

平成24年度入学試験問題

理 科

物理Ⅰ・物理Ⅱ 化学Ⅰ・化学Ⅱ
生物Ⅰ・生物Ⅱ 地学Ⅰ・地学Ⅱ

注 意

- 1 問題冊子は1冊，解答用紙は物理Ⅰ・物理Ⅱ4枚，化学Ⅰ・化学Ⅱ6枚，生物Ⅰ・生物Ⅱ4枚，地学Ⅰ・地学Ⅱ5枚，下書き用紙は3枚です。
- 2 出題科目，ページおよび選択方法は，下表のとおりです。

| 出 題 科 目 | ページ | 選 択 方 法 |
|---------|-------|---|
| 物理Ⅰ・物理Ⅱ | 1～8 | 左記科目のうちから志望する学部，学科等が指定する数（1または2）の科目を選択し，解答しなさい。 |
| 化学Ⅰ・化学Ⅱ | 9～21 | |
| 生物Ⅰ・生物Ⅱ | 22～33 | |
| 地学Ⅰ・地学Ⅱ | 34～43 | |

- 3 選択する科目の解答用紙は上記1に示す枚数を回収するので，すべての解答用紙に受験番号を記入しなさい。
- 4 解答は，すべて解答用紙の指定されたところに書きなさい。
- 5 選択しなかった科目の解答用紙を試験時間中に監督者が回収するので，大きく×印をして機の通路側に重ねて置きなさい。
- 6 試験終了後，問題冊子と下書き用紙は必ず持ち帰りなさい。

物理 I・物理 II

各問の () の中に入れるべき適当な数値、数式または字句などを解答用紙の指定されたところに記入せよ。その他の設問に対する解答は、指示にしたがって解答欄に書け。問題に単位の指定がない場合、用いられる記号は SI (国際単位系) 単位にしたがっているものとする。各問に対する解答は、{ } 内に記号が示されていれば、その記号のうち必要なものを用いて記せ。

第 1 問

図 1 のように、なめらかな水平面上の点 P に半径 r のなめらかな円軌道 A が鉛直に固定されている。水平面のうち点 R から右側の軌道 B はあらい面である。点 O から速さ v_0 で水平に発射された小さい物体が、円軌道 A を 1 周した後、軌道 B 上を点 R から距離 L だけ進み点 S で停止した。物体の質量を m 、重力加速度の大きさを g 、物体と軌道 B の間の動摩擦係数を μ' とする。

- 問 1 物体が円軌道 A の最高点 Q を通過するときの速さ v_Q は (ア) $\{r, m, g, v_0\}$ である。
- 問 2 物体が円軌道 A から落下することなく 1 周するために必要な点 O での速さ v_0 は (イ) $\{r, m, g\}$ 以上である。
- 問 3 軌道 B において物体が点 R を速さ v_0 で通過し点 S で停止した。この間に物体に作用する動摩擦力の大きさは (ウ) $\{m, g, \mu', L\}$ であり、動摩擦力が物体にした仕事 W は (エ) $\{m, g, \mu', L\}$ である。物体に仕事をすると、その仕事の量だけ物体の運動エネルギーが変化するので、 W の絶対値は点 R で物体がもつ運動エネルギー (オ) $\{r, m, g, v_0\}$ と等しい。したがって、距離 L は (カ) $\{r, m, g, \mu', v_0\}$ と表される。

問4 物体が点 R を通過した時刻を 0, 点 S で停止した時刻を T とすると, 時刻 t ($0 \leq t \leq T$) における物体の速さは (キ) $\{m, g, \mu', v_0, t\}$ である。物体の速さと時刻の関係を解答欄のグラフに描け。

