

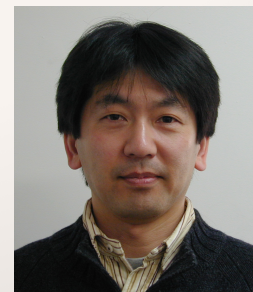
世界唯一超低温MRI装置

低温物理学研究室

量子液体
固体の
不思議な
世界を
探求しよう



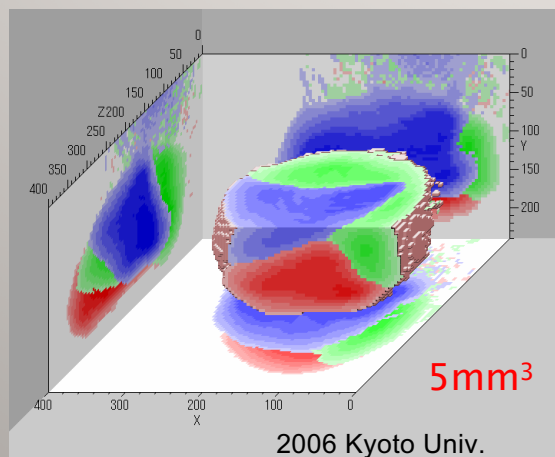
教授 佐々木 豊



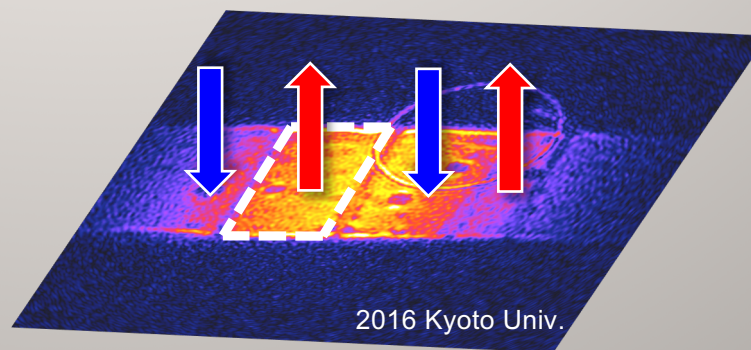
准教授 松原 明



超低温度を維持したまま
回転できる回転冷凍機



核整列固体 ^3He の
世界一クールなMRI像($500\mu\text{K}$)



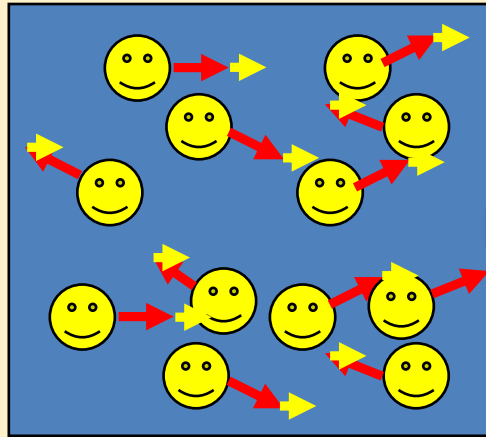
超流動 ^3He のカイラルドメイン構造のMRI像
Kasai *et al.* *Phys. Rev. Lett.* (2018)



選出されました

ボース・アインシュタイン凝縮と超流動⁴He

通常流体

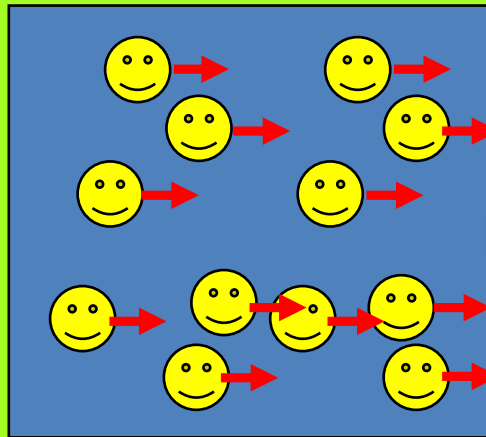


各粒子はバラバラに運動しているが
その速度の平均の向きに
全体が運動する

$$v \neq 0, \quad \langle v \rangle = v_0$$

各粒子がお互いに衝突を繰り返し
速度の平均は再びゼロになる
⇒ 粘性

超流動体



ボソンである
ヘリウム4原子が
ボース・アインシュタイン凝縮
(全粒子が同じ運動状態)
+ 頑丈さ(相互作用)
⇒ 超流動(摩擦の無い流れ)
 $T_c = 2.2\text{K}$

