

物 理

(解答番号 ~)

第1問 次の問い(問1～5)に答えよ。(配点 25)

問1 変形しない長い板を用意し、板の両端の下面に細い角材を取り付けた。水平な床の上に、二つの体重計 a, b を離して置き、それぞれの体重計が正しく重さを計測できるように板をのせた。

図1のように、体重計ではかると60 kgの人が、板の全長を2 : 1に内分する位置(体重計 a から遠く、体重計 b に近い)に、片足立ちでのって静止した。このとき、体重計 a と b の表示は、それぞれ何 kg を示すか。数値の組合せとして最も適当なものを、後の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、板と角材の重さは考えなくてよいものとする。

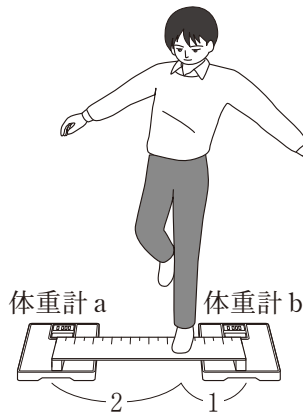


図 1

	体重計 a	体重計 b
①	30	30
②	60	60
③	20	40
④	40	20
⑤	40	80
⑥	80	40

物 理

問 3 図 3 のように、池一面に張った水平な氷の上で、そりが岸に接している。そりの上面は水平で、岸と同じ高さである。また、そりと氷の間には摩擦力ははたらかない。岸の上を水平左向きに滑ってきたブロックがそりに移り、その上を滑った。そりに対してブロックが動いている間、ブロックとそりの間には摩擦力がはたらき、その後、ブロックはそりに対して静止した。

ブロックがそりの上を滑り始めてからそりの上で静止するまでの間の、運動量と力学的エネルギーについて述べた次の文章中の空欄 ・ に入れる文として最も適当なものを、後の①～④のうちから一つずつ選べ。ただし、同じものを繰り返し選んでもよい。

