

本書の利用法 まえがきにかえて

■ 物理をものにするためには、実際に問題を解く、つまり演習が絶対的に必要です。一般論は個別例にそくして理解されるからです。本書は筆者が書いた参考書『新・物理入門』にそった演習書です。しかし『新・物理入門』がなくともこれだけで読めるし、これだけで学習できるように配慮してあります。以前の『新・物理入門問題演習＜物理 IB・II＞』を新課程に沿うよう電気回路の図などを改めています。新課程において加わったテーマはありませんので問題の内容、題数は変更していません。大学入試に向けて本書に掲載されている問題で必要十分な演習を行うことができます。

■ 収録した問題は、初級から中級レベルの基本演習が 67 題（創作問題と実際の入試問題）、中級から上級レベルの実戦演習が 37 題（すべて入試問題）、そして上級レベルの記述演習が 21 題（すべて創作問題）の合計 125 題で、すべて解答・解説が付き、高校物理の全範囲（物理 I と II）を網羅してあります。時間がないとき、あるいは初読のさいには、基本演習だけを先に解くとよいでしょう。それだけでもかなりの実力アップが見込めます。さらに実戦演習までマスターするならば、相当のレベルの大学の入試に必要な力をつくでしょう。いずれにせよ、繰り返してやることは重要です。記述演習では物理の面白さを味わってください。

■ 多くの学生諸君が記述式の問題を苦手としているのに反して、記述式問題を課す大学が増加しつつあります。そのため本書では記述答案の書き方に力を入れ、記述演習にはすべて手書きの模範解答を添えてあります。また、基本演習も実戦演習も穴埋め問題を採用せず、解答も記述答案を意識して書きました。記述演習に挑戦するときには、できるだけ結果を答案として書くことで思考過程を論理的に表現する力を身につけてください。

■ 物理学の理論を理解し学力をつける基本は、労力を惜しまずに自分で手を動かして計算をし、問題を解くことです。鉛筆を手にして意欲的にチャレンジしてください。本書が学生諸君の物理の学習に少しでも役立つことを願っています。

山本 義隆

目 次

第1章 力 学

§ 1	運動方程式と等加速度運動	1
§ 2	束縛力と束縛条件	11
§ 3	衝突と保存則	21
§ 4	単振動	35
§ 5	円運動	49
§ 6	万有引力による運動	61
§ 7	剛体のつりあい	73

第2章 熱 学

§ 8	理想気体の状態方程式	81
§ 9	熱力学第1法則	91

第3章 波

§ 10	力学的な波動	101
------	--------	-----

第4章 電磁気学

§ 11	静電場とコンデンサー	117
§ 12	回路と電流	139
§ 13	磁場とローレンツ力	151
§ 14	電磁誘導	165
§ 15	交 流	181

第5章 光 学

§ 16	光	199
------	---	-----

第6章 現代物理学

§ 17	前期量子論	223
§ 18	原子核	237

第1章 力学

§ 1 運動方程式と等加速度運動

基本事項

■ 力学の第1の原理 — 運動方程式

質量 m の物体の運動は、次の運動方程式に支配されている：

$$m\mathbf{a} = \sum \mathbf{f}_i \quad \text{①}$$

ここに、右辺は他の物体ないし場(重力場、電場、磁場)が着目している質量 m の物体に及ぼす力の合力であり、左辺の $\mathbf{a}$ はその力のためにその物体に生じた加速度を表す。

力がわかれば、運動方程式から加速度がわかり、それから任意の時刻の速度や位置を求める(つまり運動を求める)のは数学の問題になる。したがって、力学の第一歩は、なにはさておき運動方程式が書けるようになることからはじまる。

■ 運動方程式を書くためには、着目している物体ごとに、その物体に働いている力を描いて、適当な座標軸をとって合力の成分を表し、それが物体の質量と加速度の積のその成分に等しくなるようにおけばよい。ただし、ここで次のことに注意してもらいたい。

運動方程式①の等号は右辺と左辺が単純に等しいといっているのではない。もちろん、イコールとあるからには両辺は量的には等しいけれども、概念的・物理的な意味内容は右辺と左辺で異なる。ここが大切なところ。

加速度は速度の変化率であり、したがって運動方程式の左辺は運動の変化の割合を表している。他方、右辺はその変化を引き起こす原因としての力である。いい直せば運動方程式は、ある物体に力が加えられたならば、その結果としてその物体には力の方向に力に比例した速度の変化、すなわち加速度が生じるという、原因結果関係を表しているのである。

■ 作用・反作用の法則

すべての力について、「作用・反作用の法則」が成り立つ。つまり、物体 P が物体 Q に力を及ぼしているならば、必ず Q も P に同じ大きさで逆向きの力を及ぼしているというものであり、これが力学の第2の原理である。

加速度

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2}$$

とくにつりあっている場合は、①は左辺が0で、そのとき①式を「つりあいの式」という。

自然界の力

基本力

重力(万有引力)

