



# Grundlagenforschung im Weltraum – Deutschlands Herausforderungen der nächsten Dekaden

Gregor Morfill

Max-Planck Institut für extraterrestrische Physik

12. Juni 2008



# Was erwartet uns in diesen zwei Tagen?

- Neue Wege zur Erforschung der Dunklen Materie und der Dunklen Energie
- Präzisions-Zeitmessungen - millionenfach genauer als die besten Atomuhren
- Quantenmechanik am Limit: Setzt die Schwerkraft eine natürliche Grenze?
- Tests der Relativitätstheorie am Rande Schwarzer Löcher
- Selbstorganisation der Materie: Erforschung auf fundamentalstem Niveau
- Forschung am Anfang der Zeit - der Urknall



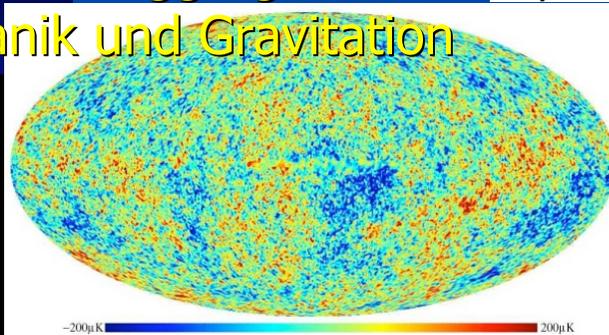
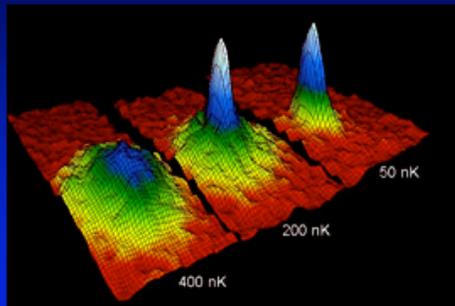
# Was sind die Themen?

- Die wichtigsten Themen in der Grundlagenforschung wurden von verschiedenen Expertengruppen identifiziert:

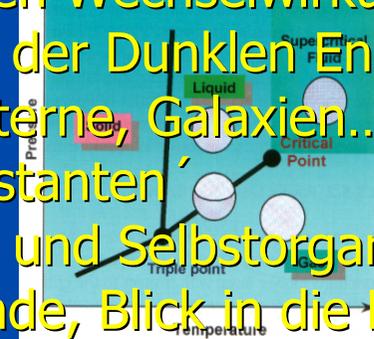
- Gravitation und Relativität, Schwarze Löcher
- Vereinheitlichung der fundamentalen Wechselwirkungen
- Ursprung der Dunklen Materie und der Dunklen Energie
- Entstehung der Welt – Planeten, Sterne, Galaxien...
- Konstanz der fundamentalen Konstanten
- Kritische Phänomene, Universalität und Selbstorganisation
- Soft matter – neue Aggregatzustände, Blick in die Nanowelt
- Quantenmechanik und Gravitation

Physikalische Konstanten:  
 $c, e, h, G, m_e, m_p, \dots$   
...USW.

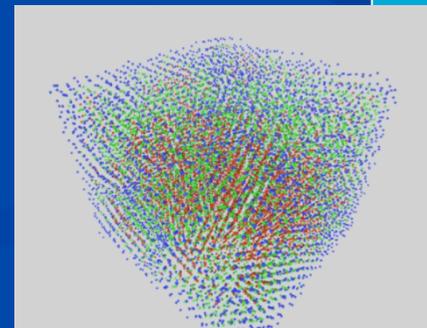
Bose-Einstein Condensation



CIPS



Materie-Interferometrie



Plasmakristall

Quellen: ESA Topical Team „Fundamental Physics“, Cosmic Vision, ESF Reports 2005/2008, DFG Denkschrift Astronomie<sup>3</sup>



