



Title	エンタングルド光子対を用いた非局所相関の存在の確認
Author(s)	
Citation	令和3（2021）年度学部学生による自主研究奨励事業 研究成果報告書．2022
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/85606
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

令和3年度大阪大学未来基金「学部学生による自主研究奨励事業」研究成果報告書

ふりがな 氏名	うらや いくと 浦矢 郁人	学部 学科	理学部 物理学科	学年	3 年
ふりがな 共 同 研究者氏名		学部 学科		学年	年
					年
					年
アドバイザー教員 氏名	わたなべ じゅんじ 渡辺 純二	所属	生命機能研究科 生命機能専攻		
研究課題名	エンタングルド光子対を用いた非局所相関の存在の確認				
研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。(先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い、盗作剽窃にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。)				
1. 研究の背景と目的 空間的に遠く離れた二つの系が、瞬間的に測定結果に作用しあうという性質「非局所相関」が量子力学から導かれる。非局所相関の存在を示すために用いられるのがベルの不等式の破れである。これは古典論と量子論の二通りの解釈を実験的に検証することができるという点から、非常に有用である。そこで本研究では、エンタングルド(量子もつれ)の光子対を用いた偏光によるベルの不等式の破れの実験検証を行い、実際に非局所相関が存在することを確認し、どの程度ベルの不等式が破れているのかを評価することを目的とした。 2. 研究の経過と結果 量子もつれ光子対を発生させ、ベルの不等式の破れの検証を行うために、以下の二つの段階に分けて実験を進めた。 2.1. 光子相関測定系の構築 ベルの不等式の破れの検証には、光子対に関する光子相関の測定を行う。そのために、図 1 に示すように、光電子増倍管、増幅器、CFD(コンスタントフラクショナルディスクリミネータ)、TAC(時間波高変換器)、MCA(マルチチャンネルアナライザ)からなる光子相関測定系を構築した。これにより、ビームスプリッターで分割された光を二つの検出器で検出し、その光子検出信号の時間差 τ についてのヒストグラムを得ることで強度相関を測定できる。構築した測定系が問題なく機能するかを確認するために、以下の測定を行った。					

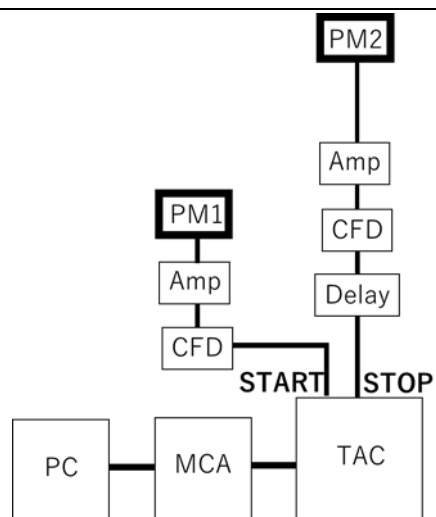


図 1 光子相関測定系の概念図

2.1.1. 時間的にランダムな光

時間的にランダムな蛍光灯の光を光子相関測定系で測定した。時間的にランダムな光なので、測定系が光子検出信号を受け取るタイミングもランダムであると期待される。測定の結果、図 2 に示したようにフラットなヒストグラムが得られ、予想通りの結果となった。

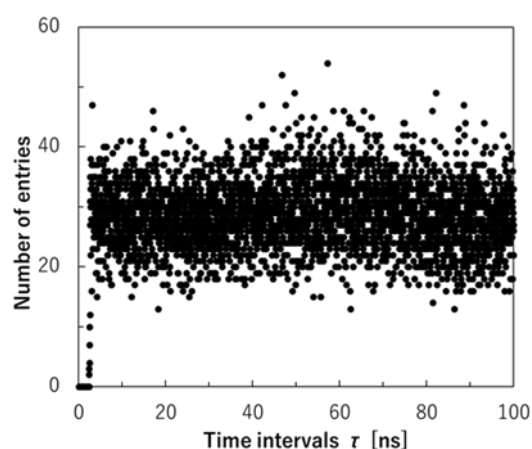


図 2 蛍光灯からの光の光子相関

2.1.2. モード同期レーザー光

次にモード同期レーザー光を光子相関測定系で測定した結果を図に示す。ランダムな光の場合（図 2）とは異なり、周期的な相関が得られた。この周期はおよそ 12ns であったが、これはモード同期レーザーのパルス間隔と一致する。周期的な光を入れることで、光子検出信号を受け取るタイミングも周期的となるはずであり、実験結果と整合している。各ピークの半値幅はおよそ 2ns であり、これが今回の光子相関測定系の時間分解能といえる。