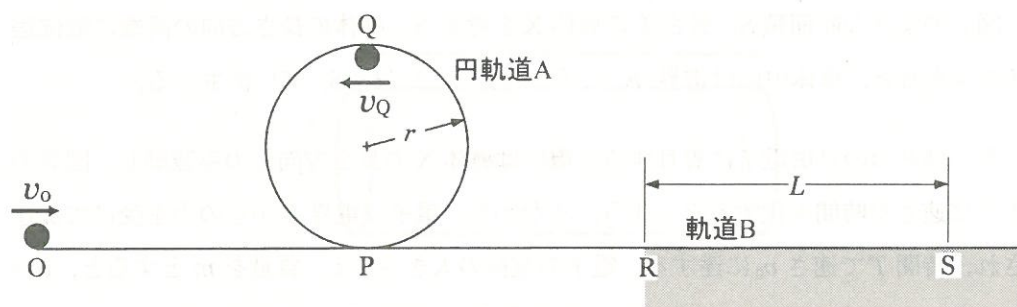


図 1

第2問

導体中の自由電子は、正イオンと衝突しながらいろいろな方向に運動している。導体の両端に電圧をかけると、自由電子は電界からの力を受けて、全体的に電界と逆向きに運動し、電流が生じる。導体にかかる電圧と流れる電流、および導体中で発生するジュール熱との関係を以下のモデルによって導こう。ケ、シ、ソ、タについては導出過程も記せ。

図2のような断面積 S 、長さ l の導体 X を考える。導体の長さ方向の両端に電位差 V を与えると、導体中には電界 $E = (\quad \text{ク} \quad) \{l, S, V\}$ が生じる。

今、ひとつの自由電子に着目する。電子は導体 X の長さ方向にのみ運動し、図3のように速さが時間変化するとしよう。すなわち、電子は電界 E からの力を受けて加速され、時間 T で速さ v_0 に達する。電子の電荷の大きさを e 、質量を m とすると、 $v_0 = (\quad \text{ケ} \quad) \{e, l, m, S, T, V\}$ であり、その時の運動エネルギーは $(\quad \text{コ} \quad) \{e, l, m, S, T, V\}$ である。この時、電子は導体中の正イオンと衝突し、その運動エネルギーを失い、一旦速さが0になる。電子が失った運動エネルギーは、正イオンの熱運動のエネルギーに変換される。

また、電子の平均の速さは $\frac{v_0}{2}$ で与えられるので、電子が導体 X を通り抜ける平均時間 T_X は $T_X = (\quad \text{サ} \quad) \{l, S, v_0, V\}$ である。時間 T_X の間に電子は正イオンと $\frac{T_X}{T}$ 回衝突するので、結局1個の電子は導体 X を通り抜けるまでに $w = (\quad \text{シ} \quad) \{e, l, m, S, V\}$ の運動エネルギーを正イオンに与えることになる。

単位体積当たりの自由電子の数を n とすると、導体 X 中には $(\quad \text{ス} \quad) \{e, l, m, n, S, V\}$ 個の自由電子が存在し、この数の電子が時間 T_X の間に導体 X を通り抜ける。時間 T_X の間に導体中の自由電子が正イオンに与える全運動エネルギーを w を用いて表すと $(\quad \text{セ} \quad) \{l, m, n, S, v_0, w\}$ である。したがって、単位時間当たりに発生するジュール熱は $(\quad \text{ソ} \quad) \{e, l, m, n, S, v_0, V\}$ である。

一方、単位時間当たりに断面積 S を通り抜ける電気量が導体を流れる電流 I であるので、 $I = (\quad \text{タ} \quad) \{ e, \ell, m, n, S, v_0 \}$ と表される。これらのことから、単位時間当たりに発生するジュール熱が IV に等しいことがわかる。

