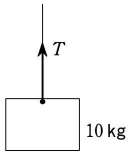
1

質量 10 kg の物体に糸をつけてぶら下げ，鉛直方向に上げ下げする。重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。



(1)　糸の張力 T が 148 N のとき，物体の加速度 a〔m/s^2〕の大きさと向きを求めよ。

(2)　物体が鉛直下向きに 2.0 m/s^2 の加速度で下降しているときの糸の張力の大きさ T〔N〕を求めよ。

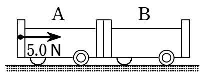
(3)　物体が一定の速さ 4.0 m/s で上昇しているときの糸の張力の大きさ T〔N〕を求めよ。

2

傾きの角 30° のあらい斜面上を物体がすべり下りるときの加速度を求めよ。ただし，重力加速度の大きさを g，斜面と物体との間の動摩擦係数を μ' とする。

3

水平面上に質量 1.0 kg の台車 A と質量 1.5 kg の台車 B を接触させ，図のように A を 5.0 N の力で水平に押す。

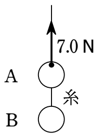


(1)　A，B の加速度の大きさ a〔m/s^2〕を求めよ。

(2)　A が B を押す力の大きさ f〔N〕を求めよ。

4

図のように，質量が 0.20 kg と 0.30 kg の小球 A，B を軽い糸でつなぎ，A を大きさ 7.0 N の力で鉛直上向きに引き上げた。重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。

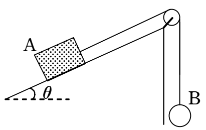


(1)　A，B の加速度の大きさ a〔m/s^2〕を求めよ。

(2)　糸が B を引く力の大きさ T〔N〕を求めよ。

5

質量 0.90 kg の物体 A を，傾きの角 θ のなめらかな斜面上に置く。物体 A に軽くて伸びないひもをつけ，これを斜面の上端に固定した軽い滑車に通し，ひもの端に質量 0.50 kg の物体 B をつるす。重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2，$\sin\theta = \dfrac{1}{3}$ とする。

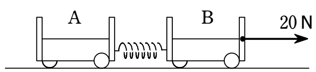


(1)　A は斜面を上昇するか，下降するか。

(2)　A の加速度の大きさ a〔m/s^2〕と，ひもが A を引く力の大きさ T〔N〕を求めよ。

6

図のように，質量 1.5 kg の力学台車 A と質量 3.5 kg の力学台車 B を，ばね定数が 30 N/m のばねでつなぎ，なめらかな水平面上に置いた。このとき，ばねの長さは自然の長さであった。



台車 B に水平方向に 20 N の力を加えて引き続けたとき，ばねの質量は無視できるものとして，以下の問いに答えよ。

問 1　台車 A，B に生じる加速度は何 m/s^2 か。次の ①～⑥ のうちから正しいものを 1 つ選べ。

①　3.1　　②　4.0　　③　5.7　　④　10　　⑤　13　　⑥　20

問 2　2 台の台車が運動しているとき，ばねの伸びは何 m か。次の ①～⑥ のうちから正しいものを 1 つ選べ。

①　0.20　　②　0.40　　③　0.50　　④　0.67　　⑤　1.0　　⑥　1.3

7

あらい板の上に質量 m の物体が置かれている。いま，図 1 のように，この板を徐々に傾け，板と水平面のなす角 θ を徐々に大きくしていったところ，図 2 のように，θ が 30° となるとき，物体がすべり出す直前となり，その後，物体がすべり落ちた直後に板の傾きを固定した。このときの板と水平面のなす角 θ は 30° であると考えてよいものとし，また，物体と板との間の動摩擦係数を μ'，重力加速度の大きさを g とする。

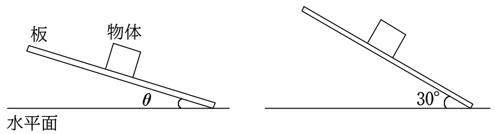
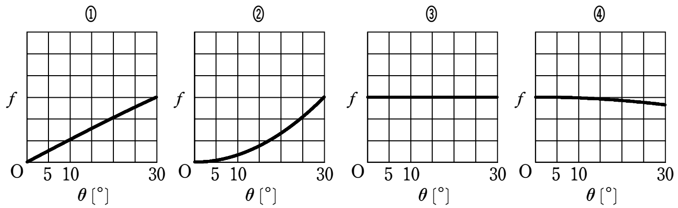


図 1　　　図 2

問 1　θ が 0° から 30° の角度のとき，物体にはたらいている摩擦力の大きさ f と θ の関係を表すグラフの概形として最も適当なものを，次の ①～④ のうちから 1 つ選べ。



問 2　物体と板との間の静止摩擦係数 μ はいくらか。最も適当な数値を，次の ①～④ のうちから 1 つ選べ。

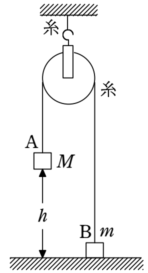
①　$\dfrac{1}{2}$　　②　$\dfrac{1}{\sqrt{3}}$　　③　$\dfrac{\sqrt{3}}{2}$　　④　$\sqrt{3}$

問 3　物体が板上をすべり落ちるときの加速度の大きさとして正しいものを，次の ①～④ のうちから 1 つ選べ。

①　$\dfrac{1}{2}g$　　②　$\dfrac{\sqrt{3}}{2}\mu' g$　　③　$\dfrac{(1+\sqrt{3}\mu')}{2}g$　　④　$\dfrac{(1-\sqrt{3}\mu')}{2}g$

8

定滑車に糸をかけ，その両端に質量 M と m の物体 A，B をつるす。B は地上に，A は高さ h の所にある。糸や滑車の質量を無視し，$M > m$，重力加速度の大きさを g とする。物体 A を静かにはなして降下させるとき，次の各量を求めよ。



(1)　A の加速度の大きさ a

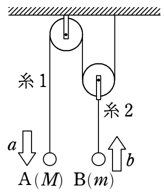
(2)　A をつるしている糸の張力の大きさ T

(3)　滑車をつるしている糸の張力の大きさ S

(4)　A と B がすれ違うまでの時間 t と，そのときの A の速さ v

9

糸 1 を定滑車と動滑車にかけて質量 M〔kg〕の小球 A をつるし，動滑車には糸 2 で質量 m〔kg〕の小球 B をつるして，A，B を同じ高さに支えてからはなす。重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とし，糸と滑車の質量，糸と滑車の間の摩擦を無視する。



(1)　A の加速度の大きさを a〔m/s^2〕として，B の加速度の大きさ b〔m/s^2〕を a を用いて表せ。

(2)　糸 1 が A を引く力（糸 1 の張力）を T_1〔N〕として，糸 2 が B を引く力（糸 2 の張力）T_2〔N〕を T_1 を用いて表せ。

(3)　A が下降するとして，A の加速度の大きさ a を求めよ。

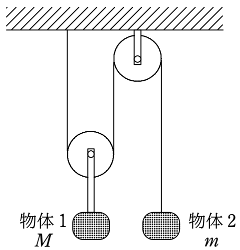
(4)　動き始めてから，A，B 間の高さの差が h〔m〕になるまでの時間 t〔s〕を求めよ。

ヒント　(1)　同じ時間の A，B の移動距離を比べる。

(2)　動滑車にはたらく力の合力は 0。

10

図のように，2 つの滑車と伸び縮みしないひもを使い，質量 M の物体 1 と質量 m の物体 2 をつりさげた。初め，物体 1，2 は動かないように手で支えられている。静かに手をはなしたところ，物体 1，2 が運動し始めた。このときの物体 1 の加速度を α，物体 2 の加速度を β とする。



ただし，加速度は鉛直下向きを正とする。また，滑車とひもの質量は無視でき，滑車はなめらかに回転するものとする。

問 1　加速度 α と β の間に成りたつ関係として正しいものを，次の ①～⑥ のうちから 1 つ選べ。

①　$\beta = 2\alpha$　　②　$\beta = \alpha$　　③　$2\beta = \alpha$　　④　$\beta = -2\alpha$　　⑤　$\beta = -\alpha$

⑥　$2\beta = -\alpha$

問 2　物体 1，2 の運動方程式の組合せとして正しいものを，次の ①～④ のうちから 1 つ選べ。ただし，ひもの張力の大きさを T とし，重力加速度の大きさを g とする。

①　$\begin{cases} M\alpha = Mg - 2T \\ m\beta = mg - T \end{cases}$　　②　$\begin{cases} M\alpha = mg - 2T \\ m\beta = Mg - T \end{cases}$　　③　$\begin{cases} M\alpha = (M+m)g - T \\ m\beta = (M+m)g - 2T \end{cases}$

④　$\begin{cases} M\alpha = (M+m)g - 2T \\ m\beta = (M+m)g - T \end{cases}$

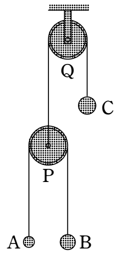
問３　次の文中の $\boxed{}$ に入れる式として正しいものを，⓪～⑤のうちから１つ選べ。

物体１は，$M>\boxed{}$ のとき降下するが，$M<\boxed{}$ のときには上昇する。

⓪ $\dfrac{m}{3}$　② $\dfrac{m}{2}$　③ m　④ $2m$　⑤ $3m$

11

図のように，質量 m の小球Ａと質量 $3m$ の小球Ｂを軽い糸で結び滑車Ｐにかける。滑車Ｐと質量 $4m$ の小球Ｃを軽い糸で結び，天井からつるした滑車Ｑにかける。滑車はなめらかにまわりその質量は無視できる。重力加速度の大きさを g とする。



