

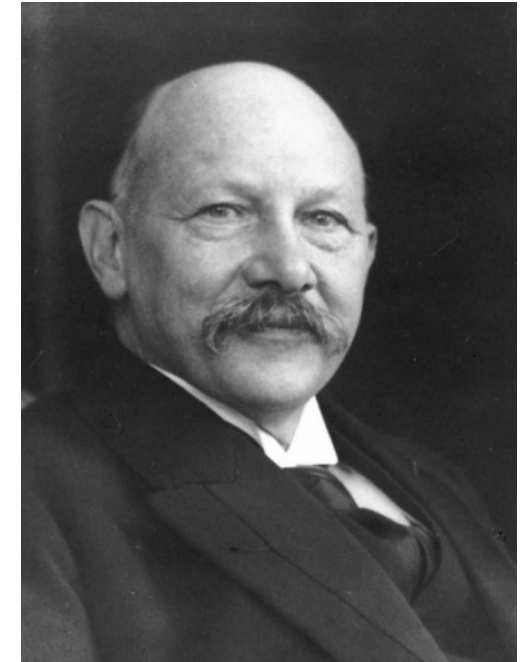
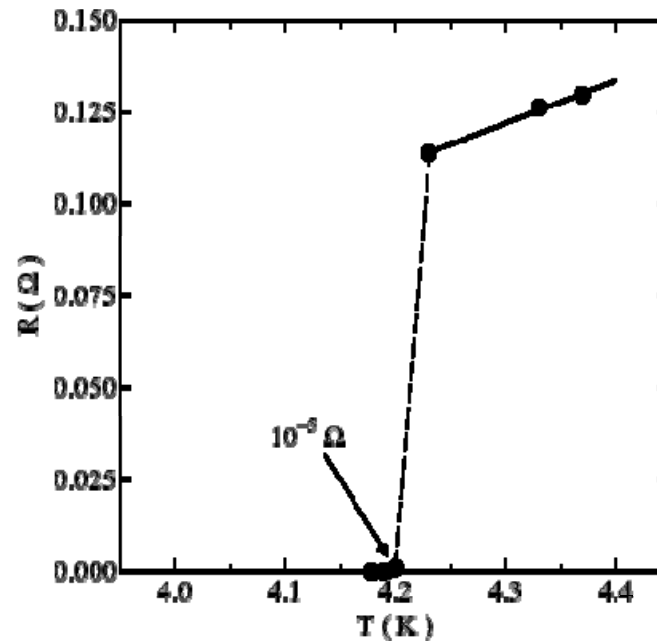
2016年6月9日 京都大学理学部講義「低温科学A」

超伝導研究の最前線

京都大学理学研究科 物理学第一教室
柳瀬 陽一

超伝導とはなんぞや

1911年 水銀の超伝導の発見 (H. K. Onnes)



H. K. Onnes
ノーベル賞(1913年)

キーワード:

超伝導はマクロな量子現象である

超伝導の理論的解明

1934年 ロンドン理論（超伝導の電磁気学）

1950年 ギンツブルグーランダウ 理論（超伝導の統計力学）

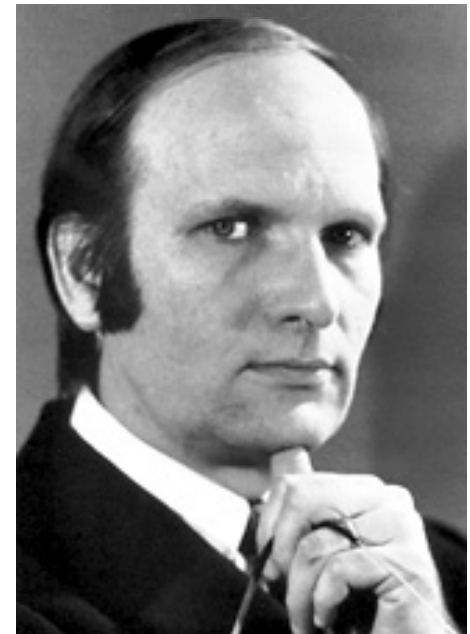
1957年 BCS理論 超伝導の場の量子論 ノーベル賞(1972年)



J. Bardeen



L. N. Cooper



J. R. Schrieffer

2種類の粒子

ボーズ粒子

^4He 原子、光子(物性物理)

中間子(原子核物理)

重力子、ヒッグス粒子(宇宙、素粒子)



温度を下げると....

ボーズーアインシュタイン凝縮



超流動

フェルミ粒子

電子(物性物理)

陽子、中性子(原子核物理)

クォーク、ニュートリノ(素粒子)



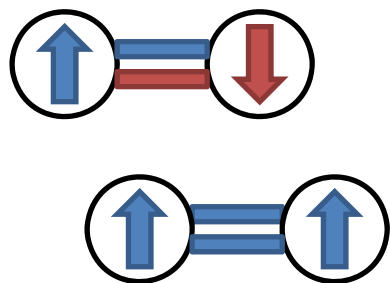
???

