

【03 運動の法則】

- ・運動方程式

$$m a = F$$

- ・最大摩擦力

$$F_0 = \mu N [\text{N}]$$

- ・動摩擦力

$$F' = \mu' N [\text{N}]$$

- ・圧力

$$p = \frac{F}{S} [\text{Pa}]$$

- ・水圧

$$p = \rho h g [\text{Pa}]$$

- ・浮力

$$F = \rho V g [\text{N}]$$

3 運動の法則

A 慣性の法則 B 運動の法則 C 運動方程式

【ニュートンの運動の3法則】

運動の第1法則：

外部から力を受けないか、あるいは外部から受ける力がつりあっている（合力が $\vec{0}$ の）場合には、静止している物体はいつまでも静止を続け、運動している物体は等速直線運動を続ける。

運動の第2法則：

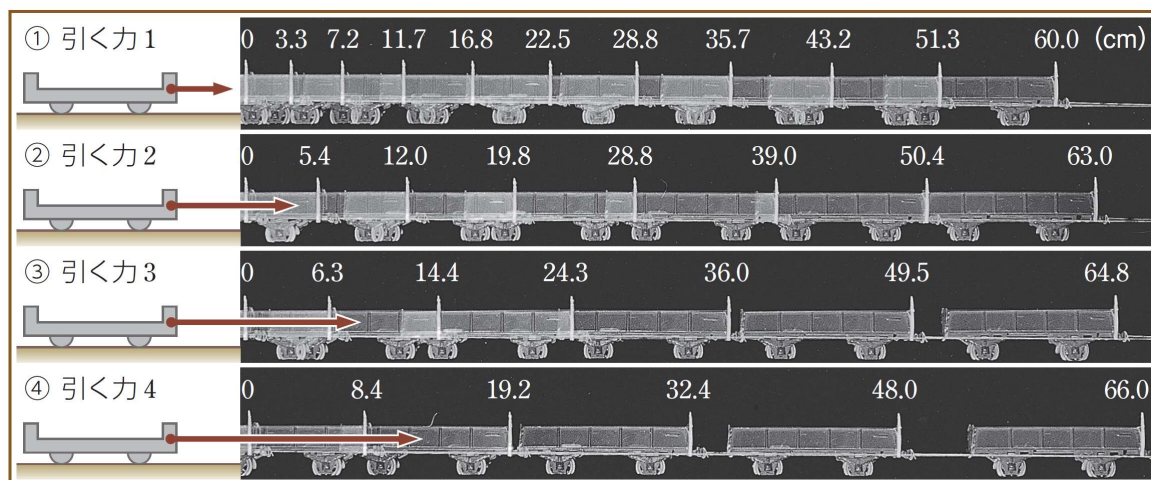
物体にいくつかの力がはたらくとき、物体にはそれらの合力の向きに加速度が生じる。その加速度 $\vec{a}$ の大きさは合力 $\vec{F}$ の大きさに比例し、物体の質量 m に反比例する。

運動の第3法則：

物体A から物体B に力をはたらかせているときには、物体Bから物体Aに、同じ作用線上で、大きさが等しく、向きが反対の力がはたらいている。

運動の第2法則：「運動の法則」とは、

① 力と加速度の関係

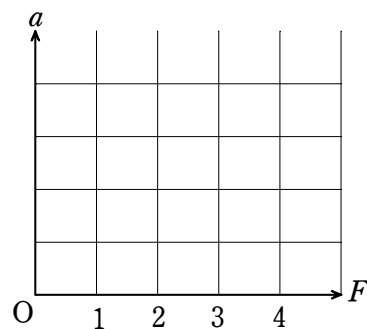


引く力が1のとき 加速度 $a =$ []

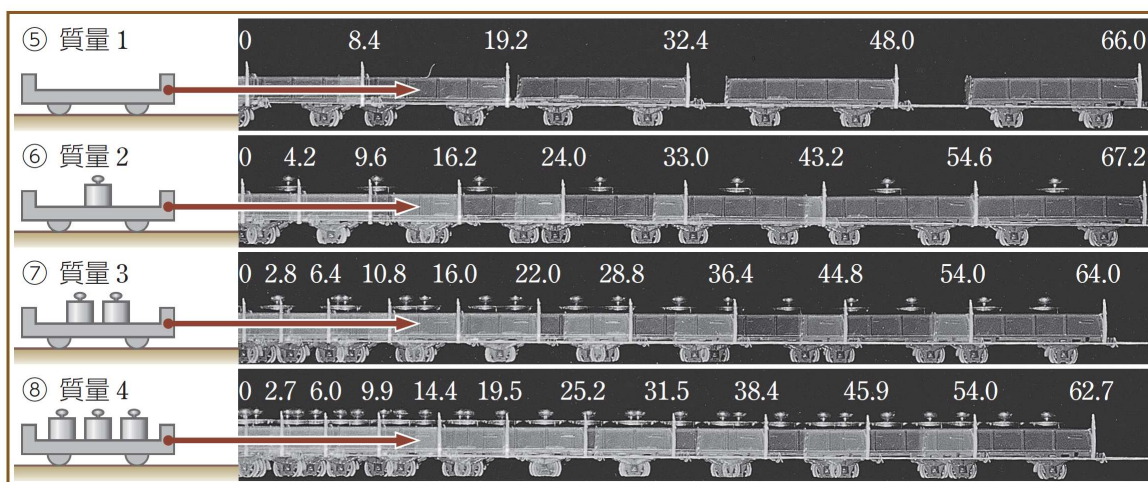
引く力が2のとき 加速度 $a =$ []

引く力が3のとき 加速度 $a =$ []

引く力が4のとき 加速度 $a =$ []



加速度の大きさ は加えた力の大きさ に する。

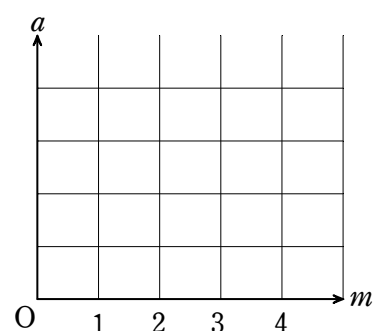


質量が1のとき 加速度 $a =$ _____ []

質量が2のとき 加速度 $a =$ _____ []

質量が3のとき 加速度 $a =$ _____ []

質量が4のとき 加速度 $a =$ _____ []



加速度の大きさ _____ は質量 _____ に _____ する。

つまり、加速度の大きさ a は、加えた力 F に比例し、物体の質量 m に反比例するので、以上のことを式にすると次のようになります。

$a =$ _____ ここで $k=1$ として、式変形すると、

【運動方程式】

この関係式のことを「運動方程式」といいます。左辺と右辺の単位を考えると、「 _____ 」という単位の関係が成り立つこともわかります。これは重要なので覚えておいてください。また、重力がなぜ「 mg 」なのかも、運動方程式を見ればわかるようになります。ちなみに重力の大きさのことを重さと表現することもあります。

D 重さと質量

「重さ」：物体にはたらく重力の大きさのこと。場所によって異なる。単位は[N]。

「質量」：物体に固有の量のこと。場所によらない。単位は[kg]。

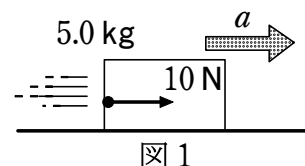
1 次の①～③について、正しいものをすべて選べ。

- ① 物体にはたらく力の合力が $\vec{0}$ であれば、物体は静止している。
- ② 静止している物体にはたらく力の合力は $\vec{0}$ である。
- ③ 運動している物体には、運動の向きに力がはたらいている。

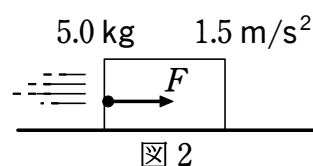
【解答】 ②

2 質量が 5.0 kg の物体がある。次の問いに答えよ。

- (1) 図1のように、この物体に 10 N の力を加えるときの、物体の加速度 $a\text{ [m/s}^2\text{]}$ の大きさと向きを求めよ。



- (2) 図2のように、この物体が 1.5 m/s^2 の加速度で等加速度運動を行っている。物体にはたらいている力の大きさ F は何 N か。



- (1) 右向きを正として運動方程式を立てると

$$5.0 \times a = 10 \text{ より } a = 2.0 \text{ m/s}^2 \quad a > 0 \text{ (正の向き) であるから、加速度の向きは右向き}$$

