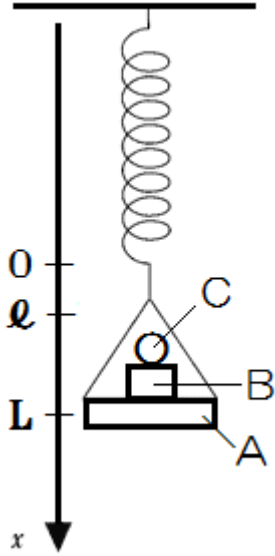


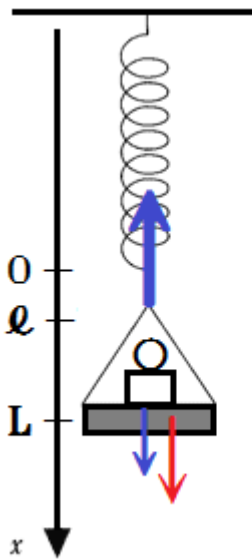
# 1. 力の関係式



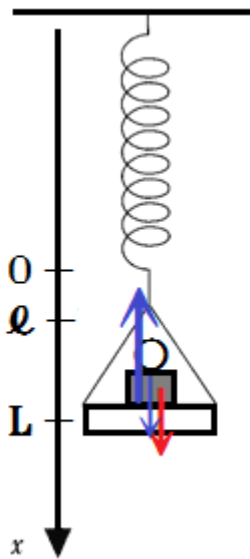
天井から吊り下げられたばね定数  $k$  [N/m] の軽いつる巻きばねの先に質量  $M$  [kg] の薄い板 A が固定されている。この上に質量  $m_1$  [kg] の物体 B、さらにその上に質量  $m_2$  [kg] の球 C を置く。鉛直下向きに  $x$  軸を取り、ばねが自然長のときの板の位置を原点  $O$  とする。 $x = l$  のとき、ばねに取り付けられた物体 A, B, C は静止しており、そこからさらに  $x = L$  までばねを手で伸ばした。

この状態から手を離すと、物体 A, B, C は鉛直上向きに加速度運動することは経験的に把握できるだろう。**物体が加速度運動するのは、そこに力がかかっているためである。** かかっている力の様子を矢印で描き入れるためには、注目する物体は必ず一つに絞り、その物体にかかるすべての力を描かなければならない。

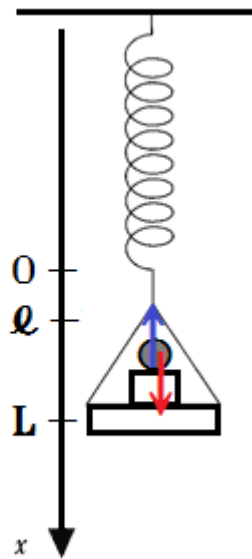
[ A にかかる力 ]



[ B にかかる力 ]



[ C にかかる力 ]

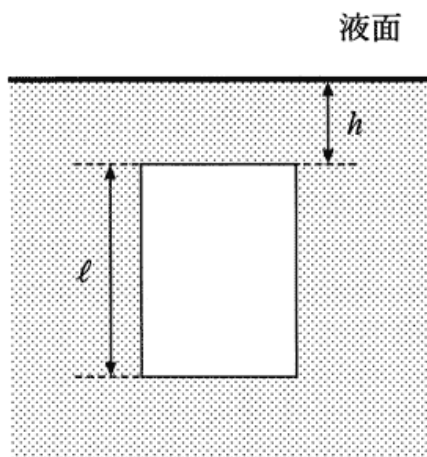


力の矢印には描き順がある。以下の順に描き入れるとミスは軽減されるだろう。

- ① : **場の力** (重力場、電場、磁場による力)
- ② : **接触力** (物に触れているがためにかかる力)
- ③ : **慣性力** (実験装置全体が観測者と同じ加速度運動をしているためにかかる力)

