

**Zeitschrift:** Helvetica Physica Acta  
**Band:** 29 (1956)  
**Heft:** III

**Artikel:** Aufspaltung schwerer Kerne der Primärkomponente der kosmischen Strahlung und Wechselwirkung der dabei entstehenden -Teilchen  
**Autor:** Hänni, F.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-112704>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

**Aufspaltung schwerer Kerne der Primärkomponente  
der kosmischen Strahlung und Wechselwirkung der dabei  
entstehenden  $\alpha$ -Teilchen**

von **F. Hänni** (Universität Bern).

(7. IV. 1956.)

*Inhaltsangabe:* Aus Aufspaltungen schwerer Kerne der Primärkomponente werden die mittleren freien Weglängen für Stöße in Emulsion und die Spaltwahrscheinlichkeiten bestimmt. Aufspaltungen in mehrere  $\alpha$ -Teilchen werden herangezogen, um bei sekundären Wechselwirkungen von  $\alpha$ -Teilchen die Häufigkeit der Mesonen als Funktion der Energie zu bestimmen und die Halbwinkelmethode zur Energiebestimmung zu überprüfen.

Die vorliegenden Messungen wurden in 2 Stacks von Kernemulsionsplatten Ilford G 5,  $600 \mu$  dick, ausgeführt, nämlich in

*Stack S 13*, bestehend aus 40 Platten mit einer Fläche von  $10 \times 15 \text{ cm}^2$ , exponiert in Sardinien (geomagn. Breite  $40^\circ \text{ N}$ );

*Stack T*, bestehend aus 108 Platten mit einer Fläche von  $20 \times 30 \text{ cm}^2$ , wovon uns 24 Platten zur Verfügung standen; exponiert in Texas (geomagn. Breite  $42^\circ \text{ N}$ ).

Die Platten wurden nach schweren Kernen der Primärkomponente mit Ladungen  $Z \geq 6$  und deren Aufspaltungen durchmustert. Die Ladungsbestimmung erfolgte durch Messung der  $\delta$ -Strahldichten an zwei möglichst weit voneinander entfernten Stellen der Spuren. Die Abschneideenergie beträgt für Kerne der Ladung  $Z \geq 2$  bei beiden Flügen  $1,7 \text{ GeV/nucl}$ ; dementsprechend ist die Geschwindigkeit der meisten Kerne nahezu gleich der Lichtgeschwindigkeit, und ihre  $\delta$ -Strahldichte ist über die gesamte Spurlänge konstant<sup>1)</sup>. Die Kerne und ihre Spaltprodukte werden in Gruppen eingeteilt, und diese entsprechend den Ladungen

$$\begin{aligned} Z > 10 &\quad \text{mit } H, \\ 6 \leq Z \leq 10 &\quad \text{mit } M, \\ 3 \leq Z \leq 5 &\quad \text{mit } L, \\ Z = 2 &\quad \text{mit } \alpha \text{ bezeichnet.} \end{aligned}$$

In Stack S 13 wurden 208 Spuren von schweren Primärkernen auf einer totalen Länge von 607 cm verfolgt. Dabei wurden 60 Wechselwirkungen mit Kernen der Emulsion gefunden. Tabelle 1 zeigt die Verteilung der Anzahl Spuren  $N_0$ , der Aufspaltungen  $s$  und der verfolgten Längen  $\Sigma l_i$  auf die beiden Gruppen  $H$  und  $M$ . Ebenfalls eingetragen sind die experimentellen Werte der mittleren freien Weglängen  $\lambda_s$  für Stöße in Emulsion.

Tabelle 1.

Gruppe	$N_0$	$s$	$\Sigma l_i$	$\lambda_s$	$\bar{A}$
$M$	156	41	449 cm	$11,0 \pm 1,7$ cm	16,0
$H$	52	19	158 cm	$8,4 \pm 1,9$ cm	28,6

Die theoretischen freien Weglängen  $\lambda_{th}$  für Stöße sind bei geometrischem Wirkungsquerschnitt gegeben durch:

$$\lambda_{th} = \frac{1}{\sum (\bar{A}^{1/3} + A_j^{1/3})^2 \cdot n_j \cdot r_0^2}$$

$n_j$  = Kerne der Sorte  $j$  pro  $\text{cm}^3$  Emulsion

$\bar{A}$  = mittlere Atomgewichte der beiden Gruppen, aus dem Ladungsspektrum bestimmt.

Die theoretischen freien Weglängen hängen von der Wahl des Nukleonenradius  $r_0$  ab. Übereinstimmung zwischen dem experimentellen ( $\lambda_s$ ) und dem theoretischen Wert ( $\lambda_{th}$ ) erhalten wir für  $r_0 = (1,15 \pm 0,09) \cdot 10^{13}$  cm.

