

14

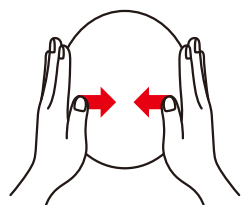
力とは何か？

解説動画



力とは何か？

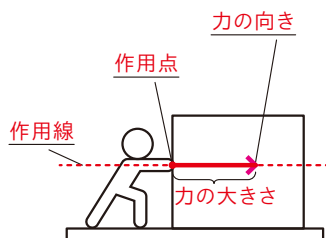
力とは、「物体を[**変形**]させたり、物体の[**運動**]の状態を変化させたりする原因となるもの」。



力の表し方

力は速度や加速度と同様に大きさと向きをもつ

[**ベクトル**]であり、矢印を用いて表される。力の大きさを表す単位は[**ニュートン**] [[**N**]]である。

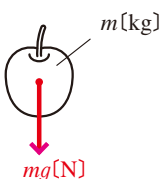


いろいろな力

● 重力

地球上にあるすべての物体は、地球に引かれている。この力を[**重力**]といい、物体に対して[**鉛直下**]向きにはたらく。質量 m [kg] の物体にはたらく重力の大きさ、すなわち[**重さ**]は[**mg**] [N] である。質量 1 kg の物体の重さは約[**9.8**] N である。

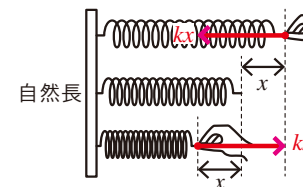
例) 質量 m [kg] のりんごにはたらく重力 [N]



● 弾性力

伸びたり縮んだりしているばねが、もとの長さ(自然長)にもどろうとして、他の物体に及ぼす力を[**弾性力**]という。弾性力の大きさは[**フック**]の法則で表される。

例) x [m] だけ伸びた(縮んだ)ばねが手に及ぼす弾性力 [N]



POINT



フックの法則: $F=kx$

F [N] : 弾性力の大きさ

k [N/m] : ばね定数

x [m] : ばねの伸びまたは縮み

● 張力

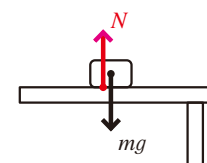
ピンと張った糸が、物体を糸の向きに引く力を、糸の[**張力**]という。



● 面から受ける力

質量 m [kg] の物体が机の上に置かれている。物体には[**鉛直下**]向きに mg [N] の[**重力**]がはたらいているが、物体は落下しない。これは机の面が物体に対して[**鉛直上**]向きの力を及ぼしているからである。