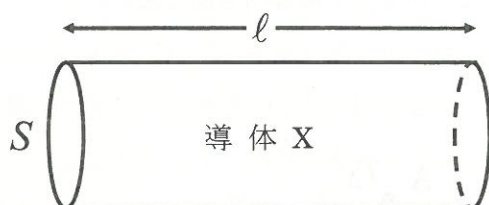


図 2

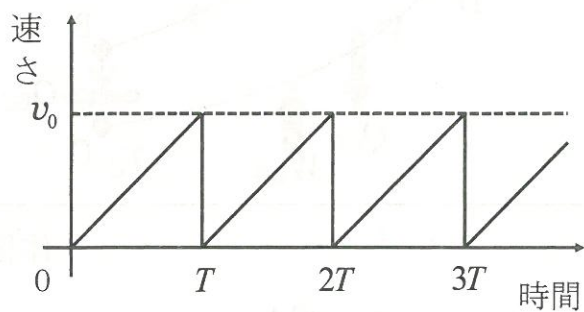


図 3

第3問

熱機関とは、高温の熱源から熱を受け取り、その熱の一部を仕事に変え、残りの熱を外気や水などの低温の環境に放出する過程をくり返す装置である。

1モルの単原子分子の理想気体について、図4のように $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ を1サイクルとする熱機関サイクルを考える。ここで、状態Aから状態Bは等温膨張変化、状態Bから状態Cは定積変化、状態Cから状態Dは等温圧縮変化、状態Dから状態Aは定積変化である。状態Aの温度を T_A 、状態Cの温度を T_C 、気体定数を R として、次の問いに答えよ。テについてはその導出過程も記せ。

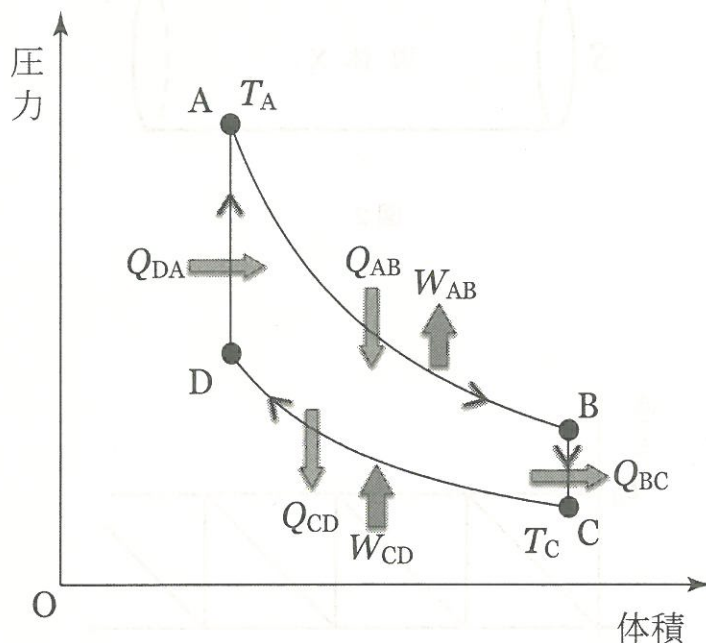


図4

- 問1 状態Aから状態Bの等温膨張変化において、熱源から熱機関に供給される熱量 Q_{AB} と熱機関が外部に行う仕事 W_{AB} の関係を記せ。
- 問2 状態Cから状態Dの等温圧縮変化において、熱機関から環境へ放出される熱量 Q_{CD} と熱機関に外部からされる仕事 W_{CD} の関係を記せ。

問3 状態 D から状態 A の定積変化で、熱源から熱機関に供給される熱量 Q_{DA} と温度 T_A , T_C との関係を記せ。

問4 1 サイクルの間に高温の熱源から熱機関へ供給される熱量を Q , 1 サイクルの間に熱機関が外部にする仕事を W としたとき, Q に対する W の割合 $e = \frac{W}{Q}$ を熱効率という。この熱機関サイクルでは $Q = (\quad \text{チ} \quad) \{ Q_{AB}, Q_{BC}, Q_{CD}, Q_{DA} \}$, $W = (\quad \text{ツ} \quad) \{ W_{AB}, W_{CD} \}$ である。

