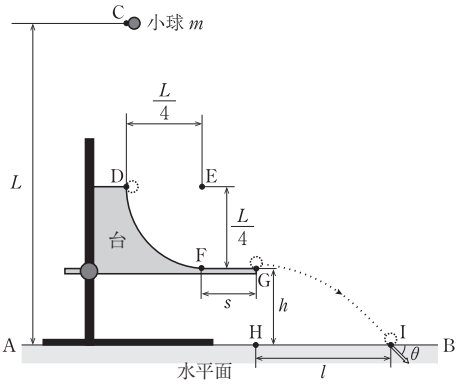
物　　理

解答範囲は，解答番号 1 から 24 までです。

Ⅰ 次の文章を読んで，後の問い（問1～問8）に答えなさい。

図Ⅰ－1に示すように，水平面ABから高さ L［m］の点Cより静かにはなされた質量 m［kg］の小球の運動を考える。小球は点Cの下方に置かれた台の点Dで接触するように鉛直下向きに台に入射し，台の上側のなめらかな面DFGを滑り，点Gから水平に投射され，点Gの真下にある水平面上の点Hから l だけ離れた点Iに落下した。図Ⅰ－1はこの装置を鉛直面（紙面）で切ったときの断面を示す。台の点Dから点Gまでの面はなめらかであり，点Fから点Gまでは水平で，その間の距離は s［m］である。点Dから点Fまでは点Eを通る紙面に垂直な直線を中心軸とする半径 $\frac{L}{4}$ の円筒面の一部分である。点Dと点Eを結ぶ直線は水平，点Cと点Dを結ぶ直線，点Eと点Fを結ぶ直線，および点Gと点Hを結ぶ直線は鉛直である。台は上下に移動でき，点Gの水平面からの高さ h［m］を変えることができる。小球は鉛直面内（紙面内）のみを運動し，小球が台の点Dから点Gまでの面を滑る際には面から離れることはないとする。また，台が水平方向に動くことはないとする。小球の大きさや小球の回転運動の影響，および空気抵抗や摩擦の影響は無視できるものとする。重力加速度の大きさを g［m/s^2］とする。



図Ⅰ－1

時刻 $t = 0$［s］に小球を点Cからはなすとする。小球は時刻 t_1 ＝【1－A】［s］に点Dに到達し，そのときの速さは v_1 ＝【1－B】［m/s］となる。小球は速さ v_1 で台上を滑り始め，点Gから速さ v_2［m/s］で水平方向に投射された。【2－A】より v_2 ＝【2－B】となる。点Dから点Gまで動く間に，小球には台から力がはたらく。台から小球にはたらく水平方向の力積は大きさが【3－A】［N·s］であり，小球が【3－B】を動く間にはたらく。

点Gから水平面上の点Iに落下するまでの時間は t_2 ＝【4－A】［s］であり，点Hから点Iまでの距離は l ＝【4－B】［m］となる。台の高さ h を $0 < h < \frac{3L}{4}$ の範囲で増加させると，v_2 は【5－A】，t_2 は【5－B】。台の高さを h ＝【 6 】としたとき，l は最大値【 7 】となる。その場合に小球が点Iに到達したときの速度の方向の水平面からの角度を θ［rad］$\left(0 < \theta < \frac{\pi}{2}\right)$ とすると，$\tan\theta$ ＝【 8 】となる。

問1　空所【1－A】，【1－B】に当てはまる組合せとして最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

解答番号 1

	【1－A】	【1－B】
①	$\sqrt{2g(L-h)}$	gt_1
②	$\sqrt{2g\left(\frac{3L}{4}-h\right)}$	gt_1
③	$\sqrt{\frac{2(L-h)}{g}}$	gt_1
④	$\sqrt{\frac{2}{g}\left(\frac{3L}{4}-h\right)}$	gt_1
⑤	$\sqrt{2g(L-h)}$	$\frac{g}{2}t_1$
⑥	$\sqrt{2g\left(\frac{3L}{4}-h\right)}$	$\frac{g}{2}t_1$
⑦	$\sqrt{\frac{2(L-h)}{g}}$	$\frac{g}{2}t_1$
⑧	$\sqrt{\frac{2}{g}\left(\frac{3L}{4}-h\right)}$	$\frac{g}{2}t_1$

問2　空所【2－A】，【2－B】に当てはまる組合せとして最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

