

Introduction to Superconductivity

何俊峰

中国科学技术大学

目录

- 01** 量子现象简介
- 02** 超导的发现和理解
- 03** 超导的应用

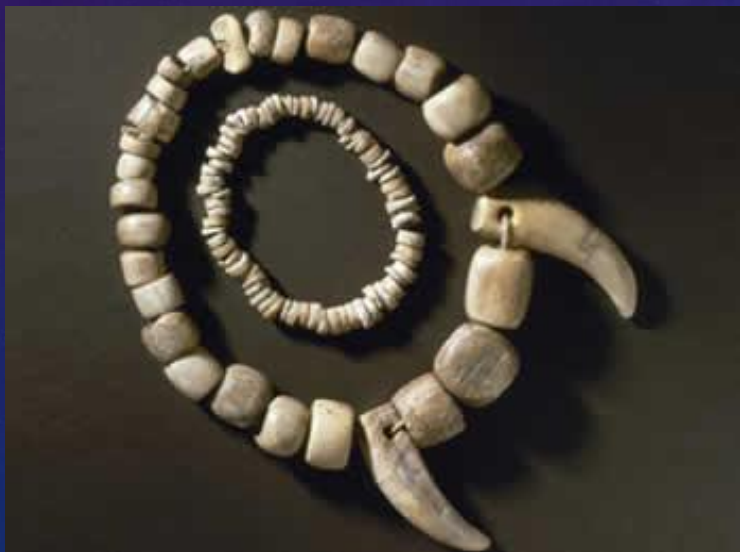
目录

- 01** 量子现象简介
- 02** 超导的发现和理解
- 03** 超导的应用

回顾历史



三百万年



回顾历史



五千年



展望未来

材料改变人类世界

量子材料



经典弹性小球



量子弹性小球



量子现象简介

经典小球

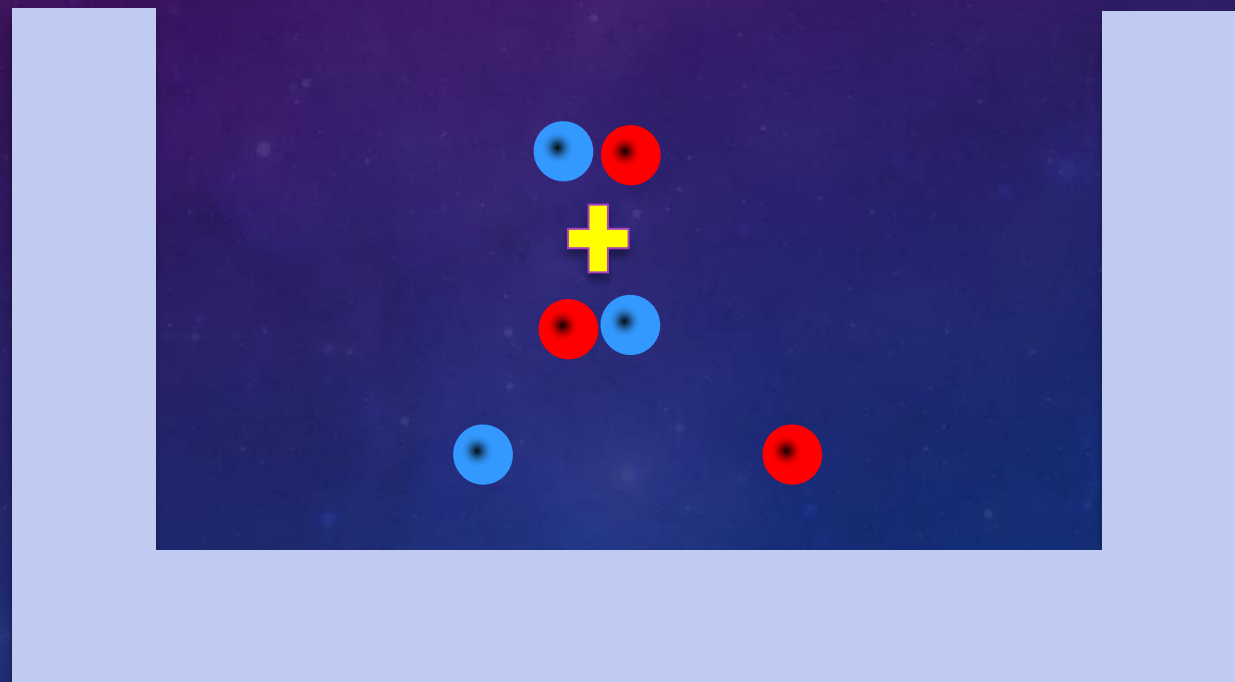
你们是什么颜色？



量子现象简介

量子小球

你们是什么颜色？



量子叠加态



在宏观尺度上有没有我们能看得见的量子现象？



宏观量子效应：超导



让我们的小火车在悬浮的状态下

目录

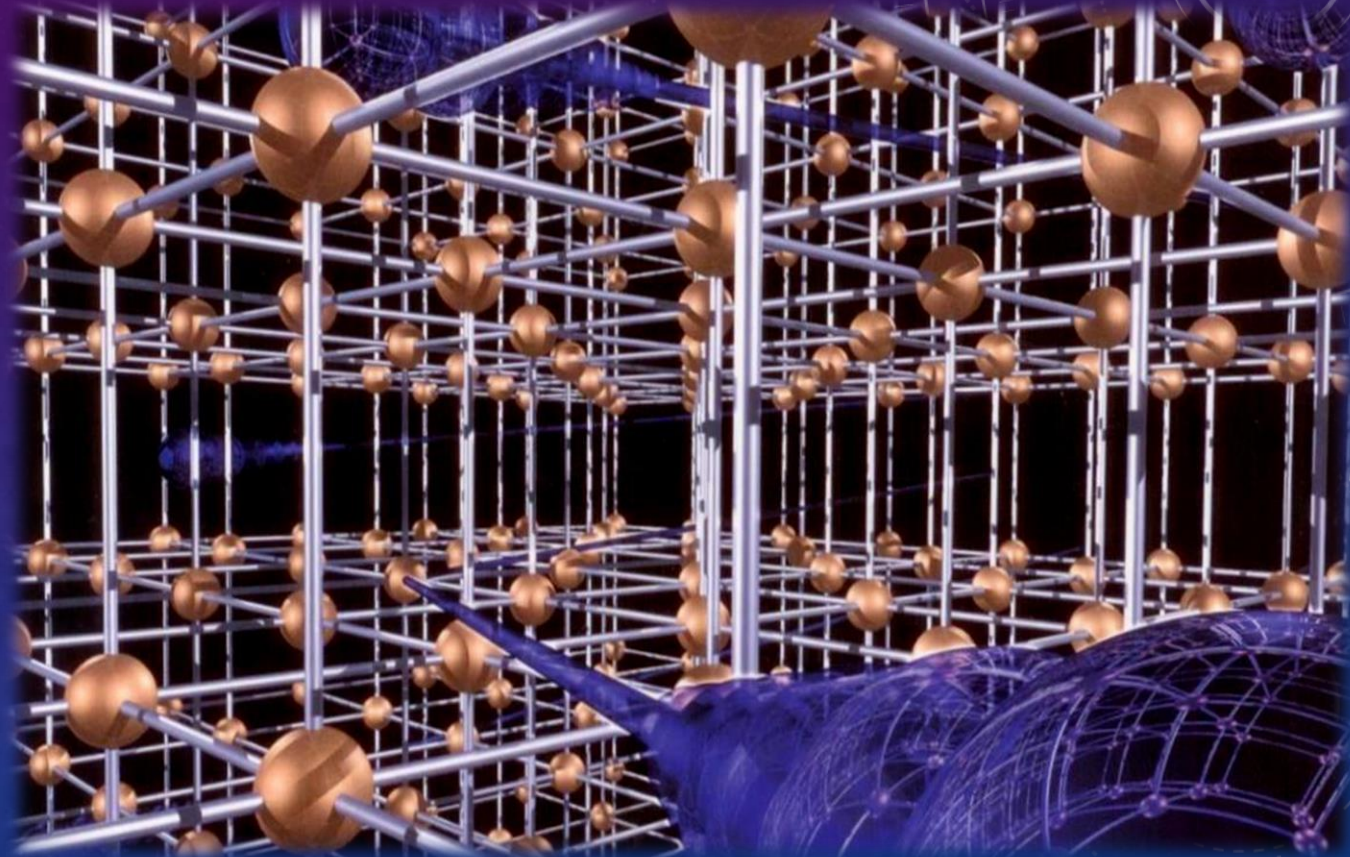
- 01 量子现象简介
- 02 超导的发现和理解
- 03 超导的应用

材料的电阻

欧姆定律
 $R=V/I$

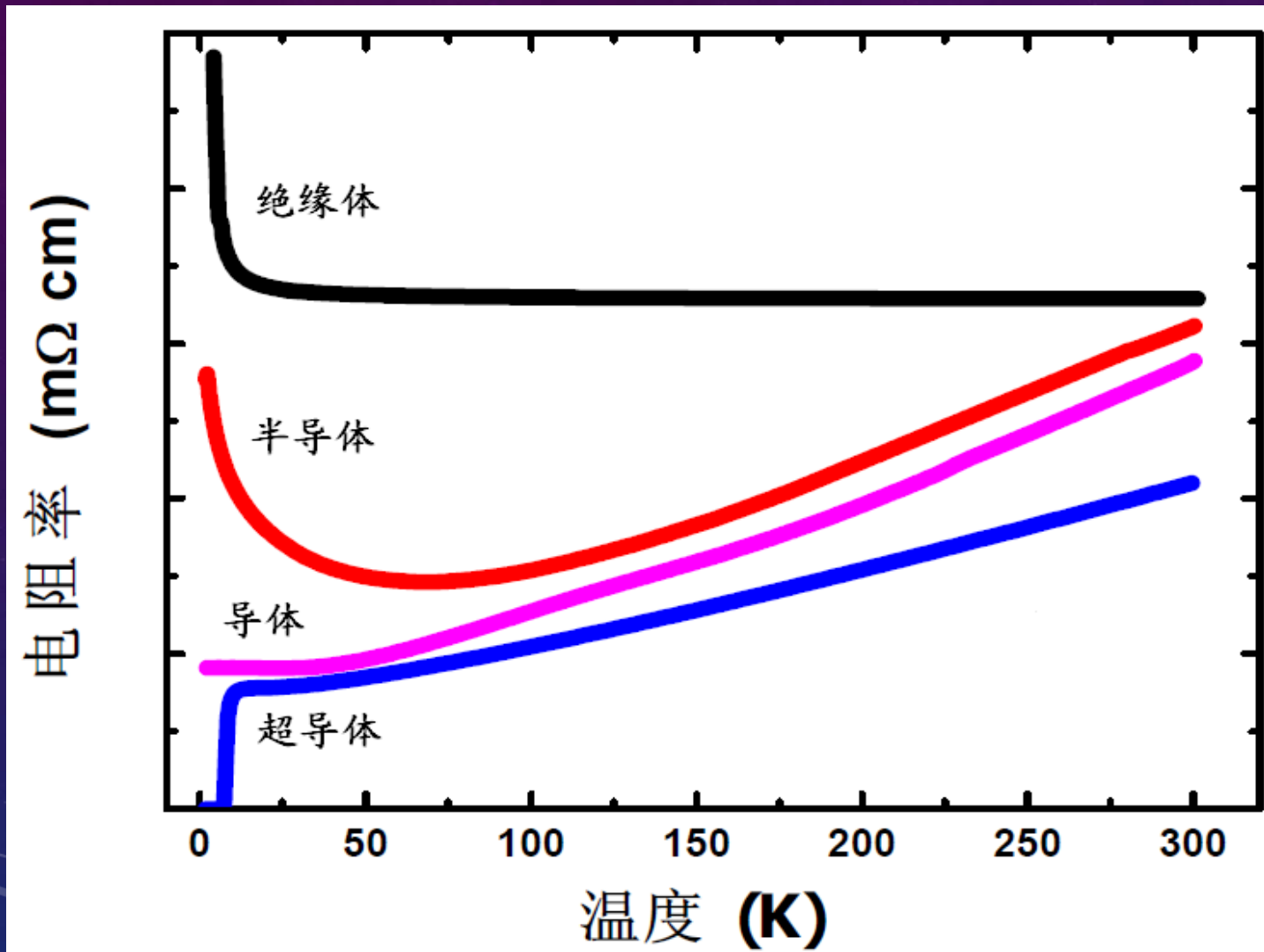


电阻



起源：电荷的定向移动受到散射和阻碍

电阻随温度变化



绝缘体



半导体



金属



金属

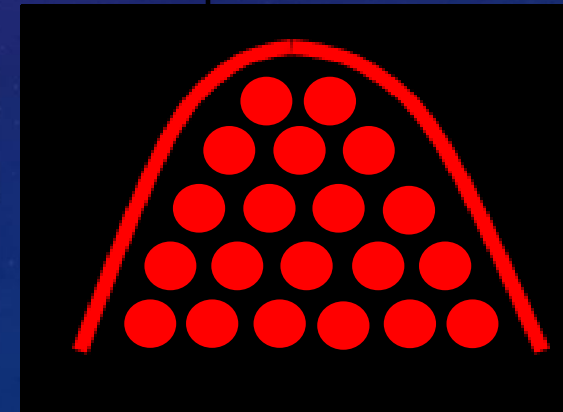
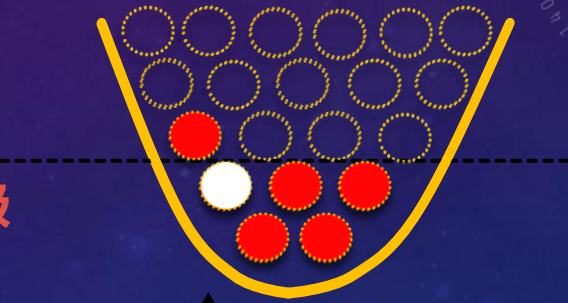


