

双光子 HOM 干涉实验

廖荣

中国科学技术大学 物理学院, 合肥 230026

合肥国家实验室, 合肥 230088

1 实验目的

- 通过实验熟悉产生 HOM 干涉的基本条件。
- 熟悉自发参量下转换过程, 了解光子产生率的依赖因素, 符合信噪比的依赖因素。
- 掌握 HOM 干涉曲线的测量、干涉可见度计算、光子带宽计算和误差分析。

2 实验原理

详见预习报告。

3 实验装置

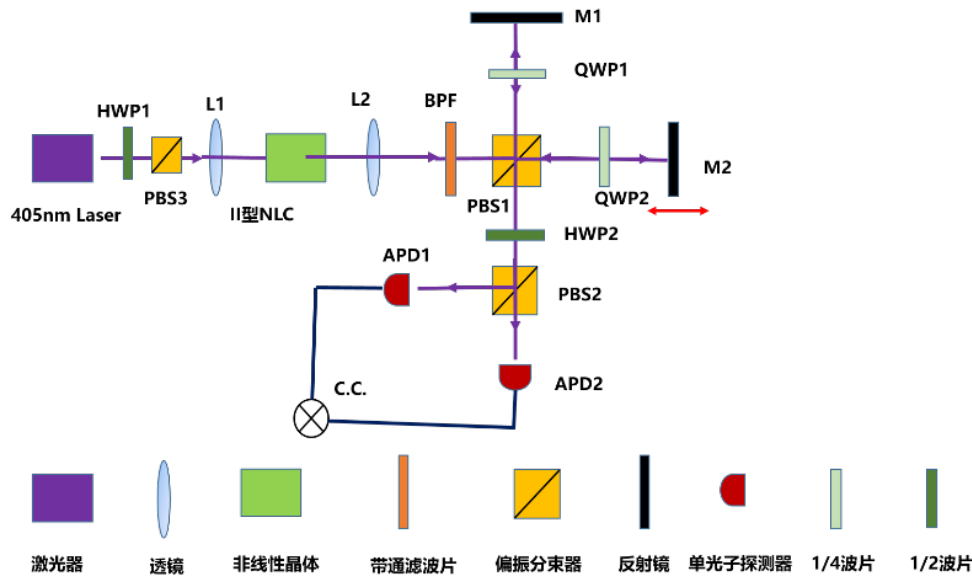


图 1: 实验装置图

相对于原始的实验方案, 在本实验室中采用改进的光路结构 (如下图所示), 405nm 单纵模激光器用透镜 L1 聚焦到一块二型的 PPKTP 晶体上 (II 型 NLC), 产生的光子通过透镜 L2 准直, 通过带通滤波器 (BPF) 滤波后入射到一个偏振迈克尔逊干涉仪中, 干涉仪由偏振分束器 (PBS1)、两个四分之一波片 (QWP1 和 QWP2) 和两个反射镜 (M1 和 M2) 组成, 其中反射镜 M2 放在一个一维平移台上用于控制两个光子到达分束器 PBS2 的相对延迟, 分束器 2 之前放置一个半波片, 用于控制两个光子的偏振态, 用于切换光子的干涉状态。PBS2 的两个输出端分别用单模光纤收集并且用单光子探测器 APD1 和 APD2 进行探测并进行符合计数测量。

4 实验内容和结果

4.1 光子单路计数和复合计数与泵浦功率的关系实验

将偏振迈克尔逊干涉仪中的两个四分之一波片的光轴转动 45 度，使得两路光子都从另外一个端口输出，转动 PBS2 前的半波片 HWP2，使得半波片处于光轴与垂直偏振重叠的位置，这样两路光子的偏振依然保持正交不变，两路探测器探测到的是无干涉情况下的光子单路计数和符合。根据公式，单路计数和符合计数都正比于泵浦光子数即泵浦功率，因此可以通过改变 405nm 激光的泵浦功率并记录不同功率下的单路计数和符合计数，从而得到两组线性关系曲线。

