

P 14: Poster: Komplexe und Staubige Plasmen

Zeit: Donnerstag 14:00–16:00

Raum: Poster EG

P 14.1 Do 14:00 Poster EG

Phasenaufgelöste optische Emissionsspektroskopie in staubdominierten RF-Plasmen — ●CARSTEN KILLER und ANDRÉ MELZER — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 17489 Greifswald

Mittels thermophoretischer Levitation können mikrometergroße Staubpartikel fast im gesamten Plasmavolumen einer kapazitiv gekoppelten Argon-RF-Entladung eingefangen werden. Dabei wird das Plasma durch die Anwesenheit der sich stark negativ aufladenden Staubteilchen beeinflusst. Ein wichtiger Effekt ist die Elektronenverarmung im Plasma, welche auch bei staubfreien Plasmen in stark elektronegativen Gasen (z.B. CF₄) auftritt und dort zu neuartigen Heiz-Moden (Drift-Ambipolar-Mode) führen kann. Mittels phasenaufgelöster optischer Emissionsspektroskopie können die Auswirkungen des Staubs auf die Lichtemission des Plasmas untersucht werden. Die Phasenauflösung kann sich dabei auf die typische RF-Periode (ca. 74 ns) oder dynamische Phänomene des Staubs (z.B. Staubbichtwellen) beziehen. Erste Messungen zeigen einen starken Einfluss des Staubs auf die Plasmaemission, der weit über aus 2D-Staubsystemen bekannte Effekte hinausgeht.

P 14.2 Do 14:00 Poster EG

Imaging-Mie-Ellipsometrie

— ●NILS KÖHLER¹, FRANKO GREINER¹, JAN CARSTENSEN¹, IRIS PILCH² und ALEXANDER PIEL¹ — ¹Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24098 Kiel, Germany — ²Plasma & Coatings Physics Division, IFM-Materials Physics, Linköping University, SE-581 83 Linköping, Sweden

Zur Untersuchung staubiger Plasmen aus Nanoteilchen wird häufig die von Gustav Mie entwickelte Theorie zur Streuung von Licht verwandt. Die daraus entwickelte Mie Ellipsometrie erlaubt die störungsfreie Bestimmung von Größe und Brechungsindex der Staubwolke in-situ und mit hoher zeitlicher Auflösung. Dabei wurde bisher das unter einem definierten Winkel gestreute Licht eines Laser mit einem Polarimeter analysiert. Dabei ist die gewonnene Information nur die eines Punktes in der ganzen Wolke. Wir haben diese Technik in der Imaging Mie Ellipsometrie (I-Mie) weiterentwickelt. Durch die Verwendung von Kameras und einem Streifenlaser ist es nun möglich 2 dimensionale Profile der Wolke zu erhalten. Hierfür finden sich zahlreiche Anwendungen insbesondere in dynamischen Systemen oder solchen mit unterschiedlichen Partikelpopulationen, z.B. Wachstums- oder Strömungsprozessen.

Diese Arbeit wurde gefördert durch den SFB-TR24 im Projekt A2.

P 14.3 Do 14:00 Poster EG

Scheranregung in finiten 3D Yukawa-Clustern — ●MATTHIAS MULSOW, ANDRÉ SCHELLA und ANDRÉ MELZER — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 17487 Greifswald Greifswald

Mikrometergroße Partikel können in Niedertemperaturplasmen geordnete Strukturen ausbilden. Innerhalb eines dreidimensionalen Empfangspotentials entstehen stark gekoppelte, finite Systeme, die sogenannten Yukawa-Cluster. Diese weisen kristalline und fluide Eigenschaften auf, für deren Verständnis eine genaue Untersuchung des viskoelastischen Verhaltens unabdingbar ist.

