

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
I N S T Y T U T M A S Z Y N P R Z E P Ł Y W O W Y C H

PRACE
I N S T Y T U T U M A S Z Y N
P R Z E P Ł Y W O W Y C H

T R A N S A C T I O N S
O F T H E I N S T I T U T E O F F L U I D - F L O W M A C H I N E R Y

62-63

W A R S Z A W A - P O Z N A Ń 1 9 7 3

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 PRZEPLYWOWYCH

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 wkł.	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 Seminař 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.

EKKEHART OSE, GOZE POPOW, LUDWIG ROTHHARDT

Jena*

Über den Charakter der Lichtfluktuationen in Argon-Schwachstrom-Niederdruck-Entladungen bei Einwirkung eines lokalen transversalen Magnetfeldes

1. Einleitung

Erste Untersuchungen an Argon-Schwachstrom-Niederdruck-Entladungen unter dem Einfluß eines lokalen transversalen Magnetfeldes wurden von uns seit 1968 durchgeführt. Die Untersuchungen befaßten sich im wesentlichen mit der Verteilung der Ladungsträgerdichte und des elektrostatischen Potentials [1, 2, 3]. Wie in Abb. 1 skizzenhaft dargestellt, wird die Entladung im Magnetfeld durch $\mathbf{j} \times \mathbf{B}$ -Kräfte zur Entladungsrohrwand hin ge-

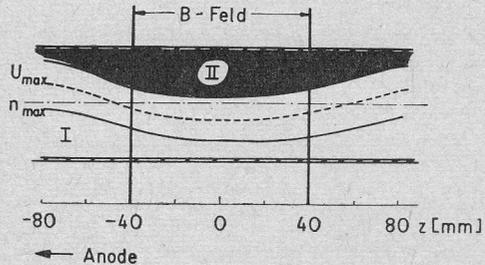


Abb. 1. Prinzipbild für die Wirkung eines lokalen transversalen Magnetfeldes auf eine Niederdruck-Schwachstrom-Entladung [3]
 I – aktiver Bereich der Entladung, II – inaktiver (diffusionsbestimmter) Teil der Entladung, U_{max} – Ortskurve des Potentialmaximums, n_{max} – Ortskurve des Maximums der Ladungsträgerdichte

drängt. Zwischen dem aktiven Teil der Entladung I und dem inaktiven Teil II baut sich eine starke elektrostatische Doppelschicht auf [3], die ein näheres Studium verdient. Daher wurden von uns die Fluktuationserscheinungen sowohl in dieser Doppelschicht als auch in anderen Teilen der Entladung näher untersucht. Insbesondere wurden die Fluktuationen in der Lichtemission im Hinblick auf Intensität, Frequenzspektrum und Korrelationseigenschaften studiert. Zu diesem Zweck wurde mit Hilfe einer längs der Rohrachse beweglichen Lochoptik ein enger Bereich der Entladung erfaßt, die Lichtemission über Lichtleiter einem SEV zugeführt und die elektrischen Ausgangssignale dann

