	Nr. I	Nr. II	Nr. III	Nr. IV
Panzerung	Ungepanzert	Allseitig gepanzert	Ohne Deckel	Ohne Boden
Strahlung	5.25	4.3	4.85	4.35 <i>J</i>
Zahl der Messungen etwa	50	6	2	2

Bei II und IV ergibt sich praktisch das gleiche Resultat: es gibt also fast keine von unten (durch das Gletschereis) gestreuten Strahlen, ganz entsprechend der Theorie. Ein Vergleich von I, II und III in Tabelle 8 lehrt noch (neben dem Wert für den Absorptionskoeffizienten, siehe § 6), daß etwa 40 Proz. der Strahlung von oben durch den Deckel, der Rest durch die Seitenwände eintritt.

Der bisher gegen alle Richtungsmessungen der Höhenstrahlung mögliche Einwand, daß die Streuung jeden Richtungseinfluß verwische, fällt jetzt wohl für Blei fort. Es ist geplant, mit einem Bleirohr enger Öffnung den Himmel systematisch nach Strahlungszentren von einem hohen Berge aus abzusuchen; dort ist ja die Strahlung intensiver und auch weicher (§ 6).

Millikan²³⁾ schließt aus seinen Bleimessungen, allerdings mit Vorbehalt, auf das Vorhandensein einer der Primärstrahlung proportionalen Sekundärstrahlung von der Härte gewöhnlicher γ -Strahlen.

Da nach der Theorie (siehe oben) Sekundärstrahlen vom Charakter der γ -Strahlen energiearm sind, sucht er diese weichen Strahlen in den schnellen Elektronen, die bei jedem Comptoneffekt die eine Hälfte der Energie des primären Lichtquants aufnehmen. Hieraus und aus den Absorptionsgesetzen für schnelle β -Strahlen errechnet er dann für sie eine Reichweite in Luft bis zu 52 m oder 0.5 cm in Blei.

Übrigens lassen sich, wie eine Überschlagsrechnung zeigt, seine Ergebnisse (Zunahme weicher, durch Blei leicht absorbierbarer Strahlen mit der Höhe) zwanglos deuten durch das Ansteigen des Absorptionskoeffizienten mit der Höhe (Fig. 9 und 10) und durch wechselnde Aktivität des Untergrundes (Granit).

*) Die stärker abgelenkten Strahlen ändern an der Schlußfolgerung nichts Wesentliches.

Sicher werden die eben erwähnten „ β -Strahlen“ überall entstehen, und zwar praktisch der Dichte entsprechend (eigentlich auch proportional Z/A ; dieser Quotient variiert aber kaum von Substanz zu Substanz). Sie entstehen also auch im Panzerblei, das sie absorbieren soll. Da die Absorption von β -Strahlen auch nur wenig von der Ordnungszahl der Substanz abhängt¹⁾, dürften diese Strahlen durch Panzermessungen eigentlich nicht nachweisbar sein. Sonst müßte bei Panzerung mit 1 cm Blei die Strahlung stark, weiterhin schwächer entsprechend der Absorption der Primärstrahlung sinken, da ja nach 0.5 cm Blei die Elektronen verschwunden sind.

Bei einer Bleipanzermessung mit 0, 1, 2, 3, 5 cm auf dem Jungfraujoeh (Tabelle 7, Spalte VII, Nr. 1 und 2) hat sich nun keine Spur einer derart weichen Strahlung gezeigt. Vielmehr zeigt die logarithmische Auftragung des Intensitätsabfalles bei 0, 1, 2, 3 cm Pb eine Gerade, entsprechend $\mu/\rho = 12.4 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$. Erst bei 3 cm erkennt man eine geringe Änderung der Neigung, die wohl einer wahren Härtung (siehe § 6) entspricht. Ein Knick der Kurve bei 1 cm Pb fehlt (Fig. 11).

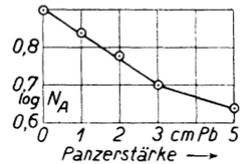


Fig. 11. Absorption in Blei, Jochplateau.

Die vorstehende Arbeit entstand auf Anregung und unter vielfacher Förderung von Herrn Prof. G. Angenheister. Herr Geheimrat E. Wiechert stellte die Mittel des Geophysikalischen Instituts zur Verfügung und erwirkte die Bewilligung der nötigen Gelder bei der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen.