一般に、面が物体に対して、面と垂直な方向に及ぼす力を[**垂直抗力**]という。



\まとめ/



☆ フックの法則 $F=kx$

☆ F [N] : 弾性力の大きさ

☆ k [N/m] : ばね定数

☆ x [m] : ばねの伸びまたは縮み

15

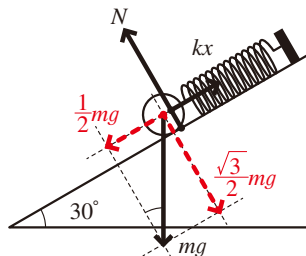
力のつりあい I
～物体にはたらく力の見つけ方～

解説動画



物体にはたらく力の見つけ方

- Q 図のように、質量 m の小球にはばね定数 k のばねをつけて、傾斜角 30° のなめらかな斜面上に置く。重力加速度の大きさを g とする。



- つづき /
Q (1) 小球にはたらく力を矢印で示し、その大きさを適切な文字で表せ。

POINT



物体にはたらく力の見つけ方

1. 重力
2. 近接力

- つづき /
Q (2) 力を斜面に平行な方向と斜面に垂直な方向に分解せよ。

- つづき /
Q (3) 力のつりあいの式を立てよ。

力のつりあい

[斜面] に [平行] な方向

$$kx = \frac{mg}{2} \dots \textcircled{1}$$

[斜面] に [垂直] な方向

$$N = \frac{\sqrt{3}mg}{2} \dots \textcircled{2}$$

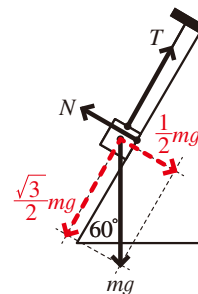
- つづき /
Q (4) ばねの伸びを求めよ。

$$\textcircled{1} \text{より, } x = \frac{mg}{2k}$$

- つづき /
Q (5) 小球にはたらく垂直抗力の大きさを求めよ。

$$\textcircled{2} \text{より, } N = \frac{\sqrt{3}mg}{2}$$

- Q 図のように、質量 m の物体に糸をつけて傾斜角 60° のなめらかな斜面上に置く。重力加速度の大きさを g とする。



- つづき /
Q (1) 小球にはたらく力を矢印で示し、その大きさを適切な文字で表せ。

- つづき /
Q (2) 力を斜面に平行な方向と斜面に垂直な方向に分解せよ。

- つづき /
Q (3) 力のつりあいの式を立てよ。

力のつりあい

[斜面] に [平行] な方向

$$T = \frac{\sqrt{3}mg}{2} \dots \textcircled{1}$$

[斜面] に [垂直] な方向

$$N = \frac{mg}{2} \dots \textcircled{2}$$

- つづき /
Q (4) 糸の張力の大きさを求めよ。

$$\textcircled{1} \text{より, } T = \frac{\sqrt{3}mg}{2}$$

- つづき /
Q (5) 物体にはたらく垂直抗力の大きさを求めよ。

$$\textcircled{2} \text{より, } N = \frac{mg}{2}$$

まとめ /



☆ 物体にはたらく力の見つけ方

1. 重力
2. 近接力

16

力のつりあいⅡ
～力のつりあい～

解説動画

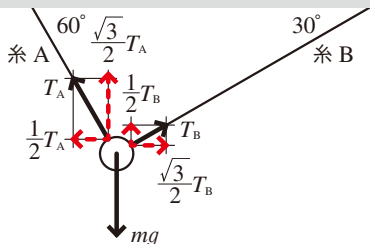


力のつりあいについて学ぼう！

- Q 質量 m の小球に 2 本の糸 A, B をつけて水平な天井からつるす。糸 A, B は天井とそれぞれ 60° , 30° の角をなして静止した。重力加速度の大きさを g とする。

つづき/

- Q (1) 小球にはたらく力を図示せよ。



復習

物体にはたらく力の見つけ方

- 1 重力
- 2 近接力

つづき/

- Q (2) 力を水平方向と鉛直方向に分解せよ。

つづき/

- Q (3) 力のつりあいの式を立てよ。

力のつりあい

[水平] 方向

$$\frac{\sqrt{3} T_B}{2} = \frac{T_A}{2} \quad \dots \textcircled{1}$$

[鉛直] 方向

$$\frac{\sqrt{3} T_A}{2} + \frac{T_B}{2} = mg \quad \dots \textcircled{2}$$

つづき/

- Q (4) 糸 A, B の張力の大きさ T_A , T_B の値を求めよ。

①を②に代入

$$\sqrt{3} \cdot \frac{\sqrt{3} T_B}{2} + \frac{T_B}{2} = mg$$

$$2T_B = mg$$

$$T_B = \frac{mg}{2} \quad \dots \textcircled{3}$$

③を①に代入

$$\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{mg}{2} = \frac{T_A}{2}$$

$$T_A = \frac{\sqrt{3} mg}{2}$$

17

作用・反作用の法則

解説動画

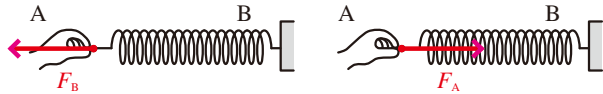


作用・反作用の法則について学ぼう！

Q 図のように、手 A でばね B を引っ張ったとき、はたらく力について考える。

\つづき/

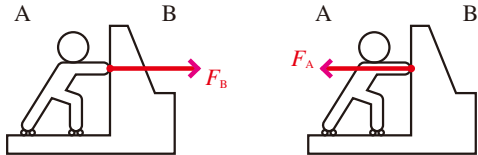
Q (1) 「手 A がばね B を引く力 F_B 」, 「ばね B が手 A を引く力 F_A 」をそれぞれ図示せよ。