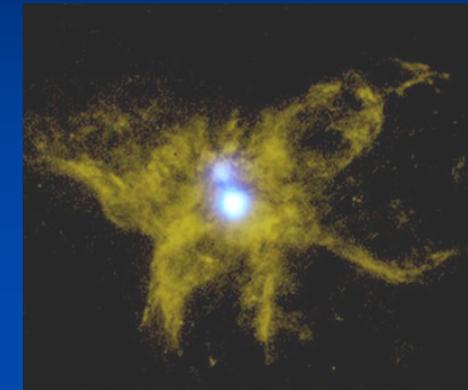
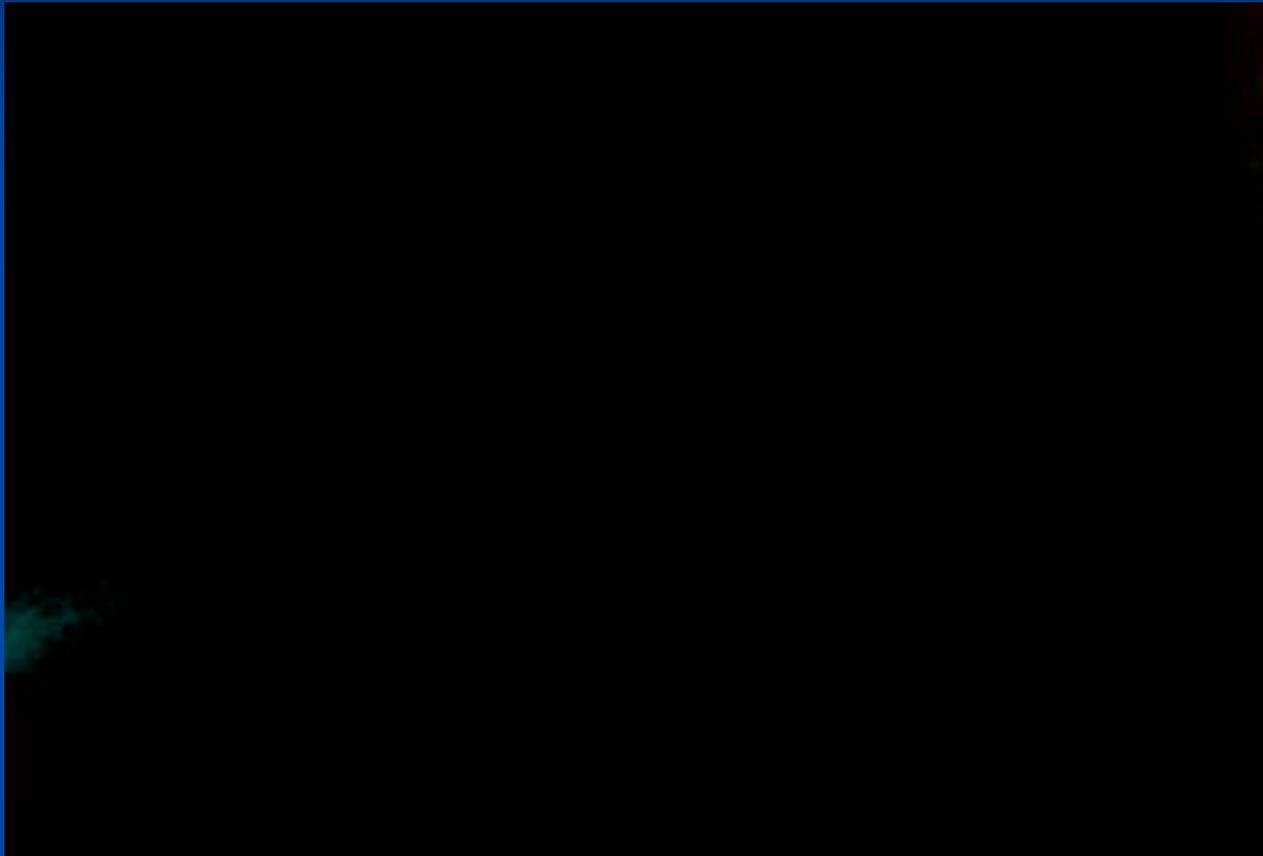
# Relativität und Gravitation

- Relativitätsprinzip:
  - Das schwache Äquivalenzprinzip
  - Universalität des freien Falls
  - Universalität der Gravitations-Rotverschiebung