BCS理論

フェルミ粒子 + フェルミ粒子 = ボーズ粒子



クーパーペア



クーパーペアのボーズ-アインシュタイン凝縮 (対凝縮)



超伝導

エキゾチック超伝導

--自発的対称性の破れとトポロジー--

2000年頃から本格的に始まった研究

BCS理論が考えるクーパー対

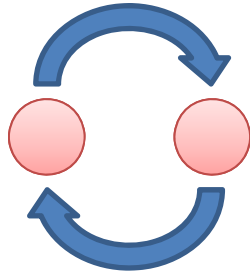
運動量0, 角運動量0, スピン0



内部自由度がない

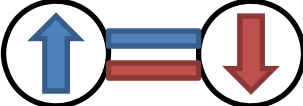
エキゾチック超伝導

(1) 相対角運動量

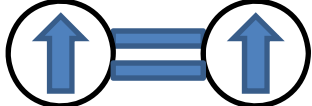


軌道角運動量 $L=0,1,2,3,4,\dots$

(2) スピン 電子のスピンは $S=1/2$

合成スピン $S=0$ 

スピナー重項超伝導

合成スピン $S=1$ 

スピン三重項超伝導

(3) 重心運動量



(4) クーパーペアのパリティ (空間反転対称性)

偶パリティ $L=0,2,4,\dots$

奇パリティ $L=1,3,5,\dots$

物理学における対称性の破れ(一般論)

素粒子、原子核、物性物理に共通の原則



素粒子物理学の例: 小林－益川理論

3世代のクォーク  CP対称性の破れ

自然界における対称性の破れ

素粒子物理学

2008年ノーベル賞
「CP対称性の破れ」



南部陽一郎



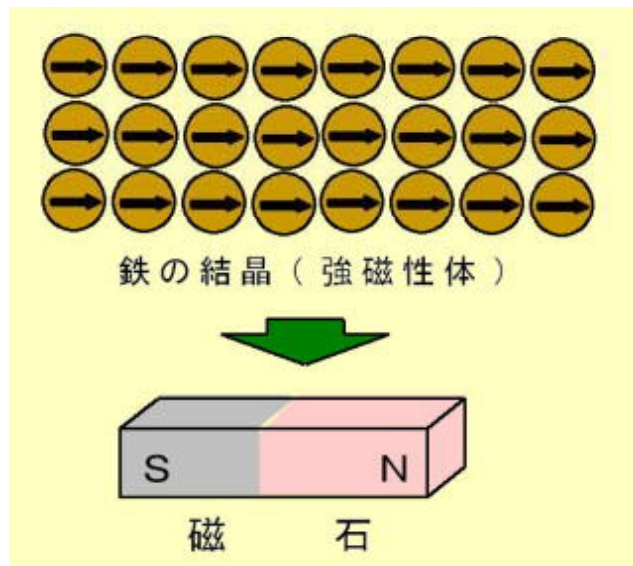
小林誠



益川敏英

物性物理学

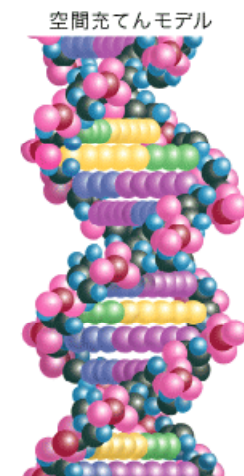
例：強磁性体



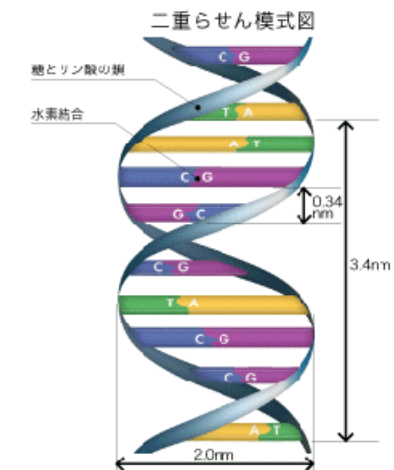
分子生物学

DNA(デオキシリボ核酸)

DNAは、糖とリン酸のらせん状の2重の鎖の間を、4種類の塩基が「はしご段」のように並んで結合している。



空間充てんモデル



二重らせん模式図

超伝導・超流動の内部自由度

(1) クーパーペアの相対角運動量

(2) クーパーペアのスピン

(3) クーパーペアの重心運動量

(4) クーパーペアのパリティ

超伝導・超流動の内部自由度

(1) クーパーペアの相対角運動量

カイラル超伝導(時間反転対称性の破れ)

(2) クーパーペアのスピン

スピン三重項超伝導(スピン回転対称性の破れ)

(3) クーパーペアの重心運動量

FFLO超伝導(並進対称性の破れ)

(4) クーパーペアのパリティ

パリティがない超伝導(空間反転対称性の破れ)

エキゾチック超伝導体

多くのものが2000年以降の発見

- (1) カイラル超伝導 Sr_2RuO_4 , $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$, URu_2Si_2 , $^3\text{He}(\text{ABM相})$
- (2) スピン三重項超伝導 UPt_3 , Sr_2RuO_4 , CePt_3Si
- (3) FFLO超伝導 CeCoIn_5 , $\lambda\text{-(BETS)X}$, $\kappa\text{-(ET)X}$
- (4) パリティがない超伝導 CePt_3Si , UIr , CeRhSi_3 , CeIrSi_3 , $\text{Li}_2\text{Pd}_x\text{Pt}_{3-x}\text{B}$, Ir_2Ga_9 , Y_2C_3 , $\theta\text{-(ET)X}$, $\text{SrTiO}_3/\text{LaAlO}_3$
- (5) 磁性超伝導 CePt_3Si , UIr , CeRhSi_3 , CeIrSi_3 , UGe_2 , URhGe , UCoGe , etc
- (6) 局所的なパリティがない超伝導 $\text{CeCoIn}_5/\text{YbCoIn}_5$, MoS_2