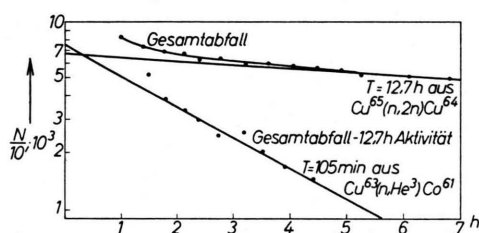


Abb. 4. Spektrum aus der Cu-Aktivität.

Abb. 5. Abfall der γ -Aktivität bei Cu. $60 \text{ keV} \leq E_\gamma \leq 80 \text{ keV}$.

c) Cäsium

Cäsium wurde als CsCO_3 bestrahlt und eine starke Aktivität aus der $(n, 2n)$ -Reaktion beobachtet, die sich wegen des günstigen Spektrums an Hand einer ausgeprägten Linie bei 670 keV gut auswerten läßt. Für den Wirkungsquerschnitt dieser Reaktion wurden $704 \text{ mb} \pm 2,8\%$ gefunden.

d) In einem weiteren Vergleich mit bekannten Wirkungsquerschnitten wurde außerdem die Reaktion $\text{Al}^{27}(n, p)\text{Mg}^{27}$ ausgemessen, die mit $80,8 \text{ mb} \pm 1,1\%$ auftrat (Vergleichswerte siehe Tab. 1). Für die Reaktion $\text{Ce}^{140}(n, 2n)\text{Ce}^{139\text{m}}$ wurden $1440 \text{ mb} \pm 6,6\%$ im Vergleich zu $1200 \text{ mb} \pm 30\%$ nach FINK gefunden.

In Tab. 1 sind alle hier gefundenen Meßresultate noch einmal zusammengestellt. In einer besonderen Spalte ist dabei ein gesamter Fehler angegeben, der noch die Unsicherheiten der Kenntnis des jeweiligen Zerfallsschemas und der Halbwertszeit, den Fehler in der Messung der Neutronenintensität und den Fehler aus der Berechnung der Ansprechwahrscheinlichkeit enthält.

Dem Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft und der Deutschen Forschungsgemeinschaft danken wir für die Überlassung von Geräten für diese Versuche. Herrn Professor Dr. L. COLLATZ danken wir sehr für seine Ratschläge zur Durchführung der Berechnungen, die zu einem großen Teil in dankenswerter Weise von Herrn cand. phys. K. H. PEUCKERT ausgeführt worden sind.

Erzeugung von Tritium und Edelgasisotopen bei Bestrahlung von Fe und Cu mit Protonen von 25 GeV Energie

Von K. GOEBEL,

CERN, Genf

und J. ZÄHRINGER

Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg

(Z. Naturforsch. 16 a, 231–236 [1961]; eingegangen am 17. Dezember 1960)

Production cross sections for Tritium and the rare gases have been measured in Fe, Cu at 25 GeV proton energy. The results do not show any essential variation compared to results at lower energies. The He^3/T -ratio, measured in the same stack of targets, is ca. 1.2. The cross-sections for He and T are approximately the same as at 3 GeV. Also the yield for the Argon-Isotopes is the same as measured at lower energies.

Das Studium der Erzeugungsquerschnitte von Kernreaktionsprodukten bei verschiedenen Energien gibt Auskunft über den Mechanismus der Energieumsetzung im Atomkern. Die Gültigkeit des Modells einer Wechselwirkung, die allgemein als Spallations-

prozeß bezeichnet wird, kann auf diese Weise geprüft werden. Bei Prozessen, in denen das einfallende Nukleon eine Energie hat, die höher ist als für die Bildung eines COMPOUND-Kernes noch zuträglich ist (ca. 20 MeV freie Energie im Kern), findet



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 digitalized 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.

zunächst eine schnelle Wechselwirkung des Teilchens mit den Targetnukleonen statt, wobei sich im Kern eine Kaskade von Nukleonen ausbildet. Als Folge dieses schnellen Prozesses verliert der Kern Nukleonen, je nach der Energie des einfallenden Teilchens und der Art des Targetkernes. Der zurückbleibende Kern ist meist hochangeregt. In der anschließenden Kernverdampfung, die im Vergleich mit der Kaskade langsam verläuft, werden weitere Nukleonen und leichte Teilchen (d, t, He^3 , He^4 u. a.) emittiert. Ein Kern entsprechend kleinerer Masse bleibt zurück.

