

多光子干涉于一ム

背景・目的

古典的な干渉: 光強度全体の干渉

量子的な干渉: 光子数状態の特定の項の干渉

二光子干渉

$$|a\rangle = a_0 |0\rangle + a_1 |1\rangle + a_2 |2\rangle + \dots$$

$$|b\rangle = b_0 |0\rangle + b_2 |2\rangle + \dots$$

$$\Rightarrow |c\rangle = c_0 |0\rangle + c_1 |1\rangle + c_2 |2\rangle$$

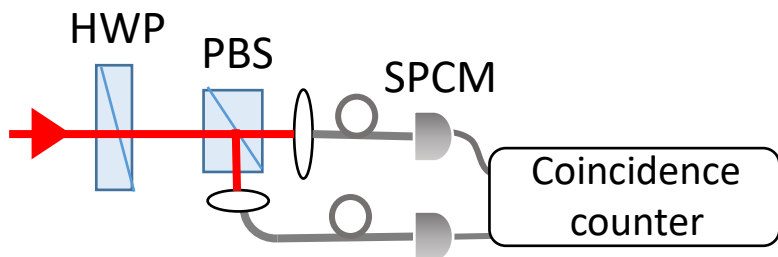
干渉 二光子状態が強めあい、弱めあう

二光子干渉は単一光子光源の開発に期待できる

コヒーレント状態から二光子が少ない状態を生成
(スクイズドコヒーレント状態[1])

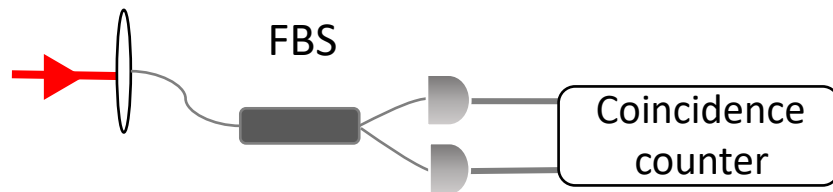
背景・目的

PBSを用いた測定システム



- 自由度が高い

ファイバービームスプリッターを用いた測定システム



- 観測が安定する
- 再現性
- 環境の影響を受けにくい

背景・目的

ファイバービームスプリッター(Thorlabs,TW805R5F2)