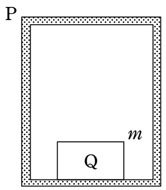
(1)　Ｃを固定してＡ，Ｂを同時に静かにはなす場合，これらの加速度の大きさ a_0 と，AB間，PC間の糸が引く力 T_1，T_2 をそれぞれ求めよ。

(2)　Ａ，Ｂ，Ｃすべてを同時に静かにはなす場合，Ａ，Ｂ，Ｃの加速度の大きさ a，b，c，およびAB間，PC間の糸が引く力 T_3，T_4 をそれぞれ求めよ。

(3)　Ｃを別の小球Ｄにとりかえて(2)と同様の実験を行ったところ，Ｄは動かなかった。このＤの質量を求めよ。

12

図のように，箱Ｐの中に質量 m〔kg〕の物体Ｑが置かれている。重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。



(1)　Ｐが加速度 a〔m/s^2〕で上昇するとき，ＱがＰの下面から受ける垂直抗力の大きさ N_1〔N〕を求めよ。

(2)　Ｐが重力加速度の大きさより大きい加速度 b〔m/s^2〕で下降するとき，Ｑは箱の下面から離れ，上面に接触してＰとともに加速度 b〔m/s^2〕で下降する。このとき，ＱがＰの上面から下向きに受ける垂直抗力の大きさ N_2〔N〕を求めよ。

(3)　Ｐが自由落下するとき，ＱがＰから受ける垂直抗力の大きさ N_3〔N〕を求めよ。

13

質量 m〔kg〕の物体Ａと M〔kg〕の物体Ｂが軽い糸でつながれている。次の実験ⅠとⅡそれぞれについて問い(1)に答え，実験Ⅰについては問い(2)，実験Ⅱについては問い(3)に答えよ。ただし，重力加速度の大きさは g〔m/s^2〕とする。

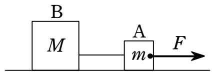


図１

実験Ⅰ：図１のように，物体ＡとＢをなめらかな水平面上に置き，物体Ａを大きさ F〔N〕の力で水平方向右向きに引き続ける。

実験Ⅱ：図２のように，物体Ｂを水平でなめらかな机の面上に置き，糸を机の端の滑車にかけ物体Ａをつるす。滑車はなめらかに回転し，その質量は無視できる。

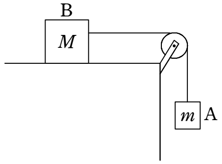


図２

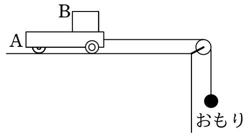
(1)　物体Ａ，Ｂの加速度の大きさ a〔m/s^2〕，糸が物体Ａ，Ｂを引く力の大きさ T〔N〕を求めよ。

(2)　実験Ⅰにおいて，物体Ａを右向きに引く力の大きさを２倍にすると，生じる加速度の大きさは２倍になるか，ならないか。

(3)　実験Ⅱにおいて，物体Ａの質量を２倍にすると，生じる加速度の大きさは２倍になるか，ならないか。

14

図のように，なめらかで水平な台の上に台車Ａ，物体Ｂがのっている。Ａに糸をつけて滑車を通し，他端におもりをつるす。Ａ，Ｂの質量を 2.4 kg，0.80 kg とし，重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。水平方向の速度，加速度は右向きを正の向きとする。



(1)　質量 2.4 kg のおもりをつるして静かにはなすと，Ａ，Ｂは一体となって動いた。このときの台車Ａの加速度を求めよ。

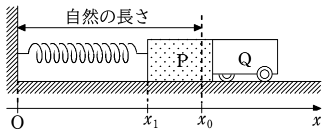
(2)　おもりの質量を少しずつ増加させると，3.2 kg になった直後に，物体Ｂは台車Ａ上をすべり始めた。ＡとＢの間の静止摩擦係数 μ を求めよ。

(3)　おもりの質量を 4.0 kg にして静かにはなしたところ，物体Ｂは水平な台に対して 4.0 m/s^2 の加速度で動き始めた。ＡとＢの間の動摩擦係数 μ' とＡの加速度を求めよ。

$\boxed{\text{ヒント}}$　ＢはＡから受ける摩擦力によって加速される。

15

水平面上に質量 M の物体Ｐと質量 m の台車Ｑがあり，Ｐは自然の長さ x_0 の軽いばね（ばね定数 k）で壁に取りつけてある。壁の位置を原点として，ばねが伸びる向きに x 軸をとる。また，Ｑと水平面の間には摩擦がないが，Ｐと水平面の間には摩擦があり，その動摩擦係数を μ' とする。ＱをＰに押しつけて，Ｐが $x=x_1$ ($x_1<x_0$) の位置にくるまでばねを縮めた後，静かに手をはなすと，２物体は動きだした。重力加速度の大きさを g とする。



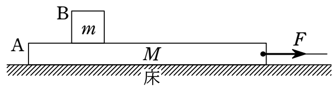
(1)　Ｐの位置が x ($x<x_0$) のとき，ＰおよびＱの運動方程式をそれぞれ立てよ。ただし，ＰとＱが及ぼしあう力の大きさを f，２物体の加速度の大きさを a とする。

(2)　f を求めよ。　　(3)　ＱがＰを離れるときのＰの位置を求めよ。

$\boxed{\text{ヒント}}$　(3)　ＱがＰを離れるのは $f=0$ となるときである。

16

床の上に物体Ａ，Ｂがのっている。ＡとＢの質量をそれぞれ M，m，重力加速度の大きさを g とする。Ａと床との間の摩擦は無視できる。ＡとＢとの間の静止摩擦係数を μ，動摩擦係数を μ' とする。Ａを力 F で水平に引く。右向きを正の向きとする。



(1)　F が小さいときは，静止摩擦のためＡとＢは一体になって運動する。

(a)　このとき，Ｂにはたらく摩擦力は右向きか左向きのどちらか。

(b)　ＡとＢの加速度を a，Ｂにはたらく摩擦力の大きさを f として，Ａ，Ｂそれぞれについて運動方程式を立てよ。

(c)　a と f を求めよ。

(2)　F がある大きさ F_0 をこえると，ＢはＡの上ですべるようになる。

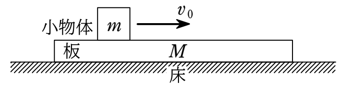
(a)　すべりだす直前に，Ｂにはたらいている摩擦力の大きさ f_0 を求めよ。

(b)　F_0 を求めよ。

(3)　引く力 F が F_0 より大きいとき，ＢはＡの上ですべりだす。このときのＡおよびＢの加速度 a_{A}，a_{B} を求めよ。

17

右の図のように，質量 m の小物体が質量 M の大きな板の上にのっている。小物体と板との間の動摩擦係数を μ とし，板と床との間の摩擦を無視する。



時刻 $t=0$ において，小物体に右向きの初速度 v_0 を与えると，板も同時に動き始めた。右向きを正の向きとし，重力加速度の大きさを g とする。

(1)　小物体の加速度 a を求めよ。

(2)　板の加速度 A を求めよ。

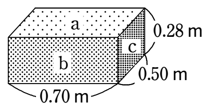
(3)　小物体が板に対して静止するまでの時間 t，その間に小物体が板に対してすべる距離 l を求めよ。

$\boxed{\text{ヒント}}$　(2)　板は動摩擦力 μmg によって加速される。

(3)　両者の速度が等しくなったときが t。この間の両者の移動距離の差が l。

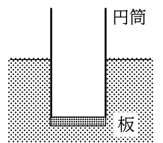
18

質量 1.0 kg の物体がある。物体の面 a，b，c を下にして床に置くとき，床が受ける圧力 p_{a}，p_{b}，p_{c}〔Pa〕を求めよ。



19

断面積が 75 cm^2 の円筒に，円筒の断面と同じ大きさの質量 0.45 kg の板を図のようにあてて，水に十分深く沈めた。水の密度を 1.0×10^3 kg/m^3 とする。

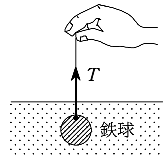


(1)　円筒を上げていくと，ある深さで板がはずれた。このときの板の達した深さ h〔cm〕を求めよ。

(2)　板の上におもりをのせて同じように円筒を上げていくと，板が水深 8.0 cm に達したところで，板がはずれた。おもりの質量 m〔kg〕を求めよ。

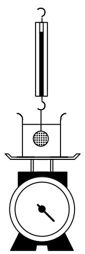
20

質量 m〔kg〕，密度 ρ〔kg/m^3〕の鉄球を軽い糸でつるし，つり下げた状態で密度 ρ_0〔kg/m^3〕の液体の中に全体を沈めた。このとき，糸が鉄球を引く力の大きさ T〔N〕を求めよ。ただし，重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。



21

ビーカーに水を入れ，台はかりでその重さをはかったら，6.86 N であった。質量 0.400 kg のガラス球をばねはかりにつるし，右図のようにビーカーの水中に完全に入れたところ，ばねはかりは 1.96 N を示した。重力加速度の大きさを 9.80 m/s^2 とする。



(1)　ガラス球が受けている浮力の大きさ F [N] を求めよ。
(2)　(1) の浮力の反作用は何から何にはたらいているか。
(3)　このときの台はかりに加わる力は何 N か。