Solche Reaktionen wurden bisher hauptsächlich mit radiochemischen Methoden untersucht, wobei diese Technik auf Isotope mit geeigneter Halbwertszeit beschränkt ist. Die Messung stabiler Reaktionsprodukte setzt den Nachweis von ca. $10^8 - 10^9$ Atomen voraus. Dies ist mit der Empfindlichkeit der heutigen Massenspektrometer möglich geworden. Solche Bestimmungen von stabilen Reaktionsprodukten ergänzen die Messungen der radioaktiven Isotope, was von besonderem Interesse ist, wenn man die Erzeugungsquerschnitte von allen Isotopen eines Elements vergleichen will.

Einzelne Resultate liegen für Energien bis zu 6 GeV bereits vor. Interessant war hierbei eine unerwartet hohe He^3 -Erzeugung verglichen mit Tritium. Aus technischen Gründen wurden bisher die Bestimmungen von radioaktiven und stabilen Produkten an unabhängigen Targets durchgeführt^{1,2}. Da hierbei relative Unterschiede leicht verwischt werden können, wurden in der vorliegenden Arbeit die Targetmaterialien von demselben Protonenstrahl durchgesetzt.

Auch bei niederen Energien (600 MeV und 2,2 GeV) wurde bereits dieses Verfahren an einer größeren Zahl von Targetelementen durchgeführt³.

Nachdem in Genf durch die Fertigstellung des Protonensynchrotrons (PS) die Möglichkeit zur Erweiterung des Energiebereichs von Spallationsexperimenten gegeben war, wurden mehrere Bestrahlungen im internen Protonenstrahl des PS durchgeführt. Die Targets dienten gleichzeitig als Mesontargets bei Blaskammerexperimenten. Kupfer wurde als Targetmaterial gewählt, da dieses radiochemisch am eingehendsten auch bei niederen Ener-

gien untersucht wurde, während Eisen für die Bestimmung von Erzeugungsraten in Meteoriten von Interesse ist.

Bestrahlungen

Es wird im folgenden von zwei Bestrahlungen im internen Protonenstrahl des PS berichtet, von denen die erste (PS 1) 91 Minuten dauerte, während die zweite (PS 2) sich auf 35 Stunden erstreckte. Da es sich bei beiden Bestrahlungen um verhältnismäßig dünne Targets handelte, wurden die Targets jeweils mehrfach von den zirkulierenden Protonen durchgesetzt. Der Protonenfluß wurde mit Hilfe der Reaktion $\text{Al}^{27}(p, 3pn)\text{Na}^{24}$ bestimmt. Das Target wurde erst gegen Ende eines jeden Beschleunigungszyklus in den Strahl gedreht, wobei die Bewegung im Vergleich mit der Umlauffrequenz des Strahls (0,5 MHz) sehr langsam war.

Die erste Bestrahlung fand am 18. März 1960 zwischen 18⁰⁰ und 20⁰⁰ Uhr statt. Bei Berücksichtigung von zwei Unterbrechungen von 7 und 22 min ergab sich eine Bestrahlungszeit von 91 min. Im PS finden 20 Beschleunigungen pro min statt, d. h. das Target war 1820 Pulsen ausgesetzt.

Die zweite Bestrahlung PS 2 begann am 21. 3. 1960 um 13⁴⁰ Uhr und endete am 23. 3. um 3²⁵ Uhr. Die Zahl der Pulse betrug in dieser Zeit 36 100.