以上の二つのテストにより、構築した光子相関測定系が問題なく機能していることが確かめられた。

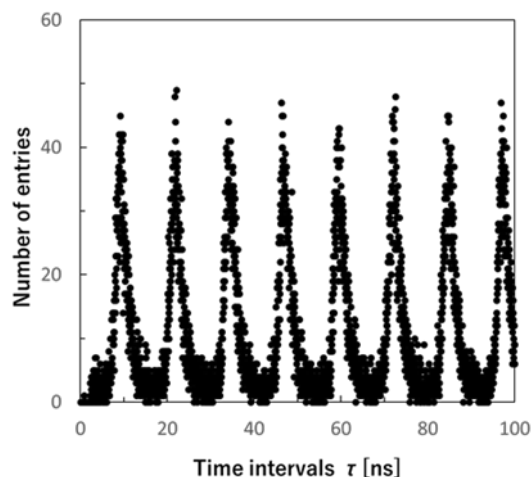


図 3 モード同期レーザー光の光子相関

2.2. 量子もつれ光子対の発生の確認

量子もつれ光子対の発生には非線形光学過程である自然パラメトリック下方変換 (Spontaneous Parametric Down Conversion: SPDC)を用いた。この変換により、エネルギーの高い 1 つの光子がエネルギーの低い 2 つの光子にエネルギーと運動量を保存しつつ分離される。

波長 400nm のパルスレーザー(パルス幅約 60fs、繰り返し周波数 82MHz、平均出力 10mW)を BBO 非線形結晶に入射することで、波長 800nm の量子もつれ光子対が入射光軸に対して 5° の方向に放出される(図 4)。

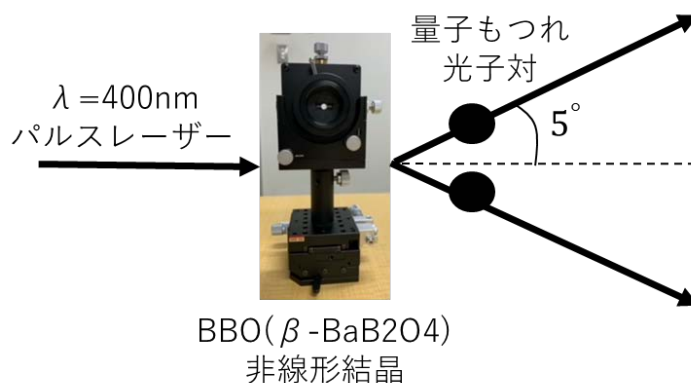


図 5 BBO 非線形結晶による SPDC

量子もつれ光子対は肉眼では確認できない。そこで、実際に量子もつれ光子対が発生しているかどうかを確認するために以下のテストを行った(図 5)。焦点距離 150mm のレンズで集光することにより、量子もつれ光子対が放出される方向に可視レーザー(540nm)を通した。その光を再びレンズで集光し、分光器と CCD 検出器で光のスペクトルを調べた。

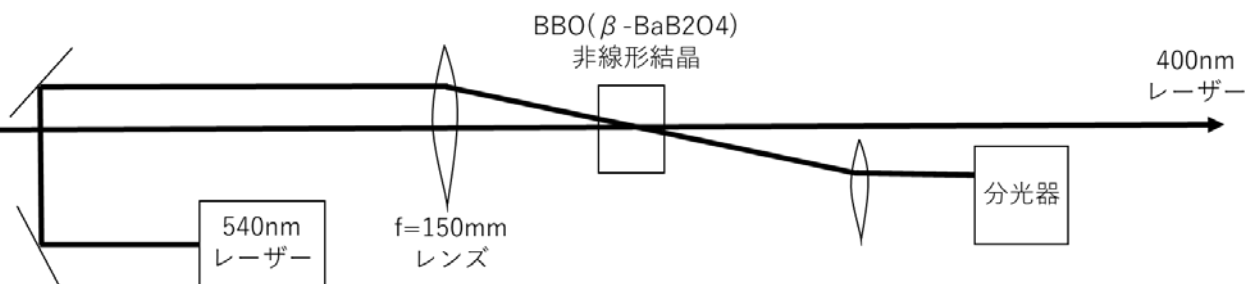


図 4 分光器を用いた量子もつれ光子対の発生の確認のためのテスト

観測された 800nm 付近の波長におけるスペクトルはノイズ程度であり、量子もつれの光子の検出は確認できなかった。この結果から、CCD で検出できるほど多くの量子もつれ光子対は発生していないと考えられる。

3. まとめと今後の予定

光子対の強度相関の測定系が構築できた。次に、BBO 非線形結晶に 400nm レーザーを入射させ、分光器と CCD 検出器で SPDC 光の検出を試みたが、現在のところ検出されていない。今後の予定としては、SPDC による量子もつれ光子(波長 800nm)以外の光が入ってこないよう遮光を行い、光電子増倍管で光を検出し、実際に SPDC が起こっていることを確認したい。それが完了すれば、光子対の偏光に関する相関を測り、ベルの不等式の破れの検証を行いたい。

参考文献

- [1] A. Einstein, B. Podolsky and N. Rosen, Phys. Rev. 47 (1935) 777.
- [2] J.S.Bell, Physics 1 (1964) 195.
- [3] A. Aspect, P. Grangier and G. Roger, Phys. Rev. Lett. 49 (1981) 460.
- [4] 松岡正浩, 『量子光学』(東京大学出版,1996)
- [5] Shuichiro Inoue, The Review of Laser Engineering, 36 (2008) 470

