

平成 26 年度 入学 試験 問題 (後期)

理 科

注 意

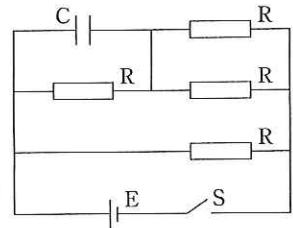
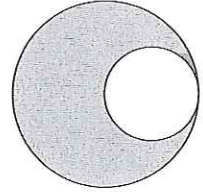
1. 合図があるまで表紙をあけないこと。
2. 物理, 化学, 生物のうちから 2 科目を選択し, 別紙解答用紙に受験番号, 氏名を記入すること。
(ただし受験票, 入学願書に記入した 2 科目に限る。)
3. 選択した科目以外の科目(例えば物理, 化学を選択した場合は生物)の解答用紙にも受験番号, 氏名を記入し, 全体に大きく×印をすること。
4. 解答は解答用紙の枠内に記入すること。
5. 選択した科目以外の解答用紙に解答を記入した場合, 及び解答用紙に解答以外のことを書いた場合, その答案は無効とする。
6. 問題冊子は 1 冊, 別紙解答用紙は各科目それぞれ 1 枚である。
7. 受験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

物 理 (後 期)

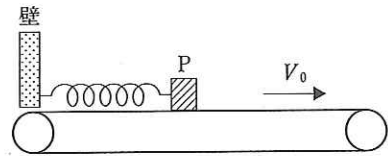
(その1)

I 以下の問に答えよ。

- (1) $+Q$ [C] の点電荷 A と $-Q$ [C] の点電荷 B を $2R$ [m] 離しておいたとき、A と B の中点における電場の強さを E [V/m] とすると、AB の延長線上で B から R [m] の位置での電場の強さはいくらか。
- (2) 厚さが均一の半径 R [m] の円板に右図のように半径 $\frac{1}{2}R$ の円形の穴をあけた。このとき、残りの部分の重心の位置は、円板の中心からいくらかの所にあるか。
- (3) バネ定数 k [N/m] のバネを 3 等分に切断した。それら 3 本を並列につないだバネのバネ定数を求めよ。
- (4) 長さ 85.0 cm の両端が開いた管がある。この管の中の気柱の基本振動数は何 Hz か。空気中の音速を 340 m/s とし、開口端補正は無視する。
- (5) 電気容量が C [F] のコンデンサー C と、抵抗値が R [Ω] の抵抗 R を、電圧 E [V] の電池 E につないで右図のような回路を作成した。初めスイッチ S は開いており、コンデンサーには電荷が蓄えられていなかった。スイッチを閉じて十分に時間が経った後、スイッチを開いた。このあと、それぞれの抵抗で発生するジュール熱のうち、最も大きいものの値を答えよ。



II 図のように、ベルトコンベアーの上に置かれた質量 m [kg] の物体 P にバネを取り付け、バネの他端を壁に固定した。バネの自然長は L [m]、バネ定数は k [N/m] とする。また、物体 P とベルトコンベアーの間の動摩擦係数は μ 、静止摩擦係数は μ_0 とし、重力加速度を g [m/s^2] とする。バネの伸びを x [m] とし、以下の問に、 m 、 g 、 μ 、 μ_0 、 k 、 x 、 V_0 、 A を用いて答えよ。



- (1) 物体 P を $x = 0$ の位置に置き、ベルトコンベアーを一定速度 V_0 [m/s] で右方向に動かし始めた。物体 P は x が $x_1 = \text{①}$ [m] までは滑らずに移動する。 $0 < x < x_1$ のときは、物体 P とベルトコンベアーの間の摩擦力の大きさは ② [N] である。
- (2) 物体 P が x_1 を超えたあと、物体 P に働く力は、バネの弾性力と摩擦力を合わせて ③ [N] になる。従って、物体 P の加速度 a [m/s^2] は ④ である。物体 P の位置をバネの伸び x ではなく、 $y = x - x_0$ とし、物体 P の加速度が、 $a = -\text{⑤} \times y$ と表せるようにするためには、 $x_0 = \text{⑥}$ とすればよい。このことから、物体 P は $x = x_0$ を中心とした周期 ⑦ [s] の単振動を始めることがわかる。この単振動の振幅を A [m] とすると、 x の最大値は ⑧ となる。
- (3) 振幅 A は以下のようにして求められる。単振動を始めたときの変位 y の値 y_1 [m] は、 $y_1 = x_1 - x_0 = \text{⑨}$ であり、そのときの物体 P の速度は ⑩ [m/s] である。単振動では、物体 P の運動エネルギーとバネの弾性エネルギーの和が保存されるので、 $\text{⑪} \times A^2 = \text{⑪} \times (\text{⑨})^2 + \text{⑫}$ が成り立つことから、 A は求まる。
- (4) バネは伸びきった後、縮み始める。もともと縮んだときの x の値は ⑬ である (A を用いてよい)。
- (5) 縮みきった後、バネは伸びて元に戻り始め、速度がちょうど ⑭ [m/s] になった所で物体 P はベルトコンベアー上に静止し、静止したまま移動するようになった。このときの x の値は、 ⑮ である。その後、物体 P はバネの伸びが x_1 になるまで、ベルトコンベアー上を滑らずに移動する。

III 熱気球は、バーナーで気球の中の空気を暖めて気球の外の空気との密度差を作り、浮上させるものである。次の間に答えよ。ただし、空気は理想気体とみなせるものとし、気球内と気球外の圧力は常に等しく、熱気球内の空気の温度 T_B (K)、体積 V_B (m^3) は変化しないものとする。また気体定数を R (J/(mol·K))、重力加速度を g (m/s^2) とする。

