

Obwohl die Bedingung $U_w \ll RT$ für die meisten von ECKER und WEIZEL diskutierten Plasma-Temperaturen und Ionen-Dichten gut erfüllt ist, beschreiben diese Autoren den Zustand des Plasmas als Abweichung von einem Zustand *maximaler* Korrelation zwischen den positiven und negativen Ladungsträgern, den sie mit einem Ionengitter vergleichen. Sie stellen daher U_w als Summe von zwei Ausdrücken dar, von denen der erste die Form einer Gitterenergie hat und der zweite die DEBYESche Polarisation des Plasmas berücksichtigt:

$$U_w = U_a + U_P = - \left\{ \frac{2 e^2 \alpha}{r_0} + \frac{e^2 (1 + \sqrt{2})}{D (\sqrt{2})^3} \right\} \bar{N} x, \quad (3)$$

α = mittlerer MADELUNG-Koeffizient, $r_0 = (V/\bar{N}x)^{1/3}$ = mittlerer Ionenabstand.

Die durch Gl. (3) dargestellte Wechselwirkungsenergie strebt, entgegen allen Erwartungen, mit steigender Temperatur dem konstanten Wert U_a zu. Abgesehen von dieser merkwürdigen Temperaturabhängigkeit ist es zweifellos unzulässig, die DEBYESche Polarisationsenergie ohne nähere Begründung einfach zu der „Gitterenergie“ zu addieren, da die letztere in der DEBYE-HÜCKEL-Theorie keinen Platz hat.

2. In Fällen, in denen nur zwei Arten von Ladungsträgern vorhanden sind, ist die DEBYE-HÜCKEL-Theorie symmetrisch in bezug auf die positiven und negativen Ladungen, auch wenn diese verschiedene Massen haben, da die Massen in den einschlägigen Formeln gar nicht vorkommen. Diese bekannte Tatsache ist bei oberflächlicher Betrachtung etwas befremdend, besonders wenn die Massenunterschiede ausgeprägt sind, z. B. im Fall von Elektronen und Ionen. Man wäre ohne nähere Überlegung geneigt zu glauben, daß die Ionen nichts zur Ladungswolke eines Elektrons, das heißt zur Polarisation der Elektronenumgebung beitragen können, da sie außerstande sind, den raschen Bewegungen eines Elektrons zu folgen. Es scheint, daß ECKER und WEIZEL auch diesen Fehler gemacht haben, da sie den Beitrag der Ionen zur Ladungswolke eines Elektrons vernachlässigen.

Dies führt zu dem Zahlenfaktor $(1 + \sqrt{2})/(\sqrt{2})^3$ in der Formel (3) für die Polarisationsenergie, der in der DEBYE-HÜCKEL-Theorie nicht aufscheint.

Die Vernachlässigung der Ionenbeiträge zur Ladungswolke der Elektronen entspricht der irrtümlichen Vorstellung, daß eine bewegte Ladungswolke eine Art von Wellenbewegung in einem Medium darstellt, die mit einer Verschiebung der die Wolke bildenden Teilchen verbunden ist. Im Rahmen der DEBYE-HÜCKEL-Theorie hat es jedoch nicht viel Sinn, von einer bewegten Ladungswolke zu sprechen. Die Ladungswolke ist eine Abstraktion, die die Korrelation der positiven und negativen Ladungsträger beschreibt und ein Zeitmittel der Teilchenkonfiguration in der Nachbarschaft eines bestimmten Ions oder Elektrons darstellt. Bewegung der Teilchen, nicht der Wolke, ist wesentlich für diese statistische Deutung, doch handelt es sich natürlich um relative Bewegung zwischen positiven und negativen Ladungsträgern. Selbst wenn die schweren Ionen vollkommen unbeweglich wären, könnten sie zur Ladungswolke bewegter Elektronen beitragen, da sie deren Bahnen so beeinflussen, daß die Elektronen im *Zeitmittel* von einer DEBYESchen Ladungswolke umgeben sind, zu der die positiven und negativen Partikel in gleichem Maße beitragen.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die von ECKER und WEIZEL ohne ausreichende Begründung eingeführte Gitterenergie und Asymmetrie im Verhalten der Ionen und Elektronen eine tiefgreifende Modifikation der bewährten DEBYE-HÜCKEL-Theorie darstellt, die in ihrer derzeitigen Form unhaltbar ist. Im Falle extrem hoher Ionen-Dichten und tiefer Plasma-Temperaturen, wenn die erste Näherung von DEBYE und HÜCKEL versagt, können die Formeln (1) und (2) natürlich nicht mehr verwendet werden. Aber selbst dann ist es nicht zulässig, die höheren Näherungen der DEBYE-HÜCKEL-Theorie einfach durch eine von der Temperatur unabhängige „Gitterenergie“ zu ersetzen.

