物　　理

以下の $\boxed{1}$ から $\boxed{27}$ に最もよくあてはまる答えを各解答群から１つ選び，解答用紙（マークシート）にマークせよ。ただし，同じ番号を繰り返して用いてもよい。数値を選ぶ場合は最も近い値を選ぶものとする。

I　図１のような質量 M，長さ L の台車Ａと質量 m の小物体Ｐがある。はじめＰは水平な床上で右方向に運動し，途中から台車Ａに乗り移る。Ｐの台車Ａ上での運動にのみ動摩擦力がはたらくとする。重力加速度の大きさを g として，以下の問いに答えよ。ただし，床と台車Ａの上面は同一平面上にあり，Ｐは台車Ａに瞬時に乗り移るものとする。

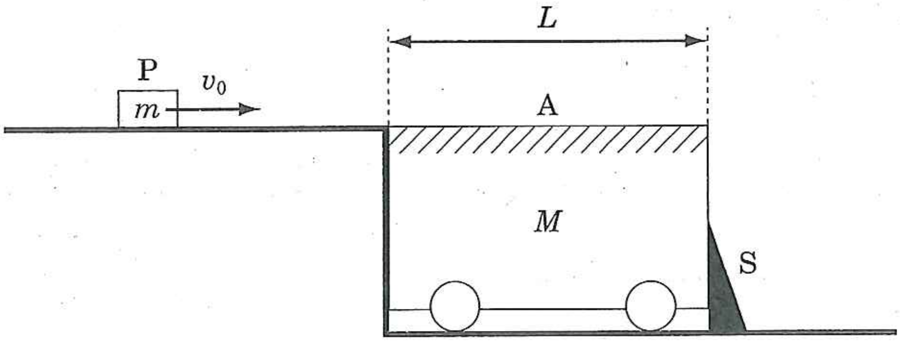


図１

(1)　はじめ，台車Ａはストッパー S で固定されている。小物体Ｐを速さ v_0 で右方向に運動させたところ，ＰはＡ上を $L/2$ だけ移動してとまった。Ｐがはじめに持っていた運動エネルギー $\boxed{1}$ は０となり，この変化は動摩擦力のした仕事に等しい。動摩擦力のした仕事は動摩擦力と距離の積であるから，ＰとＡの間の動摩擦係数は $\boxed{2}$ と求められる。このとき，Ｐが乗り移ってから動摩擦力によって静止するまでにかかる時間は $\boxed{3}$ である。

また，Ｐの初速度の大きさを変えて，Ａ上を距離 L 進み，Ａの上面から落ちるためにはＰの初速度の大きさを $\boxed{4}$ より大きくする必要がある。

$\boxed{\quad 1 \quad}$ の解答群

① mv_0　② $\dfrac{1}{2}mv_0$　③ $\dfrac{1}{3}mv_0$　④ $\dfrac{1}{4}mv_0$

⑤ $m{v_0}^2$　⑥ $\dfrac{1}{2}m{v_0}^2$　⑦ $\dfrac{1}{3}m{v_0}^2$　⑧ $\dfrac{1}{4}m{v_0}^2$

$\boxed{\quad 2 \quad}$ の解答群

① $\dfrac{2v_0}{gL}$　② $\dfrac{v_0}{gL}$　③ $\dfrac{v_0}{2gL}$　④ $\dfrac{v_0}{4gL}$

⑤ $\dfrac{2{v_0}^2}{gL}$　⑥ $\dfrac{{v_0}^2}{gL}$　⑦ $\dfrac{{v_0}^2}{2gL}$　⑧ $\dfrac{{v_0}^2}{4gL}$

$\boxed{\quad 3 \quad}$ の解答群

① $\dfrac{2L}{v_0}$　② $\dfrac{L}{v_0}$　③ $\dfrac{L}{2v_0}$　④ $\dfrac{L}{4v_0}$

⑤ $\dfrac{2v_0}{L}$　⑥ $\dfrac{v_0}{L}$　⑦ $\dfrac{v_0}{2L}$　⑧ $\dfrac{v_0}{4L}$

$\boxed{\quad 4 \quad}$ の解答群

① v_0　② $\sqrt{2}v_0$　③ $2v_0$　④ $4v_0$

⑤ $\dfrac{1}{\sqrt{2}}v_0$　⑥ $\dfrac{1}{2}v_0$　⑦ $\dfrac{1}{4}v_0$　⑧ $\dfrac{1}{8}v_0$

