

物理基礎

- 第1章 等加速度運動
- 第2章 落下運動
- 第3章 力
- 第4章 運動方程式
- 第5章 エネルギー
- 第6章 波
- 第7章 電子・原子

ver 1.0

物理基礎 0時間目

1.物理の勉強法について

物理と聞くと難しいものと思う人もいますが、そんなことはありません。あきらめずにこつこつ繰り返し取り組めば、誰でも理解することができます。分からなかったことも、繰り返し勉強をしているうちに“ふっと分かる”瞬間がやってきます。

ポイントは

①このテキストを繰り返し見る。

②プリントで問題を解く。

③教科書を見ない。

です。分からないことがあると教科書を見たくになりますが、教科書の文章は初めて物理を学ぶ人には難しいので、初めのうちは教科書を見ないことをおすすめします。

2.電卓について

計算は電卓を使っても構いません。授業中も試験のときも電卓を使うことができます。できれば√の計算のできるものを用意しましょう。

3.分数が理解できていますか？

$$\frac{1}{2} \text{ は } 1 \div 2 = 0.5$$

$$\frac{3}{4} \text{ は } 3 \div 4 = 0.75 \text{ です。}$$

電卓で確認をしてみよう。

4. 「乗除優先」覚えていますか？

計算の順番を表す言葉です。

計算の順番は、

- ①最初に「2乗や3乗を計算」し、
- ②次に「かけ算・割り算」。
- ③最後に「足し算・引き算」を行います。

例 $3 + 4 \times 5^2 = 3 + 4 \times 25$ (2乗優先)
 $= 3 + 100$ (かけ算優先)
 $= 103$ (最後に足し算)

5. プリントについて

プリントおもて面は“全員が必ず解答”すること。

裏面の「おかわり問題」は、自分の進路に物理が必要な人、もっと頑張ってみたい人、よく眠れない人用です。でも、できるだけチャレンジしてください。

6. ノートについて

ノートをとるときは、常に新しいページの一番上の行から書き始めること。画面1枚をできるだけノート1ページに収め、ページをめくらなくても全体が見渡せるようにしよう。「まえがき」と「あとがき」は写す必要はありません。

この画面は、ひと画面がノート1ページになるように、23文字×30行で制作しています。スクリーンショットも撮っておきましょう。

7. このテキストはスマホの画面に最適化するために、縦横の比率が16：9になっています。

物理基礎 1 時間目

1. 平均の速さ・速さ・速度

① 平均の速さ

その途中の経過にかかわらず、移動した距離とそれに要した時間によって決まる量。

② 速さ（瞬間の速さ）

その一瞬一瞬における速さ。

③ 速度

速度 = 速さ + 方向

2. 等速度運動（等速直線運動）

一定の速さで一定の方向へ進む運動

3. 等速度運動における速さ v [m/s] と時間 t [s] と距離 s [m] の関係

日本語で書くと → 記号で書くと

$$\text{速さ} = \frac{\text{距離}}{\text{時間}} \rightarrow \boxed{v = \frac{s}{t}}$$

$$\text{距離} = \text{速さ} \times \text{時間} \rightarrow \boxed{s = v t}$$

$$\text{時間} = \frac{\text{距離}}{\text{速度}} \rightarrow \boxed{t = \frac{s}{v}}$$

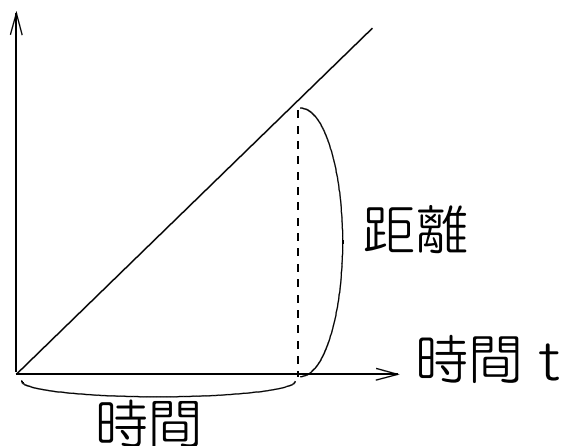
記号と単位

v : 速度 [m/s] s : 距離 [m] t 時間 [s]

4.等速度運動とそのグラフ

① s - t グラフ

距離 s と時間 t の関係を表すグラフのこと
距離 s



グラフの傾きを求めると、傾き = 縦 ÷ 横 = 距離 ÷ 時間 となりますが、距離 ÷ 時間 = 速度 v なので、

s - t グラフの特徴

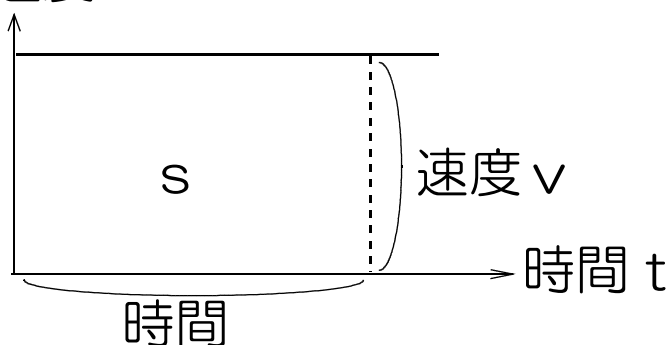
s - t グラフにおいて傾きは速度 v を表す。

傾き 大 → 速い

傾き 小 → 遅い

② v - t グラフ

速度 v と時間 t の関係を表すグラフのこと
速度 v



グラフの面積 s を求めると、面積 = 縦 × 横 = 速度 × 時間 となるが、速度 × 時間 = 距離 なので、

v - t グラフの特徴①

v - t グラフにおいて面積は距離を表す。

●あとながき（ノートに写さなくても良い）

グラフのお約束について

$v-t$ （読み方は“ブイティー”。真ん中の横棒は読まない）グラフといった場合、 v が速度、 t が時間なので、速度 v と時間 t の関係を表すグラフということになります。また、初めの記号が縦軸、次が横軸というグラフのお約束があるので、 $v-t$ グラフは縦軸が速度 v 、横軸が時間 t になります。

内容が理解出来たら、プリント「等速度運動(等速直線運動)」に挑戦しよう。問題文の最後の()の中は答えです。自分の解答があっているかどうか確認しながら先に進もう。

※重要 プリントの解答の書き方

1. 公式を書く。
2. 公式に値を代入する。
※時間は秒、距離はメートルに直して代入する。
3. 途中計算を書く。
4. 答えを最後に書く。
5. 答えに単位をつける。

例 速度 3 [m/s] で運動する物体が、2分間に進む距離はいくらか。

$s = v t$ より（最初に公式）

（2分は 2×60 秒なので t に 2×60 を代入）

$s = 3 \times (2 \times 60)$ （代入と途中計算）

$= 360 \text{ [m]}$ （答えと単位）

面倒くさいけど、途中を省略せずに丁寧に書こう。これが物理が得意になる近道です。

物理基礎 2時間目

1. 加速度 a [m/s^2]

「加速度とは、**速度の変化する割合**」のこと
→ 1秒たったら速度がどのくらい変化するかを表す量

例1 はじめ 3 [m/s] だった物体の速さが、1秒ごとに 2 [m/s] ずつ速くなる場合。これを表とグラフにすると以下のようなになる。

時間 t [s]	0	1	2	3	4	...
速度 v [m/s]	3	5	7	9	11	...
速度の変化		+2	+2	+2	+2	...

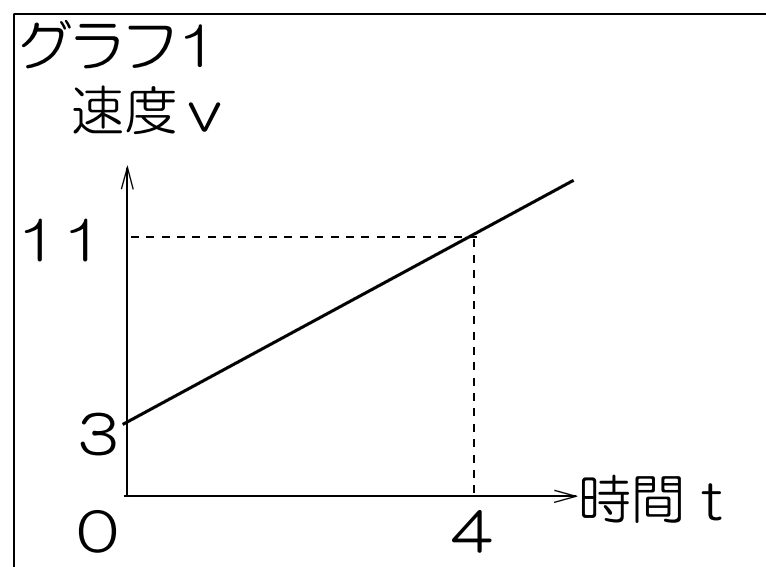


表1とグラフ1より

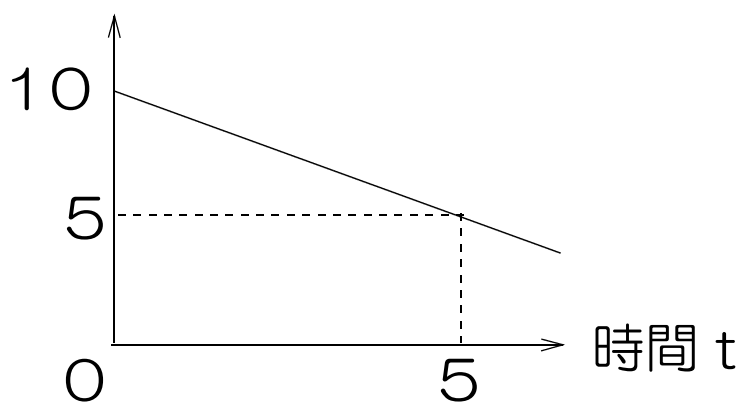
「1秒ごとに速度が 2 [m/s] ずつ増えた。」

→ **加速度 $a = 2$ [m/s^2]**

例2 はじめ10[m/s]だった物体の速さが、
1秒ごとに1[m/s]ずつ遅くなる場合。

時間 t [s]	0	1	2	3	4	5
速度 v [m/s]	10	9	8	7	6	5
速度の変化		-1	-1	-1	-1	-1

グラフ2
速度 v



「1秒ごとに速度が1[m/s]ずつ減った。」

→ **加速度 $a = -1$ [m/s²]**

2. 初速度 v_0 [m/s] (記号の読み方は「**ブイゼロ**」)
時間 $t = 0$ における速度を特に「初速度 v_0 」と呼ぶ。
例2の場合、初速度 $v_0 = 10$ [m/s]。

