

1 10障害物がある場合の斜方投射［2010 中央大］

次の文章の空欄にあてはまる式を解答群の中から選べ。

図1のように $x=0$，$y=0$ の位置から角度 θ，初速度の大きさ v で，時刻 $t=0$ のとき打ち出された物体の運動を調べる。物体は小さく，以下ではその大きさは無視できるものとする。また空気抵抗は無視する。重力加速度の大きさを g と書けば，時刻 t での物体の水平方向の位置は $x=\boxed{\text{ア}}$，鉛直方向の位置は $y=\boxed{\text{イ}}$ である。この結果から物体の軌道の式を求めると，$y=\boxed{\text{ウ}}$ となる。これらの式から物体の最高点の高さ $H=\boxed{\text{エ}}$，水平到達距離 $L=\boxed{\text{オ}}$ が得られる。

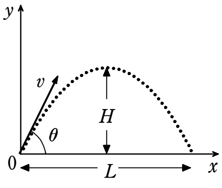


図1

次に図2のように高さ H_0 の位置に長さ L_0 の障害物ABがある場合を考える。ABに当たらないようにして，物体を L_0 以上の距離まで飛ばすための条件を求めよう。ただし，L_0 は H_0 より十分大きいとする。そのため，θは小さい値に選ぶ必要があるので，以下では近似式$\sin\theta \fallingdotseq \theta$ と $\cos\theta \fallingdotseq 1$ を使う。この近似式を使うと y と xの関係は $y=\boxed{\text{カ}}$ となる。

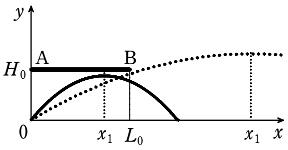


図2

$x=0$，$y=0$ の位置から角度 θ，初速度の大きさ v で打ち出された物体が最高点に達したときの x 座標を x_1 とする。図2の実線で示した軌道のように $x_1 \leqq L_0$ となる場合には，$H \geqq H_0$ であると AB に当たってしまう。ABに当たらないための θ の条件は，$\theta_1=\boxed{\text{キ}}$ で与えられる角度 θ_1 より小さいことである。初速度の大きさ v を大きくして図2の点線で示した軌道のように $x_1>L_0$ となる場合には，ABに物体が当たらない条件は，$x=L_0$ での物体の y の値が H_0 より小さいことである。これから，この場合の θ の上限 θ_2 は $\theta_2=\boxed{\text{ク}}$ となる。一方，水平到達距離 L が $L>L_0$ となるためには，θ の値は，$y=$(カ) の式で $x=L_0$，$y=0$ として求めた角度 $\theta_3=\boxed{\text{ケ}}$ よりも大きくなければならない。

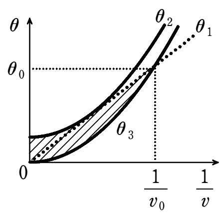


図3

横軸に初速度の大きさの逆数 $\dfrac{1}{v}$，縦軸に θ をとって，θ_1，θ_2，θ_3 をグラフにすると図3のようになる。図中の斜線で示した領域内の θ，v で物体を打ち出せば，ABに当たらずに L_0 以上の距離を飛ばすことができる。

図3の点線で示した θ_1 と実線 θ_3 の交点を$\dfrac{1}{v}=\dfrac{1}{v_0}$，$\theta=\theta_0$ とする。v_0 を求めると $v_0=\boxed{\text{コ}}$ である。この v_0 で物体を打ち出すとき，角度を θ_0 にすれば，物体は AB をかすめて L_0 に到達する。しかし，θ が θ_0 から少しでもずれると $L<L_0$ になるか，AB に当たってしまう。初速度の大きさを増して $v>v_0$ にすれば，成功するための角度 θ に幅ができる。図3からわかるように，$\Delta\theta$ の最大値 $\Delta\theta_{\mathrm{m}}$ は $\theta_2-\theta_3$ であるから，$\Delta\theta_{\mathrm{m}}=\boxed{\text{サ}}$ である。

［解答群］

(ア) に対するもの

① t　② vt　③ $v(\cos\theta)t$　④ $v(\sin\theta)t$　⑤ $v(\cos\theta)t^2$　⑥ $v(\sin\theta)t^2$

(イ) に対するもの

① $\left(-\dfrac{1}{2}g+v\cos\theta\right)t^2$　② $-\dfrac{1}{2}gt^2+v(\sin\theta)t$　③ $-\dfrac{1}{2}gt^2$

