

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
INSTYTUT MASZYN PRZEPLYWOWYCH

PRACE
INSTYTUTU MASZYN
PRZEPLYWOWYCH

TRANSACTIONS
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

62-63

WARSZAWA—POZNAN 1973

P A Ń S T W O W E W Y D A W N I C T W O N A U K O W E

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPŁYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

KOMITET REDAKCYJNY - EXECUTIVE EDITORS
KAZIMIERZ STELLER - REDAKTOR - EDITOR
JERZY KOŁODKO · JÓZEF ŚMIGIELSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA - EDITORIAL OFFICE
Instytut Maszyn Przepływowych PAN, 80-952 Gdańsk,
skr. pocztowa 621, Gdańsk-Wrzeszcz, ul. Gen. Józefa Fiszer 14, tel. 41-12-71

Copyright
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe
Warszawa 1973

Printed in Poland

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE - ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 410+90 egz.	Oddano do składania 19 XII 1972 r.
Ark. wyd. 19,5. Ark. druk. 15,375+2 wkl.	Podpisano do druku 29 IX 1973 r.
Pap. druk. sat. kl. V, 70 g	Druk ukończono w październiku 1973 r.
Nr zam. 814/155	D-15/787 Cena zł 58,-

DRUKARNIA UNIwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu

Czwarte Seminarium poświęcone zagadnieniom
MAGNETOHYDRODYNAMIKI STOSOWANEJ
I GAZODYNAMIKI WYSOKICH TEMPERATUR

Jena, maj 1972

Čtvrtý Seminář o
APLIKOVANÉ MAGNETOHYDRODYNAMICE
A DYNAMICE PLYNU ZA VYSOKÝCH TEPLŮT

Jena, květen 1972

Viertes Arbeitsseminar über Fragen
DER ANGEWANDTEN MAGNETOHYDRODYNAMIK
UND HOCHTEMPERATUR-GASDYNAMIK

Jena, Mai 1972

Fourth Seminar on
APPLIED MAGNETOHYDRODYNAMICS
AND HIGH TEMPERATURE GASDYNAMICS

Jena, May 1972

Четвертый Семинар по
ПРИКЛАДНОЙ МАГНИТОГИДРОДИНАМИКЕ
И ГАЗОДИНАМИКЕ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

Ена, май 1972 г.

LUDWIG ROTHHARDT

Jena*

Erfassung von Ladungsträgerdichte und Elektronentemperatur im induktiv-hydrodynamischen Stoßwellenrohr mit Hilfe eines Plasmaschluckers

Die Bestimmung der Ladungsträgerdichte und der Elektronentemperatur im strömenden Plasma des induktiv-hydrodynamischen Stoßwellenrohres ist von grundlegender Bedeutung für alle Anwendungen dieses elektromagnetischen Stoßwellenrohres. Zur Abschätzung der Ladungsträgerdichte hinter der Plasmafront wurde der Plasmaschlucker – von uns auch manchmal als Plasmafresser bezeichnet – schon mehrfach eingesetzt. Im vorangegangenen Arbeitsseminar dieser Serie geschah dies z.B. im Zusammenhang mit unseren Untersuchungen in einem magnetoplasmadynamischen Überschallringkanal [1]. Der Versuch, Elektronentemperatur und Ladungsträgerdichte im Laufrohr des induktiv-hydrodynamischen Stoßwellenrohres mit spektroskopischen Mitteln quantitativ zu bestimmen, wurde in unserem Laboratorium gemeinsam mit sowjetischen Gästen unternommen [2]. Die erzielten Resultate waren im Hinblick auf die Relativaussagen auch verständlich; in quantitativer Hinsicht kamen uns aber schon damals Zweifel. Erst gemeinsame Messungen zur Dynamik von Skinschichten im induktiv-hydrodynamischen Stoßwellenrohr, in deren Verlauf die axiale Variation der Emission von H_α und H_β mit und ohne Querstrom direkt erfaßt wurde [3], zeigten, daß auf Grund des starken Photonenflusses aus der Quelle des Stoßwellenrohres sich eine Nichtgleichgewichtsbesetzung der Spektralterme ausbildet, die quantitative Aussagen über die Elektronentemperatur an Hand relativer Linienintensitäten und Aussagen über die Ladungsträgerdichte an Hand der Kontinuumsmission unmöglich macht. Daher wurden die Möglichkeiten für eine weitergehende Auswertung der Strom/Spannungs-Charakteristiken eines im Laufrohr befindlichen Plasmaschluckers noch einmal von uns geprüft. Ein Plasmaschlucker besteht aus einer Reihe eng nebeneinander stehender Metallfolien, die gegeneinander isoliert sind und der Strömung ihre Schmalseite darbieten, so daß die Strömung möglichst wenig gestört wird (Abb. 1). Belegt man diese Metallfolien nun (von Nachbar zu Nachbar) mit wechselnder Polarität, so entsteht eine mit der Doppelsonde von Johnson und Malter [4] verwandte Anordnung, die im optimalen Falle alle Ladungsträger aus der Strömung extrahiert, sobald jeweils das strömende Volumenelement durch die Stirnfläche des Plasmafressers hindurchtritt. Die vollständige Extraktion aller Ladungsträger erfolgt prinzipiell dann, wenn die Summe

