

超导“小时代”之三十五 室温超导之梦

罗会仟[†]

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

2018-08-11 收到

[†] email: hqluo@iphy.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20180908

梦想是一定要有的，万一实现了呢。

——马云

每个人都有各自的梦想，小时候我们梦想成为科学家、教师、宇航员、艺术家，长大后我们梦想追逐更加舒适的生活和富足的精神世界。只要有梦想在，生活似乎就总是充满期待和希望。从事超导研究的科学家们，同样怀有一个终极的梦想，那就是寻找到可实用化的室温超导材料。还记得科幻电影《阿凡达》里描述的潘多拉星球吗？那里有着富饶的室温超导矿石——Unobtanium，它足以让一座座大山悬浮在空中(图1)。地球人类甚至不惜一切代价，哪怕是摧毁外星人的家园，也要掠夺过来。这足以说明，室温超导材料堪称无价之宝，人类或许在地球上找不到，也梦想在别的外星球上去获得^[1]。有趣的

是，在比特币盛行之后的今天，Unobtanium 也成了虚拟数字货币之一——超导币(UNO)(图2)。超导币一共有25万个，目前单个市值1000人民币左右，远不及高温超导材料的宝贵。

所谓室温超导，指的是在地球室温环境下(通常默认是300 K，也即27 °C)就能够实现零电阻和完全抗磁性的超导材料。这意味着，室温超导材料对应的超导临界温度必须在300 K以上。事实上，自从超导材料被发现以来，人们就没有停止过对室温超导的向往和探索。甚至可以说，诸如有机超导体、重费米子超导体、铜氧化物高温超导体、铁基超导体等都是室温超导探索之路上的偶然发现^[2]。直到最近，

人们还在孜孜不倦地追求室温超导材料。全球最大的论文预印本网站 arXiv.org 经常报道出各种“室温超导体”，比如2016年 Ivan Zahariev Kostadinov 就声称他找到了临界温度为373 K的超导体，他没有公布

这个超导体的具体组分，甚至为了保密把他的研究单位写成了“私人研究所”^[3]。又如一队科研人员声称在巴西某个石墨矿里找到了室温超导体，并且做了相关研究并正式发表了论文^[4, 5]。还有，在2018年8月，两位来自印度的科研人员号称在金纳米阵列里的纳米银粉存在236 K甚至是室温的超导电性，并且有相关的实验数据^[6]。毫无疑问，这些声称的“室温超导体”，都是很难经得住推敲和考证的，它们很难被重复实验来验证。有的根本没有公布成分结构或者制备方法，就无法重复实验；有的实验现象极有可能是假象；有的实验数据极有可能不可靠。关于373 K超导的材料，所谓的“室温超导磁悬浮”实验更像是几块黑乎乎的材料堆叠在磁铁上而已(图3)^[7]。关于236 K超导那篇论文中数据就被麻省理工学院的科研人员质疑，因为实验数据噪音模式“都是一样的”，这在真实实验中是不可能出现的事情(印度作者之后又辟谣成“量子噪音效应”)^[8]。这确实是令人沮丧的，绝大部分室温超导体都这么不靠谱，那么该相信谁？

事实的真相比这个还要悲观，在探索室温超导之路上，除了我们熟知的那些类别的超导体之外，其实还有许多声称超导的材料。科学



图1 电影《阿凡达》里的神秘悬浮大山和室温超导矿石

家照搬 UFO (Unidentified Flying Object, 不明飞行物) 的概念, 戏称这些材料为 USO (Unidentified Superconducting Object), 即“不明超导体”^[3, 9]。的确, 这些不明超导体长得千奇百怪, 有金属的液体溶液, 有高压淬火的 CuCl 和 CdS, 也有看似正常的过渡金属氧化物或者其薄膜, 还有和铜氧化物等超导材料特别类似的, 也有在特殊超导材料基础上掺杂的。它们的超导临界温度, 从 35 K 到 100 K, 甚至到 400 K! 相关的实验证据有的是零电阻, 有的是抗磁性, 也有两者皆有的(表 1)。不明超导体似乎看起来都像是超导体, 但是它们有一个共同特征——无法被科研同行的实验广泛验证。关于这些奇怪超导的研究, 都因为无法重复而不了了之, 最终被大家所耻笑和忘却。

即使如此, 人们心目中的那个室温超导之梦, 依旧萦绕不止。无论是美国、日本还是中国, 都前后启动过以室温超导材料探索为远景目标的科研项目。日本科学界甚至明确指出要探索 400 K 以上的超导体, 为的就是在室温下可以规模化应用。只是, 这些项目, 目前尚未给出任何一个令人惊喜的答案, 室温超导探索, 依旧是漫漫长途。