金属



固体能带理论

填充能级



绝缘体



金属

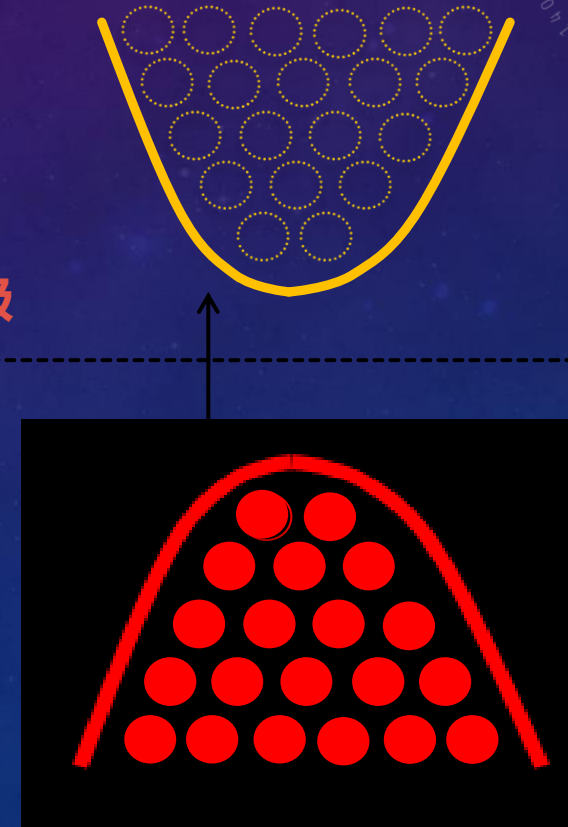


绝缘体



固体能带理论

填充能级



半导体

固体能带理论



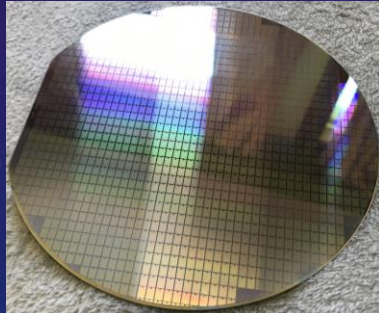
金属



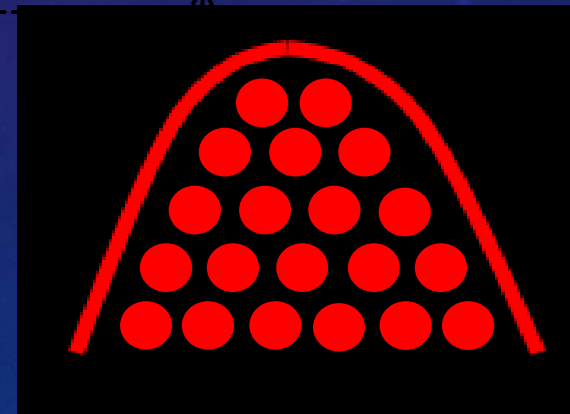
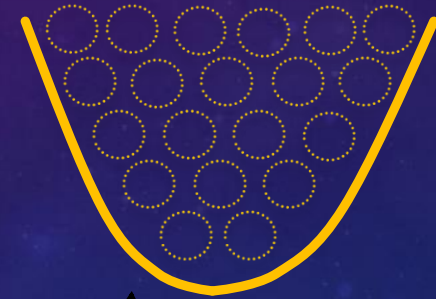
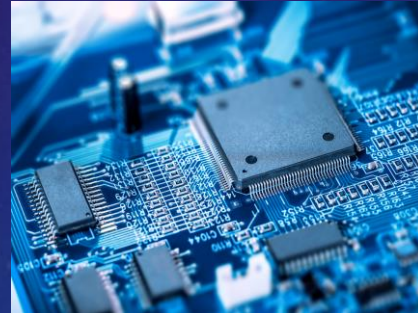
绝缘体



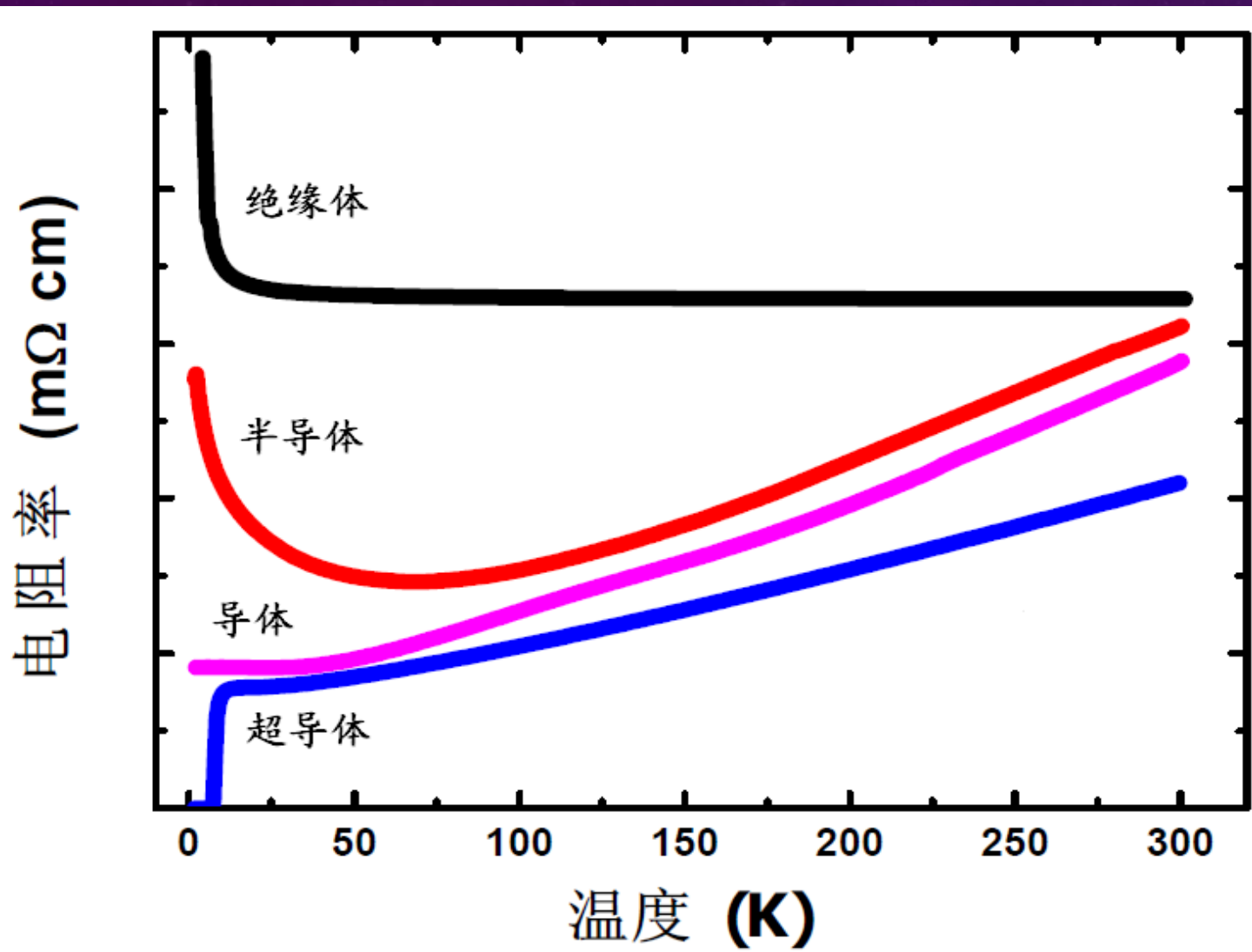
半导体



半导体



电阻随温度变化



发现超导的故事

低温的竞争

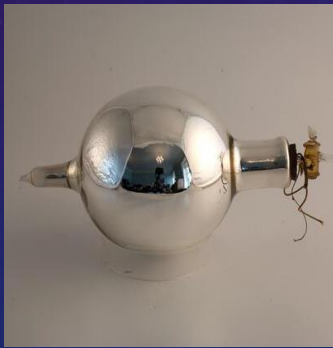
在接近绝对零度时金属的电阻如何变化?

0 K = -273.15 °C

- ◆ 1823年，法拉第成功液化氯气 (~239K)。
- ◆ 1896年，杜瓦液化空气 (~77K)。
- ◆ 杜瓦与昂尼斯在液化氢气上展开了竞争。1898年，杜瓦成功液化氢气 (~21K)。
- ◆ 1902年，开尔文提出接近绝对零度时，由于电子的运动性消失，电阻将上升，在有限温度出现一个极小值。
- ◆ 1908年，在获得氦气资源的13年后，昂尼斯成功液化氦气 (~4.2K)。