Bei beiden Experimenten war die Zahl der pro Puls zirkulierenden Protonen $3 - 4 \cdot 10^{10}$ Protonen.

a) Aufbau der Targets

Der Aufbau der Targets ist in Abb. 1 angegeben. Die einzelnen Targetblättchen hatten genau die gleiche

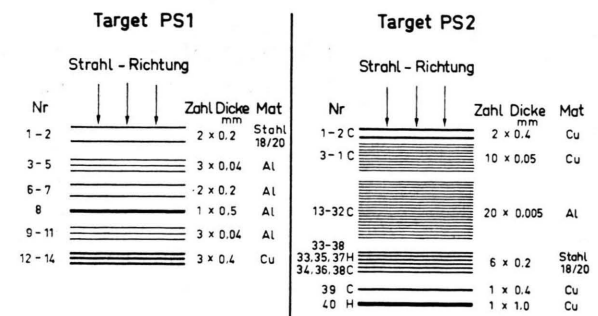


Abb. 1. Aufbau der Targets.

Oberfläche und waren präzise ausgerichtet. Die verwendeten Al-Folien hatten eine Reinheit von 99,99%, die Kupferfolien von 99,96%, während Eisen wegen der Targetbewegung im Magnetfeld nur als nichtmagnetische Legierung verwendet werden konnte.

Das Target PS 1 wurde ausschließlich in Genf auf radioaktive Isotope analysiert, während das Target PS 2 zwischen den Laboratorien in CERN (C) und dem Max-Planck-Institut in Heidelberg (H) aufgeteilt wurde.

¹ O. A. SCHAEFFER u. J. ZÄHRINGER, Phys. Rev. **113**, 674 [1959].

² O. A. SCHAEFFER u. J. ZÄHRINGER, Z. Naturforsch. **13a**, 346 [1958].

³ K. GOEBEL u. J. ZÄHRINGER (in Vorbereitung).

b) Bestimmung des Protonenflusses

Da der Protonenfluß im Target nur mit Hilfe einer Vergleichsreaktion bestimmt werden konnte, andererseits aber ein Wirkungsquerschnitt bei 25 GeV Protonenenergie nicht absolut bekannt ist, mußte eine Reaktion gewählt werden, von der mit einiger Wahrscheinlichkeit ein Wirkungsquerschnitt abgeschätzt werden konnte. Die bei niederen Energien genau bekannte und auch oft verwendete Reaktion ist $\text{Al}^{27}(\text{p}, 3\text{pn})\text{Na}^{24}$. Der Wirkungsquerschnitt dieser Reaktion ist von 400 MeV bis 6 GeV praktisch konstant. (600 MeV: $11 \pm 0,5 \text{ mb}^4$, 3 GeV: $10,0 \pm 0,6 \text{ mb}^5$, 6 GeV: $10 \pm 1 \text{ mb}^6$.) Es wurde deshalb auch für die Energie von 25 GeV ein Wirkungsquerschnitt von 10,0 mb angenommen.

Das Target enthielt jeweils drei Aluminiumfolien zur Bestimmung des Protonenflusses, bezeichnet mit den Nummern 3, 4, 5 und 9, 10, 11. Die Aktivität des im Aluminium erzeugten Na^{24} wurde direkt ohne chemische Abtrennung in den Folien selbst bestimmt. Um eine relativ geringe Selbstabsorption beim Auszählen der Folien zu haben, andererseits aber eine genügend hohe Na^{24} -Aktivität zu erzielen, war eine günstige Foliendicke von 10 mg/cm^2 gewählt worden. Die Folie 3 wurde in 10, die Folie 10 in 4 Teile zerschnitten, um die Verteilung des Protonenstrahles im Target messen zu können. Die nachfolgende Tab. 1 gibt die absoluten Zerfallsraten und den sich daraus ergebenden Protonenfluß für die Folien 4, 5, 9 und 11 an.

