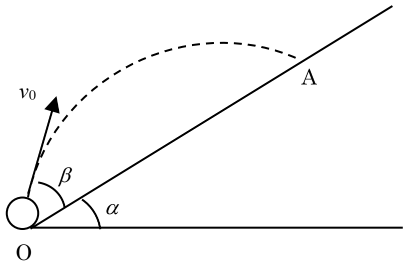
【２】

右図のように，傾角αの斜面上の点Ｏから斜面に対して角度βをなす方向に初速度 v_0 で小球を投げたところ，点Ａに落下した。

（１）点Ａに落下するまでの時間を求めよ。

（２）点Ｏと点Ａの距離を求めよ。



■練習問題■

【１】地上より高さ 78.4m の所から，小球を自由落下させた。

（１）落下し始めてから 2.0 秒後の小球の地上からの高さはいくらか。

（２）40m 落下したときの小球の速さはいくらか。

（３）地上に達するまでの時間はいくらか。また，そのときの速さはいくらか。

【２】小球Ａを自由落下させて 1.0 秒後に小球Ｂを投げ下ろしたところ，Ｂを投げてから 2.0 秒後にＡに追いついた。

（１）ＢはＡに追いつくまでに何 m 落下したか。

（２）そのときのＡの速さはいくらか。

（３）投げ下ろしたＢの初速度の大きさはいくらか。

【３】高さ 120m の所から物体Ａを静かに落とすと同時に，その真下の地面から 30m/s の初速度で物体Ｂを真上に投げ上げた。

（１）ＡとＢはいつ，どこで出会うか。

（２）ＡとＢが出会うときのＢの速度はいくらか。

【４】高さ 78.4m のビルの屋上から，水平方向に 39.2m/s の速度でボールを投げた。有効数字２桁で答えよ。

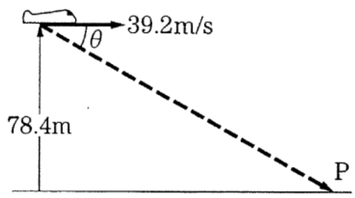
（１）ボールが地面に達するまでの時間はいくらか。

（２）ビルの真下から落下地点までの水平距離はいくらか。

（３）地面に達する直前のボールの速さはいくらか。

【５】鉛直な壁面から水平に 20m 離れた地点から，小球を投げたところ，高さ 10m の壁面上の点に垂直に当たった。小球を投げてから壁面に当たるまでの時間と，投げ出したときの初速度の大きさを求めよ。

【６】地上 78.4m の高さを 39.2m/s の速度で水平飛行している飛行機から荷物を静かに落とし，地上の目標Ｐに命中させたい。有効数字２桁で答えよ。



（１）飛行機から見て，Ｐがどの方向に見えるときに落とせばよいか。図の角θ の tan の値を求めよ。

（２）飛行機から見ると，荷物の運動はどんな運動に見えるか。

（３）荷物がＰ点に落ちたときの速さはいくらか。

【７】高さ 14.7m のビルの屋上から，斜め上方にボールを打ち上げたところ，ボールは地面より最高の高さ 19.6m まで上がり，水平方向には 29.4m の所まで飛んだ。
有効数字 2 桁で答えよ。

（１）ボールの初速度の鉛直成分はいくらか。

（２）ボールが飛んでいた時間はいくらか。

（３）ボールの初速度の水平成分はいくらか。

【いろいろな力とつりあい】

■力の表し方■

○力とは　　：物体に作用してその運動状態や形を変える原因となる働きのこと

○力の三要素：大きさ，向き，作用点（ベクトル量）

○力の図示　：ベクトル

　　　　矢印の長さ：大きさ

　　　　矢印の向き：力の向き

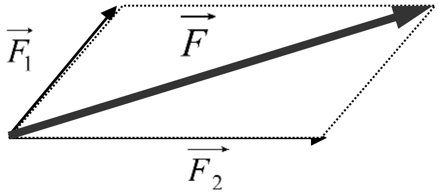
　　　　矢印の始点：作用点

　　　　矢印を含む直線：作用線

○力の単位　：ニュートン(N)

