

Argon zu tun haben, das seine Entstehung der Verdampfung des Eisenkerns verdankt. In Tab. 1 sind die gefundenen Häufigkeiten und Mengen der A- und He-Isotope einzeln aufgeführt. Aus dem oben angeführten Mengenverhältnis läßt sich erkennen, daß auf hundert He³-Atome etwa zehn A³⁶ + A³⁸-Atome entstehen. Für die Bildung der A-Isotope ist es notwendig, daß der Eisenkern rund zwanzig Nukleonen verliert. Führt man ähnliche Überlegungen durch, wie sie bereits von Martin³ zur Deutung des Heliumgehaltes gemacht wurden, so kommt man zu Zahlen, die sich durchaus mit den von uns gemessenen Werten vergleichen lassen. Man kann annehmen, daß bei der Einwirkung der kosmischen Ultrastrahlung durch Primär- und Sekundärprozesse

legung heraus auch vernünftig, daß das Verhältnis der Isotope A³⁶:A³⁸ im Eisenmeteorit in der Nähe von 1,7 liegt. Nach der Verdampfungstheorie scheint das Verhältnis der Isotope A³⁶:A³⁸ in Eisenmeteoriten auch verständlich, da man erwarten wird, daß benachbarte Isotope ungefähr gleich häufig sind und gewisse Unterschiede nur durch die Lage im Energietal bedingt sind. Zur Beschreibung des gesamten Umwandlungsprozesses des Eisenkerns unter der Einwirkung der kosmischen Strahlen wäre es wichtig, noch weitere Restkerne des Eisens zu finden und ihre Häufigkeit zu bestimmen. Da aber die entstandenen Produkte aus der Abschätzung des Argons beim höchsten Wert in der Größenordnung von 10⁻¹⁰ der Meteoromasse liegen, werden dahingehende Untersuchungen bei vielen Sub-

Name des Meteoriten	He ³ + He ⁴ in 10 ⁻⁸ cm ³ /g	He ³ /He ⁴	He ³ in 10 ⁻⁷ cm ³ /g	gefundenes Isotopenverhältnis A ³⁶ : A ³⁸ : A ⁴⁰	Auf A ⁴⁰ = 1 korrigiertes Verhältnis A ³⁶ : A ³⁸	A ³⁶ in 10 ⁻⁸ cm ³ /g
Henbury (Zentralaustralien)	9,6	0,22	17,3	1 : 1,37 : 58	1 : 1,66	6,9
Cerro del Buel Muerto (Chile)	3,1	0,16	4,3	1 : 0,95 : 148	1 : 1,7	2,2
Toluca	0,5	0,21	0,9	1 : 0,50 : 234	1 : 1,6	0,38
Meteoriten von unbek. Fall	0,4	0,11	0,4	1 : 0,42 : 256	1 : 1,8	0,25
verwendete Isotopenhäufigkeit von Luftargon				1 : 0,187 : 296		

Tab. 1.

für ein einfallendes Teilchen rund acht Teilchen abdampfen, die zu 37% aus He⁴, He³ und H³ bestehen, während der Rest Protonen und Neutronen sind. Diese rohen Überlegungen lassen vielleicht vermuten, daß in der Nähe der Argonmasse ein mehr oder weniger ausgeprägtes Maximum der Häufigkeiten entsteht. Sicher werden die niedrigen Elemente weniger häufig gebildet. Das läßt sich auch experimentell dadurch bestätigen, daß die Neonisotope mindestens um den Faktor 5 seltener sind als A³⁶. Es scheint aus dieser Über-

stanzen sehr schwierig sein, zumal man nicht ohne massenspektrometrische Prüfung der Isotopenverhältnisse auskommt und mehrere Elemente unterhalb des Eisens auch als natürliche Beimengungen in den Eisenmeteoriten bekannt sind. Weitere Untersuchungen des Argons könnten für die Bestimmung des He-Anteils wertvoll sein, der durch die kosmische Ultrastrahlung gebildet wird, und damit deren Intensität in vergangenen größeren Zeiträumen abschätzen lassen.

³ G. R. Martin, Geoch. Cosmoch. Acta **3**, 288 [1953]. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat diese Arbeit mit Sachbeihilfen unterstützt.

