

图2 强自旋极化磁体中的三态超导电流 (a) 在布洛赫(Bloch)壁中, 畴壁将产生混合的三态 Cooper 对波函数, 其中同自旋成分穿过较长的距离; (b) 在强自旋极化结构的界面产生三态波函数. 由于界面磁矩相对于中心的磁化轴有夹角, 三态波函数中的同自旋 Cooper 对成分可以穿透较长的距离. 改变两个界面的相对磁取向, 可以得到 0 结和  $\pi$  结中的长程三态超导电流. 例如, 2010 年, 宾州大学的 Jian Wang 和其合作者发现两个超导电极之间的 600nm 长的单晶 Co 线可以实现零电阻传导<sup>[10]</sup>. 这个传导距离和 Ruurd Keizer 等发现的半金属  $\text{CrO}_2$  中的长程效应可以相比. 此外, 德国 Bochum 的 Hartmut Zabel 小组也报告了三态超导电流通过半金属  $\text{Cu}_2\text{MnAl}$  的实验证据<sup>[11]</sup>.

最近实验和理论上的突破, 成功实现了强自旋极化铁磁体中的长程三态超导电流, 这使得相关的器件有广泛的应用前景. 有了完全自旋极化的三态超导电流, 自旋相关的量子相干效应将进入自旋电子学领域. 超导自旋电子学器件将自然地引入非局域、纠缠和量子相干效应, 而这些效应都是量子计算的关键. 首先, Cooper 对的典型尺寸大于 50nm, 有多个电极的纳米超导器件将表现出非局域的输运性质. Guy Deutscher 等在 2000 年指出, Cooper 对可以把电子分给两个不同的电极, 但两个电子之间却还能保持量子相干<sup>[12]</sup>. 量子纠缠正是基于这样的相干效应. 另一个激动人心的应用是

Andreev 干涉仪, 由 Petrashov 在 1994 年提出<sup>[13]</sup>. 在 Andreev 干涉仪中, 超导导线通过两个端点和普通金属线连接形成环路, 由于在普通金属线中建立了量子相干效应, 普通金属线中的电导会随着通过环的磁通变化而发生振荡.

自旋极化的超导电流将原本独立的介观超导和自旋电子学联系起来. 当现有的自旋电子学器件, 如自旋晶体管、自旋过滤器、自旋泵浦、自旋阀和自旋开关等与超导态相结合时, 将会出现新的自旋电子学器件, 甚至出现类似 45 年前发现的与超导量子干涉仪(SQUID)同样重要的革命性器件.

## 参考文献

- [1] Fulde P, Ferrell R A. Phys. Rev., 1964, 135, A550; Larkin A I, Ovchinnikov Y N. Sov. Phys. JETP, 1965, 20, 762
- [2] Tokuyasu T, Sauls J A, Rainer D. Phys. Rev. B, 1988, 38, 8823
- [3] Buzdin A I, Bulaevskii L N, Panyukov S V. JETP Lett., 1982, 35, 178; Buzdin A I. Rev. Mod. Phys., 2005, 77, 935
- [4] Ryazanov V V et al. Phys. Rev. Lett., 2001, 86, 2427; Oboz-nov V A et al. Phys. Rev. Lett., 2006, 96, 197003
- [5] Kontos T et al. Phys. Rev. Lett., 2002, 89, 137007; Blum Y et al. Phys. Rev. Lett., 2002, 89, 187004
- [6] Eschrig M et al. Phys. Rev. Lett., 2003, 90, 137003; Nat. Phys., 2008, 4, 138; Phys. Rev. Lett., 2009, 102, 227005
- [7] Keizer R S et al. Nature, 2006, 439, 825
- [8] Khaire T S et al. Phys. Rev. Lett., 2010, 104, 137002
- [9] Robinson J W A et al. Science, 2010, 329, 59; Phys. Rev. Lett., 2010, 104, 207001
- [10] Wang J et al. Nat. Phys., 2010, 6, 389
- [11] Sprungmann D et al. Phys. Rev. B, 2010, 82, 060505(R)
- [12] Deutscher G, Feinberg D. Appl. Phys. Lett., 2000, 76, 487
- [13] Petrashov V T et al. JETP Lett., 1994, 59, 551; Phys. Rev. Lett., 1995, 74, 5268

