

KFK-89

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

AUGUST/NOVEMBER/DEZEMBER 1961

KFK 89

INSTITUT FÜR KERNVERFAHRENSTECHNIK

IONISIERUNG UND BESCHLEUNIGUNG KONDENSIRTER MOLEKULARSTRAHLEN

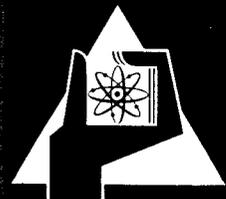
W. HENKES

STRAHLEN AUS KONDENSIRTEM HELIUM IM HOCHVAKUUM

E. W. BECKER, R. KLINGELHÖFER, P. LOHSE

STEIGERUNG DER TRENNDÜSENENTMISCHUNG VON ISOTOPEN DURCH
LEICHTE ZUSATZGASE

E. W. BECKER, K. BIER, W. BIER



KERNREAKTOR
 Bau- und Betriebs-Gesellschaft m. b. H.
 Verwaltung der Zentralbücherei

Ionisierung und Beschleunigung kondensierter Molekularstrahlen

Von W. HENKES

Kernforschungszentrum Karlsruhe,
 Institut für Kernverfahrenstechnik der Technischen Hochschule
 (Z. Naturforschg. 16 a, 842 [1961]; eingegangen am 19. Juli 1961)

Von BECKER und Mitarbb.^{1,2} wurde gezeigt, daß bei der Erzeugung von Molekularstrahlen mit Düsen eine teilweise Zusammenlagerung der Strahlteilchen auf Grund von VAN DER WAALS-Kräften erreicht werden kann, die zu einer außerordentlichen Intensitätssteigerung des Strahls im Hochvakuum führt. Für die eventuelle Verwendung der „kondensierten“ Strahlen bei Kernfusionsexperimenten^{2,3} und für andere Anwendungsmöglichkeiten interessierte die Frage, ob sich die durch VAN DER WAALS-Kräfte zusammenhängenden Teilchen ionisieren und gemeinsam elektrisch beschleunigen lassen.

Ionen von Atom- bzw. Molekül ASSOZIATEN wurden schon früher bei massenspektrographischen Untersuchungen beobachtet⁴. Hierbei handelt es sich jedoch entweder um Ionen von Übermolekülen oder um Ionen von ASSOZIATEN, die erst bei der Ionisierung gebildet werden.

Zur Klärung der oben aufgeworfenen Frage wurde ein mit einer konvergenten Düse bei Zimmertemperatur erzeugter „kondensierter“ CO₂-Strahl in der von HAGENA und HENKES⁵ beschriebenen Apparatur durch eine Unterbrecherscheibe moduliert und anschließend mit Elektronen von 175 eV beschossen. Die gebildeten Ionen wurden elektrisch beschleunigt, fokussiert und in einem permanent-magnetischen Sektorfeld von 6000 Gauß abgelenkt. Der Auffänger war so angebracht, daß die auftreffenden Ionen im Magnetfeld eine Bahn von 10 cm

Radius zurückgelegt hatten. Die am Arbeitswiderstand des Auffängers erzeugte Wechselspannung wurde verstärkt und gemessen.

Abb. 1 zeigt das Ergebnis einer Meßreihe, bei der die Beschleunigungsspannung U_B zwischen 0,4 und 2,0 kV variiert wurde. Die am oberen Rand der Abbildung eingetragene Massenskala konnte durch eine Eichung mit CCl₃⁺-Ionen gewonnen werden. Man erkennt deutliche Maxima bei der 2- bis 7-fachen Masse der CO₂-Molekel. Es schließt sich ein schwacher, nicht aufgelöster Untergrund an, der auf die Existenz noch höherer Massen hindeutet. Der Peak des einfachen Molekülions lag außerhalb des verfügbaren Spannungsbereiches.

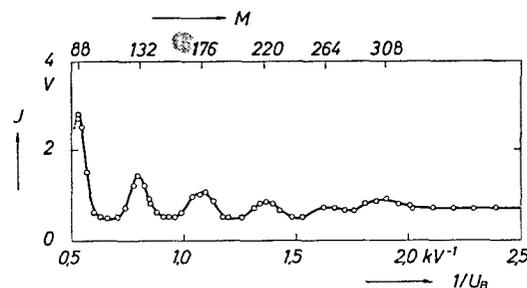


Abb. 1. Massenspektrum eines kondensierten CO₂-Molekularstrahls (U_B Beschleunigungsspannung, J Spannung am Ausgang des Verstärkers).

Aus dem Versuch geht hervor, daß die durch VAN DER WAALS-Kräfte zusammenhängenden Strahlbereiche sich durch Beschuß mit Elektronen ionisieren und anschließend in elektrischen und magnetischen Feldern beschleunigen bzw. ablenken lassen.

