Beiträge

zur Kenntnis der atmosphärischen Elektrizität

Untersuchung der Schwankungen der kosmischen Ultragammastrahlung auf dem Sonnblick (3100 m) und in Tirol

Von

Victor F. Hess und Oskar Mathias

(Mitteilung aus dem physikalischen Institut der Universität Graz Nr. 60)

(Mit 4 Textfiguren)

Ausgeführt mit Unterstützung des Sonnblickvereines in Wien

(Vorgelegt in der Sitzung am 26. April 1928)

§ 1. Einleitung.

Während hinsichtlich der Zunahme der Intensität der kosmischen Ultragammastrahlung (Höhenstrahlung) mit der Höhe und ihres Durchdringungsvermögens, beziehungsweise ihrer spektralen Zusammensetzung die verschiedenen Autoren in den letzten Jahren gut übereinstimmende Ergebnisse erzielt haben,¹ ist die Frage der Existenz einer täglichen Periode dieser Strahlung noch immer nicht endgültig entschieden; eine Übersicht über die diesbezüglichen Arbeiten soll den gegenwärtigen Stand dieser Frage darstellen.

Durch Messungen auf dem Jungfraujoch (3550 m) im Berner Oberland hat W. Kolhörster² mit G. v. Salis in den Sommern des Jahres 1923 und 1924 zuerst regelmäßige Schwankungen der Ultragammastrahlung festgestellt, deren Minimum mit der Kulmination des Poles der Milchstraße zeitlich zusammenfiel, während das Morgenmaximum (im Juli) mit der Kulmination der Milchstraße, das Abendmaximum mit der des Sternbildes des Herkules koinzidierte. An der Oberfläche des Gletschers war die Amplitude der Strahlung $\pm 15^{0}/_{0}$ der Gesamtintensität, in einer Eisspalte von 10 m Tiefe war dagegen die Tagesschwankung minimal. Die Beobachtungsergebnisse konnten im Sinne der Nernst'schen Hypothese³ gedeutet werden, nach der die Strahlung von junger Sternmaterie ausgehen soll, deren Verteilung über den Fixsternhimmel, wie man weiß, keine gleichmäßige ist.

¹ Letzte zusammenfassende Darstellung, vgl. V. F. Hess, Electrial Conductivity of the Atmosphere and its Causes (Constable & Co., London, 1928), p. 131 ff. ² Berlin, Ber., 34, 366, 1923; 36, 120; 1925.

W. Nernst. Das Weltgebäude im Lichte der neueren Forschung (Springer, Berlin, 1921).

Bei Wiederholung der Messungen im Sommer 1926 mit fünf Apparaten fanden W. Kolhörster und G. v. Salis¹ im allgemeinen dieselben täglichen Schwankungen von $\pm 12^{0}/_{0}$ der Gesamtstrahlung. Auf dem Gipfel des Mönch (4100 m), wo die Ultragammastrahlung bereits 7.8 J beträgt (J wird als Abkürzung für Ionenpaare pro Kubikzentimeter und Sekunde gebraucht), also fünfmal so groß ist als im Meeresniveau, war die Differenz der Extremwerte 18 bis 27% des Tagesmittels. In 3500 m wurde in einem im Gletschereis 5 m tief ausgehobenen Trichter, der wesentlich nur Strahlung von zenitnahen Himmelsgebieten zum Apparate kommen ließ, bei photographischer Registrierung der Elektrometerausschläge eine analoge tägliche Schwankung beobachtet. Subjektive Ablesungen in Davos (1600 m) und in Berlin (40 m) ergaben damit ziemlich übereinstimmende Resultate. Die Maxima der Strahlung traten um etwa 0 bis 4^h, 6 bis 7^h, 13 bis 17^h und 21^h Sternzeit, die Minima dagegen um etwa 3 bis 4^h, 9 bis 12^h, 18 bis 20^h und 22 bis 24^h ein.

Auch K. Büttner² fand eine tägliche Periode der Ultragammastrahlung im Sommer und Herbst 1926 bei Messungen auf dem Guslarferner (Tirol) in 2800 *m* Höhe, auf dem Jungfraujoch (3500 *m*) und an anderen Orten, andeutungsweise sogar (wie Kolhörster) im Meeresniveau, in ziemlich guter Übereinstimmung mit den oben erwähnten Ergebnissen. Die maximale Schwankung³ betrug bei den Büttner'schen Messungen im Gebirge 8 bis $12^{0}/_{0}$ der mittleren Strahlungsintensität.

Wenn die gefundenen Maxima der Strahlung mit der Kulmination gewisser Strahlungszentren am Fixsternhimmel ursächlich verknüpft sind, so müssen sich die nach Ortszeit gemessenen Eintrittszeiten der Maxima allmählich verschieben; die Verschiebung beträgt entsprechend dem Unterschied zwischen mittlerem Sonnentag und Sterntag etwa 2 Stunden pro Monat. Kolhörster's Beobachtungen auf dem Mönchgipfel zeigten, da sie nach mitteleuropäischer Zeit ausgeführt und in beiläufig einmonatlichem Intervall angestellt waren, die zu erwartende Verschiebung als eben noch erkennbar.

Die sternzeitliche Verschiebung der Eintrittszeiten (nach bürgerlicher Zeit) der Maxima geht deutlicher aus späteren Messungen K. Büttner's⁴ auf der Zugspitze hervor, bei denen die Beobachtungszeit (März) so gewählt worden war, daß die Verschiebung gegen die Spätsommermessungen genau 12 Stunden betrug.

Die Berechnungen von Axel Corlin⁵ weisen auf einen möglichen Zusammenhang zwischen der Ultragammastrahlung und der

⁴ Zeitschr. f. Phys., 45, 588 (1927), Gött. Nachr., 25. III. 1927.

⁵ Astronom. Nachr., 231, 137-154, 1927 (Nr. 5529).

¹ Berlin. Ber., 38, 92-104, 1927.

² Zeitschr. f. Geophys., 3, 161-184 (1927), Naturwiss., 15, 158-160 (1927).

³ In der Literatur wird vereinzelt die Differenz der Extremwerte im Laufe eines Tages als Amplitude bezeichnet. Dies kann zu Mißverständnissen Anlaß geben. Wir wollen wie Kolhörster unter Amplitude die positive oder negative Abweichung der Extreme vom Tagesmittel bezeichnen, die Differenz der Extremwerte aber maximale Schwankung nennen.

Strahlung der langperiodisch veränderlichen Sterne vom Typus Mira Ceti hin; Corlin fand tatsächlich eine weitgehende Übereinstimmung zwischen der Tageskurve der Intensität der Mirasterne und der empirisch gefundenen Tageskurve der Ultragammastrahlung nach Kolhörster. B. P. Gerasimovic¹ stellte eine ähnliche Überlegung an, wählte aber von den Mirasternen nur jene aus, die in der betrachteten Beobachtungsperiode Kolhörsters gerade nahe ihrem Lichtmaximum waren und fand so keine Übereinstimmung mit der Kolhörster-Büttner'schen Kurve. Corlin (l. c.) hat in der Arbeit von Gerasimovic Irrtümer nachgewiesen, so daß sie keinerlei Beweiskraft für oder gegen die Existenz einer von den Mirasternen bedingten täglichen Periode behält.

Ebenso wie Corlin hat in letzter Zeit auch V. Oberguggenherger² theoretisch untersucht, welche Sterntypen, beziehungsweise Himmelsgebiete als mögliche Quellen der Ultragammastrahlung in Betracht kommen. Er legt die empirische Tageskurve der Ultragammastrahlung zugrunde, welche Kolhörster und v. Salis (1. c. 1926) im Eistrichter am Jungfraujoch durch eine einwöchige photographische Registrierung erhalten haben und welche die einzige Versuchsreihe darstellt, bei der die Strahlung aus einem begrenzten Himmelsgebiet kam (die Öffnung des Eistrichters betrug 50°). Er versucht zuerst aus der allgemeinen Verteilung der Fixsterne über die in Betracht kommende Zone von + 21° bis + 71° Deklination, dann aus der Verteilung bestimmter Spektralklassen der Sterne in diesem Gebiet die empirisch gefundenen Eintrittszeiten der Maxima und Minima der Ultragammastrahlung zu erklären, jedoch ergibt sich kein Zusammenhang. Auch die Verteilungskurve der Gesamtheit aller langperiodischen Veränderlichen mit Perioden von über 80 Tagen liefert nach Oberguggenberger keine Übereinstimmung mit der empirischen Tageskurve im Jochtrichter. Dieses Resultat hat auch Corlin erhalten.

