

物理学実験ガイダンス資料

田中晋平

平成30年10月5日

1 連絡事項

1. 受講者名簿の出欠欄にチェックをすること。
2. 名簿に記載されていない学生は、履修受付表に所属学部・学生番号・氏名を記入すること。
3. 教科書

- 物理学基礎実験 (各自購入すること)

4. スタッフの役割

教員：レポート評価、成績

TA：実験のサポート（配線チェックや質問への対応など）、実験データのチェック

5. ファイルのダウンロード

履修登録後にもみじを通じて files.zip を配布するので、ダウンロードしておくこと。この中にレポートファイル等の必要なファイルが入っている。

6. 基礎事項レポート

基礎事項レポートは、実験を行う場合に必ず必要となる知識を習得するためのレポートである。教科書 (3-7章、10章、付録1) を参考にしながら、全員必ず提出すること。基礎事項レポートも通常の実験レポートの一つとしてカウントする。

- files.zip 中の fundamental_knowledges.pdf を印刷し、解答、提出する。
- 提出期限: 10月15日(月) 授業前
- 再提出期限: 11月26日(月) 授業前

2 実験

2.1 一般事項

1. 実験テーマ

- 原則 2 人 1 組
- 1 週 1 テーマ
- テーマの割振り表は、実験室前の掲示板に掲示するので、各自確認の上、予習をしておくこと。
- 各学生には整理番号が割り振られている。テーマ割り振り表に書いてあるので確認しておくこと。

2. 準備するもの

- 教科書
- 実験ノート (ルーズリーフ等のバラけるものは不可。2.2 参照。)
- 関数電卓
- レポートファイル (files.zip 中の該当のファイルを印刷しておく。)
- レポート表紙 (report_cover.pdf を印刷して作成する。)

3. 成績

- レポートの受理・返却をもって、出席とする。
- レポート表紙の提出が 10 分以上遅れた場合を遅刻とする。
- 遅刻 3 回を欠席 1 回とみなす。
- ターム中欠席 2 回で不合格とする。

4. 諸注意

- 実験室は飲食禁止。
- 他人のレポートを丸写ししないこと (バレます)。
- **字が汚い、読みにくい、バラけるレポートは減点する。**
- 返却したレポートを紛失しないこと。後で提出を求めることがある。

2.2 実験の流れ

1. 準備

- files.zip 中の report_cover.pdf、および該当するレポートファイルを印刷する。report_cover.pdf を用いてレポート表紙を作成しておく。report_cover_sample.pdf を参照のこと。

2. 実験開始前

- その日の実験のレポート表紙を提出する。
- 前回の実験のレポートおよび再提出のレポートをがあれば提出する。
- レポートおよび表紙は、掲示板にあるポストに**整理番号順**に提出すること。

3. 実験開始時

- テーマごとに実験用具を入れたかごがあるので、必要なものがそろっているか確認する。
- 電気実験では、配線のスイッチを入れる前に TA の確認を受ける。

4. 実験

- 実験データは各自が記録する。(手分けして実験し、あとで写しても良い。)
- 該当するレポートファイル中に指定された課題を必ずこなすこと。
- 実験を終了したら、TA に実験結果を確認してもらい、**実験ノートに終了サインをもらう**。

- 実験終了までにレポート表紙およびレポートを教室前方の机においておく。それを各自回収すること。そこでレポート表紙を受け取らないとレポートが作れない。また提出したレポートを受け取ってはじめて出席となる。
- レポートは採点する。どの評価のレポートも再提出してよい。
 - A: 問題なし。
 - B: 問題あり。
 - C: 問題あり。田中のところに出頭せよ。
 - D: 受理しない。再提出。
- 後片付けして終了。すべての電源を切り、配線は外して束ねておく。器具がすべて揃っていることを確認し、カゴに戻す。
- 時間が余っている場合はレポート作成に取りかかる。

3 レポート

3.1 一般事項

- その日実験するテーマのレポート表紙 (??参照) は実験前に作成し、実験前に提出する (出席確認のため)。
- 原則として、前回の実験のレポートを実験前に提出する。**実験初日は基礎事項レポートを提出すること**。
- 提出が遅れたレポートは減点する。

- 以下の体裁を守ること。見苦しいレポートは減点する。
 - 配布されたレポートファイルを A4 用紙に印刷して使うこと。
 - 1 ページ目に確認印のある表紙をつけること。
 - 手書きで丁寧に書くこと。
 - ホッチキスその他でしっかりまとめておくこと。
- レポートは採点して返却するのでよく見て復習すること。減点箇所を訂正して再提出してもよい。その場合は再度採点する。
- 成績に疑義がある場合にはレポートおよび実験ノートを再提出してもらうので、各自で保管しておくこと。**バラけるノート、TA の確認印のない実験ノートは認めない。**
- 最終日に提出されたレポートは返却しない。

