

Der Tagesgang der kosmischen Ultrastrahlung II

Von E. REMY und A. SITTKUS

Aus dem Physikalischen Institut der Universität Freiburg i. Br.  
(Z. Naturforschg. 11 a, 556—561 [1956] ; eingegangen am 12. April 1956)

The total cosmic-ray intensity was measured in 1953 near Freiburg i. Br. ( $48^{\circ}$  N,  $8^{\circ}$  E, 1200 m) by a countertelescope in three different ranges of zenith-angle (center of gravity  $10^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ). The behavior of inclined radiation with the center of gravity at  $40^{\circ}$  can be deduced from these measurements by calculation. From the examination of the diurnal variation, obtained by averaging over three days only, the following factors can be seen:

1. There are often several maxima and minima during one day. The time, the height, and the number of maxima change from day to day.
2. A correlation with earthmagnetic disturbances with 27-day-recurrence-tendency is indicated.
3. The diurnal variation of cosmic-rays coming near the vertical differs strongly from those coming from inclined directions. The dependence of zenith-angle is variable.

Mit einer Zählrohrkoinzidenzanordnung werden seit Februar 1953 Registrierungen der Gesamtintensität der Ultrastrahlung (U.S.) auf einer Bergstation bei Freiburg i. Br. (1200 m; geogr. Koord.  $48^{\circ}$  N,  $8^{\circ}$  E) durchgeführt. Das Teleskop enthält 4 Zählflächen von je 3000 cm<sup>2</sup>. Jede Fläche ist mit 12 Zählrohren verschiedener Länge kreisförmig so ausgelegt, daß eine azimutale Richtungsbevorzugung ausgeschlossen wird. Zur Untersuchung der Zenitwinkelabhängigkeit wurden die Zählflächen (1, 2, 3, 4) in den Abständen 60,7, 9,5 und 60,7 cm senkrecht übereinander aufgestellt (Abb. 1). Die Anordnung liefert durch Koinzidenzschaltung der Gruppen 2 und 3 ( $K_{23}$ ) eine Registrierung der Intensität in dem weiten Öffnungswinkel von  $162^{\circ}$  ( $81^{\circ}$  maximaler Zenitwinkel). Die Kombination der Gruppen 1 und 4 ( $K_{14}$ ) ergibt den engen Öffnungswinkel von  $50^{\circ}$ . Die Koinzidenzschaltung von Gruppe 1 mit 2 ( $K_{12}$ ) und 3 mit 4 ( $K_{34}$ ) ergibt zwei identische Anordnungen mit einer mittleren Öffnung von  $90^{\circ}$ . Diese sind im Aufbau und in der Schaltung vollkommen unabhängig voneinander, wodurch eine laufende Kontrolle der Apparatur möglich ist. Tab. 1 gibt die Grundwerte der Anordnung.

Die Intensitätsverteilungen der registrierten Strahlung als Funktion des Zenitwinkels wurden nach den üblichen Ansätzen (z. B. EHMERT<sup>1</sup>) berechnet. Die Verteilungskurven für die einzelnen Öffnungswinkel sind mit den Symbolen aus der Tab. 1 gekennzeichnet und in Abb. 1 dargestellt. Von der Apparatur werden drei verschiedene Strahlungsverteilungen erfaßt, deren Haupteinfallrichtungen (letzte Spalte

Bezeichnung der Koinzidenzkombination	Symbol	Koinzidenzen pro h. Standardwert	Mittlerer statistischer Fehler %	Haupteinfallswinkel
$K_{23}$	$\bigwedge$	200 000	0,23	$31^{\circ}$
$K_{12} + K_{34}$	$\bigvee$	140 000 (2×70 000)	0,26	$19^{\circ}$
$K_{14}$	$\bigtriangledown$	24 000	0,67	$11^{\circ}$
$K_{23} - (K_{12} + K_{34}) + K_{14}$	$\bigwedge \bigvee$	84 000	0,34	$42^{\circ}$

Tab. 1. Grundwerte der Koinzidenzapparatur.

von Tab. 1) angenähert bei  $10^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$  und  $30^{\circ}$  liegen. Durch die Kombination  $K_{23} - (K_{12} + K_{34}) + K_{14}$  der Intensitätswerte ergibt sich zusätzlich eine Aussage über das Verhalten geneigter Strahlung im Zenitwinkelbereich von  $23^{\circ} - 81^{\circ}$  mit der Haupteinfallrichtung bei etwa  $40^{\circ}$  (Spalte 4 der Tab. 1, Kurve 4 der Abb. 1).