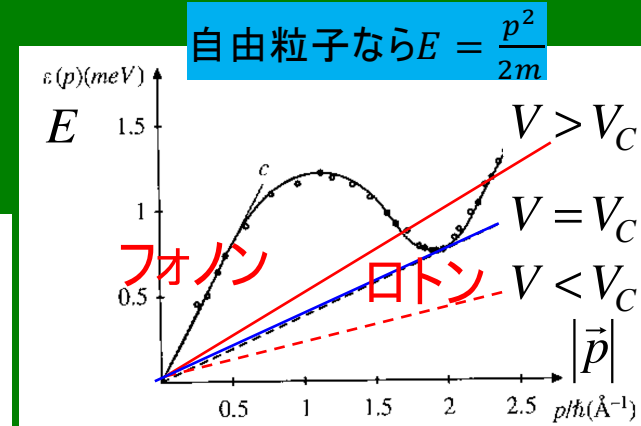
超流動が超流動たる所以

励起状態：フォノン-ロトン曲線
エネルギー・運動量保存した衝突過程
⇒臨界速度の存在

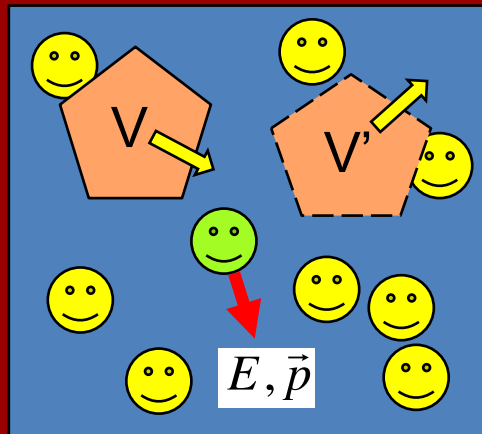
$$\frac{1}{2}MV^2 = \frac{1}{2}MV'^2 + E(\vec{p}) \Rightarrow M(V - V')V \approx E(\vec{p})$$

$$M\vec{V} = M\vec{V}' + \vec{p} \Rightarrow M(\vec{V} - \vec{V}')V = V\vec{p}$$

$V < V_c$ では 2 式を満たす $E(\vec{p}), \vec{p}$ はない。



超流動体



ボソンである
ヘリウム4原子が
ボース・アインシュタイン凝縮
(全粒子が同じ運動状態)
+ 頑丈さ(相互作用)
⇒ 超流動(摩擦の無い流れ)
 $T_c = 2.2\text{K}$