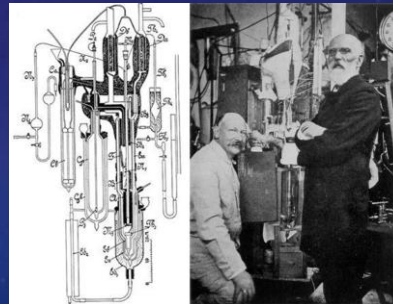
詹姆斯·杜瓦



杜瓦瓶



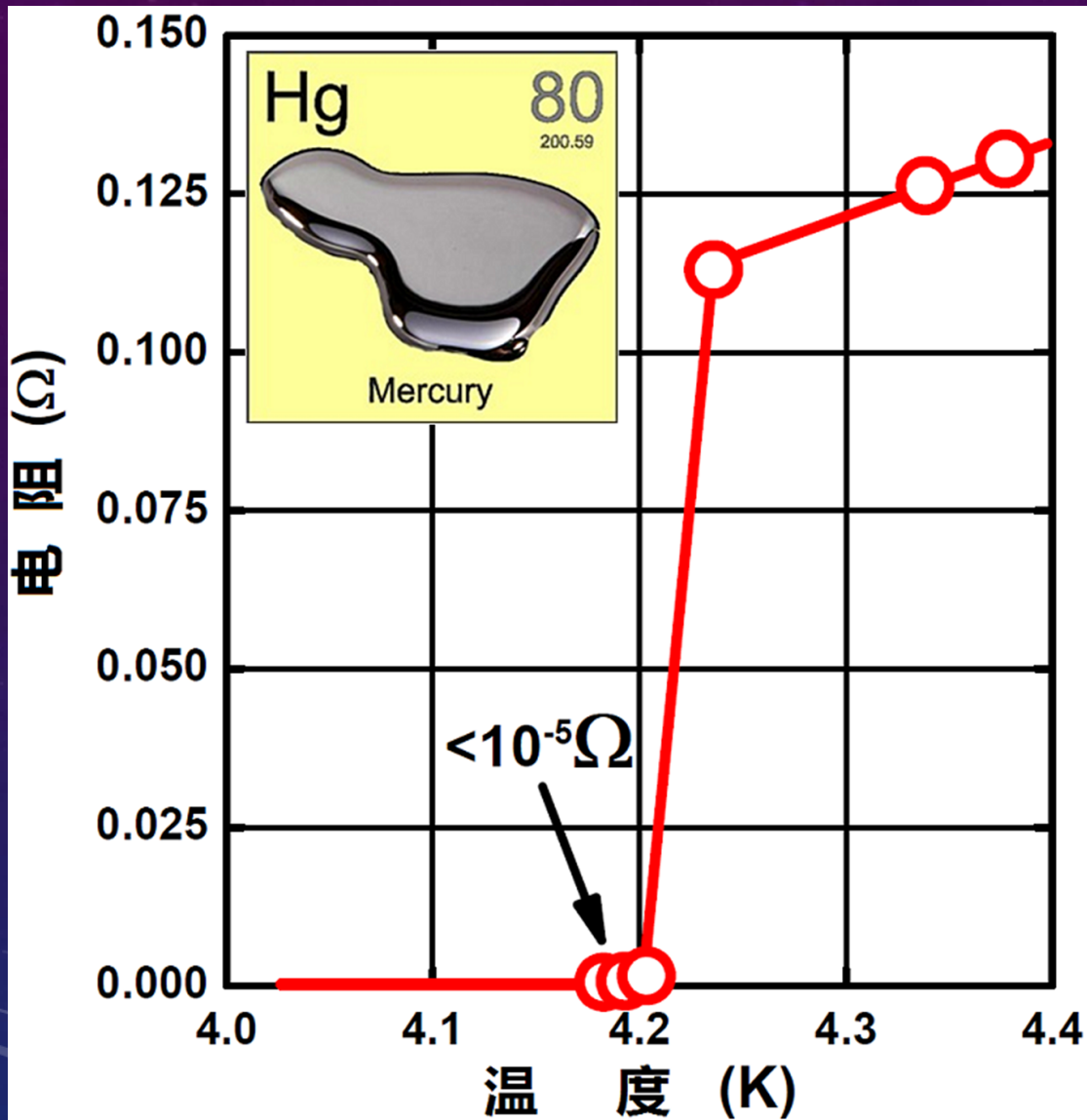
卡默林·昂尼斯



液化氦气

- ◆ 1908-1910年，昂尼斯进行了大量液氦温区实验，并没看到电阻的极小值。为了测量最纯净的金属的电阻行为，昂尼斯选择了水银。

超导的发现



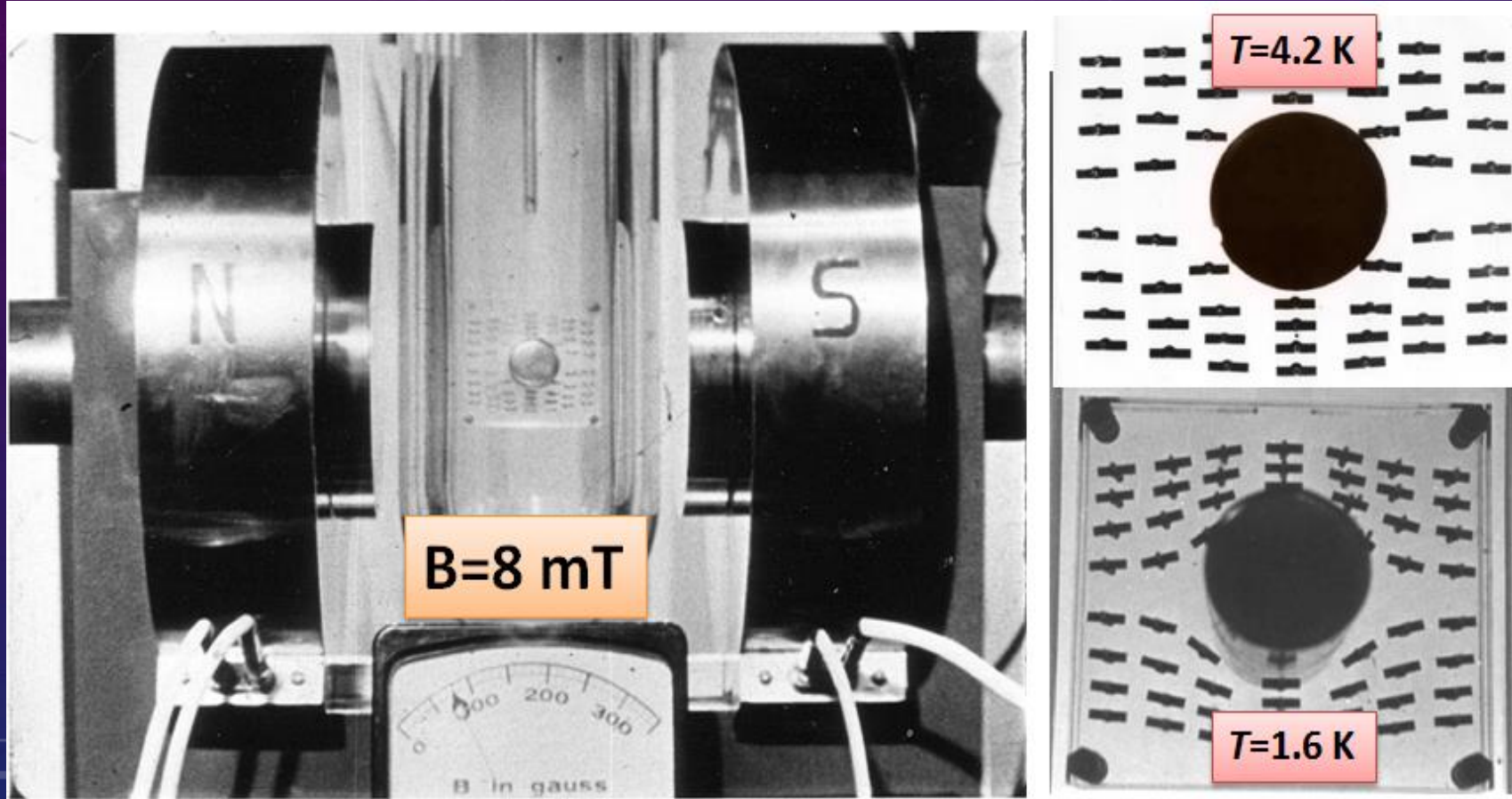
卡默林·昂尼斯



1913年
诺贝尔奖

超导抗磁性的发现

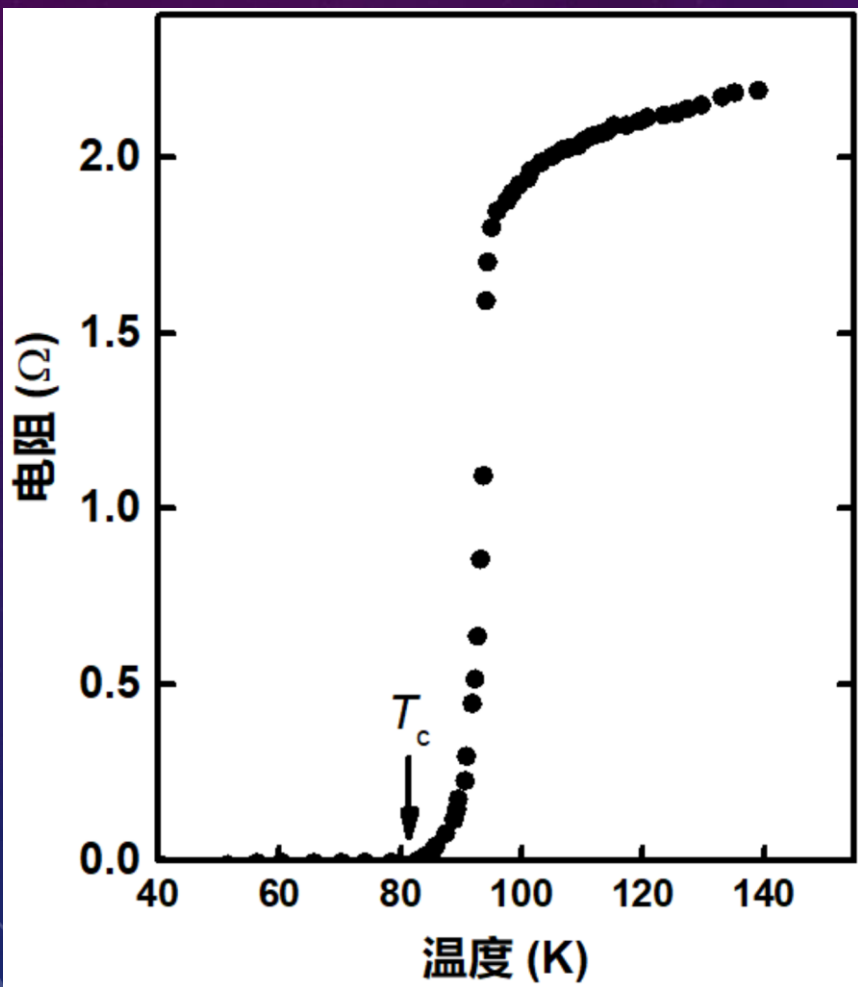
迈斯纳效应



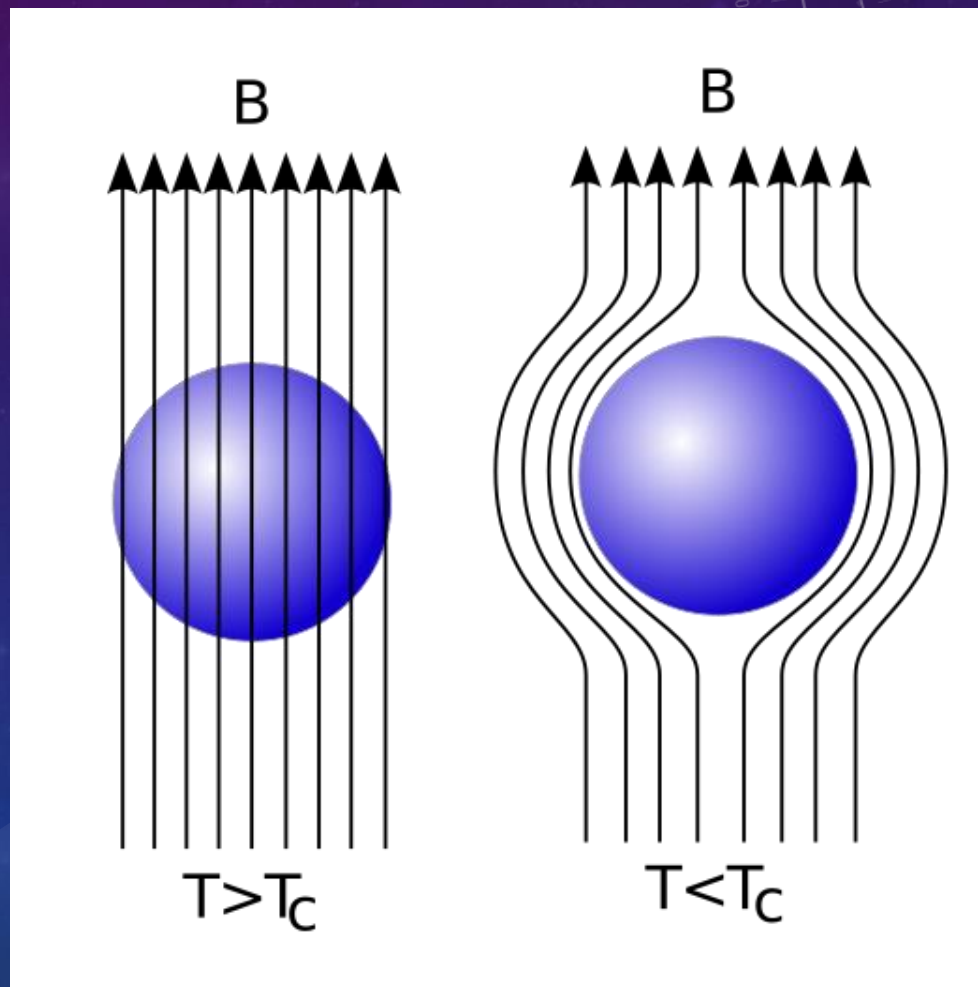
1933 年发现
超导的完全抗磁性

超导的两个基本特征

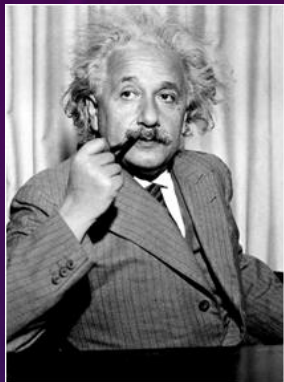
零电阻



完全抗磁性



超导的难题



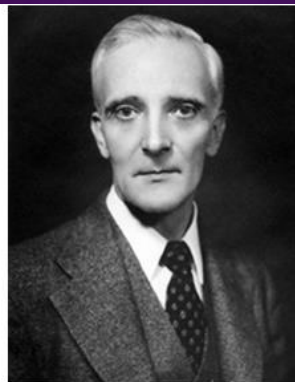
爱因斯坦
1879-1955



汤姆逊
1856-1940



玻尔
1885-1962



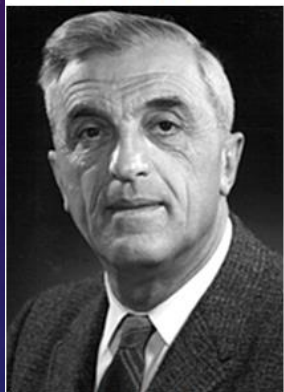
布里渊
1889-1969



伦敦兄弟



皮帕



