

物 理

注 意 事 項

1. 「解答始め」の合図があるまでこの冊子は開かないこと。
2. この冊子は表紙を除いて 10 ページである。
3. 「解答始め」の合図があったら、まず、黒板等に掲示又は板書してある問題冊子ページ数・解答用紙枚数・下書き用紙枚数が、自分に配付された数と合っているか確認し、もし数が合わない場合は手を高く挙げ申し出ること。次に、受験番号・氏名を必ずすべての解答用紙の指定された箇所に記入してから、解答を始めること。
4. 解答は、必ず解答用紙の指定された箇所に横書きで記入すること。

- 1** 質量 m の小物体と水平なあらい上面を持つ質量 M の台車の運動について、次の【実験 1】と【実験 2】の説明を読み、(1)～(7)に答えよ。重力加速度の大きさを g 、小物体と台車の上面との間の静止摩擦係数および動摩擦係数をそれぞれ μ および μ' とする。小物体の大きさは無視でき、一旦台車の上面にのった小物体は台車の上面から落ちることはないものとする。台車は床の上をなめらかに運動できるものとする。図の右向きを速度および加速度の正の向きとする。運動はすべて同一鉛直面内で行われるものとする。

【実験 1】

図 1-1 に示すように、小物体が摩擦のないなめらかな水平面 PQ 上を右向きに速さ v_0 で運動している。台車は水平面 Q'R' 上に静止しており、台車の上面は水平面 PQ と同じ高さでなめらかに接続している。やがて小物体は点 Q において台車の上面に乗り移り、台車の上面をすべり始めた。

- (1) 小物体が台車の上面をすべっている間の小物体の加速度 a と台車の加速度 A を求めよ。
- (2) 小物体が台車の上面に乗り移った瞬間の時刻を $t = 0$ とする。小物体が台車の上面をすべっている間の時刻 t における小物体の速度 v および台車の速度 V を求めよ。
- (3) やがて小物体と台車は同じ速度になり、一体となって運動し始めた。小物体と台車が一体となって運動し始めた時刻 t_1 と、そのときの小物体と台車の速度 V_1 を求めよ。
- (4) 小物体が台車に乗り移る前の運動エネルギー K_1 と、小物体と台車が一体となって運動し始めた後の小物体と台車の運動エネルギーの和 K_2 を求めよ。なお、解答には V_1 を用いてよい。
- (5) 小物体が台車の上面をすべった距離 d と K_1 、 K_2 の関係を示せ。

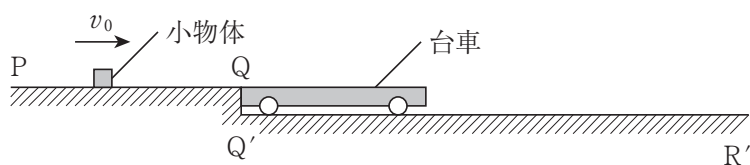


図 1-1

【実験 2】

図 1-2 に示すように、小物体をのせた台車が一体として右向きに運動している。その後、台車は右側の壁に取り付けたばね定数 k のばねの左端に衝突し、ばねが縮み始めた。

(6) 台車がばねに衝突してしばらくの間は小物体が台車の上面をすべることはなかった。この間においてばねが自然の長さから x だけ縮んだときの台車と小物体の加速度 a_1 を求めよ。

