

物理 A1 解答例

- (1) 容器内の気体の圧力は大気圧とおもりからの力と釣り合っているので, $p_0 + \frac{Mg}{S}$.
(2) 内部エネルギーの変化を ΔU , 気体が外部にする仕事を W_1 とすると,

$$\Delta U = \frac{3}{2}R(T_1 - T_0), \quad W_1 = \left(p_0 + \frac{Mg}{S}\right) Sl_1$$

が成り立つ. l_1 はピストンの上昇距離である. 温度が T_0 および T_1 のときの状態方程式から以下の式が成り立つ.

$$\left(p_0 + \frac{Mg}{S}\right) Sl_0 = n_1 RT_0, \quad \left(p_0 + \frac{Mg}{S}\right) S(l_0 + l_1) = n_1 RT_1$$

これから $n_1 R(T_1 - T_0) = (p_0 S + Mg) l_1$ が得られ, 熱力学の第 1 法則と組み合わせると, $Q_1 = \frac{5}{2} n_1 R(T_1 - T_0)$ が成り立つ. したがって,

$$T_1 = T_0 + \frac{2Q_1}{5n_1 R}.$$

- (3) 問 (2) を求める過程で, $\left(p_0 + \frac{Mg}{S}\right) Sl_1 = \frac{2Q_1}{5}$ が得られる. したがって,

$$l_1 = \frac{2}{5} \frac{Q_1}{p_0 S + Mg}.$$

- (4) $W_1 = (p_0 S + Mg) l_1 = \frac{2}{5} Q_1$.

- (5) 水が沸点に達すると, 与えられた熱は水が水蒸気になるために必要な蒸発熱に用いられ, その間温度は上昇しない.

- (6) 気体と水の温度が常に等しいとすると, 温度を ΔT 上げるのに必要な熱量 ΔQ は

$$\Delta Q = \frac{5}{2} n_1 R \Delta T + C_1 n_2 \Delta T.$$

- (7) 過程 (b) が終わったところでは, 容器内に理想気体 n_1 [mol] と水蒸気 n_2 [mol] が存在し, 温度は T_c , シリンダの上昇距離を l_2 とすると状態方程式から

$$(p_0 S + Mg)(l_0 + l_2) = (n_1 + n_2) RT_c$$

l_0 は初期状態における気体の高さである. また, 温度 T_0 における状態方程式から

$$(p_0 S + Mg) l_0 = n_1 RT_0$$

この 2 式の差をとると,

$$l_2 = \frac{n_2 RT_c + n_1 R(T_c - T_0)}{p_0 S + Mg}.$$

物理 A2 解答例

(1) 等速円運動のため、運動エネルギーは

$$\frac{1}{2}mv_0^2 \text{ [J]}$$

(2) 円運動半径を r_0 とすると

$$\begin{aligned}qv_0B &= \frac{mv_0^2}{r_0} \\r_0 &= \frac{mv_0}{qB} \text{ [m]}\end{aligned}$$

円運動の円周と速度より、周期 T は

$$T = \frac{2\pi r_0}{v_0} = \frac{2\pi m}{qB} \text{ [s]}$$

(3) 電位差と加速後の運動エネルギーから

$$\begin{aligned}qV &= \frac{1}{2}mv_1^2 \\v_1 &= \sqrt{\frac{2qV}{m}} \text{ [m/s]}\end{aligned}$$

(4) 問 (2) 答えより、加速後の速度は

$$v = \frac{qBR_0}{m}$$

加速後の運動エネルギーは

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{q^2B^2R_0^2}{2m} \text{ [J]}$$

(5) n 回加速したとき、運動エネルギーは

$$nqV = \frac{q^2B^2R_0^2}{2m}$$

となり

$$n = \frac{qB^2R_0^2}{2mV} \text{ [回]}$$

(6) 問 (4) 答えより、運動エネルギーは

$$\begin{aligned}\frac{q^2B^2R_0^2}{2m} \text{ [J]} &= \frac{q^2B^2R_0^2}{2m \times (1.6 \times 10^{-19})} \text{ [eV]} \\&= \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2 \times (0.50)^2 \times (0.50)^2}{2 \times (1.6 \times 10^{-27}) \times (1.6 \times 10^{-19})} \\&= 3.1 \times 10^6 \text{ [eV]}\end{aligned}$$