Zur Korrektur der atmosphärischen Einflüsse wurden mit Hilfe der Vierfachkorrelationsrechnung für alle drei Öffnungswinkel getrennt der Absorptionseffekt (AE), der Zerfallseffekt (ZE) und der Dichteeffekt (DE) berechnet. Die Rechnung wurde mit den Mittelwerten der U.S.-Intensität und des Luftdruckes von 0 bis 6 h MGZ, dem Wert der Höhe der 96 mb-Fläche und dem Wert des Abstandes der 96 mb- und 225 mb-Flächen für 3 h MGZ durchgeführt<sup>2</sup>.

Die Ergebnisse sind in Tab. 2 eingetragen. Es tritt kein Gang des Absorptionskoeffizienten mit

<sup>1</sup> A. EHMERT, Z. Naturforschg. 6 a, 622 [1951].

<sup>2</sup> Täglicher Wetterbericht des Deutschen Wetterdienstes, Bad Kissingen.



dem Öffnungswinkel hervor, der außerhalb des einfachen statistischen Fehlers liegt. Beim Zerfalleffekt ist beim Übergang vom weiten zum engen Öffnungswinkel eine Zunahme von etwa 20% angedeutet.

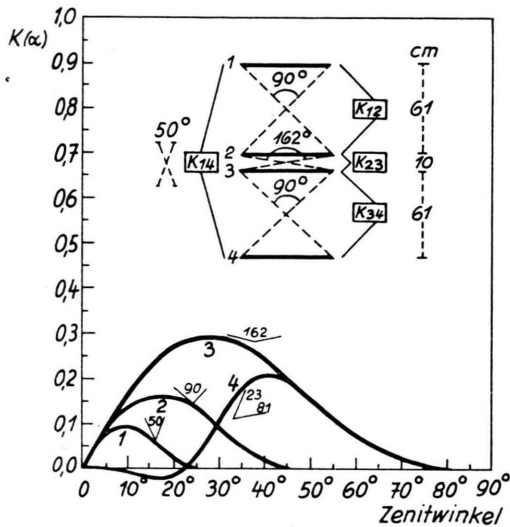


Abb. 1. Schema des Zählrohrteleskops und berechnete Zenitwinkelabhängigkeit. 1, 2, 3 und 4 bezeichnen die kreisförmigen Zählrohrgruppen.

Ein Dichteeffekt läßt sich nicht einwandfrei bestimmen. Die stündlichen Intensitätswerte wurden mit den berechneten Koeffizienten für Absorption und Zerfall korrigiert. Für den Druck lagen die stündlichen Werte eines Aneroidbarographen vor, während für die Höhe der 96 mb-Schicht nur ein Wert pro Tag zur Verfügung stand. Die Zerfallskorrektur der einzelnen Stundenwerte konnte daher nur mit

linear interpolierten Werten gemacht werden. Daher kann der Einfluß eines eventuellen täglichen Ganges in der Höhe der 96 mb-Schicht nicht ausgeschlossen werden<sup>3</sup>.

	Absorptionseffekt AE in % pro mb	Zerfalleffekt ZE in % pro 10 m für die 96 mb-Fläche	Dichteeffekt DE in % pro 10 m für den Abstand der 96 mb- von der 225 mb-Fläche
162 ∨	-0,232 ± 0,028	-0,69 ± 0,08	-0,063 ± 0,26
90 ∨	-0,233 ± 0,019	-0,72 ± 0,06	-0,029 ± 0,17
50 ∨	-0,238 ± 0,031	-0,85 ± 0,08	-0,111 ± 0,31

Tab. 2. Größe des Einflusses der Veränderungen des Luftdruckes und der Höhe der Atmosphäre.