22

台ばかりの上に水のはいったビーカーをのせ，その水の中に質量 m の小球をいれたところ，図１のように浮かんで静止した。次に，ばね定数 k のばねの端を小球の上にとりつけて，ばねの上端を図２のように鉛直に押し下げて小球が完全に水中に入るようにして静止させたところ，ばねの自然の長さからの縮みは x であった。ビーカーと水をあわせた質量を M，重力加速度の大きさを g とする。

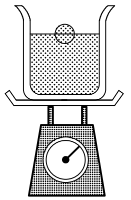


図１

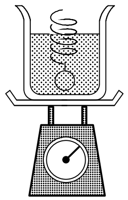
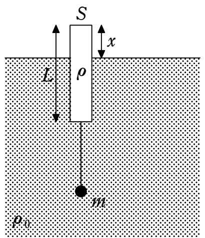


図２

(1)　図１のとき，小球にはたらく浮力の大きさ F_1 を求めよ。
(2)　図１の台ばかりの目盛りが示す重さを求めよ。
(3)　図２のとき，小球にはたらく浮力の大きさ F_2 を求めよ。
(4)　図２の台ばかりの目盛りが示す重さを求めよ。

23

図のように，浮きを水面に垂直に浮かべた。浮きは断面積 S，長さ L の細長い一様な円柱であり，その下には質量 m のおもりが糸でつり下げられている。水の密度を ρ_0，浮きの密度を $\rho\ (\rho<\rho_0)$ とする。ただし，糸の質量と太さおよびおもりの大きさは無視できるものとする。



問１　浮きが上端を水面上に出して図のように静止しているとき，上端の水面からの高さ x として正しいものを，次の ①～⑧ のうちから１つ選べ。

①　$\left(1-\frac{\rho}{\rho_0}\right)L+\frac{m}{\rho S}$　　②　$\left(1-\frac{\rho}{\rho_0}\right)L-\frac{m}{\rho S}$　　③　$\left(1+\frac{\rho}{\rho_0}\right)L+\frac{m}{\rho S}$

④　$\left(1+\frac{\rho}{\rho_0}\right)L-\frac{m}{\rho S}$　　⑤　$\left(1-\frac{\rho}{\rho_0}\right)L+\frac{m}{\rho_0 S}$　　⑥　$\left(1-\frac{\rho}{\rho_0}\right)L-\frac{m}{\rho_0 S}$

⑦　$\left(1+\frac{\rho}{\rho_0}\right)L+\frac{m}{\rho_0 S}$　　⑧　$\left(1+\frac{\rho}{\rho_0}\right)L-\frac{m}{\rho_0 S}$

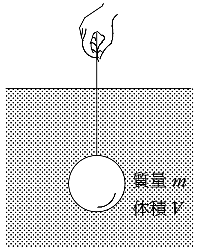
問２　図の静止状態で，浮きとおもりをつないでいる糸が突然切れた。切れた直後の浮きの加速度の大きさとして正しいものを，次の ①～⑥ のうちから１つ選べ。ただし，重力加速度の大きさを g とする。

①　$\frac{mg}{\rho SL}$　　②　$\frac{mg}{\rho Sx}$　　③　$\frac{mg}{\rho S(L-x)}$　　④　$\frac{mg}{\rho_0 SL}$　　⑤　$\frac{mg}{\rho_0 Sx}$

⑥　$\frac{mg}{\rho_0 S(L-x)}$

24

質量 m，体積 V の物体を糸につるし，密度 ρ の液体中に浸した後，静かに手を放した。物体は液体中を落下した。落下中の物体は速度に比例した抵抗力を受け，その比例定数は k である。重力加速度の大きさを g とする。



(1)　物体が液体中を落下するには液体の密度 ρ はある値より小さくなくてはならない。その値を V，m で表せ。
(2)　落下中の物体の速度を v として，加速度の大きさ a を求めよ。
(3)　物体の落下速度はやがてほぼ一定値になった。その速度 v_f を求めよ。

ヒント　(2)　重力，浮力，抵抗力を考えて運動方程式をたてる。
(3)　物体の加速度は 0 である。

25

図１のように，あらい斜面の上に質量 M の物体 A を置く。A には軽い糸で質量 m のおもり B がつながれ，B は滑車を通して鉛直につり下げられている。斜面が鉛直方向となす角度（頂角）θ は $0°<\theta\leqq 90°$ の範囲で変えることができる。A と滑車の間では糸は常に斜面に平行に保たれる。滑車は軽く，またなめらかに回転できる。

A と斜面の間の静止摩擦係数を μ，動摩擦係数を μ'，重力加速度の大きさを g とする。

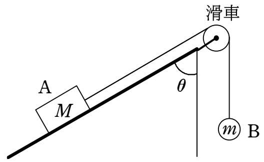


図１

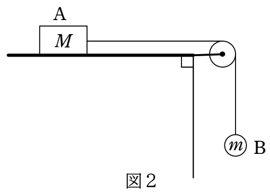


図２

問１　最初，A は斜面上に静止していた。斜面が鉛直方向となす角度（頂角）を徐々に大きくしていくと，角度が θ_1 をこえたときに B が降下し，A は上向きにすべり始めた。

このとき，質量の比 $\frac{m}{M}$ を θ_1 で表す式として正しいものを，次の ①～⑥ のうちから１つ選べ。

①　$1-\mu\tan\theta_1$　　②　$1+\mu\tan\theta_1$　　③　$\cos\theta_1-\mu\sin\theta_1$

④　$\cos\theta_1+\mu\sin\theta_1$　　⑤　$-\mu\cos\theta_1+\sin\theta_1$　　⑥　$\mu\cos\theta_1+\sin\theta_1$

問２　図２のように，斜面を水平（$\theta=90°$）にし，A を面上に置いて静かにはなしたところ，B は降下し始めた。

B が距離 h だけ降下したときの，A の速さを表す式として正しいものを，次の ①～⑥ のうちから１つ選べ。

ただし，このとき A は面の端まで達していないものとする。

①　$\sqrt{2gh}$　　②　$\sqrt{\frac{2mgh}{M}}$　　③　$\sqrt{\frac{2mgh}{m+M}}$　　④　$\sqrt{\frac{2gh(m-\mu' M)}{m}}$

⑤　$\sqrt{\frac{2gh(m-\mu' M)}{M}}$　　⑥　$\sqrt{\frac{2gh(m-\mu' M)}{m+M}}$

$\boxed{1}$

解答　(1)　鉛直上向きに 5.0 m/s^2　(2)　78 N　(3)　98 N

$\boxed{2}$

解答　$\dfrac{1-\sqrt{3}\,\mu'}{2}g$

$\boxed{3}$

解答　(1)　2.0 m/s^2　(2)　3.0 N

$\boxed{4}$

解答　(1)　4.2 m/s^2　(2)　4.2 N

$\boxed{5}$

解答　(1)　上昇する　(2)　a：1.4 m/s^2，T：4.2 N

$\boxed{6}$

解答　問 1　②　問 2　①

$\boxed{7}$

解答　問 1　①　問 2　②　問 3　④

$\boxed{8}$

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

(4)　$t=\sqrt{\dfrac{M+m}{M-m}\cdot\dfrac{h}{g}}$，$v=\sqrt{\dfrac{M-m}{M+m}gh}$

$\boxed{9}$

解答　(1)　$\dfrac{a}{2}$〔m/s^2〕　(2)　$2T_1$〔N〕　(3)　$\dfrac{2(2M-m)}{4M+m}g$〔m/s^2〕

(4)　$\sqrt{\dfrac{2(4M+m)h}{3(2M-m)g}}$〔s〕

$\boxed{10}$

解答　問 1　④　問 2　①　問 3　④

$\boxed{11}$

解答　(1)　$a_0=\dfrac{1}{2}g$，$T_1=\dfrac{3}{2}mg$，$T_2=3mg$

(2)　$a=\dfrac{5}{7}g$，$b=\dfrac{3}{7}g$，$c=\dfrac{1}{7}g$

$T_3=\dfrac{12}{7}mg$，$T_4=\dfrac{24}{7}mg$

(3)　$3m$

$\boxed{12}$

解答　(1)　$m(a+g)$〔N〕　(2)　$m(b-g)$〔N〕　(3)　0 N

$\boxed{13}$

解答　実験Ⅰ：(1)　$\dfrac{F}{M+m}$〔m/s^2〕，$\dfrac{M}{M+m}F$〔N〕　(2)　2 倍になる

実験Ⅱ：(1)　$\dfrac{m}{M+m}g$〔m/s^2〕，$\dfrac{Mm}{M+m}g$〔N〕　(3)　2 倍にならない

$\boxed{14}$

解答　(1)　4.2 m/s^2　(2)　0.50　(3)　μ'：0.41，加速度：5.6 m/s^2

$\boxed{15}$

解答　(1)　P：$Ma=k(x_0-x)-f-\mu'Mg$，Q：$ma=f$

(2)　$\dfrac{m\{k(x_0-x)-\mu'Mg\}}{M+m}$　(3)　$x_0-\dfrac{\mu'Mg}{k}$

$\boxed{16}$

解答　(1)　(a)　右向き　(b)　$Ma=F-f$，$ma=f$　(c)　a：$\dfrac{F}{M+m}$，f：$\dfrac{mF}{M+m}$

(2)　(a)　μmg　(b)　$\mu(M+m)g$　(3)　a_A：$\dfrac{F-\mu'mg}{M}$，a_B：$\mu'g$

$\boxed{17}$

解答　(1)　運動と逆向きに $-\mu g$　(2)　運動と同じ向きに $\dfrac{\mu mg}{M}$

(3)　t：$\dfrac{Mv_0}{\mu(M+m)g}$，l：$\dfrac{M{v_0}^2}{2\mu(M+m)g}$

$\boxed{18}$

解答　$p_a=28$ Pa，$p_b=50$ Pa，$p_c=70$ Pa

$\boxed{19}$

解答　(1)　6.0 cm　(2)　0.15 kg

$\boxed{20}$

解答　$\left(1-\dfrac{\rho_0}{\rho}\right)mg$〔N〕

$\boxed{21}$

解答　(1)　1.96 N　(2)　ガラス球から水にはたらいている　(3)　8.82 N

$\boxed{22}$

解答　(1)　mg　(2)　$(M+m)g$　(3)　$mg+kx$　(4)　$(M+m)g+kx$

$\boxed{23}$

解答　問 1　⑥　問 2　①

$\boxed{24}$

解答　(1)　$\rho<\dfrac{m}{V}$　(2)　$\left(1-\dfrac{\rho V}{m}\right)g-\dfrac{kv}{m}$　(3)　$\dfrac{(m-\rho V)g}{k}$

