

はじめに

物理の学習においてまず大切なことは、各用語の意味や物理量の定義を正しく知り、それらを用いて記述される現象や法則をしっかりと理解することです。物理の理論とは、この現象や法則の体系のことですが、この部分の理解が浅いまやみくもに公式を覚えても、物理を得意にすることはできないでしょう。

理論の基礎をひとつお理解したら、実際に手を動かして問題を解く練習をすることも必要です。どの教科にもいえることですが、土台となる基礎ができたうえで演習をすることが、実践力を養成するのに最も効率的な方法なのです。物理の問題演習を行うということは、抽象的な物理法則からいかにして具体的な現象が生じるのかを体験するという事です。この経験を積み重ねることで、より深い理解に到達することができ、問題を解く能力もさらに上がってくるのです。

「コンプリート 物理」シリーズは、理論体系を学習するための参考書と実践演習を行うための問題集の両方の機能をもつ、欲張りな学習書です。「読んで納得」することと「解いて定着」させることの両方の効果により、物理に対する理解を深めることができます。本書をマスターしたならば、大学入試を突破する実力はすでに備わっていることでしょう。

本書を利用される皆さんが、物理を得意科目にして、志望校に合格することを願ってやみません。

著者一同

本書の使い方

まず各章ごとに本文を読んで、しっかり内容を理解しましょう。難しい箇所もあるかと思いますが、何度も繰り返し読んだり自分で図を描いたり計算したりして、とにかく納得することが大切です。その後に章末の演習問題を解いてください。ただし、ある程度自信がある人は、いきなり演習問題に挑戦して疑問が生じたときに本文を参照する、というやり方でも構いません。

本文中には《例題》と【練習】を配置しました。《例題》は、基本概念の確認や公式の導出などを扱っています。中には難しいものもあるので必ずしもすべて自分で解かなくてもよいですが、《例題》の解き方には物理特有の考え方が含まれているので、解法はぜひ読んで理解してください。

【練習】は基本的または典型的な問題を選んでありますので、必ず自分で解いてみてください。初見で解けなくても、何度もやり直して解けるようになるまで繰り返すことが重要です。【練習】が自力で解けるようになったなら、一応の基礎は身についたと思ってよいでしょう。


演習問題は、難易度を3段階（□：やや易～標準、▣：標準～やや難、■：難）で表示しています。難関大を志望する受験生は、すべての問題に取り組むべきでしょう。演習の際には、入試本番を想定して答案を作成することをお勧めします。大学入試に対して合格レベルに達するためには、問題の意味を的確に読解し、法則を正しく適用し、計算した結果を吟味し、そして論理的で説得力のある答案を作成するという総合力が必要です。他者に読んでもらうことを意識して答案を作成することにより、総合力が養成されます。

本書ではその他に、学習の便宜のために、以下の標識を設置しました。

point：基本概念を理解する際や問題を解く際に意識すべき重要事項

comment：ぜひ知っておきたい周辺知識

注意：つまずきやすいところや誤解しがちなところに対する注意喚起

また、本格的な理解を追求するためにSTEP  の欄をつくりました。この部分はレベルが高いですが、余裕があったら読んでみてください。物理への興味を高めるのにきっと役立つと思います。


c o n t e n t s

はじめに	_____	2
本書の使い方	_____	3


第1章 物体の運動

1.1	運動の記述	_____	6
1.2	直線上の運動	_____	6
1.3	平面上の運動	_____	16
	1 相対運動	26	
	2 軌道の式	27	
	3 スキージャンプ	28	

第2章 力とつり合い

2.1	質量と力	_____	29
2.2	いろいろな力	_____	30
2.3	力のつり合い	_____	33
2.4	剛体のつり合い	_____	39
	4 三角台とその斜面上のつり合い	49	
	5 棒に働く力のモーメントのつり合い	50	
	6 剛体の転倒	51	
	7 球体のつり合い	53	

第3章 運動の法則

3.1	運動の3法則	_____	54
3.2	運動方程式を立てる手順	_____	57
3.3	運動方程式を解く	_____	63
3.4	慣性力	_____	65
	8 斜面上でつながれた3物体の運動	72	
	9 動滑車	73	
	10 2物体の運動と摩擦力	74	
	11 3物体の運動	75	
	12 動く台上の2物体の運動	76	
	13 動く三角台上での小球のつり合い	77	
	14 等加速度運動する台上の物体の運動	78	

第4章 エネルギーと運動量

4.1	仕事とエネルギー	79	
4.2	運動量保存則	91	
4.3	重心運動と相対運動	100	
演習問題	15	水平投射となめらかな床との衝突	107
	16	鉛直面内での振り子の運動と衝突	108
	17	2球の斜め衝突	109
	18	放物運動する小球のくり返し衝突	110
	19	ばね付き台上での小球の運動	111
	20	摩擦のある台上での小物体の運動	112
	21	ばねにつながれた2球の運動	113
	22	円形すべり台上の小球の運動	114
	23	大きさのある2球の斜め衝突	115
	24	動く半円筒内の小球の運動	116

