

物 理

教育学部 200点

注 意 事 項

1. 問題は、**1** から **4** までの計 4 問です。
2. **1** から **4** までのすべてを解答しなさい。
3. 解答用紙は、(4 の 1) から (4 の 4) までの計 4 枚です。解答は、すべて解答用紙の指定欄に記入しなさい。
4. 必ず解答用紙のすべてに、本学の受験番号を記入しなさい。
5. 印刷不鮮明およびページの落丁・乱丁等に気づいた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
6. 問題冊子の余白等は適宜利用してよい。
7. 試験終了後、問題冊子および計算用紙は持ち帰りなさい。

1

〔I〕と〔II〕の文章を読み、問い(1)~(8)に答えよ。ただし、地球の半径と質量を、それぞれ R , M_E とし、地球は密度が一様で完全な球体とする。地球の自転や公転、大気の影響は無視する。万有引力定数を G とする。

〔I〕 図1-1のように地球の地表から高さ h の軌道を、人工衛星 A (質量 M) が速さ V_0 で地球の重心 O を中心として等速円運動をしている。ただし、 M は M_E と比較して十分に小さいものとする。

- (1) 人工衛星 A に作用している地球との万有引力の大きさを答えよ。
- (2) 人工衛星 A の速さ V_0 を答えよ。
- (3) 人工衛星 A がもつ運動エネルギーを G , M_E , M , R , h を用いて表せ。
- (4) 地球から無限遠の点を万有引力による位置エネルギーの基準点とするとき、人工衛星 A がもつ万有引力による位置エネルギーを答えよ。
- (5) 地表からの高さ h の位置における重力加速度の大きさを答えよ。

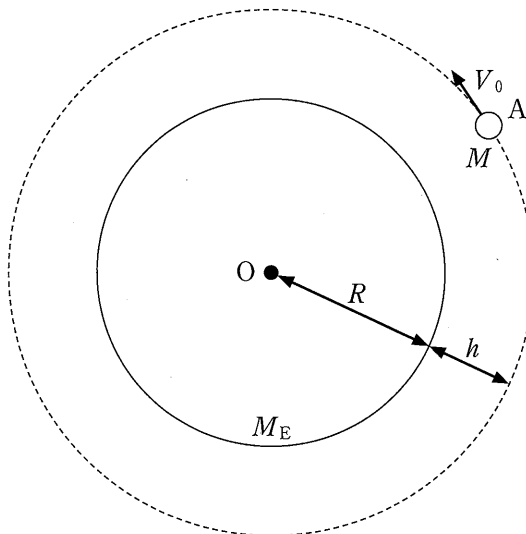


図 1 - 1

〔Ⅱ〕 探査機 B(質量 M') を地表から水平に発射したところ、地球から脱出した。

(6) 探査機 B が地球から脱出し無限遠に飛んでいくために必要な最小の速さを答えよ。ただし、 M' は M_E と比較して十分に小さいものとする。

その後、探査機 B は速さ V で等速直線運動をしているとする。探査機 B の前方に n 個の物体 $C_i (i = 1, 2, \dots, n)$ がある。それぞれの物体 C_i の質量は m であり、物体 C_i は探査機 B と同一直線上で探査機 B と同じ方向に速さ $v (v < V)$ で等速直線運動をしている。この n 個の物体 C_i を探査機 B で回収する。ただし、回収後、探査機 B と物体 C_i は一体となって同じ速度で運動するものとし、回収の前後で運動量は保存されているものとする。

(7) 図 1 - 2 に示すように探査機 B が 1 個目の物体 C_1 を回収した。物体 C_1 を回収した直後の探査機 B の速さ V_1 を答えよ。

(8) 探査機 B が n 個目の物体 C_n を回収した直後の探査機 B の速さ V_n を答えよ。ただし、物体 C_n を回収する直前の探査機 B の速さを V_{n-1} とする。