●あとかき

何となく「加速度」のイメージがつかめましたか？
加速度を理解できるかどうか、物理の第一関門です。

では、プリント「加速度」をやってみよう。

物理基礎 3時間目

1. 等加速度直線運動

加速度の値が常に一定で一直線上を移動する物体の運動のこと。

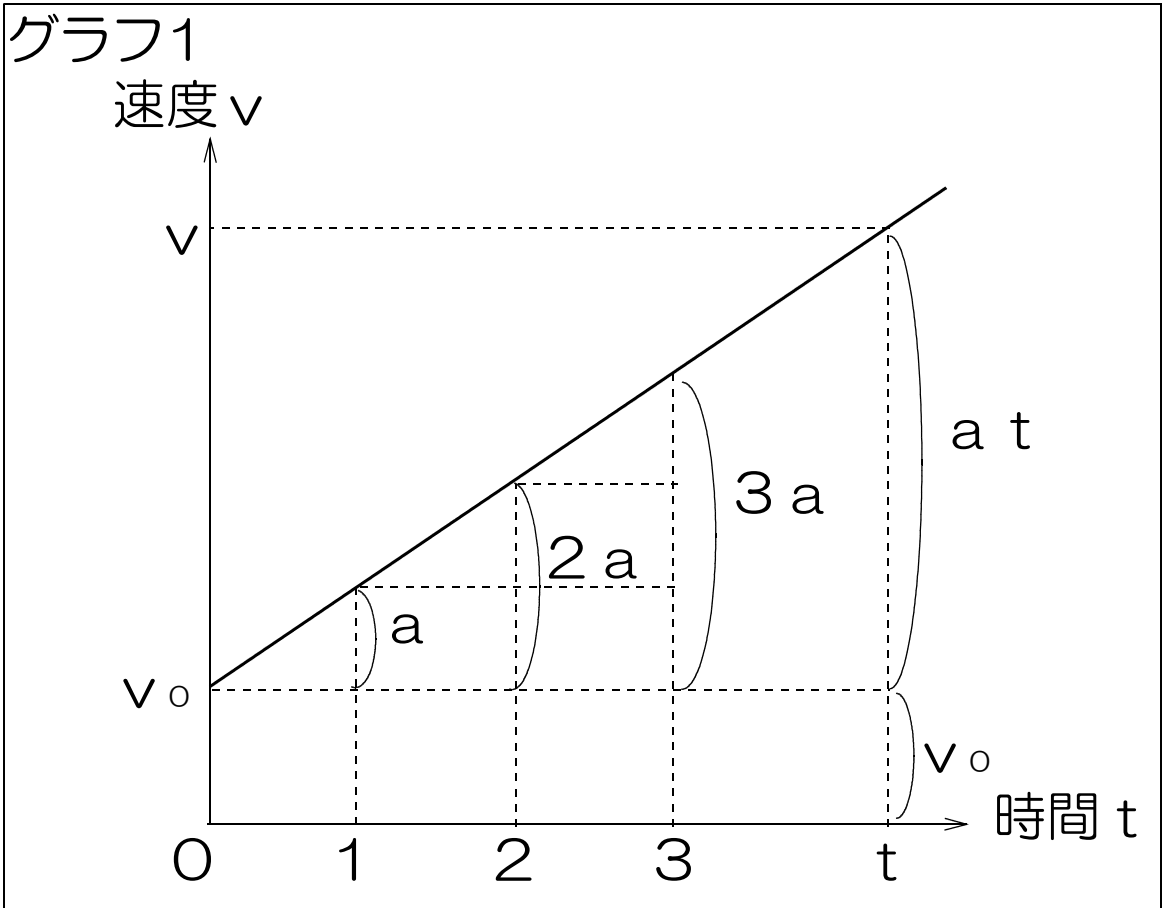
2. 等加速度直線運動における時間 t と速度 v の関係

初速度 v_0 [m/s], 加速度 a [m/s²] で運動する物体の t 秒後の速度を v [m/s] とする。これを表にすると、次のようになる。

時間 t [s]	0	1	2	3	...
速度 v [m/s]	v_0	$v_0 + a$	$v_0 + 2a$	$v_0 + 3a$...
速度の変化		$+a$	$+a$	$+a$...

表 1 を見ると、1 秒ごとに速度が a ずつ増えていることがわかります。前回の授業を思い出すと、加速度の値が a であることがわかります。

これをグラフにすると、次のようになる。



表とグラフから、はじめの速度は v_0 で、1秒ごとに速度が a ずつ増えていくことが分かる。よって t 秒後の速度 v を v_0 と a と t をつかって表すと、次のようになる。

時間と速度の関係を表す式

記号

$$v = v_0 + at$$

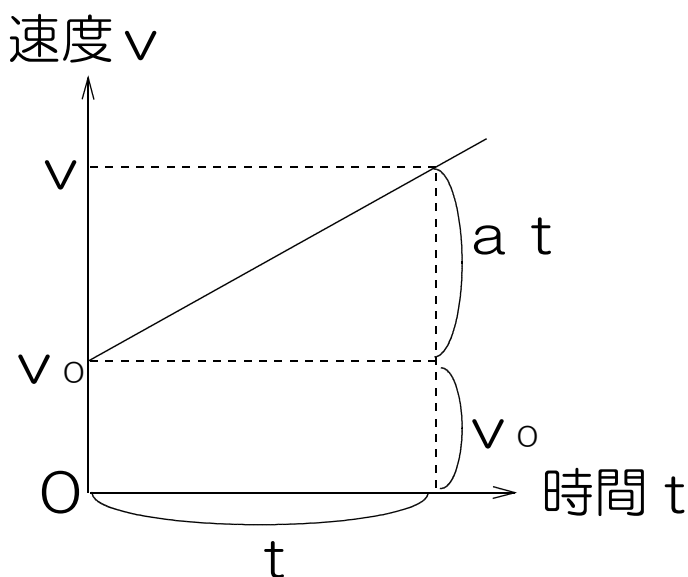
v : 速度 [m/s]

v_0 : 初速度 [m/s]

a : 加速度 [m/s²]

t : 時間 [s]

3. v - t グラフの特徴②



$$\text{グラフの傾き} = \frac{\text{高さ}}{\text{底辺}} = \frac{a t}{t} = a$$

よって

v - t グラフの特徴②

v - t グラフにおいて傾きは加速度 a を表す。

●あとかき

公式は丸暗記するのではなく、それがもともとなった図を思い浮かべ、公式がどのようにしてできたかを思い出せるようにしよう。

単位について

“/” は ÷ と同じで、 $1 / 2 = 1 \div 2$ を表します。速度は距離 ÷ 時間なので、速度の単位は、距離の単位 [m] を時間の単位 [s] で割った [m/s] になります。このように単位は計算式と密接な関係があります。

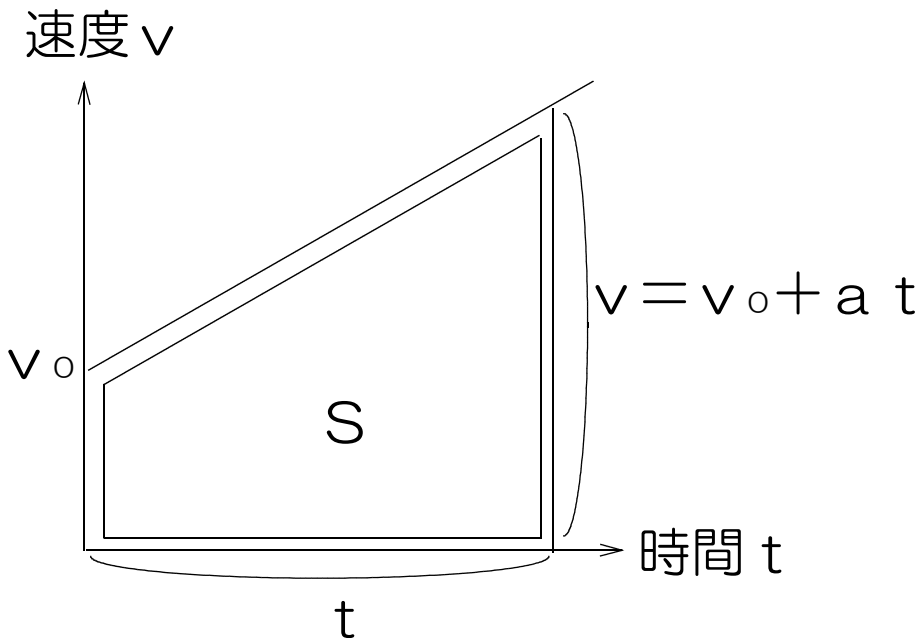
では、プリント「等加速度直線運動における時間 t と速度 v の関係」をやってみよう。

物理基礎 4時間目

1. 等加速度直線運動における時間 t と距離 s の関係
初速度 v_0 [m/s]，加速度 a [m/s²] で運動する物体の移動距離 s [m] について考える。

「 v - t グラフにおいて面積は距離 s を表す」(1時間目参照) ので、この物体の移動距離 s を知るためには、下の図1の面積 S を求めればよい。

図1



このまま台形の面積を求めてもよいが、 v_0 を境目にして上下2つに分けると図2のようになる。



図2

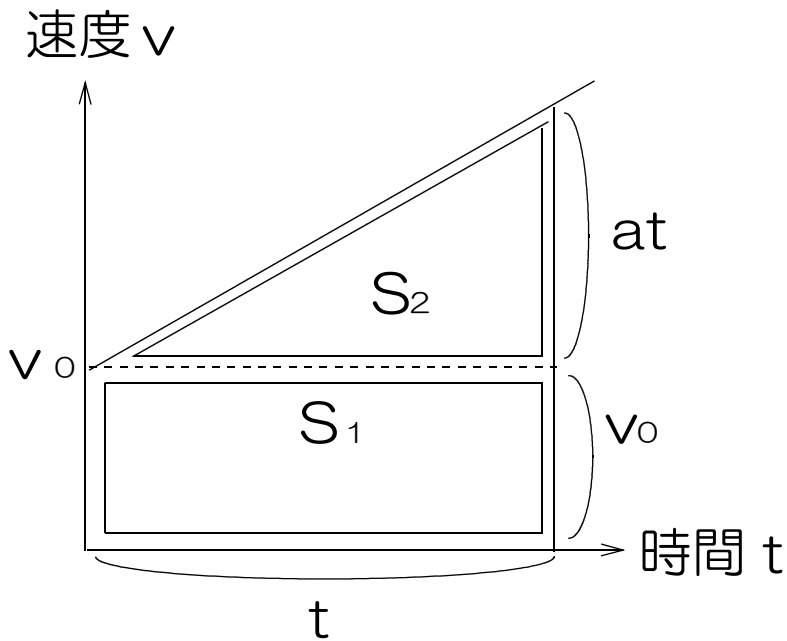


図2より、 $s = s_1 + s_2$
 $= v_0 \times t + at \times t \div 2$
 $= v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$

時間 t と距離 s の関係を表す式

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

- s : 距離[m]
- v_0 : 初速度[m/s]
- a : 加速度[m/s²]
- t : 時間[s]

●あとながき

今回は時間とともに速度の変化する物体が進む距離について考えてみました。公式を丸暗記するのではなく、図2を理解しましょう。そうすれば自然と「時間と速度の関係」と「時間と距離の関係」の式が思いつくはずです。

計算の順番に注意！（0時間目の繰り返し）

計算は、2乗が最優先、掛け算・割り算を先に行い、足し算・引き算はその次に行う「乗除優先」でしたね。今回も公式を使って計算をするときは、まず t の2乗を計算し、次に $v_0 t$ と $\frac{1}{2} a t^2$ を計算し、その2つの答えを最後に足し合わせることになります。計算の順番に気をつけよう。

例 初速度 $v_0 = 4$ [m/s]、加速度 $a = 3$ [m/s²]で運動する物体が、5秒間に進む距離 s はいくらか。

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad \text{より（最初に公式）}$$

$$s = 4 \times 5 + \frac{1}{2} \times 3 \times 5^2 \quad \text{（公式に値を代入）}$$

$$= 20 + \frac{1}{2} \times 3 \times 25 \quad \text{（2乗が最優先）}$$

$$= 20 + 37.5 \quad \text{（かけ算優先）}$$

$$= 57.5 \quad \text{（最後に足し算）}$$

$$= 57.5 \text{ [m]} \quad \text{（答えと単位）}$$

では、プリント「等加速度直線運動における時間 t と距離 s の関係」をやってみよう。

物理基礎 5時間目

1.等加速度直線運動における速度 v と距離 s の関係

$$v = v_0 + a t \cdots \textcircled{1} \text{時間 } t \text{ と速度 } v \text{ の関係}$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \cdots \textcircled{2} \text{時間 } t \text{ と距離 } s \text{ の関係}$$

