

P 8: Poster: Staubige Plasmen: Experiment und Diagnostik

Zeit: Dienstag 17:00–19:00

Raum: Foyer

P 8.1 Di 17:00 Foyer

Stereoskopie von Partikeln in komplexen Plasmen mit Thermophorese — ●JANA KREDL, BIRGER BUTTENSCHÖN und ANDRE MELZER — Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 17489 Greifswald

In Gasentladungen lassen sich mikrometergroße Partikel einfangen. In solchen so genannten komplexen Plasmen können, durch Kompensation der Gravitation, dreidimensional ausgedehnte Staubwolken erzeugt werden. Für gewöhnlich werden Untersuchungen an Staubwolken auf Parabelflügen unter Mikrogravitation durchgeführt. In diesen Staubwolken kommt es in der Regel zur Ausbildung eines Voids, also eines staubfreien Bereichs innerhalb der Staubwolke.

Um auch Untersuchungen an Staubwolken im Labor durchführen zu können, wird die Gravitation mit Hilfe der thermophoretischen Kraft kompensiert, die durch einen Temperaturgradienten im Plasma hervorgerufen wird. Der Temperaturgradient wird erzeugt, indem die obere Elektrode gekühlt und die untere Elektrode geheizt wird.

Dieser Beitrag stellt erste Untersuchungen für ein Experiment vor, mit dem ausgedehnte Staubwolken mit Hilfe eines stereoskopischen Kamerasystems auf ihre Eigenschaften und Dynamik hin untersucht werden können. Zur Charakterisierung der Temperaturgradienten und Untersuchung der Stabilität des Voids werden Simulationen und Messungen der Temperaturverläufe sowie erste stereoskopische Aufnahmen an einzelnen Partikeln an der Voidkante vorgestellt.

P 8.2 Di 17:00 Foyer

Kamerakalibrierung für Stereoskopiesysteme — ●MICHAEL HIMPEL, BIRGER BUTTENSCHÖN, TOBIAS MIKSCH und ANDRÉ MELZER — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 17489 Greifswald

Stereoskopie ist eine verbreitete Methode zur Untersuchung von Struktur und Dynamik von Partikeln in staubigen Plasmen. Praktische Probleme entstehen aber durch die Notwendigkeit einer exakten Kalibrierung für das Kamerasystem. Konkret meint dies die Kenntnis über die geometrischen Relationen des Aufbaus, sowie der kamera- und linsennenn Parameter, um den Bildentstehungsprozess bis auf (sub-) Pixelgenauigkeit nachvollziehen zu können. In diesem Beitrag werden zwei Methoden vorgestellt, die eine hochgenaue Kalibrierung für zwei verschiedene Stereoskopiezustände ermöglichen. Es ist zum einen möglich, durch Aufnahmen eines Targets eine vollständige Kalibrierung für alle Kameras des Systems zu gewinnen. Zum Anderen kann die Berechnung der Kameraparameter auch an den Partikelenaufnahmen selbst durchgeführt werden, sofern eine einfache Kamerageometrie vorliegt. Es wird gezeigt, dass durch die Verwendung einer geeigneten Kalibrierung auch Analysen und Rekonstruktionen von größeren Staubstrukturen (>50 Partikel) möglich werden.

Anwendungsgebiete und Möglichkeiten beider Methoden sowie beispielhafte Kalibrierungsergebnisse werden dargestellt. Diese Arbeit wird gefördert durch das DLR im Rahmen der Projekte 50WM0738 und 50WM1138.