分割比	50:50
分割比の誤差	±6.0%
中心波長	805 nm
バンド幅	±75 nm
伝搬モード	シングル

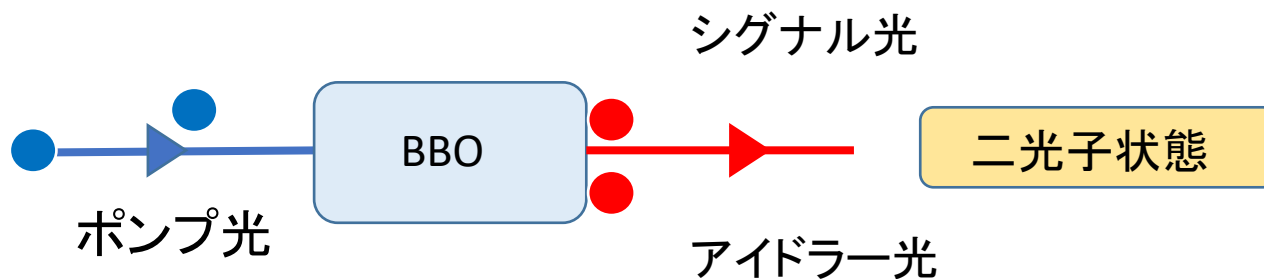
シングルモード

モードが選択されるため不要な光の影響が減りビジビリティが上がることを期待される



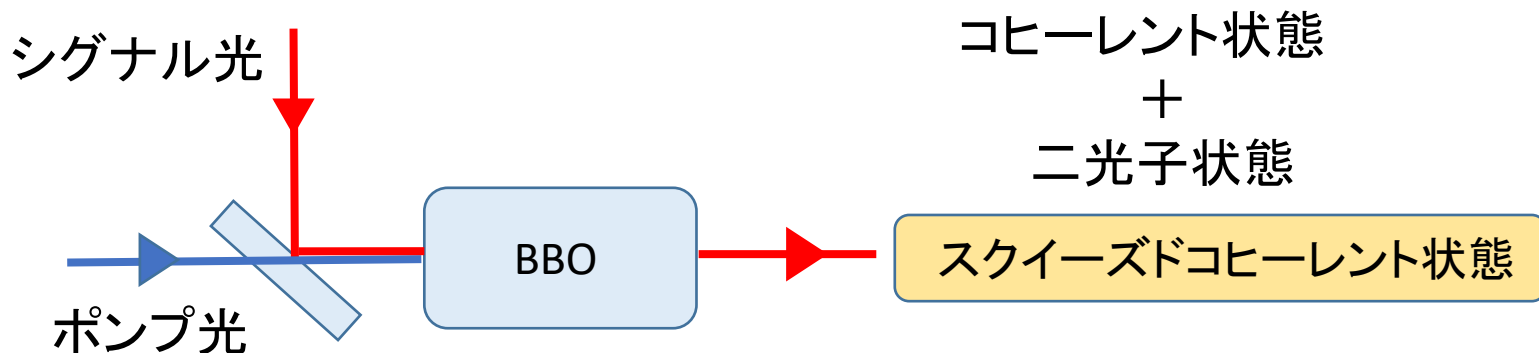
ファイバービームスプリッターを用いて二光子干渉の観測を行う

二光子状態の生成と干渉



パラメトリック下方変換

(Parametric Down Conversion : PDC)



パラメトリック増幅器

(Optical Parametric Amplifier : OPA)

二光子状態の確率振幅

スクイーズドコヒーレント状態のn光子の確率振幅[2]

$$C_n = \frac{1}{\sqrt{n! \mu}} \left(\frac{\nu}{2\mu} \right)^{\frac{n}{2}} \exp \left(\frac{\nu^*}{2\mu} \alpha^2 - \frac{|\alpha|^2}{2} \right) H_n \left(\frac{\alpha}{\sqrt{2\mu\nu}} \right)$$

$\alpha = |\alpha|e^{i\theta}$, $\mu = \cosh r$, $\nu = e^{i\varphi} \sinh r$, H_n : エルミート多項式
 α : コヒーレント状態の複素振幅, r : スクイーミングパラメータ
 φ : α に対する r の相対位相

二光子状態の確率振幅は

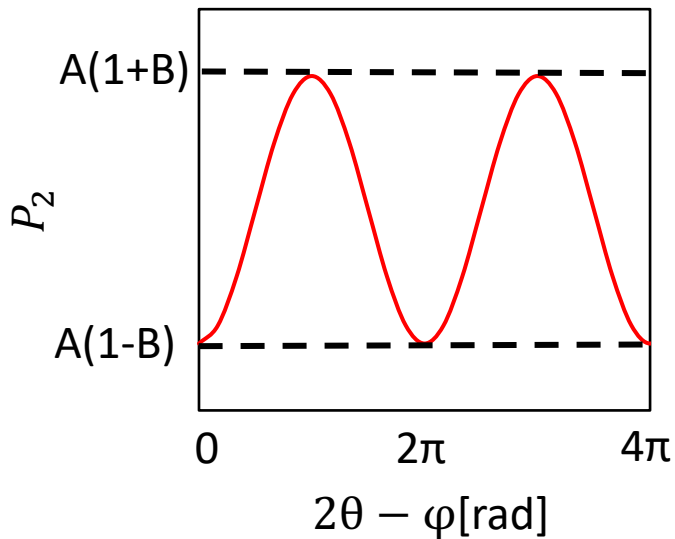
$$C_2 = \frac{1}{\sqrt{2\mu}} \left(\frac{\alpha^2}{\mu^2} - \frac{\nu}{\mu} \right) \exp \left[\frac{|\alpha|^2}{2} \left(\frac{\nu^*}{\mu} - 1 \right) \right]$$