Die große statistische Meßgenauigkeit der Intensitätswerte macht es möglich, den Tagesgang der U.S. schon aus dreitägigen Intervallen mit genügender Genauigkeit zu bestimmen. Dabei ergibt sich für die zeitlichen und die zenitwinkelabhängigen Veränderungen ein wesentlich komplizierteres Bild, als man es bisher mit Hilfe langzeitiger Mittelwertbildungen<sup>4,5</sup> gewonnen hat. In der Abb. 2 sind 6 ausgewählte Beispiele für den Tagesgang aus dreitägigen Intervallen dargestellt. Die Kurven sind mit laufenden Dreistundenwerten geglättet. Es sind untereinander aufgetragen die Intensitätswerte des weiten Öffnungswinkels, des engen Öffnungswinkels, der nur zenitnahe Strahlung erfaßt, und die berechneten Werte für die zwischen 23° und 81° geneigt einfallende Strahlung. Der Tagesgang für die Zeit

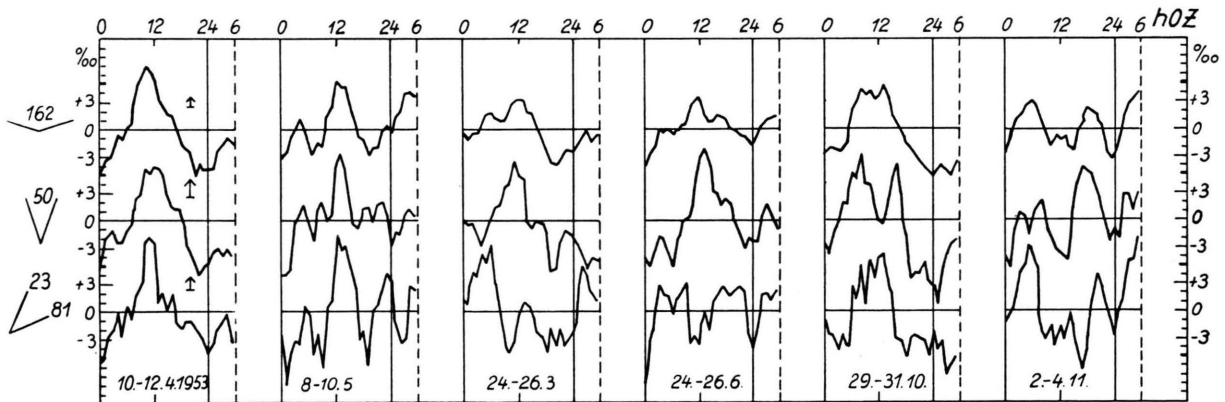


Abb. 2. 6 Beispiele zur Zenitwinkelabhängigkeit des Tagesganges. Der Tagesgang wurde aus 3-tägigen Intervallen gewonnen und mit lfd. 3-Stunden-Mitteln geglättet. Der Pfeil gibt den mittleren statistischen Fehler des gemittelten Stundenwertes an.

<sup>3</sup> A. SITTUS, J. Atmos. Terr. Phys. 7, 80 [1955].

<sup>4</sup> H. ELLIOT u. D. W. N. DOLEBEAR, J. Atmos. Terr. Phys. 1, 205 [1951].

<sup>5</sup> K. G. MALMFORS, Tellus 1, 55 [1949].