- (2) $5.0 \times 1.5 = F$ より $F = 7.5 \text{ N}$

3 自動車は東向きに一定の速さ 50 km/h で走行しているとき、自動車にはたらく力の合力の大きさは何 N か。

一定の速さで運動しているので、自動車の加速度は 0 m/s^2 である。運動方程式「 $ma = F$ 」より、自動車にはたらく力の合力の大きさは 0 N

4 質量 2.0 kg の物体が速さ 3.0 m/s で等速直線運動をしている。この物体にはたらく力の合力はいくらか。

等速であるので、物体にはたらく力はずりあっており、合力は 0 N

5 質量 2.0 kg の物体にはたらく力の合力が、右向きに一定の大きさ 7.0 N であるとき、物体の加速度はどの向きに何 m/s^2 か。

右向きを正とし、物体の加速度を $a\text{ [m/s}^2\text{]}$ とおくと、「 $ma = F$ 」より

$$2.0 \times a = 7.0 \quad \text{よって } a = 3.5 \text{ m/s}^2 \quad \text{したがって、物体の加速度は 右向きに } 3.5 \text{ m/s}^2$$

6 質量 2.0 kg の物体に 3.0 N の力を加えたときの加速度の大きさ a は何 m/s^2 か。

$$\text{「}ma = F\text{」より } 2.0 \times a = 3.0 \quad \text{よって } a = 1.5 \text{ m/s}^2$$

7 質量 5.0 kg の物体の重さ(重力の大きさ)は、地球上で何 N か。また、月面上では何 N か。地球上での重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 、月面上での重力加速度の大きさを 1.6 m/s^2 とする。

$$\text{地球上では } 5.0 \times 9.8 = 49 \text{ N}$$

$$\text{月面上では } 5.0 \times 1.6 = 8.0 \text{ N}$$

【運動方程式を解くために】

1. 問題文の状況を作図する。

- このとき、物体に触れているものからわざと切り離して作図するのがコツです。
これは「作用点」を明確にするためです。運動方程式では、どの物体にどの力がはた
らいているのかをしっかりと見極めることが重要になります。

2. はたらく力をすべて書き込む。

- まずは「重力 mg 」を作図します。
- 次に、「物体に触れているものからはたらく力(接触力)」を作図します。
初心者のうちは物体の側面をなぞって、なにかに触れたらそこに力を作図するのがいいで
しょう。
- このとき「作用・反作用」の関係にある力を忘れがちなので気を付けましょう。

3. 「正の向き」を定め、その方向に加速度 a を仮定する。

- はたらく力が0でないなら、物体には必ず加速度が生じます。
- 初速度の向きを正の向きに設定すると解きやすいです。
- 明らかに減速する場合でも、正の向きと加速度の向きは揃えたほうがいいです。

4. 運動方程式 $ma = F$ に代入する。

- 左辺の「 m 」には質量を代入し、「 a 」には加速度を代入します。
- 右辺の「 F 」にはその物体にはたらく運動方向の「合力」を代入します。

【その他のポイント】

・物体が2つあるときは、それぞれの物体について運動方程式を立てる。

- 慣れてきたら、2つの物体を1つの物体とみなして解く方法もやってみましょう。

・物体を繋いでいるひもの両端にはたらく張力は同じになる。

- ひもの質量が無視できる場合に限りです。

・連結した2つの物体が異なる向きに運動する場合、それぞれに正の向きを定義する。

- 運動の向きや加速度の向きは異なりますが、加速度の大きさは同じになります。

物理において、

「力の作図」

は、最も重要な作業です。

作図を制する者は、物理を制す。

- 1 なめらかな水平面上にある質量 2.0 kg の物体に、右向きに 8.0 N の力と、左向きに 5.0 N の力を加えて運動させた。物体の加速度はどの向きに何 m/s^2 か。

<作図>

Step 1 物体が受ける力は図のようになる。

Step 2 右向きを正とし、物体の加速度を $a [\text{m/s}^2]$ とする。

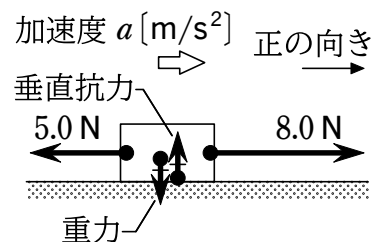
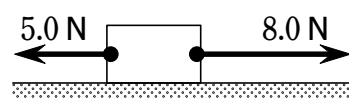
Step 3 物体が受ける力の合力 $F [\text{N}]$ は

$$F = 8.0 - 5.0 = 3.0 \text{ N}$$

ここで、質量 $m = 2.0 \text{ kg}$ 、合力 $F = 3.0 \text{ N}$ を「 $ma = F$ 」に代入して

$$2.0 \times a = 3.0 \quad \text{よって} \quad a = 1.5 \text{ m/s}^2$$

加速度は 右向きに 1.5 m/s^2



- 2 なめらかな水平面上にある質量 0.50 kg の物体に、右向きに 4.0 N の力と、左向きに 6.0 N の力を加えて運動させた。物体の加速度はどの向きに何 m/s^2 か。

<作図>

右向きを正とし、物体の加速度を $a [\text{m/s}^2]$ とする。物体が受ける力の合力 $F [\text{N}]$ は

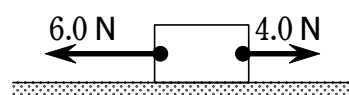
$$F = 4.0 - 6.0 = -2.0 \text{ N}$$

ここで、質量 0.50 kg 、合力 -2.0 N を「 $ma = F$ 」に代入して

$$0.50 \times a = -2.0$$

よって $a = -4.0 \text{ m/s}^2$

加速度は 左向きに 4.0 m/s^2



- 3 質量 0.50 kg の小球をつるした軽い糸の上端を持って、 6.0 N の力で鉛直上向きに引き上げた。小球の加速度はどの向きに何 m/s^2 か。重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。

<作図>

指針 小球が受ける力をすべてかきこむ。運動方程式「 $ma = F$ 」の F には、合力を代入する。

解答 Step 1 小球が受ける力は、重力と、糸が引く力の2力であり、向きと大きさは図のようになる。

Step 2 鉛直上向きを正とし、小球の加速度を $a [\text{m/s}^2]$ とする。

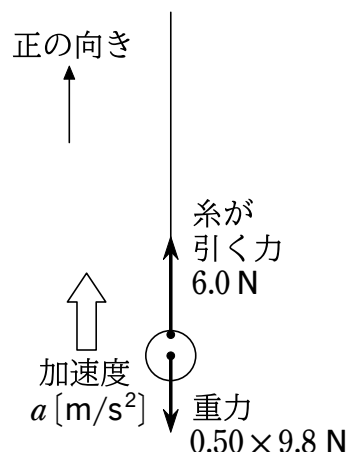
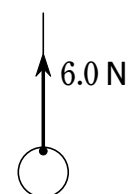
Step 3 小球が受ける力の合力 $F [\text{N}]$ は

$$F = 6.0 - 0.50 \times 9.8 = 1.1 \text{ N}$$

これを「 $ma = F$ 」に代入して

$$0.50 \times a = 1.1 \quad \text{よって} \quad a = 2.2 \text{ m/s}^2$$

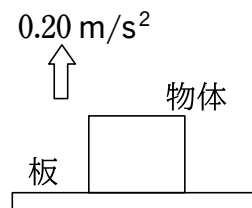
加速度は鉛直上向きに 2.2 m/s^2



- ④ 図のように、質量 1.5 kg の物体を板の上にのせて、鉛直上向きに一定の加速度 0.20 m/s^2 で板を動かす。このとき、物体が板から受ける垂直抗力の大きさ $N[\text{N}]$ を求めよ。重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。

<作図>

＜計算＞



鉛直上向きを正とする。

物体が受ける力の合力 F [N] は

$$F = N - 1.5 \times 9.8 = N - 14.7$$

これを「 $ma = F$ 」に代入して

$$1.5 \times 0.20 = N - 14.7$$

よって $N=15 \text{ N}$

- 5 傾きの角が 30° のなめらかな斜面上を、質量 0.20 kg の小物体がすべり下りている。このときの小物体の加速度の大きさ $a \text{ [m/s}^2\text{]}$ を求めよ。重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。

