

## **Masterstudiengang Physik**

**Forschungsschwerpunkt 'Photonik und Laserphysik'**

### **Vertiefungsfach**

## **Einführung in die theoretischen Grundlagen der Quantenoptik und Atomoptik**

Peter Schmelcher  
Zentrum für Optische Quantentechnologien  
Universität Hamburg





Vorlesung: 4 SWS plus Übungen: 2 SWS

⇒ 8 Leistungspunkte

Übungen: Theoretische Konzepte und Methoden anwenden, Heranführung an moderne Literatur.

Voraussetzungen: Theoretische Physik I + II

d.h. Kenntnisse in Theoretischer Elektrodynamik und Quantenmechanik





## Ziele: Bereitstellung der theoretischen Grundlagen Aufzeigen moderner Entwicklungen

- Eigenschaften des Lichtes
- Licht-Materie Wechselwirkung
- Physik ultrakalter Quantengase

## Grundlage für und komplementär zu den experimentellen Modulen

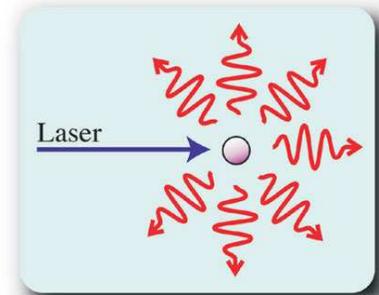
- Einführung in die Quantenoptik
- Einführung in die Quanteninformationsverarbeitung
- Einführung in die nichtlineare Optik
- ....



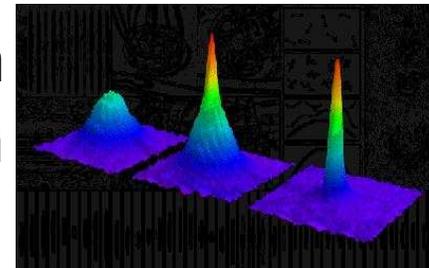
**Im folgenden beispielhaft: Inhalte der Vorlesung**

# Was sind Quantenoptik - Atomoptik ?

**Quantenoptik** untersucht die Eigenschaften des Lichtes und dessen Wechselwirkung mit Materie (klassisches Licht oder quantisierte Lichtteilchen: Photonen)



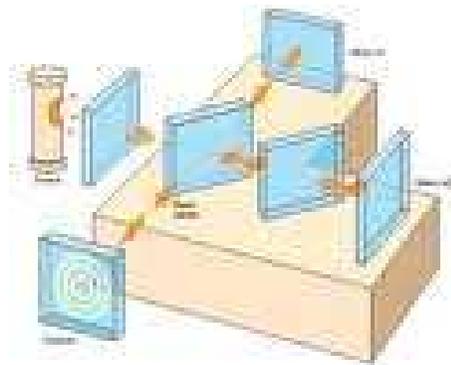
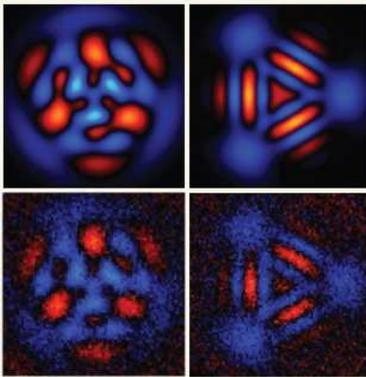
**Atomoptik** untersucht die Welleneigenschaften von (ultrakalten) Atomen, Physik der Bose-Einstein Kondensate, entartete Quantengase



Hier: **Theoretische Konzepte** zur Beschreibung der Quantennatur von Licht und Materie entwickeln !