# Erforschung des Universums mit Gravitationswellen



NGC 6240

Kollisions-Animation

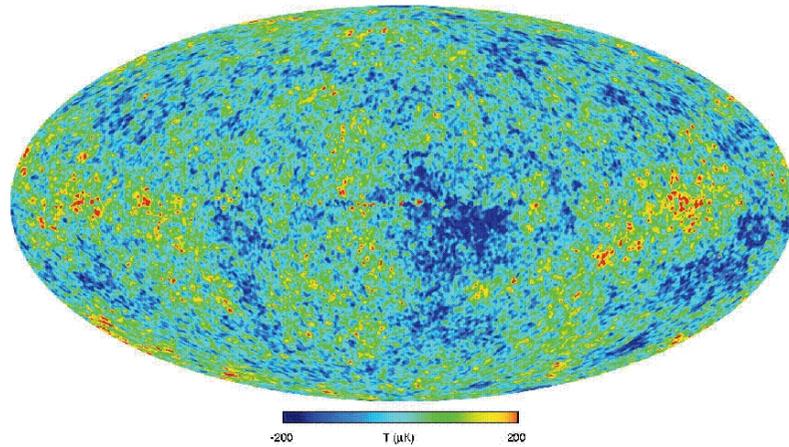
Die Galaxie NGC 6240 ist ca. 400 Millionen Lichtjahre entfernt.  
Die Verschmelzung soll in ca. 100 Millionen Jahren stattfinden.

Die Gravitationswellen sind also schon zu uns unterwegs!!!  
Komossa et al., Ap.J., 2003



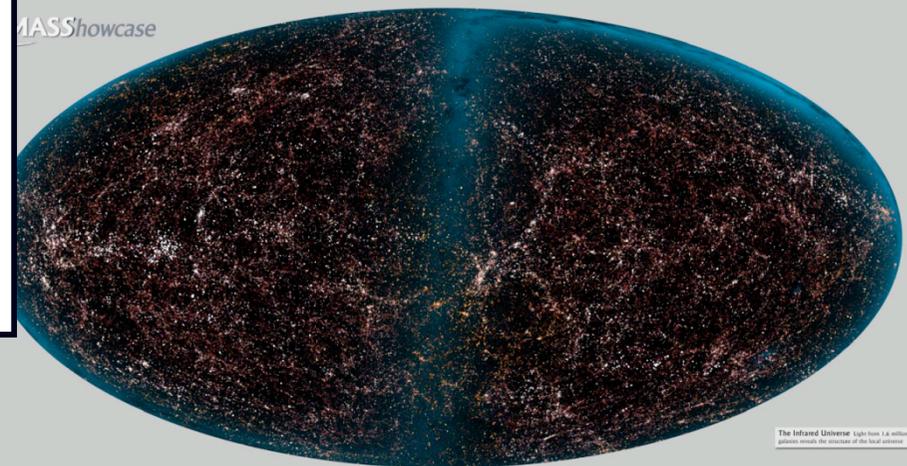
# Strukturen im Universum\* – Signaturen der Dunklen Materie und der Dunklen Energie