(2) 次に，ストッパーSをはずした。小物体Pを速さv_0で右方向に運動させると，台車Aに乗り移った瞬間からPは減速し，ある時間がたつと図2のようにAと一体となって一定の速さ $\boxed{\ 5\ }$ で運動した。ただし，運動する台車Aと床の間には摩擦はないとする。

一定の速さに達するまでに，AはPのうける動摩擦力の反作用によって右方向に加速される。その加速度の大きさは $\boxed{\ 6\ }$ である。したがって，Aが加速されてから，一定の速さに達するまでにかかる時間は $\boxed{\ 7\ }$ と求められる。

Aが一定の速さに達するまでに移動した距離は $\boxed{\ 8\ }$ $\times L$ である。一方，$\boxed{\ 7\ }$ の時間にPが移動した距離は $\boxed{\ 9\ }$ $\times L$ である。したがって，PとAの移動距離の差からPがA上を移動した距離は $\boxed{\ 10\ }$ $\times L$ と求められる。

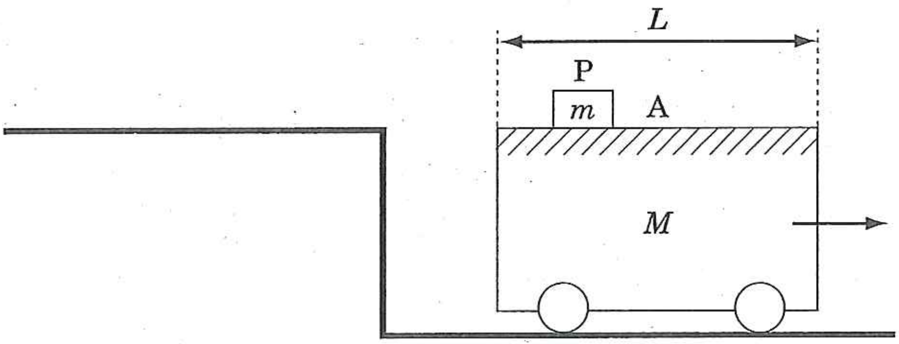


図2

$\boxed{\ 5\ }$ の解答群

① $\dfrac{m}{M+m}v_0$　② $\dfrac{2m}{M+m}v_0$　③ $\dfrac{M}{M+m}v_0$　④ $\dfrac{2M}{M+m}v_0$

⑤ $\dfrac{M+m}{m}v_0$　⑥ $\dfrac{M+m}{2m}v_0$　⑦ $\dfrac{M+m}{M}v_0$　⑧ $\dfrac{M+m}{2M}v_0$

$\boxed{\ 6\ }$ の解答群

① $\dfrac{M}{mL}v_0$　② $\dfrac{m}{ML}v_0$　③ $\dfrac{M^2}{mL}v_0$　④ $\dfrac{m^2}{ML}v_0$

⑤ $\dfrac{M}{mL}{v_0}^2$　⑥ $\dfrac{m}{ML}{v_0}^2$　⑦ $\dfrac{M^2}{mL}{v_0}^2$　⑧ $\dfrac{m^2}{ML}{v_0}^2$

$\boxed{\quad 7 \quad}$ の解答群

① $\dfrac{L}{v_0}\dfrac{M+m}{m}$　② $\dfrac{L}{2v_0}\dfrac{M+m}{m}$　③ $\dfrac{L}{v_0}\dfrac{M+m}{M}$　④ $\dfrac{L}{2v_0}\dfrac{M+m}{M}$

⑤ $\dfrac{L}{v_0}\dfrac{m}{M+m}$　⑥ $\dfrac{L}{2v_0}\dfrac{m}{M+m}$　⑦ $\dfrac{L}{v_0}\dfrac{M}{M+m}$　⑧ $\dfrac{L}{2v_0}\dfrac{M}{M+m}$

$\boxed{\quad 8 \quad}$ の解答群

① $\dfrac{M}{(M+m)^2}$　② $\dfrac{m}{(M+m)^2}$　③ $\dfrac{Mm}{(M+m)^2}$　④ $\dfrac{M-m}{(M+m)^2}$