■力の合成・分解■

○力の合成



力 $\vec{F_1}$ と $\vec{F_2}$ を合成すると，$\vec{F} = \vec{F_1} + \vec{F_2}$

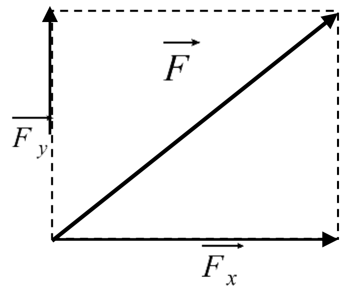
○力の分解

力 $\vec{F}$ を，たがいに垂直な x 軸，y 軸方向の力 $\vec{F_x}$，$\vec{F_y}$ に分解した場合を考える。

$\vec{F}$ の大きさを F，$\vec{F}$ が x 軸の正の向きとなす角を θ とすると，

$$F_x = F\cos\theta, \quad F_y = F\sin\theta$$

で表される。



■力のつり合い■

つりあいの状態：物体が静止または等速直線運動

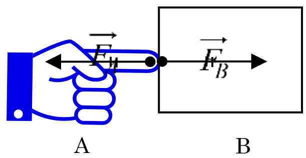
　　　　　　　　　　　⇒　物体にはたらく力の合力が 0 となっている。

①　**１つの物体**に着目

②　すべての力を x 成分，y 成分に分解する。

③　成分ごとに力の合成（ベクトルの和）

■作用反作用の法則■

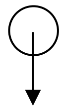


A が B に力 $\vec{F_B}$（作用）をはたらかせると，反対に B は A に同一作用線上で大きさが等しく逆向きの力 $\vec{F_A}$（反作用）を及ぼす。$\vec{F_A} = -\vec{F_B}$

物体間（接している面）に着目　※ただし，遠隔的にはたらく力を除く。

■いろいろな力■

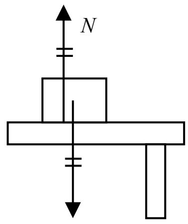
〇重力　　：地球が物体を引く力 $W = mg$[N]（cf.万有引力）
作用点…物体の重心



〇静電気力：２つの帯電体間にはたらく力 $F = k\dfrac{q_1 q_2}{r^2}$ [N]

〇磁気力　：２つの磁石の磁極間にはたらく力 $F = k\dfrac{m_1 m_2}{r^2}$ [N]

