

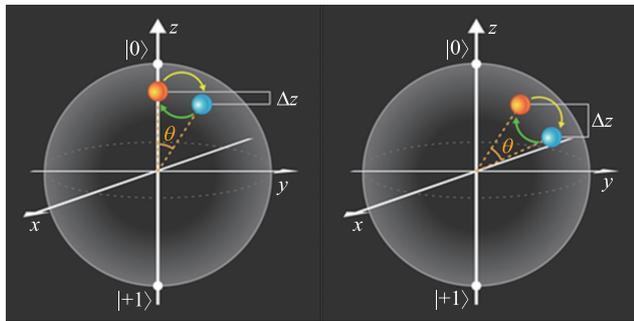
量子干涉增强发动机功率

(中国原子能科学研究院 周书华 编译自 Janet Anders, *Physics*, March 20, 2019)

对于由原子组成的微观发动机，有一种全新的增强发动机功率的方法，即量子增强。英国牛津大学的 James Klatzow 及其同事，用一组钻石中的氮晶格空穴(NV)中心组成热机，首次对量子功率增强进行了测量。

经典热机通过完成一系列冲程将热能(热)转换成机械能(功)。量子热机以相似的方式工作。不同的是，量子发动机的工作介质，其作用相当于蒸汽机中的蒸汽，可以处于相干叠加态。这种可能性促使研究人员考虑量子发动机是否比经典发动机性能更好。

2015年耶路撒冷希伯来大学的 Raam Uzdin 等预言了在所谓小动作极限下运行的量子发动机的功率增强。在这种极限下，发动机的冲程短，导致热功交换少，发动机的不同能态之间的量子相干变得更显著。Uzdin 等认为这种相干使量子发动机的功率增强。接下来便是对这一预言进行验证的问题。



用氮晶格空穴(NV)中心实现的量子发动机的工作周期。每幅图顶部的橙色球表示每一循环初始时 NV 中心的状态，左图为经典发动机的情况，右图为量子发动机的情况

在 Klatzow 团队的实验中，NV 中心的两个最低能级， $|0\rangle$ 和 $|+1\rangle$ ，提供了一个量子比特的两个能级，用作工作介质。高些的能级起着具有不同温度的热浴的作用。研究人员将 NV 中心放在磁场中，使 $|0\rangle$ 和 $|+1\rangle$ 能级的能量次序倒转，产生一个“布居倒转”的初态。该态可以是量子相干态，即在两个量子比特能级的概率振幅之间存在着确定的关系。团队采用微波脉冲实现了做功冲程，微波脉冲将量子比特旋转 θ 角，这等价于调节振幅。旋转使 NV 中心的能量降低 Δz ，这一能量被作为功提取出来。最后，用绿色激光照射 NV 中心，将量子比特能级与热浴耦合，最终使 NV 中心回到其初始的量子比特态。这种两冲程循环重复了十万次以上，各循环持续时间在 30—180 ns 之间。

Klatzow 等发现，对于小的 θ 角——小动作极限——具有量子相干的发动机的输出功率明显高于对无量子相干的发动机计算的结果。

产生这种功率增强是因为较大的 Δz 值。

这些实验首次演示了热机的量子增强，是可与首次使用量子编码传送密钥相媲美的重大成果。但是，团队只是通过测量

NV 中心的受激辐射间接地推导出该热机的输出功率。直接测量量子发动机的输出功，原则上是可能的。可是发动机很小的转角只给出微量的输出功，因此很难直接对功进行测量。

在 Klatzow 发动机中，相干产生后又减少，但是不会完全消失。总的来说，量子发动机的运行比相应的经典发动机产生更多的净输出功。还值得提出的是，由于 Klatzow 等使用两个热浴，他们的系统完全不同于 2014 年一项研究所预言的“催化相干”——用相干和单个热浴循环，无衰减地不断输出功的能力。该预言违反了热力学第二定律，而且不能说明发动机不断重复的循环周期之间的关联。

虽然 Klatzow 等的工作是开创性的，但是有理由谨慎对待其结果，还不能宣称相干在量子热机中的作用已解决了。该团队只有经典物理以外的单个数据点，因此仍需要更多的研究来完全揭示量子相干对于热力学的重要性。可以预期将有一大批新的实验来进行量子热力学特征的测量。这些测量可在各种平台上进行，如超导量子比特、捕获的原子以及全新的未来带有悬浮纳米管的光力学装置、电动机机械发动机、由悬浮的纳米粒子组成的纳米发动机等。目前这些精密的实验最重要的是用于探索基础物理。

更多内容详见 *Phys. Rev. Lett.*, 2019, 122: 110601。