vom 10. – 12. 4. 1953 zeigt für alle Winkel ein ähnliches Verhalten. In allen Winkelbereichen liegt das Maximum zwischen 10 – 11 h OZ und die Amplituden sind gleich. Dagegen tritt in der Gruppe vom 8. – 10. 5. der Fall auf, daß jeweils 3 Maxima vorliegen. Während die zeitliche Lage der Maxima in allen Winkeln annähernd gleich ist, sind die Amplituden sehr verschieden. Das dritte Beispiel (24. bis 26. 3. 1953) zeigt im weiten Winkel einen Gang mit einem Haupt- und einem Nebenmaximum um 12 h bzw. 6 h OZ. Das Nebenmaximum ist in der Vertikalen nicht vorhanden, sondern nur durch einen Anstieg der geneigten Strahlung hervorgerufen. Das Hauptmaximum ist in der zenitnahen Strahlung stärker betont. Die nächste Gruppe (24. – 26. 6. 53) zeigt im weiten Winkel einen wenig ausgeprägten Tagesgang, während für die zenitnahe Strahlung ein scharfes Maximum von 1,2% hervortritt. Dieses fällt annähernd zusammen mit einem Minimum der geneigten Strahlung, so daß die Variation der Gesamtstrahlung im weiten Winkel ausgeglättet wird. Einen ähnlichen Fall zeigt das folgende Beispiel (29. bis 31. 10. 53). Zwei ausgeprägte Maxima der Vertikalstrahlung um 8 h und 16 h OZ überlagern sich mit einem Maximum der geneigten Strahlung um 12 h OZ zu einem breiten Buckel des Tagesganges der Strahlung im weiten Öffnungswinkel. Das letzte Beispiel (2. – 4. 11. 53) zeigt einen Tagesgang, der im weiten Winkel zwei etwa gleiche Maxima aufweist. Das späte Maximum ist in der zenitnahen Strahlung stärker betont und das frühe bei der geneigten Strahlung. Zusammenfassend ergibt sich aus den Beispielen, daß im Tagesgang der U.S. mehrere Maxima auftreten können. Dabei ist die Variation für verschiedene Zenitwinkel verschieden und es lassen sich aus dem Verhalten in einem Raumwinkelbereich keine Schlüsse auf den Verlauf in anderen Winkelbereichen ziehen.

Die dargestellten Beispiele sind einer Berechnung des Tagesganges der U.S. aus dreitägigen Intervallen für den Zeitraum vom Februar 1953 bis Januar 1954 entnommen, wobei die Intervallgrenzen jeweils um einen Tag weiterrücken und außerdem eine laufende dreistündliche Mittelwertbildung der Stundenwerte vorgenommen wurde. Gemittelt wird also über die angegebene Stunde und die vorangehende und folgende am Stichtag und am Vor- und Nachtag. Die statistischen Fehler der stündlichen Mittelwerte lie-

gen zwischen 0,08% für den weiten und 0,22% für den engen Winkel. Die betrachteten Maxima haben eine Größe von 0,5 bis 1,5%, sind also statistisch gesichert. Eine weitere Bestätigung der Realität der Ergebnisse erhält man durch den Vergleich der einzelnen Öffnungswinkel. Obwohl die in den verschiedenen Winkelbereichen gemessenen Intensitäten wegen der Durchdringung der Strahlenkegel nicht voneinander unabhängig sind (Abb. 1), ist die Koppelung doch genügend schwach (siehe Tab. 1). Daher sind die registrierten Werte in erster Näherung voneinander unabhängig. Die Ergebnisse werden weiter dadurch gestützt, daß der Charakter des Tagesganges sehr oft mehr als 3 Tage erhalten bleibt, wodurch eine Beeinflussung der beobachteten Effekte durch das Mittelungsverfahren ausgeschlossen wird.

Um die zeitlichen Änderungen des Tagesganges zu untersuchen, sind verschiedene Maßzahlen zur Beschreibung benutzt worden, z. B. Phase und Amplitude der ersten Harmonischen<sup>6,7</sup> oder das *D*-Maß nach FONGER<sup>8</sup>. Jedoch können damit die Feinheiten im Verlauf des Tagesganges, insbesondere das Auftreten mehrerer Maxima und Minima, nicht beschrieben werden. Deshalb wurde eine direkte Annäherung in folgender Weise versucht: In der laufenden Auftragung der dreitägig und dreistündlich gemittelten Werte (Abb. 3) wurde die Lage und die Amplitude der auftretenden Maxima und Minima nach Ausgleichung der langzeitigen Intensitätsschwankungen direkt abgelesen. Für das dargestellte Zeitintervall ergaben sich zwei Maxima gegen 3 h und 8 h OZ. Das frühe Maximum wächst an und wird dann wieder so klein, daß es nicht mehr erkennbar ist, während das zweite Maximum dauernd mit etwa gleichbleibender Amplitude da ist. Das Ergebnis der Anwendung der direkten Bestimmungsmethode zur Festlegung der Größe und Lage der Maxima für die 360 Tage des Meßjahres ist in Abb. 4 dargestellt. Für alle Tage des Meßzeitraumes ist die Höhe jedes erkennbaren Maximums des Tagesganges nach Ausgleichung des Langzeitganges in Vielfachen von 0,05% als Ziffer so eingetragen, daß die Ordinatenlage den Zeitpunkt des Eintritts angibt (untere Darstellung der Abb.). Ein Punkt bedeutet dabei ein nur schwach angedeutetes Maximum. Über diesen Werten ist zum Vergleich das Ergebnis der früheren Untersuchung<sup>6</sup> dargestellt. Dieser Kurvenzug zeigt das Resultat der harmo-

