

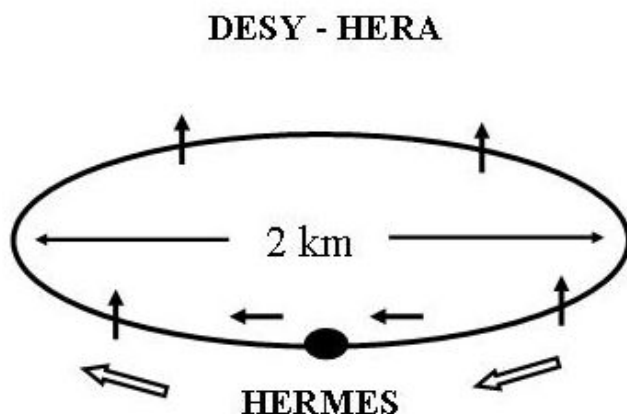
極微の世界：陽子のスピン 1/2 はどのように作られたか？

大学院理工学研究科 基礎物理学専攻 柴田利明

宇宙創生は今から約 140 億年前に起こったと考えられているが、その宇宙創生から 0.1 ミリ秒ほどたったとき、クォークから陽子や中性子がつくられた。それ以降、ほぼ 140 億年の間、クォークは陽子・中性子から単独で取り出されることはない。しかし、陽子・中性子の中身を研究する方法はある。

陽子は素粒子ではなく、大きさと内部構造を持っていて、基本的にクォーク 3 つから構成されている。陽子のスピンの 1/2 であることは確立している、医療診断のための MRI(磁気共鳴画像診断装置)などにも応用されている。それでは、陽子のスピン 1/2 は、クォークからどのように構成されているのだろうか？ これは「陽子のスピンの問題」と呼ばれている。それを研究するには、電子などそれ自体は内部構造を持たない粒子を高エネルギーに加速して陽子にぶつけて散乱させる。たいへん空間分解能がよい電子顕微鏡ということができる。陽子の中身をその直径の 1/10 くらいの分解能で見ることができる。スピンは、物理学の歴史の中でもいろいろなところに表れて、大切な役割を果たしている。スピンの研究によって予想外な発見がなされたことが多くある。

私の研究室では、1994 年からドイツ・ハンブルクにある DESY(ドイツ電子シ



ンクロトロン研究室)の HERA という加速器を使って実験を行っている。12 カ国からなる国際

共同研究で、研究グループの名前は HERMES という。日本からは東工大が唯一の参加者である。HERA はハンブルクの地下約 30 メートルにある環状の加速器シンクロトロンで、直径は約 2 km だ。加速された電子の最終エネルギーは 28 GeV だ。図 1 の矢印に示すように、電子ビームは偏極している。陽子標的も偏極している。図 2 は、HERMES 実験装置を電子ビームの上流側から見たものだ。東工大の研究者は、ハンブルクでこれらの装置を運転するほか、データを日本に送って東工大にあるデータ解析拠点で解析をしている。

最近の成果としては、陽子の中にはアップクォーク、ダウンクォーク、ストレンジクォークなどがあるがそれらのクォークのスピンの陽子スピンに対する寄与を分解して決定することができた。アップクォークは陽子のスピンと同じ方向を向いているが、ダウンクォークは平均としては反対方向を向いている。ストレンジクォークの寄与は小さい。地上の粒子加速器と測定器の性能の向上によって、宇宙初期の陽子と中性子の形成について、特にそのスピンの問題の研究ができるようになったことは画期的で、今後の展開が期待される。

図 1 環状の加速器 HERA を周回する電子ビーム。電子は偏極している。

図 2 HERMES 実験装置を電子ビームの上流側から見たもの。