

物理

- 工学部（電子情報工学科／電気工学科）
- 情報工学部（情報工学科／情報通信工学科／システムマネジメント学科）

（3教科型・2月9日実施分）

（解答：67ページ）

この科目には解説動画があります。



（解答はすべて、別紙解答用紙の解答欄に記入せよ。）

解答用紙の計算と書かれた枠内には、解答の導出過程で用いた計算や考え方を書くこと。

- 1 [I] 水平面内で回転する円盤の直径に沿ったなめらかな溝の中に糸をつけた質量 m の小球が置いてある。図 1 に示すように、この小球の位置が円盤の中心から距離 L となるよう、糸の反対側を円盤に固定された回転軸に取り付けた。この状態で円盤を回転させたところ、円盤の回転に合わせて小球は溝から飛び出ることなく角速度 ω で等速円運動した。溝の幅は小球の直径と等しく、糸はのび縮みせずその質量は無視できるとして、以下の問いに答えよ。

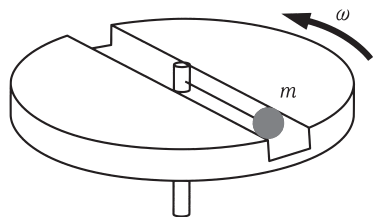


図1

- (1) 小球の回転数 n 、回転の周期 T 、速さ v を下記の選択肢より選び、記号で答えよ。

- (2) 小球の加速度の大きさ a 、糸の張力 S の大きさを下記の選択肢より選び、記号で答えよ。

選択肢

- (あ) $\frac{\omega}{2\pi}$ (い) $\frac{\omega}{L}$ (う) $\frac{L}{\omega}$ (え) $\frac{1}{\omega}$ (お) $\frac{2\pi}{\omega}$ (か) $2\pi\omega$ (き) $L\omega$
 (く) $L\omega^2$ (け) $\frac{\omega^2}{L}$ (こ) $mL\omega^2$ (さ) $\frac{m\omega^2}{L}$ (し) $\frac{L\omega^2}{m}$

- [II] 図1に示す状態で糸をばね定数 k のばねに変えて、ばねが自然の長さ L の状態となるように小球を置いた。この状態で円盤を回転させたところ、ばねは x_0 だけ伸び、円盤の回転に合わせて小球は溝から飛び出ることなく角速度 ω で等速円運動した（図2）。ばねの質量は無視でき、 $k > m\omega^2$ を満たしているとして、以下の問いに答えよ。

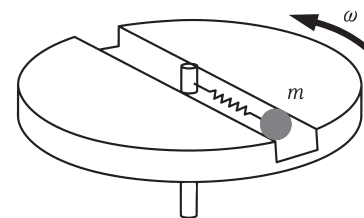


図2

- (3) ばねによって小球に働く力の大きさを答えよ。
 (4) 小球の加速度の大きさを ω 、 L 、 x_0 を用いて答えよ。
 (5) x_0 を k 、 m 、 ω 、 L を用いて答えよ。

[Ⅲ] 図1に示す状態で糸をばね定数 k のばねに変えて、ばねが自然の長さ L の状態となるように小球を置き、この距離を保つよう回転軸と小球を糸でつないだ。この円盤を一定の角速度 ω で等速円運動させたところ(図3)、しばらくして突然小球から糸が外れて小球は円盤に対して動き出した。ここで、円盤を一定の角速度 ω で回転させ続けたところ、小球は溝から飛び出ることなく溝に沿って単振動した。以下の問いに答えよ。ただし、ばねと糸の質量および空気抵抗は無視でき、外れた糸はばねの運動を妨げないとする。また、 $k > m\omega^2$ を満たしているとする。