「物理 B1 解答例」

(1) 壁に到達するまでにかかった時間は $v \sin \theta / g$

その間に h の高さに到達しているので、 $v^2 \sin^2 \theta / 2g = h$ 、また、水平方向に L だけ進んでいるので、 $v^2 \sin \theta \cos \theta / g = L$

よって、 $v = \sqrt{2gL / \sin 2\theta}$ 、 $\tan \theta = 2h/L$

(2) 壁に衝突後、水平方向に速さが $e_1 v \cos \theta$ になり、かかる時間は問 (1) と同じ ($v \sin \theta / g = \sqrt{2h/g}$) なので、壁から点 P までの距離は $e_1 L$ となり、 L の e_1 倍である。

(3) 床との衝突直後は鉛直成分の速さが $e_2 v \sin \theta$ となり、点 O の位置に戻るまで $2e_2 v \sin \theta / g$ だけの時間がかかる。この間に進んだ水平方向の距離は $(1 - e_1)L$ であり、さらに問 (1) の結果も用いると、 $e_1(1 + 2e_2) = 1$ となる。

非弾性衝突であることと、上式から $1/3 < e_1 < 1$ 、 $0 < e_2 < 1$

(4) $v^2 = 2gL / \sin 2\theta$ より、 v が最小を取るのは $\sin 2\theta = 1$ のとき。すなわち、 $\theta = \pi/4$ のときに $v = \sqrt{2gL}$ となる。

(5) 求める速さは $v' = v \cos \theta \sqrt{\sin^2 \alpha + e_1^2 \cos^2 \alpha}$

(6) 衝突後の小球の速度の向きが、傾いた壁の法線方向から β だけ傾いていたとする。このとき、 $e_1 \tan \beta = \tan \alpha$ である。

また、 $\tan(\alpha + \beta) = 1$ より、公式を用いれば $\tan^2 \alpha + (1 + e_1) \tan \alpha = e_1$ である。

(7) 壁からはね返った後、点 O の位置で床に落下するまでの運動時間は $t = \sqrt{2L}/v'$

高さ h から放物運動をして床に到達することから、 $(1 - e_1^2) \cos^2 \alpha = 1/3$ の関係を満たす。 α の範囲を考慮すると、 $\tan \alpha = \sqrt{2 - 3e_1^2}$ となる。

物理 B2 解答例

(1) 経路 PS の長さは $d \cos \left\{ \frac{\pi}{2} - (\alpha + \beta) \right\} = d \sin(\alpha + \beta)$, 経路 QR の長さは $d \sin \alpha$ であるから, 光路差は $d(\sin(\alpha + \beta) - \sin \alpha)$.

(2) 問 (1) で求めた光路差が波長の整数倍のときに光は強め合うので,

$$d(\sin(\alpha + \beta) - \sin \alpha) = m\lambda \quad (m = 1, 2, \dots).$$

(3) $\beta_1 \doteq \tan \beta_1 = \frac{1}{10}$ [rad] だから, 角度は $0.1 \times 180/3.14 = 5.73 \dots$ したがって, 約 5.7° .

(4) $\lambda = d \{ \sin(\alpha + \beta_1) + \sin(-\alpha) \} = \frac{2d}{m} \sin \frac{\beta_1}{2} \cos \left(\alpha + \frac{\beta_1}{2} \right) \quad (m = 1, 2, \dots).$

(5) 問 (4) で求めた式で $\alpha = 0$ とおいて近似式を用いると,

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{2d}{m} \sin \frac{\beta_1}{2} \cos \frac{\beta_1}{2} = \frac{d}{m} \sin \beta_1 \\ &\doteq \frac{d}{m} \beta_1 = \frac{0.50}{m} \mu\text{m}. \end{aligned}$$

となるが、可視光領域では $m = 1$ のみが許されるから $\lambda = 0.50 \mu\text{m}$

(6) 問 (4) で求めた式で $\alpha = \frac{\pi}{6} \doteq 0.52, \frac{\beta_1}{2} = \frac{1}{20}, m = 1$ として計算すると,

$$\begin{aligned} \lambda &= 2d \sin(0.05) \cos(0.52 + 0.05) \\ &\doteq 10 [\mu\text{m}] \times 0.05 \times (1 - 0.57^2/2) \doteq 0.42 \mu\text{m}. \end{aligned}$$