## Schallwellensignaturen vom Urknall



Bennett et al 2003

## Galaxienkarte des ganzen Himmels

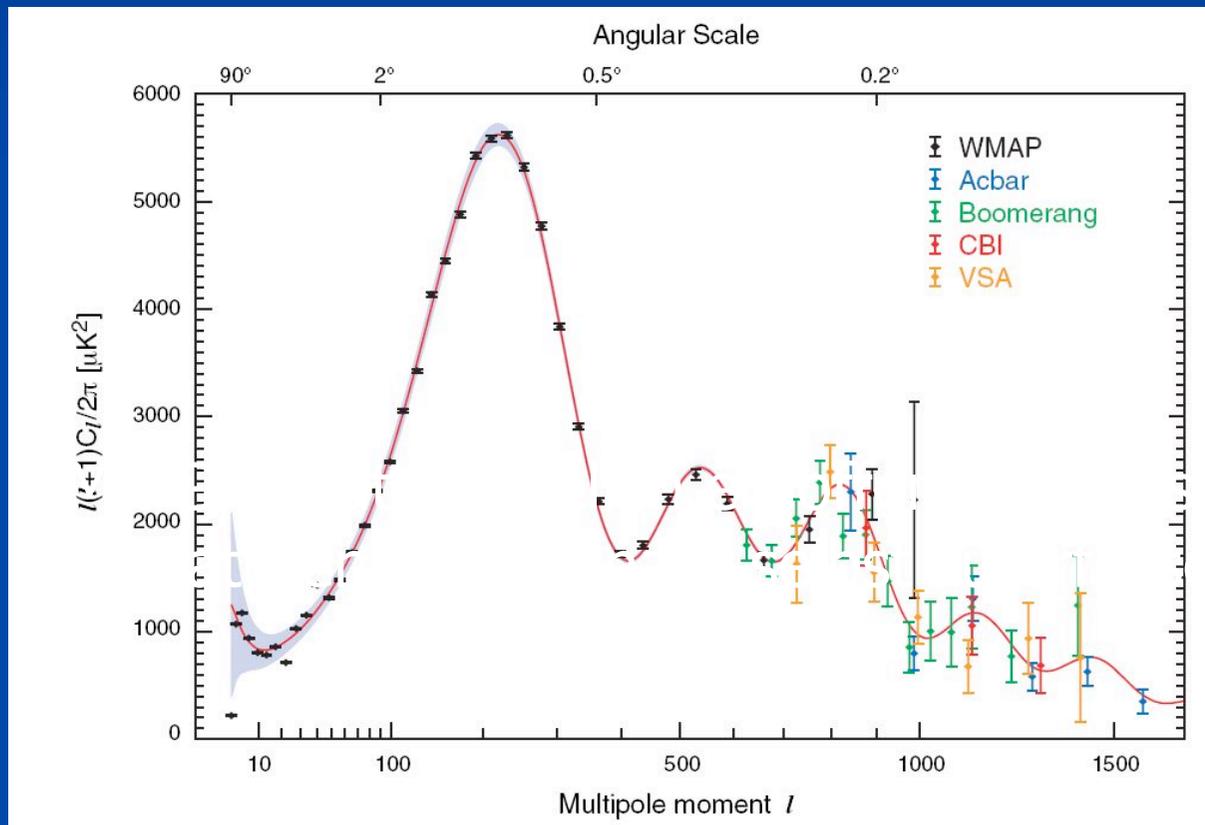


**\*Nobelpreis 1978: Arno Penzias und Robert Wilson**

**\*Nobelpreis 2006: George Smoot und John Mather**



# Dichtefluktuationen im Universum ca. 380.000 Jahre nach dem Urknall



—  $\Lambda$ -CDM Model

nschaftler  
n...

Hinshaw et al., 2007  
Three-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP)



# Naturkonstanten

- Die gesamte Struktur und Dynamik des Universums wird von einigen Naturkonstanten 'gesteuert' (z.B.  $G$ ,  $c$ ).
- Die Beschaffenheit der Materie – unsere ganze Existenz – wird ebenfalls von einigen Naturkonstanten bestimmt (z.B.  $e$ ,  $h$ ).
- Aber sind diese Konstanten wirklich 'konstant' - kosmologisch gesehen?
- Und warum gibt es so viele 'Konstanten'?



- Gerade im Bereich der Elementarteilchen gibt es sehr viele `Naturkonstanten`:

z.B.  $m_e$ ,  $m_{\nu_e}$ ,  $m_{\mu}$ ,  $m_{\nu_{\mu}}$ ,  $m_T$ ,  $m_{\nu_T}$

Die kosmologischen Zeitskalen entsprechen dem Alter des Universums – ca. 14 Mrd. Jahre.

Eine Veränderung in einem Jahr Messzeit zu

- Diese `Naturkonstanten` (z.Zt. 17 an der Zahl)... sollten durch eine vereinheitlichte Theorie der Naturkräfte auf (vielleicht) eine `Konstante` reduziert werden.

