

「隠れた変数」の理論の実験的判定 (総合報告)

京大・理 町 田 茂

以下に述べることの詳しい内容は

J.F. Clauser and A. Shimony, Reports on Progress in Physics **41** (1978), 1881 ~ 1927

にあり, もっと簡単な紹介が

B. d'Espagnat, Sci. Am. **241** NO.5 (1979), 128

にある。また, 関連した討論が

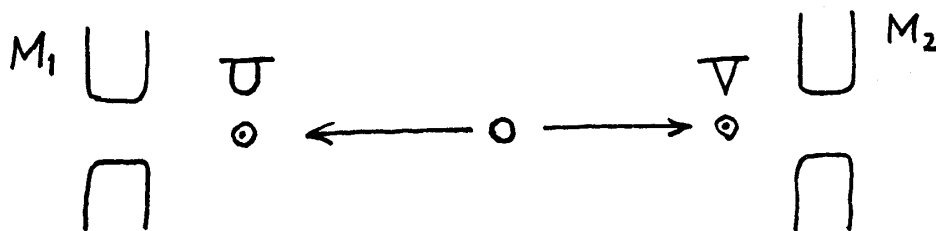
Epristemological Letters, Association F. Gonseth, Hidden Variables and Quantum Uncertainty (Written Symposium, 26th Issue) (June, 1980) にある。

隠れた変数の理論では

- i) 相互作用していない物理的対象は, あらゆる場合に, あらゆる量について, きまった性質をもつ ;
- ii) 観測結果はその量の隠れた変数についての平均によって考えられる。

と仮定する。

例として, スピン 0 の粒子が, それぞれ, スピン 1/2 の 2 個の粒子, U と V, とに崩壊する場合の, U と V とのスピンのある方向への成分の測定を考えよう。



装置 $M_1(M_2)$ で粒子 U(V) の単位ベクトル $\mathbf{a}(\mathbf{b})$ 方向のスピン成分 $(\mathbf{a} \cdot \boldsymbol{\sigma}^{(U)})$ $(\mathbf{b} \cdot \boldsymbol{\sigma}^{(V)})$ をはかる。このとき「U(V) の $\mathbf{a}(\mathbf{b})$ 方向のスピン成分の測定結果 $A_a(B_b)$ が $\mathbf{a}(\mathbf{b})$ に依らない」と仮定する。これは隠れた変数が局所的であることを意味する。この仮定をおくと, 量子力学の予言と違う場合が必ずあり, それを実験的に調べることができる。

上の例のばあい,

λ : 系 $U+V$ を記述する隠れた変数の組,

$\rho(\lambda)$: 考えている集団での λ の確率密度分布

とすると, 積 $A_a B_b$ の平均値は

$$P(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \int d\lambda \rho(\lambda) \bar{A}(\mathbf{a}, \lambda) \bar{B}(\mathbf{b}, \lambda)$$

ここで $\bar{A}(\mathbf{a}, \lambda)$ は A_a の測定値を隠れた変数のうち $\mathbf{a}$ に依るもので平均したものであり, 単位を $\hbar/2$ とすると

$$|\bar{A}| \leq 1, \quad |\bar{B}| \leq 1.$$

これから次の Bell の不等式

$$|P(\mathbf{a}, \mathbf{b}) - P(\mathbf{a}, \mathbf{b}')| \leq 1 + P(\mathbf{a}, \mathbf{b})$$

が容易に証明される。

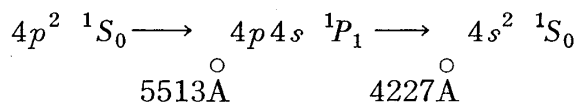
量子力学では $P(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = -(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ となるが, これは一般には, Bell の不等式をみたさない。

このことから, 量子力学とすべて一致する隠れた変数の理論では, A_a は $\mathbf{b}$ にも依存しなければならない。すなわち, そのような隠れた変数の理論は非局所的な隠れた変数を含まなくてはならず, また M_1 と M_2 との距離は巨視的にどんなに遠くてもよいから, “非局所度” は距離とともに減少しない。

