

## P 7: Theorie/Modellierung I

Zeit: Dienstag 13:15–17:05

Raum: HS Biochemie (groß)

P 7.1 Di 13:15 HS Biochemie (groß)

**Electron and ion acceleration in laser-illuminated droplets** — ●TATIANA LISEYKINA<sup>1,2</sup> and DIETER BAUER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg, Germany — <sup>2</sup>Institute of Computational Technologies SD RAS, Novosibirsk, Russia

The results of electromagnetic 3D relativistic PIC simulations of the interaction of high intensity femtosecond laser pulses with He droplets are presented. Droplets combine laser absorption features of clusters with those known from laser-solid interaction. Like clusters, droplets display finite-size and geometry effects. However, droplets sustain higher peak field strengths without rapid disintegration. Moreover, as the droplet diameter approaches or even exceeds the skin depth, pulse propagation effects can no longer be neglected. As a consequence new effects are observed, such as simultaneous s and p polarization-like interaction at the droplet surface and energetic and bunched electron jets of peculiar angular distributions.

P 7.2 Di 13:30 HS Biochemie (groß)

**Theorie der Thomsonstreuung in warmer und dichter Materie** — ●ROBERT THIELE, CARSTEN FORTMANN, THOMAS BORNATH, RONALD REDMER, HEIDI REINHOLZ, GERD RÖPKE, VOLKER SCHWARZ und AUGUST WIERLING — Institut für Physik, Universität Rostock, 18051 Rostock, Deutschland

Kollektive Thomsonstreuung mit kurzweiliger Röntgen- oder VUV-Strahlung ist eine präzise Methode zur Bestimmung der freien Elektronendichte in dichten Plasmen. Dafür notwendig ist die Untersuchung der Plasmonen-Position im Streusignal. Die Elektronen-Temperatur kann über das Verhältnis der Maxima im Elektronensignal ermittelt werden. Wir stellen einen konsistenten Zugang zur Berechnung des Streusignals jenseits des RPA auf Basis der Born-Mermin-Näherung vor, wodurch kollektive Effekte wie dynamische Abschirmung und Stöße berücksichtigt werden. Die theoretische Dichtebestimmung wird mit der bekannten Dispersionsrelation von Gross-Bohm verglichen und eine Verbesserung, welche über den klassischen Fall hinausgeht, vorgeschlagen.

P 7.3 Di 13:45 HS Biochemie (groß)

**Modellierung von Strahlungstransportphänomenen in zylindrischen Volumen endlicher Dimension** — ●SERGEY GORCHAKOV<sup>1</sup>, YURI GOLUBOVSKI<sup>2</sup>, DETLEF LOFFHAGEN<sup>1</sup>, ALEXANDER TIMOFEEV<sup>2</sup> und DIRK UHRLANDT<sup>1</sup> — <sup>1</sup>INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald, Germany — <sup>2</sup>St. Petersburg State University, Ulyanovskaya 1, 198504 St. Petersburg, Russia

Strahlungstransportphänomene beeinflussen sowohl mikroskopische (Besetzungsdichten der angeregten Spezies) als auch makroskopische (Strahlungsleistung und Lichtausbeute der Plasmaquellen) Eigenschaften der Gasentladungen. Die theoretische Beschreibung des Strahlungstransportes in Niedertemperaturplasmen basiert auf der Lösung der Integrodifferentialgleichung von Holstein und Biberian. Aufgrund der Komplexität und starken Nichtlinearität der Gleichung existieren numerische Lösungsverfahren nur für Grenzfälle unter der Annahme einer unendlichen Ausdehnung des Plasmas in einer Dimension, wie z.B. planparallele Anordnung oder Zylinder unendlicher Länge. Der Beitrag gibt einen Überblick über Methoden zur Beschreibung des Strahlungstransports in zweidimensionaler Geometrie mit endlicher Dimension. Mit Hilfe dieser Methoden werden die Unterschiede zwischen Teilchen- und Strahlungstransport demonstriert. Die Untersuchungen erfolgten für typische Formen der Anregungsquellen in Niedertemperaturplasmen, wie kontrahierte Anregung im Zentrum der Entladung oder Anregung an der Peripherie (Skin-Effekt). Ergebnisse der raum-zeitlichen Entwicklung der Dichten der angeregten Atome werden diskutiert.