そりが岸に固定されていて動けない場合は、。そりが固定されておらず、氷の上を左に動くことができる場合は、。

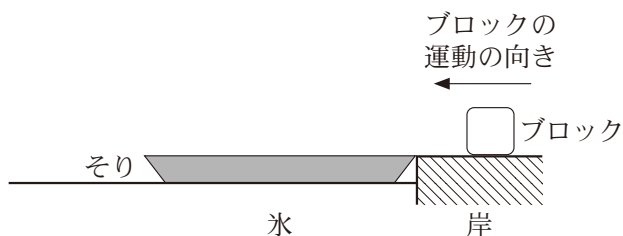


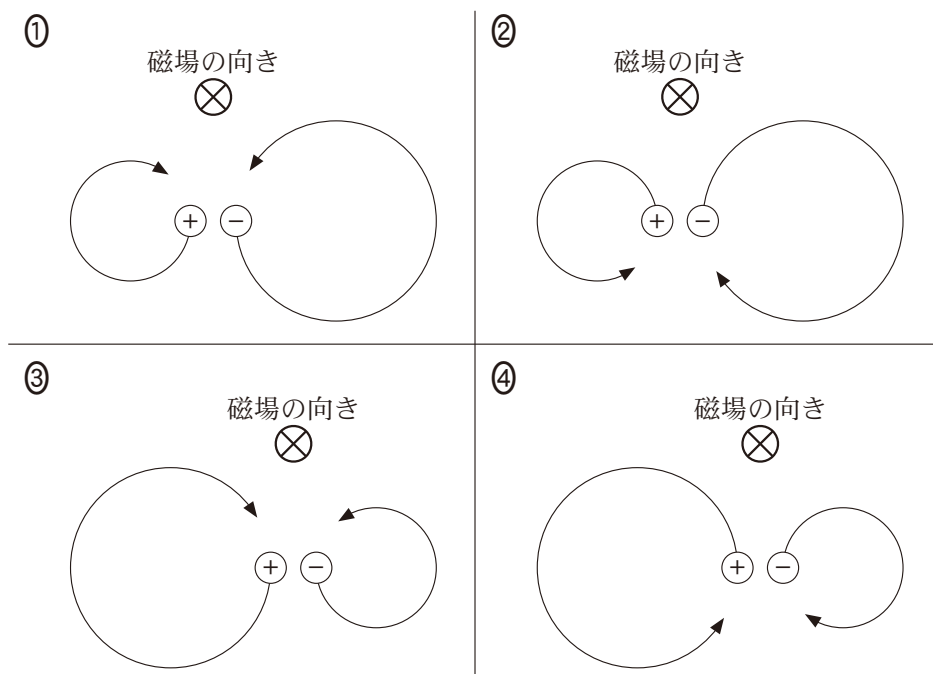
図 3

4 ・ 5 の選択肢

- ① ブロックとそりの運動量の総和も、ブロックとそりの力学的エネルギーの総和も保存する
- ② ブロックとそりの運動量の総和は保存するが、ブロックとそりの力学的エネルギーの総和は保存しない
- ③ ブロックとそりの運動量の総和は保存しないが、ブロックとそりの力学的エネルギーの総和は保存する
- ④ ブロックとそりの運動量の総和も、ブロックとそりの力学的エネルギーの総和も保存しない

物 理

問 4 紙面に垂直で表から裏に向かう一様な磁場(磁界)中において、同じ大きさの電気量をもつ正と負の荷電粒子が、磁場に対して垂直に同じ速さで運動している。ここで正の荷電粒子は負の荷電粒子より、質量が大きいものとする。その運動の様子を描いた模式図として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、図の矢印は荷電粒子の運動の向きを表す。また、荷電粒子間にはたらく力や重力の影響は無視できるものとする。 6



問 5 金属に光を照射すると電子が金属外部に飛び出す現象を、光電効果という。

図 4 は飛び出してくる電子の運動エネルギーの最大値 K_0 と光の振動数 ν の関係を示したグラフである。実線は実験から得られるデータ，破線は実線をも $\nu = 0$ まで延長したものである。プランク定数 h を，図 4 に示す W と ν_0 を用いて表す式として正しいものを，後の①～⑤のうちから一つ選べ。

$h =$ 7

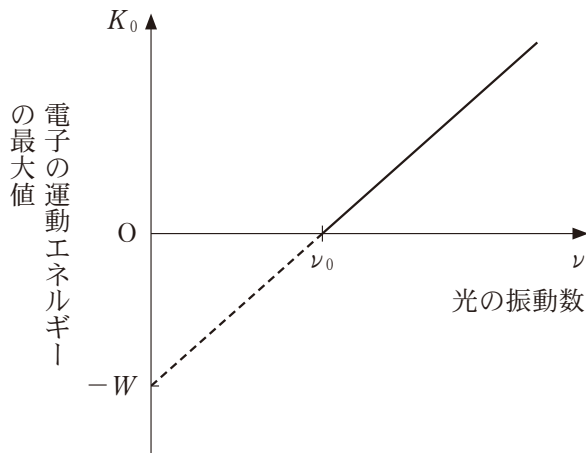


図 4

- ① $\nu_0 - W$ ② $\nu_0 + W$ ③ $\nu_0 W$ ④ $\frac{\nu_0}{W}$ ⑤ $\frac{W}{\nu_0}$

物 理

第 2 問 空気中での落下運動に関する探究について、次の問い(問 1～5)に答えよ。(配点 25)

問 1 次の発言の内容が正しくなるように、空欄 **ア** ～ **ウ** に入れる語句の組合せとして最も適当なものを、後の①～⑧のうちから一つ選べ。 **8**

先生：物体が空気中を運動すると、物体は運動の向きと **ア** の抵抗力を空気から受けます。初速度 0 で物体を落下させると、はじめのうち抵抗力の大きさは **イ** し、加速度の大きさは **ウ** します。やがて、物体にはたらく抵抗力が重力とつりあうと、物体は一定の速度で落下するようになります。このときの速度を終端速度とよびます。

	ア	イ	ウ
①	同じ向き	増 加	増 加
②	同じ向き	増 加	減 少
③	同じ向き	減 少	増 加
④	同じ向き	減 少	減 少
⑤	逆向き	増 加	増 加
⑥	逆向き	増 加	減 少
⑦	逆向き	減 少	増 加
⑧	逆向き	減 少	減 少