- (1) 空気の平均分子量を m とし、気圧 P (Pa)、温度 T (K) のとき、空気の密度 ρ (kg/m^3) はいくらになるか。また、熱気球の中の空気の温度を T_B (K) とするとき、この空気の密度 ρ_B (kg/m^3) はいくらになるか。 P 、 T 、 T_B 、 R 、 m のうち必要な記号を用いて表せ。
- (2) 空気は主に酸素と窒素で構成されており、モル比が酸素：窒素 = 1：4 である。空気の平均分子量 m を求めよ。ただし酸素の原子量は 16、窒素の原子量は 14 とし、有効数字 2 桁で求めよ。またこの値を用いて、気圧 1000 hPa、300 K のときの空気の密度 (kg/m^3) を、気体定数を 8.3 J/(mol·K) とし有効数字 2 桁で求めよ。
- (3) 熱気球の中の空気の密度を ρ_B (kg/m^3)、体積 V_B (m^3)、外部の空気の密度を ρ (kg/m^3) とした時、この熱気球の高度を一定に維持するためには下向きにいくらの力で引けばよいか。この力 F (N) の大きさを、 ρ_B 、 ρ 、 V_B 、 g で表せ。
- (4) 熱気球外部の気圧を P (Pa)、温度を T (K)、熱気球の体積を V_B (m^3)、熱気球内の温度を T_B (K) とするとき、この熱気球が持ち上げることのできる最大の質量 W (kg) はいくらか。 m 、 P 、 T 、 V_B 、 T_B 、 g 、 R のうち必要な記号を用いて表せ。
- (5) 大気は高度が上がると圧力が下がるので、上昇した空気は膨張する。このとき気圧 P (Pa) と空気 1 モルの占める体積 V (m^3) の関係は、断熱変化とみなせるので高度に関係なく $PV^\gamma = \text{一定}$ ($\gamma > 1$) が成り立つ。これと理想気体の状態方程式を組み合わせ、地上における気圧 P_0 (Pa)、気温 T_0 (K) と高所のそれらを P_h (Pa)、 T_h (K) とするとき、 $\frac{P_h}{P_0}$ を T_h 、 T_0 、 γ で表せ。
- (6) 熱気球が地上で持ち上げることのできる最大の質量を W_0 (kg)、高さ h (m) におけるそれを W_h (kg) とするとき、 $\frac{W_h}{W_0}$ の値はいくらになるか。大気の地上における温度 T_0 (K)、高さ h における温度 T_h (K)、熱気球内の温度 T_B (K) と γ を用いて表せ。

IV 真空中に、太さの無視できる導線で作られた金網を置き、その中心を原点とする。

図 1 のように、原点を通って金網から垂直に伸びる直線を x 軸、原点で x 軸と直交する 2 つの直線を y 軸、 z 軸とする。金網から距離 d (m) の位置に、金網と平行になるように、2 枚の金属平板を置いた。金網の電位は 0 V に、2 枚の金属平板の電位は正の値 V_0 (V) に保たれており、金属平板間の電位は、図 2 のようになっている。

この電場内で、荷電粒子が電場から受ける力だけによって、 x 軸に平行な直線上で運動している。この荷電粒子の質量は m (kg)、電荷は正の値 q (C)、荷電粒子の持つ運動エネルギーと位置エネルギーの和はいつも正の値 W_0 (J) ($0 < W_0 < qV_0$) に保たれるものとする(ただし、位置エネルギーは $x = 0$ での値をゼロとする)。荷電粒子は、金網に衝突することなく自由に通過でき、金網も金属平板も十分に広く、重力の影響はないものとして、以下の間に答えよ。

- (1) 位置 x (m) ($-d < x < d$) での電位を求めよ。
- (2) 粒子の運動できる x の範囲を考え、その最大値 x_{\max} を求めよ。
- (3) 粒子の速度 v (m/s) の最大値 v_{\max} を求めよ。また、その時の位置 x_a を求めよ。
- (4) 粒子の位置 x を、 $x \geq 0$ のとき、 v_{\max} 、 x_{\max} 、 v で表せ。この関係式から、 xv 座標上で粒子の運動を考えることができる。図 3 の記入例のように、その運動の軌跡を $x < 0$ のときも含めて図示し (x 軸や v 軸との交点があれば、その値を示すこと)、粒子が動く向きを軌跡上に矢印で示せ。
- (5) 粒子は一定の時間間隔で同じ運動を繰り返す。この周期 T_c (s) を W_0 を含む式で答えよ。
- (6) $v \neq 0$ のとき、2 枚の金属平板の電位をゼロにするのと同時に、 z 方向に一樣な強さの磁場をかけると、粒子は、磁場からの力だけを受け、 xy 平面に平行な平面で、円軌道上を運動しはじめた。その 1 周にかかる時間を T_c と等しくするために、磁束密度 B (T) の大きさを調整した。その大きさを T_c を含む式で答えよ。

図 1

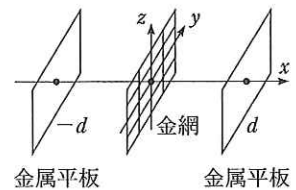


図 2

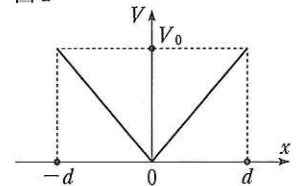


図 3

