

Physics World 评出 2015 年度物理学 10 项突破性进展

1 中国科技大学的潘建伟和陆朝阳首次实现双自由度量子隐形传态荣登榜首

在科幻世界，“隐形传态”的能力总是引起公众甚至科学家的兴趣。1993年，人们心目中的憧憬终于有了变成现实的可能。一个国际物理学团队从理论上证明：只要计划复制的原始态被破坏，量子态的隐形传输(即隐形传态)是完全可能的。成功的量子态传输需要完成对一个系统的精确测量，进而完成远距离的信息传输，以及重构一个原始态的完美拷贝。由于量子力学“不可克隆”定理不允许制作量子态的完整拷贝，隐形传态必须完成从一个粒子到另一个粒子状态信息的彻底传输，也就是说，第一个粒子不再处于它原来的状态。换言之，一次完全而完美的传输，意味着第一个粒子彻底失去其所有的原始属性，它们被传给另一个粒子。光子自旋的第一次隐形传态实验于1997年获得成功。自那以后，原子自旋的个别状态、相干光场，以及其他微粒的种种属性，都已成功传输。但是所有这些实验都仅限于传输单一自由度的属性，以致于哪怕放大至双自由度传输，都会被视为是重大突破。

潘建伟和陆朝阳的研究团队(图1)目前已经实现了将一个光子的自旋(偏振)和轨道角动量(OAM)双自由度量子态同时传输给另一个远程光子。隐形传态实验通常需要一个“量子通道”，这个通道实际

上是一组额外的“纠缠”光子——纠缠双方的量子态绞合在一起无法解脱，以致于任何施加给其中一个光子的变化都会立即影响另一个光子。在这个实验中，实验者采用了一组“超纠缠”光子，即两个光子的自旋和轨道角动量同时纠缠。

尽管通过对潘建伟方法的扩展，有可能同时传输2个以上自由度的量子态，但每一次自由度的增加都将带来巨大的困难——同时传输3个自由度可能是极限。要同时传输3个以上的自由度，预计需要在实验中有能力控制10个光子，不过目前的纪录才是8个。研究组正在努力攻克这一难关，正如潘建伟所说：“希望在几个月内可以实现10个光子的纠缠。”另一个正在研发的替代方法，将允许研究组在三年内把这一数字加倍，即实现20个光子的纠缠。“届时我们应该有能力实现单光子或多光子多至三自由度的量子隐形传态”，潘补充说。

同时传输多态的能力对于完整描述一个量子粒子来说至关

重要，这也是进一步传输任何大于量子粒子之目标物的重要一环。潘表示：“量子隐形传态已公认是目前发展远距离量子通信的关键要素，这类通信可以提供不可破解的安全保证、超快量子计算机，以及量子网络。”

