

Die Messung der Translationsakkommodation von Argon, O₂ und N₂ an einer Wolframoberfläche

H. EHRHARDT und J. GROSSER

Physikalisches Institut der Universität Freiburg

(Z. Naturforsch. **22 a**, 1626—1627 [1967]; eingeg. am 24. August 1967)

Die Messung der Konzentration verschiedener Gase im Bereich der Meso- und Ionosphäre wird mit Massenspektrometern durchgeführt, die mit Hilfe von Raketen in die Meßhöhe getragen werden. Zur genauen Auswertung der primären Meßdaten¹ (Ionenströme von O⁺, O₂⁺, N₂⁺ etc.) ist u. a. die Kenntnis der Translationsakkommodationskoeffizienten (TAK) von O₂ und N₂ bei großen Molekülgeschwindigkeiten notwendig. Der Geschwindigkeitsbereich ergibt sich aus der Raketengeschwindigkeit von ca. 1000 m/s.

Zur Messung der TAK von Ar, N₂ und O₂ wurde eine Versuchsanordnung verwendet, die im einzelnen in einer früheren Arbeit² beschrieben ist. Ein modulierter (992 Hz) Molekularstrahl aus einem bis 600 °C heizbaren Vielkanal-Ofen trifft auf eine Stoßfläche, deren Temperatur im Bereich von 100 °C bis ca. 800 °C einstellbar ist. In etwa 6 mm Abstand vor der Stoßfläche werden die von der Fläche wegfliegenden Teilchen durch Elektronenstoß ionisiert und nach Durchlaufen eines Massenspektrometers ihre Intensität in einer Lock-in-Einheit phasenempfindlich nachgewiesen. Die gemessene Intensität ist der Dichte der Teilchen nach dem Wandstoß proportional; aus der Dichte kann die Teilchengeschwindigkeit ermittelt werden.

Der Translationsakkommodationskoeffizient α_{tr} ist definiert als

$$\alpha_{tr} = (E - E_0) / (E_w - E_0),$$

wobei E_0 bzw. E die mittlere kinetische Energie der Teilchen vor bzw. nach dem Wandstoß bedeuten. E_w ist die mittlere kinetische Energie bei vollständiger Akkommodation. Besitzen die Moleküle auch nach dem Wandstoß eine MAXWELL-Verteilung der Geschwindigkeit, so wird

$$\alpha_{tr} = (T - T_0) / (T_w - T_0). \quad (1)$$

Bei großen Differenzen zwischen Ofen (T_0)- und Wandtemperatur (T_w) werden die reflektierten Teilchen im allgemeinen keiner MAXWELL-Verteilung folgen.

Die zu dieser Frage vorliegenden Messungen von McFEE und MARCUS³ von K/W, K/Cu und K/LiF bei Temperaturdifferenzen bis 300° zeigen jedoch keine oder nur sehr geringfügige Abweichungen von einer MAXWELL-Verteilung, so daß man Gl. (1) möglicherweise doch als brauchbare Näherung betrachten kann. Es ist jedoch durchaus möglich, daß sich K, Ar, N₂ und O₂ jeweils verschieden verhalten.

An Hand von Abb. 1 läßt sich das Meßverfahren und die Auswertung erläutern. In der Meßreihe der Kurve 1 wird T_0 festgehalten und T_w auf verschiedene Werte eingestellt. Mit steigender Wandtemperatur erhält man einen Ionenstrom, der proportional zur Gasdichte am Ort des Elektronenstrahls abnimmt. Kurve 2 gibt die Intensität an, die man für den Fall vollständiger Akkommodation erwartet. Sie entspricht einer (nicht durchgeführten) Meßreihe, bei der durchweg $T_0 = T_w$ gewählt wird. Diese Kurve muß proportional zu $T_w^{-1/2}$ verlaufen⁴ und die Kurve 1 bei $T_w = T_0$ schneiden; Kurve 2 ist durch diese beiden Bedingungen festgelegt. Der Punkt zu der Temperatur T auf Kurve 2 und der Punkt zu der Temperatur T_w auf Kurve 1 entsprechen gleicher Dichte und damit gleicher mittlerer Geschwindigkeit der reflektierten Moleküle; T ist also die gesuchte Temperatur des nicht völlig akkommodierten Gases. Mit T , T_0 und T_w errechnet man α_{tr} nach Gl. (1). Selbst wenn die Annahme einer MAXWELL-Verteilung nach dem Stoß zu systematischen Fehlern führt, sind die so bestimmten Werte für α_{tr} als praktische Zahlen für Raketenexperimente von Interesse, denn dort ist ebenfalls die Gasdichte die direkte Meßgröße.

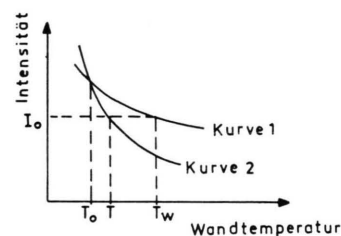


Abb. 1. Schema zur Darstellung des Auswertungsverfahrens (s. Text). Kurve 1 repräsentiert eine Messung des Ionenstroms im Massenspektrometer als Funktion der Temperatur der Stoßfläche bei nicht vollständiger Akkommodation, Kurve 2 für vollständige Akkommodation der Translation.

