

課題演習 B6

量子エレクトロニクス

気体原子のレーザー冷却と量子コンピュータの基礎

<http://yagura.scphys.kyoto-u.ac.jp/b6/index.html>

物理第一教室・量子光学研究室

教授	高橋義朗	5号館203号室
准教授	高須洋介	5号館202号室
准教授	小野滉貴	5号館201号室
助教	田家慎太郎	5号館201号室

TA(大学院生)若干名(予定)

量子コンピュータ開発の発展

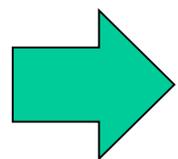
2つの量子状態 $|0\rangle$, $|1\rangle$ をビットとみなす

$|0\rangle$ と $|1\rangle$ の重ね合わせ状態を用いることで特定の計算(素因数分解、フーリエ変換 etc)を古典計算機より圧倒的に短時間で実行できる

$$\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

実用的な量子コンピュータを実現するには...

- 多数の量子ビットの制御(大規模集積化)
- ゲート操作の忠実度・速度 が必要

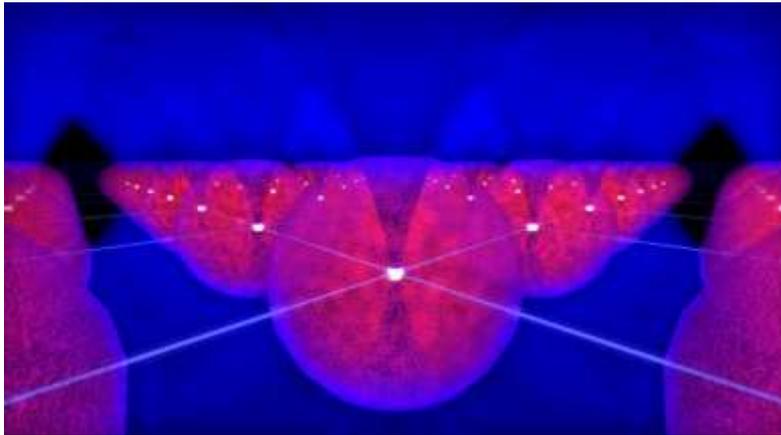


“レーザー冷却された中性原子”が
量子コンピュータの有力プラットフォームに

光ピンセットアレイによる量子コンピュータ

光ピンセット(optical tweezers)

