

The authors are indebted to Prof. Dr. J. KISTEMAKER and Prof. Dr. H. EWALD respectively for their steady interest.

* **Erratum:** H. A. TASMAN, A. J. H. BOERBOOM, H. WACHSMUTH, Calculation of the Ion Optical Properties of Inhomogeneous Magnetic Sector Fields. Part 3: Oblique Incidence and Exit at curved Boundaries, Vol. 14 a, 822 [1959], Page 824, Second line after (13):

$D E \tan \varepsilon'$ should read: $D E \tan \varepsilon''$.

Page 825, Expression (20):

$M_{22} = -x_2 \operatorname{tg} \alpha$ should read: $M_{22} = \mu_{22a}$.

Erratum: A. J. H. BOERBOOM, Numerical Calculation of the Potential Distribution in Ion Slit Lens System I, Vol. 14 a, 809 [1959]. Page 811, expression (7)

$A_1 = -\frac{1}{3}$ should read: $A_1 = +\frac{1}{3}$,
 $E_1 = -\frac{4}{3}$ should read: $E_1 = -\frac{1}{3}$.

Page 812, expression (9), line 4–5,

$\frac{1}{3} c^2/3 b^2$ should read: $\frac{1}{3} c^2/b^2$,

$\frac{1}{2} d^2/c^2$ should read: $\frac{1}{3} d^2/c^2$.

Erratum: H. A. TASMAN, A. J. H. BOERBOOM, Calculation of the Ion Optical Properties of Inhomogeneous Magnetic Sector Fields, Vol. 14 a, 121 [1959].

Fig. 1 and 2 should be interchanged.

Tritium-Messungen an Steinmeteoriten

Von K. GOEBEL und P. SCHMIDLIN

CERN — Genf

(Z. Naturforsch. 15 a, 79—82 [1960]; eingegangen am 11. Dezember 1959)

Die Meteoriten sind auf ihren Bahnen durch das Sonnensystem dem ungeschwächten Einfluß der kosmischen Strahlung ausgesetzt. Diese induziert Kernreaktionen in der Meteoritenmaterie, unter deren Produkten Tritium zu den häufigsten gehört. Kennt man den Bildungsquerschnitt für Tritium in den Meteoriten, so kann man aus der Menge des gebildeten Tritium auf den Teilchenstrom der kosmischen Ultrastrahlung außerhalb des magnetischen Erdfeldes schließen. Kann man ferner die Menge des durch den Zerfall des Tritiums und das direkt gebildete He^3 bestimmen, so gewinnt man ein Maß für die Zeit, die der Meteorit der kosmischen Strahlung ausgesetzt war, das sogenannte Strahlungsalter des Meteoriten.

Bisher liegen Tritiummessungen an Eisenmeteoriten von FIREMAN^{1, 2} und an zwei Steinmeteoriten von BEGEMANN et al.^{3, 4} vor. Um aus diesen vorhandenen Resultaten generelle Schlüsse zu ziehen, reicht das Material schon deshalb nicht aus, weil die Werte zu sehr variieren. Es war deshalb wünschenswert, weitere Meteorite auf Tritium zu untersuchen und dabei das Interesse hauptsächlich auf relativ kleine Meteorite zu konzentrieren, weil diese beim Durchgang durch die Atmosphäre verhältnismäßig wenig ihrer ursprünglichen Masse verloren haben und so die Abschirmung der kosmischen Strahlung durch das abgetragene Material verhindert werden kann.

Die Proben, die für die Messungen zur Verfügung standen — 5 Chondrite und 2 Achondrite —, entstammen den folgenden Meteoritenfällen:

Abee: fiel am 10.6.52, 06.05 Uhr (GMT) in der Provinz Alberta, Canada, $54^{\circ}13' \text{N}$, 113°W . Nach BEGEMANN⁴ ist die Klassifizierung noch unsicher, wahrscheinlich ist es ein schwarzer Chondrit, der ein Gewicht von etwas mehr als 100 kg hatte, Dichte 3,39. Die Proben entstammen dem Zentrum des Meteoriten.

