

講義に関するコメント等

<http://spinman.phys.se.tmu.ac.jp/lecture/>

ミラーサイト：

<http://kem3.com/esrp/lecture/>

メールアドレス：

mizoguchi@phys.se.tmu.ac.jp

kem@kem3.com

「講義レポート」について

講義内容の感想文

皆さんのこれまでの人生で得て来た知識を総動員して、講義内容の自分なりの理解・考え方をまとめるWebから引用した文章が中心の「**自分の考え**」が示されていないレポートの評価は低くなります。

A4用紙 1頁 程度（表紙は不要）

提出：次回講義の終了時

- 1) 電子の粒子性と波動性
- 2) 波としての電子と半導体
- 3) ナノの世界を見る
- 4) 医療と現代物理
- 5) 電気の流れるプラスチック
- 6) 超伝導・超流動を見る

現代物理学の考え方

その6

超伝導・超流動を見る

溝口憲治

量子の世界の観察

超流動・超伝導を見る

- 超流動**
 - ヘリウムの噴水
 - こぼれる超流動ヘリウム
- 超伝導**
 - 磁気浮上
 - 魚釣り効果
 - 浮上走行

^4He の超流動

Superfluidity

大学祭
理工祭

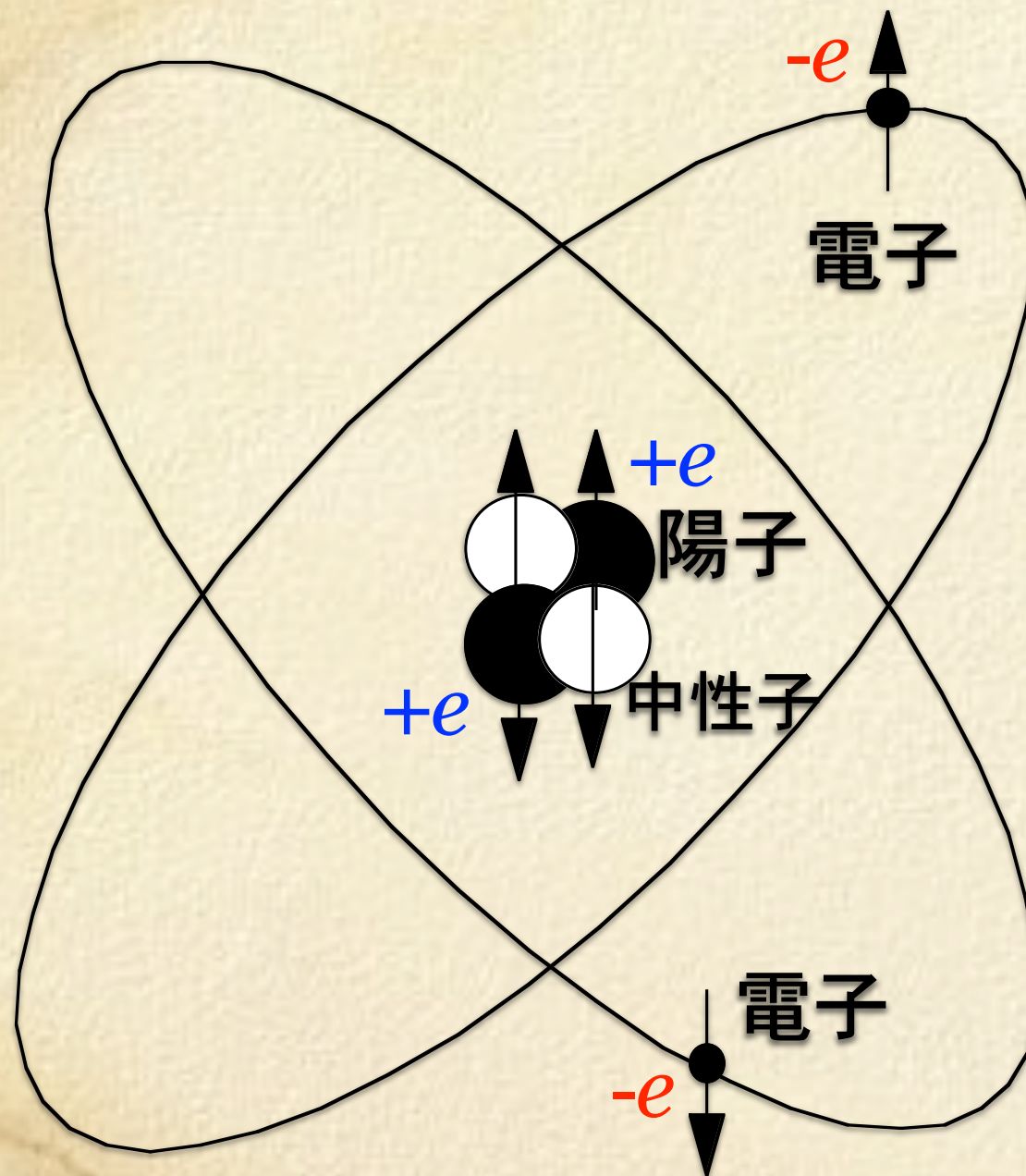
ヘリウム
委員会



液体ヘリウム
-270度Cの
研究用 寒剤

${}^4\text{He}$ とは？

太陽神：Helios



スピン

電子, $S=1/2$: 2個

陽子, $S=1/2$: 2個

中性子, $S=1/2$: 2個

全スピンは、

$S=0$

の整数スピン

水素原子の次に**軽い**元素

超 (super) を支える
ボーズ粒子！

Fermi-粒子 フェルミ粒子

Pauli の排他律 に従う粒子



一つの量子状態には**最大
1つ**の粒子しか入れない

スピンの $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots$ (半整数) の粒子

電子、陽子、中性子
 ^3He 原子など

Bose-粒子 ボーズ粒子

一つの量子状態に**いくつ
でも**粒子が入れる

これが本質的に重要！！

スピンの $0, 1, 2, 3, \dots$ (整数) の粒子

光子、重陽子、 ^4He 原子
フォノンなど

全体主義の「ボーズ粒子」 個人主義の「フェルミ粒子」

ある温度, **2.17K** 以下では

殆ど全ての ^4He 原子が
一つの最低エネルギー状態に
(ボーズ粒子だから出来る)

超流動状態

(ボーズ・アインシュタイン凝縮)

