1 Measurement of subpicosecond time intervals (後略)

1.1 理論的な予測

まず、レーザー光が単色光であったとする。このとき、2 つの photon の放出された Fock state$|1_{01}, 1_{02}\rangle$ であるとする。(01,02 は beam splitter の input side、1,2 は output side を表すとする。) そうすれば、R,Tをそれぞれ反射率、透過率とすると、$R+T=1$ であり、output side の波動関数は次式で表せられるだろう。

$$|\psi_{out}\rangle = (R-T)|1_1, 1_2\rangle + i\sqrt{2RT}(|2_1, 0_2\rangle + |0_1, 2_2\rangle) \tag{1}$$

しかし、実際の down converter は単色光ではない。このとき、$\phi(\omega_1, \omega_2)$ を、$\omega_1 = \omega_2 = \frac{\omega_0}{2}$で最大値をとるような weight function であるとして、KDP(pottasium dihydrogen phosphate) によって作られる down conversion の波動関数は、次のようになる。

$$|\psi\rangle = \int d\omega \phi(\omega_1, \omega_0 - \omega_1)|\omega_1, \omega_0 - \omega_1\rangle \tag{2}$$

である。Glauber の論文[1]より、detector D1,D2 でそれぞれ時間 t、$t+\tau$で photon を検出する確率は、

$$P_{12}(\tau) = K < E_1^{(-)}(t)E_2^{(-)}(t+\tau)E_2^{(+)}(t+\tau)E_1^{+}(t) > \tag{3}$$

ここで、$E(r,t) = \int_{-\infty}^{\infty} e(\omega, r)e^{-i\omega t}d\omega$にたいして、$E^{(\pm)}(r,t) = \pm\int_0^{\pm\infty} e(\omega, r)e^{-i\omega t}d\omega$で定義される量である。ここで、

$$E_1^{(+)}(t) = \sqrt{T}E_{01}^{+}(t-\tau_1) + i\sqrt{R}E_{02}^{(+)}(t-\tau_1+\delta\tau) \ \ , E_2^{(+)}(t) = \sqrt{T}E_{02}^{+}(t-\tau_1) + i\sqrt{R}E_{01}^{(+)}(t-\tau_1+\delta\tau) \tag{4}$$

ここで、τ_1は鏡から detector までの距離、$\pm c\delta\tau$は配置のずれにより beam splitter から 2 つの detector へ光子が到着する時間のずれである。そうすると、$G(\tau) = \int \phi(\frac{\omega_0}{2}+\omega, \frac{\omega_0}{2}-\omega)e^{-i\omega\tau}d\omega$、$g(\tau) = \frac{G(\tau)}{G(0)}$とすれば、確率 P_{12}はこうなる。

$$P_{12}(\tau)K|G(0)|^2(T^2|g(\tau)|^2 + R^2|g(2\delta\tau-\tau)|^2 - RT[g^{\dagger}(\tau)g(2\delta\tau-\tau)]) \tag{5}$$

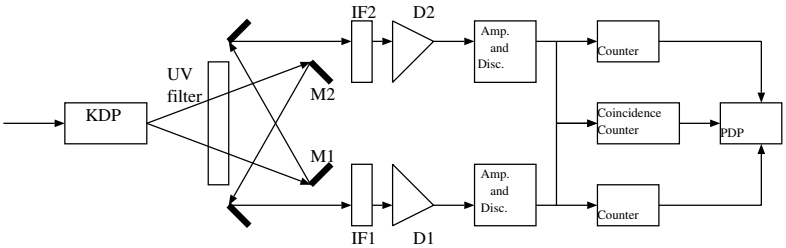
である。ここで、$g(\tau)$ が Gaussian であるとする。つまり、$g(\tau) = \exp(-\frac{(\Delta\omega\tau)^2}{2})$ であるとすれば、$P_{12}(\tau)$ を積分して、N_cを photon の coincidence の計測数として、

$$N_c \propto (T^2+R^2)(1 - \frac{2RT}{R^2+T^2}e^{-(\Delta\omega\delta\tau)}) \tag{6}$$

という結果を得る。ここで、$\Delta\omega$は、ωの band width である。

1.2 実験装置

この実験で用いられているのは、やはりレーザー波長 351.1nm のアルゴンイオンレーザーであり、これを長さ 8cm に切った KDP(燐酸二水素カリウム:potassium dihydrogen phosphate) に照射する。ここで先に述べたように、配置のずれから微小距離 $c\delta\tau$だけずれているものとする。セットアップは、下図のようになる。これを用いて実験を行なうと、$\frac{R}{T} = 0.95$ の条件下



KDP=potassissium dihydrogen phosphate
IFi =interference filter
Di =detector Mi=mirror

で、$\Delta\omega = 3\times10^{13} = 5\times10^{12}Hz$という結果を得た。よって、

- **down converter において 2 つの photon の放出される時間の差は、50fs 程度である**

という結果を得た。

[1] Roy.J.Glauber, 'The Quantum Theory of Optical Coherence' Phys. Rev. **130 2529(1963)**