超流動による不思議な現象その1

超熱輸送： 静かに沸騰する超流動ヘリウム

デュワー瓶の中にためた液体ヘリウムをポンプで強制的に蒸発させると
潜熱を奪われた液体ヘリウムは冷却されて2.17Kで超流動になる

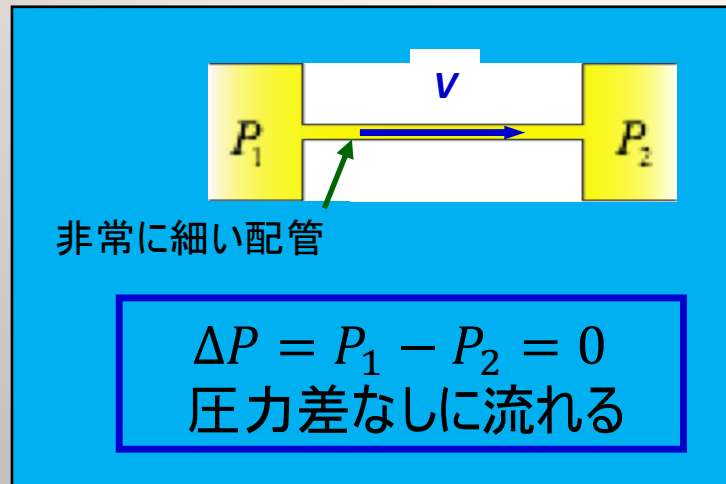
100万倍の熱伝導度
により表面だけで蒸発

$T > 2.17\text{K}$ で激しく沸騰する常流動ヘリウム

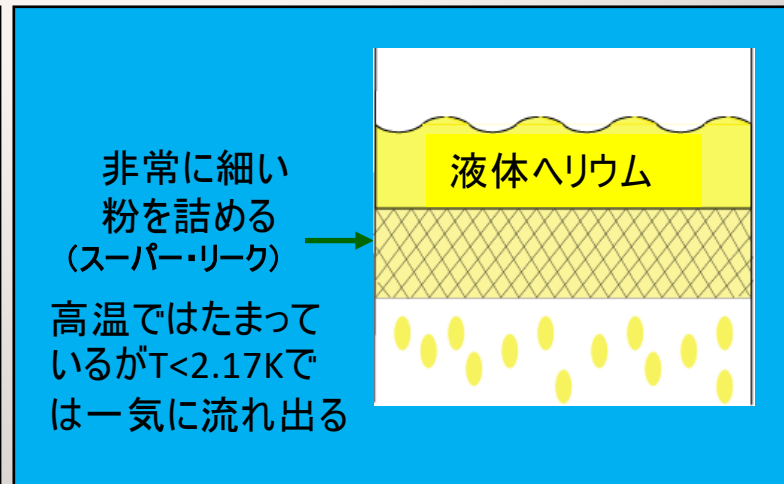
$T < 2.17\text{K}$ で液面から蒸発する超流動ヘリウム



超流動による不思議な現象その2

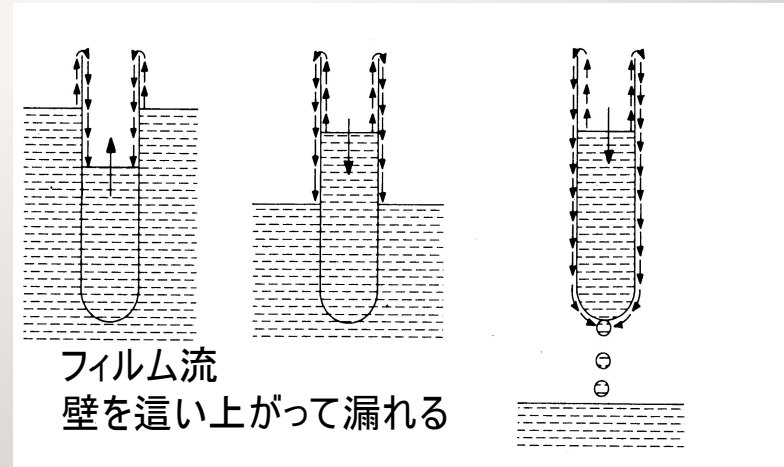


粘性の消失：
小さな穴もスルスルと通り抜ける



超流動による不思議な現象その3

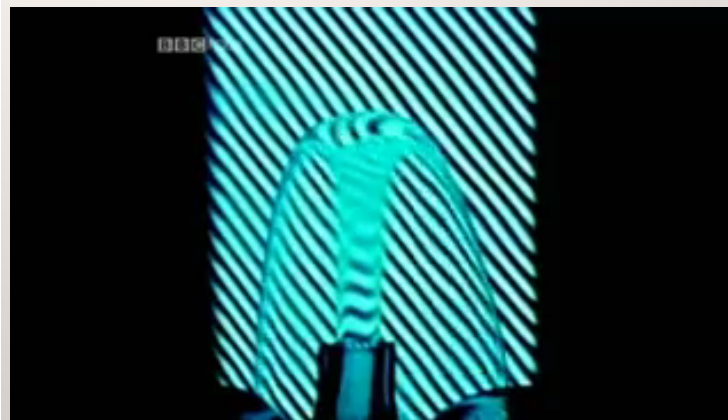
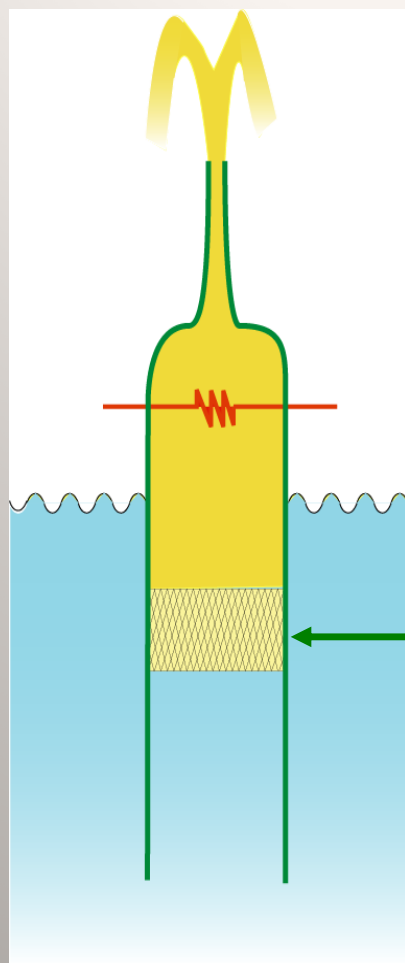
フィルム流：
超流動は容器の壁を
這い上がって外に出る



超流動による不思議な現象その4

噴水効果:

温度差をつけると、
超流動が温度の高い方に
流れ込み、勢いあまって上
から噴出する。

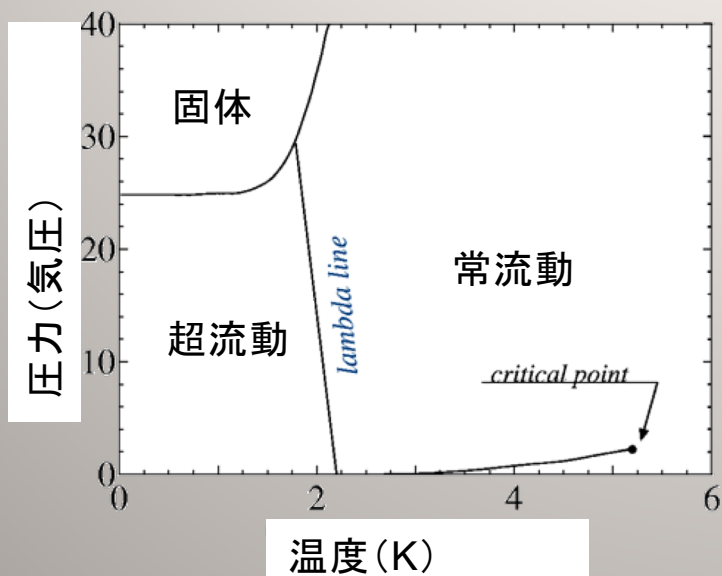


スーパーリーク

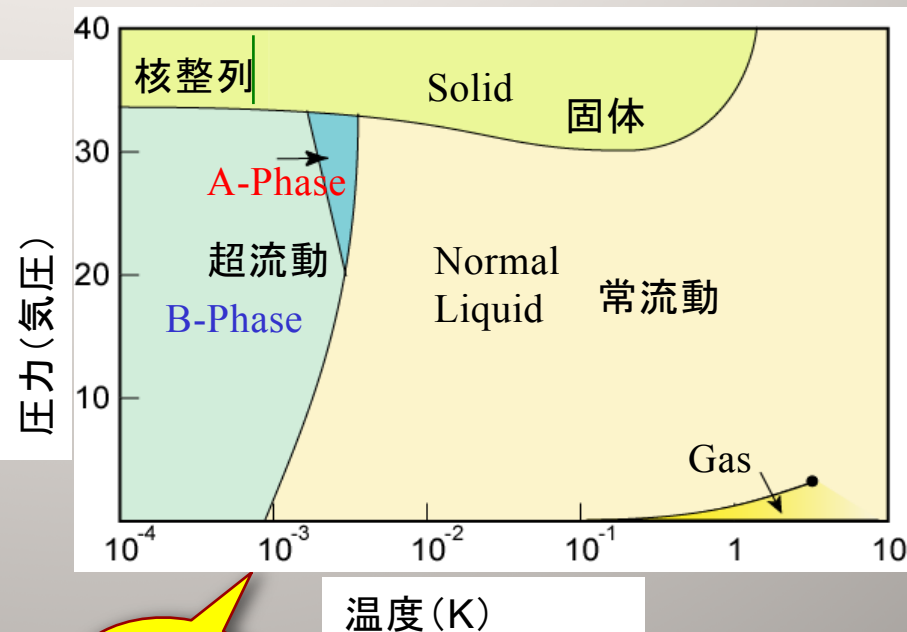


超流動 ^3He と ^4He

ボソンの ^4He は2Kで超流動(BEC) vs フェルミオンの ^3He は2mKで超流動(BCS)