Breitscheid: gefallen am 11.8.56 unweit des Dorfes Breitscheid in Hessen ($50^{\circ}51' \text{N}$, $8^{\circ}12' \text{O}$). Er hatte ein Gesamtgewicht von ca. 1,5 kg. Es handelt sich um einen Bronzit-Olivin-Chondrit, der ca. 25% Fe enthält.

Kunashak: gefallen am 11.6.49 um 03.14 Uhr im Distrikt Chelyabinsk $55^{\circ}47' \text{N}$, $61^{\circ}22' \text{O}$, brach beim Eintritt in die Atmosphäre in 3 große und mehrere kleinere Stücke, von denen insgesamt mehr als 200 kg gefunden wurden. Es ist ein grauer Chondrit mit schwarzen Bändern.

Macibini: gefallen am 23.9.36, 8 Uhr im Zululand, Süd-Afrika, ($28^{\circ}50' \text{S}$, $31^{\circ}57' \text{O}$), ist ein kalziumreicher Achondrit (Euclite); gefunden wurden 4 Steine und 2 Fragmente mit zusammen 2 kg.

Nadiabondi: gefallen am 27.7.56, 19.30 Uhr bei Nadiabondi in der Nähe von Diapaga 12°N $1^{\circ}25' \text{O}$, ist ein Steinmeteorit von 3,6 kg und Dichte 3. Es handelt sich um einen grauen Chondriten, dessen Fall von weit hörbaren Explosionen begleitet war.

Ramsdorf: gefallen am 26.7.58, 18.30 Uhr bei Ramsdorf in Westfalen. Zwei Steine von 4,6 kg und 4 kg wurden bisher gefunden. Es handelt sich um einen feinkörnigen grauen Chondriten mit Chondren aus Olivin und Bronzit.

Tataouine: gefallen am 27.7.31, um 01.30 Uhr 4 km nord-östlich von Tataouine in Tunesien, $32^{\circ}57' \text{N}$, $10^{\circ}25' \text{O}$ in einem Umkreis von 500 m wurden 12 kg zum Teil sehr kleiner Fragmente gesammelt. Tataouine ist ein Achondrit (Diogenit).

Die Gewinnung des Tritium erfolgte, wie bei den erwähnten Messungen, durch Aufschmelzen der Meteoritenprobe im Hochvakuum. Die Apparatur ist in Abb. 1 dargestellt. Die Probe befindet sich in einem Molybdäntiegel, der durch einen Aluminiumoxydeinsatz vor dem Legieren mit der Eisenphase des Meteoriten geschützt ist. Der Tiegel wird mit Hilfe eines Hochfrequenzgenerators induktiv während etwa zwei Stunden auf 1700° erhitzt. Dabei schmilzt der Meteorit und sublimiert teilweise gegen ein den Tiegel umgebendes Abschirmrohr aus Quarz. Da dieses sich beim Aufschluß stark erhitzt, wird eine Adsorption von Gasen und speziell Wasserstoff vermieden. Die beim Aufschluß entstehenden Gase,

¹ E. L. FIREMAN, Geochim. Cosmochim. Acta 11, 252 [1957].
² E. L. FIREMAN, Argon 39 and Tritium in Meteorites, im Druck.

³ F. BEGEMANN, J. GEISS u. D. C. HESS, Phys. Rev. 107, 540 [1957].

⁴ F. BEGEMANN, P. EBERHARDT u. D. C. HESS, Z. Naturforsch. 14 a, 500 [1959].



