

光子的帽子戏法

(北京大学 王树峰 编译自 Robert Sewell, *Physics*, April 10, 2017)

两个独立的研究组第一次通过实验展示了真正的三光子干涉。

量子干涉效应作为技术核心，为传感器、安全通信和计算获得新的功能提供了根本的保障。比如量子密钥共享，这是指一把安全的量子密钥在三方中共享，并且只能三方共同使用，而不能仅仅由一方或两方单独使用。这有点像和另外两个共同持有人分享银行的联合账户，必须在所有人都同意时才能使用账户。三光子干涉也可以在量子传感方案中帮助克服散粒噪声带来的精度极限，或者提升量子态的无相互作用测量的效率等。

多光子干涉典型的例子是于1987年首次观察到的Hong—Ou—Mandel (HOM) 效应。在这个实验中，两个独立的光子从不同的方向入射到一片50:50的分束片。如果两个入射光子是可区分的，那么出射的光子则会在分束片的两个出口处以相同的概率出现。但是，如果两个光子全同并同时到达，那么它

们的量子力学波函数会发生干涉，导致两个光子总是从同一个出口出射。三光子与多光子干涉也在过去三十年中被许多小组研究探讨，但还没有能真正观察到超过两个光子的干涉。现在，加拿大滑铁卢大学的Thomas Jennewein和英国牛津大学的Ian Walmsley这两个彼此独立的研究组已经分离出并首次观察到“真正的”三光子间的干涉。

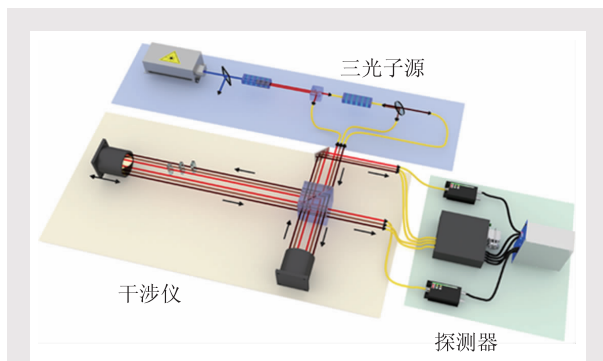
第一篇报导中，Jennewein和他的同事按照Greenberger, Horne和Zeilinger于1993年建议的理论方案实施实验。这个方案的关键是产生一个三光子纠缠，这是一个其中任何两个光子之间没有独立纠缠的真正的三光子量子纠缠态。他们将被称为自发参量下转换(SPDC)的非线性过程加以级联，从而产生三光子纠缠态。SPDC是指将单个高能泵浦光子通过一块非线性晶体转换为两个低能光子。而级联是指让第一个

SPDC晶体产生的光子之一作为泵浦光在第二块晶体中经历相同的过程，再转换为两个光子。随后，这三个光子被送入干涉仪。所有三个光子同时达到相同的输出模式的几率正比于干涉仪中三个光子的位相之和。通过干涉仪内的玻璃

板改变每个光子的位相，作者观察到了与三光子符合相关的振荡，而双光子的符合则保持为常数，这是真正三光子干涉的标志。他们光源的效率让他们每小时可以探测到差不多200个三光子态。这与以前的实验相比提高了大约30倍。

Walmsley与同事们则采用了不同的途径，研究HOM效应的三光子模拟。他们设计了在单一光子芯片上集成多路几乎相同但独立的SPDC源。产生的光子被送入一个带有三个入口和三个出口的基于光纤的分束器。所有三个光子从不同端口输出的概率依赖于两个关键参数：光子的可区分性，以及三和位相(triad phase)。通过改变每个光子的时间和偏振，作者可以独立地控制光子的可区分性和三和位相。他们观察到与Jennewein组相同的结果。三光子符合率随三和位相成正弦变化，而双光子符合率与单光子计数率则保持为常数。

从双光子到三光子的一步代表了我们刚刚踏上攀登多光子量子态的阶梯，它的每一步都给我们带来意外的惊喜和可能的新应用。这些小组发展的技术也许会成为研究量子光学的标准工具箱，就像HOM效应广泛用于描述双光子量子态。人们对此类装置的兴趣源于它们可以成为第一种量子机器，用于解决普通计算机难以处理的任务。Walmsley与同事采用的工具对于控制光子的可区分性会非常有用，这在玻色子取样方案中会起到重要作用。



Jennewein和同事们使用的实验装置示意图。泵浦激光通过将非线性晶体的频率转换过程级联，产生了三光子纠缠态。探测器获得的信号按三光子符合率振荡，这是真正的三光子干涉的特征