物 理

先生：それでは，授業でやったことを復習してください。

生徒：抵抗力の大きさ R が速さ v に比例すると仮定すると，正の比例定数 k を用いて

$$R = kv$$

と書けます。物体の質量を m ，重力加速度の大きさを g とすると， $R = mg$ となる v が終端速度の大きさ v_f なので，

$$v_f = \frac{mg}{k}$$

と表されます。実験をして v_f と m の関係を確認してみたいです。

先生：いいですね。図1のようなお弁当のおかずを入れるアルミカップは，何枚か重ねることによって質量の異なる物体にすることができるので，落下させてその関係を調べることができますね。その物体の形は枚数によらずほぼ同じなので， k は変わらないとみなしましょう。物体の質量 m はアルミカップの枚数 n に比例します。

生徒：そうすると， v_f が n に比例することが予想できますね。

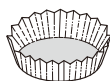


図 1

n 枚重ねたアルミカップを落下させて動画を撮影した。図 2 のように、アルミカップが落下していく途中で、20 cm ごとに落下するのに要する時間を 10 回測定して平均した。この実験を $n = 1, 2, 3, 4, 5$ の場合について行った。その結果を表 1 にまとめた。

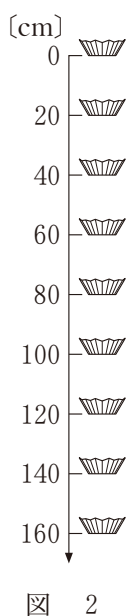


表 1
20 cm の落下に要する時間 [s]

枚数 n 区間 [cm]	1	2	3	4	5
0 ~ 20	0.29	0.25	0.23	0.22	0.22
20 ~ 40	0.23	0.16	0.14	0.12	0.12
40 ~ 60	0.23	0.16	0.13	0.12	0.11
60 ~ 80	0.23	0.16	0.13	0.11	0.10
80 ~ 100	0.23	0.16	0.13	0.11	0.10
100 ~ 120	0.23	0.16	0.13	0.11	0.10
120 ~ 140	0.23	0.16	0.13	0.11	0.10
140 ~ 160	0.23	0.16	0.13	0.11	0.10

問 2 表 1 の測定結果から、アルミカップを 3 枚重ねたとき ($n = 3$ のとき) の v_f を有効数字 2 桁で求めるとどうなるか。次の式中の空欄 ~ に入れる数字として最も適当なものを、後の①~⑩のうちから一つずつ選べ。ただし、同じものを繰り返し選んでもよい。

$$v_f = \text{} . \text{} \times 10^{\text{}} \text{ m/s}$$

- ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5
 ⑥ 6 ⑦ 7 ⑧ 8 ⑨ 9 ⑩ 0

物 理

生徒：アルミカップの枚数 n と v_f の測定値を図 3 に点で描き込みましたが、

$v_f = \frac{mg}{k}$ に基づく予想と少し違いますね。

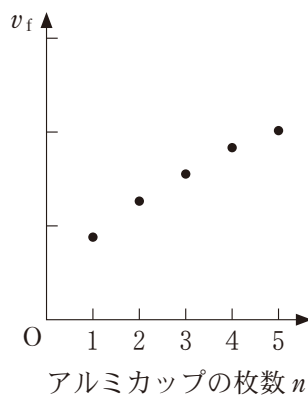


図 3

問 3 図 3 が予想していた結果と異なると判断できるのはなぜか。その根拠として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 12

- ① アルミカップの枚数 n を増やすと、 v_f が大きくなる。
- ② 測定値のすべての点のできるだけ近くを通る直線が、原点から大きくはずれる。
- ③ v_f がアルミカップの枚数 n に反比例している。
- ④ 測定値がとびとびにしか得られていない。