作用・反作用の法則に従い、どことどの矢印の長さが等しいかを確認しながら描くことが大切である。

【1-例】神戸大学 2007 第 1 問



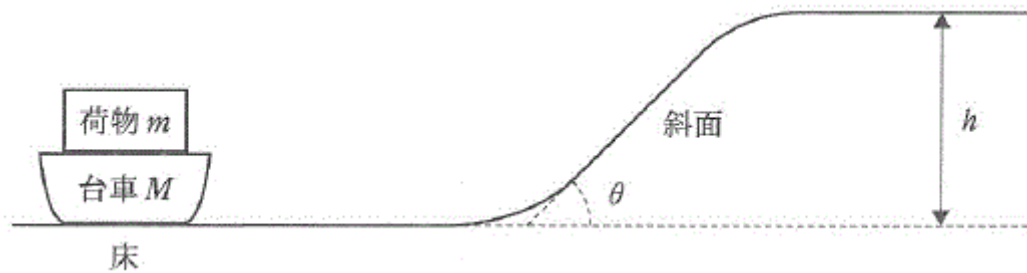
液体中の物体に働く浮力の大きさは、その物体が入ったことで押しのけられた液体が受けていた重力の大きさに等しい。これをアルキメデスの原理と言う。

左図のように、高さ $l$ 、底面積 $S$ 、密度 $\rho$ の円柱形の物体の上面を密度 $\rho_0 (> \rho)$ の液体の液面より $h$ だけ下げて手で固定した。物体は均質で変形せず、液体の密度はいたるところで等しいと仮定する。また、重力加速度は $g$ 、大気圧を $P_0$ とする。

- (1) 図に示した物体の上面および底面にかかる圧力をそれぞれ求めなさい。  
→ 「圧力」 = 「単位面積あたりにかかる力」であることに注目する。  
力について説明するので、やはり力の矢印を描き入れる必要がある。
- (2) 物体の表面全体にかかる圧力を考慮して、アルキメデスの原理が成り立つことを示しなさい。  
→ そもそも浮力は、物体の上面と底面にかかる水圧の差によって生じる。  
(1) を参考にその差を求めると…。
- (3) 図の状態から静かに手を離すと、物体はまっすぐに上昇を始めた。手を離してから物体の上面が液面に達するまでの時間を求めなさい。ただし、物体が液体から受ける抵抗は無視できる。  
→ この上昇は、手によって支えられていた力がなくなり、力の均衡状態が崩れた（力のつりあいがなくなった）ために起こる加速度運動である。その加速度の大きさは運動方程式を立式することで分かる。

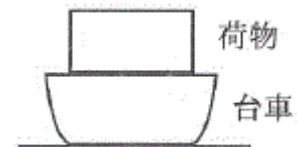
【1-1】 広島大学 2011 第 1 問

下図のように水平な床の上に質量 $M$ の台車を置き、その上に質量 $m$ の荷物をのせた。台車の底面は常に床または斜面から離れることはなく接し、台車と床および台車と斜面の間の摩擦や、台車と荷物に働く空気抵抗は無視できるものとする。また、荷物と台車の間の静止摩擦係数を $\mu$ 、重力加速度大きさを $g$ とする。



上図の水平方向右向きに一定の力で台車を引くと、台車と荷物は一体となって動き出した。台車を引く力の大きさを $F$ 、荷物と台車の間に働く摩擦力の大きさを $f$ とする。

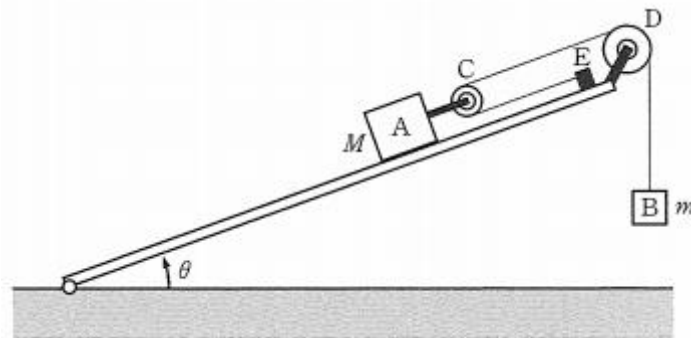
- (1) 台車に働くすべての力を、右図中に明瞭な矢印で表せ。  
ただし、それぞれの矢印には、 $M, m, \mu, g, F, f$ のうちで必要なものを用いて、力の大きさを記せ。



