

handelt es sich um die folgenden: Khohar, Kiel, Ladder Creek, La Lande, McKinney, Taiban, Estacado, Morland, Texline und Woodward County. Da für die meisten dieser Meteorite die Mengen an spallogemem  $^3\text{He}$  und  $^{21}\text{Ne}$  sehr klein sind, sind natürlich Verunreinigungen durch Luftneon besonders kritisch.

Für die bereitwillige Überlassung von Meteoritproben danken wir herzlich den Herren Dr. M. A. ABDULLAH, Khartoum (Kapoeta), Prof. Dr. C. W. CORRENS und Prof. Dr. S. KORITNIG, Göttingen (Merö Maderas, Parnallee), Prof. Dr. K. R. DAWSON, Ottawa (Abee) (vermittelt durch Dr. F. BEGEMANN), Prof. Dr. W. VON ENGELHARDT, Tübingen (Barratta, Chantonay, L'Aigle, McKinney, Mooresfort), Dr. K. FREDRIKSSON, La Jolla (Bjurböle), Prof. Dr. E. HELLNER und Dr. W. SCHREYER,

Kiel (Kiel), Dr. E. P. HENDERSON, Washington (Harleton, Long Island, Murray, Paragould, Walters, Woodward County), Dr. K. KEIL, Los Altos (Khohar, Ochansk), Prof. Dr. K. KURODA, Fayetteville (Fayetteville), Dr. C. W. MOORE, Temple (Pantar II), Prof. Dr. R. ROST, Prag (Příbram), Prof. Dr. M. SAKSELA, Helsinki (Hvittis), Prof. Dr. H. SCHOLLER, Wien (Tabor III), Prof. Dr. H. E. SUESS, La Jolla (Ehole) und Prof. Dr. K. SZTRÓKAY, Budapest (Tabor II) (vermittelt durch Dr. F. BEGEMANN). Die Meteorite Estacado, Dhurmsala, Karoonda, New Concord, Vigarano und Zemaikemis entstammen der Sammlung F. A. PANETH.

Für ihre Mithilfe bei der Ausführung der experimentellen Arbeiten danken wir Fräulein H. HARASIN, Fräulein M. MONERJAN und den Herren B. SPETTEL und B. WELLNER. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sind wir für die leihweise Überlassung von Geräten zu Dank verpflichtet.

## Strahlungsalter einiger Eisenmeteorite

Von H. VOSHAGE und D. C. HESS \*

Max-Planck-Institut für Chemie (Otto-Hahn-Institut), Mainz  
(Z. Naturforsch. **19 a**, 341–346 [1964]; eingegangen am 11. Dezember 1963)

Continuing investigations described earlier the cosmic-ray exposure ages of eight iron meteorites have been determined using the  $^{40}\text{K}/^{41}\text{K}$ -method. The results are: Canyon Diablo  $655 \pm 65$  Myrs, Dayton  $215 \pm 85$  Myrs, Grant  $695 \pm 55$  Myrs, Morradal  $155 \pm 95$  Myrs, Norfolk  $680 \pm 55$  Myrs, Norfork  $605 \pm 75$  Myrs, Piñon  $695 \pm 125$  Myrs, Washington County  $610 \pm 70$  Myrs.

In früheren Publikationen<sup>1–5</sup> ist über Isotopenhäufigkeitsmessungen an Kalium aus Eisenmeteoriten und über die Bestimmung der  $^{40}\text{K}/^{41}\text{K}$ -Strahlungsalter von 17 Eisenmeteoriten ausführlich berichtet worden. Im folgenden werden entsprechende Ergebnisse über 8 weitere Eisenmeteorite mitgeteilt.

### 1. Methode

Das Strahlungsalter  $T_S$  eines Eisenmeteoriten ergibt sich aus dem Massenspektrum einer aus dem Meteoriten abgetrennten Kaliumprobe mittels der Gleichung

$$\frac{\lambda T_S}{1 - \exp\{-\lambda T_S\}} = \frac{^{41}\text{K}/^{40}\text{K} - a \cdot ^{39}\text{K}/^{40}\text{K}}{P_{41}/P_{40} - a \cdot P_{39}/P_{40}} \quad (1)$$