(中国科学院物理研究所 韩秀峰、张佳编译自  
Physics Today, 2011, (1), 43)

## · 物理新闻和动态 ·

### 流体中纳米物体的静电俘获

俘获一个物体(无论是单个的原子还是一个宏观的实体)的能力影响到诸如量子光学、软凝聚态物理、生物物理和临床医学等众多学科. 人们已研究开发出许多精密的方法来记录溶液中布朗运动的随机效应. 但是, 稳定地俘获纳米尺度的物体仍是一件困难的事. 光学镊子是广泛使用的阱, 但是要求物体是可充分极化的, 因此不能对小的巨大分子进行操作. 利用跟踪荧光标记引导的电动反馈技术可以约束单个的分子, 但是阱的硬度和寿命受到光物理的限制. 瑞士和英国的几位科学家, 利用液体中两块带负电的电玻璃板(一块是平的, 另一块是略微凹形的)之间的流体缝隙, 产生一种空间分布的静电场, 将带负电的物体俘获和悬浮在溶液中达几个小时. 他们在进行原理演示时, 使用直径为几十纳米的金颗粒、聚合物珠子和脂肪小球, 在没有外部的干预下, 这些物体都被俘获, 而且与其质量和介电性质无关. 这种静电阱的硬度和稳定性, 可以很容易地通过调节系统的几何与溶液的离子强度来改变, 并且自身可以与其他操作装置整合. 这种静电俘获原理可能会为分子生物学以及物理和材料科学的发展提供机遇.

(树华 编译自 Nature, 2010, 467, 692)

所谓的谐振子模型,它被用来作为研究许多问题的出发点.问题是基于其上的拓展走得太远太远,远得让许多研究者忘了起点在哪里.徐一泓在其著作 *Quantum field theory in a nutshell* 中毫不客气地指出:“量子场论诞生差不多 75 年后,其整个主题仍是根植于谐振子那套东西 (It struck me as limiting that even after some 75 years, the whole subject of quantum field theory remain rooted in this harmonic paradigm, to use a dreadfully pretentious word. We have not been able to get away from the basic notions of oscillations and wave packets (P5)).”为什么摆脱不了谐振子的标记?笔者以为,所谓的谐振子模型,其本质为  $x^2 + p^2$  形式的哈密顿量,这实际上是对构型空间和动量空间中各自的一个二次型的加法,是最简单的方法缝制一个能构造出物理内容的相空间<sup>4)</sup>.或者说,要缝制一个有物理的最简单的相空间,二次型加法的形式几乎是唯一可能的选择(否则,统计就很难往前走.但似乎二次型确实是大自然的选择,注意到能量均分定理就在很大程度上是成立的).由此哈密顿量的量子力学解法得到的零点能概念,以及基于零点能得到的一些无穷大量(仔细读读 Cantor 关于无穷的处理,可能会让人处理这个问题会小心翼翼以至畏葸不前)和消除这些无穷大的努力,都难免让我们这些未能洞察其奥妙者有深深的迷惑,和些微的担心.

**后记** 刘寄星老师在审阅本文时,在关于 pathological 一词的内容后面写下了一则逸闻,兹照录如下:“读苏联理论物理学家的回忆,得知大物理学家朗道最爱用这个词评判他认为不对的工作,因此在他的讨论会上报告人(多数是他的学生)一旦被斥为 pathological 或 pathetic (патологический),则此人一辈子就该倒霉了.被他这样评价过的人,包括德高望重的 A. Yoffe, 他早年的老师 Ya. Frenkel 和他的学生 V. G. Levich, 前者是为苏联物理学研究发展奠基的元老,其他两个人都是大有建树的理论物理学家,朗道的这种用词,深深地伤害了他们.不过,他的这种不讲情面和“恶毒”的用词也给自己招来了一次“没体面”,当他在 P. Kapitsa 主持的讨论会上,将这个恶谥冠在应邀来访的诺贝尔奖获得者拉曼的头上时,“拉曼怒不可遏,愤怒地把他赶出了会场”.看来,在用这个词评价人时还真得小心才是.”