二光子状態の確率

二光子状態の確率 P_2 は

$$P_2 = |C_2|^2 = P_{20} \left[\left(\frac{|\alpha|}{\cosh r} \right)^4 + \tanh^2 r - 2 \frac{|\alpha|^2}{\cosh^3 r} \sinh r \cos(2\theta - \varphi) \right]$$

$$= A[1 - B \cos(2\theta - \varphi)]$$



$$P_{20} = \frac{1}{2 \cosh^2 r} \exp[|\alpha|^2 (e^{-i\varphi} \tanh r - 1)]$$

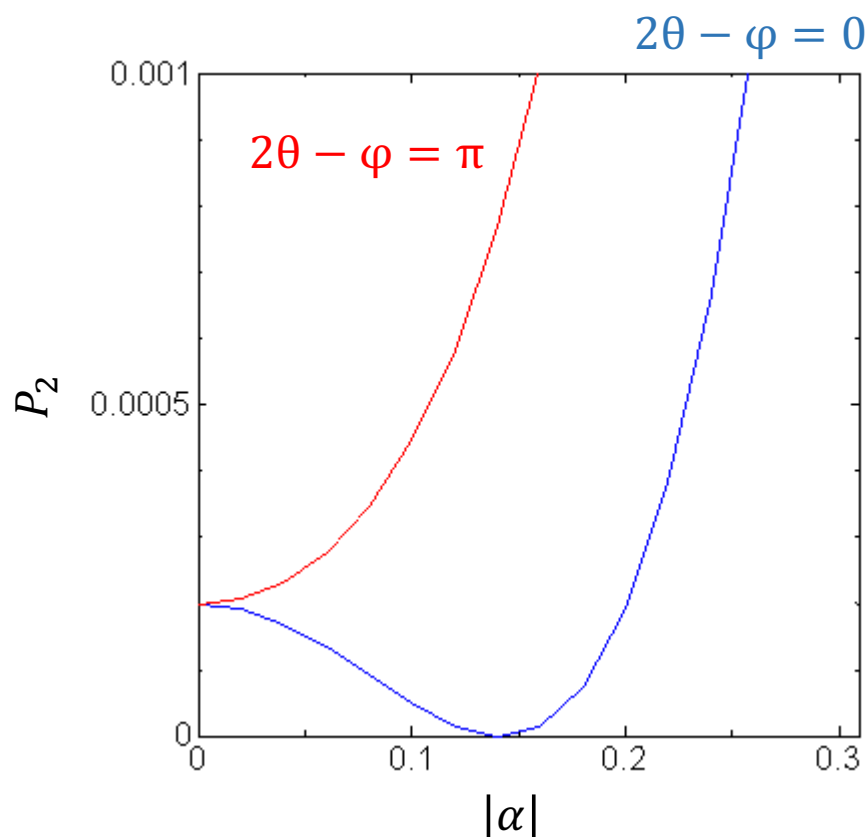
$$A = \frac{1}{2} \left(\frac{|\alpha|^4}{\cosh^4 r} + \tanh^2 r \right) \exp[|\alpha|^2 (e^{-i\varphi} \tanh r - 1)]$$

$$B = 2 \frac{|\alpha|^2 \tanh r}{\frac{|\alpha|^4}{\cosh^2 r} + \sinh^2 r}$$

- $2\theta - \varphi = 0, 2\pi$ のとき P_2 は減衰
- $2\theta - \varphi = \pi$ のとき P_2 は増幅

