序

本書は，大学理工系学部の 2 学年程度の学生が履修する「物理学実験」の実験指導書である．

平成 4 年に大学設置基準法が改正されてから，多くの大学でカリキュラムが改変され開講科目はますます多彩なものになってきている．しかし，将来理工系の学問を専攻するために必要な基礎的履修科目は従来とあまり変わらない．「物理学実験」はそのような科目の 1 つである．「物理学実験」を履修することはもちろん基礎的な実験技術を身に付けることが目的であるが，それにはさらに重要な意義がある．物理学の教科書でよく理解しているつもりの現象を，たとえその中のほんの一部であっても，実際に実験室で自分の目で観測しデータをとって法則性を確認することは，いわば物理学の基本的性格である「実証性」の原点にたち帰ることであって，それを行った後の理解はそれ以前とは全く違ったものになると言ってよい．

大学の低学年学生の「物理学実験」にどのような実験項目を入れるかは時代と共に取捨選択が必要だろう．例えば電子管の実験で検波，増幅の実験を行うよりも同様な実験をトランジスタを用いて行うほうが現実的で学生のためになるだろう．しかし，物理量測定の技術と測定値の処理に関する実験はどんなに科学技術が進歩しても重要さは変わらない．測定機器がどんなに進歩しても測定によって得られる測定値の統計的意味に変わりはないからである．これらの実験で扱う物理現象は地味で，いわゆる面白い実験ではないかもしれない．しかしそのような実験で得られたデータは統計学的，誤差論的数値処理が比較的簡単で，したがって，その実験精度，誤差の大きさの統計的意味の理解が容易である．

このような点を考慮し，この実験指導書には理工系専攻をめざす学生が 2 学年程度までに履修する物理学の範囲から基礎的な 24 項目を選んだ．なお，能率的なデータ処理や数式による計算，その結果の誤差の計算などにはパーソナルコンピューターを使用することが望ましい．付録 誤差論にそのためのプログラムの例を示した．

半年間の履修に対応するにはこの中の約 15 項目を選択する．また，比較的複雑な実験を 2 週間にわたるようにして，履修期間を一年間とする場合にも対応できるように配慮した．

出版に当たり三共出版の秀島功氏から多くの有益な御助言を戴いたことに感謝する．

平成 6 年 3 月

著者一同

実験 1　重力加速度の測定

1. 目　　的

ボルダ(Borda)の振り子の周期を測定して重力加速度を求める．重力加速度の測定法にはいろいろの方法* があるが，この方法は装置が簡単で比較的精度がよい．

2. 器　　具

ボルダ振り子，望遠鏡，ノギス，ストップウォッチ，巻尺，水準器

3. 原　　理

質量 M の剛体が重心 G から h の距離にある水平軸のまわりを振動するときの運動方程式は，その軸のまわりの慣性モーメントを I，ふれの角を θ として

$$I\frac{d^2\theta}{dt^2} = -Mgh\sin\theta \qquad (1)$$

である．振動の振幅が小さくて $\sin\theta \fallingdotseq \theta$ とみなせる場合，式は(1)

$$I\frac{d^2\theta}{dt^2} = -Mgh\,\theta \qquad (2)$$

となる．これはよく知られた単振動を表わす運動方程式で，その周期は

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{Mgh}} \qquad (3)$$

である．したがって，M，h，I のわかった振り子を微少振動させ，その周期を測定することによって重力加速度 g が求められる．一般の剛体振り子の場合，I，h は簡単に求めることはできないが，ボルダ振り子の場合は，これが容易に求められるように作られている．すなわち，ボルダ振り子の場合，球の質量を M，直径を d，支点から球の表面までを l とし，針金の質量を無視すれば

$$I = M\left(l + \frac{d}{2}\right)^2 + \frac{1}{10}Md^2$$

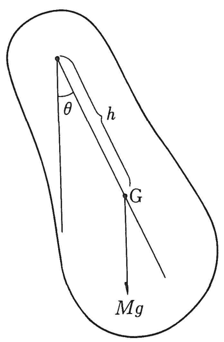

図 1-1

* たとえば，真空中で棒状物体（物差し）を落下させ，両端の通過時刻を測定し，誤差 $1 \times 10^{-7}\,\mathrm{m/s^2}$ 以下で g が得られる．

$$h = l + \frac{d}{2}$$

であるから，これらを式(3)に代入して g を求めれば

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2}\left\{\left(l + \frac{d}{2}\right) + \frac{d^2}{5(2l + d)}\right\} \qquad (4)$$

となり，T，l，d を測定して g が求められる．

4. 実　　験

（1）　柱に取り付けた支持台 S の上に ABC からなる振子の刃先 B をのせる台 R をのせ，水準器を用いて R が水平になるように 3 本のねじを調節する．

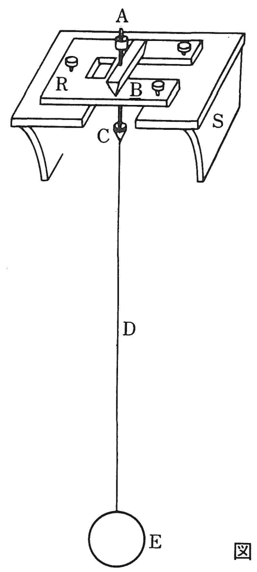

図 1-2

（2）　刃先の下 C の部分におよそ 1 m のまっすぐな細い針金 D と球状のおもり E から成る振り子をつなぎ，B を R の上にのせて振動させ，だいたいの周期 T を測る．