〇垂直抗力：接触面が物体を垂直に押す力（力のつり合いで考える）



〇摩擦力　：あらい面と接触しているとき，面に平行な運動を妨げる力

・静止摩擦力　－　物体と面が相対的に静止しているとき

大きさ：0 から最大静止摩擦力 μN まで

（ μ [無名数]：静止摩擦係数…物体間の接触面の状態によって決まる定数）

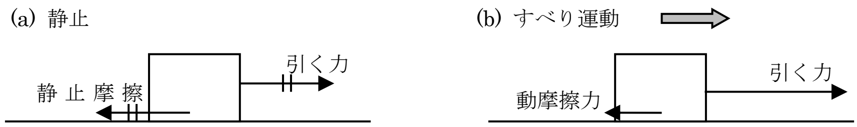
向き　：力のつり合いで考える。

・動摩擦力　－　物体と面が相対的にすべっているとき（＜最大静止摩擦力）

大きさ：$\mu' N$ （ μ' [無名数]：動摩擦係数）

向き　：相対的な運動方向と逆向き

※摩擦のある面をあらい面，摩擦を無視できる面をなめらかな面という。



※摩擦角…面を傾けたとき，物体がすべりだす直前の傾角 θ について $\mu = \tan\theta$

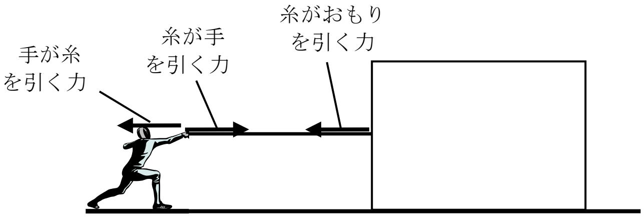
〇粘性抵抗：流体（液体や気体）から受ける抵抗力 $F = kv$

向き　：相対的な運動方向と逆向き

○張力　　：糸が物体を引く力

張力の向き…糸に沿って，物体から糸へ向かう。

※軽い糸…重さが無視できる

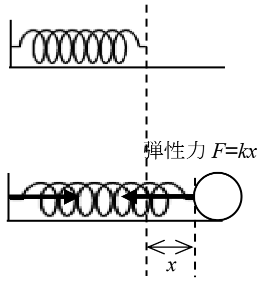


○弾性力　：ばねが自然長から伸びた（縮んだ）とき物体を引く（押す）力 $F=-kx$ [N]（k [N/m]：ばね定数）

弾性力の向き…伸びているときは縮む向き，縮んでいるときは伸びる向き

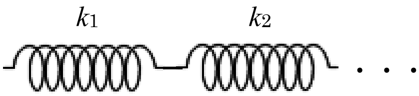
ばね定数 k …ばねの太さに比例し，長さに反比例。

ばねの伸び x …自然長からの伸び（ばね全体の長さやつり合いの位置からの伸び縮みではない。）

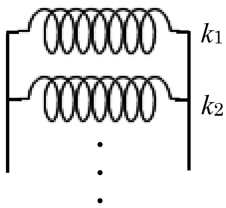


※合成ばね定数について

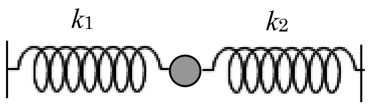
直列



並列



サンドイッチ型



$$\frac{1}{k'}=\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}+\cdots$$

$$k'=k_1+k_2+\cdots$$

$$k'=k_1+k_2$$

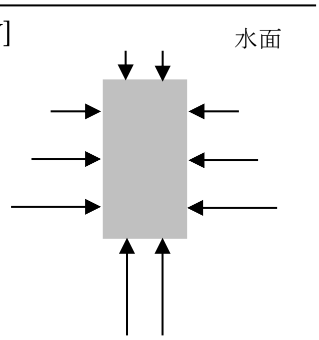
※ばねを半分に切ると？

○浮力　：液体・気体（流体）中の物体を押し上げる力 $F = \rho V g$ [N]

（ρ [kg/m³]：流体の密度，V [m³]：物体の体積）

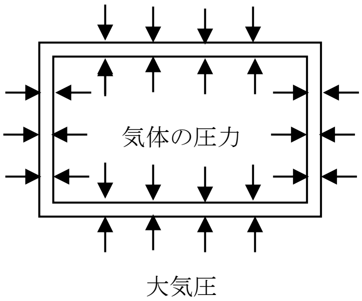
浮力の向き…鉛直の上向き

浮力の大きさ…物体が排除した流体の重さと同じ



■圧力■

単位面積あたりにかかる力 $P = \dfrac{F}{S}$　（単位[N/m²]=[Pa]）



○気体の圧力：容器の壁に垂直で，大きさはどこでも等しい。

大気圧 1atm＝1.013×10^5Pa=760mmHg

○水圧：水の入った容器の壁や底面は，水から押されている。

また，内部でも，水の小部分に着目すれば周囲から押されている。

水圧の向き…容器の壁面には垂直に，水中では，どの方向にも面（仮定した面）に垂直にはたらく。

水圧の大きさ…同じ深さでは，水圧はどの方向にも同じ大きさである。

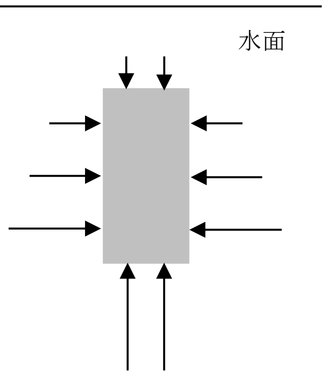
$p = \rho h g$[N/m²]（ρ [kg/m³]：水の密度，h[m]：水深）