P 7.4 Di 14:00 HS Biochemie (groß)

**Das Ion-Feature in der Röntgen-Thomson-Streuung in dichten, partiell ionisierten Mehrkomponentenplasmen** — ●THOMAS BORNATH, CARSTEN FORTMANN, BASTIAN HOLST, WOLFDIETRICH KRAEFT, RONALD REDMER, VOLKER SCHWARZ und ROBERT THIELE — Institut für Physik, Universität Rostock

In der theoretischen Beschreibung der Thomson-Streuung energetischer Photonen in warmer dichter Materie spielt der dynamische Strukturfaktor der Elektronen eine zentrale Rolle. Die Beiträge der Elektronen zum Streusignal sowohl im nichtkollektiven Regime (Compton-

Streuung) als auch kollektiven Regime (Plasmonen) [1] sind gut verstanden. Sowohl Dichte als auch Temperatur des Plasmas konnten mit hoher Genauigkeit bestimmt werden.

Die Thomson-Streuexperimente an warmer dichter Materie ermöglichen es aber auch, verschiedene theoretische Modelle für den ionischen Beitrag zum Thomson-Streusignal zu überprüfen. Auf der Grundlage der Chihara-Formel [2] wurden insbesondere für den statischen Ion-Ion-Strukturfaktor bisher stark unterschiedliche theoretische Ergebnisse kontrovers diskutiert. Wir stellen einen quantenstatistischen Zugang vor und diskutieren die Anwendbarkeit der Chihara-Formel. Zur Berechnung des statischen Ion-Ion-Strukturfaktors werden zwei komplementäre Methoden benutzt: einerseits HNC-Rechnungen mit effektiven Quantenpotentialen und andererseits Quanten-Molekulardynamik-Rechnungen.

[1] S. H. Glenzer et al., *Physics Review Letters* 98, 065002 (2007).

[2] J. Chihara, *J. Phys.: Condens. Matter* 12, 231 (2000).

P 7.5 Di 14:15 HS Biochemie (groß)

**Opacity effects in magnetic fusion plasmas** — ●JOËL ROSATO<sup>1,2</sup>, DETLEV REITER<sup>1</sup>, and VLADISLAV KOTOV<sup>1</sup> — <sup>1</sup>IEF - Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich GmbH, TEC Euratom Association, D-52425 Jülich, Germany — <sup>2</sup>PIIM, UMR 6633 Université de Provence / CNRS, Centre de St-Jérôme, F-13397 Marseille Cedex 20, France

In about 10 years from now magnetic fusion will provide the first controlled thermonuclear burning flame on earth (in the ITER tokamak). It has only recently been fully recognized that hydrogen line radiation absorption effects are important in magnetic fusion experiments, at least at the densest/largest plasma conditions, e.g. in Alcator C-Mod (where Ne currently attains 1015 cm<sup>-3</sup>) or in ITER [1]. As a consequence, the corresponding photoexcitation may significantly affect the ionization-recombination balance of the edge plasma. The significant impact of radiation trapping on divertor plasma dynamics for ITER has clearly been demonstrated by both simple mean free path estimates and by non-LTE-Monte-Carlo calculations of the gas- and photon transport carried out with the B2-EIRENE code. Quantitative design predictions as well as interpretation of future spectroscopy in the ITER divertor will only be possible with proper accounting for the opacity effects. In this presentation, we provide the current status of the line radiation transport modeling with B2-EIRENE, including spectral line shape (Stark-Zeeman-Doppler) and ionization-recombination balance calculations.

[1] "Progress in the ITER Physics Basis", *Nucl. Fusion* 47 (special issue, 2007).