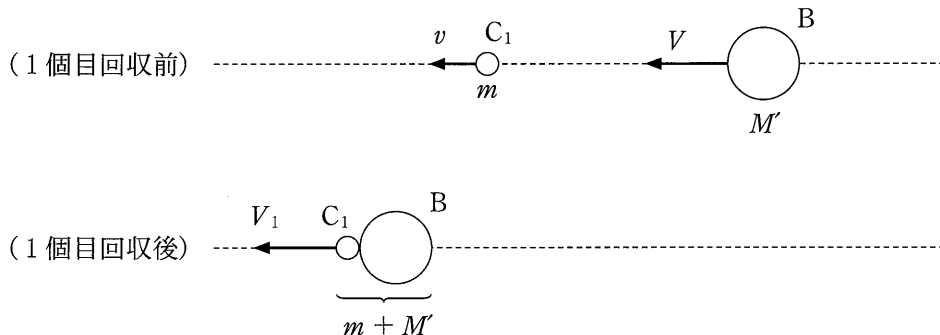


図 1 - 2

2

〔I〕と〔II〕の文章を読み，問い(1)~(7)に答えよ。

〔I〕 図2-1のように，断熱材で囲まれた質量150gの銅製の容器にかくはん棒と温度計が取り付けられた装置がある。かくはん棒と温度計の熱容量は無視できるものとして，以下の問いに答えよ。なお，物質の比熱は必要に応じて表2-1の値を用いよ。

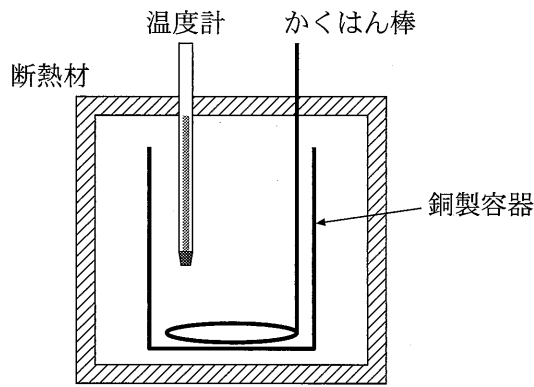


図2-1

表2-1

物質	比熱
アルミニウム	0.90 J/(g·K)
鉄	0.45 J/(g·K)
銅	0.38 J/(g·K)
水	4.2 J/(g·K)

図2-2のように，銅製の容器に200gの水を入れてしばらく放置したところ，全体の温度が15℃となった。

(1) 銅製の容器に水を入れた時の全体の熱容量[J/K]を，有効数字2桁で求めよ。

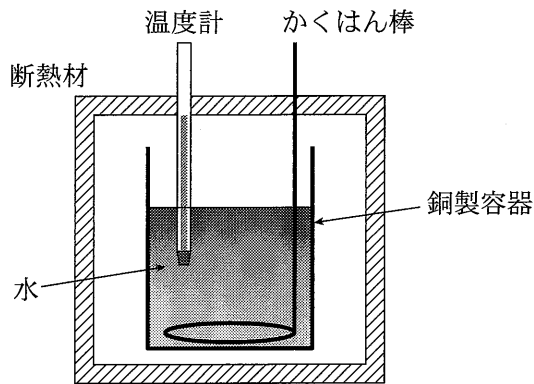


図 2 - 2

次に、図 2 - 3 のように、質量 100 g の金属球を 90 °C にあたためてから銅製の容器に入れてかくはん棒でかき混ぜたところ、17 °C で熱平衡の状態となった。