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

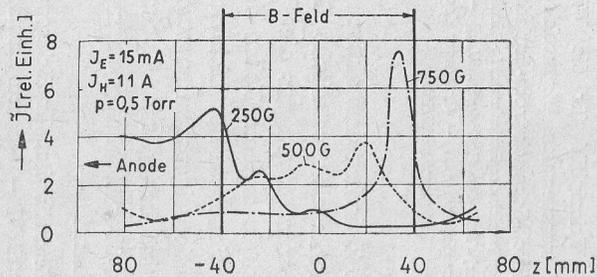
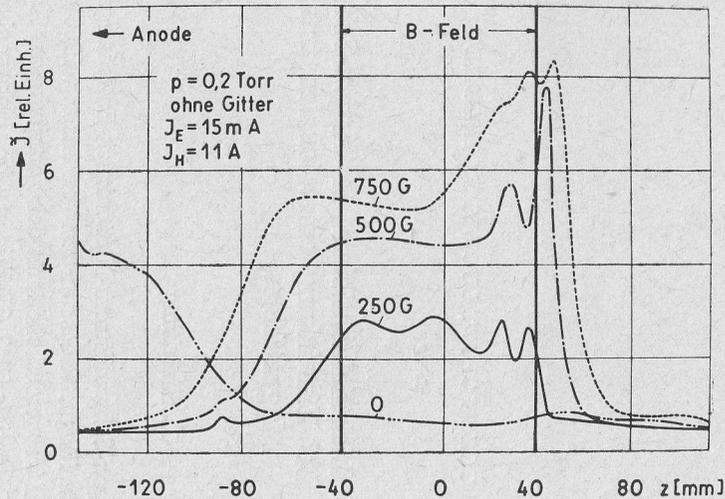
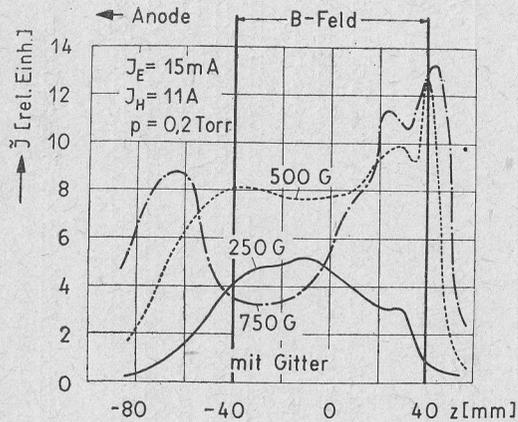


Abb. 2a-c. Wechsellichtemission aus dem magnetisch beeinflussten Bereich einer Argon-Niederdruck-Schwachstrom-Entladung; a) mit Takayama-Gitter, b) ohne Takayama-Gitter

elektronisch weiterverarbeitet. Im folgenden werden typische Ergebnisse für die axiale Variation der Wechsellichtintensität, für die Signalgrößen-Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung und für die Korrelationslänge mitgeteilt. Alle Untersuchungen wurden in Entladungsrohren von 40 ... 42 mm innerem Durchmesser bei Argonfülldrücken von 0,2 bzw. 0,5 Torr und Entladungsströmen um 10 mA durchgeführt. Als Kathoden wurden heizbare Wolframdrahtspiralen mit 0,5 mm Drahtdurchmesser eingesetzt, die die Wahl beliebiger Kathodenregime erlaubten; in einigen Fällen wurde zusätzlich noch mit sogen. Takayama-Gittern zur Unterdrückung laufender Schichten gearbeitet [4].

2. Orts- und Parameterabhängigkeit der Lichtfluktuationen

Die axiale Abhängigkeit der Intensität der Lichtfluktuationen wurde für den Fall optimal wirksamer Takayama-Gitter bei 0,2 Torr Argonfülldruck mit der Stärke des Magnetfeldes als Parameter gemessen. Das Resultat zeigt Abb. 2a. Entsprechende Messungen in Rohren ohne Takayama-Gittern, d.h. bei Anwesenheit laufender Schichten wurden sowohl bei 0,2 Torr als auch bei 0,5 Torr Argonfülldruck durchgeführt. Die Resultate sind in Abb. 2b und 2c wiedergegeben. Eine deutliche Asymmetrie ist in allen drei Fällen zu beobachten; die Fluktuationsmaxima befinden sich am kathodenseitigen Ende des felderfüllten Bereiches. Weiterhin ist bemerkenswert, daß der stark fluktuierende Bereich über das anodenseitige Ende des felderfüllten Gebietes hinausreicht. Offenbar wird dies durch die Elektronendrift im die Entladung treibenden elektrischen Feld verursacht. Die hier beobachteten Fluktuationserscheinungen unter dem Einfluß nicht zu schwacher magnetischer Felder hängen kaum vom Kathodenregime der Entladung ab. In dieser Hinsicht unterscheiden sich die hier untersuchten Fluktuationen von den laufenden Schichten.