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

Name	Art des Meteoriten	Falldatum	Probe	Gewicht g	cpm	T-dpm/g zur Zeit des Falls	
Breitscheid	Chondr.	11. 8. 56	1	7,78	3,8	0,54 ⁶	
			2	10,38	4,7	0,51	
Abee	Chondr.	9. 6. 52	1	25,28	10	0,60	
			3	4,18	1,54	0,54	
			Rinde	11,39	4,1	0,37	
Ramsdorf	Chondr.	26. 7. 58		11,56	7,30	0,67	
				7,24	5,64	0,83	
				15,54	0,60	0,19	
Tataouine	Achondr.	27. 7. 31	1	22,04	0,93	0,21	
			2	14,59	2,8	0,71	
Macibini	Achondr.	23. 9. 36	2	5,45	3,5	0,75	
			1	6,49	3,32	0,61	
Kunashak	Chondr.	11. 6. 49	1	9,60	0,65	0,1	

Tab. 1.

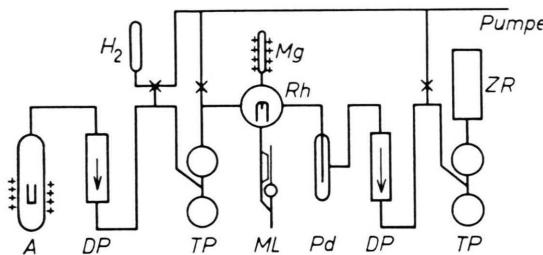


Abb. 1. Vakuumapparatur zur Tritiumbestimmung.

die viel Wasser enthalten, werden sofort mit Hilfe einer kräftigen Diffusionspumpe in den Reaktionsteil der Apparatur befördert. Dort zersetzt eine Crackwendel aus Rhodium die Kohlenwasserstoffe und ein Magnesiumofen bei etwa 400–500 °C das Wasser. Der freigewordene Wasserstoff passiert ein Palladiumventil und wird mit Hilfe einer TOEPLER-Pumpe ohne Verluste in ein Zählrohr gepumpt. Der Reaktionsteil ist außerdem mit einem Gasreinigungsteil verbunden, in den bei Bedarf die Edelgase, die beim Aufschluß ebenfalls aus dem Meteoriten entweichen, abgetrennt werden können.

Bei den meisten Meteoritenaufschlüssen erfolgte nach dem Hauptversuch ein Nachversuch, bei dem die alte Schmelze zunächst in Gegenwart einiger Torr Trägerwasserstoff für etwa 1/2 Stunde auf die Aufschlußtemperatur erhitzt wurde. Darauf wurde der Wasserstoff mittels der Diffusionspumpe in den Mittelteil gepumpt, und ein normaler Versuchsgang (mit zwei Stunden Erhitzen wie beim Hauptversuch und unter fortwährendem Abziehen des Gases) schloß sich an. Der Nachversuch brachte im allgemeinen zwischen 15 und 20% der Aktivität des Hauptversuches.

Gelegentlich, vor allem vor Aufschlüssen von Meteoriten älteren Falldatums, bei denen eine niedrige Aktivität erwartet wurde, wurde in einem Leerversuch der radioaktive Untergrund der Apparatur untersucht. Dabei wurde mit heißem Tiegel ein Hauptversuch imitiert. In keinem Fall wurden mehr als 0,3 cpm (Zählrate pro Minute) gemessen, was etwa 5% der normalerweise gemessenen Aktivität entspricht. Die Hauptquelle dieses, wenn auch geringfügigen, radioaktiven Untergrundes konnte im Magnesiumofen lokalisiert werden (hier nicht in den Magnesiumspänen, sondern in der Glaswand). Bei mehreren Leerversuchen konnte keine Aktivität gemessen werden.