\つづき/

Q (2) 図のように、人 A が壁 B を押すとき、はたらく力について考える。

「人 A が壁 B を押す力 F_B 」, 「壁 B が人 A を押す力 F_A 」をそれぞれ図示せよ。



上の例からもわかるように、力は1つの物体に一方的にはたらくのではなく、2つの物体の間で互いに及ぼし合ってはたらく。一方の力を作用とよぶとき、もう一方の力を反作用という。作用と反作用の間には、次の法則が成り立つ。

物体 A から物体 B に力([**作用**])がはたらくと、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([**反作用**])がはたらく。

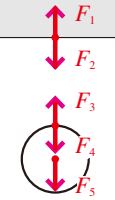
これを[**作用・反作用**]の法則という。

Q 図のように、天井から糸でおもりをつり下げる。

\つづき/

Q (1) 下記の5つの力の大きさを $F_1 \sim F_5$ で表す。5つの力を矢印と $F_1 \sim F_5$ の文字で表せ。

- F_1 : 天井が糸を引く力
- F_2 : 糸が天井を引く力
- F_3 : 糸がおもりを引く力
- F_4 : おもりが糸を引く力
- F_5 : おもりにはたらく重力



\つづき/

Q (2) 作用・反作用の関係にある2力はどれとどれか。

「天井が糸を引く力」と「糸が天井を引く力」
「糸がおもりを引く力」と「おもりが糸を引く力」

\つづき/

Q (3) おもりにはたらく力のつりあいの式をかけ。

$$F_3 = F_5$$

\まとめ/



物体 A から物体 B に力(作用)がはたらくと、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(反作用)がはたらく。

18

慣性の法則

解説動画



慣性の法則とは？

机の上で物体を滑らせると、物体はすぐに止まってしまう。しかし、氷の上を滑るカーリングのストーンのように、物体にはたらく摩擦が小さい場合、物体はすぐには止まらない。仮に、摩擦や空気抵抗がまったくない水平な氷の上で物体を滑らせたすると、物体はいつまでも[**等速直線**]運動を続ける。はじめ、氷の上で物体が静止していたとすると、物体は[**静止**]を続ける。一般に、物体には次の法則が成り立っている。



物体に力がはたらかないか、または、はたらく力が[**つりあって**]いるとき、静止している物体は[**静止**]を続け、運動している物体は[**等速直線**]運動を続ける

これを[**慣性**]の法則という。

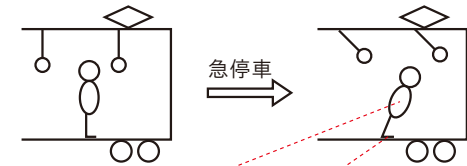
慣性とは何か？

氷の上の物体を例として考えてきたように、物体には本来、はじめにもっていた速度を保とうとする性質があると考えられる。この性質を[**慣性**]という。

Q

「慣性」という語を用いて、次の現象が起こる理由を説明せよ。
「電車内に立っているとき、電車が急停車したので倒れそうになった」

体は[**慣性**]によって[**運動**]を続けようとするのに、足だけが床との摩擦によって[**静止**]しようとするから。



体は慣性によって前の速度を保とうとする。

電車とそれに接触している足は停止しようとする。



19

運動の法則

解説動画



図のように、ショッピングカートを使って荷物を運ぶ。ここでは、カートを押す力 F とそのときに生じる加速度 a と全体の質量 m との関係について考える。摩擦はないものとする。