前に出てきた2つの式から3つ目の式を導く

①より

$$v - v_0 = a t$$

$$t = \frac{v - v_0}{a} \cdots \textcircled{3}$$

③を②に代入

$$s = v_0 \times \left(\frac{v - v_0}{a} \right) + \frac{1}{2} a \left(\frac{v - v_0}{a} \right)^2$$

$$s = \frac{v v_0 - v_0^2}{a} + \frac{a}{2} \frac{v^2 - 2 v v_0 + v_0^2}{a^2}$$

足し算をするために分母を $2a$ で通分。

$$s = \frac{\cancel{2} v v_0 - \cancel{2} v_0^2}{2a} + \frac{v^2 - \cancel{2} v v_0 + v_0^2}{2a}$$

$2 v v_0$ が消える。 v_0^2 をまとめると。

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

分母の $2a$ を左辺に移項。

$$2 a s = v^2 - v_0^2$$

右辺と左辺を入れ替える。

速度 v と距離 s の関係を表す式

$$v^2 - v_0^2 = 2as$$

v : 速度[m/s]
 v_0 : 初速度[m/s]
 a : 加速度[m/s²]
 s : 距離[m]

●あとかき

等加速度運動における速度と距離の関係の式は、2つの公式から導かれました。自分自身で式の変形を確認し、一度「納得」してください。ただし、その途中経過を覚える必要はありません。

移項ができますか？

移項はとても大事なので復習をしておこう。

$a = b + c$ のとき、

c を移項すると $a - c = b$ から $b = a - c$

b を移項すると $a - b = c$ から $c = a - b$

となります。

悩む人が多いのは、次の場合です。

$a = \frac{b}{c}$ のとき、 $ac = b$ そして $c = \frac{b}{a}$

と移項できますか？

では、プリント「等加速度運動における距離 s と速度 v の関係」をやってみよう。

物理基礎 6時間目

1.等加速度直線運動まとめ

- ① $v = v_0 + at$ …時間 t と速度 v の関係
- ② $s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ …時間 t と距離 s の関係
- ③ $v^2 - v_0^2 = 2as$ …速度 v と距離 s の関係

記号（記号は主役と脇役に分けます）

主役

v : 速度[m/s]
 s : 距離[m]
 t : 時間[s]

脇役

v_0 : 初速度[m/s]
 a : 加速度[m/s²]

2.問題を解くときの公式の選び方（超重要）

- ①問題文の中から“主役を2人”を見つける。
- ②脇役は無視する。

例：初速度9[m/s]で運動する物体の4[s]後の
初速度→脇役 時間→主役
速度は1[m/s]であった。この物体の加速度
速度→主役 加速度→脇役
aはいくらか。

この例題では、問題文の中に、3人の主役のうち2人の主役、「時間」と「速度」がいるので、この2人の関係を表す式「①時間と速度の関係の式」を使って問題を解く。

●あしがき

解答の書き方について（0時間目の繰り返し）

面倒くさいけど、公式・公式に値を代入したもの・途中計算・答え・単位の5つを必ず書くこと。

例題の解答例

$$v = v_0 + a t \text{ より（最初に公式）}$$

$$1 = 9 + a \times 4 \text{（公式に値を代入したもの）}$$

$$1 - 9 = 4 a \text{（途中計算）}$$

$$-8 = 4 a \text{（途中計算）}$$

$$-\frac{8}{4} = a \text{（途中計算）}$$

$$a = -2 \text{ [m/s}^2\text{]（答えと単位）}$$

今回は「等加速度直線運動」のまとめです。

小学校でも時間と距離と速さの関係について勉強したと思いますが、高校でも同様に、時間と距離と速度の関係を中心に式にしています。

主人公が3人いるので、それぞれお互いの関係（ t と v 、 t と s 、 v と s ）についてひとつずつ式がつかわれ、合計3つの式が登場することとなりました。

ここまでで時間とともに速度の変化する物体の基本的なお話は終わりです。全体を通して見直を試みてください。

では、プリント「等加速度運動 練習問題」と「等加速度運動 練習問題2」をやってみよう。

●落下運動 まえがき

ここからは、等加速度直線運動の話をもとにして落下運動の話をしていきます。等加速度直線運動の理解のできていない人は、まず復習をしましょう。

1.落下運動とは、空中に投げられた物体の運動のことで、自由落下、鉛直投射、水平投射、斜方投射の4つがあります。それらに共通していることは、

- ①これらは「真空中」でのお話であり、空気中では空気が邪魔をするので、結果が少し異なる。
- ②物体に働く力は重力のみであり、
- ③上向きに動くときは徐々に遅くなり、
- ④下向きに動くときは徐々に速くなる。

ということですが、③④は経験的に理解のできることだと思えます。

今までは、横方向に動く物体の等加速度直線運動のみを考えてきましたが、縦方向に動く物体の運動であっても、徐々にその速度が変化するのであれば等加速度運動であるということができるので、今後はこの考え方にもとづいて話を進めていきます。

2.「自由落下」とは、物体を手を持ち、空中で手を離れた時の物体の運動のことです。ここで注意しなければならないのは、手を離すのであって、投げることはしません。よって物体の初速度 v_0 は 0 [m/s] となります。物体に働く力は重力のみで、物体が落下するときの加速度の値は物体の種類や重さにかかわらず常に $9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$ であり、変化することはありません。よって、この特別な加速度の値のことを重力加速度と呼び、記号 g で表します。

3. 「鉛直投射」とは、初速度 v_0 で真上に向かって投げられた物体の運動のことです。物体に働く力は重力のみであり、上昇しているとき物体の速さは徐々に遅くなるので加速度が負の値の等加速度直線運動とすることができます。このときの加速度の値は $-9.8 [m/s^2] = -g$ ということになります。

4. 「水平投射」とは、真横に向かって初速度 v_0 で投げられた物体の運動のことです。真横に向かって投げられた物体に働く力は重力のみなので、横方向の速度は変化せず、下向きに徐々に速くなるので、横方向の動き方と縦方向の動き方を分けて考えると、

横方向は速度が変化しないので「等速度運動」、
縦方向は徐々に速度が増すので、「等加速度運動」と考えることができます。

5. 「斜方投射」とは、初速度 v_0 で斜め上方に向かって水平面からの角度 θ で投げられた物体の運動のことです。我々が日常の中で物を投げる場合は、これに当てはまります。

このとき物体に働く力は重力のみなので、横方向の速度は変化せず、縦方向の速さのみが変化します。よって、横方向の動き方と縦方向の動き方を分けて考えると、

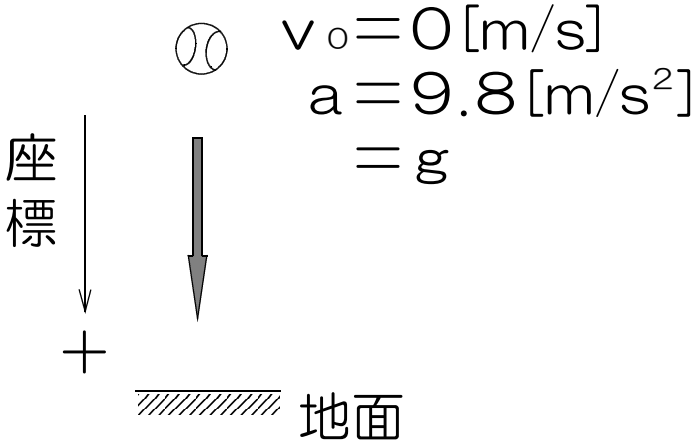
横方向は速度が変化しないので、「等速度運動」、
縦方向は「鉛直投射」と同じ動き方となります。

では、これらを頭に入れて、次の章へ進みましょう。

物理基礎 7時間目

1.自由落下

図



物体が静止の状態($v_0 = 0 \text{ [m/s]}$)から、重力のみによって落下する運動のこと

これを今までの言い方で表すと、

自由落下とは
初速度 0 [m/s]
加速度 $a = 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]} = g$ の
等加速度直線運動のことである。

となる

2.自由落下の公式

自由落下の特徴(初速度 0 ，加速度 $9.8 = g$)を、等加速度直線運動の基本公式に代入すると、自由落下の公式が得られる。

等加速度直線運動の基本公式

自由落下の特徴

$$\left(\begin{array}{l} \textcircled{1} v = v_0 + a t \\ \textcircled{2} s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ \textcircled{3} v^2 - v_0^2 = 2 a s \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{代入} \\ \leftarrow \end{array} \left(\begin{array}{l} v_0 = 0 [\text{m/s}] \\ a = g [\text{m/s}^2] \end{array} \right.$$



自由落下の公式

- ① $v = g t$ …時間 t と速度 v の関係
- ② $s = \frac{1}{2} g t^2$ …時間 t と距離 s の関係
- ③ $v^2 = 2 g s$ …距離 s と速度 v の関係

記号

v : 速度[m/s]

g : 重力加速度

s : 距離[m]

$g = 9.8 [\text{m/s}^2]$

t : 時間[s]

●あとかき

公式の選び方は、等加速度直線運動と同じです。問題文の中から主人公(速度 v 、距離 s 、時間 t)の中から二人を見つけよう。また、乗除優先も忘れずに。

では、プリント「自由落下1」と「自由落下2」をやってみよう。

※ここで距離 s が表すのは、出発点からの落下距離です。また、ほかの本では s の代わりに y を使っている場合があります。使う記号は本により少しずつ異なります。

●鉛直投射 まえがき

1.座標の取り方について

物理では、座標の正の向きを決めるとき、初めに物体が動いているときは、その向き、初めに物体が止まっているときは、物体が動き出す方向をプラスの向きとします。鉛直投射の場合は、物体は始めに上向きに進むので、上向きを座標のプラスの向きとします。そして物体の速度は徐々に遅くなるので、加速度の値はマイナスということになります。

2.速度の符号(+-)と物体の動く向きについて

いま、座標の正(プラス)の向きを右向きとします。

①物体の速度の符号がプラスのとき、
物体は右向きに進みます。

②物体の速度の符号がマイナスのとき、
物体は左向きに進みます。

速度の符号は物体の進む向きを表すことを覚えておきましょう

3.最高点について

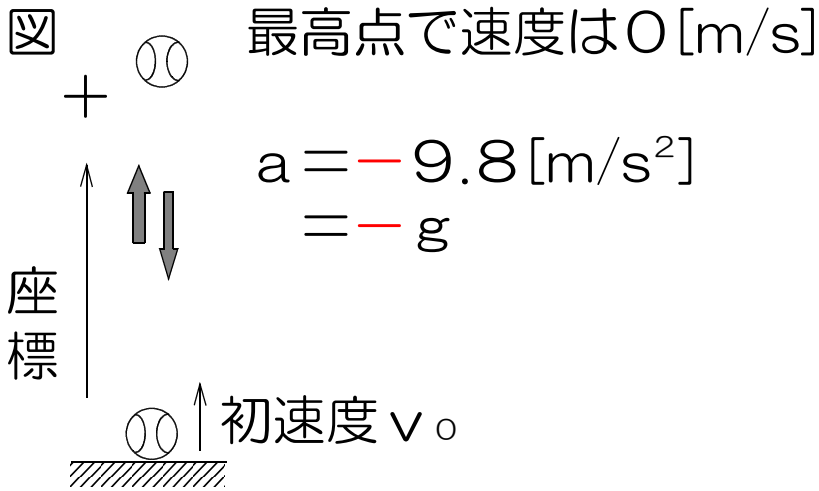
物体を真上に向かって投げると最高点に達した後に出発点に戻ってきます。

このとき加速度がマイナスなので、物体が上昇していくときに速度は徐々に遅くなり、やがて速度が0になる瞬間がやってきます。その後、速度はマイナスになり、物体は下向きに動いていくので、「**物体の速度が0になった瞬間、その物体は最高点にある**」ということが分かりますか？