如何寻找到更高临界温度甚至是室温之上的超导材料, 科学家们可谓是绞尽了脑汁。遥想当年, 无论是实验家马蒂亚斯总结的“黄金六则”, 还是理论家麦克米兰划定的 40 K 红线作为“看不见的天花板”, 都先后被证明并不准确, 甚至可能带来误导。况且, 如重费米子和铁基超导等, 都是打破“禁忌”的超导材料, 其发现似乎充满各种偶然性和意外性。我们还能凭借经验寻找到室温超导体吗? 可以

这么说: 没有任何一种靠谱理论说明室温超导体并不存在, 也没有任何一种限制可以阻止我们追逐室温超导的梦想, 更没有任何一条有用的经验能帮助我们寻找到室温超导体。话虽如此, 科学家们还是总结了高温超导中的若干共性现象, 并试图建立高温超导的“基因库”。这些“高温超导基因”, 可以是过渡金属材料的 3d 电子, 可以是电子—电子之间的强关联效应, 可以是准二维的晶体结构和低浓度的载流子数目, 可以是强烈的各向异性度和局域的关联态, 可以是多重量子序的复杂竞争……线索有很多, 但是哪一条有效尚属未知^[3]。

寻找室温超导之路, 有三条可以尝试: 1、合成新的材料; 2、改进现有材料; 3、特殊条件调控材料^[10]。其中第 2 条是显而易见的, 比如改进现有的铜氧化物高温超导材料的质量, 对其进行化学掺杂等改造, 以期获得更高临界温度的超导体。特殊条件调控, 指的是利用高温、高压、磁场、电场等方式调控材料的状态, 在更高温度下形成超导态。合成新的材料是最困难的, 因为没有 q 可靠的经验能够告诉我们室温超导在哪里, 只能“两眼一抹黑”去探索。

部分科学家认为, 有机材料里面, 室温超导体的可能性最大。原因有很多, 最大的原因在于有机材料的种类非常丰富, 里

面冒出一两个室温超导体, “并不奇怪”。不过也需要特别小心的是, 有机材料以及一些碳材料中, 非常容易得到微弱的抗磁性或者出现电阻率下降的现象。这不, 早在多年以前, 就有人认为碳纳米管中存在 262 K 甚至 636 K 的“室温超导”, 这里只能说是“疑似”, 因为其数据只是电阻存在

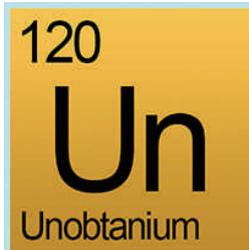


图 2 Unobtanium 虚拟币



图 3 疑似“室温超导磁悬浮”(来自 www.373k-superconductors.com)

表 1 “不明超导体(USO)”举例
(参考 www.superconductors.org)

材料成分	疑似 T_c/K	零电阻	抗磁性
金属—NH ₃ 溶液	180—190	×	×
CuCl(高压淬火)	100	√	√
CdS(高压淬火)	77	×	√
Ca ₁₀ Cu ₇ O ₂₉	80	√	√
Na ₂ WO ₆	90—130	×	√
Ag ₂ PbO ₁₁	285	√	√
Ag ₂ Pb ₂ CO ₃	340	√	√
Nb—Ge—Al—O 薄膜	44	√	√
La—Ca—Cu—O	227	×	√
La—Sr—Nb—O	290	√	√
C—S	35	×	√
Ag—Sr ₂ RuO ₄	200—250	×	√
TiB ₂	295	×	×
多壁碳纳米管	400	×	×
Ag—Au 纳米结构	236	√	√

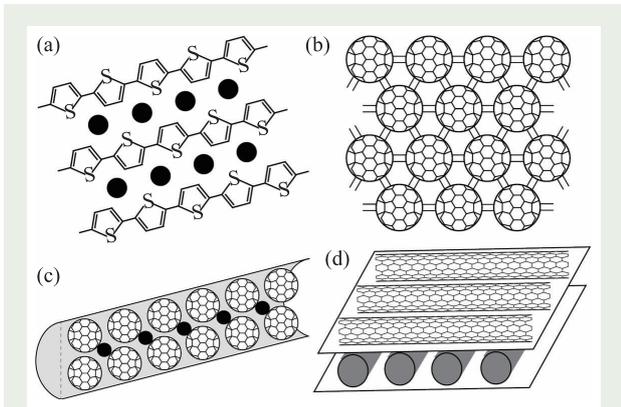


图4 人工设计的“有机室温超导体”

