

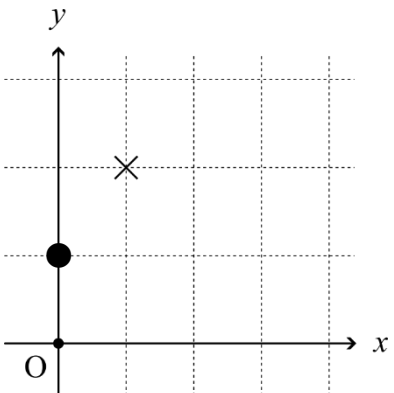
物 理 解 答 用 紙

1	<p>[説明] 運動中の小球に対し、円弧の接線方向に働く力Fは、$F = -mg \sin \theta$ である。θ_0が十分に小さい場合、θも十分に小さく、$F = -mg \sin \theta \approx -mg\theta = -mg \frac{x}{L}$に近似できる。この式は、単振動の運動方程式 $ma = F = -m\omega^2 x$ (a:加速度, ω:角振動数)と同じ形である。式 の対応から、角振動数は $\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$ であり、振り子の周期は $T_A = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$ となる。</p>	評 点
問 1		
問 2	<p>(1) [グラフ作成]</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="text-align: center;"> </div> </div>	
	<p>(2) 答 θ_0が増えたとき： 長くなる Lが増えたとき： 長くなる mが増えたとき： 変わらない</p>	
	<p>(3) 答 θ_0が増えたとき： 変わらない Lが増えたとき： 長くなる mが増えたとき： 変わらない</p>	
問 3	<p>(1) 答 $k = \frac{mg}{L}$</p> <p>(2) 答 $\frac{1}{2}mv_A^2 = \frac{1}{2}mgL(\theta_0^2 - \theta^2)$</p> <p>(3) 答 $\frac{1}{2}mv_B^2 = mgL(\cos \theta - \cos \theta_0)$</p> <p>(4) 答 $-\theta_0 \leq \theta \leq \theta_0$</p> <p>(5) [説明] (2)と(3)の運動エネルギーの差をとると、$\frac{1}{2}m(v_A^2 - v_B^2) = \frac{1}{2}mgL(\theta_0^2 - \theta^2) - mgL(\cos \theta - \cos \theta_0) = \frac{1}{2}mgL((\theta_0^2 + 2 \cos \theta_0) - (\theta^2 + 2 \cos \theta))$となる。$\theta > 0$において$\theta^2 + 2 \cos \theta$は単調増加関数であり、$\theta_0 \geq \theta$であることから、$\theta_0^2 + 2 \cos \theta_0 \geq (\theta^2 + 2 \cos \theta)$、つまり$\frac{1}{2}mgL((\theta_0^2 + 2 \cos \theta_0) - (\theta^2 + 2 \cos \theta)) \geq 0$となる。$\theta^2 + 2 \cos \theta$は偶関数であるため、$\theta < 0$においても同様に$\frac{1}{2}mgL((\theta_0^2 + 2 \cos \theta_0) - (\theta^2 + 2 \cos \theta)) \geq 0$となる。$\theta = 0$では、明らかに$\theta_0^2 + 2 \cos \theta_0 > (\theta^2 + 2 \cos \theta)$となる。以上より、$v_A^2 - v_B^2 \geq 0$、つまり、$v_A \geq v_B$が得られる。</p>	
	<p>(6) 答 $\theta = \pm \theta_0$</p>	小 計

