

用里德伯超原子控制单光子

(北京大学 王树峰 编译自 Wenchao Xu, Vladan Vuletić. *Physics*, May 11, 2022)

在过去的十年中，量子技术的发展和​​应用取得了长足进步。许多有前景的方向使用光子作为量子信息的载体。但是，由于光子间通常没有相互作用，使得利用一个光子来操纵另一个光子难以实现。并且光子与其他量子系统耦合较弱(例如超导量子位)，使得这些系统很难与光子系统对接。

为了实现单个光子之间可控的相互作用，需要一个具有极大光学非线性的物理平台。原则上，单个原子由于饱和效应而表现出很大的非线性(一个原子一次只能吸收一个光子)。然而，单个原子和单个光子之间的耦合很弱，因此逻辑设备执行其功能的概率过低，这意味着难以对光子做确定性操作。

高品质的光学腔可以增强光与原子的耦合。在镜子之间来回反射的光子有机会与腔内的原子多次相互作用。然而，要获得可观的耦合增强需要极高质量的反射镜和稳定的腔体，这在技术上是​​个挑战，由此限制了单个原子可实现的耦合强度。

第二种可能的解决方法是生成一个包含许多原子的人工双能级原

子——超原子。方案之一是使用里德伯原子，它们的一个最外层电子被激发到主量子数很大的电子态，可以在微米尺度上发生强烈的相互作用，导致一个激发到里德伯态的原子可以阻止第二个原子的里德伯激发，使得这个集合一次只能吸收一个光子。于是整个系综就像一个超原子，其中基态和激发态之间的跃迁表现出巨大的光子吸收截面。然而，如果原子的密度过高，它们之间的碰撞会使两个超原子态间的量子相干性发生退相干。

两个研究小组结合了这两种方法，将里德伯超原子置于光腔内，实现了光子操作的全光学方案。结果表明，如果超原子保持在基态，光子可以通过光腔，从而显示出高透射率。但是如果超原子处于激发的里德伯态，光子就会在光腔的入口处被反射，并且光子的光学相位将偏移 π ，如图所示。

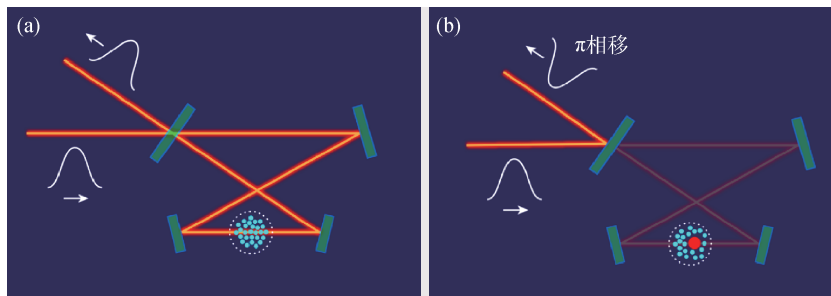
超原子—光腔系统显示出可靠且有效地控制光子的特性，通过监测腔的光子传输，可以无损地确定光学腔内超原子的状态。巴黎文理研究大学 Alexei Ourjoumtsev 的

小组证明，这种无损检测可以在一次拍摄中获得，保真度为95%。快速且无损的检测对于实现量子纠错至关重要。

利用以超原子状态为条件的 π 相移可以实现量子操作的一个重要逻辑组件：可控的双量子比特门。德国马克斯普朗克量子光学研究所的 Stephan Dürr 和 Gerhard Rempe 小组通过实验演示了一个量子受控非门(CNOT 门)——当且仅当一个量子位处于“1”状态时，另一个量子位才会切换状态。他们展示的门具有创纪录的超过40%的效率，这是之前记录(11%)的3倍以上。门操作的效率是光量子计算发展的关键瓶颈。低效率意味着需要额外的硬件和操作来确保准确执行。因此，此处展示的效率突破将显著降低实现可靠量子计算所需的开销。

除了在量子计算方面的潜力，这个平台也是朝着基于传统光纤的高速量子通信网络所迈出的重要一步。在这样的网络中，超原子—光腔系统可以用作量子存储器或保持量子相干性的光开关。

最后，新系统可以用作连接不同量子信息平台的变换器。基态和里德伯态之间的跃迁通常位于光学频率上，而里德伯态之间的跃迁则在几GHz到100GHz的微波范围内。因此，里德伯超原子可用于将微波光子相干地转换为光学光子，反之亦然。这一功能开辟了通往混合量子技术的新途径，该技术实现了在光学和微波光子之间转换量子信息，从而耦合原子量子位和超导量子位。



