

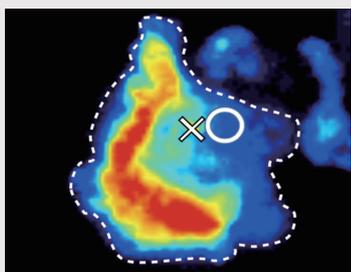
制作量子温度计的秘诀

(北京大学 朱星 编译自 Tamela Maciel. *Physics*, June 5, 2015)

理论家描述了一种最好的纳米尺度温度计。运用物理学定律,可以从实验上突破测量细胞或者微电子线路内部温度的极限。

根据最近的理论,最精确的纳米温度计是一个二能级的量子系统。理想条件是体系的低能级有一个量子基态,而在较高能级上有多态。这个团队给出了在实验条件范围内温度计精度的理论极限。他们的结果可以改进灵敏温度计的设计,用这种温度计可以探测化学和生物反应中的纳米物理现象,跟踪电子线路中热流的走向,或者用于医学示踪细胞内的情况。

过去两年间,研究人员已经发展了在纳米尺度测量 mK 温度变化的量子温度计。他们用单个量子点构建这种温度计,量子点是较大固体中微小的半导体小岛,或者是金刚石纳米晶体内的杂质。这些温度计已经用于测量半导体电路的温度



测量细胞内的温度。通过分析量子温度计的本质性局限,研究人员将能更加精确地测定细胞内的温度变化。上图是2013年的结果。将纳米金刚石温度计(圆圈)和一个纳米金颗粒(X)放进一个活细胞内(虚线)测量局域温升。颜色表明荧光的强度,通过测量纳米金刚石发出的荧光测量温度

和活细胞中的温度变化。在使用这种技术时,首先将温度计与样品温度平衡,然后通过光谱或者与温度相关的荧光进行温度的精密测量。

这种温度计的最高精度是多少?何种体系适于这种理想的纳米温度计?西班牙巴塞罗那大学的 Anna Sanpera 和英国诺丁汉大学 Gerardo Adesso 相信他们现在对这些问题有了回答。他们使用一种新的理论方法,即将量子力学与热力学结合在一起的数学方法。

巴塞罗那团队的 Luis Correa 说,“我们用于估计温度的方法是测量温度计的能量。”他认为最灵敏的纳米温度计应具有最大的热容量,就是说环境温度的微小改变对其能量产生大的影响。

用数学方法将热容量最大化后,这个团队推导出纳米温度计最大灵敏度的表达方式。这个灵敏度取决于构成温度计的能级,以及可用的量子态。比如,实验中使用的纳米金刚石温度计具有单个基态能级和两个具有相同能量的激发态。他们发现,最精密的温度计是一个二能级体系,如纳米金刚石,但它的高能级不只有两个能态,而是大量的能态。

然而,研究人员需要在温度计的精确性和可测量的温度范围之间找到平衡。增加激发态的数量可以提高精确度。但是,这样使得温度计在最高效率使用的温度范围变小。

这个团队建议实验人员可以首先使用低精确度而测量温度范围大的温度计,大致测定样品温度。然后在不同位置使用更为精密的探针,比如在一个电路或者细胞中,对所测量样品不同区域中微小温度差进行成像。

在实际中,一个温度计不太可能与样品温度完全平衡,这是由于温度随时间的漂移所造成的。在这种情况下,研究人员发现,开始时将二能级温度计降到接近基态的低温,然后再与样品接触,这样可以给出最佳的精确度。他们建议,需要通过反复冷却—接触样品的循环过程来多次检查探针的状况。

Correa 说这项工作可以帮助研究人员知道应如何改进他们的实验。提高温度测量精度有助于理解纳米尺度电路中的热耗散和细胞内的传热过程。

瑞士苏黎世联邦理工大学(ETH)的实验科学家 Martin Kroner 认为,这项工作的理论框架是向“运用量子效应发展和使用更为可靠的温度计”迈出了重要一步。他说,尽管现在研究人员可以用不同技术获得足够的低温以观测量子现象,但是这个新成果涉及到对量子体系更加精确的温度测量这一极其困难的问题。

更多内容详见:Luis A. Correa et al. *Phys. Rev. Lett.*, 2015, 114: 220405.