二光子状態の確率の変化

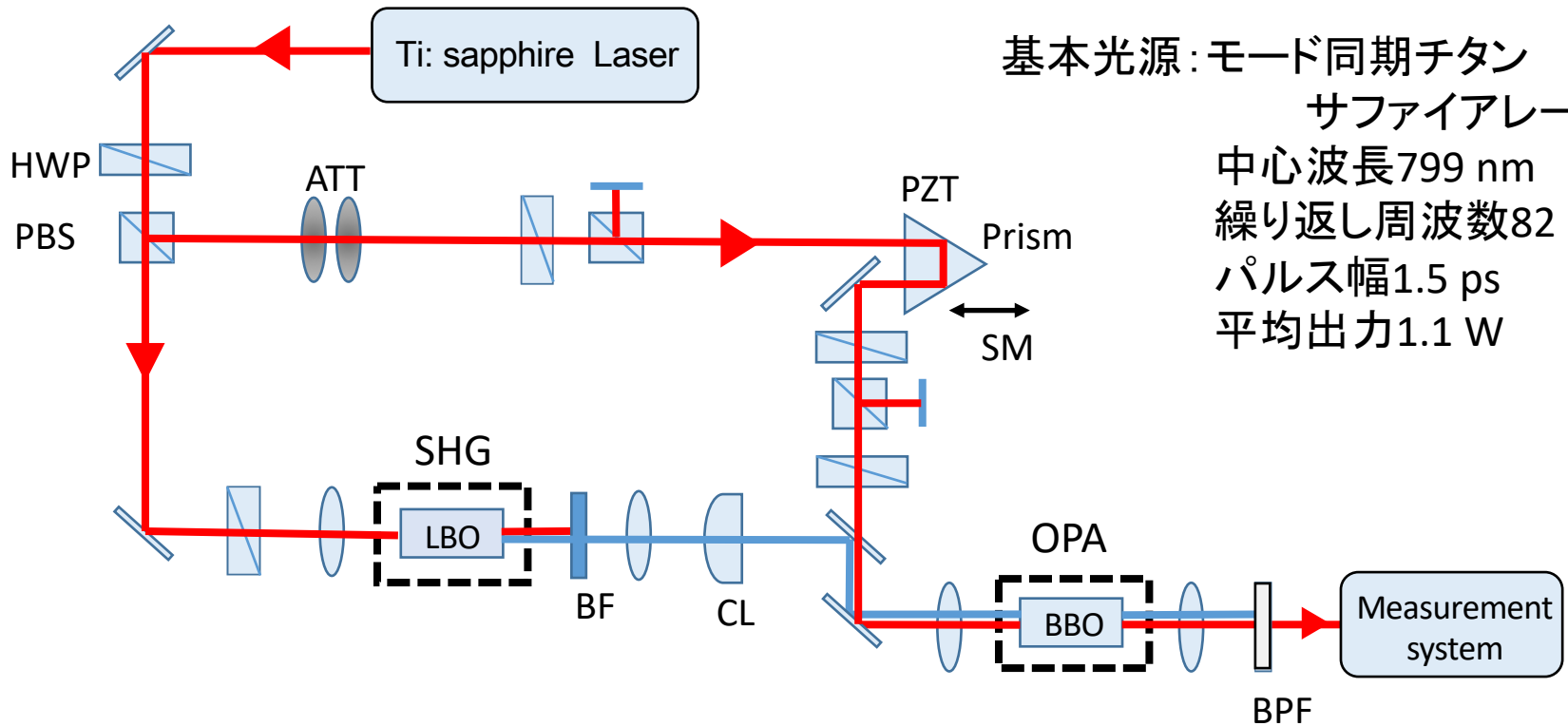
- スクイーミングパラメータ $r=0.02$ として, $|\alpha|$ を変化