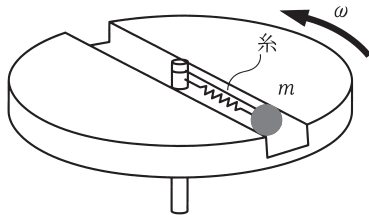


図3

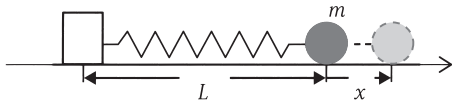
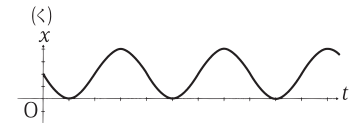
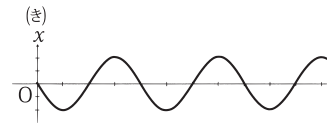
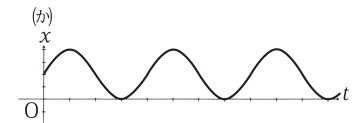
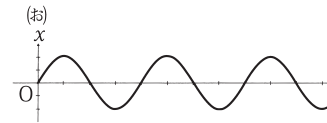
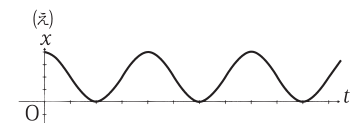
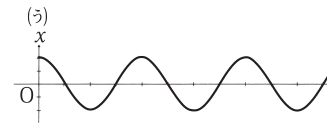
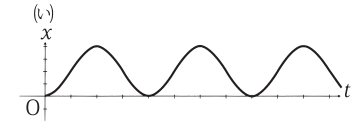
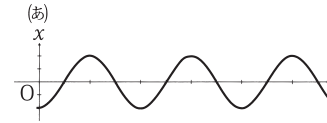


図4

(6) 円盤とともに回転する観測者から見た場合、図4の状態では遠心力によって小球が動き始めたように見える。小球が動き始めた後のこの観測者から見た小球の運動について、溝に沿った方向の運動方程式を答えよ。ただし、円盤の中心から L の位置を原点としてばねが伸びる方向を正の向きにとった変位を x 、加速度を a' とする。

(7) 運動方程式が $ma' = -K(x - X)$ の形で書ける場合、ばね定数 K に相当する係数で $x = X$ を中心とした単振動の運動をすると見なすことができる。この考え方をもとに、問(6)で示した運動方程式から、振動中心である X の値と振動の角振動数 ω' を k, m, ω, L のうち必要なものを用いて答えよ。

(8) 運動方程式が $ma' = -K(x - X)$ の形で書ける場合、単振動の変位 x は振幅を A 、初期位相を δ とすると $x - X = A \sin(\omega't + \delta)$ の形で表せる(ただし、 $A > 0$)。糸が外れて小球が振動を始めた時刻を $t=0$ とするとき、振幅 A を k, m, ω, L を用いて答えよ。また、 t と x の関係を表すグラフとして最も適当なものを次の(あ)~(く)の中から一つ選び、記号で答えよ。



(9) 小球が円盤の中心から最も遠い点に到達したときの x の値を k, m, ω, L を用いて答えよ。

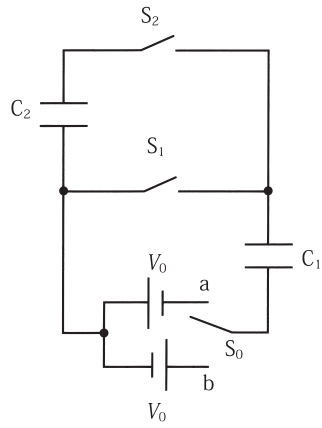


図1

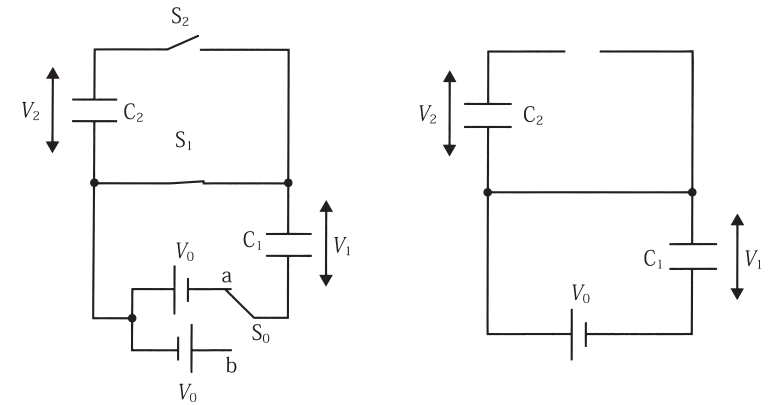
図1に示す回路は、静電容量がどちらも C の二つのコンデンサー C_1 と C_2 、起電力 V_0 の二つの電源、a 側と b 側に切り替え可能なスイッチ S_0 、開閉スイッチ S_1 と S_2 からなる。最初、スイッチ S_0 は a と b どちらにも接続されていなかった。また、コンデンサーには電荷は蓄えられていなかった。これを初期状態とする。この回路に次の操作 A や操作 B を行っていく。