- (2) この実験に用いた金属球の比熱 $[J/(g \cdot K)]$ を、有効数字 2 桁で求めよ。

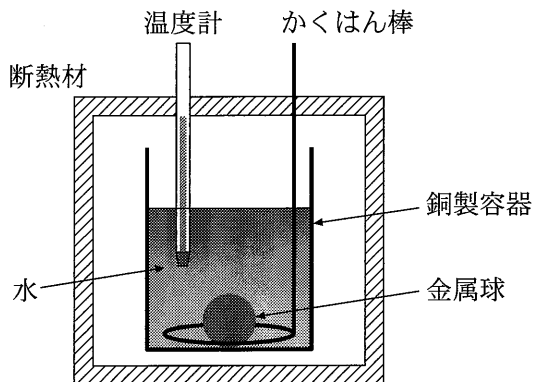


図 2 - 3

- (3) 同じ質量のアルミニウム、鉄、銅にそれぞれ同じ熱量を与えたとき、温度変化が最も大きくなる金属の種類を答えよ。

〔Ⅱ〕 図2-4のように、体積が変化しない断熱容器(以下、容器とする)がある。容器の体積は V_0 [m³] であり、手動で開閉できる弁がついている。この容器に大気圧 p_0 [Pa] のもとで、温度 T_0 [K]、圧力 p_0 の空気を閉じ込めた。容器内の温度を上昇させ、温度が T_1 [K]、容器内の圧力が p_1 [Pa] となったときに弁を開いた。その後、温度を T_1 に保ったまましばらく放置し、容器内外の圧力差が0になったときに弁を閉じた。空気を理想気体としたとき、次の問いに答えよ。なお、容器と弁をつなぐ管の体積は考えなくてよく、空気の放出による熱のやり取りは無視できるものとする。

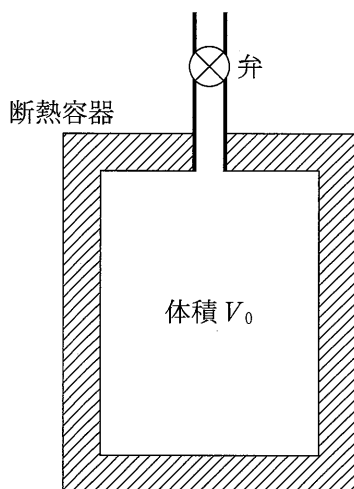


図2-4

(4) 次の文はボイル・シャルルの法則を説明したものである。文中の空欄

, に入る適切な語句を答えよ。

一定質量の気体の体積は、 に反比例し、 に比例する。

(5) 温度 T_1 を p_0 、 p_1 、 T_0 を用いて表せ。

- (6) $T_0 = 300 \text{ K}$, $T_1 = 500 \text{ K}$ としたとき, 容器から放出された空気の体積 $V[\text{m}^3]$ を V_0 を用いて表せ。

次に, 弁を閉じてから温度を T_1 から T_0 に下げたところ, 容器内の圧力は $p_2[\text{Pa}]$ となった。

- (7) 圧力 p_2 を p_0 , p_1 を用いて表せ。

3

〔I〕～〔III〕の文章を読み、問い(1)～(7)に答えよ。

〔I〕 周期 2.0 s の正弦波(入射波)が x 軸の正の向きに進んでいる。図 3 - 1 は時刻 $t = 0\text{ s}$ でその先端が点 P($x = -4.0\text{ m}$) に達したときの波形を表しており、横軸は位置 $x[\text{m}]$ 、縦軸は媒質の変位 $y[\text{m}]$ を示している。この入射波は $x = 0\text{ m}$ で減衰することなく自由端反射し、 x 軸の負の向きに進む(反射波)。

(1) 入射波について、以下の空欄 (ア) ～ (エ) に適切な数値を入れよ。なお、数値は有効数字 2 桁とし、単位もあわせて示せ。

振幅は (ア) で、波長は (イ) である。また、波の振動数は (ウ) で、速さは (エ) である。

(2) 入射波について、位置 $x = -5.0\text{ m}$ 、時刻 $t(\geq 0)$ [s] における変位 $y[\text{m}]$ を表す式を書け。ただし、円周率を π とする。

(3) 時刻 $t = 3.0\text{ s}$ 、 3.5 s における合成波の波形を $x = -8 \sim 0\text{ m}$ の範囲でそれぞれ描け。 $x > 0\text{ m}$ の範囲は自由に使ってよく、採点には含めない。