Die für die Bestimmung des Tritium verwendeten Zählrohre haben Vaconkathoden von 0,15 mm Dicke und ein Zählvolumen von ca. 150 cm³. Die Füllung besteht aus 60 Torr Argon und 50 Torr Äthylen⁵. Diese Zählrohre haben Plateaus von 200–300 Volt, die erhalten bleiben bei Zugaben von 500–600 Torr Wasserstoff. Auf diese Weise lassen sich die großen Wasserstoffmengen, die beim Aufschluß anfallen, bewältigen. Die Wanddicke der Zählrohre reicht zwar bei weitem aus, um ein Durchdringen der weichen β-Strahlung des Tritium nach außen zu verhindern, erschwert aber eine Bildung von COMPTON-Elektronen durch die eindringende γ-Strahlung, was sich auf den Nulleffekt der Zählrohre günstig auswirkt. Dieser lag zwischen 1,8 und 2,8 cpm bei über 50 cpm Gesamtzählerate innerhalb der Abschirnung. Die Tritium-Zählrohre wurden in einem Ring von 36 dickwandigen Zählrohren (16 mm Durchmesser, doppelte Länge der Tritium-Zählrohre) in Antikoinzidenz gemessen. Die ganze Vorrichtung war mit 20 cm Eisen

⁵ W. E. GRUMMITT u. R. M. BROWN, Can. J. Chem. **34**, 220 [1956].

zur Reduktion des Untergrundes umgeben. Innerhalb des Ringes der Antikoinzidenzzählrohre konnten drei Tritium-Zählrohre gleichzeitig betrieben werden.

In Tab. 1 sind die Ergebnisse der Tritium-Messungen dargestellt. Die Zahl der Tritium-Zerfälle pro Minute und Gramm zur Zeit des Falles (Spalte 7) liegt normalerweise zwischen 0,5 und 0,7.

Das Ergebnis steht im Widerspruch zu Messungen anderer Autoren, die durchweg Tritium-Zerfallsraten von ca. 0,2–0,3 cpm oder wesentlich darunter finden. Bei älteren Meteoriten ist jedoch die Möglichkeit gegeben, daß Tritium durch Diffusion oder Verwitterung verloren geht. Ferner sind die von anderen Autoren untersuchten Meteoriten zum Teil sehr groß, z. B. der Sikhote-Alin² oder Norton County³, so daß hier Abschirmungseffekte der kosmischen Strahlung eine Rolle spielen dürfte. Lediglich die Messungen am Meteoriten Abee⁴ sollten keine solche Diskrepanz aufweisen. (Der von BEGEMANN, EBERHARDT und HESS angegebene Wert liegt zwischen 0,16 und 0,26 dpm.) Das Entgasungs- und Vorbereitungsverfahren ist jedoch bei den genannten Autoren von dem unsrigen insofern verschieden, als jene vor Beginn der eigentlichen Entgasung die Meteoritenprobe in pulverisiertem Zustand einige Stunden bei ca. 100 °C im Vakuum trocknen. Der hierbei entstehende Wasserdampf wird abgepumpt*. Im Gegensatz dazu wird bei unseren Verfahren auch das im Meteoriten enthaltene Wasser in Wasserstoff zerlegt und der anfallende Wasserstoff ins Zählrohr gefüllt.

Auffallend ist der niedrige Tritium-Gehalt des Meteoriten Tataouine, der nur etwa ein Drittel des Durchschnittswertes der anderen Meteorite aufweist. Dieser Achondrit ist jedoch beim Fall durch die Atmosphäre in viele kleine Stücke zersprungen, die über ein weites Gebiet in einer sehr heißen und trockenen Wüste verstreut wurden. Es mag sein, daß diese relativ kleinen Stücke unter den außergewöhnlichen Bedingungen Wasser und damit eventuell radioaktiven Wasserstoff verloren haben.

Die Tatsache, daß man beim Sikhote-Alin und Kunashak kaum Tritium gefunden hat, läßt sich wohl auf Abschirmung der kosmischen Strahlung durch die Meteoritenmasse zurückführen. Zusätzlich dürfte beim Sikhote noch eine erhöhte Wasserstoff-Diffusion wegen des hohen Nickelgehaltes eine Rolle spielen.

Als sogenannte Nullprobe wurden gewöhnliche Feldsteine aufgeschlossen, und von dem resultierenden Wasserstoff wurden ca. 400 Torr in ein Zählrohr gefüllt. Es ergab sich ein Effekt von ca. 0,2 cpm über dem Nulleffekt.

