

物 理

「解答上の注意」

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)単位に従っているものとする。各問いに対する解答では{ }内に記号が示されている場合には、その記号のうち必要なものを用いて記せ。示されていない場合は、各問いの指示に従って解答せよ。

第1問

図1のように、質量 m の小球をつけた長さ $2l$ の軽い糸の端を点 P に固定する。糸がたるまないように鉛直下方から角度 θ ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$) になる点 A まで小球を持ち上げたのち静かにはなし、鉛直面内で小球を運動させる。小球が最下点 B を通る瞬間に、点 B から距離 l だけ真上の点 O にある細い釘の位置を中心とする円運動に変わった。重力加速度の大きさを g とし、糸の伸び縮みおよび空気抵抗を無視して以下の問いに答えよ。

問1 点 A で小球を静かにはなした瞬間における糸の張力の大きさを求めよ。{ g, l, m, θ }

問2 小球が点 B を通るとき速さ v_B を求めよ。{ g, l, m, θ }

問3 小球が点 B を通る直前での糸の張力の大きさを求めよ。{ g, l, m, v_B }

問4 小球が点 B を通った直後での糸の張力の大きさを求めよ。{ g, l, m, v_B }

問5 糸がたるむことなく小球が運動を続けるときの角度 θ の最大値を求めよ。

図2のように、糸の角度をある角度 θ' ($0 < \theta' < \frac{\pi}{2}$) にして小球を静かにはなす。小球が点 B を通ったのち、鉛直下方に対し糸の角度が $\pi - \alpha$ ($0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$) である点 C を通過した瞬間から糸がたるみはじめた。

問6 小球にはたらく力のつり合いから点 C における小球の速さ v_C を求めよ。{ g, l, α }

問7 小球が点 C から最高点へ達したのち、点 O にある細い釘に衝突するときの $\tan \alpha$ を求めよ。

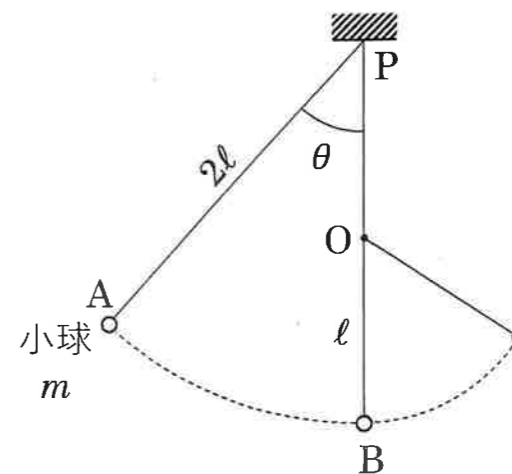


図1

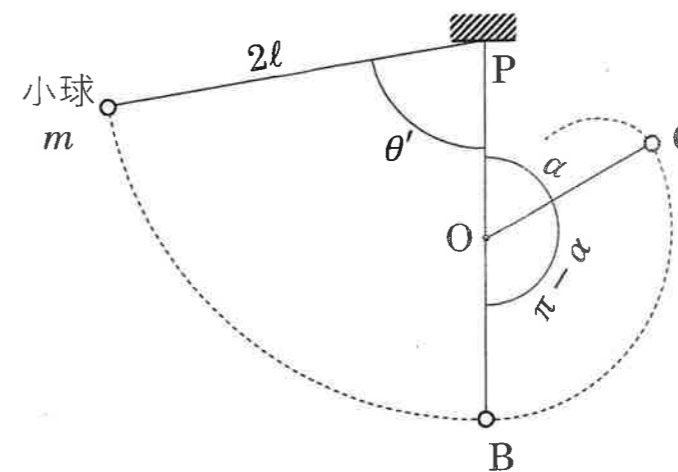


図2

第2問

図3に示すように、抵抗値 R の抵抗、自己インダクタンス L のコイル、電気容量 C のコンデンサを直列に接続した交流回路について考える。角周波数 ω の交流電圧 V を加えると、時刻 t において振幅 I_0 の交流電流 $I = I_0 \sin \omega t$ が流れた。 $\omega > 0$ とし、以下の問いに答えよ。

問1 回路を流れる電流 I を基準として、抵抗に加わる電圧 V_R およびコイルに加わる電圧 V_L の位相について考える。次の記号ア～エの中から適切なものを選び、記号で記せ。

- ア 電圧 V_R は同位相であり、電圧 V_L は $\frac{\pi}{2}$ だけ進んでいる。
- イ 電圧 V_R は同位相であり、電圧 V_L は $\frac{\pi}{2}$ だけ遅れている。
- ウ 電圧 V_R は $\frac{\pi}{2}$ だけ進んでおり、電圧 V_L は $\frac{\pi}{2}$ だけ遅れている。
- エ 電圧 V_R は $\frac{\pi}{2}$ だけ遅れており、電圧 V_L は $\frac{\pi}{2}$ だけ進んでいる。