2 单电子回旋辐射首次被测量

上榜团队：Project 8(图2)。他们的成果是：利用氦-83放射性同位

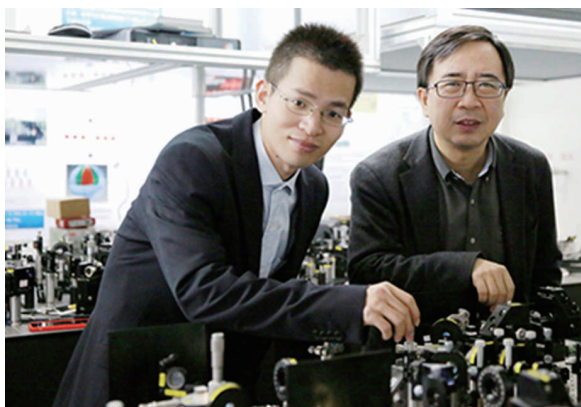


图1 潘建伟(右)和陆朝阳赢得 Physics World 评出的 2015 年度物理学 10 项突破的第一名

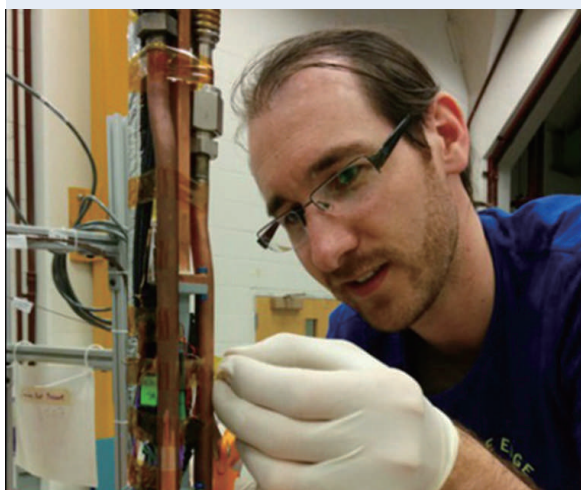


图2 Project 8 团队成员正在观察回旋电子的辐射

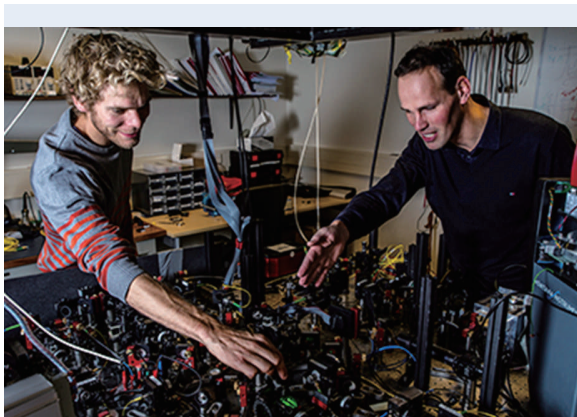


图3 Bas Hensen(左)和Ronald Hanson(右)正在调试贝尔实验

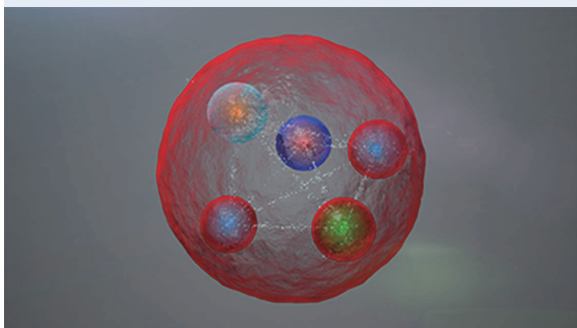


图4 紧密结合：5个夸克共处于单一结构中

素，测量其在 β 衰变过程中释放的单电子的回旋辐射。辐射在电子通过磁场时产生，研究组完成了在 β 衰变过程中电子出射能量的精确测量。目前，Project 8团队正在努力提高测量的精度，以便能计算出物理学中最难以捉摸的量——电子反中微子(它同样产生于 β 衰变)的质量。

3 终于见到了外尔费米子

上榜者：普林斯顿大学的Zahid Hasan，麻省理工的Marin Soljačić，以及中国科学院物理研究所的方忠和翁红明。他们完成了研究外尔费米子的先驱性工作。这种没有质量的粒子，系由德国数学家Hermann Weyl在1929年预言提出。由Hasan带领的团队，以及方忠和翁红明带领的团队，各自独立发现了存在外尔费米子的重要证据：准粒子在半

金属砷化铟中呈现的行为正如所预言之外尔费米子。Soljačić和同事则在一种完全不同的材料(即专门制备的“双旋转反轴”光子晶体，微结构为无限连通三周期极小表面，对称性空间群是 $Ia\bar{3}d$)中，发现了存在外尔费米子的证据。外尔费米子没有质量的特性，意味着它可能被用于高速电子器件。由于它们的拓扑属性，使之免受散射，在量子计算机中也将大有用处。

4 物理学家确认：检验贝尔定理的实验没有漏洞

上榜者：Bas Hensen, Ronald Han-

son(图3)以及他们在荷兰代尔夫特理工大学的相关同事。他们的研究成果是实现了对外尔不等式的测量，而实验设施避免了地域因素漏洞和探测器漏洞的影响。他们在实验中设置了相隔1.28 km的两块钻石，并测量了钻石中纠缠自旋的关联。两块钻石分隔距离大，加上使用钻石测量自旋相对容易，保证了该实验没有漏洞。实验结果使得量子力学纠缠这个看似奇怪的概念得到确认。

5 来自系外行星的可见光首次被直接探测

上榜者：天体物理与空间科学研究所和波尔图大学的Jorge Martins及其在葡萄牙、法国、瑞士和智利的相关同事们。他们的成果是：首次测量到反射自一颗系外行星的高分

辨光学光谱信号。研究团队在欧洲南方天文台(ESO)下属拉西拉天文台，采用高精度径向速度行星搜索仪(HARPS)研究来自飞马座51b(1995年首次发现)的光线。通过自主研发的新技术，Martins和同事们已能够测量行星的质量、轨道倾角和反射率。这些参数可用于推断行星表面的组成和大气的成分。

6 LHCb团队发现2个五夸克态粒子

上榜团队：欧洲核子研究中心(CERN)大型强子对撞机(LHC)协作组LHCb团队。他们的成果是：展示了5个夸克可以结合成五夸克态粒子(pentaquark)，如图4所示。五夸克态粒子的存在，首先于1970年代被预言，近些年其存在性有争议，今年终于得到确认。在大型强子对撞机中进行的质子对撞实验中，产生了2个质量约为 $4400 \text{ MeV}/c^2$ 的五夸克态粒子。两个信号其统计置信度均大于 9σ ，这远高于粒子物理学中发现新粒子所要求的黄金标准 5σ 。