言い換えると、**最高点で物体の速度は0 [m/s]**ということになります。

物理基礎 8時間目

1.鉛直投射（投げ上げ）



鉛直投射とは

初速度 v_0 で、真上に向かって
投げられた物体の運動のこと。

これを今までの言い方で表すと、

鉛直投射とは、

初速度 $v_0 [\text{m/s}]$

加速度 $a = -9.8 [\text{m/s}^2] = -g$ の
等加速度直線運動のことである。

となる。

2.鉛直投射の公式

今回も自由落下のときと同様に、等加速度直線運動の基本公式に鉛直投射の特徴を代入して鉛直投射の公式を導く。

等加速度直線運動の基本公式

$$\left(\begin{array}{l} \textcircled{1} v = v_0 + a t \\ \textcircled{2} s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ \textcircled{3} v^2 - v_0^2 = 2 a s \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{代入} \\ \leftarrow \end{array}$$

鉛直投射の特徴

$$a = -g \text{ [m/s}^2\text{]}$$



鉛直投射の公式

$$\textcircled{1} v = v_0 - g t \dots \text{時間 } t \text{ と速度 } v \text{ の関係}$$

$$\textcircled{2} s = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \dots \text{時間 } t \text{ と距離 } s \text{ の関係}$$

$$\textcircled{3} v^2 - v_0^2 = -2 g s \dots \text{距離 } s \text{ と速度 } v \text{ の関係}$$

記号

v : 速度[m/s]

v_0 : 初速度[m/s]

s : 距離[m]

g : 重力加速度

t : 時間[s]

$$g = 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

●あとなぎ

公式③の $-2 g s$ の“ $-$ ”をよく忘れるので気をつけてください。

g はいつでも9.8。 $-g$ は -9.8 です。

では、プリント「鉛直投射1」と「鉛直投射2」をやってみよう。

●水平投射 まえがき

今回は、水平方向に投げられた物体の運動について考えます。前回までは一直線上を移動する物体の話をしてきましたが、今回は縦にも横にも移動します。

水平投射は物体を真横に向かって投げるので、水平方向の初速度はありますが、縦方向の初速度は0です。また、物体に働く力は下向きに重力のみで、横方向には働きません。

ここで、縦方向と横方向の動き方を分けて考えてみます。まず縦方向は、落下すると徐々に速さが速くなるので、等加速度運動ということになりますが、その加速度の値は $9.8 [m/s^2]$ です。また、初速度が $0 [m/s]$ であることから、自由落下と同じということになります。

そして、横方向には力が働かないため、速さは変化しません。つまり、横方向は等速度運動をすることになります。以上の話をまとめると

- ①物体の動きを縦方向と横方向に分けて考える。
- ②縦方向の動き方は、自由落下と同じ。
- ③横方向の動き方は、等速度運動と同じ。

ということになります。

力と速度の関係

物体に力が働くと速度が変化します。ということは、力が働かなければ速度は変化しないことになります。

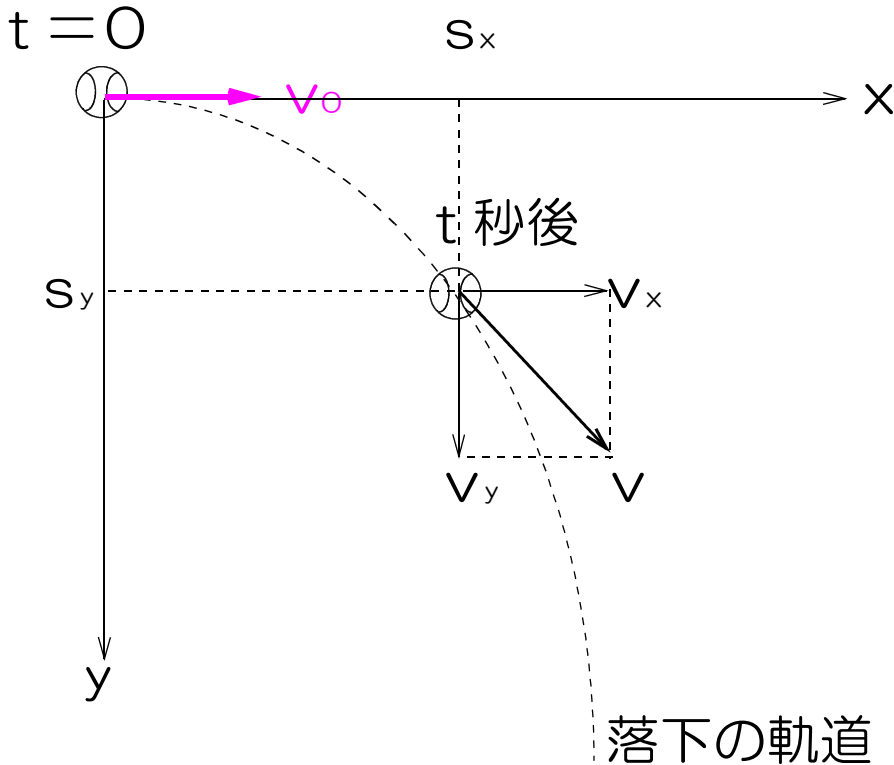
以上を頭に入れて、話を進めましょう。

言葉：「鉛直(えんちよく)」＝「縦」と思って今後このテキストを読んでください。

物理基礎 9時間目

1. 水平投射

初速度 v_0 で、真横に向かって投げられた物体の運動のこと。



ポイント

物体の運動を水平方向と、鉛直方向の2つに分けて考える。

水平投射された物体は、

- ① 水平方向には等速度運動をする。
- ② 鉛直方向には自由落下をする。

2. 水平方向の運動(動き方)について

物体に水平方向の力は働かない。

→ 水平方向の速度は v_0 のまま変化しない。

→ 物体は「等速運動」をする。

よって、等速度運動の公式の v を v_x に、 s を s_x に置き換えると水平投射の公式が出来上がる。

水平投射の公式（水平方向）

$v_x = v_0$ …時間 t と速度 v_x の関係を表す式

$s_x = v_0 t$ …時間 t と距離 s_x の関係を表す式

記号（横方向の公式には記号の右下に x をつけて
縦方向と区別する）

v_x : 横方向の速度[m/s]

s_x : 横方向の距離[m]

t : 時間[s]

3.鉛直方向の運動(動き方)について

物体の鉛直方向の初速度は 0 [m/s]。

重力のみによって運動するので、

物体は自由落下と同じ動き方をするので、

自由落下の公式

$$v = g t \quad s = \frac{1}{2} g t^2 \quad v^2 = 2 g s$$

の v を v_y に、 s を s_y に置き換えて

水平投射の公式（鉛直方向）

① $v_y = g t$ …時間 t と速度 v_y の関係

② $s_y = \frac{1}{2} g t^2$ …時間 t と距離 s_y の関係

③ $v_y^2 = 2 g s$ …速度 v_y と距離 s_y の関係

記号（縦方向の公式には記号の右下に y をつけて
横方向と区別する）

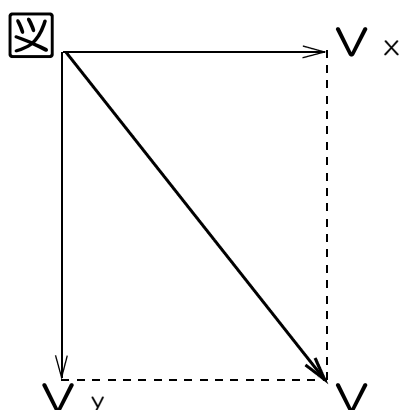
v_y : 縦方向の速度[m/s]

s_y : 縦方向の(落下)距離[m]

g : 重力加速度[m/s²]

t : 時間[s]

4. 「実際の速さ v [m/s]」 (物体の斜め方向の速さ)
図より、 v の大きさを三平方の定理より求める。



三平方の定理

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 \text{ に}$$

$$\left(\begin{array}{l} v_x = v_0 \\ v_y = g t \end{array} \right.$$

$$\text{を代入すると}$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$$

記号

v_0 : 初速度[m/s] (水平方向の)

g : 重力加速度 $g = 9.8$ [m/s²]

t : 時間[s]

●あとかき

水平投射は、縦方向は自由落下、横方向は等速度運動という点を理解できましたか?物理では、斜めが出てくると、それを縦と横に分けて考えていきます。

では、プリント「水平投射1」と「水平投射2」をやってみよう。

●斜方投射 まえがき

物を投げるときは、斜め上向きに投げることが多いと思いますが、これが斜方投射です。水平投射と同様に、縦にも横にも動くので、**縦の動き方と横の動き方を分けて考えて**いきます。

物体に働く力は重力のみで、横方向には力は働かないので、**横方向の速度は変化しません**。また、**縦方向の加速度は $-9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$** で、物体は鉛直投射と同じ動き方をします。つまり、この縦の動き方と横方向の動き方を組み合わせたものが、斜方投射ということになります。

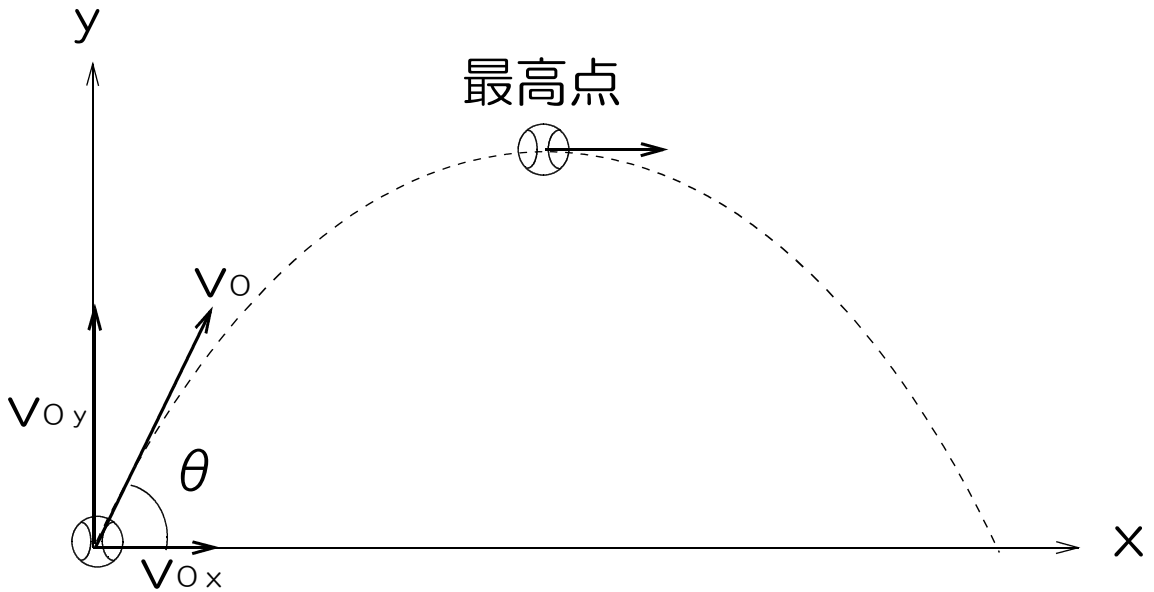
では、落下運動のラスボス、斜方投射に挑もう。

※斜方投射は、1年生と2年生はパスして良い。

物理基礎 10時間目

1. 斜方投射

斜め上方に向かって投げられた物体の運動のこと。

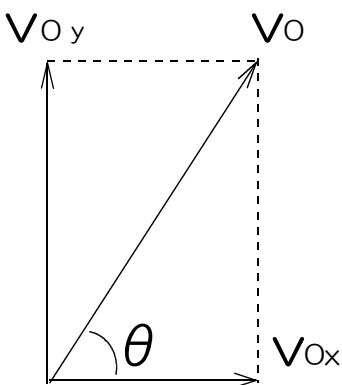


ポイント

- ① 物体に働く力は重力のみ。
- ② 縦と横の動き方を分けて考える。
- ③ 物体は横方向には等速度運動をする。
- ④ 物体は縦方向には鉛直投射と同じ動き方をする