3. Frequenzspektrum und Signalgrößen-Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung der Lichtfluktuationen

Zur näheren Charakterisierung der Fluktuationen wurden neben direkten Oszillogrammen der fluktuierenden Größe deren Frequenzspektrum und der Verlauf der Wahrscheinlichkeitsdichte der Signalgröße für verschiedene Stärken des Magnetfeldes aufgenommen. Abbildung 3 zeigt entsprechende Serien, die in Feldmitte bei einem Argonfülldruck von 0,5 Torr und einem Entladungsstrom von 5 mA aufgenommen wurden. Für $B=0$ ist sowohl im Oszillogramm als auch im Frequenzspektrum und in der Signalgrößen-Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung ein starker Anteil nichtlinearer Schwingungen (laufende Schichten) zu erkennen. Die Anwesenheit eines schwachen transversalen Feldes führt zunächst zu einer gewissen Symmetrisierung der Signalgrößen-Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung; stärkere Felder unterdrücken dann harmonische Erscheinungen und führen zur Erzeugung Gauß'schen Rauschens. Mit wachsendem Feld nimmt dabei der Effektivwert der untersuchten Signalgröße zunächst sehr stark zu. Dies wurde unabhängig von der oszillografischen Beobachtung auch durch direkte Rauschleistungsmessun-

gen gefunden. Abbildung 4 zeigt eine typische Meßkurve. Die oberhalb 250 Gauß auftretende 'Sättigung' kann eine rein geometrische Ursache haben, da der aktive Teil der Entladung möglicherweise im Verlauf seiner Einengung nicht genau symmetrisch zum Empfänger verbleibt.

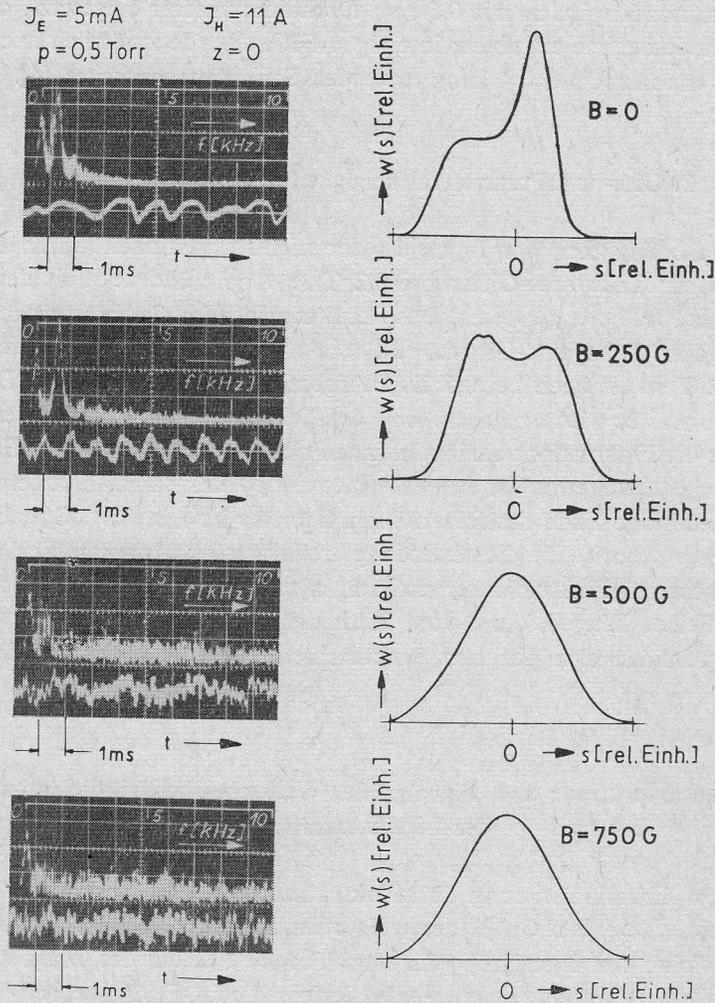


Abb. 3. Frequenzspektrum der Wechsellichtemission (links, jeweils obere Kurve), typisches Oszillogramm (links, jeweils untere Kurve) und zugehörige Signalgrößen-Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung in Abhängigkeit von der Stärke des magnetischen Feldes

