

FORSCHUNGSBERICHTE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN

Nr. 2319

Herausgegeben im Auftrage des Ministerpräsidenten Heinz Kühn
vom Minister für Wissenschaft und Forschung Johannes Rau

Prof. Dr. rer. nat. Günter Ecker
Prof. Dr. rer. nat. Walter Kröll
Dr. rer. nat. Karl-Heinz Spatschek

Institut für Theoretische Physik
der Ruhr-Universität Bochum

Der Einfluß der Elektronen-Turbulenz
auf die elektrische Mikrofeldverteilung
im Plasma



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Teile dieser Arbeit wurden im Rahmen der
Aktivitäten des Sonderforschungsbereiches
Nr. 162 "Plasmaphysik Bochum/Jülich"
bearbeitet.

ISBN 978-3-531-02319-9 ISBN 978-3-663-06802-0 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-06802-0

© 1973 by Springer Fachmedien Wiesbaden
Ursprünglich erschienen bei Westdeutscher Verlag, Opladen 1973

Vorwort

Gegenstand unserer Untersuchung ist ein stationäres turbulentes Plasma. Turbulente Plasmen haben große Bedeutung, da sie häufig, als Endzustände von Instabilitäten, beobachtet werden.

Unser Problem ist die elektrische Mikrofeldverteilung, d.h. wir fragen nach der Wahrscheinlichkeit, am Ort \underline{r} zur Zeit t ein elektrisches Feld \underline{E} vorzufinden. Die Mikrofeldverteilung ist von Interesse für Strahlungs-, Streu- und Emissionsphänomene, insbesondere im Hinblick auf diagnostische Methoden in turbulenten Plasmen.

Wesentlich für den Gang dieser Rechnung ist die Diskussion kollektiver und individueller Anteile. Wir beweisen mit Hilfe einer mikroskopischen Theorie für ein System von Teilchen und Wellen, daß sich die gesamte Verteilung durch die Faltung einer individuellen mit einer kollektiven Komponente darstellt.

Die individuelle Mikrofeldverteilung gewinnen wir für ein System von Teilchen mit abgeschirmten Feldern, wobei wir in den Dirichlet-Faktor der Mikrofeldverteilung Coulomb'sche Feldbeiträge einsetzen. Die Auswertung bereitet keine Schwierigkeiten, da ähnliche numerische Rechnungen bereits von Mozer und Baranger [1] durchgeführt wurden.

Das Schwergewicht der Berechnung der kollektiven Mikrofeldverteilung liegt auf der Ermittlung der simultanen Wahrscheinlichkeit $P(\underline{E}_{k_1}, \phi_{k_1}, \underline{E}_{k_2}, \phi_{k_2}, \dots; t)$, wobei \underline{E}_{k_ν} die k_ν -te Fourier-Komponente des kollektiven elektrischen Feldes und ϕ_{k_ν} die zugehörige Phase bedeutet.

Wir erhalten diese Wahrscheinlichkeit im Rahmen unserer mikroskopischen Theorie, indem wir die exakten kinetischen Gleichungen mitteln und lösen. Als allgemeine stationäre Lösung der abseparierten kollektiven Gleichungen erhalten wir die Verteilung der Fourier-Komponenten des elektrischen Feldes, aus denen sich die simultane Wahrscheinlichkeit P aufbauen läßt. Sie enthält willkürliche Funktionen und Parameter, die wir für entsprechende Anwendungen aus der Turbulenztheorie bestimmen müssen.

Mit diesem Ergebnis und der Aufspaltung des elektrischen Feldes in einen individuellen und einen kollektiven Anteil lassen sich die individuelle und die kollektive Mikrofeldverteilung definieren.

Die kollektive Mikrofeldverteilung für turbulente Quasigleichgewichte ist eine Gaußverteilung, deren Modul durch den Gesamtenergieinhalt der Moden bestimmt ist. Für physikalisch interessante und im Anwendungsbereich sehr wichtige Elektronenstrahl-Plasma-Systeme diskutieren wir den Verlauf. Dabei berücksichtigen wir unterschiedliche Plasmazustände und Strahlkonfigurationen.

Der Gesamtenergieinhalt läßt sich darüber hinaus unter Berücksichtigung thermodynamischer Nebenbedingungen für abgeschlossene Systeme abschätzen.

Die gesamte Verteilung erhalten wir durch eine Faltung der individuellen mit der kollektiven Verteilung.

Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Veränderung der Mikrofeldverteilung gegenüber derjenigen in Gleichgewichtsplasmen, da dort die kollektive Komponente nur einen geringen Einfluß auf die Gesamtverteilung ausübt, während sie in turbulenten Plasmen wegen der stärkeren Anregung kollektiver Freiheitsgrade sogar dominant sein kann. Die Abweichungen sind so stark, daß eine experimentelle Schlußfolgerung auf den Turbulenzgrad des Systems aus Linienprofilmessungen aussichtsreich erscheint.

Inhalt

A. Einleitung und Zielsetzung	7
B. Modell	8
C. Konzept	9
D. Allgemeiner Formalismus der elektrischen Mikrofeld- verteilung in turbulenten Plasmen	10
a) Formulierung	10
b) Kinetische Gleichungen für die exakte Dichte eines Einzelsystems in individuellen und kollektiven Koordinaten	11
c) Übergang zur mittleren Ensemble-Dichte durch Mittele- lung der Klimontovich-Gleichungen	21
d) Faktorisierung der turbulenten elektrischen Mikro- feldverteilung in einen kollektiven und einen individuellen Anteil	23
E. Berechnung der kollektiven Mikrofeldverteilung	26
a) Funktionale Abhängigkeit der kollektiven Mikrofeld- verteilung	26
b) Diskussion des Parameters W	29
F. Berechnung der individuellen Mikrofeldverteilung	32
G. Ergebnis und Diskussion	33
Literaturverzeichnis	42