<作図>

＜計算＞

小物体の質量を m [kg]、重力加速度の大きさを g [m/s²] とおく。

Step 1 小物体が受ける力は、重力 mg と垂直抗力である。

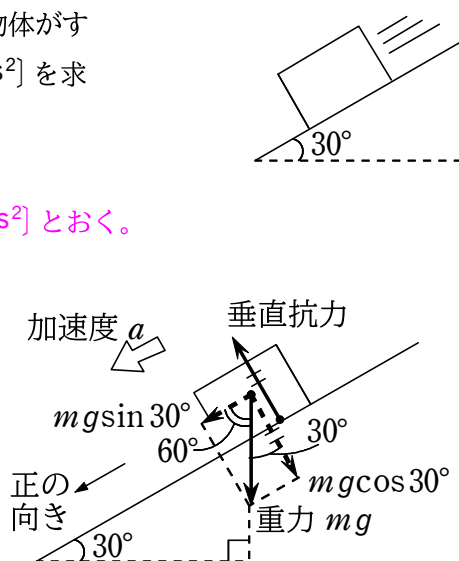
Step 2 斜面にそって下向き (小物体の運動の向き) を正とする。

Step 3 重力の斜面方向の成分 F は

$$F = mg \sin 30^\circ = \frac{1}{2} mg$$

小物体の運動方程式は

$$ma = \frac{1}{2}mg \quad \text{よって} \quad a = 9.8 \times \frac{1}{2} = 4.9 \text{ m/s}^2$$



- 6 傾きの角が 45° のなめらかな斜面上を、質量 m [kg] の小物体がすべり上がっている。このときの小物体の加速度の大きさ a [m/s^2] を求めよ。重力加速度の大きさを g [m/s^2] とする。

<作図>

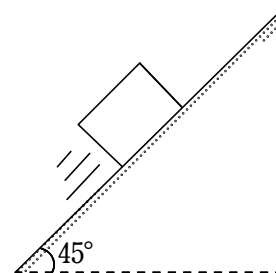
＜計算＞

斜面にそって下向きを正とする。重力の斜面方向の成分 F は

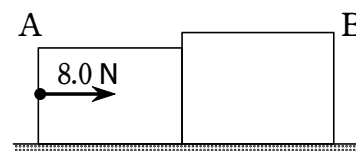
$$F = mg \sin 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}} mg$$

よって、小物体の運動方程式は

$$ma = \frac{1}{\sqrt{2}} mg$$

ゆえに $a = \frac{g}{\sqrt{2}} \text{ [m/s}^2\text{]}$ 

- 7 なめらかな水平面上に質量 2.0 kg の物体 A と質量 3.0 kg の物体 B を接触させ、図のように A を 8.0 N の力で水平に押す。



- (1) A, B の加速度の大きさ $a [\text{m/s}^2]$ を求めよ。
 (2) A が B を押す力の大きさ $f [\text{N}]$ を求めよ。

<作図>

<計算>

指針 作用反作用の法則より、A は B から大きさ $f [\text{N}]$ の力で押される。

解答 (1) **Step 1** A, B が受ける水平方向の力は、それぞれ図のようになる。

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

$$\text{A (2.0 kg): } 2.0 \times a = 8.0 - f \quad \cdots \cdots \text{①}$$

$$\text{B (3.0 kg): } 3.0 \times a = f \quad \cdots \cdots \text{②}$$

$$\text{① 式} + \text{② 式 より } 5.0 \times a = 8.0$$

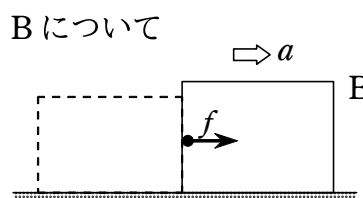
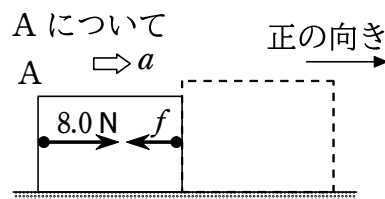
$$\text{よって } a = 1.6 \text{ m/s}^2$$

別解 2 物体を一体とみなして、質量 5.0 kg の物体を 8.0 N の力で押すと考えても、 a は求められる。

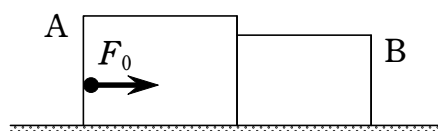
$$5.0 \times a = 8.0 \text{ より } a = 1.6 \text{ m/s}^2$$

- (2) ② 式より

$$f = 3.0 \times 1.6 = 4.8 \text{ N}$$



- 8 なめらかな水平面上に質量 $M [\text{kg}]$ の物体 A と質量 $m [\text{kg}]$ の物体 B を接触させ、図のように A を $F_0 [\text{N}]$ の力で水平に押す。A, B の加速度の大きさと、A が B を押す力の大きさをそれぞれ求めよ。



<作図>

<計算>

右向きを正とし、A が B を押す力の大きさを $f [\text{N}]$, A, B の加速度の大きさを $a [\text{m/s}^2]$ とすると、各物体の運動方程式は

$$\text{A: } Ma = F_0 - f \quad \cdots \cdots \text{①}$$

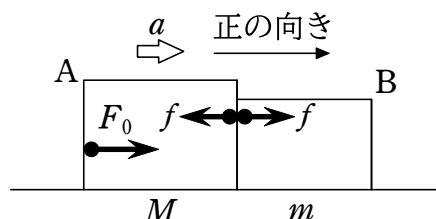
$$\text{B: } ma = f \quad \cdots \cdots \text{②}$$

$$\text{① 式} + \text{② 式 より } (M + m)a = F_0$$

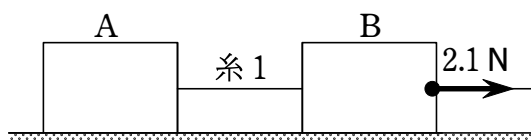
$$\text{よって } a = \frac{F_0}{M + m} [\text{m/s}^2]$$

また、② 式より

$$f = m \cdot \frac{F_0}{M + m} = \frac{m}{M + m} F_0 [\text{N}]$$



- 9 なめらかな水平面上に質量 0.20 kg の物体 A と質量 0.30 kg の物体 B を置いて、軽い糸 1 でつなぐ。図のように B を 2.1 N の力で水平に引いたところ、2 つの物体は運動を始めた。



- (1) A, B の加速度の大きさ $a [\text{m/s}^2]$ を求めよ。
 (2) 糸 1 が A を引く力の大きさ $T [\text{N}]$ を求めよ。

<作図>

<計算>

指針 糸 1 が A を引く力と、糸 1 が B を引く力は、同じ大きさ $T [\text{N}]$ である。

解答 (1) **Step 1** A, B が受ける水平方向の力はそれぞれ図のようになる。

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

$$A (0.20 \text{ kg}) : 0.20 \times a = T \quad \cdots \cdots \textcircled{1}$$

$$B (0.30 \text{ kg}) : 0.30 \times a = 2.1 - T \quad \cdots \cdots \textcircled{2}$$

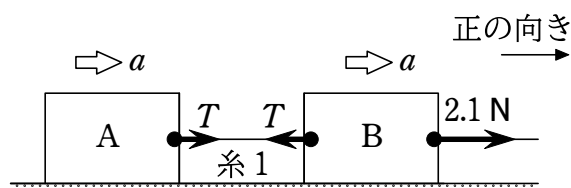
$$\textcircled{1} \text{ 式} + \textcircled{2} \text{ 式より } 0.50 \times a = 2.1$$

$$\text{よって } a = 4.2 \text{ m/s}^2$$

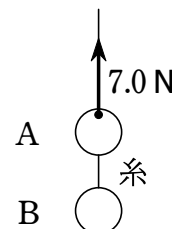
別解 2 物体を一体とみなして、質量 0.50 kg の物体を 2.1 N の力で引くと考えても、 a は求められる。

$$0.50 \times a = 2.1 \text{ より } a = 4.2 \text{ m/s}^2$$

$$(2) \textcircled{1} \text{ 式より } T = 0.20 \times 4.2 = 0.84 \text{ N}$$



- 10 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 $a [\text{m/s}^2]$ を求めよ。
 (2) 糸が B を引く力の大きさ $T [\text{N}]$ を求めよ。

<作図>

<計算>

- (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。鉛直上向きを正の向きとすると、A, B それぞれの運動方程式は

$$A : 0.20 \times a = 7.0 - 0.20 \times 9.8 - T \quad \cdots \cdots \textcircled{1}$$