Meteorit	T-dpm/g z. Z. des Falles	T-Erzeu- gungsquer- schnitt mb	Nucleonen/ sec. cm ² sterad	Teilchen/ sec. cm ² sterad
Breitscheid	0,54	40	0,78	0,58
Abee	0,57	40	0,82	0,61
Ramsdorf	0,70	40	1,00	0,75
Tataouine	0,20	36	(0,27)	(0,20)
Macibini	0,71	36	0,97	0,72
Nadiabondi	0,68	40	0,98	0,73

Tab. 2.

Mit Hilfe der Wirkungsquerschnitte^{8–13} für Tritium-Bildung in den verschiedenen Elementen des Meteoriten läßt sich aus der gemessenen Tritium-Aktivität der Nucleonen- bzw. Teilchenstrom der kosmischen Strahlung im Weltraum berechnen. Diese Werte sind in Tab. 2 dargestellt. Hierbei wurden für Protonen und Neutronen gleiche Wirkungsquerschnitte angenommen. Nach Rossi¹⁴ entsprechen einem Teilchen der kosmischen Strahlung 1,34 Nucleonen.

Es ist allerdings nicht zu übersehen, daß die Rechnung noch einige unsichere Parameter enthält. Die Meßwerte für die Wirkungsquerschnitte bei hohen Energien streuen noch beträchtlich für einige Elemente. Ferner ist über die Energieverteilung der primären kosmischen Strahlung bei niederen Energien wenig bekannt. Sicher scheint nur, daß die niederenergetische Komponente unterhalb 1 GeV stark vertreten ist, unter Umständen wesentlich mehr, als die Messungen der Intensitätsmaxima 1954^{15, 16, 17} ergaben. So wurde z. B. von NEHER^{15, 16}, 1954 in einer Höhe, die einer Luftsicht von 15 g/cm² entspricht, 0,24 Primärteilchen/sec. cm² st. gemessen. Bei Raketenflügen in einer nördlichen Breite von 87° (ca. 0,6 GeV cut-off-Energie für Protonen) erhielt MEREDITH¹⁷ 0,29 Teilchen/sec. cm² sterad. Neuere Daten, die aus Zählrohrmessungen in dem russischen Satelliten Sputnik II erhalten wurden, ergaben unkorrigiert einen Teilchenstrom von 0,29/sec cm² sterad¹⁸, der in einem „burst“ bis auf den doppelten Wert anstieg. Der Wert ist vor allem zu korrigieren auf die Abschirmung durch die Erdmasse, die auch in einigen hundert Kilometern Höhe noch eine Anisotropie der kosmischen Strahlung verursacht. Die Korrektur erhöht den Wert auf etwa 0,4/cm² sec. sterad.

Bei kleinen Meteoriten können auch Teilchen von 100 MeV noch eine beträchtliche Rolle spielen. Der von uns berechnete hohe Teilchenfluß kann möglicherweise auf diese Art erklärt werden. Bei großen Meteoriten ist infolge der Abschirmung durch das beim Durchgang durch die Atmosphäre verlorengegangene Material der

⁶ K. GOEBEL u. P. SCHMIDLIN, Geochim. Cosmochim. Acta **17**, 342 [1959].

⁷ K. GOEBEL, P. SCHMIDLIN u. J. ZÄHRINGER, Z. Naturforschg., **14a**, 996 [1959].

* Persönliche Mitteilung von Herrn Dr. BEGEMANN.

⁸ L. A. CURIE, R. L. WOLFGANG u. W. F. LIBBY, Phys. Rev. **101**, 1557 [1956].

⁹ E. L. FIREMAN, Phys. Rev. **97**, 1303 [1955].

¹⁰ E. L. FIREMAN u. J. ZÄHRINGER, Phys. Rev. **107**, 1695 [1957].

¹¹ V. V. KUZNETZOV, J. Exp. Theor. Phys. USSR **35**, 587 [1958].

¹² L. CURIE, Bevatron Produced Tritium, im Druck.

¹³ K. GOEBEL, CERN Report 58/2.