（3）　つぎに針金とおもりをとり，刃先だけを振動させ，その周期 T' を測り，T と T' がほぼ等しくなるように A を調節する（このように刃先を振り子の運動に共振させるのは，刃先の運動が振り子の運動に影響を及ぼすのを防ぐためである）．調節し終ったら，再び刃先に針金とおもりを取り付け，支持台の上にのせる．

（4）　望遠鏡をボルダの振り子の前方約 1 m のところに置き，その視野内の十字線の交点と振り子の針金の下部が明瞭に見え，しかも両者が重なるように調節する．

（5）　振り子を静かに振動させる．この際，球が回転したり，円錐運動にならぬように注意すること．また，重力加速度を求めるための式(4)は，微少振動させたときに成り立つ式なので，鉛直線に対する振り子の振れの最大角は 5°以内におさめること．

（6）　規則正しい振動をさせ得るようになったなら，望遠鏡で振り子の運動を観測し，その視野内の十字線の交点を振り子の針金が一定の方向に通過するごとにストップウォッチを押し，その時刻を記録する．時刻は 10 回目ごとに 190 回目まで記録し，これから表 1-1 に示すように

https://www.sankyoshuppan.co.jp/book?isbn=9784782706695

100T ずつの組合せを 10 個作り，100T の平均値と確率誤差を計算する．さらにこれを 100 で割り T の平均値と確率誤差 ε_{T0} を求める．

表 1-1

回　数	時　刻	回　数	時　刻	時刻差
0		100		
10		110		
20		120		
30		130		
40		140		
50		150		
60		160		
70		170		
80		180		
90		190		
			100 T の平均	秒

（7） 振動を止め，刃の先（振動の支点）から球の上端までの距離を 10 回測定し，その平均値 l と確率誤差 ε_{l0} を求める．

（8） おもりの直径をノギスを用いて 10 回測定し，その平均値 d と確率誤差 ε_{d0} を求める．

（9） 測定で求めた T，l，d の値を式（4）に代入し，重力加速度 g を求める．

（10） g に対する確率誤差 ε_{g0} を ε_{T0}，ε_{l0}，ε_{d0} をもとに計算し同時に有効数字を決定する．

問　式（3）は振り子の振れの角が小さい場合の近似式であるが，さらに良い近似式は振幅を θ ラジアンとして

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{Mgh}}\left(1+\frac{\theta^2}{16}\right) \tag{5}$$

である．本実験では，式（5）のかわりに式（3）を使っているが，式（3）を使って求めた g の相対誤差 $\dfrac{\Delta g}{g}$ が 1000 分の 1 以下になるためには，振れの角を何度以下にしたらよいか．

ボルダの振り子のボルダ（Borda, Jean-Charles 1733～1799）

フランスの物理学者．流体力学で船舶工学に貢献．フランス革命後メートル法制定に尽力．子午線の弧長測定．ボルダ振り子を用い北緯 45° において周期が 1 秒になる振り子の長さを精密に測定した．最初の重力の絶対測定者である．

実験 2　ずれ弾性率（剛性率）の測定

1. 目　　的

ヤング率，ずれ弾性率などの弾性定数は固体の力学的な性質として基本的なものである．ここでは針金のずれ弾性率をねじれ振り子によって測定する．

2. 器　　具

ねじれ振り子，試料針金，ストップウォッチ，マイクロメーター，ノギス，巻尺，台秤

3. 原　　理

ねじれ振り子は針金の上端を固定し，下端に重りをつるし，これをねじって回転振動させる装置である．

図 2-1 のように半径 r，長さ l の針金を上端を固定して下端に偶力を作用させ回転させる．下端での回転角を θ すると単位長さ当たりの回転角（ねじれた角度）は θ/l となる．

図 2-2 のように上端から y の位置で dy の厚さを取り出すとこの微小円盤の下面は上面に対して $(\theta/l)\,dy$ 回転している．円盤の半径 $x(0<x<r)$，微小半径増分を dx として，図の微小角柱（図 2-2 の斜線の部分の面積と高さ dy）の一辺 A，B のずれの大きさを ∠CAB で表わすと $\{x(\theta/l)\,dy\}/dy$ となる．よってずれ弾性率を n，接線応力 F_t とすると

$$F_t = n(x\theta/l)$$

幅 dx，角 $d\alpha$ で囲まれる微小角柱の上面（図 2-2 の斜線の部分）の面積は $xd\alpha dx$ であり，この部分に働く力 dF は $(nx^2\theta d\alpha dx)/l$ に等しい．力 dF の中心に関するモーメントを dN とすると

$$dN = xdF = (nx^3\theta d\alpha dx)/l$$

これを全断面，すなわち x について 0 から r まで，α について 0 から 2π まで積分すると

$$N = \int_0^{2\pi}\!\!\int_0^r n\frac{\theta}{l}x^3\,d\alpha dx = n\frac{\pi r^4}{2l}\theta$$

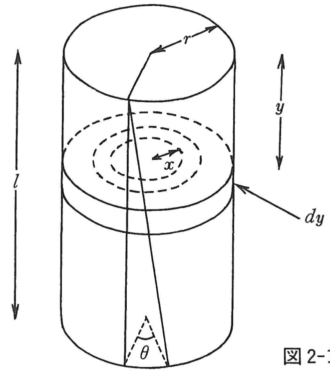

図 2-1

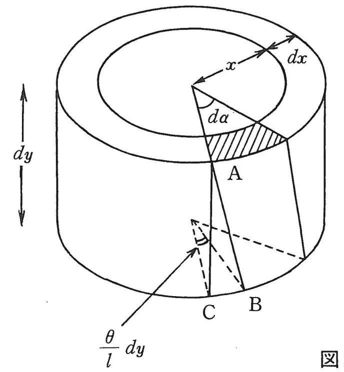

図 2-2