○アルキメデスの原理

流体中の物体は，それが排除している流体の重さに等しい大きさの浮力を受ける。

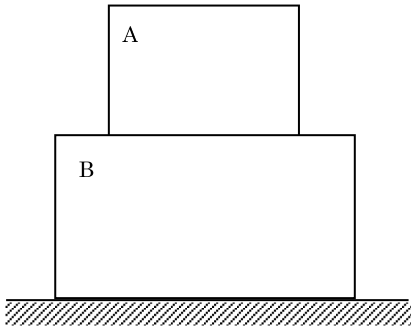
浮力 $F = \rho V g$[N]

※ρ [kg/m³]は流体の密度，V [m³]は物体の流体中にある部分の体積である。



＜例題１＞

図のように，地球から受ける重力の大きさがそれぞれW_AとW_Bの物体 A，B が水平面上に重ねて置かれている。



（1）物体 A，物体 B，水平面にはたらく力を矢印で示し，
それらの力を上から順に，F_1，F_2，F_3，・・・とせよ。

（2）（1）の力は，それぞれ何にはたらく力か。

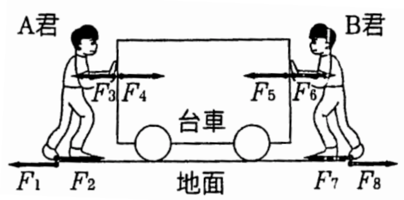
（3）（1）の力はそれぞれ何から受ける力か。

（4）（1）の力のうち，つり合いの関係にあるものを答えよ。
また，作用・反作用の関係にあるものを答えよ。

（5）（1）の力の大きさを，W_A，W_Bを用いて表せ。

＜例題２＞

図の矢印は水平方向の力である。それぞれの力は，何にはたらく力か。また，台車が動かないとき，水平方向のつり合いの関係にある力と，作用・反作用の関係にある力を答えよ。さらに，人や台車が右向きに動き出すとき，力の大小を答えよ。

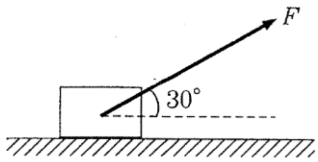


＜例題３＞

板の上に物体をのせ，板を少しずつ傾けていったところ，板の傾きの角が 30°を超えたとき，物体はすべり出した。物体と板との間の静止摩擦係数はいくらか。

＜例題４＞

図のように，水平であらい面をもつ机の上に質量 1.0kg の物体が置いてある。これをひもで引き，水平から上方 30°の向きに力 F を加えた。机の面と物体との間の静止摩擦係数を 0.577($\fallingdotseq 1/\sqrt{3}$)とする。

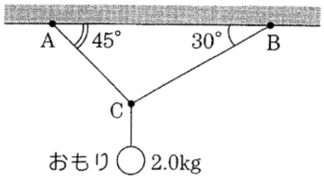


（１）$F = 4.0$[N]の力を加えたところ，物体は動かなかった。物体にはたらく摩擦力の大きさはいくらか。

（２）F の値をいくらより大きくしたとき，物体はすべり出すか。

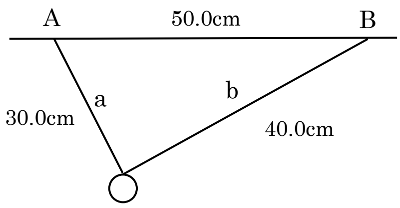
＜例題５＞

図のように，質量 2.0kg のおもりをひもでつり下げた。ひも AC と BC にはたらく力の大きさはそれぞれいくらか。ただし，重力加速度を $9.8\,m/s^2$ とする。



【1】

天井の 2 点 A，B から長さ 30.0cm と 40.0cm の糸 a，b で質量 5.00kg のおもりをつり下げた。AB 間が 50.0cm のとき，糸 a，b の張力 T，S の大きさを求めよ。ただし，重力加速度の大きさを $9.80\,m/s^2$ とする。



＜例題６＞

傾角 30° の斜面上に質量m = 20 kg の物体が静止している。

静止摩擦係数を$\mu = \dfrac{\sqrt{3}}{2}$，$g$ = 9.8 m/s² とする。

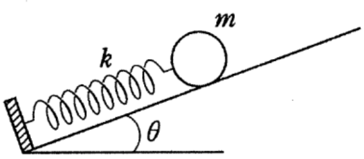
（１）50N の力を斜面に沿って上向きに加えている。静止摩擦力の大きさと向きを求めよ。