<sup>6</sup> E. REMY u. A. SITTKUS, Z. Naturforsch. **10 a**, 172 [1955].

<sup>7</sup> R. STEINMAURER u. H. GHERI, Naturwiss. **42**, 294 [1955].

<sup>8</sup> W. H. FONGER, Phys. Rev. **91**, 351 [1953].

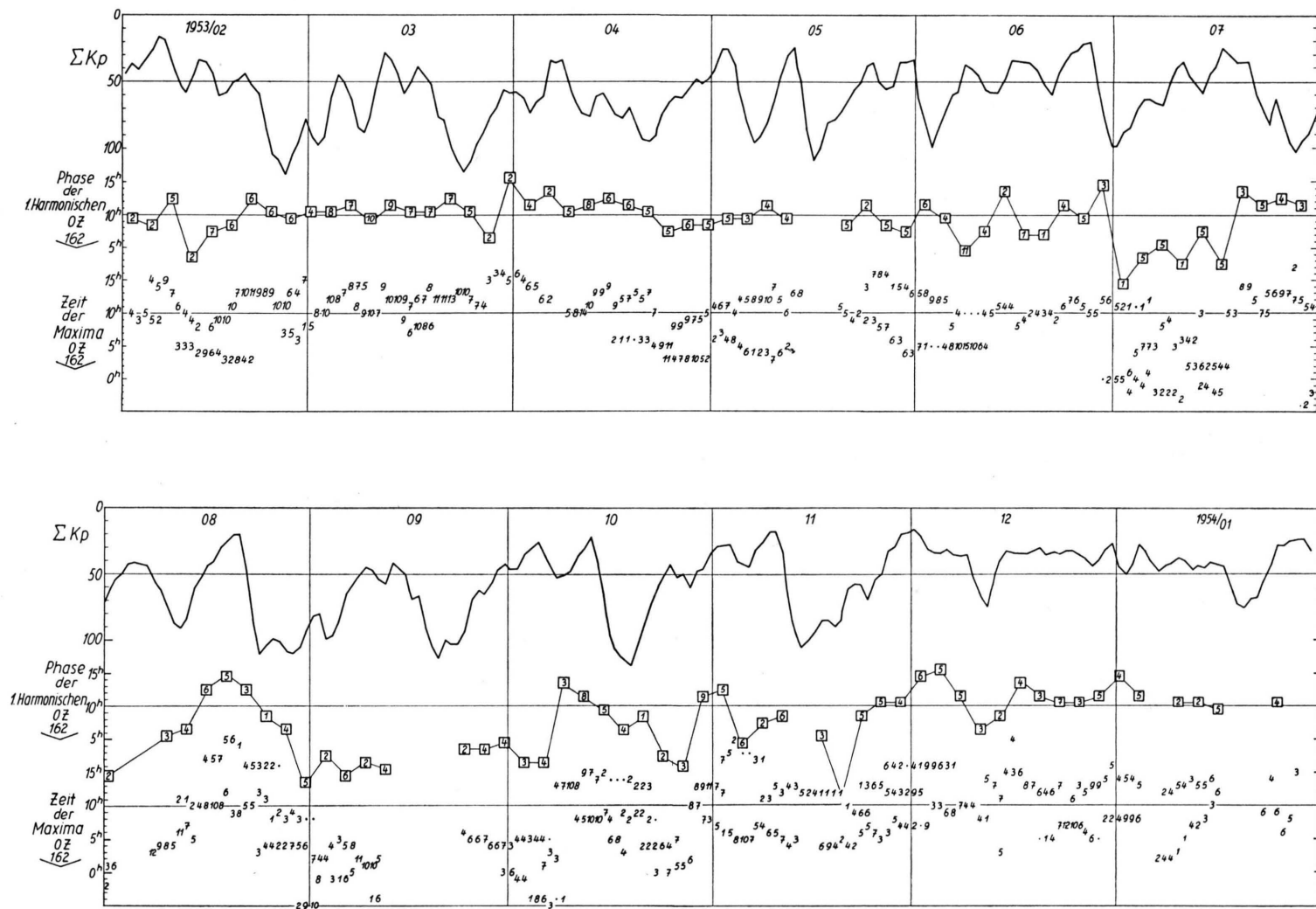


Abb. 4. Zeitliche Änderungen des Tagesganges für den Zeitraum vom 1. 2. 1953 bis 31. 1. 1954.

Obere Kurve: Laufende 3-tägige Mittel der erdmagnetischen Kennziffer  $\Sigma Kp$ . — Mittlere Kurve: Lage des Maximums und Halbamplitude der 1. Harmonischen, erhalten aus der harmonischen Analyse von 120 unabhängigen 3-tägigen Intervallen. — Untere Darstellung: Lage und Größe der direkt ermittelten Maxima des Tagesganges aus 360 laufend 3-tägig und 3-stündlich gemittelten Tagen; 10=5‰ Abweichung von mittlerer Intensität bzw. Halbamplitude.



nischen Analyse von 120 unabhängigen dreitägigen Mitteln desselben Zeitraumes, wobei die Größe der Halbamplitude der 1. Harmonischen in Vielfachen von 0,05% als Zahl zur Zeit des Eintritts