Bei der Untersuchung der Verteilungskurve der veränderlichen Sterne vom Typus Mira Ceti jedoch gelangt Oberguggenberger zu Resultaten, die von denen Corlin's abweichen: Oberguggenberger wählt von den genannten Sternen (Spektraltypus *Md*, beziehungsweise *S*) diejenigen aus, deren Periodenlänge größer als 150 Tage ist und für welche die Zeit des Lichtmaximums gegeben war. Jedem Stern wurde eine der mittleren Beobachtungszeit (12. September 1926) entsprechende Intensität zugeordnet, welche errechnet wurde aus der Differenz zwischen Maximal- und Minimalhelligkeit in Größenklassen multipliziert mit dem in Zehnteln der ganzen Periode ausgedrückten Abstand des Phasenpunktes vom nächsten Lichtminimum. Dadurch wurden alle Mirasterne, welche am 12. September 1926 sich in der Phase des Lichtminimums befanden, eliminiert. Die übrigbleibenden 90 Sterne, auf einer Stern-

⁴ Harvard Bullet., Nr. 847 (June 1., 1927). Astronom. Nachr., 232, 118, 1928 (Nr. 5550).

karte entsprechend ihrer Intensität eingetragen, ergeben für das im Jochtrichter ausgeblendete Himmelsgebiet Intensitätsmaxima um 0, 6, 14 und 18 bis 19^h, Minima um 3, 9^h, 13^h20 und 21^h20 Sternzeit; diese theoretische Tageskurve stimmt zwar von 0 bis 11^h qualitativ recht gut mit der empirischen Kurve von Kolhörsterv. Salis überein, von 12 bis 21^h aber läuft sie gerade entgegengesetzt. Oberguggenberger wirft die Frage auf, ob die bei der Auswahl Corlin's schließlich erzielte Übereinstimmung der empirischen und theoretischen Tageskurve der Strahlung nicht doch eine zufällige sein könne. Natürlich ist auch noch zu berücksichtigen, daß unsere Kenntnisse von den Mirasternen noch sehr lückenhaft sind und daß jede Entdeckung neuer Veränderlicher dieses Typus die theoretische Verteilungskurve stark ändern könnte.

Uns erscheinen diese theoretischen Untersuchungen gegenwärtig noch recht verfrüht: denn, wie im folgenden gezeigt werden wird, zweifeln mehrere Autoren ernstlich an der Existenz der von Kolhörster und v. Salis sowie K. Büttner empirisch gefundenen täglichen Periode der Ultragammastrahlung: schon G. Hoffmann¹ konnte hinter 10 cm Blei im Meeresniveau keine solche Periode finden. Die mit der Hoffmann'schen Apparatur und sehr sorgfältig mittels Registrierverfahren ausgeführte Arbeit von E. Steinke² liefert nach Ansicht des Verfassers keine regelmäßige Tagesschwankung der Ultragammastrahlung in Meeresniveau. Zu beachten ist bei der Beurteilung dieser Arbeit, daß durch seitliche Bleipanzerung die aus horizontnahen Partien kommende Strahlung stark absorbiert war, daß aber die Strahlung aus einem Kegelraum den Apparat erreichen konnte, dessen Spitze im Apparat gelegen, dessen Achse lotrecht und dessen Öffnungswinkel nicht größer als 66 Grad war Die Amplitude der (nach Korrektur auf Normaldruck noch übrigbleibenden) Schwankungen der Ultragammastrahlung im Laufe eines Tages betrug bei Steinke etwa $\pm 0.026 J$ bei einer Gesamtintensität der Ultragammastrahlung von etwa 1.0 J in seinem Apparat, also weniger als $\pm 3^{0}/_{0}$. Steinke erklärte, daß die beobachtete mittlere Schwankung jeder Einzelmessung recht wohl von der natürlichen Schwankung der Reststrahlung (statistische Schwankung im Auftreten restlicher a-Teilchen vom Netz und der Gasfüllung der Ionisationskammer) allein verursacht sein könne. K. Büttner³ dagegen meint, daß diese Schwankung, die immerhin dreimal so groß ist als der mittlere Fehler des Stundenmittels, recht wohl reell sein, d. h. von der Ultragammastrahlung selbst verursacht sein könne. Ist dies nicht der Fall, so wäre natürlich denkbar, daß die Amplitude der Strahlungsschwankung mit wachsender Luftmasse über dem Beobachtungsorte abnimmt oder daß die strahlenden Zentren am Fixsternhimmel eine kleinere Deklination haben

¹ Phys. Zeitschr., 26, 403 u. 669, 1925.

Zeitschr. f. Phys., 42, 570-602, 1927

³ Ebenda, 45, 599, 1927

als $+ 22^{\circ}$, d. h. in Steinke's Versuchsanordnung nicht wirken konnten.¹

Es ist nun recht bemerkenswert, daß A. Corlin² bei einer Durchrechnung der Steinke'schen Registrierbeobachtungen zu wesenlich anderen Schlußfolgerungen gelangt, als Steinke. Corlin hat nämlich die auf Normaldruck reduzierten Steinke'schen Einzelwerte direkt nach Sternzeit geordnet (die auf etwa 2 Wochen verteilten Reobachtungen waren nach mitteleuropäischer Zeit angestellt) und findet, daß, wenn man kleine systematische Differenzen zwischen den Registrierkurven der verschiedenen Tage eliminiert, sich deutliche Maxima der Strahlung um 0, 5 bis 7, 13 bis 16 und 20^h (dazu noch eines um 3^h), und Minima der Strahlung um 4. 8 bis 12 und 19^h ergeben, wie bei Kolhörster, v. Salis und Büttner. Nur die Amplitude der Schwankung ist bei den so reduzierten Steinke'schen Messungen wesentlich kleiner: die Extremwerte sind voneinander nur um 0.014 J verschieden (die mittlere Amplitude ist also kleiner als 1% der Strahlungsintensität, was aber immerhin noch etwa doppelt so viel ist als der mittlere Fehler des Gesamtmittels für jede Stunde). Hervorzuheben ist weiters, daß nach der Corlin'schen Reduktion der mittlere Fehler der Einzelwerte der Steinke' schen Messungen sich merklich kleiner herausstellt ($\pm 0.020 J$) als bei der Steinke'schen direkten Bearbeitung ($\pm 0.027 J$).

Schließlich müssen wir noch die Beobachtungen besprechen; welche direkt gegen die Existenz einer täglichen Periode der Strahlung zu sprechen scheinen: R. A. Millikan und G. H. Cameron haben von ihren Messungen im Hochgebirge Kaliforniens schon gelegentlich berichtet,³ daß in ihren Apparaten kein Unterschied der Strahlungsintensität bemerkt wurde, ob nun die Strahlung der Milchstraße durch Berge abgeschirmt war oder ob sie direkt zu den Apparaten gelangen konnte. Da keine Zahlenangaben darüber veröffentlicht wurden, verliert diese Feststellung einigermaßen an Bedeutung.

Bei ihrer bolivianischen Expedition im Jahre 1926 führten nun Millikan und Cameron⁴ zwei dreitägige Beobachtungsreihen in einem tiefeingeschnittenen, 4600 m über dem Meere gelegenen Tale aus, von welchem aus die Milchstraße nur 5 bis 6 Stunden täglich sichtbar war. Es sollte festgestellt werden, ob während dieser Zeit die Strahlung merklich stärker ist. Die beiden genannten Autoren haben dabei übersehen, daß außer der Milchstraße auch noch andere Strahlungszentren am Fixsternhimmel vorhanden sein können; die Versuche können daher nicht etwa als beweiskräftig für die Nicht-

¹ Dann aber hätten diese Zentren auch bei den Kolhörster'schen Eistrichterbeobachtungen, welche die Periode verstärkt zeigten, nicht wirksam sein können. Diesen Einwand erhebt E. Steinke in seiner nèuesten (in Druck befindlichen) Arbeit, in die er uns freundlich Einsicht gewährte.

² Nature, 121, 322, 1928, 3. März.

³ Phys. Rev. (2), 28, 851, 1926.