7 硫化氢创高温超导新记录——203 K

上榜者：Mikhail Erements及其在德国马普化学研究所和约翰尼斯-古腾堡大学的团队。他们的成果是：发现了第一种在地球表面自然环境中可展现超导电性的材料。研究团队发现，硫化氢材料在约150万个大气压下，在高达203 K的温度下表现出超导特性。而203 K要比南极洲的最低温度记录(摄氏零下89度)高19 K。理解超导电性为什么会在这种材料中产生，还需要进一步深入的研究。这个发现可能为寻找超导体圣杯(室温超导材料)铺平道路。

8 战场便携式磁共振成像仪走出实验室

上榜者：Michelle Espy及其在

美国洛斯-阿拉莫斯国家实验室的团队。他们的成果是：发明了实用的可便携超低场磁共振成像仪。传统的磁共振成像(MRI)系统需要使用超导线圈来产生超强的磁场，而Michelle Espy发明的新系统需要的磁场要弱很多，因而可以在偏远的地区运行。然而，这也意味着这个新的磁共振系统必须能够探测到弱得多的信号。因此新系统使用了超导量子干涉器件(SQUIDs)来应对困难。因为新系统具有低功耗和轻结构的优势，研发团队希望他们的样机设计能够尽快用于欠发达国家的医疗中心，以及军队战地医院。

9 量子显微镜为超冷费米原子拍照

上榜者：Lawrence Cheuk, Martin Zwierlein以及他们在美国麻省理工的团队(图5)。他们的成果是搭建了第一台“费米子显微镜”，并能够给超冷费米原子气中的多达1000个分立原子拍照。这将极大推动固体物理中电子相互作用的研究。该装置首先将费米原子冷却到极低温度，然后使用光和磁场来微调原子间的相互作用。其重要的进

展在于，费米子显微镜让物理学家能够观察单个费米子随原子气冷却的行为。这一新方法预计很快会用于观察原子间的磁相互作用，甚至可以用来探测整个系综内的量子纠缠。

10 第一个硅材料量子逻辑门

上榜者：Andrew Dzurak, Menno Veldhorst(图6)以及他们在澳洲新南威尔士大学及日本庆应义塾大学的团队。他们的成果是：使用硅材料制造了第一个量子逻辑器件。他们的“控制非”(CNOT)门是量子计算机的一个基础元件，而且是用传统的半导体制造工艺完成的。这一元件使用电子自旋来存储量子信息。研究者现在计划改进和完善这一技



图5 冷冻捕获：Lawrence Cheuk在调整激光冷却设备

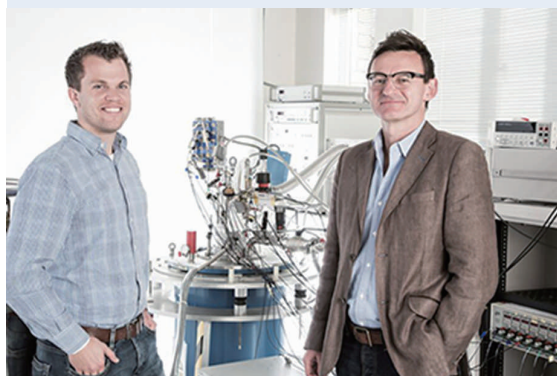


图6 Menno Veldhorst(左)和 Andrew Dzurak 展示他们用来冷却和监控CNOT门的设备

术，创建全尺度量子计算机芯片。

(戴 闻 编译自 *Physics World*,

11 December 2015)

等待电子衰变

电荷守恒被认为是自然界的基本规律，因此，提供电荷不守恒证据的实验将颠覆粒子物理的标准模型，这或许会促使物理学家们探索新的理论。因此，研究人员展开了对电子(已知的最轻的带电粒子)的研究，看它是否会不保留电荷而衰变成两个中性粒子(一个中微子和一个光子)。但是，这种可能性比以前认为的更小。在意大利Gran Sasso山下深处建有灵敏的Borexino中微子探测器，运行这个探测器的科学家得到的新的结果揭示，如果这种电子衰变发生的话，其概率小于每 6.6×10^{28} 年一次。

Borexino探测器包含有一种液体，当几乎没有质量的中微子将液体原子中的某个电子击出时，液体会

物理新闻和动态

发光。探测器中大约有2000只光电倍增管将所发出的光信号放大并探测。一个国际合作团队计算了探测器对于假定的电子衰变成光子和中微子所产生的光子的灵敏度。探测器不能区分电子衰变中产生的光子与太阳或周围岩石中碳、铍和钋的放射性衰变产生的中微子。因此研究人员仔细地模拟了这些来源的本底。然后，寻找高于这些本底的能量在256 keV附近的光子事件，这一能量相应于电子静止质量的一半。研究人员使用获取的408天的数据确定电子的平均寿命大约比以前的下限长两个数量级。有关论文发表在 *Phys. Rev. Lett.*, 2015, 115: 231802上。

(周书华 编译自 *Physics*, 3 December 2015)