

“Soft Matter” unter Schwerelosigkeit

Markus H. Thoma

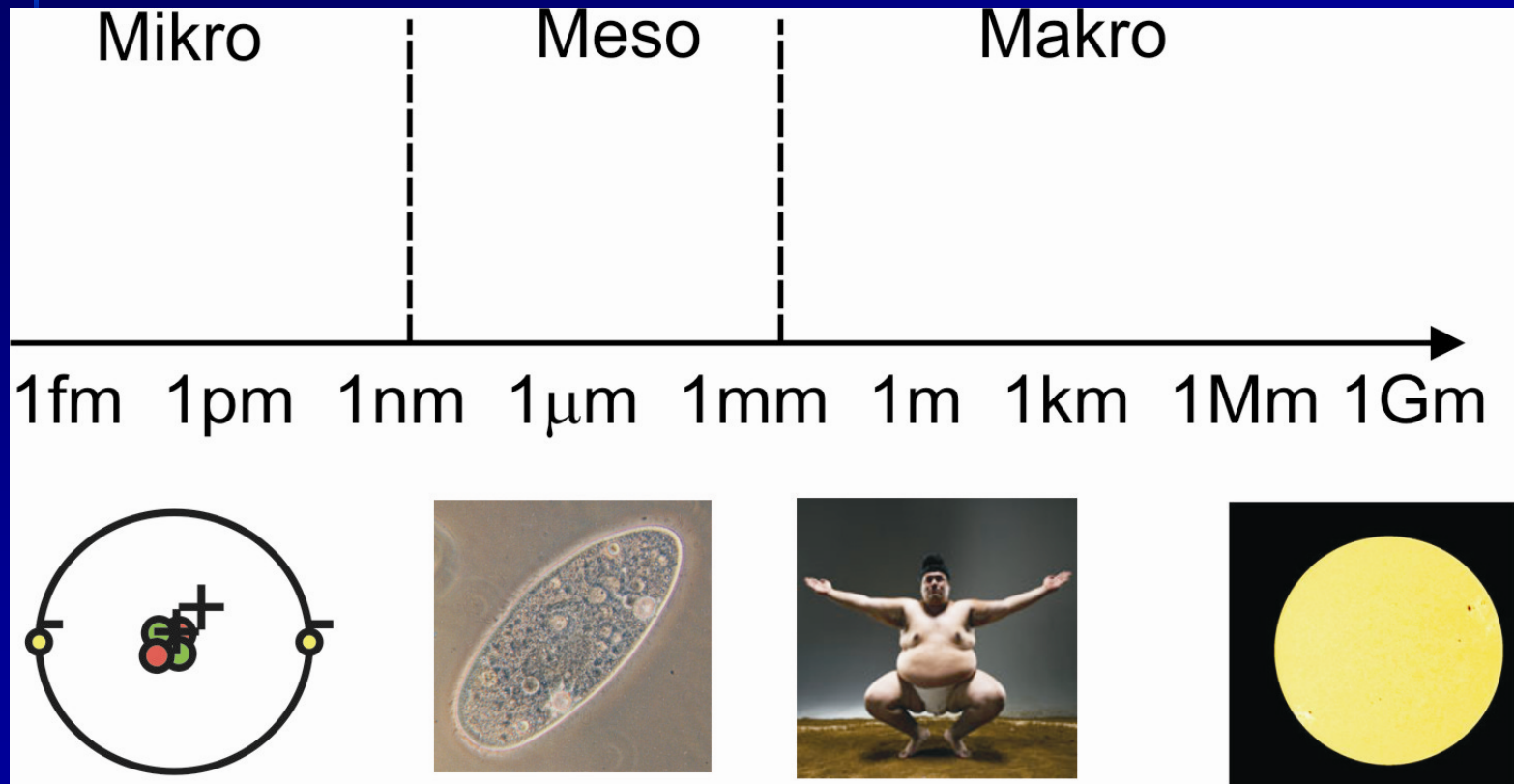
Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik

1. Was ist „Soft Matter“?
2. Warum Schwerelosigkeit?
3. Komplexe Plasmen
4. „Soft Matter“ auf der ISS

1. Was ist „Soft Matter“?

Soft Matter oder weiche kondensierte Materie:

Mesoskopische, supramolekulare Bausteine; leicht deformierbar



Kolloide (1861, Thomas Graham): Teilchen, Tröpfchen oder Gasblasen (mesoskopische Bausteine) fein verteilt in Dispersionsmittel (gasförmig, flüssig oder fest)

Beispiele:

Suspension: Feste Teilchen in Flüssigkeit (Tinte, Schlamm, Blut)

Emulsion: Tröpfchen in Flüssigkeit (Milch)

Schäume: Gasblasen in Feststoff oder Flüssigkeit

Aerosole: Feste Teilchen oder Tröpfchen in Gas (Rauch, Nebel)

Oft Trennung zwischen Teilchen und Dispersionsmittel nicht eindeutig

Weitere Beispiele für Soft Matter:

Gels (langkettige Makromoleküle), **Flüssigkristalle**, **Membranen** und andere biologische Materialien, **Granulare Medien** (Puder, Sand, Kies), **Komplexe Plasmen** (Feste Teilchen in Plasma)

Soft Matter zeigt interessante aber oft schwer vorhersagbare Eigenschaften

Gründe:

- Großer Bereich relevanter Längenskalen (mikroskopisch – mesoskopisch – makroskopisch)
Gegensatz zu Kristall oder Elektrolyt: Nur mikro- und makroskopische Skalen relevant
- Verschiedenartige Wechselwirkungen (harte Kugeln, Coulomb-WW, entropische WW, anisotrope WW)
- Selbstorganisation

→ Physik der weichen Materie lange vernachlässigt
(Kolloidchemie schon lange von Bedeutung, Nobelpreis 1925, Richard Zsigmondy)

Neues Interesse an Soft Matter seit 1980 (Physik-Nobelpreis 1991, Pierre-Gilles de Gennes)

Wichtige Anwendungen:

- Modell für Vielteilchensysteme
Beobachtung dynamischer Prozesse auf dem mikroskopischen Niveau individueller Teilchen in Realzeit !!
- Anwendungen in Bauindustrie, Lebensmittelherstellung, Medizin/Biologie, Farb- und Kunststoffindustrie, Elektronik (LCDs, Mikrochips), Energietechnik, ...

Ziele:

- Verständnis der Eigenschaften weicher Materie aus der Wechselwirkung zwischen ihren Bausteinen
- Vorhersage von Eigenschaften neuer Systeme („Designermaterialien“)

Methoden:

- Numerische Simulationen (z.B. Molekulardynamik), Modelle
- Experimente zum Test der Theorie
- Experimente zur Entdeckung neuer, nicht-vorhergesagter Eigenschaften

2. Warum Schwerelosigkeit?

Schwerkraft wirkt auf mesoskopische Bausteine im Gegensatz zu Atomen und Molekülen, bei denen die Schwerkraft vernachlässigt werden kann (aber dafür nicht quantenmechanische Effekte)

→ Mikrogravitationsexperimente wichtig um störende Effekte der Gravitation auszuschalten und theoretische Methoden zu testen

Schwerelosigkeit → Supramolekulare Bausteine verhalten sich wie extrem schwere und langsame Atome → neue Phänomene

Beispiel:

Kolloidale Suspensionen: Feste Teilchen in Flüssigkeit, oft geladen

→ Inhomogenitäten unter Gravitation: Sedimentation, Auftrieb, Konvektion

3. Komplexe Plasmen

Komplexe Plasmen = mehrkomponentige Plasmen, die neben Elektronen, Ionen und Neutralgas noch **Mikropartikel**, z.B. Staub enthalten