④ $-\dfrac{1}{2}gt^2+v(\cos\theta)t$　⑤ $\left(-\dfrac{1}{2}g+v\sin\theta\right)t^2$　⑥ $-\dfrac{1}{2}gt^2+vt$

(ウ) に対するもの

① $-\dfrac{1}{2}\dfrac{g}{v^2\cos^2\theta}x^2+\dfrac{\sin\theta}{\cos\theta}x$　② $-\dfrac{1}{2}\dfrac{g}{v^2\cos^2\theta}x^2$　③ $(\cos\theta)x$

④ $-\dfrac{1}{2}\dfrac{g}{v^2\sin^2\theta}x^2+(\cos\theta)x$　⑤ $-\dfrac{1}{2}\dfrac{g}{v\sin\theta}x^2+(\sin\theta)x$　⑥ $-\dfrac{1}{2}\dfrac{g}{v^2}x^2+x$

(エ) に対するもの

① $g\cos\theta$　② $\dfrac{g\sin^2\theta}{2v^2}$　③ $\dfrac{g\cos\theta}{2v^2}$　④ $\dfrac{2v^2\sin\theta}{g}$　⑤ $\dfrac{v^2\cos^2\theta}{2g}$

⑥ $\dfrac{v^2\sin^2\theta}{2g}$

(オ) に対するもの

① $2g\sin\theta$　② $\dfrac{g\sin^2\theta}{2v^2}$　③ $\dfrac{g\sin\theta\cos\theta}{2v^2}$　④ $\dfrac{2v^2\sin\theta\cos\theta}{g}$

⑤ $\dfrac{2v^2\cos^2\theta}{g}$　⑥ $\dfrac{2v^2\sin^2\theta}{g}$

(カ) に対するもの

① θx　② $-\dfrac{1}{2}\dfrac{g}{v^2\theta}x^2$　③ $\dfrac{1}{2}\dfrac{g}{v^2\theta^2}x^2+\theta x$　④ $-\dfrac{1}{2}\dfrac{g}{v^2\theta}x^2+x$

⑤ $-\dfrac{1}{2}\dfrac{g}{v\theta^2}x^2+\theta x$　⑥ $-\dfrac{1}{2}\dfrac{g}{v^2}x^2+\theta x$

(キ) に対するもの

① $\sqrt{2gH_0}\dfrac{1}{v}$　② $\sqrt{2gH_0}\left(\dfrac{1}{v}\right)^2$　③ $\sqrt{gH_0}\dfrac{1}{v}$　④ $\sqrt{gH_0}\left(\dfrac{1}{v}\right)^2$

⑤ $2gH_0\dfrac{1}{v}$　⑥ $2gH_0\left(\dfrac{1}{v}\right)^2$

(ク) に対するもの

① $gL_0\left(\dfrac{1}{v}\right)^2+\dfrac{H_0}{L_0}$　② $\dfrac{gL_0}{2}\left(\dfrac{1}{v}\right)^2-\dfrac{L_0}{H_0}$　③ $\dfrac{gL_0}{2}\left(\dfrac{1}{v}\right)^2+\dfrac{H_0}{L_0}$

④ $\dfrac{gL_0}{2}\dfrac{1}{v}-\dfrac{H_0}{L_0}$　⑤ $\dfrac{gL_0}{2}\dfrac{1}{v}+\dfrac{L_0}{H_0}$　⑥ $gL_0\dfrac{1}{v}-\dfrac{H_0}{L_0}$

(ケ) に対するもの

① $gL_0\left(\dfrac{1}{v}\right)^2$　② $\dfrac{gL_0}{2}\left(\dfrac{1}{v}\right)^2$　③ $\dfrac{gL_0}{2}\left(\dfrac{1}{v}\right)^2-\dfrac{H_0}{L_0}$

④ $\dfrac{gL_0}{2}\dfrac{1}{v}-\dfrac{H_0}{L_0}$　⑤ $\dfrac{gL_0}{2}\dfrac{1}{v}$　⑥ $gL_0\left(\dfrac{1}{v}\right)^2-\dfrac{L_0}{H_0}$

(コ) に対するもの

① $\sqrt{\dfrac{g}{2H_0}}$　② $\sqrt{\dfrac{2H_0}{g}}$　③ $\sqrt{\dfrac{g}{2L_0}}\dfrac{H_0}{2}$　④ $\sqrt{\dfrac{g}{2H_0}}\dfrac{L_0}{2}$