P 7.6 Di 14:30 HS Biochemie (groß)

**Microturbulence in Astrophysical and Fusion Plasmas** — ●MORITZ J. PUESCHEL<sup>1</sup>, THILO HAUFF<sup>1</sup>, FRANK JENKO<sup>1</sup>, and HARALD LESCH<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, D-85748 Garching, Germany — <sup>2</sup>University Observatory Munich, D-81679 Munich, Germany

Anomalous (turbulent) transport is the dominant heat transfer causing process in fusion core plasmas. Here, (gyro-)kinetic simulations have yielded good descriptions of multiple features of turbulence. This framework can be applied to astrophysical scales, as well, with no or few modifications. In this work, we employ the gyrokinetic electromagnetic code GENE to calculate turbulent heat fluxes due to plasma microturbulence. These results are then applied to the cooling flow problem where magnetic fields are believed to impair heat exchange between regions of different temperature; microturbulent transport in these systems can exceed conductive values significantly. On the base of gyrokinetic fusion plasma investigations, conclusions are drawn concerning different parameter regimes. In a separate investigation, the behavior and effects of energetic particles in turbulent electromagnetic fields are studied, applying fusion plasma knowledge to the interaction of cosmic particles with the solar wind. The movement of solar and cosmic particles through the solar system is not yet fully understood, and turbulent interactions might play an important role in cross-field transport.

P 7.7 Di 14:45 HS Biochemie (groß)

**3D Monte Carlo simulations of edge transport in RMP scenarios at DIII-D** — ●HEINKE FRERICHS<sup>1</sup>, OLIVER SCHMITZ<sup>2</sup>,

TODD EVANS<sup>3</sup>, YUEHE FENG<sup>4</sup>, and DETLEV REITER<sup>2</sup> — <sup>1</sup>German Research Schoolf for Simulation Sciences, Jülich — <sup>2</sup>Institut für Energieforschung - Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich — <sup>3</sup>General Atomics, San Diego, California, USA — <sup>4</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Greifswald

Resonant magnetic perturbations (RMPs) are a candidate for ELM control in ITER. Modeling of the perturbed magnetic field structure during RMP application in the vacuum approach suggests that an open chaotic system in the plasma edge layer is induced, leading to a complex 3D magnetic field structure.

To investigate the resulting impact on plasma and neutral gas transport, the 3D edge transport code EMC3-EIRENE has been extended to poloidal divertor geometry. This code extension allows for the first time numerical transport analysis of ELM control experiments at DIII-D in a self consistent fluid treatment of particle, parallel momentum and energy transport, as well as kinetic recycling neutrals.

A significant 3D modulation of electron density  $n_e$  and temperature  $T_e$  is predicted, reflecting the underlying perturbed magnetic topology. The analysis of striation pattern in particle and heat target loads can give - in comparisons to experimental observations - an upper limit for anomalous cross-field transport. Advancements of the cross-field transport model for simulations of H-mode plasmas will be discussed, as well as an ad hoc kinetic correction for parallel electron heat flux.

P 7.8 Di 15:00 HS Biochemie (groß)

**Reynolds stress drive of zonal flows** — ●NIELS GUERTLER and KLAUS HALLATSCHKEK — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, D-85748 Garching b. M.

Numerical self-consistent ITG-turbulence studies show a Reynolds stress driven zonal flow pattern with a robust radial scale length, different from the one with maximal initial growth rate. Modified states with different initial flow profiles always decay into the self-consistent zonal flow pattern. Wavekinetic theories quantitatively reproduce the stresses based on the observed flows in the simulations albeit fail to predict the self-consistent flow pattern itself. We use synthetic flows to validate and parameterize the analytic nonlinear relationship between stresses on one side and flows and turbulence level on the other. The objective of the fine-tuned nonlinear stress-flow response functional is to predict the time development and long term behavior of zonal flows including the experimentally observed turbulence bifurcations, with obvious implications for tokamak optimization.