¹ E. W. BECKER, K. BIER u. W. HENKES, Z. Phys. 146, 333 [1956].

² E. W. BECKER, R. KLINGELHÖFER u. P. LOHSE, Z. Naturforschg. 15 a, 644 [1960].

³ E. W. BECKER, Brookhaven Conference on Molecular Beams, Heidelberg 1959.

⁴ Vgl. z. B. E. DÖRNENBURG, H. HINTENBERGER u. J. FRANZEN, Z. Naturforschg. 16 a, 532 [1961]; J. FRANZEN u. H. HINTENBERGER, Tagung d. Physikal. Ges., Bad Nauheim 1961; H. D. BECKEY, Z. Naturforschg. 15 a, 822 [1960].

⁵ O. HAGENA u. W. HENKES, Z. Naturforschg. 15 a, 851 [1960].

Strahlen aus kondensiertem Helium im Hochvakuum

VON E. W. BECKER, R. KLINGELHÖFER UND P. LOHSE

Kernforschungszentrum Karlsruhe,
Institut für Kernverfahrenstechnik
der Technischen Hochschule

(Z. Naturforschg. 16 a, 1259 [1961]; eingegangen am 11. November 1961)

In früheren Arbeiten^{1,2} wurde gezeigt, daß sich durch Expansion eines Gases aus einer Düse „kondensierte Molekularstrahlen“ herstellen lassen, d. h. im Hochvakuum laufende Materiestrahlen, die aus größeren, durch VAN DER WAALS-Kräfte gebildeten Molekül- bzw. Atomagglomeraten bestehen. Für die Erzeugung solcher Strahlen ist im allgemeinen eine um so tiefere Düsens-temperatur erforderlich, je tiefer der Siedepunkt des Strahl-gases liegt.

Bereits in der ersten Arbeit¹ konnten durch Kühlen der Düse mit flüssigem Wasserstoff Strahlen aus kondensiertem Wasserstoff hergestellt werden. Nach Verbesserung des Kryostaten und der Pumpeinrichtungen wurden nunmehr auch Strahlen aus kondensiertem Helium erzeugt.

Die experimentelle Anordnung war dieselbe wie früher². Die Düse und der Abschäler wurden mit flüssigem Helium, die Kollimatorblende mit flüssigem Stickstoff gekühlt. Beide Kühlbäder standen unter Atmosphärendruck. Zur Beobachtung des Kondensationsvorganges wurde die Geschwindigkeitsverteilung der Strahlen nach der früher³ beschriebenen Laufzeitmethode bestimmt. Die mit 2 Schlitzen von 1,35 mm Breite versehene Unterbrecherscheibe hatte einen Durchmesser

von 348 mm und rotierte mit 4300 Umdrehungen pro Minute. Der Laufweg der Strahlen zwischen der Unterbrecherscheibe und der in Strahlrichtung 1 mm breiten aktiven Zone des Ionisationsdetektors betrug 300 mm.

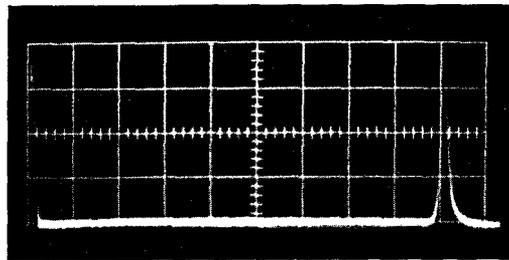


Abb. 1. Laufzeit-Oszillogramm eines im Hochvakuum laufenden kondensierten Heliumstrahls. Die Breite eines Rasterfeldes entspricht 200 μ s.

Abb. 1 zeigt das mit einem Einlaßdruck von 740 Torr erzielte Oszillogramm, auf dem links der zur Markierung des Zeitnullpunktes dienende Lichtblitz und rechts das Laufzeitspektrum des Strahls zu erkennen sind. Die Auswertung liefert eine wahrscheinlichste Geschwindigkeit in Strahlrichtung von 165 m/sec. Die Halbwertsbreite der Ionenstromverteilung würde bei Einzelatomen einer Strahltemperatur von etwa $1 \cdot 10^{-3}$ °K entsprechen.

Mit Staurohr und Membranmikromanometer wurde in 45 mm Entfernung von der Kollimatorblende eine Stromdichte von $4 \cdot 10^{17}$ Atomen/cm²·sec gemessen.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danken wir für eine Sachbeihilfe.

¹ E. W. BECKER, K. BIER u. W. HENKES, Z. Phys. 146, 333 [1956].

² E. W. BECKER, R. KLINGELHÖFER u. P. LOHSE, Z. Naturforschg. 15 a, 644 [1960].

³ E. W. BECKER u. W. HENKES, Z. Phys. 146, 320 [1956].