問5 スターリングサイクルと呼ばれる熱機関サイクルでは、状態 B から状態 C に変化するとき熱機関が放出する熱量 Q_{BC} を、状態 D から状態 A に変化するとき熱機関に吸収させることにより、熱効率を向上させている。ここで、 W_{AB} と W_{CD} の比は温度の比で与えられ、 $\frac{W_{AB}}{W_{CD}} = \frac{T_A}{T_C}$ となることを用いると、スターリングサイクルの熱効率は $e = (\quad \text{テ} \quad) \{ T_A, T_C \}$ となる。

第4問

音源や観測者が動くことによって、音源の振動数とは異なった振動数の音が聞こえる現象をドップラー効果という。例えば、音源が観測者に近づきつつあるとき、その音は高く聞こえ、音源が観測者から遠ざかりつつあるとき、その音は低く聞こえる。

問1 図5のように、直線上を一定の速さ v_s で走りながら振動数 f_0 の音を出す1個の音源を考えよう。音源が位置 A を通過したときに音源から出た音が、時間 t の後に直線上の位置 C で静止している観測者に達したとする。音速を V とすれば、AC間の距離は (ト) である。一方、音源が時間 t の間に位置 A から位置 B まで進んだとすれば、AB間の距離は (ナ) である。音源は時間 t の間に (ニ) 個の波を送り出しているので、BC間には (ヌ) 個の波が存在し、その波長は $\lambda_1 =$ (ネ) $\{V, v_s, f_0\}$ となる。したがって、位置 C に静止している観測者が聞く音の振動数は $f_1 =$ (ノ) $\{V, \lambda_1\} =$ (ハ) $\{V, v_s, f_0\}$ と表すことができる。同様に考えると、音源が観測者を通り過ぎて位置 D に到達したときに観測者が聞く音の振動数は、

$$f_2 = \frac{V}{V+v_s} f_0$$

となる。

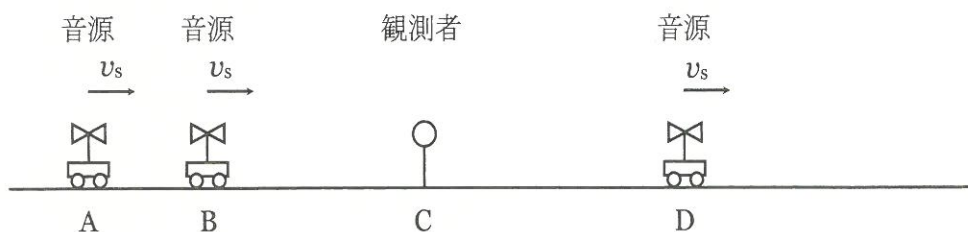


図5

問2 次に、図6のように直線上の位置Eに音を反射する壁を設置した。振動数 $f_0 = 680 \text{ Hz}$ の音を出す音源が、一定の速さ v_s で走りながら観測者の位置Cを通過した。しばらくして、観測者には音源からの直接音と壁からの反射音による振動数 1.0 Hz のうなりが聞こえた。音源の速さ v_s [m/s] の値を求めよ。計算の過程も記せ。ただし、音源の速さ v_s [m/s] が音速 $V = 340 \text{ m/s}$ よりも十分小さく、 $\left(1 \pm \frac{v_s}{V}\right)^{-1} \doteq 1 \mp \frac{v_s}{V}$ (複号同順) と近似できることを利用してもよい。

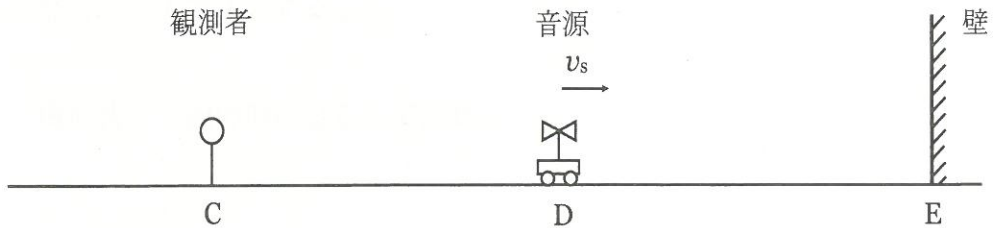


図6