

はしがき

本書は、初等的な物理学(高校レベルの物理)の理論的な側面を明確に記述することにより、物理学の本質的な理解をはかると同時に、内容豊富な問題演習を通して確実な実力を養成することを目的としている。読者としては次のような人を想定している。

1. 高校物理に飽き足らない人

物理は数少ない原理から自然の本質を理解しようとする学問であると思っていたのに、高校で習う物理が天下りの面白くないと不満をもっている高校生も多いだろう。高校物理の教科書は、分量的な制約と数学的な制約のために、自然の本質について必ずしも十分な説明がなされていない。本書では、物理学が数少ない基本原理からどのように論理的に構成され、自然現象の神秘を解き明かしていくかを、わかりやすく説明する。その際、高校で習う微積分はどしどし使う。高校で習わない微積分についても、必要なものは、簡単な説明を付けた上で使うつもりである。本来物理学と微積分は切っても切り離せない関係にある。古典力学の基礎を築いたニュートンは、力学法則の発見と同時に微積分法を創造したのである。とはいっても、物理にとって数学はあくまで道具であり、物理現象の本質が数学にあるのではない。自然現象を物理として理解してもらうことが本書の目的である。本書を読むことによって、物理に対する興味を倍加し、その虜になってもらえればと思う。

2. 東大等最難関大学に合格する物理の実力をつけたいと考えている人

物理の実力は、どんなによく書かれた解説を読んだりあるいは講義を聞いても、それだけでは身につかない。自ら自然現象を考察し、その本質を解き明かそうと努力することによって実力がつくのである。この現象はどういうことなのかと、昼夜を問わず考えを巡らせ奮闘することが重要である。このようなプロセスなしにどのような創造も発見も生まれない。初等物理学におけるこうした訓練用の問題は、大学入試問題などの中に多く見出すことができる。本書では、そのような目的でこれらの問題を扱う。

以上のような物理学の論理的(理論的)な理解とその問題演習を通して、物理の虜になると同時に、確かな実力をつけ、その結果として東大等の難関大学に合格することを願っている。

2014年4月

杉山忠男

「三訂版」の特徴と本書の構成

「理論物理への道標 三訂版」では、「改訂版」の方針を受け継ぎながらも、理論編に例題を多くし、読者が理解しやすくなるように努めた。さらに、演習編に、興味深い問題の追加などを行った。

◎理論編

本文では、それぞれの分野の基礎理論を解説している。そこには、高校物理で普通に習う内容は当然含まれるが、それだけではなく、物理学の本質にかかわる部分について、掘り下げた説明をしている。特に、「理論物理セミナー」は本書の特徴をなすものの1つであり、物理的に興味深い内容を、高校生にわかるように噛み砕いて説明したつもりである。ここで説明されている事柄は、高校生向けの他の参考書などにはほとんど見られないものであり、また、大学生向けの書籍においても丁寧には説明されていないものが多いと思う。じっくりと読み、理解を深めて欲しい。その際、必ず紙と鉛筆をもち、式などをチェックしながら読み進めてもらいたい。単に文や式を目で追うだけでは、その内容を理解したことにはならない。

「Topics」では、物理学の話題を解説した。ここでは、数式的あるいは論理的な厳密さは必ずしも追求していない。物理の面白さを実感してもらえればよい。

◎演習編

一部に創作問題を含むが、問題はほとんど難関大学の入試問題の過去問である。思考力を要するものばかりであり、公式を当てはめるだけで解けるような問題は除かれている。また、入試としての重要問題であっても、問題集などに典型問題としてしばしば取り上げられている問題は少なくした。代わりに、入試にはそれ程多く登場するわけではないが、物理学の本質に根ざした問題をなるべく取り上げた。

最後に、「Appendix(付録)B」で、特殊相対性理論について簡単な説明をした。また、理論編において、何度か相対論に言及している。相対論は、高校課程で習わない分野であるが、多くの諸君が興味をもっている分野であろう。相対論に対する理解を深め、興味を倍加してもらいたい。

本書で用いる記号法

本書では、いろいろなところで、時間微分とベクトルについて、簡略化した次の記号法を用いる。ある物理量 q の時間 t での1階微分および2階微分を、それぞれ、

$$\dot{q} = \frac{dq}{dt}, \quad \ddot{q} = \frac{d^2q}{dt^2}$$

のように、上にドット(\cdot)あるいは2ドット($\ddot{\cdot}$)を付けて表す。例えば、位置 x 、速度 v 、加速度 a の間の関係式を、

$$v = \dot{x}, \quad a = \dot{v} = \ddot{x}$$

と書く。

また、ベクトル \vec{a} を a のように、太字で表す。したがって、位置ベクトル \vec{x} は x 、速度ベクトル \vec{v} は v 、加速度ベクトル \vec{a} は a などと表す。

ただし、入試問題ではこれらの記号法は使われないので、本書でも、問題の中では、これらの記号法を多用することはしない。これらの記号法は、通常大学課程でよく使われるものである。