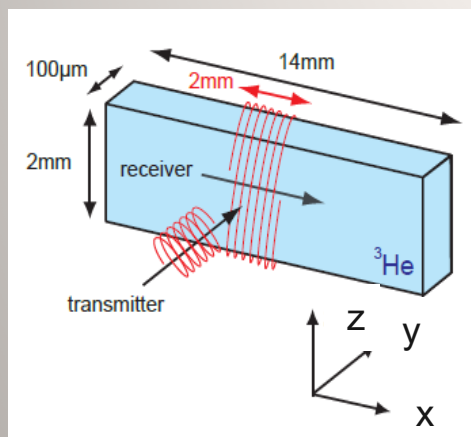
^4He の相図



10^{-3}

^3He の相図

100 μ m厚平行平板

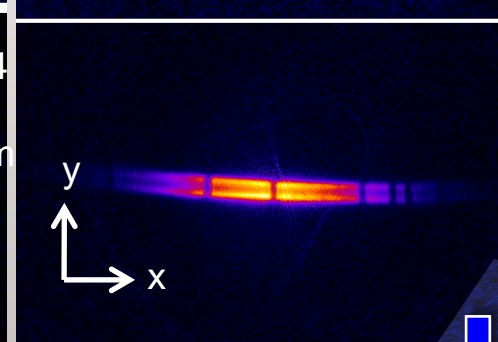
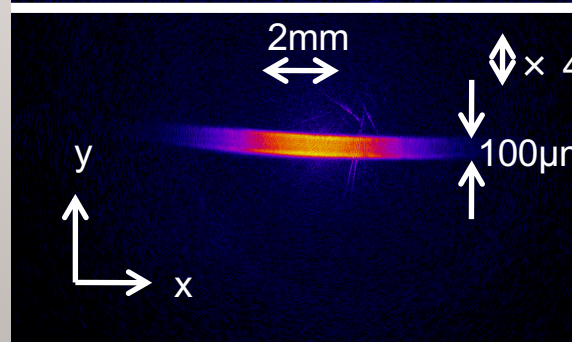
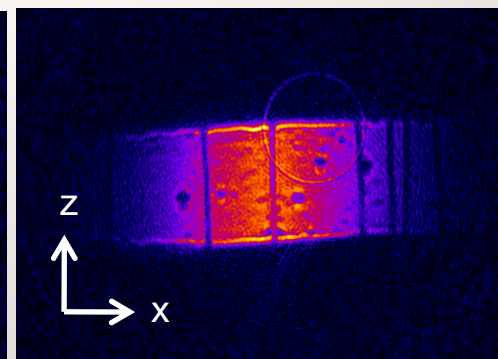
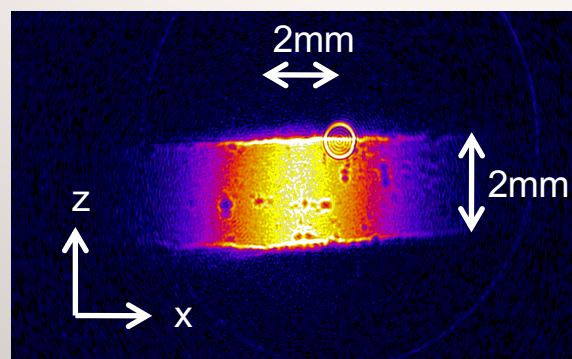


超流動ヘリウム3 MRI像

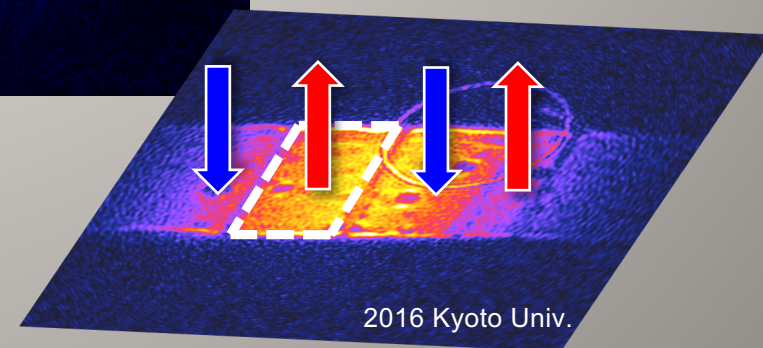
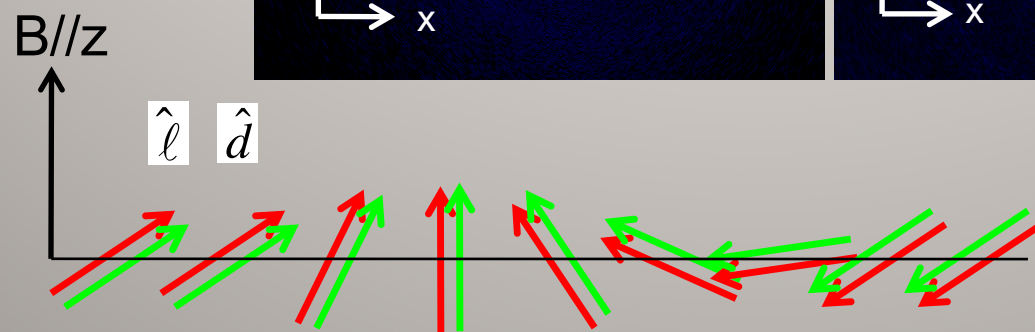
常流動相