$\boxed{25}$

解答　問 1　④　問 2　⑥

$\boxed{1}$

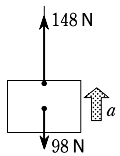
指針　物体にはたらく力は，重力 98 N と糸が物体を引く力 T の 2 力である。正の向きを定めて，運動方程式を立てる。

解説　(1)　鉛直上向きを正の向きとすると，「$ma=F$」より

$10\times a=148-98$

よって　$a=$ **5.0 m/s^2**

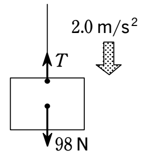
向きは**鉛直上向き**



(2)　鉛直下向きを正の向きとすると，「$ma=F$」より

$10\times 2.0=98-T$

よって　$T=$ **78 N**

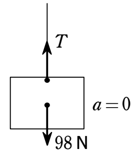


(3)　速度が一定の場合，物体にはたらく力はつりあっている。

$T-98=0$

よって　$T=$ **98 N**

別解　速度が一定であることから，運動方程式 $ma=T-98$ を立ててから，加速度 $a=0$ として，$T=$ **98 N** と求めてもよい。



$\boxed{2}$

物体の質量を m，斜面方向で下向きの加速度を a とすると，物体についての運動方程式は

$ma=mg\sin 30°-\mu'N$

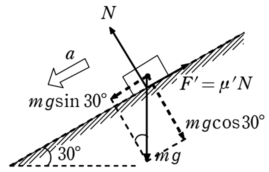
斜面に垂直な方向の力はつりあっているから

$N-mg\cos 30°=0$

この 2 式から

$a=g(\sin 30°-\mu'\cos 30°)$

$=\mathbf{\dfrac{1-\sqrt{3}\,\mu'}{2}g}$



$\boxed{3}$

(1)　Step 1　作用反作用の法則より，A が B を押す力と，B が A を押す力は，同じ大きさ（f〔N〕）で逆向きとなる。よって，A，B にはたらく水平方向の力は図のようになる。

Step 2　右向きを正の向きとする。

Step 3　各物体の運動方程式は

A：　$1.0a=5.0-f$　……①

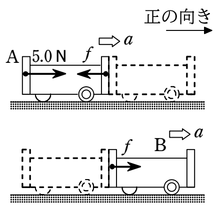
B：　$1.5a=f$　……②

① 式＋② 式 より　$2.5a=5.0$

よって　$a=$ **2.0 m/s^2**

(2)　② 式に $a=2.0$ m/s^2 を代入して

$f=$ **3.0 N**



$\boxed{4}$

(1)　Step 1　糸が A を引く力と B を引く力は，同じ大きさで逆向きとなる。A，B にはたらく力は図のようになる。

Step 2　鉛直上向きを正の向きとする。

Step 3　A，B それぞれの運動方程式は

A：$0.20a=7.0-0.20\times 9.8-T$　……①

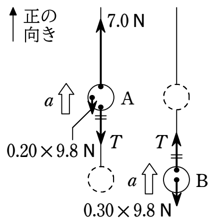
B：$0.30a=T-0.30\times 9.8$　……②

① 式＋② 式 より　$0.50a=2.1$

よって　$a=$ **4.2 m/s^2**

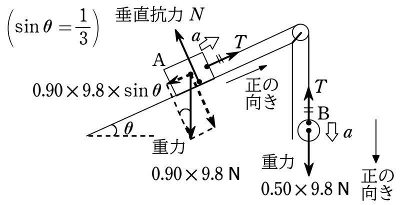
(2)　② 式に　$a=4.2$ m/s^2 を代入して

$T=$ **4.2 N**



5

物体 A，B にはそれぞれ図のような力がはたらいている。このとき，A，B に生じる加速度の大きさは等しい。また，ひもが A を引く力の大きさと B を引く力の大きさは等しい。



A については斜面方向上向きを正とし，運動方程式を立てると

$0.90a=T-0.90\times9.8\times\frac{1}{3}$　……①

B については鉛直方向下向きを正とし，運動方程式を立てると

$0.50a=0.50\times9.8-T$　……②

①式＋②式より

$1.40a=0.20\times9.8$

ゆえに　$a=1.4\ \mathrm{m/s^2}$

これを②式に代入して計算すると

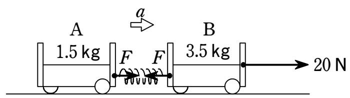
$T=4.2\ \mathrm{N}$

(1)　a の値は正となるので，A は斜面を**上昇する**。

(2)　加速度の大きさは **1.4 m/s²**，引く力の大きさは **4.2 N**

6

問 1　2 台の台車が運動するとばねが伸びるので，両側の台車を引きつけるように弾性力がはたらく。また，ばねの両端にはたらく弾性力は大きさが等しい。台車は水平方向にだけ運動し，摩擦もはたらかないので，重力と水平面からの垂直抗力を無視し，ばねからはたらく弾性力の大きさを F とすると，台車にはたらく力は図のようになる。



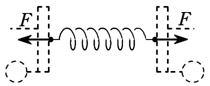
2 台の台車に生じる加速度の大きさを a，台車の運動の向きを正の向きとして，A，B それぞれについて運動方程式を立てると

台車 A：$1.5a=F$　……①

台車 B：$3.5a=20-F$　……②

①式＋②式 より　$5.0a=20$　　ゆえに　$a=4.0\ \mathrm{m/s^2}$

問 2　①式に a の値を代入して弾性力 F を求めると　$F=6.0\ \mathrm{N}$ が得られる。ばねがこの力で台車を引きつければ，作用反作用の法則により，ばねも台車から同じ大きさの力で引っ張られることになる。



ばねの両端に 6.0 N の力がはたらくので，ばねの伸びを x とすると，フックの法則「$F=kx$」より　$6.0=30x$　　ゆえに　$x=0.20\ \mathrm{m}$

7

問 1　板と水平面とのなす角が $\theta\ (0°<\theta<30°)$ のとき，物体にはたらく力は図 a のようになる。ここで，垂直抗力の大きさを N，静止摩擦力の大きさを f とする。

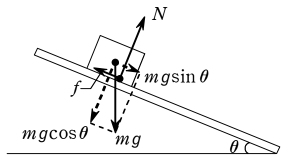


図 a

斜面方向の力のつりあいより

$f=mg\sin\theta$

よって，f と θ の関係を表すグラフは，正弦曲線の一部となる。該当するグラフは ⓪ である。

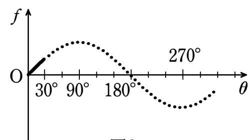


図 b

問 2　物体がすべり出す直前のとき，物体には最大摩擦力 μN がはたらいている (図 c)。

このときの斜面方向の力のつりあいより

$\mu N=mg\sin30°$　……①

また，斜面に垂直な方向の力のつりあいより

$N=mg\cos30°$　……②

①，②式より

$\mu mg\cos30°=mg\sin30°$

よって

$\mu=\dfrac{\sin30°}{\cos30°}=\tan30°=\dfrac{1}{\sqrt{3}}$

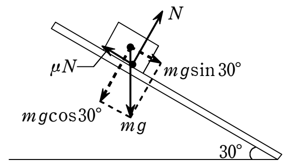


図 c

問 3　このとき，物体には図 d のような力がはたらいている。

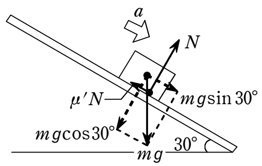


図 d

物体が板上をすべり落ちるときの加速度を a (斜面方向下向きを正) とする。斜面方向の運動方程式は

$ma=mg\sin30°-\mu'N$　……③

斜面に垂直な方向の力のつりあいより

$N=mg\cos30°$　……④

④式を③式に代入して

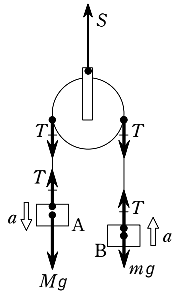
$ma=mg\sin30°-\mu'mg\cos30°$

よって

$a=(\sin30°-\mu'\cos30°)g=\dfrac{(1-\sqrt{3}\mu')}{2}g$

8

指針　A，B は 1 本の糸でつながれているので，加速度の大きさ a も糸の張力 T も等しい。各物体ごとに，はたらく力の合力を求め，進行方向を正としてそれぞれ運動方程式を立てる。