Beispiel: Mikropartikel (1-10 μm) in Niedertemperatur-Entladungsplasma

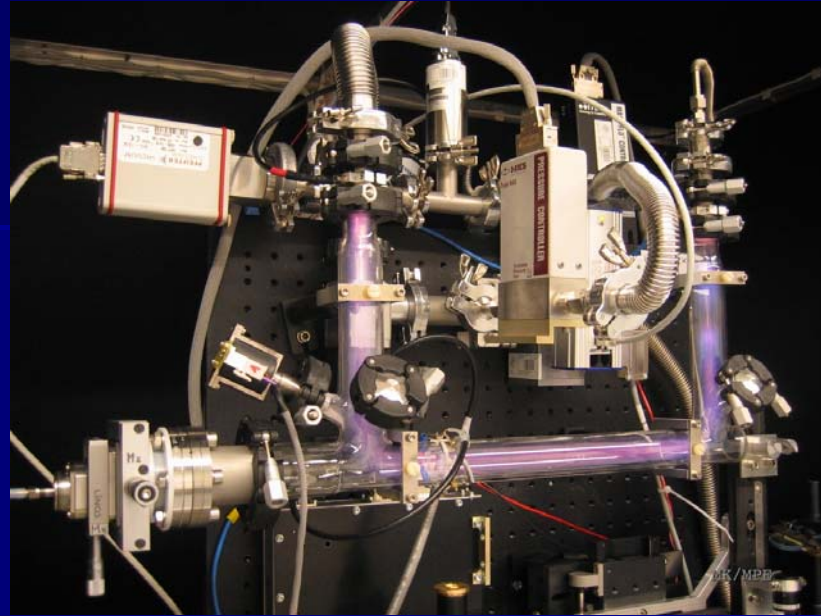
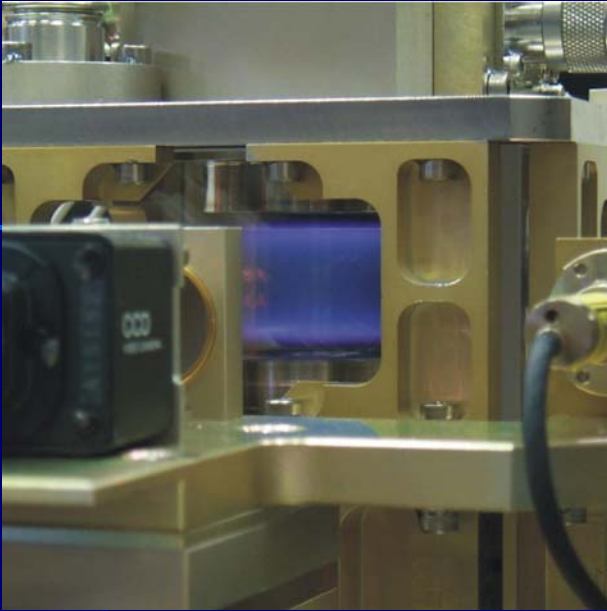
Staubteilchen laden sich durch Elektronenanlagerung stark negativ auf:

$$Q = 10^3 \dots 10^5 e$$

→ starke Coulomb-Wechselwirkung zwischen Teilchen
(**stark-gekoppeltes Plasma**)

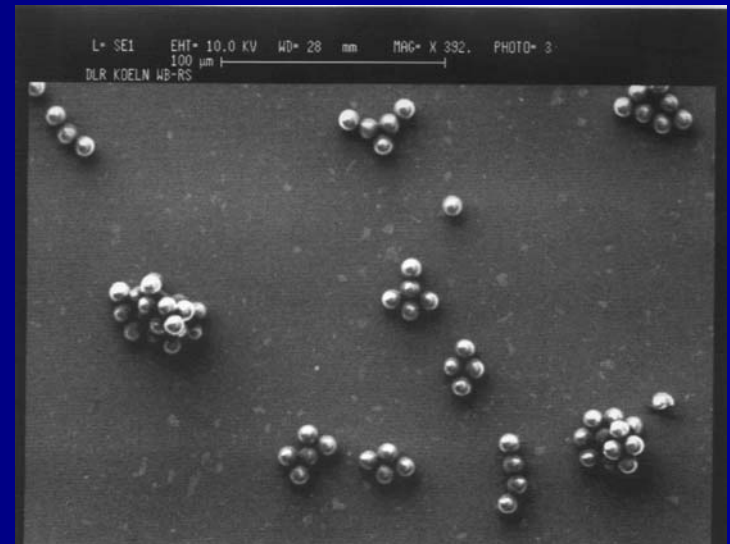
Weiter Bereich von Skalen: Teilchendurchmesser – Abschirmlänge –
- Mittlere freie Weglänge der Ionen - Teilchenabstand – Plasmawellen –
- Teilchenwolke