超流動A相

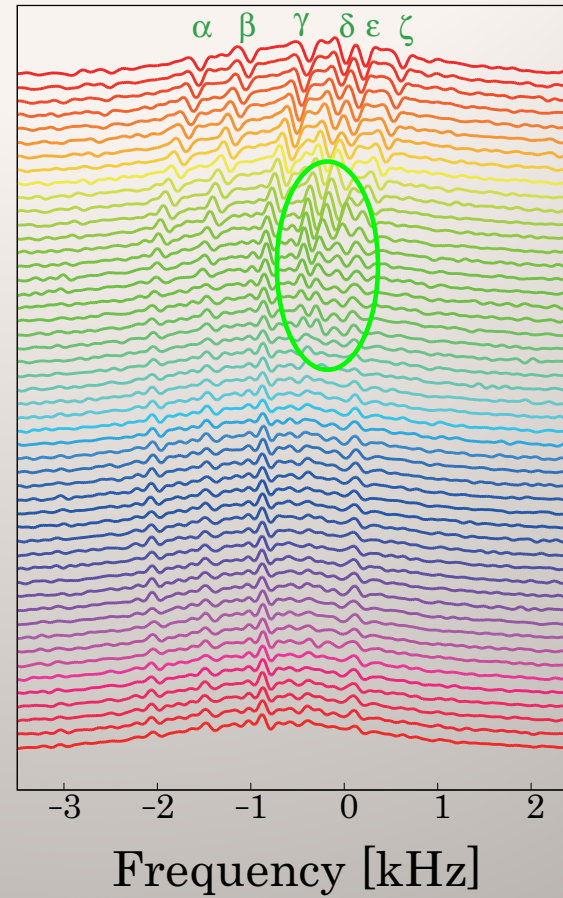
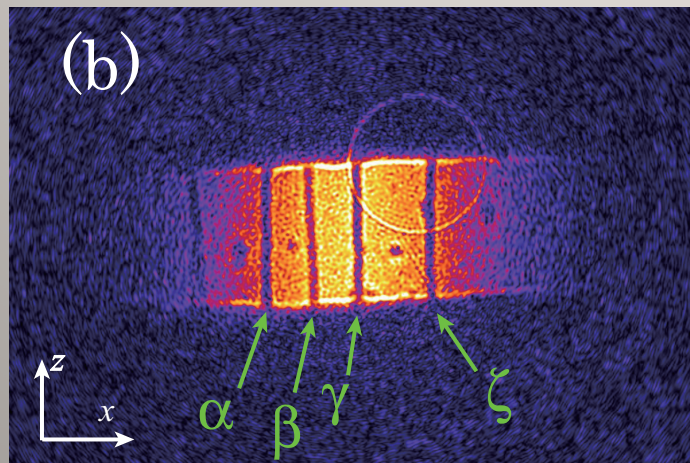
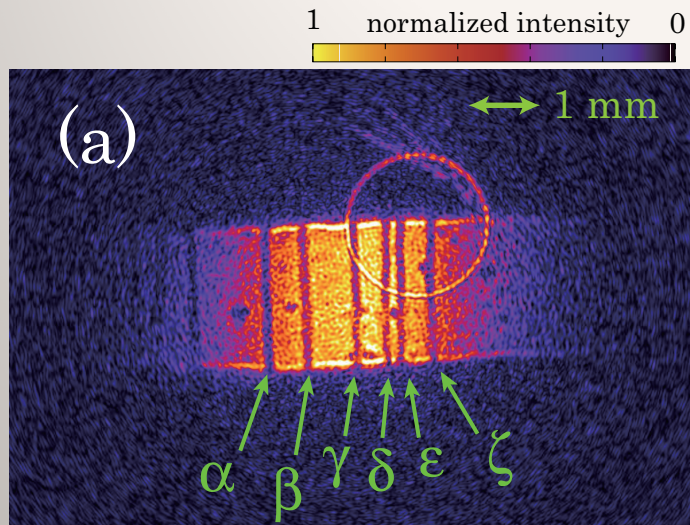
$T=2.0\text{mK}$, $p=2.4\text{MPa}$