2. 初速度 v_0 について

物体を斜め上向きに投げるので、初速度 v_0 の向きも斜めである。よって、初速度 v_0 も縦と横に分けて考える。



v_0 : 初速度

v_{0y} : 初速度の縦の大きさ

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta$$

v_{0x} : 初速度の横の大きさ

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta$$

3. 水平方向の運動(動き方)について

物体には水平方向には力が働かない。よって物体の速度は変化しないので、物体は等速度運動をする。

等速度運動の公式の v を v_x に、 s を s_x に、 v_0 を $v_0 \cos \theta$ に置き換えると斜方投射の公式(水平方向)が出来上がる。

斜方投射の公式 (水平方向)

$$v_x = v_0 \cos \theta \quad \cdots \text{時間 } t \text{ と速度 } v_x \text{ の関係}$$

$$s_x = v_0 \cos \theta t \quad \cdots \text{時間 } t \text{ と距離 } s_x \text{ の関係}$$

記号 (横方向の公式には記号の右下に x をつけて縦方向と区別する)

v_x : 横方向の速度[m/s]

s_x : 横方向の距離[m]

t : 時間[s]

4. 鉛直方向の運動(動き方)について

物体に働く力は重力のみなので、物体は初速度 v_{0y} , 加速度 -9.8 の鉛直投射と同じ動き方をする。

斜方投射の公式 (鉛直方向)

鉛直投射の公式の v を v_y に、 s を s_y に、 v_0 を $v_0 \sin \theta$ に置き換えると、斜方投射の鉛直方向の公式が出来上がる。

斜方投射の公式 (鉛直方向)

$$\textcircled{1} v_y = v_0 \sin \theta - g t \quad \cdots \text{時間と速度の関係}$$

$$\textcircled{2} s_y = v_0 \sin \theta t - \frac{1}{2} g t^2 \quad \cdots \text{時間と距離の関係}$$

$$\textcircled{3} v_y^2 - v_{0y}^2 = -2 g s_y \quad \cdots \text{距離と速度の関係}$$

記号（縦方向の公式には記号の右下に y をつけて横方向と区別する）

v_y : 速度[m/s]

v_0 : 初速度[m/s]

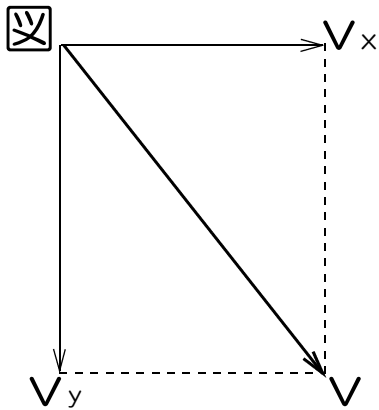
s_y : 距離[m]

g : 重力加速度

t : 時間[s]

$g = 9.8$ [m/s²]

5. 「実際の速さ v [m/s]」（物体の斜め方向の速さ）
図より、 v の大きさを三平方の定理より求める。



三平方の定理を使う

$$\begin{cases} v^2 = v_x^2 + v_y^2 \\ v_x = v_0 \cos \theta \\ v_y = v_0 \sin \theta - g t \end{cases}$$

記号

v_0 : 初速度[m/s]

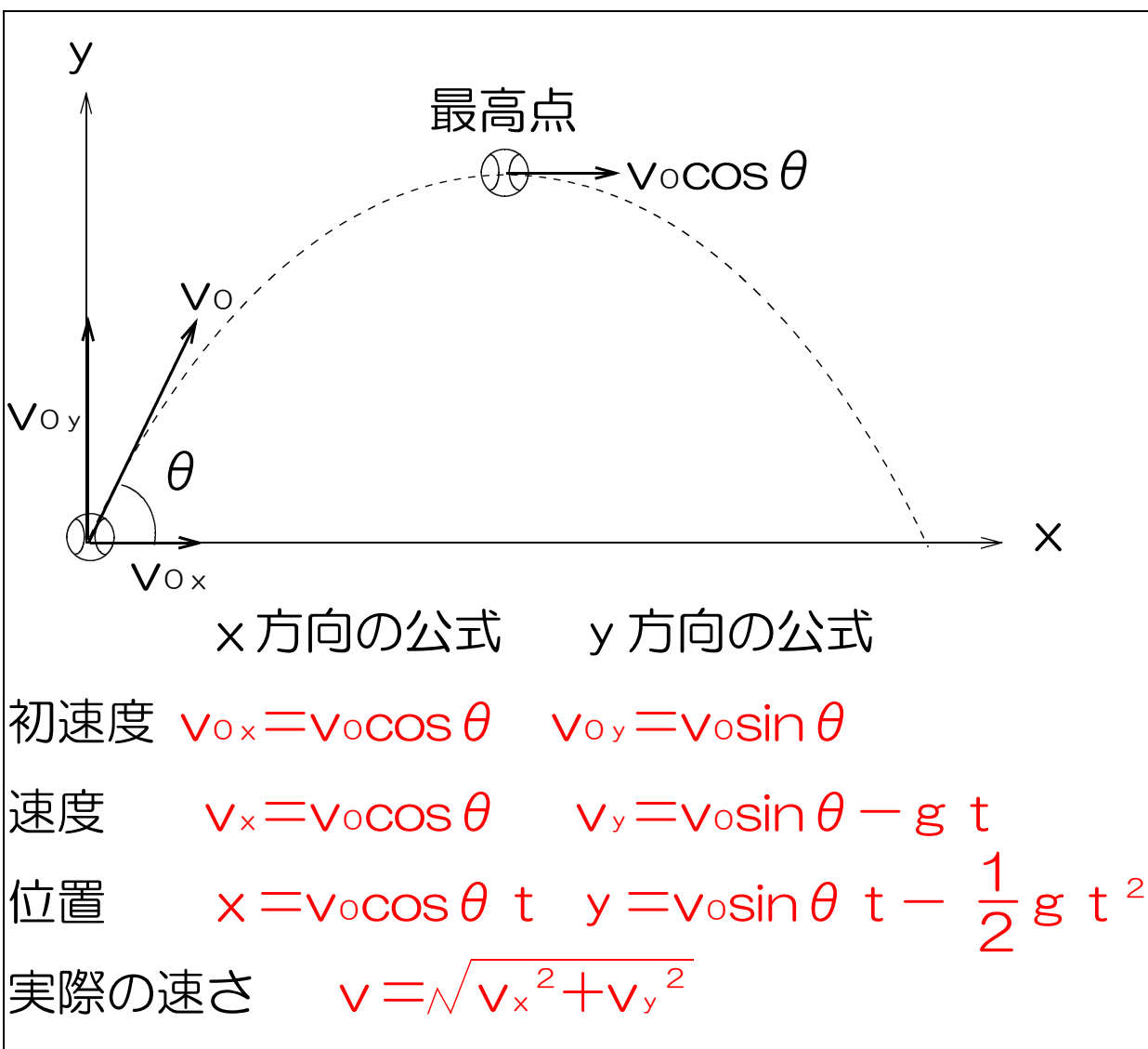
g : 重力加速度

$g = 9.8$ [m/s²]

t : 時間[s]

※三平方の定理を使って求めることだけ覚えておけば良い。実際には、こんな面倒くさい計算の問題は出ない。

6.斜方投射まとめ



●あとなぎ

一見複雑そうに見えますが、**単純なことの組み合わせ**です。自由落下、鉛直投射、水平投射とともにまとめて繰り返し勉強すると、「そういうことか！」と思う日がやってきます。