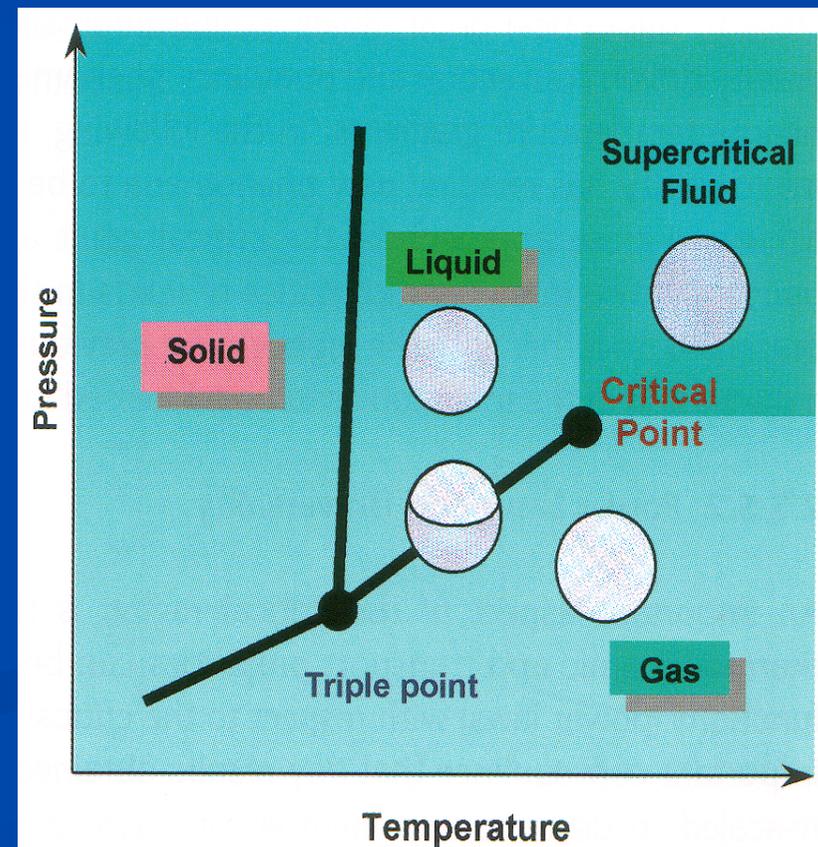
- Auch hier gilt: sind diese `Konstanten` wirklich `konstant` - kosmologisch gesehen?



# Kritische Phänomene : Erforschung der fundamentalen Eigenschaften von Flüssigkeiten am 'Kritischen Punkt'\*

- *Am 'Kritischen Punkt' entwickelt Materie ein universelles Skalierungsverhalten der thermodynamischen und Transporteigenschaften\*.*
- *Das impliziert, daß natürliche Längenskalen (z.B. Abstände zwischen Molekülen, Wellenlängen, Wechselwirkungsskalen) keine Bedeutung mehr bei der Selbstorganisation haben. Warum?*
- *Die Erforschung auf dem Niveau einzelner Partikel im gesamten Ensemble soll das Rätsel lösen.*

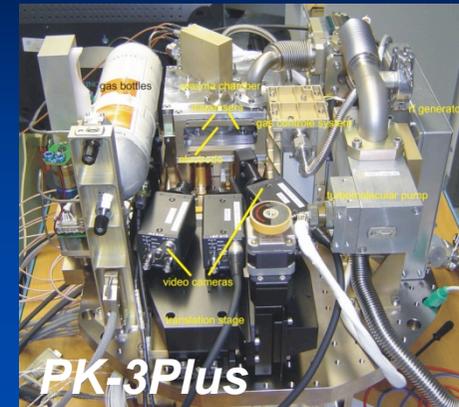
\*Nobelpreis 1982: Kenneth Wilson





# Universalität und Skalierung am **Kritischen Punkt**: Komplexe Plasmen

- 1) *Haben Nicht-Hamilton'sche Systeme einen Kritischen Punkt?*
  - 2) *Was ist die Universalitätsklasse flüssiger Komplexer Plasmen?*
  - 3) *Was sind die Ordnungsparameter?*
  - 4) *Welche Rolle spielt die Partikelgröße und die Trägheit?*
  - 5) *Was ist der Ursprung des skalierungsfreien Verhaltens auf dem fundamentalsten (kinetischen) Niveau?*
  - 6) *Was ist die Physik am Kritischen Punkt in anisotropen Systemen?*
- usw.*