Hochfrequenz- oder Gleichspannungsentladung in Plasmakammer

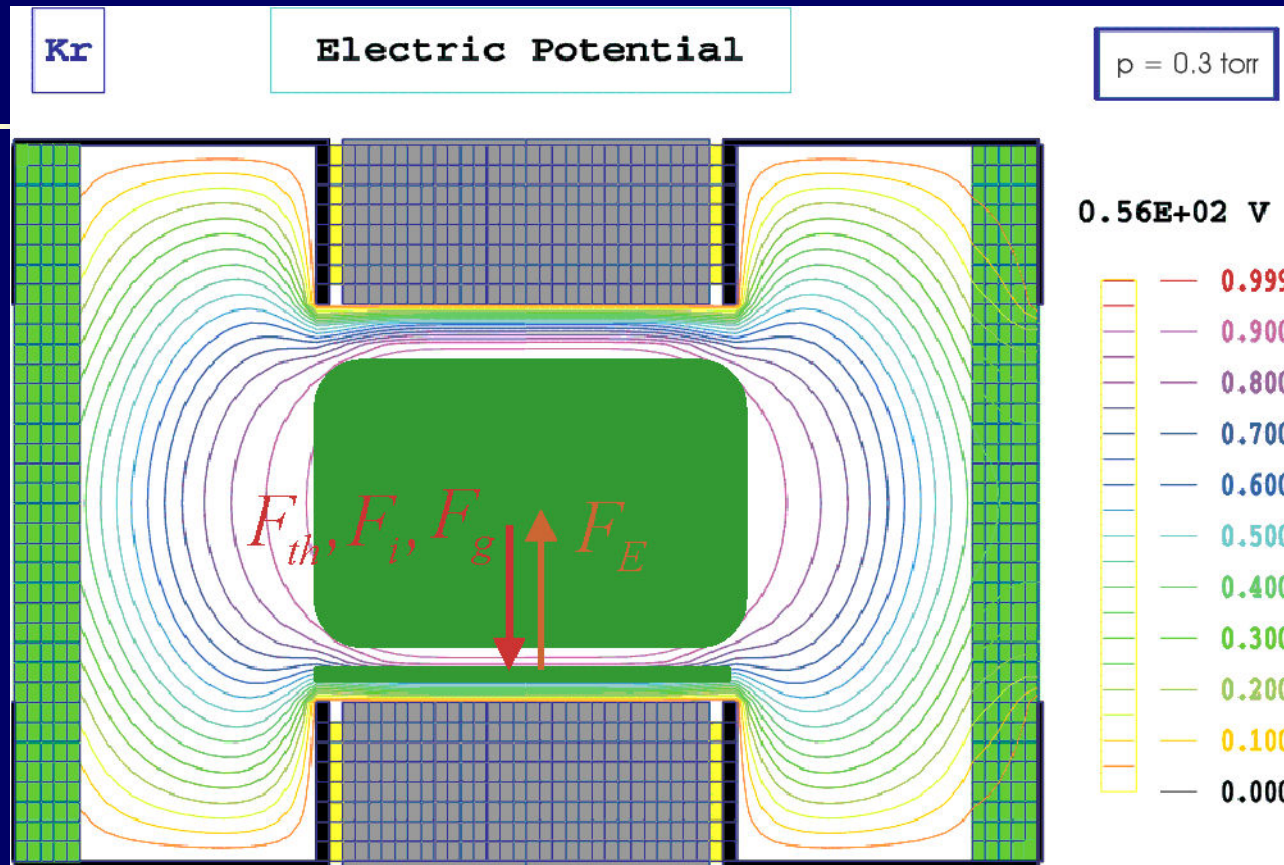


Edelgase bei 300 K und 0.1 – 1.0 mbar

Injektion monodisperser Plastikkügelchen

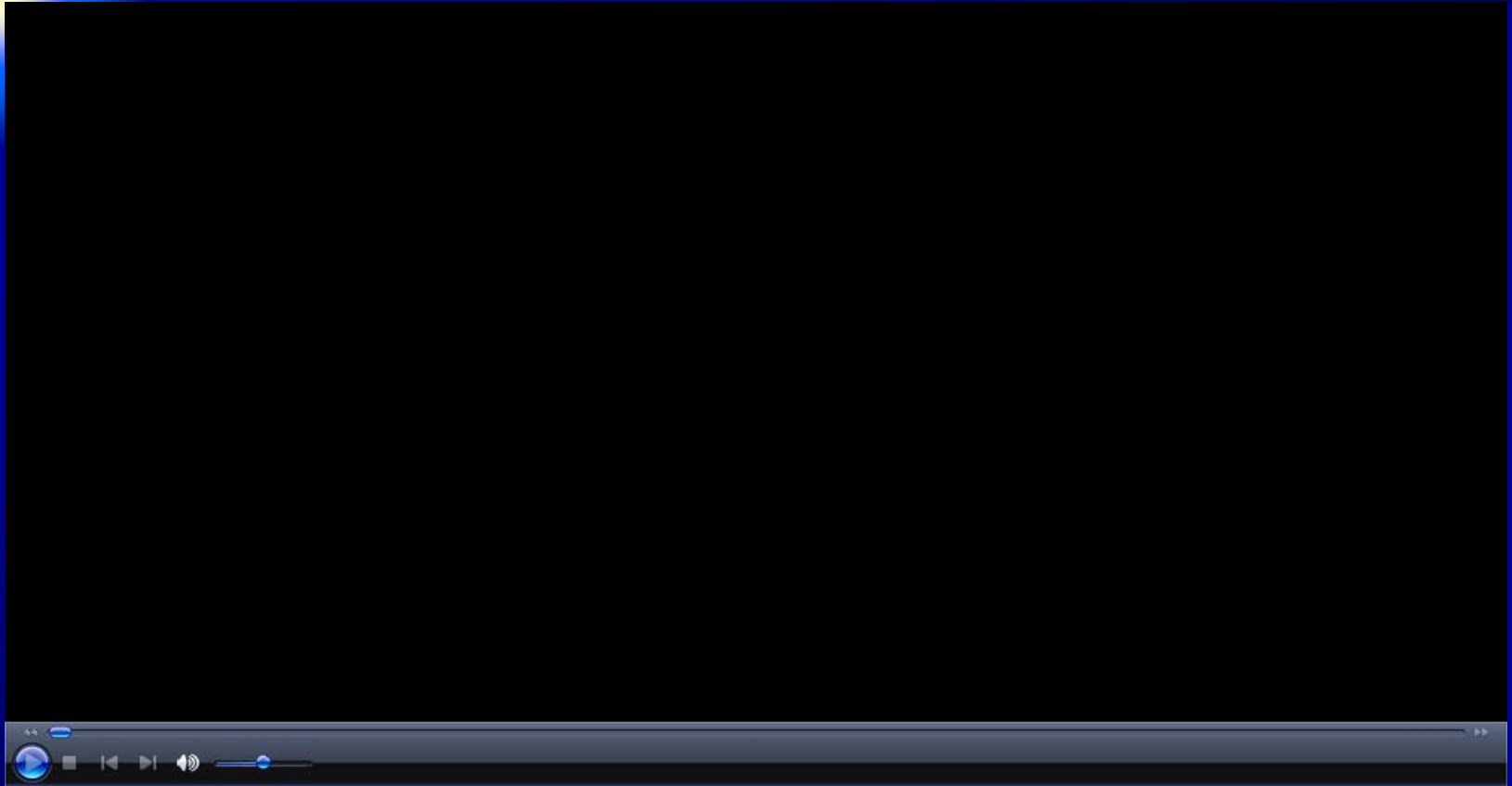


Elektrostatistisches Feld oberhalb der unteren Elektrode oder der Glaswand hält Teilchen gegen die Schwerkraft in der Schwebefalle



Beleuchtung der Mikropartikel mit einem aufgefächerten Laserstrahl, Streulicht mit CCD-Kamera beobachtet

Plasmawellen



Turbulenz

G.E. Morfill et al., Phys. Rev. Lett. 92 (2004) 175004



Ab wieviel Teilchen treten kollektive Effekte auf?
Wie entwickeln sich makroskopische Größen (z.B. Viskosität)?

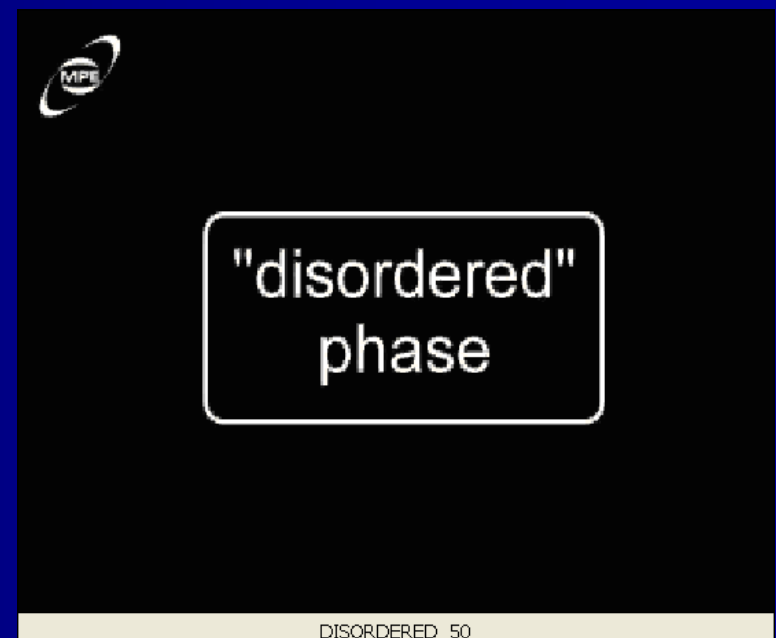
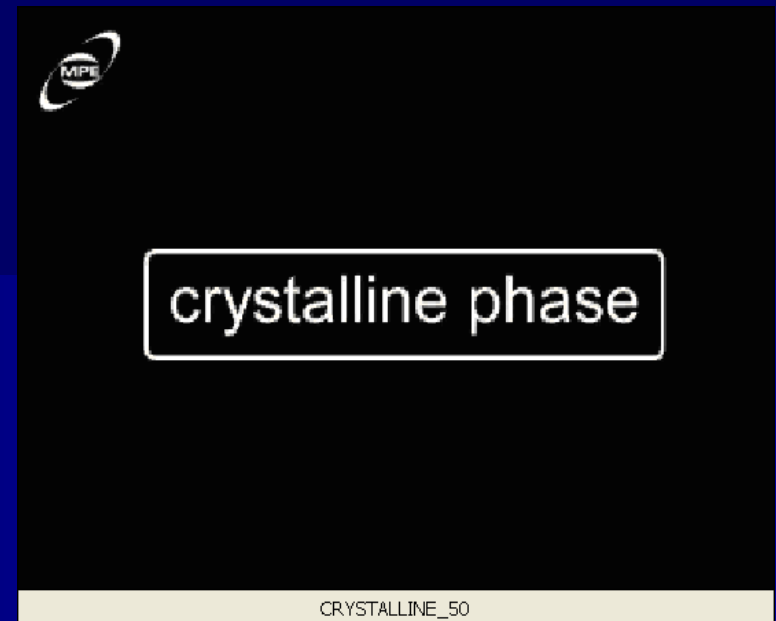
Nanofluidik

M. Fink, Doktorarbeit (MPE)



Starke WW zwischen den Teilchen
→ feste (**Plasmakristall**), flüssige,
oder gasförmige Phase

*H.M. Thomas, G.E. Morfill, Nature 379
(1996) 806*



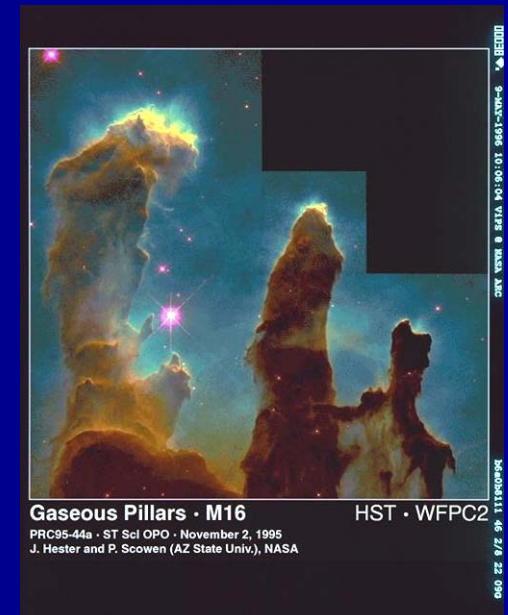
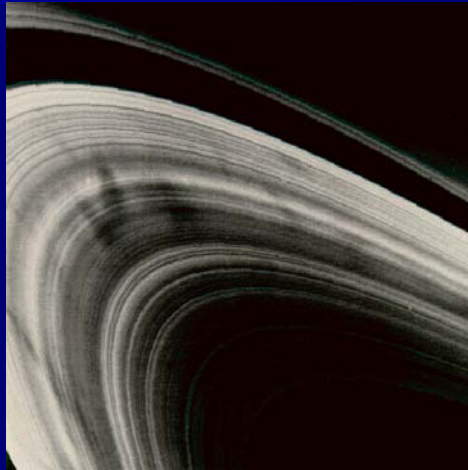
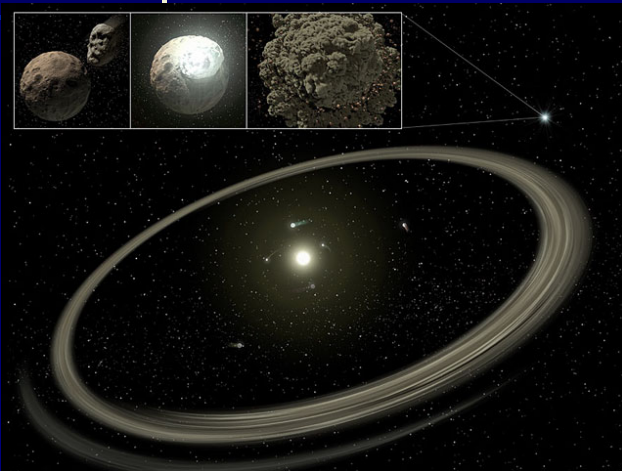
Anwendungen komplexer Plasmen:

Mikroskopische Modelle für Strukturbildung, dynamische Prozesse und Selbstorganisation in der Plasma-, Flüssigkeits-, Festkörper-, Kern- und Teilchenphysik

Technologie: Staubkontamination bei der Mikrochipproduktion durch Plasmaätzen von Silizium-Wafern, Stabilisierung von Solarzellen, Staub in Tokamaks, ...