Dabei ist der „M-Wert“

$$M = ^{41}\text{K}/^{40}\text{K} - a \cdot ^{39}\text{K}/^{40}\text{K} \quad (2)$$

durch die Isotopenhäufigkeitsverhältnisse  $^{41}\text{K}/^{40}\text{K}$  und  $^{39}\text{K}/^{40}\text{K}$  in einer beliebigen Mischung aus kosmogenem und primordiale Meteoritenkalium sowie aus terrestrischem Verunreinigungskalium und durch das Isotopenhäufigkeitsverhältnis  $a = (^{41}\text{K}/^{39}\text{K})_n = 0,07424$  (s. Anm. <sup>6</sup>) von terrestrischem Kalium gegeben. Der „N-Wert“

$$N = P_{41}/P_{40} - a \cdot P_{39}/P_{40} \quad (3)$$

enthält die Verhältnisse  $P_{41}/P_{40}$  und  $P_{39}/P_{40}$  der Produktionsraten der kosmogenen Kaliumnuklide in den Meteoriten.  $\lambda$  ist die Zerfallskonstante von  $^{40}\text{K}$  ( $\lambda = 0,545 \cdot 10^{-9} \text{ a}^{-1}$ ).

Von den verschiedenen früher angegebenen Methoden zur Bestimmung des N-Wertes einer Meteorite

\* Anschrift: Argonne National Laboratory, Argonne, Ill./USA.

<sup>1</sup> H. VOSHAGE u. H. HINTENBERGER, Z. Naturforsch. **14 a**, 194 [1959].

<sup>2</sup> H. VOSHAGE u. H. HINTENBERGER, Z. Naturforsch. **14 a**, 828 [1959].

<sup>3</sup> H. VOSHAGE u. H. HINTENBERGER, Z. Naturforsch. **16 a**, 1042 [1961].

<sup>4</sup> H. VOSHAGE, Z. Naturforsch. **17 a**, 422 [1962].

<sup>5</sup> H. VOSHAGE u. H. HINTENBERGER, in „Radioactive Dating“, International Atomic Energy Agency, Wien 1963, S. 367.

<sup>6</sup> A. O. NIER, Phys. Rev. **77**, 789 [1950].



rittenprobe haben sich nur jene drei Methoden bewährt, welche die Tatsache berücksichtigen, daß die Verhältnisse der Kalium-Produktionsraten von der mittleren Energie der für die Produktion im Meteoriten verantwortlichen Teilchen, d. h. von der „effektiven Strahlungshärte“ abhängig sind:

*Methode I:* Sie beruht auf einer in einer früheren Arbeit<sup>3</sup> begründeten und dort graphisch dargestellten Beziehung zwischen  $N$  und dem kosmogenen He/Ne-Verhältnis, welche sich in der folgenden Form darstellen läßt:

$$N = 1,3309 + 1,244 \cdot 10^{-3} (\text{He/Ne}) + 6,66 \cdot 10^{-7} (\text{He/Ne})^2. \quad (4)$$

*Methode II:*  $N$  läßt sich auch folgendermaßen darstellen<sup>4</sup>:

$$N = \left[ \left( \frac{15}{16} \right)^{-k_2} - a \left( \frac{17}{16} \right)^{-k_2} \right] / g(^{40}\text{K}). \quad (5)$$

Hier ist  $k_2$  eine für die effektive Strahlungshärte charakteristische Zahl<sup>7</sup>, welche jedoch bisher nur für eine kleine Anzahl von Meteoriten experimentell bestimmt worden ist<sup>8</sup>.  $g(^{40}\text{K})$  stellt denjenigen Bruchteil der Produktionsraten aller Nuklide mit der Nukleonenzahl 40 dar, welcher zur Produktion von  $^{40}\text{K}$  führt. Aus Meteoritendaten ergibt sich<sup>4</sup>  $g(^{40}\text{K}) = 0,73 \pm 0,01$ . Bei Verwendung dieses Wertes sind die Methoden I und II gleichwertig.