⁴ Ebenda. (2) 31, 163, 1928 und Nature, 121, 19, 1928, Januar.

existenz einer täglichen Periode der Strahlung angesehen werden, um so weniger, als die Ablesungen nicht etwa stündlich, sondern in Zwischenräumen von zirka 2 bis 5 Stunden gemacht wurden. Die erhaltenen Einzelwerte schwanken um etwa $\pm 0.3 J$. Eine Erhöhung der Werte bei direkter Einstrahlung von seiten der Milchstraße wurde nicht bemerkt, d. h. die Mittelwerte mit und ohne Einstrahlung der Milchstraße unterschieden sich nur um ± 0.1 bis 0.2 J, was innerhalb der Fehlergrenzen dieser Messungen liegt. Millikan und Cameron schließen, da am Beobachtungsorte die Gesamtstrahlung des Fixsternhimmels durch Schirmwirkung der Berge bis auf 3.6 J abgeblendet war, daß die aus der Gegend der Milchstraße kommende Strahlung um höchstens $\pm 60/_0$ größer oder kleiner sein könne, als die Strahlung von anderen Partien des Himmels.

Gegen die Existenz der sternzeitlichen täglichen Periode der Ultragammastrahlung sprechen die Messungen von J. Clay¹ auf Java: Clay hat bei völliger Abschirmung der Erdstrahlung durch Bleiplatten mit zwei Kolhörster'schen Apparaten (Zweischlingentype) wohl einen anscheinend regelmäßigen täglichen Gang der Strahlung festgestellt, dessen Hauptmerkmal ein sehr deutliches Minimum um 8^h früh (wohl nach Ortszeit) war, jedoch keine sternzeitliche Verschiebung dieses Minimums. Dieses Minimum (entsprechend einer wirklichen Verminderung der Strahlung um 0.3J trat besonders scharf hervor, wenn die Apparate zwischen zwei 70 cm hohen und 24 cm dicken Bleimauern aufgestellt waren, deren Längsrichtung nord-südlich gewählt wurde. Das Minimum fiel anfangs Mai auf 23h20 Sternzeit, Ende Juni auf 2h40 Sternzeit, d. h. jedesmal auf 8h30 Ortszeit. Da beide Apparate von März bis Mai eine deutliche Erhöhung der Gesamtionisation um etwa 0.5J anzeigen und auch auf der Seereise von Java bis ins Mittelmeer eine Zunahme um fast 3 J beobachtet wurde, so sind die Ergebnisse Clay's vorläufig schwer zu deuten und bedürfen jedesfalls sorgfältiger Nachprüfung. Sie sind im Widerspruch mit den Messungen Millikan's und Cameron's insofern, als die letzteren (l. c.) keine Abhängigkeit der Intensität der Gesamtstrahlung von der geographischen Breite auf ihrer Reise von Kalifornien nach Peru gefunden haben.

Fassen wir nun zusammen, so ersieht man, daß hinsichtlich der Existenz der sternzeitlichen Periode der Ultragammastrahlung verschiedene Autoren zu recht verschiedenen Schlußfolgerungen gelangt sind. Den positiven Befunden von Kolhörster, v. Salis und Büttner stehen die erwähnten Ergebnisse von Steinke, Millikan-Cameron und Clay gegenüber, die zwar die Existenz von nach Sternzeit eintretenden Strahlungsschwankungen an sich nicht widerlegen, aber doch im ganzen dafür zu sprechen scheinen, daß die Amplitude dieser Schwankungen wesentlich kleiner ist, als

 $^{^1}$ Koninkl. Akad. v. Wettenschapp. Amsterdam, 36, 1265 bis 1277, 1927 (Amsterd. Proceed., 30, Nr. 9 und 10).

man anfangs annahm. Auffallend bleibt, daß die Untersuchungen in großen Höhen und mit nach oben unabgeschirmten Apparaten (Kohlhörster, v. Salis und K. Büttner) eine tägliche Periode mit großer Amplitude gefunden wurde, während in geringer Seehöhe und bei Abschirmung der Seitenstrahlung (Steinke) die Schwankungen gering werden.

Es wäre denkbar, daß über die allgemeine, sehr harte und zeitlich fast konstante Ultragammastrahlung, die bis ins Meeresniveau herab auch in gepanzerten Apparaten noch nachweisbar bleibt, noch eine weichere, in der Höhe relativ stärker hervortretende Strahlung überlagert ist, welche wesentlich die Schwankungen verursacht.

§ 2. Plan der Untersuchung.

Als dem einen von uns¹ nach langjähriger, durch äußere Umstände aufgezwungener Pause im Herbst 1926 durch größere Unterstützungen von seiten der Akademie der Wissenschaften und des Bundesministeriums für Unterricht in Wien die Möglichkeit geboten war, die Untersuchungen über die Ultragammastrahlung wieder aufzunehmen, erschien es vor allem wichtig, nachzusehen, ob Beobachtungen in großer Seehöhe mit den Kolhörster'schen Strahlungsapparaten die tägliche Periode auch dann erkennen lassen, wenn die Apparate durch einen starken Eisenpanzer von der Einwirkung der Strahlen von der Härte gewöhnlicher Gammastrahlen größtenteils abgeschirmt werden.

Der Wiener Sonnblickverein hat uns durch Bewilligung größerer Geldmittel die Ausführung der Messungen auf dem Gipfel des 3106 *m* hohen Sonnblicks in den Hohen Tauern (Land Salzburg) im Jahre 1927 ermöglicht und auch alle zur Vorbereitung erforderlichen Anschaffungen sowie die recht beträchtlichen Transportkosten für die Eisenpanzerung der Apparate gedeckt.

Das auf dem Sonnblickgipfel gelegene Observatorium ist für langdauernde Beobachtungen der Ultragammastrahlung ganz besonders geeignet, da es für Apparate und Beobachter geschützte Unterkunft bei jedem Wetter bietet. Günstig ist auch der Umstand, daß bei der freien Lage keinerlei Abblendung der Strahlung bestimmter Himmelsgebiete durch benachbarte Berge stattfindet.

Zum Unterschied von allen bisher von anderer Seite angestellten Beobachtungen wurden unsere Ablesungen von vornherein nach Sternzeit eingerichtet. Es ist dies eine bisher wenig gewürdigte Verfeinerung, deren Bedeutung um so klarer wird, je mehr man die Möglichkeit der Existenz räumlich nicht allzuweit getrennter Strahlungszentren am Fixsternhimmel in Betracht zieht. Wenn z. B. die Maxima und Minima in kurzen Zeitabständen, z. B. 1 bis 2 Stunden aufeinander folgen, so würden auch bei einstündigen Ablesungsintervallen nach Ortszeit die Extremwerte stark

1 V. F. Hess.

verwischt, sobald man, wie es häufig geschah, z. B. die Beobachtungen von je einer Woche (Sternzeitverschiebung 30 Minuten) zusammenfaßt und dann erst die Sternzeitkorrektur anbringt.

Um die Apparate möglichst gründlich zu erproben und etwaige Unterschiede in der Tageskurve der Strahlung in verschiedenen Seehöhen feststellen zu können, wurden vor den eigentlichen Sonnblickmessungen noch Vorversuche in Graz (390 m), in Lans in Tirol (890 m) und auf dem Schutzhaus am Patscherkofel bei Innsbruck in 1970 m Seehöhe ausgeführt.

Außerdem sollten nach Möglichkeit noch Versuche in Gletscherspalten (unter Ausblendung der Strahlung bestimmter Himmelsgebiete) ausgeführt werden. Es war geplant, den Aufenthalt auf dem Sonnblick über längere Zeit — etwa einen Monat — auszudehnen, um eine sternzeitliche Tagesschwankung sicherzustellen. Die Absicht, mit zwei Apparaten gleichzeitig die Strahlung zu messen, beziehungsweise zu registrieren, konnte wegen Apparatschäden leider nicht verwirklicht werden.

§ 3. Apparate und Methodik der Beobachtung.