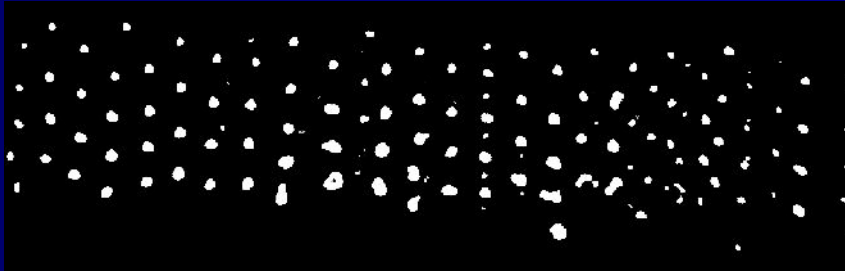


Astrophysik: Kometen, Planetenringe, Akkretionsscheiben, interstellare Wolken, Stern- und Planetenbildung, nachleuchtende Wolken, ...

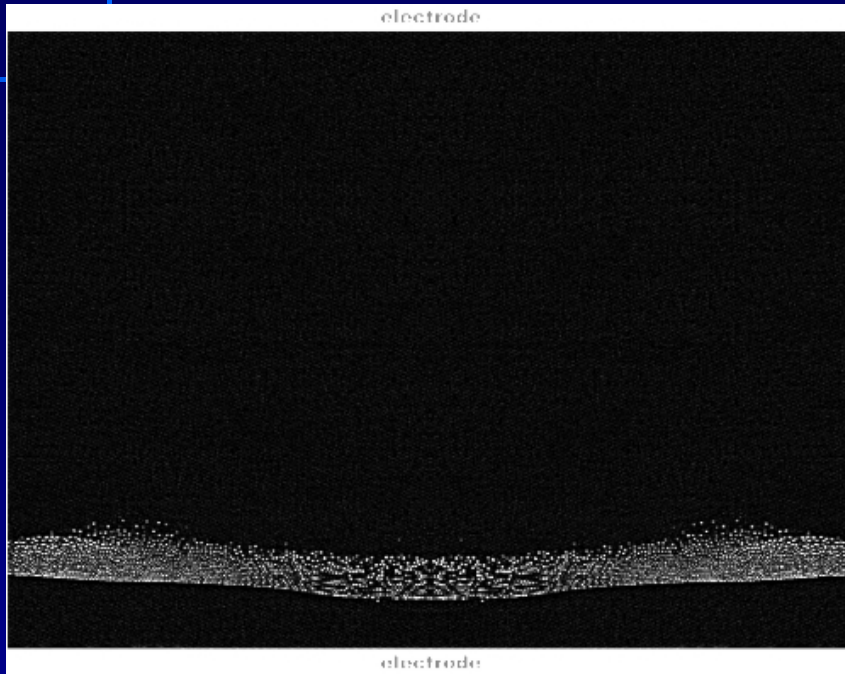


Plasmaexperimente unter Schwerelosigkeit

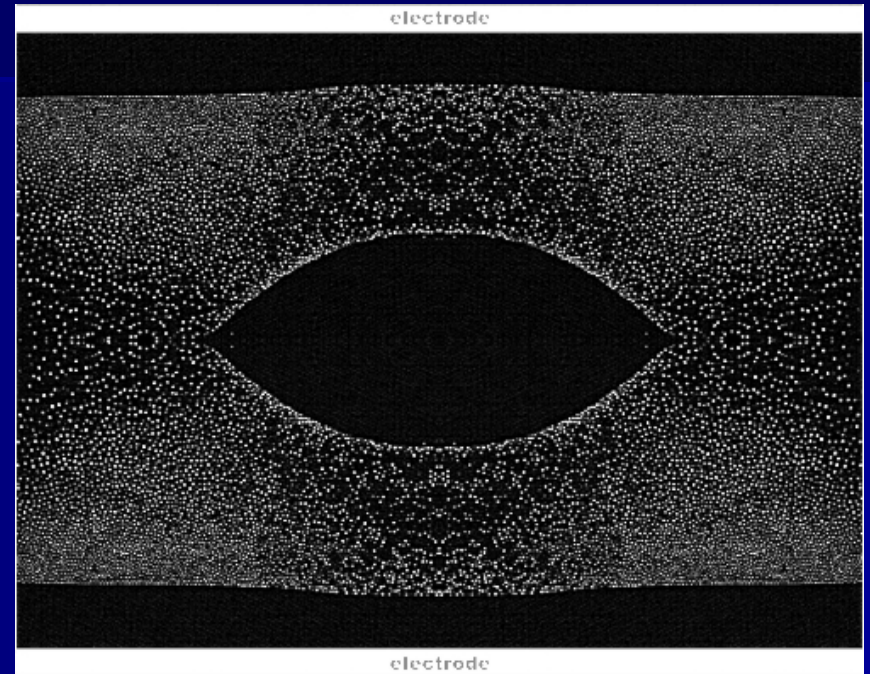
Störender Einfluss der Schwerkraft auf komplexe Plasma:

- Elektrostatisches Feld zur Levitation der Teilchen notwendig
 - Beschränkung auf Plasmarandschicht (elektrisches Feld zur Levitation stark genug) → quasi 2D Kristalle, komplizierte Plasmabedingungen
- 
- Gravitation vergleichbar mit Kraft zwischen Teilchen (Yukawa)
 - Struktur und Dynamik komplexer Plasmen verändert, schwache Kräfte (Attraktion, Ionenreibung) werden überdeckt
 - Manche Experimente (insbesondere mit größeren Teilchen) unmöglich

