

物理概論ヒント

7 ニュートンの三法則

第一法則（慣性の法則）：物体に働く外力が釣り合っているとき、物体は 。
詳しくは、教科書 p44～45

第二法則（力の定義、または運動方程式）：物体に働く外力が釣り合っていないとき、物体は、その力の方向に 運動をする。このとき、加速度は外力の大きさに 、質量に 。教科書 p48

第二法則（作用・反作用の法則）：二つの物体 A、B が互いに作用しあうとき、A が B から受ける力は、B が A に及ぼす力と がおなじであるが、 は逆である。P57～58

8A

- (1) 地表の（我々が生活する範囲～高度が約 10km）物体が受ける力は、教科書 3.4 式（ニュートンの万有引力の法則）。物体の運動、つまり加速度は、ニュートンの第二法則の力が万有引力とすれば求めることができる。その答えも教科書に書いてある。（次の頁）
- (2) 教科書 p55 をよく読むこと。

8B

地上の物体は、空気の抵抗を無視すると、一定の加速度で落下する。そのような物体の速度は、p32 の 2.3 式であらわされる。この時の a は何か。P33 のグラフと本文を照らし合わせて読むこと。P40～p41 の問題も見ること。

10 物理概論の単位には絶対にできなければならない典型的な力学の問題。

このような問題の解き方は授業でも説明した。エッセンスを書いておくと、

- ① 適切な座標を選ぶ。（なるべく変数が少なくなるような）
- ② 物体一つ一つに対し運動方程式を書く。
- ③ 物体一つの運動方程式を書くにあたっては、物体が、**他から着目する物体が受けている力**だけを描く（物体が**他の物体に**及ぼしている力はまぎらわしいので書かない）。ニュートンの第二法則が主張することは、これらの合計（合力） $\vec{F}_{\text{合}}$ が加速度を生じさせる。まず、万有引力を書く。次に、接触している物体から受ける力を全て書く。
- ④ 運動方程式ができたら、連立させ、加速度を求める。
- ⑤ 最後に微分方程式を、初期条件を入れて解く

物理概論ヒント

10(1) のヒント（ここまで書くと答え）軽い糸がピンと張っているとき、この糸にかかる左右の張力は、運動の如何にかかわらず等しくなる。この理由を説明しなさい。

まず、絵を描く。下に示すように糸が受ける力は、張力（引っ張り）左端では左向き、右端では右向きの力を受ける。が、大きさは、分かっていない。（バネ秤をつければわかる）



糸の質量を m 、右からの張力を T_R 、左からの張力を T_L とすると、糸の運動方程式は、

$$\text{合力}_{\text{糸}} = T_R - T_L = ma \quad \dots \textcircled{1}$$

となる。①式に、糸が非常に軽い、つまり $m=0$ を代入すれば、求める答えが得られる。

10(2)～のヒント。答えをここで出すわけにはいかないので別の問題を考える。

例えば、下の図に示すよう質量 2kg と 3kg の箱 A、B 二つの箱を水平で滑らかなテーブルに置く。A を 5N の力で右に向かって押し続ける。



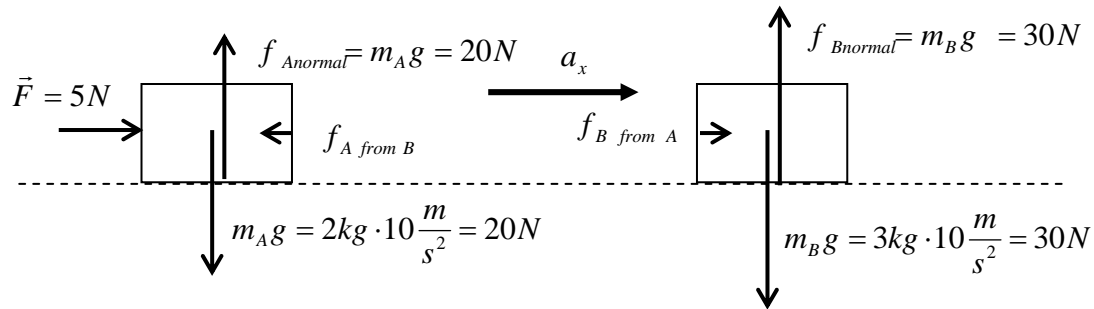
- (1) A, B に働く力を全て記入し、それぞれの物体の水平方向、垂直方向に対する運動方程式を作りなさい。
- (2) (1) で求めた運動方程式（水平方向）を解き、これらの運動の加速度を求めなさい。

問題の解き方をもう一度書くと、

- ① 適切な座標を選ぶ。（なるべく変数が少なくなるような）
- ② 物体一つ一つに対し運動方程式を書く。
- ③ 物体一つの運動方程式を書くにあたっては、物体が、他から受けている力だけを描く
 （物体が他に及ぼしている力はまぎらわしので書かない）。これらの合計（合力） $\vec{F}_{\text{合}}$ が
 加速度を生じさせる。まず、万有引力を書く。次に、接触している物体から受ける力を全て書く。
- ④ 運動方程式ができたら、連立させ、加速度を求める。
- ⑤ 最後に微分方程式を、初期条件を入れて解く