# Planeten, Sterne, Galaxien



Unsere Milchstraße mit ihrem  
zentralen Schwarzen Loch





# Stern- und Planetenentstehung



The Sombrero Galaxy (VLT ANTU + FORS1)

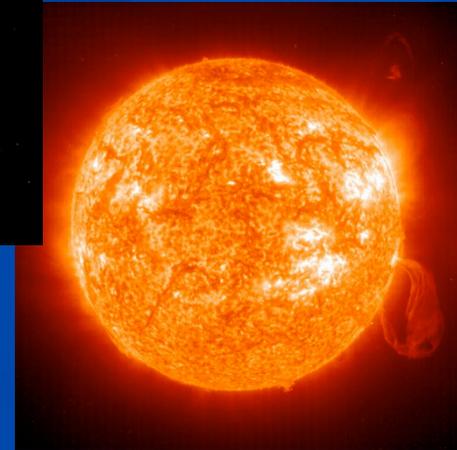
ESO PR Photo 07a/00 (22 February 2000)

© European Southern Observatory



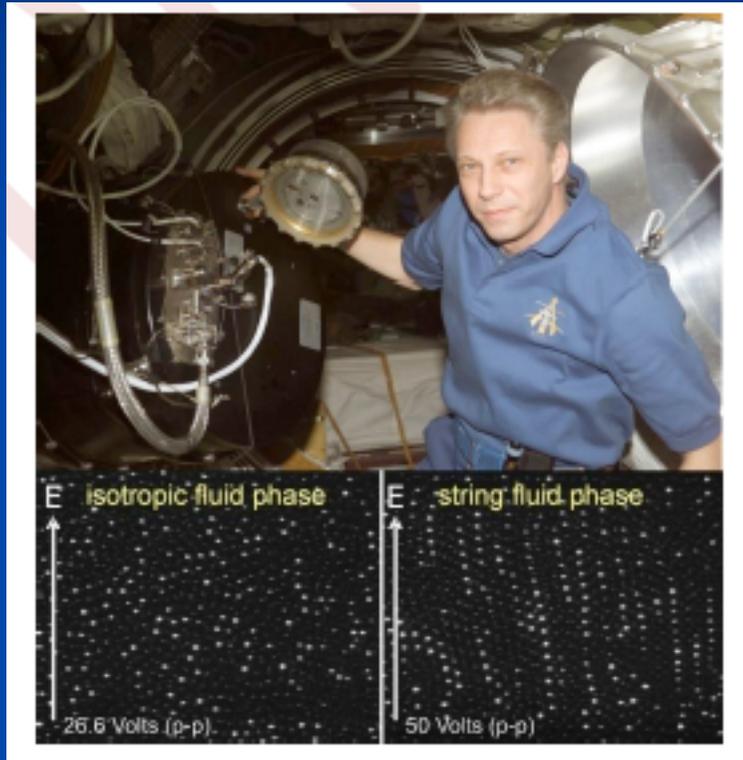
Star-Birth Clouds · M16  
Hubble Space Telescope · WFPC2

PRC95-44b · ST ScI OPO · November 2, 1995 · J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.), NASA





