

入学試験問題

理科



(配点 120 点)

平成 23 年 2 月 26 日 9 時 30 分—12 時

注意事項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
- 2 この問題冊子は全部で 69 ページあります(本文は物理 4～15 ページ、化学 16～31 ページ、生物 32～53 ページ、地学 54～69 ページ)。落丁、乱丁または印刷不鮮明の箇所があったら、手を挙げて監督者に知らせなさい。
- 3 解答には、必ず黒色鉛筆(または黒色シャープペンシル)を使用しなさい。
- 4 解答は、1 科目につき 1 枚の解答用紙を使用しなさい。
- 5 物理、化学、生物、地学のうちから、あらかじめ届け出た 2 科目について解答しなさい。
- 6 解答用紙の指定欄に、受験番号(表面 2 箇所、裏面 1 箇所)、科類、氏名を記入しなさい。指定欄以外にこれらを記入してはいけません。
- 7 解答は、必ず解答用紙の指定された箇所に記入しなさい。
- 8 解答用紙表面上方の指定された()内に、その用紙で解答する科目名を記入しなさい。
- 9 解答用紙表面の上部にある切り取り欄のうち、その用紙で解答する科目の分を 1 箇所だけ正しく切り取りなさい。
- 10 解答用紙の解答欄に、関係のない文字、記号、符号などを記入してはいけません。また、解答用紙の欄外の余白には、何も書いてはいけません。
- 11 この問題冊子の余白は、草稿用に使用してもよいが、どのページも切り離してはいけません。
- 12 解答用紙は、持ち帰ってはいけません。
- 13 試験終了後、問題冊子は持ち帰りなさい。

物 理

第1問 図1のように、長さ l で質量の無視できる棒によってつながれた、質量 M の物体 A と質量 m の物体 B の運動を考える。ただし $M > m$ とする。棒は物体 A および物体 B に対してなめらかに回転でき、棒が鉛直方向となす角を θ とする。はじめ、物体 A は水平な床の上で鉛直な壁に接していた。一方、物体 B は物体 A の真上 ($\theta = 0^\circ$) から初速度 0 で右側へ動き始めた。その後の運動について以下の設問に答えよ。なお、重力加速度の大きさを g とし、物体 A と物体 B の大きさは考えなくてよい。また、棒と物体 A および物体 B との間にはたらく力は棒に平行である。

I まず、物体 A と床との間に摩擦がない場合について考える。

- (1) 物体 B が動き出してからしばらくの間は、物体 A は壁に接したままであった。この間の物体 B の速さ v を、 θ を含んだ式で表せ。
- (2) (1) のとき、棒から物体 B にはたらく力 F を、 θ を含んだ式で表せ。棒が物体 B を押す向きを正とする。
- (3) $\theta = \alpha$ において、物体 A が壁から離れて床の上をすべり始めた。 $\cos \alpha$ を求めよ。
- (4) $\theta = \alpha$ における物体 B の運動量の水平成分 P を求めよ。
- (5) 物体 B が物体 A の真横 ($\theta = 90^\circ$) にきたときの、物体 A の速さ V を求めよ。 P を含んだ式で表してもよい。
- (6) $\theta = 90^\circ$ に達した直後に、物体 B が床と完全弾性衝突した。その後、物体 B が一番高く上がったとき $\theta = \beta$ であった。 $\cos \beta$ を求めよ。 P を含んだ式で表してもよい。

II 次に、物体 A と床との間に摩擦がある場合について考える。今度は、 $\theta = 60^\circ$ において、物体 A が壁から離れた。これより、物体 A と床との間の静止摩擦係数 μ を求めよ。

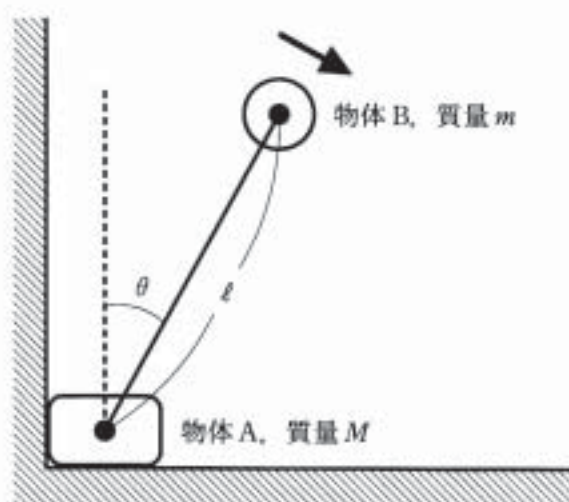


图 1


第2問 電気製品によく使われているダイオードを用いた回路を考えよう。簡単化のため、ダイオードは図2-1のようなスイッチ S_D と抵抗とが直列につながれた回路と等価であると考え、Pの電位がQよりも高いか等しいときには S_D が閉じ、低いときには S_D が開くものとする。なお以下では、電池の内部抵抗、回路の配線に用いる導線の抵抗、回路の自己インダクタンスは考えなくてよい。