(7) ばねの縮みが x_0 を超えたとき、小物体は台車の上面をすべり始めた。 x_0 を求めよ。

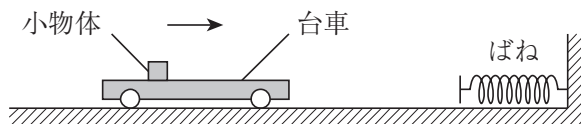


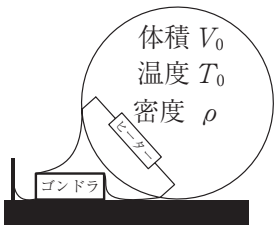
図 1-2

2

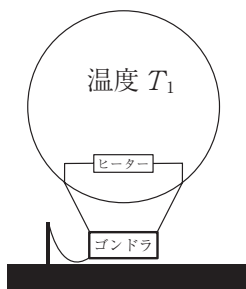
次の熱気球に関する文章を読み、あとの問いに答えよ。

空気が密閉された風船(球皮)とヒーター、ゴンドラなどの装置から構成される気球がある。地表における大気圧は P_0 、大気の密度は ρ であるとする。球皮は気体を通さず、球皮内の空気と外部の大気の間で熱のやり取りはないものとする。また、球皮は自由に伸縮するため内外の圧力は等しく、球皮の張力が気体にする仕事は無視できる。球皮内の空気および大気は同一の二原子分子理想気体であるものとし、大気の絶対温度は高度によらず T_0 で一定とする。球皮が接地しており、球皮内の空気の体積が V_0 、絶対温度が T_0 である状態を状態 A とする。このとき、球皮内の空気の密度は ρ である。球皮と装置の体積は無視できるものとし、それらの質量の合計は球皮内の空気の質量の α 倍であるとする。したがって、球皮内の空気を含む気球全体の質量は $(1 + \alpha)\rho V_0$ である。気体定数を R 、定積モル比熱を $C_V = \frac{5}{2}R$ とする。ヒーターの熱容量は無視できるものとする。

状態 A



状態 B



状態 C



図 2-1

- (1) 球皮内の空気の物質量[mol]を、 P_0 , V_0 , T_0 , R を用いて答えよ。
- (2) 球皮内の空気 1 mol あたりの質量を、 ρ , P_0 , T_0 , R を用いて答えよ。
- (3) ゴンドラをロープで地表につなぎ留めたまま、球皮内の空気をヒーターでゆっくりと加熱したところ、球皮内の空気の絶対温度が T_1 に達したとき気球が浮き始めた(状態 B)。この絶対温度 T_1 と、状態 A から状態 B までにヒーターで加えた熱量 Q_1 を答えよ。
- (4) ゴンドラをつないでいたロープを切ると気球はゆっくりと上昇した。高度が上がって大気圧が P_0 より低くなっても、球皮内の空気の絶対温度を T_1 以上に保てば気球の高度は下がらないことを示せ。
- (5) 球皮内の空気の絶対温度を T_1 に維持し、気球がゆっくり上昇するようヒーターを制御して、ある高度に達したところでヒーターを止めた(状態 C)。この高度での大気圧は P で、球皮内の空気の体積 V は、状態 B の体積の 3 倍だった。解答欄のグラフ中には状態 B の位置が与えられている。状態 B から状態 C までの球皮内の空気の圧力と体積の関係を図示せよ。状態 B の体積は V_1 とする。また、この過程で球皮内の空気が大気に対してした仕事と面積が等しくなる領域をグラフ中に斜線で示せ。
- (6) 状態 B から状態 C までにヒーターで加えた熱量を Q_2 とする。この過程における球皮内の空気の内部エネルギーの変化 ΔU を答えよ。

3

静電気現象について、以下の問いに答えよ。

- (1) 次の文章中の空欄()に入る最も適当な語句または数値を答えよ。ただし、①～③の答えは選択肢から選び、④と⑤の答えは有効数字2桁で表せ。

物体が電気を帯びることを(①)といい、様々な電気現象を引き起こす。ここでは、雷に注目し、雷雲内の電荷分布を単純化して静電気現象を考えることにする。雷雲内の氷の粒は、粒同士の衝突によって電気を帯びることが知られている。正電荷を持つ氷の粒が雷雲の上層部、負電荷を持つ氷の粒が雷雲の下層部に集まったとすると、雷雲の下層部と地表の間に(②)が起こり地表に正電荷が現れる。雷雲内で氷の粒の衝突が続くと、雷雲の上層部、雷雲の下層部と地表の電荷が増加し、上層部と下層部の間、及び下層部と地表の間の電位差が大きくなる。いま、雷雲の下層部と地表をコンデンサーの電極とみなす。もし、雷雲の下層部と地表の間の電位差がある限界以上の大きになると、コンデンサーの極板間の(③)が破れて空気を介して電荷が移動し、この間に電流が流れる。

