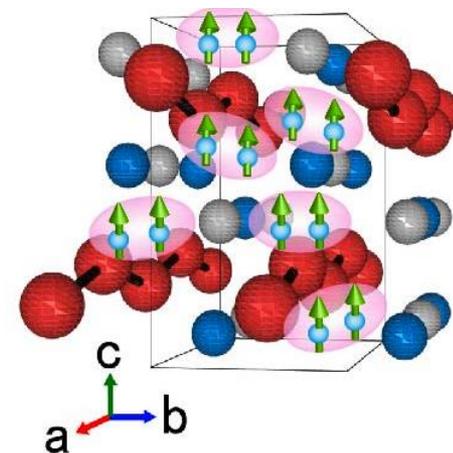


多様な超伝導状態 新奇超伝導体の最前線

石田憲二

京都大学大学院理学研究科
物理学・宇宙物理学専攻
物理学第一教室



講演内容

1. 温度とは、絶対零度とは
2. 超伝導の発見
3. 金属中の電子状態、超伝導状態とは
4. なぜ起こる超伝導 (超伝導発現機構の説明)
5. 超伝導の応用
6. 高温超伝導体の発見、多様化する超伝導状態
7. 最近発見された新奇な超伝導物質

はじめに

電子：素粒子のひとつ

質量： m_e (陽子の質量の約1800分の1)

電荷： $-e$ (電気量の最小単位)

スピン： S (磁石の性質に関係)

を持っている。

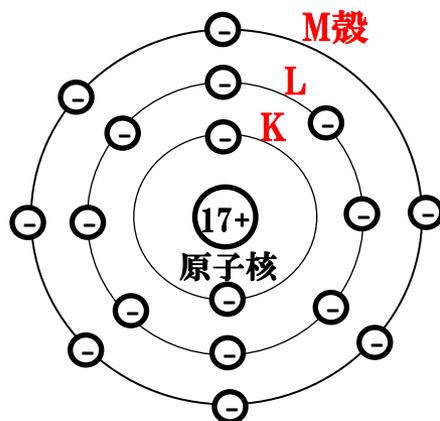
電子についてはよく勉強してきている、大変なじみ深いもの

小学生3学年

電子の存在、電流は電子の流れ 磁石、磁極 (N, S極)

中学生理科、高校化学

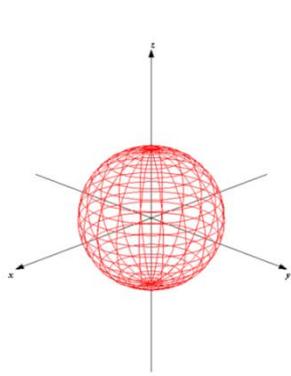
原子核と電子の構造、金属中の電子(自由電子)



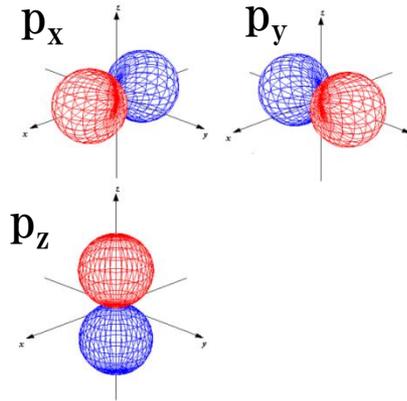
電子殻	K殻	L殻	M殻	N殻	...
n	1	2	3	4	...
入りうる電子数 ($2n^2$)	2	8	18	32	
電子軌道	(1s) ²	(2s) ² (2p) ⁶	(3s) ² (3p) ⁶ (3d) ¹⁰	(4s) ² (4p) ⁶ (4d) ¹⁰	(4f) ¹⁴

原子中の電子の軌道

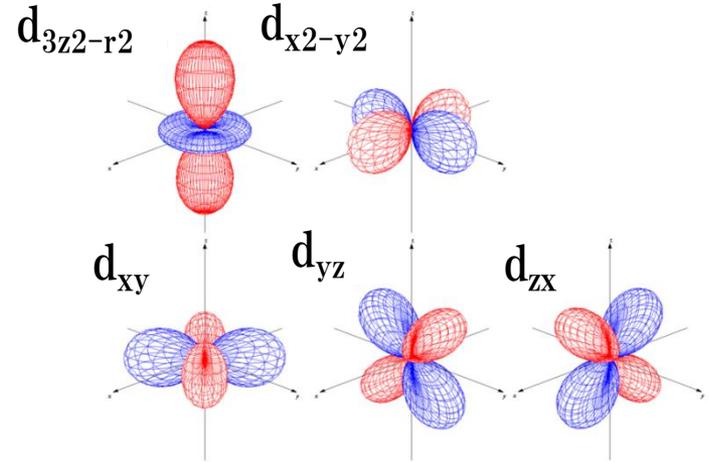
電子は、電気的な力(クーロン相互作用)を受けながら原子核の周りを回転しています。
そのときの取りうる電子軌道