解説　(1)，(2)　A，B にはたらく力は右図となるので，

運動方程式は　A：$Ma=Mg-T$　　B：$ma=T-mg$

これより，a，T を求めると

$a=\boldsymbol{\dfrac{M-m}{M+m}g}$　　$T=\boldsymbol{\dfrac{2Mm}{M+m}g}$

(3)　滑車には張力 S と 2 つの張力 T がはたらいて，つりあうので

$S=2T=\boldsymbol{\dfrac{4Mm}{M+m}g}$

(4)　すれ違うまでに，A と B はそれぞれ $\dfrac{h}{2}$ 進む。

$\dfrac{h}{2}=\dfrac{1}{2}at^2$ より　$t=\sqrt{\dfrac{h}{a}}=\boldsymbol{\sqrt{\dfrac{M+m}{M-m}\cdot\dfrac{h}{g}}}$

$v=at$ より　$v=\dfrac{M-m}{M+m}g\sqrt{\dfrac{M+m}{M-m}\cdot\dfrac{h}{g}}=\boldsymbol{\sqrt{\dfrac{M-m}{M+m}gh}}$

9

指針　小球 A には糸 1 の張力 T_1 と重力 Mg，小球 B には糸 2 の張力 T_2 と重力 mg がはたらく。動滑車には糸 1 の張力 T_1 (左右 2 か所)，糸 2 の張力 T_2 (下向き) がはたらく。これらの運動は等加速度直線運動となる。B の上昇距離に対して，A の下降距離が 2 倍になることから，加速度 a，b の関係を求め，A，B それぞれについて運動方程式を立てる。その際，A が下降すると考えて，それぞれの進行方向を正の向きとする。

解説　(1)　図 a に示すように，A の下降距離 x に対して，動滑車の上昇距離 (＝B の上昇距離) は $\dfrac{x}{2}$ となる。したがって，等加速度直線運動の式

「$x=v_0t+\dfrac{1}{2}at^2$」，$v_0=0$ より

A：$x=\dfrac{1}{2}at^2$

B：$\dfrac{x}{2}=\dfrac{1}{2}bt^2$　　$x=bt^2$

よって　$b=\boldsymbol{\dfrac{a}{2}}$ **[m/s²]**[1]←

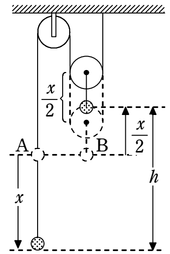


図 a

(2)　動滑車にはたらく力は図 b のようになる[2]←。動滑車は小球 B とともに加速度 $b\left(=\dfrac{a}{2}\right)$ で運動している。動滑車の質量を 0 としているので，動滑車についての運動方程式「$ma=F$」を立てると

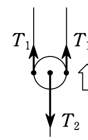


図 b

$0\times\dfrac{a}{2}=2T_1-T_2$　　$T_2=\boldsymbol{2T_1}$ **[N]**

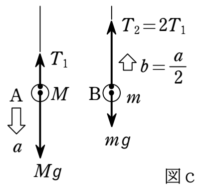
(3)　小球A，Bにはたらく力は図cのようになるので，それぞれについて進行方向を正として運動方程式を立てると

A：$Ma=Mg-T_1$　……①

B：$m\frac{a}{2}=2T_1-mg$　……②

①式×4＋②式×2を計算すると

$(4M+m)a=(4M-2m)g$　　よって　$a=\frac{2(2M-m)}{4M+m}g$ [m/s²][3]←



図c

(4)　(1)で述べたようにBの上昇距離はAの下降距離の半分なので，Aが降下した距離を x とすると(図a)

$x+\frac{x}{2}=h$　　$x=\frac{2}{3}h$

Aについて，等加速度直線運動の式「$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$」より

$\frac{2}{3}h=\frac{1}{2}\times\frac{2(2M-m)}{4M+m}g\times t^2$　　$t=\sqrt{\frac{2(4M+m)h}{3(2M-m)g}}$ [s]

←[1]　参考　AとBの移動距離の比，速さの比，加速度の大きさの比は，いずれも2：1

←[2]　小球A～定滑車～動滑車～天井　を結ぶ糸1は1本につながっているので，どこでも張力は等しく T_1 である。

←[3]　参考　T_1 の値を求める。①式より

$T_1=M(g-a)$

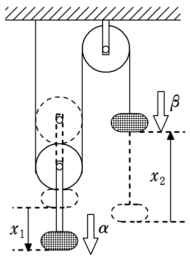
a の値を代入して

$T_1=\frac{3Mm}{4M+m}g$

10

問1　動滑車をある距離移動させるためには，ひもをその2倍の長さだけ動かす必要がある。図aのように，物体1とそれを取り付けた動滑車が x_1 だけ下方へ変位すれば，物体2は上方へ x_2 だけ変位することになる。このとき，物体2の変位の大きさは，物体1の変位の大きさの2倍になるので $x_2=-2x_1$ と表すことができる。この関係は，2物体の速度についても，加速度についても同様に成りたつので

$\beta=-2\alpha$　(β は負となる)



図a

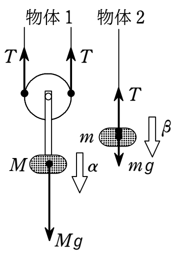
問2　2つの物体にはたらく力は，図bのようになる。

鉛直下向きを正の向きとして，それぞれの物体についての運動方程式を立てると

物体1：$M\alpha=Mg-2T$　……①

物体2：$m\beta=mg-T$　……②

となるので，正解は ⓪



図b

問3　①式−②式×2　の計算により，T を消去すると

$M\alpha-2m\beta=Mg-2mg$

問1で求めた加速度 α と β の関係式を用いて

$M\alpha-2m(-2\alpha)=(M-2m)g$

上式より　$\alpha=\frac{M-2m}{M+4m}g$

物体1が降下するとき $\alpha>0$ であるから

$M-2m>0$ より　$M>2m$　よって，④ が正解。

11

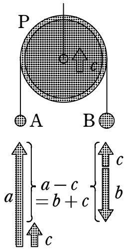
考え方　(2)　質量 m_0 の滑車にはたらく合力を f とすると，運動方程式は $m_0a_{滑車}=f$

したがって，質量の無視できる軽い滑車 ($m_0=0$) であれば，加速度運動をしても $f=0$ となり，滑車にはたらく力はつりあう。

運動方程式は(滑車Pのつりあいの式も含めて)4つであるが，求める値は5つ(a，b，c，T_3，T_4)であり，式が足りない。A，B，Cは糸でつながれているので，独立に動くわけではない。そこでこれらの加速度の関係を考える。

Pから見れば，Aが上昇する速さとBが下降する速さはつねに等しい。したがって，加速度についても

Pから見たAが上昇する加速度の大きさ
$a-c$
＝Pから見たBが下降する加速度の大きさ
$b-(-c)$



なお，(1)の①，②式はすでに加速度の関係が含まれており，Bの加速度を b_0 として加速度の関係を明確にすると，

加速度の関係は　$a_0=b_0$

運動方程式は　A：$ma_0=-mg+T_1$　　B：$3mb_0=3mg-T_1$ となる。

(1)　A，B，Pについて運動方程式を立てると

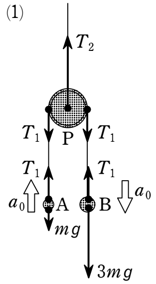
A：$ma_0=-mg+T_1$　……①

B：$3ma_0=3mg-T_1$　……②

P：$0=T_2-2T_1$　　……③

①～③式より

$a_0=\frac{1}{2}g$，$T_1=\frac{3}{2}mg$，$T_2=3mg$



(2)　A，B，C，Pについて運動方程式を立てると

A：$ma=-mg+T_3$　……④

B：$3mb=3mg-T_3$　……⑤

C：$4mc=4mg-T_4$　……⑥

P：$0=T_4-2T_3$　　……⑦

Pから見たAの加速度の大きさ $a-c$

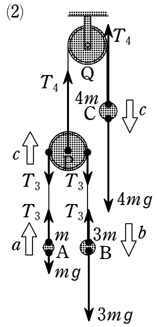
＝Pから見たBの加速度の大きさ $b+c$

すなわち，$a-b=2c$　　……⑧

④～⑧式より

$a=\frac{5}{7}g$，$b=\frac{3}{7}g$，$c=\frac{1}{7}g$，

$T_3=\frac{12}{7}mg$，$T_4=\frac{24}{7}mg$



(3)　(1)より，PC間の糸が引く力 $T_2=3mg$ のとき，Dは静止を続ける。よって，Dの質量が $3m$ であればよい。

[補足]　Dの質量を M などとおいて，(2)の④～⑦と同様に運動方程式(ただし，$a=b$，$c=0$)を立てても，$M=3m$ を導くことはできる。

12

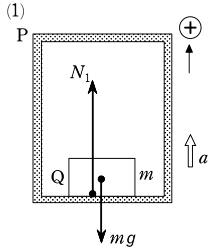
考え方　(1)，(2)とも，Qは重力と垂直抗力の合力によって加速される。

(1)では上向きを正の向き，(2)では下向きを正の向きにとるとよい。

(1)　Qにはたらく力は図(1)のようになる。上向きを正の向きにとると，Qの運動方程式は

$ma=N_1-mg$

よって　$N_1=m(a+g)$ [N]