物理概論ヒント

(1) 上の鉄則通りに A、B に対して別々の図を描く。どれとどれが作用反作用か？



(a) まず、上下方向。

$m_A g$ は地球が A を引っ張る力。この反作用は、地球が受けるのでここには描いていない。

$f_{A normal}$ は A が机から受ける上向きの力。この反作用も机が受けるので描いていない。

A に働いている上下方向の力は、 $m_A g$ と $f_{A normal}$ である。上下方向には加速度運動していないから

加速度 a_{Ay} は $0 \frac{m}{s^2}$ である。従って、上下方向の第二法則（力＝質量×加速度）は、

$$F_{A \text{ 上下方向の合計}} = f_{A normal} - m_A g = m_A a_{Ay} = 0 N. \quad \text{これより、} f_{A normal} = m_A g \text{ となる。}$$

(b) 次に、水平方向

$\vec{F} = 5N$ は、箱 A が手から受ける力。この反作用は手が受ける。（ここには描いていない!）

$f_{A from B}$ は A が B から受ける力。この時点では分かっていない。これを作用とすると、反作用は、A が B を押す力。これは右の図 $f_{B from A}$ である。

(c) 箱 B に対しても同様な図を書く。

(2) これらを完成した後、運動方程式を立てる。

A の水平方向の運動方程式： 箱 A の加速度を a_x とすると、

$$\vec{F}_{A \text{ 合水平}} = 5N - f_{A from B} = m_A \vec{a}_x$$

この式に具体的な数値を代入すると、 $5N - f_{A from B} = m_A a_x = 2kg \cdot a_x \quad \dots \textcircled{1}$

A の垂直方向の運動方程： この方向の加速度を a_y とすると、

$$F_{A \text{ 合垂直}} = f_{A normal} - m_A g = m_A a_y. \rightarrow f_{A normal} - 2kg \cdot g = 2kg \cdot a_y \quad \dots \textcircled{2} \quad (kg \text{ の } g \text{ と地球の}$$

重力加速度 g を混同しないよう。)

B の水平方向の運動方程式： B も加速度を a_x で運動するから、 $\vec{F}_{B \text{ 合水平}} = f_{B from A} = m_B a_x$ 。

作用・反作用の法則より、 $f_{A from B} = f_{B from A}$ 。 $f_{B from A} = f_{A from B} = m_B a_x$ 。 この式に

物理概論ヒント

具体的な数値を代入すると、 $f_{A \text{ from } B} = 2\text{kg} \cdot a_x \dots \textcircled{3}$

Bの垂直方向の運動方程式： A同様、 $F_{B \text{ 合垂直}} = f_{B \text{ normal}} - m_B g = m_B a_y \dots \textcircled{4}$

(3)前頁の①と③を連立させ解く。①+③→ $5\text{N} = (2\text{kg} + 3\text{kg})a_x$ 。これより、水平方向の加速度は $a_x = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ となる。…答え

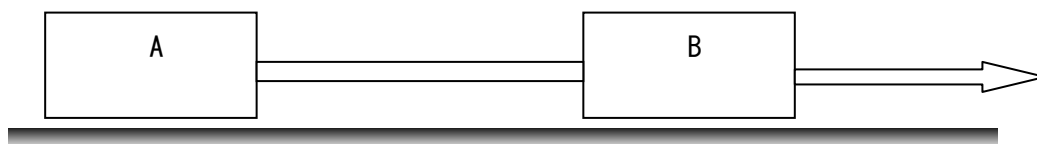
垂直方向は、上下方向に加速度がない(止まっていると加速度がないは全く違う状態)ので、 $a_y = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ でなければならない。これを②と④に代入すると、二つの式から、

$f_{A \text{ normal}} = 2\text{kg} \cdot g = 20\text{N}$ 、 $f_{B \text{ normal}} = 3\text{kg} \cdot g = 30\text{N}$ となる。不明だった、机が物体をテーブルに留めるのに必要な(押し上げる)力がこれで計算できたことになる。

=====

作用・反作用 もう一度確認

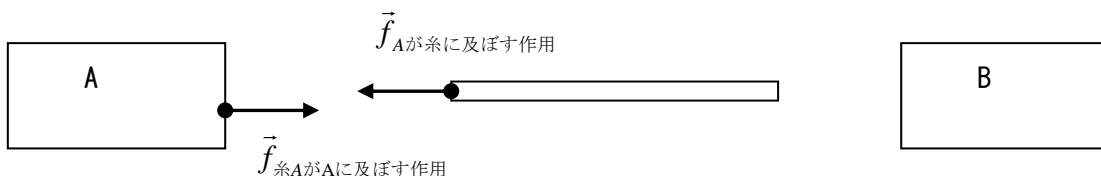
上の問題では、箱を糸でつなげないで、左から箱Aを \vec{F} の力で押した。この力は、箱Bの運動方程式には出てこない。糸でつないだときは、どのようになるか？下の絵では糸をわざと太く書いた。



もう一度、ひとつひとつ取り出して、どのような力が加わるか(水平方向だけでよい)書き出してみよう。糸が受ける力(糸から見て外力)はこのプリントP2を見ること。

作用反作用の法則がどのように物体の運動に関係してくるか下に示す。

Aが糸に及ぼす力を $\vec{f}_{A \text{ が糸に及ぼす作用}}$ 、とするとその反作用は、 $\vec{f}_{\text{糸AがAに及ぼす作用}}$ として現れる。



以上を参考に 10 を解いてみよう。

答えが、「あっている、間違っている」よりも考え方を理解すること。

そうしないと、中学生に説明できない。