### 参考文献

- [1] Ball P. Flow. Oxford University Press, 2009  
[2] Penrose R. The road to reality. Vintage Books, 2004

4) 有见到此前有类似论述的读者请告知出处,多谢.——笔者注

## · 物理新闻和动态 ·

### 拓扑绝缘体可以帮助确定基本常数

一种新发现的叫做“拓扑绝缘体”的材料,可以使物理学家能采用一种新技术确定三个基本物理学常数:光速( $c$ )、质子电荷( $e$ )和普朗克常数( $h$ ).美国的几位物理学家建议进行一项新的实验,通过光在这种新材料上的散射来测量精细结构常数( $\alpha$ ),而精细结构常数是  $h, c$  和  $e$  的函数.拓扑绝缘体的不寻常处在于电流可以在它的表面通过,但不能在其内部通过.

虽然有许多其他确定  $\alpha$  值的方法,但这种新的技术是唯一能够对  $\alpha$  提供极精确的计量学定义的方法.将  $\alpha$  值与在拓扑绝缘材料中的磁通量量子数和电导率量子数(两者都与  $h$  和  $e$  有关)的测量值相结合,便可以获得新的确定  $h$  和  $e$  的方法.

拓扑绝缘体之所以具有奇异特性,是因为其电子能带的形状使得表面电子不能发生反散射.研究者认为,在一定条件下,这种形状导致材料对外场响应的精确的量子化.物理学家们对于类似的拓扑学响应已很熟悉了,当一个超导体放在磁场中会导致磁通量量子的产生,在量子霍尔效应中,当一个二维导体放在磁场中会产生电导率量子.

物理学家认为,可以在某些拓扑材料中发生拓扑电磁效应,依靠这种效应,电场能够引起磁极化,而磁场可以引起电极化.此外,这种效应意味着材料对所施加的电磁场的响应是以  $\alpha$  为单位量子化的.

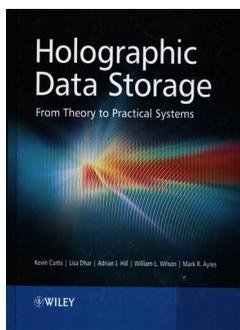
为了测量这种效应,物理学家们建议进行一项实验,将光照射在拓扑绝缘体薄膜上,测量克尔(Kerr)转动和法拉第(Faraday)转动.克尔转动是反射光的极化方向相对于入射光极化方向的移动.法拉第转动是透射光的极化方向的移动.

两者都涉及在磁场存在的情况下光与物质的相互作用.物理学家们导出了一个公式,表明在某些拓扑绝缘体中一定的克尔和法拉第角的组合量子化为精细结构常数的整数倍数.目前有三个独立的实验室在试图测量这种效应.有关论文发表在 *Phys. Rev. Lett.*, 2010, 105, 166803.

(树华 编译自 *Physics World News*, 25 October 2010)

家和宇宙学家可以追问某些关于我们宇宙性质的最深刻的问题,并将我们获得这些认识的能力提高至前所未有的高度。

**推荐理由:**本书是作者为《20世纪物理学》(此书中文本即将出版)所写的天体物理和宇宙学概要的原稿之扩充,资料全面,对自19世纪以前直到2005年的重要天体物理和宇宙学进展以及思想基础都做了深刻的分析,对于天体物理和宇宙学领域,甚至整个物理学领域内那些需要获得物理洞察力的研究生和研究人员来说,都是非常重要的一本参考书。



### *Holographic Data Storage from Theory to Practical Systems*

出版社: WILEY

作者: Kevin Curtis *et al.*

开本: B5

页码: 438

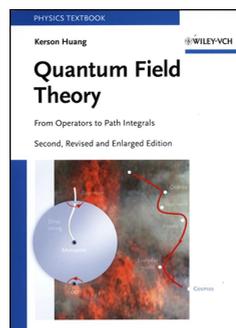
定价: 155 美元

购书电话: 010-82093624

**内容简介:**这是一本有关全息数据存储系统的设计与建立的入门图书,内容涵盖支持全息照相存储器的物理学、伺服、数据通道、记录材料和光学知识,运行系统的要求及与现实系统的整合。后面的章节重点介绍了即将作为商用的全息照相存储器的最新进展,探讨了该技术的发展前景,包括从专业到消费市场的转变以及大规模生产的可能性。