(2)　Qにはたらく力は図(2)のようになる。下向きを正の向きにとると，Qの運動方程式は

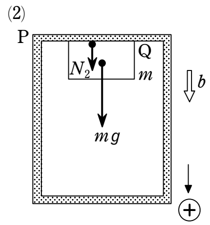
$mb=N_2+mg$

よって　$N_2=m(b-g)$ [N]

(3)　Pが自由落下するとき，上式で $b=g$ として

$N_3=0$ N

補足　(2)で，QがPに接触して下降中に，$b<g$ とすると，$N_2<0$ となり，QはPの上面を離れて落下する。



13

実験Ⅰ

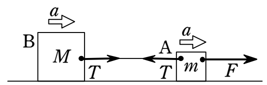
(1)　物体A，Bにはたらく力は(図a)

1. 糸が引く力 T　　2. 力 F (Aのみ)

3. 重力　　4. 床からの垂直抗力

の4種類である。ただし，3，4は運動方向に垂直な力であるから，以降では考えなくてもよい。

加速度は水平方向右向きを正とする。



図a

物体A，Bについて運動方程式を立てると

A：$ma=F-T$　　……①

B：$Ma=T$　　……②

①，②式より

$a=\frac{F}{M+m}$ [m/s²]　……③　　$T=\frac{M}{M+m}F$ [N]

注　a だけを求めるのなら，物体A，B，糸を一体とみなし，質量 $(M+m)$ の物体に力 F がはたらいているとして，運動方程式 $(M+m)a=F$ を立てればよい。

(2)　右向きに引く力の大きさを2倍にしたときの加速度を a_1 [m/s²] とし，③式において $a\rightarrow a_1$，$F\rightarrow 2F$　と置き換えると

$a_1=\frac{2F}{M+m}=2a$　　答え　2倍になる

実験Ⅱ

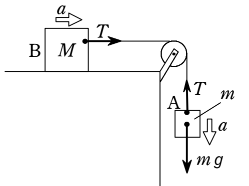
(1)　物体A，Bにはたらく力は(図b)

1. 糸が引く力 T　　2. 重力

3. 机からの垂直抗力(Bのみ)

の3種類である。ただし，Bにはたらく2，3は実験Ⅰと同様，以降では考えなくてもよい。

加速度は，Aについて鉛直下向き，Bについて水平方向右向きを正とする。



図b

物体Aについて運動方程式を立てると　A：$ma=mg-T$ ……④

物体Bについて運動方程式を立てると　B：$Ma=T$ ……⑤

④，⑤式より

$$a=\frac{m}{M+m}g\ [\mathrm{m/s^2}]\ \cdots\cdots⑥\qquad T=\frac{Mm}{M+m}g\ [\mathrm{N}]$$

(3)　物体Aの質量を2倍にしたときの加速度を a_2 [m/s²]とし，⑥式において

$a \longrightarrow a_2$，$m \longrightarrow 2m$　と置き換えると

$$a_2=\frac{2m}{M+2m}g<2a$$　答え　**2倍にならない**

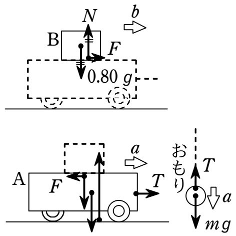
注　実験Ⅱでは，mg が実験Ⅰでの F の役割をしている。この力を2倍にすると加速を受ける総質量が増すので，加速度は2倍にならない。

14

指針　物体Bの加速度は台車Aが右方へ動くことによってはたらく摩擦力によって生じる。A，Bが一体で動いている間は，この摩擦力は静止摩擦力である。Aを引く糸の張力の大きさが増すと摩擦力も大きくなる。この摩擦力が最大摩擦力に達すると，その直後にBはA上ですべりだす。以後，Bにはたらく摩擦力は動摩擦力になる。BはA上でAに対しては後退するが，台に対しては右方に進む。A，Bそれぞれについて力をかき，運動方程式を立てる。

解説　(1)～(3)のどの場合についても，A，B，おもりにはたらく力は図のようになる(糸の張力を T，Bが受ける垂直抗力を N，摩擦力を F とする)。

おもりの質量を m，A，Bの加速度をそれぞれ a，b として運動方程式を立てると



台車A：$2.4a=T-F$ ……①

物体B：$0.80\,b=F$ ……②

おもり：$ma=mg-T$ ……③

(1)　A，Bが一体となって運動しているときの，糸の張力を T_1，Aの加速度を a_1 とする。このとき，$a=b=a_1$ なので，①～③式より

$2.4a_1=T_1-F$[1]← ……④

$0.80a_1=F$[1]←，[2]← ……⑤

$2.4a_1=2.4g-T_1$[3]← ……⑥

④式+⑤式+⑥式より　$a_1=\dfrac{2.4\times9.8}{2.4+0.80+2.4}=$ **4.2 m/s²**

(2)　$m=3.2$ kg のとき，摩擦力 F は最大摩擦力 $F_0(=\mu N)$ になる。このときの糸の張力を T_2，Aの加速度(=Bの加速度)を a_2 とする。

①～③式より

$2.4\,a_2=T_2-F_0$ ……⑦

$0.80\,a_2=F_0$[4]← ……⑧

$3.2\,a_2=3.2g-T_2$[5]← ……⑨

⑦式+⑧式+⑨式より　$a_2=\dfrac{3.2\times9.8}{2.4+0.80+3.2}=4.9\ \mathrm{m/s^2}$

⑧式と　$F_0=\mu N=\mu\times0.80\,g$　とから

$0.80a_2=\mu\times0.80g$　　よって　$\mu=\dfrac{a_2}{g}=\dfrac{4.9}{9.8}=$ **0.50**

(3)　このとき，Bは動摩擦力 $F'(=\mu'N)$ によって加速されている。

②式より　$F'=0.80b$[6]←　　一方　$F'=\mu'N=\mu'\times0.80g$

よって　$\mu'\times0.80g=0.80b$　　$\mu'=\dfrac{b}{g}=\dfrac{4.0}{9.8}=0.408\cdots≒$ **0.41**

このときのAの加速度を a_3，糸の張力を T_3 とすると，①，③式より

$2.4a_3=T_3-F'$ ……⑩

$4.0a_3=4.0g-T_3$[7]← ……⑪

⑩式+⑪式と　$F'=0.80b=0.80\times4.0$ N　とから

$a_3=\dfrac{4.0\times9.8-0.80\times4.0}{2.4+4.0}=5.625≒$ **5.6 m/s²**

←[1]　A，Bを一体として運動方程式を立ててもよい。
A+B：$(2.4+0.80)a_1=T_1$
おもり：$2.4a_1=2.4g-T_1$

←[2]　この場合の静止摩擦力 F は
$F=0.80a_1=0.80\times4.2=3.36$ N

←[3]　糸の張力 T_1 は
$T_1=2.4(g-a_1)=2.4\times(9.8-4.2)≒13.4$ N

←[4]　最大摩擦力 F_0 は
$F_0=0.80a_2=0.80\times4.9=3.92$ N

←[5]　糸の張力 T_2 は　$T_2=3.2(g-a_2)=3.2\times(9.8-4.9)≒15.7$ N

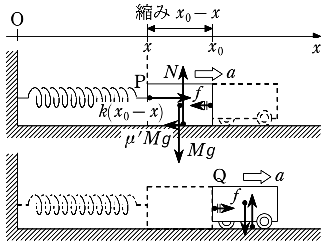
←[6]　動摩擦力 F' は　$F'=0.80\times4.0=3.2$ N

←[7]　糸の張力 T_3 は　$T_3=4.0(g-a_3)=4.0\times(9.8-5.625)=16.7$ N

15

指針　Pに水平方向にはたらく力は，ばねの弾性力，動摩擦力，QがPを押す力 f であり，Qに水平方向にはたらく力は，PがQを押す力 f のみである。それぞれについて運動方程式を立てる。(3)では，QがPを離れるのは $f=0$ となるときである。

解説　(1)　Pには，右向きにばねの弾性力 $k(x_0-x)$，左向きにQからの力 f と動摩擦力 $\mu'Mg$[1]← がはたらき，Qには，右向きにPからの力 f がはたらく。それぞれについて運動方程式を立てると，



Pについて

$$\boldsymbol{Ma=k(x_0-x)-f-\mu'Mg}\quad\cdots\cdots①$$

Qについて

$$\boldsymbol{ma=f}\quad\cdots\cdots②$$

(2)　①式+②式より　$(M+m)a=k(x_0-x)-\mu'Mg$

よって　$a=\dfrac{k(x_0-x)-\mu'Mg}{M+m}$

これを②式に代入して　$f=\dfrac{\boldsymbol{m\{k(x_0-x)-\mu'Mg\}}}{\boldsymbol{M+m}}$ ……③

(3)　$f=0$ となるとき，QがPを離れる。すなわち，③式より

$k(x_0-x)-\mu'Mg=0$　　$kx_0-kx-\mu'Mg=0$

よって　$x=\boldsymbol{x_0-\dfrac{\mu'Mg}{k}}$

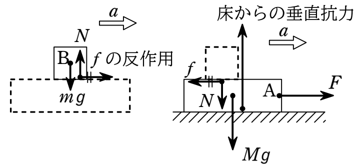
←[1]　Pには鉛直下向きに重力 Mg，鉛直上向きに垂直抗力 N がはたらき，これらがつりあっているので
$N=Mg$
これと「$F'=\mu'N$」より，動摩擦力の大きさは $\mu'Mg$ となる。