* Zentralinstitut für Elektronenphysik der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Institutsteil VI – Magnetoplasmadynamik, Jena.

beider Sondenschichtdicken (vor der positiven und vor der negativen Folie eines Spaltes) die Größe des Folienabstandes erreicht. Liegt im Gegensatz dazu überhaupt keine Potentialdifferenz zwischen den Elementen (Folien) des Plasmaschluckers an, dann wandern gleich viel Elektronen und Ionen durch ambipolare Diffusion auf die Folien.

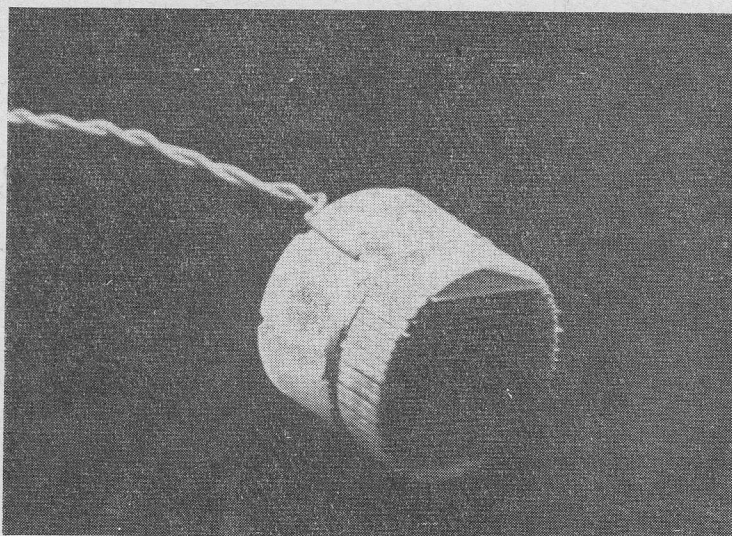


Abb. 1. Foto eines Plasmaschluckers, mit dem die Messungen der Tab. 1 durchgeführt wurden

Man kann also eine Strom/Spannungs-Kennlinie erwarten, die durch den Punkt $U=0/I=0$ geht und mit Annäherung an den Stromwert der optimalen Extraktion $I_{\max}$ in Sättigung übergeht.

Aus dem Sättigungsstrom $I_{\max}$, der Strömungsgeschwindigkeit des Plasmas $\bar{v}$ und der effektiven Fläche F , die der Plasmaschlucker der Strömung gegenüber aufweist, kann man leicht die Ladungsträgerdichte in der Strömung n ermitteln gemäß

$$n = \frac{I_{\max}}{2e\bar{v}F}. \quad (1)$$

Der Faktor 2 im Nenner tritt auf, da sowohl Elektronen als auch Ionen, die als einfach geladen angesetzt werden, einen Beitrag zum Gesamtstrom $I_{\max}$ leisten.

Aus dem Sättigungsstrom und der Steigung der Strom/Spannungs-Kennlinie im Punkte $U=0$ kann entsprechend die Elektronentemperatur ermittelt werden gemäß [4]

$$kT_e = \frac{1}{2} e \cdot \left. \frac{dU}{dI} \right|_0 \cdot I_{\max}. \quad (2)$$

Leider weicht die reale Strom/Spannungs-Kennlinie, die man mit Hilfe eines Plasmaschluckers im Laufrohr des induktiv-hydrodynamischen Stoßwellenrohres aufnimmt, von der bisher entwickelten Idealvorstellung ab. Abbildung 2 zeigt dies an einem Beispiel, das

in einem unsere kleineren Standardstoßwellenrohre vom induktiv-hydrodynamischen Typ [5] (Quellendurchmesser: 18 cm, Laufrohrdurchmesser: 2,5 cm) mit Wasserstoff von 0,3 Torr als Füllgas und einer auf 12 kV aufgeladenen Stoßkondensatorbatterie von 14 μF Kapazität als Stoßstromquelle aufgenommen wurde. Die Ausbildung eines Plateaus wegen der Sättigung des Stromes bei I_{max} ist nur vom geübten Beobachter zu erkennen, da sich ein weiterer Stromanstieg auf Grund der Zündung einer Störentladung ausbildet.