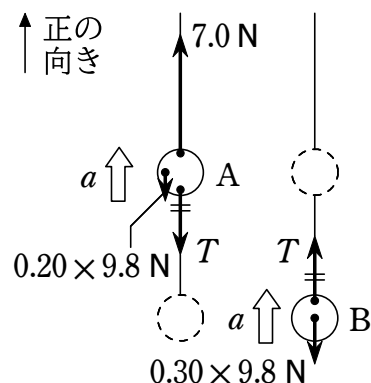
$$B : 0.30 \times a = T - 0.30 \times 9.8 \quad \cdots \cdots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1} \text{ 式} + \textcircled{2} \text{ 式より } 0.50 \times a = 2.1$$

$$\text{よって } a = 4.2 \text{ m/s}^2$$

- (2) ② 式に $a = 4.2 \text{ m/s}^2$ を代入して

$$T = 4.2 \text{ N}$$



- 11 質量 m [kg] の物体をなめらかで水平な机の面上に置く。物体に軽くて伸びないひもをつけ、これを机の端に固定した軽い滑車に通し、ひもの端に質量 M [kg] のおもりをつるす。重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。

- (1) 物体とおもりの加速度の大きさ a [m/s²] を求めよ。
 (2) ひもが物体を引く力の大きさ T [N] を求めよ。

<作図>

<計算>

【指針】 滑車を介した場合にも、ひもが両端で引く力の大きさは等しい。物体とおもりの加速度の向きは異なるが、ひもでつながれているため、加速度の大きさは等しい。

【解答】 (1) **【Step 1】** 物体とおもりが受ける力は図のようになる。

【Step 2】 物体については水平方向右向きを正、おもりについては鉛直方向下向きを正とする。

【Step 3】 それぞれの運動方程式は

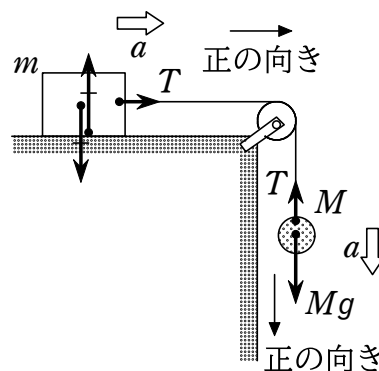
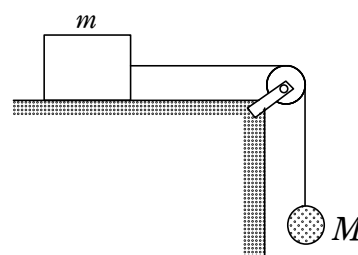
$$\text{物体: } ma = T \quad \cdots \cdots \text{①}$$

$$\text{おもり: } Ma = Mg - T \quad \cdots \cdots \text{②}$$

$$\text{①式} + \text{②式より } (M + m)a = Mg$$

$$\text{よって } a = \frac{M}{M + m}g \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$(2) \text{ ①式より } T = ma = \frac{mM}{M + m}g \text{ [N]}$$



- 12 軽い定滑車に軽い糸をかけ、その両端に質量がそれぞれ m_A , m_B [kg] ($m_A > m_B$) のおもり A, B をつけて静かに手をはなす。重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。

- (1) おもりの加速度の大きさ a [m/s²] を求めよ。
 (2) 糸がおもりを引く力の大きさ T [N] を求めよ。

<作図>

<計算>

(1) $m_A > m_B$ なので、おもり A は下降し、B は上昇する。糸が A を引く力と B を引く力の大きさは、同じである。A, B にはたらく力は図のようになる。A については鉛直方向下向きを正、B については鉛直方向上向きを正とする。A, B それぞれの運動方程式は次のようになる。

$$A: m_A a = m_A g - T \quad \cdots \cdots \text{①}$$

$$B: m_B a = T - m_B g \quad \cdots \cdots \text{②}$$

①式 + ②式より

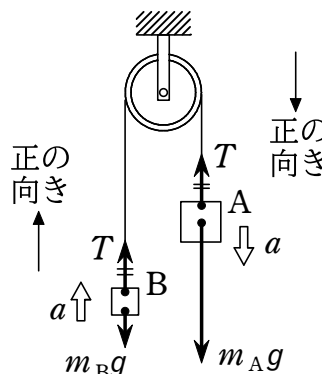
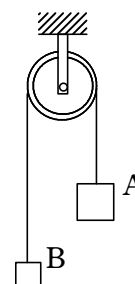
$$(m_A + m_B)a = (m_A - m_B)g$$

$$\text{よって } a = \frac{m_A - m_B}{m_A + m_B}g \text{ [m/s}^2\text{]}$$

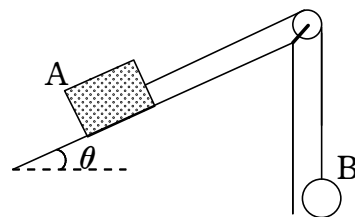
(2) ②式 $\times m_A -$ ①式 $\times m_B$ より

$$0 = -2m_A m_B g + (m_A + m_B)T$$

$$\text{よって } T = \frac{2m_A m_B}{m_A + m_B}g \text{ [N]}$$



- 13 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 、 $\sin \theta = \frac{1}{3}$ とする。

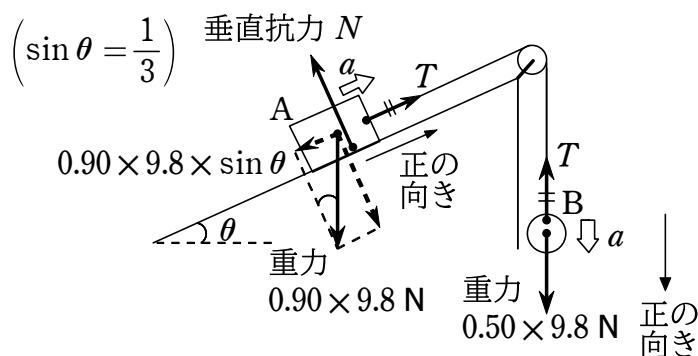


- (1) A は斜面を上昇するか、下降するか。
 (2) A の加速度の大きさ $a [\text{m/s}^2]$ と、ひもが A を引く力の大きさ $T [\text{N}]$ を求めよ。

<作図>

<計算>

物体 A, B にはそれぞれ図のような力がはたらいっている。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

$$0.90a = T - 0.90 \times 9.8 \times \frac{1}{3} \quad \dots\dots ①$$

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

$$0.50a = 0.50 \times 9.8 - T \quad \dots\dots ②$$

① 式 + ② 式より

$$1.40a = 0.20 \times 9.8$$

ゆえに $a = 1.4 \text{ m/s}^2$

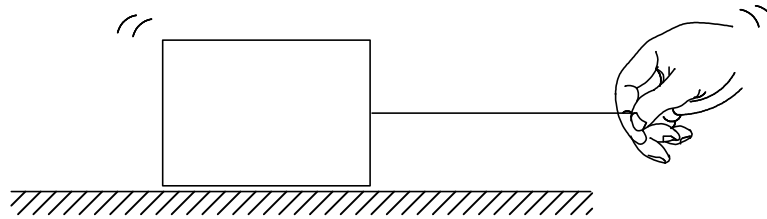
これを ② 式に代入して計算すると

$$T = 4.2 \text{ N}$$

- (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/s^2 、引く力の大きさは 4.2 N

4 摩擦を受ける運動

A 静止摩擦力

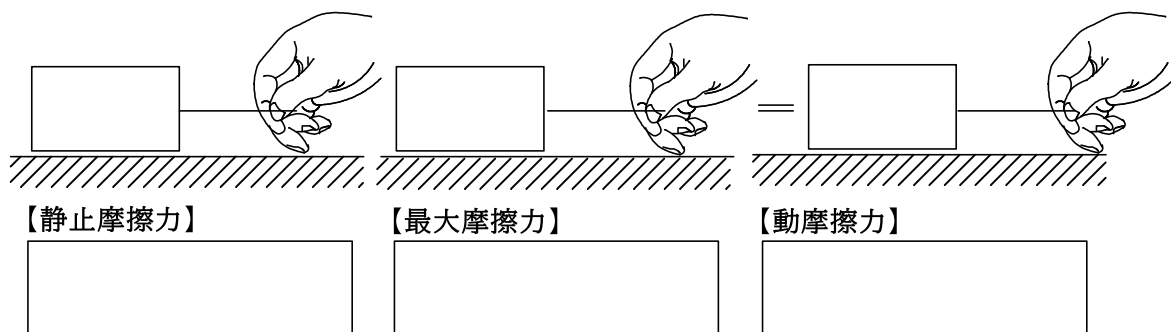
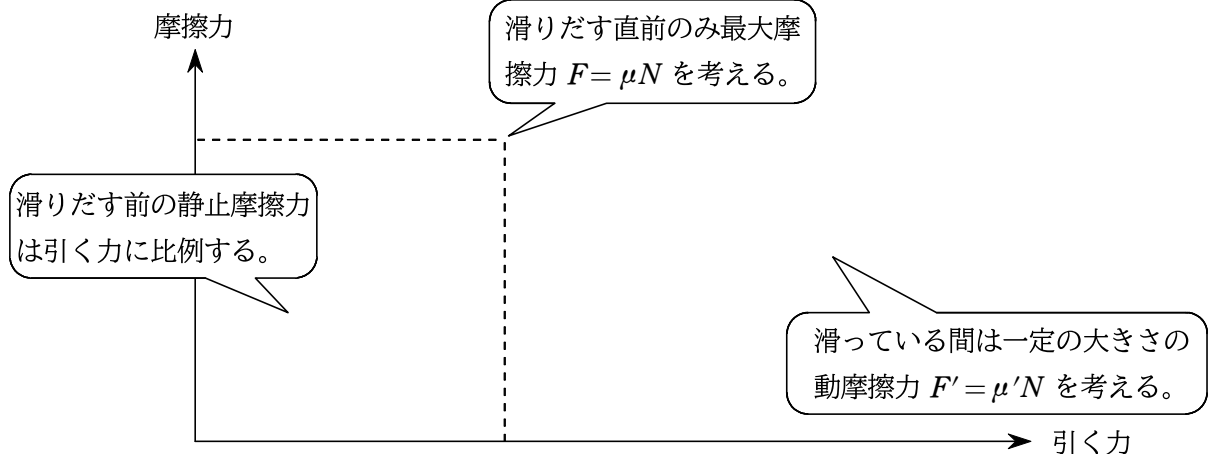