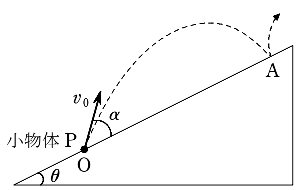
⑤ $\dfrac{\sqrt{g}}{2H_0}$　⑥ $\dfrac{\sqrt{g}}{2L_0}$

(サ) に対するもの

① $\dfrac{L_0}{H_0}$　② $\dfrac{H_0}{L_0}$　③ $\sqrt{\dfrac{H_0}{L_0}}$　④ $\sqrt{\dfrac{L_0}{H_0}}$　⑤ $\dfrac{2H_0}{L_0}$　⑥ $\dfrac{L_0}{2H_0}$

2 斜面への斜方投射［名古屋工業大］

図に示すように水平から角度 θ［rad］$\left(0<\theta<\dfrac{\pi}{2}\right)$ だけ傾き，地面に固定された斜面がある。斜面の傾斜角 θ は任意の角度に変えることができる。この斜面上の点 O から斜面の上に向かって小物体 P を空中に打ち上げた。物体は放物運動をした後，点 A で斜面と衝突し，はねかえった。斜面に対する打ち上げの角度を α［rad］，打ち上げ時の小物体 P の速さを v_0［m/s］，重力加速度の大きさを g［m/s^2］として以下の (1) から (6) に答えよ。



ただし $0<\theta+\alpha<\dfrac{\pi}{2}$ とする。

(1)　小物体 P を打ち上げてから点 A において斜面に衝突するまでの時間を求めよ。

(2)　点 O と点 A の距離を求めよ。

斜面の傾斜角を $\theta=\dfrac{\pi}{4}$ rad に固定した。

(3)　打ち上げの角度 α を変化させながら何度もくり返しこの実験を行った。$\alpha=\alpha_1$ で打ち上げた場合，点 O と点 A の距離が最大となった。α_1［rad］を求めよ。

$\theta=\dfrac{\pi}{4}$ rad に固定し，角度 $\alpha=\alpha_2$ で打ち上げた場合，点 A で小物体 P は斜面に対して垂直に衝突した。

(4)　このときの $\tan\alpha_2$ を求めよ。

(5)　小物体 P は斜面に垂直に衝突してはねかえったところ，速さが $\dfrac{1}{2}$ 倍になった。その後落下して再び斜面に衝突した。1回目に衝突してから2回目に衝突するまでの時間を求めよ。

(6)　2回目の衝突地点 B と点 A の間の斜面にそって測った距離を求めよ。

3 17力学的エネルギーと水平到達距離の関係［2017 神戸大］

図 1 のように，なめらかな水平面上にばねが置かれ，ばねの右端は壁に固定されている。ばねの左端に小物体を置いて，自然の長さからばねを長さ L だけ縮めてから，静かにはなした。その後，小物体は水平面から飛び出し，水平面の端から点 P までのちょうど半分の地点に落下した。次の問いに答えよ。なお，小物体の大きさと空気抵抗はないものとする。また，文中に与えられた物理量のほかに解答に必要な物理量があれば，それらを表す記号はすべて各自で定義し，明示せよ。

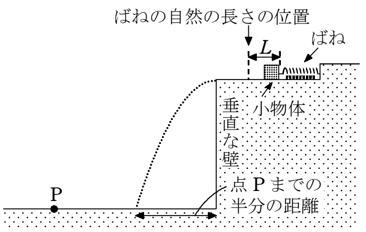


図 1

(1) 小物体が水平面から飛び出す瞬間の時刻を $t=0$ としたとき，$t=0$ と $t=T$ での小物体の位置がそれぞれ黒丸で図 2 中にかかれている。$t=2T$ と $t=3T$ での小物体の位置を黒丸ではっきりとわかるように，それぞれ図 2 中にかけ。

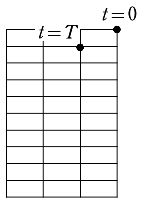


図 2

(2) 自然の長さからばねを長さ L だけ縮めてからはなしたとき，小物体がばねから離れる瞬間の速さを V_L とする。小物体を点 P まで飛ばすためには，水平面から小物体が飛び出す瞬間の速さを，V_L の何倍にする必要があるかを答えよ。