P 8.3 Di 17:00 Foyer

Phasenaufgelöste Resonanzmethode & Massenänderung von MF Partikeln in einem Plasma — ●JAN CARSTENSEN, HENDRIK JUNG, FRANKO GREINER und ALEXANDER PIEL — IEAP, Christian-Albrechts-Universität, D-24098 Kiel, Germany

Es wird eine Modifikation der klassischen Resonanzmethode [1] vorgestellt, die die Phasenlage zwischen dem Treibersignal und der Partikeloszillation berücksichtigt. Die hohe Präzision dieser Methode erlaubt es relative Änderungen $< 10^{-3}$ im Ladungs/Masse-Verhältnis der Partikel aufzulösen. Es zeigt sich, dass die Masse von Melamin-Formaldehyd-Partikeln in einer Argon-Hochfrequenzentladung von mindestens zwei Prozessen beeinflusst wird. Das Ausgasen von Wasser führt zu einer Massenverringerng, während die Deposition von gesputtertem Elektrodenmaterial auf der Partikeloberfläche zu einer Massenzunahme führt.

[1] A. Melzer *et al.*, Phys. Lett. A **191**, 301 (1994).

P 8.4 Di 17:00 Foyer

Aufladung von Partikeln in Plasmen unter UV-Bestrahlung — ●MARIAN PUTTSCHER und ANDRÉ MELZER — Ernst-Moritz-Arndt-

Universität Greifswald

Unter staubigen Plasmen versteht man Plasmen, die als zusätzliche Spezies makroskopische Partikel enthalten. In gewöhnlichen Laborplasmen ergibt sich das Floating-Potential der Staubpartikel, wenn sich der Gesamtstrom von Elektronen und Ionen zu den Teilchen gerade kompensiert. Damit ist dann auch deren elektrische Ladung bestimmt. In diesem Experiment wird die Ladung der Staubteilchen in RF-Entladungen untersucht, wenn sie unter dem Einfluss einer externen UV-Strahlungsquelle stehen. Denkbar wären eine direkte Änderung der Ladung durch Herauslösen von Photoelektronen, sowie durch eine Änderung der Plasmaeigenschaften nach Einschalten der externen Strahlung (indirekte Wechselwirkung). Die Bestimmung der Ladungsänderungen der Staubpartikel bei externer UV-Strahlung ergibt sich aus der Kombination zweier Methoden zur Ladungsbestimmung: der Resonanzmethode und der Normalmodenanalyse. Der Einsatz von UV-Strahlung könnte eine Möglichkeit bieten, Teilchen gezielt in ihrer Ladung und damit in ihrer Position zu beeinflussen. Dieser Beitrag zeigt den experimentellen Aufbau und erläutert die Bestimmung der Ladungsunterschiede sowie die Ergebnisse der Untersuchungen.

P 8.5 Di 17:00 Foyer

Phasenaufgelöste optische Emission von staubhaltigen RF-Entladungen — ●ANDRE MELZER, SIMON HÜBNER, LARS LEWERTENTZ und RALF SCHNEIDER — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Staubige Plasmen werden häufig in bezug auf die Anordnung der Partikel in Plasmaentladungen untersucht. Hier wurde nun allerdings der Einfluss des Staubs auf die Entladungseigenschaften untersucht. Dazu wurde mit Hilfe der phasenaufgelösten optischen Emissionsspektroskopie die Dynamik der Randschicht in partikelhaltigen RF-Entladungen in Argon und Helium gemessen. Die Anwesenheit von Staub führt zu einer erhöhten Linienemission der Argon- bzw. Helium-Atome während der Schichtexpansionsphase. Durch Simulationen konnte gezeigt werden, daß der Staub zu einer Erhöhung der Dichte von hochenergetischen Elektronen genau während der Schichtexpansion führt, was wiederum wie im Experiment die atomare Emission verstärkt.

P 8.6 Di 17:00 Foyer

Ladungsverarmungseffekte in staubigen Plasmen — ●IMKE GOERTZ, FRANKO GREINER und ALEXANDER PIEL — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität, D-24098 Kiel

Der Effekt der Ladungsträgerreduktion in dichten Staubwolken wird in einer Doppelplasmaanlage untersucht. Aus den Sättigungsströmen der Langmuirsonden werden die Dichten der Ionen und Elektronen bestimmt. Für die Messungen der Dichten ist eine Kalibrierung mittels der Plasmaoszillationsmethode vorgenommen worden. Das Plasmapotential im Inneren der Staubwolke wird mit einer emissiven Sonde gemessen. Dieselbe Sonde liefert im glühenden, aber nicht emittierenden Modus das Floating Potential.

