



双子のミツコ(その2)

先月のミツコ姉妹がどのようなようになったかお話ししましょう。この実験は近年になって、テクノロジーの進歩で実現できるようになったものです。実験のセットアップが図1にあります。Pumpと書かれたレーザーから出た1個の光子が、ダブルスリットを通過した後、BBOと書かれた特殊な結晶を通過します。するとごくまれですが、2つの光子変換されます。この双子の光子はいわゆるエンタングル（量子もつれ）した状態の光子です。

双子のうちの一方向の光子は、レンズ (LS) を通って検出器 (D_0) で位置 x が検出されます。もう一方の光子は、図の下方へ導かれます。スリット A を通ったときは、まず三角形の鏡で反射して、ビームスプリッター A (BSA) に向かいます。ビームスプリッターというのは、ハーフミラーのように半々の確率で光を反射したり透過させたりするもので、ここで

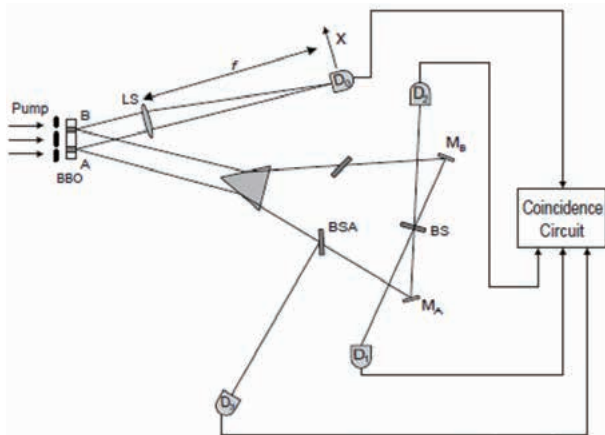


図1 実験のセットアップ。本稿の図は全て、Yoon-Ho Kim *et al.* 'A Delayed Choice Quantum Eraser' arxiv:quant-ph/9903047 より。

反射された場合、光子は検出器 (D_3) に入ります。BSA をすり抜けた場合は、鏡 (MA) で反射され、別のビームスプリッター (BS) に向かいます。そして BS を透過した光子は検出器 (D_2) で、反射したときは検出器 (D_1) で検出されます。

光子がスリット B を通ったときは、BBO で分かれ下方に向かった光子は (記号が省略されてますが)、BSB で反射された場合は D_4 で検出されます。BSB をすり抜けた場合には、光子は鏡 (MB) で反射され、BS を透過した場合は D_1 で、反射した場合は D_2 で検出されます。

つまり D_3 あるいは D_4 で光子が検出されたときは A から来たのか B から来たのか分かるのですが、 D_1 と D_2 で検出されたときは A、B のどちらを通ったのか区別がつかないことになります。

ここまで読まれた方は、この実験装置の上の部分がいわゆるヤングの実験になっていて、下方に向う光子は、ダブルスリットのどちらを通ったかを「監視」する役目を持っていることがお分かりいただけると思います。実はBBOを通る光子のほとんどは、2つに分かれることなくそのままの通過してしまいます。しかしパラメトリック下方変換といって100万個に1個ほどの割合でそれぞれエネルギーが半分の2個の光子（したがって波長は2倍になっている）に分かれるのです。その片方を干渉用、もう片方を監視用におおうという訳です。レーザーはひとつの光子しか装置に入らないよう強度が調整されています。

さて、結果はどうなったのでしょうか。D₀で検出されたすべての光子の位置をプロットするとフラットな線となり、特別な構造は現れません。ところが、D₀のデータの中からD₁の検出器に監視用の光子が入ったものだけ拾い出すと図2の上のように見事な干渉パターンが現れています。このときは元の光子がA,Bどちらのスリットを通過したか分からないことに注意してください。

D₃の検出器に監視用光子が捉えられた時のデータが図2の下です。このときはAのスリットを通過していたことが確定できます。

この結果は、監視用光子がBSA、BSBでA、Bどちらを通ったのか一度決まったのに、後から下流のBSで再び情報を混合してどちらを通ったのか分からなくして干渉パターンを復活させたように見えませんか？監視用光子がD₁~D₄に入るのは、D₀に干渉用光子が入った10億分の8秒ほど後になります。

このように双子姉妹の光子は不思議で奇妙な絆で結ばれていて、この絆（エンタングルメント）は量子コンピュータや量子通信で利用されます。

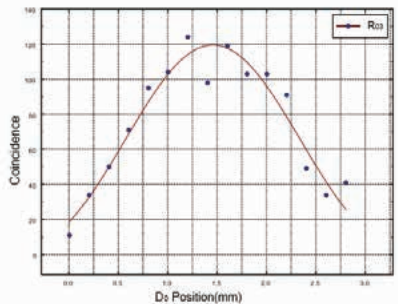
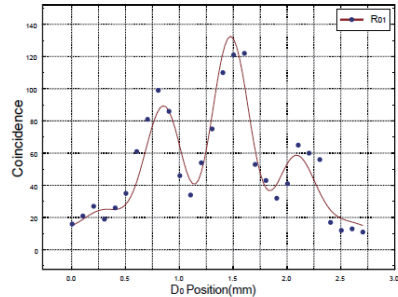


図2 D₁と同期をとったもの(上)とD₃と同期をとったとき(下)のD₀での検出結果。横軸は光子の到達した位置、縦軸は光子の検出数。横軸が明るさ(強度)ではなく、「数」であることに特に注意。つまり、この実験では光は波ではなく粒子なのである。