Folie	Zerfallsrate min^{-1}	totaler Protonenfluß
4	$23,6 \cdot 10^5$	$1,44 \cdot 10^{15}$
5	$23,2 \cdot 10^5$	$1,42 \cdot 10^{15}$
		Mittel $1,43 \cdot 10^{15}$
9	$24,4 \cdot 10^5$	$1,49 \cdot 10^{15}$
11	$25,6 \cdot 10^5$	$1,56 \cdot 10^{15}$

Tab. 1. Zerfallsrate der Monitorfolien und Flußberechnung im Target PS 1.

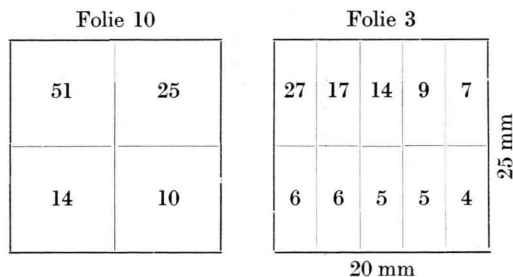


Abb. 2. Verteilung des Protonenflusses in %.

Die Aktivität der Folien wurde etwa 15 Stunden nach Ende der Bestrahlungen mit einer β - γ -Koinzidenzanordnung absolut bestimmt. Der Zerfall wurde über etwa 5 Halbwertszeiten verfolgt. Dabei ergab sich eine Halbwertszeit von $902 \text{ min} \pm 0,5\%$, was gut mit dem Wert der Literatur übereinstimmt. Die Na-Aktivität der

Folien wurde auf etwa 2% bestimmt. Der errechnete Protonenfluß differiert zwischen Folie 4 und 5 um weniger als 2%, zwischen 9 und 11 um etwa 5%. Auffallend ist ein Ansteigen der Folienaktivität in den hinteren Targetfolien. Dies ist darauf zurückzuführen, daß Na^{24} auch durch Neutronen, die über einer Schwellenenergie von 2,6 MeV liegen, erzeugt werden kann und daß die Intensität der Neutronen mit der Dicke des Materials zunimmt. Ein kleiner Teil der Aktivitätszunahme geht auch auf sekundäre Protonen zurück. Für die folgende Berechnung der Wirkungsquerschnitte wurden die Werte von Folien 4 und 5 benützt.

Wegen der langen Bestrahlungszeit schien eine Bestimmung des Protonenflusses in PS 2 nach demselben Verfahren nicht geeignet. Es wurde deshalb der Wirkungsquerschnitt für die Erzeugung von A^{37} , der im Target PS 1 ermittelt worden war, als Vergleichsreaktion für PS 2 verwendet. Nehmen wir einen Erzeugungsquerschnitt von A^{37} in Kupfer von 4,4 mb (vgl. Ergebnisse), so erhalten wir für Target PS 2 einen Protonenfluß von

$$2,2 \cdot 10^{16} \text{ Protonen.}$$

In der gleichen Weise errechnet sich mit 5,7 mb für A^{37} in Eisen (nichtmagnetischer Stahl) ein Fluß von

$$2,1 \cdot 10^{16} \text{ Protonen.}$$

Wie erwähnt, betrug der zirkulierende Protonenstrom $3 - 4 \cdot 10^{10}$ Protonen pro Puls. Für die Bestrahlung PS 1 ergibt sich daraus eine Gesamtzahl von $6,4 \cdot 10^{13}$ Protonen und daraus mit der Zahl der im Target gemessenen Protonen eine mittlere Durchsetzungszahl des Targets von 23 bei einer Targetdicke von $2,1 \text{ g/cm}^2$. Für PS 2 ergibt die gleiche Rechnung, daß ein zirkulierendes Proton im Mittel 17-mal das Target durchquert (Dicke $3,1 \text{ g/cm}^2$). Während die Bestimmung des Protonenflusses im Target PS 1 sicher genauer als 10% ist [bezogen auf 10,0 mb der $\text{Al}^{27}(\text{p}, 3\text{pn})\text{Na}^{24}$ -Reaktion], liegt die Genauigkeit für die Flußmessung in PS 2 zwischen 15 und 20%; dies deshalb, weil die Wirkungsquerschnitte für A^{37} nur auf ca. 15% genau sind und der Anschluß der Argonmessungen im Target PS 2 ebenfalls mit einem Fehler von ca. 10% behaftet ist.