物 理 解 答 用 紙

2		<p>(1) [説明と計算式] 混合後のシリンダー内の気体の物質量は $4n$，体積は $2Sh$，温度は T_0 である。混合後の圧力 p_1 は，理想気体の状態方程式より，</p> $p_1 = \frac{4nRT_0}{2Sh} = \frac{4nRT_0}{2Sh} = 2p_0$ <p style="text-align: right;">答 $p_1 = 2p_0$</p>
問 1		<p>(2) [説明] 単原子分子からなる理想気体の内部エネルギーは温度と物質量のみに依存する。よって，混合過程でシリンダー内の温度と物質量は変化しないため，内部エネルギーは変化しない。</p>
		<p>(1) [説明と計算式] ピストン静止時の力のつり合いより， $p_2S = p_3S - mg \quad \therefore p_3 - p_2 = \frac{mg}{S}$</p> <p style="text-align: right;">答 $p_3 - p_2 = \frac{mg}{S}$</p>
		<p>(2) [説明と計算式] 混合後のピストン上下の空間の物質量は，それぞれ $2n$ となる。ピストンが静止したとき，シリンダー上下の圧力と体積の関係から，</p> $p_2S(h+L) = 2nRT \quad \dots \textcircled{1}, \quad p_3S(h-L) = 2nRT \quad \dots \textcircled{2}$ <p>$\textcircled{1}$，$\textcircled{2}$より， $p_2S(h+L) = p_3S(h-L)$ となる。ここで， $p_2 = p_3 - \frac{mg}{S}$ の関係を代入し，整理すると，</p> $\therefore p_3 = \frac{(h+L)mg}{2SL}$ <p style="text-align: right;">答 $p_3 = \frac{(h+L)mg}{2SL}$</p>
問 2		<p>(3) [説明と計算式] 図 3 の状態における温度 T は，理想気体の状態方程式より，</p> $p_3S(h-L) = 2nRT \quad \therefore T = \frac{p_3S(h-L)}{2nR} = \frac{(h+L)mg}{2SL} \frac{S(h-L)}{2nR} = \frac{(h^2 - L^2)mg}{4nRL}$ <p style="text-align: right;">答 $T = \frac{(h^2 - L^2)mg}{4nRL}$</p>
		<p>(4) [説明と計算式] シリンダー内の内部エネルギー変化 $6nR(T - T_0)$ と，位置エネルギーの減少量 mgL は等しいので，</p> $6nR(T - T_0) = mgL$ <p>となる。また，図 2 の状態における状態方程式より， $T_0 = \frac{p_0Sh}{nR}$ となる。T および T_0 に代入し，式を整理すると， $5mgL^2 + 12p_0ShL - 3mgh^2 = 0$。</p> <p>$L$ に関する二次方程式を解き，物理的に意味のある正の解を求めると，以下ようになる。</p> $L = \frac{\sqrt{36p_0^2S^2 + 15m^2g^2} - 6p_0S}{5mg} h$ <p style="text-align: right;">答 $L = \frac{\sqrt{36p_0^2S^2 + 15m^2g^2} - 6p_0S}{5mg} h$</p>
問 3		<p>[理由] 栓を開くと，ピストン上下の圧力差の解消とともに，ピストンは自らの重力でゆっくり下がる。このとき，失った重力による位置エネルギーの分だけ，気体が仕事をされている。したがって，気体の内部エネルギーは増加し，気体の温度は問 2 の T と比べて高くなる。</p> <p style="text-align: center;">答 気体の温度は T と比べて高くなる</p>
	小 計	

物 理 解 答 用 紙

3		<p>(1) [説明と計算式] 荷電粒子は z 軸方向には力を受けないから、</p> $\frac{z \text{ 軸方向の移動距離}}{z \text{ 軸方向の速さ}} = \frac{3L+2w}{v}$ <p style="text-align: right;">答 $\frac{3L+2w}{v}$</p>				
		<p>(2) [説明と計算式] 荷電粒子は M_1 が作る電場(電界)の中では x 軸方向と z 軸方向には力を受けないから、x 軸方向の速さは 0、z 軸方向の速さは v。 y 軸方向について、荷電粒子は M_1 が作る電場(電界)の中では $\frac{qV_1}{mw}$ の力を受けるため、$\frac{qV_1}{mw}$ の加速度で加速される。ここで、M_1 が作る電場(電界)に入ってから出までの時間は $\frac{w}{v}$ で表せるから、M_1 が作る電場(電界)を出る時点での y 軸方向の速さは $\frac{qV_1}{mw} \times \frac{w}{v} = \frac{qV_1}{mv}$ となる。 よって求める速さは、y 軸方向の速さと z 軸方向の速さを合成して、$\sqrt{\left(\frac{qV_1}{mv}\right)^2 + v^2}$</p> <p style="text-align: right;">答 $\sqrt{\left(\frac{qV_1}{mv}\right)^2 + v^2}$</p>				
問 1		<p>(3) [説明と計算式] 荷電粒子の y 軸方向への移動距離は以下の①～③の合計である。 ① 発射されてから M_1 が作る電場(電界)に入るまでは、y 軸方向の移動距離は 0。 ② M_1 が作る電場(電界)に入ってから出までは、(2)より時間 $\frac{w}{v}$ の間 y 軸方向の加速度 $\frac{qV_1}{mw}$ の等加速度運動をするため、y 軸方向の移動距離は $\frac{1}{2} \times \frac{qV_1}{mw} \times \left(\frac{w}{v}\right)^2 = \frac{qV_1 w}{2mv^2}$。 ③ M_1 が作る電場(電界)を出てから平面 S に到達するまでは、時間 $\frac{2L+w}{v}$ の間 y 軸方向の速さ $\frac{qV_1}{mv}$ の等速度運動をするため、y 軸方向の移動距離は $\frac{qV_1(2L+w)}{mv^2}$。 荷電粒子の x 軸方向への移動は、M_2 が作る電場(電界)の中で受ける力の影響を考えるから、②と③での V_1 を V_2 に、③での $2L+w$ を L にしたものが x 軸方向の移動距離となる。</p> <p style="text-align: center;">答 x 座標 $\frac{qV_2}{mv^2} \left(L + \frac{w}{2}\right)$ y 座標 $\frac{qV_1}{mv^2} \left(2L + \frac{3w}{2}\right)$</p>				
問 2		<p>[説明と答]</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>問 1(3)より、荷電粒子が平面 S に到達したときの x 座標は V_2 に、y 座標は V_1 に比例する。したがって、時刻 t_0 で発射された荷電粒子の場合、到達位置の x 座標は 0、y 座標は時刻 t_1 で発射された荷電粒子の半分の位置になる。</p> </div> </div>				
		<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">小</td> <td style="width: 40px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">計</td> <td style="width: 40px; height: 20px;"></td> </tr> </table>	小		計	
小						
計						