⑤ $\dfrac{M}{2(M+m)^2}$　⑥ $\dfrac{m}{2(M+m)^2}$　⑦ $\dfrac{Mm}{2(M+m)^2}$　⑧ $\dfrac{M-m}{2(M+m)^2}$

$\boxed{\quad 9 \quad}$ の解答群

① $\dfrac{m(2M+m)}{(M+m)^2}$　② $\dfrac{m(M+2m)}{(M+m)^2}$　③ $\dfrac{M(2M+m)}{(M+m)^2}$

④ $\dfrac{M(M+2m)}{(M+m)^2}$　⑤ $\dfrac{m(2M+m)}{2(M+m)^2}$　⑥ $\dfrac{m(M+2m)}{2(M+m)^2}$

⑦ $\dfrac{M(2M+m)}{2(M+m)^2}$　⑧ $\dfrac{M(M+2m)}{2(M+m)^2}$

$\boxed{\quad 10 \quad}$ の解答群

① $\dfrac{M+m}{m}$　② $\dfrac{M+m}{M}$　③ $\dfrac{m}{M+m}$　④ $\dfrac{M}{M+m}$

⑤ $\dfrac{M+m}{2m}$　⑥ $\dfrac{M+m}{2M}$　⑦ $\dfrac{m}{2(M+m)}$　⑧ $\dfrac{M}{2(M+m)}$

Ⅱ　点電荷にはたらくクーロン力および点電荷の作る電場，電位について以下の問いに答えよ。ただし，長さの単位を m，力の単位を N，電気量の単位を C，電場の強さの単位を N/C，電位の単位を V，クーロンの法則の比例定数を k〔$\mathrm{N \cdot m^2/C^2}$〕とする。

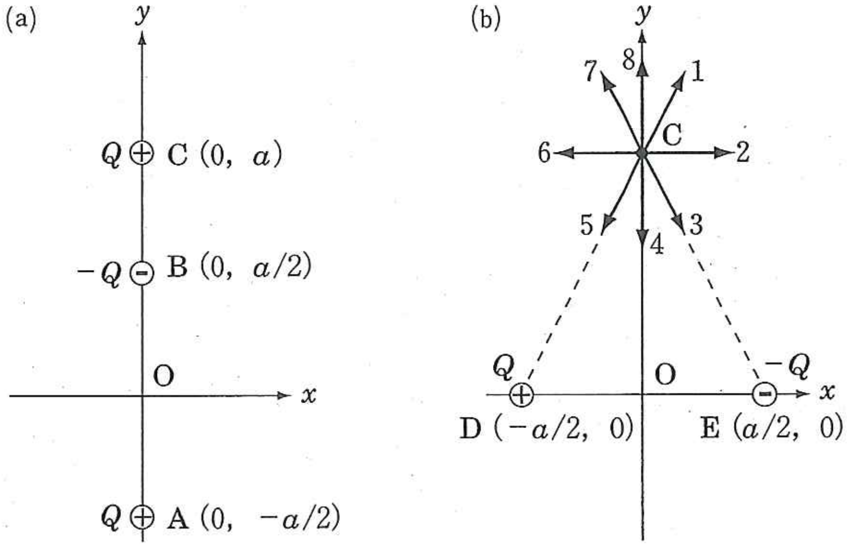


図 1

(1)　図 1 (a)のように，$x-y$ 平面の座標 $(x,\ y)$ が $(0,\ -a/2)$ の点Aに電気量 Q の正の点電荷，点B $(0,\ a/2)$ に電気量 $-Q$ の負の点電荷がある。点C $(0,\ a)$ に電気量 Q の正の点電荷を置いたとき，点Cの点電荷が点Aの点電荷から受ける力の大きさと向きはそれぞれ $\boxed{\quad 11 \quad}$ であり，点Cの点電荷が点Aと点Bの両点電荷から受ける合力の大きさと向きはそれぞれ $\boxed{\quad 12 \quad}$ である。