*Methode III:* Zur Charakterisierung der effektiven Strahlungshärte im Meteoriten eignen sich neben dem He/Ne-Verhältnis und dem  $k_2$ -Wert auch die Verhältnisse  $^3\text{He}/^4\text{He}$ ,  $^{38}\text{Ar}/^{21}\text{Ne}$ ,  $^3\text{He}/^{21}\text{Ne}$ ,  $^4\text{He}/^{21}\text{Ne}$  u. a. Jede der genannten Größen steht mit jeder anderen sowie mit dem  $N$ -Wert in einem eindeutigen funktionalen Zusammenhang. Aus diesem Grunde kann man (z. B. durch Interpolation aus der in der vorangehenden Kalium-Arbeit<sup>5</sup> gezeigten Tab. II) die  $N$ -Werte auch von solchen Meteoriten mit unbekannten He/Ne-Verhältnissen und unbekannten  $k_2$ -Werten ermitteln, für welche wenigstens eines der anderen Verhältnisse bekannt ist (Interpolationsverfahren<sup>5</sup>).

Bei keiner der drei Methoden braucht eine Annahme über die Beziehung zwischen der effektiven Strahlungshärte und der Größe des Meteoriten bzw. der Tiefe der Probenentnahme gemacht zu werden.

## 2. Meßergebnisse

In der vorliegenden Arbeit wird über 10 Messungen an Kalium aus 8 verschiedenen Eisenmeteoriten berichtet. Die Tab. 1 enthält allgemeine Angaben über die Meteorite sowie über die Herkunft der verwendeten Proben. Zur Abtrennung des Kaliums aus den Meteoriten wurde die in einer früheren Arbeit<sup>2</sup> beschriebene Abtrennapparatur benutzt. Eine Beschreibung der seit 1960 angewendeten Abtrenn- und Meßtechnik findet sich in einer anderen Arbeit<sup>3</sup>. Inzwischen wurde u. a. die Form der massenspektrometrischen Peaks verbessert \*\*. Die Abb. 1 zeigt ein Massenspektrum von Kalium aus der Meteoritenprobe Grant 3.

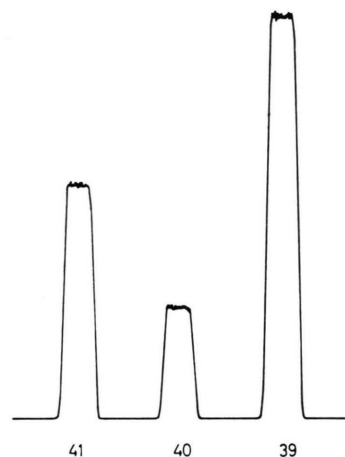


Abb. 1. Massenspektrum von Kalium aus der Meteoritenprobe Grant 3.

Die Ergebnisse der massenspektrometrischen Isotopenhäufigkeitsbestimmungen sind in Tab. 2 zusammengestellt. Die Isotopenhäufigkeiten waren, ebenso wie früher, zeitlichen Variationen unterworfen, weil kosmogenes und gewöhnliches Kalium auf dem Ionisierungsdraht der Thermionenquelle nicht homogen durchmischt waren. Die Spalten 3 bis 5 der Tab. 2 enthalten Angaben über die gemessenen, unkorrigierten Isotopenhäufigkeiten in ihrem zeitlichen Gang. Diese Angaben beziehen sich also auf die prozentualen Anteile der den drei Kaliumisotopen zugehörigen Ausschläge  $i_{39}$ ,  $i_{40}$  und  $i_{41}$  des Massen-

<sup>7</sup> J. GEISS, H. OESCHGER u. U. SCHWARZ, Space Sci. Rev. **1**, 197 [1962].

<sup>8</sup> H. STAUFFER u. M. HONDA, J. Geophys. Res. **67**, 3503 [1962].

\*\* Die Verbesserung wurde durch Verwendung eines anderen Sekundärelektronenvervielfacher-Typs erreicht. Den Herren H. SARKAR und P. JUNG danken wir für ihre wesentliche Hilfe bei den notwendigen Untersuchungen und dem Aufbau des SEV.