操作 A：スイッチ S_0 を a に接続し、同時に S_1 を閉じ、 S_2 を開いた状態にした後、十分な時間が経過するまで待つ。

操作 B：スイッチ S_0 を b に接続し、同時に S_1 を開き、 S_2 を閉じた状態にした後、十分な時間が経過するまで待つ。

以下の問いに答えよ。

[I] 初期状態の回路に対して操作 A を 1 回だけ行った (図2)。このときの回路は図2右側のように単純化して表すことができる。



操作 A 後の回路

左の回路を単純化した回路

図2

- (1) コンデンサー C_1 に加わる電圧 V_1 を求めよ。
- (2) コンデンサー C_1 に蓄えられる電気量の大きさ Q_1 を求めよ。
- (3) コンデンサー C_2 に蓄えられる電気量の大きさ Q_2 と、加わる電圧 V_2 を求めよ。

[II] 初期状態の回路に対して操作 A を 1 回だけ行った後、操作 B を 1 回だけ行った (図 3)。

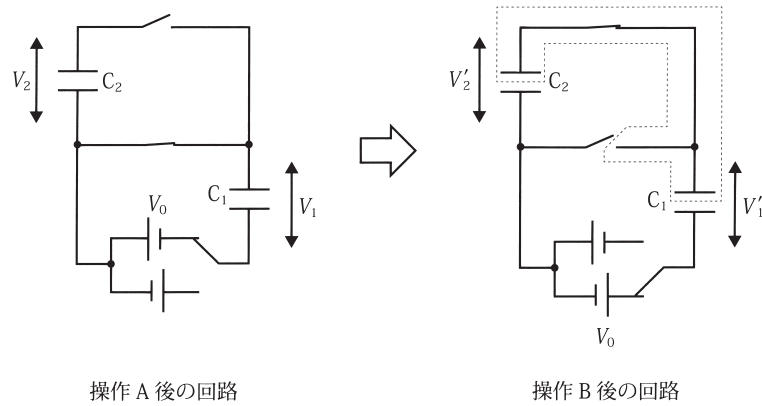


図 3

- (4) 操作 B においてスイッチを切り替えた直後に、図 3 の点線で囲まれた部分に存在する電気量を求めよ。
- (5) 操作 B においてスイッチを切り替えてから十分な時間が経過した後、コンデンサー C_1 と C_2 にそれぞれ加わる電圧 V_1' と V_2' を求めよ。ただし、図 3 の点線で囲まれた部分は孤立しており、その中の電気量は電荷の移動の前後で変化しないことに注意せよ。

[III] 図 1 の回路において、操作 A と操作 B を交互に繰り返すと、ポンプのように電荷をコンデンサー C_2 にためていくことができる。コンデンサーに電荷の蓄えられていない初期状態から、操作 A と操作 B を交互に n 回繰り返した ($n \geq 1$)。 n 回目の操作 A 完了後 (図 4(i)) にコンデンサー C_1 、 C_2 にそれぞれ加わっている電圧を $V_1^{(n)}$ 、 $V_2^{(n)}$ 、 n 回目の操作 B 完了後 (図 4(5)) にコンデンサー C_1 、 C_2 にそれぞれ加わっている電圧を $V_1'^{(n)}$ 、 $V_2'^{(n)}$ とする。このとき、 $V_1^{(1)}$ 、 $V_2^{(1)}$ は [I] での電圧に、 $V_1'^{(1)}$ 、 $V_2'^{(1)}$ は [II] での電圧にそれぞれ対応する。また、 $V_1^{(0)}$ 、 $V_2^{(0)}$ は初期状態でのそれぞれのコンデンサーの電圧に対応する。