解答番号 2

	【2－A】	【2－B】
①	運動量保存則	$\sqrt{v_1^2+2gL}$
②	運動量保存則	$\sqrt{v_1^2+\frac{gL}{2}}$
③	運動量保存則	$\sqrt{v_1^2+2g(L+s)}$
④	運動量保存則	$\sqrt{v_1^2+\frac{g(L+4s)}{2}}$
⑤	力学的エネルギー保存則	$\sqrt{v_1^2+2gL}$
⑥	力学的エネルギー保存則	$\sqrt{v_1^2+\frac{gL}{2}}$
⑦	力学的エネルギー保存則	$\sqrt{v_1^2+2g(L+s)}$
⑧	力学的エネルギー保存則	$\sqrt{v_1^2+\frac{g(L+4s)}{2}}$

問3　空所【3－A】,【3－B】に当てはまる組合せとして最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

解答番号 3

	【3－A】	【3－B】
①	mv_1	点Dから点F
②	mv_2	点Dから点F
③	$2mv_1$	点Dから点F
④	$2mv_2$	点Dから点F
⑤	mv_1	点Fから点G
⑥	mv_2	点Fから点G
⑦	$2mv_1$	点Fから点G
⑧	$2mv_2$	点Fから点G

問4　空所【4－A】,【4－B】に当てはまる組合せとして最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

解答番号 4

	【4－A】	【4－B】
①	$\sqrt{\frac{h}{g}}$	v_2t_2
②	$\sqrt{\frac{h}{g}}$	$\frac{g}{2}t_2^2$
③	$\sqrt{\frac{h}{g}}$	$v_2t_2+\frac{g}{2}t_2^2$
④	$\sqrt{\frac{2h}{g}}$	v_2t_2
⑤	$\sqrt{\frac{2h}{g}}$	$\frac{g}{2}t_2^2$
⑥	$\sqrt{\frac{2h}{g}}$	$v_2t_2+\frac{g}{2}t_2^2$
⑦	$\sqrt{\frac{s+h}{g}}$	v_2t_2
⑧	$\sqrt{\frac{s+h}{g}}$	$\frac{g}{2}t_2^2$
⑨	$\sqrt{\frac{s+h}{g}}$	$v_2t_2+\frac{g}{2}t_2^2$

問5　空所【5－A】,【5－B】に当てはまる組合せとして最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

解答番号 5

	【5－A】	【5－B】
①	減少し	減少する
②	変化せず	減少する
③	増加し	減少する
④	減少し	変化しない
⑤	変化せず	変化しない
⑥	増加し	変化しない
⑦	減少し	増加する
⑧	変化せず	増加する
⑨	増加し	増加する