（２）斜面に沿って上向きに力を加えても物体が静止し続けるための，力の最大値 f_1 はいくらか。

（３）同様に，斜面に沿って下向きに加える場合の力の最大値 f_2 はいくらか。

（４）斜面に対し 30° 上向きに加えた場合の力の最大値 f_3 はいくらか。

【２】傾きθ のなめらかな斜面の下端にばね定数kのばねの一端をつけ，他端に質量mのおもりをつけて斜面上に置いたら，ばねが少し縮んで静止した。重力加速度の大きさをg とする。

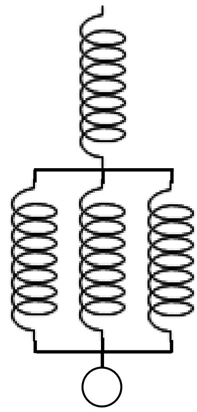


（１）垂直抗力 Nの大きさを求めよ。

（２）ばねが縮んだ長さxを求めよ。

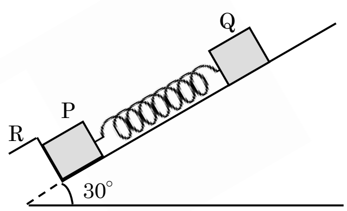
【３】

質量を無視できるばね定数 k [N/m]のばね４本を図のように連結して合成ばねを作った。このばねに質量 m [kg]の物体をつけるとばねののびはいくらか。



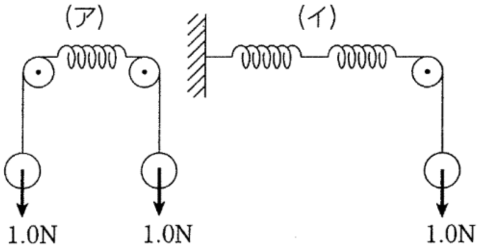
【４】

同じ質量 m の物体 P，Q が軽いばねで結ばれ，傾角 30° のなめらかな斜面上に置かれている。斜面の下端には止め具 R があり，P は図のように R に支えられて静止しており，ばねの長さは l_1 であった。次に，Q を斜面に沿って静かに引き上げたところ，ばねの長さが l_2 になったときに P が R から離れた。

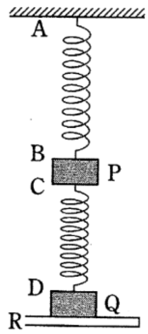


重力加速度の大きさを g とし，このばねの自然の長さ l_0 とばね定数 k を求めよ。

【５】ばね定数 20N/m のばねがある。
右の図(ア)，(イ)の場合，それぞれのばねの伸びはいくらか。



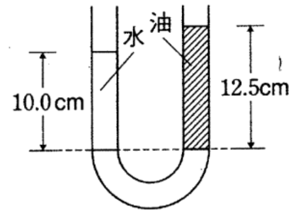
【６】自然の長さ 20cm の軽いつる巻きばね AB の上端を固定し，B に重さ 10N の物体 P を下げたら，AB の長さℓ_1は 24cm になった。次に，P の下に AB と等しいばね CD をつけ，その下に重さ 20N の物体 Q をつけて Q を板 R で支える。AB，CD がつねに１鉛直線上にあるように R を上下に動かして AB が次の長さになるようにしたとき，CD の長さℓ_2と，R が Q を押す力の大きさ Fとを求めよ。



（１）18cm　　（２）20cm　　（３）28cm

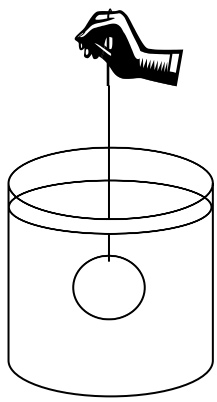
＜例題７＞

一様な太さのＵ字管に入れた水と油が図の位置でつりあっている。水と油の境界面から液面までの高さはそれぞれ 10.0cm，12.5cm である。水の密度を 1.0×10^3kg/m^3 として，油の密度を求めよ。