力と加速度の関係

全体の質量を一定にして、ショッピングカートを水平に押す力 F とそのときに生じる加速度 a との関係について考える。まず、カートの加速度 a の向きは、押す力 F の向きと[**同じ**]である。次に、押す力 F を2倍、3倍……に増加すると、生じる加速度 a は、[**2**]倍、[**3**]倍……になる。すなわち、加速度 a は力 F に[**比例**]する。

質量と加速度の関係

カートを押す力を一定にして、全体の質量 m と生じる加速度 a との関係について考える。カートにのせる荷物を増やしていき全体の質量 m を2倍、3倍……にすると、生じる加速度は[**$\frac{1}{2}$**]倍、[**$\frac{1}{3}$**]倍……になる。すなわち、加速度 a は質量 m に[**反比例**]する。

運動の法則とは何か？

物体に力 \vec{F} を加えると、力 \vec{F} の向きに[**加速度 \vec{a}**]が生じ、その加速度の大きさは力の大きさに[**比例**]し、物体の質量 m に[**反比例**]する。すなわち、

$$\vec{a} = k \frac{\vec{F}}{m} \quad (k \text{ は比例定数})$$

これを[**運動の法則**]という。

POINT



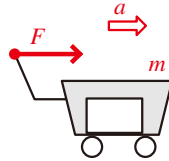
運動の法則 [**$\vec{a} = k \frac{\vec{F}}{m}$**] (k は比例定数)



復習

質量 m の物体が力 \vec{F} を受けるとき、生じる加速度 \vec{a} は、運動の法則より次のように表される。

$$\vec{a} = k \frac{\vec{F}}{m} \quad \cdots \cdots \textcircled{1} \quad (k \text{ は比例定数})$$



運動方程式とは何か？

①式において、 $k=1$ となるように力の単位を定めれば
 $[\vec{ma} = \vec{F}]$ となり、式を簡単にすることができる。この式を[**運動方程式**]という。
 具体的には、質量[**1 kg**]の物体にはたらいて、 1 m/s^2 の加速度を生じさせる力の大きさを[**1 ニュートン[N]**]と定めて、 $k=1$ としている。

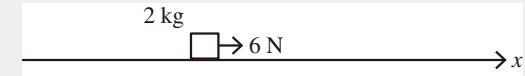
POINT

運動方程式 [$\vec{ma} = \vec{F}$]

運動方程式の \vec{a} , \vec{F} は、大きさと向きをもつ[**ベクトル**]であるが、一直線上の運動では、これらの向きを[**符号**]で区別して a , F と表すと、運動方程式は[$ma = F$]と書くこともできる。

Q

図のように、なめらかな水平面内にある x 軸上に 2 kg の物体を置く。



\つづき/

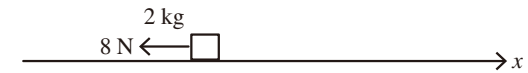
Q

(1) この物体に x 軸正の向きに 6 N の力を加えたとき、物体に生じる加速度の向きと大きさを答えよ。

運動方程式 $ma = F$ より

$$2a = 6$$

$$a = 3$$

 x 軸正の向きに 3 m/s^2 

\つづき/

Q

(2) この物体に x 軸負の向きに 8 N の力を加えたとき、物体に生じる加速度の向きと大きさを答えよ。

運動方程式 $ma = F$ より

$$2a = -8$$

$$a = -4$$

 x 軸負の向きに 4 m/s^2

\まとめ/

☆ 運動方程式 [$ma = F$]

21

運動方程式Ⅱ
～運動方程式の立て方～

◎ 解説動画



POINT



手順に従って運動方程式を立てよう！

運動方程式を立てる手順

- ① m : 注目する物体を決める。
- ② a : 加速度 a と同じ向きに x 軸, それと垂直な向きに y 軸を設定する。
- ③ F : 力を図示し, x, y 方向に分解する。