入試の問題でよく出るのは、この斜方投射です。いろいろな問題がありますので、解いてみてください。

では、プリント「斜方投射1」「斜方投射2」をやってみよう。

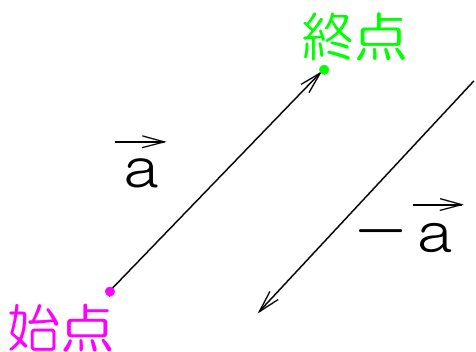
物理基礎 1 1 時間目

1. ベクトル

向きと大きさを持つものの総称。

例 力、速度、…

2. ベクトルの表し方

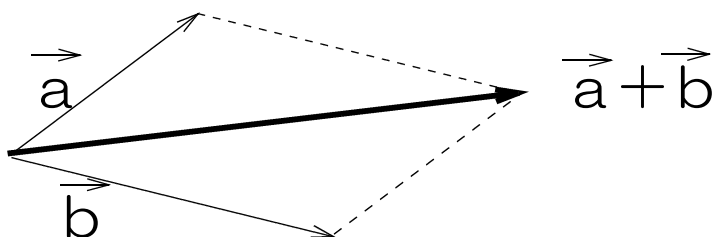


\bullet $\vec{0}$: ゼロベクトル
↑ 大きさ0
これ 向きなし

3. ベクトルの足し算

平行四辺形を用いて足し算をする。

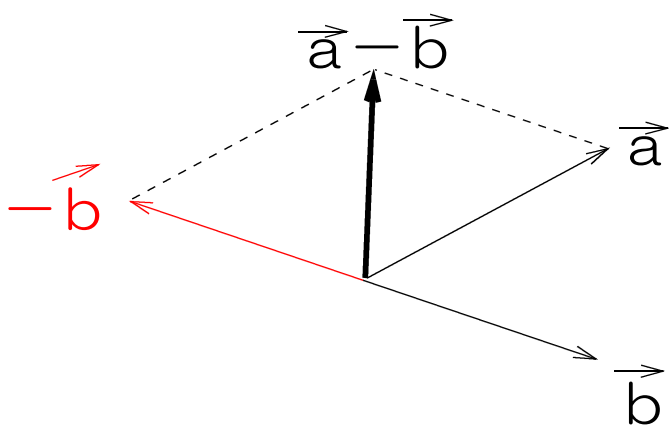
例 $\vec{a} + \vec{b}$



4. ベクトルの引き算

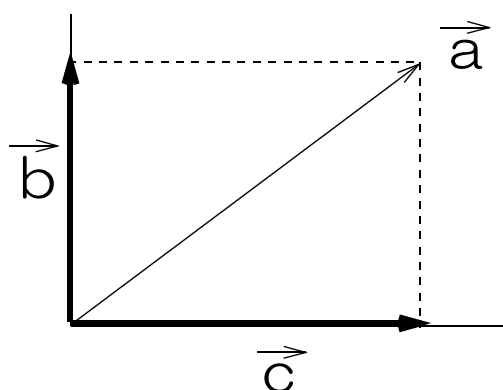
$a - b = a + (-b)$ より

$\vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$



5. ベクトルの分解

1つのベクトルを二つに分ける。



※3つのベクトルの
始点是一緒

ポイント

足し算も、引き算も、分解も始点はいつも一緒。

では、プリント「ベクトル」をやってみよう。

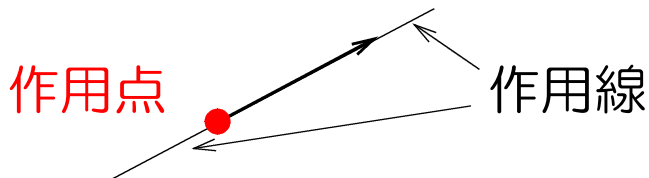
●あともがき

今回は物理でよく使う「ベクトル」の話をしました。数学でもベクトルを習いますが、足し算・引き算のやり方が違うかもしれませんが、答えは一緒なので安心してください。

物理基礎 1 2 時間目

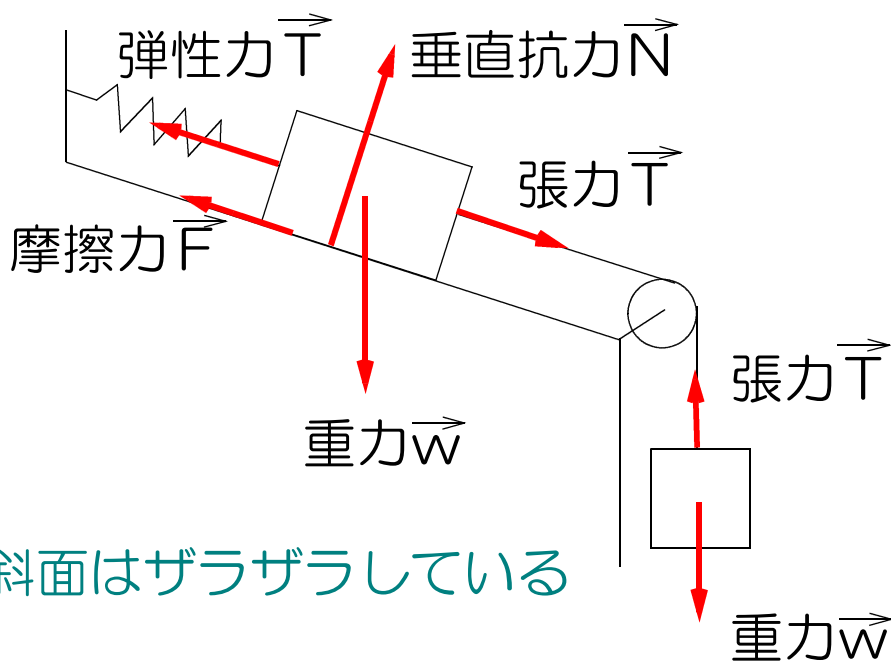
1.作用点：力の働く場所。

2.作用線：力のベクトルを、前後に延長した線。



3.力の種類

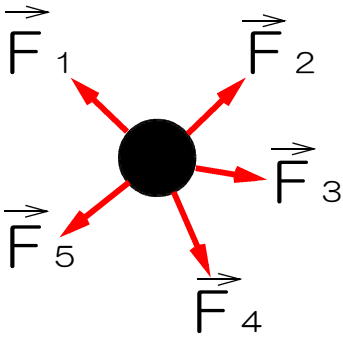
	名前	記号	作用点	力の向き
①	重力	\vec{w}	重心	鉛直下向き
②	垂直抗力	\vec{N}	接面	面に垂直
③	摩擦力	\vec{F}	接面	面に平行
④	張力	\vec{T}	接点	糸の方向
⑤	弾性力	\vec{T}	接点	ばねに平行



ポイント 物体に働く力のみを考え、壁や床、糸に働く力は無視する。力の作用点に注意。では、プリント「力を見つける」をやってみよう。

物理基礎 13時間目

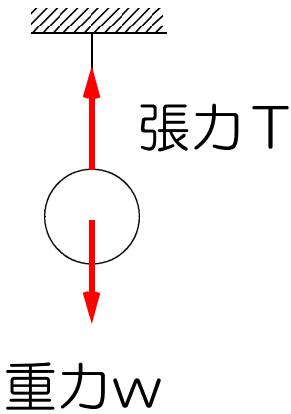
1.力のつり合い



一つの物体に複数の力が同時に働くとき、お互いに打ち消しあって0になり、力がひとつも働かなるときと同じ状態になること。

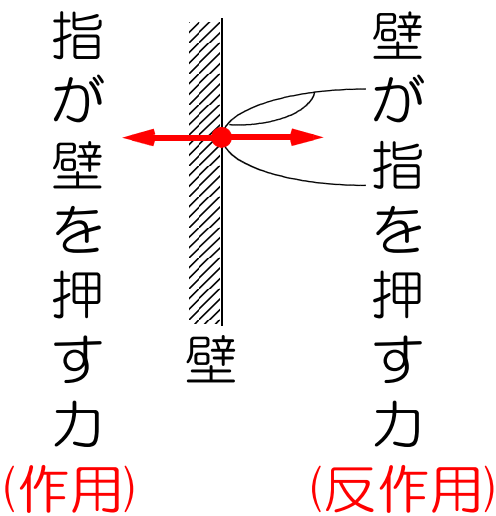
$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = \vec{0}$$

2. 2力のつり合い



- ①同一作用線上で
 - ②大きさが等しく
 - ③向きが反対
- の2力が1つの物体に同時に働くとき、この2力はつり合う。

3.作用反作用の法則



物体に力(作用)を加えると

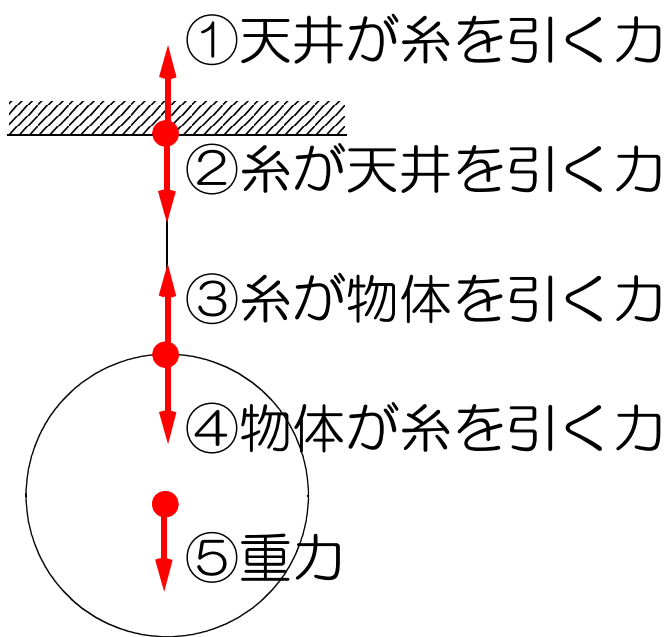
- ①同一作用線上で、
 - ②大きさが等しく
 - ③向きが反対
- の力(反作用)が同時に生じる。

※壁を押し出す力は壁に、指を押し出す力は指に働いている。

4. 「2力のつり合い」と「作用反作用」の違い。

- ①「作用」が無くなると「反作用」も無くなるが、2力のつり合いの場合は、一方の力が無くなっても他方の力は無くならない。
- ②2力のつり合いの力は同じ一つの物体に働くが作用反作用の力はそれぞれ別々の物体に働く。

例 物体に糸をつけ、天井からつるす。この時、天井・糸・物体に働く力の「2力のつり合い」と「作用反作用」について考える。



2力のつり合い ①と④ ③と⑤

作用反作用 ①と② ③と④

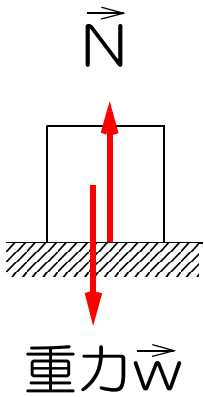
①と④は2力のつり合いだが、①と②は作用反作用の関係になる。①のように同じ力であっても組み合わせによって関係が異なることに注意。

では、プリント「2力のつり合いと作用反作用の法則」をやってみよう。

物理基礎 14時間目

1. 重力 \vec{w} [N] (ニュートン)

地球が物体を引きつける力



$$w = m g$$

m : 質量 [kg]

g : 重力加速度

$$g = 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

例 質量 2 [kg] の物体に働く重力の大きさ。

$$w = m g \text{ より}$$

$$w = 2 \times 9.8$$

$$= 19.6 \text{ [N]}$$

2. 垂直抗力 \vec{N} [N]

面が物体を押し出す力

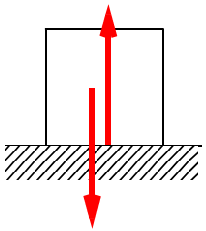
① 水平面上の物体に働く垂直抗力 N

力のつり合いより

\vec{N}

$$N = w$$

$$w = m g \text{ より}$$



$$N = m g$$

m : 質量 [kg]

g : 重力加速度

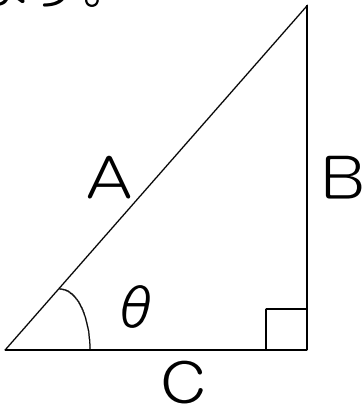
$$g = 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

重力 \vec{w}

では、プリント「重力 w 垂直抗力 N 」をやってみよう。

●まえがき sin(サイン)とcos(コサイン)

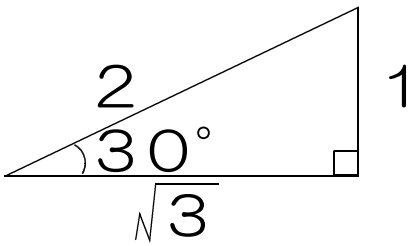
1. 角度 θ の直角三角形において、それぞれの辺の長さを A, B, C とするとき、 \sin と \cos は次のように定義されます。



$$\sin \theta = \frac{B}{A}$$

$$\cos \theta = \frac{C}{A}$$

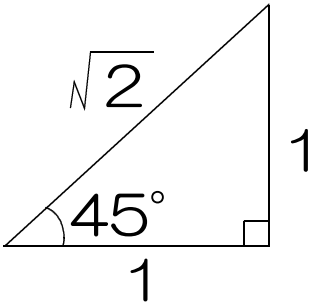
$\theta = 30^\circ$ のとき



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

$$\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

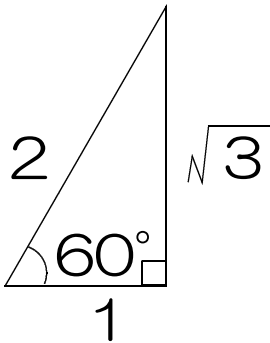
$\theta = 45^\circ$ のとき



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

$$\cos 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$\theta = 60^\circ$ のとき



$$\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\cos 60^\circ = \frac{1}{2}$$

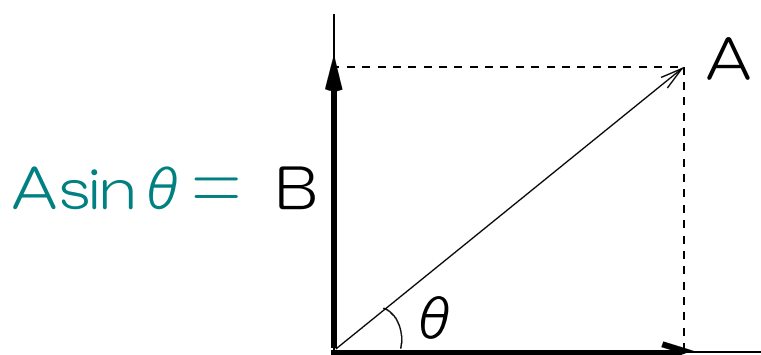
2. sin・cos まとめ

	0°	30°	45°	60°	90°
sin θ	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
cos θ	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0

※ $\sqrt{2} = 1.41$ $\sqrt{3} = 1.73$

3. sin・cosの意味とその使い道

物理では斜めが出てくると、縦と横に分解することが多い。Aを縦Bと横Cに分解するとき、**BやCの大きさをAとsin・cosを使って表したい**のです。



$$C = A \cos \theta$$

ひと言でいうと、**sin**は「**BはAの何倍か**」を表し、**cos**は「**CはAの何倍か**」を表すので、

$$B = A \sin \theta \quad \text{とか、}$$

$$C = A \cos \theta \quad \text{と表せます。}$$

また、見てのとおりBとCがAよりも長くなることはないので、**sinとcosの値は1以下**になります。

物理基礎 15時間目

②斜面上の物体に働く垂直抗力 \vec{N} [N]