$\boxed{\quad 11 \quad}$ の解答群

① $\dfrac{4kQ^2}{9a^2}$，$+y$ の向き　　② $\dfrac{4kQ^2}{9a^2}$，$-y$ の向き

③ $\dfrac{4kQ}{9a^2}$，$+y$ の向き　　④ $\dfrac{4kQ}{9a^2}$，$-y$ の向き

⑤ $\dfrac{2kQ}{3a}$，$+y$ の向き　　⑥ $\dfrac{2kQ}{3a}$，$-y$ の向き

$\boxed{12}$ の解答群

① $\dfrac{4kQ^2}{3a}$, $+y$ の向き　② $\dfrac{4kQ^2}{3a}$, $-y$ の向き

③ $\dfrac{8kQ^2}{3a}$, $+y$ の向き　④ $\dfrac{8kQ^2}{3a}$, $-y$ の向き

⑤ $\dfrac{32kQ^2}{9a^2}$, $+y$ の向き　⑥ $\dfrac{32kQ^2}{9a^2}$, $-y$ の向き

⑦ $\dfrac{40kQ^2}{9a^2}$, $+y$ の向き　⑧ $\dfrac{40kQ^2}{9a^2}$, $-y$ の向き

(2) 図1(b)のように，点D$(-a/2,\ 0)$に電気量Qの正の点電荷，点E$(a/2,\ 0)$に電気量$-Q$の負の点電荷がある。点Eの点電荷が点C$(0,\ a)$に作る電場の向きは図1(b)の $\boxed{13}$ の向きであり，強さは $\boxed{14}$ である。点Dの点電荷も考えると，両点電荷が点Cに作る合成電場の向きは図1(b)の $\boxed{15}$ の向きであり，強さは $\boxed{16}$ である。次に，点Dと点Eの両点電荷が$x-y$平面上につくる電位と等電位線を考える。電位と等電位線を表す最も適切な図は $\boxed{17}$ である。ただし，解答群の座標軸x, y, zは方向を示す。また，それぞれの図のz方向が電位である。

$\boxed{13}$ の解答群

① 1　② 2　③ 3　④ 4

⑤ 5　⑥ 6　⑦ 7　⑧ 8

$\boxed{14}$ の解答群

① $\dfrac{4kQ}{5a^2}$　② $\dfrac{8kQ}{5a^2}$　③ $\dfrac{16kQ}{5a^2}$　④ $\dfrac{4kQ}{a^2}$

⑤ $\dfrac{4\sqrt{5}kQ}{25a^2}$　⑥ $\dfrac{8\sqrt{5}kQ}{25a^2}$　⑦ $\dfrac{16\sqrt{5}kQ}{25a^2}$　⑧ $\dfrac{4\sqrt{5}kQ}{5a^2}$

$\boxed{15}$ の解答群

① 1　② 2　③ 3　④ 4

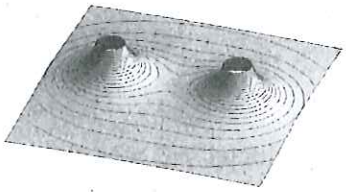
⑤ 5　⑥ 6　⑦ 7　⑧ 8

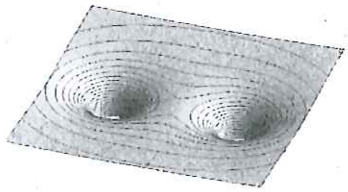
$\boxed{\quad 16 \quad}$ の解答群

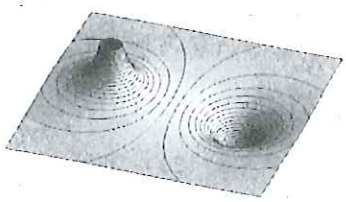
① $\dfrac{4kQ}{5a^2}$　② $\dfrac{8kQ}{5a^2}$　③ $\dfrac{16kQ}{5a^2}$　④ $\dfrac{4kQ}{a^2}$

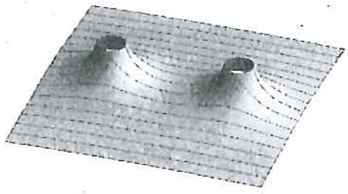
⑤ $\dfrac{4\sqrt{5}kQ}{25a^2}$　⑥ $\dfrac{8\sqrt{5}kQ}{25a^2}$　⑦ $\dfrac{16\sqrt{5}kQ}{25a^2}$　⑧ $\dfrac{4\sqrt{5}kQ}{5a^2}$