Meteorit	Typ	Herkunft und nähere Bezeichnung der Probe	Erhalten durch:
Canyon Diablo	m. Oktaedrit	Wards Natural Science Establishment Probe Nr. 34.3767 (Anm. <sup>1</sup> )	Dr. R. DAVIS Jr., Brookhaven N. L.
Dayton Grant	Ataxit f. Oktaedrit	Sammlung F. A. PANETH, Pa 37/1 Smithsonian Institution, Washington; „Bar G“, 335 mm links von der Bezugs- linie (Anm. <sup>2</sup> )	Dr. H. WÄNKE, Mainz Prof. E. P. HENDERSON, Washington
Morradal	Ataxit, 18,8% Ni	Sammlung MPI Mainz, Nr. 91/1	Dr. H. WÄNKE, Mainz
Norfolk	m. Oktaedrit	American Museum of Natural History New York, AMNH 2686	Prof. B. MASON, New York
Norfolk Piñon	m. Oktaedrit Ataxit, 16,6% Ni	Arizona State Univ., Tempe, Arizona American Meteorite Museum, Sedona, Arizona	Dr. C. B. MOORE, Tempe Prof. E. ANDERS, Chicago
Washington County	Ataxit, 9,3% Ni		Dr. O. A. SCHAEFFER, Brookhaven N. L.

<sup>1</sup> Probe „Canyon Diablo II“ bei E. L. SPENKEL, PhD. thesis University of Rochester, 1959 (unveröffentlicht), <sup>2</sup>Cl-Gehalt:  $8,9 \pm 0,3$  Zerfälle  $\text{min}^{-1} \text{kg}^{-1}$ .  
<sup>2</sup> Vgl. SIGNER u. NIER, J. Geophys. Res. 65, 2947 [1960], Abb. 6.

Tab. 1. Liste der untersuchten Meteorite; Herkunft und nähere Bezeichnung der Proben.

spektrometer-Registrierinstrumentes (Galvanometer-ausschläge bzw. Peakhöhen in geschriebenen Massenspektren). Es handelt sich um Mittelwerte aus Einzelmessungen, deren Anzahl jeweils in der 2. Spalte der Tab. angegeben ist \*\*\*. Für jede Meteoritenprobe sind außerdem jeweils in der letzten Zeile die Mittelwerte aus sämtlichen Einzelmessungen angegeben.

Die Spalte 7 enthält die jeweiligen Mittelwerte der „unkorrigierten  $M$ -Werte“, d. h. der Größen

$$M_0 = i_{41}/i_{40} - a i_{39}/i_{40} \quad (6)$$

Wegen der Isotopenfraktionierung, welche insbesondere bei der Verdampfung des Kaliums in der Ionenquelle auftritt, sowie wegen der Massendiskriminierung im Spektrometer ist der  $M_0$ -Wert immer etwas niedriger als der zu bestimmende  $M$ -Wert. Wie früher<sup>3</sup> gezeigt worden ist, ergibt sich der  $M$ -Wert nach der Gleichung

$$M = M_0 + \frac{1}{100} [i_{41}/i_{40} + a i_{39}/i_{40}] \Delta f(\%), \quad (7)$$

wobei

$$\Delta f(\%) = 100(f - 1) \quad (8)$$

und  $f$  durch die Gleichungen

$$\frac{i_{39}}{i_{40}} = f \frac{{}^{39}\text{K}}{{}^{40}\text{K}} \quad \text{und} \quad \frac{i_{41}}{i_{40}} = f \frac{{}^{41}\text{K}}{{}^{40}\text{K}} \quad (9)$$

definiert ist. Der Korrekturkoeffizient

$$\frac{1}{100} [i_{41}/i_{40} + a i_{39}/i_{40}]$$

(s. Spalte 6 der Tab. 2) ist um so größer, je stärker das gewöhnliche Kalium im Massenspektrum vertreten ist. Wie bisher<sup>3, 5</sup> wurde zur Berechnung der  $M$ -Werte (s. Spalte 8 der Tab. 2)  $\Delta f(\%) = 1 \pm 1$  gesetzt. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, daß die Isotopenfraktionierung zeitlich leicht veränderlich sowie von Messung zu Messung nicht reproduzierbar ist. Die statistischen Meßfehler sind in der Mehrzahl der Fälle wesentlich kleiner als der nach der angegebenen Vorschrift ermittelte Fehler.

Das über den Einfluß der Isotopenfraktionierung auf den  $M_0$ -Wert vorliegende Beobachtungs- und Zahlenmaterial, welches bisher nur zum kleinsten Teil publiziert wurde, zeigt, daß die oben beschriebene Korrektur richtig ist, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

1. Es müssen über längere Zeiten im Massenspektrometer stabile Ionenströme fließen, so daß etwa 50 Einzelbestimmungen der Isotopenhäufigkeiten mit guter Genauigkeit durchgeführt werden können. Diese Bedingung war bei den Untersuchungen mit den Proben Grant 2 und Piñon (insbesondere Piñon 1) nicht erfüllt, so daß die Untersuchungen in diesen Fällen unter Anwendung besonderer Vorsicht bei der Kaliumabtrennung wiederholt wurden.