Mikrogravitation → Teilchen im feldfreien Hauptplasma



Labor



Schwereelosigkeit

MPE-Experimente unter Schwerelosigkeit



Texus



ISS
PKE-Nefedov

PK-3 Plus

PlasmaLab

PK-4

2008

2006

2004

2002

2000

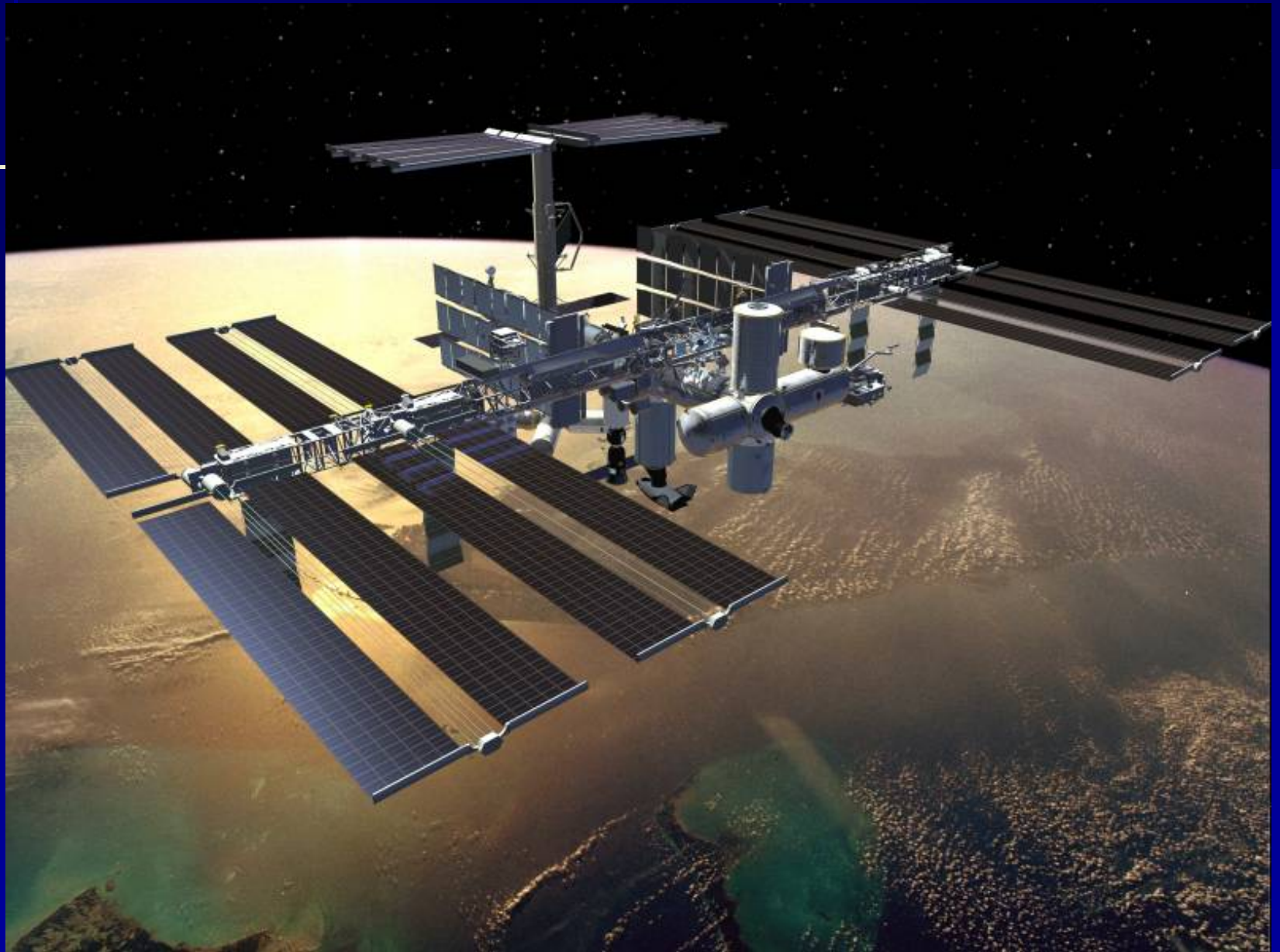
1998

1996

1994

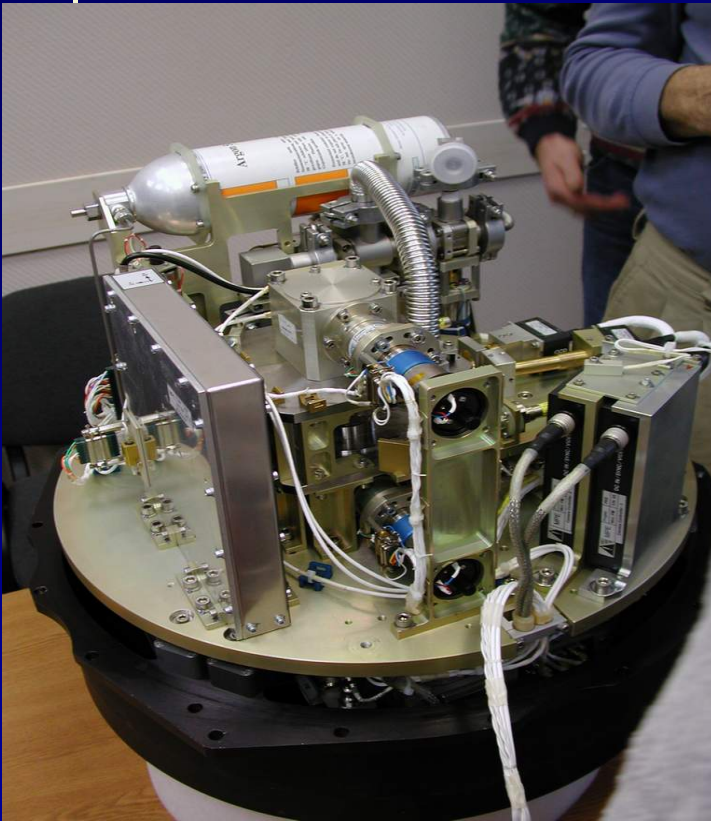


Parabelflüge



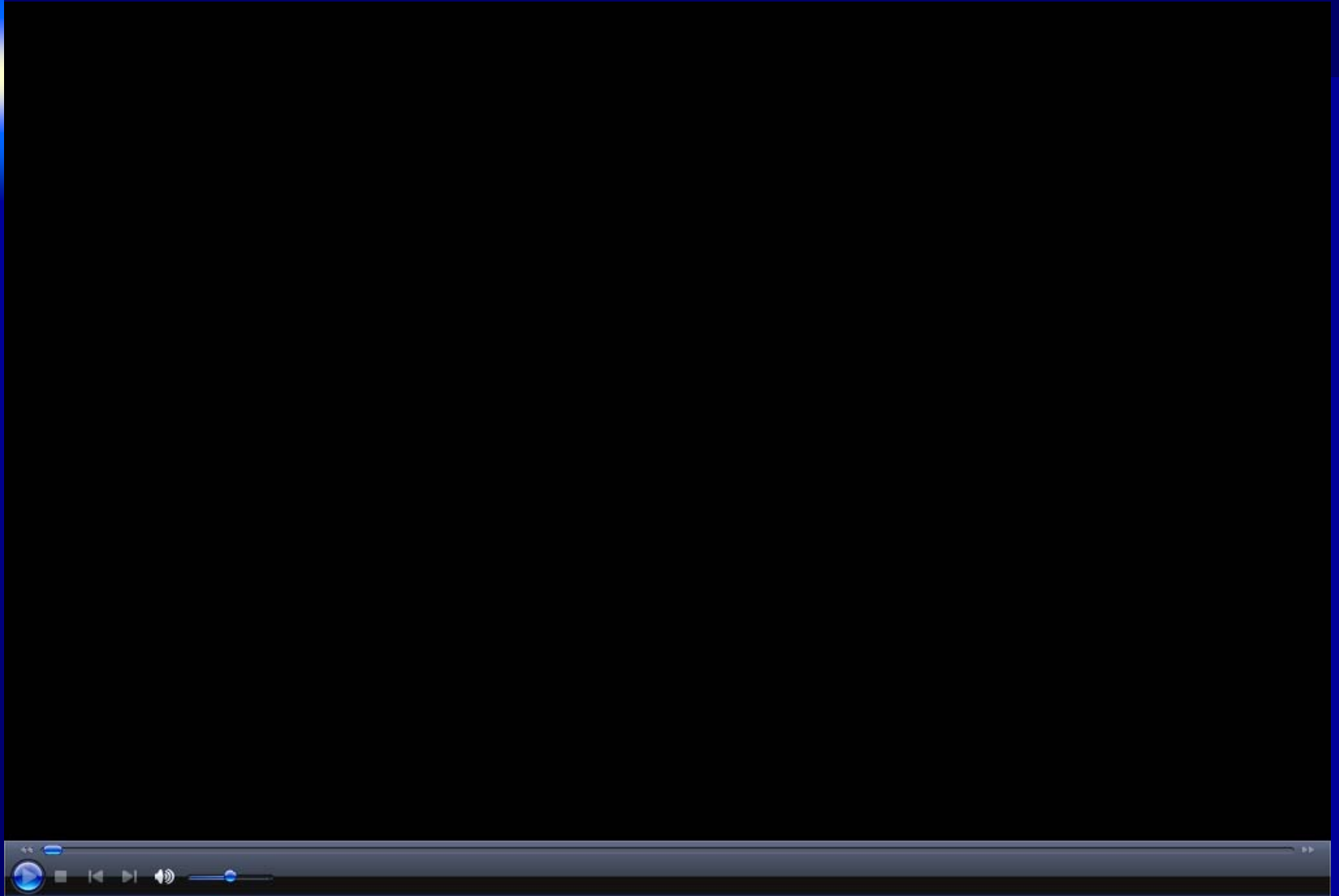
PKE-Nefedov

Betrieb auf der Raumstation von 2001 bis 2005 (gefördert durch DLR)
Erstes wissenschaftliches Experiment auf der ISS
Zusammenarbeit mit Joint Institute for High Temperatures (JIHT, Moskau)

