

すべての電荷は → 電場をつくる。

すべての電荷は → 電場から力を受ける(クーロン力)。

動く電荷(電流)だけが → 磁場をつくる。

動く電荷だけが → 磁場から力を受ける(ローレンツ力)。

これが、電磁気学の基本である。残された重要な法則は、電場と磁場の相互作用を扱う電磁誘導の法則だけ、といってよいだろう。

たとえば、上の表現を拡大して、

時間的に変化する電場が → 磁場をつくる。

時間的に変化する磁場が → 電場をつくる。

などということができる。

以上が電磁気学のすべてである、といっても過言ではないのである。

●クーロンの法則からはじめるか、マクスウェルの方程式からはじめるか

電磁気学のテキストは、たいてい、クーロンの法則からはじまる。それは歴史的な発展を追うことでもあり、初心者にとって、身近な静電気現象をイメージできるし、万有引力との類似もあるし、といったことで学びやすいからである。

しかし、少数派ながら、マクスウェルの方程式からはじまるテキストもある。

歴史的に見て、クーロンの法則が電磁気学の出発点であるなら、マクスウェルの方程式は電磁気学の終点(完成)である。だから、終点からはじめる方法には無理があるのはとうぜんなのだが、なぜあえてそのような方法をとるのかといえは、上で述べた電気と磁気の見事な相対論的体系をイメージするには、マクスウェルの方程式が好都合だからである。

本書は、多数の例にならって、クーロンの法則からはじめるのだが、そうした歴史的発展をたどりながら、マクスウェルの方程式を書ける準備ができた段階で、適宜、紹介していくことになるだろう。たとえば、さっそく次の講義2では、クーロンの法則から出発して、 $\text{div} \boldsymbol{E} = \rho / \epsilon_0$ と

いうマクスウェルの方程式の1つにたどりつくことになるだろう。

なぜそうするかといえは、もちろん、電磁気学の全体的体系をつねに念頭においておいて頂きたいからである。

それゆえ、初心者は、マクスウェルの方程式にびびらないでほしい。
それを使って難しい計算をしようというのではない。 マクスウェルの方程式は、電磁気学の道標なのである。 この短いが奇妙な数式の道標を目にしたら、電磁気学という旅の全体を想起して、自然界の絶妙な風景に思いをはせてほしいのである。

●ぜひとも必要な数学の習得

とはいえ、マクスウェルの方程式は、数学的記述である。この数式を解く必要はないものの、その物理的意味をはっきりイメージしておくことは、ぜひとも必要である。

思うに、大学で物理を学んで最初に、さすが大学の物理だなあと感動するのは、この電磁気学に登場するいくつかの数学と、その物理的イメージが、自分の頭の中で合体するときではなかろうか。

最初はちょっとしんどい旅ではあるが、その旅を一通りこなしてその意味を理解したとき、おそらく知的興奮を覚えない人はいないであろう。

多くのテキストでは、このもっとも重要な数学の旅が、ほとんどないがしろにされている。つまり、これは数学であって物理ではないから、数学の授業の中で勉強しておきなさい、と突き放されているのである。

しかし、これらの数学は、物理的イメージという衣を着けたとき、はじめて輝いて見えるのである(数学ではなく、物理学の立場からいえば)。

そこで、本書では付録「やさしい数学の手引き」として、巻末にかなり詳しく解説をしておいた。初心者には、ぜひ、この手引きを何度も読み返してほしい。そうすれば、これらの数学を構築した先人たちの知的喜びを共有できることだろう。そして、その段階で、電磁気学の勉強の1/3くらいは突破したといえるかもしれない。

International System of Unit (SI 単位系)

● 単位系の考え方

最後に、電磁気学を複雑に見せている単位系のことにふれておこう。

この複雑さこそ、まさに見せかけであって、電磁気学の本質では決してない。そのことをまず肝に銘じておこう。あえて暴言を述べれば、最初は単位のことなど意識しなくてよい。単位系の泥沼に落ち込んで、イヤダッと放り投げるよりは、その方がずっとましである。

電磁気学には、独特の単位が多数登場する。クーロン、ボルト、アンペア、オーム、ファラッド、ウェーバー、テスラ、ヘンリー、などなど……。しかし、電磁気学のすべての単位は、メートル、キログラム、秒という力学の基本単位に、あと1つだけを加えれば必ず表せるのである。その1つを **SI 単位系** では **アンペア** としているが、それは便宜上のことである。

まず、磁気現象を学ぶまでは、**クーロン**を基準に考えるのが、もっとも分かりやすいであろう。常識的に考えて、電気量が電磁気学の基本となるのはとうぜんである。

磁場は、動く電気、すなわち電流がつくるものだから、磁気現象については電流の単位であるアンペアを中心に考えると分かりやすい(磁場の単位は、アンペア/メートルである)。しかし、磁場による力は、力学との関係上、ニュートンを使わざるを得ないから、いわばアンペアとニュートンとを結ぶ単位として、**ウェーバー**という磁束の単位が登場することとなる。