2. Der  $M$ -Wert darf sich im Verlauf der 50 oder mehr Messungen nicht stark ändern. Diese Bedingung war bei der Untersuchung von Kalium aus Norfolk und aus Washington County nicht erfüllt.

Die bei der Untersuchung der Proben Grant 2, Piñon, Norfolk und Washington County gemachten Beobachtungen können, ebenso wie zahlreiche Beobachtungen bei anderen Messungen, dadurch erklärt werden, daß sich in diesen Fällen eine mehr oder weniger starke, manchmal sichtbare Schicht einer nicht identifizierten Fremdschubstanz auf dem Ionenquellendraht befand. Diese Fremdschubstanz stammt wahrscheinlich aus Ein-

\*\*\* In einer früheren Arbeit<sup>3</sup> wurden statt der Mittelwerte die Ergebnisse von geeignet ausgewählten Einzelmessungen angegeben, so daß die zeitliche Variation der Isotopenhäufigkeiten stärker hervortrat.

Meteoriten- probe	Anzahl der Messungen	Relative Isotopenhäufigkeit (unkorrigiert), %			$\frac{i_{41}}{i_{40}} + a \frac{i_{39}}{i_{40}}$ 100	$M_0$	$M$	$N$	Strahlungs- alter 10 <sup>6</sup> a
		$i_{39}$	$i_{40}$	$i_{41}$					
Canyon Diablo 1	22	69,43	9,08	21,49	0,029	1,800	1,829	1,546	655 ± 65
	22	69,18	9,12	21,70	0,029	1,817	1,846		
	22	69,38	9,06	21,56	0,029	1,812	1,841		
	14	70,08	8,83	21,10	0,030	1,802	1,832		
	80	69,46	9,04	21,50	0,03	1,808	1,838 ± 0,030		
Dayton	24	77,29	6,65	16,06	0,033	1,552	1,585	1,504	215 ± 85
	24	79,30	5,79	14,91	0,036	1,557	1,593		
	19	82,77	4,33	12,91	0,044	1,564	1,608		
	67	79,56	5,68	14,75	0,036	1,557	1,593 ± 0,036		
	67	79,56	5,68	14,75	0,036	1,557	1,593 ± 0,036		
Grant 2	12	79,00	5,49	15,52	0,039	1,759	1,798	1,520	650 ± 85
	12	79,01	5,45	15,54	0,039	1,776	1,815		
	24	79,00	5,47	15,53	0,039	1,767	1,806 ± 0,040		
Grant 3	10	54,03	15,00	30,97	0,023	1,797	1,820	1,520	695 ± 55
	13	54,83	14,64	30,53	0,023	1,808	1,831		
	17	56,15	14,15	29,71	0,024	1,805	1,829		
	10	56,74	13,96	29,30	0,024	1,798	1,822		
	10	57,42	13,70	28,88	0,024	1,796	1,820		
	60	55,82	14,29	29,89	0,024	1,802	1,826 ± 0,025		
	60	55,82	14,29	29,89	0,024	1,802	1,826 ± 0,025		
Morradal	20	77,19	6,75	16,06	0,032	1,529	1,561	1,488	155 ± 95
	10	80,13	5,55	14,32	0,037	1,506	1,543		
	15	80,81	5,24	13,95	0,038	1,515	1,553		
	12	82,49	4,55	12,97	0,042	1,504	1,546		
	13	85,46	3,29	11,25	0,054	1,489	1,543		
	70	80,83	5,24	13,93	0,038	1,513	1,551 ± 0,040		
	70	80,83	5,24	13,93	0,038	1,513	1,551 ± 0,040		
Norfolk	15	58,61	13,50	27,90	0,024	1,745	1,769	1,476	680 ± 55
	15	59,80	13,05	27,14	0,024	1,739	1,763		
	12	60,44	12,78	26,78	0,024	1,745	1,769		
	11	66,23	10,53	23,24	0,027	1,740	1,767		
	53	60,94	12,59	26,47	0,025	1,742	1,767 ± 0,025		
Norfork	19	73,50	7,63	18,86	0,032	1,757	1,789	1,504	605 ± 75
	19	77,41	6,17	16,42	0,036	1,731	1,767		
	11	79,01	5,57	15,42	0,038	1,717	1,755		
	11	80,52	5,04	14,44	0,041	1,679	1,720		
	60	77,04	6,31	16,65	0,035	1,730	1,765 ± 0,035		
	60	77,04	6,31	16,65	0,035	1,730	1,765 ± 0,035		
Piñon 1	10	82,16	4,28	13,56	0,046	1,745	1,791 ± 0,046	1,540 ?	570 ± 100
Piñon 2	15	86,54	2,54	10,93	0,068	1,776	1,844	1,540 ?	695 ± 125
	20	83,59	3,65	12,77	0,052	1,799	1,851		
	35	84,85	3,17	11,98	0,058	1,791	1,85 ± 0,06		
Washington County	17	84,25	3,54	12,21	0,052	1,680	1,732	1,510	610 ± 70
	17	81,54	4,57	13,89	0,044	1,712	1,756		
	17	76,36	6,56	17,08	0,035	1,741	1,776		
	14	74,37	7,33	18,30	0,033	1,744	1,777		
	14	72,85	7,93	19,22	0,031	1,742	1,773		
	45 *	74,65	7,22	18,13	0,033	1,742	1,775 ± 0,033		
	45 *	74,65	7,22	18,13	0,033	1,742	1,775 ± 0,033		

