

令和 4 (2022) 年度入学試験問題(前期)

理 科

注 意

1. 合図があるまで表紙をあけないこと。
2. 化学、物理、生物のうちから 2 科目を選択し、別紙解答用紙に受験番号、氏名を記入すること。
(ただし出願時に選択した 2 科目に限る。)
3. 選択した科目以外の科目(例えば化学、物理を選択した場合は生物)の解答用紙にも受験番号、氏名を記入し、全体に大きく×印をすること。
4. 解答は解答用紙の枠内に記入すること。
5. 裏表紙は計算に使用する。
6. 選択した科目以外の解答用紙に解答を記入した場合、及び解答用紙に解答以外のことを書いた場合、その答案は無効とする。
7. 問題冊子は 1 冊、別紙解答用紙は各科目それぞれ 1 枚である。
8. 受験票は机に出しておくこと。

I 地球は北極点と南極点とを結ぶ直線を軸として自転している半径 R [m] の球とする。北極点における重力加速度を g [m/s²]、地球の自転による赤道上の地表 (高さ 0 m) の速さを v [m/s] とし、以下の問に答えよ。なお、空気抵抗は無視できるものとする。

- (1) 北極点の地表で物体を鉛直上方へある初速度で打ち上げると、物体は無限の遠方に飛び去る。この飛び去ってしまうための最小の初速度は第2宇宙速度と呼ばれる。第2宇宙速度を R と g を用いて表せ。
- (2) 北極点の地表で、ある物体をバネにつるとバネは自然長から L [m] 伸びた。この物体を赤道上の地表で同じバネにつるとしたとき、バネは自然長からどれだけ伸びるか。 R 、 g 、 v 、 L を用いて表せ。なお、バネの質量は無視できるものとする。
- (3) 質量 m_1 [kg] の物体を赤道上の摩擦のない床面で滑らせる。この物体を地表に対して速さ s [m/s] で西向きあるいは東向きに滑らせたとき、垂直抗力 [N] の大きさが異なった。大きい方の向きはどちらか答え、垂直抗力の大きさの差を R 、 v 、 m_1 、 s を用いて表せ。

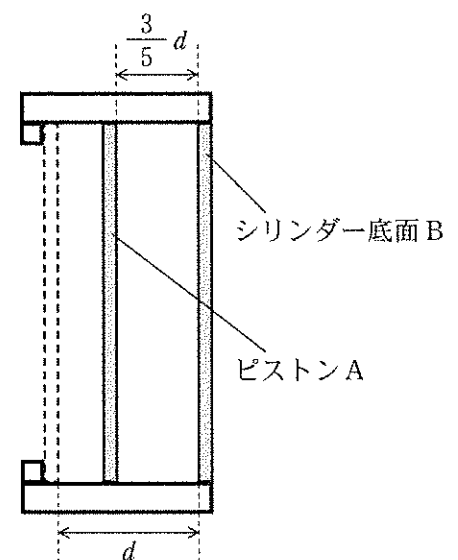
緯度 θ の地表に質量 m_2 [kg] の物体を静置した。なお、質量 m_2 [kg] の物体を北極点に静置した時の重力の大きさを F [N] とする。

- (4) この物体が受ける地球の自転による遠心力 f [N] を、 R 、 v 、 θ 、 m_2 を用いて表せ。
- (5) この物体が受ける重力の方向と、物体から地球の中心へ方向とのなす角を φ とする。 $\tan \varphi$ を、 F 、 θ 、 f を用いて表せ。
- (6) この物体が受ける重力の大きさを、 F 、 θ 、 f を用いて表せ。

II 図のような装置を真空中に設置した。断面積 S [m²] の円筒シリンダー内に、 n [mol] の単原子分子理想気体をピストン A で封じている。A とシリンダー底面 B は、平行に配置された金属板であり、その他の部分は絶縁体でできている。A は、B から d [m] を超えない範囲で、B と平行を保ちながらなめらかに移動することができる。 d はシリンダー直径と比較して十分小さく、A の質量は無視できるものとする。また、気体は外部と熱のやり取りをしないものとする。

いま、A を B から $\frac{3}{5}d$ の位置で固定し、A に Q [C]、B に $-Q$ の電荷を与えた。A の固定を取り除いても、A は静止したままであり、このときの気体の温度は T_1 [K] であった。これを状態 1 とする。

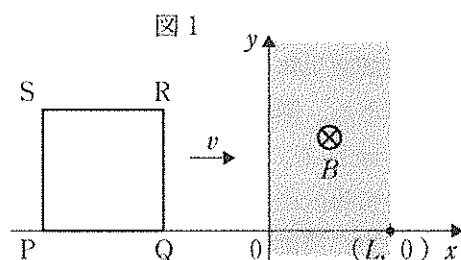
気体定数を R [J/(mol·K)]、気体の定積モル比熱は $\frac{3}{2}R$ 、気体の誘電率を気体の状態によらず真空の誘電率 ϵ_0 [F/m] であるとして、以下の空欄①～⑨を n 、 d 、 S 、 R 、 ϵ_0 のうちから適当なものをういた式、または数値で埋めよ。空欄⑩は { } から適当な選択肢を記号で選べ。