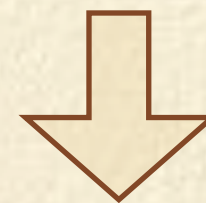
超流動状態とは？

ほとんどのHeは、

○運動量 = 0 の状態

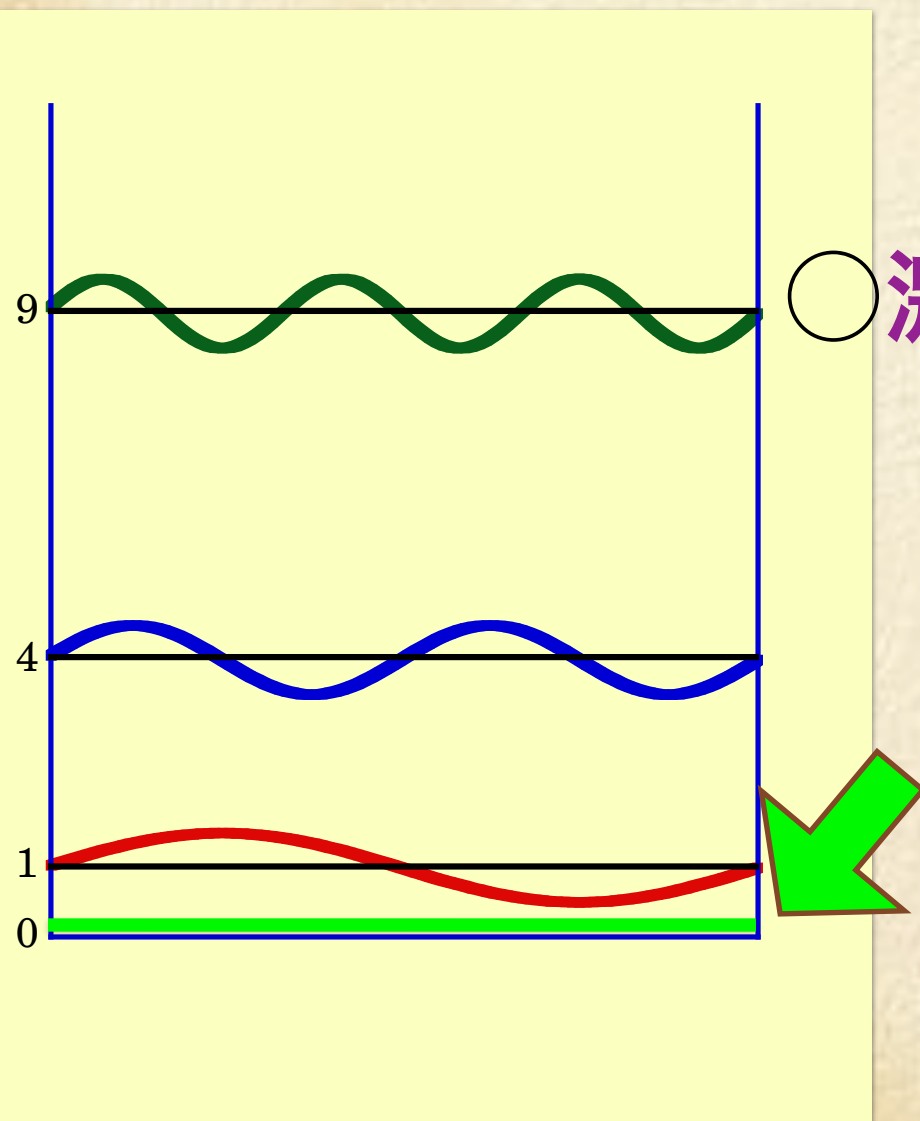
○一つの量子状態

○激しい運動：衝突 ⇒ 起こらない



粘性抵抗 = ゼロ

摩擦無し !!