Edelgase und ihre Isotopenverschiebung im Eisenmeteorit Treysa

Von W. GENTNER, H. FECHTIG und G. KISTNER

Physikalisches Institut der Universität Freiburg i. Br.
(Z. Naturforsch. 13 a, 569–570 [1958]; eingegangen am 25. Juni 1958)

In letzter Zeit wurden von PANETH^{1, 2}, GENTNER³, FIREMAN⁴, GERLING⁵ u. a. umfangreiche Untersuchun-

gen über Edelgase und deren Isotope an verschiedenen Eisen- und Steinmeteoriten vorgenommen. Dabei konnten PANETH u. Mitarb. zeigen, daß sich das Helium in Meteoriten aus He⁴ und He³ zusammensetzt, was auf eine Entstehung durch kosmische Strahlung hinweist. Darüber hinaus konnten GENTNER und ZÄHRINGER³ bei Eisenmeteoriten das gefundene Argon, REASBECK und MAYNE⁶ das gefundene Neon als Restkerne bei Spaltungsprozessen deuten. Nach theoretischen Überlegungen von BAUER⁷ und HUNTLEY⁸ war eine Abnahme der

¹ F. A. PANETH, P. REASBECK u. K. I. MAYNE, *Geochim. Cosmochim. Acta* **2**, 300 [1952].

² F. A. PANETH, P. REASBECK u. K. I. MAYNE, *Nature, Lond.* **172**, 200 [1953].

³ W. GENTNER u. J. ZÄHRINGER, *Geoch. Cosmoch. Acta* **11**, 60 [1955].

⁴ E. L. FIREMAN, *Geoch. Cosmoch. Acta* **11**, 252 [1957].

⁵ E. K. GERLING, *Dokl. Akad. Nauk USSR* **107**, 4, 559 [1956].

⁶ P. REASBECK u. K. I. MAYNE, *Nature, Lond.* **176**, 733 [1955].

⁷ C. A. BAUER, *Phys. Rev.* **74**, 225, 501 [1948].

⁸ H. E. HUNTLEY, *Nature, Lond.* **161**, 356 [1948].



durch die Höhenstrahlung gebildeten Heliummengen mit zunehmender Tiefe in Meteoriten zu erwarten. Diese Abnahme konnte experimentell durch CHACKETT, REASBECK und WILSON⁹ an dem Eisenmeteorit Carbo bestätigt werden.

Die Verschiebung des Energiespektrums der Höhenstrahlen beim Durchdringen von Materie läßt nach Vorstellungen über hochenergetische Kernprozesse (langsame und schnelle Prozesse bzw. Verdampfung und Spallation) aber auch eine Änderung des Isotopenverhältnisses von He^3/He^4 bzw. $\text{A}^{36}/\text{A}^{38}$ vermuten. Diese Isotopieeffekte konnten jetzt am Meteorit Treysa nachgewiesen werden. Zur Verfügung stand eine Platte des Meteoriten Treysa mit einem mittleren Durchmesser von ca. 9 cm, die im extraterrestrischen Meteorit ca. 8 cm vom vermutlichen Mittelpunkt entfernt gelegen war. Diese Platte wurde in 12 Felder eingeteilt und davon je 10 g Material abgenommen. Die Aufschluß- und Meßmethode wurde schon in früheren Arbeiten eingehend beschrieben^{3, 10}. Die Meteoritenproben wurden in einem Induktionsofen geschmolzen und die entwichenen Gase in Ca- und Cu-CuO-Öfen chemisch gereinigt. Aus dem verbliebenen Edelgasgemisch wurde das Argon an Aktivkohle bei der Temperatur der flüssigen Luft adsorbiert. Zur Trennung des restlichen Helium-Neon-Gemisches diente eine Fraktionierungskolonnie nach GLÜCKAUF¹¹. Die Isotopenanalyse wurde mit einem Massenspektrometer durchgeführt.

Infolge des hohen Isotopenverhältnisses von $\text{A}^{40}/\text{A}^{36} = 296$ konnte die Linienhöhe von A^{40} als Maß für den Luftgehalt der Probe angesehen und zur Korrektur verwendet werden. Faßt man die einzeln gemessenen Innenfelder und Außenfelder jeweils zusammen, so ergeben sich für die Argon-, Neon- und Heliumverhältnisse die in Tab. 1 angegebenen Werte.

	$\text{A}^{36}/\text{A}^{38}$ $\pm 2\%$	$\text{Ne}^{21}/\text{Ne}^{22}$ $\pm 5\%$	He^3/He^4 $\pm 2\%$
Außen	0,626	0,92	0,287
Innen	0,598	0,93	0,260

Tab. 1. Die Mittelwerte der Verhältniszahlen der Isotope, getrennt für die Innen- und Außenfelder.