Untersuchung großer Schauer auf Sternzeitgang
Von A. Citron* und P. Kehler**
Physikalisches Institut der Universität
Freiburg i. Br.
(Z. Naturforschg. **10a**, 499—501 [1955]; eingeg. am 4. Mai 1955)

Von Oktober 1953 bis Oktober 1954 wurden auf dem Schauinsland (1230 m) bei Freiburg i. Br. (48° N, 8° E) große Luftschauer mit einer Zählrohrapparatur stündlich registriert. Die Apparatur¹ stellt eine Erweiterung einer früher² beschriebenen dar. Sie besteht aus zehn Zählrohrgruppen von je 1860 cm² effektiver Zählfläche (Abb. 1). Fünf dieser Gruppen (1, 2, 3, 4, 5) sind parallel zueinander in gleichmäßigen Abständen auf einer Geraden so angeordnet, daß die äußeren Gruppen 1

und 5 einen Abstand von 11 m haben. Es werden Koinzidenzen zwischen 1, 5 und der mittleren Gruppe 3 registriert (I₃) sowie Koinzidenzen aller fünf Gruppen (I₅). Die fünf Gruppen (6, 7, 8, 9, 10) der Apparatur II sind unmittelbar neben denen der Apparatur I angeordnet (6 neben 1, 7 neben 2 usw.), und in analoger Weise wie oben werden Koinzidenzen II₃ und II₅ registriert. Da die beiden Apparaturen gleichwertig und elektrisch unabhängig sind, kontrollieren sie sich gegenseitig. Für eine weitere Koinzidenzanordnung sind die nebeneinanderliegenden Gruppen der beiden Apparaturen jeweils parallel geschaltet; es werden hier Koinzidenzen M₃ und M₅ mit verdoppelter Zählfläche registriert. Für jede Anordnung entsprechen die fünffachen Koinzidenzen im Mittel den dichtesten Schauern, die Differenz der drei- und der fünffachen den dünn-

* Z. Zt. CERN-PS Genf/Schweiz.
** Diplomarbeit Freiburg i. Br.
¹ A. Langenbacher, unveröffentlichte Diplomarbeit Freiburg i. Br.
² A. Citron, Z. Naturforschg. **7a**, 712 [1952].



sten (I_{3-5} usw.). Die Ergebnisse der Apparaturen I und II können nach Prüfung des Gleichlaufes zur Verbesserung der Statistik aufaddiert werden (K_5 , K_3 , K_{3-5}). In Tab. 1 sind die mittleren Teilchendichten [siehe², Gl. (2)] sowie die Koinzidenzhäufigkeit für die verschiedenen Anordnungen aufgeführt.

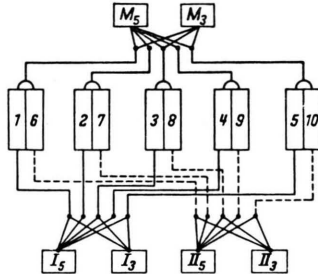


Abb. 1. Blockschaltbild der Apparatur. Die Zählrohrgruppen 1, 2, 3, 4, 5 und 6, 7, 8, 9, 10 stellen die beiden getrennten Apparaturen dar.

Meßort	Anordnung	mittlere Teilchendichte (m^{-2})	Häufigkeit (h^{-1})	Amplitude* ($^{0}/_{00}$)	einfacher stat. Fehler des 3-Mittels ($^{0}/_{00}$)	Schauer großer Dichte sind:
Schauinsland	K_5	30	64	9,0	2,8	enthalten
Schauinsland	K_3	18	123	6,0	2,1	enthalten
Schauinsland	M_5	15	174	4,8	2,5	enthalten
Schauinsland	M_3	9	330	2,7	1,75	enthalten
Schauinsland	K_{3-5}	5	59	3,5**	2,7	nicht enth.
Schauinsland	M_{3-5}	2,5	156	2,9**	2,6	nicht enth.
Pic du Midi		12		2,7	1,4	enthalten
Pic du Midi		4		1,6	1,1	enthalten

* Als Amplitude wurde die halbe Distanz der beiden Werte aufgeführt, die man erhält, wenn man die beiden Extrema (verschiedenen Vorzeichens) in der laufenden Dreiermittlung mit ihren Nachbarwerten nochmals zu einem Mittel zusammenfaßt.

** Für die beiden Anordnungen K_{3-5} und M_{3-5} stimmt die Phasenlage des Maximums nicht mit der für die anderen Anordnungen gefundenen überein.

Tab. 1. Abhängigkeit der Amplitude des Sternzeitganges von der Dichte der registrierten Schauer und Vergleich mit den Ergebnissen von D a u d i n³.

Die barometerkorrigierten Stundenwerte über die ganze Meßzeit wurden auf zeitliche Schwankungen untersucht. Bei der Zusammenfassung nach Sternzeit zeigen die Schauerhäufigkeiten in beiden Apparaturen übereinstimmend einen charakteristischen Verlauf. In Abb. 2 sind laufend übergreifende drei-Stundenmittel für die verschiedenen Anordnungen dargestellt. Auffallend ist ein Minimum gegen 13 h örtlicher Sternzeit (OSZ) und ein breites Maximum gegen 23 h OSZ. Der Zeitpunkt des Minimums stimmt mit dem der Kulmination des Poles der Milchstraße (12 h 40' OSZ) überein, der des Maximums mit dem Durchgang des Empfangskegels der Apparatur durch die Milchstraßenebene.