**推荐理由:**全息存储技术是有潜力的光学超高密度数据存储方式,有可能成为下一代光学数据存储器的特

点是数据存储密度高,存取速度快,体积较小。本书对全息存储技术的原理,方法,元器件,材料,系统,工作方式和未来发展都进行了比较详细的讨论,可供从事全息数据存储研究和技术开发的人员参考,对关心下一代数据存储技术的人士也有参考价值。



### *Quantum Field Theory: From Operators to Path Integrals*

出版社: WILEY-VCH

作者: Kerson Huang

开本: B5

页码: 438

定价: 130 美元

购书电话: 010-82093624

**内容简介:**本书内容全面,方法实际,介绍了凝聚态物理学的应用以及包括费曼图在内的最初发展起来的传统概念,随后探讨了泛函积分、统计力学和威尔逊重正化群等重要内容。作者细致地解释了后者与传统摄动重正化之间的联系。由于低维系统的快速发展和重要性的提高,第二版新增了对低维系统包括一维导体的探讨,填补了市场空白。

**推荐理由:**作者是著名的物理学家,在物理学教育方面享有盛名,其关于统计物理的几本教科书在世界范围内都受到好评。本书为作者在 MIT 授课讲稿基础上写成的,沿着从算符到路径积分的路子详解量子场论,是一本非常成功的量子场论教科书。

## · 物理新闻和动态 ·

### 赝能隙研究新进展

对铜氧化物超导体的母材料而言,很低水平的电子一空穴掺杂将导致反铁磁的绝缘体。增加掺杂浓度,材料可能成为导体,并且表现出复杂的物质相。以温度  $T$  为纵坐标,掺杂浓度为横坐标,超导相在  $T=0\text{K}$  以上的低温区围出一个“鸟蛋”图样,就像北京国家大剧院的圆屋顶,圆屋顶线给出的温度即为特定掺杂浓度材料的超导转变温度  $T_c$ 。在“鸟蛋”上方,一条负斜率的线将相图左右分开,左边称为赝能隙区,右边则是奇异金属区和费米液体区。对于掺杂浓度低于最佳掺杂的样品,当它从室温冷却至特征温度  $T^*$ (即碰触到了负斜率的线),便进入到赝能隙相。最近,来自美国斯坦福大学物理系的 Li 等,通过对  $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$  高温超导体的极化中子非弹性散射实验,观察到了赝能隙相中具有普遍性意义的电子有序。

在赝能隙相,每一个材料单胞内存在配对的电子环流,它们位于四方单胞的角隅,进而产生出方向相反的配对磁矩。在四方  $\text{CuO}_2$  单胞内,配对磁矩可以是“东北 $\uparrow$ —西南 $\downarrow$ ”、“东北 $\downarrow$ —西南 $\uparrow$ ”、“东南 $\uparrow$ —西北 $\downarrow$ ”、“东南 $\downarrow$ —西北 $\uparrow$ ”等4种配置。实验中,材料对特定波矢的极化中子的吸收及发射,反映了磁结构在上述4种配置之间振荡的集体模式(例如,假定当材料降温时,首先凝聚到第1种配置,之后的振荡模式将发生在第1种配置与其他3种配置之间)。

在  $T_c < T < T^*$  的温度范围内,几乎所有铜氧化合物的热力学特性以及电子输运特性,与较高温区的情况比较,均有大的改变。这是因为材料因降温损失了某些低能的电子激发。 $T_c$  是由材料在非超导态的集体电子激发决定的,高温超导体之所以具有特别高的  $T_c$ ,其起因是赝能隙相以及奇异金属相中的集体激发与传导电子的耦合。

相变到赝能隙区的过程,究竟是平滑进行的渡越还是涉及对称性改变的突然相变,在专家之间尚有争议。Li 等实验的重要意义在于:对两个不同掺杂水平的样品,均观察到了配对磁矩在不同配置之间振荡的集体模式。研究者发现,上述模式在温度  $T^*$  开始发展,在更低的温度,信号更强,强度符合预期。也就是说,发现了赝能隙区电子有序的普遍行为。此外, Li 等所观察到的模式也与光发射谱实验以及红外吸收实验的间接推断基本吻合。

(戴闻 编译自 *Nature*, 2010, 468, 184 和 283)