s軌道



p軌道



d軌道

ちなみに、物理学科では3回生で学習します

<http://hyper-chemistry.blog.so-net.ne.jp/2011-03-0...> 参照

金属の電子状態 例:アルミニウム Al: 原子核 + ... $(2p)^6$, $(3s)^2$, $(3p)^1$

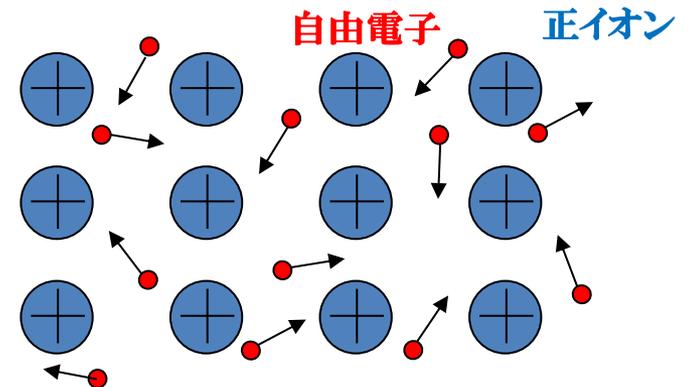
正イオン: Cu^+ 原子核 + ... $(2p)^6$

自由電子: $(3s)^2$, $(3p)^1$

結晶中を動き回っている。

超伝導は、この電子が起こしている。

金属と超伝導状態では何が違うのか？



超伝導の理解：BCS理論

- ① 2つの自由電子を対にして、秩序化した新たな状態を作る
- ② 2つの自由電子は格子振動(フォノン)を介して状態(対)を組む

① クーパー対を形成

電子は様々な方向に様々な速さで運動(無秩序)

運動量 k , スピン \uparrow



スピンは電子の自転に相当するよう量

運動量 $-k$, スピン \downarrow

対を組む



どの対も 運動量ゼロ、
合成スピンゼロ

秩序化した新たな量子状態

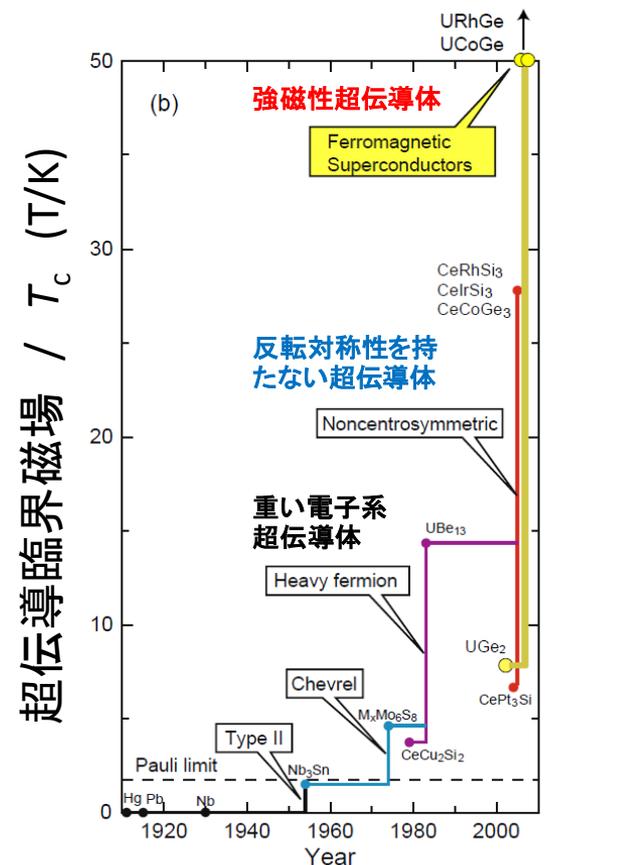
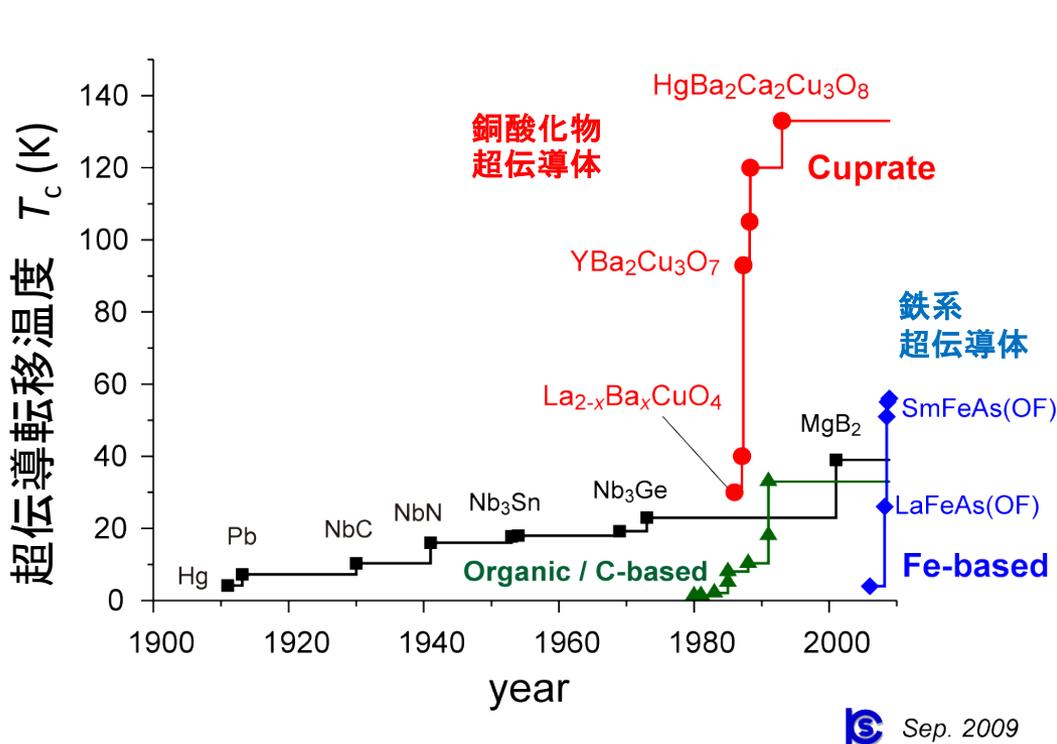
② 引力の起源