問6　空所【　6　】に当てはまる最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

解答番号 6

① $\frac{L}{8}$　② $\frac{L}{4}$　③ $\frac{L}{2}$　④ $\frac{5L}{8}$

⑤ $\frac{s}{8}$　⑥ $\frac{s}{4}$　⑦ $\frac{s}{2}$　⑧ $\frac{5s}{8}$

問7　空所【　7　】に当てはまる最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

解答番号 7

① $\frac{L}{4}$　② $\frac{L}{2}$　③ $\frac{3L}{4}$　④ L

⑤ $\frac{5L}{4}$　⑥ $\frac{3L}{2}$　⑦ $\frac{7L}{4}$　⑧ $2L$

問8　空所【　8　】に当てはまる最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

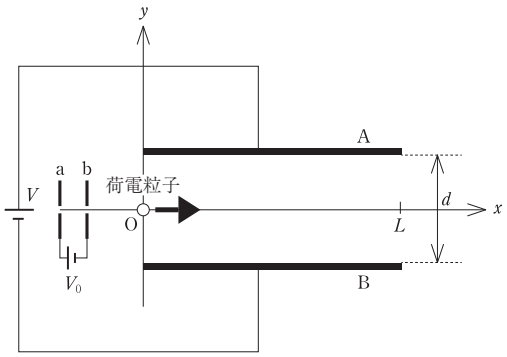
解答番号 8

① $\frac{1}{4}$　② $\frac{1}{2}$　③ 1　④ $\frac{3}{2}$

⑤ $\frac{s}{4L}$　⑥ $\frac{s}{2L}$　⑦ $\frac{s}{L}$　⑧ $\frac{3s}{2L}$

Ⅱ 次の文章を読んで，後の問い（問1～問8）に答えなさい。

図Ⅱ－1に示すように，x 軸と y 軸をとる。真空中に金属平板a，bを x 軸に垂直におき，金属平板A，Bを間隔 d［m］で y 軸に垂直におく。金属平板aとb，金属平板AとBはそれぞれ同じ大きさである。金属平板a，bにはそれぞれの中心に小さな穴が空いている。この穴の大きさは金属平板a，bの大きさに比べて十分に小さいものとする。原点Oは，金属平板A，B間の中央部の左端にとる。金属平板A，B間の中央部の左端は $x=0$［m］，右端は $x=L$［m］の位置にある。また紙面に垂直で紙面の裏から表への向きを z 軸の正の向きとする。いま，金属平板aの方が高電位になるようにab間に V_0［V］の電圧を加え，ab間に一様な電界（電場）をつくった。初速度0［m/s］で小さな穴のあるaの位置から質量 m［kg］，電気量 Q［C］（$Q>0$）の荷電粒子が電位差 V_0 により x 軸の正の方向に加速した。その後，荷電粒子は原点Oを通過して電位差 V［V］の金属平板A，B間に侵入し，金属平板A，Bの右端の $x=L$［m］の位置を通過した。荷電粒子は金属平板A，Bに衝突せずに金属平板A，Bの右端に達したとする。電界は金属平板a，bならびにA，Bの外にはもれておらず，地磁気ならびに重力の影響は無視できるものとする。



図Ⅱ－1

(1)　金属平板bの穴を通過した瞬間の荷電粒子の速さ v_0[m/s]は，金属平板bの穴を通過する瞬間の荷電粒子の運動エネルギーと，電極ab間の電界による仕事が等しいことから【9－A】である。その後，荷電粒子は x 軸の正の向きに等速直線運動をして，原点Oから x 軸の正の向きに速さ v_0 で金属平板AB間に入射した。このときのAB間の電界の強さは【9－B】と表されるので，金属平板間を荷電粒子が通過しているとき，荷電粒子は電界から y 軸の負の向きに $Q\times$【9－B】の大きさの力を受ける。また，荷電粒子が $x=0$ から $x=L$ に達するまでの時間は【10－A】である。荷電粒子は x 方向には【10－B】，y 方向には【10－C】を行う。荷電粒子は $x=L$ に達したとき x 軸からの距離が【 11 】[m]離れた位置にある。したがって，その間に電界のした仕事は，$Q\times$【9－B】×【 11 】[J]である。

問1　空所【9－A】，【9－B】に当てはまる組合せとして最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

解答番号 9

	【9－A】	【9－B】
①	$\sqrt{\dfrac{m}{2QV_0}}$	Vd
②	$\sqrt{\dfrac{m}{2QV_0}}$	$\dfrac{V}{d}$
③	$\sqrt{\dfrac{m}{2QV_0}}$	V^2d
④	$\sqrt{\dfrac{m}{2QV_0}}$	$\dfrac{V^2}{d}$
⑤	$\sqrt{\dfrac{2QV_0}{m}}$	Vd
⑥	$\sqrt{\dfrac{2QV_0}{m}}$	$\dfrac{V}{d}$
⑦	$\sqrt{\dfrac{2QV_0}{m}}$	V^2d
⑧	$\sqrt{\dfrac{2QV_0}{m}}$	$\dfrac{V^2}{d}$

問2　空所【10－A】，【10－B】，【10－C】に当てはまる組合せとして最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

解答番号 10

	【10－A】	【10－B】	【10－C】
①	$\dfrac{v_0}{L}$	等速運動	等速運動
②	$\dfrac{v_0}{L}$	等速運動	等加速度運動
③	$\dfrac{v_0}{L}$	等加速度運動	等速運動
④	$\dfrac{v_0}{L}$	等加速度運動	等加速度運動
⑤	$\dfrac{L}{v_0}$	等速運動	等速運動
⑥	$\dfrac{L}{v_0}$	等速運動	等加速度運動
⑦	$\dfrac{L}{v_0}$	等加速度運動	等速運動
⑧	$\dfrac{L}{v_0}$	等加速度運動	等加速度運動

問3　空所【 11 】に当てはまる最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

解答番号 11

① $\dfrac{mdv_0^2}{4QVL^2}$　② $\dfrac{mdv_0^2}{2QVL^2}$　③ $\dfrac{mdv_0^2}{QVL^2}$　④ $\dfrac{2mdv_0^2}{QVL^2}$