des Maximums eingetragen ist. Die oberste Kurve stellt die laufend dreitägig gemittelten Werte der erdmagnetischen Kennziffer  $\Sigma K_p$  dar. In den Monaten Februar bis Mai 1953 hat die 1. Harmonische ihr Maximum meist nahe 10 h OZ. Bei der direkten Auswertung des Tagesganges ergibt sich häufig ein Verlauf mit 2 Maxima. Eines liegt überwiegend in den frühen Morgenstunden, während das zweite um die Mittagszeit erscheint. Im allgemeinen überwiegt die Amplitude des Mittagsmaximums, nur selten ist die Amplitude des frühen Höchstwertes gleich hoch oder größer. Eine Beziehung zum Störungsgrad des erdmagnetischen Feldes ist nicht erkennbar.

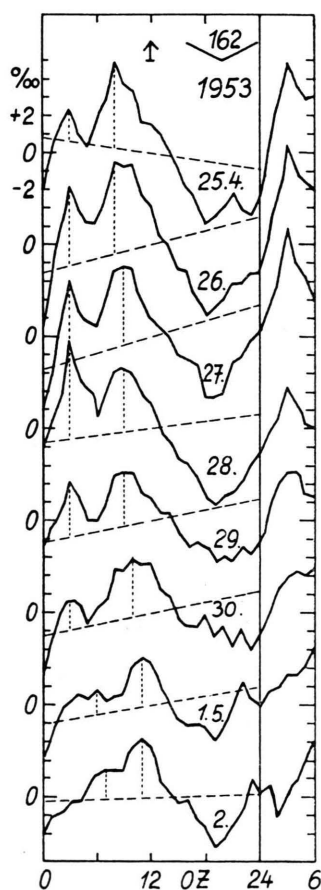


Abb. 3. Änderung des Tagesganges im weiten Zenitwinkelbereich für den Zeitraum vom 25. 4. bis 2. 5. 1953. Die gestrichelten Linien deuten den mittleren Verlauf der Intensität an. Die punktierten Linien zeigen die Lage und Größe der Maxima. Der Pfeil gibt den mittleren statistischen Fehler an.