布洛赫
1905-1983



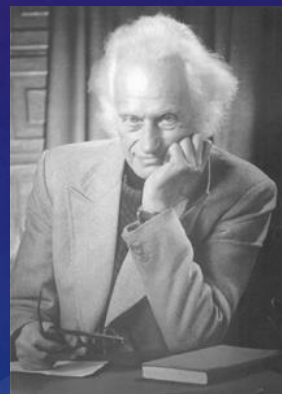
海森堡
1901-1976



玻恩
1882-1970



费曼
1918-1988



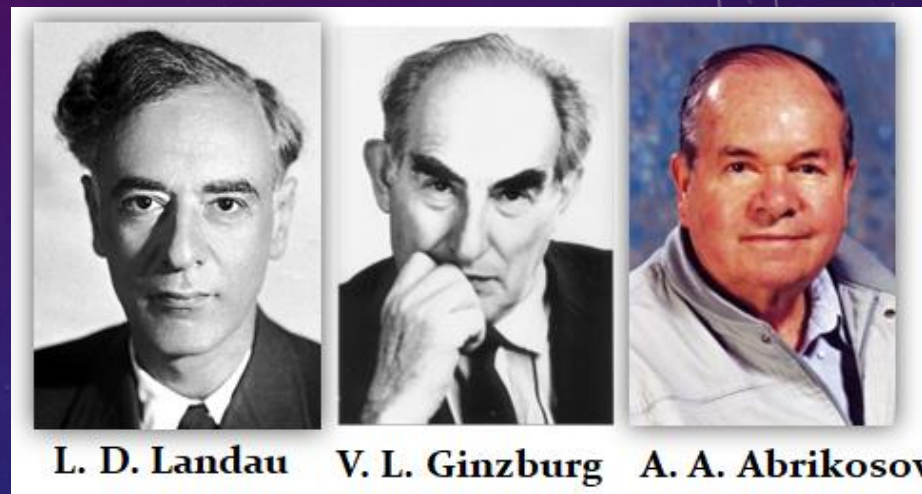
Herbert Fröhlich
1905-1991



David Pines
1924-2018

“大牛”们的探索

超导的机理



1950-1957 年
超导唯象理论的建立

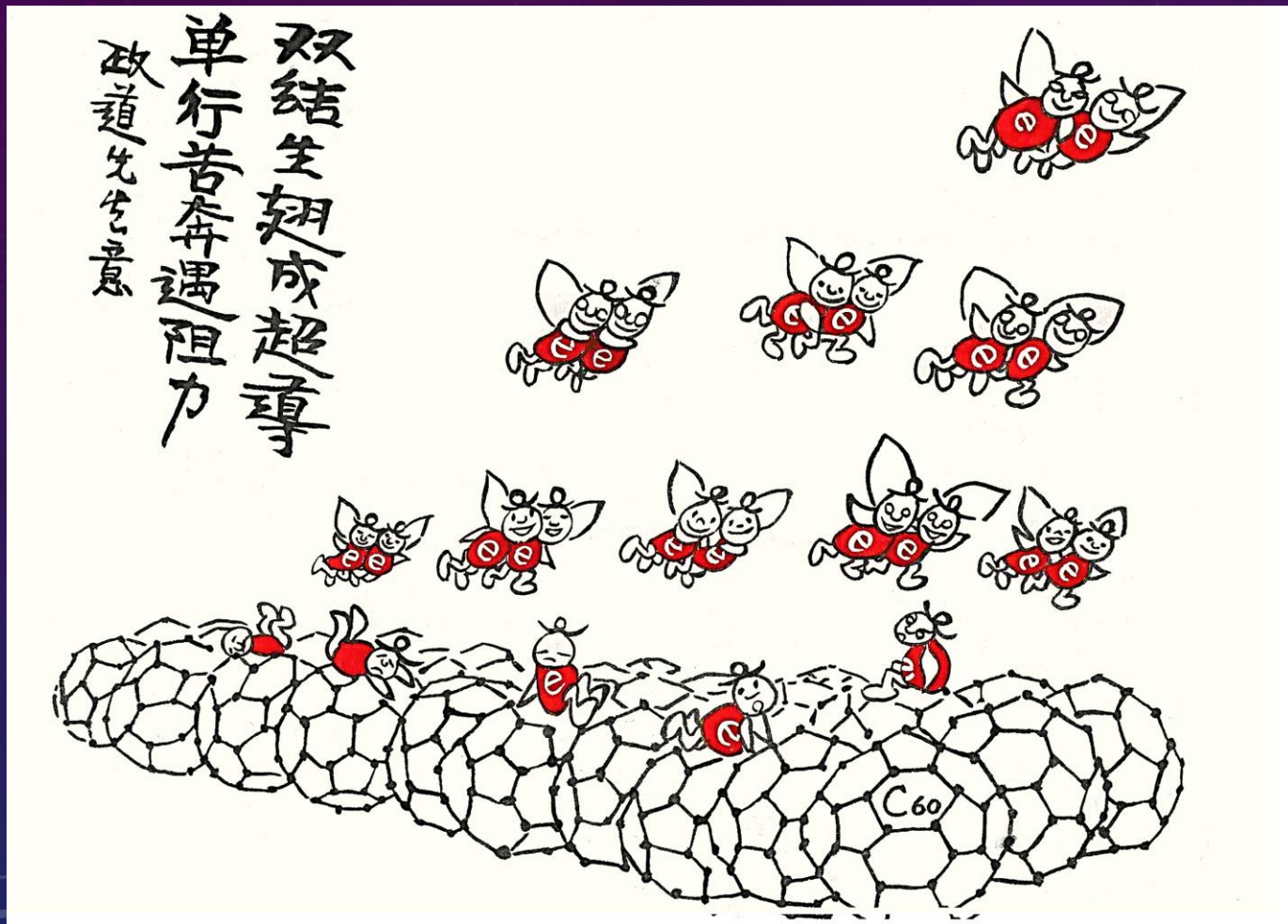


1962年
诺贝尔奖



2003年
诺贝尔奖

超导的机理



John Bardeen
1908-1991



Leon Cooper
1930-



John Schrieffer
1931-2019

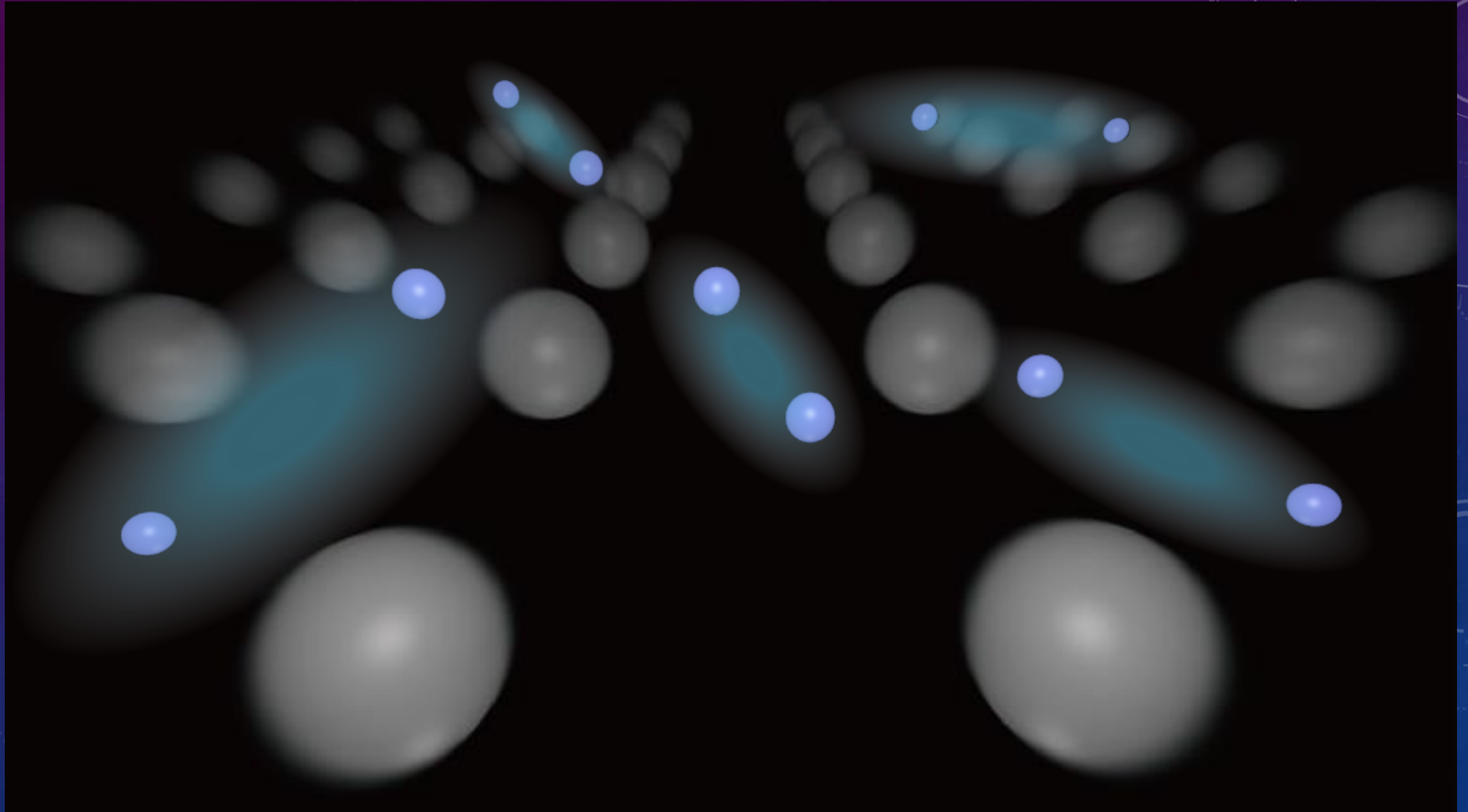
1957年
超导微观理论的建立

BCS理论

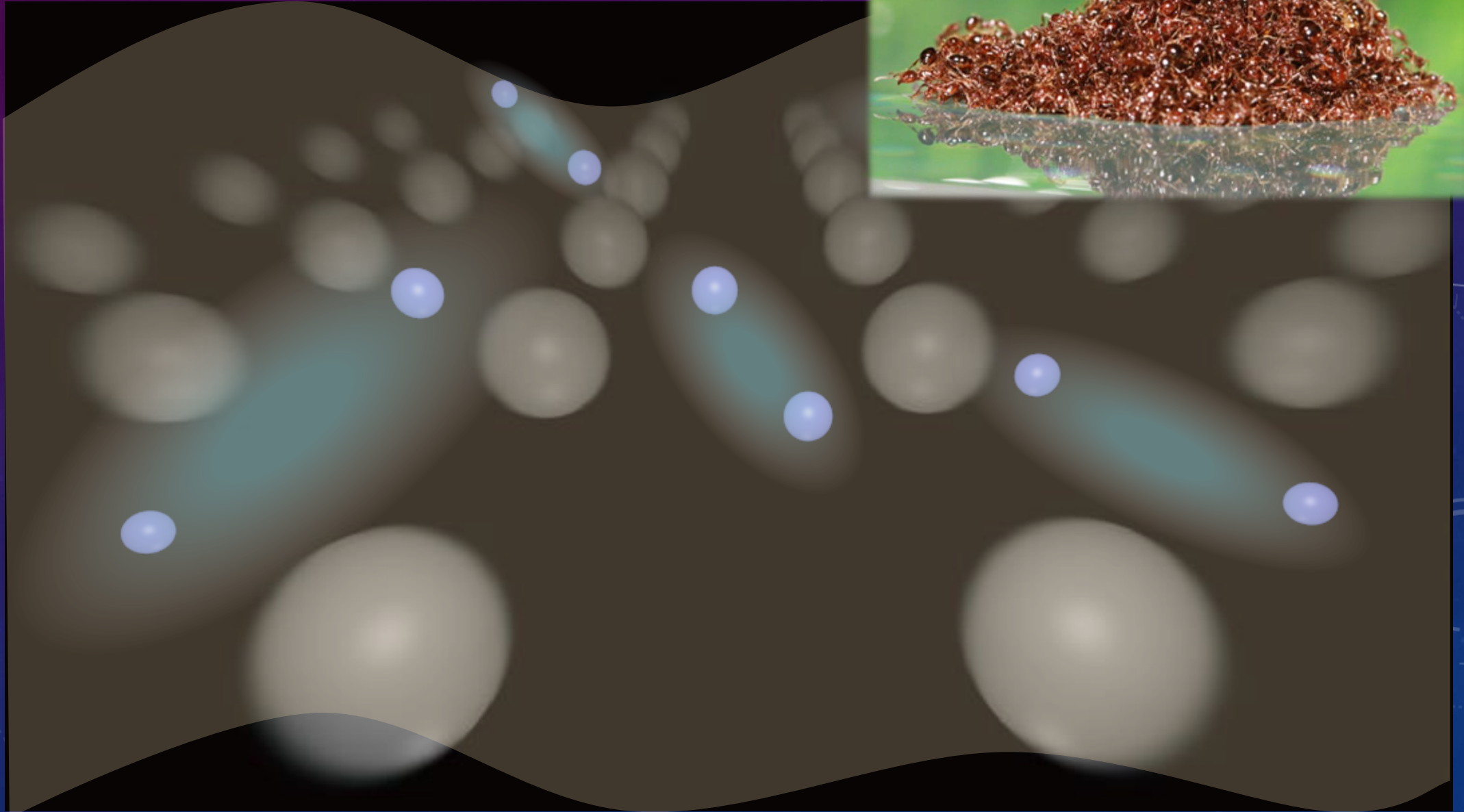


1972年
诺贝尔奖

超导的机理



超导的机理

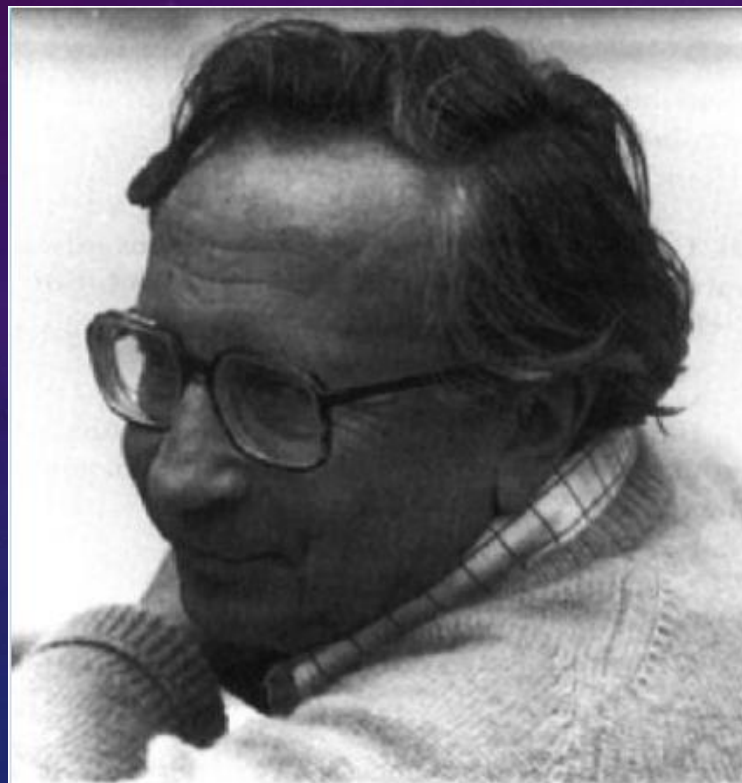


高温超导的探索

昂贵的液氮
200-300元/升



温度更高的超导体