\* Mittel aus den letzten 45 Messungen.

Tab. 2. Ergebnisse.



schließen in den Meteoritenproben. Solche Schichten setzen die Ausbeute an Kaliumionen stark herab, so daß ein genügend großer Ionenstrom nur bei relativ hoher Draht-Temperatur erzielt wird, die Temperatur häufig erhöht werden muß und die Probe schon nach relativ kurzer Zeit verbraucht ist. Die  $^{40}\text{K}$ - und  $^{41}\text{K}$ -Häufigkeiten sind in den betreffenden Fällen häufig ziemlich niedrig, was auf einen relativ hohen Gehalt der Einschlüsse und daher auch der Fremdschichtschichten an gewöhnlichem Kalium schließen läßt. Gleichzeitig sind die  $M_0$ -Werte relativ niedrig, d. h. die  $\Delta f(\%)$ -Werte außergewöhnlich groß. Diese Tatsache ist wahrscheinlich dadurch bedingt, daß das Kalium vor der Verdampfung durch einen mehr oder weniger großen Teil der Schicht hindurchdiffundieren muß.

Die Tatsache, daß mit Grant 2 und Piñon 1 merklich kleinere  $M_0$ - und  $M$ -Werte gemessen wurden als mit Grant 3 bzw. Piñon 2, ist demnach durch Fremdschichtschichten auf dem Ionenquellendraht erklärbar. In diesen Fällen ist die gewählte Korrektur mit  $\Delta f(\%) = 1 \pm 1$  zu niedrig. Die Ergebnisse der Messungen Grant 3 und Piñon 2 erscheinen uns nach allen Erfahrungen wesentlich zuverlässiger. Das Ergebnis der Messung Norfolk ist möglicherweise etwas zu niedrig und etwas unsicherer als durch den angegebenen Fehler angezeigt, da ein anomaler zeitlicher Abfall der  $M_0$ -Werte auftrat. Es sind Wiederholungsmessungen an Norfolk und Piñon geplant. Im Falle der Messung Washington County scheint die Fremdschichtschicht nach Durchführung der ersten 34 Messungen im wesentlichen abgedampft zu sein. Für die Berechnung des Strahlungsalters wurden deshalb nur die Ergebnisse der letzten 45 Messungen benutzt.