※実際には「抗力」という斜めの力がはたらいっているのですが、それを分解したときの水平成分を「」、鉛直成分を「」と呼んでいるのです。つまり、もとは一つの力なのです。そのため、垂直抗力と摩擦力は必ず同じ場所に作用点を持ちます。

日常生活において、物体に力を加えても力が弱すぎて動かないときがありますよね。そのように物体が動くのを妨げるようにはたらく力が「」です。でも徐々に加える力を大きくしていくと、いつかは物体が動きます。そのとき、動き出す直前にはたらいっている静止摩擦力のことを、「」といいます。
最大摩擦力は、「」と「」の2つの積で求めることができます。

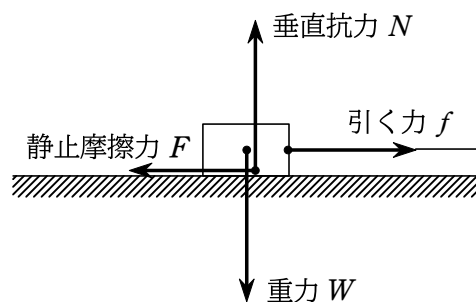
【最大摩擦力】

B 動摩擦力



【動摩擦力】

- 1 摩擦のある面上の物体を、面に平行な力 f で引くと、 f が小さい間は物体は動かない。これは、 f と逆向きに同じ大きさの



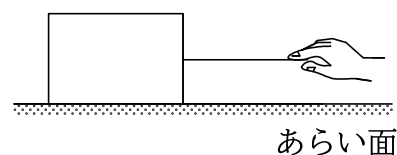
ア[]がはたらくからである。
 f をある限界をこえて大きくすると、物体は動きだす。この限界の静止摩擦力を
 イ[]という。この大きさ F_0

は、物体にはたらく垂直抗力の大きさ N に比例する。すなわち、比例定数を μ とすると F_0
 ウ[]となる。 μ はエ[]といわれる。

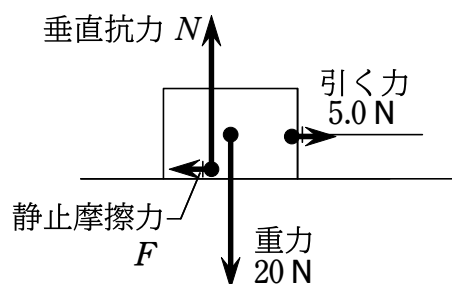
物体はすべりだした後も、運動を妨げる向きに摩擦力を受ける。この摩擦力をオ[]と
 いう。この大きさ F' も垂直抗力の大きさ N に比例し、比例定数を
 μ' とすると $F' =$ カ[]となる。 μ' はキ[]といわれる。

解答 (ア) 静止摩擦力 (イ) 最大摩擦力 (ウ) μN (エ) 静止摩擦係数
 (オ) 動摩擦力 (カ) $\mu' N$ (キ) 動摩擦係数

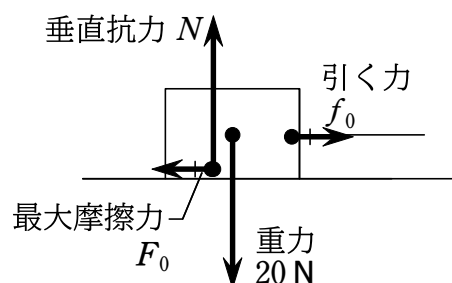
- 2 あらい水平面上に置かれた重さ 20 N の物体を水平に引く。物体と面との間の静止摩擦係数を 0.40 とする。
 (1) 5.0 N の力で引いたところ、物体は動かなかった。このとき物体にはたらく静止摩擦力の大きさは何 N か。
 (2) 水平に引く力がある値 $f_0 [\text{N}]$ をこえた直後に物体は動きだした。 $f_0 [\text{N}]$ を求めよ。



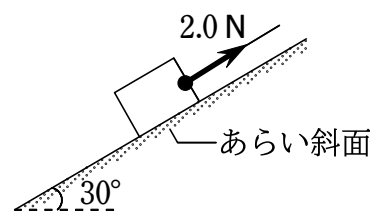
- (1) 物体は動いていないので、静止摩擦力の大きさを $F [\text{N}]$ とすると、水平方向の力のつりあいの式は
 $5.0 - F = 0$ よって $F = 5.0\text{ N}$



- (2) 垂直抗力の大きさを $N [\text{N}]$ とすると、鉛直方向の力のつりあいの式は
 $N - 20 = 0$ よって $N = 20\text{ N}$
 ゆえに、最大摩擦力の大きさ $F_0 [\text{N}]$ は、
 「 $F_0 = \mu N$ 」より $F_0 = 0.40 \times 20 = 8.0\text{ N}$
 水平方向の力のつりあいの式は
 $f_0 - F_0 = 0$ よって $f_0 = F_0 = 8.0\text{ N}$



- 3 傾きの角が 30° のあらい斜面上にある重さ 10 N の物体を、斜面にそって上向きに 2.0 N の力で引いて静止させる。物体にはたらく静止摩擦力はどの向きに何 N か。



斜面にそって下向きを正とする。重力の斜面方向の成分 $F[\text{N}]$ は

$$F = 10 \times \sin 30^\circ = 5.0\text{ N}$$

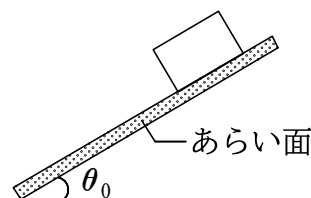
物体にはたらく静止摩擦力を $f[\text{N}]$ とすると、力のつりあいの式より

$$5.0 + f - 2.0 = 0$$

よって $f = -3.0\text{ N}$

ゆえに、斜面にそって上向きに 3.0 N

- 4 あらい面をもつ板の上に物体を置き、板を傾(かたむ)けていく。図のように、傾きの角が θ_0 になった直後に、物体は静かにすべりだした (θ_0 を摩擦角(まさつかく)という)。物体と板の面との間の静止摩擦係数 μ を求めよ。



物体にはたらく垂直抗力の大きさを $N[\text{N}]$ 、最大摩擦力の大きさを $F_0[\text{N}]$ とおく。

板の傾きが θ_0 になった瞬間に物体にはたらくしている力は図のようになる。

斜面方向(下向きを正)の力のつりあいは

$$mg \sin \theta_0 - F_0 = 0 \quad \dots\dots ①$$

斜面に垂直な方向(上向きを正)の力のつりあいは

$$N - mg \cos \theta_0 = 0 \quad \dots\dots ②$$

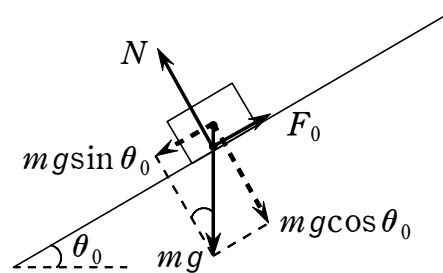
① 式より $F_0 = mg \sin \theta_0$

② 式より $N = mg \cos \theta_0$

ここで、最大摩擦力の大きさは $F_0 = \mu N$

$$\begin{aligned} \text{以上より } \mu &= \frac{F_0}{N} = \frac{mg \sin \theta_0}{mg \cos \theta_0} = \frac{\sin \theta_0}{\cos \theta_0} \\ &= \tan \theta_0 \end{aligned}$$