P 7.9 Di 15:15 HS Biochemie (groß)

**Radial propagation of geodesic acoustic modes** — ●ROBERT HAGER and KLAUS HALLATSCHKEK — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching, Deutschland

The GAM group velocity is estimated from the radial free energy flux and the total free energy applying gyrokinetic and two-fluid theory. This method is much more robust than analytical approaches and can be generalized to include additional physics, e.g. magnetic geometry. The results have been verified with the gyrokinetic code GYRO, the two-fluid code NLET, and analytical calculations. GAMs travel either radially inward or outward depending on the ratio of ion to electron temperature and their gradients. Generally, GAMs propagate much slower than the turbulent motion. Thus, it is unlikely that GAMs are triggered far from the point of their detection, which is crucial to bear in mind concerning the windows of GAM activity observed experimentally and the difference between linear and experimental GAM frequencies. Resonances with the drift velocity restrict GAMs to low radial wave numbers  $k \sim \rho_i$ , which causes Landau damping and the mentioned low propagation velocity. Fast GAMs could arise in the absence of resonances or if the GAM energy is nonlinearly advected by turbulence.

## 20 min. break

P 7.10 Di 15:50 HS Biochemie (groß)

**Warum die LMEA anstelle der LFA Verwendung finden sollte** — ●GORDON K. GRUBERT, MARKUS M. BECKER und DETLEF LOFFHAGEN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald, Germany

Für eine adäquate theoretische Beschreibung von Entladungspulsen ist es erforderlich, das Elektronensubsystem hinreichend gut zu charakterisieren, da dieses maßgeblich die Eigenschaften der gesamten Entladung bestimmt. Aufgrund des hohen numerischen Aufwands werden oft hydrodynamische Zugänge gewählt, bei denen die Ratenko-

effizienten der Elektronenstoßprozesse sowie die Transportgrößen der Elektronen approximiert werden. Hierfür wird häufig die Lokale-Feld-Näherung (LFA) verwendet, bei der die stationäre, räumlich homogene Boltzmann-Gleichung der Elektronen in Abhängigkeit von der reduzierten elektrischen Feldstärke gelöst wird, um die elektronischen Größen zu bestimmen. Alternativ dazu findet die Lokale-Mittlere-Energie-Näherung (LMEA) breite Anwendung, bei der man im hydrodynamischen Zugang zusätzlich die Energiebilanz der Elektronen löst. Die elektronischen Größen werden hier als Funktion der mittleren Energie der Elektronen aus der zuvor genannten Lösung der kinetischen Gleichung ermittelt. Dieser Beitrag zeigt auf der Basis elektronenkinetischer Betrachtungen, wie sich die beiden Näherungen insbesondere auf die Beweglichkeit und den Diffusionskoeffizienten der Elektronen auswirken. Zudem wird am Beispiel einer hydrodynamischen Beschreibung von RF-Entladungen in Argon und Sauerstoff der Vorzug der LMEA gegenüber der LFA demonstriert.

P 7.11 Di 16:05 HS Biochemie (groß)

**Modellierung einer Argonhochdruckglimmentladung mittels FEM** — ●MARKUS M. BECKER und DETLEF LOFFHAGEN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald, Germany

Zur Beschreibung des raum- und zeitabhängigen Verhaltens von Argonentladungen wurde ein Fluid-Poisson-Modell adaptiert, das die Teilchenbilanzgleichungen für Elektronen,  $\text{Ar}^+$  und  $\text{Ar}_2^+$ -Ionen sowie 12 Neutralgaszustände des atomaren und molekularen Argons, die Elektronenenergiebilanzgleichung und die Poisson-Gleichung für das elektrische Potenzial umfasst. Die Teilchen- und Energieströme werden dabei mit Hilfe der Drift-Diffusionsnäherung approximiert und die Transport- und Ratenkoeffizienten der Elektronen werden in Abhängigkeit von der mittleren Elektronenenergie bestimmt. Das numerische Lösen des gekoppelten Gleichungssystems erfolgt für ein räumlich eindimensionales Plasma unter Hinzunahme geeigneter Anfangs- und Randbedingungen mittels einer stabilisierten Finite-Elemente-Methode (FEM), die sich sowohl für die Modellierung von Glimmentladungen im Niederdruck- als auch im Hochdruckbereich als geeignet erwiesen hat. Im Rahmen dieses Beitrags wird die Stabilisierungstechnik erläutert und das Zündverhalten einer Hochdruckglimmentladung in Argon zwischen ebenen Elektroden diskutiert.