# Quantenoptik

- Quantentheorie der elektromagnetischen Strahlung
  - Photonen und deren Zustände: Physikalische Eigenschaften und mathematische Beschreibung
  - Kohärente, gequetschte Zustände des Lichtes (Thermisches, chaotisches Licht)
  - Anwendungen in der Interferometrie (Abfolge von detektierten Photonen: Photonenstatistik)

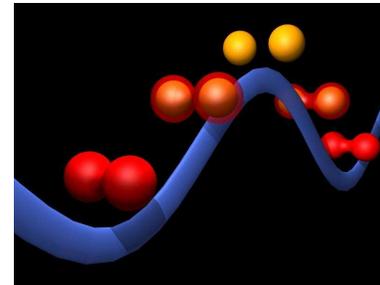


# Quantenoptik

- Grundlagen der Licht-Materie Wechselwirkung

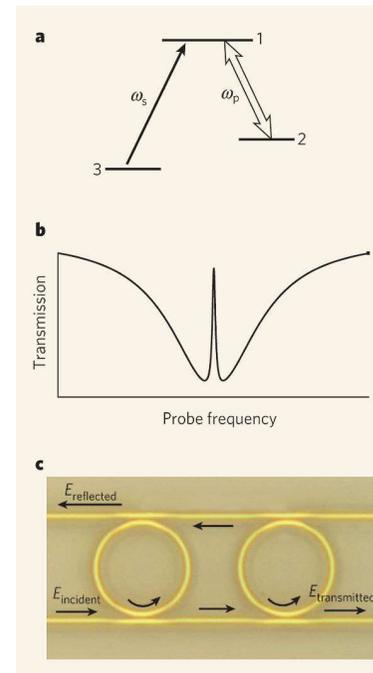
Speziell:

- Physik der Zweiniveausysteme (Atome, Molek. etc.)
- Kontrolle der atomaren Besetzungszustände, Rabioszillationen
- Hybridzustände Licht-Materie
- Dekohärenz



## Lasergetriebene Dreiniveausysteme

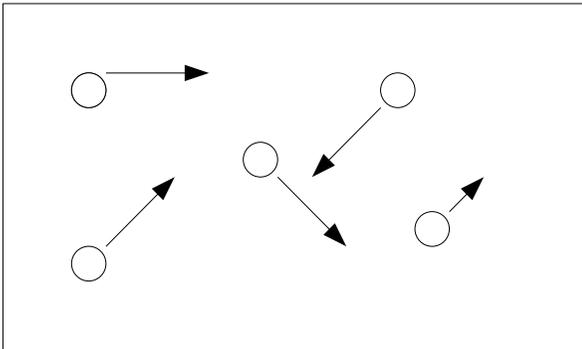
- Dunkle Zustände
- Langsames Licht
- Elektromagnetisch induzierte Transparenz
- Hochgradige Nichtlinearitäten in Medien (Absorption, Dispersion)



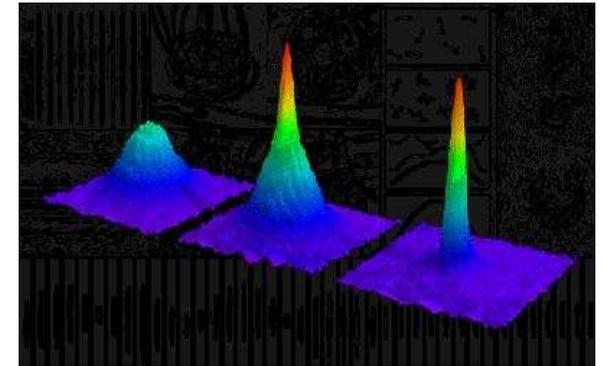
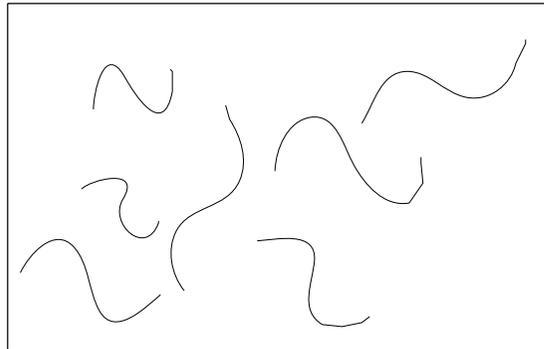
# Atomoptik