図1

$w = mg$
 $w_1 = mg \sin \theta$
 $w_2 = mg \cos \theta$
 斜面を見たら重力を分解！

重力を分解

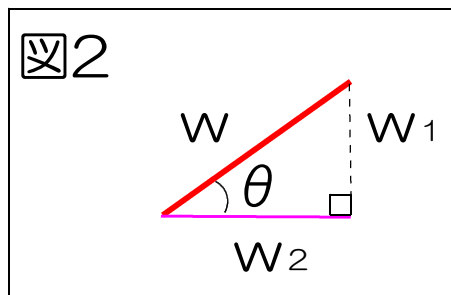
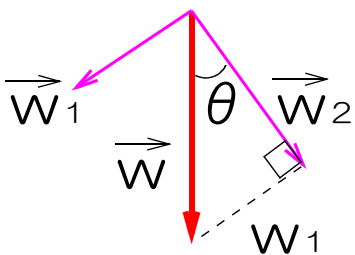


図2より

$$\frac{w_2}{w} = \cos \theta$$

$$\therefore w_2 = w \cos \theta$$

$$w = mg \text{ より}$$

$$w_2 = mg \cos \theta$$

公式ではないが、よく使う。

図1より、
Nと \vec{w}_2 がつり合っている。

$$\therefore N = w_2$$

$$w_2 = m g \cos \theta \text{ より}$$

斜面上の物体に働く垂直抗力N[N]

$$N = m g \cos \theta$$

m : 質量[kg]

g : 重力加速度

$$g = 9.8 [\text{m/s}^2]$$

θ : 斜面の角度

おまけ

図2より

$$\frac{w_1}{w} = \sin \theta$$

$$\therefore w_1 = w \sin \theta$$

$$w = m g \text{ より}$$

$$w_1 = m g \sin \theta$$

公式ではないが、よく使う。

では、プリント「斜面上の物体に働く力」のプリントをやってみよう。

物理基礎 16時間目

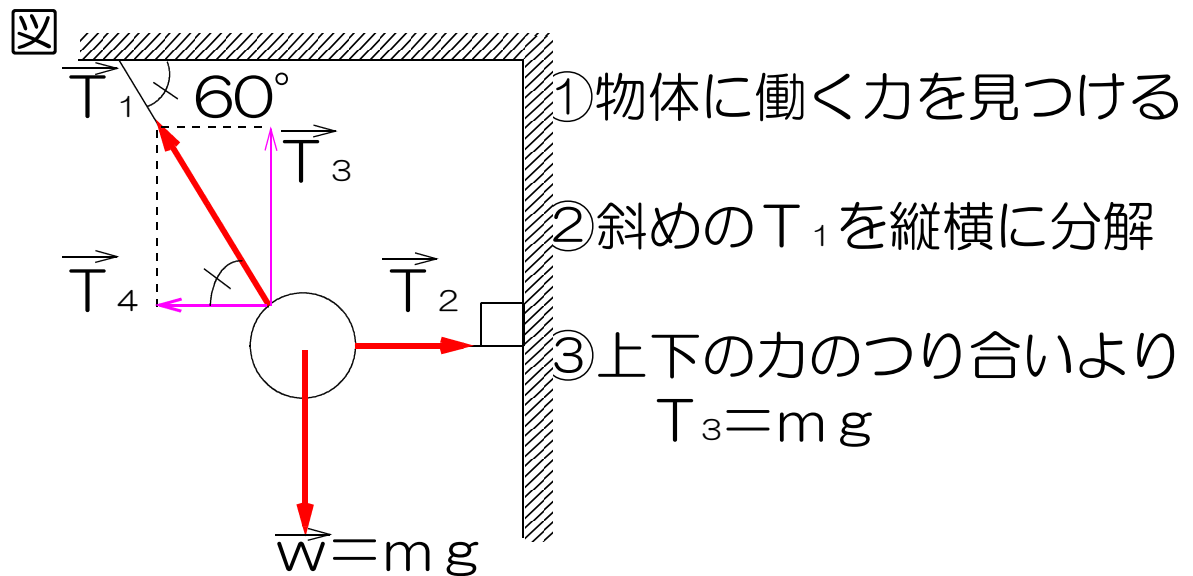
ここを勉強する前に「sinとcos」を読むこと。

1.張力T [N]

糸が物体を引っ張る力。

- ① 1本の糸の両端に生じる2つの力の大きさは等しい。
- ② 張力の大きさは、力のつり合いにより求める。

例 天井と壁から伸びた2本の糸によってつるされた質量 m の物体に働く張力 T の大きさ。



T_1 と T_4 に挟まれた直角三角形について考える。

図より

$$\frac{T_3}{T_1} = \sin 60^\circ$$

$$T_3 = mg \text{ より}$$

$$\therefore \frac{mg}{T_1} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$m g = T_1 \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\frac{2}{\sqrt{3}} m g = T_1$$

図より

$$\frac{T_4}{T_1} = \cos 60^\circ$$

$$T_4 = T_1 \times \cos 60^\circ$$

$$= \frac{2}{\sqrt{3}} m g \times \frac{1}{2}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{3}} m g$$

左右の力のつり合いより、

$$T_2 = T_4$$

$$\therefore T_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} m g$$

では、プリント「張力」「張力2」をやってみよう。

物理基礎 17時間目

1. 摩擦力

物と物がこすれ合うときに生じる力。

2. 摩擦力の種類

① 静止摩擦力

静止する物体に働く摩擦力。

② 動摩擦力

運動する物体に働く摩擦力。(運動=動く)

3. 粗い水平面上の物体に働く摩擦力の大きさ

摩擦力の大きさの変化を三段階に分けて考える。

① 物体が静止しているとき

摩擦力 \vec{F} と張力 \vec{T} がつり合っている。

$$\therefore F = T$$

② 物体が滑り出す直前

静止摩擦力は最大になる。

$$\text{最大静止摩擦力 } F = \mu N$$

ミュウ

μ : 静止摩擦係数 単位なし

N : 垂直抗力[N]

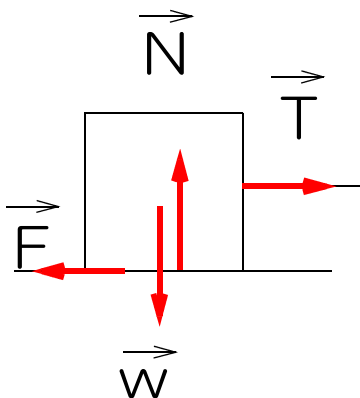
③ 物体が滑り出した後

摩擦力は最大静止摩擦力よりも小さくなり、一定になる。

$$\text{動摩擦力 } F' = \mu' N$$

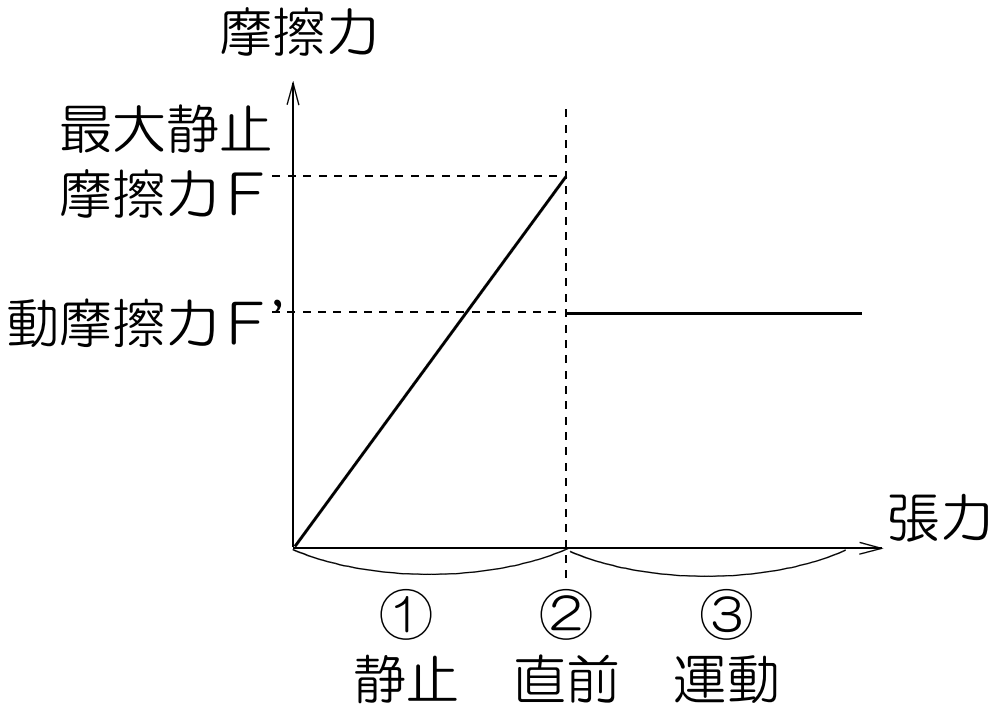
μ' : 動摩擦係数 単位なし

N : 垂直抗力[N]