Die Spaltwahrscheinlichkeit  $P_{ik}$  ist der Quotient gebildet aus der Anzahl  $n$  der Restkerne der Sorte  $i$ , welche bei  $s$  Aufspaltungen von Kernen der Sorte  $k$  entstehen, und der Anzahl  $s$ .

Unter 60 Aufspaltungen von schweren Primärkernen befinden sich 41, bei welchen Bruchstücke mit Ladungen  $Z \geq 2$  weiterfliegen. In Tabelle 2 stehen in der zweiten und fünften Spalte die Quotienten  $n/s$ , und in der dritten und sechsten Spalte die Werte dieser Verhältnisse.

Tabelle 2.

$P_{HH}$	$\frac{0}{16}$	0			
$P_{MH}$	$\frac{7}{16}$	$0,44 \pm 0,17$	$P_{MM}$	$\frac{3}{25}$	$0,12 \pm 0,07$
$P_{LH}$	$\frac{8}{16}$	$0,50 \pm 0,18$	$P_{LM}$	$\frac{13}{25}$	$0,52 \pm 0,15$
$P_{\alpha H}$	$\frac{25}{16}$	$1,56 \pm 0,31$	$P_{\alpha M}$	$\frac{21}{25}$	$0,84 \pm 0,18$

Bei Aufspaltungen schwerer Kerne in mehrere  $\alpha$ -Teilchen weicht die Energie pro Nukleon der  $\alpha$ -Teilchen im Laborsystem nicht stark von derjenigen des Primärkerns ab; man erhält so nahezu mono-energetische  $\alpha$ -Teilchen. Die Energie dieser  $\alpha$ -Teilchen kann sowohl aus der relativen Streuung ( $E_{Sc}$ ), als auch aus dem mittleren Öffnungswinkel der  $\alpha$ -Teilchen ( $E_0$ ) bestimmt werden. Der maximale Öffnungswinkel der  $\alpha$ -Teilchen ergibt eine obere Schranke ( $E_{\max}$ ) für die Energie der Aufspaltung<sup>2)</sup>.

Im gesamten wurden 47 solche Aufspaltungen untersucht. Dabei entstehen 131  $\alpha$ -Teilchen, welche auf einer Länge von 368 cm 20 Wechselwirkungen machen. Dies ergibt eine mittlere freie Weglänge für Stöße hochenergetischer  $\alpha$ -Teilchen in Emulsion von  $72 \pm 16 \text{ g/cm}^2$ . Unter Anwendung von Gleichung (1) erhält man daraus für  $r_0 = (1,08 \pm 0,12) \cdot 10^{-13} \text{ cm}$ .

Untersuchungen an sekundären Wechselwirkungen von  $\alpha$ -Teilchen aus Aufspaltungen, deren Energie mittels der obenerwähnten Methode bestimmt wird, erlauben die Abhängigkeit der Anzahl erzeugter Mesonen von der Energie des stossenden Teilchens zu messen. Die Wechselwirkungen mit den grössten Multiplizitäten dünner Spuren können zur Überprüfung der oft für Energiebestimmungen benutzten Halbwinkelmethode herangezogen werden.

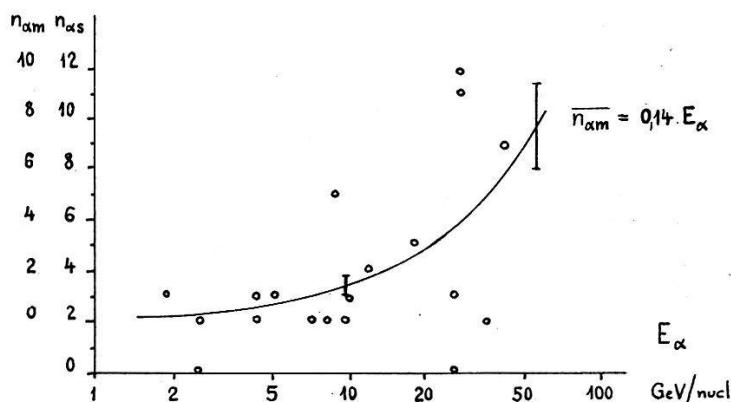


Fig. 1.

Von den 19 in Emulsion gefundenen Wechselwirkungen relativistischer  $\alpha$ -Teilchen ist in Fig. 1 die Anzahl der dünnen Spuren  $n_{\alpha s}$  als Funktion der Energie  $E_\alpha$  des  $\alpha$ -Teilchens aufgetragen.