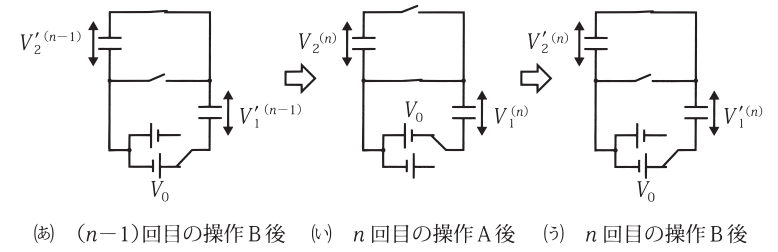


図 4

- (6) 一般の n について、 $V_1^{(n)}$ 、 $V_2^{(n)}$ と等しいものを、次の(ア)~(エ)のうちからそれぞれ一つずつ選び、記号で答えよ。

- | | | | |
|-----|----------------|-----|----------------|
| (ア) | 0 | (イ) | V_0 |
| (ウ) | $V_1'^{(n-1)}$ | (エ) | $V_2'^{(n-1)}$ |

- (7) $V_2'^{(n)}$ と $V_2'^{(n-1)}$ の間の関係を求め、最も適当なものを次の(ア)~(カ)のうちから一つ選び、記号で答えよ。

- | | | | | | |
|-----|---|-----|---|-----|---|
| (ア) | $V_2'^{(n)} = 2V_2'^{(n-1)} + V_0$ | (イ) | $V_2'^{(n)} = 2V_2'^{(n-1)}$ | (ウ) | $V_2'^{(n)} = 2V_2'^{(n-1)} - V_0$ |
| (エ) | $V_2'^{(n)} = V_2'^{(n-1)} + V_0$ | (オ) | $V_2'^{(n)} = V_2'^{(n-1)}$ | (カ) | $V_2'^{(n)} = V_2'^{(n-1)} - V_0$ |
| (キ) | $V_2'^{(n)} = \frac{1}{2} V_2'^{(n-1)} + V_0$ | (ク) | $V_2'^{(n)} = \frac{1}{2} V_2'^{(n-1)}$ | (ケ) | $V_2'^{(n)} = \frac{1}{2} V_2'^{(n-1)} - V_0$ |

- (8) 操作 A と操作 B の一連の操作を何度も繰り返すと、コンデンサー C_2 に加わる電圧は変化しなくなる。この電圧を求めよ。ただし、電圧が変化しなくなったとき、 $V_2'^{(n)} = V_2'^{(n-1)}$ とできることを用いるとよい。

3 屈折率が n_1 の物質 I と屈折率が n_2 の物質 II で作られた 2 つの直方体が境界面 S で接合され空気中に置かれている。物質 I と空気との境界面において入射角 α で光を入射したところ、屈折角 θ_0 で光は屈折し、物質 I と物質 II の境界面 S 上の点 A で反射と屈折が起こった。このときの境界面 S 付近の光の伝播の様子を図 1 に示す。物質 I, II と空気との境界面および境界面 S は、紙面に対して垂直な平面である。空気の屈折率を 1 とし、以下の問いに答えよ。

- (1) 物質 I の中を進む光の速さ v_1 を求めよ。ただし、真空中の光の速さを c とする。
- (2) α と θ_0 に対する屈折の法則として正しいものを、次の(a)~(d)のうちから一つ選び記号で答えよ。
 - (a) $\sin \alpha = n_1 \sin \theta_0$ (b) $n_1 \sin \alpha = \sin \theta_0$
 - (c) $\cos \alpha = n_1 \cos \theta_0$ (d) $n_1 \cos \alpha = \cos \theta_0$
- (3) 境界面 S での反射角 θ_1 を θ_0 を使って表せ。
- (4) 屈折率の比 $\frac{n_1}{n_2}$ を θ_0 と境界面 S での屈折角 θ_2 を使って表せ。