4 基礎知識

4.1 単位

SI 単位系では、長さ (m:メートル)、質量 (kg:キログラム)、時間 (s:秒)、電流 (A: アンペア) が基本単位になり、その他の単位は基本単位の組み合わせで表される。

物理量	単位	基本単位の組み合わせ
力	N:ニュートン	$\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
圧力	Pa:パスカル	$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}=\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$
エネルギー	J:ジュール	$\text{N}\cdot\text{m}=\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$

エネルギーの単位 エネルギーの単位には、用途により様々なものが用いられる。特に重要なものは

(1 電子ボルト, 1eV) = (1V の電位差によって加速された電子が得るエネルギー) $\simeq 1.6022 \times 10^{-19}$ J
 (振動数 ν の光子 1 個のエネルギー) = $h\nu$ (h :プランク定数)

ミクロな世界の長さ (単位:m)

プランク長	陽子のコンプトン波長	電子のコンプトン波長	ボーア半径	タンパク質分子
10^{-35}	10^{-16}	10^{-13}	10^{-10}	10^{-9}
ウイルス	大腸菌	花粉	ゾウリムシ	ミジンコ
10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}

可視光で見えるのは、大腸菌まで。

4.2 有効数字

- 測定器の最小目盛りの 1/10 までを読み取る。
- 足し算する場合の例
36.7mm(ノギスによる測定、3桁)+1005mm(定規による測定、4桁)=1042mm(4桁)
0.1mmの桁の測定値は有効でなくなる。
- 引き算する場合の例
24.854Ω(5桁)-24.769Ω(5桁)=0.085Ω(2桁:桁落ち)
- かけ算・割り算の場合: 有効数字が最も小さいものに合わせる。
例1 . 面積: 縦 14.53cm(4桁)× 横 6.1cm(2桁)=89cm²(2桁)
例2 . 速度: 42.195km(5桁)/7680s(4桁)=5.494×10⁻³km/s(4桁)
例3 . 熱膨張係数 α: 温度 25.124°C で長さ 10.236mm、温度 25.825°C で長さ 10.248mm のとき、

$$\alpha = \frac{10.248 - 10.236}{25.825 - 25.124} = \frac{0.012}{0.701} = 0.017 \text{ mm/}^\circ\text{C}(2\text{桁})$$

4.3 誤差

測定値と最確値(最も確からしい値)との差を誤差という。1つの物理量をくり返し測定した場合は、(最確値)=(平均値)である。

測定値	X_i
平均値	$\bar{X} = (1/N) \sum_i X_i, (N:\text{測定回数})$
残差	$\delta_i = X_i - \bar{X}$
平均誤差	$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_i \delta_i^2}{N(N-1)}}$
確率誤差	$r = 0.6745\sigma_a$

測定結果を $\bar{X} \pm \sigma_a$ と書くと、真の値は確率 0.65 でこの範囲にあり、 $\bar{X} \pm r$ と書くと、真の値は確率 0.5 でこの範囲にある。

誤差の伝播 いくつかの異なる物理量の組み合わせで導かれる物理量の誤差を考える。例えば $V = V(x, y, z)$ の場合、

$$\delta V = \left(\frac{\partial V}{\partial x} \right) \delta x + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right) \delta y + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right) \delta z$$

よって i 回目の測定で得られた物理量から、

$$\begin{aligned}\delta V_i &= \left(\frac{\partial V}{\partial x}\right) \delta x_i + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right) \delta y_i + \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right) \delta z_i \\ \therefore \sum_i \delta V_i^2 &= \sum_i \left[\left(\frac{\partial V}{\partial x}\right) \delta x_i + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right) \delta y_i + \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right) \delta z_i \right]^2 \\ &\simeq \sum_i \left[\left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)^2 \delta x_i^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)^2 \delta y_i^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2 \delta z_i^2 \right]^2 \\ &\because \delta x_i \delta y_i \text{ のような項は正負どちらでもとるので、和に大きく寄与しない。} \\ \sigma_V^2 &= \left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2 \sigma_z^2\end{aligned}$$

この式を誤差の伝播法則という。例えば質量 m 、直径 d の球の密度

$$\rho = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3}$$

の場合、

$$\begin{aligned}\sigma_\rho^2 &= \left(\frac{\partial \rho}{\partial m}\right)^2 \sigma_m^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial d}\right)^2 \sigma_d^2 \\ &= \left\{ \frac{1}{\frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3} \right\}^2 \sigma_m^2 + \left\{ \frac{-3m}{\frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3} \frac{1}{d} \right\}^2 \sigma_d^2 \\ \therefore \frac{\sigma_\rho^2}{\rho^2} &= \frac{\sigma_m^2}{m^2} + 9 \frac{\sigma_d^2}{d^2}\end{aligned}$$

となる。

4.4 角度

- 60 進法：1 度 ($^\circ$) = 60 分 ($'$) = 3600 秒 ($''$)
- 弧度法 (ラジアン)：半径 1 の単位円の弧長で角度を表す。 $2\pi = 360^\circ$