Die Messungen wurden angestellt mit zwei Kolhörster'schen Strahlungsapparaten mit Doppelschlingenelektrometern, die von Kolhörster selbst ausführlich beschrieben worden sind.¹ Die Kapazität betrug nach Angabe der Fabrikanten (Günther & Tegetmeyer in Braunschweig) bei Apparat I 0.77 cm, bei Apparat II 0.66 cm. Über den Rohrstutzen des Beobachtungsfensters am Apparat wurde vorsichtshalber noch eine Küvette mit Kupfersulfatlösung aufgeschraubt, um eine eventuelle für das Fadensystem schädliche Wärmestrahlung der Lampe, die dicht hinter den Panzer gestellt war, auszuschalten. Die Umgebungsstrahlung von der Härte der gewöhnlichen Gammastrahlung wurde immer durch einen parallelepipedischen Eisenpanzer von 7.2 cm Wandstärke abgeschirmt, dessen Aussehen aus der Fig. 1 leicht zu entnehmen ist. Durch Versuche mit einem geeichten Radiumpräparat wurde festgestellt, daß dieser Panzer im Mittel (über verschiedene Richtungen) diese Strahlung bis auf rund $10^{0}/_{0}$ absorbiert. Die Seitenwände bestehen aus einzelnen Eisenklötzen von 7.2 cm Dicke, die leicht zu handhaben sind. Der Boden und die Decke werden aus je neun Platten von je 8 mm Dicke gebildet. Diese Bauart gestattet auch die mühelose Anbringung des Kolhörster'schen Registrierapparates,² der dabei fast ganz außerhalb des Panzers zu liegen kommt (wie in der Figur ersichtlich). Dieser Apparat war damals noch nicht im Handel erhältlich und wir danken es dem freundlichen Entgegenkommen des Herrn Dr. W. Kolhörster und der Firma Günther & Tegetmeyer, daß trotzdem die Lieferung ermöglicht wurde. Dieser

¹ Physik. Zeitschr. 27, 62, 1927. Berlin. Ber. 38, 98, 1927

Registrierapparat besteht der Hauptsache nach aus einer zylindrischen Trommel (mit horizontaler Achse), die in lichtdichtem Gehäuse durch ein Uhrwerk getrieben in 24 Stunden eine Umdrehung macht. Auf diese Trommel wird der lichtempfindliche Papierstreifen aufgezogen. Knapp vor ihr befindet sich ein ihrer Achse paralleler enger Spalt, durch den die Abbildung der Mitte der beiden Elektrometer-



Fig. 1. Aufstellung der Apparate und des Panzers im Sonnblickobservatorium.

schlingen direkt durch das Objektivsystem des Mikroskopes auf den Papierstreifen projiziert wird. Die Scharfeinstellung der Fäden wird durch einen zweiten, oben im Gehäuse befindlichen Spalt mit Mattglasfenster ermöglicht. Durch einen unten angebrachten Schieber läßt sich der Spalt vor der Trommel verschließen, so daß bei Verwendung von Tageslicht auf diese Weise bequem Dunkelsignale als Zeitmarken gegeben werden können.

Jene Beobachtungen, die speziell zur Feststellung der täglichen Periode angestellt wurden, sind, wie schon eingangs erwähnt, nach Sternzeit gemacht worden. In Graz wurde hiezu ein großes Sternzeitchronometer der Sternwarte verwendet, in Lans, am Patscherkofel und am Sonnblick eine gute Junghans-Taschenuhr, die nach Sternzeit reguliert worden war und deren Gang durch Vergleich mit den Radiozeitzeichen und einem ebenfalls mitgeführten kleinen Boxchronometer (mitteleuropäischer Zeit) ständig kontrolliert wurde.

Es ist von größter Wichtigkeit für die Messungen, zu kontrollieren, ob die Apparate luftdicht schließen, und diese Kontrolle wird durch die Bestimmungen der sogenannten Eve'schen Zahl1 ermöglicht.² Mit einem Radiumpräparat, dessen Gehalt im Wiener Institut für Radiumforschung zu 0.401 mg Ra-Element bestimmt worden war, wurde die Ionisierungsstärke in bestimmter Entfernung (meist 160 cm) öfters gemessen und durch Vergleich mit den ursprünglichen Werten im Laboratorium festgestellt, ob die Dichte der Füllungsluft ungeändert geblieben war. Das Präparat war in einem doppelten Glasröhrchen eingeschmolzen, dessen Absorption berücksichtigt wurde. Es ergaben sich beispielsweise für Apparat I mit Braunschweiger Füllung $K = 6.72.10^{\circ}$, für Apparat II $K = 6.15.10^9 J$ pro Gramm Radium und Zentimeter. Die Verschiedenheit dieser Zahlen dürfte, da die Apparate ganz gleich gebaut sind, auf Ungenauigkeiten in der Bestimmung der äußerst kleinen Elektrometerkapazitäten zurückzuführen sein.

Die Ablesungen wurden nach zwei Methoden vorgenommen. Entweder wurde zu allen halben Stunden die Stellung der Fäden abgelesen, dabei aber die Differenz nur zwischen Werten gebildet, die um eine ganze Stunde auseinanderlagen, also etwa zwischen 9ⁿ30 und 10^h30, 10^h00 und 11^h00, 10^h30 und 11^h30 usw. Dadurch erhielten wir in der Tageskurve dichter beisammen liegende Punkte, die, was Ablesefehler betrifft, voneinander unabhängig sind. Oder es wurde eine zweite Methode verwendet, die wir kurz »Koinzidenzmethode« nennen wollen. Bei dieser wurde nach jeder Messung neu aufgeladen, und zwar mit Hilfe einer Anodenbatterie immer auf nahezu die gleiche Spannung. Das Mikroskop war mit Hilfe der Stellschrauben so justiert, daß beide Fäden zur gleichen Zeit an dem gleichen Skalenstrich rechts, beziehungsweise links vom Nullpunkt vorbeizogen. Der Augenblick, wo das Lichtstreifchen zwischen dem dunklen Faden und dem schwarzen Teilstrich der Skala gerade verschwindet, läßt sich sehr genau feststellen. Dann wurde nach etwa 55 bis 62 Minuten der Antritt der Fäden an den beiderseits um fünf Skalenteile niedriger gelegenen Teilstrichen beobachtet. Da hier die Fäden wegen Ungleichheit ihrer Elastizität nicht mehr gleichzeitig, wohl aber kurz nacheinander mit dem Rand des Teilstriches koinzidierten, wurde das Mittel dieser beiden Zeiten beobachtet und notiert. Eine Tabelle gestattet die sofortige

¹ Vgl. V. F. Hess, Physik. Zeitschr. 14, 610, 1912.

² Da dieses Verfahren etwas umständlich und zeitraubend ist, so haben wir für künftige Messungen an den Strahlungsapparaten die Anbringung eines mit dem Ionisationsraum kommunizierenden Aneroides vorgesehen.

³ Wiederholte Bestimmungen in Lans, am Patscherkofel und am Sonnblick zeigten, daß dies auch bei starken Druckdifferenzen der Fall war. Nur Apparat 1 zeigte in der zweiten Woche des Sonnblickaufenthaltes eine kleine Verringerung der Eve'schen Zahl, weshalb von da an nur mit Apparat II gearbeitet wurde.

Umrechnung der beobachteten Zeitdifferenz in Volt pro Stunde, beziehungsweise direkt in J.

Die Vorteile der Koinzidenzmethode sind einleuchtend: Erstens wird immer mit dem gleichen Spannungsintervall gemessen, so daß man von etwaigen Fehlern der Volteichung und mangelnden Sättigungsstromes frei wird. Zweitens sind Ablesefehler bei der Zehntelschätzung beseitigt, da die Antritte der Fäden ungleich genauer bestimmt werden können. Drittens lassen sich für das verwendete enge Intervall der Fadenbewegung sowohl die Fäden



14. IX. App. II. 1520

Fig. 2. Beispiel einer Registrierkurve der Ultragammastrahlung vom Sonnblick.

als auch die Skala auf die größte Bildschärfe einstellen, was sonst wegen des großen Gesichtsfeldes und der kreisförmigen Bewegung der Fadenschlingen nicht für alle Bereiche möglich ist. Es mag noch erwähnt werden, daß hier wie auch sonst immer darauf geachtet wurde, daß zwischen dem Aufladen und der ersten Ablesung eine genügende Zeit verstrich, um Störungen durch Polarisationserscheinungen des Isolators auszuschließen. Ein Mangel dieser Methode ist, daß sie den Beobachter fast ununterbrochen in Anspruch nimmt. Über die Fehlergrenzen bei den beiden bisher besprochenen Methoden siehe weiter unten (§ 4).

Die Registrierung mit dem oben beschriebenen Registrierapparat von Kolhörster konnte am Sonnblick nur mit Tageslicht vorgenommen werden, da Starkstrom oben nicht vorhanden ist und Batterien bei so starker Belastung eine zu kurze Lebensdauer besitzen. Die obige Figur zeigt einen solchen Streifen mit Zeitmarken um 9^h45, 15^h15 und 15^h20 in natürlicher Größe. Die Verwendung von Tageslicht bringt den Mangel mit sich, daß die stark wechselnde Helligkeit an teilweise bewölkten Tagen und besonders bei dem häufigen Auftreten von Nebel eine ungleichmäßige Belichtung zur Folge hat. Um die Streifen auszuwerten, mußte, da die Okularskala nicht mitabgebildet wird, eine photographische Eichung vorgenommen werden.