- (2) 水平方向右向きを正の向きとし、荷物および台車の加速度の大きさを $a$ とする。荷物と台車それぞれについての運動方程式を記せ。
- (3) 前問の結果を利用して、摩擦力 $f$ の大きさを、 $M, m, \mu, g, F, f$ のうちで必要なものを用いて表せ。
- (4) 台車の引く力を大きくしたところ、引く力の大きさが $F_1$ になったときに荷物は台車の上を滑り出した。力の大きさ $F_1$ を、 $M, m, \mu, g$ のうちで必要なものを用いて表せ。
- (5) 荷物と台車を最初の位置に戻して静止させた。次に、荷物と台車が一体となって動くような一定の力で、台車を水平方向右向きに引いて、斜面にとどく前にはなした。台車を引いた力の大きさは $F$ である。水平面と角度 $\theta$  ( $0 < \theta < 90^\circ$ )をなす斜面を荷物と台車が一体となって上がっている時に、荷物と台車の間に働く摩擦力の大きさ $f$ を求めよ。

【1-2】信州大学工学部 2010 第 1 問

下図のように、水平面に対して傾き $\theta$ を $0$ から $\pi/2$  [rad]の範囲で変化させることができる斜面があり、物体 A, B が、滑車 C, D および糸を介して結ばれており、糸の一端は斜面上の点 E に固定されている。物体 A, B の質量はそれぞれ  $M$  [kg],  $m$  [kg] であり、物体 A は斜面に沿って運動し、物体 B は鉛直方向に運動する。物体 A と斜面との静摩擦係数は $\mu$ 、動摩擦係数は $\mu'$ 、重力加速度は $g$  [m/s<sup>2</sup>]である。糸および滑車の質量は無視でき、滑車の回転は滑らかであるとする。はじめ、2つの物体は静止しており、この状態から斜面の傾きをゆっくりと大きくしていくと、角度 $\theta$ が $\theta_0$  [rad]を越えたときに、物体 A は斜面に対して下向きに滑り出し、物体 B は鉛直上向きに運動を開始した。以下の問い (a)、(b) 中の空欄【ア】から【ク】を、本問題中で与えられている記号のうち、必要なものを使って埋めよ。



(a)

2つの物体が動き出す直前の $\theta = \theta_0$ の状態について考えると、物体 A に対して上向きに作用する静摩擦力の大きさは【ア】[N]であるから、糸の張力の大きさを $T_0$  [N]とすれば、物体 A に関する斜面に平行な方向の力のつりあい式は【イ】となる。同様に、物体 B に関する鉛直方向の力のつりあい式は、 $T_0$ を用いて表せば【ウ】となる。これらの結果より、静摩擦係数 $\mu$ を2つの物体の質量 $M, m$ と、角度 $\theta_0$ を用いて表すと、 $\mu =$ 【エ】となる。

(b)

斜面の傾き角を $\theta_0$ より大きなある角度 $\theta_1$  [rad]に固定すると、物体 A は斜面に対して下向きに、物体 B は鉛直上向きに等加速度運動を行った。糸の張力の大きさを $T_1$  [N]、物体 A の加速度の大きさを $a$  [m/s<sup>2</sup>]とすれば、物体 A に関する運動方程式は【オ】、物体 B に関する運動方程式は【カ】となる。これら2つの式より、物体 A の加速度の大きさ $a$ と糸の張力の大きさ $T_1$ を求めると、 $a =$ 【キ】[m/s<sup>2</sup>]、 $T_1 =$ 【ク】[N]となる