先生：実は，物体の形状や速さによっては，空気による抵抗力の大きさ R は，速さに比例するとは限らないのです。

生徒：そうなんですか。授業で習った v_f の式は，いつも使えるわけではないのですね。

先生：はい。ここでは， R が v^2 に比例するとみなせる場合も考えてみましょう。

正の比例定数 k' を用いて R を

$$R = k' v^2$$

と書くと，先ほどと同様に， $R = mg$ となる v が終端速度の大きさ v_f なので，

$$v_f = \sqrt{\frac{mg}{k'}}$$

と書くことができます。比例定数 k と同様に， k' は n によって変化しないものとみなしましょう。 m は n に比例するので， v_f と n の関係を調べると， $R = kv$ と $R = k'v^2$ のどちらが測定値によく合うかわかります。

生徒：わかりました。縦軸と横軸をうまく選んでグラフを描けば，原点を通る直線になってわかりやすくなりますね。

先生：それでは，そのグラフを描いてみましょう。

問 4 速さの 2 乗に比例する抵抗力のみがはたらく場合に，グラフが原点を通る直線になるような縦軸・横軸の選び方の組合せとして最も適当なものを，次の①～⑨のうちから二つ選べ。ただし，解答の順序は問わない。

13 ・ 14

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
縦 軸	$\sqrt{v_f}$	$\sqrt{v_f}$	$\sqrt{v_f}$	v_f	v_f	v_f	v_f^2	v_f^2	v_f^2
横 軸	\sqrt{n}	n	n^2	\sqrt{n}	n	n^2	\sqrt{n}	n	n^2

物 理

先生：抵抗力の大きさ R と速さ v の関係を明らかにするために、ここまでは終端速度の大きさと質量の関係を調べましたが、落下途中の速さが変化していく過程で、 R と v の関係を調べることもできます。鉛直下向きに y 軸をとり、アルミカップを原点から初速度 0 で落下させます。アルミカップの位置 y を $\Delta t = 0.05 \text{ s}$ ごとに記録したところ、図4のような $y-t$ グラフが得られました。この $y-t$ グラフをもとにして、 R と v の関係を調べる手順を考えてみましょう。

問 5 この手順を説明する文章中の空欄 **工** ・ **オ** には、それぞれの直後の { } 内の記述および数式のいずれか一つが入る。入れる記述および数式を示す記号の組合せとして最も適当なものを、後の①～⑨のうちから一つ選べ。

15

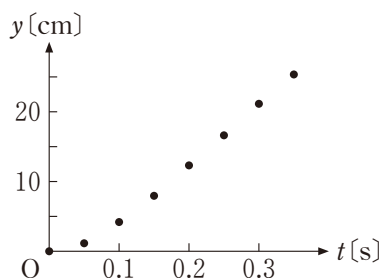


図 4

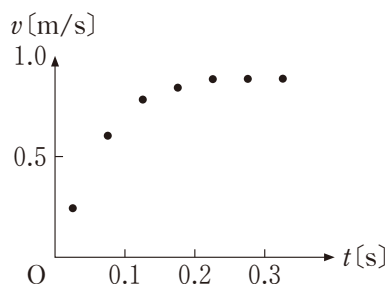


図 5

まず、図4の $y-t$ グラフより、 $\Delta t = 0.05 \text{ s}$ ごとの平均の速さ v を求め、図5の $v-t$ グラフをつくる。次に、加速度の大きさ a を調べるために、

- 工** {
- (a) $v-t$ グラフのすべての点のできるだけ近くを通る一本の直線を引き、その傾きを求めることによって a を求める。
 - (b) $v-t$ グラフから終端速度を求めることによって a を求める。
 - (c) $v-t$ グラフから Δt ごとの速度の変化を求めることによって $a-t$ グラフをつくる。

こうして求めた a から、アルミカップにはたらく抵抗力の大きさ R は、

$$R = \boxed{\text{オ}} \left\{ \begin{array}{l} \text{(a)} \quad m(g + a) \\ \text{(b)} \quad ma \\ \text{(c)} \quad m(g - a) \end{array} \right\} \text{と求められる。}$$

以上の結果をもとに、 R と v の関係を示すグラフを描くことができる。

	エ	オ
①	(a)	(a)
②	(a)	(b)
③	(a)	(c)
④	(b)	(a)
⑤	(b)	(b)
⑥	(b)	(c)
⑦	(c)	(a)
⑧	(c)	(b)
⑨	(c)	(c)