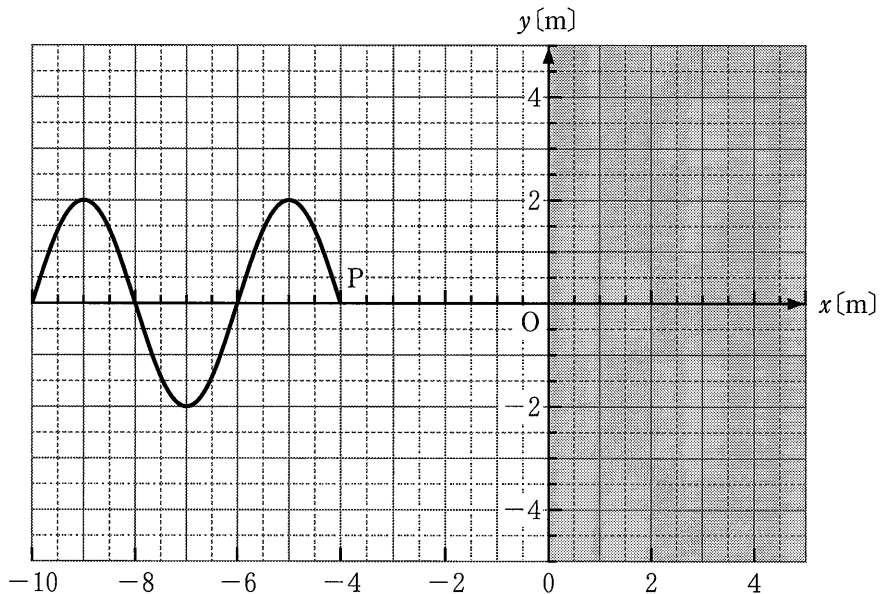


図 3 - 1

〔Ⅱ〕 光の速さの測定に関する探究活動を行う生徒 A, B, C の会話である。

(4) 以下の空欄 ~ に適切な数式, または数値を入れよ。

A) 1600 年代まで光の速さは無限大というのが常識だったみたいだね。

B) 光の速さを初めて測定しようとしたのはガリレイで, 以下の手順で実験を行ったけれどうまくいかなかったようだよ。

- ① 観測者 X と Y がそれぞれ, 光をさえぎるおおいを被せたランプを持ち, 距離 D だけ離れる。
- ② X がランプのおおいを取る。
- ③ Y はその光を見て直ちに自分のランプのおおいを取る。
- ④ X は Y の光を見て, 自分がおおいを取ってからの時間 t を測定する。

C) そうすると, 光の速さ c は, D と t を用いて $c =$ と表せるね。

B) 現在分かっている光の速さを 3.0×10^8 m/s とし, 1500 m 離れて測定したとして時間を求めてみよう。

A) $t =$ s となるね。確かに人間の目でその時間間隔を見分けることは到底できないね。

C) 光の速さが有限の値であることが初めて示されたのは、1676年、天体観測をもとにしたレーマーによる報告だと言われているよ。

A) どのような観測だったの？

C) レーマーは、木星の衛星イオの食(衛星が木星の影に隠れて地球から見えなくなってしまう現象)を長期間にわたって記録し、地球と木星の位置関係によって食と食との時間の間隔が変動することを観測したんだ。そして、その変動が光の速さが有限であることに起因しているとして、その速さを求めることができることを示したんだ。

B) そうか、地球の公転によって地球と木星の距離が変わり、イオからの光が地球に届くまでの時間が変化するから食と食との時間の間隔が変動するというわけだね。

A) なるほど、光の速さが無限大だったら地球と木星の位置関係によらずに、イオの公転周期(約42.5時間)ごとに一定の間隔で食が観測されるはずだもんね。

C) では図3-2を見ながら、地球がPとQそれぞれの位置でイオの食を観測できたとして、食の始まる時刻がPとQの間でどれくらいずれるか見積もってみよう。

A) 現在分かっている光の速さの値を用いると、Pでイオの食を観測したときから予測される時刻より、Qでは (キ) 分 (ク) 秒遅れて観測することになるね。これは当時でも十分に測定可能な値だったから、光の速さは有限だと示せたということだね。