以下に実験結果とコメントをあげる：

A1) Cascade photon の直線偏光の相関 S.J. Freedman and J.F. Clauser (Berkeley, 1972)。

Ca



$$\left[\frac{R(\frac{\pi}{8})}{R_0} - \frac{R(\frac{3\pi}{8})}{R_0} \right] = 0.301 \pm 0.007 \quad (\text{量子力学の値, 以下 QM とかく})$$

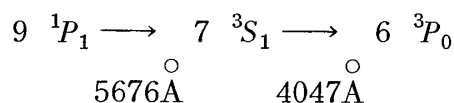
$$'' \leq 0.25 \quad (\text{Bell の不等式より, 以下 Bell と書く})$$

$$'' = 0.300 \pm 0.008 \quad (\text{実験値, 以下 exp とかく})$$

町田 茂

B1) Cascade photon の直線偏光の相関 R.A. Holt and F.M. Pipkin (Harvard, 1973, preprint のみ)

Hg¹⁹⁸



$$\left[\frac{R(\frac{\pi}{8})}{R_0} - \frac{R(\frac{3\pi}{8})}{R_0} \right] = 0.266 \text{ (QM)}$$

$$\text{''} \leq 0.25 \text{ (Bell)}$$

$$\text{''} = 0.216 \pm 0.13 \text{ (exp)}$$

この実験には、レンズの歪みによる systematic error があったと云われている。

A2) Cascade photon の直線偏光の相関 J.F. Clauser (Berkeley, 1976)

Hg²⁰²

$$\left[\frac{R(\frac{\pi}{8})}{R_0} - \frac{R(\frac{3\pi}{8})}{R_0} \right] = 0.2841 \text{ (QM)}$$

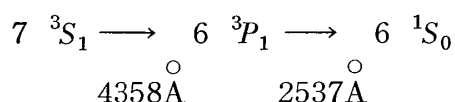
$$\text{''} \leq 0.25 \text{ (Bell)}$$

$$\text{''} = 0.2885 \pm 0.0093 \text{ (exp)}$$

この実験は B1) をチェックする目的で行われたようである。

A3) Cascade photon の直線偏光の相関 E.S. Fry and R.C. Thompson (Texas A. & M. 1976)

Hg²⁰⁰



$$\left[\frac{R(\frac{\pi}{8})}{R_0} - \frac{R(\frac{3\pi}{8})}{R_0} \right] = 0.294 \pm 0.007 \text{ (QM)}$$

$$\leq 0.25 \text{ (Bell)}$$

$$= 0.296 \pm 0.14 \text{ (exp)}$$

B2) 陽電子消滅による二光子の円偏光の相関 G. Faraci, S. Gutkowski, S. Notarrigo and A.R. Pennisi (Catania, 1974)

$$e^+ e^- \rightarrow r r$$

exp : QMと非常に違い, Bell の不等式の上限に近い。

論文が簡単すぎてよくわからない。

A4)陽電子消滅による二光子の円偏光の相関 L. Kasday, J. Ullman and C.S. Wu
(Columbia, 1975)

exp : QM と一致

A5)陽子-陽子散乱 M. Lamehi-Rachti and W. Mittig (Saclay, 1976)

$$p + p \rightarrow p + p \quad (S \text{波のスピンの相関})$$

exp : QM と一致し, Bell の不等式をみたさない。

以上が現在までの実験結果であり, 量子力学と一致しない結果を出した B1), B2) は, それぞれ, A2), A3) および A4) によって否定されている。したがって, (局所的な) 隠れた変数の理論は実験的に否定されたと言ってよいと思われる。

State Reduction をどう考えるか?

大阪府大・工 藤 原 出

すでに英文論文として投稿済みなので省略

SQUID と観測理論

東大・物性研 中 嶋 貞 雄

何年か前に, 柳瀬睦男氏は超伝導の Josephson 効果を観測問題のテストに利用する可能性を指摘されたが, 最近 SQUID (Superconducting QUantum Interference Device) によって Schrödinger の猫のモデルを作れないかという Leggett¹⁾の提案や, この方向への第一歩とおぼしき実験²⁾が現われている。

図のような Josephson 接合 1 個をふくむ超伝導体リングの中心に外部磁束 ϕ_x をあたえておく。リングには誘導電流が流れるから, 全磁束 ϕ は一般に ϕ_x と異なる。準粒子電流や放射場との結合を無視したとき, 磁束 ϕ の運動はハミルトニアン