Die Versuche auf dem Guslarferner (Tirol) wurden ausgeführt von der Vernagthütte der Alpenvereinssektion Würzburg aus, die uns sehr entgegenkam. Herr K. Liechti unterstützte als Betriebsdirektor der Jungfraubahn-A.-G. auf Anregung der Herren W. Kolhörster und G. v. Salis sehr beträchtlich die Arbeiten im Jungfraugebiet.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, diesen und den früher^{17) 18)} genannten Herren von Herzen zu danken.

Literatur.

A. Zusammenfassende Arbeiten.

- 1) St. Meyer und E. v. Schweidler: Radioaktivität. Leipzig, Berlin 1916.
- 2) W. Kolhörster: Die durchdringende Strahlung in der Atmosphäre. Hamburg 1924.
- 3) C. S. Wright: Nature **177**, 55 (1925).
- 4) W. Kolhörster: Naturw. **14**, 290 u. 313 (1926).
- 5) K. Büttner: Zeitschr. f. Geophys. **2**, 153 (1926).

B. Originalarbeiten.

- 6) V. F. Hess: Phys. Zeitschr. **14**, 610 (1913).
- 7) E. v. Schweidler, Elster und Geitel-Festschrift, S. 411. Braunschweig 1915.
- 8) Mc Lennan and Murray: Phil. Mag. **30**, 428 (1915).
- 9) A. Wigand: Phys. Zeitschr. **18**, 6 (1917), Anm. 1.
- 10) W. Kolhörster: Naturw. **7**, 412 (1919).

- 11) Derselbe, Bertiner Ber. 1923, S. 366 und 1925, S. 120.
- 12) G. Hoffmann: Phys. Zeitschr. **26**, 40 (1925).
- 13) Derselbe: ebenda **26**, 669 (1925).
- 14) Derselbe: ebenda **27**, 291 (1926).
- 15) Derselbe: Ann. d. Phys. **80**, 779 (1926).
- 16) F. Běhounek: Phys. Zeitschr. **27**, 8 (1926).
- 17) K. Büttner: Zeitschr. f. Geophys. **2**, 187 (1926).
- 18) Derselbe: ebenda **2**, 254 (1926).
- 19) W. Kolhörster: Phys. Zeitschr. **27**, 355 (1926).
- 20) Derselbe: Zeitschr. f. Phys. **36**, 147 (1926).
- 21) R. A. Millikan: Proc. Nat. Acad. Sc. **12**, 48 (1926).
- 22) R. A. Millikan and R. M. Otis: Phys. Rev. **27**, 648 (1926).
- 23) R. A. Millikan and G. H. Cameron: ebenda **27**, 851 (1926).
- 24) A. Corlin: Beobachtungszirkular der Astr. Nachr. **41**, Nov. 1926.
- 25) K. Büttner und W. Feld: Naturw. **15**, 378 (1927).
- 26) G. Hoffmann: Ann. d. Phys. **82**, 413 (1927).

Geophysikalisches Institut der Universität Göttingen, November 1926.

Über die Intensitätsverteilung im ultravioletten Sonnenspektrum.

Von **Otto Hoelper** in Aachen. — (Mit drei Abbildungen.)

Es wird ein neuer Ultraviolettspektrograph beschrieben und die Methode photographischer Aufnahmen des Sonnenspektrums unterhalb $320 \mu\mu$. Der Intensitätsabfall des Spektrums wird verschieden gefunden bei verschiedenen Endwellenlängen des Sonnenspektrums, derart, daß mit zunehmender Ausdehnung des Spektrums das Intensitätsverhältnis zweier Spektrallinien kleiner wird. Atmosphärische Trübungen wirken im gleichen Sinne wie eine Vermehrung der Luftmasse (vgl. Vortrag Naturforschertagung; Referat Zeitschr. f. Geophys. **2**, 337).

Die Anfänge der vorliegenden Abhandlung gehen zurück auf das Jahr 1924. Im Rahmen einer klimatischen Untersuchung der Strahlungsverhältnisse im deutschen Hochgebirge erhob sich die Frage nach der Art und Größe der ultravioletten Sonnenintensität. Die photoelektrische Zellenmethode gestattet bekanntlich, in einem durch die Bemühungen Dornos gut ausgebildeten Verfahren Gesamtintensitäten in einem mehr oder weniger weitreichenden und definierten Spektralbezirk zu messen. Der Wechsel in der Intensität und in der Ausdehnung des ultravioletten Sonnenspektrums, die beobachtete Abhängigkeit dieser Erscheinung vom Tages- und Jahresgang, von atmosphärischen Einflüssen unbekannter Herkunft, rückten indessen die Aufgabe einer Untersuchung des spektralzerlegten Lichtes in den Vordergrund. So wertvoll die Dorno-