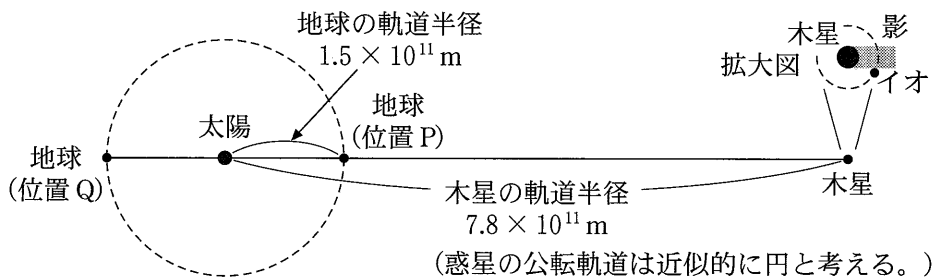


図3-2

- A) 光の速さを天体観測ではなく地上で初めて測定したのは、1849年の
 フィゾーによる回転歯車と鏡を用いた実験(図3-3)だって。
- B) 光が鏡で反射して戻ってくるまでの往復時間を測る、というのはガリ
 レイと同じアイデアだね。
- A) そうだね。でも時間を直接測るのではなく、歯車の数 N と回転数 f
 からその往復時間 t を求めたんだ。
- C) 歯とすき間の幅は同じとして、光が歯車のすき間を通過して往復して
 戻ってくる間に隣の歯がさえぎる分だけ回転したとすると、その往復時
 間は $t = \boxed{\text{(ケ)}}$ と表せるね。
- B) 歯車と反射鏡の間の距離を L とすると、光の速さは N, f, L を使っ
 て $c = \boxed{\text{(コ)}}$ で求められるのか。
- A) フィゾーの実験の記録によると、歯車と反射鏡の間の距離は
 8633 m、歯車の数は 720 で、回転数を徐々に上げて 12.6 回/s ではじめ
 て光が歯でさえぎられたんだって。
- B) この結果からは $c \approx 3.1 \times 10^8$ m/s という値が得られるね。
- C) 現在の真空中の光の速さ 2.99792458×10^8 m/s と比べてもなかなか
 の精度だね。

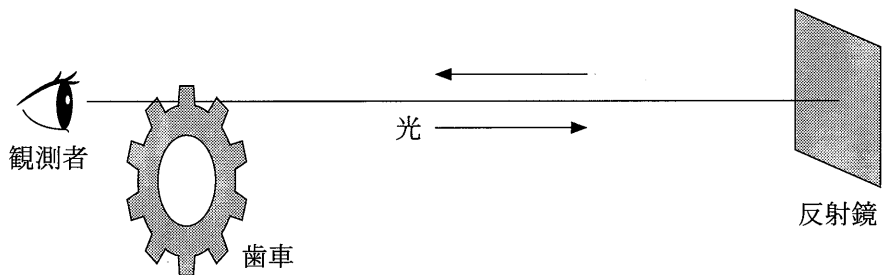


図3-3

〔Ⅲ〕 ある金属にさまざまな波長の光を照射し、飛び出してくる電子を観察する。

(5) 以下の空欄 , に適切な語句を入れよ。

光の照射により金属から電子が飛び出す現象は と呼ばれ、19世紀末に発見された。この現象は光の波としての性質では理解できないが、アインシュタインは、1905年、光が とよばれる粒子の流れだとすることでこの現象の説明に成功した。

(6) 仕事関数 W の金属に波長 λ の光を照射した。飛び出す電子の運動エネルギーの最大値を表す式を答えよ。ただし、真空中の光の速さを c 、電気素量を e 、プランク定数を h 、ボルツマン定数を k 、電子の質量を m とし、必要なものを用いて表せ。

(7) 仕事関数 2.0 eV の金属を用いたところ、波長 $6.3 \times 10^{-7} \text{ m}$ より短い波長の光を照射したときのみ電子が飛び出した。この実験から得られるプランク定数 h の値を求めよ。なお、数値は有効数字2桁とし、単位もあわせて示せ。ただし、 $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、 $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ 、 $m = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ とし、必要なものを用いよ。