Daraus ist zu ersehen, daß für Argon und Helium die Verhältniszahlen von außen nach innen deutlich abnehmen. Bei Neon dagegen liegt der Unterschied infolge der geringen Gasmenge innerhalb der Fehlergrenze. Die zur Messung gelangten Gas Mengen betragen z. B. für A^{36} rund $15 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{g}$, für He^3 rund $4,5 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ und für Ne^{21} rund $6,5 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{g}$. Auf die auch von uns festgestellte Abnahme der Gas Mengen von außen nach innen wird hier nicht eingegangen. Einzelheiten sind besser an den in die Feldeinteilung des Meteoriten eingetragenen Meßwerten zu erkennen, woraus auf einen ursprünglichen Mittelbezirk des Meteoriten geschlossen werden kann. Da es Übergänge zwischen Innen- und Außenfeldern gibt, mußte die Einteilung derselben in obiger Tabelle etwas willkürlich bleiben. Der angegebene Fehler wurde daher nach oben abgerundet.

Auf Grund der Spallationstheorie¹² und bei Einführung von unterschiedlichen Bildungsenergien von A^{36} und A^{38} können die Ergebnisse qualitativ abgeleitet werden. Dieselbe Theorie zeigt bei Neon nur eine geringe Aufspaltung der Isotopenverhältnisse, was bei uns wegen der größeren Fehlergrenze nicht nachzuweisen war.

Die gefundenen Heliummengen dagegen stammen sowohl aus Spallations- als auch aus Verdampfungsprozessen. Die Anteile der beiden Prozesse sind noch schwer einzeln abzuschätzen. Es ist zu vermuten, daß der Spallationsanteil größer ist als der Verdampfungsanteil, daß letzterer jedoch bei kleineren Energien die Isotopenverschiebung liefert. Die LE COUTEURSche Verdampfungs- theorie¹³ zeigt, daß die Bildung von He^4 bei niedrigen Energien ($< 100 \text{ MeV}$) gegenüber der Bildung von He^3 bevorzugt wird.

Eine ausführliche Darstellung der Arbeit wird in den Geochimica et Cosmochimica Acta erscheinen. Dort sollen auch die möglichen Aussagen über das extraterrestrische Energiespektrum der Höhenstrahlung diskutiert werden.

Die Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft durch Sachbeihilfen unterstützt.

⁹ K. F. CHACKETT, P. REASBECK u. E. A. WILSON, Geoch. Cosmoch. Acta 3, 261 [1953].

¹⁰ F. SMITS u. J. ZÄHRINGER, Z. angew. Phys. 7, 313 [1955].

¹¹ E. GLÜCKAUF, Proc. Roy. Soc., Lond. A 185, 98 [1945].

¹² G. RUDSTAM, Spallation of Medium Weight Elements, Appelbergs Boktryckeri AB, Upsala 1956.

¹³ K. L. LE COUTEUR, Proc. Phys. Soc., Lond. 63, 259 [1950].