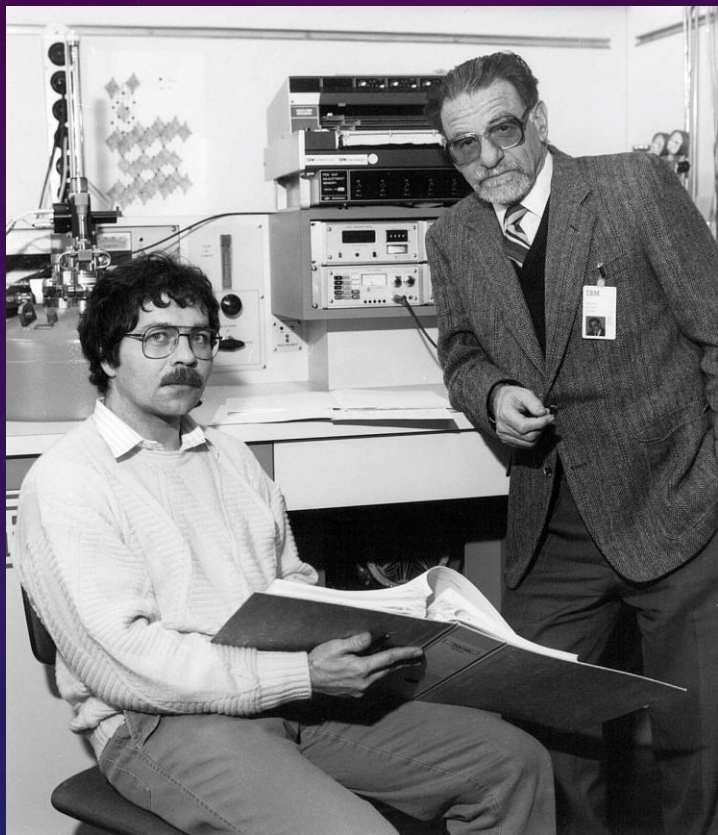


Bernd Matthias

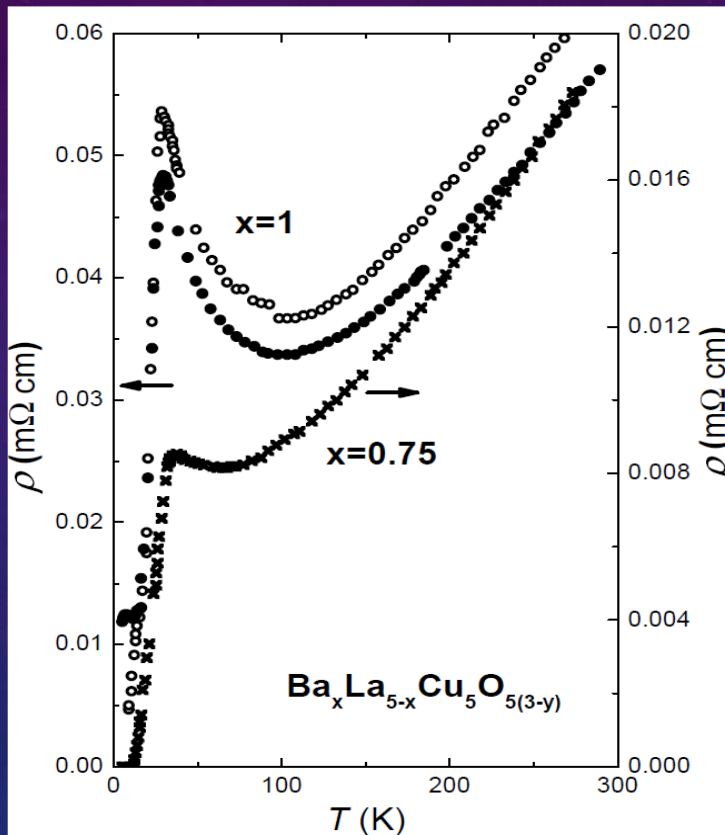
探索新超导体黄金六则：

1. 高对称性、最好立方结构；
2. 高电子态密度(浓度)；
3. 不含氧元素；
4. 没有磁性；
5. 非绝缘体；
6. 不要信理论学家；

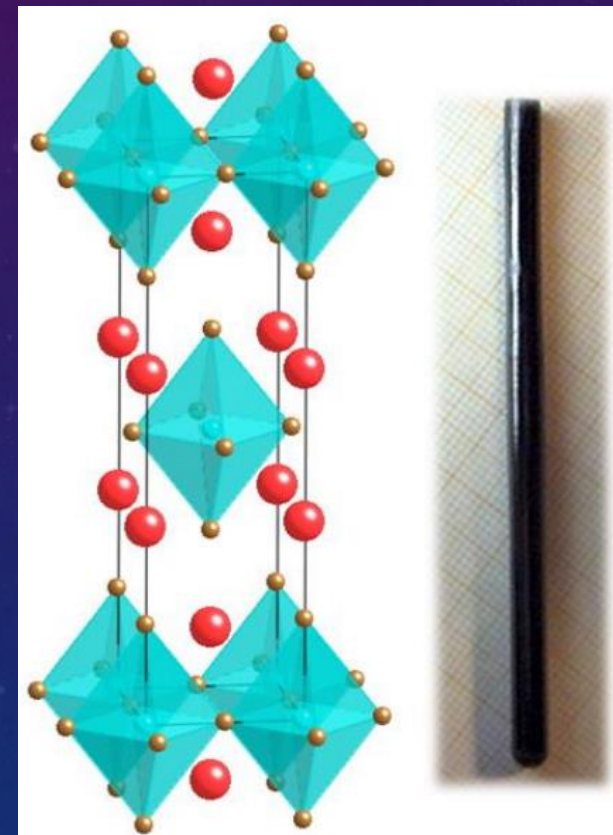
高温超导的发现



1986年
柏诺兹和缪勒
发现Ba-La-Cu-O高温超导
 $T_c = 35\text{ K}$



1987年
诺贝尔奖



铜氧化物高温超导体
晶体结构

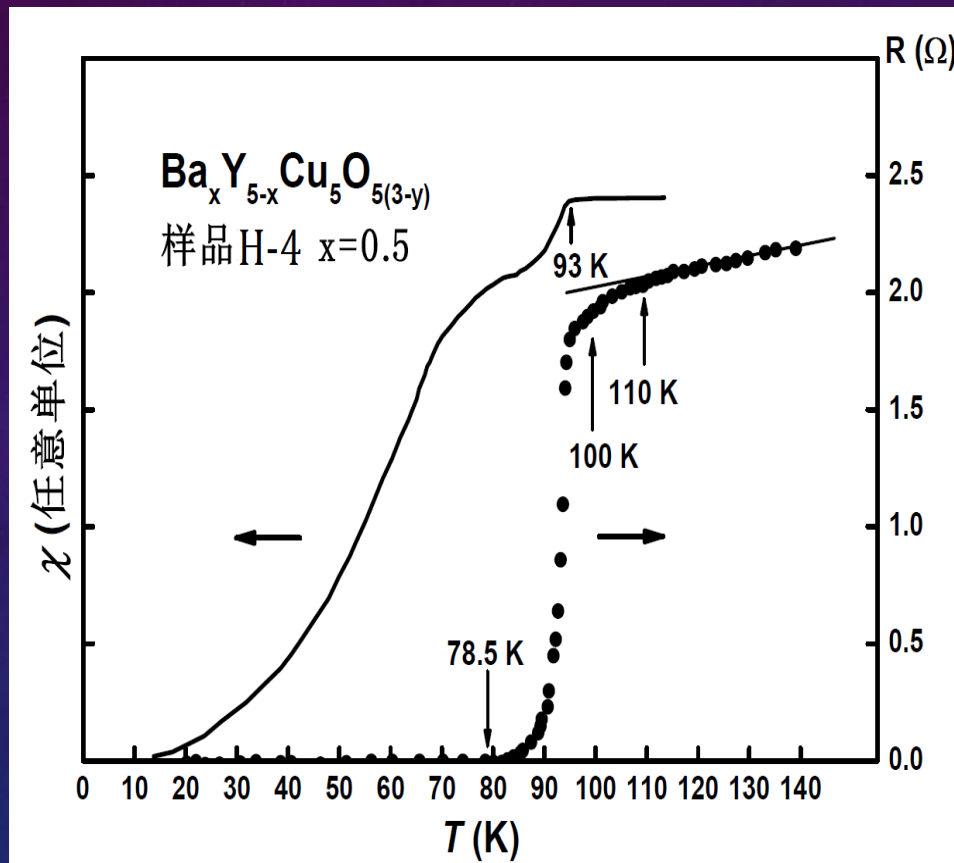
高温超导的发现



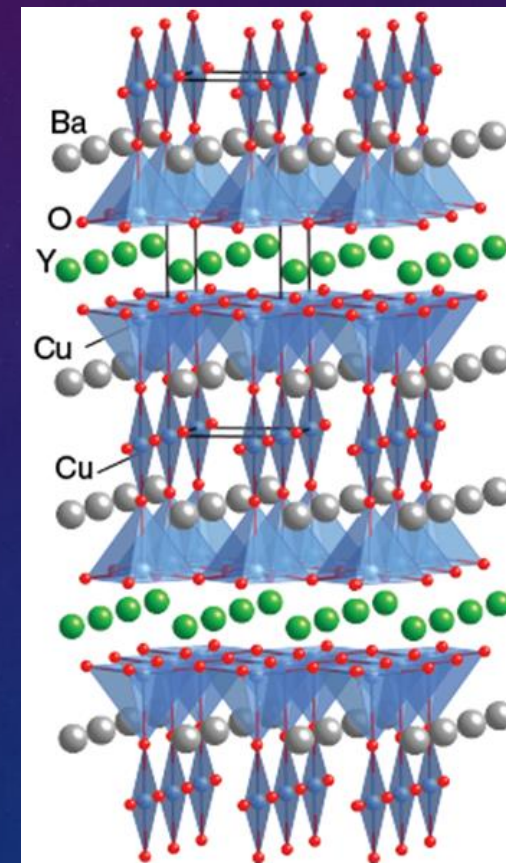
1987年

朱经武和吴茂昆，赵忠贤等分别独立发现Y-Ba-Cu-O高温超导。

$T_c = 93\text{ K}$

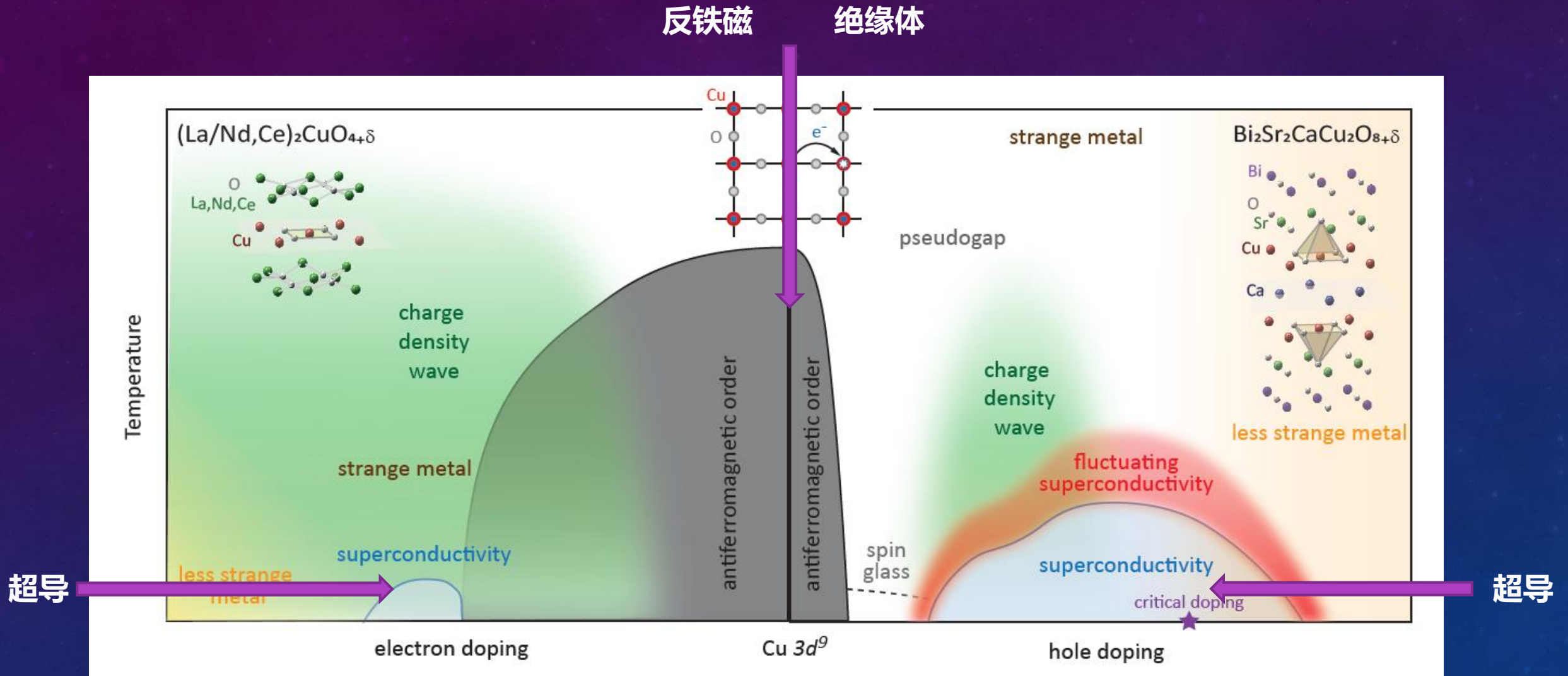


超导临界温度突破液氮温度



液氮温区超导体
晶体结构

高温超导的相图





Bernd Matthias

探索新超导体黄金六则：

1. 高对称性、最好立方结构；
2. 高电子态密度(浓度)；
3. 不含氧元素；
