

下面是我的问题，参考文献见附件或文末链接：

参考文献相关内容

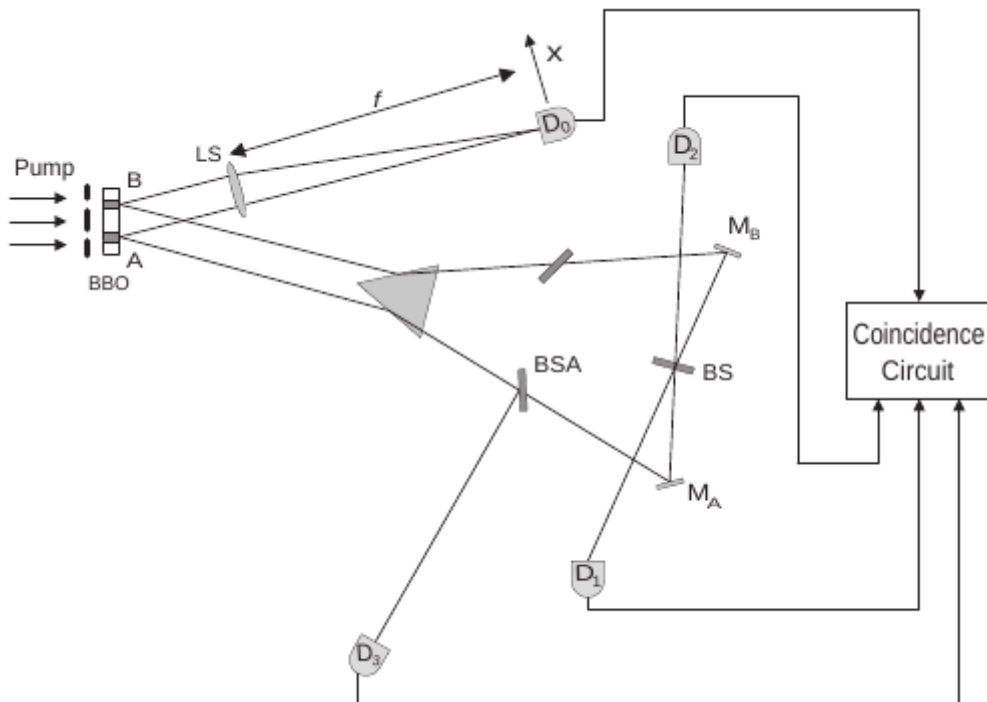
理解和我的想法

问题

参考文献

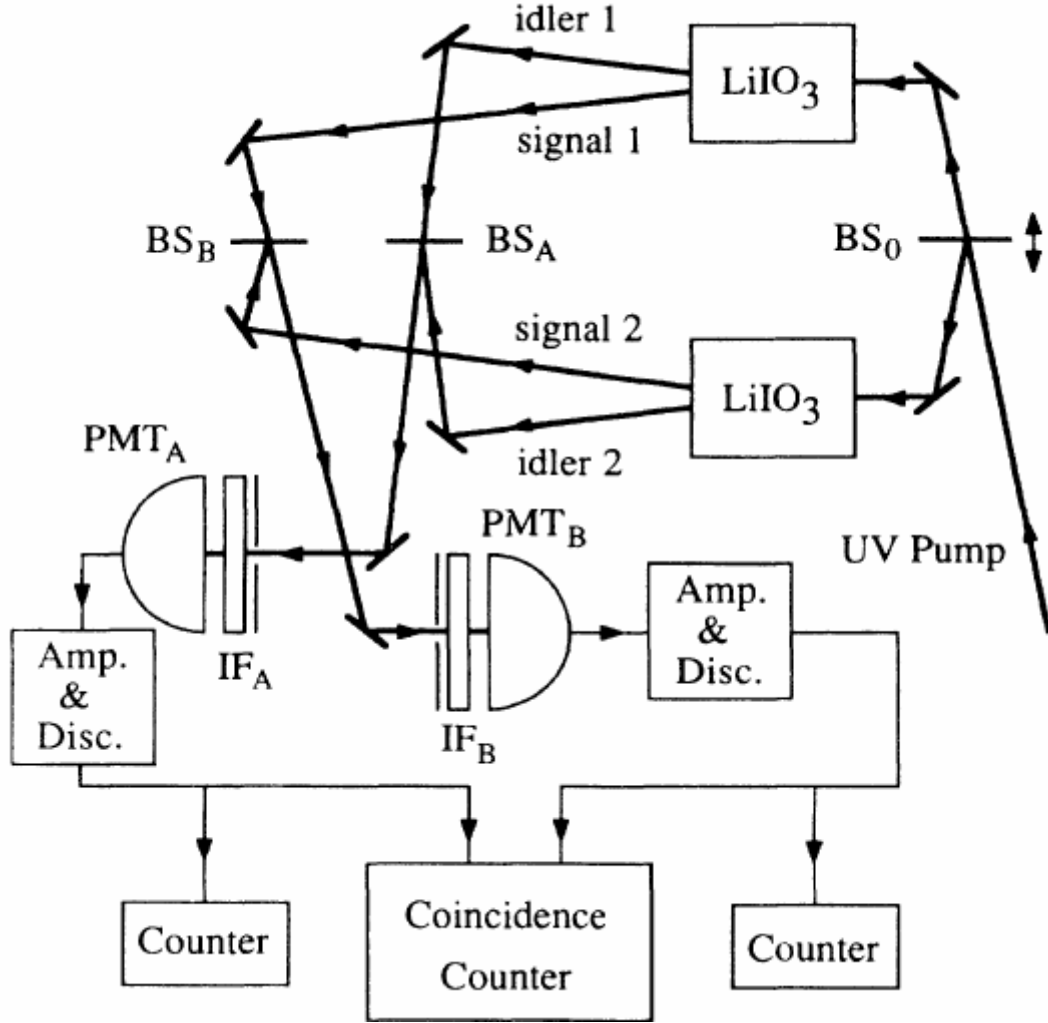
参考文献相关内容

在阅读了1999年kim *et al.*[1]的文章中的setup后（如下图）



对其使用的SPDC技术产生了一定的疑问，即：两束相位相同的pump光产生的相应的idler光（signal光）之间是否仍保持相同的相位差？

针对这个问题，我查阅了相关文献[2]，该文献被较大量引用，其中专门针对相位问题做了如下实验：

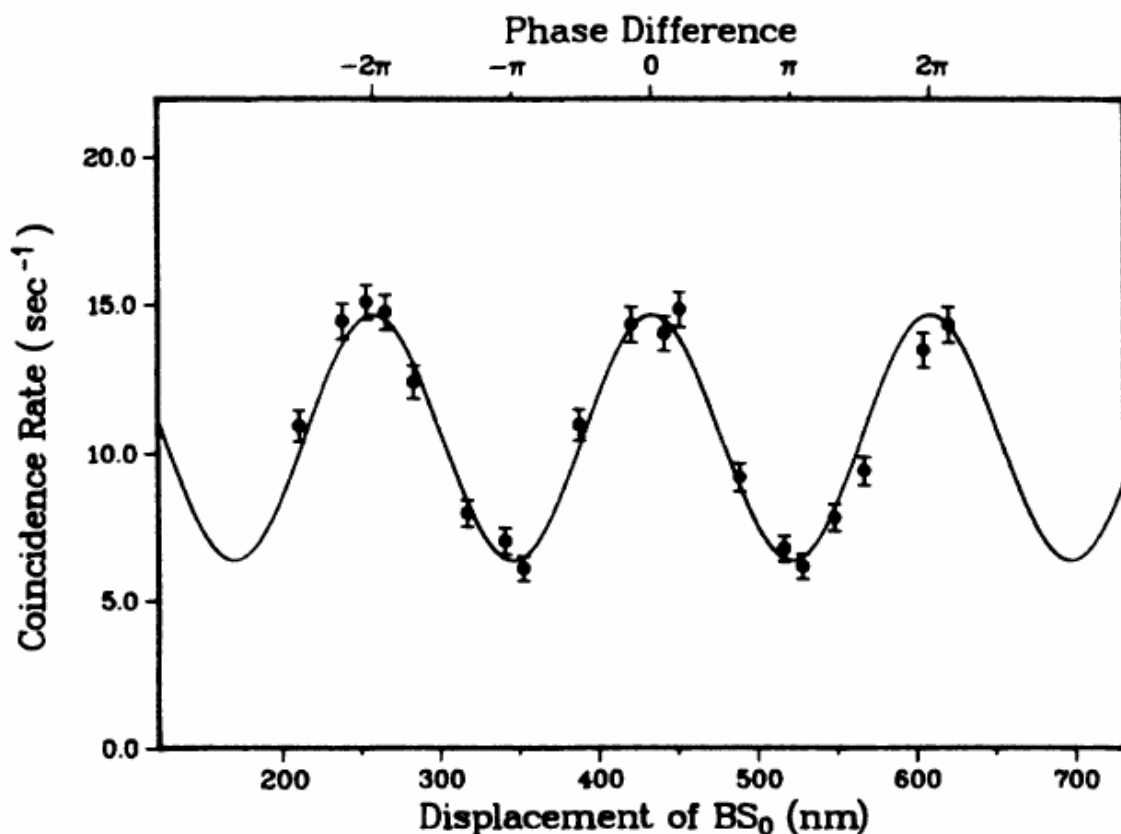


作者通过调节半反半透镜(50%:50% beam splitter) BS_0 的位置，改变两束相干pump光之间的相位差，分别测量两束idler光干涉结果和两束signal光的干涉结果，对两个测量结果取coincidence rate。