(3) 小物体を点 P まで飛ばすためには，ばねを自然の長さからどれだけの長さ縮めてから，小物体をはなせばよいかを求めよ。

(4) 次に，図 3 の斜線部分 ▨ を表面のあらい水平面に置きかえた。ばねを自然の長さから長さ x だけ縮めてから小物体をはなしたところ，小物体は水平面から飛び出していった。このとき，小物体はあらい水平面上で等加速度運動することを説明せよ。また，小物体がばねから離れる瞬間の速さを V_x，小物体が水平面から飛び出す瞬間の速さを V_x' としたとき，$(V_x')^2-(V_x)^2$ はばねを縮める長さ x によらず一定であることを説明せよ。

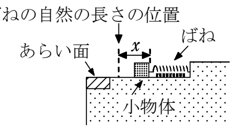


図 3

(5) 図 4 のように，自然の長さからばねを長さ L だけ縮めてからはなしたとき，小物体は水平面の端から点 P までの $\frac{1}{4}$ の地点に落下した。次に，ばねを自然の長さから長さ X だけ縮めてからはなしたところ，小物体はちょうど点 P まで到達した。V_L，V_L' を (4) の設問で x を L として定義される速さ，V_X，V_X' を (4) の設問で x を X として定義される速さとする。このとき，V_L'，V_X'，V_X をそれぞれ V_L で表せ。また，$\frac{X}{L}$ を求めよ。

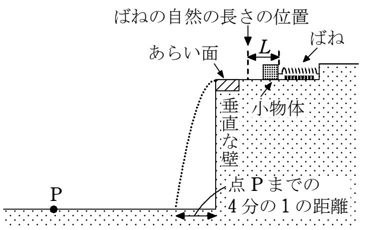
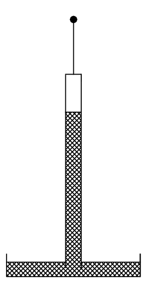


図 4

4 08トリチェリの真空［2008 立教大］

次の文の空所 ［ア］，［イ］ にあてはまる最も近い数値を，それぞれ対応する ①～⑥ から 1 つずつ選べ。

一端を閉じた底面の半径が 1.00 cm のガラス管を水銀で満たし，図に示すように，上端をひもでつり下げて水銀の入った容器中に倒立させた。このとき，ガラス管の下側の底面と容器の底は離れており，ガラス管の内側上方に水銀で満たされていない空間ができた。この空間はトリチェリの真空とよばれ，水銀の蒸気で満たされているが，ここでは，この空間の圧力を 0 とみなしてよいものとする。また，ガラス管の質量と肉厚は無視できるものとし，重力加速度の大きさを 9.80 m/s^2，水銀の密度を 13.6 g/cm^3，円周率を 3.14 とする。



ガラス管内外の水銀面の高さの差が 740 mm であったとすれば，このときの大気圧が ［ア］ Pa であることがわかる。また，ひもの張力の大きさは，ガラス管の上面に上下からかかる圧力の差から求めることができ，その値は ［イ］ N である。

［解答群］

［ア］：① 9.73×10^4　② 9.73×10^5　③ 9.86×10^4　④ 9.86×10^5　⑤ 1.01×10^5　⑥ 1.01×10^6

［イ］：① 31.0　② 310　③ 31.8　④ 318　⑤ 32.6　⑥ 326

5 17台車上の小球の運動と慣性力［2017 千葉大］

図 1 のように，水平な床と傾きが θ をなす斜面をもつ質量 M の直角三角形の台車 B の上に，質量 m の小球 A を静かにのせた。小球 A が台車 B の斜面上をなめらかに動く場合を考える。台車 B もまた，車輪を介して床を水平方向になめらかに動くことができる。鉛直下向きの重力加速度の大きさを g とし，床面の水平方向について右向きを，斜面にそった方向について下向きを，それぞれ正とする。次の問いに答えよ。

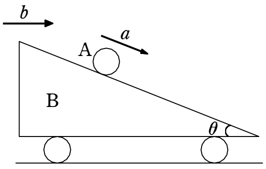


図 1

車輪をロックして台車を床上で固定した場合について，小球 A の運動を考えてみよう。

(1) 小球 A の斜面にそった方向の加速度を g，θ を用いて表せ。

(2) 小球 A が斜面から受ける垂直抗力の大きさを m，g，θ を用いて表せ。

車輪のロックを外し，台車 B が図 1 の矢印のように，水平方向に一定の加速度 b で運動をするように外部から力を加えた。台車 B の等加速度直線運動は，台車の上の小球の運動に影響を与える。このとき，小球 A は斜面上を下に移動していた。台車 B に乗った観測者から見た立場で，斜面上の小球Aの運動について考えてみよう。