Die Anwesenheit von Staub beeinflusst sowohl die Ladungsträgerdichten als auch das Plasmapotential des umgebenden Plasmas. Wir finden, dass die Ionendichten in der Staubwolke und im umgebenden Plasma gleich sind, während die Elektronendichte in der Staubwolke abnimmt. Die Einbeziehung einer Bi-Maxwell Verteilung der Elektronen führt zu einer verbesserten Beschreibung für kleine Staubbichten. Eine starke Zunahme des Floating- und Cloudpotentials bei großen Staubbichten, die das Modell mit konstanter Ionendichte vorhergesagt, kann nicht bestätigt werden.

Gefördert durch SFB TR-24/A2.

P 8.7 Di 17:00 Foyer

Wechselwirkung schneller hochgeladener, schwerer Projektile mit einem stationären staubigen Plasma unter Schwerelosigkeit — ●DAVID CALIEBE, OLIVER ARP und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU-Kiel, D-24098 Kiel

Es werden Experimente vorgestellt, bei denen eine stationäre Staubwolke, die unter Mikrogravitation in einem Hochfrequenz-Plasma eingefangen ist, mit extern erzeugten schnellen hochgeladenen, schweren Projektilen beschossen wird. Die Projektile dringen seitlich in das staubige Plasma ein. Dabei beobachten wir, dass die Wechselwirkung zwischen Projektilen und Staubwolke in drei Klassen unterteilt werden

kann in Bezug auf die Projektilgeschwindigkeit: Subsonische Projektile bilden elliptische staubfreie Bereiche, wobei das Projektil exzentrisch versetzt ist. Transsonische Projektile schneiden einen langezogenen Hohlraum hinter sich in die Wolke. Bei hypersonischen Projektile können wir keinen sichtbaren Einfluss feststellen. Weiter wird ein analytisches Modell vorgestellt, welches beschreibt, wie die Breite des Hohlraums senkrecht zur Trajektorie des Projektils sich raum-zeitlich entwickelt und von dessen Geschwindigkeit abhängt. Mit Hilfe des Modells wird auf Form und Ladung des Projektils geschlossen. Gefördert durch DLR unter 50WM0739.

P 8.8 Di 17:00 Foyer

Experimente zu Phasenübergängen von 3D-Clustern in staubigen Plasmen — ●TOBIAS MIKSCH, ANDRÉ SCHELLA und ANDRÉ MELZER — Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

In einem Plasma können im Labor dreidimensionale Kristalle aus mikrometergroßen Staubteilchen erzeugt werden. Da sich die Staubteilchen negativ aufladen, wirken zwischen ihnen große Coulombkräfte. Durch die hohe Kopplungsstärke und die geringe kinetische Energie der Staubpartikel bilden die Cluster ein stark gekoppeltes System. Ist das Staubsystem in einem radialsymmetrischen Potential eingefangen, bildet sich ein so genannter Yukawa Ball.

Man kann nun diesen Staubkristall zum Schmelzen bringen, indem man die kinetische Energie der Staubteilchen erhöht. Dies geschieht entweder durch Absenken des Drucks in der Entladung, was zu einer verringerten Reibung der Staubteilchen führt, durch Erhöhung der in das Plasma eingespeisten Leistung, oder durch Beschuss der Partikel mit einem Manipulationslaser.

In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse dieser drei Methoden, einen 3D-Staubcluster zum Schmelzen zu bringen, vorgestellt.

