

物 理

1

解答

問 1. ア 問 2. イ 問 3. エ 問 4. オ 問 5. ア

解説

《小問集合》

問 1. 時刻 0 s から時刻 5.0 s までの加速度の大きさを $a[\text{m/s}^2]$ とすると

$$10 = \frac{1}{2}a \times 5.0^2$$

$$\therefore a = 0.80[\text{m/s}^2]$$

時刻 0 s から時刻 30 s までの平均の速さを $v[\text{m/s}]$ とすると

$$v = \frac{90}{30} = 3.0[\text{m/s}]$$

問 2. 棒が壁から受ける垂直抗力の大きさを R , 床から受ける垂直抗力の大きさを N , 静止摩擦力の大きさを f , 棒の重力の大きさを W , 棒の長さを l とする。棒の下端まわりの力のモーメントのつり合いより

$$0 = W \times \frac{l}{2} \cos \theta - R \times l \sin \theta \quad \therefore R = \frac{W}{2 \tan \theta}$$

力のつり合いより

$$\text{水平方向: } 0 = R - f \quad \therefore f = R = \frac{W}{2 \tan \theta}$$

$$\text{鉛直方向: } 0 = N - W \quad \therefore N = W$$

棒と床の間の静止摩擦係数を μ とすると, 棒が床に対してすべらない条件は

$$f \leq \mu N$$

$$\Longleftrightarrow \frac{W}{2 \tan \theta} \leq \mu W$$

$$\therefore \mu \geq \frac{1}{2 \tan \theta}$$

$\theta = 60^\circ$ のとき等号が成立するので

$$\mu = \frac{1}{2 \tan 60^\circ} = \frac{1}{2\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{6}$$

問 3. 変圧器では、1 次コイルと 2 次コイルで鉄心を貫く磁束が等しいため、電圧比はコイルの巻数比と一致する。2 次コイルの電圧を V_2 とすると

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad \therefore V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1$$

問 4. 振動数を 0 から大きくしていくとき、波長は十分長い状態から短くなっていくので、先に共鳴するのは長いほうの開管 B である。開管 A と開管 B が同時に共鳴するのは、開管 A に 2 倍振動が生じたときなので、このときの波長を λ とすると

$$\frac{\lambda}{2} \times 2 = 2l \quad \therefore \lambda = 2l$$

このときの振動数 f は、波の伝わる速さの式より

$$f = \frac{V}{\lambda} = \frac{V}{2l}$$

問 5. 熱機関が 1 サイクルの間に高温の熱源から吸収する熱量を $Q_{\text{in}}[\text{J}]$ とすると、熱効率の関係より

$$\frac{1}{6} = 1 - \frac{10}{Q_{\text{in}}} \quad \therefore Q_{\text{in}} = 12[\text{J}]$$

1 サイクルの間に外部にする正味の仕事を $W_{\text{net}}[\text{J}]$ とすると、熱効率の関係より

$$\frac{1}{6} = \frac{W_{\text{net}}}{Q_{\text{in}}}$$

$$\therefore W_{\text{net}} = \frac{1}{6} Q_{\text{in}} = \frac{1}{6} \times 12 = 2.0[\text{J}]$$

2

解答

問 1. ウ 問 2. エ 問 3. イ 問 4. オ 問 5. カ

《台上の物体の運動》

問 1. 小物体がばねから離れた直後の台の速さを V とすると、運動量保存則より

$$mv + 2m(-V) = 0 \quad \therefore V = \frac{1}{2}v$$

問 2. 力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}(2m)V^2 = \frac{1}{2}kd^2$$

$$\iff \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}(2m)\left(\frac{1}{2}v\right)^2 = \frac{1}{2}kd^2$$

$$\therefore v = d\sqrt{\frac{2k}{3m}}$$

問 3. 小物体が台に対して静止したとき、運動量保存則より小物体と台はともに床に対して静止している。小物体が点 A を通過した後、台に対して静止するまでの時間を t とすると、小物体についての運動量変化と力積の関係より

$$0 - mv = -\mu mgt$$

$$\therefore t = \frac{v}{\mu g}$$

問 4. 小物体が点 A を通過後、台上をすべった距離を L とすると仕事と力学的エネルギー変化の関係より

$$0 - \frac{1}{2}kd^2 = -\mu mgL$$

$$\therefore L = \frac{kd^2}{2\mu mg}$$

小物体が点 B に達する前に静止する条件は $L < l$

$$\text{よって} \quad \frac{kd^2}{2\mu mg} < l$$

$$\therefore d < \sqrt{\frac{2\mu mgl}{k}} \quad (=d_0)$$

問 5. カ. 適切。台にはたらく動摩擦力の大きさは変化しないので、台の質量が小さくなると台の床に対する加速度の大きさは大きくなる。

ア. 不適。系全体の運動量は 0 なので、台に対して小物体が静止したとき、

台と小物体はともに床に対して静止する。

イ. 不適。台の質量を M としたとき

$$\text{運動量保存則：} mv + M(-V) = 0 \iff V = \frac{m}{M}v$$

$$\text{力学的エネルギー保存則：} \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}MV^2 = \frac{1}{2}kd^2$$

$$\iff \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}M\left(\frac{m}{M}v\right)^2 = \frac{1}{2}kd^2$$