＜例題８＞

質量 0.40kg の鉄球に糸をつけてつるし，図のように，全体を水の中に沈めた。このとき，糸が鉄球を引く力の大きさを T [N]を求めよ。ただし，水，鉄の密度をそれぞれ 1.0×10^3 kg/m^3 ，8.0×10^3 kg/m^3 とする。



【７】質量 50g のビーカーに水 350mℓ を入れて台ばかりにのせる。密度 1.5g/cm^3，体積 100cm^3 の球をばねばかりにつるし，球を水中でビーカーに触れない位置で静止させたとき，ばねばかり，台ばかりは何 N をさすか。重力加速度の大きさを 9.8m/s^2，水の密度を 1.0g/cm^3 とする。

【８】（2006 年　大阪府立大）

底面積が S [m²]，高さが L [m]の中空の円柱容器に物質を入れて水に浮かべ，浮力の実験を行った。以下，円柱容器に入れた物質も含めて円柱とよぶ。円柱の運動は鉛直方向に限られるものとする。水の密度は深さによらず一定で，円柱の運動にともなう水からの抵抗，水面の変化および円柱容器自身の質量は無視する。ここで，水の密度を ρ_0 [kg/m³]，重力加速度の大きさを g [m/s²]として次の問いに答えよ。

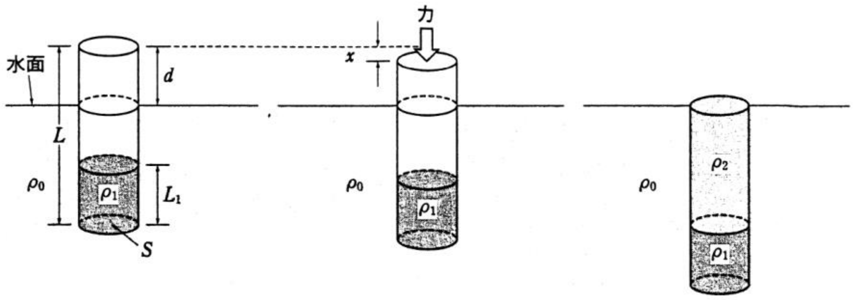


図1　図2　図3

（１）円柱の下部に密度が ρ_1 [kg/m³]（ただし， $\rho_1 > \rho_0$）の物質を高さ L_1 [m]だけ入れて水に浮かべると，図１のように長さ d [m]だけ水面上に出て静止した。このとき円柱が受ける重力の大きさは $\boxed{\quad ア \quad}$ [N]である。水中の物体は，その物体が押しのけた体積の水が受ける重力の大きさに等しい浮力を鉛直上向きに受けるので，円柱が受ける浮力の大きさは $\boxed{\quad イ \quad}$ [N]となる。

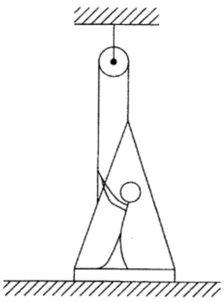
（２）（１）における長さ d [m]を求めよ。

（３）円柱が静止した状態で，図２に示すように上から力を加え，長さ x[m]だけ沈めた。ただし，x は d に比べて十分小さいとする。このとき円柱が受ける重力と浮力の合力の大きさ F [N]を求めよ。

（４）円柱の残りの空間を密度が ρ_2 [kg/m³]（ただし， $\rho_1 > \rho_2$）の物質で完全に満たして水に入れた。このとき，図 ３ のように円柱の上面が水面とちょうど同じ位置になって静止したとする。物質の密度 ρ_2 [kg/m³]を求めよ。