# `Weiche Materie` (soft matter)\* neu entdeckt – der Plasmazustand



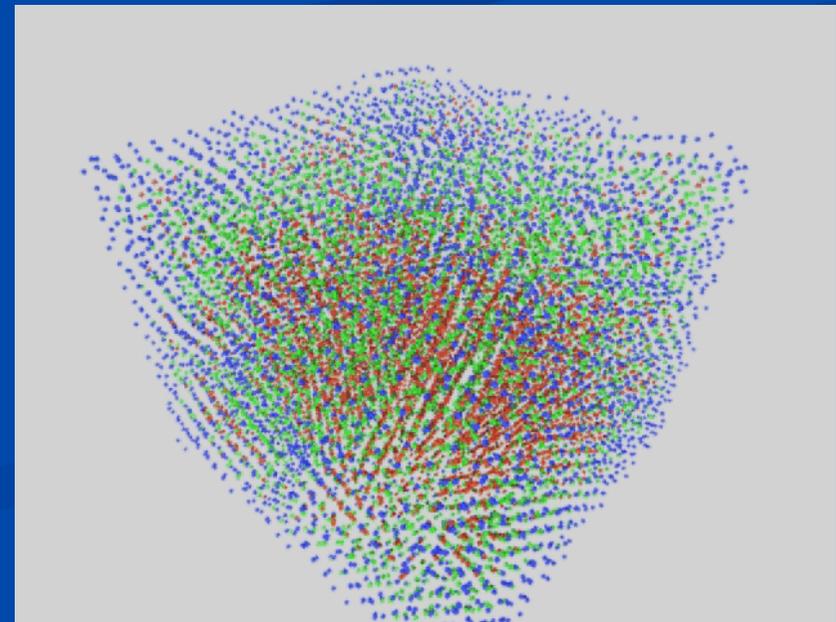
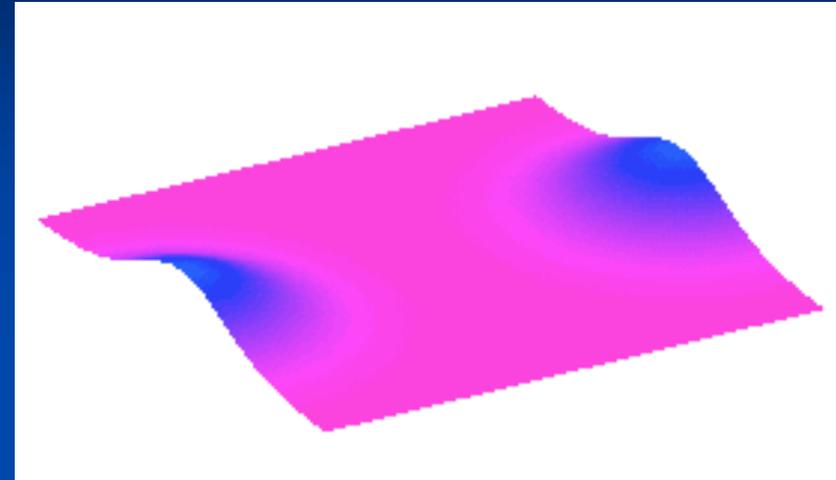
View of the European Columbus laboratory attached to the ISS  
Credits: ESA/NASA

\*Nobel Prize 1991: Pierre- Gilles de Gennes



# Neue Materiezustände – Grundlagenforschung im Weltraum

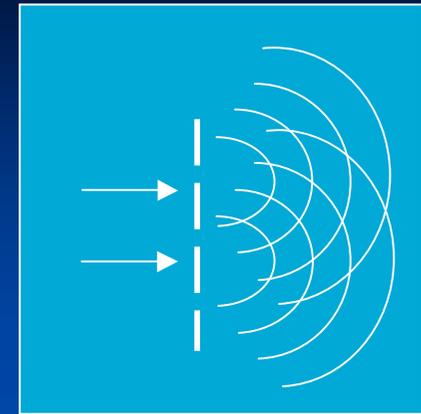
- **Neue Materiezustände:**
  - Bose-Einstein Kondensate
  - Quantenplasmen
  - Komplexe Plasmen (soft matter)
  - Neue 'weiche' Materialien
- **Neuer Zugang zur Forschung:**
  - Kritische Phänomene
  - Phasenübergänge
  - Flüssigkeiten, Nanofluidik
  - Grenzbereiche kooperativer Phänomene





# Quantenphysik

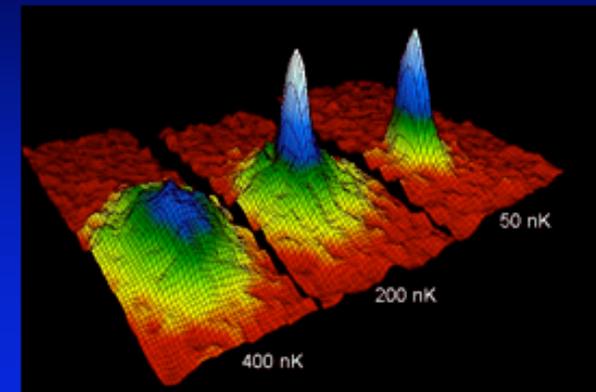
- Themen:
- Superpositionsprinzip (Wellen-Teilchen Dualität)
- Dekohärenz von Quantensystemen (Evolutionszeiten)
- Atom-Interferometrie (nichtlineare QM Effekte)
- Quanten-Verschränkung (nichtlokales Verhalten von Quantensystemen)
- Grenzen der Quantenmechanik
- Gravitationseffekte (Dekoherenz)