Es wurden hiezu mittels einer Potentiometeranordnung mit Präzisionsvoltmeter die Fäden durch einige Minuten auf bestimmten Spannungen gehalten und auf den Registrierstreifen abgebildet. Sodann wurde dieser und die übrigen Registrierstreifen auf einer Längenteilmaschine mittels eines mikrometrisch verschiebbaren Mikroskops ausgemessen. Die aus dem Eichstreifen erhaltenen Fadendivergenzen ergeben in Verbindung mit den zugehörigen Spannungswerten eine Eichkurve, die an Güte den auf subjektivem Wege wiederholt von uns bestimmten Eichkurven dieser Apparate in keiner Weise nachsteht. Die Ausmessung der Fadenbilddivergenzen (15 bis 30 mm) konnte bis auf etwa ± 0.03 mm genau vorgenommen werden.

Die Registriermethode hat vor den subjektiven Ablesungen wohl den großen Vorteil, daß die Überwachung der Apparate viel leichter ist und ein Beobachter mehrere Apparate leicht bedienen könnte. Sie hat aber auch manche Nachteile. Erstens lassen sich die Unregelmäßigkeiten im Gange des Uhrwerkes, das die Trommel treibt, durch künstliche Zeitmarken nicht ganz eliminieren, da, wie aus der Kannellierung der Streifen ersichtlich ist, kurzperiodische Schwankungen vorhanden sind, die wohl von der Zahnform der Triebräder herstammen. Weiters können Fehler entstehen dadurch, daß der Streifen nicht eng genug an der Trommel anliegt. Schließlich ist beim Entwickeln und Fixieren der Papiere ein Verziehen der Schicht möglich, was die Messungsgenauigkeit beeinträchtigen könnte. Immerhin können bei sorgfältiger Handhabung diese Apparate, namentlich bei längeren Meßreihen mit mehreren Strahlungsapparaten, sehr gute Dienste leisten.

Ergebnisse.

§ 4. Die zeitlichen Schwankungen der Strahlung.

Die Beobachtungen wurden an vier Orten ausgeführt, und zwar Vorversuche in Graz, Lans in Tirol und im Schutzhaus des Patscherkofels, die definitiven Versuche aber auf dem Sonnblick.

A. Graz.

Im Kuppelraum der Grazer Sternwarte (390 *m* Seehöhe) wurde mit Apparat I im Eisenpanzer (mit Deckplatten) eine mehrtägige Versuchsreihe mit möglichst ein- bis zweistündiger Ablesung durchgeführt. Das Dach der Kuppel besteht aus einer dünnen, mit Blech bekleideten Holzschicht.

Die Beobachtungen verteilten sich auf etwa 2 bis 15^{h} Sternzeit und ergeben eine maximale Schwankung von 0 35 J, wobei die Werte zwischen 2 bis 5^h Sternzeit ein um etwa 0.2J kleineres-Mittel liefern als die zwischen 8 und 14^h Sternzeit. Die zu gleichen Zeiten erhaltenen Einzelwerte schwanken aber um den gleichen Betrag. Die Resultate sind unten in Fig. 3 neben G eingezeichnet, und zwar nur die Einzelwerte, da die Streuung der Punkte zu groß ist, um eine Mittelkurve hindurchlegen zu können.

B. Lans i. Tirol (890 m Seehöhe).

Die Messungen wurden vom 19. Juli bis 2. August 1927 mit Apparat I im Panzer (wie oben) auf dem im zweiten Stock der Villa Scheidle befindlichen Holzbalkon ausgeführt, der oben nur von Holzgebälk, beziehungsweise dem darüber befindlichen Ziegeldach überdeckt ist. Die Mittelwertkurve dieser Beobachtungsreihe ist in Fig. 3 (siehe unten) unter L dargestellt. Die Einzelmessungen wurden nach der gewöhnlichen subjektiven Ablesungsmethode in halbstündigen Intervallen durchgeführt. Die Anzahl der zur Mittelbildung jeweils verwendeten Einzelbeobachtungen ist durch verschiedene Bezeichnung der Kurvenpunkte gekennzeichnet. Es bedeuten -Punkte bis zu drei Einzelmessungen, \cdot -Punkte vier oder fünf, Kreuze mehr als fünf-Einzelmessungen. Dieselbe Bezeichnungsweise ist auch bei den übrigen Kurven in dieser Figur beibehalten.

Apparat II war infolge einer Beschädigung auf dem Rücktransport von Helgoland nach Graz Ende Juni unbrauchbar geworden und wurde uns erst Mitte August von der Firma Günther & Tegetmeyer wieder geliefert, so daß er erst für die Beobachtungen auf dem Sonnblick in Betracht kam.

C. Patscherkofel (Schutzhaus, 1970 m Seehöhe).

Im Schutzhaus am Patscherkofel wurde sodann Apparat I in einem dicht unter dem Holzdach gelegenen Zimmer des ersten Stockwerks wieder im Panzer aufgestellt, wobei aber hier nur sieben Bodenplatten ($5 \cdot 6 \, cm$ Eisen) und zwei Deckplatten ($1 \cdot 6 \, cm$ Eisen) verwendet wurden. Die Mittelwertskurve der einwöchigen Messungsreihe (5. bis 11. August) ist in Fig. 3 mit P bezeichnet.

Da hier wie auch am Sonnblick nur der eine von uns¹ die Beobachtungen besorgte, so war es an beiden Orten nicht möglich, die Messungen gleichmäßig über den ganzen Tag zu verteilen; deshalb wurde jenes Intervall bevorzugt, das nach den Angaben von Kolhörster und von Büttner die größte Schwankung und den gleichmäßigen Anstieg vom tiefsten Minimum zum höchsten Maximum und den darauf folgenden Abstieg zum nächsten Minimum enthält, nämlich die Zeit von 11^h bis 20^h Sternzeit.

Die unter A, B und C erwähnten, sämtlich mit Apparat I ausgeführten Messungen sind in den Kurven ohne Abzug der Reststrahlung angeführt; diese kann nicht sicher angegeben werden, da

¹ O. Mathias.

sie nur indirekt bestimmt wurde, was aber bei der Beurteilung einer täglichen Periode belanglos ist. Für Kurve G (Grazer Beobachtungen) dürfte die Reststrahlung 4.5 J betragen haben, während nach dem Rücktransport aus Helgoland Apparat I eine Erhöhung seiner Reststrahlung auf etwa 5.5 J zeigte (vgl. auch § 5, unten). Dies muß in Betracht gezogen werden, wenn man aus den Kurvenangaben die Absolutwerte der Ultragammastrahlung für die verschiedenen Seehöhen entnehmen will.

D. Sonnblick (Zittelhaus, 3106 m Seehöhe).

Auch hier wurde der Apparat in einem vollständig gleich gebauten 7.2 cm dicken Eisenpanzer aufgestellt, wie aus der photographischen Ansicht (Fig. 1, p. 9) ersichtlich ist. Ober dem Beobachtungsraum (Gelehrtenstube des Observatoriums) liegt noch eine Dachkammer; sämtliche über dem Apparate liegenden Teile des Hauses bestehen aus Holz. Die Schirmwirkung gegenüber der Ultragammastrahlung ist also auch hier sehr gering. Da auf dem Sonnblick auch nur ein Panzer zur Verfügung stand, so wurde jeweils nur ein Apparat zur Beobachtung der täglichen Schwankung verwendet (meist Apparat II, der nach der Reparatur nur $3 \cdot 16 J$ Reststrahlung zeigte). Apparat I wurde zeitweise auf dem Panzer und dann zu Versuchen in einer Gletscherspalte (siehe § 5) verwendet.

Die mit Apparat II im Panzer erhaltenen Ergebnisse sind in den Kurven SS, SK und SR der Fig. 3 (siehe unten) zusammengestellt: die ausgezogene Kurve bei SS bezeichnet die Mittelwerte nach der ersten subjektiven Methode (siehe § 3) in der Zeit vom 15. bis 23. September 1927. Darüber ist punktiert eine Kurve gezeichnet, die man erhält, wenn man an den Einzelwerten eine empirische Spannungskorrektur¹ anbringt, die durch Ordnung der beobachteten Einzelwerte nach den mittleren Voltzahlen während der Messung erhalten wurde. Man ersieht, daß die so korrigierte Kurve (SS, punktiert) von der unkorrigierten Kurve (SS, ausgezogen) in den wesentlichen Zügen nicht abweicht.

Die nächste Kurve SK zeigt die Mittelwerte, die aus einer dreitägigen Versuchsreihe mit Apparat II (3., 4., 5. September) nach der Koinzidenzmethode (vgl. p. 10) gewonnen wurden.

Die Kurve SR schließlich gibt die Resultate einer Beobachtungsreihe mit Apparat II nach der Registriermethode (11. bis 15. September).