しかし、実際の振舞は

2 流体モデル

○整然としたデモ隊（超流動He II）

粘性抵抗 無し

+

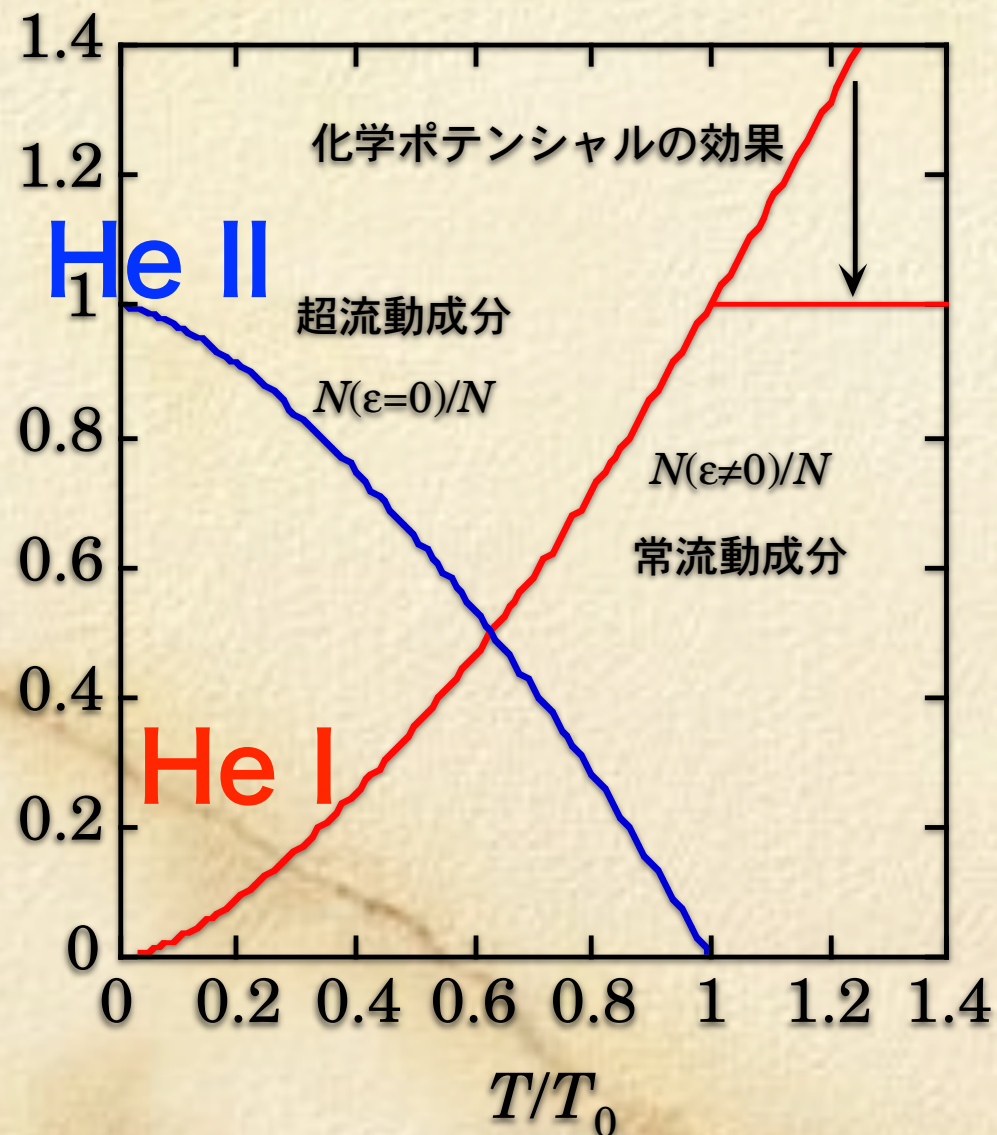
○新宿の駅前の雑踏（常流動He I）

粘性抵抗 有り

超流動の観察

ヘリウムの噴水

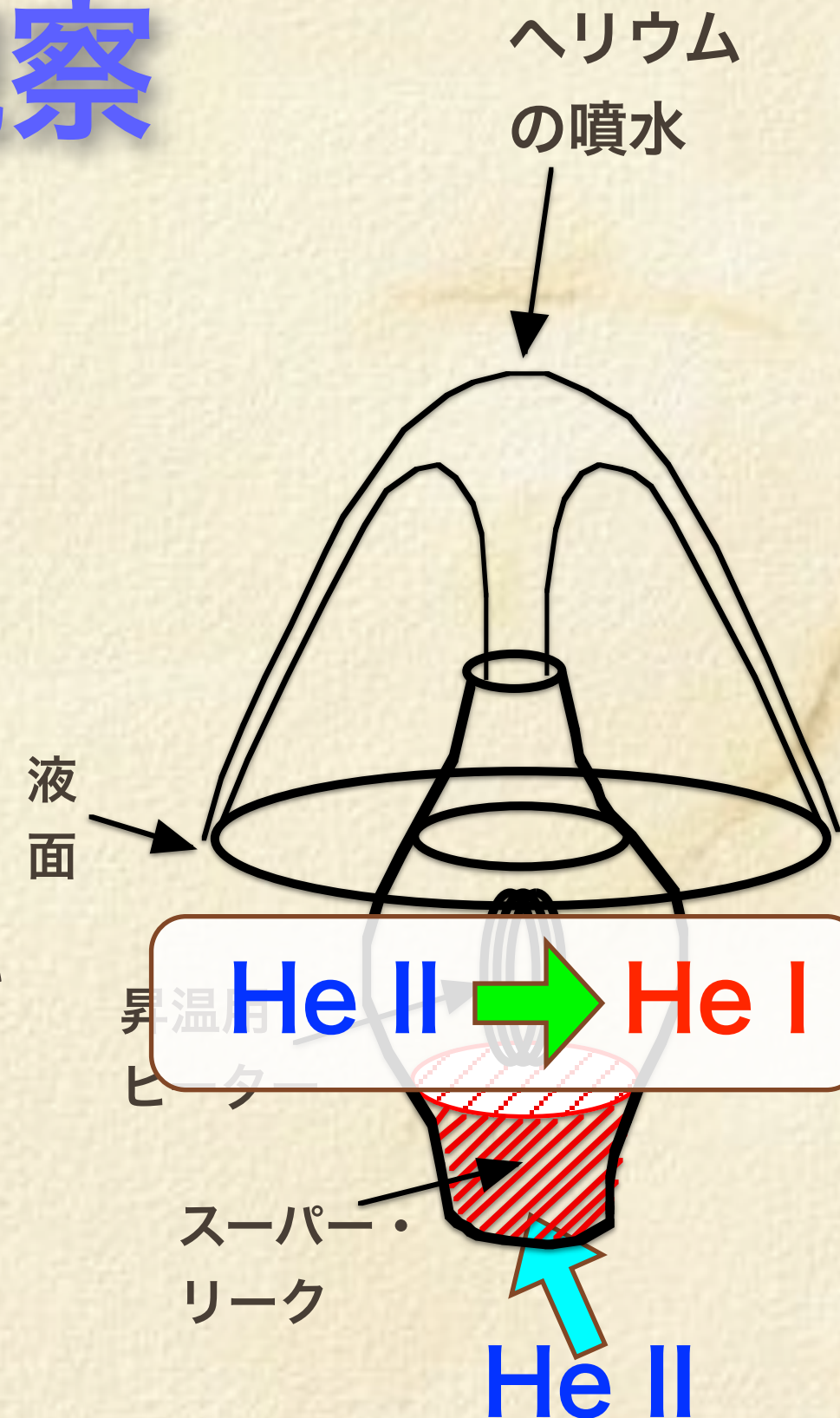
○ 2 流体モデルの良いデモンストレーション



超流動の観察

スーパー・リーク

- 非常に細かい粉末がビッシリと詰まった物。
- 常流動He I は容易には通れない
- 超流動He II は容易に通過
- ヒーターで加温
- 超流動He II の濃度減少を補って吹き出すHeの噴水