Die Sterne werden in 3 Gruppen entsprechend den Energien 2 bis 6, 6 bis 18 und 18 bis 54 GeV/nucl zusammengefasst und in jeder Gruppe die mittlere Anzahl  $\overline{n}_{\alpha s}$  der dünnen Spuren pro Stern bestimmt. Die durchschnittliche Anzahl von Mesonen  $\overline{n}_{\alpha m}$ , welche pro  $\alpha$ -Stern in diesen Energieintervallen erzeugt werden, erhält man unter Berücksichtigung des Umstandes, dass im Durchschnitt bei

jedem Stern 2 Spuren vom aufspaltenden  $\alpha$ -Teilchen herrühren, wenn man diese Zahl bei jedem Stern abzieht und den neuen Mittelwert bildet. In der folgenden Tabelle sind die Werte von  $\overline{n_{\alpha s}}$  und  $\overline{n_{\alpha m}}$  zusammengestellt.

Tabelle 3.

Energie-intervall GeV/nucl	Mittlere Energie $\bar{E}_\alpha$ GeV/nucl	$\overline{n_{\alpha s}}$	$\overline{n_{\alpha m}}$
2—6	3,5	$2,2 \pm 0,9$	$0,5 \pm 0,2$
6—18	9,5	$3,3 \pm 1,3$	$1,3 \pm 0,5$
18—54	29,5	$6,0 \pm 2,5$	$4,0 \pm 1,5$

In Emulsionen, welche am Bevatron mit Protonen im Energieintervall 3 bis 6 GeV beschossen wurden, bestimmte JOHNSON<sup>3)</sup> die mittlere Anzahl von dünnen Spuren  $\overline{n_{ps}}$  bei Wechselwirkungen von Protonen an Kernen der Emulsion als Funktion der Energie  $E_p$  des Primärteilchens. Unter der Annahme, dass im Mittel bei Protonensternen 0,5 dünne Spuren pro Stern vom weiterfliegenden Primärteilchen herrühren, erhält man die mittlere Anzahl  $\overline{n_{pm}}$  von Mesonen bei Protonensternen, indem man von  $\overline{n_{ps}}$  0,5 subtrahiert.

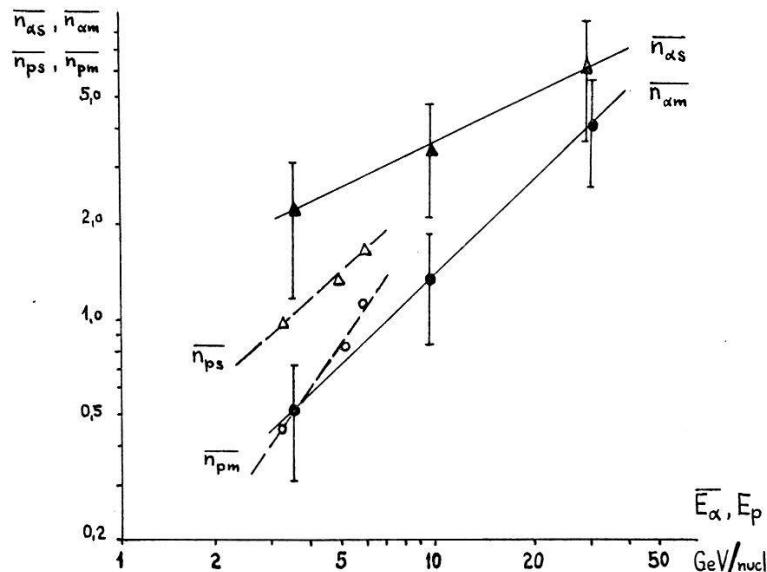


Fig. 2.

In Fig. 2 sind die Werte  $\overline{n_{ps}}$  und  $\overline{n_{pm}}$  für Protonen mit den Werten  $\overline{n_{\alpha s}}$  und  $\overline{n_{\alpha m}}$  bei gleicher Energie pro Nukleon verglichen.

Das Verhältnis der pro Stern erzeugten dünnen Spuren bei  $\alpha$ -Teilchen und Protonen liegt bei 2. Nach Anbringen der Korrektur wegen des weiterfliegenden Primärteilchens beträgt das Verhältnis der pro Stern erzeugten Mesonen  $\overline{n_{\alpha m}}/\overline{n_{pm}}$  ungefähr 1.

Unter ganz anderen Voraussetzungen erhalten ENGLER et al.<sup>4)</sup> für das Verhältnis  $\overline{n_{\alpha m}}/\overline{n_{p m}}$  den Wert 1,13.