Sämtliche Sonnblickkurven beziehen sich auf Beobachtungen im vollständigen Eisenpanzer.

Wegen des sogenannten Barometereffekts (wechselnde Absorption der Ultragammastrahlung in der über dem Beobachtungsorte befindlichen Luftmasse) sollten die beobachteten Werte eigentlich noch auf einen mittleren Luftdruck reduziert werden (der Effekt wird mit 0.6 bis 1 $1^0/_0$ pro Millimeter Hg angegeben); da aber auf dem

¹ Ähnlich wie K. Büttner, Zeitschrift für Physik, 45, 594, 1927.

Patscherkofel und auf dem Sonnblick der Luftdruck längere Zeit nur minimale Schwankungen zeigte, so glauben wir darauf verzichten zu können, um so mehr als die Kurven K. Büttner's über den täglichen Gang der Strahlung auf der Zugspitze mit und ohne Druckkorrektur keine wesentlichen Unterschiede zeigen.



und Sonnblick.

Diskussion.

Ein Vergleich aller in der obenstehenden Fig. 3 dargestellten Kurven zeigt, daß an allen vier Orten zeitliche Schwankungen der Ionisation beobachtet wurden: Eine Vergrößerung der Amplituden der Schwankungen mit zunehmender Seehöhe ist nicht erkennbar.

Eine Übereinstimmung in den Eintrittszeiten der Extremwerte ist im allgemeinen nicht vorhanden, wenn auch einige der Kurven stückweise Ähnlichkeiten aufweisen. So zeigen die Kurven P und SRum 8^h 30 beide ein Maximum, um 9^h 30 ein Minimum, von da an einen flachen Anstieg, dem ein Intervall mit geringen Schwankungen bis 15^h 30 Sternzeit folgt. Später steigen die Kurven wieder an, erreichen um 16^h 30 ein Maximum, dann folgt ein Abfall bis 18^h. Dieser letzte Kurvenbuckel ist auch in der Kurve SS in durchaus ähnlicher Form erkennbar. Die übrigen Schwankungen der letztgenannten Sonnblickkurve stimmen aber durchaus nicht mit denen von P oder SR. Auch die Lanser Kurve (L) verläuft durchaus unähnlich. Bemerkenswert ist, daß die nach der Koinzidenzmethode (also der Methode mit den geringsten Ablesungsfehlern) erhaltene Sonnblickkurve SK die geringsten Schwankungen zeigt, nämlich $\pm 0.08 J$ bei einer Strahlungsintensität der Ultragammastrahlung im Panzer von etwa 4.4 J. Die Amplitude würde also nur $\pm 1.80/_0$ der mittleren Strahlungsintensität ausmachen. Dagegen ist bei SS die Amplitude $\pm 0.19 J$, bei SR $\pm 0.30 J$. Noch größer sind die beobachteten Schwankungen bei Kurve P (Patscherkofel).

Eine Berechnung der mittleren Fehler der Einzelmessung ist unter verschiedenen Voraussetzungen vorgenommen worden: 1. kann man unter der Annahme der Existenz der Sternzeitperiode der Strahlung die zu bestimmten Stunden erhaltenen Einzelwerte mitteln und daraus den mittleren Fehler berechnen; 2. nimmt man dagegen an, daß überhaupt keine Tagesschwankung vorhanden ist, so kann man z. B. alle Stundenwerte eines Tages zu einem Mittel vereinigen und daraus den mittleren Fehler errechnen; 3. sind die Schwankungen der Strahlung ganz unregelmäßig, so hat eine Fehlerberechnung keinen Sinn und in diesem Fall müßten Beobachtungen bei völliger Ausschließung der kosmischen Strahlung z. B. in einem Bergwerk angestellt werden, um Aufschluß über die Genauigkeit der Einzelmessung zu erhalten.

Unter Annahme 1 ergab sich für unsere Lanser Messungen mit Apparat I der mittlere Fehler der Einzelmessung (aus durchschnittlich neun Einzelwerten) zu $\pm 0.3 J$, für die am Patscherkofel $\pm 0.35 J$, auf dem Sonnblick (Apparat II) $\pm 0.2 J$.

Unter Annahme 2 erhielten wir auf dem Sonnblick bei der Koinzidenzmethode $\pm 0.14 J$, bei der subjektiven Methode $\pm 0.20 J$. Es sind also nach beiden Annahmen und bei der subjektiven Methode die mittleren Fehler für Apparat II gleich groß.

Vergleicht man mit diesen mittleren Fehlergrenzen die oben erwähnten Abweichungen unserer Kurven von ihren Mittelwerten, so erkennt man, daß die von uns beobachteten Amplituden der Strahlungsschwankungen ungefähr gleich groß sind wie die mittleren Fehler der Einzelmessungen (bei SK ist die Amplitude sogar noch kleiner).

Zusammenfassend müssen wir sagen, daß das Vorhandensein einer täglichen, streng periodisch nach Sternzeit verlaufenden Strahlungsschwankung von einer Amplitude, wie sie Kolhörster und Büttner fanden, durch uns nicht bestätigt werden konnte, wobei wir betonen, daß unsere sämtlichen Beobachtungen — im Gegensatz zu denen der genannten Autoren — im Eisenpanzer, also unter Ausschluß weicherer Strahlen ausgeführt worden sind. Das von Kolhörster und von Büttner gefundene Hauptminimum um 11^h ist in unseren Kurven nicht vorhanden, das Hauptmaximum um 16^h ist zwar bei den Kurven SR, SS und P mit halbstündiger Verspätung angedeutet, fehlt aber bei SK gänzlich.

Die Frage, warum bei Kolhörster und Büttner die sternzeitliche tägliche Periode so deutlich hervortritt, während wir mit denselben Apparaten ihre Resultate im wesentlichen nicht bestätigt finden, ist vorläufig ganz offen. Der einzige Unterschied zwischen ihrer und unserer Versuchsanordnung liegt in der Verwendung des Eisenpanzers. Es wäre also noch denkbar, daß die härtere Strahlung keine tägliche Periode aufweist, während eine von ihr unabhängige weichere Strahlung die Sternzeitperiode liefert; diese Möglichkeit wird ja auch von A. Corlin¹ in Betracht gezogen.

Weitere Versuche werden auch darüber Aufschluß geben. Vor allem planen wir, am Sonnblick Parallelmessungen mit Apparaten verschiedener Konstruktion und mit verschiedener Panzerung durchzuführen. Bei Messungen mit nach oben ungepanzerten Apparaten muß beachtet werden, daß im Hochgebirge, also in relativ emanationsreicher Luft, der wechselnde Emanationsgehalt über dem Beobachtungsort Schwankungen der Ionisation bewirken kann, die 0.2 J und mehr erreichen können. Die Panzermessungen sind von solchen Störungen praktisch frei.

Noch eine andere Frage bietet hohes Interesse: wir haben bei Bildung der Tagesmittel in längeren Versuchsreihen, so in Lans, am Sonnblick und endlich bei einer aus 66 elfstündigen Einzelmessungen bestehenden Reihe in Graz bemerkt, daß diese Tages- oder Halbtagsmittel zweifellos etwas größere Unterschiede aufweisen können, als den Fehlergrenzen entspricht. Wir planen daher eine systematische Untersuchung der Frage, ob länger dauernde periodische oder unperiodische Schwankungen der Strahlung vorhanden sind. Auch hier werden Parallelmessungen mit Apparaten verschiedener Konstruktion entscheidend sein.

§ 5. Absorptionsversuche.

1. Versuche im Gletschereis.

Am 6. und 7. September wurden in einer tiefen und schmalen Gletscherspalte östlich des Grates der Goldbergspitze mit Apparat I Einsenkversuche unternommen. Die Spalte war oben höchstens 40 cm breit, $9 \cdot 8 m$ tief und fast senkrecht. Sie verlief von NW nach SO. Diese Spalte wurde mit Balken überbrückt und der Apparat, verpackt in einer Kartonschachtel und in Wachstuch eingehüllt, mittels eines

¹ Nature, 121, 322, 1928.

Seiles in verschiedene, vorher ausgemessene Tiefen hinabgelassen. Die Ablesungsintervalle betrugen 1 bis $5^3/_4$ Stunden. Die Resultate sind aus der folgenden Kurve (Fig. 4) ersichtlich. Der Betrag der allerdings nur annähernd bestimmten Reststrahlung des Apparats ist hiebei bereits in Abzug gebracht, so daß die Zahlen der Wirkung der Ultragammastrahlung (beziehungsweise der von ihr erregten Sekundärstrahlung) allein entsprechen.