こぼれる超流動 He II

超流動He II 間の引力が極端に弱く、
ヘリウム原子とガラス壁の分子間の
引力で壁をよじ登り、ついにはぽた
ぽたとこぼれてしまう。

ガラス容器



Film flow、ナノメートルの厚みで、
毎秒・数十mの速さ

こぼれる液体He

超流動の観察

ヘリウムの噴水

こぼれる超流動ヘリウム

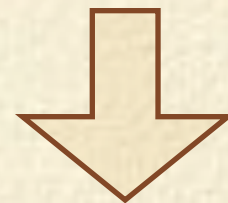
聖科ミュージウム

超伝導現象

Superconducting phenomena

超伝導

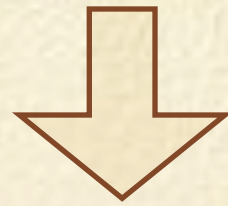
電気抵抗が消滅する現象



超流動の**摩擦無し !!**と類似の現象

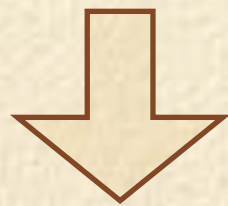
超伝導って何？

マクロなスケールの **量子現象**

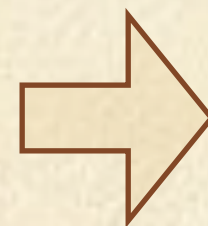


大部分の電子で**一つの量子状態**を作る

フェルミ粒子では**あり得ぬ**現象



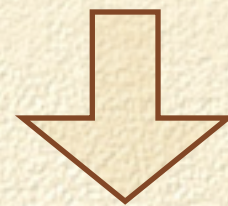
~~パウリの排他率~~



ボーズ粒子化？

フェルミ粒子をボーズ粒子に！

電子は $S=1/2$:フェルミ粒子

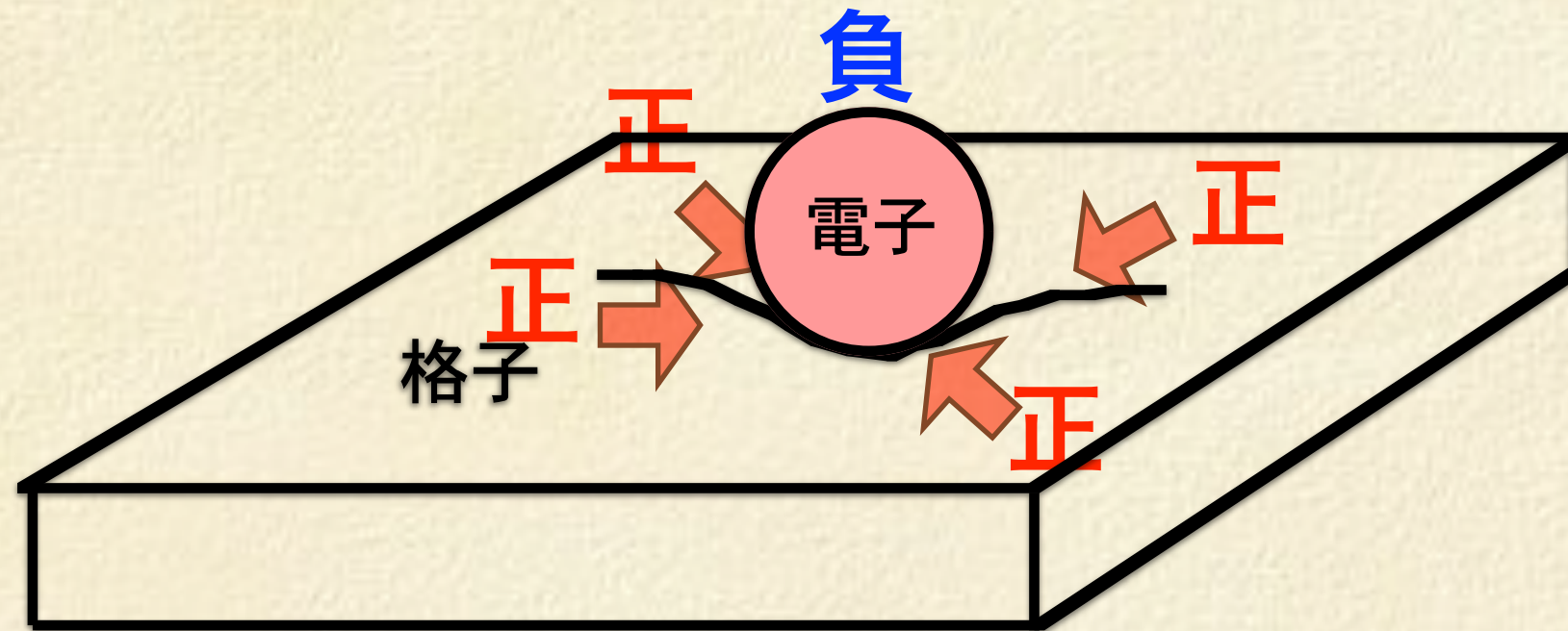


2つ集めれば、 $S=0$ のボーズ粒子！

クーパー対 $= (\uparrow \rightarrow) + (\downarrow \leftarrow)$

spin 運動量

クーパ-対を作る引力は？