Die Arbeit wird gefördert durch den SFB-TR24, Projekt A3

P 8.9 Di 17:00 Foyer

Influence of thin film on the electrical properties of pulsed plasmas — ●BRANKICA SIKIMIĆ, ILIJA STEFANOVIĆ, and JÖRG WINTER — Institute for Experimental Physics II, Ruhr University Bochum, Germany

Dynamics of ion densities in pulsed complex plasmas have been previously studied by the analysis of DC bias voltage on the electrodes. The ion densities have been deduced from the change of the electrode DC bias voltage in the plasma afterglow measured by the external LC filter. Simultaneous measurements of electron density by microwave interferometry have been performed. In the plasmas that contain highly reactive gas such as acetylene, a thin film of hydrocarbon deposits on electrodes and walls of the reactor. The dust particles produced by acetylene polymerization can also be included in the thin film. It has been noticed that the growth of thin film on the electrodes influences the measured DC bias voltages and particle densities. The DC bias voltage decreases when the thickness of the thin film grows, since the positive ions current to the electrode is smaller. Still, change of DC electrode voltage increases, as well as the discharging time of the capacitance of LC filter. The electron density decay time in the plasma afterglow follows the change of capacitance discharging time in the same manner. In this work the impact of the thickness of the thin film on the diffusion of electrons and positive ions is discussed. Support/acknowledgment: DFG WI1700/3, Research Department *Plasmas with Complex Interactions*

P 8.10 Di 17:00 Foyer

Nanostaub in magnetisierten Plasmen — ●FRANKO GREINER, JAN CARSTENSEN und ALEXANDER PIEL — IEAP, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Deutschland

Das Wachstum von Nanopartikeln in einer Argon-Azetylen-Entladung bei kleinen ($B < 100$ mT) und mittleren Magnetfeldern ($B=100$ mT — 500 mT) wird in einer Parallel-Platten-Entladung untersucht. Für kleine Feldstärken zeigt sich die typische periodische Abfolge von Staubwachstum, Entleerung und erneutem Wachstum. Bei mittleren Feldstärken müssen besondere technische Vorkehrungen getroffen werden, um einen Einschluss der Staubteilchen zu erreichen. Zur Diagnostik des (staubfreien) Plasmas werden Langmuirsonden, zur Diagnostik der Nanopartikel werden Extinktionsmessungen und Mie-Ellipsometrie verwendet. Die Dynamik der Staubwolken wird mittels schneller Video-Kameras untersucht.

Diese Arbeit wurde gefördert im Rahmen des SFB-TR24, Projekt A2.

P 8.11 Di 17:00 Foyer

Staubefang vor einer Pixelelektrode in einer Hochfrequenzentladung — ●CHRISTIAN SCHMIDT, SONJA LEPPER, OLIVER ARP und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU Kiel, D-24098 Kiel

In einer Parallelplatten-HF-Entladung wird mit einer in der unteren Platte integrierten "Pixel"-Elektrode ein spärliches sekundäres Plasma erzeugt. Durch Anlegen einer positiven Gleichspannung wirkt das Pixel als zusätzliche Anode. Das sekundäre Plasma hat eine sphärische Leuchterscheinung mit einem Durchmesser von wenigen Millimetern. Zur Charakterisierung des Einschlussmechanismus werden Strom- und Spannungsmessungen der primären und der sekundären Entladung präsentiert. Oberhalb des Pixel gelingt es, kleine dreidimensionale Staubwolken einzufangen. Anhand von Simulationen mit dem SIGLO Code kann der Staubefang quantitativ nachvollzogen werden. Die Staubwolken werden mittels Scanning Video Microscopy (SVM) untersucht.

Gefördert durch SFB TR24/A2.