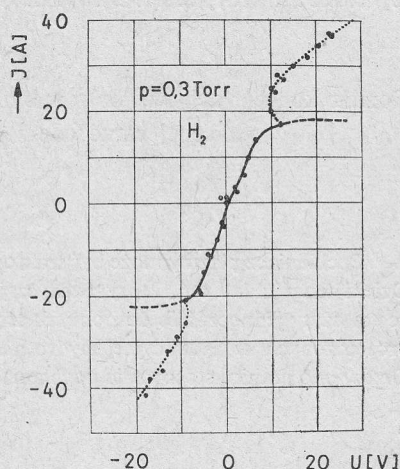


Abb. 2. Typische Strom/Spannungs-Kennlinie des Plasmaschluckers beim Arbeiten mit Wasserstoff

Die Ursache hierfür ist darin zu suchen, daß wegen der relativ hohen Elektronentemperatur im Plasma des induktivhydrodynamischen Stoßwellenrohres schon bei Beginn der Sättigungserscheinung Spannungen zwischen den aktiven Elektroden des Plasmaschluckers anliegen, die sekundäre Ionisationseffekte im noch vorhandenen Neutralgasuntergrund sowie im Neutralgasanteil, der bei elektrischer Neutralisation der extrahierten Ionen stromabwärts vom Plasmaschluckereingang entsteht, hervorrufen. Trotzdem gelingt es auch in diesen Fällen noch, Aussagen über Ladungsträgerdichte und Elektronentemperatur zu machen, da die Einbuchtung, die als erstes Anzeichen einer beginnenden Stromsättigung in der Kennlinie erscheint, deutlicher erkannt werden kann.

Unter den oben bereits genannten Bedingungen erhielten wir folgende Werte (Tabelle 1).

Tabelle 1

Gasart	Ar	Xe	H ₂	N ₂	N ₂
Fülldruck [Torr]	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1
$\bar{v}$ [cm/s]	$3 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$
n_e [cm^{-3}]	$7 \cdot 10^{13}$	$8 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{13}$	$4 \cdot 10^{13}$	$3 \cdot 10^{13}$
kT_e [eV]	7	10	4	6,5	4

Abschließend sei noch einmal bemerkt, daß hier bis an die Grenze der Anwendbarkeit von Plasmaschluckern zur Erfassung wesentlicher Plasmaparameter gegangen werden mußte. Plasmaströmungen mit niedrigerer Elektronentemperatur lassen sich sicher besser und noch genauer mit der hier geschilderten Methodik vermessen.

Literatur

- [1] L. Rothhardt, G. Jahn, Prace IMP, Nr. 54/55, 1971, 31 ff.
- [2] V. Liebich, I. Persianzew, A. Sacharow, L. Rothhardt, Mber. Dt. Akad. Wiss. **12** (1970) 173.
- [3] W. Pismenni, L. Rothhardt u. Mitarb., Moskau 1971 (Publikation in Vorbereitung).
- [4] E. O. Johnson, L. Malter, Phys. Rev. **80** (1950) 58.
- [5] L. Rothhardt, Mber. Dt. Akad. Wiss. **5** (1963) 17; Beitr. Plasmaphysik **5** (1965) 377.

Pomiar koncentracji nośników ładunku i temperatury elektronów w indukcyjnej, hydrodynamicznej rurze uderzeniowej za pomocą pochłaniacza plazmy

Streszczenie

Pochłaniacz plazmy może być traktowany jako układ sondy podwójnej według Johnsona i Maltera. Dzięki temu układ ten, który zazwyczaj używany jest do pomiaru koncentracji nośników ładunku, został użyty jednocześnie do pomiaru temperatury elektronów. Przedstawiono wyniki pomiarów przeprowadzonych w indukcyjnej hydrodynamicznej rurze uderzeniowej wypełnionej różnymi gazami. Omówiono granice stosowania pochłaniacza plazmy do wyznaczania temperatury elektronów.

Measurements of Charged Particles Density and Electron Temperature in an Inductive, Hydrodynamic Shock Tube with the Use of Plasma Eater

Summary

The plasma eater may be regarded as a double probe Johnson-Malter system. The system usually employed in the measurements of the density of charge carriers has been used simultaneously for measuring the electron temperature. The results of these measurements — carried out in an inductive-hydrodynamic shock tube filled with different gases — have been presented in this paper. Also the restricted application of the plasma eater to the electron temperature measurements has been discussed there.

Замер концентрации носителей зарядов и температуры электронов в индуктивной гидродинамической ударной трубе с помощью поглотителя плазмы

Резюме

Поглотителем плазмы можно считать систему двойного зонда Джонсона и Мальтера. Благодаря этому данная система, употребляемая обычно для замера концентрации носителей зарядов, была одновременно употреблена для замера температуры электронов. Представлены результаты замеров, проведенных в индуктивной гидродинамической ударной трубе, заполненной различными газами. Обсуждаются пределы применения поглотителя плазмы для определения температуры электронов.