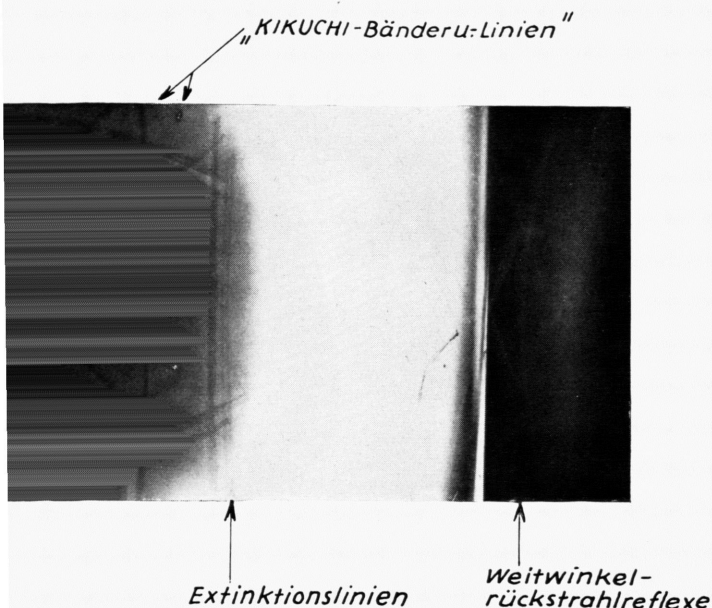


Abb. 1. Zylinderfilmaufnahme einer Al-Einkristallkugel von 6,75 mm ϕ . Sie wurde aus der Schmelze gezogen. Nach der Formgebung durch vorsichtiges Abdrehen wurde der Kristall elektrolytisch poliert und geätzt bis Ätzfiguren auftraten. Durchstrahlung mit divergentem Strahl in [100]-Richtung. Extinktionslinien neben Bandstrukturen sind sichtbar. *Aufnahmedaten:* Mo-Anode, 30 kV, $\sim 20 \mu\text{A}$, Brennfleckdurchmesser $\sim 0,2$ mm, Abstand Anode—Probe 0,8 mm (damit Weitwinkel-Rückstrahlreflexe auftreten konnten). Expositionszeit 15 Minuten. (Die Abbildung zeigt nur eine Filmhälfte.) Kammerdurchmesser 75 mm. Photographisches Positiv.

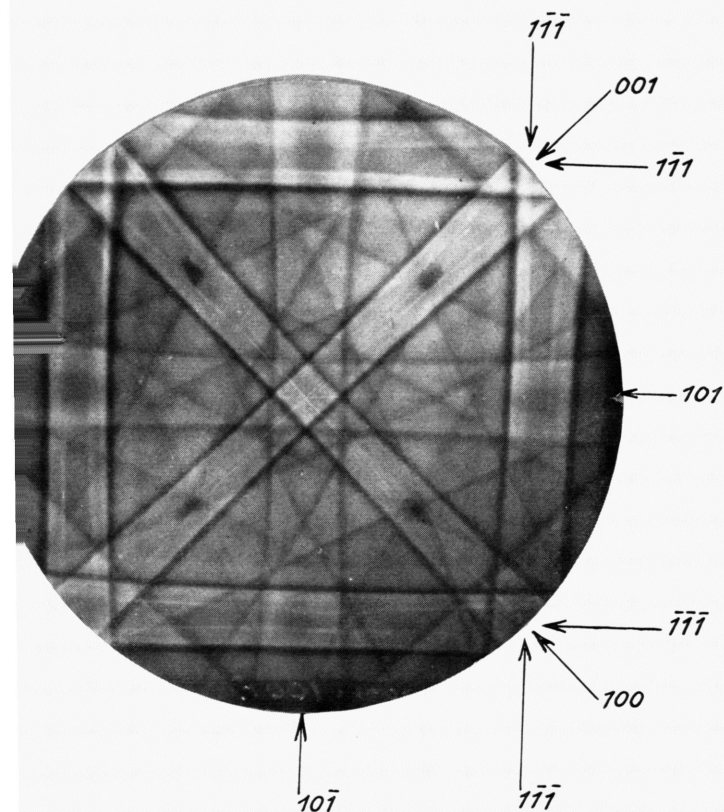


Abb. 2. Planfilmaufnahme einer Al-Einkristallkugel, 22,7 mm Durchmesser, aus der Schmelze gezogen. Weitere Behandlung wie in Abb. 1. *Aufnahmedaten:* Pt-Anode, 48 kV, $\sim 20 \mu\text{A}$, Brennfleckdurchmesser $\sim 0,2$ mm, Abstand Anode—Film ~ 4 cm, Expositionszeit 7 Min. in Richtung [100] durchstrahlt. Es fällt der nochmalige scharfe Intensitätsanstieg an der Innenseite der bandbegrenzenden Interferenzlinien auf. Photographisches Positiv.

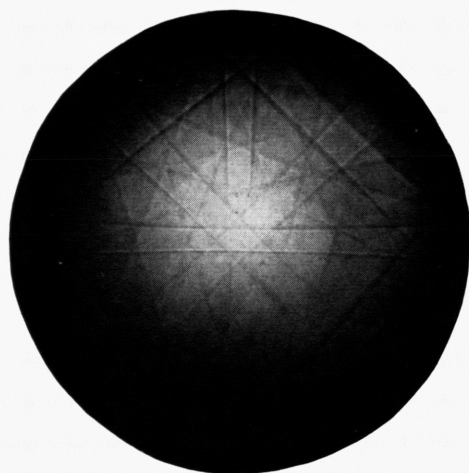


Abb. 3. Planfilmaufnahme eines 1,5 mm dicken Eisen-Einkristalls. Er wurde nach kritischer Reckung aus der Rekristallisation gewonnen und anschließend elektrolytisch geätzt. (100)-Ebene annähernd in der Blechoberfläche, durchstrahlt senkrecht dazu. *Aufnahmedaten:* Pt-Anode, 48 kV, $\sim 25 \mu\text{A}$, Brennfleckdurchmesser $\sim 0,15$ mm, Abstand Anode—Film 2 cm. Expositionszeit 6 Min. Photographisches Positiv.