

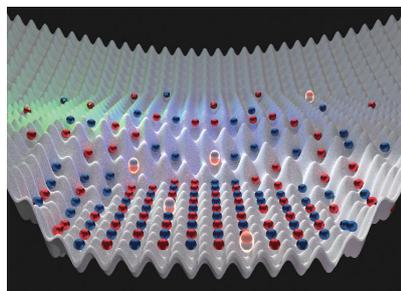
即将看到:冷原子模拟超导体

(中国科学院理化技术研究所 戴 闻 编译自 Katherine Wright. *Physics*, July 8, 2019)

自从1986年发现铜基超导体以来,这种材料一直困扰着物理学家。致力于将超冷原子安放在有序激光晶格的物理学家认为,他们的实验很快就能对上述困扰提供所需的线索。这些实验可能接近产生一个高温超导体的模型,其中的原子扮演电子的角色。这样的系统将允许研究人员对产生超导电性的因素进行前所未有的控制,并将提供一套工具用于解决高温超导之谜。

高温超导电性被视为一种高技术,可以建造便宜的高速列车,可以改善电厂的发电。尽管高温超导体已经出现在一些测量磁场及其他探测雷达信号的设备中,但理论工作还必须被拓展。借助于基本术语解释高温超导电性,有助于科学家优化这些材料。一项完整的高温超导电性理论,将为研究固体中电子的行为提供新的见解。

关于铜酸盐高温超导电性的解释,麻烦来自材料的复杂性,这使得它们很难通过实验、计算机模拟或纯理论来研究。某些研究人员认为,一个更简单、更可控的模型系统可能会有所帮助。具有奇数中子



实验中,用激光产生晶格格点阵列(见白色能量面上规则排列的低谷)

的原子是费米子,因此服从与电子(也是费米子)相同的统计规则。事实证明,这样的费米子原子,当冷却并被放置在激光形成的晶格中,可以模仿电子在一个复杂的固体材料中的行为。例如,这种晶格中的原子可以像电子一样在晶体中迁移,从一个位置跳到另一个位置。

超导电性只是量子态或量子相的(电子布居于材料中的方式)一个样式。最近,实验家用费米子原子晶格(费米子晶格)复制了其他一些相。在铜酸盐电子态的相图中,观察到的费米子晶格相图边界与超导电性的相图一致,这使得一些专家预言:高温超导态即将“被观测”。在过去的几年里,由于观测、冷却和理论描述费米子晶格的工具迅速发展,相关进步已经出现。

研究冷费米子晶格的一个最初的绊脚石是无法单独成像原子——这是研究原子如何在单个原子水平上排列和相互作用的关键要求。量子气显微镜(QGM)的出现改变了这一点:可以查看晶格中的各个位置,每个位置包含的原子数,以及原子的自旋。

为了解释他们的QGM图像,物理学家使用了所谓的Fermi-Hubbard模型,这是晶格中相互作用费米子最简单的模型。研究人员预计模型描述的理想化材料将表现出几个电子相,包括超导电性相,因此他们努力理解这一模型及其预言。通常,在模型中,费米子可以在以二维平方格点排列的位置间跳跃。在铜酸盐中,铜原子和氧原子

形成相似的2D晶格,3D结构是由这些层的堆叠与含有其他元素的层交替而成的。电子通过氧键在铜离子之间迁移。

直到最近,实验仅限于研究高温相,如莫特绝缘体,它存在的温度远远高于难以捉摸的超导体。然后,两年前,有研究组用QGM演示了一个反铁磁体,它是每个晶格位置被一个原子占据的量子相,相邻原子的自旋指向相反的方向。对于铜酸盐,如果把温度—费米子(或空穴)密度画成一个相图,那么反铁磁、奇异金属和赝能隙相都是与超导相相邻的。对费米子晶格中某些相的观察,导致了预期接下来会看到超导相。

最近的进展很大程度上是由于研究人员正在开发将费米子晶格冷却到更低温度的技巧。这些实验中的温度通常下降到几十纳开尔文,但即使在如此寒冷的条件下,原子仍具有明显的热能。具有类似能量的电子将处于1000 K左右的温度下,远高于超导电性发生所需的温度。

然而,对于许多人来说,创建一个冷原子超导体仍然是最终的目标。但即使达到了这一目标,在他们可能揭示铜酸盐高温超导能力的奥秘之前,研究人员还将面临许多级台阶。模拟与理解并不一样,如果我们实现了用冷原子模拟超导体,然后将需要设计特定的实验,并针对所观察到的现象背后的物理机制,仔细选择要阐明的的问题。模拟高温超导体,不是故事的结尾,只是开始。