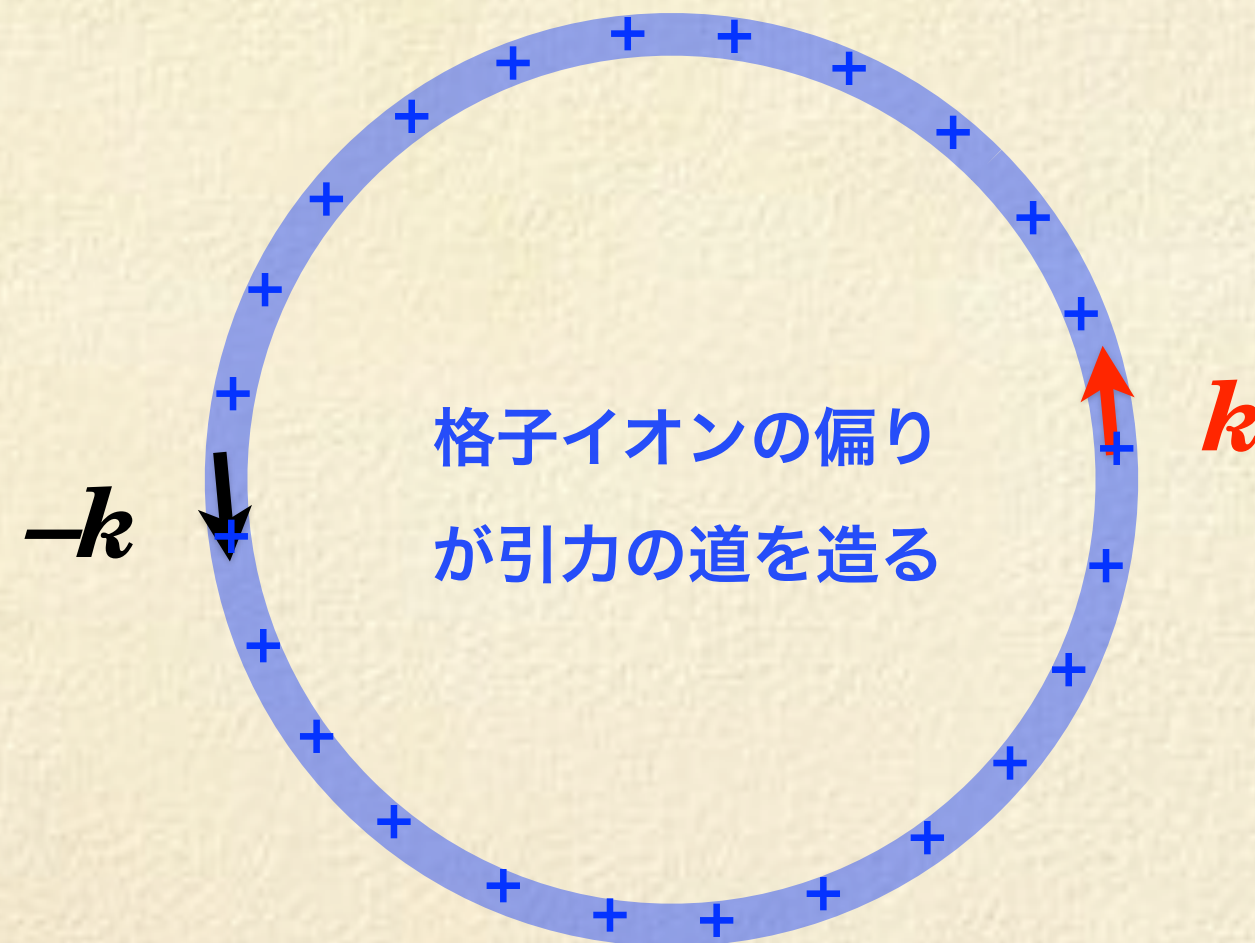


コンニャク模型

格子の**正電荷** → 引力 ← 電子の**負電荷**
 イオンは**重い** 電子は**高速**

電子には格子が**歪んだまま**に見える

クーパー対はどんな運動を？



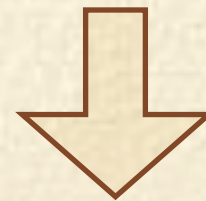
波動関数 (存在確率) の形

超伝導状態とは？

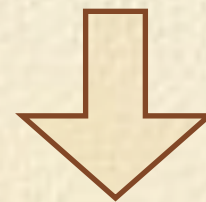
○全クーパー対から作られる巨視的量子状態

フェルミ粒子より安定なクーパー対
量子状態を壊すにはエネルギーが必要

○衝突：電気抵抗 $\Rightarrow$ 巨視的($\sim 10^{20}$ 個)量子状態の変化



確率的に起こり得ない

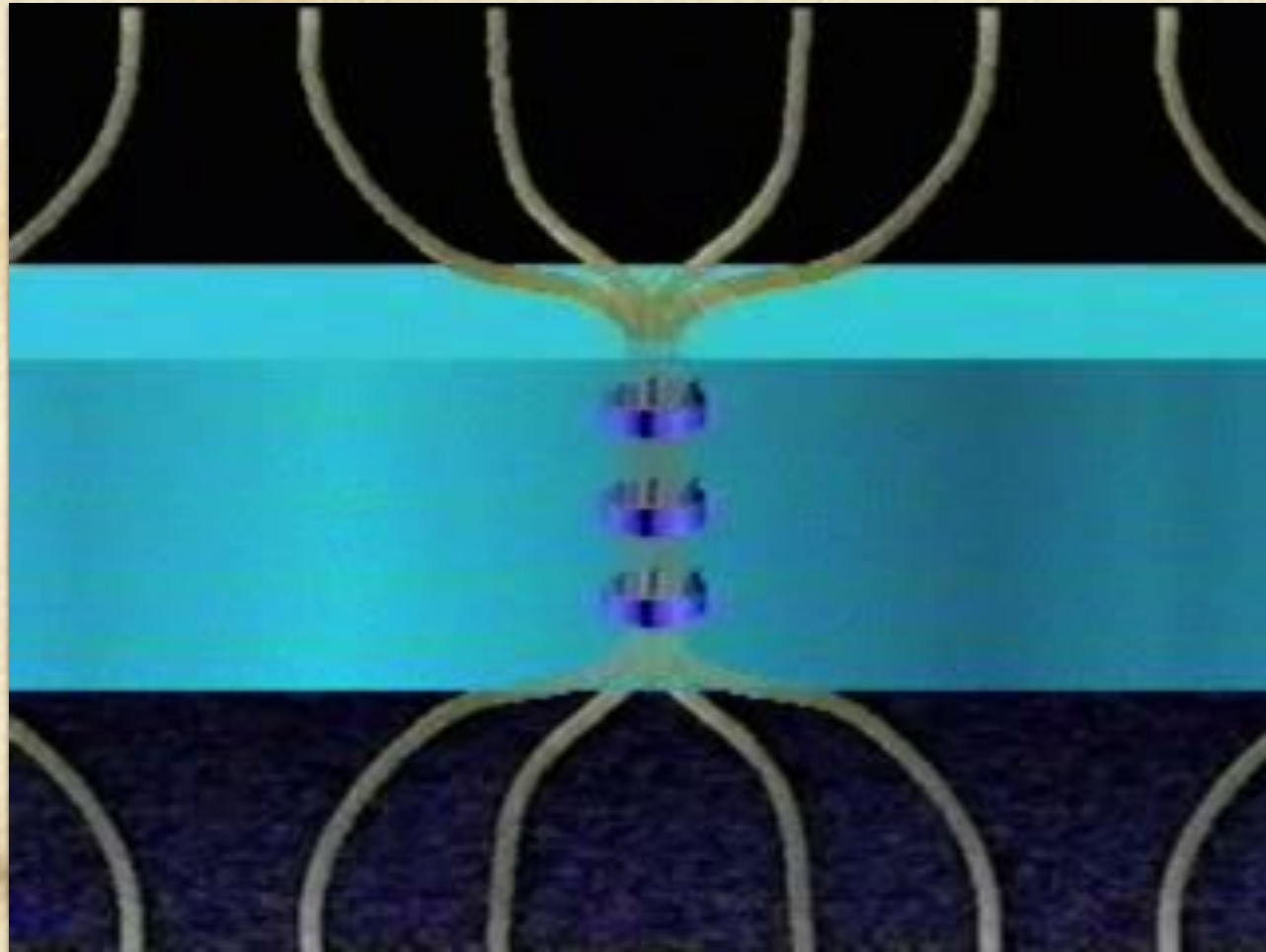


電気抵抗 = ゼロ

超伝導状態に特徴的な現象

- 電気抵抗が消失
- マイスナー効果（磁束の排斥）
- 磁束の量子化（フラクソイド）

量子磁束：Fluxoid



超伝導体の磁気浮上の観察

超伝導体の磁気浮上

マイスナー効果 + フラックスのピン止め効果

魚釣り効果（逆さにしても落ちない）

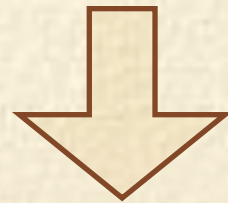
強力磁石の楕円レール上を浮上走行

酸化物高温超伝導体

超伝導になる温度：超伝導転移温度 T_c

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$: 90K ($\approx -180^\circ\text{C}$)

