解答紙には答えだけでなく，設問に応じて，式・計算・図や文章による説明も書き入れよ。

1

（問 1） 力のつり合いより，

$mg = \alpha \cdot \frac{1}{2} V_0 \cdot g$

よって，$V_0 = \frac{2m}{\alpha}$

答 $V_0 = \frac{2m}{\alpha}$ [m^3]

（問 2） pV が一定であることから，

$p_0 V_0 = pV$

よって，$V = \frac{p_0}{p} V_0 = \frac{2mp_0}{\alpha p}$

答 $V = \frac{2mp_0}{\alpha p}$ [m^3]

（問 3） 図2において，$mg = \alpha V_1 g$

(問1) より，$V_1 = \frac{1}{2} V_0$

さらに，$p_0 V_0 = p_1 V_1$

$p_1 = \frac{V_0}{V_1} p_0 = 2p_0$

答 $p_1 = 2p_0$ [Pa]

（問 4） 深さ h における圧力は $(p_2 + \alpha g h)$ であるから

$p_0 V_0 = (p_2 + \alpha g h) V_2$

$V_2 = \frac{p_0}{p_2 + \alpha g h} V_0 = \frac{2mp_0}{(p_2 + \alpha g h)\alpha}$

答 $V_2 = \frac{2mp_0}{(p_2 + \alpha g h)\alpha}$ [m^3]

（問 5） 反作用より，ボールは容器の底から F の力を受けるので，

力のつり合いより，

$F + \alpha V_2 g = mg$

$F = mg - \alpha \cdot \frac{2mp_0}{(p_2 + \alpha g h)\alpha} \cdot g = \left(1 - \frac{2p_0}{p_2 + \alpha g h}\right) mg$

答 $F = \left(1 - \frac{2p_0}{p_2 + \alpha g h}\right) mg$ [N]

（問 6） $p_2 = p_0$ のとき，$F \geqq 0$ となれば，ボールは沈んだままであるから，

$F = \left(1 - \frac{2p_0}{p_0 + \alpha g h}\right) mg \geqq 0$

$p_0 + \alpha g h - 2p_0 \geqq 0$

$h \geqq \frac{p_0}{\alpha g}$

答 $h \geqq \frac{p_0}{\alpha g}$ [m]

[redacted]

解答紙には答えだけでなく，設問に応じて，式・計算・図や文章による説明も書き入れよ。

2

（問 1） ソレノイドを流れる電流がつくる磁場の式より

nI

答 nI [A/m]

（問 2） 鉄芯を入れても磁場の強さは変化しないので

$H = nI$

一方、磁束密度を B とおくと $B = \mu_r \mu_0 H$ より

$B = \mu_r \mu_0 n I$

答 $H =$ nI [A/m]　答 $\mu_r \mu_0 n I$ [T] または [Wb/m²]

（問 3） $H = nI$ より

n は単位長さあたりの導線の巻き数なので

$$H = \frac{N}{2\pi R} I$$

答 $H = \dfrac{N}{2\pi R} I$

（問 4） ソレノイド内の磁束を Φ_1，空隙での磁束を Φ_2 とおくと

$\Phi_1 = \mu_r \mu_0 n I S$

$\Phi_2 = \mu_0 H_0 S$

ここで $\Phi_1 = \Phi_2$ より

$\mu_r \mu_0 n I S = \mu_0 H_0 S$

よって $H_0 = \mu_r n I$

答 $H_0 =$ $\mu_r n I$ [A/m]

（問 5） 自己インダクタンスを L とおくと

ファラデーの電磁誘導 $V = -N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -N\cdot\dfrac{\mu_r \mu_0 n S \Delta I}{\Delta t}$ と

自己誘導の式 $V = -L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ の比較より

$L = \mu_r \mu_0 n N S$

$N = 2\pi R \cdot n$ より 代入して

$L = 2\pi \mu_r \mu_0 n^2 R S$

答 $2\pi \mu_r \mu_0 n^2 R S$ [H]

（問 6） ソレノイドに蓄えられるエネルギーを U とおく

$$U = \frac{1}{2} L I^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 2\pi \mu_r \mu_0 n^2 R S I^2$$

$$= \pi \mu_r \mu_0 n^2 R S I^2$$

答 $\pi \mu_r \mu_0 n^2 R S I^2$ [J]

3

（問1） Δt の間にピストンは $u\Delta t$ 移動するので

$$\Delta V = Su\Delta t$$

よって $\Delta t = \dfrac{\Delta V}{Su}$

答 $\Delta t = \dfrac{\Delta V}{Su}$ [S]

（問2） 微小時間において圧力は一定とみなせるので $W = p\Delta V$

等温変化において気体がされた仕事の分、気体は熱を放出するから $Q = W$

答 $Q = p\Delta V$ [J] 答 $W = p\Delta V$ [J]

（問3） 衝突後の速度の x 成分を v_x' とおくと、弾性衝突するから $1 = -\dfrac{v_x' - (-u)}{v_x - (-u)}$

よって $v_x' = -v_x - 2u$ ここで $\frac{1}{2}mv_x'^2 = \frac{1}{2}mv_x^2\left(1 + \frac{2u}{v_x}\right)^2 \fallingdotseq \frac{1}{2}mv_x^2\left(1 + \frac{4u}{v_x}\right)$

求める運動エネルギーの変化量 ΔE は　　　と近似できる。

$$\Delta E = \frac{1}{2}mv_x^2\left(1 + \frac{4u}{v_x}\right) - \frac{1}{2}mv_x^2 = 2muv_x$$

答 $2muv_x$ [J]

（問4） 容器の長さを L とおくと $V = SL$ より $L = \dfrac{V}{S}$

Δt の間に衝突する回数 M は

$$M = \frac{v_x\Delta t}{2L} = \frac{Sv_x\Delta t}{2V}$$

答 $M = \dfrac{Sv_x\Delta t}{2V}$

（問5） Δt の間の1個の分子の運動エネルギーの変化量は（問3）（問4）より

$$2muv_x \cdot \frac{Sv_x\Delta t}{2V} = \frac{mSuv_x^2\Delta t}{V}$$

Δt の間の N 個の分子の運動エネルギーの増加分が熱源に放出されるので

$$Q' = N \cdot \frac{mSu\overline{v_x^2}\Delta t}{V}$$

（問1）より $Q' = \dfrac{Nm\overline{v_x^2}\Delta V}{V}$

答 $Q' = \dfrac{Nm\overline{v_x^2}\Delta V}{V}$ [J]

（問6） （問5）の結果に $\overline{v_x^2} = \dfrac{\overline{v^2}}{3}$ を代入すると $Q' = \dfrac{Nm\overline{v^2}}{3V}\Delta V$

ここで状態方程式 $pV = nRT$ と内部エネルギーの式 $N \cdot \frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}nRT$ より

$$Q' = \frac{2}{3V} \cdot N \cdot \frac{1}{2}m\overline{v^2} \cdot \Delta V$$

$$= \frac{2}{3V} \cdot \frac{3}{2}nRT \cdot \Delta V = \frac{2}{3V} \cdot \frac{3}{2}pV \cdot \Delta V = p\Delta V$$

答 よって（問2）の結果と一致する。