4. 没有磁性；
5. 非绝缘体；
6. 不要信理论学家；

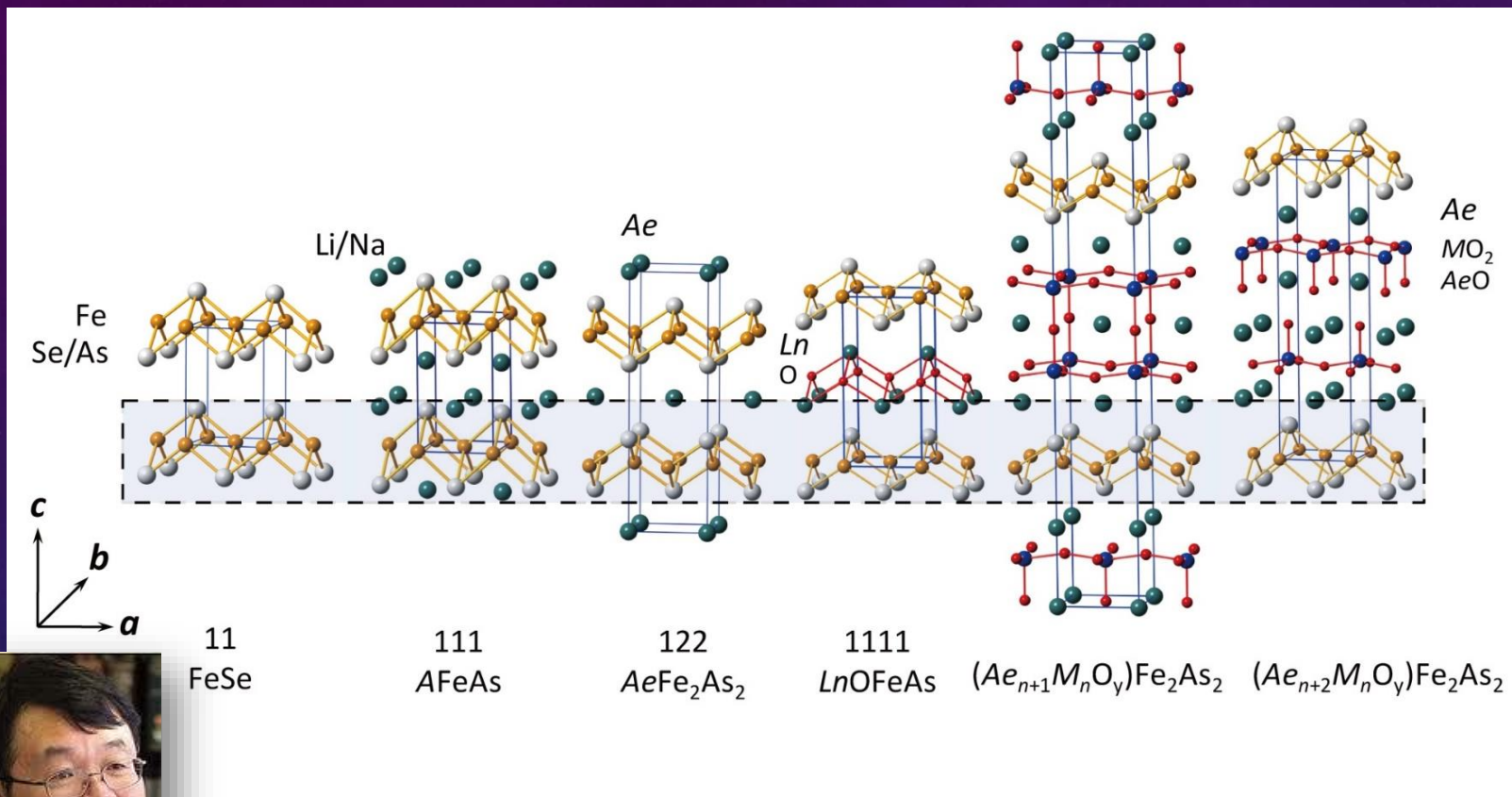
B. T. Matthias

打破陈规

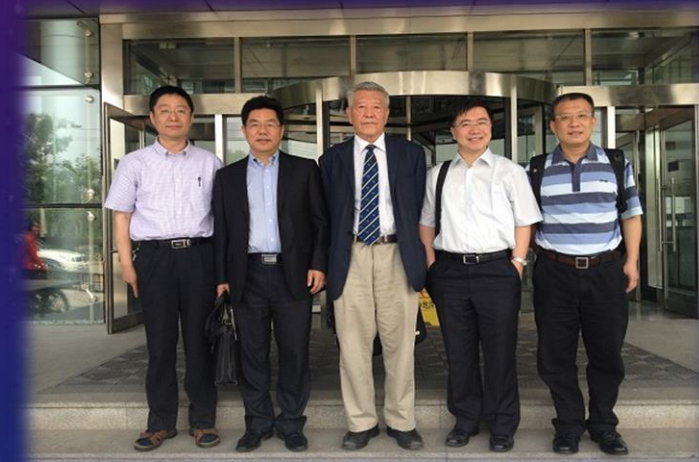
勇于创新

高温超导的发现

铁基高温超导体



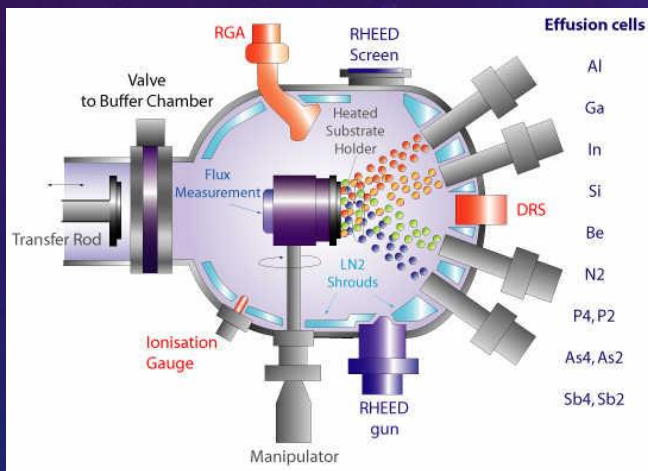
H. Hosono



中科院物理所和中国科大团队在铁基高温超导领域的工作获2013年国家自然科学一等奖

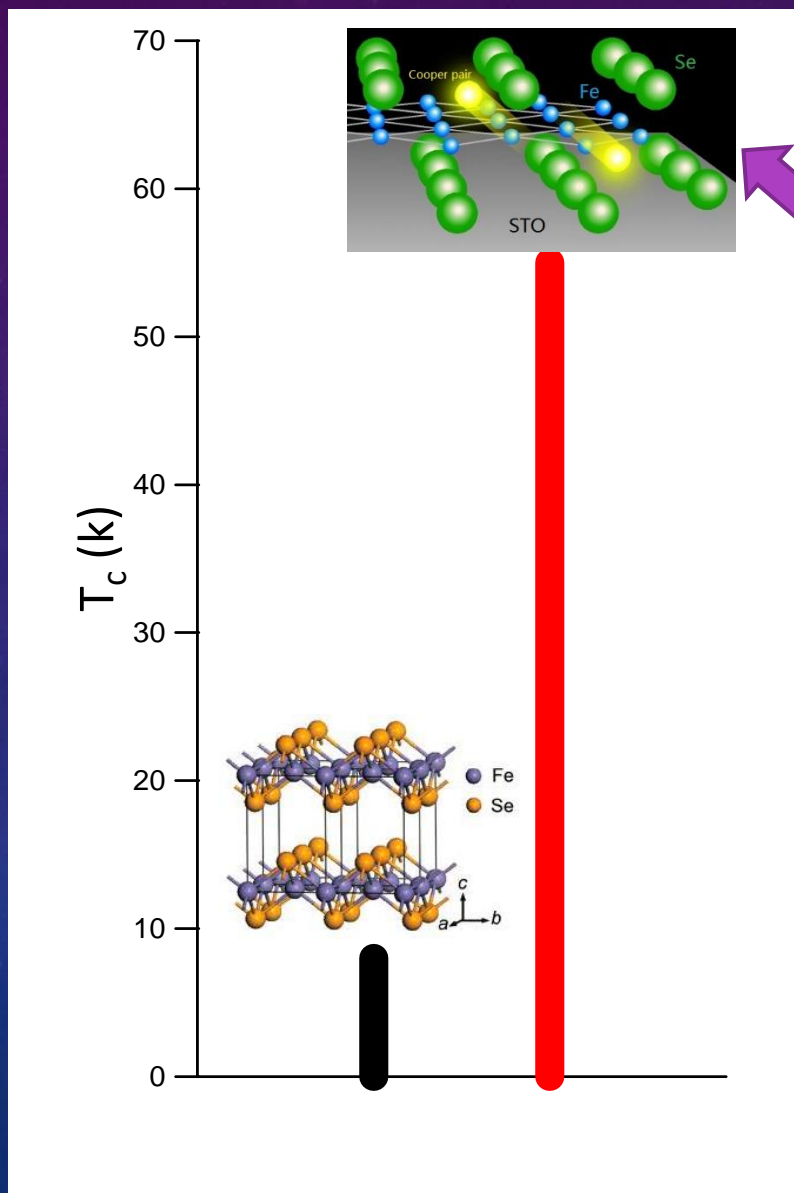
高温超导的发现

Molecular Beam Epitaxy (MBE)



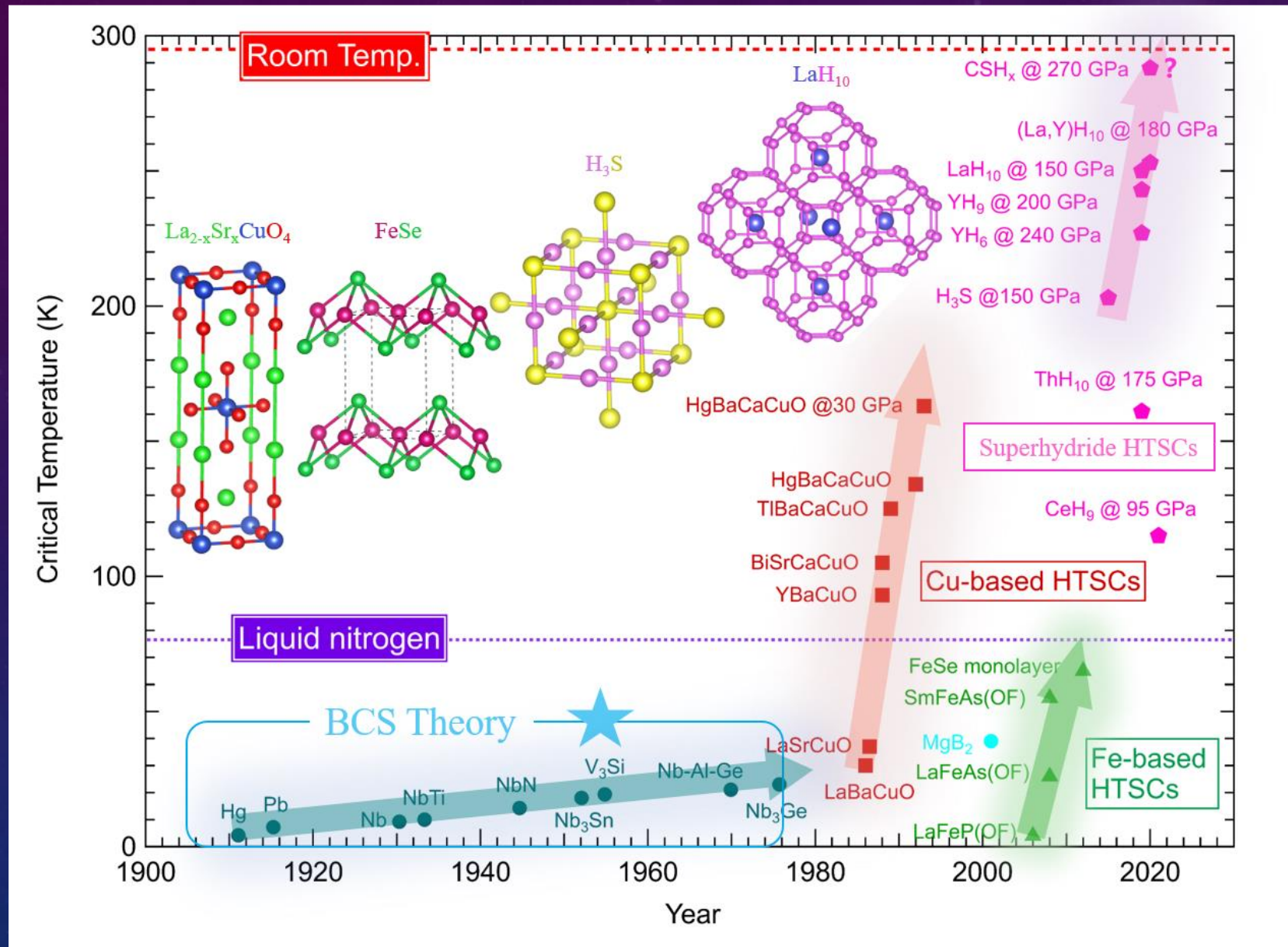
Q. Wang & Q.-K. Xue et al.,
Chin. Phys. Lett. 29, 037402 (2012)

神奇的界面

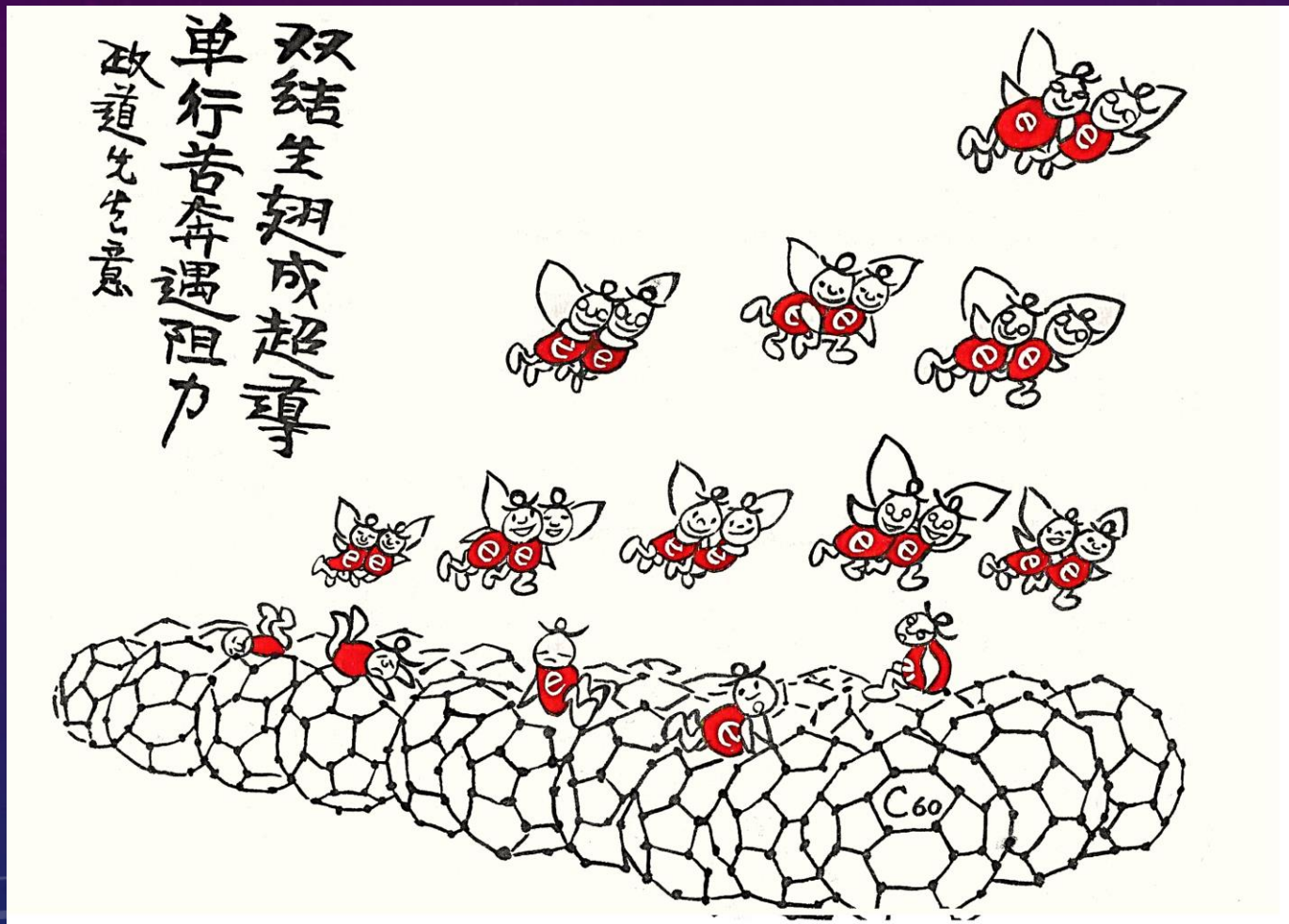


单原子层

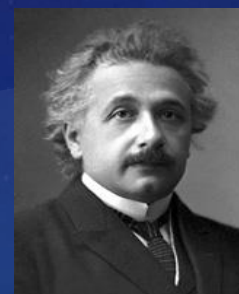
超导的发展历程



高温超导的机理探索

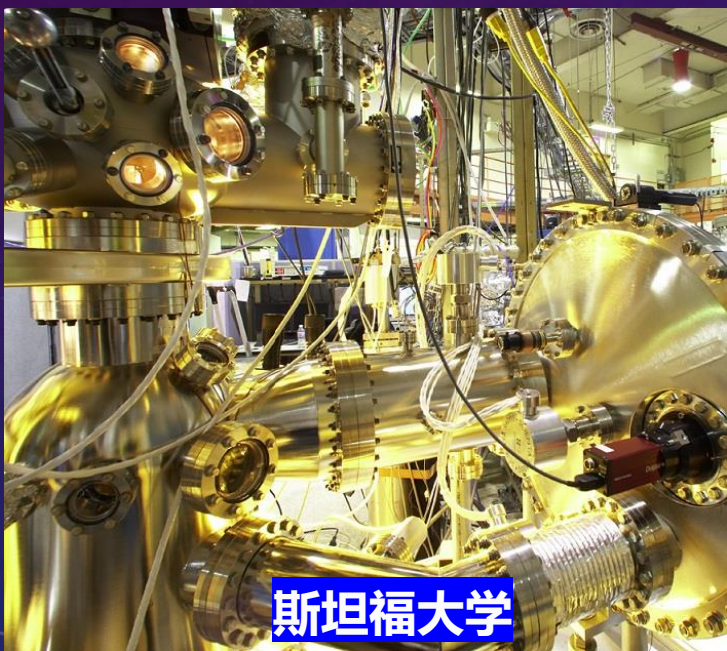


电子还配对吗?