Messung der Wirkungsquerschnitte in Kupfer, Eisen und Aluminium aus Target PS 1, Kupfer und Eisen aus Target PS 2

In Target PS 1 wurden die Wirkungsquerschnitte für T und A^{37} bestimmt. In Eisen und Kupfer aus PS 2 wurden die Erzeugungsquerschnitte für Helium, Neon und Argon massenspektrometrisch gemessen.

Für die Abtrennung von T und A aus dem Targetmaterial wurde eine schon mehrfach beschriebene Me-

⁴ K. GOEBEL u. H. SCHULTES, CERN-Rep. 60/3 [1960].

⁵ I. B. CUMMING, G. FRIEDLANDER u. C. E. SWARTZ, Phys. Rev. **111**, 1387 [1958].

⁶ D. W. BARR, American Rep. UCRL-3793 [1957].

thode⁷ zur Entgasung der Targets verwendet. In einem Tiegel, der durch Hochfrequenz im Vakuum erhitzt wird, wird das Target vollständig aufgeschmolzen, die entweichenden Gase vom Tiegel abgepumpt und zunächst der Wasserstoff daraus quantitativ abgetrennt. Nach Passieren eines Palladiumventils wird der Wasserstoff in einen GM-Zähler gepumpt und dort die Aktivität gemessen. In einem anderen Vakuumsystem wird das Argon vom Restgas getrennt und ebenfalls in einem GM-Zähler gemessen. Der Zerfall des Argon wurde dann mehrere Monate verfolgt und die Halbwertszeit von A^{37} bestimmt. Diese betrug bei allen Proben innerhalb von 5% 34,1 Tage.

Zur massenspektrometrischen Untersuchung wurden die Targetblättchen ebenfalls im Vakuum mit Hilfe von Hochfrequenz geschmolzen und die entweichenden Gase nach Getterung der unedlen Bestandteile in ein hochempfindliches Vollglas-Massenspektrometer überführt. Die Gase konnten bei abgeschlossenem Massenspektrometer längere Zeit untersucht werden. Zur Eichung wurden kalibrierte Mengen von He^3 , He^4 , Luftneon und Argon zur Probe addiert und aus den Isotopenverhältnissen die Mengen berechnet. Die Meßgenauigkeit ist im wesentlichen durch den beim Aufschluß entstehenden Untergrund (z. B. A^{40}) begrenzt. Da das Material zuvor nicht mehr im Vakuum geschmolzen werden konnte, war Ne^{20} ebenfalls nicht meßbar. Das Target PS 1 war aus demselben Grunde für die Edelgasmessungen nicht geeignet.

Ergebnisse

Tab. 2 gibt die Zahl der in den Targetblättchen erzeugten Tritium- bzw. Argon-37-Atome, den Mittelwert aus den verschiedenen Bestimmungen für die Zahl der gemessenen Atome bezogen auf die pro Quadratcentimeter vorhandenen Targetatome und

die sich daraus errechneten Erzeugungsquerschnitte für Kupfer, Eisen und Aluminium.