- 集光した高強度のレーザー光に原子をトラップ
- 単一原子をトラップした光ピンセットを格子状に並べて量子コンピュータを構成



イメージ図



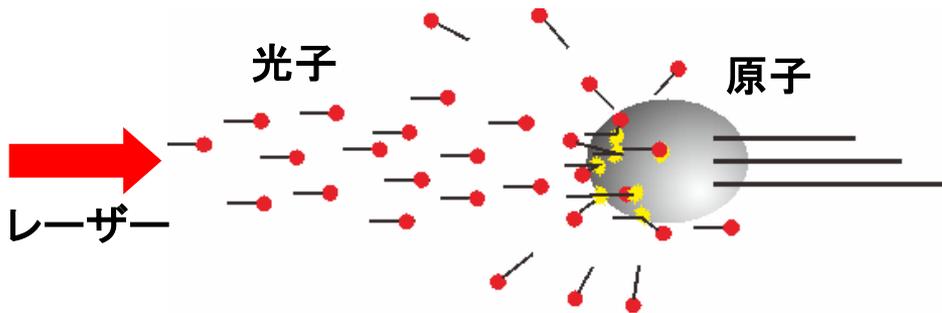
光ピンセットアレイに配置された
Yb原子の蛍光観測

- 量子誤り訂正の実装・大規模集積化にアドバンテージ
- **次世代の量子コンピュータの有力候補**

レーザー冷却

レーザー冷却とは？

レーザー光で気体原子を「冷やす」

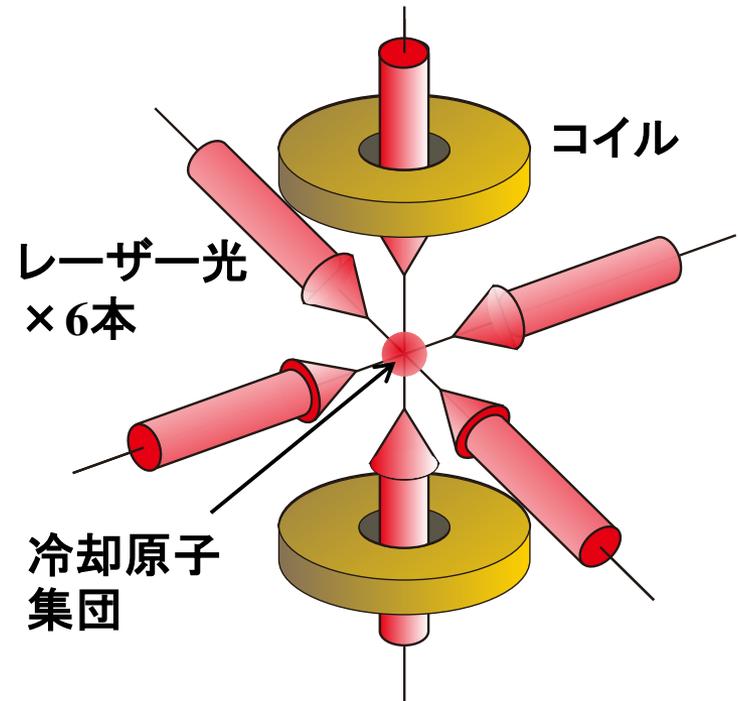


レーザー中の光子の運動量を原子に
与えて原子の速度を減らす

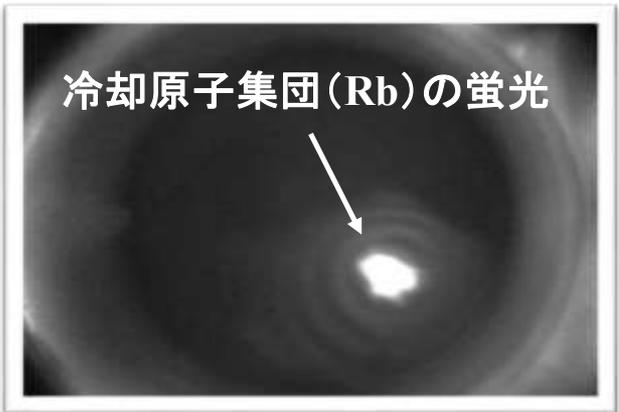
達成できる温度領域

~100 μK (レーザー冷却原子)

< 100 nK (BEC)

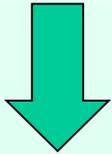


冷却原子集団 (Rb) の蛍光



ボース・アインシュタイン凝縮(BEC)

温度が下がる

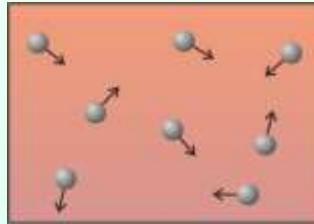


原子が波として
振る舞う

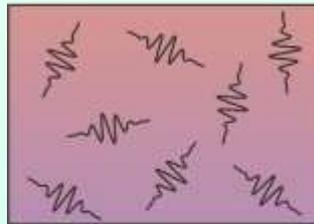
ボース原子の場合、
ある温度で原子波束が
重なり始める→ **BEC**

1995年に初めて実現
2001年にノーベル物理学賞

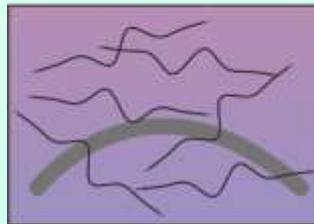
~1 mK



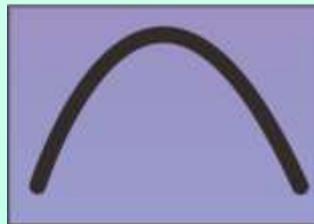
~100 μ K



~100 nK



~0 K



300 K 室温

273 K 氷

180 K 世界最低気温

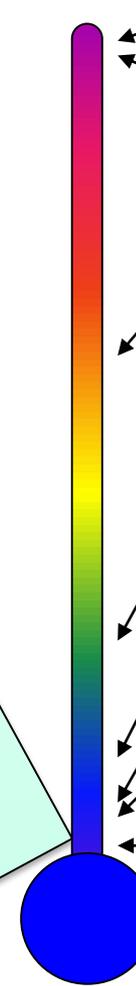
77 K 液体窒素

4.2 K 液体⁴He

2.2 K 液体⁴Heの
超流動温度

数 mK 液体³Heの
超流動温度

0 K 絶対零度

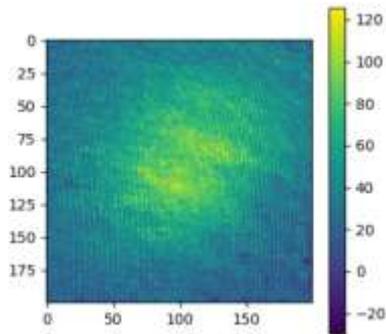


実際のB6の実験内容

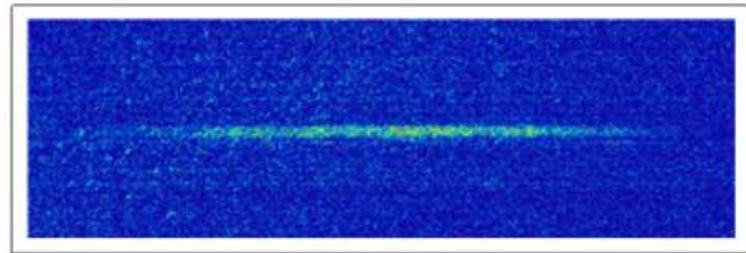
✓ Rb原子のレーザー冷却

^{87}Rb 原子の磁気光学トラップ (2024後期)

^{87}Rb 原子の光トラップ (2025前期)、蛍光イメージング(2025後期)



磁気光学トラップ



光トラップ中の蛍光イメージング

✓ 光ピンセットアレイの実装

音響光学素子を用いた1次元アレイの構築へ

B6の進め方

(1) <前半6回> 理論ゼミ

光学：「現代光科学I、II」 大津元一（朝倉書店）

「レーザー物理入門」 霜田光一（岩波書店）

レーザー冷却、BEC：「Atomic Physics」 C. J. Foot (Oxford)

時間があれば量子コンピュータの基礎についても学習

(2) <後半7回> 実験

光学実験の基礎技術を習得

Rb原子のレーザー冷却と応用実験

(3) <学期末> 発表会とレポート提出

中性原子のレーザー冷却は世界中でさかんに研究されていて、
量子シミュレーション・量子計算へ応用されています。

B6ではその最先端の実験技術に触れることができます！