Das Poster befasst sich mit der gezielten Manipulation von Yukawa-Clustern durch Laserfelder und elektrische Felder. Ziel ist es Rotationen, Torsionen und Translationen zu erzeugen, um daran Verscherung und andere elastische Eigenschaften zu untersuchen. Insbesondere die Messung von Beschleunigungs- und Bremsvorgängen könnte einen neuen Zugang zum Verständnis der viskosen Eigenschaften von dreidimensionalen Clustern bieten.

P 14.4 Do 14:00 Poster EG

Control of distribution and transport of μm -sized dust particles in a CCRF discharge via the Electrical Asymmetry Effect — ●SHINYA IWASHITA¹, EDMUND SCHÜNGEL¹, JULIAN SCHULZE¹, PETER HARTMANN², ZOLTÁN DONKÓ², GIICHIRO UCHIDA³, KAZUNORI KOGA³, MASAHARU SHIRATANI³, and UWE CZARNETZKI¹ — ¹Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr University Bochum, Germany — ²Institute for Solid State Physics and Optics, Wigner Research Centre for Physics, Hungarian Academy of Sciences, Hungary — ³Department

of Electronics, Kyushu University, Japan

We have developed a novel method to control the transport of dust particles in capacitively coupled plasmas via the Electrical Asymmetry Effect (EAE). We report the experimental results of this method using SiO₂ particles of 1.5 μm in size, which are inserted into an argon discharge operated at low pressures. Initially dust particles tend to be confined at the sheath edge near the bottom electrode, and the change of their equilibrium position due to the continuous (adiabatic) phase shift can be well understood by the electric field profile obtained from a simple analytical model. By applying the abrupt change of phase angle from 90° to 0° dust particles are transported between both sheaths through the plasma bulk and a part of them can even be trapped around the edge of the opposing (upper) sheath. The mechanisms of the dust particle transport realized experimentally are revealed by a Particle-in-Cell simulation and a model.

P 14.5 Do 14:00 Poster EG

Partikelketten in staubigen Plasmen mit Ionenströmung — ●ALEXANDER PIEL — Christian-Albrechts-Universität, Kiel

Die Coulombstreuung von positiven Ionen an negativ geladenen Mikropartikeln führt zur Ladungsanhäufung im Windschatten des Partikels und wird als Ursache für die netto anziehenden Kräfte zwischen gleich geladenen Partikeln verstanden, die zur Bildung von Partikelketten führt. Diese Vorstellung ist für Ionenströmungen mit mehr als Bohm-Geschwindigkeit durch Experimente, Simulationen und analytische Modelle gut gesichert. Experimente bei kleinen Ionengeschwindigkeiten [1] zeigen ebenfalls Kettenbildung während Simulationen [2,3] ein Verschwinden der Anziehungskraft vorhersagen. Der aktuelle Stand dieses ungelösten Problems wird vorgestellt und mögliche Lösungsansätze werden diskutiert.

[1] O. Arp, J. Goree, A. Piel, Phys. Rev. E 85, 046409 (2012) [2] A. Piel, Phys. Plasmas 18, 073704 (2011) [3] I. H. Hutchinson, Phys. Rev. E 85, 066409 (2012)

P 14.6 Do 14:00 Poster EG

Mie Scattering by a Charged Dielectric Particle – Proposal of a Novel Plasma Probe — RAFAEL LESLIE HEINISCH, ●FRANZ XAVER BRONOLD, and HOLGER FEHSKE — Institut für Physik, Universität Greifswald

We study the scattering of light by a negatively charged dielectric particle. Surplus electrons affect the polarisability of the particle by their phonon-limited conductivity, either in a surface layer (negative electron affinity) or the conduction band (positive electron affinity). For particles allowing for anomalous light scattering, for instance MgO, LiF or Al₂O₃, we show that surplus electrons shift an extinction resonance in the infrared. While Mie scattering is routinely used as a particle size diagnostic, the particle charge has not yet been determined from the Mie signal. For dusty plasmas an optical measurement of it would be very attractive because established methods for measuring the particle charge require the plasma parameters that are not precisely known whereas Mie scattering does not. Moreover particles showing the effect could be used as minimally invasive electric probes. Determining their charge from Mie scattering and the forces acting on them by conventional means would provide a way to extract the plasma parameters locally.