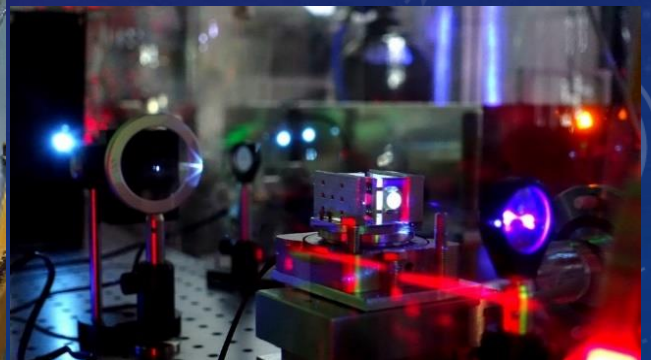
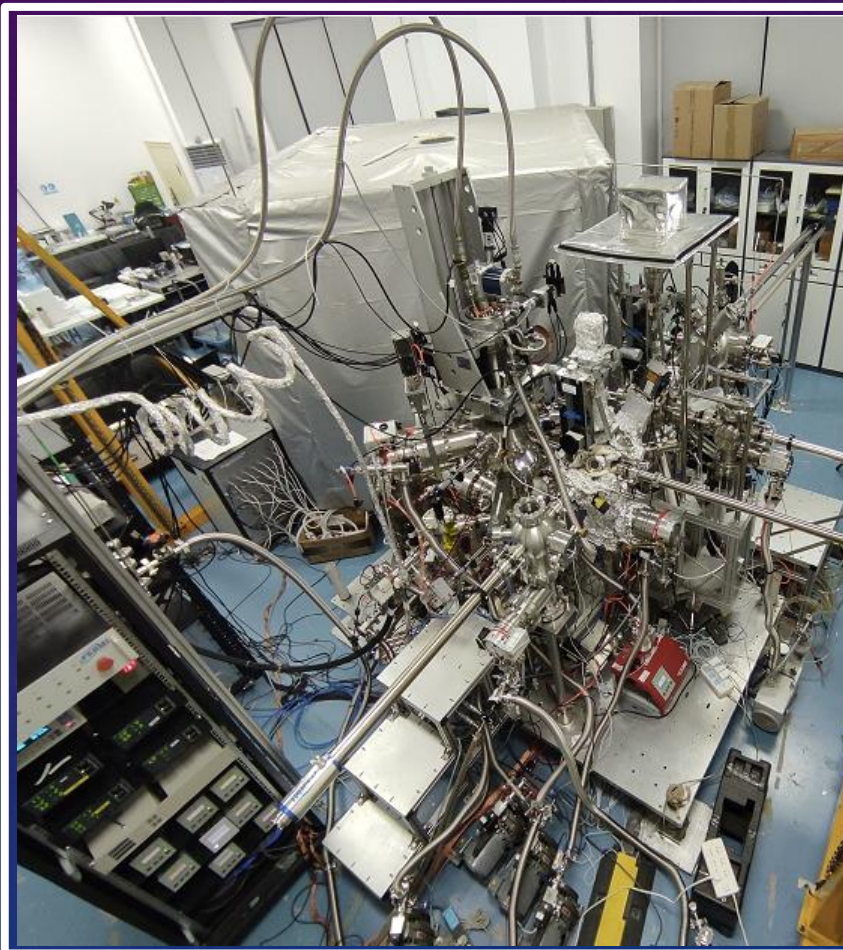


1921年
诺贝尔奖

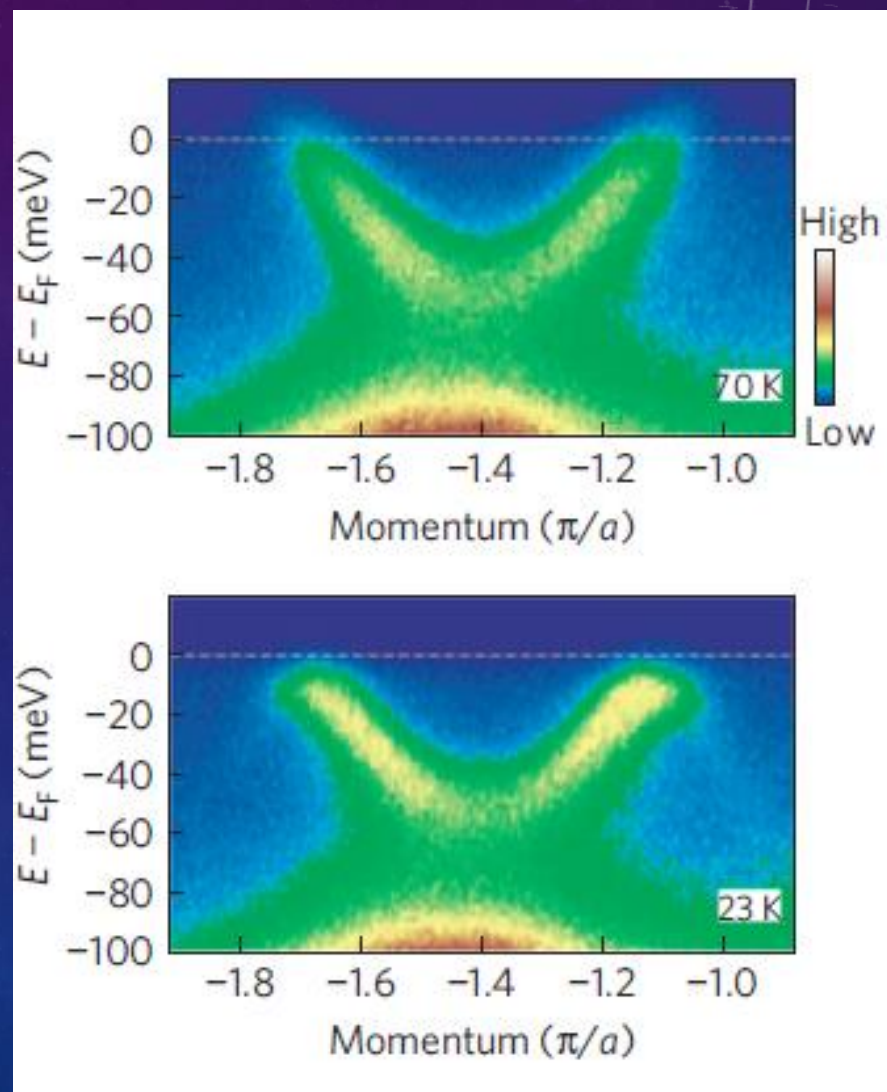
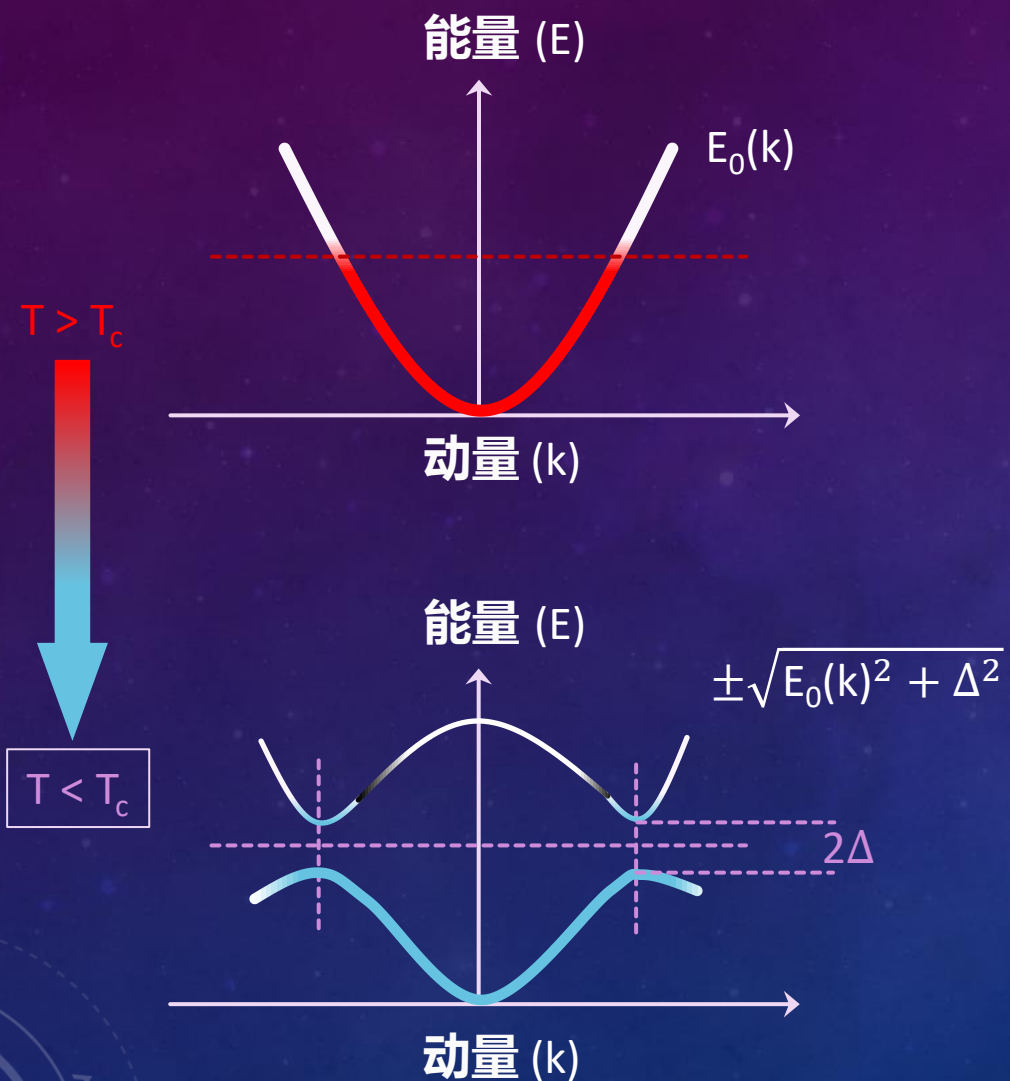
高温超导体内部电子的探测