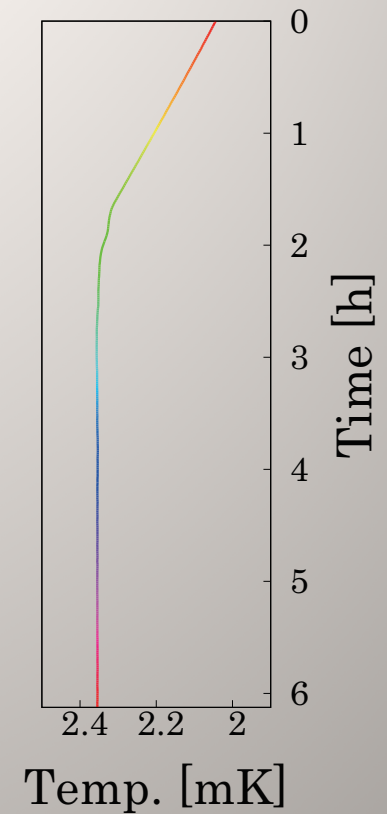
y-z 面状の
トポロジカル構造体
と **カイラルドメイン**



Pair Annihilation during Annealing



$$T/T_c = 0.98$$

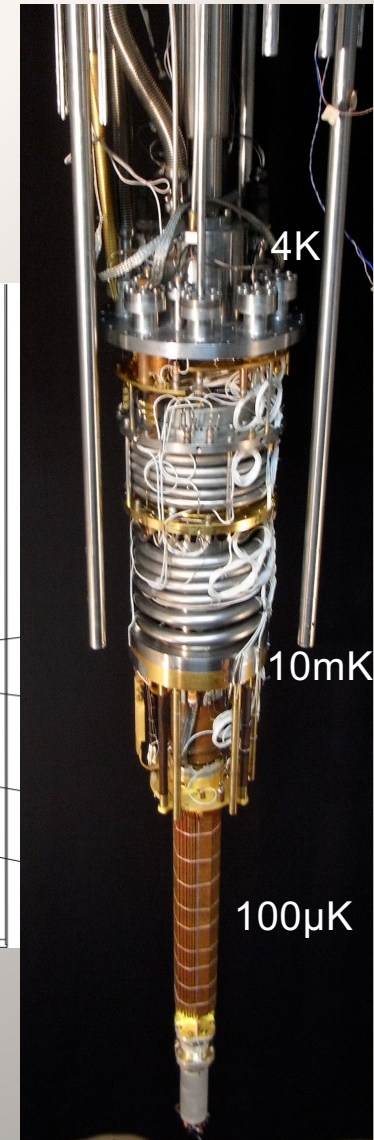
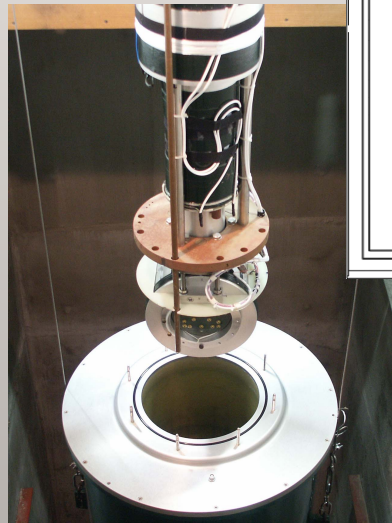
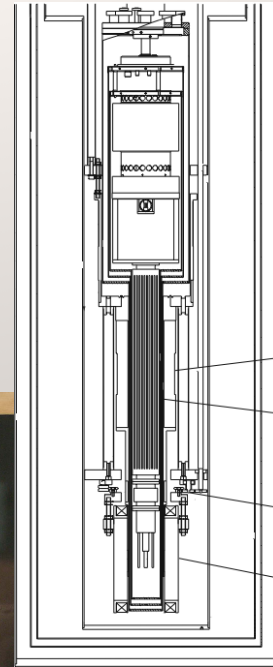


実験室の様子

世界唯一超低温MRI装置
(京都大学総合研究5号館)



最低温度
 0.0001K
(宇宙の温度の
1万分の1)