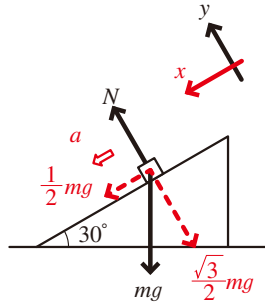
Q

図のように, 傾斜角 30° のなめらかな斜面上に質量 m の物体を静かに置く。重力加速度の大きさを g とする。

\ つづき /

Q

- (1) 物体にはたらく力を矢印で示し, その大きさを適切な文字で表せ。
- (2) 力を斜面に平行な方向と垂直な方向に分解せよ。



\ つづき /

Q

- (3) 斜面に平行な方向と垂直な方向, それぞれについて運動方程式を立てよ。

運動方程式

$$\text{斜面に平行 : } ma = \frac{mg}{2} \quad \cdots \cdots \textcircled{1}$$

$$\text{斜面に垂直 : } m \times 0 = N - \frac{\sqrt{3}mg}{2} \quad \cdots \cdots \textcircled{2}$$

\ つづき /

Q

- (4) 物体の加速度の大きさを求めよ。

$$\textcircled{1} \text{ より, } a = \frac{g}{2}$$

\ つづき /

Q

- (5) 物体にはたらく垂直抗力の大きさを求めよ。

$$\textcircled{2} \text{ より, } N = \frac{\sqrt{3}mg}{2}$$

\ まとめ /



☆ 運動方程式を立てる手順

- ① m : 注目する物体を決める。
- ② a : 加速度 a と同じ向きに x 軸, それと垂直な向きに y 軸を設定する。
- ③ F : 力を図示し, x, y 方向に分解する。

22

運動方程式Ⅲ
～運動方程式の典型問題～

解説動画



復習

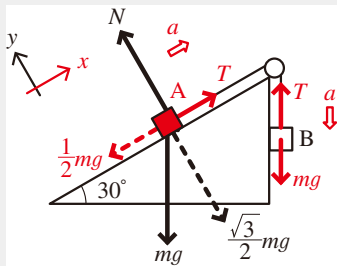
運動方程式を立てる手順

- 1 m : 注目する物体を決める。
- 2 a : 加速度 a と同じ向きに x 軸, それと垂直な向きに y 軸を設定する。
- 3 F : 力を図示し, x, y 方向に分解する。

典型問題に挑戦しよう！

Q

図のように、傾斜角 30° のなめらかな斜面上に質量 m の物体 A をのせ、これに糸をつないで軽い滑車を経て同じ質量の物体 B をつるす。手をはなすと両物体は動き始めた。重力加速度の大きさを g とし、両物体は運動中であるとして、次の(1)～(5)の問いに答えよ。



\つづき/

Q

(1) 物体 A, B の加速度の大きさを求めよ。

運動方程式

$$A : ma = T - \frac{mg}{2} \quad \cdots \cdots ①$$

$$B : ma = mg - T \quad \cdots \cdots ②$$

①+②より

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

$$a = \frac{g}{4} \quad \cdots \cdots ③$$

\つづき/

Q

(2) 糸の張力の大きさを求めよ。

③を①に代入して

$$\frac{mg}{4} = T - \frac{mg}{2} \quad \text{より} \quad T = \frac{3mg}{4}$$

\つづき/

Q

(3) 斜面が物体 A に及ぼす抗力の大きさを求めよ。

物体 A にはたらく斜面に平行な方向の力のつりあいより

$$N = \frac{\sqrt{3}mg}{2}$$

\つづき/

Q

(4) 手をはなしてから、物体 B が $2h$ だけ上昇する間の時間を求めよ。

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad \text{より}$$

$$2h = \frac{1}{2} \cdot \frac{g}{4} \cdot t^2$$

$$\frac{16h}{g} = t^2$$

 $t > 0$ だから

$$t = 4\sqrt{\frac{h}{g}}$$

\つづき/

Q

(5) 手をはなしてから、物体 B が高さ $2h$ だけ上昇したとき、物体 A の速さを求めよ。

$$v = v_0 + at \quad \text{より}$$

$$v = \frac{g}{4} \cdot 4\sqrt{\frac{h}{g}} \\ = \sqrt{gh}$$

別解)

$$v^2 - v_0^2 = 2ax \quad \text{より}$$

$$v^2 = 2 \cdot \frac{g}{4} \cdot 2h$$

 $v > 0$ だから

$$v = \sqrt{gh}$$

\まとめ/



☆ 運動方程式を立てる手順

- ① m : 注目する物体を決める。
- ② a : 加速度 a と同じ向きに x 軸, それと垂直な向きに y 軸を設定する。
- ③ F : 力を図示し, x, y 方向に分解する。