Die Anzahl der pro Stern erzeugten Mesonen von  $\alpha$ -Teilchen und Protonen mit gleicher Energie pro Nukleon des Primärteilchens scheint sich nicht stark zu unterscheiden. Selbst wenn die Voraussetzungen für die Korrektur (Ladungsaustausch beim Stoss und kleine Inelastizität des Stosses) nicht vollständig zutreffen sollten, wächst das Verhältnis  $\overline{n_{\alpha m}}/\overline{n_{p m}}$  nicht über den Faktor 2.

3 Wechselwirkungen von  $\alpha$ -Teilchen mit grosser Multiplizität wurden zur Überprüfung der Halbwinkelmethode herangezogen. In Tabelle 4 sind die an den entsprechenden Aufspaltungen gemessenen Energien zusammengestellt. Sie werden verglichen mit den Energien ( $E'_{\Theta \frac{1}{2}}$ ), welche aus dem Halbwinkel der Schauer der  $\alpha$ -Sterne unter der Annahme eines Nukleon-Nukleon-Stosses folgen, sowie mit den extremalen Energien ( $E'_{\min}$ ), resp. ( $E'_{\max}$ ), falls im Schauer die zwei innersten, resp. die zwei äussersten Spuren Protonen des aufspaltenden  $\alpha$ -Teilchens sind.

Tabelle 4.

Primär-kern	Spalt-prod.	Energie aus Primär-aufspaltung GeV/nucl			Sekundär-stern	Energie aus Sekundär-stern GeV/nucl		
		$E_{sc}$	$E_0$	$E_{\max}$		$E'_{\Theta \frac{1}{2}}$	$E'_{\min}$	$E'_{\max}$
$^{11}\text{Na}$	$5\alpha$	$30^{+20}_{-12}$	$29^{+10}_{-15}$	39	I II	$11(5)+12$ $5(1)+11$	14 225	(8) 160 (470)
?	$3\alpha$	$> 16$	$42^{+34}_{-21}$	76	III	$6(3)+9$	150	70 (175)

Aus den Messungen geht hervor, dass bei Sternen, welche von monoenergetischen  $\alpha$ -Teilchen erzeugt werden, der Halbwinkel in sehr weiten Grenzen schwankt, und dass er gegenüber der Halbwinkel-Energie-Beziehung beim Nukleon-Nukleon-Stoss sowohl vergrössert als auch verkleinert sein kann.

Herr Prof. Dr. F. G. HOUTERMANS gab mir die Anregung, diese Arbeit auszuführen. Ihm und Herrn Prof. Dr. Ch. PEYROU möchte ich für ihre Unterstützung und ihr förderndes Interesse meinen besten Dank aussprechen. Ferner bin ich besonders Herrn Dr. M. TEUCHER sowie Herrn dipl. phys. E. LOHREMANN für ihre ständige Kritik und anregenden Diskussionen zu Dank verpflichtet. Frau B. MESMER half bei einem Teil der Auswertungen mit; sie, sowie Frau Ch. ALBRECHT, Frau A. MÜHLEBACH, Frau T. NIZON, Frau T. RIESEN, Frau S. SCHILT und Fräulein J. WALSER musterten die

Platten nach Aufspaltungen schwerer Kerne durch, wofür ich allen danke.

Die verwendeten Photoplatten stammen aus den internationalen Expeditionen von Sardinien und Texas. Die Teilnahme an diesen Expeditionen wurde uns durch die Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds ermöglicht.

### Literatur.

- <sup>1)</sup> D. A. TIDMAN, E. P. GEORGE und A. J. HERZ, Proc. phys. Soc. **A 66**, 1019 (1953).
  - <sup>2)</sup> M. F. KAPLON, B. PETERS, H. L. REYNOLDS und D. M. RITSON, Phys. Rev. **85**, 295 (1952).
  - <sup>3)</sup> W. R. JOHNSON, Phys. Rev. **99**, 1049 (1955).
  - <sup>4)</sup> A. ENGLER, U. HABER-SCHAIM und W. WINKLER, Nuovo Cimento **12**, 930 (1954).
- 

**Die Abteilung für Sanität des EMD sucht  
zwei Physiker, Chemiker oder Elektro-  
Ingenieure**

als fachtechnische Mitarbeiter bei der Sektion Schutz und Abwehr gegen ABC-Waffen.

**Anforderungen:**

Schweizerbürger. Abgeschlossenes Hochschulstudium und wenn möglich Praxis. Zwei Landessprachen und Kenntnis der englischen Sprache. Offiziersgrad erwünscht, aber nicht Bedingung.

**Besoldung und Stellenantritt nach Übereinkunft.**

**Anmeldungen sind zu richten an Prof. Gessner, Chef der Sektion Schutz und Abwehr gegen ABC-Waffen der Abteilung für Sanität, Bern 3, wo auch nähere Auskunft verlangt werden kann.**