Materie-Wellen  
Interferometrie

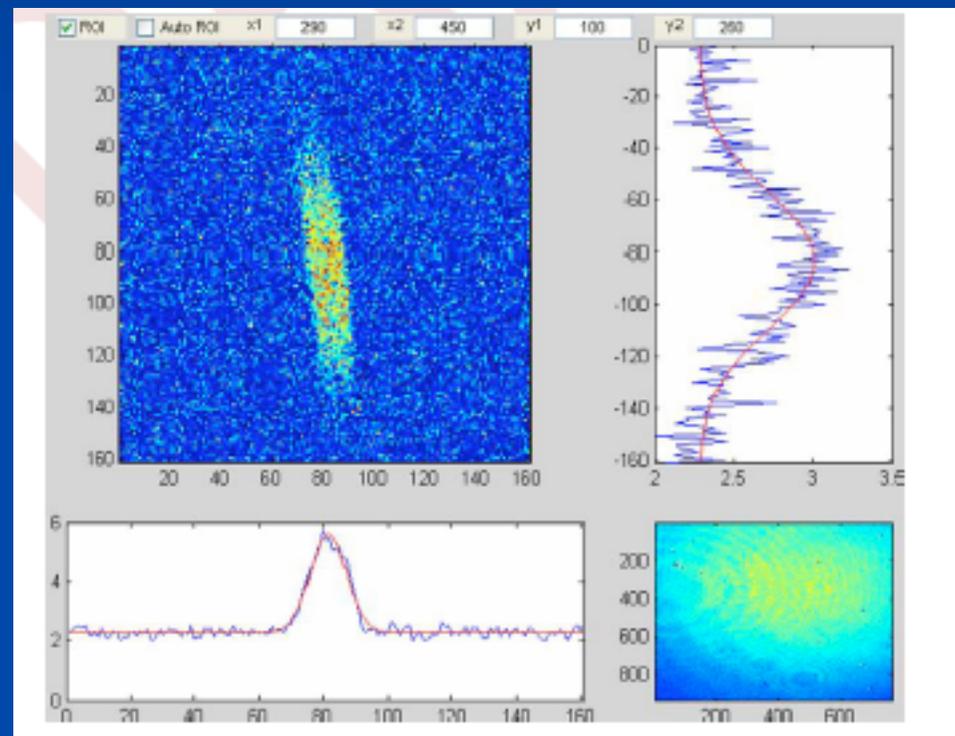
**\*Nobelpreis 2001: Cornell, Ketterle  
and Wieman**

Bose Einstein Condensation \*





# Bose-Einstein Kondensate: Erste Ergebnisse unter Schwerelosigkeit





# Zusammenfassung

- Viele der wichtigsten Bereiche der Grundlagenforschung könnten entscheidend davon profitieren, wenn Weltraumexperimente in größerem Maße ermöglicht würden.
- Einige dieser Grundlagenthemen sind jetzt gerade in einer aufregenden Phase, in der sich ein wichtiger Durchbruch andeutet.
- Deutsche Wissenschaftler sind gut platziert, um in vielen Gebieten in Zukunft eine bedeutende - sogar führende - Rolle zu übernehmen.
- Erforderlich ist jetzt der politische Wille und die Durchsetzungskraft für eine nachhaltige nationale Strategie.
- Die Industrie profitiert von dieser wissenschaftlichen Dynamik, genauso wie die Ausbildung und Lehre.



# Vielen Dank

Besonderer Dank an das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, die MPG, das DLR/BMWi, das BMBF, ESA/NASA, ROSKOSMOS, RKK Energia, Kayser-Threde GmbH und die vielen Kollegen für ihre Ratschläge und Unterstützung.