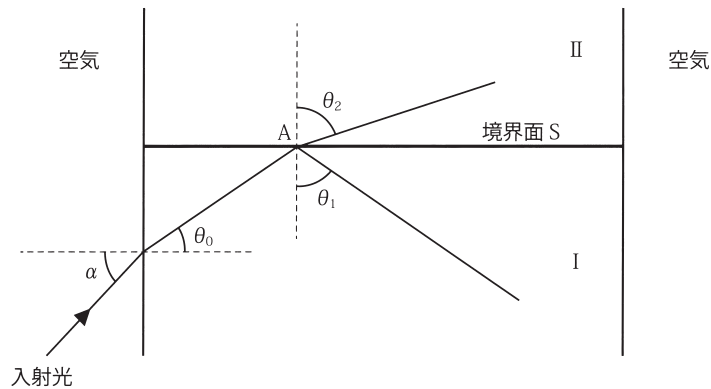


図 1

- (5) 点 A で反射および屈折した光はそれぞれ物質 I, II の中を直進し、右側の空気との境界面へ到達した。これらの反射光および屈折光が点 A から右側境界面へ到達するまでに要する時間をそれぞれ T_1, T_2 とするとき、これらの比 $\frac{T_1}{T_2}$ を、 n_1, n_2 を用いて表せ。ただし、 θ_1, θ_2 は用いないこと。

ここで、物質 I および物質 II の屈折率の値がそれぞれ $n_1 = \sqrt{2}, n_2 = \sqrt{\frac{3}{2}}$ である場合を考える。以下の問いに答えよ。

- (6) 境界面 S で全反射が起こるときの物質 I から物質 II への入射角における臨界角 θ_c の値を求めよ。
- (7) 境界面 S で全反射が起こるために入射角 α が満たすべき条件を求めよ。
- (8) $\alpha = \frac{\pi}{3}$ のとき境界面 S で全反射は起こらず、入射した光の一部は屈折する。このとき屈折率が n の物質 III で作られた直方体を用意し、図 2 のように物質 II の一部を物質 III の直方体に置き換えたところ、光は物質 II と III の境界面で全反射した。このときの屈折率 n が満たすべき条件を求めよ。ただし、物質 II と III の境界面は境界面 S と平行である。

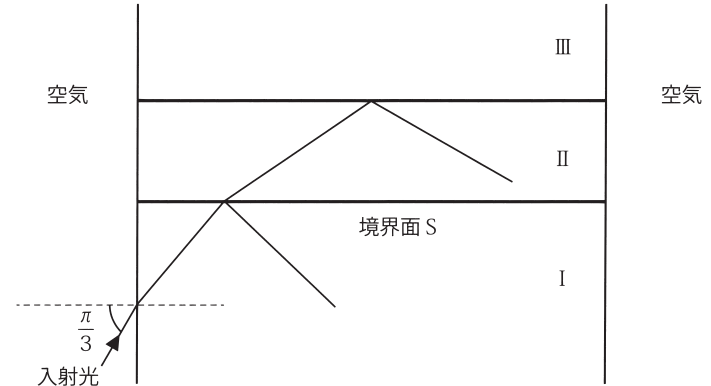


図 2

物理

- 工学部（生命環境化学科／知能機械工学科）
- 情報工学部（情報システム工学科）

（3教科型・2月10日実施分）

（解答：69ページ）

（解答はすべて、別紙解答用紙の解答欄に記入せよ。）

解答用紙の計算と書かれた枠内には、解答の導出過程で用いた計算や考え方を書くこと。

- 1 図1のように、水平な滑らない床の上のロボットが、高さ H にある質量 m の小球を落下させようとしている。このロボットの質量は M で、水平なアーム部を持ち、重心を通る鉛直線から $\frac{L}{2}$ の距離にある軽い両足で支えられ、垂直抗力 N_1 、 N_2 を床から受けている。小球とロボットの重心は共に高さ H にあり、二つの重心の間の距離は $\frac{3L}{2}$ になるものとする。重力加速度の大きさを g として、以下の問いに答えよ。ただし、空気抵抗、小球の大きさは無視できるものとし、全ての力の作用線は同一平面内にあるものとする。

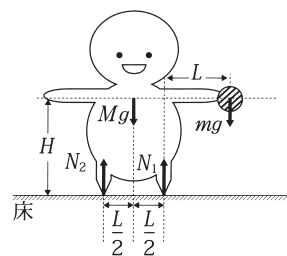


図1

- 小球の位置エネルギーを求めよ。ただし、図1の床の上面を位置エネルギーの基準面とする。
- ロボットが小球を静かにはなしたところ、小球は落下し床に衝突した。衝突直前の速さを求めよ。