In beiden Targets PS 1 und PS 2 wurden N_T und $N_{A^{37}}$ aus den Zerfallsraten, gemessen in einem GM-Zählrohr, berechnet. Der in der Tabelle angegebene Fehler gibt die Abweichung der zwei bzw. drei Bestimmungen vom Durchschnittswert. Für die berechneten Wirkungsquerschnitte ergeben sich hieraus Fehlerschranken hinsichtlich des experimentellen Verfahrens von ca. 10%. Eine systematische Abweichung ergibt sich im allgemeinen nach unten, da bei dem beschriebenen Aufschlußverfahren eher Tritium bzw. Argon verloren geht. Eingehende Versuche haben gezeigt, daß sich die Verluste innerhalb von 5% der Gesamtmenge halten. Wie bereits erwähnt, sind alle Angaben relativ zu einem angenommenen Wirkungsquerschnitt von 10,0 mb für die Vergleichsreaktion $Al^{27}(p, 3pn)Na^{24}$. Für Argon 37 ergibt sich für Eisen eine Gesamtmenge von $0,76 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3$ pro Targetblättchen (berechnet für Ende der Bestrahlung). Vergleichen wir diesen Wert mit den in der folgenden Tabelle enthaltenen Zahlen für die massenspektrometrische Analyse des Argon 37 von $0,77 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3$ (Mittel aus zwei Messungen), so sehen wir, daß in beiden Apparaturen eine quantitative Gewinnung des Argon 37 möglich war. Die Übereinstimmung dieser völlig unabhängigen Bestimmungen ist genauer als von den Fehlerschranken her zu erwarten wäre.

Tab. 3 enthält die Ergebnisse der Messungen mit dem Massenspektrometer. Der experimentelle Fehler für die Edelgas Mengen liegt bei ca. 3–5% für die

Bestr.	Target	$N(T) \cdot 10^{-11}$	Mittelwert $N(T)/n \pm \Delta_{\max}$ $\cdot 10^{10}$	T σ in mb	$N(A^{37})$ $\cdot 10^{-11}$	Mittelwert $N(A^{37})/n \pm \Delta_{\max}$ $\cdot 10^{11}$	A^{37} σ in mb
PS 1	Cu 13	8,1	} $1,95 \pm 10\%$	137	0,22	} $0,63 \pm 4\%$	4,4
	Cu 14	6,1			0,23		
PS 2	Cu 39	116,0	} 32,0	145	3,41	} $9,8 \pm 3\%$	(4,5)
	Cu 1				3,61		
PS 1	Fe 1	2,33	} $1,34 \pm 4\%$	94	0,147	} $0,81 \pm 8\%$	5,7
	Fe 2	2,13			0,125		
PS 2	Fe 34	32,2	} $19,2 \pm 3\%$	89	1,96	} $12,0 \pm 6\%$	(5,6)
	Fe 36	31,7			2,17		
	Fe 38	33,0			1,92		
PS 1	Al 6	1,04	} $0,96 \pm 2\%$	67			
	Al 7	1,06					

N =Zahl der erzeugten T- und A^{37} -Atome, n =Zahl der Targetatome/cm²

Tab. 2 Tritium- und A^{37} -Erzeugungsquerschnitte relativ zu $Al^{27}(p, 3pn)Na^{24}=10,0 \text{ mb}$.

⁷ K. GOEBEL, CERN-Rep. 58/2 [1958].

Target PS 2	Fe (33)		Fe (35)		Cu (40)	
	cm ³ · 10 ⁻⁸	mb	cm ³ · 10 ⁻⁸	mb	cm ³ · 10 ⁻⁸	mb
He ³	15,17	113	15,8	118	74	114
He ⁴	90,4	675	89,0	665	450	695
Ne ²¹	0,72	5,4	0,82	6,1	4,15	6,4
Ne ²²	—	—	0,40	3,0	2,3	3,6
A ³⁶	0,23	1,7	0,22	1,64	0,66	1,0
A ³⁷	0,69	5,2	0,85	6,3	2,6	4,0
A ³⁸	1,7	12,7	1,94	14,5	6,0	9,3
A ³⁹	1,0	7,5	1,1	8,0	3,4	5,3

Tab. 3. Ergebnisse der massenspektrometrischen Edelgasanalysen an Eisen- und Kupfertargets.

Target Material	T	He ³	He ⁴	Ne ²¹	Ne ²²	A ³⁶	A ³⁷	A ³⁸	A ³⁹	Methode
Kupfer	141	114	695	6,4	3,6	1,0	4,0	9,3	5,3	MS
		—	—	—	—	—	4,4	—	—	ZR
Eisen	—	113	670	5,7	3,0	1,64	5,8	13,6	7,7	MS
	92	—	—	—	—	—	5,6	—	—	ZR

Tab. 4. Zusammenstellung der in dieser Arbeit gemessenen Erzeugungsquerschnitte mit Massenspektrometer (MS) und Zählrohren (ZR).