正の
向き
正の
向き

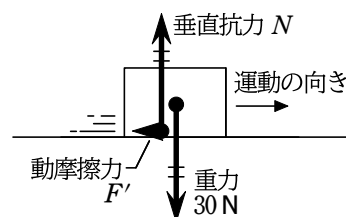


- 5 重さ 30 N の物体があらい水平面上をすべっているとき、物体が受ける動摩擦力の大きさは何 N か。物体と面との間の動摩擦係数を 0.20 とする。

垂直抗力の大きさは $N = 30\text{ N}$

「 $F' = \mu' N$ 」より

$$F' = 0.20 \times 30 = 6.0\text{ N}$$



- 6 傾きの角 30° のあらい斜面上を物体がすべり下るとき、物体に生じる加速度 a [m/s^2] を求めよ。

重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 ，斜面と物体との間の動摩擦係数を $\frac{1}{2\sqrt{3}}$ とし，斜面にそって下向きを正とする。

<作図>

<計算>

【指針】 動摩擦力は物体の運動を妨げるように斜面にそって上向きにはたらく。

【解答】 物体の質量を m [kg]，重力加速度の大きさを

g [m/s^2]，動摩擦係数を μ' とする。

斜面に平行な方向について，物体の運動方程式を立てると

$$ma = mg \sin 30^\circ - \mu' N \quad \dots\dots ①$$

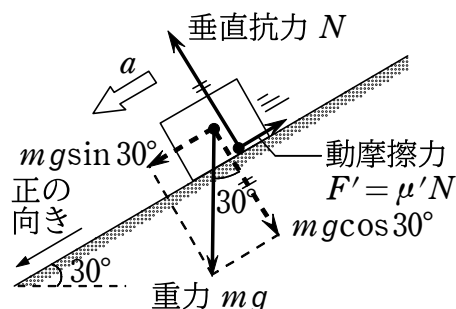
一方，斜面に垂直な方向の力はつりあっているから

$$N - mg \cos 30^\circ = 0$$

よって $N = mg \cos 30^\circ$

これを①式に代入して整理すると

$$a = g(\sin 30^\circ - \mu' \cos 30^\circ) = 9.8 \times \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2\sqrt{3}} \times \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = \frac{9.8}{4} \approx 2.5 \text{ m/s}^2$$



- 7 傾きの角 30° のあらい斜面上にある物体に初速度を与え，斜面にそってすべり上がらせた。このとき，物体に生じる加速度 a [m/s^2] を求めよ。重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 ，斜面と物体との間の動摩擦係数を $\frac{1}{2\sqrt{3}}$ とし，斜面にそって

上向きを正とする。

<作図>

<計算>

物体の質量を m [kg]，重力加速度の大きさを g [m/s^2]，動摩擦係数を μ' とすると，物体にはたらく力は図のようになる。斜面に平行な方向について，物体の運動方程式を立てると

$$ma = -mg \sin 30^\circ - \mu' N \quad \dots\dots ①$$

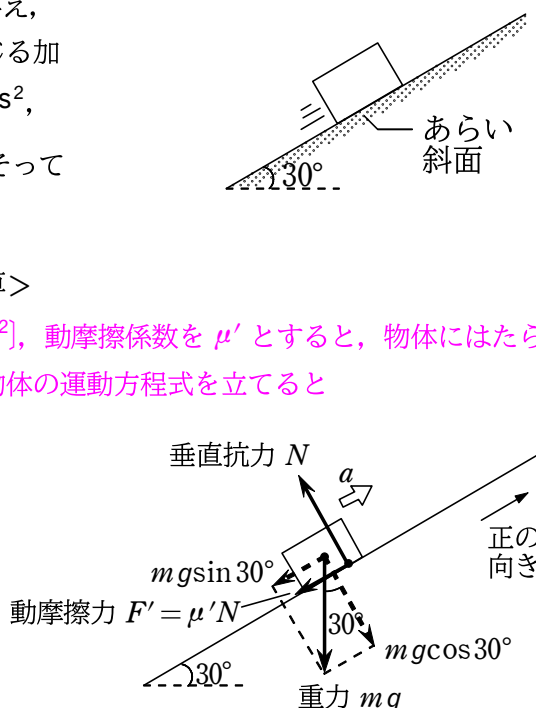
一方，斜面に垂直な方向の力はつりあっているから

$$N - mg \cos 30^\circ = 0 \quad \dots\dots ②$$

②式より $N = mg \cos 30^\circ$

これを①式に代入して整理すると

$$\begin{aligned} a &= -g(\sin 30^\circ + \mu' \cos 30^\circ) \\ &= -9.8 \times \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}} \times \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \\ &= -9.8 \times \frac{3}{4} = -7.35 \approx -7.4 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$



- 8 傾きの角 θ のあらい斜面上を物体がすべり下るとき、物体に生じる加速度を求めよ。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' とし、斜面にそって下向きを正とする。

<作図>

<計算>

【指針】 動摩擦力は物体の運動を妨げるように斜面にそって上向きにはたらく。

【解説】 物体にはたらく垂直抗力の大きさを N とする。

求める加速度を a として、斜面に平行な方向について、物体の運動方程式を立てると

$$ma = mg \sin \theta - \mu' N \quad \dots\dots ①$$

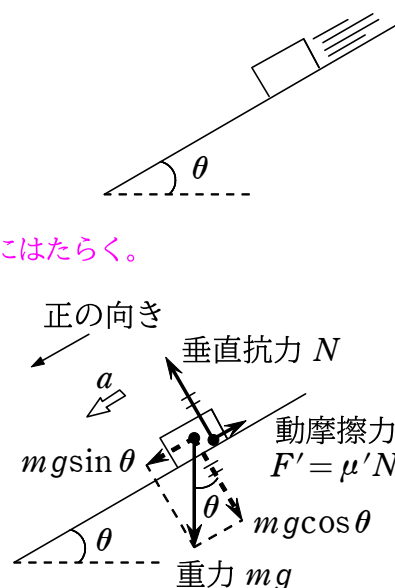
一方、斜面に垂直な方向の力はつりあっているから

$$N - mg \cos \theta = 0$$

よって $N = mg \cos \theta$

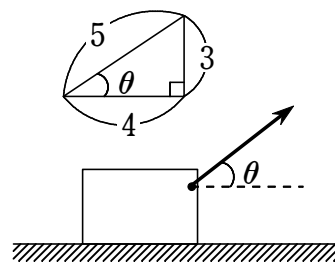
これを ① 式に代入して整理すると

$$a = g(\sin \theta - \mu' \cos \theta)$$



- 9 水平であらい床面上にある質量 5.0 kg の物体に対し、図のような角で力を加える。力を徐々に大きくしていったところ、大きさ 15 N をこえたときに物体は静かにすべり始めた。重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。

- (1) 物体がすべり始めるとき、物体が床面から受ける垂直抗力の大きさ $N[\text{N}]$ を求めよ。
- (2) 物体が床面から受ける最大摩擦力の大きさ $F_0[\text{N}]$ を求めよ。
- (3) 物体と床面との間の静摩擦係数 μ を求めよ。



- (1) 物体がすべり始める直前までは、物体にはたらく力はつりあっている。このときの水平方向の力のつりあいの式は

$$15 \times \frac{4}{5} - F_0 = 0 \quad \dots\dots ①$$

鉛直方向の力のつりあいの式は

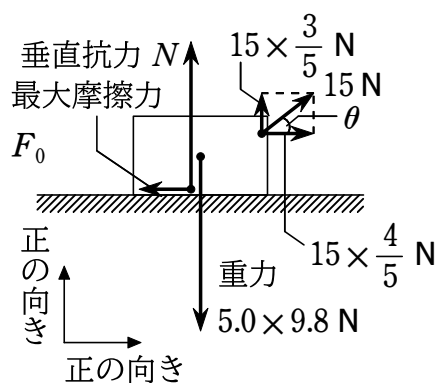
$$15 \times \frac{3}{5} + N - 5.0 \times 9.8 = 0 \quad \dots\dots ②$$