次に落ちた小球を拾い、図1のようにロボットに小球を持たせた状態に戻す。

- 鉛直方向の力のつり合いを考えることで、垂直抗力の和 $N_1 + N_2$ の大きさを求めよ。

- 垂直抗力 N_1 の作用点を中心とした力のモーメントのつり合いの式として適切なものを次の(あ)~(え)のうちから一つ選び記号で答えよ。

(あ) $N_2 + mg = Mg$ (い) $N_2 = mg + Mg$ (う) $N_2 L + mgL = Mg \frac{L}{2}$ (え) $N_2 L = mgL + Mg \frac{L}{2}$

- 小球の質量 m がある値 m_c を超えると、ロボットは転倒することがわかった。この限界質量 m_c を求めよ。

次に図2のように、このロボットを角度 θ だけ傾いているあらい床の上に置き、アームが水平になるようにロボットの片足を縮め、もう片足を同じ長さだけ伸ばしたところ、摩擦力によりロボットは静止した。

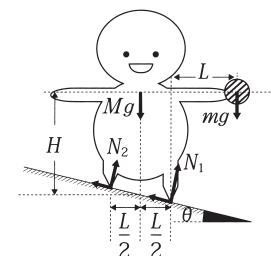


図2

- 床に垂直な方向の力のつり合いを考えることで、垂直抗力の和 $N_1 + N_2$ の大きさを求めよ。
- 小球の質量 m がある値を超えると、ロボットは転倒することがわかった。この限界質量を求めよ。

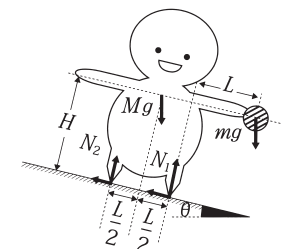


図3

次に図3のように、アームが床と平行になるように足の長さをもとの同じ長さに戻したところ、摩擦力によりロボットは静止した。

- 小球の質量 m がある値を超えると、ロボットは転倒することがわかった。この限界質量を求めよ。

2 真空中におかれた粒子について考える。以下では、かけられている電場と磁場は
 一様かつ時間変化せず、重力は無視できるものとする。また、粒子の大きさも無視
 できるものとする。

[I] 粒子を大きさ E の電場中に静かに置くと、粒子は静電気力により電場と同
 じ方向に加速した。以下の問いに答えよ。ただし磁場はかけていない。

(1) この粒子に関する記述として最も適当なものを、次の(あ)~(え)のうちから一つ選
 び記号で答えよ。

- (あ) 粒子は正に帯電している。
- (い) 粒子は負に帯電している。
- (う) 粒子は電氣的に中性である。
- (え) 粒子の持つ電荷は、正と負のどちらでもよい。

(2) 粒子の持つ電気量の大きさが q のとき、粒子にはたらく静電気力の大きさとし
 て正しいものを、次の(あ)~(お)のうちから一つ選び記号で答えよ。

- (あ) q (い) E (う) qE (え) $\frac{q}{E}$ (お) $\frac{E}{q}$

[II] 図1のように、大きさ v_0 の初速度を与えた質量 m の粒子を、磁束密度の
 大きさ B の磁場中におくと、図中の点線のように時計回りに円運動した。ただし、
 磁場は紙面に対して垂直に紙面の裏から表を向いており、粒子の運動方向と磁場の
 方向は垂直であるとする。以下の問いに答えよ。ただし電場はかけていない。

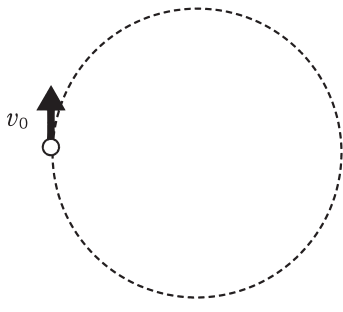


図1

(3) この粒子に関する記述として最も適当なものを、次の(あ)~(え)のうちから一つ選
 び記号で答えよ。

- (あ) 粒子は正に帯電している。
- (い) 粒子は負に帯電している。
- (う) 粒子は電氣的に中性である。
- (え) 粒子の持つ電荷は、正と負のどちらでもよい。

