

Kollisionskühlung in elektrisch geladener granularer Materie

Dem Fachbereich Physik - Technologie der
Gerhard-Mercator-Universität Duisburg
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften
genehmigte Dissertation

von

Tim Niclas Scheffler

aus

Oberhausen

Referent: Prof. Dr. D.E. Wolf

Koreferent: Prof. Dr. M. Schreckenber

Tag der mündlichen Prüfung 26. Juni 2000

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------------|
| Vorwort | VII |
| 1 Einführung | 1 |
| 1.1 Granulare Materie | 1 |
| 1.1.1 Inelastische Kollision | 2 |
| 1.1.2 Granulare Systeme | 3 |
| 1.1.3 Kollisionskühlung | 4 |
| 1.2 Elektrisch geladene granulare Materie | 7 |
| 1.2.1 Kontaktaufladung | 7 |
| 1.2.2 Elektrisch geladene granulare Systeme | 9 |
| 1.3 Ziel der Arbeit | 10 |
| 2 Modell | 13 |
| 2.1 Definition | 13 |
| 2.2 Größen | 15 |
| 2.3 Elektrostatische Energie und Kraft im periodischen System | 16 |
| 2.3.1 Elektrostatische Energie | 16 |
| 2.3.2 Dynamik des Systems | 18 |
| 3 Computersimulation | 19 |
| 3.1 Molekulardynamik | 19 |
| 3.1.1 Überblick über das Verfahren | 19 |
| 3.1.2 Simulation elektrisch geladener granularer Materie | 20 |
| 3.2 Systemgrößen | 23 |
| 3.2.1 Problem des thermodynamischen Limes | 23 |
| 3.2.2 Äquivalenz zum klassischen Plasmamodell OCP | 24 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.3 | Andere Methoden zur Simulation periodischer elektrostatischer Systeme | 27 |
| 3.4 | Radiale Verteilungsfunktion | 28 |
| 4 | Kollisionskühlung | 31 |
| 4.1 | Kinetische Theorie | 31 |
| 4.1.1 | Stoßrate | 32 |
| 4.1.2 | Dissipationsrate | 34 |
| 4.1.3 | Vergleich mit der Simulation | 36 |
| 4.2 | Dichte Systeme | 37 |
| 4.2.1 | Enskog Erweiterung | 37 |
| 4.2.2 | Reduzierte Coulombbarriere | 39 |
| 4.3 | Abkühlung | 46 |
| 4.4 | Diskussion | 50 |
| 5 | Radiale Verteilungsfunktion | 53 |
| 5.1 | Abhängigkeit vom radialen Abstand | 54 |
| 5.2 | Bestimmung des effektiven Potentials | 56 |
| 6 | Zweidimensionale Systeme | 63 |
| 6.1 | Kollisionskühlung in zwei Dimensionen | 64 |
| 6.1.1 | Coulombwechselwirkung | 64 |
| 6.1.2 | Kinetische Theorie | 64 |
| 6.1.3 | Coulombbarriere | 65 |
| 6.2 | Ladungsverteilungen | 70 |
| 6.2.1 | Bimonopolare Verteilung | 70 |
| 6.2.2 | Gaußverteilung der Ladung | 73 |
| 6.2.3 | Diskussion | 75 |
| 7 | Geladener Rohrfluss | 77 |
| 7.1 | Isolatorröhre | 77 |
| 7.1.1 | Elektrische Wechselwirkung | 77 |
| 7.1.2 | Dichteprofil | 78 |
| 7.1.3 | Kollisionskühlung | 81 |

| | |
|----------------------------------|-----------|
| 7.2 Metallröhre | 82 |
| 7.3 Getriebene Systeme | 84 |
| 7.4 Weiteres | 87 |
| Zusammenfassung | 89 |
| Literaturverzeichnis | 91 |

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Die Physik hat sich in den letzten Jahren intensiv mit dem Verhalten granularer Materie auseinandergesetzt. Es zeigten sich Reichtümer an neuen Phänomenen, die wohl niemand von einer Stoffklasse erwartet hätte, deren populärster Vertreter Sand ist. Bei den bisherigen Untersuchungen wurde allerdings größtenteils außer Acht gelassen, dass granulare Materie für gewöhnlich elektrisch geladen ist. Hier will die vorliegende Arbeit ansetzen. Sie stellt dar, welchen Einfluss die elektrische Ladung der granularen Teilchen auf das wichtige Phänomen der Kollisionskühlung granularer Systeme hat.

Zunächst wird eine kurze Einführung in das Problem der Kollisionskühlung und die Natur der elektrischen Aufladung granularer Systeme gegeben. Im Anschluss stellt das zweite Kapitel das verwendete Modell vor und diskutiert auftretende Probleme. Das Verfahren, welches zur Computersimulation elektrisch geladener granularer Systeme benutzt wurde, wird in Kapitel drei entwickelt. Mit diesen Grundlagen kann im vierten Kapitel schließlich die Kollisionskühlung in Theorie und Simulation untersucht werden. Hier wird gezeigt, dass dieses Phänomen durch Zweiteilchenstöße getragen wird, wobei das elektrische Paarpotential der stoßenden Teilchen effektiv durch die restlichen Teilchen des Systems reduziert wird. Diese Reduktion wird anschließend im fünften Kapitel über die Bestimmung der radialen Verteilungsfunktionen des Systems näher untersucht. Schließlich überführen Kapitel sechs und sieben die gewonnenen Erkenntnisse auf weitere Geometrien.

Teile dieser Arbeit wurden bereits in anderer Form publiziert [108, 95, 94].

* * *

Vielleicht erinnern sich noch einige Mitglieder der *Computational Physics* Arbeitsgruppe an eine lebhafte Diskussion bei einem Mittagessen über den Sinn und Zweck von Rechtschreibnormen, und insbesondere, ob man diese befolgen sollte. Damals übernahm ich den eher „liberalen“ Standpunkt und befürwortete totale Freiheit in der Schriftsprache. Letztlich habe ich mich dennoch gebeugt und diese Arbeit nach den Rechtschreibregeln vom 1. August 1998 verfasst. In ihrer Befolgung haben mir meine Schwester Philippa und mein Vater geholfen,

Vorwort

sowie Alexander Schindler und Daniel Richter. Bei ihnen möchte ich mich an dieser Stelle herzlich dafür bedanken.

Großer Dank gebührt weiterhin allen jetzigen und ehemaligen Mitgliedern der Duisburger Arbeitsgruppe. Durch angeregte Diskussionen mit ihnen konnte ich von so manchem Holzweg wieder auf den rechten Pfad zurückgebracht werden. Insbesondere mein Doktorvater Herr Prof. Dr. Wolf hat es immer wieder verstanden, mich auf interessante Zusammenhänge zu stoßen, die ich ohne seine reiche Erfahrung niemals entdeckt hätte. Auch meinem langjährigen Weggefährten und guten Freund Alexander Schindler möchte ich für die gemeinsame Zeit in Duisburg danken. Abschließend möchte ich mich noch bei allen bedanken, die ich hier vergessen habe.

Letztlich aber schulde ich meinen Eltern den meisten Dank. Ihnen und meinen beiden Schwestern sei diese Arbeit gewidmet.