$$\therefore v = d\sqrt{\frac{kM}{m(m+M)}}$$

台の質量が $3m$ となったとき $v = d\sqrt{\frac{3k}{4m}}$ となるため、台の質量が大き

くなると小物体の速さは大きくなる。

ウ. 不適。動摩擦力の大きさは、台の質量に関係しない。

エ. 不適。小物体の点 A を通過するときの速さが変化する。

オ. 不適。小物体にはたらく動摩擦力の大きさが変化しないとき、加速度も変化しない。

3

解答

問 1. ア 問 2. ウ 問 3. オ 問 4. ア 問 5. イ

解 説

《抵抗とコンデンサーを含む直流回路》

問 1. スイッチ S_1 を閉じて十分に時間が経過したとき、抵抗 R_1 に流れる電流の大きさを $I_1[\text{A}]$ とすると、キルヒホッフの第二法則より

$$1.5 = 4.0I_1 + 1.0I_1$$

$$\therefore I_1 = \frac{1.5}{5.0} = 0.30[\text{A}]$$

問 2. コンデンサー C_1 , C_2 に蓄えられる電気量は等しく、これを $Q_0[\mu\text{C}]$ とすると、キルヒホッフの第二法則より

$$1.5 = \frac{Q_0}{20} + \frac{Q_0}{30}$$

$$\therefore Q_0 = 18[\mu\text{C}]$$

問 3. スイッチ S_2 を閉じて十分に時間が経過したとき、コンデンサー C_1

に蓄えられた電気量を $Q_1[\mu\text{C}]$ とすると、キルヒホッフの第二法則より

$$4.0I_1 = \frac{Q_1}{20}$$

$$\therefore Q_1 = 24[\mu\text{C}]$$

また、このときコンデンサー C_2 に蓄えられた電気量を $Q_2[\mu\text{C}]$ とすると、キルヒホッフの第二法則より

$$1.0I_1 = \frac{Q_2}{30}$$

$$\therefore Q_2 = 9.0[\mu\text{C}]$$

問4. 続いて、スイッチ S_2 を開いた後、スイッチ S_1 を開いて十分に時間が経過したとき、コンデンサー C_1 、 C_2 に蓄えられた電気量をそれぞれ $q_1[\mu\text{C}]$ 、 $q_2[\mu\text{C}]$ とすると、電気量保存則より

$$\begin{aligned} -q_1 + q_2 &= -Q_1 + Q_2 \\ &= -24 + 9.0 \\ &= -15 \end{aligned}$$

キルヒホッフの第二法則より

$$\frac{q_1}{20} + \frac{q_2}{30} = 0$$

この2式より、 $q_1 = 6.0[\mu\text{C}]$ 、 $q_2 = -9.0[\mu\text{C}]$ となる。このときのコンデンサー C_1 の電位差は

$$\frac{q_1}{20} = \frac{6.0}{20} = 0.30[\text{V}]$$

問5. スイッチ S_1 を開いてから十分に時間が経過するまでに抵抗 R_1 、 R_2 で発生した全ジュール熱 $J[\mu\text{J}]$ はエネルギー保存則より

$$\begin{aligned} J &= \left(\frac{Q_1^2}{2 \times 20} + \frac{Q_2^2}{2 \times 30} \right) - \left(\frac{q_1^2}{2 \times 20} + \frac{q_2^2}{2 \times 30} \right) \\ &= \left(\frac{24^2}{2 \times 20} + \frac{9.0^2}{2 \times 30} \right) - \left(\frac{6.0^2}{2 \times 20} + \frac{(-9.0)^2}{2 \times 30} \right) \\ &= 13.5[\mu\text{J}] \end{aligned}$$

よって、抵抗 R_2 で発生した全ジュール熱 $J_2[\mu\text{J}]$ は、抵抗値の比より

$$\begin{aligned} J_2 &= \frac{1.0}{4.0 + 1.0} J \\ &= \frac{1}{5} \times 13.5 = 2.7[\mu\text{J}] \end{aligned}$$

解説

《薄膜による光の干渉》

問1. 屈折の法則より

$$1 \cdot \sin i = n_1 \cdot \sin \theta$$

$$\therefore \sin \theta = \frac{1}{n_1} \sin i$$

問2. 点Cで光 L_1 は屈折率が小さい媒質から屈折率が高い媒質の境界面Qで反射するので固定端反射となる。点Bで光 L_2 は屈折率が小さい媒質から屈折率が高い媒質の境界面Pで反射するので固定端反射となる。光 L_1 が点Aおよび点Bで屈折するとき位相は変化しないので、変化量はともに0となる。

問3. 線分ECと線分CBの長さの和は、点Bの面Qに対する対称点を点 B'' としたとき

$$\begin{aligned} EC + CB &= EC + CB'' \\ &= EB'' \\ &= 2d \cos \theta \end{aligned}$$

問4. 光 L_1 , L_2 は合計で2回の固定端反射をするので、同位相型の干渉となる。また、経路差は屈折率が n_1 の薄膜中で生じるので、強め合いの干渉条件は

$$\begin{aligned} n_1(2d \cos \theta) &= m\lambda \\ 2n_1 d \sqrt{1 - \sin^2 \theta} &= m\lambda \\ 2n_1 d \sqrt{1 - \left(\frac{1}{n_1} \sin i\right)^2} &= m\lambda \\ \therefore 2d \sqrt{n_1^2 - \sin^2 i} &= m\lambda \end{aligned}$$

問5. 点Fにおける屈折角を r とする。面Qでの屈折角が 90° となればよいので、屈折の法則より

$$\begin{aligned} 1 \cdot \sin \phi &= n_2 \sin r = n_1 \sin 90^\circ \\ \therefore \sin \phi &= n_1 \end{aligned}$$