(3) 小球 A にはたらく重力，垂直抗力，慣性力の向きを図 2 に矢印を用いて図示せよ。

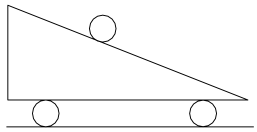


図 2

(4) 台車に乗った観測者から見た立場で，小球 A の斜面にそった方向のみかけの加速度を a とする。小球 A の斜面にそった方向の運動方程式を，a，b，m，g，θ を用いて表せ。

(5) 小球 A が斜面から受ける垂直抗力の大きさ N を b，m，g，θ を用いて表せ。

台車 B の加速度が b_0 のとき，小球 A は斜面の上で等速直線運動をした。

(6) 台車 B の加速度 b_0 を g，θ を用いて表せ。

台車に外部から力を加えるのをやめて，自由に動ける台車 B が静止している。いま，小球 A を台車 B の斜面上に静かに置く。その後の台車 B と小球 A の等加速度運動について考えてみよう。斜面が小球 A に与える垂直抗力の反作用として，台車 B には小球からの力がはたらく。

(7) 台車に乗った観測者から見た立場で，小球Aにはたらく重力，斜面から受ける垂直抗力，小球 A にはたらく慣性力の向きを図 3 に矢印を用いて図示せよ。

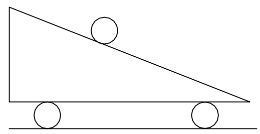


図 3

(8) 床の上にいる観測者から見た立場で，台車 B の運動について考える。台車 B の加速度を b_1，台車 B がその斜面上で小球 A から受ける斜面垂直方向の力の大きさを N_1 とする。台車の運動方程式を，b_1，M，N_1，θ を用いて表せ。

(9) 床の上にいる観測者から見た立場で，台車の加速度の大きさを，M，m，g，θ を用いて表せ。

6 13浮力と慣性力［2013 同志社大］

次の文中の空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{コ}}$ に当てはまる式を記せ。ただし，重力加速度の大きさを g とする。

図１のように，一様な軽い棒 AB を AO：OB＝1：2 の比に内分する点 O でつり下げる。同じ質量の２つのおもり P と Q をばね定数 k の軽いばねでつなぎ，P を軽い糸で棒の端点 A からつり下げる。端点 B に，一様な密度の物質でできた，一様な太さの棒状のおもり R を軽い糸でつり下げたところ，AB は水平となって静止した。このときの P をつり下げる糸の張力の大きさを T とすると，P の質量は $\boxed{\text{ア}}$ で，ばねの伸びは $\boxed{\text{イ}}$ であり，R の質量は $\boxed{\text{ウ}}$ である。

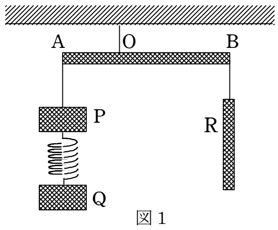


図１

次に，図２のように，容器に入った密度 ρ の液体中に，おもり Q の全体とおもり R の一部を沈めた。おもり P と Q との間に液面があり，R の体積の $\frac{2}{5}$ が液体中に入った所で棒 AB は水平となって静止した。糸やばねの体積は無視できるとし，Q にはたらく浮力の大きさを F とすると，おもり Q の体積は $\boxed{\text{エ}}$ であり，ばねの伸びは液中に沈める前より $\boxed{\text{オ}}$ だけ小さくなる。また，R をつり下げる糸の張力の大きさは $\boxed{\text{カ}}$ であり，R の密度は $\boxed{\text{キ}}$ である。