⑤ $\dfrac{4mdv_0^2}{QVL^2}$　⑥ $\dfrac{QVL^2}{4mdv_0^2}$　⑦ $\dfrac{QVL^2}{2mdv_0^2}$　⑧ $\dfrac{QVL^2}{mdv_0^2}$

⑨ $\dfrac{2QVL^2}{mdv_0^2}$　⓪ $\dfrac{4QVL^2}{mdv_0^2}$

(2)　次に，(1)と同じ電界のもとで，金属平板AB間に一様な磁界（磁場）をかけ，同様に荷電粒子を速さ v_0 で入射させたところ，荷電粒子は x 軸の正の方向に直進した。このとき，荷電粒子にはたらく静電気力とローレンツ力はつり合っている。この磁界は【12－A】で，その磁束密度の大きさは【12－B】[T]と表される。このとき荷電粒子が $x=L$ に達するまでに磁界がこの粒子にした仕事は【 13 】[J]である。

問4　空所【12－A】,【12－B】に当てはまる組合せとして最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

解答番号 12

	【12－A】	【12－B】
①	z 軸の正の向き	v_0Vd
②	z 軸の正の向き	$\frac{v_0V}{d}$
③	z 軸の正の向き	$\frac{V}{v_0d}$
④	z 軸の正の向き	$\frac{Vd}{v_0}$
⑤	z 軸の負の向き	v_0Vd
⑥	z 軸の負の向き	$\frac{v_0V}{d}$
⑦	z 軸の負の向き	$\frac{V}{v_0d}$
⑧	z 軸の負の向き	$\frac{Vd}{v_0}$

問5　空所【　13　】に当てはまる最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

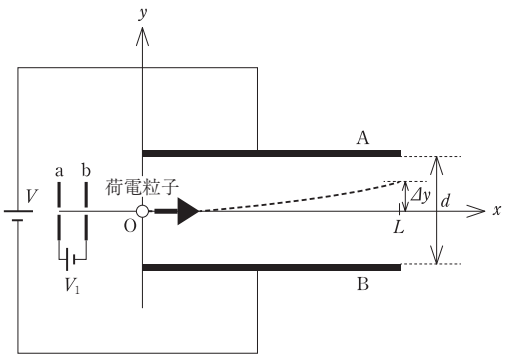
解答番号 13

① 0　② v_0VLd　③ $\frac{v_0VL}{d}$　④ $\frac{VL}{v_0d}$

⑤ $\frac{VLd}{v_0}$　⑥ $\frac{v_0Vd}{L}$　⑦ $QVLd$　⑧ $\frac{QVL}{d}$

⑨ QV^2Ld　⓪ $\frac{QV^2L}{d}$

(3)　次に，図Ⅱ－2のように，AB間の電界と磁界が(2)と同じ状態において，ab間の電位差を V_1[V]（$V_1 > V_0$）として，原点Oから x 軸の正の向きに速さ v_1[m/s]（$v_1 > v_0$）で荷電粒子を金属平板間に入射させた。この荷電粒子の入射直後の運動エネルギーは【　14　】[J]である。この荷電粒子が $x = L$ に達したとき，荷電粒子は x 軸から y 軸の正の向きに距離 Δy[m]（$\Delta y > 0$）だけ離れた位置にあった。荷電粒子が金属平板間を通過する間に電界と磁界がした仕事の和は【　15　】[J]である。荷電粒子の運動エネルギーの変化は荷電粒子にされた仕事に等しいので，荷電粒子が $x = L$ を通過するときの速度の大きさは【　16　】[m/s]である。