¹⁴ B. ROSSI, Nuovo Cim. Suppl. **2**, 275 [1955].

¹⁵ H. V. NEHER, Phys. Rev. **103**, 228 [1956].

¹⁶ H. V. NEHER u. H. ANDERSON, Phys. Rev. **109**, 608 [1958].

¹⁷ L. H. MEREDITH, F. A. VAN ALLEN u. M. B. GOTTLIEB, Phys. Rev. **99**, 198 [1955].

¹⁸ S. N. VERNOV, N. L. GRIGOROW, Iu. I. LOGACHER u. A. E. CHUDAKOW, Dokl. Acad. Nauk., SSSR **3**, 617 [1958].

berechnete Teilchenstrom um einen Faktor zwei und mehr kleiner¹⁹.

Aus dem Tiefeneffekt der Aktivität Schlüsse zu ziehen, scheint schwierig, da die ursprüngliche Größe der Meteorite meist unsicher ist und nur in wenigen Fällen²⁰ gut abgeschätzt werden kann. Außerdem werden die Effekte in Oberflächennähe durch die Rindenbildung beeinträchtigt.

Zur Abschätzung des Strahlungsalters liegen He³-Werte bisher nur für die Meteorite Ramsdorf und Breitscheid vor. Vergleicht man den He³-Gehalt von $0.92 \cdot 10^{13}$ Atomen/g für den Breitscheid mit seinem Tritium-Wert, so erhält man ein Strahlungsalter von 12 Ma (Direktproduktion von He³ nach ZÄHRINGER)²¹, bzw. 20 Ma (Direktproduktion von He³ nach MARTIN et al.)²². Für Ramsdorf mit $8.2 \cdot 10^{-8}$ cm³/g He³ sind die entsprechenden Alterswerte 4, bzw. 7 Ma.

Neuerdings wurden bei 600 MeV T- und He³-Erzeugungsquerschnitte²³ an verschiedenen Elementen gemessen, die auch in Steinmeteoren vorkommen. Für Eisen und Aluminium ergibt sich ein etwas höherer Wert für die Tritium-Erzeugung, dagegen ist der He³-Wirkungsquerschnitt im Si und Mg größer. Diese Messungen bei 600 MeV weisen darauf hin, daß für Steinmeteore eher der Wert von SCHAEFFER und ZÄHRINGER anzuwenden ist als der alte Wert von MARTIN et al. Das Verhältnis der Wirkungsquerschnitte für He³/T dürfte für die Steinmeteoren zwischen 1 und 1,5 liegen. Mit diesem Wert für die Direktproduktion der beiden Isotope, erhält man für Breitscheid ein Strahlungsalter

zwischen 18 und 14,5, für Ramsdorf ein solches von 6—4,8 Ma.

Dem Strahlungsalter der Meteoriten kann das Kalium-Argon-Alter der Meteoritensubstanz gegenübergestellt werden. Dies ist die Zeit, während der das Argon aus dem radioaktiven Zerfall des Kaliums im Meteoriten angesammelt wurde. Bei den meisten Meteoriten liegt dieses Alter zwischen 3 und 4 Milliarden Jahren. Kalium-Argon-Bestimmungen wurden nur an Breitscheid und Ramsdorf durchgeführt. Während das Kalium-Argon-Alter beim ersten 3,3 Milliarden Jahre²⁴ beträgt, hat Ramsdorf neben seinem niedrigen Strahlungsalter auch auffallend wenig Argon, was zu einem Alter von nur 370 Ma führt. Eine Diskussion der Verhältnisse ist nur möglich unter Einbeziehung der Ergebnisse von Diffusionsmessungen²⁵, dies soll jedoch einer späteren Mitteilung vorbehalten werden.

Der generelle Unterschied zwischen Strahlungsalter und Alter der Meteoritensubstanz (Kalium-Argon-Alter) kann dadurch erklärt werden, daß die Meteorite erst lange nach der Bildung ihrer Substanz aus einem größeren Objekt herausgebrochen sind.

