

丁达尔效应：透过粒子的浪漫光束

□ 张帝凤 牟新利



近日，在云南省临沧市双江拉祜族佤族布朗族傣族自治县勐库镇冰岛村、云顶筑巢乌龙茶庄园等地上空，多次出现“丁达尔效应”，一缕缕阳光透过云层缝隙照射到茶园，十分壮观。

丁达尔效应是最初由英国物理学家约翰·丁达尔发现的一种与光相关的特殊现象。我们初次了解丁达尔效应是来自中学化学课本“如何区分溶液与胶体”这一章节。它是这样定义的：当一束可见光通过胶体时，可以看到一条光亮的“通路”。这条“通路”是由于胶体粒子对光的散射而形成的。

很多人有过这样的经历，清晨走在一片小树林里，尚未散去的潮气凝成了一层薄薄的雾气，刚刚升起的太阳从林中倾斜射入阳光。这时，虚无的光有了形状，化作树林缝隙的一道道光。当阳光穿透云层时，借助空中的微尘和粒子，在天地之间延伸出一条条无边界的光线。这种自然现象就是现实生活中的丁达尔效应。

在光的传播过程中，当光线照射到粒子时，如果粒子直径大于入射光的波长很多倍，则发生光的反射；如果粒子直径小于入射光的波长，则发生光的散射，称为散射光或乳光。丁达尔效应就是光的散射现象或称乳光现象。由于

溶胶粒子直径一般不超过100纳米，小于可见光波长(400—760纳米)，因此，当可见光透过溶胶时会产生明显的散射作用。而对于溶液，虽然分子或离子直径更小，但因散射光强度随散射粒子体积减小而明显减弱，因此，溶液对光的散射作用很微弱。此外，散射光强度还随分散系中粒子浓度增大而增强，因此在观察丁达尔效应实验时，溶胶中粒子浓度不能太小。

在化学中通常将丁达尔效应用来区分溶液和胶体。从微观角度来看，溶液和胶体的本质区别是分散质粒子直径大小不同，可通过微粒检测仪鉴别粒子大小，但在实际生产生活中，每次都需要用精密仪器来测量很不方便。因此，人们由微观检测粒子大小改为采用激光笔照射标签不明的溶液和胶体，通过观察与光束垂直方向，可以看到有一条光亮通路，从而大大节约区分溶液和胶体的时间和成本。

要产生丁达尔效应，除了需要光源，还需要胶体。云、雾、烟尘这些都是胶体，由于这些胶体的分散剂是空气，所以属于气溶胶；液溶胶同样是以液体作为分散剂的溶胶，如蛋白溶液、淀粉溶液等；固溶胶是以固体作为分散剂的溶胶，如有色玻璃等。

随着光学理论蓬勃发展，丁达尔效应的应用领域有了很大程度的扩展。研究人员利用丁达尔效应设计了一种新型交通信号灯辅助装置。在红灯亮



清晨，在山间的柏油路上一缕缕阳光从树林缝隙直射到地面，出现奇特的丁达尔效应。视觉中国供图

时，路口信号灯散发出多道光束，形成视觉冲击，帮助行人和驾驶员能够准确辨别交通信号变换情况，避免误判引发事故。

丁达尔效应用于对环境污染的检测处理，是近年来研究的热点方向。污染检测技术主要检测水源中的金属离子，包括铁、银、汞、镉等元素。丁达尔

效应在工业生产和食品安全领域也有一定的应用，例如，疏水材料生产、提高太阳能电池光转化效率、白酒鉴定、茶叶农药残留检测等。

(作者张帝凤系重庆三峡学院环境与化学工程学院研究生，牟新利系重庆三峡学院环境与化学工程学院副教授、硕士生导师)

玻色编码量子纠错突破盈亏平衡点

——解读2023年度中国科学十大进展(六)

□ 徐源 俞大鹏

量子计算是一种基于量子力学原理进行信息处理的重要技术。由于充分利用量子力学所特有的相干叠加和纠缠等特性，量子计算机具有远超经典计算机的巨大潜力，在大数据分析、密码破译、机器学习与人工智能等领域具有非常重要的应用前景。

目前，在物理量子比特上，量子信息通常编码很容易受到外界环境中噪声干扰，导致量子计算过程中信息丢失或错误，使量子计算运行结果不可靠。为了保证最终运算结果可靠性，就需要一种量子技术检测量子比特是

否发生了错误，以及发生了哪种错误，并能及时纠正相应的错误，这就是量子纠错。

在实际量子纠错过程中，执行错误症状的探测和错误纠正操作时，也会不可避免地引入新的错误，如果引入的错误超过纠正的错误，就会出现“越纠越错”的尴尬局面。如何利用量子纠错技术极大地延长逻辑量子比特的相干寿命，超过不纠错情况下体系最佳物理比特的相干寿命，也就是超越盈亏平衡点，是当前量子纠错领域克服“越纠越错”难题的重要挑战。

针对这一难题，研究人员开发了硬件高效的玻色编码量子纠错方案。该方案利用单个简谐振子中玻色模式来构建一个无穷维的希尔伯特空间，实现量子信息冗余编码，通过将量子信息分散在玻色模式无穷维的希尔伯特空间，就可以构建连续变量编码的逻辑量子比特，如猫态编码和GKP编码。

然而现有的量子纠错技术，仍然无法延长这种二项式编码逻辑量子比特相干寿命超过盈亏平衡点，进而限制了其发展潜力。我们的研究团队重点围

绕这一问题，创造性地开发了一系列量子纠错优化技术，成功延长了这种二项式编码逻辑量子比特的相干寿命突破盈亏平衡点，展示了量子纠错优势，取得了重大实验成果。

在执行量子纠错过程中，为了尽可能提高量子纠错效果，我们的研究团队还整合了一系列量子纠错优化手段，以此消除实验操作上的一些固有误差。实验结果显示，纠错后的保真度相比没有纠错情况有了显著提高，展示了量子纠错操作的有效性。

最终，通过两层量子纠错保护的二项式编码逻辑量子比特相干寿命提高到了805微秒，是未纠错二项式编码的2.9倍，是盈亏平衡点的1.2倍，超越了盈亏平衡点16%，真正实现了正的量子纠错增益。

这项研究进展实现了突破盈亏平衡点的量子纠错，展示了量子纠错优势，是迈向实用化容错量子计算的关键一步，标志着从含噪声的量子时代逐渐步入了量子纠错时代，为未来构建可纠错量子计算机奠定了重要基础。这项工作将引领整个量子计算领域的发展，推动早日做出可纠错的通用量子计算机，未来将会在密码破译、大数据搜索、复杂问题优化、材料分子设计与模拟等方面有重要的应用潜力。

(作者徐源系深圳国际量子研究院研究员，俞大鹏系中国科学院院士、深圳国际量子研究院院长)



先睹为快

潜艇代表着一个国家在航海领域的科技实力和国防能力，体现着国家在全球海洋事务中的地位，是海洋战略的重要基石。

《问天少年》2024年第5期特别策划“海底巨无霸”专题，讲述军用潜艇的发展历程，它是如何在海底作战的？最先进的潜艇长什么样？潜艇在海底最担心遭遇什么？潜艇事故有多可怕？

本期海陆空院士专栏由歼10B总师王海峰院士撰写，解析战斗机的推力矢量问题。