23

静止摩擦力

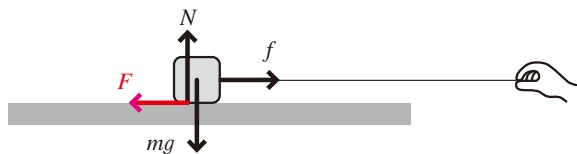
解説動画



静止している物体にはたらく摩擦力について考えよう！

図のように、あらい水平面上に質量 m の物体を置き、水平右向きに大きさ f の力で引っ張る。 f が小さい間は、物体は動かない。これは、 f と [同じ] 大きさの摩擦力が、水平 [左] 向きにはたらいっているからである。このように、静止している物体にはたらく摩擦力を [静止摩擦力] という。

※ 物体にはたらく力を矢印で示し、その大きさを適切な文字で表してみよう。



一般に、物体が面から受ける力を [抗力] という。抗力を面に垂直な方向と平行な方向に分解した力が [垂直抗力] と [摩擦力] である。

さらに、物体を引く力を大きくしていくと、それにつりあって静止摩擦力も大きくなっていく。しかし、引く力がある限界値 f_L をこえると、ついに物体はすべり出す。すべり出す直前の摩擦力を [最大摩擦力] という。実験によれば、最大摩擦力の大きさ F_{\max} は垂直抗力の大きさ N に比例し、次のように表される。

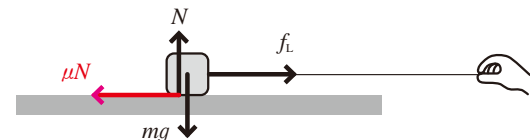
POINT



最大摩擦力 $F_{\max} = [\mu N]$

ここで、比例定数 μ は [静止摩擦係数] といい、両物体の面の状態によって決まり、物体のすべりにくさを表している。

※ すべり出す直前、物体にはたらいっている力を矢印で示し、その大きさを適切な文字で表してみよう。



Q

質量 m の物体を板にのせ徐々に傾けていくと、傾斜角が θ をこえたところで物体がすべり始める。この角 θ を摩擦角という。物体と板との間の静止摩擦係数 μ は、摩擦角 θ を用いてどのように表されるか。

すべり出す直前における力のつりあい

斜面に平行な方向

$$\mu N = mg \sin \theta \quad \cdots \textcircled{1}$$

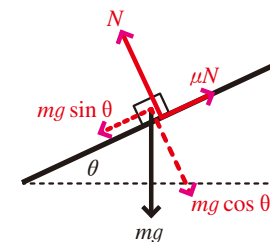
斜面に垂直な方向

$$N = mg \cos \theta \quad \cdots \textcircled{2}$$

① ÷ ② より

$$\frac{\mu N}{N} = \frac{mg \sin \theta}{mg \cos \theta}$$

$$\mu = \tan \theta$$



まとめ



☆ 最大摩擦力 $F_{\max} = [\mu N]$

24

動摩擦力

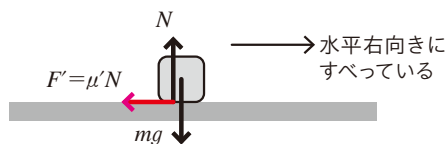
解説動画



復習

最大摩擦力 $F_{\max} = \mu N$

すべっている物体にはたらく摩擦力について考えよう！



※ 下の説明文を読みながら、すべっている物体にはたらく力を上の図に記入していこう。

図のように、あらい水平面上を質量 m の物体が右向きにすべっている。このとき、物体には水平[**左**]向きに摩擦力がはたらく。このような、あらい面上をすべる物体にはたらく摩擦力を[**動摩擦力**]という。実験によると、動摩擦力の大きさ F' は垂直抗力の大きさ N に比例し、次の式で表される。