物 理

第 3 問 次の文章を読み、後の問い(問 1 ~ 5)に答えよ。(配点 25)

全方向に等しく音を出す小球状の音源が、図 1 のように、点 O を中心として半径 r 、速さ v で時計回りに等速円運動をしている。音源は一定の振動数 f_0 の音を出しており、音源の円軌道を含む平面上で静止している観測者が、届いた音波の振動数 f を測定する。

音源と観測者の位置をそれぞれ点 P 、 Q とする。点 Q から円に引いた 2 本の接線の接点のうち、音源が観測者に近づきながら通過する方を点 A 、遠ざかりながら通過する方を点 B とする。また、直線 OQ が円と交わる 2 点のうち観測者に近い方を点 C 、遠い方を点 D とする。 v は音速 V より小さく、風は吹いていない。

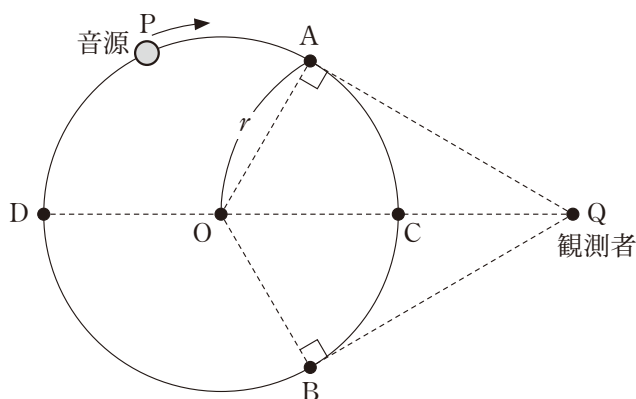


図 1

- 問 1 音源にはたらいっている向心力の大きさと、音源が円軌道を点 C から点 D まで半周する間に向心力がする仕事を表す式の組合せとして正しいものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。ただし、音源の質量を m とする。 16

	①	②	③	④	⑤
向心力の大きさ	mr^2v^2	mr^2v^2	0	$\frac{mv^2}{r}$	$\frac{mv^2}{r}$
仕 事	πmr^2v^2	0	0	πmv^2	0

物 理

問 2 次の文章中の空欄 17 に入れる語句として最も適当なものを、直後の { } で囲んだ選択肢のうちから一つ選べ。

音源の等速円運動にともなって f は周期的に変化する。これは、音源の速度の直線 PQ 方向の成分によるドップラー効果が起こるからである(図 2)。このことから、 f が f_0 と等しくなるのは、音源が

- | | | | | | |
|----|---|--------------|---------|---|---------------|
| 17 | { | ① A | ② B | } | を通過したときに出した音を |
| | | ③ C | ④ D | | |
| | | ⑤ A と B | ⑥ C と D | | |
| | | ⑦ A, B, C, D | | | |
| | | | | | |

測定した場合であることがわかる。

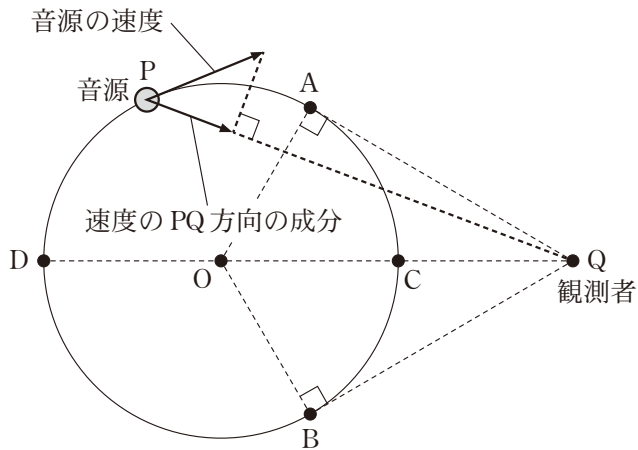


図 2

問 3 音源が点 A, 点 B を通過したときに出した音を観測者が測定したところ, 振動数はそれぞれ f_A, f_B であった。 f_A と音源の速さ v を表す式の組合せとして正しいものを, 次の①~⑥のうちから一つ選べ。 18