P 14.7 Do 14:00 Poster EG

Staubaufladung und Abschirmung in der Randschicht eines stark magnetisierten Plasmas — ●BENJAMIN TADSEN, HENDRIK JUNG, SEBASTIAN GROTH, JAN CARSTENSEN, FRANKO GREINER und ALEXANDER PIEL — IEAP, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, D-24098 Germany

Die Aufladung von Partikeln in der Plasmarandschicht in Gegenwart starker Magnetfelder ($B \approx 1$ T) ist weitgehend unverstanden und erfordert neue diagnostische Methoden. In diesem Beitrag liegt der Fokus auf rotierenden Zwei-Partikel-Clustern in einer 2D-harmonischen Falle senkrecht zum Magnetfeld. Durch das Variieren der Zentrifugalkräfte mittels einer rotierenden Elektrode und der damit einhergehenden Änderung des Interpartikelabstandes können Rückschlüsse auf die Partikelaufladung und Abschirmung im Magnetfeld gezogen werden. Es zeigt sich, dass die Partikelladung in unserem Experiment gegenüber dem unmagnetisiertem Fall ansteigt und die Abschirmung schwächer wird.

Weiterhin analysieren wir die Center-of-Mass Mode, um die Annahme eines harmonischen Einschlusses im Magnetfeld abzusichern. Für weitergehende Untersuchungen werden wir uns auf eine Bestimmung der Plasmaparameter konzentrieren, um zu klären, ob die beobachteten Effekte auf eine Änderung der Plasmaparameter oder die Magnetisierung zurückzuführen sind.

Diese Arbeit wurde gefördert durch den SFB-TR24 im Projekt A2

P 14.8 Do 14:00 Poster EG

Phase Transitions in Spherical Dust Clusters: Analysis of Two- and Three-Particle Correlations — ●HAUKE THOMSEN, PATRICK LUDWIG, and MICHAEL BONITZ — ITAP, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 Kiel

In recent years the phase transition-like crossover from a crystal to a liquid-like state has attracted high interest in particular in spherically confined dusty plasmas, e.g. [1]. While the radial melting is now well understood, here we concentrate on the loss of intra-shell order. In order to extract the relevant information from the many particle densities $\rho_2(\vec{r}_1, \vec{r}_2)$ and $\rho_3(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3)$, we introduce generalized coordinates according to the system's symmetry. By suitable integration over the invariant coordinates, we obtain the Center-Two-Particle (C2P) and Triple-Correlation-Function (TCF).

The C2P function $g_2(r_I, r_{II}, \vartheta)$ depends on the radial coordinates of two particles and the angle between those with respect to the trap center [2]. It resolves both, intra-shell and inter-shell correlations. The TCF $h_3(b_I, b_{II}, \varphi)$, as a **three**-particle quantity depends on two pair distances and the angle between the two pair connections.

The analysis of angular correlations in the outer shell of Coulomb clusters reveals a striking similarity with the properties of extended two dimensional systems including indications for Kosterlitz-Thouless behavior, e.g. [3].

- [1] J. Böning et al., Phys. Rev. Lett. **100**, 113401 (2008)
- [2] P. Ludwig et al., Plasma Phys. Control. Fusion **52**, 124013 (2010)
- [3] P. Ludwig et al., Contrib. Plasma Phys. **47**, 335 (2007)

P 14.9 Do 14:00 Poster EG

Heat Transport in Confined 2D Dust Clusters — GIEDRIUS KUDELIS¹, ●HAUKE THOMSEN², and MICHAEL BONITZ² — ¹University of Birmingham, United Kingdom — ²ITAP, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 Kiel

Dusty plasmas are an excellent laboratory for studying many body physics [1]. Selective control over the kinetic temperature of the dust particle is required in order to investigate phenomena such as melting and heat transport. This control is achieved, e.g. by acceleration of single dust grains by the radiation pressure of moving laser spots [2]. We can simulate these experiments by means of Langevin Molecular Dynamics [3].