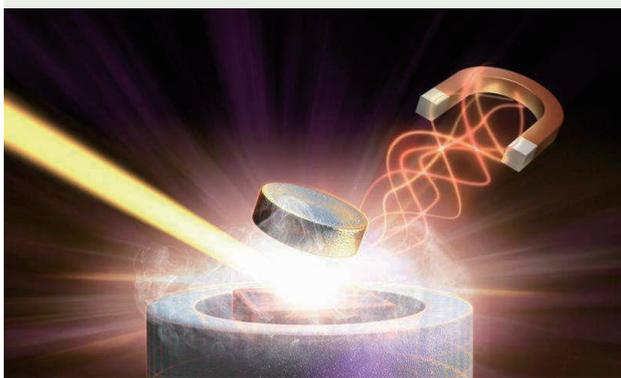


图5 强激光和强磁场诱导调控高温超导(来自 phys.org)

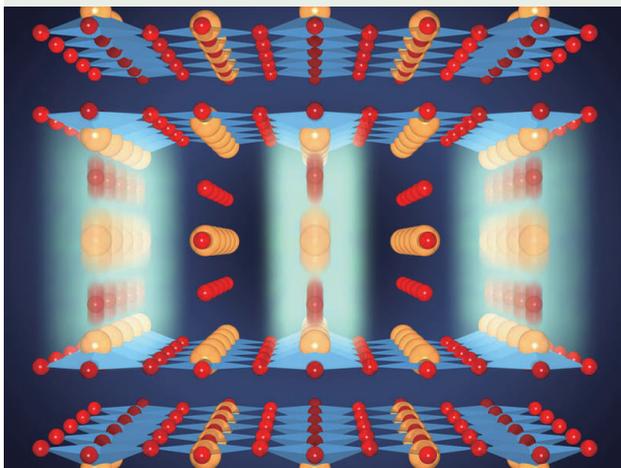


图6 光增强下的“瞬态室温超导”(来自 www.bnl.gov)

一个下降而已，零电阻和抗磁性并不同时存在。基于碳单质的材料可以变化多端，也成为大家设计室温超导体的乐园。科学家基于自己的直觉，设计出了多个苯环化合物、

多个足球烯结构、碳纳米管包覆足球烯、以足球烯或碳纳米管为单元的“超级石墨烯”等(图4)^[11-14]。这些材料以目前的技术是难以合成的，但随着人们对量子操控技术的掌握，也许在将来的某一天真的可以实现，也有可能觅得一两个室温超导体呢！

如果选取了合适的调控手段，室温超导也是有可能会被发现的。结合X射线自由电子激光和脉冲强磁场，美国斯坦福大学的科学家发现高温超导体中可以诱导出一种三维的电荷密度波态，意味着电荷相互作用更为强烈，更高临界温度的超导电性有可能实现(图5)^[15]。德国马普所的科学家用红外光“加热”高温超

导体内部的电子，让它们更为活跃地形成库珀电子对，在增强Cu—O面间的耦合前提下，电子对甚至可以存活于室温之上(图6)^[16]。不过如此形成的室温超导的寿命是极短的，大概只有 10^{-12} s，所以又被称之为“瞬态室温超导”。寻找到更适合调控电子配对的方法，让库珀电子对的相干凝聚更为稳定，或许是走向真正室温超导的可能道路之一。

总之，超导探索之路上的多次惊喜和教训已经告诉我们，新超导体往往是出乎意料的，室温超导之梦也并非遥不可及。随着人们对超导认识的深入和科学技术的不断进步，将来必定能够发现室温超导，梦想总有照进现实的那一天。

参考文献

- [1] 罗会仟. 室温超导体, 科幻还是现实? 科技日报, 2016年07月21日
- [2] Marouchkine A. Room-Temperature Superconductivity. Cambridge International Science Publishing, 2004
- [3] Kostadinov I Z. arXiv: 1603.01482
- [4] Precker C E *et al.* arXiv: 1606.09425
- [5] Precker C E *et al.* New J. Phys., 2016, 18: 113041
- [6] Thapa D K, Pandey A. arXiv: 1807.08572
- [7] <http://www.373k-superconductors.com/>
- [8] Skinner B. arXiv: 1808.02929
- [9] Geballe T H. Science, 1993, 259: 1550
- [10] Chu P C W. Nat. Mat., 2007, 6: 622
- [11] Heeger A J *et al.* Rev. Mod. Phys., 1988, 60: 781
- [12] Andriotis A N *et al.* Phys. Rev. Lett., 2003, 90: 026801
- [13] Heath J R, Rather M A. Physics Today, 2003, 5: 43
- [14] Mickelson W *et al.* Science, 2003, 300: 467
- [15] Gerber S *et al.* Science, 2015, 350: 949
- [16] Mankowsky R *et al.* Nature, 2014, 516: 71