I 図2-2のように、容量 C のコンデンサー2個、ダイオード D_1 、 D_2 、スイッチ S 、および起電力 V_0 の電池2個を接続した。最初、スイッチ S は $+V_0$ 側にも $-V_0$ 側にも接続されておらず、コンデンサーには電荷は蓄えられていないものとする。点 G を電位の基準点(電位0)としたときの点 P_1 、 P_2 それぞれの電位を V_1 、 V_2 として、以下の設問に答えよ。

- (1) まず、スイッチ S を $+V_0$ 側に接続した。この直後の V_1 、 V_2 を求めよ。
- (2) (1)の後、回路中の電荷移動がなくなるまで待った。このときの V_1 、 V_2 、およびコンデンサー1に蓄えられている静電エネルギー U を求めよ。また、電池がした仕事 W を求めよ。
- (3) (2)の後、スイッチ S を $-V_0$ 側に切り替えた。この直後の V_1 、 V_2 を求めよ。
- (4) (3)の後、回路中の電荷移動がなくなったときの V_1 、 V_2 を求めよ。

II 図2-2の回路に多数のコンデンサーとダイオードを付け加えた図2-3の回路は、コッククロフト・ウォルトン回路と呼ばれ、高電圧を得る目的で使われる。いま、コンデンサーの容量は全て C とし、最初、スイッチ S は $+V_0$ 側にも $-V_0$ 側にも接続されておらず、コンデンサーには電荷は蓄えられていないとする。

スイッチ S を $+V_0$ 側、 $-V_0$ 側と何度も繰り返し切り替えた結果、切り替えても回路中での電荷移動が起こらなくなった。この状況において、スイッチ S を $+V_0$ 側に接続したとき、点 P_{2n-2} と点 P_{2n-1} の電位は等しくなっていた ($n = 1, 2, \dots, N$)。また、スイッチ S を $-V_0$ 側に接続したとき、点 P_{2n-1} と点 P_{2n} の電位は等しくなっていた ($n = 1, 2, \dots, N$)。スイッチ S を $+V_0$ 側に接続したときの点 P_{2N-1} 、 P_{2N} の電位 V_{2N-1} 、 V_{2N} を N と V_0 で表せ。なお、点 G を電位の基準点(電位0)とせよ。

