

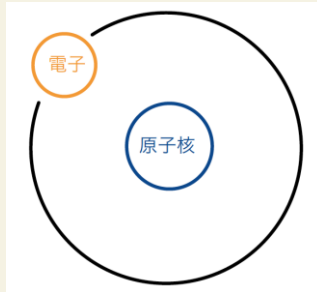


磁性

理論

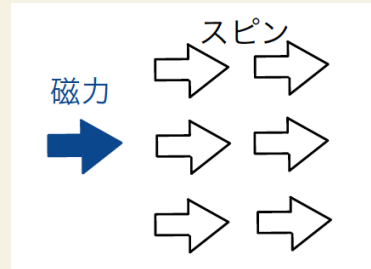
磁石は私たちにとって非常に身近なものです。しかし実際には磁石が磁力を持っているというのは量子力学的な物理現象なのです。磁石に限らず、磁場をかけたときに物質が示す性質を一般に磁性と呼びます。磁場をかけると物質によって様々な反応が起きます。この現象の理由は、物質の中の電子にあるのです。

物質は多数の原子によって構成されています。原子は、原子核とその周りを回る電子からできていますちょうど太陽の周りを地球が公転しているようなものです。実はこの電子、地球と同じように自転しているのです！我々はこの電子の自転を「スピン」と呼んでいます。自転の回転の向きは2種類あり、それを「↑」「↓」のように矢印と同一視することで表現しています。多くの物質ではスピンの向きはバラバラになっています。



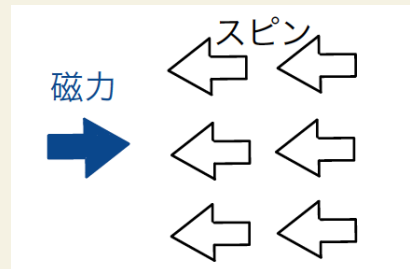
常磁性

さて、まず「常磁性」という性質についてです。これはアルミや酸素などの物質が、磁石を近づけると磁石に引き付けられる性質のことです。物質中でバラバラだったスピンの矢印が、磁石を近づけたことで磁力と同じ向きに揃おうとすることで起こる現象です。常磁性体は、磁石を遠ざけると磁力を失ってしまいます。



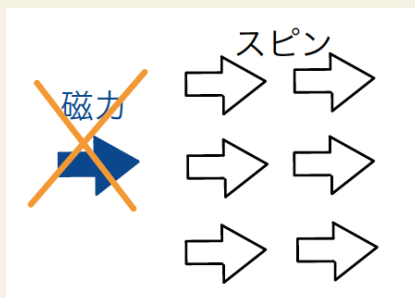
反磁性

次に、「反磁性」です。これは水やビスマスなどの物質が、磁石近づけると磁石から離れようとする性質のことです。常磁性物質とは異なり、磁石を近づけると磁力の向きと反対向きにスピンの矢印が揃おうとするので、このような現象が起きます。実はこの反磁性という性質は全ての物質が持っており、他の磁性効果が小さいような物質を反磁性体と呼んでいるにすぎません。



強磁性

では磁石の性質はどのようなものでしょうか。実は磁石の性質は上の2つの性質と比べると明らかに異質なものです。磁石は外から何か近づけたりせずとも、勝手に磁力を持っているのです。つまり、最初からスピンの矢印は同じ方向を向いているのです。これは、そのようにスピンを配列することで物質のエネルギーを下げるからです。エネルギーが高い状態は不安定ですからね。このような性質を「強磁性」と呼びます。また、鉄のように最初から磁力は持っていないくとも、一度磁石を近づけるとしばらく磁力を持ち続けるような物質も強磁性体の仲間です。これは、一度揃ったスピン同士がお互いを束縛する力が働くことによります。



相転移

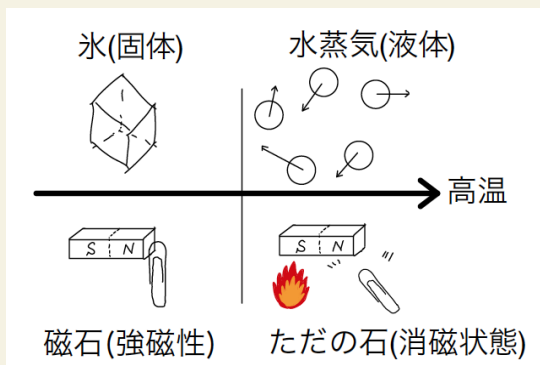
余談ですが、磁石を充分熱するとどうなるでしょうか。答えは、「磁力を失う」です。熱くなると中のスピンは不安定になってバラバラになってしまうからです。実はこれは、氷を熱すると水蒸気になって空気中に飛び散っていくのと同じような現象なのです。これを物理学的には「相転移」と呼びます。少し難しい話になりますが、磁性の相転移はハミルトニアン

$$\mathcal{H} = -J \sum_{i=1}^L \sigma_i \sigma_{i+1} - \mu_0 H \sum_{i=1}^L \sigma_i$$

を平均場近似して導出される方程式

$$\psi = \tanh(\beta z J \psi + \beta \mu_0 H)$$

を自己無撞着に解くことによって、ある温度以下で磁化が有限になることを確かめることができます。



参考文献

- [1] 斎藤英治, 村上修一. スピン流とトポロジカル絶縁体. 共立出版. 2017. 158p.
- [2] 田崎晴明. 統計力学Ⅱ. 培風館. 2018. 518p.