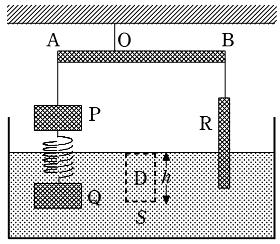


図２

図２の装置全体を，大きさ a の一定の加速度で鉛直に上昇するエレベーターの中に入れる。このときの各部にはたらく力をエレベーター内の観測者から見てみよう。図２の液体中の点線で囲まれた部分 D は，底面積 S，高さ h の柱状の領域である。観測者にとっては，液体は静止していて，D 内の液体にはたらく大気圧による力と重力と慣性力の和は，まわりの液体から受ける力とつりあっている。その慣性力の大きさは $\boxed{\text{ク}}$ である。また，まわりの液体が D を押す力のうち側面を押す力はつりあっている。これらのことから，大気圧を p_0 とすると，液面から深さ h の位置における液体の圧力が $\boxed{\text{ケ}}$ であることがわかる。したがって，Q が容器の底に接触することもなく液体中で静止していれば，大きさ a の加速度のために，ばねの伸びは $\boxed{\text{コ}}$ だけ大きくなる。

7 15斜面上の物体の運動と水平面上の台の運動［2015 関西学院大］

図１のような，水平となす角が θ のなめらかな斜面となめらかな鉛直面からなる質量 M の台 A を考え，その斜面上に質量 m の小物体 B を置く。この小物体 B に軽くて伸びない糸の一端をつなぎ，それをこの斜面の上端に固定された軽くてなめらかに回る滑車に通し，そのもう一方の端に質量 m の小物体 C をつないで，小物体 C を滑車から鉛直につり下げたとき台 A の鉛直面に接するようにする。小物体 B と滑車の間の糸は斜面に平行に保たれ，さらに，小物体 B と C はいずれも台 A の上端または下端に達しないとし，また，重力加速度の大きさを g とおく。空気の影響はないものとして，次の問いに答えよ。

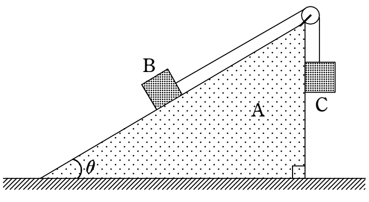


図１

［A］ 図１のように，台 A を水平面上に固定し，小物体 B を斜面上に止めた状態から静かにはなすと，小物体 B と C は動き始めた。このとき，次の問いに答えよ。

(1) 小物体 C は上昇するか，下降するか。

(2) 小物体 C の加速度の大きさを求めよ。

(3) 糸が小物体 B を引く力の大きさを求めよ。

(4) 糸が滑車を通して台 A を押す力の水平方向の成分の大きさを求めよ。

［B］ 図２のように，台 A をなめらかな水平面上に置き，それを水平に一定の力で引くことにより等加速度運動させると，小物体 B が斜面上のある位置に止まったままになった。このとき，次の問いに答えよ。

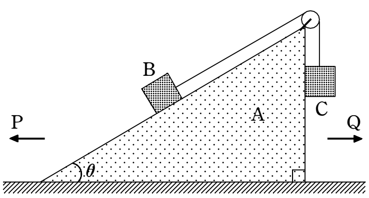


図２

(1) 台 A を引く力の向きは，図２の矢印 P と Q のいずれの向きか。

(2) 台 A の加速度の大きさを求めよ。

(3) 小物体 B が台 A から受ける抗力の大きさを求めよ。

(4) 台 A を引く力の大きさを求めよ。

［C］ 台 A がなめらかな水平面上を自由に動くことができるようにする。さらに，図３のように，小物体 C の右側になめらかな鉛直の壁 D を台 A に固定し，小物体 C が台 A の鉛直面に接しながら台 A に対し上下にのみなめらかに動くようにする。この状況で，小物体 B をその斜面上で動かないように支え，かつ，台 A を水平面上で動かないように支える。この状態から，台 A と小物体 B の支えを同時に静かに外すと，台 A および小物体 B と C は動き始めた。台 A に取りつけた壁 D からなる部分の質量はないものとして，次の問いに答えよ。

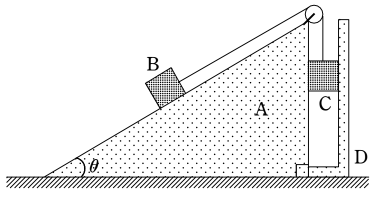


図３

(1) 台 A の加速度の大きさを a_A，また，台 A に対して静止した（台 A とともに動く）観測者から見たときに，小物体 C が鉛直方向に動く加速度の大きさを a_C とするとき，加速度の大きさの比 $\frac{a_C}{a_A}$ を M，m，θ を用いて表せ。