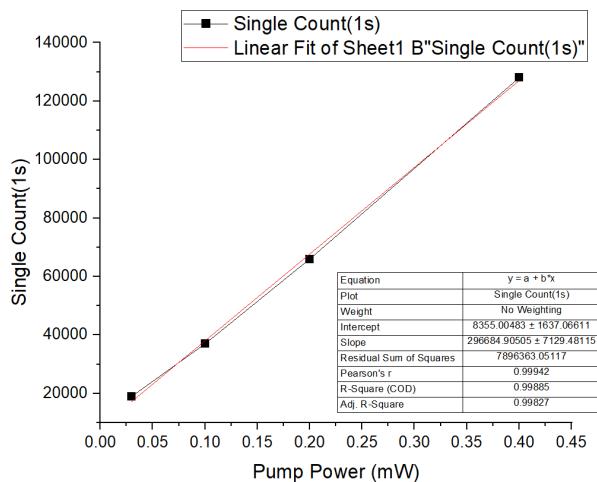


图 2: 第一路单路计数

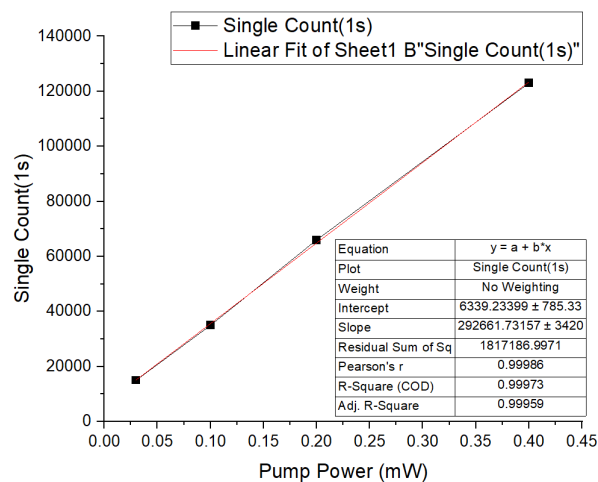


图 3: 第二路单路计数

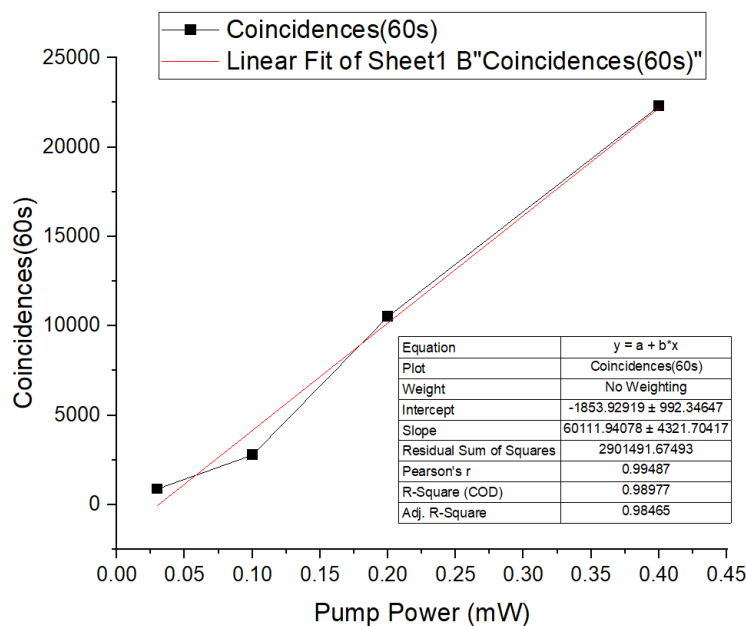


图 4: 符合计数

可以看到，单路计数和符合技术线性关系均较好。

4.2 符合信噪比与泵浦功率的关系

根据公式，双光子符合的有效符合和暗符合的比值依赖于光子的产生概率、探测器的暗噪声和光子的收集效率，实验中可以通过改变 405nm 的泵浦功率，记录不同功率下的有效符合和暗符合的大小，并且计算该功率下的 CAR 值。其中，暗符合需要在远离符合窗口的延迟下获得。一般随着功率的增加，CAR 值先增加后减小，在增加的区间主要是光子产生率增加，相对于暗噪声的有效符合数增加，然而在高产生率情况下，由于多光子效应明显，导致符合信噪比下降。测量获得的数据通过利用公式拟合。