4

〔I〕と〔II〕の文章を読み、問い(1)~(10)に答えよ。

〔I〕 図4-1のように磁束密度 B の一様な磁場を z 軸の正方向に加える。その磁場中に幅 d 、厚さ h の直方体半導体試料を置き、 y 軸の正の向きに大きさ I の電流を試料に流す。電流を担うキャリア(電気量 q 、速さ v で向きは y 軸に平行な方向)は磁場から力を受けて試料の一端に集まるため、電流と磁場双方に垂直な方向に大きさ E の電場を生じ、大きさ V の電位差を生じる。

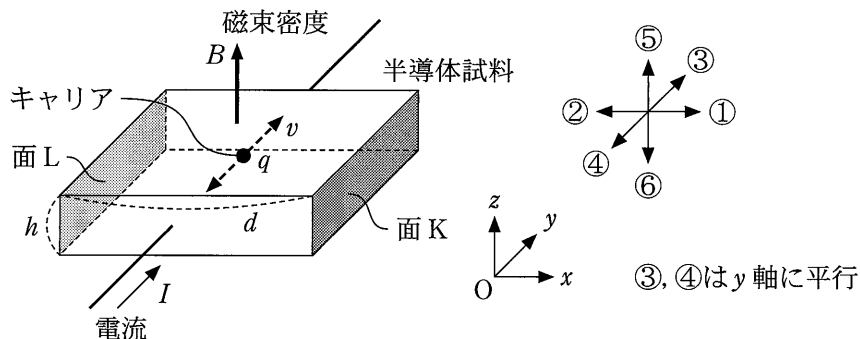


図4-1

- (1) 上の文章で説明されている現象の名称を答えよ。
- (2) $q > 0$ のとき、キャリアが磁場から受ける力の大きさ F_B と向きを答えよ。大きさは B, h, I, q, d, v, E のうち必要なものを用い、向きは図4-1中の①~⑥から1つ選び記号で答えよ。また、この力の名称を答えよ。
- (3) $q > 0$ のとき、キャリアが大きさ E の電場から受ける力の大きさ F_E と向きを答えよ。大きさは B, h, I, q, d, v, E のうち必要なものを用い、向きは図4-1中の①~⑥から1つ選び記号で答えよ。

- (4) 単位体積あたりのキャリアの個数を n とする。電流の大きさ I を h , q , d , v , n を用いて表せ。
- (5) (2), (3)の力がつり合っているとき, 電位差の大きさ V を B , h , I , q , n を用いて表せ。
- (6) 面 K を電位の基準点 (0 V) とする。面 L の電位が負であった場合, この半導体は p 型か n 型, どちらであるか答えよ。

〔Ⅱ〕 図4-2のように、電圧 V の直流電源、スイッチ S_1 、 S_2 、 S_3 、抵抗値 R の抵抗、電気容量 C のコンデンサーと自己インダクタンス L のコイルから構成される回路がある。はじめ、コンデンサーに電荷はないものとする。

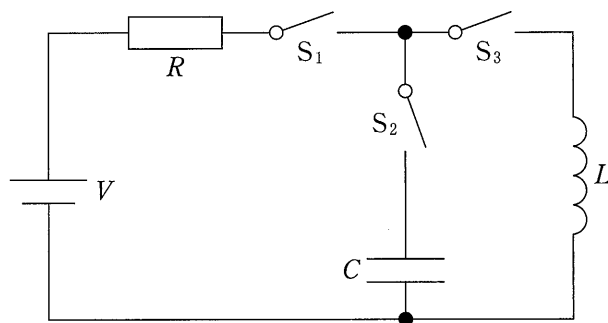


図4-2

(7) スイッチ S_1 、 S_2 を同時に閉じ、十分に時間が経過した。このとき、コンデンサーに蓄えられる電荷の電気量 Q とコンデンサーに蓄えられる静電エネルギー U_C はいくらか。また、スイッチを閉じてから、抵抗に流れる電流とコンデンサーの電圧の時間変化として適切な波形をそれぞれ図4-3の①~④からそれぞれ1つ選び記号で答えよ。ただし、スイッチを閉じたときを時刻 $t=0$ とする。