Die Autoren möchten Herrn Professor Dr. W. GENTNER für seine Anregung und sein großes Interesse an dieser Arbeit ihren Dank aussprechen. Ebenfalls möchten wir für die Unterstützung danken, die uns von Direktor K. R. DAWSON, Prof. Dr. E. L. KRINOW, Dr. med. K. MEISOHLE, Prof. Dr. O. L. NICOLAYSEN, Prof. Dr. J. ORCEL und Prof. Dr. F. A. PANETH durch Überlassen von Meteoritenproben zuteil wurde.

¹⁹ G. R. MARTIN (Geochim. Cosmochim. Acta **3**, 288 [1952]). G. R. MARTIN zeigt, daß von der Ultrastrahlung produziertes Helium in einem Meteoriten von 15 cm post-atmosphärischem Radius und einer geozentrischen Geschwindigkeit von 20 km/sec. im Zentrum $16 \cdot 10^{-6}$ cm³ He/g, bei einem Meteoriten mit 5 cm post-atmosphärischem Radius $38 \cdot 10^{-6}$ cm³ He/g, enthalten sind.

²⁰ E. L. FIREMAN, Nature, Lond. **181**, 1725 [1958].

²¹ O. A. SCHAEFFER u. J. ZÄHRINGER, Z. Naturforsch. **13 a**, 346 [1958].

²² G. R. MARTIN, K. I. MAYNE, S. J. THOMPSON u. G. WARDLE, Phil. Mag. **45**, 410 [1954].

²³ J. ZÄHRINGER, persönliche Mitteilung.

²⁴ H. KÖNIG u. H. WÄNKE, Geochim. Geophys. Acta **17**, 350 [1959].

²⁵ H. FECHTIG, Diffusionsverluste von Argon in Gesteinen, Geochim. Cosmochim. Acta, im Druck.

Über den Einelnachweis von β -Teilchen mit Germanium- und Silicium-Flächendioden

Von H. D. ENGLER

Forschungslaboratorium der Siemens-Schuckertwerke AG
Erlangen

(Z. Naturforsch. **15 a**, 82—84 [1960]; eingegangen am 24. Dezember 1959)

Die Registrierung von Teilchen hoher spezifischer Ionisation wie α -Teilchen und Protonen mit Hilfe von Halbleiterdioden ist verschiedentlich beschrieben worden¹. Der Einelnachweis von β -Teilchen bereitet wegen der niedrigen spezifischen Ionisation und der damit verbundenen größeren Reichweite erheblich stärkere Schwierigkeiten. An Spitzendioden wurden β -Impulse von LARK-HOROVITZ und Mitarbeitern beobachtet². Bei Flächendioden kann man sich zunächst dadurch helfen, daß man die β -Teilchen so auf die Diode auftreffen läßt, daß ihre Bahnen vorwiegend in der Ebene des p-n-Über-

ganges verlaufen, jedoch bleibt dieses Verfahren unbefriedigend, weil die jeweils registrierte Impulshöhe hauptsächlich durch den Abstand der Ionisationsspur vom p-n-Übergang gegeben ist, statt überwiegend von der Energie des Teilchens abhängig zu sein. Dadurch wird auch die Größe der effektiven Zählfläche unbestimmt. Durch Einschießen der β -Teilchen senkrecht zur Fläche des p-n-Überganges lassen sich die genannten Nachteile vermeiden, jedoch setzt diese Zählweise genügend große Diffusionslängen der gebildeten Ladungsträger voraus. Durch Behandlung der Einschußfläche kann der Ladungsträgerverlust infolge Oberflächenrekombination dabei eingedämmt werden.

Abb. 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau der benutzten Germanium- und Silicium-Dioden: Von legierten Ge-p-

¹ Erstmals von K. G. MCKAY, Phys. Rev. **76**, 1537 [1949].

² C. ORMAN, H. Y. FAN, G. J. GOLDSMITH u. K. LARK-HOROVITZ, Phys. Rev. **78**, 646 [1950].