Steigerung der Trenndüsenentmischung von Isotopen durch leichte Zusatzgase

Von E. W. BECKER, K. BIER und W. BIER

Kernforschungszentrum Karlsruhe,
 Institut für Kernverfahrenstechnik der Technischen Hochschule
 (Z. Naturforsch. 16 a, 1393 [1961]; eingegangen am 4. Dezember 1961)

Beim Trenndüsenverfahren ist für den entmischenden Diffusionsstrom, bei vorgegebenem relativen Druckgefälle auf der betreffenden Stromfläche, einerseits die relative Massendifferenz und andererseits das Produkt aus Teilchendichte und Diffusionskonstante maßgeblich^{1, 2}. Beim Zusatz eines leichten Gases wird die mittlere Masse des Gesamtgemisches kleiner, die relative Massendifferenz der zu entmischenden Isotope also größer. Außerdem wird durch das leichte Zusatzgas das Produkt aus Teilchendichte und Diffusionskonstante vergrößert. Es ist daher zu erwarten, daß sich die Trenndüsenentmischung von Isotopen schwerer Elemente durch Zusatz eines Gases mit kleinem Molgewicht steigern läßt³.

Wir haben den Effekt an einem Gemisch aus Argon und Helium studiert, wobei die Entmischung der Isotope Ar³⁶ und Ar⁴⁰ massenspektrometrisch bestimmt wurde. Abb. 1 zeigt die Abhängigkeit des Elementareffektes der Trennung der Argonisotope

$$\epsilon_A = \frac{n_M(1-n_K)}{n_K(1-n_M)} - 1$$

(n_M bzw. n_K = Molenbruch des Ar³⁶ im Mantel- bzw. Kerngas) von der Entfernung d zwischen Düsen- und Abschälermündung für reines Argon und für ein Gemisch aus 11% Argon und 89% Helium. Die in Abb. 1 angegebenen Abschälverhältnisse ϑ gelten für die Argonkomponente.

Die Versuchsreihen wurden mit einer runden konvergenten Düse mit 0,3 mm Mündungsdurchmesser aufgenommen. Die Einlaßdrucke wurden mit 16 Torr beim reinen Argon und 60 Torr beim Ar/He-Gemisch so gewählt, daß der Argondurchsatz in beiden Fällen derselbe war. Das Expansionsverhältnis war ebenfalls gleich (1000). Man bemerkt, daß die maximale Ent-

mischung der Argonisotope in dem Gemisch, für beide Werte des Abschälverhältnisses ϑ , etwa um den Faktor 1,7 größer ist als im reinen Argon.

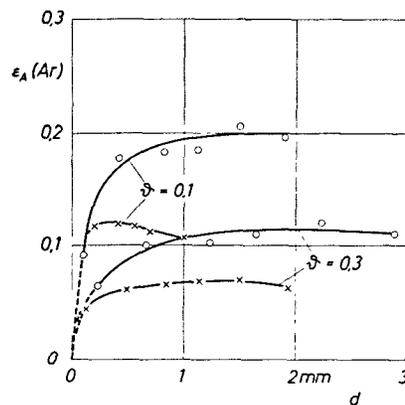


Abb. 1. Abhängigkeit des Elementareffektes der Trennung der Argonisotope ϵ_A von der Entfernung d zwischen Düsen- und Abschälermündung für reines Argon (x) und für ein Gemisch aus 11% Argon und 89% Helium (o).

Aus dem Ergebnis folgt bei Anwendung der Optimaltheorie², daß der spezifische Aufwand für die Trennelemente durch den Heliumzusatz um den Faktor $1/(1,7)^2$, d. h. auf weniger als die Hälfte vermindert wird. Zur Ermittlung der minimalen spezifischen Kompressionsarbeit und des minimalen spezifischen Ansaugvolumens der Kompressoren wurden Versuchsreihen mit kleineren Expansionsverhältnissen durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß sich für die Argonisotope in dem speziellen untersuchten Gemisch trotz der Notwendigkeit zur Mitkompression des Zusatzgases etwa dieselben Minimalwerte der spezifischen Kompressionsarbeit und des spezifischen Ansaugvolumens ergeben wie beim reinen Argon.

Eine theoretische Überlegung zeigt, daß sich bei schwereren Elementen durch das leichte Zusatzgas nicht nur die Aufwendungen für die Trennelemente, sondern auch die für die Erstellung und den Betrieb der Kompressoren merklich vermindern lassen sollten.

¹ E. W. BECKER, K. BIER u. H. BURGHOF, Z. Naturforsch. 10 a, 565 [1955].

² E. W. BECKER, W. BEYRICH, K. BIER, H. BURGHOF u. F. ZIGAN, Z. Naturforsch. 12 a, 609 [1957].

³ E. W. BECKER, DBP 1 096 875, Anm. 5. 9. 1956.