図Ⅱ－2

問6　空所【　14　】に当てはまる最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

解答番号 14

① 0　② $2mv_1^2$　③ $\frac{3}{2}mv_1^2$　④ mv_1^2

⑤ $\frac{1}{2}mv_1^2$　⑥ $\frac{QV^2}{4}$　⑦ $\frac{QV^2}{2}$　⑧ QV^2

問7　空所【　15　】に当てはまる最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

解答番号 15

① $-\frac{QV\Delta y}{2d}$　② $-\frac{Q\Delta y}{2Vd}$　③ $-\frac{\Delta y}{2QVd}$

④ $-\frac{QV\Delta y}{d}$　⑤ $-\frac{Q\Delta y}{Vd}$　⑥ $-\frac{\Delta y}{QVd}$

⑦ $-\frac{2QV\Delta y}{d}$　⑧ $-\frac{2Q\Delta y}{Vd}$　⑨ $-\frac{2\Delta y}{QVd}$

問8　空所【　16　】に当てはまる最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

解答番号 16

① $\sqrt{3v_1^2 + \frac{1}{2m}\cdot(\text{【 15 】})}$

② $\sqrt{3v_1^2 + \frac{1}{m}\cdot(\text{【 15 】})}$

③ $\sqrt{3v_1^2 + \frac{2}{m}\cdot(\text{【 15 】})}$

④ $\sqrt{2v_1^2 + \frac{1}{2m}\cdot(\text{【 15 】})}$

⑤ $\sqrt{2v_1^2 + \frac{1}{m}\cdot(\text{【 15 】})}$

⑥ $\sqrt{2v_1^2 + \frac{2}{m}\cdot(\text{【 15 】})}$

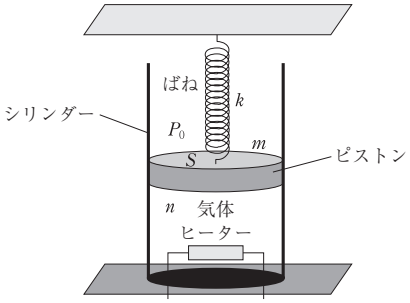
⑦ $\sqrt{v_1^2 + \frac{1}{2m}\cdot(\text{【 15 】})}$

⑧ $\sqrt{v_1^2 + \frac{1}{m}\cdot(\text{【 15 】})}$

⑨ $\sqrt{v_1^2 + \frac{2}{m}\cdot(\text{【 15 】})}$

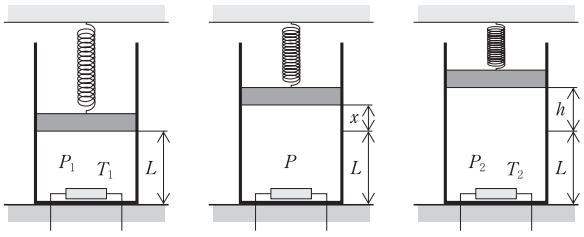
Ⅲ 次の文章を読んで，後の問い（問1～問5）に答えなさい。

図Ⅲ－1のように，鉛直方向になめらかに動く質量 m［kg］のピストンが取り付けられている断面積 S［m²］のシリンダーが，水平面に置かれており，n［mol］の単原子分子の理想気体が閉じ込められている。また，ピストンは，一端が天井に固定されたばね定数 k［N/m］のばねの他端につなげられている。シリンダー下部にはヒーターが設置されており，シリンダー内の気体を加熱することができる。ここで，ピストン，シリンダーは断熱材でできており，ヒーターの大きさ，および，ばねの質量は無視するものとする。さらにピストン，シリンダー，ヒーターの熱容量はないものとする。ただし，大気圧を P_0［Pa］，気体定数を R［J/(mol·K)］，重力加速度の大きさを g［m/s²］とする。



図Ⅲ－1

図Ⅲ－2(a)のように，はじめは，ピストンはシリンダーの底面から L［m］の位置にあり，ばねは自然長であった（状態1）。このとき，ピストンにはたらく力のつり合いより，状態1における気体の圧力 P_1 は，【　17　】[Pa］である。



(a)　状態1　　(b)　状態1→2　　(c)　状態2

図Ⅲ－2

状態1からヒーターで気体をゆっくり加熱すると，ピストンが上方に移動しばねが縮んだ。図Ⅲ－2(b)は，状態1からピストンが x［m］上昇した（ばねが x だけ縮んだ）状態の様子である。

加熱によってピストンは，最終的には図Ⅲ－2(c)のように，状態1から h［m］だけ上に移動した（状態2）。

状態1からピストンが x 上昇した状態における気体の圧力 P は，【　18　】[Pa］である。したがって，状態2における気体の圧力を P_2［Pa］，状態1および2の体積をそれぞれ，V_1［m³］，V_2［m³］とすると，状態1から2の状態変化を表す P-V 線図は，【　19　】となる。状態1から2への状態変化において，気体が外部にした仕事は P-V 線図より，W =【　20　】[J］となる。

状態1および2における気体の温度は，それぞれ，気体の状態方程式より，T_1 =【　21　】[K］，T_2 =【　22　】[K］となる。この結果を利用すると，状態1から2への状態変化における気体の内部エネルギーの変化 ΔU は，【　23　】[J］となることがわかる。