### 3. $N$ -Werte

Die Berechnung der  $N$ -Werte (Spalte 9 der Tab. 2) erfolgte zum größten Teil nach Gl. (4) unter Benutzung der folgenden von HINTENBERGER und WÄNKE<sup>9</sup> für benachbarte Proben angegebenen He/Ne-Verhältnisse:

Canyon Diablo	159	Norfolk	110
Dayton	130	Norfolk	130
Morradal	119		

Für die Proben Grant 2 und 3 wurde der  $N$ -Wert nach dem Interpolationsverfahren (Methode III) ermittelt. Aus Untersuchungen von SIGNER und NIER<sup>10, 11</sup> über die Tiefenabhängigkeit der Edelgaskonzentrationen in Grant folgt, daß für unsere beiden benachbarten Proben (s. Tab. 1) ungefähr die folgenden Werte gültig sind

$$\begin{aligned} {}^3\text{He}/{}^4\text{He} &= 0,257 & {}^4\text{He}/{}^{21}\text{Ne} &= 320 \\ {}^3\text{He}/{}^{21}\text{Ne} &= 82,5 & {}^{38}\text{Ar}/{}^{21}\text{Ne} &= 5,2. \end{aligned}$$

Nach Tab. II der vorangehenden Kalium-Arbeit<sup>5</sup> entspricht diesen, die effektive Strahlungshärte in der Probe charakterisierenden Werten ein  $N$ -Wert von etwa 1,520.

Bei der Ermittlung des  $N$ -Wertes von Washington County aus Daten über den Edelgasgehalt muß die Tatsache berücksichtigt werden, daß dieser Meteorit neben kosmogenen Edelgasen einen beträchtlichen Gehalt an primordialen Edelgasen enthält<sup>11-13</sup>. Das von SIGNER und NIER<sup>11</sup> an ihrer Probe S 70 b gemessene  ${}^{38}\text{Ar}/{}^{21}\text{Ne}$ -Verhältnis von 5,0 scheint hierdurch am wenigsten beeinflusst zu sein. Wir schätzen, daß das rein kosmogene  ${}^{38}\text{Ar}/{}^{21}\text{Ne}$ -Verhältnis etwa 4,9 beträgt. Nach Tab. II der vorangehenden Kalium-Arbeit<sup>5</sup> entspricht diesem Verhältnis ein  $N$ -Wert von 1,510, welcher für die Berechnung des Strahlungsalters benutzt wurde.

Für Piñon sind uns keine Daten bekannt, welche etwas über die effektive Strahlungshärte aussagen. Aus der kleinen für die Isotopenhäufigkeitsmessungen zur Verfügung stehenden Kalium-Menge sowie dem kleinen kosmogenen Kalium-Anteil glauben wir schließen zu können, daß die Konzentration an kosmogenem Kalium gering ist. Andererseits weist der hohe  $M$ -Wert auf ein hohes Strahlungsalter hin. Diese Beobachtungen sind nur miteinander vereinbar, wenn man annimmt, daß die Probe durch umgebendes Material stark gegen die kosmische Primärstrahlung abgeschirmt war. In solchen Proben ist die effektive Strahlungshärte relativ niedrig. Der Berechnung eines vorläufigen Wertes für das Strahlungsalter wurde daher ein hoher  $N$ -Wert von 1,540 zugrunde gelegt.

### 4. Strahlungsalter

Die aus  $M$  und  $N$  nach Gl. (1) berechneten Strahlungsalter finden sich in der 10. Spalte der Tab. 2. Die angegebenen Fehler entsprechen den in der 8. Spalte angegebenen Fehlern der  $M$ -Werte. Die Unsicherheit in den Einzelbestimmungen der  $N$ -Werte ist, wenn man von der Bestimmung des  $N$ -Wertes für Piñon absieht, wesentlich kleiner als die

<sup>9</sup> H. HINTENBERGER u. H. WÄNKE, Z. Naturforsch. **19 a**, 210 [1964] und unveröffentlichte Meßergebnisse.

<sup>10</sup> P. SIGNER u. A. O. NIER, J. Geophys. Res. **65**, 2947 [1960].

<sup>11</sup> P. SIGNER u. A. O. NIER, in Researches on Meteorites (Edit. C. B. MOORE), John Wiley & Sons, New York 1962, S. 7.

<sup>12</sup> O. A. SCHAEFFER u. D. E. FISHER, Nature, Lond. **183**, 660 [1960].

<sup>13</sup> D. TILLES, J. Geophys. Res. **67**, 1687 [1962].

Unsicherheit der  $M$ -Werte und wurde daher nicht berücksichtigt.

Die Durchführung der vorliegenden Arbeit wurde von Herrn Prof. Dr. H. HINTENBERGER in jeder Hinsicht gefördert, wofür wir ihm herzlich danken möchten. Herr Dr. H. WÄNKE hat uns freundlicherweise erlaubt, einige seiner unveröffentlichten Edelgasdaten zu benutzen.