	①	②	③	④	⑤	⑥
f_A	f_0	f_0	$\frac{V+v}{V}f_0$	$\frac{V+v}{V}f_0$	$\frac{V}{V-v}f_0$	$\frac{V}{V-v}f_0$
v	$\frac{f_B}{f_A}V$	$\frac{f_A-f_B}{f_A+f_B}V$	$\frac{f_B}{f_A}V$	$\frac{f_A-f_B}{f_A+f_B}V$	$\frac{f_B}{f_A}V$	$\frac{f_A-f_B}{f_A+f_B}V$

物 理

次に、音源と観測者を入れかえた場合を考える。図3に示すように、音源を点Qの位置に固定し、観測者が点Oを中心時計回りに等速円運動をする。

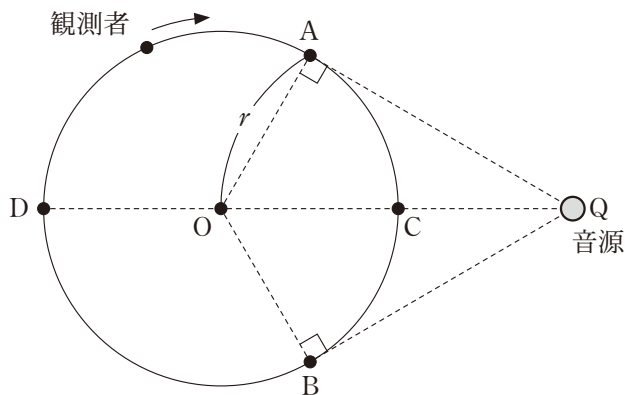


図 3

問 4 このとき、等速円運動をする観測者が測定する音の振動数についての記述として最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 19

- ① 点 A において最も大きく、点 B において最も小さい。
- ② 点 B において最も大きく、点 A において最も小さい。
- ③ 点 C において最も大きく、点 D において最も小さい。
- ④ 点 D において最も大きく、点 C において最も小さい。
- ⑤ 観測の位置によらず、常に等しい。

物 理

第 4 問 次の文章を読み、後の問い(問 1 ~ 5)に答えよ。(配点 25)

物理の授業でコンデンサーの電気容量を測定する実験を行った。まず、コンデンサーの基本的性質を復習するため、図 1 のような真空中に置かれた平行平板コンデンサーを考える。極板の面積を S 、極板間隔を d とする。

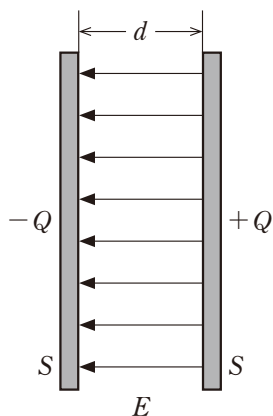


図 1

問 1 次の文章中の空欄 ・ に入れる式の組合せとして正しいものを、後の①~③のうちから一つ選べ。

図 1 のコンデンサーに電気量(電荷) Q が蓄えられているときの極板間の電圧を V とする。極板間の電場(電界)が一様であるとする。極板間の電場の大きさ E と V 、 d の間には $E =$ の関係が成り立つ。また、真空中でのクーロンの法則の比例定数を k_0 とすると、二つの極板間には $4\pi k_0 Q$ 本の電気力線があると考えられ、電気力線の本数と電場の大きさの関係を用いると E が求められる。これと が等しいことから Q は V に比例して $Q = CV$ と表せることがわかる。このとき比例定数(電気容量)は $C =$ となる。

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ア	Vd	Vd	Vd	Vd	$\frac{V}{d}$	$\frac{V}{d}$	$\frac{V}{d}$	$\frac{V}{d}$
イ	$4\pi k_0 dS$	$\frac{dS}{4\pi k_0}$	$\frac{4\pi k_0 S}{d}$	$\frac{S}{4\pi k_0 d}$	$4\pi k_0 dS$	$\frac{dS}{4\pi k_0}$	$\frac{4\pi k_0 S}{d}$	$\frac{S}{4\pi k_0 d}$