4.5 副尺 (キャリパー)

主尺の目盛りを 1mm、副尺の目盛りを 0.9mm とする。

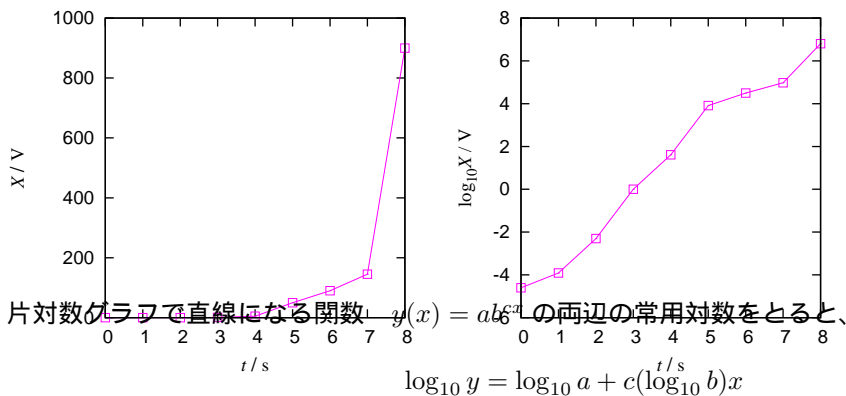
- 測定物の長さを 23.6mm とすると、主尺の目盛りは 23mm と 24mm の間を示す。
- $23.6 + 0.9 \times 6 = 29$ より、副尺の 6 目盛り目が主尺の 29mm と一致する。
- 主尺の目盛りから 23mm、副尺の目盛りから 0.6mm が決まり、測定物の長さ 23.6mm が求められる。

4.6 対数目盛り

例えば下記のようなデータがあったとする。

時間 t/s	電圧 X/V	$\log_{10} X$
0.0	0.01	-2
1.0	0.02	-1.69897
2.0	0.1	-1
3.0	1	0
4.0	5	0.69897
5.0	50	1.69897
6.0	90	1.95424
7.0	145	2.161368
8.0	900	2.95424

何桁も変化する電圧 X をそのままグラフにするよりも、 $\log_{10} X$ をグラフにした方が、コンパクトになる。



よって Y 軸を $Y = \log_{10} y$ 、 X 軸を $X = x$ としてグラフを描くと、 $Y = \log_{10} a + c(\log_{10} b)X$ となる。すなわち傾き $c(\log_{10} b)$ 、切片 $\log_{10} a$ の直線となる。

両対数グラフで直線になる関数 $y(x) = ax^b$ の両辺の常用対数をとると、

$$\log_{10} y = \log_{10} a + b \log_{10} x$$

よって、 Y 軸を $Y = \log_{10} y$ 、 X 軸を $X = \log_{10} x$ としてグラフを描くと、 $Y = \log_{10} a + bX$ となる。すなわち、傾き b 、切片 $\log_{10} a$ の直線となる。

4.7 最小二乗法

ある物理量 x と y の間の関係が、直線であることが予想されたとする。

$$y = a + bx$$

測定点 x_i における測定値 y_i の値と、予想値 $y = a + bx_i$ の値がなるべく近くなるように、 a, b を定めることを考える。すなわち、

$$\chi^2 = \sum_i (y_i - y)^2 = \sum_i (y_i - a - bx_i)^2 = \text{最小}$$

となるように a, b を定める。よって

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial a} = -2 \sum_i (y_i - a - bx_i) = 0$$

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial b} = -2 \sum_i x_i (y_i - a - bx_i) = 0$$

であればよい。 a, b についてまとめると、

$$\begin{aligned} Na + b \sum_i x_i &= \sum_i y_i \\ a \sum_i x_i + b \sum_i x_i^2 &= \sum_i x_i y_i \end{aligned}$$

これを解くと、

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{\Delta} \left(\sum_i x_i^2 \sum_i y_i - \sum_i x_i \sum_i x_i y_i \right) \\ b &= \frac{1}{\Delta} \left(N \sum_i x_i y_i - \sum_i x_i \sum_i y_i \right) \\ \Delta &= N \sum_i x_i^2 - \left(\sum_i x_i \right)^2 \end{aligned}$$

例えば下記左の表のようなデータがあったとする。このデータから各項を計算すると、右の表のようになる。

実験データ	
x	y
1	2.5
2	3.8
3	4.4
4	7.1
5	10.2
6	10.8
7	15.1
8	16.1
9	20.6
10	21.4

係数の計算	
$\sum_i x_i$	55
$\sum_i x_i^2$	385
$\sum_i x_i y_i$	801.4
$\sum_i y_i$	112.0
Δ	825
a	-1.16
b	2.25

実験データと得られた直線をグラフに描くと下図のようになる。