液体窒素温度 : 78K ($\approx -200^\circ\text{C}$)



手軽に確認が可能

略称 : YBCO



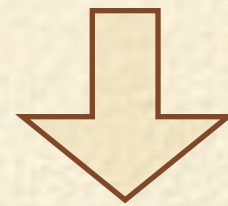
アルミフイルで
包んだ YBCO

超強力磁石

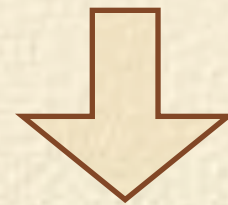
超伝導体の磁気浮上

マイスナー効果

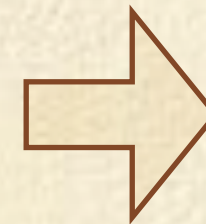
超伝導状態



超伝導電流により磁束は打消される

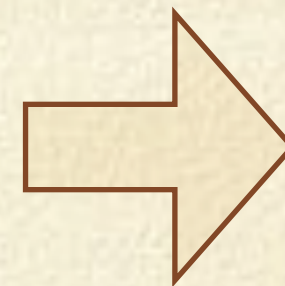
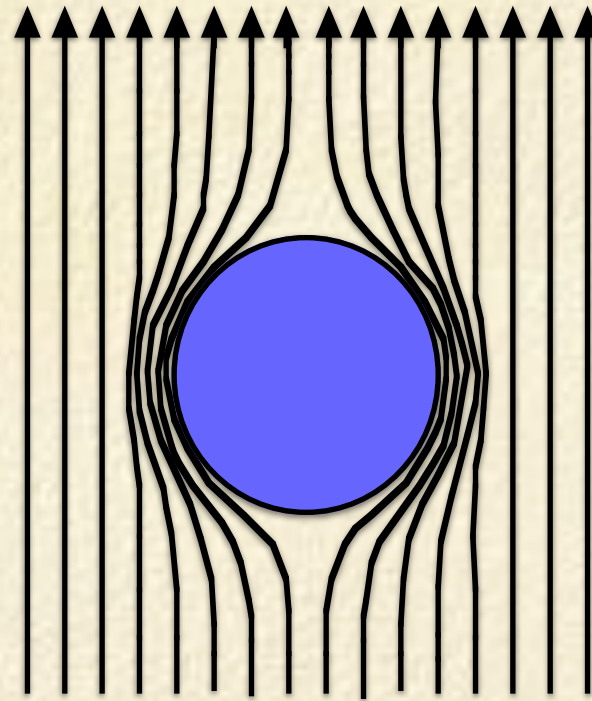
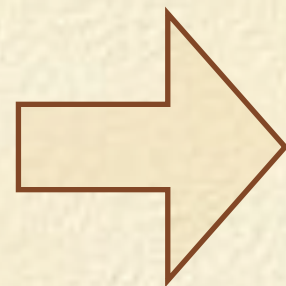
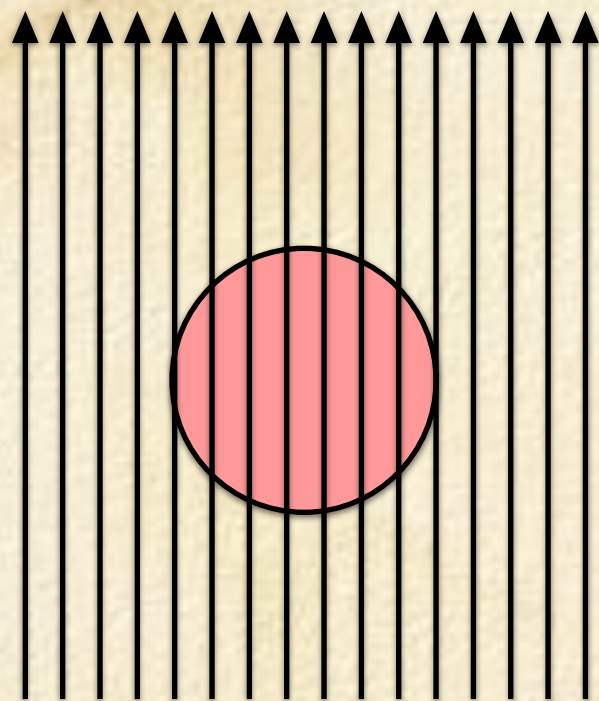