16

指針　物体Aには運動を妨げる向き(問題図の左向き)に摩擦力 f がはたらく。一方，物体Bは f の反作用により，右へ引っぱられて加速度を生じる。この摩擦力 f は，Aを引く力 F が強いほど大きくなるが，f が最大摩擦力に達したときがすべらない限界で，F がさらに大きくなるとBはAの上ですべり始め，摩擦力 f は動摩擦力になって，AのほうがBより先に行ってしまう。A，Bそれぞれについて力をかき，運動方程式を立てる。

解説　(1)　(a)　Aには運動を妨げる向きである左向きに摩擦力がはたらく。したがって，その反作用であるBにはたらく摩擦力は**右向き**である。

(b)　A，Bは一体として運動しているので，AとBの加速度 a は等しく，f は静止摩擦力[1]← である。図より，A，Bそれぞれの運動方程式は



A：$\boldsymbol{Ma=F-f}$[2]← ……①

B：$\boldsymbol{ma=f}$[2]← ……②

(c)　①式+②式より f を消去すると

$(M+m)a=F$　　$a=\dfrac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{M+m}}$

この結果を②式に代入すると

$f=m\times\dfrac{F}{M+m}=\dfrac{\boldsymbol{mF}}{\boldsymbol{M+m}}$

(2)　(a)　すべりだす直前は，Bにはたらく摩擦力が最大摩擦力になる。したがって，Bにはたらく垂直抗力の大きさを N とすると

$f_0=\mu N=\boldsymbol{\mu mg}$[3]←

(b)　$F=F_0$ のとき，BはAに対してすべるかどうかの境い目にあるので，f は最大摩擦力となっていて，$f=f_0=\mu mg$ である。(1)(c)の答えにこのことを代入すると

$f=\dfrac{mF_0}{M+m}=\mu mg$　　$F_0=\boldsymbol{\mu(M+m)g}$

(3)　$F>F_0$ のとき，BはAの上をすべる。このときAB間にはたらく摩擦力 f は動摩擦力で

$f=\mu'N=\mu'mg$[3]←

となる。摩擦力の向きは(1)と同じである。AとBは別々の加速度 a_{A}，a_{B} で運動す

るので，① 式と ② 式は次のように書きかえられる。

A：$Ma_{\mathrm{A}}=F-\mu' mg$　……①′

B：$ma_{\mathrm{B}}=\mu' mg$　　　……②′

①′ 式より　$a_{\mathrm{A}}=\boldsymbol{\dfrac{F-\mu' mg}{M}}$

②′ 式より　$a_{\mathrm{B}}=\boldsymbol{\mu' g}$

←〔1〕 最大摩擦力とは限らないので，$f=\mu N$ としてはいけない。

←〔2〕 物体 A と B にはたらく摩擦力は作用と反作用の関係なので，互いに同じ大きさである。このことは B が A の上で一体となっていてもすべっていても成りたつ関係である。

←〔3〕 物体 B の鉛直方向のつりあいより

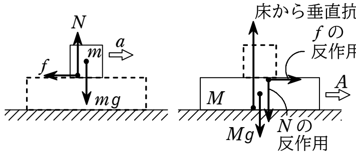
$N-mg=0$

よって　$N=mg$　を用いた。

17

指針　小物体が板の上を右向きにすべると，板との間の動摩擦力が小物体には後ろ向きにはたらき，小物体は一定の加速度 a で減速していく。一方，板はこの動摩擦力の反作用を受け，前方へ引っぱられて一定の加速度 A で加速する。やがて両物体の速度が一致したとき，小物体は板に対して相対的に静止し，以後は一体となって床の上を等速直線運動をする。この間に小物体が床に対して移動した距離，板が移動した距離を求めて差をとれば，小物体が板に対してすべった距離が求まる。

解説　(1)　小物体，板にはたらく力は図のようになる。f は動摩擦力で，小物体，板にはたらく動摩擦力は等しく



$f=\mu N=\mu mg$ [1]←

ただし，N は小物体にはたらく垂直抗力である。したがって小物体の運動方程式は

$ma=-f\ (=-\mu mg)$　　$a=\boldsymbol{-\mu g}$　**(運動と逆向き)**

(2)　板の運動方程式は

$MA=f\ (=\mu mg)$　　$A=\boldsymbol{\dfrac{\mu mg}{M}}$　**(運動と同じ向き)**

(3)　等加速度直線運動の式「$v=v_0+at$」より，時刻 t における小物体，板の速度 v，V はそれぞれ

$v=v_0+at=v_0-\mu gt$

$V=0+At=\dfrac{\mu mg}{M}t$

両者の速度が一致したとき，小物体は板に対して (相対的に) 静止するので，$v=V$ とおくと[2]←

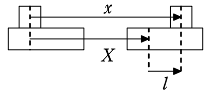
$v_0-\mu gt=\dfrac{\mu mg}{M}t$　……①

M 倍して t について整理すると

$\mu(M+m)gt=Mv_0$

$t=\boldsymbol{\dfrac{Mv_0}{\mu(M+m)g}}$ [3]←

この間に小物体，板が床に対して移動した距離を x，X とすると，等加速度直線運動の式



「$x=v_0t+\dfrac{1}{2}at^2$」より

$x=v_0t-\dfrac{1}{2}\mu gt^2$

$X=0\cdot t+\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{\mu mg}{M}t^2$

図より

$l=x-X=v_0t-\dfrac{1}{2}\mu gt^2-\dfrac{1}{2}\dfrac{\mu mg}{M}t^2=v_0t-\dfrac{\mu(M+m)}{2M}gt^2$

t の値を代入して

$l=v_0\left\{\dfrac{Mv_0}{\mu(M+m)g}\right\}-\dfrac{\mu(M+m)g}{2M}\left\{\dfrac{Mv_0}{\mu(M+m)g}\right\}^2$

$=\dfrac{Mv_0{}^2}{\mu(M+m)g}-\dfrac{Mv_0{}^2}{2\mu(M+m)g}=\boldsymbol{\dfrac{Mv_0{}^2}{2\mu(M+m)g}}$

←〔1〕 鉛直方向のつりあいより $N-mg=0$

よって　$N=mg$ を用いた。

←〔2〕 床に対して止まってしまうわけではない。両者が一体となって等速直線運動になる。

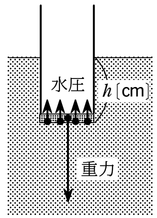
←〔3〕 参考　このときの板と小物体の速度 v_{f} は，V の式より

$v_{\mathrm{f}}=\dfrac{\mu mg}{M}\times\dfrac{Mv_0}{\mu(M+m)g}=\dfrac{m}{M+m}v_0$

19

考え方　円筒を水に沈めると，板は下向きに重力，上向きに浮力を受ける。このとき，水圧の合計が重力より大きければ，板ははずれない。

解説　(1)　板がはずれる直前は，板が受ける重力と水圧の合計が等しい。



水の密度　$\rho=1.0\times10^3\,\mathrm{kg/m^3}$,

板の面積　$S=75\times10^{-4}\,\mathrm{m^2}$,

板の質量　$M=0.45\,\mathrm{kg}$,

水圧の式 $p=\rho hg$ より

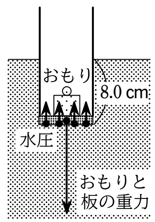
$Mg-pS=0$

$Mg-\rho hgS=0$

よって　$h=\dfrac{M}{\rho S}$

$=\dfrac{0.45}{1.0\times10^3\times75\times10^{-4}}=0.060\,(\mathrm{m})=\boldsymbol{6.0\,(\mathrm{cm})}$

(2)　板とおもりを合わせた重力は $(0.45+m)g$ で，板がはずれる直前に水圧の合計とつりあう。



$(0.45+m)g-pS=0$

$(0.45+m)g-\rho hgS=0$

よって

$m=\rho hS-0.45$

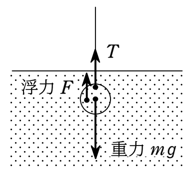
$=1.0\times10^3\times8.0\times10^{-2}\times75\times10^{-4}-0.45$

$=\boldsymbol{0.15\,(\mathrm{kg})}$

20

指針　鉄球が液面下に沈んでいるとき，重力，糸が引く力，浮力の 3 力がつりあう。

解説　鉄球が受ける浮力の大きさは，鉄球が排除した液体の重さに等しい。よって浮力 F〔N〕は，鉄球の体積を V〔$\mathrm{m^3}$〕とおくと　$F=\rho_0Vg$



ここで，鉄球の体積は $V=\dfrac{m}{\rho}$ より

$F=\rho_0\cdot\dfrac{m}{\rho}\cdot g=\dfrac{\rho_0}{\rho}mg$

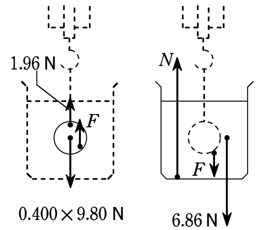
鉄球にはたらく力のつりあいの式より　$T+F-mg=0$

よって　$T=mg-F=mg-\dfrac{\rho_0}{\rho}mg=\boldsymbol{\left(1-\dfrac{\rho_0}{\rho}\right)mg}$ **〔N〕**