問2 抵抗、コイル、コンデンサに加わる電圧 V_R, V_L, V_C を求めよ。 $\{R, L, C, I_0, \omega, t\}$

問3 回路全体の電圧 V の最大値を求めよ。 $\{R, L, C, I_0, \omega, t\}$

次に、図4に示すように、これらの素子を並列に接続し、振幅 V_0 の交流電圧 $V = V_0 \sin \omega t$ を加える。

問4 抵抗、コイル、コンデンサに流れる交流電流 I_R, I_L, I_C を求めよ。 $\{R, L, C, V_0, \omega, t\}$

問5 ベクトルを用いて回路を流れる電流を xy 平面上で表すことを考える。ベクトルの大きさを交流電流の最大値に対応させ、ベクトルの回転角を電流の位相に対応させる。抵抗を流れる電流ベクトル \vec{I}_R が x 軸を向いたときに、コイルおよびコンデンサを流れる電流ベクトル \vec{I}_L, \vec{I}_C を解答用紙にある図 A に図示し、交流電源から流れる電流ベクトル \vec{I} をこれらのベクトルの合成を用いて作図せよ。ただし、各素子に流れる交流電流の最大値は $I_L < I_C < I_R$ である。

問6 図4の回路全体のインピーダンスを求めよ。 $\{R, L, C, V_0, \omega, t\}$

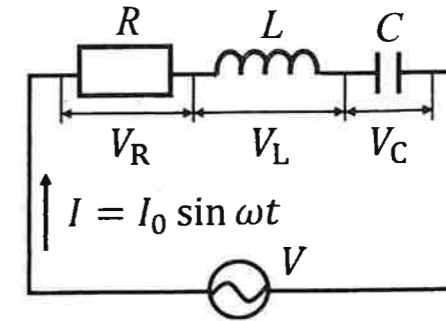


図3

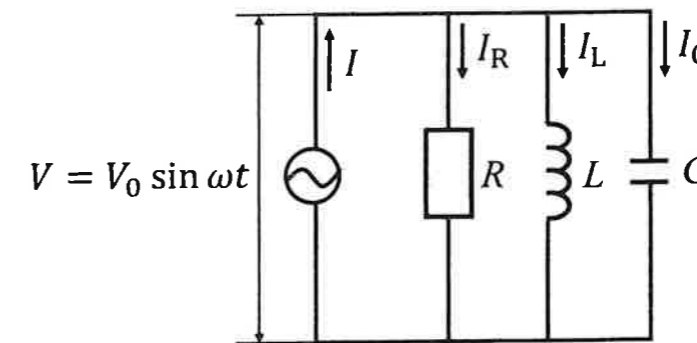


図4

第3問

容器の中に 1 mol の単原子分子理想気体を封じ込め、図5のように変化させた。ここで、 p は理想気体の圧力、 V は体積であり、 p_0 と V_0 は状態 B の圧力と体積である。また、 $A \rightarrow B$ は等温過程、 $B \rightarrow C$ は断熱過程、 $C \rightarrow A$ は等積過程である。以下の問いに答えよ。

問1 状態 A での圧力 p_A を求めよ。 $\{p_0, V_0\}$

問2 断熱変化では、圧力 p と体積 V の間にポアソンの法則 $pV^\alpha = \text{一定}$ (ただし α は定数) が成り立つ。状態 C での圧力 p_C を求めよ。 $\{p_0, V_0, \alpha\}$

問3 状態 B の温度を T_0 とするとき、状態 C の温度 T_C を求めよ。ただし、 2^α の値を 3.2 として答えよ。 $\{T_0, V_0\}$

問4 状態 A、状態 B、状態 C の中で、理想気体分子の2乗平均速度が最も速いのはどの状態か答えよ。

問5 $A \rightarrow B$ 、 $B \rightarrow C$ 、 $C \rightarrow A$ のうち、理想気体が熱量を吸収する過程はどれか。また、理想気体が熱量を放出する過程はどれか。解答欄に、それぞれ該当する過程をすべて丸で囲め。

次に、この理想気体を冷媒(冷却用のガス)として使い、図5の過程 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ を 1 サイクルとする冷蔵庫を考える(図6)。理想気体を用いた冷却装置は、熱量 Q_1 を冷蔵庫から吸収し、熱量 Q_2 を冷蔵庫外部に放出することで、冷蔵庫を冷やしている。ただし、 $Q_1 > 0$ 、 $Q_2 > 0$ である。

問6 図5の 1 サイクルで、冷媒の理想気体がされた仕事を W とする。

- (1) W 、 Q_1 、 Q_2 の間の関係式を示せ。
- (2) この冷蔵庫が動作するためには、電源から電力を得る必要がある。このことと(1)の関係式を考慮し、 Q_1 と Q_2 の大小関係を求めよ。その理由も簡潔に示せ。