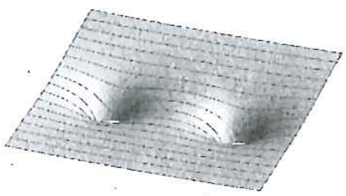
$\boxed{\quad 17 \quad}$ の解答群

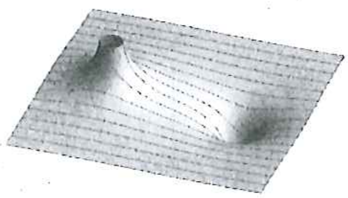
①


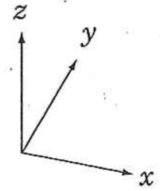
②


③


④


⑤


⑥




(3) いま，図 2 (a)のように x 軸上の $x=-a/2$ に電気量 $-Q$ の負の点電荷，$x=a/2$ に電気量 Q の正の点電荷が固定されている。x 軸上の $x=L$ $(L>a>0)$ の点を F とする。無限遠から電気量 q の正の点電荷を点 F まで運ぶ仕事は $\boxed{\ 18\ }$〔J〕である。ただし，点電荷にはたらく力は静電気力だけであるとする。次に，図 2 (b)のように x 軸上の $x=-a$ と $x=a$ に電気量 $-Q$ の負の点電荷，$x=0$ に電気量 $2Q$ の正の点電荷を固定する。無限遠の電位を 0 としたとき，点 F の電位は $\boxed{\ 19\ }$ である。

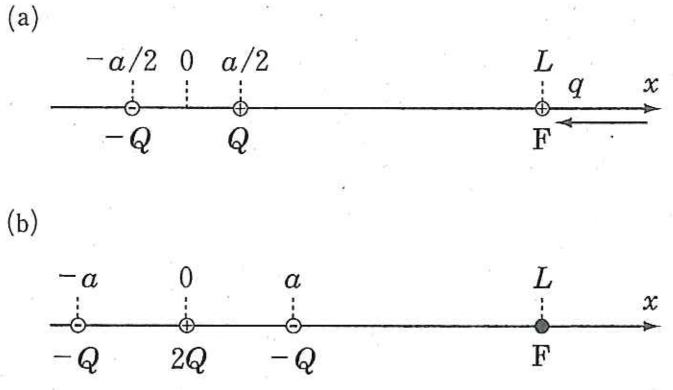


図 2

$\boxed{\ 18\ }$ の解答群

① $-\dfrac{2kQqL}{4L^2-a^2}$　② $-\dfrac{2kQqL}{4L^2+a^2}$　③ $\dfrac{2kQqL}{4L^2-a^2}$　④ $\dfrac{2kQqL}{4L^2+a^2}$

⑤ $-\dfrac{4kQqa}{4L^2-a^2}$　⑥ $-\dfrac{4kQqa}{4L^2+a^2}$　⑦ $\dfrac{4kQqa}{4L^2-a^2}$　⑧ $\dfrac{4kQqa}{4L^2+a^2}$

$\boxed{\ 19\ }$ の解答群

① $-\dfrac{2kQ(2L^2-a^2)}{L(L^2-a^2)}$　② $\dfrac{2kQ(2L^2-a^2)}{L(L^2-a^2)}$　③ $-\dfrac{kQ(L^2+a^2)}{L(L^2-a^2)}$

④ $\dfrac{kQ(L^2+a^2)}{L(L^2-a^2)}$　⑤ $-\dfrac{2kQa^2}{L(L^2-a^2)}$　⑥ $\dfrac{2kQa^2}{L(L^2-a^2)}$

Ⅲ　断面積 S〔m^2〕の円筒容器を鉛直に立て，その上に質量 M〔kg〕のなめらかに動くピストンをのせて，物質量 n〔mol〕の単原子分子からなる理想気体を密封した。ピストンと容器は断熱材で作られているが，容器の底は外部との熱のやりとりができる。ただし，ピストンと容器の熱容量は無視できるものとする。大気圧を p_0〔Pa〕，重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕，気体定数を R〔J/(mol·K)〕として，次の問いに答えよ。