原文通过理论计算（产生消灭算符，含时微扰）得到结果如下：

$$R_{AB} = 2\alpha_A\beta_B|t_A t_B \eta_1 V_1 M_1|^2 \times [1 - \cos(\arg V_1 - \arg V_2) + \omega_0(\delta\tau_i + \delta\tau_s)/2]$$

并得到了与之相应的实验结果：



（这里有一个问题：按照理论预测，衬比度应为100%，但结果却为40% [其实从原图上看更像50%]）
原文总结，这说明SPDC之后的光子仍然保存有pump光的相位信息。

理解和我的想法

下面我将陈述我对这篇论文的理解和我的疑惑：

理解：原文的结论没有任何问题（即显然记忆了相位信息），但是按照原文的理论结果，我将这种相位信息理解为两束idler（signal）光之间的相位差，这意味着，pump光与其产生的idler光之间的相位差是恒定的。

但是我出于一下两点原因认为物理图像不应但是这样的，在我看来（只是我的想法），pump光和idler/signal光之间的相位差是随机的，而idler光和signal光之间的相位差与pump光的相位有关，具体而言，我认为idler光与signal光之间的相位差等于pump光的相位加上一个常数。（如果仅考虑SPDC过程中利用了非线性介质，这似乎有些不合理，但如果考虑到能级的跃迁，图像上并非没有这样可能）

一，在上文提到的量子延迟选择擦除实验（DCQE）中，无论是否测量，屏幕（ D_0 ）上都已经没有条纹了，擦除只是reselect，并不会改变 D_0 的结果，那么不妨认为A，B之间，由于SPDC的原因，已经造成了随机的相位差（系综意义上），这里恰可以解释BS为什么可以“reselect”，由于半反半透镜反射透射光之间会造成 $\pi/2$ 的相位差，那么，不失一般性地（WLOG），暂不考虑路径相位差，AB间相位差 $+\frac{\pi}{2}$ 和 $-\frac{\pi}{2}$ 的光子将分别有更大的概率被 D_1 和 D_2 探测到，换句话说，如果在 D_0 上探测到一个光子，根据光子出现的位置，我就能判断出纠缠光子出现在 D_1 和 D_2 的概率哪个大，这正是QCDE实验的图像。