Von Juni 1953 bis Januar 1954 treten in der Darstellung des Tagesganges durch die 1. Harmonische ausgeprägte Verschiebungen der Phase nach früheren Tagesstunden auf. Eine Korrelation mit

den erdmagnetischen Störungen mit 27-tägiger Wiederholungstendenz in Verbindung mit einer M-Region ist in diesem Zenitintervall angedeutet<sup>6</sup>. Mit Hilfe der direkt bestimmten Maxima ist zu erkennen, daß die Verschiebung der Phase nach früheren Tageszeiten während der erdmagnetischen Störungen nicht nur durch eine zeitliche Verschiebung der Maxima hervorgerufen ist, sondern daß außerdem neue ausgeprägte Maxima in den frühen Morgenstunden entstehen, während die Maxima nahe 10 h OZ abnehmen oder verschwinden.

Für eine Interpretation des komplizierten täglichen Verlaufs ist es wichtig zu entscheiden, ob die Maxima sich tatsächlich von Tag zu Tag verschieben oder ob die beobachteten Verschiebungen durch das Mittelungsverfahren hervorgerufen werden, während in Wirklichkeit verschiedene Maxima mit fester zeitlicher Lage nur ihre Größe verändern. Eine Entscheidung darüber läßt sich durch Untersuchung der Änderungen des Tagesganges an Einzeltagen oder durch Vergleich der Registrierungen des Tagesganges für verschiedene Längengrade gewinnen.

Bei großer Amplitude läßt sich der Tagesgang mit der benutzten Anordnung auch ohne 3-tägige Mittelung genügend genau erkennen. Abb. 5 zeigt eine Auftragung der nur durch Bildung laufender 3-Stunden-Mittel geglätteten Intensitätswerte des weiten Winkels ( $162^\circ$ ). Der Intensitätsverlauf für

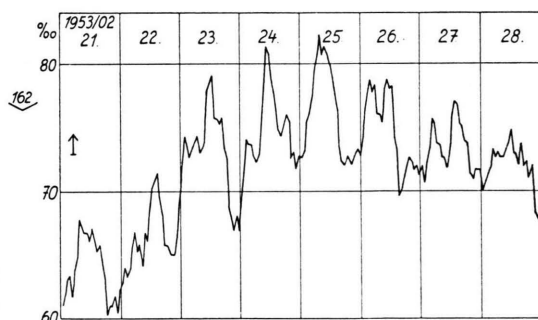


Abb. 5. Zeitliche Änderung des Tagesganges an 8 aufeinanderfolgenden Einzeltagen. Die Werte sind nur mit laufenden 3-Stunden-Mitteln geglättet. Der Pfeil gibt den mittleren statistischen Fehler an.

die Zeit vom 21. – 28. 2. 53 läßt den Tagesgang unmittelbar erkennen. Vom 22. 2. bis 25. 2. verschiebt sich das ausgeprägte Hauptmaximum von 15 h nach 8 h OZ. In den folgenden Tagen sind deutlich zwei Maxima zu erkennen. Dabei läßt sich nicht entscheiden, ob die Verschiebung des am 25. 2. bei 8 h OZ liegenden Maximums nach früheren Stunden weiter anhält und seine Amplitude ab-

nimmt, während das 2. Maximum um Mittag neu entsteht, oder ob es wieder zurückwandert und das Nebenmaximum in der frühen Morgenstunde neu entsteht. Mit Sicherheit läßt sich aus der Darstellung nur entnehmen, daß die Extremwerte der Intensität im Tagesverlauf ihre zeitliche Lage ändern und daß

die Amplitude der verschiedenen Maxima sehr stark schwankt.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft haben wir für die Bereitstellung von Mitteln für den Aufbau der Apparatur zu danken, ebenso dem Institutsdirektor, Herrn Prof. Dr. W. GENTNER, für dauernde Unterstützung und zahlreiche fördernde Diskussionen.

## Wechselwirkungen sehr hoher Energie in der kosmischen Strahlung\*

Von E. LOHRMANN

Aus dem Physikalischen Institut der Universität Bern und dem Hochspannungslaboratorium Hechingen

(Z. Naturforschg. 11 a, 561—579 [1956]; eingegangen am 6. März 1956)

Es wird eine Diskussion von Messungen der Vielfachstreuung bei hohen Energien gegeben, die sich vor allem auf die Bestimmung der unechten Streuung bezieht und auf die Anwendung von Streumessungen auf die Energiebestimmung von Elektronen.