21

指針　水中にあるガラス球には，下向きに重力，上向きに浮力とばねはかりからの弾性力がはたらき，これらがつりあっている。

解説　(1)　ガラス球は，下向きに重力，上向きに浮力とばねからの弾性力[1]←を受けているので，力のつりあいより



$1.96+F-(0.400\times9.80)=0$

よって　$F=3.92-1.96=\boldsymbol{1.96\,\mathrm{N}}$

(2)　浮力は周囲の水からガラス球にはたらくので，その反作用は，**ガラス球から水にはたらいている。**

(3)　水の入ったビーカーは，下向きに浮力の反作用と重力，上向きに台はかりからの垂直抗力 N[2]←を受けているので，力のつりあいより

$N-F-6.86=0$　　よって　$N=F+6.86=1.96+6.86=8.82\,\mathrm{N}$

垂直抗力 N の反作用が，台はかりに加わる力[2]←である。よって　**8.82 N**

←〔1〕 ばねはかりが示す重さは，外力がばねを引く力の大きさを表している。その反作用がばねからの弾性力である。

←〔2〕 台はかりの針が示す重さは，ビーカーが台はかりを下に押している力の大きさを表している。その反作用が垂直抗力 N である。

22

考え方

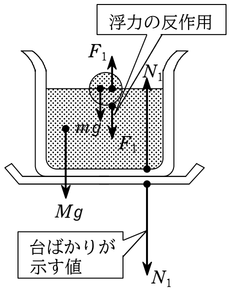
物体が液体に浮かぶときは，浮力と重力がつりあっている。浮力の反作用は液体に作用する。その分が台ばかりの目盛りに加わることになる。(2) の台ばかりの目盛りは浮力によらず，単純に水，ビーカー，小球を合わせた重さになる。(4) では，結果としてばねを押している力 kx が加わることになる。

解　答

(1)　小球には右図のように力がはたらく。鉛直上向きを正として，つりあいの式より

$F_1 - mg = 0$

よって　$F_1 = \boldsymbol{mg}$



(2)　水は浮力の反作用として下向きに大きさ F_1 を受ける。また，台ばかりから大きさ N_1 の垂直抗力を受けるとする。水とビーカーを一体とみなして，つりあいの式をたてると

$N_1 - Mg - F_1 = 0$

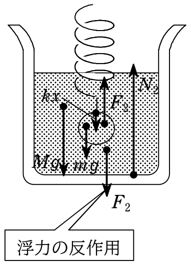
台ばかりの目盛りは N_1 の大きさを示すから，

$N_1 = Mg + F_1 = Mg + mg = (\boldsymbol{M+m})\boldsymbol{g}$

(3)　大きさ kx のばねの弾性力は小球に下向きにはたらく。小球についてのつりあいの式は

$F_2 - mg - kx = 0$

よって　$F_2 = \boldsymbol{mg + kx}$



(4)　水とビーカーを一体とみなし，台ばかりから大きさ N_2 の垂直抗力を受けるとすると，N_2 が台ばかりの目盛りを示す。つりあいの式は

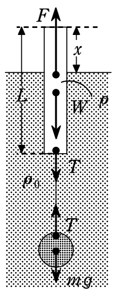
$N_2 - Mg - F_2 = 0$

よって　$N_2 = Mg + F_2 = Mg + mg + kx$

$\qquad = (\boldsymbol{M+m})\boldsymbol{g} + \boldsymbol{kx}$

23

問 1　浮きにはたらく力は，重力 W と浮力 F および，おもりにつながる糸の張力 T であり，これらがつりあっている。浮き全体の質量は ρSL，水面下にある部分の体積は $S(L-x)$ だから，同体積の水の質量は $\rho_0 S(L-x)$ である。



重力加速度の大きさを g とすると，3 力のつりあいの式

$F - W - T = 0$　より

$\rho_0 S(L-x)g - \rho SLg - T = 0$　…… ①

おもりにはたらく力のつりあいの式

$T - mg = 0$　より　$T = mg$

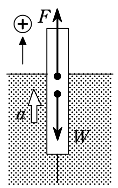
であるから，① 式は

$\rho_0 S(L-x)g - \rho SLg - mg = 0$

よって　$L - x = \dfrac{\rho L}{\rho_0} + \dfrac{m}{\rho_0 S}$

ゆえに　$x = \left(1 - \dfrac{\rho}{\rho_0}\right)L - \dfrac{m}{\rho_0 S}$

問 2　浮きに生じる加速度を a とする。糸が切れた直後，浮きにはたらく力は F と W であるから，鉛直上向きを正の向きとして運動方程式をたてると



$\rho SLa = F - W$

問 1 のつりあいの式より

$F - W = T = mg$

よって　$\rho SLa = mg$

ゆえに　$a = \dfrac{mg}{\rho SL}$

注意　水中の物体にはたらく浮力は，物体が排除した水の重さ，すなわち水中の物体の体積と同体積の「水」にはたらく重力と同じ大きさである。したがって，計算に用いる密度は ρ ではなく ρ_0 である。

24

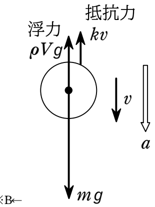
指針　(1)　落下するのは，物体にはたらく重力が浮力※A← より大きいときである。

(2)　物体には下向きに重力，上向きに浮力と抵抗力がはたらく。

(3)　速度が v_f になるのは，(2) で求めた加速度 a が 0 になるときである。

解説　(1)　$mg > \rho Vg$　　したがって　$\rho < \dfrac{\boldsymbol{m}}{\boldsymbol{V}}$

(2)　物体には，図のように，重力 mg，浮力 ρVg，抵抗力 kv がはたらくから，下向きを正として運動方程式をかくと



$ma = mg - \rho Vg - kv$

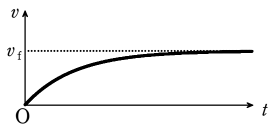
したがって　$a = \left(\boldsymbol{1 - \dfrac{\rho V}{m}}\right)\boldsymbol{g} - \dfrac{\boldsymbol{kv}}{\boldsymbol{m}}$

(3)　速度が v_f になるのは $a = 0$ のときだから

$\left(1 - \dfrac{\rho V}{m}\right)g - \dfrac{kv_\mathrm{f}}{m} = 0$　　よって　$v_\mathrm{f} = \dfrac{(\boldsymbol{m - \rho V})\boldsymbol{g}}{\boldsymbol{k}}$ ※B←

←※A　体積 V の物体が，密度 ρ の流体から受ける浮力の大きさは ρVg である。

←※B　落下が進むにつれて，v は大きくなり，a は小さくなるので，v-t 図は下図のようになる。



25

問 1　$\theta = \theta_1$ のとき，物体 A には最大摩擦力がはたらく。このとき，各物体にはたらく力は図 a のようになり，つりあっていると考えられる。物体 A の斜面に平行な方向および垂直な方向の力のつりあいの式は

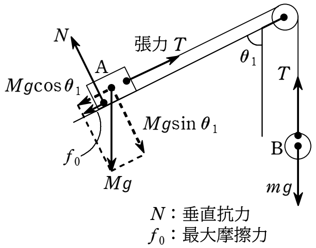


図 a

$T - Mg\cos\theta_1 - f_0 = 0$　…… ①

$N - Mg\sin\theta_1 = 0$　…… ②

また，物体 B にはたらく力のつりあいの式は

$T - mg = 0$　…… ③

②，③ 式より

$N = Mg\sin\theta_1$

$T = mg$

最大摩擦力 $f_0 = \mu N$ であるから，① 式より

$mg - Mg\cos\theta_1 - \mu Mg\sin\theta_1 = 0$

$mg = Mg(\cos\theta_1 + \mu\sin\theta_1)$

よって　$\dfrac{m}{M} = \cos\theta_1 + \mu\sin\theta_1$

問 2　2 物体に生じる加速度を a，物体 A にはたらく動摩擦力を f' として，各物体の運動方程式を立てると次のようになる。

A：$Ma = T' - f'$　…… ④

B：$ma = mg - T'$　…… ⑤

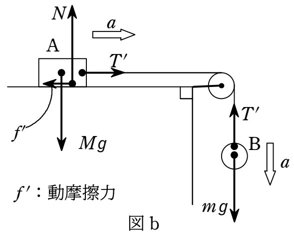


図 b

物体 A にはたらく鉛直方向の力のつりあいより　$N - Mg = 0$

これと「$f' = \mu' N$」より　$f' = \mu' N = \mu' Mg$

④ 式＋⑤ 式 より

$(m+M)a = mg - f' = mg - \mu' Mg$　　よって　$a = \dfrac{(m - \mu' M)g}{m+M}$

等加速度直線運動の式「$v^2 - v_0{}^2 = 2ax$」より，物体の移動距離 $x = h$ のときの速さ v は

$v^2 = 2 \times \dfrac{(m-\mu' M)g}{m+M} \times h$　　ゆえに　$v = \sqrt{\dfrac{2gh(m-\mu' M)}{m+M}}$

別解　全体の力学的エネルギーの変化は，非保存力 (動摩擦力) がする仕事に等しいことを用いて解くこともできる。$x = h$ での速さを v として

$\dfrac{1}{2}Mv^2 + \dfrac{1}{2}mv^2 - mgh = -f'h = -\mu' Mgh$　　ゆえに　$v = \sqrt{\dfrac{2gh(m-\mu' M)}{m+M}}$