二，如果按照上文提到的我的理解，可以解释参考文献中留存的问题，及解释衬比度，推导如下：
参考本文第二张图，不失一般性的，记上方的pump（pump 1）光相位为 ϕ_0 ，下方（pump 2）的为0（实际可以查任何一个常数，不影响结果），按照我陈述的假设，则有：

$$\begin{cases} idler1 : \phi_1 \pm \phi_0 \\ signal1 : \phi_1 \\ idler2 : \phi_2 \pm 0 \\ signal2 : \phi_2 \end{cases} \quad (1)$$

其中 ϕ_1 和 ϕ_2 分别为两个随机相位，之所以是 \pm ，因为并不知道idler光和signal光哪一个相位高，但显然（见后文）并不影响coincidence rate，下面不妨直接取正号。

那么idler之间的干涉和signal之间的干涉结果显然分别正比于：

$$\begin{cases} idler : 1 + \cos(\phi_1 - \phi_2 + \phi_0) = \cos^2(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2} + \frac{\phi_0}{2}) \\ signal : 1 + \cos(\phi_1 - \phi_2) = \cos^2(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2}) \end{cases} \quad (2)$$

则所谓的coincidence rate正比于：

$$\begin{aligned} R_{AB} &\propto \overline{\cos^2(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2} + \frac{\phi_0}{2}) \cos^2(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2})} \\ &= \overline{[\cos(\phi_1 - \phi_2 + \frac{\phi_0}{2}) + \cos(\frac{\phi_0}{2})]^2} \\ &= \overline{\cos^2(\phi_1 - \phi_2 + \frac{\phi_0}{2}) + 2\cos(\phi_1 - \phi_2 + \frac{\phi_0}{2})\cos(\frac{\phi_0}{2}) + \cos^2(\frac{\phi_0}{2})} \\ &= \frac{1}{2} + 0 + \frac{1}{2}\cos^2(\frac{\phi_0}{2}) \\ &= 1 + \frac{1}{2}\cos(\phi_0) \end{aligned} \quad (3)$$

周期原文相同，衬比度恰为50%，与图中（本文[第三张图](#)）最大值约15.0/sec，最小值约5.0/sec很吻合。

问题

但由于上述内容只是基于我不成熟的想法，我对SPDC的详细过程仍没有足够深刻的理解，故而有以下疑惑：

- 1 我对文献2的理解是否正确？，即，文献2是否确实认为idler光和pump光之间的相位差是确定不变的。
- 2 如果我的理解正确，文献2的结论（我质疑的部分）是否正确呢，若正确，我的两点考虑有什么问题，应该是怎样的？，若不正确，是否应按我的理解来？
- 3 我的理解一定程度上（如果正确的话）解决了这篇论文遗留未解决的问题，如果并不正确，鉴于这篇论文已经有一定年代，您是否了解有无相关后续论文解决了这一问题？
- 4 在您的一篇相关的综述[3]中，提到直接观测由于测不准原理，测量会对测量对象产生影响而造成波包的collapse抑或退相干，而如果我上文的想法正确（即便不正确，从kim *et al.*的实验结果来看，无论测不测量，为了保留which-path info 而使用的SPDC已经造成干涉条纹的消失），SPDC也虽然避免了直接测量，也造成了类似的结果，那么对其他的DCQE（指其他实现，比如您文中提到的使用原子能级）是否也会有类似的效果呢？

参考文献

[1] 参考文献 1：Yoon-Ho Kim, R. Yu, S.P. Kulik, Y.H. Shih, Marlan O. Scully [2000] "A Delayed Choice Quantum Eraser" Phys.Rev.Lett. 84:1-5 [[arXiv:quant-ph/9903047v1](#)]

[2] 参考文献 2：Z. Y. Ou, L. J. Wang, X. Y. Zou, and L. Mandel. [Evidence for phase memory in two-photon down conversion through entanglement with the vacuum](#). Phys. Rev. A 41(1990):566.

[3] 参考文献 3 : Xiao-song Ma, Johannes Kofler, Anton Zeilinger. Delayed-choice gedanken experiments and their realizations.[arXiv: 1407.2930v3](https://arxiv.org/abs/1407.2930v3) [[quant-ph](#)] 19Mar 2016

打扰您了！谢谢！

祝好！

181240004 曾许墨秋

匡亚明学院数理方向

2019.12.4