³ Alice Daudin, Recueil des travaux de l'observatoire du Pic du Midi, No. 1, 28 [1953].

⁴ A. L. Hodson, Proc. Phys. Soc., A 64, 1061 [1951].

Bemerkenswert ist die deutliche Abhängigkeit der Amplitude des Ganges von der Schauerdicke (Abb. 2). Bei den Anordnungen K_{3-5} und M_{3-5} , die sehr wenig Schauer hoher Dichte erfassen, ist kaum ein Gang zu erkennen. Dagegen ist er bei den Schauern höchster Dichte deutlich ausgeprägt. Tab. 1 zeigt das rasche Anwachsen der Amplitude mit der Schauerdicke.

Diese Feststellung steht in Übereinstimmung mit den Messungen von Alice Daudin³, die mit einer vergleichbaren Apparatur aber nicht so feiner Energieunterteilung ähnliche Phasen und Amplituden auf dem Pic du Midi mißt (Tab. 1). Auch die Resultate der Messungen von Hodson⁴ und die von Farley und Storey⁵ auf der Südhalbkugel sind in qualitativer Übereinstimmung mit unserem Befund.

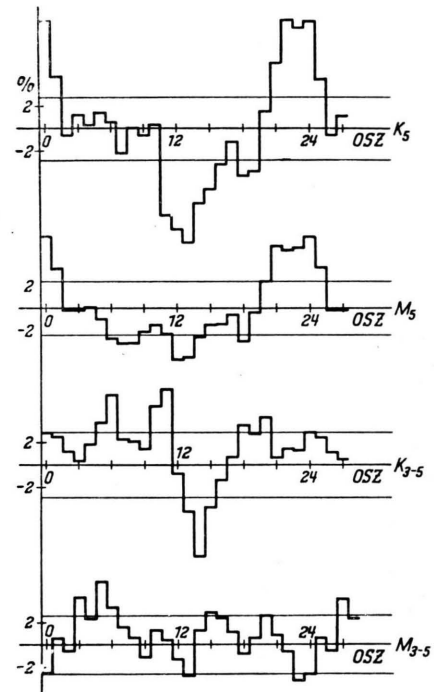


Abb. 2. Gang der Schauerhäufigkeit mit der Sternzeit für verschiedene Koinzidenzanordnungen (laufend übergreifende Dreiermittel). Der einfache mittlere statistische Fehler des Dreiermittels ist nach oben und unten aufgetragen.

Schwieriger ist vielleicht die Einordnung der Messungen von Cranshaw und Galbraith⁶ (Harwell) in den von uns festgestellten Amplitudenverlauf. Diese Autoren finden bei den wesentlich höheren Energien von 1- bzw. 2- bzw. $5 \cdot 10^{16}$ eV (der Energiebereich unserer K_3 liegt bei etwa 10^{13} eV) keinen Sternzeitgang, oder zumindest keinen, der in der Phase zu unserem passen würde. Bei der beschränkten Genauigkeit ihrer

⁵ F. J. M. Farley u. J. R. Storey, Nature, Lond. 173, 445 [1954].

⁶ T. E. Cranshaw u. W. Galbraith, Phil. Mag., Ser. 7, 45, 1109 [1954].

Stundenwerte (mittlerer statistischer Fehler 16 bzw. 33 bzw. 57%) bedeutet das, daß die Amplitude des Sternzeitganges auch bei diesen hohen Energien offenbar nicht über einige Prozent ansteigt.

Überblicken wir zusammenfassend obige Ergebnisse, so ist es fast sicher, daß die energiereichen Luftschauer einen Sternzeitgang von der Größenordnung 1% besitzen. Bei Schauern mit einer kleineren Dichte als etwa 3 m^{-2} kann kein Gang festgestellt werden. Schauer mit einer zehnmal höheren mittleren Dichte zeigen bereits einen Gang mit einer Amplitude

von etwa 1%, und es scheint, daß mit weiter steigender Energie die Anisotropie nicht gleich stark anwächst. Die Messungen werden (mit nach oben erweitertem Energiebereich) fortgeführt.

Wir sind Herrn Professor Gentner und Herrn Dr. Sittkus für wertvolle Diskussionen und fortwährende Hilfe bei der Durchführung der Dauerregistrierung sehr zu Dank verpflichtet. Herr Dipl.-Phys. Langenbacher hat die Apparatur erstellt. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft haben wir für finanzielle Hilfe zu danken.