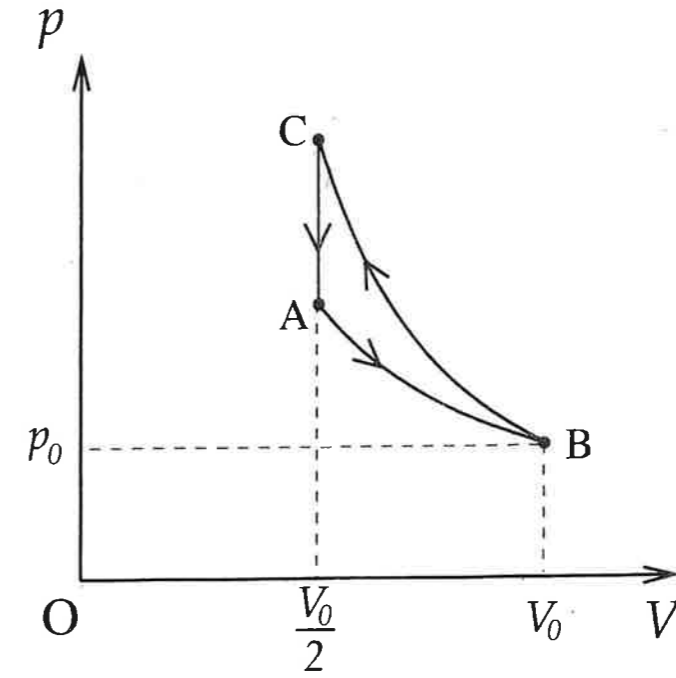


図5

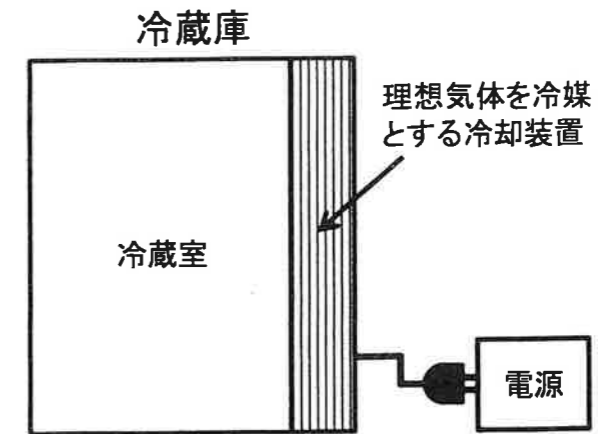


図6

第4問

図7のように、水面上で離れた2点 A, B の波源から同位相で振幅、波長の等しい同心円状の波が出ている。図の実線はある瞬間におけるそれぞれの波の山の波面、破線は谷の波面を表している。

問1 線分 AB の中点 O は、2つの波が強めあう点か、弱めあう点か答えよ。

問2 点 A と B の間に生じる、強めあう点を連ねた曲線をすべて解答用紙の図に描け。

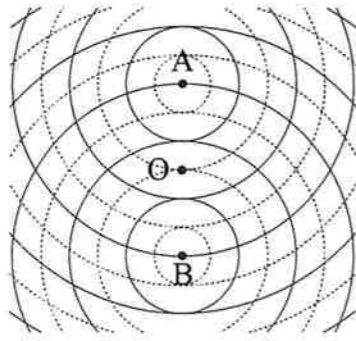


図7

音波でも図7と同様に干渉を起こすとして、音波の干渉を考えよう。図8のように、点 O から距離 d 離れた点 A, B に音源が置かれている。2つの音源は、同位相で振幅と振動数の等しい音波を発している。 x 軸と y 軸を図のようにとり、点 O から x 軸の正の方向に距離 s だけ離れた点 C にはマイクが置かれている。

点 C に置かれたマイクを、点 C から距離 d 離れた点 D の方向へ y 軸と平行にゆっくり動かす。このとき、音の大きさは一度極小となった後に点 D において極大となった。空気中の音速を V として、以下の問いに答えよ。

問3 BD と AD の距離の差 $\Delta r = BD - AD$ を答えよ。 $\{s, d\}$

問4 音波の振動数を求めよ。 $\{\Delta r, V\}$

つぎに、マイクを点 D から x 軸と平行に音源 A の方向へゆっくり動かす。このとき、音の大きさは一度極小となった後に極大となり、さらにマイクを動かし続けると、再び極小となった後に点 A において極大となった。

問5 音波の波長は d の何倍であるか答えよ。

問6 音波の波長は s の何倍であるか答えよ。

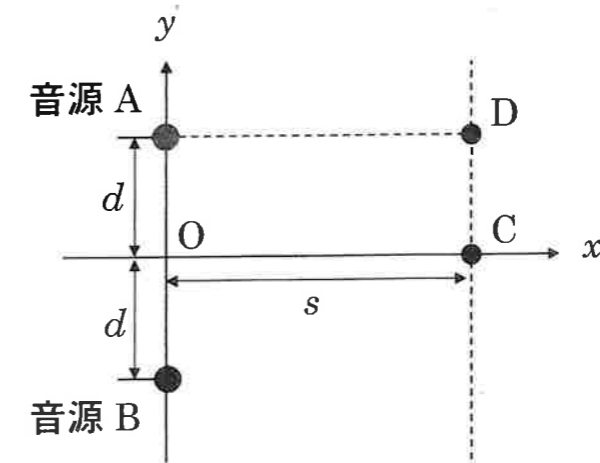


図8