Besonderen Dank schulden wir Fräulein H. LÜCKERT für ihre stets aufmerksame Mitarbeit bei der Durchführung der Kalium-Extraktionen, Isotopenhäufigkeitsmessungen und Berechnungen.

Die Meteoritenproben verdanken wir der freundlichen Mitwirkung folgender Herren: Prof. E. ANDERS, Chicago, Dr. R. DAVIS JR., Brookhaven National Laboratory, Prof. E. P. HENDERSON, Washington, Prof. B. MASON, New York, Prof. C. B. MOORE, Tempe, Arizona, Dr. O. A. SCHAEFFER, Brookhaven National Laboratory und Dr. H. WÄNKE, Mainz.

Der eine von uns (D. C. H.) dankt dem Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung für die Mittel zu einem Forschungsaufenthalt am Max-Planck-Institut für Chemie (Otto-Hahn-Institut), Mainz. Dem Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung danken wir außerdem für die Bereitstellung von Sachmitteln.

## Zur Entwicklung einer Elektronenlawine bei Überspannung in $N_2$ Teil 1 · Generationsaufbau

Von H. THOLL

Institut für Angewandte Physik der Universität Hamburg  
(Z. Naturforschg. **19 a**, 346–353 [1964]; eingegangen am 30. November 1963)

In  $N_2$  (and in  $N_2$  with a small amount of  $CH_4$ ) electron avalanches and their development into the generation mechanism were investigated at  $\mu \gtrless 1$  in a pulsed homogeneous electrical field. The temporal development of the avalanche currents was measured by photomultiplier techniques. The avalanches were started by a high number of electrons ( $\approx 10^3$ ), released at the cathode by a short light flash; thus the discharge currents were free from statistical fluctuations. — The comparison of measured and calculated current shapes of the generation mechanism show good agreement. The influence of the positive ion space charge on the development of the discharge current is demonstrated. At higher overvoltages ( $> 20\%$ ) streamer mechanism is found; in a transition region ( $\approx 17\%$ ) both mechanism (streamer- and generation mechanism) are observed as concurring processes.

In der vorliegenden Arbeit wird die Elektronenlawine und ihre Entwicklung im homogenen Feld in Gasen wie  $N_2$  und  $N_2$  mit  $CH_4$ -Zusatz bei Überspannungen untersucht. Zu diesem Zweck wurde eine Stoßapparatur benutzt, welche innerhalb von etwa  $10^{-8}$  sec einen Spannungsimpuls an die Entladestrecke legt. Die für den Start der Entladung erforderlichen Primärelektronen wurden durch eine synchron mit dem Überspannungsimpuls getriggerte Blitzlampe mittels Photoeffekt aus der Kathode der Entladestrecke ausgelöst. Der zeitliche Verlauf des Entladestromes wurde an Hand der von der Entladung emittierten Lichtstrahlung durch einen Photomultiplier registriert. Durch die direkte Photographie der Entladung konnten zusätzliche Aussagen über den örtlichen Aufbau der Entladung gemacht werden.

Im Teil I dieser Arbeit wird der Generationsaufbau (TOWNSEND-Aufbau)<sup>1</sup> untersucht. Weiterhin wird durch Anwendung von Überspannung gezeigt, wie der Übergang in den Kanalaufbau<sup>1</sup> erfolgt und daß in einem bestimmten Übergangsbereich ( $\approx 17$  bis  $20\%$  Überspannung) in  $N_2$  beide Aufbaumechanismen — Generationsaufbau und Kanalaufbau — nebeneinander existieren.

### I. Apparatur und Meßmethoden

Eine genaue Beschreibung der Apparatur ist in <sup>2</sup> zu finden. Zur Messung des zeitlichen Verlaufs der Entladeströme wurde der Photomultiplier 56 AVP (Philips) und die Oszillographen Tektronix 519, 517A oder 555 benutzt. Die Empfindlichkeit der Meßanordnung gestattete es, in  $N_2$  einen Schwarm

<sup>1</sup> Siehe Übersicht in: H. RAETHER, *Ergeb. exakt. Naturw.* **33**, 175 [1961].

<sup>2</sup> H. THOLL, *Z. Phys.* **172**, 536 [1963].