反対向きの磁石

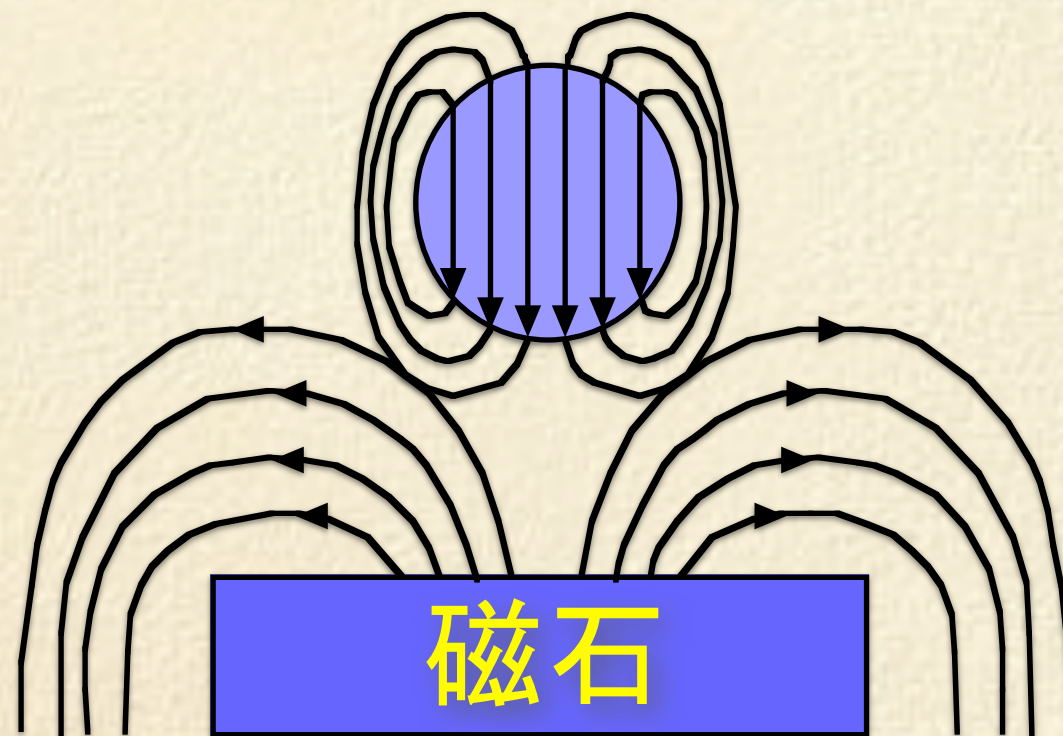


反発

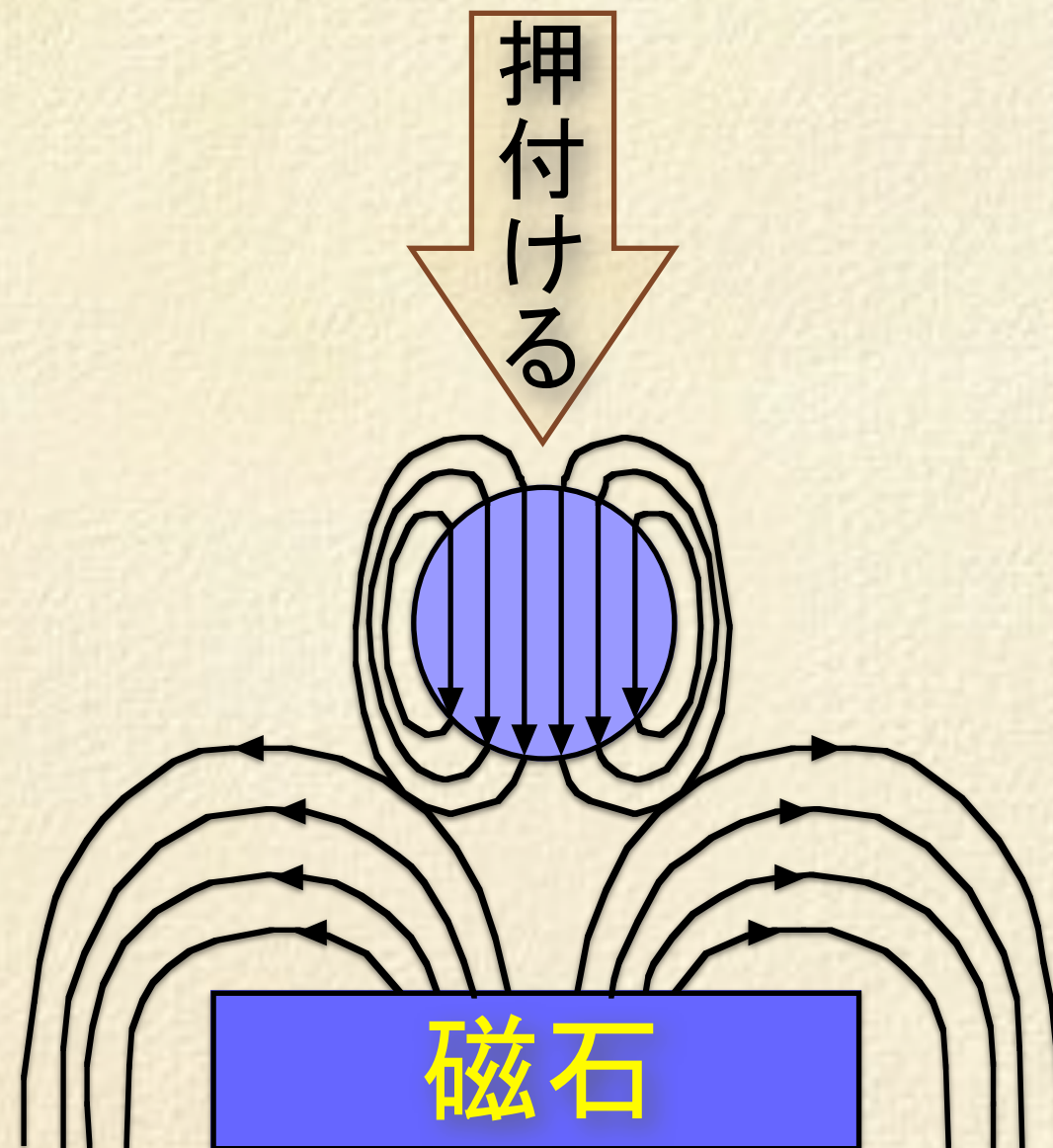
$T > T_c$ 温度を下げる $T < T_c$



超伝導体の磁気浮上

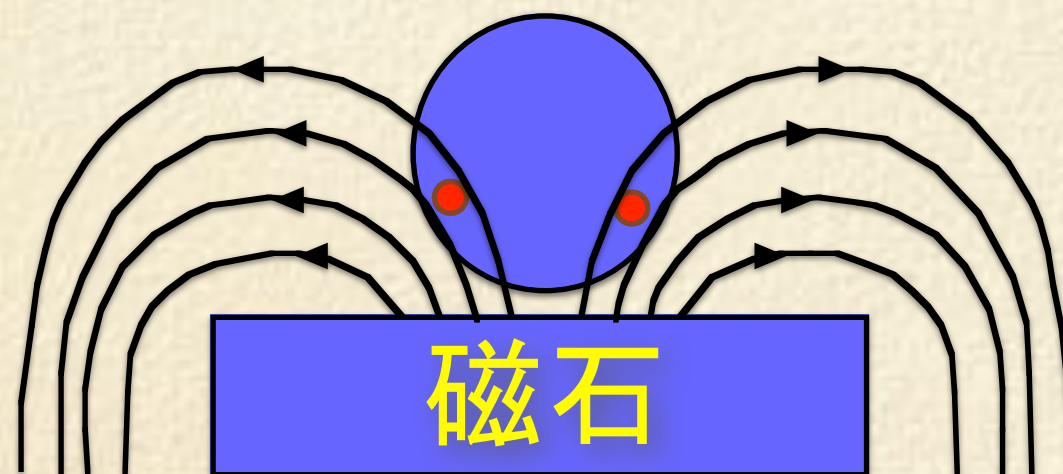


超伝導体の磁気浮上



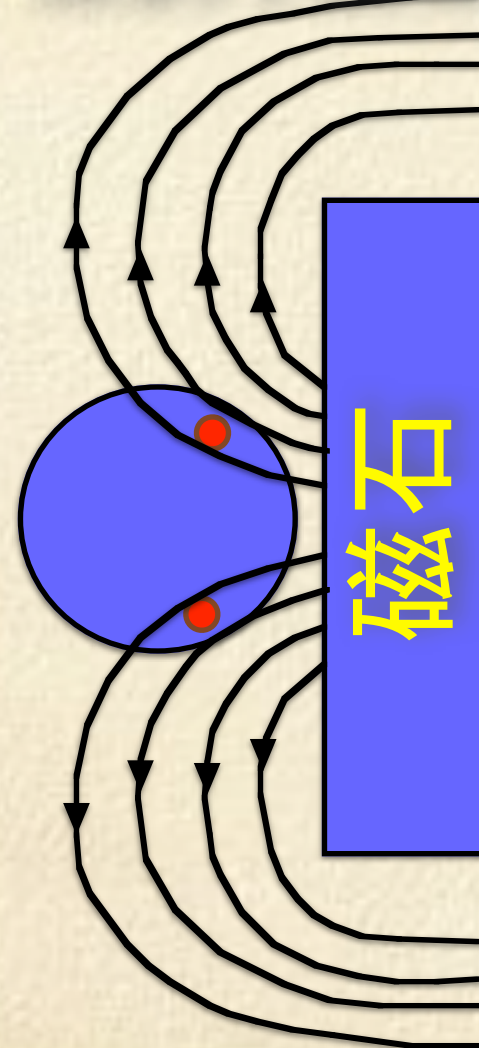
超伝導体の磁気浮上

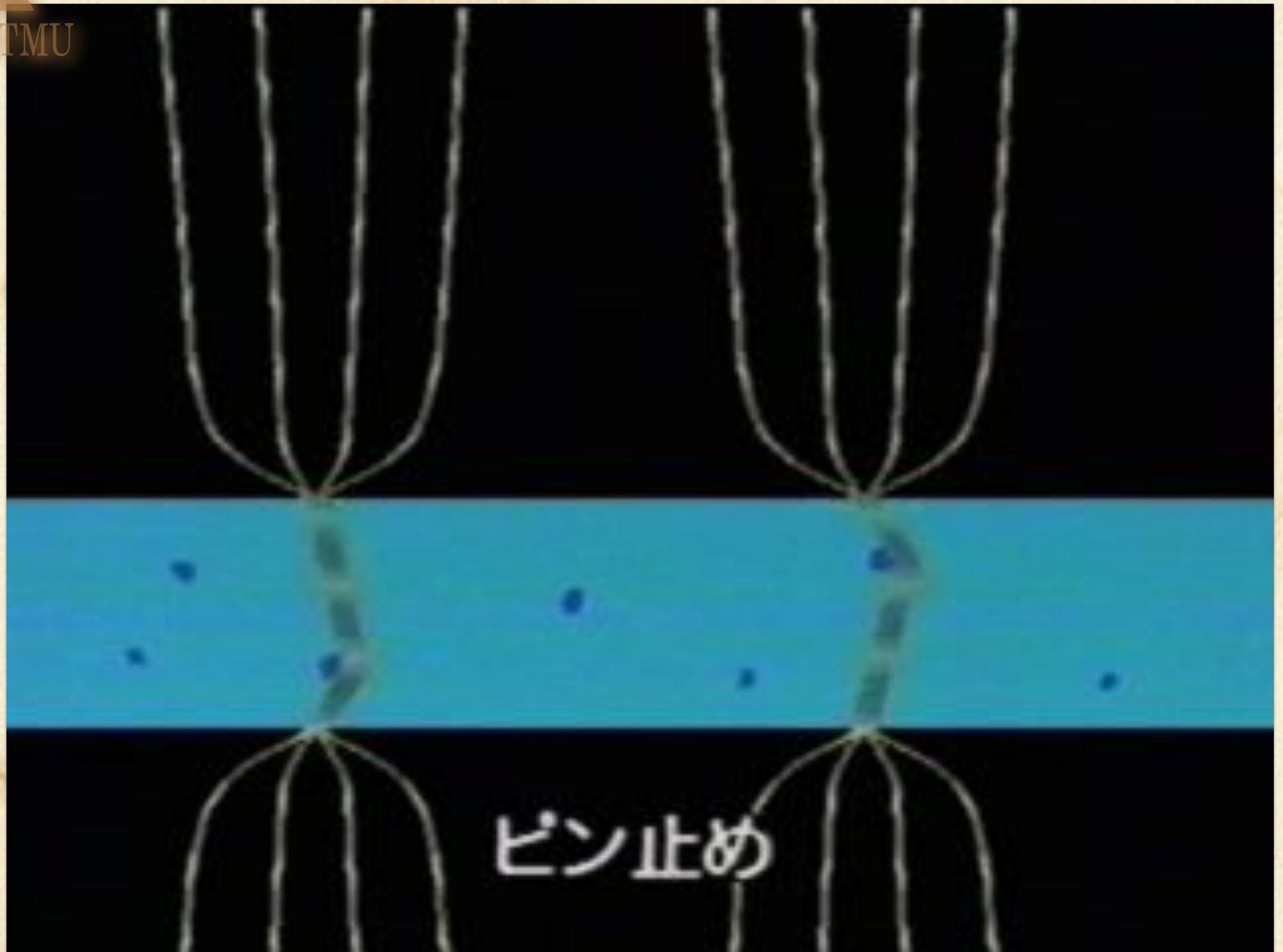
3次元のピン留め
魚釣り現象



超伝導体の磁気浮上

3次元のピン留め
魚釣り現象







超伝導体の磁気浮上 で遊びましょう！

「講義レポート」について
提出： **次回**、7月11日（月）
授業アンケート

講義に関するコメント等

<http://spinman.phys.se.tmu.ac.jp/lecture/>

ミラーサイト：

<http://kem3.com/esrp/lecture/>

メールアドレス：

mizoguchi@phys.se.tmu.ac.jp

kem@kem3.com