(8) 続いて、スイッチ S_2 を開き、スイッチ S_3 を閉じ、十分に時間が経過した。このとき、抵抗に流れている電流 I とコイルに蓄えられるエネルギー U_L はいくらか。また、スイッチ S_3 を閉じてから、抵抗に流れる電流の時間変化として適切な波形を図4-3の①~④から1つ選び記号で答えよ。ただし、スイッチ S_3 を閉じたときを時刻 $t=0$ とする。

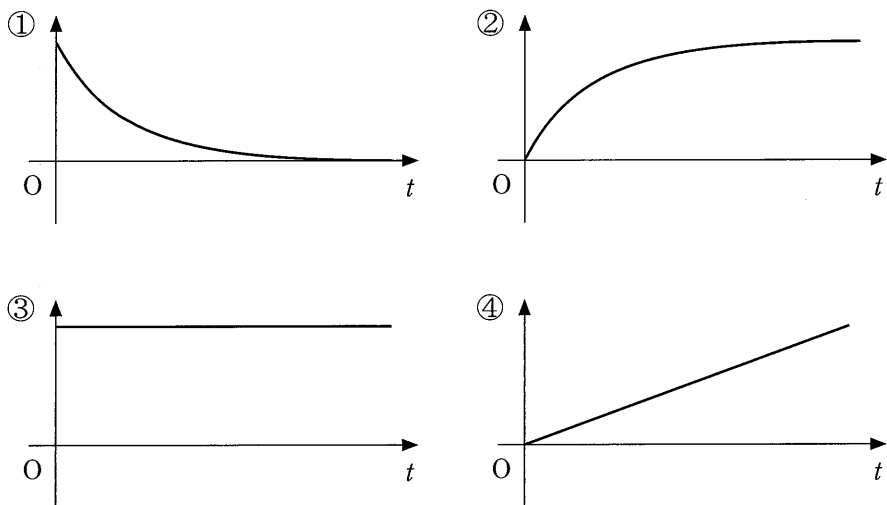


図 4 - 3

- (9) 続いて、 S_1 を開くと同時に S_2 を閉じた。このとき、回路には振動電流が流れた。振動電流の周波数 f を求めよ。ただし、円周率は π とする。
- (10) (9)においてオシロスコープにより電流波形を観測した。実際の回路ではコイルの電気抵抗によりジュール熱が発生し、電気エネルギーが失われることを考慮して、波形の概形として適切なものを図 4 - 4 の①～④から一つ選び記号で答えよ。

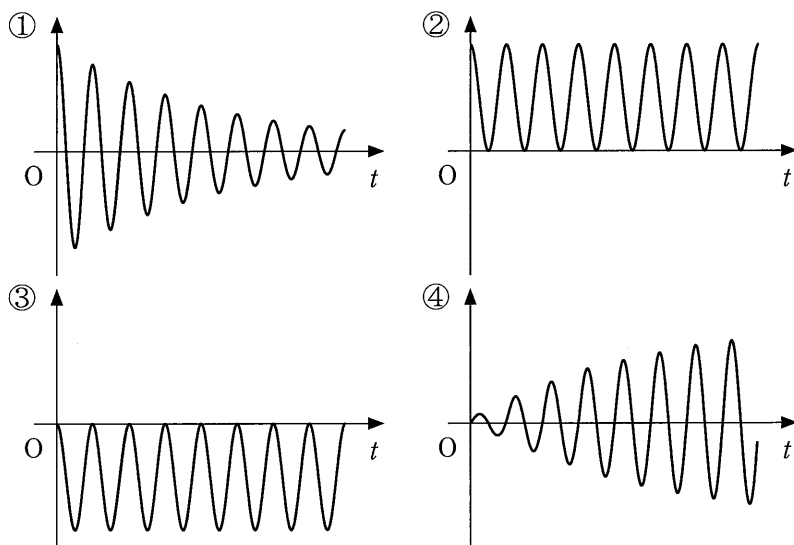


図 4 - 4