用于光子操纵的超原子—光腔方案示意图 (a)如果超原子处于基态，光子会穿过空腔；(b)如果超原子处于激发态(红点)，光子在腔的入口反射并产生 π 相移

更低的抖动，更多的通道，更快的边缘

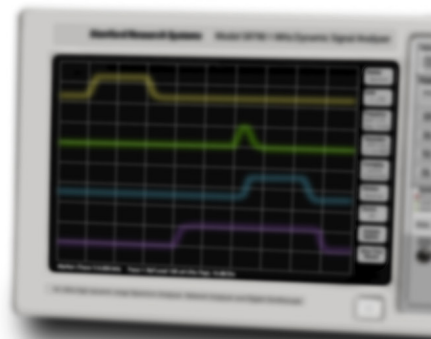
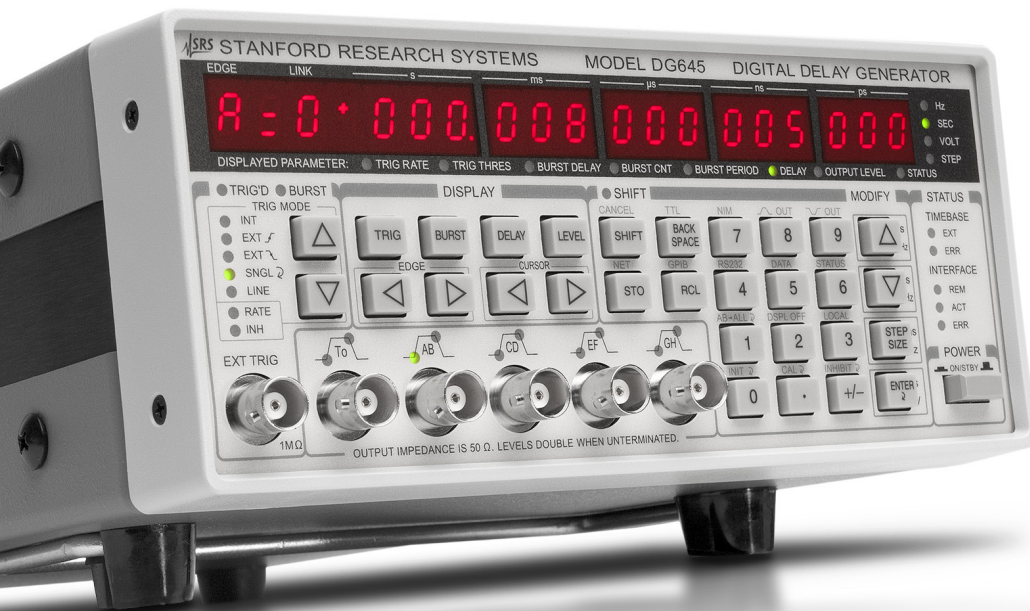
DG645 延时发生器...SRS独家提供

- ▶ 多达8个输出通道
- ▶ 延迟和脉宽控制
- ▶ <25ps抖动
- ▶ 1ns上升/下降时间
- ▶ 触发频率达10MHz
- ▶ 精密触发速率发生器
- ▶ 外部触发的突发模式
- ▶ GPIB, RS-232和以太网接口

DG645产生四个独立的脉冲输出—每个具自控延迟，脉冲宽度，振幅，及BNC输出通道。外部触发与任何输出之间抖动小于25 ps，通道间抖动小于15 ps。其内置触发速率发生器提供小于100 ps 的时钟抖动。

10 MHz参考输入/输出可让您与锁模激光器或其他时基同步，选件铷钟或晶体时基可进一步提高精确度降低抖动。

DG645亦可用选配件拓展至几种不同组合设置的八通道输出。



DG645 ...\$5165 (全球通价格)



Stanford Research Systems

1290-D Reamwood Ave. Sunnyvale, CA 94089 • www.thinkSRS.com
Phone (408) 744-9040 • Fax (408) 744-9049 • info@thinkSRS.com

先锋科技股份有限公司
电话: 86-10-6263-4840
传真: 86-10-8261-8238
Email: sales@teo.com.cn

欧陆科技有限公司
电话: 86-10-6800-8213/16/17
传真: 86-10-6800-8212
Email: euro-tech.bj@euro-tech.com

北京东方科泰科技发展有限公司
电话: 86-10-6497-1708
传真: 86-10-6497-1710
Email: sales@bost-ltd.com