

微小磁石(スピン)の運ぶ情報と エレクトロニクスをつなぐ磁気モノポール

首都大学東京 大学院理工学研究科 准教授
多々良源



研究の背景

現代社会を支えているエレクトロニクス技術は、物質を構成している素粒子の1つである電子が電流を運ぶ性質を利用しています。一方、コンピュータやTVレコーダなど大容量の記録が必要な機器ではハードディスクという、非常に小さな磁石をたくさん並べた記録媒体が用いられています。この中には小さな磁石のN極、S極の向きとして情報が記録されています。外から磁場をかけない限り磁石は極の向きを保とうとするので、たくさんのデータを長時間保存するためにはハードディスクが適しています。ただデータ処理に使うメモリは、高速が要求されるため現在の技術では磁石を使うことはできません。このためにメモリ情報は電源を切ると消えてしまい、次に電源を入れた際にはシステムを始めから立ち上げ直す必要があり、大きな不便となっています。もしも小さな磁石にもっと高速で情報を読み書きできる技術ができれば、メモリも磁石で作ることができます。すると、電源を入れなおした際にも前の作業状態が瞬時に再現され、そこからスムーズに作業を進めることが可能となり、省エネにもなります。こうしたメモリなどの実現を目指しているのがスピントロニクス技術です。この技術は、電子がもつ極小の磁石(スピンとよばれます)とその流れを用いて情報操作をおこなうことで、新しい原理のデバイスを開発しようというものです。既に、スピンの流れは電流、磁石、また光や熱など、様々な方法で作ることができるようになっており、スピンの流れの制御は確立した技術となってきました。

研究の成果

スピントロニクスデバイスを、従来のエレクトロニクスに組み込むためには、スピンの運ぶ信号を電気信号に変換することが必要です。科研費を使った私たちの研究では、スピンの流れの制御及び電流への変換の可能性を理論的に研究しています。最近の重要な成果としては、スピン信号の電気信号への変換にはモノポールが重要な役割を果たしていることが理論的にわかりました。モノポールはN極またはS極だけからできている磁石のことで(図1)、通常は自然界には存在しません。これは今の磁石を作っている最小単位の磁石であるスピンそれ自体がN極とS極を同数もっているからです(図2)。ただ、モノポールが許されるケースもいくつかあり、宇宙ができた直後、宇宙全体が非常に高温の時期にはモ

ノポールが作られたと考えられています。このモノポールはまだ宇宙を飛び回っている可能性があり、それを観測しようと世界中の研究者が努力していますが、今のところ見つかっていません。私たちは、物質中でも宇宙進化と同じように自然法則の対称性の変化(相転移といいます)が起こることに注目して、物質中特有の新モノポールを理論的に発見しました。このモノポールは通常の磁石と白金などの重い元素をつなげた構造などで、磁石の運動により生じます(図3)。重い元素の中では電子は相対論的效果を強く感じていることがこのモノポールの発生に重要です。いってみれば磁石と白金を組み合わせると宇宙初期の相転移に似た状況をつくることができ、モノポールが作られるわけです。

今後の展望

今後はこのモノポールを実験で実証すること、またモノポールを用いたスピンと電気信号の間の変換デバイスの提案などをおこなっていきます。

関連する科研費

平成19-22年度 特定領域研究「逆スピンホール効果の微視的理論と応用」

平成22-24年度 基盤研究(B)「スピン流輸送現象の微視的理論」

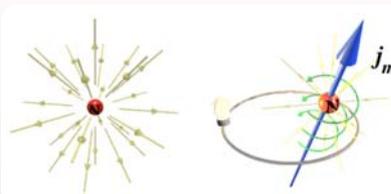


図1 モノポールの概念図。モノポールは放射状の磁場をつくる。また、モノポールの流れ j_m は起電力を生むのでこれを用いて電球をつけることができる。

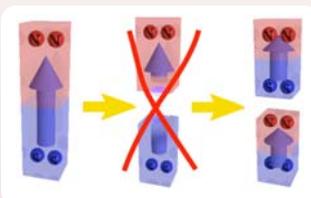


図2 磁石を分割した状況を表す図。通常は磁石を2つに割っても、N極だけを取り出してモノポールをつくることはできない。これは間に必ずS極とN極が対で生成されてしまうからである。

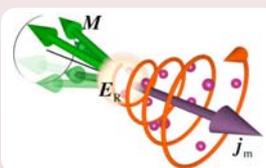


図3 スピン(M)の運動とスピン軌道相互作用(E_R)から生成されるモノポール流(j_m)の概念図。モノポール流は、電子の回転運動を生みだし起電力を発生することで、スピンと電荷の世界を結びつける。

(記事制作協力: 科学コミュニケーター 上田裕美子)