If the power input is confined to the central region, one can investigate the heat transport through the dust cluster which is recently of high intent [4]. Here, we present theoretical results. The radial temperature profiles from simulations with different heating powers are fit by modified Bessel functions as solution of the heat transport equation including losses to the neutral gas. The thermal conductivity k determined from the fit is found to be proportional to the particle density but independent of the power input. Surprisingly, the thermal conductivity appears to be unaffected by the cluster's transition from a solid-like to a liquid-like state.

- [1] M. Bonitz et al., Rep. Prog. Phys. **73**, 066501 (2010)
- [2] J. Schablinski et al., Phys. Plasmas **19**, 013705 (2012)
- [3] H. Thomsen et al., Phys. Plasmas **19**, 023701 (2012)
- [4] Y. Feng et al., Phys. Rev. E **86**, 056403 (2012)

P 14.10 Do 14:00 Poster EG

Strömungsvorgänge in magnetisierten komplexen Plasmen — ●JOCHEN WILMS, TORBEN REICHSTEIN und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU Kiel

In magnetisierten anodischen Plasmen ist es möglich torusförmige Staubwolken einzufangen, die eine komplexe Dynamik aufweisen. Angetrieben von der Hallkomponente des Ionenwindes strömt der Staub entlang einer Kreisbahn um einen staubfreien Bereich (Void) [1]. Hierbei sind insbesondere die Untersuchung des Einschlusspotentials und die Betrachtung der Partikelbewegungen von großem Interesse. Basierend auf experimentellen Untersuchungen in der Plasmakammer MATILDA II wurde ein hierarchisches Vielteilchenmodell entwickelt, das - in Molekulardynamik-Simulationen (MD) implementiert - eine gute Beschreibung der bisherigen Beobachtungen ermöglicht. Darüber hinaus wurden in diesen 3D-Simulationen Effekte entdeckt, die

im Realexperiment noch nicht beobachtet wurden, wie beispielsweise die Ausbildung einer Schalenstruktur, eines stationären Wirbels, von Kelvin-Helmholtz Instabilitäten oder auch das spontane Auftreten eines Schocks [2,3]. Dieser Beitrag präsentiert erste Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen der vorhergesagten Effekte.

Gefördert durch SFB-TR24/A2.

- [1] I. Pilch et al., Phys. Plasmas **15**, 103706 (2008)
- [2] T. Reichstein et al., Phys. Plasmas **18**, 083705 (2011)
- [3] T. Reichstein et al., Contrib. Plasma Phys. **52**, 813-818 (2012)

P 14.11 Do 14:00 Poster EG

Räumliche Frequenzverteilung von Staubbichtwellen unter Schwerelosigkeit — ●TIM BOCKWOLDT, KRISTOFFER OLE MENZEL und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU Kiel, D-24098