Helium-Isotope, bei ca. 10% für die Neon- und Argon-Isotope. Zur Kontrolle des Untergrundes wurden vor und nach jeder Messung für Ne²², A³⁶ und A³⁸ Korrekturen für Luftverunreinigungen gemacht, die an Ne²⁰ und A⁴⁰ abgeschätzt wurden. Diese Verunreinigungen stammen im wesentlichen aus dem Targetmaterial selbst, dessen Edelgasgehalt ebenfalls analysiert wurde.

Diskussion der Ergebnisse

Die Erzeugung der leichten Spallationsprodukte, die hauptsächlich als Verdampfungssteilchen erzeugt werden, kann mit Wirkungsquerschnitten, die bei niedriger Energie gemessen wurden, verglichen werden. Dabei stellt sich heraus, daß die Tritium-, He³- und He⁴-Wirkungsquerschnitte im Vergleich zu Messungen bei 6 GeV nicht mehr zugenommen haben, im Gegenteil, es ist eine abfallende Tendenz zu verzeichnen. Interessant ist auch, daß in Eisen das Verhältnis He³/Tritium wie bei niederen Energien größer als 1 ist. Umgekehrt ist in Kupfer die Tritiumerzeugung deutlich höher als die He³-Erzeugung. Auch das Verhältnis He⁴/He³ ist im Vergleich zu anderen Energien größer geworden.

In Tab. 4 sind die Mittelwerte der Ergebnisse beider Methoden zusammengestellt.

Die Erzeugungsquerschnitte von Argon und Neon lassen sich mit der empirischen Beziehung

$$(Z, A) \text{ mb} = 10 \cdot \exp\{P A - Q - R(Z - S A)^2\},$$

die von RUDSTAM⁸ angegeben wurde, verglichen. In Tab. 5 sind berechnete und von uns gemessene Wirkungsquerschnitte nebeneinandergestellt.

	Ne ²¹	Ne ²²	A ³⁶	A ³⁷	A ³⁸ K ³⁸ Cl ³⁸	A ³⁹
berechnete	1,11	1,11	0,78	2,6	5,0 0,8 2,3	5,3
Summe	1,28	1,11	0,78	2,6	8,1	5,3
gemessene	6,4	3,6	1,0	4,0	9,2	5,3

Tab. 5. Vergleich der gemessenen mit den nach RUDSTAM berechneten Wirkungsquerschnitten in mb für Kupfer. Bei den berechneten Werten ist für den Zerfall der kurzlebigen Nachbarisotope Rechnung getragen worden.

Bei dieser Berechnung wurden in der obigen Formel folgende Werte für die Parameter eingesetzt⁹:

$$\begin{aligned} P &= 0,0898; & R &= 1,31; \\ Q &= 4,05; & S &= 0,468. \end{aligned}$$

⁸ G. RUDSTAM, Spallation of Medium Weight Elements, Univ. of Upsala 1956.

⁹ Die angegebenen Parameterwerte wurden aus Messungen

von etwa 20 radioaktiven Isotopen durch beste Anpassung des analytischen Ausdrucks nach der Methode der kleinsten Quadrate von G. RUDSTAM, E. BRUNINX und A. C. PAPPAS (private Mitteilung) ermittelt.

Die Wirkungsquerschnittsformel wurde mit Erfolg auf Spallationsprodukte, erzeugt bei Energien von 0,17 sowie 2 und 6 GeV, angewandt. Die Genauigkeit, mit der die Parameter bestimmt werden konnten, verlangt, daß die experimentellen Werte innerhalb eines Faktors 2 mit den berechneten übereinstimmen. Nur bei den Neonisotopen ist diese Forderung nicht erfüllt. Dies zeigt, daß bereits von der Masse 20 an (zu kleineren Werten hin) der sogenannte Fragmentationsprozeß eine Rolle spielt, d. h. daß bei diesen Energien Kernbruchstücke der Masse 20 vom Targetkern abgesprengt werden können.