いま、雷雲の下層部と地表の電位差が $1.0 \times 10^9 \text{ V}$ のときに、 $1.0 \times 10^5 \text{ A}$ の電流が $1.0 \times 10^{-3} \text{ s}$ の間流れたとする。雷雲の下層部と地表の間の電気抵抗は(④) Ω となり、この間を移動した電気量は(⑤) C である。

選択肢

静電気力	帯電	導体	不導体	充電
放電	耐電圧	絶縁	静電誘導	静電遮へい

- (2) 2枚の導体板 A と B を平行に並べ、導体板 A を直流電源の正極(+極)、導体板 B を直流電源の負極(-極)に接続して、これらの導体板に電圧を加えたところ、図 3-1 に示すような等電位線が得られた。導体板 A 上の点 a と点 b から導体板 B に向かう電気力線をそれぞれ描き、それらの向きを矢印で示せ。

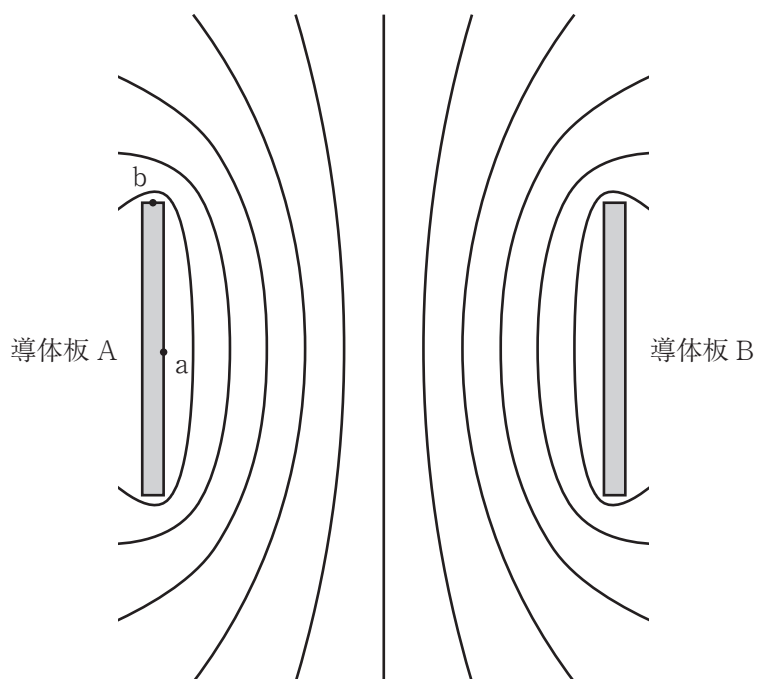


図 3-1

(3) 図 3-2 に示すように、平行板コンデンサー A と B、スイッチ S_1 と S_2 、電圧 V の直流電源で構成された回路がある。コンデンサー A と B において、それぞれの極板の面積は S 、極板間隔は d_A と d_B であり、極板間にはそれぞれ誘電率 ϵ_A と ϵ_B の誘電体で満たされている。はじめ、2 つのコンデンサーに電荷は蓄えられていない。また、2 つのコンデンサーにおいて、極板の周辺部における電界の乱れは無視でき、極板間の電界は一様であるものとする。以下の問いに答えよ。

(i) コンデンサー A と B を直列に接続したときの合成容量 C_{AB} を求めよ。

(ii) 図 3-2(a) に示すように、スイッチ S_2 を開いた状態で、スイッチ S_1 を閉じて、時間が十分に経過した。このとき、コンデンサー A と B の極板間における電界 E_A と E_B を求めよ。また、導出過程も記述すること。

(iii) (ii) の操作において、コンデンサー A と B に蓄えられた電気量がいずれも Q_0 となった。その後、図 3-2(b) に示すように、スイッチ S_1 を開いた後、スイッチ S_2 を閉じ、時間が十分に経過した。このとき、コンデンサー A と B の極板間における電界 E'_A と E'_B を求めよ。