(2) a_C を M，m，g，θ を用いて表せ。

8 16運動する２物体間の摩擦力の変化［2016 同志社大］

次の文中の空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{ク}}$ に当てはまる式を記せ。また，(1) では適切なグラフの概形を図２にかけ。ただし，重力加速度の大きさを g［m/s^2］とする。

図１のように，水平でなめらかな台の上に質量 m_A［kg］の物体Aが置かれ，その上に質量 m_B［kg］の小物体 B が置かれている。A と B の間の静止摩擦係数は μ である。A は軽い定滑車を通して，物体 C と軽い糸でつながれている。また，ばね定数 k［N/m］のばねが，台の右端に固定された板に取りつけられている。この板には穴があけられており，A と C をつなぐ糸は，板とばねに接触することなく，板の穴とばねの中心軸を通っている。

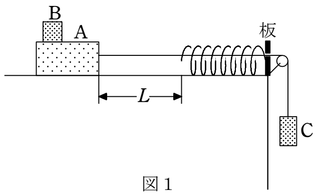


図１

物体 A を，ばねの左端から離れた位置で静止させ，静かにはなすと，A と小物体 B と物体 C はともに，同じ大きさの加速度で動き始めた。A がばねに接触するまでの間，加速度は一定であり，その大きさを a［m/s^2］とする。これより，C の質量は $\boxed{\text{ア}}$［kg］と表され，糸の張力の大きさは $\boxed{\text{イ}}$［N］，A と B の間の摩擦力の大きさは $\boxed{\text{ウ}}$［N］である。B は A の上で動かないことから，A と B の間の静止摩擦係数 μ は $\boxed{\text{エ}}$ 以上であることがわかる。

物体 A が動き始めてから，ばねと接触するまでの間に動いた距離を L［m］とすると，動き始めてから接触するまでの時間は $\boxed{\text{オ}}$［s］である。また，接触する直前の A の運動エネルギーは $\boxed{\text{カ}}$［J］である。

以下では，物体 C の質量を m_C［kg］とし，a を用いずに解答を記せ。

A がばねと接触すると，ばねは A に押されてまっすぐに縮み始め，ばねがある程度縮んだところで小物体 B は A の上をすべり始めた。A がばねと接触してから B がすべり始めるまでの間を考えると，ばねの縮みが x［m］のときに B が A から受ける摩擦力は，水平右向きを正として $\boxed{\text{キ}}$［N］と表される。したがって，B が A の上をすべり始めるのは，ばねが自然の長さから $\boxed{\text{ク}}$［m］短くなったときである。

(1) 物体 A が動き始めてから，小物体 B が A の上ですべり始めるまでの間，B が A から受ける摩擦力の変化を表すグラフの概形を，横軸を A が動いた距離，縦軸を摩擦力として図２にかけ。ただし，摩擦力の正の向きを図１の水平右向きにとり，図２中の F_0［N］は（ウ）で求めた摩擦力を，x_0［m］は（ク）で求めたばねの縮みを表している。

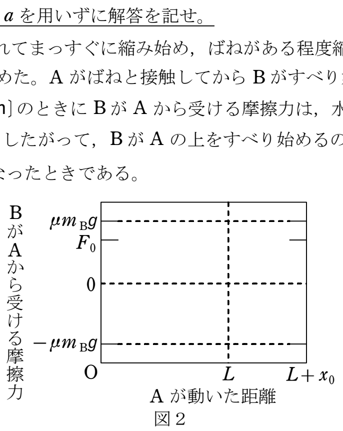
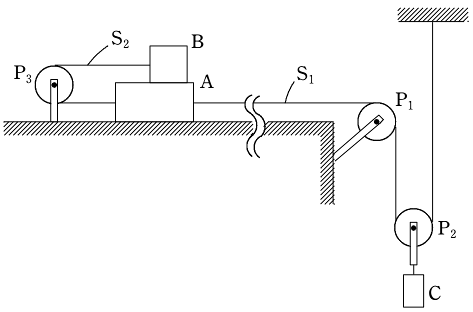


図２

9 09水平面上の２物体と滑車に付けたおもりの運動［2009 法政大］

図に示すように，なめらかで水平な床面に置かれた質量 m の物体 A の水平な上面に，質量 m の物体 B が置かれている。物体 A は，なめらかにまわる軽い定滑車 P_1 と動滑車 P_2 を通した伸び縮みしない糸 S_1 で天井と結ばれている。また，物体 A と物体 B は，なめらかにまわる軽い定滑車 P_3 を通した伸び縮みしない糸 S_2 でつながれている。物体 A と物体 B の間の静止摩擦係数を 0.4，動摩擦係数を 0.2 とする。また，重力加速度の大きさを g とする。