Sehr tiefe Temperaturen (Nanokelvin): Aus einem klassischen Gas entsteht ein Bose-Einstein Kondensat  $\Leftrightarrow$  Materiewelle

Thermisches Gas von Atomen



Kalte Atome zeigen Wellencharakter

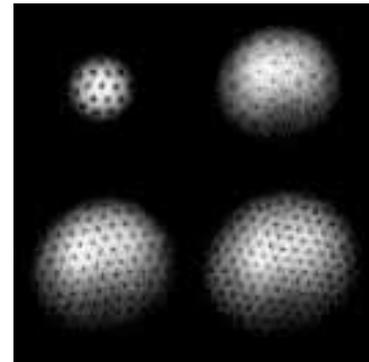
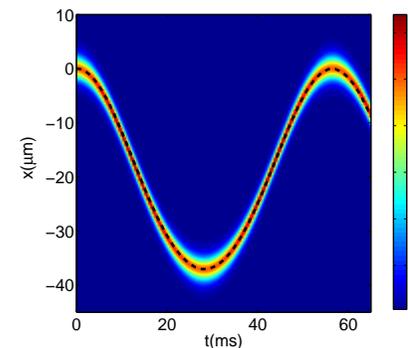
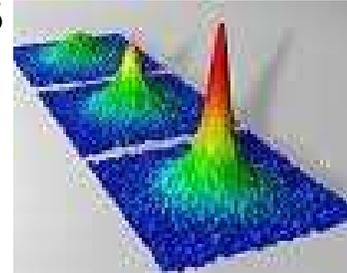


Übergang vom Gas klassischer Teilchen zu einem kollektiven Quantenzustand (Materiewelle !) in dem alle Atome unisono

'schwingen' !

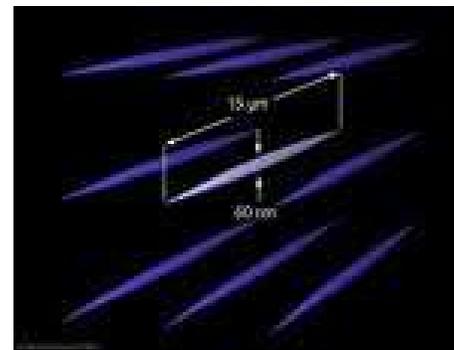
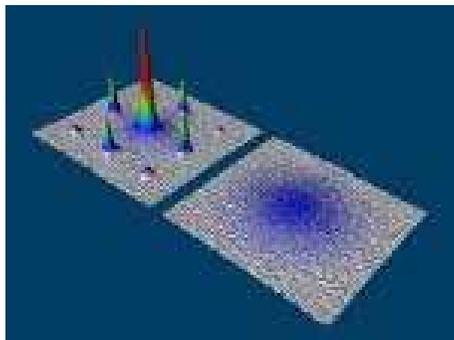
# Atomoptik

- Theoretische Verständnis des Phasenübergangs zum Kondensat: Dimensionalität, Falle....
- Beschreibung des kondensierten Zustandes: Nichtlineare Schrödingergleichung und deren Eigenschaften
  - Wechselwirkung ultrakalter Atome
  - Interferenz, Korrelationen und Kohärenz
- Dynamik von Kondensaten
  - Elementare Anregungen
  - Kollektive Moden
  - nichtlineare Anregungen: Solitonen und Vortizes



# Atomoptik

- Mikroskopische Theorie des Bose-Gases und Superfluidität
- Mixturen und Spinorgase  $\Leftrightarrow$  Kondensierte Materie
- Optische Gitter: Quantenphasenübergänge
- 1D, 2D versus 3D: Einfluß von Einschließung und Dimensionalität





---

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !**