(格子振動を介した電子間引力)

格子(プラスの電荷)



超伝導転移温度と超伝導臨界磁場の歴史



Aoki et al, arXiv:1204.5128

超伝導現象を説明したBCS理論では超伝導転移温度は40Kを超えないと予言した。

しかし、これを超える超伝導体は1986年以降見つかるようになってきている。

最近発見されている超伝導体の中には、以前の超伝導体と質的に異なる(新奇超伝導体)がある。

超伝導が壊される磁場(臨界磁場)が高い⇒磁場に対して壊れにくい

近年、磁場に対して非常に強固な超伝導体が見つかった。

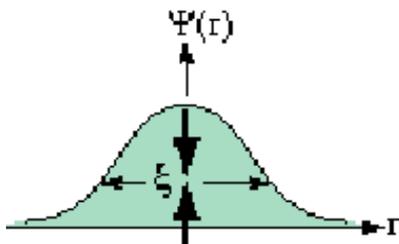
多彩な超伝導状態

原点に振幅を持たない

スピン状態 一重項

軌道状態 s 波

スピン状態

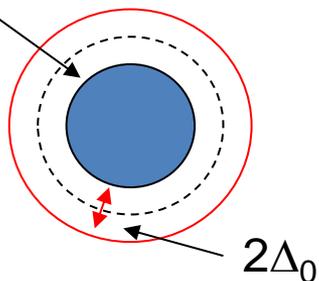


波動関数の広がり



フェルミ面

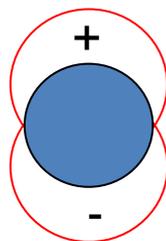
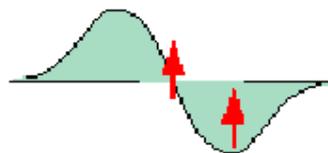
ギャップ関数



今までの超伝導体

三重項

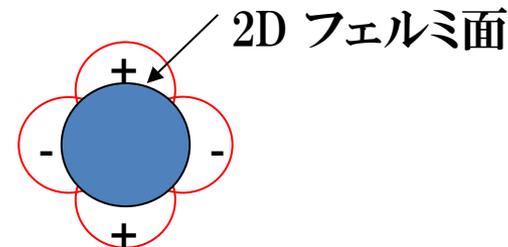
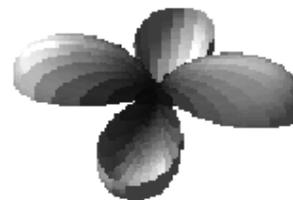
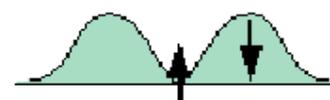
p 波



$$\Delta(\theta) = \Delta_0 \cos \theta$$

一重項

d 波



$$\Delta(\phi) = \Delta_0 \sin(2\phi)$$

銅酸化物超伝導体

非従来型の超伝導状態

講師略歴

石田憲二 京都大学大学院理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 教授

専門は、物質が低温で示す性質(超伝導や磁石の性質)の研究。特に、核磁気共鳴と呼ばれる原子核の共鳴現象を用い、物質の電子の状態をミクロな立場から調べています。

趣味は、旅行。最近は学会等で訪れたところでの食べ歩き

出身地 岡山県笠岡市

1992年 大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻博士課程修了
その後

1992年 大阪大学教務職員、1993年 大阪大学助手、

2002年 京都大学助教授、2006年 京都大学国際融合創造センター教授、
2007年より現職

この間、2001年 カリフォルニア大学リバーサイド校 客員研究員