Staubbichtwellen (DDWs) entstehen in komplexen Plasmen bei ausreichend hoher Staubbichte und niedrigem Neutralgasdruck. In einer Parallelplatten-Hochfrequenzentladung sedimentiert die Staubwolke unter Einfluss der Gravitation in die untere Randschicht des Plasmas, sodass ein ausgedehntes, dreidimensionales Wellenfeld erst durch Kompensation des Einflusses erzeugt werden kann. Solche Systeme sind am besten unter Schwerelosigkeit zu beobachten, zum Beispiel auf Parabelflügen. Experimente unter diesen Bedingungen zeigten die Bildung von Frequenzclustern in Staubbichtwellen. Dies sind Bereiche innerhalb derer die Frequenz der DDWs annähernd räumlich konstant ist, zum angrenzenden Bereich aber einen Frequenzsprung aufweisen [1]. Die Frequenzen benachbarter Cluster können nicht durch kleine ganzzahlige Verhältnisse beschrieben werden - die Frequenzen sind *inkommensurabel* zueinander. Im Gegensatz dazu zeigen neuere Experimente, dass bei Änderung der Entladungparameter andere räumliche Frequenzverteilungen auftreten können. Dabei treten kommensurable Frequenzen auf, die sich auch in der Dynamik des Plasmaleuchtens widerspiegeln. Die Modulationen des Plasmas sind optisch und in den elektrischen Größen messbar. In diesem Beitrag sollen die neuen Ergebnisse vorgestellt und die Wechselwirkung zwischen Staub und Plasma berücksichtigt werden. Gefördert durch das DLR unter 50WM1139.

- [1] K. O. Menzel et al., Phys. Rev. Lett., **104**, 235002 (2010)

P 14.12 Do 14:00 Poster EG

Untersuchung von Nanopartikeln bei Schichtabscheidungsprozessen — ●TORBEN SCHLEBROWSKI, HENDRIK BAHRE, MARC BÖKE und JÖRG WINTER — Institut für Experimentalphysik II, Ruhr Universität Bochum, Deutschland

Im Rahmen von Schichtabscheidungen aus reaktiven Plasmen, wie zum Beispiel bei der Barrierebeschichtung von Kunststofffilmen, entstehen häufig Nanopartikel welche sowohl die Plasmaparameter ändern als auch in die Schichten eingebaut werden können. Gegenstand unserer Untersuchungen sind Barrierschichten, in die zum einem gezielt Nanopartikel eingebaut werden als auch der Vergleich mit einer Schicht, in der sich keine Partikel befinden. Zur untersuchung dieser Partikel wurde ein 3D Scanning System bestehend aus einem Galvanoscanner und einer schnellen, hoch-sensitiven PCO-Kamera konstruiert und qualifiziert, mit dem die Staubbildung als auch die Bewegung der Partikel in reaktiven Plasmen beobachtet werden können.

Die Vorteile dieses Systems sind seine hohe Zeit- und Ortsauflösung sowie eine hervorragende Sensitivität für die Detektion sehr kleiner Partikel (< 50 nm). Zur Überprüfung der Sensitivität in ersten Untersuchungen wurde durch eine größenmessung der in der Schicht enthaltenen Partikel mittels eines SEMs die minimal aufspürbare Partikelgröße ermittelt. Ausserdem wurde der Existenzbereich der Partikelbildung (räumliche Verteilung/Plasmaparameter) in einer Hochleistungs-ICP-Entladung untersucht.

Dieses Projekt wird im Rahmen des SFB-TR87 von der DFG gefördert.

P 14.13 Do 14:00 Poster EG

Dust particle wakes in flowing plasmas: one-to-one comparison of linear-response theory with particle-in-cell simulations — ●PATRICK LUDWIG¹, MICHAEL BONITZ¹, and IAN H. HUTCHINSON² — ¹Inst. für Theo. Phys. und Astrophysik, CAU, Kiel — ²MIT, Cambridge, Massachusetts, USA

Extending the controversial discussion on the existence of subsonic plasma wakes in a stationary flowing plasma [1,2], we present results of a high quality one-to-one comparison of the wake potentials computed by (i) linearized-response kinetic theory, and (ii) first principle particle-in-cell simulations [3]. The comparison comprises a broad range of Mach numbers, different electron-to-ion temperature ratios, and applies to collisionless and collisional plasmas as well.

[1] I. H. Hutchinson, Phys. Rev. E **85**, 066409 (2012) | **85**, 804 (2012)
[2] O. Arp, J. Goree, and A. Piel, Phys. Rev. E **85** 046409 (2012)
[3] D. Block, J. Carstensen, P. Ludwig et al., Contrib. Plasma Phys.