増幅($2\theta - \varphi = \pi$)のとき
 P_2 は単調増加

減衰($2\theta - \varphi = 0$)のとき
 P_2 は減少してから増加

実験セットアップ



HWP: 半波長板

SM: ステッピングモーター

PZT: ピエゾ素子

PBS: 偏光ビームスプリッター

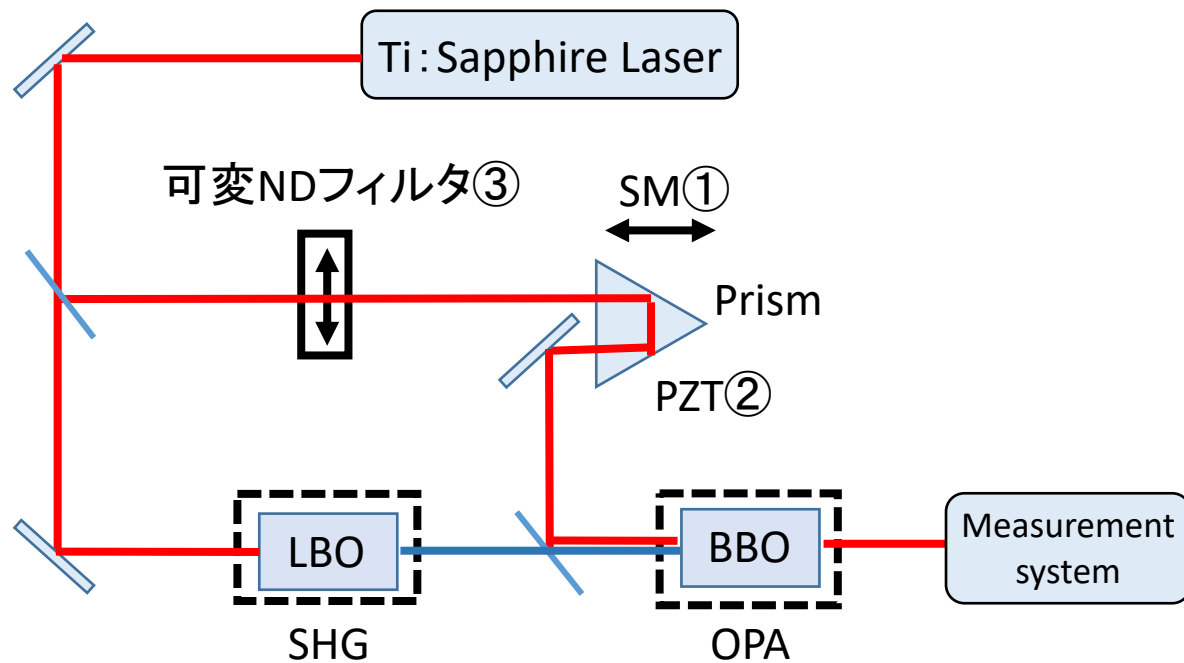
BF: 色ガラスフィルター

BPF: バンドパスフィルタ

ATT: アッテネーター

CL: シリンドリカルレンズ

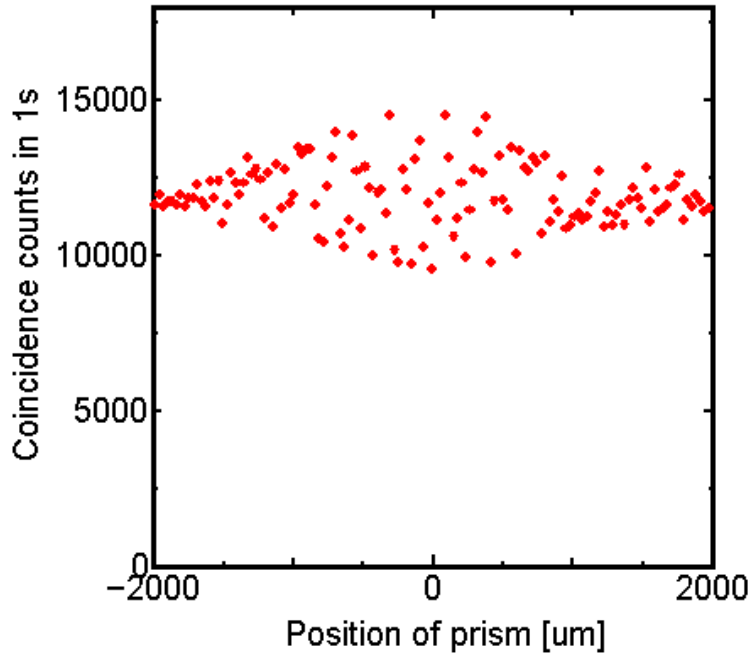
実験方法



- ① ステッピングモーター(SM)でプリズムを大きく動かす(時間的オーバーラップの確認)
- ② PZTでプリズムを小さく動かす(相対位相のコントロール)
- ③ 可変NDフィルタでシグナル光パワーを変える