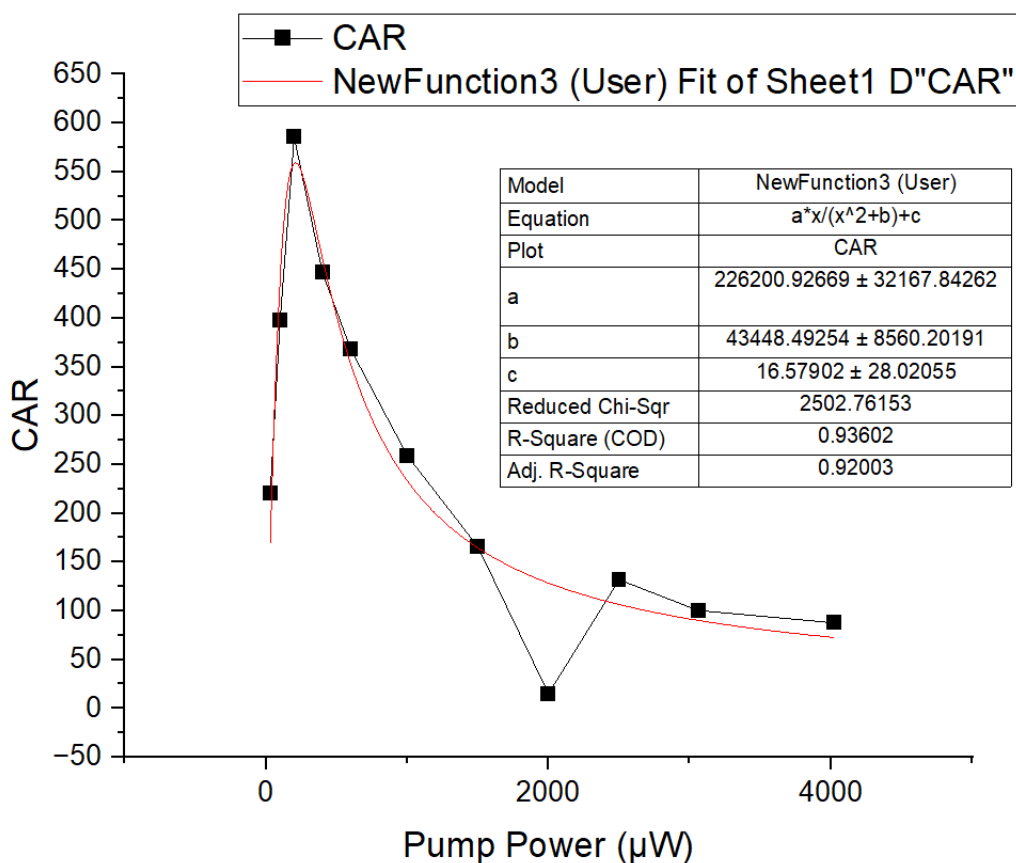


图 5: CAR 测量曲线

实验中，在 2mW 泵浦光时数据出现偶然波动，导致 CAR 测量数据拟合不优。

4.3 HOM 干涉曲线测量

在进行 HOM 干涉实验测量时，需要将偏振分束器 PBS2 的前的半波片的角度转动 22.5 度，使得两个光子以相等的概率在分束器上进行干涉，通过移动反射镜 M2 的一维平移台，记录下不同位置的符合计数率，并且记录下来，然后对采集的数据进行画图 and 拟合分析。