§2 幾何光学

光源から放射された光が、レンズや鏡により1点に集められる現象(結像)について研究する分野を幾何光学という。

レンズによって光が実際に集まってできる像を実

像といい、あたかもそこに物体があり、そこから光が発したかのように見えるとき、その像を虚像という。また、レンズの中心を通り、レンズに垂直な直線を光軸という。

2.1 レンズによる光の屈折

凸レンズに入射する光には次の3つの性質がある¹⁾。

- (i) 光軸に平行な光は、凸レンズ通過後、焦点と呼ばれる1点に集まる。
- (ii) 凸レンズの中心に向かう光は、レンズ通過後、そのまま直進する。
- (iii) 凸レンズに関して焦点と対称な光源側の点(これも焦点という)を通った光は、レンズ通過後、光軸に平行に進む。

これらの性質を用いて、凸レンズの前方(左側)に置かれた物体ABの像A'B'を作図により求めることができる。図2.1は、物体を手前の焦点F'より遠く(左側)に置いた場合である。このとき、レンズの後方(右側)の焦点Fより遠方(右側)に倒立実像ができる。図2.2は、物体を焦点F'よりレンズの近く(右側)に置いた場合である。このとき、レンズの前方(左側)の焦点F'より遠方(左側)に正立虚像ができる。

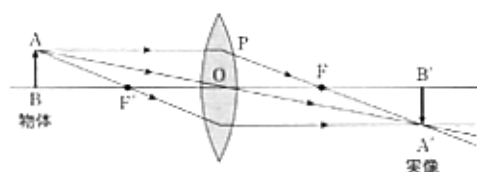


図 2.1

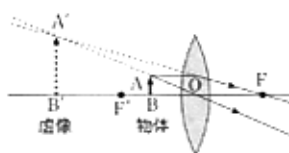


図 2.2

凹レンズに入射する光には、次の2つの性質がある²⁾。

- (i) 光軸に平行な光は、凹レンズ通過後、前方(左側)の焦点から出た光のように進む。
- (ii) 凹レンズの中心に向かう光は、レンズ通過後、そのまま直進する。

これらの性質を用いて、凹レンズの前方(左側)に置かれた物体ABの像A'B'を作図により求めることができる(図2.3)。この場合、像は物体の位置にかかわらず正立虚像となる。

- 2) これらの性質も、凸レンズの場合と同様に近似的なものである。

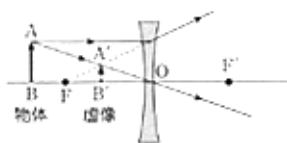


図 2.3

2.2 レンズの公式の簡便な導出法

凸レンズから物体までの距離を a 、レンズから像までの距離を b 、レンズから焦点までの距離(これを焦点距離という)を f とし、 $a > f$ の場合について、 a 、 b 、 f の間に成り立つ関係式(これをレンズの公式という)を導こう。このとき、像は倒立実像となる³⁾。

図2.4において、 $\triangle ABO$ の $\triangle A'B'O$ より、

- 3) 凸レンズで虚像ができる場合および凹レンズの場合について、各自導いてみよう。

よって、 $\frac{v}{c}$ の1次の項までで両式は一致する。

相対論的な式(4.2)は、厳密に成り立つ式であり、非相対論的な式(4.1)は、 $\frac{v}{c}$ の1次の項までで近似的に成り立つ式である。よって、(4.1)式で、光源が動かず、観測者が動くと考えて分子を変化させても同じことであるが、非相対論的な光のドップラー効果の式は、(4.1)式のように表すのが普通である。

理論物理セミナー18 光の分散と屈折率

4.1で述べたように、光の分散は、光の波長(振動数)により屈折率が異なるために起こる。それでは、屈折率はなぜ光の波長により異なるのであろうか。このことを考えるには、光が電磁波であること、特に、電場の波であることを考慮しなければならない。

1. 屈折率

§1で述べたように、光の速さは誘電率と透磁率によって与えられる。また、物質の屈折率は、真空中の光速と物質中の光速の比で与えられる。したがって、誘電率 ϵ 、透磁率 μ の物質の屈折率 n は、真空中の光速を c 、物質中の光速を c' として、

$$n = \frac{c}{c'} = c\sqrt{\epsilon\mu}$$

と表される。

いろいろな物質の透磁率は、鉄などの強磁性体と呼ばれる一部の物質を除いて、ほぼ真空の透磁率に等しい。そのため、多くの物質では、

$$n \propto \sqrt{\epsilon} \quad \dots\dots ①$$

が成り立つ。

①式より、物質の屈折率を考えるためには、誘電率がどのようにして決められるのかを理解する必要がある。

2. 分極と誘電率—誘電体内でのガウスの法則—

ここでは、第5章の3.3で簡潔に述べる分極と誘電率の関係、および誘電体内でのガウスの法則を、一般的に説明しておこう。

物質(誘電体)に電場 E をかけると、誘電体の内部の原子において、正の電荷をもつ原子核の位置と周囲を回っている負の電荷をもつ電子の中心の位置がずれて分極が起こる。

いま、単位体積あたり $+q$ の正電荷の中心と、 $-q$ の負電荷の中心が l だけずれたとき(図1)。

$$P = ql$$

を分極と定義する。

誘電体内部の原子に分極が起こると、誘電体内では、正の電荷と負の電荷が打ち消し合うが、誘電体の表面では正または負の電荷が残り、誘

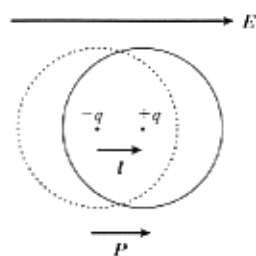


図1