(4) 粒子の持つ電気量の大きさが q のとき、その粒子にはたらくローレンツ力の
 大きさとして正しいものを、次の(あ)~(お)のうちから一つ選び記号で答えよ。

- (あ) $q\mathbf{m}B$ (い) qv_0B (う) qmv_0 (え) qmv_0B (お) mv_0B

(5) 問(4)の状況で、粒子の描く円軌道の半径を、 m , q , B , v_0 を用いて答えよ。

(6) 問(5)の状況で、粒子が円軌道を半周するために必要な時間を、 m , q , B を用
 いて答えよ。

[Ⅲ] 図2は、問[Ⅰ]と問[Ⅱ]の状況を利用した質量分析器を、模式的に示したものである。図2のように、大きさ q の電気量をもつ粒子を、極板Aの表面のすぐ近くに静かに置くと、粒子は幅 d の極板間にかけられた大きさ E の電場によって加速されることで、開口部Sから飛び出し、磁束密度の大きさ B の磁場のみがかけられた領域に入射される。その結果、粒子は図2の点線で示した軌道で運動する。つまり、粒子は極板Aから極板Bに向かって真っすぐ加速し、開口部Sを飛び出した後は、速さを変えずに紙面に沿って円運動し、検出器に到達する。以下の問いに答えよ。

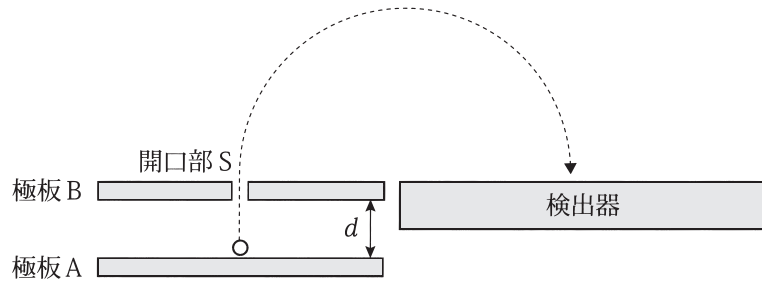


図2

(7) 極板間の電位差（電圧）として正しいものを、次の(あ)~(か)のうちから一つ選び記号で答えよ。

- (あ) E (い) d (う) Ed (え) $\frac{E}{d}$ (か) $\frac{d}{E}$

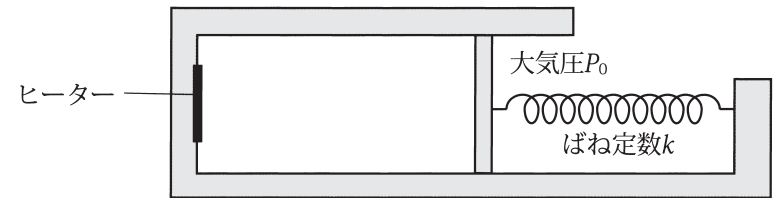
(8) 開口部Sに達する間に、粒子が電場からされる仕事を、 d , E , q を用いて答えよ。

(9) 開口部Sに達する直前の粒子の速さを求めよ。粒子の質量を m として、 d , E , q , m を用いて答えよ。

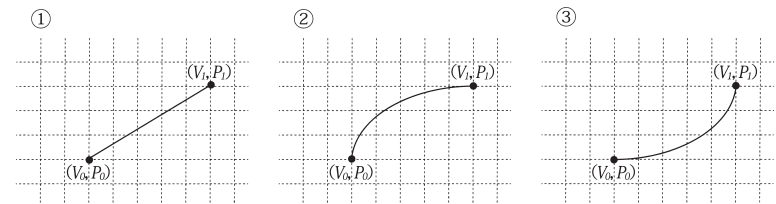
(10) 同じ大きさ q の電気量をもち、質量が異なる二つの粒子1と粒子2の場合を考える。粒子1の質量を m_1 、粒子2の質量を m_2 とする。この場合、開口部Sを飛び出した粒子1と粒子2は、それぞれ半径の異なる円運動をするため、検出器で粒子がどの位置に到達したのかを調べることで、粒子の質量を知ることができる。粒子1と粒子2のそれぞれの円軌道の半径を、 r_1 , r_2 としたとき、 $\frac{r_1}{r_2}$ を q , d , E , B , m_1 , m_2 のうち必要なものを用いて答えよ。