Zusammenfassung

Für die Edelgasisotope, die unterhalb der Targetmassenzahl liegen, und für Tritium konnten Wirkungsquerschnitte mit einer Genauigkeit von etwa 20% bestimmt werden. Die Ergebnisse zeigen gegen-

über Bestrahlungen bei niedriger Energie keine wesentlichen Besonderheiten. Die Wirkungsquerschnitte für die leichten Verdampfungsteilchen zeigen abnehmende Tendenz. Innerhalb der erwarteten Genauigkeit stimmen die Ergebnisse für die Argonisotope mit den berechneten Werten nach RUDSTAMS Formel gut überein. Es ist auffallend, daß die bei niedriger Energie gemessene höhere Produktion von He^3 in Eisen immer noch vorhanden ist. Im Gegensatz dazu ist das He^3 /Tritium-Verhältnis wesentlich kleiner als 1 für Kupfer. Es wäre von Interesse, das He^3 /Tritium-Verhältnis auch bei Nachbarelementen des Eisens zu bestimmen.

Die Autoren danken der Operatorgruppe des Protonensynchrotrons, insbesondere Herrn Dr. REICH, für die freundliche Unterstützung bei der Bestrahlung. Herrn Dr. RUDSTAM und Herrn Dr. BRUNIX möchten wir ebenfalls für ihre wertvollen Hinweise und ihre Anregungen danken.

Ne in some Stone Meteorites*

By P. and A. EBERHARDT **

School of Science and Engineering, University of California, La Jolla

(Z. Naturforsch. 16 a, 236—238 [1961]; eingegangen am 29. Oktober 1960)

Ne^{20} , Ne^{21} and Ne^{22} has been measured in several stone meteorites. Good agreement with other cosmic ray produced rare gas isotopes was obtained. No indication of primeval neon was found in the chondrites, but one urelite showed excess Ne^{20} .

Ne in meteorites is produced by cosmic ray induced spallation, or is trapped gas of the atmosphere in which the meteorite was originally formed. It can therefore give information on the cosmic radiation and cosmic ray age of the meteorite and of the primeval atmosphere of the parent body of the meteorite.

Extensive work has already been done on iron meteorites^{1, 2}, less on stones. GERLING and LEVSKII³ measured He, Ne and A in 9 stone meteorites, however, some of their results show relatively large errors. REYNOLDS and LIPSON⁴ published data on the rare gas content of Nuevo Laredo and recently GOEBELS et al.⁵ of Ramsdorf.

Samples used

Table 1 contains a short description of the measured meteorites.

Experimental technique

The crushed meteorite sample was reacted in a nickel crucible with borax as flux for 2 h at 1250 °C. To prevent gas discharges, induced by the induction heater, about 10 mm Hg of triple distilled CO_2 were added. After the crucible had cooled down below 300 °C the evolved rare gases were cleaned with titanium (about 8 g Ti-foil, .00025" thick). Using charcoal, A was separated from the Ne and He, and the latter were then toeplered into a sample tube. Mercury cut-offs were

* This work was supported by the Atomic Energy Commission, Contract No. AT(11-1) 34.

** Present address: Physikalisches Institut der Universität Bern, Berne.

¹ K. H. EBERT and H. WÄNKE, Z. Naturforsch. 12 a, 766 [1957].

² O. A. SCHAEFFER and J. ZÄHRINGER, Geochim. Cosmochim. Acta 19, 94 [1960].

³ E. K. GERLING and L. K. LEVSKII, Dokl. Akad. Nauk SSSR 107, 555 [1956].

⁴ J. H. REYNOLDS and J. I. LIPSON, Geochim. Cosmochim. Acta 12, 330 [1957].

⁵ K. GOEBEL, P. SCHMIDLIN and J. ZÄHRINGER, Z. Naturforsch. 14 a, 996 [1959].