Analoge Untersuchungen bei einem Fülldruck von 0,2 Torr zeigten, daß das kritische Feld für den Umbau der Signalgrößen-Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung in eine Gauß'sche Form nicht wie erwartet bei 200 Gauß liegt, sondern wesentlich tiefer, nämlich bei 30...40 G. Dies zeigt, daß die zugrundeliegenden Mechanismen nicht den klassischen Ähnlichkeitsgesetzen gehorchen; sonst müßte $B_{\text{kritisch}}/p = \text{const}$ gelten.

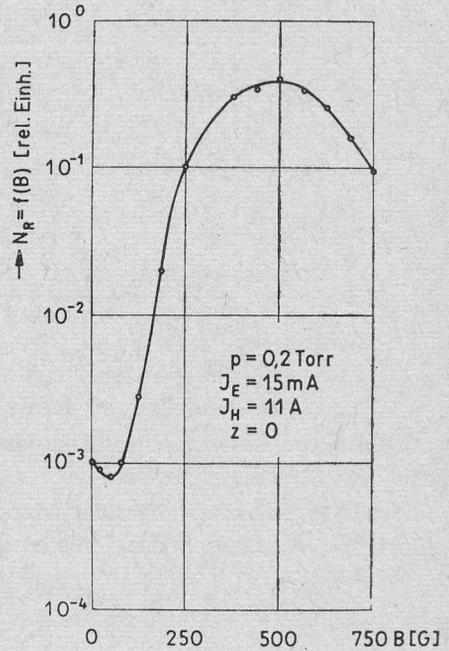


Abb. 4. Relative Rauschleistung in der Mitte des felderfüllten Gebietes als Funktion der Stärke des Magnetfeldes

4. Korrelationslänge

Um den Rauschcharakter der Lichtfluktuationen unter der Einwirkung starker lokaler transversaler Magnetfelder noch deutlicher zu belegen, wurde mit Hilfe eines Streudia-gramm-Korrelators [5] noch der Kreuzkorrelationsfaktor C_{xy} für zwei fluktuierende Signale aus benachbarten Entladungsgebieten bestimmt. Ein Lichtempfänger verblieb

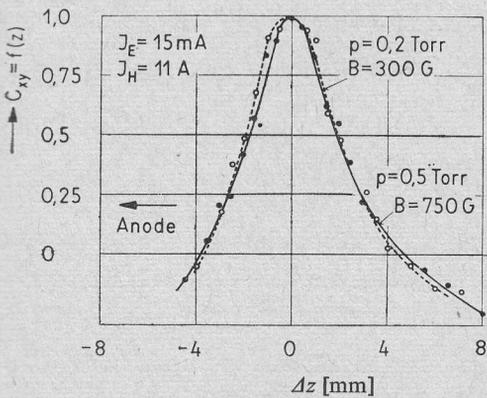


Abb. 5. Kreuzkorrelationsfaktor zweier benachbart empfangener Lichtsignale als Funktion des Empfängerabstandes in B-Feld-Mitte

dabei in der Mitte des magnetfelderfüllten Gebietes, während der zweite schrittweise von ihm entfernt wurde. Das Resultat für zwei unterschiedliche Fülldrucke zeigt Abb. 5. Die hieraus entnehmbare Korrelationslänge ($1/e$ -Wert) von etwa 3 mm ist im Sinne einer oberen Schranke zu verstehen, da durch die Lochoptik ein Entladungsgebiet der Dimension ≤ 2 mm integrierend erfasst wird.