ダイオード P ○  ○ Q

等価回路 P ○  S_D  抵抗 ○ Q

図 2-1

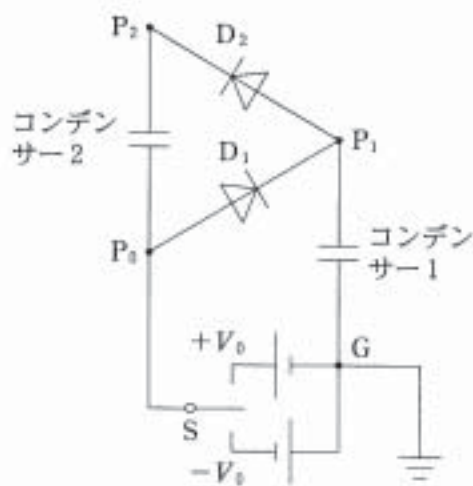


図 2-2

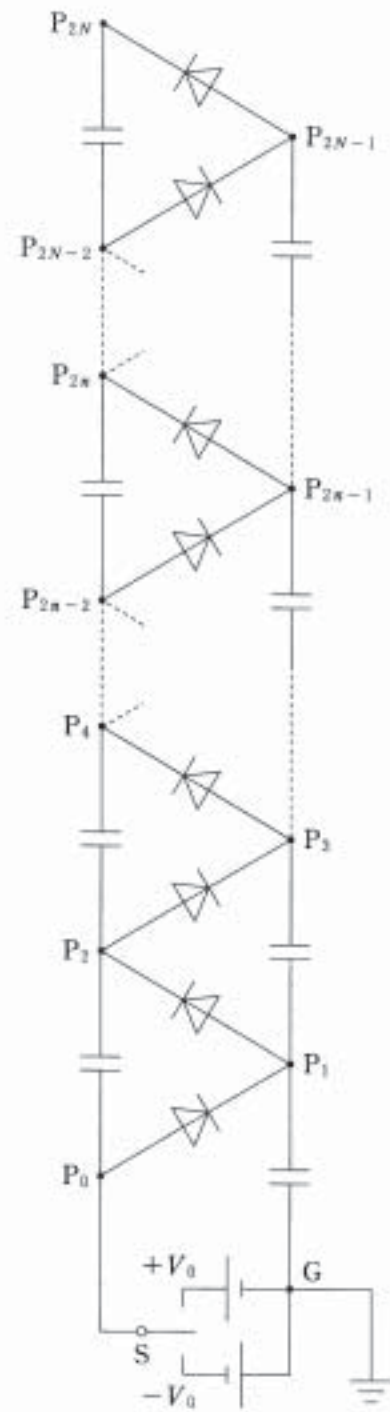


図 2-3

第3問 図3-1のように、摩擦なしに動くピストンを備えた容器が鉛直に立っており、その中に単原子分子の理想気体が閉じ込められている。容器は断面積 S の部分と断面積 $2S$ の部分からなっている。ピストンの質量は無視できるが、その上に一様な密度の液体がたまっており、つりあいが保たれている。気体はヒーターを用いて加熱することができ、気体と容器壁およびピストンとの間の熱の移動は無視できる。また、気体の重さ、ヒーターの体積、液体と容器壁との摩擦や液体の蒸発は無視でき、液体より上の部分は圧力0の真空とする。重力加速度の大きさを g とする。以下の設問に答えよ。

I まず、気体、液体ともに断面積 S の部分にあるときを考える。このときの液体部分の高さは $\frac{h}{2}$ である。

- (1) はじめ、気体部分の高さは $\frac{h}{2}$ 、圧力は P_0 であった。液体の密度を求めよ。
- (2) 気体を加熱して、気体部分の高さを $\frac{h}{2}$ から h までゆっくりと増加させた(図3-2)。この間に気体がした仕事を求めよ。
- (3) この間に気体が吸収した熱量を求めよ。

II 気体部分の高さが h のとき、液体の表面は断面積 $2S$ の部分との境界にあった(図3-2)。このときの気体の温度は T_1 であった。さらに、ゆっくりと気体を加熱して、気体部分の高さが $h+x$ となった場合について考える(図3-3)。

- (1) $x > 0$ では、液体部分の高さが小さくなることにより、気体の圧力が減少した。気体の圧力 P を、 x を含んだ式で表せ。
- (2) $x > 0$ では、加熱しているにもかかわらず、気体の温度は T_1 より下がった。気体の温度 T を、 x を含んだ式で表せ。
- (3) 気体部分の高さが h から $h+x$ に変化する間に、気体がした仕事 W を求めよ。
- (4) 気体部分の高さがある高さ $h+X$ に達すると、ピストンをさらに上昇させるために必要な熱量が0になり、 x が X を超えるとピストンは一気に浮上してしまった。 X を求めよ。

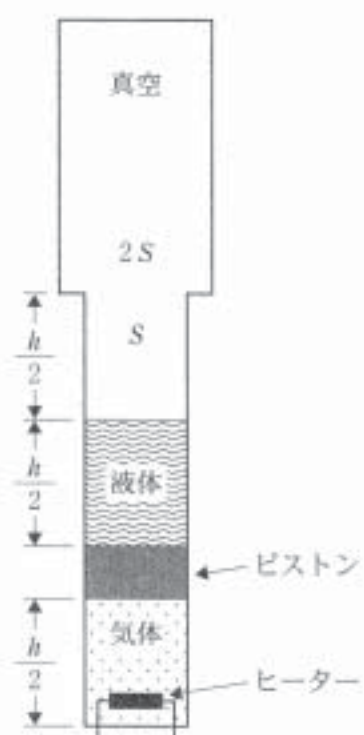


図3-1

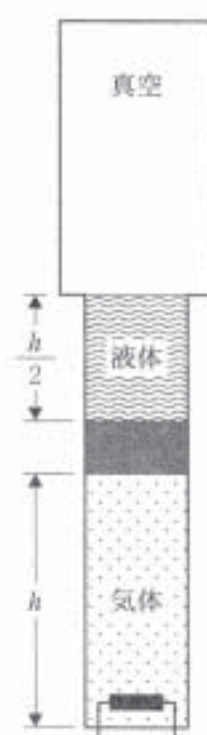


図3-2



図3-3