物 理

図2のように、直流電源、コンデンサー、抵抗、電圧計、電流計、スイッチを導線でつないだ。スイッチを閉じて十分に時間が経過してからスイッチを開いた。図3のグラフは、スイッチを開いてから時間 t だけ経過したときの、電流計が示す電流 I を表す。ただし、スイッチを開く直前に電圧計は 5.0 V を示していた。

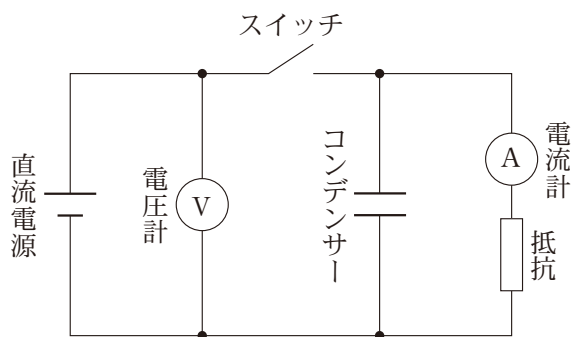


図 2

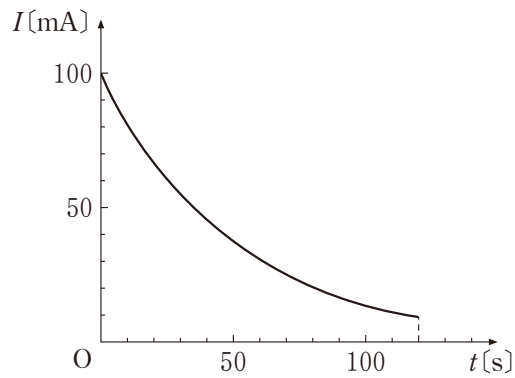


図 3

問 2 図 3 のグラフから，この実験で用いた抵抗の値を求めると何 Ω になるか。
 その値として最も適当なものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし，電
 流計の内部抵抗は無視できるものとする。 Ω

- | | | | |
|--------|-----|------|-------|
| ① 0.02 | ② 2 | ③ 20 | ④ 200 |
| ⑤ 0.05 | ⑥ 5 | ⑦ 50 | ⑧ 500 |

物 理

問 3 次の文章中の空欄 23 ・ 24 に入れる値として最も適当なものを、それぞれの直後の { } で囲んだ選択肢のうちから一つずつ選べ。

図 3 のグラフを方眼紙に写して図 4 を作った。このとき、横軸の 1 cm を 10 s、縦軸の 1 cm を 10 mA とするよう目盛りをとった。

図 4 の斜線部分の面積は、 $t = 0$ s から $t = 120$ s までにコンデンサーから放電された電気量に対応している。このとき、 1 cm^2 の面積は

23 { ① 0.001 C ② 0.01 C ③ 0.1 C } の電気量に対応する。
④ 1 C ⑤ 10 C ⑥ 100 C }

この斜線部分の面積を、まず目を数えることで求めると 45 cm^2 であった。 $t = 120$ s 以降に放電された電気量を無視すると、コンデンサーの電気容量は

24 { ① $4.5 \times 10^{-3} \text{ F}$ ② $9.0 \times 10^{-3} \text{ F}$ ③ $1.8 \times 10^{-2} \text{ F}$ } と
④ $4.5 \times 10^{-2} \text{ F}$ ⑤ $9.0 \times 10^{-2} \text{ F}$ ⑥ $1.8 \times 10^{-1} \text{ F}$ } と
⑦ $4.5 \times 10^{-1} \text{ F}$ ⑧ $9.0 \times 10^{-1} \text{ F}$ ⑨ 1.8 F }