Ferner wird gezeigt, daß sich der Plateauwert der Ionisation bis mindestens zu Energien  $E > 2 \cdot 10^6 mc^2$  erstreckt.

Es wird eine nukleare Wechselwirkung hoher Energie vom Typ 5+30 p beschrieben, die in einem in 29 km Höhe exponierten Emulsionspaket gefunden wurde. Die aus der resultierenden Kaskade und den sekundären Wechselwirkungen der erzeugten Teilchen erschlossene Gesamtenergie beträgt mindestens 1100 BeV. Streumessungen an den Schauerteilchen ergeben eine obere Grenze für die mittlere Energie der Mesonen im Schwerpunktsystem von 1,7 BeV. Die Winkelverteilung der Mesonen im S-System ist stark anisotrop.

Von der weichen Kaskade materialisieren 3 Photonen mit Energien zwischen 40 und 80 BeV. Die aus ihnen folgenden Kaskaden zeigen eine mittlere freie Weglänge für direkte Paarerzeugung von  $50^{+50}_{-23}$  mm in der photographischen Emulsion.

26 mm von der ersten Wechselwirkung entfernt wurde ein Sekundärstern vom Typ 3+55 n gefunden. Die aus der Winkelverteilung der Schauerteilchen berechnete Primärenergie von 150 BeV reicht nur knapp aus, um die beobachtete hohe Multiplizität durch Mesonenvielfacherzeugung zu erklären. Die aus Streumessungen berechnete mittlere Mesonenenergie und die Energieverteilung der Mesonen im Schwerpunktsystem sind in Übereinstimmung mit der HEISENBERGSCHEN Stoßwellentheorie. Auch die Messungen am Primärstern sind mit dieser Theorie verträglich. Die Deutung beider Sterne durch die FERMISCHE Theorie der Mesonenvielfacherzeugung stößt auf sehr große Schwierigkeiten.

Weiterhin wird ein Stern vom Typ 2+12 p beschrieben, in dem ein Antiproton produziert wird. Es ist nicht möglich, dieses Ereignis als gleichzeitige Erzeugung des Mesonenfeldes und des Nukleon-Antinukleonpaars ohne Zuhilfenahme sekundärer Reaktionen in demselben Kern zu erklären.

Die kosmische Strahlung bildet die zur Zeit einzige Möglichkeit zur Untersuchung nuklearer und elektromagnetischer Wechselwirkungen bei sehr hohen Energien. Die Untersuchung derartiger Vorgänge in der photographischen Kernemulsion hat den Vorteil, daß die Prozesse ins einzelne gehend verfolgt werden können, doch sind sauber analysierbare Ereignisse mit Energien  $> 10^{11}$  eV so selten, daß man versuchen muß, aus ihnen die größtmögliche Information zu erhalten. Auch bietet die in den letzten Jahren entwickelte Technik der Verwendung von Paketen trägerfreier Emulsionen (*stacks*) die Möglichkeit der Verfolgung der Kaskaden, die sich aus solchen Ereignissen entwickeln.

In den letzten Jahren wurde eine Reihe von Untersuchungen an nuklearen Wechselwirkungen sehr hoher Energie durchgeführt, die fast ausschließlich aus enggebündelten Teilchen bestehen, deren Ionisation sich nahe dem Minimum befindet (Schauerteilchen). Solche Ereignisse werden in der englischen Literatur als „jets“ bezeichnet und als Vielfacherzeugung von  $\pi$ -Mesonen und schwereren Teilchen beim Zusammenstoß zweier energiereicher Teilchen gedeutet<sup>1</sup>. Sie sollten einer Analyse die geringsten Schwierigkeiten bieten, da man wegen der kleinen Zahl von Verdampfungsspuren annehmen kann, daß die Störung durch sekundäre Wechselwirkungen der erzeugten Schauerteilchen in dem-

\* Dissertation Stuttgart 1956.

<sup>1</sup> A. ENGLER, U. HABER-SCHAIM u. W. WINKLER, NUOVO Cim. 12, 930 [1954]; dort weitere Literatur.