以上のことをとりあえず頭に入れておいて、あとは新しい単位が登場するたびに、「ああ、そうですか」と適当に相づちをうっておけばよいだろう。

電磁気学の学び方(あるいは教え方)は、千差万別である。すべてを厳密に学ばなければ(教えなければ)、誤解をまねくという意見ももつともである。しかし、厳密さを強制されるあまり物理嫌いになるよりは、まずはシンプルに考えて、自然の不思議さ、面白さを感じることの方が大事ではなかろうか。本書は一貫してそういう立場に立っている。

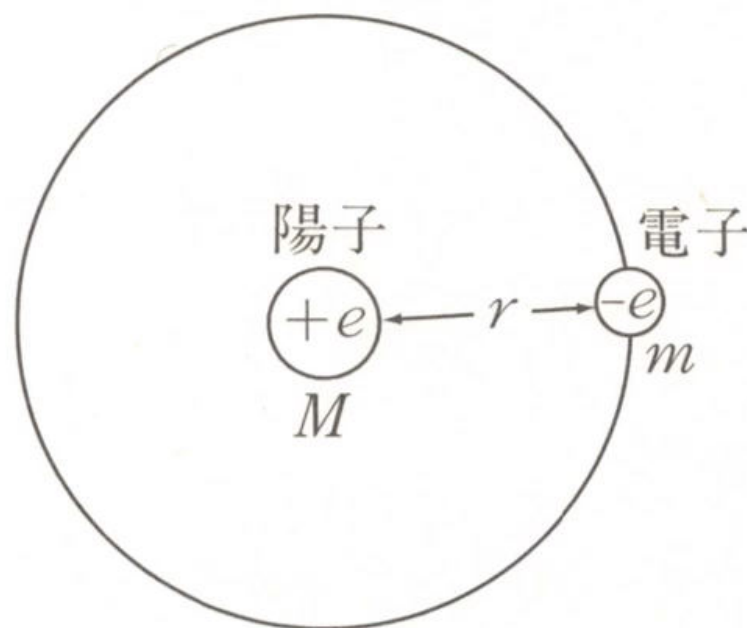


演習問題
1-1

水素原子は、正の電気素量をもつ陽子と負の電気素量をもつ電子からなる。これらの陽子と電子の間に働く静電気力の大きさはいくらか。また、その大きさは陽子と電子の間に働く万有引力の何倍か。ただし、電気素量の大きさを 1.6×10^{-19} [C]、陽子の質量を 1.7×10^{-27} [kg]、電子の質量を 9.1×10^{-31} [kg]、電子の軌道半径を 5.3×10^{-11} [m]、クーロン力の比例定数を 9.0×10^9 [N·m²/C²]、万有引力定数を 6.7×10^{-11} [N·m²/kg²] とせよ。

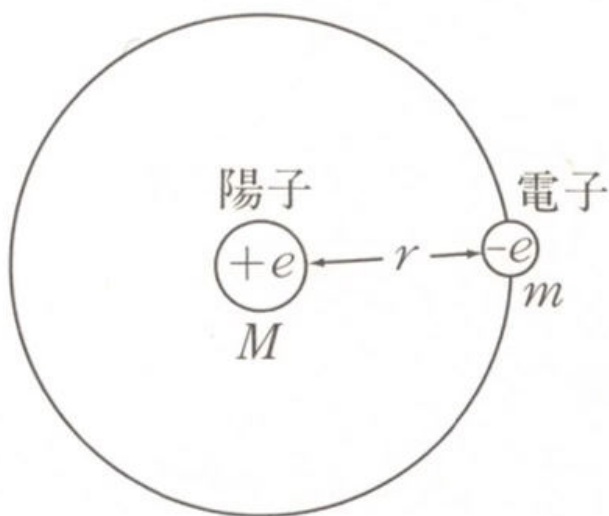
解答 & 解説

図1-6 ● 水素原子



陽子と電子の電荷の大きさを e ，電子の軌道半径を r ，クーロンの比例定数を k とすれば，陽子と電子の間に働くクーロン力の大きさ F_1 は，

$$F_1 = k \frac{e^2}{r^2}$$



$$= 9.0 \times 10^9 \times \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(5.3 \times 10^{-11})^2}$$

$$= 9.0 \times 10^9 \times \frac{2.56 \times 10^{-38}}{28.1 \times 10^{-22}}$$

$$= 8.2 \times 10^{-8} [\text{N}] \quad \dots\dots (\text{答})$$

陽子の質量を M ，電子の質量を m ，万有引力の比例定数を G とすれば，陽子と電子の間に働く万有引力の大きさ F_2 は，

$$F_2 = G \frac{Mm}{r^2}$$

よって,

$$\begin{aligned}\frac{F_1}{F_2} &= \frac{ke^2}{GMm} \\ &= \frac{9.0 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{6.7 \times 10^{-11} \times 1.7 \times 10^{-27} \times 9.1 \times 10^{-31}} \\ &= \frac{9.0 \times 2.56}{6.7 \times 1.7 \times 9.1} \times 10^{40} \\ &= 2.2 \times 10^{39} \text{ 倍} \quad \dots\dots (\text{答})\end{aligned}$$