(1)　はじめ，図1(a)のように円筒容器の底は断熱材に接触しており，外部との熱の出入りはない。ピストン底面は容器の底から高さ h_1〔m〕の位置にあり，容器内の気体の圧力 p_1 は $\boxed{\ 20\ }$〔Pa〕，温度 T_1 は $\boxed{\ 21\ }$〔K〕である。

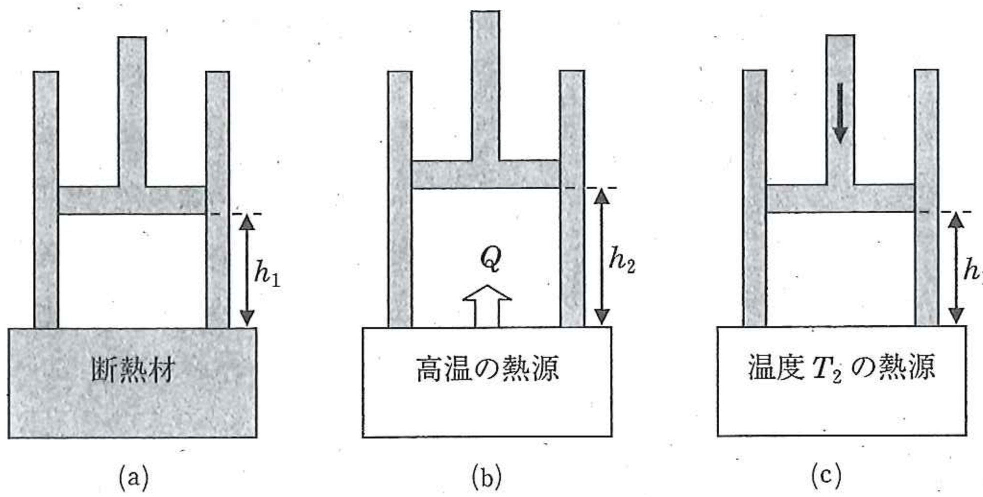


図1

$\boxed{\ 20\ }$ の解答群

① p_0　② $\dfrac{Mg}{S}$　③ $p_0+\dfrac{Mg}{S}$　④ $p_0-\dfrac{Mg}{S}$

⑤ p_0S　⑥ Mg　⑦ p_0S+Mg　⑧ p_0S-Mg

$\boxed{21}$ の解答群

① $\dfrac{p_0+\dfrac{Mg}{S}}{nRSh_1}$　② $\dfrac{p_0-\dfrac{Mg}{S}}{nRSh_1}$　③ $\dfrac{Sh_1}{nR\left(p_0+\dfrac{Mg}{S}\right)}$

④ $\dfrac{Sh_1}{nR\left(p_0-\dfrac{Mg}{S}\right)}$　⑤ $\dfrac{nRSh_1}{p_0+\dfrac{Mg}{S}}$　⑥ $\dfrac{nRSh_1}{p_0-\dfrac{Mg}{S}}$

⑦ $\dfrac{(p_0S+Mg)h_1}{nR}$　⑧ $\dfrac{(p_0S-Mg)h_1}{nR}$

(2) 次に，図1(b)のように容器の底面を高温の熱源に接触させて，気体に熱量 Q (>0)〔J〕を与えると，ピストンの高さは h_2〔m〕，温度 T_2 は $\boxed{22}$〔K〕になった。このとき，気体が外部からされた仕事は $\boxed{23}$〔J〕，内部エネルギーの変化 ΔU は $\boxed{24}$〔J〕と表される。温度変化を ΔT〔K〕とすると，単原子分子の理想気体の内部エネルギー変化は

$$\Delta U=\frac{3}{2}nR\Delta T$$

と表されるので，熱源が与えた熱量 Q は $\boxed{25}$〔J〕である。

$\boxed{22}$ の解答群

① h_1T_1　② h_2T_1　③ $(h_2-h_1)T_1$　④ $\dfrac{h_2}{h_1}T_1$

⑤ $\dfrac{h_1}{h_2}T_1$　⑥ $\dfrac{h_2-h_1}{h_1}T_1$　⑦ $\dfrac{h_2-h_1}{h_2}T_1$　⑧ $\dfrac{h_1}{h_2-h_1}T_1$