Die aus den Kurvenpunkten unter Annahme des senkrechten Einfallens der Strahlung berechneten Absorptionskoeffizienten (Schwächungskoeffizienten) μ sind aus der folgenden kleinen Tabelle zu



Absorption der Strahlung im Gletschereis.

entnehmen, wobei die Werte von μ bereits auf ein Medium von der Dichte Eins umgerechnet sind; bei dieser Umrechnung wurde die Dichte des Gletschereises mit 0.87 eingesetzt (siehe A. Heim, Gletscherkunde, 1885, p. 113), da es sich um weißes, blasiges Eis handelte.

Tiefenstufe	$\mu_{(H_2O)}$		
0 bis 2 111	$2.56.10^{-3}$ cm ⁻¹		
2 5 <i>m</i>	$2 \cdot 22.10^{-3}$ cm ⁻¹		
5 » 9·8 <i>111</i>	$1.76.10^{-3}$ cm $^{-1}$		
Wittel: 0 bis 9.8 111	$2.07.10^{-3} cm^{-1}$		

Diese Werte stimmen recht gut mit denen überein, welche Kolhörster und v. Salis am Jungfraujoch und am Kleinen Scheidegg erhalten haben (1 6 bis $2 \cdot 7 \cdot 10^{-3}$, Mittel $2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$ cm⁻¹).

344

Aus der Abnahme der Werte von μ mit der Tiefe ersieht man die bekannte Inhomogenität der Strahlung. Wenn man die Zunahme der Dichte des Gletschereises mit der Tiefe in Rechnung ziehen würde, so würde dieser Effekt noch etwas verstärkt werden.

Die Abnahme der Absorptionskoeffizienten mit wachsender Tiefe wurde auch von K. Büttner¹ beobachtet, der in den Tiefenstufen 0 bis 2, 2 bis 4.5 und 4.5 bis 6 *m* die Werte $\mu_{(H_2O)} = 2.4, 2.04$ und $1.8.10^{-3}$ cm⁻¹ fand.

Bei Gletscherspaltenversuchen ist noch zu berücksichtigen, daß durch die Spalte selbst ein Bruchteil der gesamten Ultragammastrahlung direkt auf den Apparat wirken kann, u. zw. um so stärker, je näher der Oberfläche sich dieser befindet. Wir berücksichtigten diesen Einfluß dadurch, daß wir unter der Annahme, daß die Strahlung aus allen Richtungen eines Kegels von 120° Öffnungswinkel gleichmäßig kommt - für jede Tiefenstufe das durch die Spaltenöffnung unbedeckt gebliebene Himmelssegment, beziehungsweise den von diesem eingenommenen Raumwinkel (vom Apparate aus gesehen) in Rechnung zogen. So ergeben sich für die Strahlungsintensitäten in 2 und 5 m Tiefe 4.11, beziehungsweise 2.34 J statt der direkt gemessenen Werte 4.24 und 2.38 J. Für 9.8m Tiefe ist der Unterschied bereits verschwindend klein, an der Oberfläche Null. Die mit dieser »Spaltenkorrektur« berechneten Absorptionskoeffizienten (stets auf die Dichte Eins umgerechnet) für die verschiedenen Tiefenstufen ergeben sich zu

Tiefenstufe	$\mu_{(H_2O)}$ (korrigiert)			
0 bis 2 m 2 > 5 m 5 = 0 + 8 m	$2 \cdot 75 \cdot 10^{-3} cm^{-1}$ $2 \cdot 16 \cdot 10^{-3} cm^{-1}$ $1 \cdot 72 \cdot 10^{-3} cm^{-1}$			
0 bis $9\cdot8 m$ (Mittel)	$2.07.10^{-3} em^{-1}$			

Der »Härtungseffekt« tritt also noch deutlicher hervor als bei den unkorrigierten Werten.

Schließlich haben wir auch noch die Rechnung für den Fall durchgeführt, daß die Ultragammastrahlung gleichmäßig aus allen Richtungen kommend die absorbierende Schicht auch in schiefer Richtung durchsetzt. Nennt man die oberhalb der absorbierenden Schicht aus dem Raumwinkel Eins kommende Strahlungsintensität i_0 , aus dem ganzen Halbraum daher $2 \pi i_0 = J_0$, so ergibt sich in der Tiefe H die Strahlungsintensität aus dem ganzen Halbraum zu

$$J = J_0 \int_0^{\pi/2} \sin \vartheta \cdot d \vartheta \cdot e^{-\mu \cdot H \cdot \sec \vartheta},$$

¹ Zeitschrift für Geophysik, 3, 175, 1927, Nr. 4.

eine Formel, welche bereits R. A. Millikan und H. G. Cameron¹ für ihre Tauchversuche in Wasser in verschiedenen Höhen herangezogen haben. Führt man $y \equiv \sec \vartheta$ als neue Variable ein, so erhält man die Umformung

$$J \equiv J_0 . \int_{1}^{\infty} \underbrace{e^{-\mu . H . y}}_{\mathcal{Y}^2} . dy'.$$

Numerische Werte dieses Integrals sind von E. Gold² angegeben, so daß man daraus für jedes beobachtete Verhältnis der Strahlungsintensität in der Tiefe zu der an der Oberfläche J/J_0 den zugehörigen Wert von μ . H entnehmen kann.

Streng anwendbar ist aber diese Formel eigentlich nur dann, wenn man als J_0 den Wert der Strahlungsintensität an der oberen Grenze der Erdatmosphäre einsetzt. Diesen wiederum kann man nur bei Voraussetzung eines bereits bekannten und mit der Höhe nicht weiter veränderlichen Massenabsorptionskoeffizienten in der Atmosphäre, also eines konstanten μ/ρ annähernd berechnen, ähnlich wie es Millikan und Cameron (l. c.) getan haben.

Betrachtet man hingegen J_0 als den Wert der Strahlung, zum Beispiel an der Gletscheroberfläche oder am Wasserspiegel eines Sees bei Eintauchversuchen, so trifft die Voraussetzung einer gleichmäßigen Verteilung der Strahlung über alle Richtungen keineswegs mehr zu: denn die schiefen und horizontnahe laufenden Strahlen sind in den uns zugänglichen Höhenschichten schon erheblich gegenüber den Zenithstrahlen geschwächt.

Wenn man trotzdem die erwähnte Formel unter Zuhilfenahme der Gold'schen Tabelle auf Versuche zwischen Oberfläche und verschiedenen Tiefenstufen bei Gletscherspalten anwendet, erhält man viel zu kleine Werte der Absorptionskoeffizienten: denn da bei Berücksichtigung der Strahlen aus allen Richtungen die schräg einfallenden viel mehr geschwächt werden als die senkrechten, so würde sich für die Tiefe ein kleinerer Wert von J ergeben. Umgekehrt muß bei vorgegebenen (beobachteten) J_0 und J das μ kleiner werden, damit derselbe Intensitätswert für die Tiefe zustandekommt.

Für unsere Versuche errechnen wir z. B. Werte für μ/ρ von etwa $1.05.10^{-3}$ cm²/g, d. h. $\mu_{\rm H_2O} = 1.05.10^{-3}$ cm⁻¹, wobei die so berechneten Werte für die verschiedenen Tiefenstufen nur wenig verschieden ausfallen, d. h. der Härtungseffekt scheinbar verschwindet.

Die wahren Werte der Massenabsorptionskoeffizienten für Gletschereis liegen natürlich zwischen den beiden angegebenen Extremen, da weder die Voraussetzung senkrechter Inzidenz noch

¹ Phys. Rev. (2), 28, 851, 1926 und 31, 163 bis 172, 1928.

² Proc. Roy. Soc. A. 82, 62 (1909).

die einer gleichmäßigen Verteilung der Strahlung auf alle Richtungen wirklich zutrifft.

Immerhin aber überwiegen jedoch die zenitalen Strahlen für alle uns auf festem Boden zugänglichen Höhenlagen so stark, daß die oben unter Voraussetzung senkrechten Einfallens der Strahlen berechneten Absorptionskoeffizienten der Wahrheit näher kommen werden als die zuletzt errechneten Werte und daher ein reeller Härtungseffekt übrig bleibt.