電磁力(クーロン力)

強い相互作用(核力)

弱い相互作用(β 崩壊)

(強い相互作用と弱い相互作用は、原子核と素粒子にのみ働く。)

巨視的な力

分子間力(電磁力が起源)の合力としての弾性力・張力・抗力・摩擦力。

物体 P の運動方程式

$$m_P \mathbf{a}_P = \sum \mathbf{f}_{Pi}$$

力の結果
P に生じた
加速度

P に働く力の
合力

本書では、ベクトルを太字(ボールド・タイプ)で記す。

なお、物体 P の運動方程式を書くときには、①の右辺には外から P に働く力だけを書き、P が他の物体に及ぼす力を書いてはいけない。

■ 等加速度運動

とくに物体に働く力が一定のとき(複数の力が働くときは合力が一定のとき)、運動方程式①より得られる加速度は一定であり、この場合の運動を「等加速度運動」という。

簡単のため一次元の運動、たとえば x 軸上の運動を考える。加速度(つまり速度の増加率) a が一定であれば、速度が毎秒 a の割合で増えるから、時刻 0 から t (単位は秒) までの速度の増加は

$$v(t) - v(0) = at$$

$$\therefore v(t) = v(0) + at \quad (2)$$

この間の移動距離は、この場合は速度が一様に増加するから、最初
の速度 $v(0)$ と終わりの速度 $v(t)$ の平均速度で時間 t 動いたとして

$$x(t) - x(0) = \frac{1}{2} \{v(t) + v(0)\}t = v(0)t + \frac{1}{2}at^2$$

$$\therefore x(t) = x(0) + v(0)t + \frac{1}{2}at^2 \quad (3)$$

もちろんこの結果は、速度と加速度の定義 $v(t) = \frac{dx}{dt}$ および

$a(t) = \frac{dv}{dt}$ を積分して得られる一般的な関係、すなわち

$$\int_0^t a(t)dt = \int_0^t \frac{dv}{dt}dt = v(t) - v(0)$$

$$\therefore v(t) = v(0) + \int_0^t a(t)dt \quad (4)$$

および、まったく同様にして得られる

$$x(t) = x(0) + \int_0^t v(t)dt \quad (5)$$

に、 $a(t) = a$ (一定) を代入しても得られる。(後述、第1章、§4、基本事項参照。)

なお $x(t) - x(0)$ を **変位** という。このとき

$$\frac{d}{dt}\{x(t) - x(0)\} = \frac{d}{dt}x(t) = v(t)$$

であるから、速度と加速度はそれぞれ変位を t で1回微分したものの、2回微分したものといってもよい。

時刻 0 での位置と速度、
つまり 1 次元の運動の場合
では

$$x(0), v(0)$$

の値は **初期条件** とよばれ、
運動方程式とは別に与えら
れていなければならない。

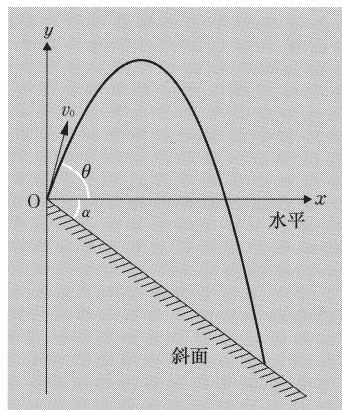
注意!

④、⑤は任意の a に対して
成り立つけれども、②、③
は等加速度運動(a が一定
の場合)にしか使えないこ
とに注意。

● 基本演習 ●

1 静止していた列車が、一定加速度 $\alpha(>0)$ で動きだし、速度が v になってからしばらく等速度で動き、その後一定加速度 $-\beta$ (ただし $\beta>0$) で減速して再び静止した。経路は一直線、通過距離を l として所要時間はいくらか。また、 α , β , l が一定として、所要時間を最小にする v を求めよ。

2 水平と α の傾きを持つ斜面の上端から下の方を向き、水平面に対して上向きに θ の方向に速さ v_0 でボールを投げ出した。ボールが斜面につくまでの時間、および、ボールを投げ出した点からボールが斜面上に落ちる点までの距離を求めよ。重力加速度の大きさを g として、図のような座標系を使えばよい。



3 地上に静止していたエレベーターが時刻 0 に鉛直上方に加速度 a の等加速度運動をはじめた。重力加速度の大きさを g とする。

- (1) エレベーターの床においた上皿ばかりの上に質量 m の小石を置いたところ、はかりの針は少しふれて後止まった。針の指している値はいくらか。
- (2) 時刻 $t_1>0$ にエレベーターの床の上からこの小石をエレベーターに対する速度 v_0 でもって、上向きに投げ上げた。小石がエレベーターの天井にぶつからないとして、小石がエレベーターの床から最も離れる時刻と、そのときのエレベーターの床から見た小石の高さを求めよ。