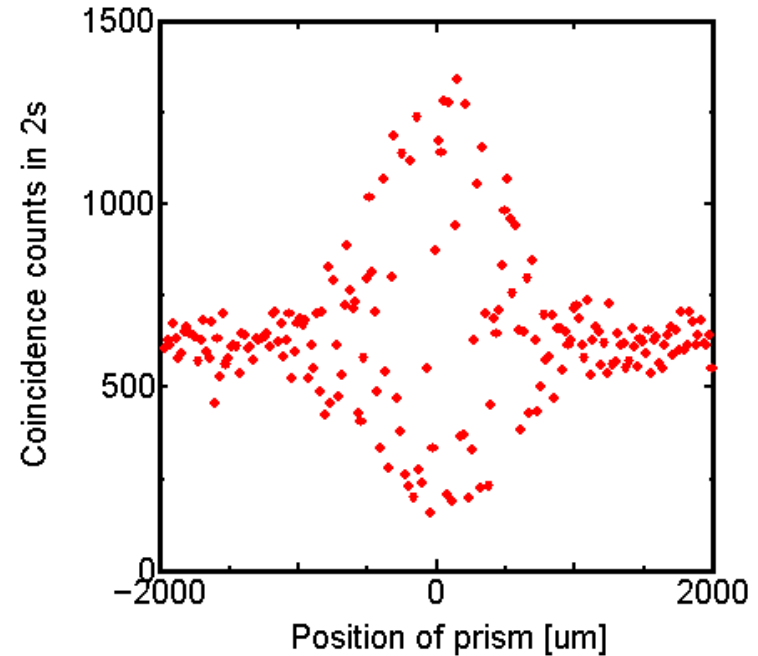
時間的オーバーラップの確認

- PBSを用いた測定システム



$$\text{ビジビリティ} V = \frac{14500 - 9500}{14500 + 9500} = 0.23$$

- ファイバービームスプリッターを用いた測定システム



$$V = \frac{1300 - 200}{1300 + 200} = 0.73$$

ファイバービームスプリッターを用いた場合ビジビリティが上がった
⇒モード選択できるシングルモードファイバーを用いたため
干渉していない光の影響が少ない

相対位相のコントロール

PZTでシグナル光に位相を与えた



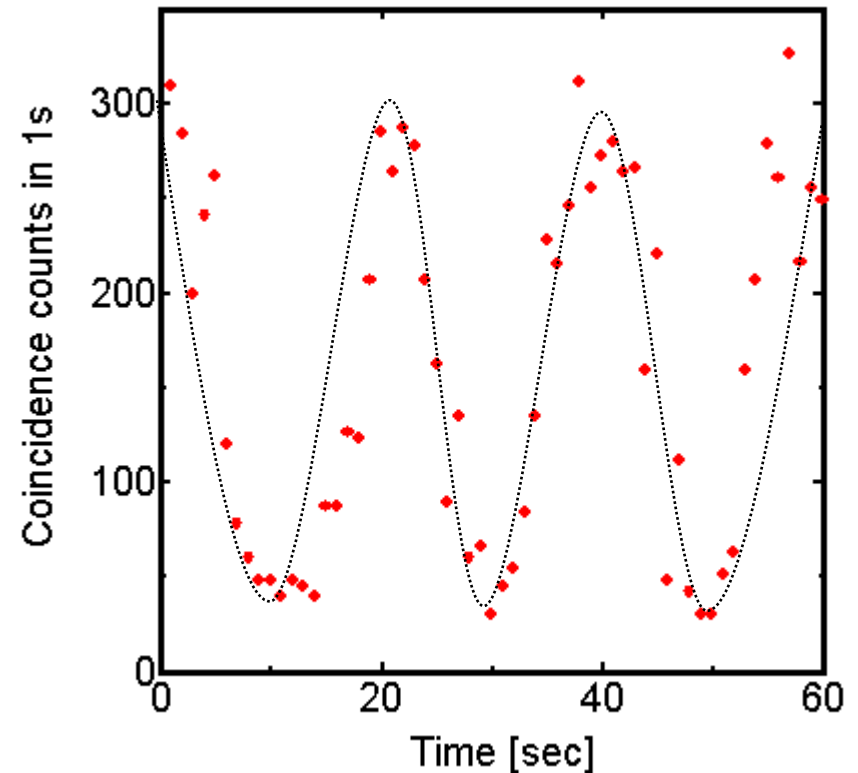
ポンプ光とシグナル光の
相対位相($2\theta - \varphi$)が変化