⑨ $\dfrac{h_2}{h_2-h_1}T_1$

$\boxed{23}$ の解答群

① p_1Sh_1　② p_1Sh_2　③ $-p_1Sh_1$　④ $-p_1Sh_2$

⑤ $p_1S\dfrac{h_2}{h_1}$　⑥ $p_1S\dfrac{h_1}{h_2}$　⑦ $p_1S(h_2-h_1)$　⑧ $p_1S(h_1-h_2)$

$\boxed{24}$ の解答群

① Q　② $-Q$　③ $p_1S(h_2-h_1)$

④ $p_1S(h_1-h_2)$　⑤ $p_1S(h_2-h_1)+Q$　⑥ $p_1S(h_1-h_2)+Q$

⑦ $p_1S(h_2-h_1)-Q$　⑧ $p_1S(h_1-h_2)-Q$

$\boxed{25}$ の解答群

① $\frac{1}{2}nR\left(\frac{h_2}{h_1}T_1\right)$　② $\frac{1}{2}nR\left(\frac{h_2-h_1}{h_1}T_1\right)$　③ $\frac{1}{2}nR\left(\frac{h_2-h_1}{h_2}T_1\right)$

④ $\frac{3}{2}nR\left(\frac{h_2}{h_1}T_1\right)$　⑤ $\frac{3}{2}nR\left(\frac{h_2-h_1}{h_1}T_1\right)$　⑥ $\frac{3}{2}nR\left(\frac{h_2-h_1}{h_2}T_1\right)$

⑦ $\frac{5}{2}nR\left(\frac{h_2}{h_1}T_1\right)$　⑧ $\frac{5}{2}nR\left(\frac{h_2-h_1}{h_1}T_1\right)$　⑨ $\frac{5}{2}nR\left(\frac{h_2-h_1}{h_2}T_1\right)$

(3) 続いて，図1(c)のように温度T_2〔K〕の熱源に接触させ，気体の温度をT_2〔K〕に保ちながらゆっくりとピストンを押して高さをh_1〔m〕の位置にもどした。このとき容器内の気体の圧力はp_2〔Pa〕になった。図2は，この過程におけるピストンの高さh〔m〕と容器内の気体の圧力p〔Pa〕の関係を表すものである。p〔Pa〕は状態BからCへ $\boxed{26}$ の曲線にそって変化する。この過程で気体が外部からされた仕事W〔J〕は，図2のグレーの面積にピストンの断面積S〔m^2〕をかけたものに等しい。そのとき，気体は $\boxed{27}$ 。

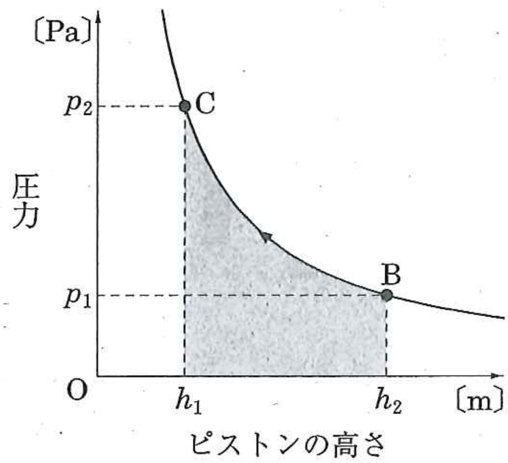


図2

$\boxed{\quad 26 \quad}$ の解答群

① $p = p_1 \dfrac{h_1}{h}$　② $p = p_1 \dfrac{h}{h_1}$　③ $p = p_1 \dfrac{h_2}{h}$　④ $p = p_1 \dfrac{h}{h_2}$

⑤ $p = p_2 \dfrac{h}{h_1}$　⑥ $p = p_2 \dfrac{h_2}{h}$　⑦ $p = p_2 \dfrac{h}{h_2}$

$\boxed{\quad 27 \quad}$ の解答群

① 熱源から W〔J〕の熱を吸収する

② 熱源から W〔J〕より少ない熱を吸収する

③ 熱源から W〔J〕より多い熱を吸収する

④ 熱源と熱のやりとりをしない

⑤ 熱源へ W〔J〕の熱を放出する

⑥ 熱源へ W〔J〕より少ない熱を放出する

⑦ 熱源へ W〔J〕より多い熱を放出する