GaAs-Photoelement

Von R. Gremmelmaier

Forschungslaboratorium der Siemens-Schuckertwerke AG, Erlangen

(Z. Naturforschg. **10a**, 501–502 [1955]; eingegangen am 7. Mai 1955)

Über den Photoeffekt in Halbleitern und über die Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie erschienen in der letzten Zeit eine Reihe von Arbeiten. Chapin, Fuller und Pearson¹ erreichten mit einem Silizium-p-n-Photoelement bei der Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie einen Wirkungsgrad von 6%. Cummrow veröffentlichte eine ausführliche Theorie über den Photoeffekt in p-n-Übergängen² und diskutierte eingehend die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von den verschiedenen Parametern. Die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Breite der verbotenen Zone des Halbleiters bei der Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie wurde außerdem von Rittner berechnet³. Der Wirkungsgrad hat nach Rittner ein Maximum bei einer Breite der verbotenen Zone von 1,5–1,6 eV.

Von den halbleitenden Verbindungen vom Typ A^{III}B^V lassen InP (Breite der verbotenen Zone $\Delta E = 1,28 \text{ eV}$), GaAs ($\Delta E = 1,38 \text{ eV}$) und AlSb ($\Delta E = 1,6 \text{ eV}$) einen guten Wirkungsgrad erwarten. Vor allem die ΔE -Werte von AlSb und GaAs liegen dicht bei dem von Rittner angegebenen optimalen Wert.

Für die vorliegenden Versuche wurde ein GaAs-p-n-Photoelement verwendet⁴. Es besteht aus einem Scheibchen von etwa 23 mm^2 Fläche, welches aus zonengeschmolzenem, polykristallinem Material herausgeschnitten wurde. An der einen Oberfläche des n-leitenden Scheibchens wurde eine p-leitende Schicht von einigen 10^{-2} mm Dicke erzeugt. Abb. 1 zeigt die Leerlaufspannung des Elementes in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke bei der Beleuchtung durch eine Lichtstärke-Normallampe. Abb. 2 zeigt die Kurzschlußstromdichte in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke. Im Sonnenlicht beträgt die Leerlaufspannung $0,66 \text{ V}$, die Kurzschlußstromdichte $2,6 \text{ mA/cm}^2$

und die maximale an einen Belastungswiderstand abgegebene Leistung $1,1 \text{ mW}$ pro cm^2 Oberfläche des Photoelementes. Bei einer Sonnenstrahlung von ungefähr $0,1 \text{ W/cm}^2$ entspricht das einem Wirkungsgrad

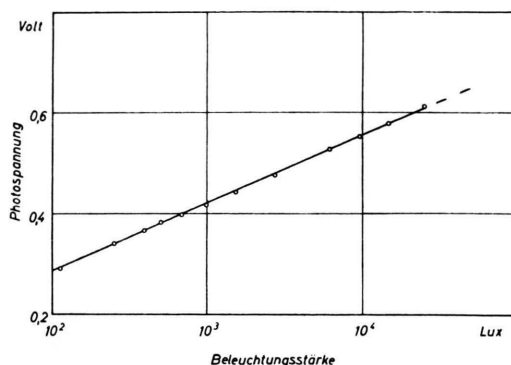


Abb. 1. Leerlaufspannung eines GaAs-Photoelementes in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke.

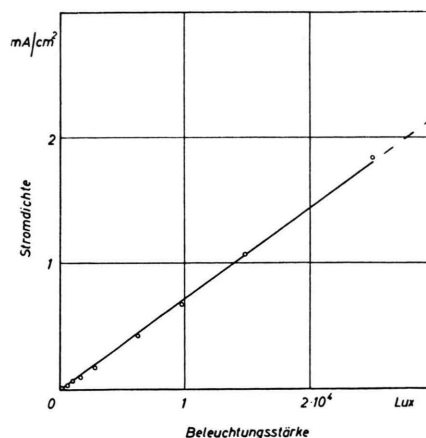


Abb. 2. Kurzschlußstrom eines GaAs-Photoelementes in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke.

¹ D. M. Chapin, C. S. Fuller u. G. L. Pearson, J. Appl. Phys. **25**, 676 [1954].

² R. L. Cummrow, Phys. Rev. **95**, 16 [1954]; Phys. Rev. **95**, 561 [1954].

³ E. S. Rittner, Phys. Rev. **96**, 1708 [1954].

⁴ Die Kennlinien eines GaAs-Gleichrichters und einer GaAs-Photozelle wurden von H. Welker schon auf der Halbleitertagung, Amsterdam 1954, gezeigt. — H. Welker, Physica **20**, 893 [1954].