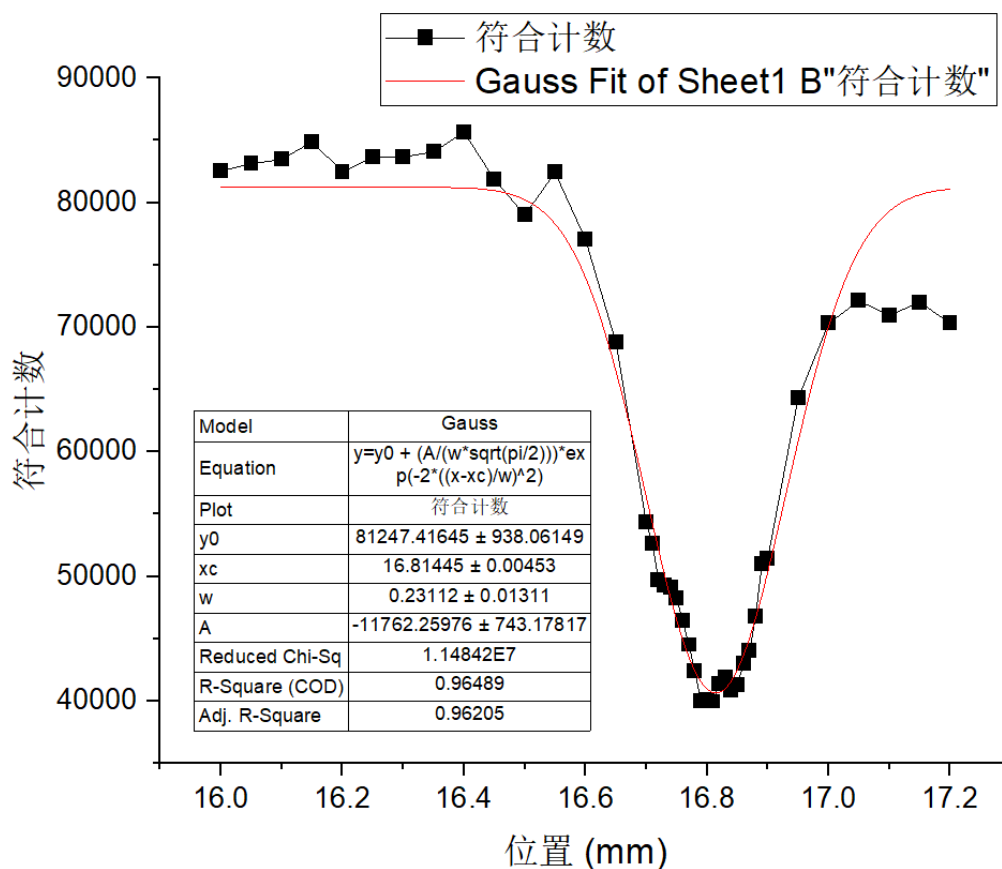


图 6: HOM 干涉测量曲线

根据拟合结果算出，干涉的对比度为

$$V = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \frac{11762/0.23112 \times \sqrt{\pi/2}}{2 \times 81247 - 11762/0.23112 \times \sqrt{\pi/2}} = 0.6462 \quad (1)$$

5 思考题

5.1 观测 HOM 干涉需要满足哪些条件？

光子全同，光子偏振方向相同，光子到达时间有重叠。

5.2 自发参量下转换过程中，光子的产生率依赖于哪些参数？其辐射带宽与什么有关？

光子的产生率和泵浦光子数，光频率，产生材料对信号和闲频光子的折射率有关。

光场直接的模式交叠系数辐射带宽主要受到入射到非线性晶体的激光带宽限制，另外，辐射带宽还与入射光和非线性晶体的相位匹配有关。

5.3 符合与暗符合信噪比与哪些因素有关？

与光子收集和探测效率，噪声光子，暗计数概率有关。

5.4 如何通过 HOM 干涉来表征光子的辐射带宽？如何通过 HOM 干涉测量一个已知折射率的透明材料的厚度？

干涉仪两臂长之差和到达时间之差之间满足关系 $\delta d = 2 \frac{c}{n} \delta t$ 。

实验中我们直接测得的是位移带宽 w ，结合上式，光子辐射带宽可以写为

$$\Delta\omega = \frac{2\sqrt{2}c}{nw} = \frac{2\sqrt{2} \times 3 \times 10^8}{1 \times 0.23112 \times 10^{-3}} = 3.671 \times 10^{12} s^{-1} \quad (2)$$

如果要通过 HOM 干涉来测量已知折射率的透明材料厚度，可以将其放置在干涉仪某一个臂上，测量符合计数随位移台位移 s 的关系，

$$s = \frac{2c\tau}{n-1} \rightarrow \Delta s = \frac{2c\tau}{n-1} \quad (3)$$

利用符合计数随位移台位移变化的半高全宽 Δs ，

$$\Delta\omega = \frac{2\sqrt{2\ln 2}}{\Delta\tau} = \frac{c\sqrt{2\ln 2}}{(n-1)\Delta s} \quad (4)$$