

“传声筒”连接两个离子

(中国原子能科学研究院 周书华 编译自 Christian Tomás Schmiegelow. *Physics*, February 7, 2022)

简单地将两个空的锡罐用一根长线连接起来，一个人把一个罐子放在耳朵上，就可以听到另一个人对着另一端罐子的轻声说话，一根简单的线可以使声音传播得比在空气中还远。两个新的实验演示了一种类似的方法，用一条细导线连接两个被陷停在相距一定距离上的离子，使得这两个离子可以在比直接相互作用范围远一千倍的距离上彼此感知。陷停带电粒子是很困难的，这是因为电磁对称性不容许静态的三维限制势。但是一些精妙的实验已表明，可以使用动态变化势来陷停带电粒子。

除了陷停之外，另一个困难是探测陷阱中被陷停的粒子，并控制它们的运动和内部状态。早期常见的离子陷停方法是使用陷阱的一个电极作为传感器，一旦带电粒子进入陷阱，会在该电极中产生镜像电荷。被陷停粒子的运动引起镜像电荷运动，产生可测量的电流。但是镜像电荷方法缺少操控陷阱中单个粒子运动所需的灵敏度，还有一种使用光场操控单个粒子的方法，但

是这种方法只对具有可实现光跃迁的粒子有效。研究人员的目标是使镜像电荷方法能更有效地操控单个粒子的运动。

两个研究团队，加利福尼亚大学伯克利分校的 Da An 及其同事和德国美因茨大学的 Matthew Bohman 及其同事的实验表明，一对独立的单个粒子可以通过镜像电荷彼此感知，这些镜像电荷是它们在附近的一根导线中产生的。在导线一端的粒子的振动引起导线中电子相应的运动，而电子的运动反过来又影响在导线远端的另一个粒子。两个团队都用这种“长距离”联系进行温度控制。粗略地说，他们使用这种导线将一端的一个冷粒子的“冷信息”发送给另一端的热粒子。粒子只能分开一毫米左右，距离太远，不能通过偶极或范德瓦耳斯相互作用来传递这种信息。

在 An 与他同事的实验中，两个钙离子被分别陷停在相距 0.6 mm 的单独的陷阱中。这两个陷阱建在一面圆片上，圆片上有蚀刻出的电极，大多数电极用来约束每个粒

子。陷阱装置还有一个额外的电极，是一根两端各有一个垫片的细导线，离子悬浮在这些垫片的上方。

为证明两个离子之间存在联系，伯克利团队观测了

离子升温速度的变化。冷离子，如果没有和其他离子发生联系，会因环境的作用而升温。当研究人员用激光冷却一个钙离子时，观测到另一个离子升温的速度明显比正常情况减缓。由于实验中两离子之间的耦合比较弱，研究人员只能使第二个离子的升温速度减缓为原来的一半，而不能使它冷却。

Bohman 及其合作者成功地用一根导线将质子与相距 9 cm 远的激光冷却的铍离子连接起来，使质子冷却。他们将一谐振器与导线连接，谐振器增强了导线中的电流，使总的粒子—粒子之间的耦合增强。

激光冷却的离子之间，如果经谐振器增强的相互作用足够强，可以使单个质子冷却到 5 K 以下的温度。这一温度仍然高于激光冷却的离子温度(一般在 10^{-6} K 范围)。这里质子的冷却受到谐振器温度的限制，谐振器只用液氮冷却到几开尔文。研究人员可以通过调整谐振器的频率到一最佳值，在保持强的粒子—粒子耦合的同时降低谐振器传递给粒子的热量。

进一步的改进将可以使质子或其他基本粒子冷却到 10^{-6} K 的温度，远低于所谓的量子体系。使用超冷陷停的质子，研究人员可以进行荷质比以及旋磁比的精确测量，通过这些测量可以揭示粒子物理标准模型中的矛盾。从更实用的角度讲，某一天可能连接离子量子比特，成为量子模拟与计算的新平台。



离子通过两端有垫片的金属丝在长距离上耦合。当研究人员用激光冷却一个离子时，他们观察到了另一个离子上的冷却效应