はじめに，動滑車 P_2 に質量 M のおもり C をつけて静かに手をはなしたところ，物体 A，B はそのまま静止していた。

(1) 糸 S_1 の張力の大きさ T_1 を，M，g を用いて表せ。

(2) 糸 S_2 の張力の大きさ T_2 を，M，g を用いて表せ。

(3) 物体 A，B が動きださなかったことから，おもり C の質量 M はある値 M' より小さくなければならない。この M' を m を用いて表せ。

次に，おもり C を質量 $2m$ のおもりにかえて静かに手をはなしたところ，物体 A，B は動き始めた。ここで，物体 A が右向きに動く加速度の大きさを α とする。糸 S_2 でつながれた物体 B が左向きに動く加速度の大きさは同じく α となり，糸 S_1 にかけられている動滑車 P_2 につけたおもり C が下向きに動く加速度の大きさは $\dfrac{\alpha}{2}$ となる。

(4) 物体 A と物体 B の間の摩擦力の大きさを，m，g を用いて表せ。

(5) 糸 S_1 の張力の大きさ T_1 を，m，g を用いて表せ。

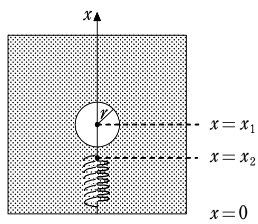
(6) 糸 S_2 の張力の大きさ T_2 を，m，g を用いて表せ。

(7) 物体 A の加速度の大きさ α を，g を用いて表せ。

10 11水中における球の運動［2011 宮崎大］

次の文章を読み，設問に対する答えを求めよ。

水平な台の上に一辺が L［m］のふた付きの軽い立方体の水槽が置かれている。水槽の底面の中心に原点を置き，鉛直上方に x 軸をとる。半径 r［m］の軽い中空の球$\left(\text{体積}\dfrac{4}{3}\pi r^3\right)$と自然の長さ l［m］，ばね定数 k［kg/s^2］の軽いばねをつなぎ，ばねの他端を原点に固定する。この水槽に水を満たし，ふたをする。このとき球は浮力を受けて水槽のほぼ中央に浮かんでいる (図)。重力加速度の大きさを g［m/s^2］，水の密度を ρ［kg/m^3］，水の比熱を c［J/(kg·K)］として次の問いに答えよ。



(3) 以降では，x_1 および x_2 は，そのまま記号として使用してもよい。また，(5) 以降では x_3 をそのまま記号として使用してもよい。

(1) 一様な球や立方体の重心は，それらの中心にある。水槽中の中空の球は x 軸上で静止しているとする。

球の中心位置を x_1 として，水槽全体の重心 x_2 を求めよ。

(2) 球にはたらく浮力とばねによる張力とのつりあい条件から x_1 を求めよ。

(3) (2) のばねに蓄えられたエネルギーを求めよ。

(4) 水槽を台にのせたままエレベーターに固定する。エレベーターが動きだして一定の加速度 a［m/s^2］で上昇を続けた場合，重力に加えて慣性力が作用する。その状態で，十分時間がたった後の球の中心位置 x_3 を求めよ。

(5) (4) のばねに蓄えられたエネルギーを求めよ。

(6) エレベーターが減速して静止したとき，ばねに蓄えられていたエネルギーが水の温度上昇にすべて使われたとする。

水の温度上昇 ΔT［K］を求めよ。

(7) 静止した状態のエレベーターのロープを切り離して，水槽を自由落下させる。自由落下している水槽中の球の状態として最も適切なものを選べ。

① 球は最初下方に動き，振動を始めるが，やがて振動は収まり，ばねは自然の長さになる。

② 球は最初上方に動き，振動を始めるが，やがて振動は収まり，ばねは自然の長さになる。

③ 球は最初下方に動き，振動を始めるが，やがて振動は収まり，ばねはエレベーターが静止していたときの長さにもどる。

④ 球は最初上方に動き，振動を始めるが，やがて振動は収まり，ばねはエレベーターが静止していたときの長さにもどる。

⑤ 球の中心はエレベーターが静止していたときの位置から変化しない。