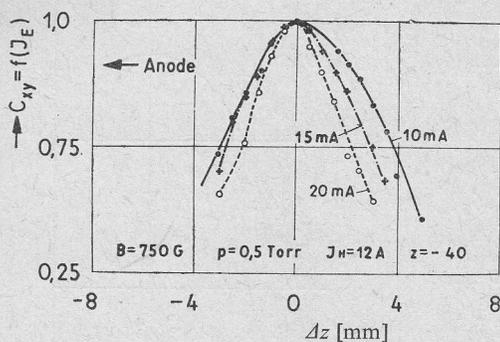


Abb. 6. Kreuzkorrelationsfaktor zweier benachbart empfangener Lichtsignale als Funktion des Empfängerabstandes mit dem Entladungsstrom als Parameter am anodenseitigen Ende des felderfüllten Gebietes

Trotz dieser Beschränkung wurde versucht, eine Abhängigkeit vom Entladungsstrom aufzudecken. In Abb. 6 ist eine Reihe von Messungen des Kreuzkorrelationsfaktors mit dem Streudiagrammkorrelator dargestellt, die am anodenseitigen Ende des magnetfelderfüllten Gebietes angestellt wurden. Die Tendenz zur Verkürzung der Korrelationslänge mit Anwachsen des Entladungsstromes ist deutlich zu erkennen.

5. Schlußbemerkungen

Gasentladungen unter der Einwirkung magnetischer Felder haben sich als einfache und interessante Modelle für breitbandige Fluktuationsuntersuchungen und damit als experimentelle Vorstufen auf dem Wege zum Verständnis der 'Plasmaturbulenz' erwiesen. Sie waren und sind darüber hinaus interessante Testobjekte für die Entwicklung entsprechender Meßgeräte und Verfahren.

Wir werden uns daher auch weiterhin mit derartigen Objekten beschäftigen und hoffen, in Zukunft zur Vertiefung des Verständnisses für Plasmafluktuationen und Plasmaturbulenz beitragen zu können.

Literatur

- [1] E. Ose, Diplom-Arbeit, Universität Jena (1968).
- [2] L. Rothhardt, G. Popow, *Prace IMP*, Nr. 46 (1969) 47 ff.
- [3] G. Popow, L. Rothhardt, *Phenomena in Ionized Gases*. Contributed Papers, Oxford 1971, p. 129.
- [4] G. Popow, L. Rothhardt, *Beiträge aus der Plasmaphysik*, 11 (1971) 475 ff.
- [5] L. Rothhardt, *Physik und Technik des Plasmas II* (Phys. Ges. der DDR, 1971), S. 283 ff.

Fluktuacja światła w niskoprądowym, niskociśnieniowym wyładowaniu w argonie pod działaniem lokalnego poprzecznego pola magnetycznego

Streszczenie

Omówiono charakter fluktuacji światła w niskoprądowym, niskociśnieniowym wyładowaniu w argonie pod działaniem lokalnego poprzecznego pola magnetycznego. Następnie omówiono i przedyskutowano widmo częstości i rozkład gęstości prawdopodobieństwa wielkości sygnału emitowanego światła. W końcu oszacowano przedział korelacji szumów w obszarze pola magnetycznego.

Light Fluctuation in a Low-Current, Low-Pressure Discharge in Argon Exposed to Local Transverse Magnetic Field

Summary

The character of light fluctuations in a low-current, low-pressure discharge in argon, affected by a local transverse magnetic field is discussed. Next, the frequency spectrum as well as the distribution of the probability density of amplitudes of the emitted light signal are considered. In conclusion, the correlation length within the region of the magnetic field is estimated.

Колебание света во время разряжения в аргоне при малом напряжении тока и низком давлении под действием местного трансверсального магнитного поля

Резюме

Обсуждается характер колебания света во время разряжения в аргоне при малом напряжении тока и низком давлении под действием местного трансверсального магнитного поля. Затем описываются и обсуждаются спектр частот и распределение плотности вероятности амплитуд сигнала эмитированного света.

В конце оценивается предел корреляции помех в зоне магнитного поля.