求められた。

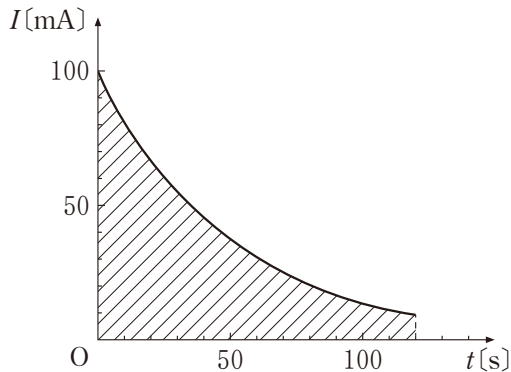


図 4

問 3 の方法では、 $t = 120 \text{ s}$ のときにコンデンサーに残っている電気量を無視していた。この点について、授業で討論が行われた。

問 4 次の会話文の内容が正しくなるように、空欄 25 に入れる数値として最も適当なものを、後の①～⑧のうちから一つ選べ。

Aさん：コンデンサーに蓄えられていた電荷が全部放電されるまで実験をしてみると、どれくらい時間がかかるんだろう。

Bさん：コンデンサーを 5.0 V で充電したときの実験で、電流の値が $t = 0 \text{ s}$ での電流 $I_0 = 100 \text{ mA}$ の $\frac{1}{2}$ 倍、 $\frac{1}{4}$ 倍、 $\frac{1}{8}$ 倍になるまでの時間を調べてみると、図 5 のように 35 s 間隔になっています。なかなか 0 にならないですね。

Cさん：電流の大きさが十分小さくなる目安として最初の $\frac{1}{1000}$ の 0.1 mA 程度になるまで実験をするとしたら、25 s くらいの時間、測定することになりますね。それくらいの時間なら、実験できますね。

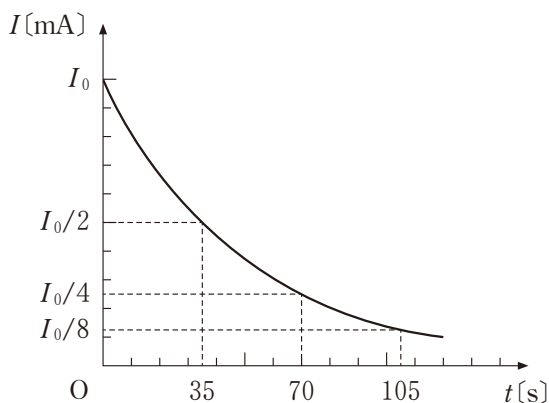


図 5

- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| ① 140 | ② 210 | ③ 280 | ④ 350 |
| ⑤ 420 | ⑥ 490 | ⑦ 560 | ⑧ 630 |

物 理

問 5 次の会話文の内容が正しくなるように、空欄 ・ に入れる式と語句の組合せとして最も適当なものを、後の①～⑧のうちから一つ選べ。

先 生：時間をかけずに電気容量を正確に求める他の方法は考えられますか。

Aさん：この回路では、コンデンサーに蓄えられた電荷が抵抗を流れるときの電流はコンデンサーの電圧に比例します。一方で、コンデンサーに残っている電気量もコンデンサーの電圧に比例します。この両者を組み合わせることで、この実験での電流と電気量の関係がわかりそうです。

Bさん：なるほど。電流の値が $t = 0$ での値 I_0 の半分になる時刻 t_1 に注目してみよう。グラフの面積を用いて $t = 0$ から $t = t_1$ までに放電された電気量 Q_1 を求めれば、 $t = 0$ にコンデンサーに蓄えられていた電気量が $Q_0 =$ とわかるから、より正確に電気容量を求められるよ。最初の方法で私たちが求めた電気容量は正しい値より のですね。

Cさん：この方法で電気容量を求めてみたよ。最初の方法で求めた値と比べると10%も違うんだね。せっかくだから、十分に時間をかける実験を1回やってみて結果を比較してみよう。

	ウ	エ
①	$\frac{Q_1}{4}$	小さかった
②	$\frac{Q_1}{4}$	大きかった
③	$\frac{Q_1}{2}$	小さかった
④	$\frac{Q_1}{2}$	大きかった
⑤	$2Q_1$	小さかった
⑥	$2Q_1$	大きかった
⑦	$4Q_1$	小さかった
⑧	$4Q_1$	大きかった