連絡先

sasaki@scphys.kyoto-u.ac.jp

Compact MRI magnet and 100 μ m gap Parallel Plate Cell

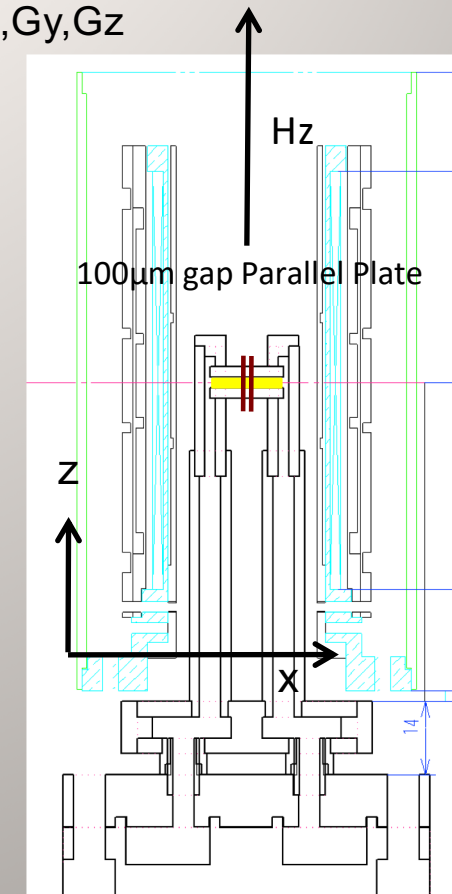
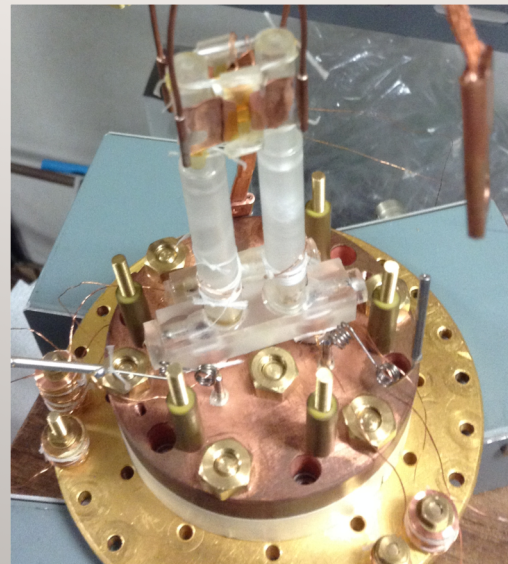
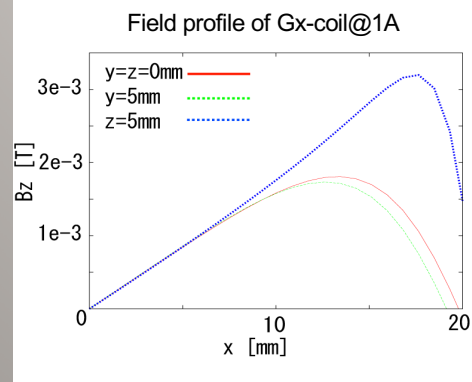


Superconducting shield (Nb)

R=30.5mm, L=110mm

Solenoid coil: 0.8T @ 4A

Gradient coil: 0.17 T/m @ 1A for G_x,G_y,G_z



低温物理学研究室の活動・教育方針

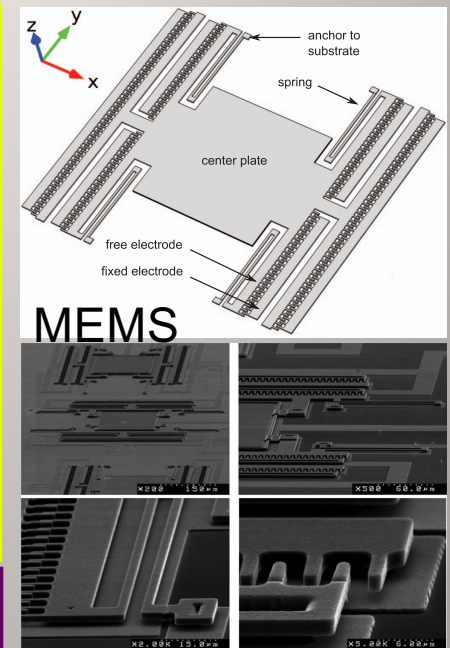
理想的物質系ヘリウムを舞台とする基礎物理

⇒ シンプルな構成要素 (フェルミオンのヘリウム3とボソンのヘリウム4) + 制御された異方的空間
>> 普遍的な物理現象を精密に理解しよう！

理想的物質系では次々と新しい物理現象が展開される
研究対象となる物理現象は広範囲 (興味次第で広がる)
超流動ヘリウム3の多自由度波動関数の実空間観測,
量子渦などトポロジカルな構造体のダイナミクス, 量子乱流,
相転移によるトポロジカルな構造体の生成と宇宙論の実験的検証,
非等方空間における新奇対称性超流動相の探索,
量子系と結合した古典振動子系MEMSのダイナミクス, , , ,

教育方針: 新しい実験装置を開発して新しい発見に
近づく力をつけるために、貴方の研究開発力を鍛えます。

研究内容について詳しく知りたい方の訪問大歓迎





コロナが
収束したら

研究室メンバーとの楽しい活動
も再開しましょう

“Fermion”な奴ら
熱烈大歓迎！

低温研で濃い時間
を過ごしましょう



3世代50年におたる
研究室OBたちとの交流

低温物理学研究室 連絡先

教授 佐々木 豊

京都市左京区吉田本町

京都大学本部構内 総合研究5号館 307号室

075-753-3755

sasaki@scphys.kyoto-u.ac.jp