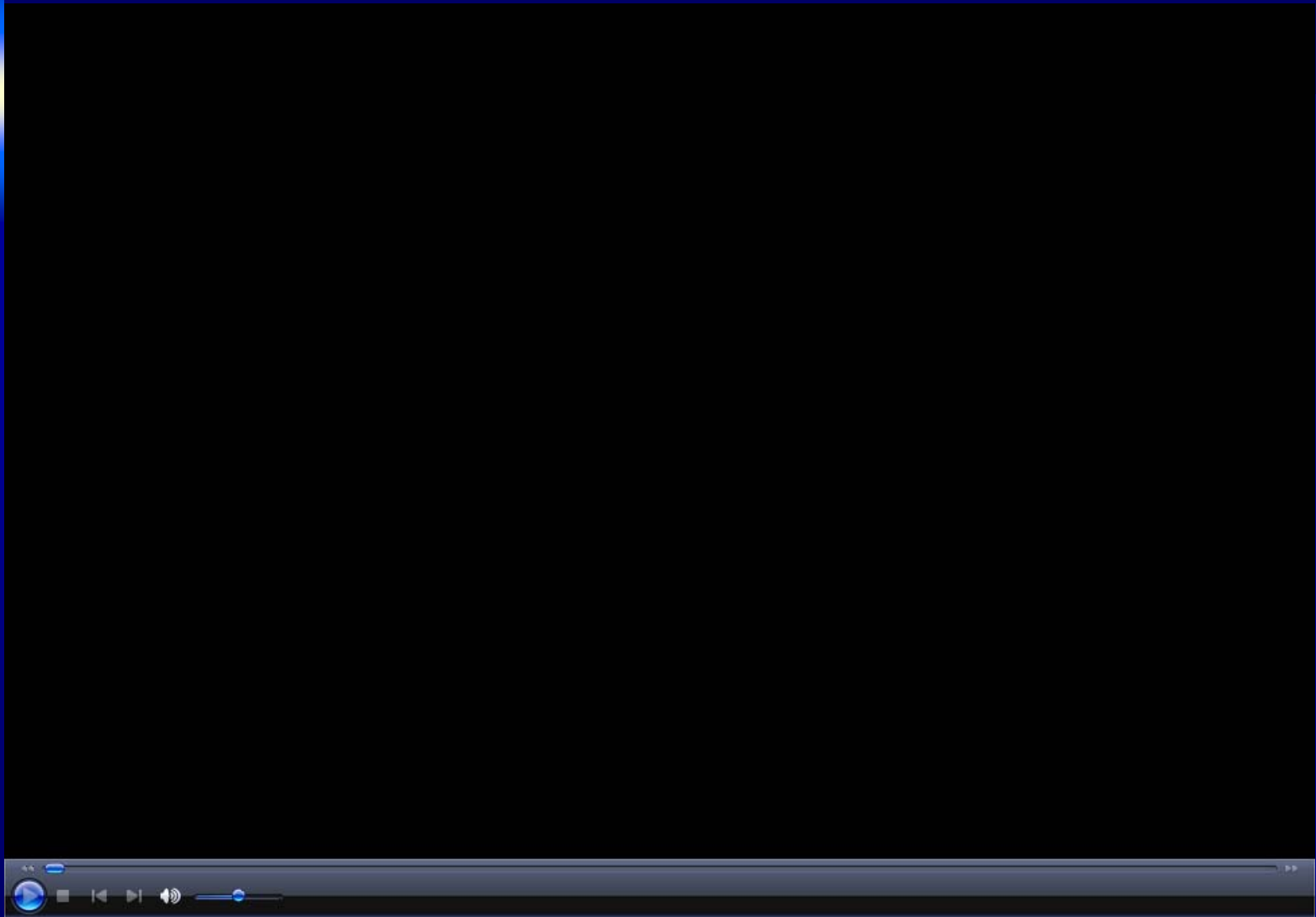


A.P. Nefedov et al., New J. Phys. 5 (2003) 33

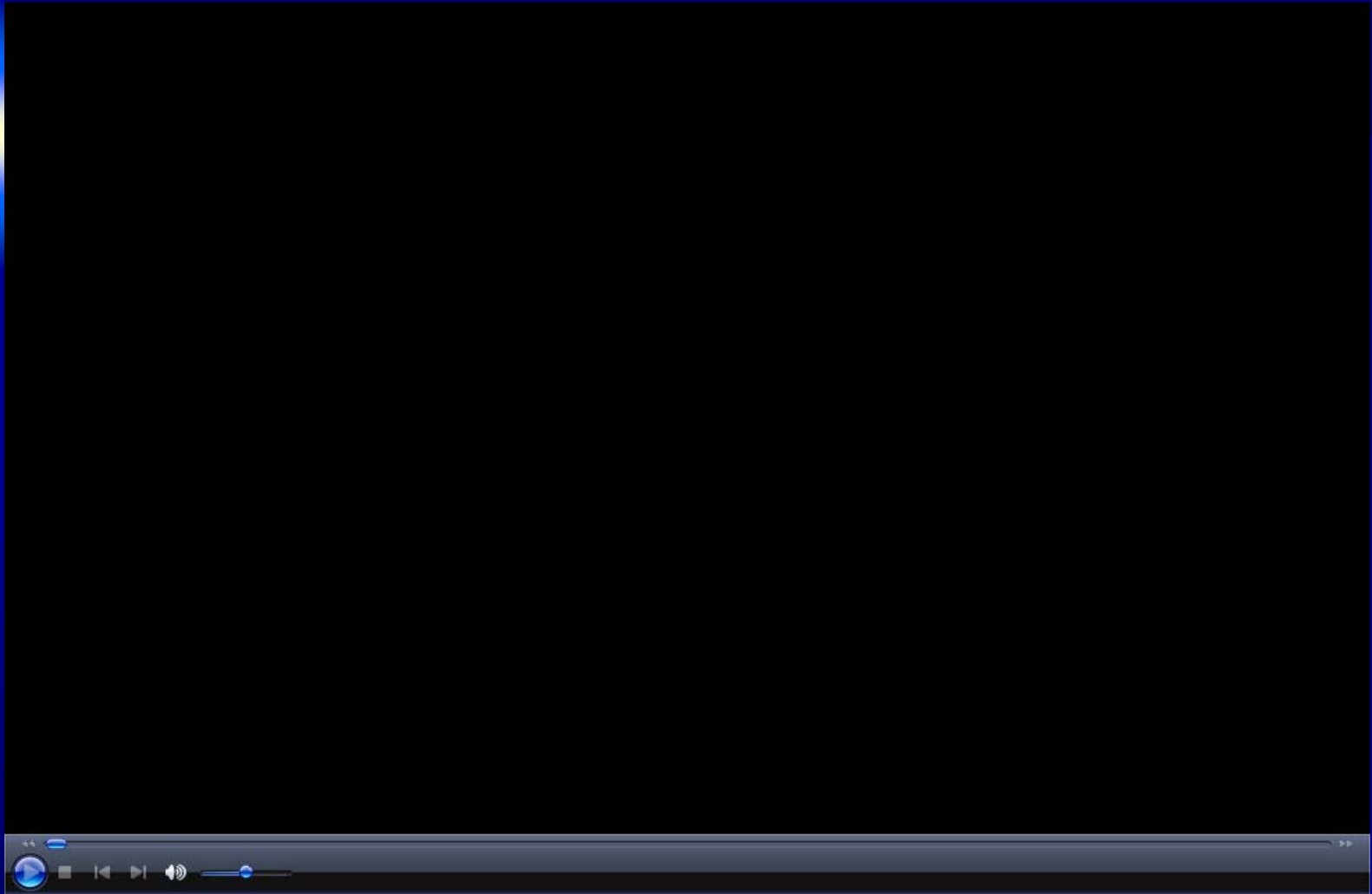
PKE-Nefedov an Bord der ISS



„Herzschlag-Instabilität“



Agglomeration → Anfangsphase der Planetenbildung?