② 式より $N = 40 \text{ N}$

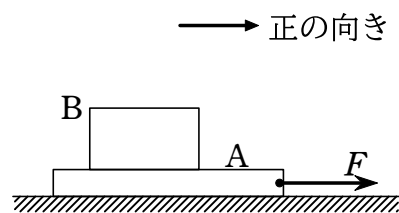
(2) ① 式より $F_0 = 12 \text{ N}$

(3) 「 $F_0 = \mu N$ 」より

$$\mu = \frac{F_0}{N} = \frac{12}{40} = 0.30$$



- 10 図のように、水平でなめらかな床上に置かれた板 A (質量 m_A [kg]) の上面に、物体 B (質量 m_B [kg]) がのっている。A に大きさ F [N] の水平な力を、図のように右向きに加え続けたところ、B が A の上面ですべりながら、A、B とともに運動した。A と B との間の動摩擦係数を μ' 、重力加速度の大きさを g [m/s²] とし、図の右向きを正とする。



- (1) B にはたらく摩擦力の向きを答えよ。
- (2) B の床に対する加速度 a_B [m/s²] を求めよ。
- (3) A の床に対する加速度 a_A [m/s²] を求めよ。

<作図>

<計算>

A が床面から受ける垂直抗力の大きさを N_A [N]、B が A から受ける垂直抗力の大きさを N_B [N] とする。B にはたらく N_B と A にはたらく N_B は、作用反作用の法則より、大きさは等しく向きは反対である。A と B の間の動摩擦力の大きさは $\mu' N_B$ [N] である。B にはたらく $\mu' N_B$ と A にはたらく $\mu' N_B$ とは、作用反作用の法則より、大きさは等しく向きは反対である。

- (1) A は運動を妨げる向き、つまり負の向き (左向き) に動摩擦力を受ける。よって、B はそれとは反対向き、つまり正の向き (右向き) に動摩擦力を受ける。

- (2) B にはたらく力について考える。水平方向の運動方程式は

$$m_B a_B = \mu' N_B \quad \dots\dots ①$$

鉛直方向の力のつりあいより

$$N_B - m_B g = 0 \quad \dots\dots ②$$

A の水平方向の運動方程式は

$$m_A a_A = F - \mu' N_B \quad \dots\dots ③$$

② 式より $N_B = m_B g$

これを ① 式に代入して

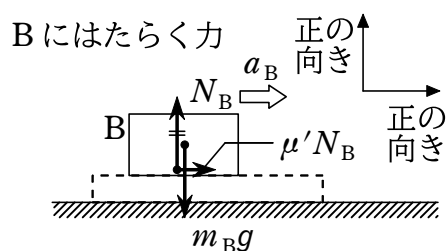
$$m_B a_B = \mu' m_B g$$

よって $a_B = \mu' g$ [m/s²]

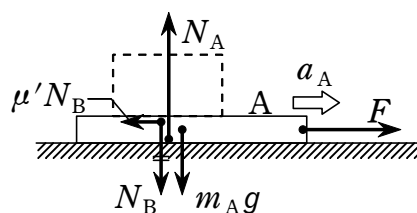
- (3) ③ 式に $N_B = m_B g$ を代入して

$$m_A a_A = F - \mu' m_B g$$

$$\text{よって } a_A = \frac{F - \mu' m_B g}{m_A} \text{ [m/s}^2\text{]}$$

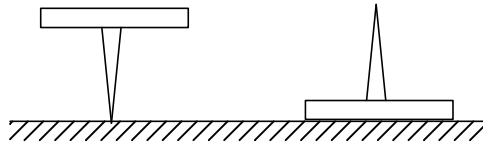


A にはたらく力



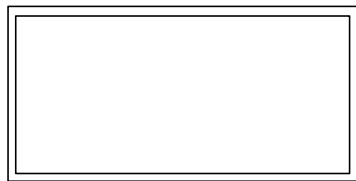
5 液体や気体から受ける力

A 圧力



同じ重さの物体でも、明らかに左のほうが痛いんですよね。これが圧力というものです。具体的には、「1 m²あたりを押す力」のことです。

【圧力】



[] or []

ここで指数の計算について、

$$10^5 =$$

$$10^{-1} =$$

$$10^{-5} =$$

$$10^5 \times 10^{-5} =$$

$$10^6 \times 10^{-4} =$$

$$\frac{1}{10^{-5}} =$$

$$\frac{10^2}{10^{-5}} =$$

覚えておくべき指数のルール

$$10^{-1} = \frac{1}{10} \quad \frac{1}{10^{-\square}} = 10^{\square} \quad 10^{\square} \times 10^{\triangle} = 10^{(\square + \triangle)}$$

気体の圧力

気体の圧力のうち、特に大気による圧力を「」といいます。

【大気圧】

[]

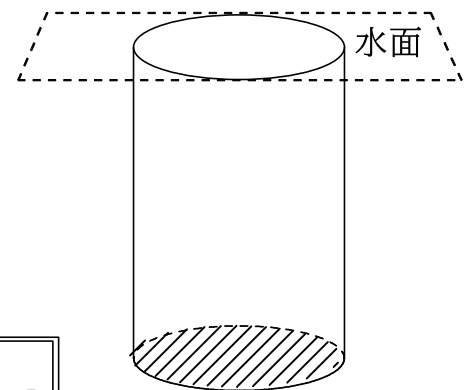
液体の圧力

水の重さによって生じる圧力を「」といいます。水圧には次の特徴があります。

- ① 同じ深さでは、水圧はどの方向にも同じ大きさである
- ② 深くなるほど水圧は大きい

【水圧の求め方】

右図の斜線部分の水圧を求めてみます。この部分の上に乗っている円柱状の水があるとすると、底面積が S [m^2]、深さが h [m]なので、この円柱の体積は、



となります。ここで、水の密度を

【密度】

[]

と定義すると、水の質量は、

となります。密度 [kg/m^3] $\times$ 体積 [m^3] が質量 [kg]というのは、単位を見れば明らかですね。

ここで、水の重力 mg がこの斜線部分にはたらく力であり、それを面積 S [m^2]で割ると圧力が求まることとなります。つまり、それが水圧になります。

【水圧】

[]

さらに、大気圧を考えるとその場所の圧力は「大気圧 p_0 + 水圧」になるので、

【大気圧まで含めた水圧】

[]

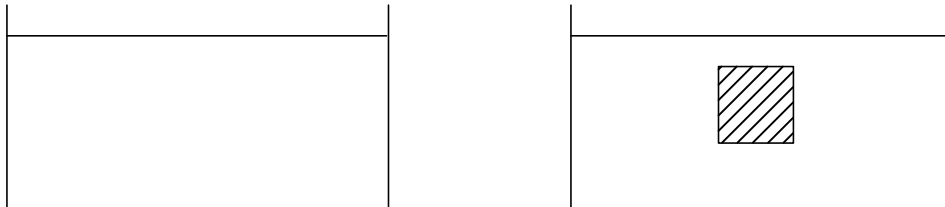
B 浮力

【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

※ 流体とは液体や気体などの形が定まらないもの

ちょっと難しい表現なので、詳しく説明します。

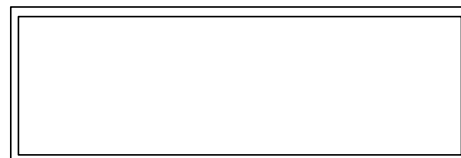


左の図は、水がたくさん入った水槽だと思ってください。そこに、右の図のように体積が $V [\text{m}^3]$ の物体を沈ませます。すると、物体が水中に沈んだことで、そこに存在していたはずの水は、物体によって排除されます。その排除した水の重さと同じだけの浮力がはたらくということがアルキメデスの原理の意味になります。

もっと具体的に話をすると、例えば、 $200 [\text{cm}^3]$ の物体が沈んだら、水の密度は $1.0 [\text{g}/\text{cm}^3]$ なので、 $200 [\text{g}]$ 分の水を排除することになります。その排除した水 $200 [\text{g}]$ 分 浮くというのが浮力のルールになります。しかし、これは質量なので、重さは、 mg 、つまり 質量×重力加速度 の計算をしないといけませんから、この場合 浮力 = $0.20 [\text{kg}] \times 9.8 [\text{m}/\text{s}^2] = 1.96 [\text{N}]$ となります。

一般的に、水の密度を $\rho [\text{kg}/\text{m}^3]$ とし、沈んでる物体の体積を $V [\text{m}^3]$ 、重力加速度を $g [\text{m}/\text{s}^2]$ とすると、浮力は次の式のようにになります。

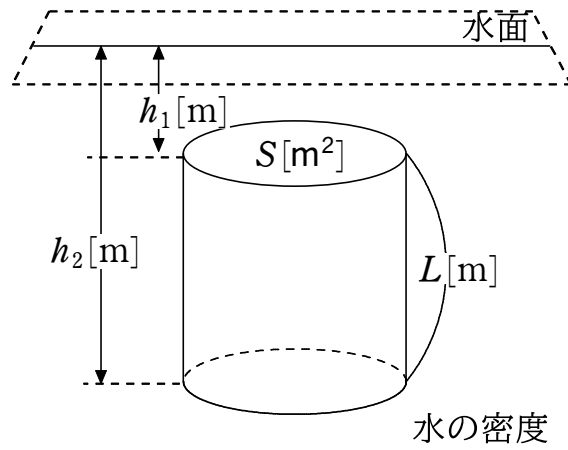
【浮力】



[]

