

没有磁体的磁涨落

(中国科学院理化技术研究所 戴 闻 编译自 Mark Buchanan. *Physics*, March 24, 2017)

在永久磁体中的磁波可以存活，即使材料的温度升到很高，以致于大范围的磁性不复存在。

磁体内部是高度有序的自旋排列状态。对这种秩序，小的扰动可以波的形式持续传播，它被称为磁振子。然而现在的实验表明，这种波也存在于高温下，即大尺度磁有序不再能够维持的温度下。磁振子存在于宽的环境条件下，比我们先前想象的范围更宽。因此，它们可能在信息处理工程中以某种方式被使用。

在极低的温度下，铁磁体中电子的自旋指向相同的方向。在中间温度下，热扰动破坏了这种秩序，创建了一个部分有组织的状态。磁振子是相对于完全有序一个个微小偏移的集合，它可以作为波在材料内传播。如果进一步加热，高于居里温度(T_c)，所有的铁磁材料最终将失去长程磁有序，尽管仍然有一些有序岛在微观尺度保留下来。

长期以来，物理学家一直在问：在居里温度及其以上，对磁振子来说究竟发生了什么？德国卡尔斯鲁厄科技研究院的 Khalil Zakeri

表示，磁振子仍然作为良好定义的激发存在。以前的旨在回答上述问题的实验一直没有定论，部分原因是：加热材料达到居里温度以上，此时样品中会有无关磁性的结构变化发生。最近的计算表明，磁振子的确应维持自身存在，至 T_c 以上。现在，使用低 T_c 铁磁材料薄膜，Zakeri和他的同事们已经发现了强有力的证据——明确定义的磁振子在远高于 T_c 的温度下传播几纳米的距离。

团队实验使用超薄铁磁薄膜，它是两个原子层组成的铁-钽合金，居里温度为380 K。为了搜索磁振子，他们用一束自旋取向的电子(能量为6 eV)轰击样品。原则上，如果轰击电子的自旋与样品自旋反平行，这些电子可以在材料中激发起磁振子波。这样的激发应该显示，从样品表面反射的电子约有105 meV的能量损失，对应在太赫兹频率范围内的磁振子。

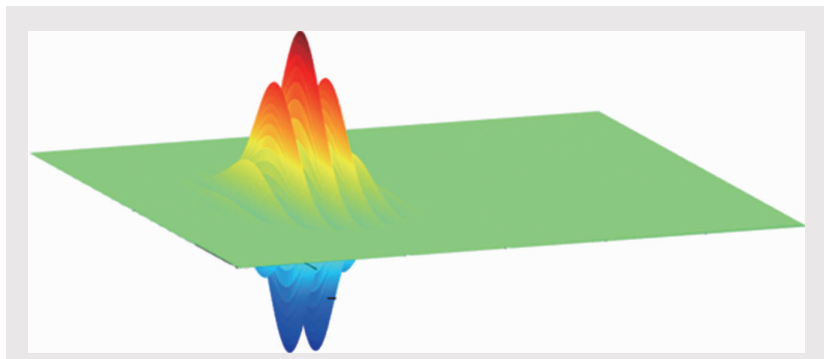
Zakeri和他的同事们在加热样品

从13 K到400 K(在居里温度以上)的温度区间，使用了上述磁振子探测技术。在13 K，样品自旋几乎一致地有序取向在同一方向，研究者发现，当入射电子的自旋反平行于样品自旋，可观察到最强的磁振子信号。随着温度的升高，具有上述自旋的入射电子会产生一个较微弱的信号。对于自旋反平行的入射电子，正如所期望的，有迹象表明样品中增加的无序产生了越来越多的翻转自旋。在居里温度380 K，样品中两种自旋电子在激发磁振子中同样有效，说明样品中长程自旋有序完全丢失。

然而，即使在400 K时，入射电子束仍激发相干磁振子。这是可以理解的，作者认为，即使样品缺乏长程磁有序，仍然有一些小岛其内部局域有序。入射电子遇到这样的小岛可以激发产生磁振子。根据该小组的研究结果，太赫兹频率磁振子，作为相干传播的准粒子，甚至可以存活于远高于居里温度的环境。通过分析散射电子的能谱，研究者确定了这些磁振子的特性。

Zakeri希望，这种高频磁振子可能对所谓的自旋电子学信息处理有用，相关设备除了开发其电荷应用，也开发电子的自旋应用。磁振子可以用来在自旋间快速传递信息，并且高频磁振子最有用的性质在于，它们的波速比低频波波速快得多。

更多内容详见：H. J. Qin et al. *Phys. Rev. Lett.*, 2017, 118: 127203.



基于电子散射数据，图像描绘了一个磁振子，即自旋扭曲的波，它在铁-钽合金薄膜中传播。实验表明，这种波可以存留并传播相当长的距离，即使在温度远高于居里温度的条件下