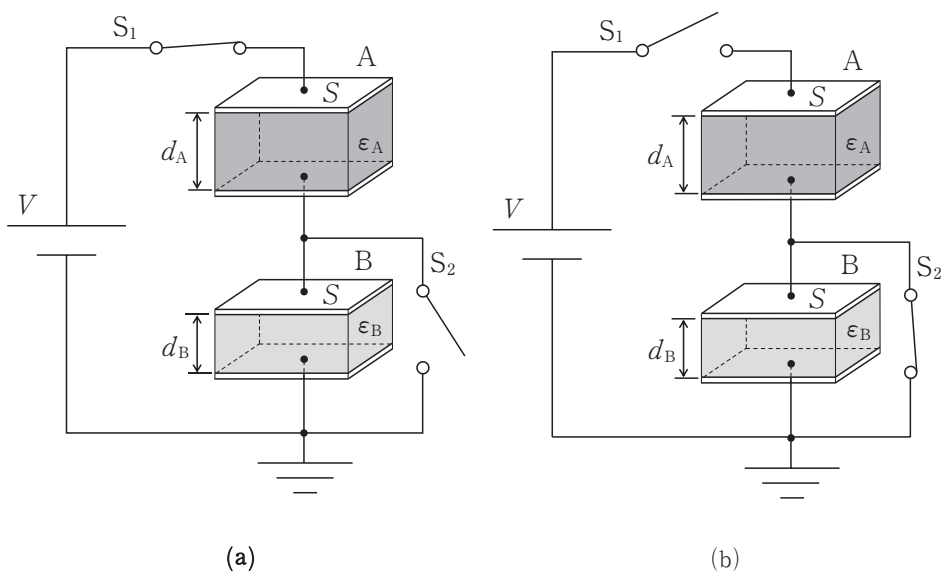


図 3-2

試験問題は次に続く。

4

次の放射線に関する文章を読み、あとの問いに答えよ。

放射線には、 α 線、 β 線、 γ 線がある。

- ・ (①) 線は高エネルギーの電磁波である。
- ・ (②) 線は原子核が (②) 崩壊するときに放出され、その正体は、質量数 4、原子番号 2 の (A) の原子核である。
- ・ (③) 線は原子核中の中性子が (B) と (C) に変化し、(B) が原子核から飛び出す (③) 崩壊のときに生じる。そのため、崩壊時に元の原子核は、質量数は変化せず、原子番号が 1 大きい原子核に変化する。
(厳密には反電子ニュートリノも生成されているがここでは無視する。)

(1) ①～③にあてはまる語句を α 、 β 、 γ から選び答えよ。

(2) A、B、C にあてはまる語句を答えよ。

(3) α 線、 β 線、 γ 線が、一様な磁界を磁界に対して垂直に横切るときのふるまいを表した文章として適切なものを次の中から選べ。

ア：すべて直進する

イ：すべて同じ向きに曲がる

ウ： α 線だけ直進し、残りは同じ向きに曲がる

エ： α 線だけ直進し、残りはそれぞれ逆向きに曲がる

オ： β 線だけ直進し、残りは同じ向きに曲がる

カ： β 線だけ直進し、残りはそれぞれ逆向きに曲がる

キ： γ 線だけ直進し、残りは同じ向きに曲がる

ク： γ 線だけ直進し、残りはそれぞれ逆向きに曲がる

- (4) ある原子核の半減期が 50 日であるとき，この原子核の数が $1/3$ になるまで何日かかるか答えよ。ただし， $\log_{10} 2 = 0.30$ ， $\log_{10} 3 = 0.48$ とする。
- (5) ${}^{235}_{92}\text{U}$ は (②) 崩壊を X 回，(③) 崩壊を Y 回行って，最終的に ${}^{207}_{82}\text{Pb}$ になる。 X ， Y を答えよ。導出過程も記述すること。