P 8.12 Di 17:00 Foyer

Ausgedehnte void-freie Staubwolken in einer Parallelplatten-HF-Entladung — ●CHRISTIAN SCHMIDT, OLIVER ARP und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU Kiel, D-24098 Kiel

Unsere Untersuchungen haben das Ziel, in einem Laborexperiment ausgedehnte Staubwolken ohne den zentralen staubfreien Bereich (void) zu erzeugen. In einer Parallelplatten-HF-Entladung wird durch einen Temperaturgradienten im Neutralgas eine thermophoretische Levitation des Staubes erzeugt, die zu ausgedehnten Staubwolken führt. Diese Staubwolken sind topologisch identisch mit denen unter Schwerelosigkeit auf Parabelflügen oder auf der Internationalen Raumstation (ISS) erzeugten Staubwolken. Durch eine systematische Variation der Entladungs- und Levitationsparameter konnten wir ein ausgedehntes Regime identifizieren, in dem void-freie ausgedehnte Staubwolken entstehen. Der Mechanismus, der zum Schließen des voids führt, konnte identifiziert werden als eine selbst-organisierte Änderung der HF-Entladung, die im void-freien Zustand die Staubwolke ringförmig umgibt. Hierbei kehrt sich die Ionenströmungsrichtung um, was durch die Ausbreitungsrichtung von Dichtewellen bewiesen wird.

Gefördert durch DLR 50WM0739 und SFB TR-24/A2.

P 8.13 Di 17:00 Foyer

Mikropartikeleinfang und -manipulation in der Plasmarandschicht — ●ALEXANDER WINTER, HORST MAURER, MAIK FRÖHLICH und HOLGER KERSTEN — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24098 Kiel

In einem komplexen Plasma befinden sich negativ geladene Mikropartikel in der Größe bis etwa $100\mu\text{m}$. Staub in einem Plasma kommt in der Natur häufig vor, wie z.B. bei den Ringen des Saturn oder Kometenschweif. Staubteilchen sind jedoch nicht immer im Plasma erwünscht, z.B. zerstören sie die empfindliche Struktur bei der Herstellung von Mikrochips.

Im vorgestellten Experiment werden Mikropartikel mit Hilfe eines Staubsdispensors (dust dropper) in ein HF-Plasma eingebracht, wo sie negativ aufgeladen werden. Aufgrund des Kräftegleichgewichtes schweben die geladenen Partikel in der Plasmarandschicht und ordnen sich in einem regelmäßigen Gitter an (Plasmakristall). Durch Beleuchtung mit einem Laser, dessen Strahl gefächert ist, können die Partikel sichtbar gemacht werden. Die Manipulation erfolgt durch einem leistungsstärkeren Laser. Der Laserstrahl wird pulsartig auf die Partikel im Plasma gerichtet, so dass diese eine Oszillation erfahren oder sogar aus dem Plasma herausgeschoben werden. Die Bewegungsmuster werden aufgezeichnet und im Zusammenhang mit den Plasmaparametern interpretiert.

P 8.14 Di 17:00 Foyer

Manipulation of the particle distribution via the Electrical Asymmetry Effect — ●EDMUND SCHÜNGEL, SHINYA IWASHITA, DIRK LUGGENHÖLSCHER, and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum

Recent investigations have shown that the symmetry of a capacitively coupled radio frequency discharge can be controlled by applying a fundamental frequency and its second harmonic with a fixed, but adjustable phase angle θ between the harmonics. In such electrically asymmetric discharges, the spatial potential profile changes with θ . Therefore, it is possible to manipulate the distribution of particles within the discharge by tuning the phase angle. We report first experimental results of this method using SiO_2 particles in the size range of

fifty nm up to several μm , which are inserted into an argon discharge operated at low pressures. Applying laser light, the distribution of the scattering of particles between the parallel electrodes is detected by an ICCD camera. Two basic manipulation principles are investigated: In the case of changing θ slowly, the particles are always observed in a

stationary state. On the contrary, a phase kick, e.g. $\Delta\theta = 90^\circ$, leads to a sudden change of the discharge symmetry and, correspondingly, of the potential profile. Thus, a temporal modulation of the particle distribution is observed.