なぜ「アルキメデスの原理」が成り立つのか？

【アルキメデスの原理の証明】



水中に左のような物体があるとして
 ます。この物体には四方八方から
 水圧がかかります。上面と下面の
 水圧はそれぞれ、

上面の水圧 $p_1 =$

下面の水圧 $p_2 =$

$p = \frac{F}{S}$ なので、 $F = pS$ より上面と下面を押す力はそれぞれ、

上面を押す力 $F_1 =$

下面を押す力 $F_2 =$

側面にはたらく力は、お互いに相殺しあうので、上面と下面を押す力の差が「浮力」になります。

浮力 $F = F_2 - F_1$ より

=

=

=

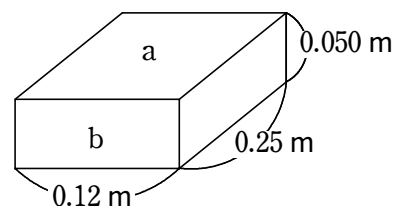
=

=

=

証明終了

- 1 図のような重さ 2.4 N の直方体の物体を机の上に置く。面 a を下にする場合と、面 b を下にする場合では、机の接触面が物体から受ける圧力はそれぞれ何 Pa か。



$$p = \frac{F}{S} \text{ より}$$

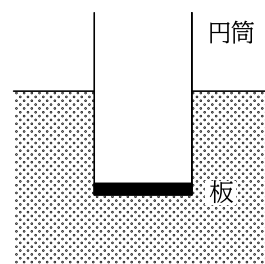
$$\text{面 } a : \frac{2.4}{0.12 \times 0.25} = 80 \text{ Pa} \quad \text{面 } b : \frac{2.4}{0.12 \times 0.050} = 4.0 \times 10^2 \text{ Pa}$$

- 2 水深 50 m における物体が受ける圧力は何 Pa か。大気圧を $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、水の密度を $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。

$$p' = p_0 + \rho h g \text{ より}$$

$$p' = (1.0 \times 10^5) + (1.0 \times 10^3) \times 50 \times 9.8 = 5.9 \times 10^5 \text{ Pa}$$

- 3 断面積が $S [\text{m}^2]$ の円筒に、円筒の断面と同じ大きさの質量 $m [\text{kg}]$ の薄い板を図のようにあてて、水中に十分深く沈め、円筒を上げていくと、ある深さで板が外れた。このときの板の深さ $h [\text{m}]$ を求めよ。水の密度を $\rho [\text{kg/m}^3]$ とする。



板が外れる瞬間は、板にはたらく重力と水圧による力、大気圧 $p_0 [\text{Pa}]$ による力がつりあう。重力加速度の大きさを $g [\text{m/s}^2]$ とすると、板にはたらく力のつりあいの式より

$$(\rho h g \cdot S + p_0 S) - mg - p_0 S = 0$$

$$\text{よって } h = \frac{m}{\rho S} [\text{m}]$$

- 4 1 辺が $10\text{ cm} (=0.10\text{ m})$ の立方体の物体が水中に沈んでいるとき、物体が受ける浮力の大きさは何 N か。水の密度を 1000 kg/m^3 、重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。

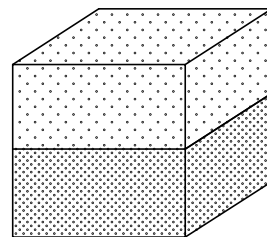
$$F = \rho V g \text{ より}$$

$$1000 \times 0.10^3 \times 9.8 = 9.8 \text{ N}$$

- 5 水中では、深い所ほど水圧が大きい。水中の物体を深く沈めると、物体にはたらく浮力の大きさはどうなるだろうか。物体は変形しないものとする。

物体は変形しないので、物体が排除する水の体積は、深く沈めても変わらない。
よって、「 $F = \rho V g$ 」より、物体にはたらく浮力の大きさは変わらない。

- 6 1 辺が $10\text{ cm}(=0.10\text{ m})$ の立方体の物体を水面に浮かべたところ、物体の体積の半分の水面下に沈んだ。このとき、物体が受ける浮力の大きさ $F[\text{N}]$ と、物体の質量 $m[\text{kg}]$ を求めよ。
水の密度を 1000 kg/m^3 、重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。



【指針】 浮力の大きさは、物体が排除した水の重さに等しい。

【解答】 物体の、水面下の部分の体積は

$$0.10 \times 0.10 \times 0.050\text{ m}^3$$

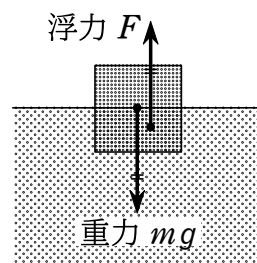
よって、「 $F = \rho Vg$ 」より

$$F = 1000 \times (0.10 \times 0.10 \times 0.050) \times 9.8 = 4.9\text{ N}$$

物体の受ける浮力と重力がつりあうので

$$F - mg = 0 \quad (g: \text{重力加速度の大きさ})$$

$$\text{よって } m = \frac{F}{g} = \frac{4.9}{9.8} = 0.50\text{ kg}$$



- 7 (1) 密度が $1.00 \times 10^3\text{ kg/m}^3$ の水に、密度が $9.2 \times 10^2\text{ kg/m}^3$ の氷を浮かせたとき、水面より上の部分の氷の体積は氷全体の何 % か。
(2) 密度が $\rho'[\text{kg/m}^3]$ の直方体の物体を、密度が $\rho[\text{kg/m}^3]$ の液体に入れたとき、この物体が浮くための条件を求めよ。

(1) 氷には重力と浮力の2力がはたらき、つりあっている。

氷全体の体積を $V[\text{m}^3]$ 、水面上の割合を $x[\%]$ とする。

水の密度を $\rho[\text{kg/m}^3]$ 、氷の密度を $\rho'[\text{kg/m}^3]$ 、重力

加速度の大きさを $g[\text{m/s}^2]$ とすると、氷全体の重さは

$\rho'Vg[\text{N}]$ 、氷にはたらく浮力の大きさは

$$\rho\left(1 - \frac{x}{100}\right)Vg[\text{N}] \text{ となる。}$$

氷にはたらく力のつりあいの式は

$$\rho\left(1 - \frac{x}{100}\right)Vg - \rho'Vg = 0$$

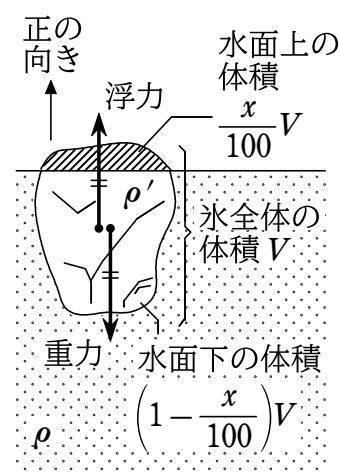
$$\text{よって } x = \frac{\rho - \rho'}{\rho} \times 100$$

$$= \frac{(1.00 \times 10^3) - (9.2 \times 10^2)}{1.00 \times 10^3} \times 100$$

$$= 8\%$$

(2) 物体が浮くための条件は

$$\rho' < \rho$$



C 空気の抵抗

雨粒が1000m上空から自由落下したとき、地上での速度を考えてみましょう。
自由落下の3番目の式を使うと、

となります。この速さはピストルの弾くらいあるため、雨粒といえども、理論上 傘はハチの巣になってしまいます。しかし、現実ではそんなことは起こりません。それは『空気抵抗』がはたらくからです。空気抵抗は摩擦と同じで、運動(落下)を妨げる方向にはたらき、抵抗力の大きさは速さに比例することが知られています。

ちなみに真空中では、どんな物体も落ちる速さは同じです。

【空気抵抗】

k : 比例定数

1、最初物体は重力のみ力を受ける。

2、少しずつ速さに比例した空気抵抗が落下を妨げるようになる。つまり、加速しづらくなる。

3、最終的に『重力=空気抵抗力』になると、力が釣り合うため、加速度が0となり、等速直線運動になる。このときの速度のことを『終端速度』という。

【終端速度】





「不屈不撓の物理ホームページリンク」

パスワード ○○○○