3

図のように、体積 $V_0=6.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 、温度 $T_0=3.0 \times 10^2 \text{ K}$ の単原子分子の理想気体がばね定数 $k=5.0 \times 10^2 \text{ N/m}$ のばねのついた滑らかに動くピストンを持つ断熱容器に閉じ込められている。このとき、ばねが自然長となる位置でピストンは静止している。この理想気体を容器内のヒーターでゆっくりと加熱したところ、気体は膨張し、ピストンが距離 $\ell=0.20 \text{ m}$ だけ動いた。このときの気体の体積を V_1 、気体の圧力を P_1 、気体の温度を T_1 とする。大気圧を $P_0=1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、ピストンの断面積を $S=5.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ とし、以下の問いに答えよ。ただし、ばねはたわむことなく水平におかれた容器の底面と平行であるとする。また、ばねの質量とヒーターの大きさは無視でき、ピストンは熱を通さないものとする。



- (1) 気体の体積 V_1 は何 m^3 か。有効数字を2桁とし、数値で答えよ。
- (2) ピストンがばねから受ける力、断熱容器内部の気体がピストンに及ぼす圧力、大気圧を考慮し、気体を加熱した後のピストンに加わる力のつり合いの式を k , ℓ , S , P_0 , P_1 を用いて示せ。
- (3) 気体の圧力 P_1 は何 Pa か。有効数字を2桁とし、数値で答えよ。
- (4) 気体の温度 T_1 は何 K か。有効数字を2桁とし、数値で答えよ。
- (5) 気体の体積が V_0 から V_1 に至る加熱過程における体積と圧力の関係を示すグラフ（模式図）を以下の①~③の中から最も適切なものを選び、記号で答えよ。ただし、横軸は気体の体積、縦軸は気体の圧力とする。



(6) 気体の体積が V_0 から V_1 に至る加熱過程で、気体が外部にした仕事を以下の①～⑤の中から最も適切なものを選び、記号で答えよ。

① 5.5×10^2 J ② 1.1×10^2 J ③ 2.2×10^2 J

④ 2.5×10^2 J ⑤ 3.1×10^2 J

(7) 気体の状態方程式 $PV=nRT$ ，単原子分子の内部エネルギー $U=\frac{3}{2}nRT$ の関係式を用いて、気体の体積が V_0 である加熱前の気体の内部エネルギーを以下の

①～⑤の中から最も適切なものを選び、記号で答えよ。ただし、 n は気体の物質質量、 R は気体定数とする。

① 1.0×10^2 J ② 3.0×10^2 J ③ 5.0×10^2 J

④ 7.0×10^2 J ⑤ 9.0×10^2 J

(8) 加熱過程による気体の内部エネルギーの変化を以下の①～⑤の中から最も適切なものを選び、記号で答えよ。

① 3.6×10^2 J ② 4.7×10^2 J ③ 5.9×10^2 J

④ 9.0×10^2 J ⑤ 1.3×10^3 J

(9) 加熱過程で、気体に加えた熱量を以下の①～⑤の中から最も適切なものを選び、記号で答えよ。

① 2.5×10^2 J ② 3.6×10^2 J ③ 4.7×10^2 J

④ 5.9×10^2 J ⑤ 8.8×10^2 J

化学

●工学部（電子情報工学科／電気工学科）
●情報工学部（情報工学科／情報通信工学科／システムマネジメント学科）

（3教科型・2月9日実施分）

（解答：70ページ）

この科目には解説動画があります。



（解答はすべて解答用紙に記入せよ。）

1 以下の各問いに答えよ。

問1. 原子の構造に関する以下の文章を読み、①～⑨に下の語群より適切なものを選び、記号で答えよ。

原子はその中心に ①と、それを取り巻く ②の電荷をもつ ③から構成されている。①は ④の電荷をもつ ⑤と、電荷をもたない ⑥からなる。⑤の数はそれぞれの元素によって決まっており、この数を ⑦という。①の中の ⑤と ⑥の数の和を ⑧という。⑦が等しく、⑧が異なる原子を互いに ⑨と呼ぶ。

語群：

- | | | | |
|---------|--------|---------|---------|
| ア) 相対質量 | イ) 原子量 | ウ) 原子核 | エ) 原子番号 |
| オ) 正 | カ) 中性 | キ) 負 | ク) 元素 |
| ケ) 原子 | コ) 電子 | サ) 陽子 | シ) 中性子 |
| ス) 電子殻 | セ) 質量数 | ソ) 電気素量 | タ) 同族元素 |
| チ) 同位体 | ツ) 同素体 | | |