同時計数が周期的に増幅と減衰を
繰り返している

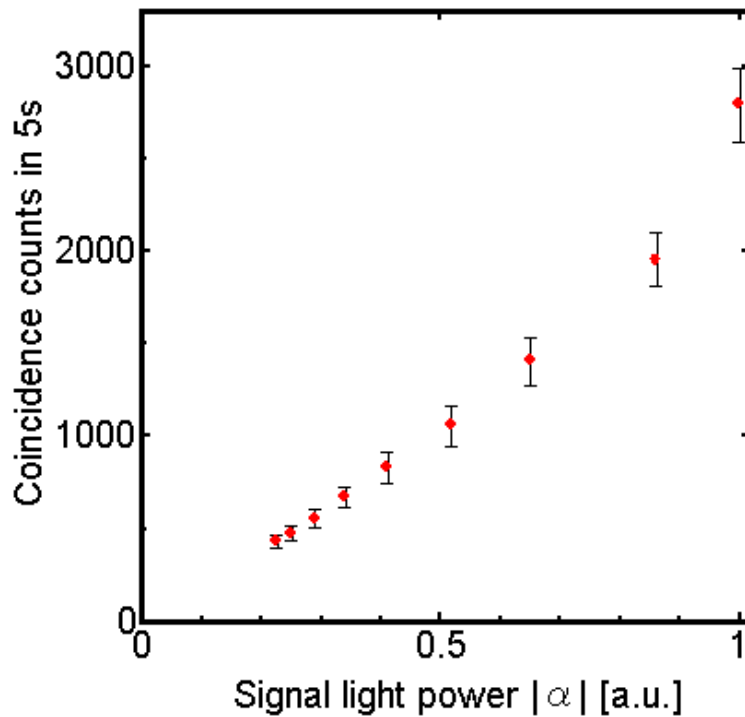
測定

- 1つのパワーにつき増幅と減衰の3点が入るようにする
- 9つのシグナル光パワーで行う
- 同様の測定を3回行う



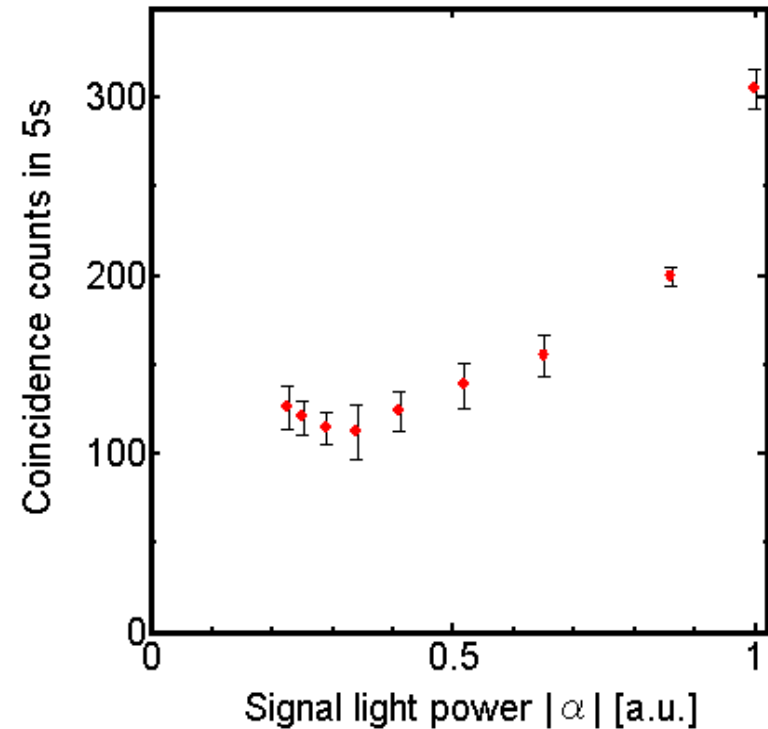
シグナル光パワーを変えたときの二光子同時計数

増幅



パワーが上がるにつれて
単調増加

減衰



パワーが上がるにつれて
減少してから増加
⇒二光子確率が減少している