2. Versuche in Eisen.

Wenn man Beobachtungen mit einem durch Seiten- und Bodenplatten gegen Umgebungsstrahlung (Erdstrahlung) geschützten Apparat mit und ohne die Deckplatten aus Eisen ausführt, so kann man daraus den Absorptionskoeffizienten in Eisen berechnen. Wir haben diese Versuche in Graz (390 m) und auf dem Sonnblick (3106 m) ausgeführt und erhalten (nach Abzug der Reststrahlung) folgende Resultate:

Graz	Арр.	I, im	Panzer	ohne Deckp	latten	1.88	J
		I,		mit 7 · 2 <i>cm</i>	Deckplatten	$1 \cdot 47$	J
Sonnblick	. I	Ι,		ohne Deckp	latten	6·43	J
	Ι	Π,		mit 7 · 2 cm	Deckplatten	$4 \cdot 12$	J.

Der Versuch in Graz ergibt dann einen Massenabsorptionskoeffizienten $\mu_{\rm p} = 4.5.10^{-3}$, der auf dem Sonnblick aber $7.98.10^{-3} \, cm^2/g$. Man erkennt daraus, daß in der Höhe relativ mehr weiche Strahlung vorhanden ist als in Meereshöhe: die mittlere Härte der Strahlung nimmt nach Durchdringung wachsender Luftmassen beständig zu.

3. Versuche über Absorption in Luft.

Da im Apparat I die Reststrahlung während des Frühsommers 1927 um fast 1J zugenommen hat (Herausdiffundieren aktiver Materie aus der elektrolytischen Zinkschicht an der Innenwand?), so läßt sich aus der mit diesem Apparate beobachteten Zunahme der Ionisation zwischen Graz und Sonnblick nichts Sicheres über die Absorption der Ultragammastrahlung in Luft aussagen. Vorzüglich dagegen eignen sich zu diesem Zwecke die Messungen mit Apparat II, dessen Reststrahlung vom Zeitpunkte der Lieferung (Mitte August) bis heute ungeändert geblieben ist.

Im 7 cm-Eisenpanzer ergab sich mit diesem Apparate auf dem Sonnblick ein Wert der Ultragammastrahlung $4 \cdot 27 J$, in Graz $1 \cdot 47 J$. Aus dem mittleren Luftdruck an beiden Orten ergibt sich das Wasseräquivalent der zwischen der Höhe von Graz und der des Sonnblicks liegenden Luftmasse zu 272 cm. Daraus berechnet sich (wieder bei Annahme einer senkrecht einfallenden Strahlung) der Massenabsorptionskoeffizient für Luft zwischen 390 und 3106 m Höhe

$$(\mu/\rho)_{\rm Luft} \equiv 3 \cdot 9.10^{-3} \, cm^2/g$$

in bester Übereinstimmung mit Büttner (l. c.), der zwischen 0 und 2500 m mit zwei Apparaten die Zahlenwerte 3.9 und $4.2.10^{-3}$ erhalten hat.

Daß die Verschiedenheit der in Eis, Eisen und Luft erhaltenen Werte des Massenabsorptionskoeffizienten großenteils auf die relative Verschiedenheit der Streuung in diesen Medien zurückzuführen ist, versteht sich von selbst.

§ 6. Zusammenfassung der Ergebnisse.

Es wurden an vier in verschiedenen Seehöhen gelegenen Orten, nämlich Graz (380 m), Lans in Tirol (890 m), Patscherkofel (Schutzhaus, 1970 m) und auf dem Sonnblick (3106 m) im Sommer und Herbst 1927 Messungen der kosmischen Ultragammastrahlung (Höhenstrahlung) mit zwei Kolhörster'schen Strahlungsapparaten (Doppelschlingensystem) mit 7 cm Eisenpanzerung ausgeführt. Die subjektiven Ablesungen (nach Sternzeit) wurden zum Teil nach einer die Ablesefehler stark herabsetzenden Methode (»Koinzidenzmethode«) vorgenommen, die photographischen Registrierungen mittels einer von Kolhörster konstruierten Anordnung bewerkstelligt.

An allen vier Orten wurden im allgemeinen unregelmäßige, kleine zeitliche Schwankungen der Ionisation festgestellt: eine Vergrößerung der Amplitude der Schwankungen mit zunehmender Seehöhe war nicht feststellbar.

Eine Übereinstimmung in den Eintrittszeiten der Extremwerte ist im allgemeinen nicht vorhanden, wenn auch einige Kurven stückweise Ähnlichkeiten aufweisen: zwei Kurven vom Sonnblick und eine vom Patscherkofel zeigen ein Maximum der Strahlung um 16^h 30 Sternzeit, doch fehlt dieses Maximum bei der nach der Koinzidenzmethode erhaltenen Sonnblickkurve gänzlich. Bei der letztgenannten ist die Amplitude der Strahlungsschwankung nur $\pm 0.08 J$ bei einer Gesamtintensität der Strahlung (im Panzer) von 4.4 J, also nur $\pm 1.8^{0}/_{0}$. Im übrigen sind die beobachteten Schwankungen ungefähr gleich groß wie die mittleren Fehler der Einzelmessungen.

Das Vorhandensein der nach Sternzeit verlaufenden täglichen Schwankung von einer Amplitude, wie sie Kolhörster und Büttner gefunden haben, konnte nicht bestätigt werden, wobei hervorgehoben sei, daß der Unterschied unserer Versuchsanordnung von der der genannten Autoren in der Verwendung der allseitigen $7 \cdot 2 cm$ Eisenpanzerung der Apparate bestand. Es wäre also noch denkbar, daß die härtere durch 7 cm Eisen dringende Strahlung

348

keine tägliche Periode aufweist, während eine von ihr unabhängige weichere Strahlung die Sternzeitperiode ergibt.

Versuche in einer Gletscherspalte am Sonnblick liefern als mittleren Massenabsorptionskoeffizienten der Ultragammastrahlung (bei Annahme senkrechter Inzidenz) zwischen 0 und 10*m* Eis $2 \cdot 07 \cdot 10^{-3} cm^2/g$ und deutliche Härtung der Strahlen mit zunehmender Schichtdicke, in Übereinstimmung mit anderen Autoren.

Versuche mit und ohne Deckplatten des Eisenpanzers in Graz und auf dem Sonnblick ergeben als Werte des Massenabsorptionskoeffizienten in Eisen $\mu/\rho = 4.5.10^{-3}$, beziehungsweise $8.10^{-3} \text{ cm}^2/g$, in Luft $3.9.10^{-3} \text{ cm}^2/g$. Die Unterschiede sind auf Streuungseffekt und relatives Vorwiegen weicherer Strahlungskomponenten in der Höhe zurückführbar.

Die vorliegenden Untersuchungen konnten nur dadurch zur Ausführung gebracht werden, daß ihnen von allen Seiten weitgehende Unterstützung und Förderung zuteil wurde.

An erster Stelle möchten wir dem Präsidium des Sonnblickvereines in Wien danken, das die recht beträchtlichen Geldmittel zur Ausführung der Beobachtungen auf dem Sonnblickgipfel, zur Bestreitung der Transport- und Aufstellungskosten sowie zur Anschaffung der Eisenpanzer und sonstiger wichtiger Behelfe bewilligte.

Die Durchführung der Versuche am Patscherkofel wurde durch das Entgegenkommen der Sektion Innsbruck des Österreichischen Touristenklubs als der Eigentümerin des Schutzhauses und der Bauleitung der Patscherkofel-Seilbahngesellschaft gefördert, welch letztere uns kostenlos den Auf- und Abtransport des 400 kg schweren Eisenpanzers und der Apparate besorgte. Speziell danken wir Herrn Rechtsanwalt Dr. Prohaska, Leiter der Sektion Innsbruck des Österreichischen Touristenklubs, und dem Bauleiter der Patscherkofelseilbahn Herrn Oberingenieur Max Eiler für ihre Zuvorkommenheit. Weiters danken wir Herrn Oberlehrer Josef Scheidle in Lans für die Ermöglichung der Messungen mit dem Eisenpanzer auf dem Balkon seiner Villa bestens. Endlich sei auch dem Wetterwart des Sonnblickobservatoriums Herrn Leonhard Winkler für seine sehr wertvolle Hilfe bei der Aufstellung und dem Transport der Apparate und seine Mitwirkung bei den Gletscherspaltenversuchen herzlichst Dank gesagt.

Für die rasche und rechtzeitige Lieferung des Registrierers und des Strahlungsapparates II sind wir der Firma Günther & Tegetmeyer in Braunschweig zu Dank verpflichtet.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: <u>Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften</u> mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1928

Band/Volume: 137_2a

Autor(en)/Author(s): Hess Victor Franz, Mathias Oskar

Artikel/Article: Beiträge zur Kenntnis der atmosphärischen Elektrizität Nr. 70. Untersuchung der Schwankungen der kosmischen Ultragammastrahlung auf dem Sonnblick (3100 m) und in Tirol. 327-349