以上の結果より，状態1から2への状態変化において気体がヒーターから吸収した熱量は，熱力学第一法則より，Q =【　24　】[J］となることがわかる。

問1　空所【　17　】，【　18　】に当てはまる最も適当なものを，次の中からそれぞれ一つずつ選びなさい。

空所【　17　】は，解答番号 17

空所【　18　】は，解答番号 18

① P_0　　② $\dfrac{mg}{S}$

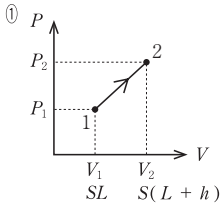
③ $\dfrac{kx}{S}$　　④ $P_0+\dfrac{mg}{S}$

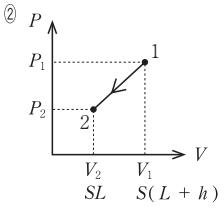
⑤ $P_0-\dfrac{mg}{S}$　　⑥ $P_0+\dfrac{mg}{S}+\dfrac{kx}{S}$

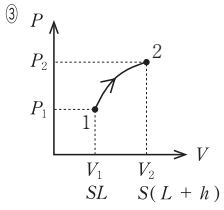
⑦ $P_0+\dfrac{mg}{S}-\dfrac{kx}{S}$　　⑧ $P_0-\dfrac{mg}{S}-\dfrac{kx}{S}$

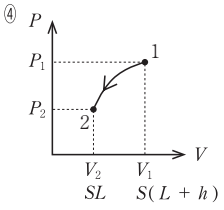
問2　空所【　19　】に当てはまる最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

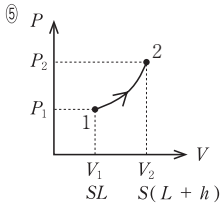
解答番号 19

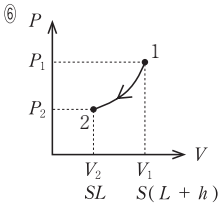
① 

② 

③ 

④ 

⑤ 

⑥ 

問3　空所【　20　】に当てはまる最も適当なものを，次の中から一つ選びなさい。

解答番号 20

① $-\frac{1}{2}kh^2$　② $\frac{1}{2}kh^2$

③ $-(P_0S + mg)h$　④ $(P_0S + mg)h$

⑤ $-(P_0S + mg)h - \frac{1}{2}kh^2$　⑥ $-(P_0S + mg)h + \frac{1}{2}kh^2$

⑦ $(P_0S + mg)h - \frac{1}{2}kh^2$　⑧ $(P_0S + mg)h + \frac{1}{2}kh^2$

問4　空所【　21　】，【　22　】に当てはまる最も適当なものを，次の中からそれぞれ一つずつ選びなさい。

空所【　21　】は，解答番号 21

空所【　22　】は，解答番号 22

① $\frac{P_0SL}{nR}$　② $\frac{P_0S(L + h)}{nR}$

③ $\frac{(P_0S + mg)L}{nR}$　④ $\frac{(P_0S + mg)(L + h)}{nR}$

⑤ $\frac{(P_0S + mg - kh)L}{nR}$　⑥ $\frac{(P_0S + mg - kh)(L + h)}{nR}$

⑦ $\frac{(P_0S + mg + kh)L}{nR}$　⑧ $\frac{(P_0S + mg + kh)(L + h)}{nR}$

問5　空所【　23　】，【　24　】に当てはまる最も適当なものを，次の中からそれぞれ一つずつ選びなさい。

空所【　23　】は，解答番号 23

空所【　24　】は，解答番号 24

① $\frac{3}{2}\{(P_0S + mg)h + kL^2\}$

② $\frac{3}{2}\{(P_0S + mg)h + kh^2\}$

③ $\frac{3}{2}\{(P_0S + mg)h + kLh\}$

④ $\frac{3}{2}\{(P_0S + mg)h + kLh + kh^2\}$

⑤ $\frac{5}{2}\{(P_0S + mg)h + kLh + kh^2\}$

⑥ $\frac{5}{2}(P_0S + mg)h + \frac{3}{2}kLh + kh^2$

⑦ $\frac{5}{2}(P_0S + mg)h + kLh + 2kh^2$

⑧ $\frac{5}{2}(P_0S + mg)h + \frac{3}{2}kLh + 2kh^2$