In den vorliegenden Experimenten wurde versucht, möglichst die bei den Raketenexperimenten vorliegenden Bedingungen zu simulieren. Aus diesem Grunde wurde die Stoßfläche nicht hoch ausgeheizt, so daß ähnlich wie in der Massenspektrometer-Ionenquelle der Rakete mit einer N₂- und O₂-Bedeckung der Oberfläche zu rechnen ist. Die durch die Raketengeschwindigkeit bedingte zusätzliche Geschwindigkeit der Moleküle konnte hier bezüglich Verteilung und Betrag nicht genau nachgeahmt werden. Es wurden lediglich solche Ofentemperaturen verwendet, daß die mittlere Geschwindigkeit der Moleküle in der Größenordnung der Raketengeschwindigkeit liegt.

Die Messungen wurden für Ar, N₂ und O₂ bei verschiedenen Ofentemperaturen ausgeführt. Als Meßbeispiele sind in Abb. 3 die Ergebnisse für O₂ dargestellt.

¹ J. GROSS, D. OFFERMANN u. U. VON ZAHN, X Cospar Plenary Meeting, London, July 24—29, 1967.

² H. EHRHARDT, R. EINHAUS u. H. ENGELKE, Z. Phys. **191**, 469 [1966].

³ J. H. McFEE u. P. M. MARCUS, Techn. Report, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh 1960.

⁴ Diese Beziehung wurde in getrennten Messungen wiederholt geprüft und bestätigt.



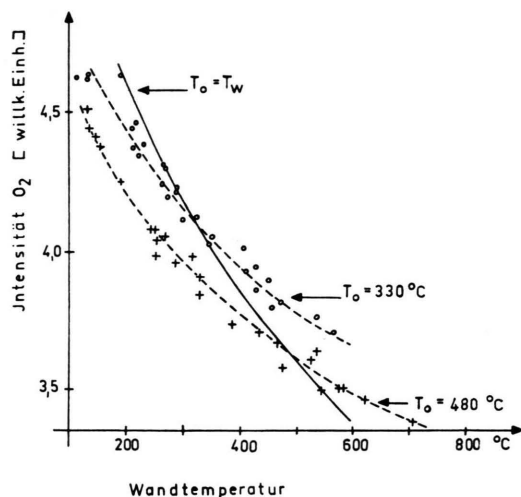


Abb. 2. Messung des Ionenstromes auf der Masse 32 (O_2^+) als Funktion der Temperatur der Stoßfläche.

Entsprechend dem in Abb. 1 erläuterten Verfahren sind aus den Kurven der Abb. 2 die Werte T gewonnen und daraus α_{tr} berechnet. Abb. 3 zeigt die Zusammenstellung der Ergebnisse. Man erkennt, daß α_{tr} im wesentlichen von der Temperatur der Stoßfläche und weniger von der Gastemperatur abhängt.

Ein Vergleich mit AK-Messungen anderer Autoren⁵ im Fall des N_2 und O_2 ist nicht möglich, weil deren Meßverfahren die gesamte Energieübertragung zwischen Molekül und Stoßfläche erfaßt, d. h. die Akkommodation der Translation, Schwingung und Rotation nicht trennt. Argon wurde verschiedentlich⁵ im Bereich von $20^\circ\text{C} \leq T_w \leq 100^\circ\text{C}$ und $T_0 \approx 20^\circ\text{C}$ gemessen. Die gefundenen Werte liegen zwischen 0,82 und 1,0. Extrapoliert man α_{tr} der Abb. 3 für Argon in diesen Temperaturbereich hinein, so findet man einen Wert, der zwischen 0,9 und 1,0 liegt.

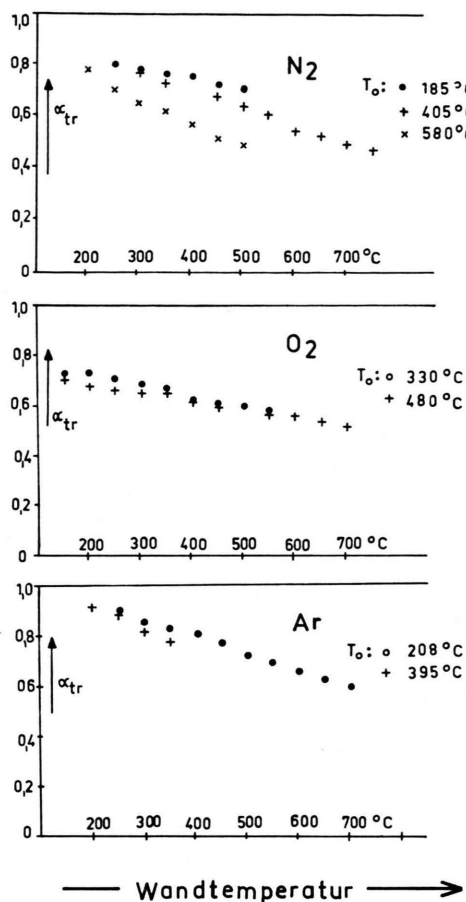


Abb. 3. Translationsakkommodationskoeffizienten von N_2 , O_2 und Ar an Wolfram für verschiedene Wertepaare der Temperatur vor dem Stoß (T_0) und der Temperatur der Stoßfläche (T_w).

⁵ Eine Übersicht findet man in M. KAMINSKY, Atomic and Ionic Impact Phenomena on Metal Surfaces, Springer-Verlag, Berlin 1965.