斯坦福大学

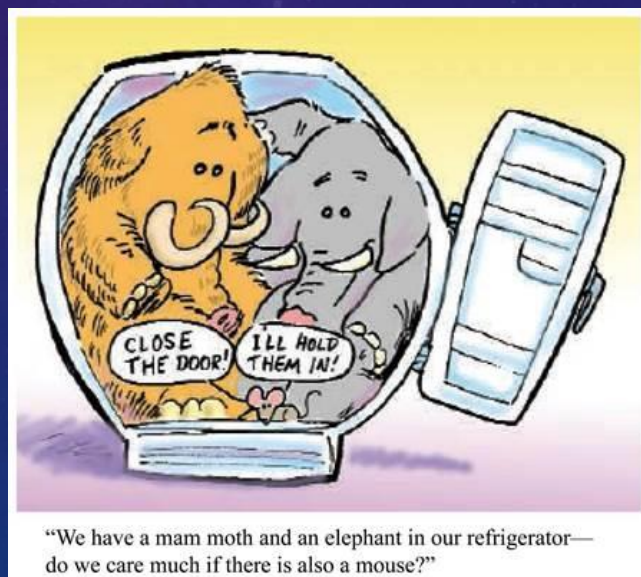


高温超导体内部电子的探测



凝聚态物理皇冠上的明珠

未解之谜



目录

- 01 量子现象简介
- 02 超导的发现和理解
- 03 超导的应用**

超导的应用

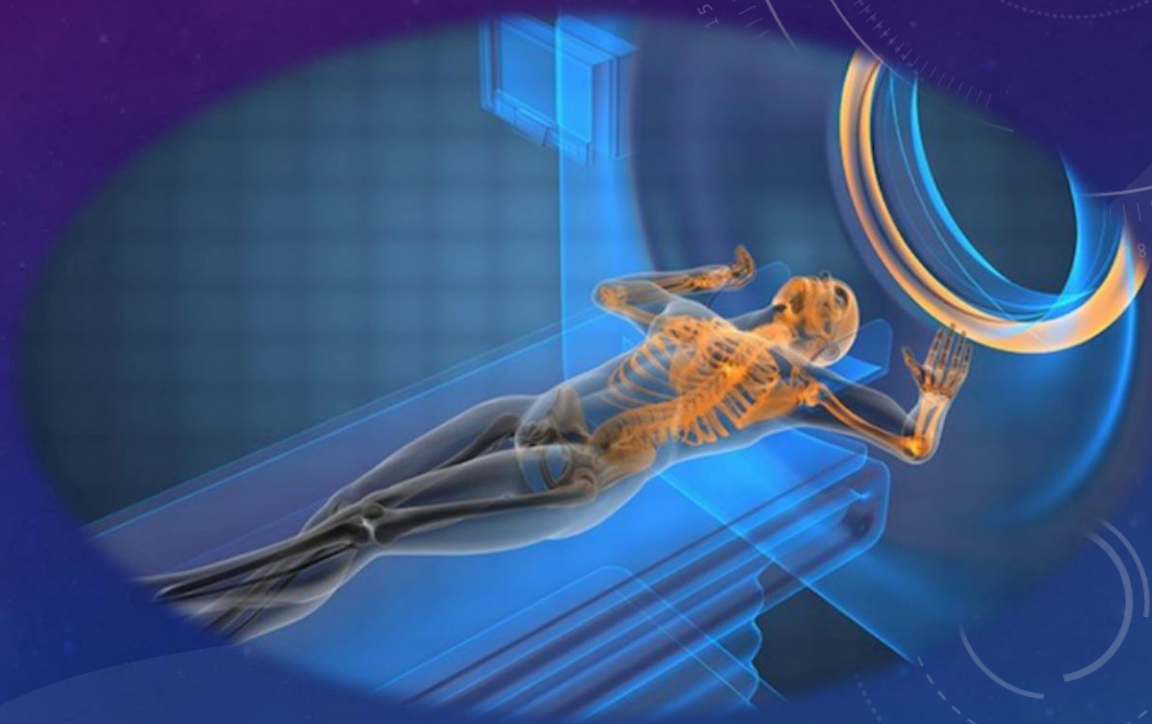
超导电缆

深圳平安金融中心



超导的应用

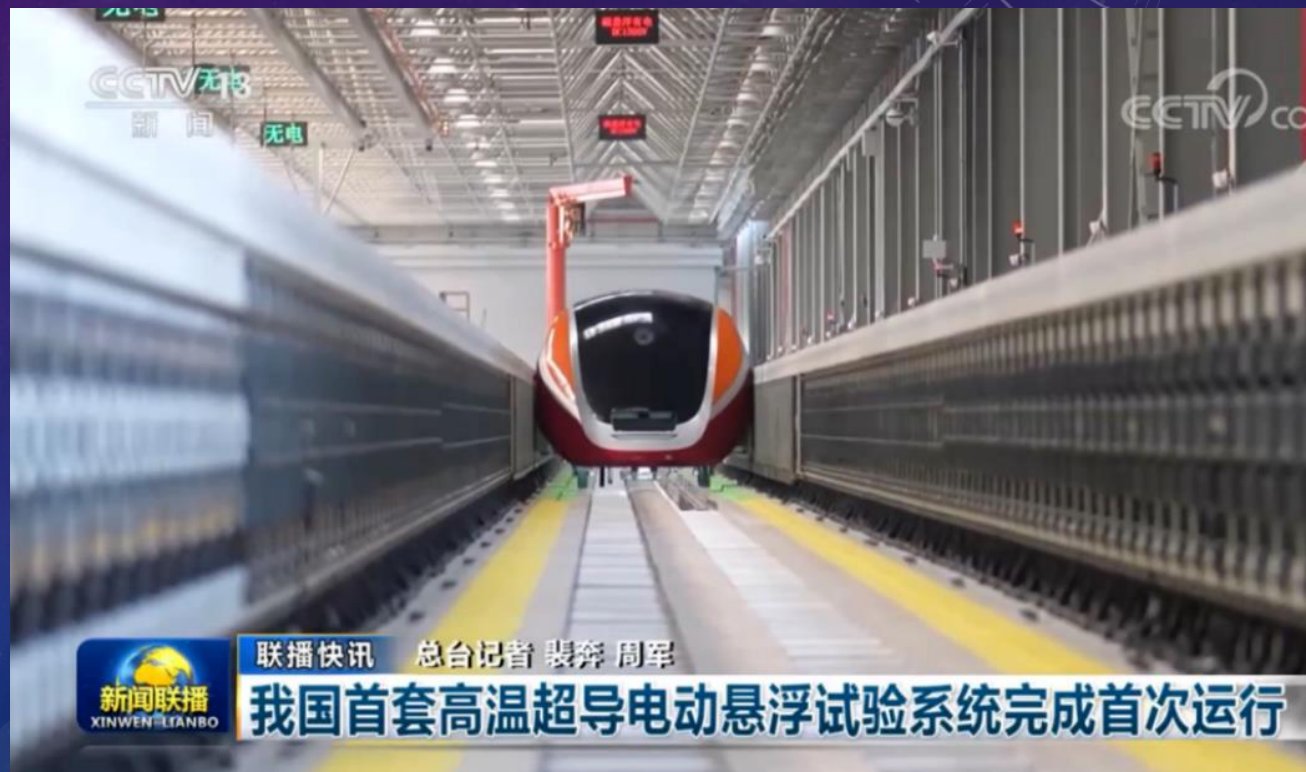
超导核磁共振



超导的应用



超导磁悬浮列车



超导的应用

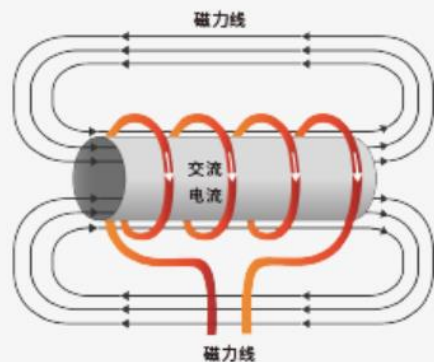
超导感应加热



超导感应加热技术原理

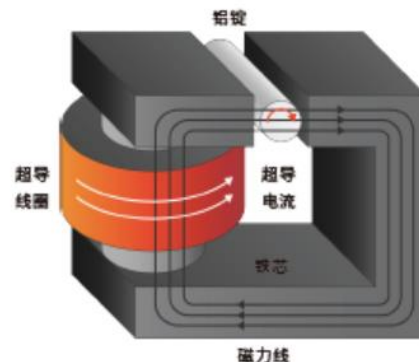
高温超导感应加热设备产品手册 | 超导感应加热技术原理

传统交流工频感应加热



铜线圈产生交变磁场，交变磁场在静止的工件中感应出涡流进行加热。磁场强度低、频率高肌肤效益明显、铜线圈自身生热损耗能效。

超导极低频感应加热



超导磁体产生强直流磁场，电动机驱动工件在磁场中旋转，感应出涡流进行加热。磁场强度高、频率低、超导磁体由于零电阻而实现高能效。

加热效率

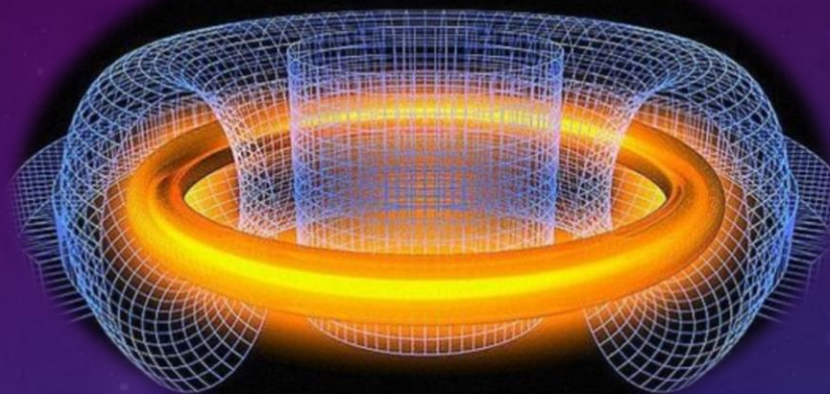
40-45%



80-85%

超导的应用

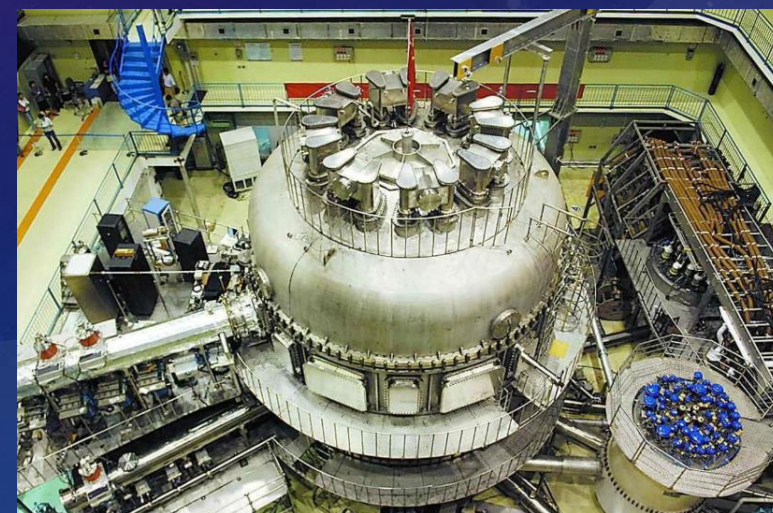
超导可控核聚变



美国
Commonwealth Fusion Systems



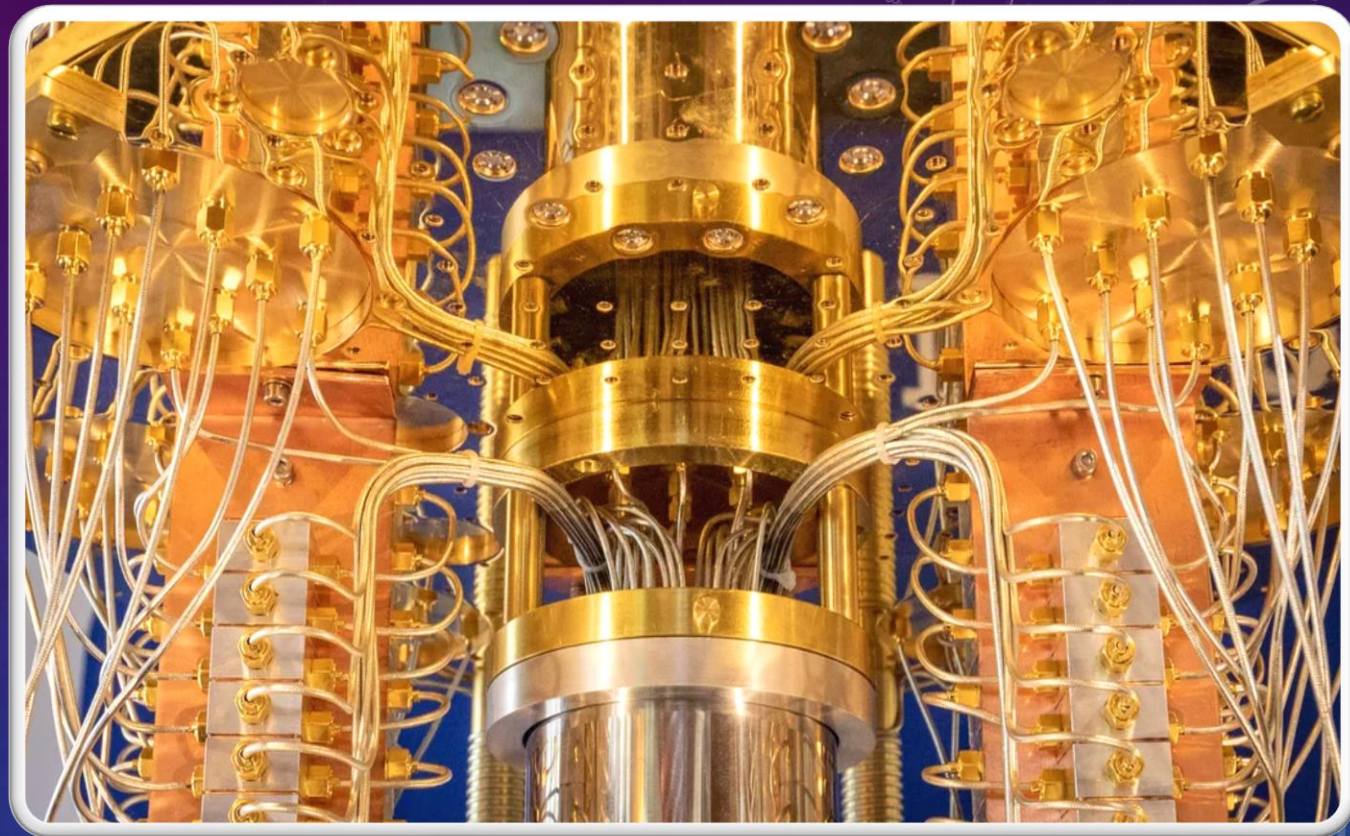
英国
Tokamak Energy



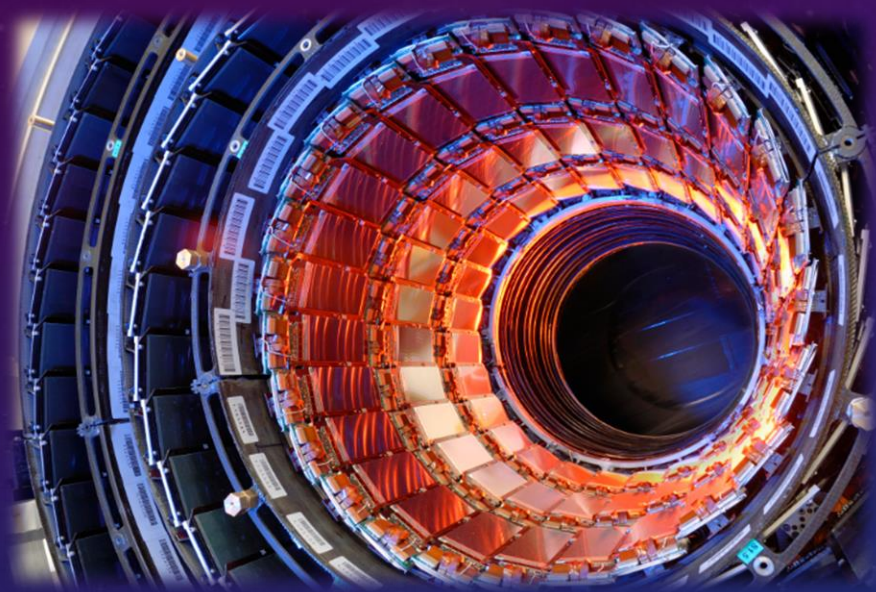
中国合肥

超导的应用

超导量子计算



百年超导，方兴未艾 同学少年，正当其时



谢谢大家