A.V. Ivlev, G.E. Morfill, U. Konopka, Phys. Rev. Lett. 89 (2002) 195502

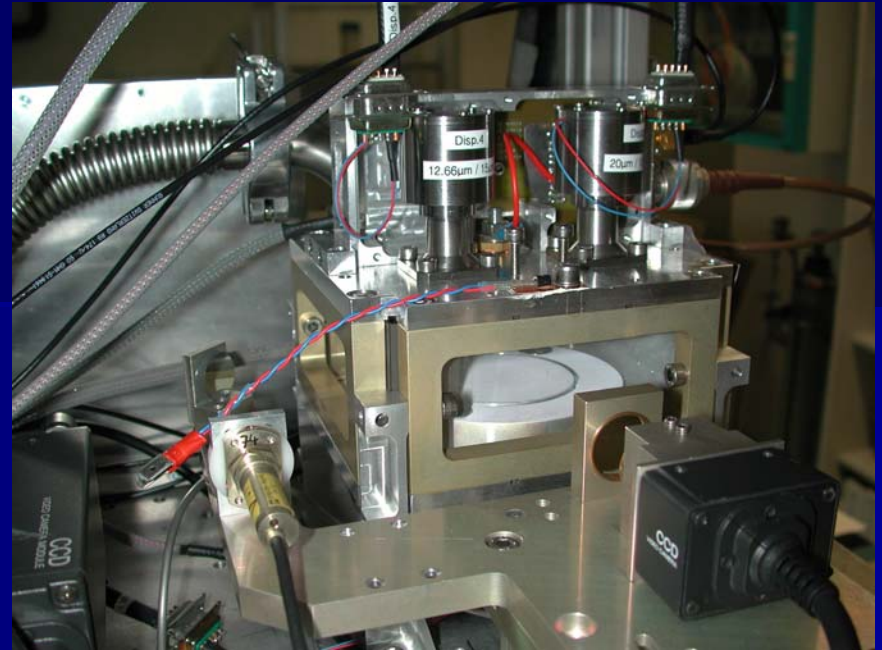
PK-3 Plus

Verbessertes Nachfolgeexperiment
auf der ISS

Zusammenarbeit mit JIHT

Gefördert durch DLR

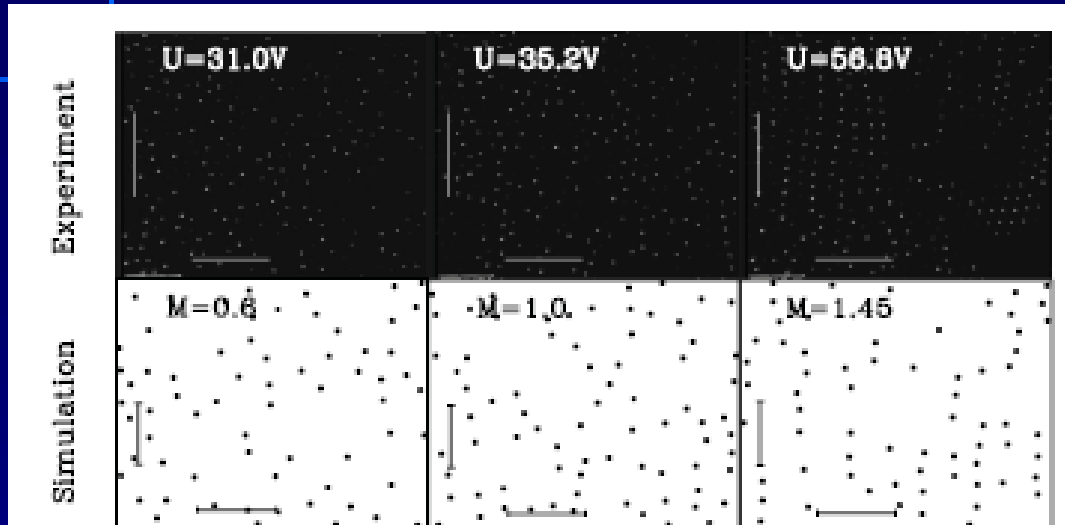
Betrieb seit Anfang 2006



*H.M. Thomas et al., New J. Phys.
10 (2008) 033036*

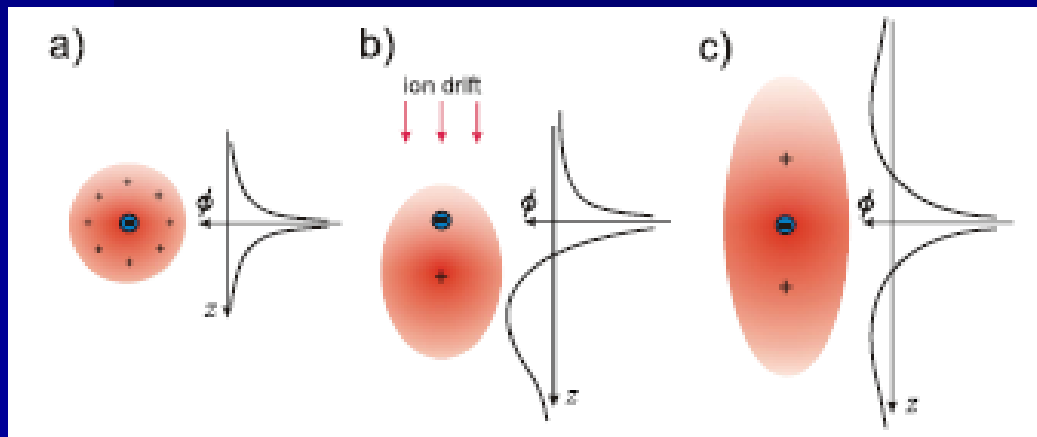
Highlight: Elektrorheologisches Plasma

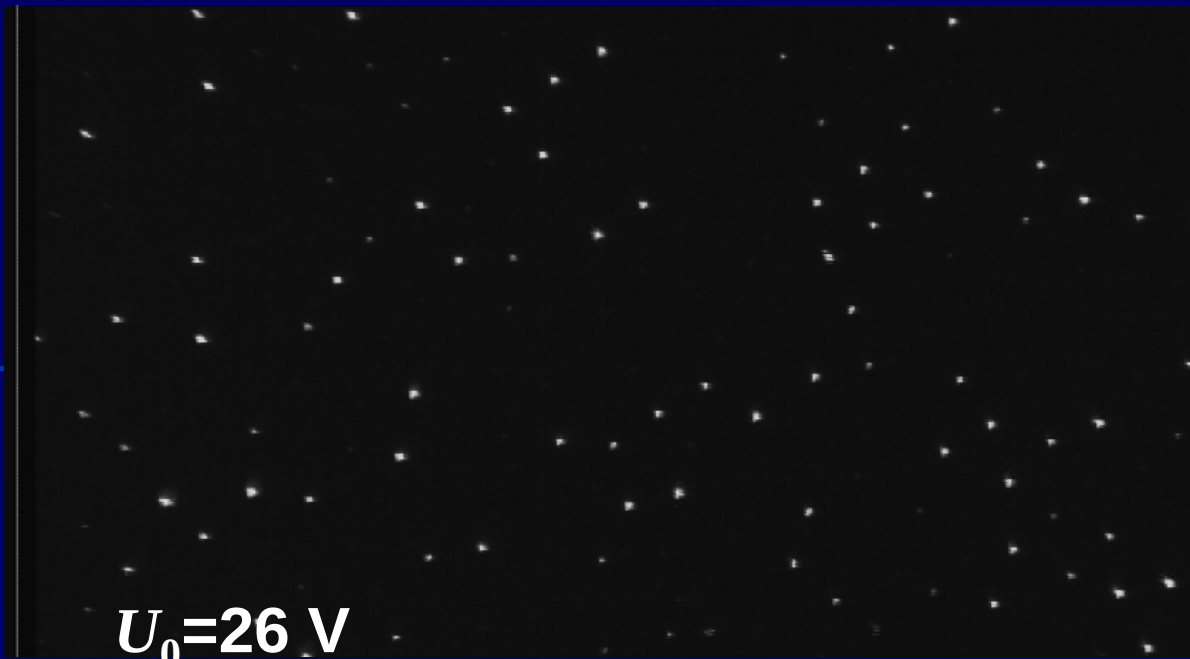
Ausbildung von Strings durch Anlegen eines elektrischen Wechselfeldes (100 Hz)



*A.V. Ivlev et al.,
Phys. Rev. Lett.
100 (2008) 095003*

Wechselfeld $\rightarrow$ attraktives Potential (Lennard-Jones-Potential)



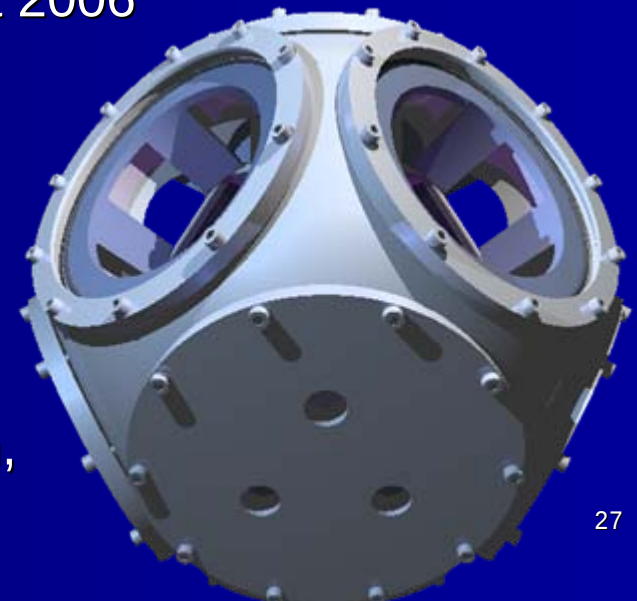


4. „Soft Matter“ auf der ISS

Frühere, aktuelle und geplante Projekte:

1. Komplexe Plasmen:

- **PKE-Nefedov**, RF-Plasmakammer, Russ. Segment, Betrieb eingestellt, MPE/JIHT/KT/DLR/RKK/Roskosmos, 2001 – 2005
- **PK-3 Plus**, RF-Plasmakammer, Russ. Segment, Betrieb, MPE/JIHT/KT/DLR/RKK/Roskosmos, seit 2006
- **PK-4**, DC/RF-Plasmakammer, Columbus (EPM), Bauphase, MPE/JIHT/KT/ESA/DLR/RKK /Roskosmos, ab 2011
- **PlasmaLab**, neues Plasmakammerdesign, Vorentwicklungsphase, MPE/JIHT/DLR



2. Kolloidale Suspensionen und Gels

EXPPCS (Experiments on Physics of Colloids in Space), Experimente mit binären Kolloiden, Kolloid-Polymer-Mischungen, Bildung von Kristallen und Gels, Phasenseparation (gas – flüssig), Destiny (EXPRESS), Harvard/NASA, Juni 2001 – Februar 2002, frühere Missionen auf MIR und Shuttle



Kolloidaler Kristall

3. Emulsionen

- **FASES** (Fundamental and Applied Studies of Emulsion Stability), Experimente zur Modellierung der Emulsionsdynamik (Wechselwirkung und Entwicklung von Tropfen, etc. in Wasser-Öl-Emulsion), Columbus (FSL), Bauphase, CNR Genua/MPI Golm u.a./ESA, Start 2009
- **FASTER** (Facility for Adsorption and Surface Tension Research), Tensiometer zur Messung der Eigenschaften der Wasser-Öl-Grenzflächen, Columbus (EDR), Bauphase, CNR Genua/MPI Golm u.a./ESA, Start 2009



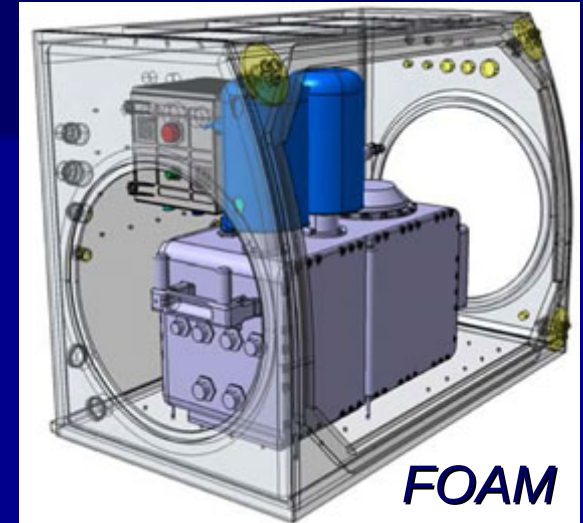
4. Schäume

FOAM (Foam Optics and Mechanics),
Untersuchung von Struktur und Dynamik
von Schäumen,
CNRS/Univ. Pennsylvania u.a./ESA/NASA

Foam Stability, Stabilität instabiler Schäume,
Columbus, 2009

Foam Coarsening, Strukturentwicklung, Blasenwachstum
und -größe, Columbus (MSG), 2011

Foam Rheology, Rheologie sehr nasser Schäume, Viskoelastizität,
Columbus (MSG), 2013



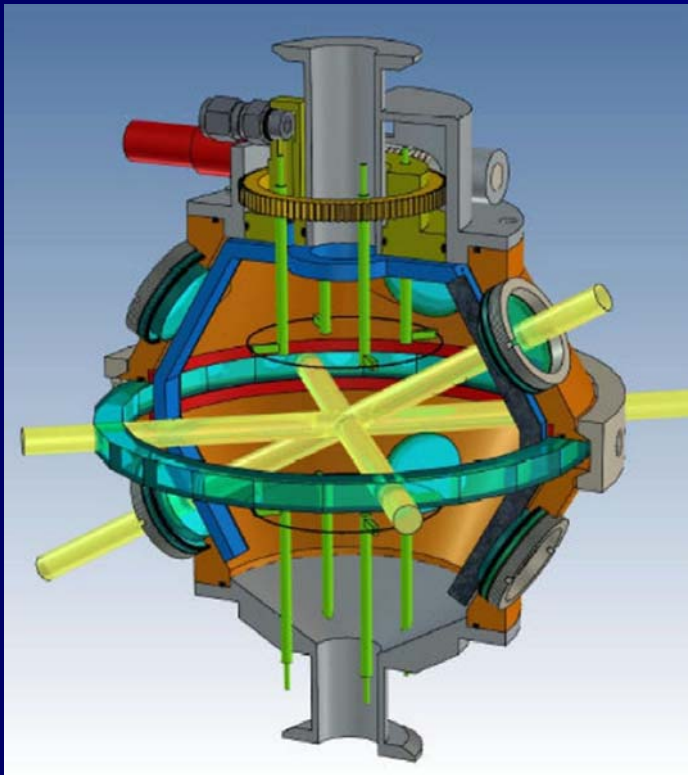
5. Granulare Medien

VIP-Gran (Vibration Induced Phenomena on Granular Matter),
Untersuchung des Verhaltens eines granularen Gases unter Vibration
und Bildung von Clustern, Columbus (EDR), Planungsphase,
Ecole Centrale Paris u.a. /ESA, Start 2011?



6. Kosmischer Staub, Aerosole

ICAPS (Interactions in Cosmic and Atmospheric Particle Systems) - **Precursor (IPE)**, Experimente zur Staubagglomeration und Lichtstreuung an Staub (Untersuchungen zur Planetenbildung und Eigenschaften von Asteroiden- und Kometenoberflächen im Labor), Russ. Segment, Planungsphase, TU Braunschweig u.a./ESA/KT u.a. , ab 2011?



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

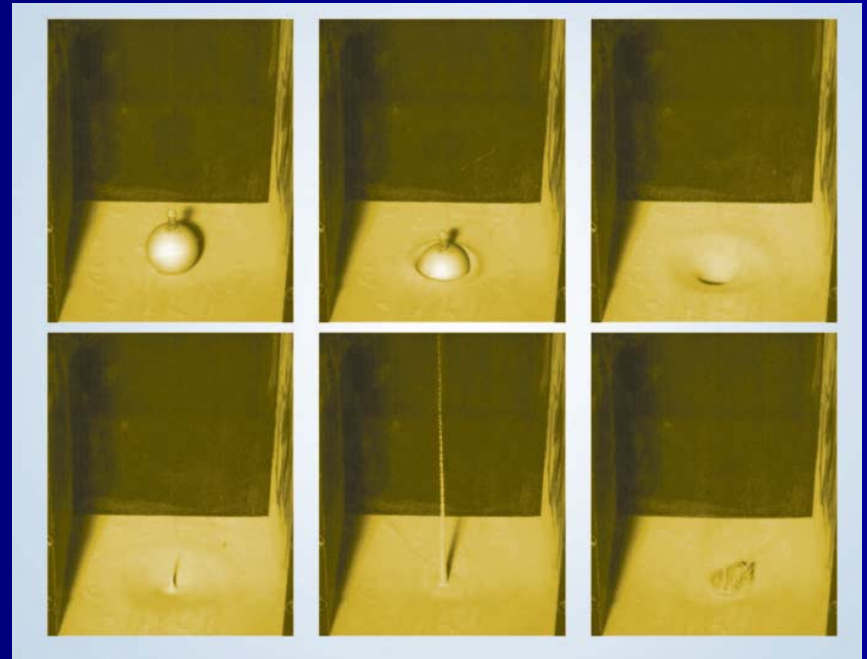


Granulare Medien

System von festen meso- oder makroskopischen Teilchen ($> 1 \mu\text{m}$) mit Energieverlust bei Wechselwirkung zwischen den Teilchen (Reibung)

Granulare Materialien kommen überall in der Natur vor und sind nach Wasser das industriell am meisten benutzte Material (Puder, Sand, Kies, Kohlen, Dünger, Reis, Kaffee, Nüsse, ...)

Granulare Medien können gasförmiges, flüssiges oder festes Verhalten zeigen, abhängig von äußeren Kräften („Schütteln“, „flüssiger“ Sand bei Erdbeben)



Trockene oder nasse granulare Medien haben sehr unterschiedliche Eigenschaften



Großes Interesse an besseren Verständnis granularer Medien

Theoretische Beschreibung i.a. ohne Gravitation

→ Vergleich mit Experiment schwierig

→ Mikrogravitationsexperimente z.B. in Parabelflügen:

M. Leconte et al., Jour. Stat. Mech. P07012 (2006)

N (12, 24, 36, oder 48) Stahlkugeln ($r=1$ mm) in Kammer mit Kolben zum Schütteln und Kraftsensor

Bestimmung der Statistik der Kollisionen (Anzahl der Kollisionen in Abhängigkeit der Teilchenzahl und Zeit zwischen den Kollisionen), Abweichung von klassischer Verteilung beobachtet (Reibung?, Rotationen?)