第5章 円運動と単振動

5.1	等速円運動	117	
5.2	等速でない円運動	123	
5.3	単振動	129	
演習問題	25	円すい面上での円運動	145
	26	鉛直面内の円運動	146
	27	台上での小球の円運動	147
	28	2物体の単振動(鉛直)	148
	29	2物体の単振動(水平)	150
	30	ひもでつながれた2物体の単振動	151
	31	エレベータ内の単振動	152
	32	浮力による単振動	153

第6章 万有引力による運動

6.1	万有引力の法則	154	
6.2	ケプラーの法則と万有引力	154	
6.3	重力と万有引力	159	
6.4	万有引力を受ける物体の運動	161	
演習問題	33	静止衛星と第2宇宙速度	166
	34	人工衛星の円運動と楕円運動	167
	35	人工衛星内の物体の運動	168
	36	惑星内での物体の運動	169

第 1 章

1

物体の運動

1.1 運動の記述

運動とは、物体の位置が時刻とともに変化する現象である。物体の位置は座標（直交座標が多く用いられる）で表せるが、物理では、図 1.1 のように物体 P の位置を位置ベクトル $\vec{r} = (x, y, z)$ で表す。時刻は、原点を定め、過去は負、未来は正とする時間座標で表し、 t の文字を用いる。

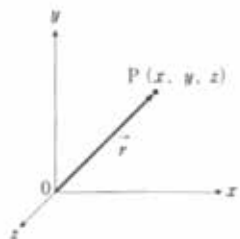


図 1.1

運動は時刻 t とともに物体の位置が変化することだから、物体の位置を時刻 t の関数として表せれば、運動が記述できたことになる。

1.2 直線上の運動

物体が直線運動をしているとき、運動方向に x 軸をとる。まず、 x 軸上を運動している物体の位置、変位（位置の変化）、速度、加速度について考えよう。

① 速度

図 1.2 のように、物体が x 軸上を運動している。時刻 t_1 （単位は [s]）での位置が x_1 （単位は [m]）で、時刻 t_2 での位置が x_2 であるとき、時間 $\Delta t = t_2 - t_1$ で

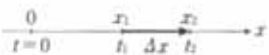


図 1.2

$$\textcircled{2} \div \textcircled{1} \text{式より, } \tan \theta = \frac{h}{l}$$

$$\textcircled{1}^2 + \textcircled{2}^2 \text{より, } v_0^2(\cos^2 \theta + \sin^2 \theta)t_1^2 = l^2 + h^2$$

$$\cos^2 \theta + \sin^2 \theta = 1 \text{ より, } t_1 = \frac{\sqrt{l^2 + h^2}}{v_0}$$

(2) Qが地面に落下したと仮定したときの時刻を t_2 とすると,

$$h = \frac{1}{2}gt_2^2 \text{ より, } t_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

PがQに衝突するとき $t_2 \geq t_1$ より,

$$\sqrt{\frac{2h}{g}} \geq \frac{\sqrt{l^2 + h^2}}{v_0} \quad \therefore v_0 \geq \sqrt{\frac{g(l^2 + h^2)}{2h}}$$

B(3) P, Qの時刻 t での速度を (v_{Px}, v_{Py}) , (v_{Qx}, v_{Qy}) とすると,

$$v_{Px} = v_0 \cos \theta, \quad v_{Py} = v_0 \sin \theta - gt, \quad v_{Qx} = 0, \quad v_{Qy} = -gt$$

Qに対するPの相対速度を (u_x, u_y) , 相対速度の大きさを u とすると,

$$u_x = v_{Px} - v_{Qx} = v_0 \cos \theta, \quad u_y = v_{Py} - v_{Qy} = v_0 \sin \theta$$

$\frac{u_y}{u_x} = \tan \theta = \text{一定}$ より, 相対速度の向きは一定であるので, Qの速度が0である $t=0$ でのPの速度の向きと同じである。それゆえ, はじめにQをねらってPを打ち出せばPはQと衝突する。

$$\therefore \tan \theta = \frac{h}{l}$$

$$u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} = v_0 \sqrt{\cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = v_0$$

より, Qに対してPは速さ v_0 で等速直線運動をする。 $t=0$ でのPQ間の距離は $\sqrt{l^2 + h^2}$ なので,

$$t_1 = \frac{\sqrt{l^2 + h^2}}{v_0}$$

Comment 本問の設定では, はじめに, QをねらってPを打ち出し, 初速 v_0 が(2)の条件を満たしていれば, 必ずPはQに命中するよ。打ち出してから命中するまでの時間は, はじめのPQ間の距離をPの初速 v_0 で割った値となるよ。