＜例題９＞

図のように，なめらかに動く定滑車に軽い綱を通し，綱の一端に 200N の重力を受ける台をつり下げる。綱の他端を台上に乗った 500N の重力を受ける人が引く。



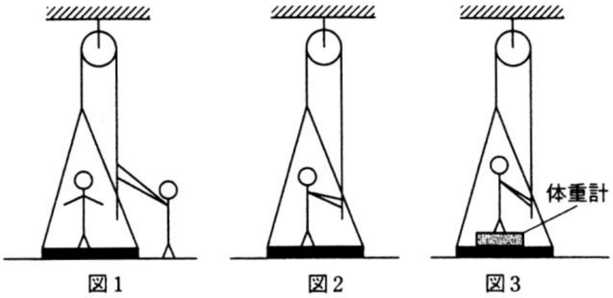
（１）人が綱を引く力の大きさが 100N のとき，人が台を押す力の大きさはいくらか。

（２）（１）のとき，台が地面を押す力の大きさはいくらか。

（３）台が地面から離れるためには，人が綱を引く力の大きさをいくらより大きくしなければならないか。

【９】（2009 年　神戸学院大）

図 1～3 のように，なめらかに回転する滑車が天井に取り付けられ，滑車にかけられたひもの一端には人を乗せた板がつながれている。板の質量は 10.0kg，人の質量は 50.0kg，重力加速度の大きさを 9.80m/s² とする。滑車，ひもの質量は無視できるものとする。



（１）図 1 に示すように，人を乗せた板をつり下げたひもの他端を引き，板を床から浮かせるためには，少なくとも何 N の力が必要か。

（２）図 2 に示すように，板上の人が自分でひもを引き，板を床から浮かすことはできるか。できるのであれば，少なくとも何 N より大きな力で引く必要があるか。

（３）図 3 に示すように，板上に質量 2.00kg の体重計を置き，その上に人が乗った状態とする。自分でひもを静かに引いた場合，人を乗せた板を床から浮かすことができるか。できるのであれば，床から板が離れたときに体重計は何 kg をさしているか。

【いろいろな力と運動方程式】

■慣性の法則■

物体に外部から力がはたらかないとき，または，いくつかの力がはたらいてもそれらの力がつりあっているときは，止まっている物体はいつまでも静止を続け，動いている物体は等速直線運動を続ける。

■運動方程式■

$\vec{F} = m\vec{a}$　　・加速度があるところに力あり。

$\left(F = m\dfrac{d^2x}{dt^2}\right)$　　・加速度の向きと，合成された力の向きは一致。

・物体１つずつに適用すること。(一体となった物体でも可)

運動方程式のたて方

① 各物体ごとに力の図示

② 運動の向きに合わせて座標軸と正の向きを決める

③ 物体にはたらいている力を，加速度の方向とこれに垂直な方向とに分解

④ 加速度の方向にはたらく力を，正負を考慮して，$F = ma$ に代入（垂直方向の確認）

○質量と重さの違い

質量[kg]…物質の量を表し，物体に固有のもので，どこにあっても値が変わらない。

重さ[N]or[kgw]…地球が物体を引く力（重力）の大きさで，場所によって値が異なる。

○ニュートンの運動の３法則　　第一法則…慣性の法則

第二法則…運動の法則（運動方程式）

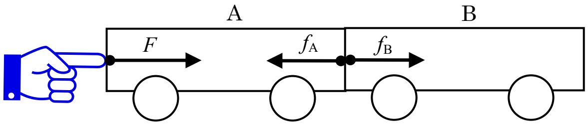
第三法則…作用反作用の法則

○ 離れない条件：離れないとして求めた垂直抗力 $N \geqq 0$

たるまない条件：たるまないとして求めた糸が引く力 $T \geqq 0$

すべらない条件：すべらないとして求めた静止摩擦力 $F \leqq \mu N$

■物体系の運動■



物体系：ひとまとまりとした複数の物体

内力　：物体系内の物体どうしがたがいに及ぼしあっている力。

（右図 A，B を物体系とすると f_A と f_B）

外力　：物体系以外のものから，物体系内の物体にはたらく力

（右図 A，B を物体系とすると F）

○複数の物体が相互に力を及ぼしあう場合における物体の運動方程式の立て方

(ｉ) 原則は，物体１つ１つについて，個別に運動方程式をたてる。

(ⅱ) 一体となった運動の場合，物体系全体をまとめて１つの物体と考えることができる。その際，内力は打ち消しあい，考慮しない。