状態 1 での気体の圧力は ① $\times T_1$ [Pa] であるから、A が気体から受ける力は、図で左向きを正として ② \times ① $\times T_1$ [N] である。一方、AB 間には一様な電場が生じており、その強さは ③ $\times Q$ [V/m] である。A が受ける静電気力は、図で左向きを正として ④ \times ③ $\times Q^2$ [N] と表すことができる。これらから $T_1 =$ ⑤ $\times Q^2$ の関係が成り立つ。気体の内部エネルギーは ⑥ $\times Q^2$ [J]、AB 間に蓄えられる静電エネルギーは ⑦ $\times Q^2$ [J] である。

次に、A を B からの距離が d に達するまでゆっくりと移動させた後、A を固定した。これを状態 2 とする。このときの気体の温度は ⑧ $\times T_1$ [K] である。⑧ を $\frac{32}{45}$ と近似すると、状態 1 から状態 2 への過程で、外部からこの装置にした仕事は ⑨ $\times Q^2$ [J] と表すことができる。状態 2 で、A の固定を取り除いた場合、A は ⑩ {ア、静止したままである、イ、B の方向へ動き出す}。

Ⅲ xy 平面の $0 \leq x[\text{m}] \leq L[\text{m}]$ の領域(図の灰色部)に、紙面に垂直に表から裏に向かって磁束密度 $B[\text{T}]$ の一様な磁場が存在している。以下に示す回路をこの平面上で x 軸に平行に一定の速度 $v[\text{m/s}]$ で移動させた。回路の移動にともなう摩擦や回路に流れる電流による磁場は無視できるものとして、以下の問に答えよ。

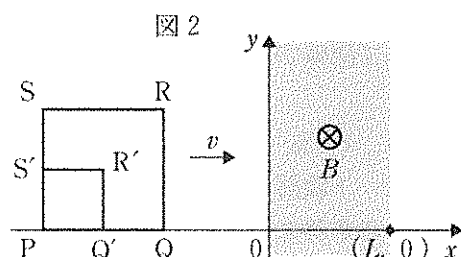


(1) 細い一様な導線で、長さ $L[\text{m}]$ 、抵抗値 $R[\Omega]$ のもの4本を使って正方形の回路 PQRS を作製した。そして図1のように最初 PQ を x 軸上の $x < 0$ の領域に置いてから移動を開始した。

(a) Q が原点から $(L, 0)$ に移動しているとき、この回路に発生する起電力の大きさはいくらか。

(b) (a) のとき、Q を流れる電流はいくらか。Q→R の向きを正として答えよ。

(c) Q が $(L, 0)$ から $(2L, 0)$ に移動しているとき、回路の移動に必要な力となる力の大きさはいくらか。



(2) 同じ導線で長さ $\frac{L}{2}$ のもの2本を(1)の回路の2辺 SP と PQ のそれぞれの中点 S' と Q' で直角に辺と接続し、図2に示す大小2つの正方形を含む回路を作製した。そして図2のように最初 PQ を x 軸上の $x < 0$ の領域に置いてから移動を開始した。

(a) Q が原点から $(\frac{L}{2}, 0)$ に移動しているとき、導線 QR が横切る磁束によってそこに誘導起電力が生じる。この起電力の大きさはいくらか。

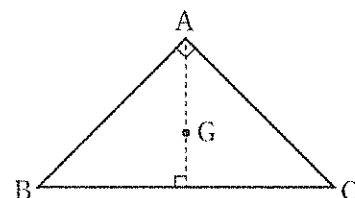
(b) Q が $(\frac{L}{2}, 0)$ から $(L, 0)$ に移動しているとき、Q を流れる電流はいくらか。Q→R の向きを正として答えよ。

(c) Q が $(L, 0)$ から $(\frac{3L}{2}, 0)$ に移動しているとき、Q を流れる電流はいくらか。Q→R の向きを正として答えよ。

(d) Q が $(\frac{3L}{2}, 0)$ から $(2L, 0)$ に移動する間に、この回路で発生するジュール熱の総量はいくらか。

Ⅳ 以下の問に答えよ。

(1) 太さ一定の均質な金属棒で、図のような直角二等辺三角形 ABC を作った。AB と AC の長さは 10 cm である。この構造体の重心 G と頂点 A との距離はいくらか。



(2) () に適当な数値を入れよ。

ウラン $^{235}_{92}\text{U}$ の原子核は、(①) 個の陽子と (②) 個の中性子から出来ている。この原子核は (③) 回のアルファ崩壊と4回のベータ崩壊を経て、原子番号 82、質量数 (④) の鉛の同位体となる。

(3) 以下の物理量の次元を、質量、長さ、時間のそれぞれの次元 $[M]$ 、 $[L]$ 、 $[T]$ を組み合わせて表せ。

(例えば、運動量の次元は、 MLT^{-1})

① ばね定数

② 圧力

③ 万有引力定数

④ プランク定数