

スピン相互作用によるエンタングルメントの生成

2010年2月

05380359 谷中 裕太

古典力学と量子力学の大きな違いは、量子力学には不確定性原理があるという事だ。他に量子力学では状態の重ね合わせや測定の統計性など、古典力学にはない性質がある。これらの性質を積極的に情報処理に利用するのが量子情報という分野である。量子系の最小単位として qubit というものを用いる。量子情報論には量子暗号などがある。量子暗号とは A さん B さんが遠く離れている場合の秘密鍵の共有方法で、Quantum tomography (qubit が無限個あれば測定により状態を決定できる) や No-cloning theorem (未知の状態をコピーすることはできない) といった性質を利用する事で成立する。

部分系に対する 2 つの測定が絡み合っている状態、「量子の繻れ」をエンタングルメントと言う。エンタングルメントは、量子テレポーションなどの量子情報の通信に必要不可欠であることがわかっている。量子テレポーションとは、エンタングルした 2 つの qubit を使い、自分がエンタングルした qubit と送りたい未知の状態の qubit に Bell 測定を行い、その測定結果である古典的情報を伝える。相手は相手の持っているエンタングルした qubit に、教えてもらった古典的情報に依存するユニタリー変換を行う。すると自分側にあった、未知の qubit が相手側にレポートするというものだ。

本研究ではそのエンタングルメントをどれだけ生成できるかを見ていく。現在、量子エンタングルメントの作成方法としては、SPDC(Spontaneous Parametric Down Conversion) 法があり、レーザーを非線形光学結晶に照射して、偏光がエンタングルした 2 光子の対を発生させるという方法が一般的である。しかし、生成できる確率が小さかった。そこで今回、エンタングルメントを生成する方法として上がる、「スピンを持つ 3 粒子によりエンタングルメントの生成をする」という方法について考察していく。

固定した 2 つの粒子に別の粒子を入射する事で、スピンの相互作用により、固定した 2 つの粒子のスピン状態がエンタングルする。本研究ではこの 3 粒子の散乱を一次元箱型ポテンシャル問題から、一次元 関数ポテンシャル、2 粒子スピンの散乱、3 粒子スピンの散乱と順を追って計算していく。そして、実際に初期状態を与え、透過後、反射後の状態がどのようになっているかを見る。この時、エンタングルメントが生成できる確率も見ていく。

3 粒子スピンの散乱を考え、透過後、反射後の演算子を計算した。初期状態にその演算子を作用させることで透過後、反射後のスピン状態とその状態での確率を知る事ができる。そこにエンタングルしていない初期状態 $|{-1}\rangle|1\rangle|1\rangle$ を入射した。すると、初期状態ではエンタングルしていなかったのだが、粒子 II,III がエンタングルした。この時の粒子 I に着目すると、粒子 I が spin-flip している場合だけ粒子 II,III がエンタングルしている事がわかった。この時のエンタングルメントを生成できる確率は最大で約 44% しか得られなかった。しかし SPDC 法より高い確率でエンタングルメントを生成できるという事がわかった。エネルギーが高いと、入射した粒子がそのまま透過してしまうので、エネルギーが高い時はこの方法ではエンタングルメント生成は期待できない。

次に、初期状態 $|{-1}\rangle|1\rangle|1\rangle$ の後、粒子 II,III に再び状態 $|{-1}\rangle$ の粒子を何度も入射するとどの様になるかを考えた。2 回目の粒子入射で最も大きい値である 49% が得られたが、入射回数を増やしていくと最大確率は下がっていき、約 36% に収束した。最大値は下がったものの、高いエネルギーで最大確率が得られた。

次に、初期状態 $|{-1}\rangle|1\rangle|1\rangle$ の時、粒子 I が spin-flip している場合だけ粒子 II,III がエンタングルしている事に着目し、入射した粒子を spin-flip したか測定しながら入射していく事を考えた。この方法で一回目の生成確率がどんなに低くても回数を増やす事でほぼ 100% 生成できるという事がわかった。