POINT

動摩擦力 $F' = [\mu' N]$

ここで、比例定数 μ' は[**動摩擦係数**]といい、両物体の面の状態によって決まり、物体のすべりにくさを表している。

一般に、動摩擦係数 μ' は静止摩擦係数 μ よりも小さい。したがって、動摩擦力は最大摩擦力よりも[**小さく**]なる。

摩擦力の向きについてまとめよう！

静止摩擦力や動摩擦力のはたらく向きは、一般に次のようにまとめることができる。

POINT

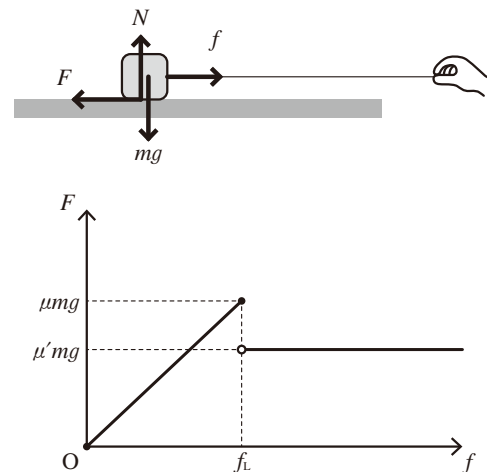


摩擦力の向き

「物体が動いている向き、または動こうとする向きと[**逆向き**]にはたらく」

Q

図のように、あらい水平面上に質量 m の物体を置き、水平右向きに大きさ f の力で引っ張る。 f の値を 0 から徐々に大きくしていくと、 $f = f_L$ をこえたところで物体がすべり始めた。物体と面と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。横軸に引っ張る力の大きさ f 、縦軸に物体に生じる摩擦力の大きさ F としてグラフをかけ。



\ まとめ /

☆ 動摩擦力 $F' = [\mu' N]$

☆ 摩擦力の向き

物体が動いている向き、または動こうとする向きと
[**逆向き**]にはたらく」

25

摩擦力のある運動

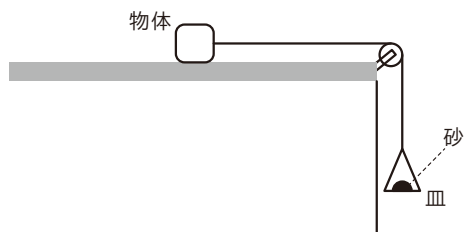
◎ 解説動画



問題を解きながら、摩擦力についてまとめよう！

Q

図のように、あらい水平面上に質量 m の物体が糸に結ばれ静止している。糸は滑車を経て他端に質量の無視できる皿をつけている。皿には砂がのせられ、この砂の質量をわずかず増やしていく。水平面と物体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。



\つづき/

Q

(1) 砂の質量が $\frac{m}{3}$ のとき、物体は静止していた。このとき、物体にはたらく静止摩擦力の大きさ F を求めよ。

力のつりあい

物体： $T=F$ 砂： $T=\frac{m}{3}g$

上の2式より

$$F=\frac{mg}{3}$$

\つづき/

Q

(2) 砂の質量が $\frac{m}{2}$ をこえたところで、物体はすべり始めた。 μ の値を求めよ。

すべり始める直前の力のつりあいより

物体： $T=\mu mg$ 砂： $T=\frac{m}{2}g$

上の2式より

$$\mu mg=\frac{mg}{2}$$

よって

$$\mu=\frac{1}{2}=0.5$$

\つづき/

Q

(3) 砂の質量が m のとき、物体の加速度の大きさ a を求めよ。

運動方程式より

物体： $ma=T-\mu'mg$ 砂： $ma=mg-T$

上の2式より

$$2ma=mg-\mu'mg$$

$$2ma=(1-\mu')mg$$

$$a=\frac{(1-\mu')g}{2}$$