P 7.12 Di 16:20 HS Biochemie (groß)

**Fluid modeling of the constriction of the dc column plasma in argon** — ●MYKHAYLO GNYBIDA, DETLEF LOFFHAGEN, and DIRK UHRLANDT — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald, Germany

The glow-to-arc transition of the positive column of a dc discharge in argon in the course of the constriction has been investigated on basis of a self-consistent fluid model. The model consists of the coupled solution of the time-dependent balance equations for the charge carrier and excited species densities, the mean electron energy and the gas temperature in the plasma, and a current balance determining the axial electric field. Assuming an axially and azimuthally homogeneous plasma in cylindrical geometry, the radial structure is taken into account and Poisson's equation for the space-charge potential is solved in addition. The electron transport and rate coefficients are adapted as functions of the electron mean energy, the gas temperature and the ionization degree and they have been determined from solving the steady-state, spatially homogeneous electron Boltzmann equation including electron-electron collisions. Investigations have been performed for currents from 0.6 to 70 mA and pressures from 100 to 500 Torr. The predicted voltage-current characteristics and electron density profiles are used to identify the transition from glow to constricted mode of the argon discharge. Good agreement with experimental data and results of other models has been obtained.

P 7.13 Di 16:35 HS Biochemie (groß)

**Properties of electrode-arc interface models for vacuum-breakers** — ●OLIVER FRITZ<sup>1</sup>, KAI HENCKEN<sup>1</sup>, THIERRY DELACHAUX<sup>1</sup>, and DMITRY L. SHMELEV<sup>2</sup> — <sup>1</sup>ABB Switzerland Ltd, Corporate Research, CH-5405 Baden-Dättwil, Switzerland — <sup>2</sup>Institute of Electrophysics, Russian Academy of Science, RUS-620016 Ekaterimburg, Russia

The authors present structural properties and numerical results of their model for the arc-electrode interfaces in high-current vacuum-breaker configurations. The model treats electromagnetic quantities, particle, and energy flows in a self-consistent way. It assumes the existence of an extended area on each of the two electrodes, from which the necessary electrical current, electrons and atoms for sustaining the plasma arc

are injected.

Ranges of validity, sensitivity to material property parameters, and representative numerical results derived from the model are discussed and compared with experimentally observed phenomena. The authors highlight the particular usefulness of the model for predicting the arc motion under the influence of a transversal magnetic field. In addition, the spatial and temporal heat distribution and estimates on material losses in the electrode system are shown.

P 7.14 Di 16:50 HS Biochemie (groß)

**Hybridmodellierung einer He-Xe-Niederdrucklampenentladung** — •DETLEF LOFFHAGEN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald

Das zeit- und ortabhängige Verhalten des Säulenplasmas einer mit Wechselstrom betriebenen Glimmentladung in einem Gemisch aus 98% Helium und 2% Xenon wird mittels Hybrid-Modellierung analysiert. Die theoretische Beschreibung des zylindrischen, axial homogenen Plasmas basiert auf der gekoppelten Lösung von hydrodynamischen

Gleichungen für die Ladungsträger und Neutralgaskomponenten, Gleichungen für den externen elektrischen Schaltkreis zur Bestimmung des axialen elektrischen Feldes, der Poissongleichung für das radiale Raumladungsfeld und der zeitabhängigen, radial inhomogenen Elektronen-Boltzmann-Gleichung zur Bestimmung der Transport- und Ratenkoeffizienten der Elektronen. Ergebnisse des periodischen Verhaltens des Plasmas in einem Entladungsrohr mit einem Durchmesser von 18 mm bei einem Gasdruck von 2.5 Torr werden diskutiert. Die Teilchen- und Stromdichten der verschiedenen Komponenten des Plasmas, die Feldstärkekomponenten und die Energieverteilung der Elektronen weisen ausgeprägte strukturelle Änderungen auf. Insbesondere wechselt die Energiestromdichte der Elektronen zwischen einem rein nach außen und einem teilweise einwärts und auswärts gerichteten Strom während der periodischen Entwicklung. Der Vergleich mit experimentellen Daten von Strom und Spannung sowie von angeregten Zuständen des Xenons zeigt gute Übereinstimmung zwischen den berechneten und gemessenen Ergebnissen.