糸をつけて
右向きに引く

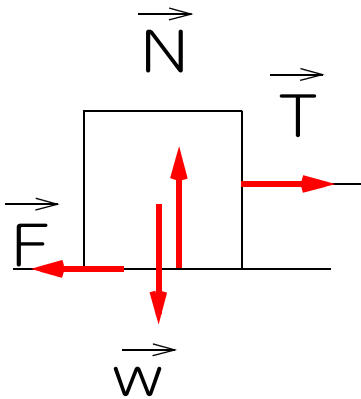
4. 摩擦力の大きさの変化とそのグラフ。



では、「摩擦 force」をやってみよう。

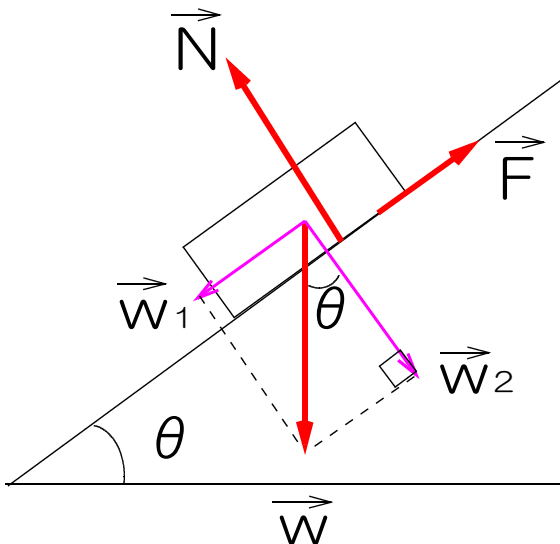
物理基礎 18時間目

1. 静止摩擦係数 μ ^{ミユウ} 単位なし



- ① 物体の滑りにくさを表す値
- ② 物体に働く垂直抗力の何倍の力を横向きに加えれば物体が滑りだすかを表す値。

2. 斜面を使った静止摩擦係数 μ の求め方



粗い斜面上で滑り出す直前の状態の物体について考える。このとき摩擦力は最大になっており、 \vec{F} と \vec{W}_1 が釣り合っている。

$$\therefore F = w_1$$

$$w_1 = mg \sin \theta \text{ より}$$

$$F = mg \sin \theta$$

$$F = \mu N \quad N = mg \cos \theta \text{ より}$$

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

$$= \tan \theta$$

$$\boxed{\mu = \tan \theta} \quad \theta : \text{摩擦角}$$

では、「静止摩擦係数」をやってみよう。

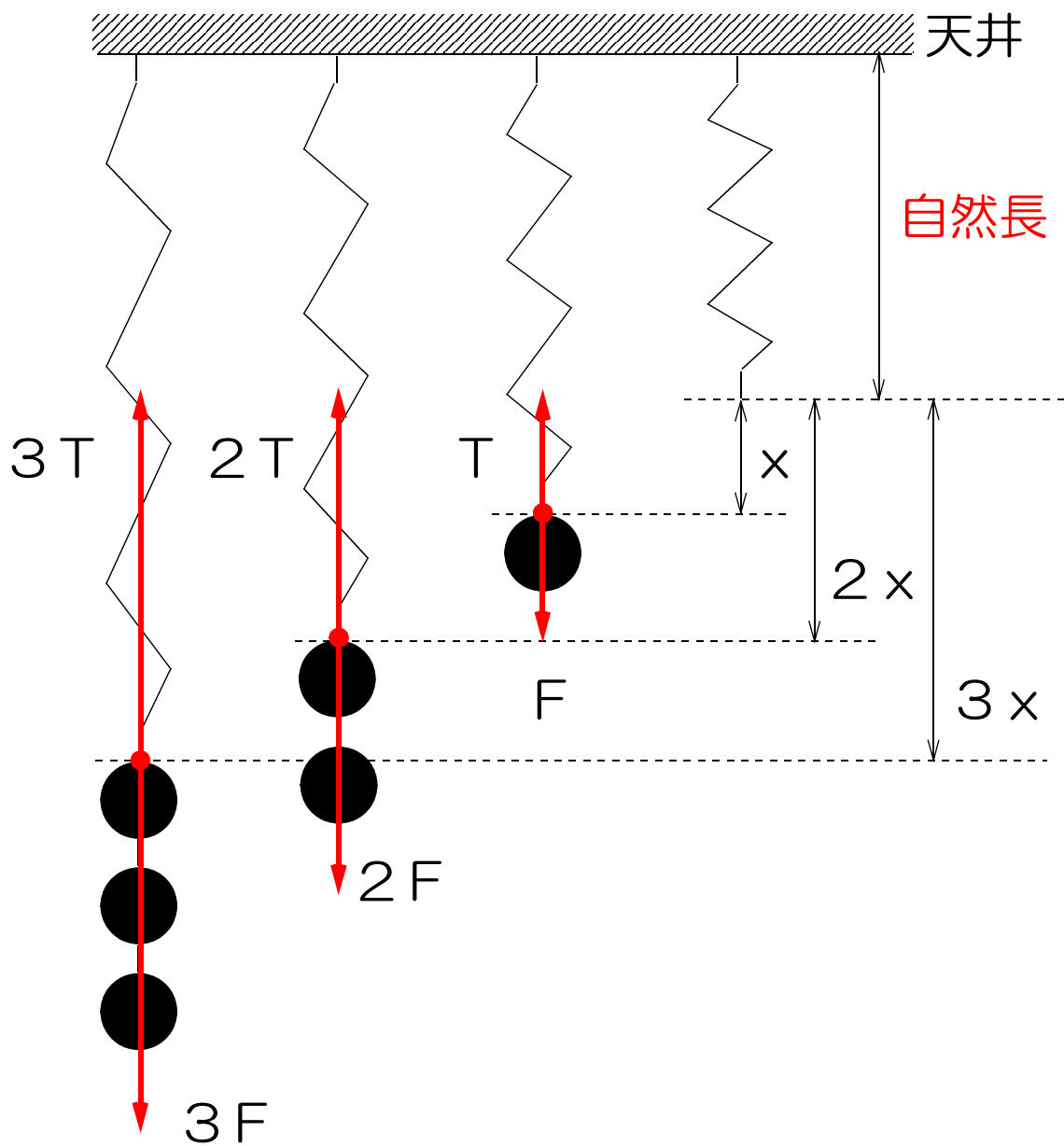
物理基礎 19時間目

1.弾性力

変形した物体がもとの形に戻ろうとするとときに生じる力

2.フックの法則

バネの伸び(縮み) x は、加えられた力の大きさに比例する。



3.弾性力とバネの伸び(縮み)の関係

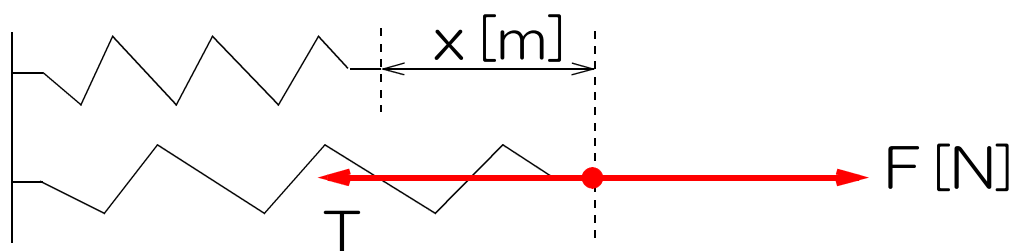
フックの法則より、

弾性力 T の大きさはバネの伸び(縮み) x に比例する。

4.バネ定数 k [N/m]

バネの硬さを表す値。

2本の同じバネの一方に力 F を加えたら
 x [m]伸びた。



$$\text{バネ定数 } k = \frac{\text{加えた力の大きさ } F}{\text{バネの伸び } x}$$

$$k = \frac{F}{x} \text{ より}$$

$$\boxed{F = kx}$$

作用反作用の法則より

$$T = F$$

$$\therefore \boxed{T = kx}$$

T : 弾性力[N]

k : バネ定数[N/m]

x : バネの伸び[m]
(縮み)

※ バネの「伸び」と「長さ」は違うので注意!

では、「弾性力」「摩擦力弾性力総合問題」をやってみよう

物理基礎 20時間目

1. 慣性の法則（運動の第一法則）

力の働かない物体についての法則

① 静止している物体

いつまでも**静止**の状態を続ける。

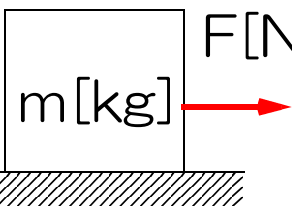
② 運動している物体

いつまでも**等速度運動**を続ける。

2. 運動の法則（運動の第二法則）

一定の力が働き続ける物体の法則

→ a [m/s^2]



物体に一定の力が働きつづけると、物体は等加速度直線運動をする。そのときの物体に働く力 \vec{F} と質量 m と加速度 \vec{a} の関係を表す法則。

運動の法則

物体に生じる加速度 a は、

① 加えられた力 \vec{F} と同じ向きに生じる。

② 加えられた力 \vec{F} の大きさに比例する。

③ 物体の質量 m に反比例する。

④ 力 \vec{F} は物体に働く力の合力で考える。

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$$

3. ニュートンの運動方程式 運動の法則を式にしたもの

$$a = \frac{\vec{F}}{m}$$

F : 力[N]

m : 質量[kg]

a : 加速度[m/s²]

→ $\vec{F} = m\vec{a}$ (ベクトルの矢印は無くてもよい)

では、「慣性の法則・運動の法則」をやってみよう

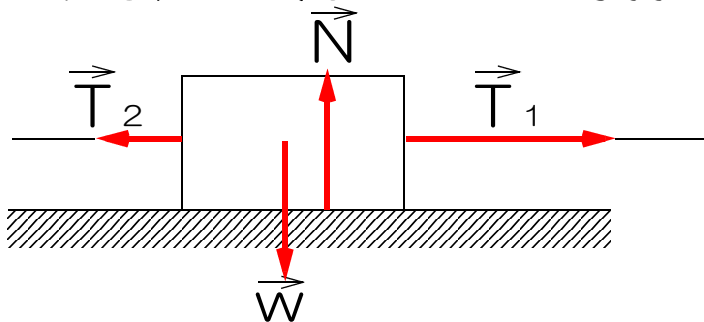
物理基礎 21時間目

1. ニュートンの運動方程式の応用①

「運動方程式を立てる」

$F = ma$ の式にその物体の状態
(質量や働く力)を代入すること。

例 なめらかな水平面上で左右から引かれる物体の
運動方程式 (なめらか=摩擦がない)



座標 \longrightarrow 正

① 打ち消し合う力を見つける。

\vec{N} と \vec{w} は向きが反対で大きさが等しいので
打ち消し合う。

② 座標の正の向きを決める。

$T_1 > T_2$ より

右向きを座標の正の向きとする。

③ N と w は mg をつかって表す。

④ 式を立てる。

$ma = F$ より

物体の質量

物体に働く力を
並べてかく

$$Ma = T_1 - T_2 \quad \leftarrow \text{運動方程式}$$

では、「運動方程式を立てる」をやってみよう

物理基礎 22時間目

1. ニュートンの運動方程式の応用②

「運動方程式を解く」

立てた運動方程式をもとに、加速度 a や張力 T の大きさを求めること。

例 天井からつるされた滑車に糸を通し、質量 M の物体 A と質量 m の物体 B をつけた場合。

$M > m$ とする

物体 A の運動方程式

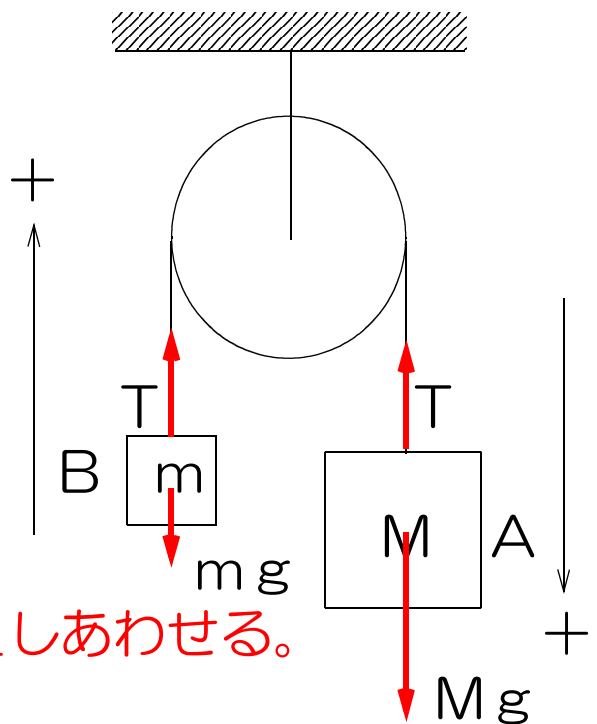
$$m a = F \text{ より}$$

$$M a = M g - T \dots \textcircled{1}$$

物体 B の運動方程式

$$m a = F \text{ より}$$

$$m a = T - m g \dots \textcircled{2}$$



1. 加速度の求め方

立てた運動方程式を足しあわせる。

$$\textcircled{1} + \textcircled{2}$$

$$M a = M g - T$$

$$+ \quad m a = T - m g$$

$$\hline M a + m a = M g - m g$$

$$(M + m) a = (M - m) g$$

$$\therefore a = \frac{(M - m) g}{M + m}$$

$$\therefore a = \frac{M - m}{M + m} g \dots \textcircled{3}$$

左辺と左辺,
右辺と右辺を足す

$M + m$ を移項

g を分数の外へ

2. 張力Tの求め方

求めた加速度 a を、もとの運動方程式に代入する。

①より

$$T = Mg - Ma$$

Mでくくる

$$= M(g - a)$$

aに①を代入

$$= M \left(g - \frac{M-m}{M+m} g \right)$$

gを括弧の外へ

$$= Mg \left(1 - \frac{M-m}{M+m} \right)$$

1を分数にする

$$= Mg \left(\frac{M+m}{M+m} + \frac{M-m}{M+m} \right)$$

分数の足し算

$$= Mg \left(\frac{2M}{M+m} \right)$$

gを一番右へ

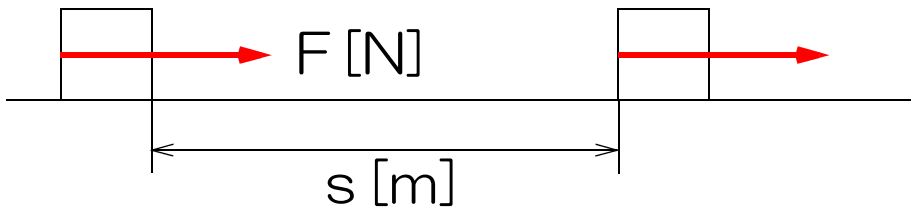
$$T = \frac{2Mm}{M+m} g$$

以上

では、「運動方程式を解く」「運動方程式練習問題」
「運動方程式練習問題2」をやってみよう

物理基礎 23時間目

1.仕事 w [J](ジュール)



仕事 w =力 F × その方向に動いた距離

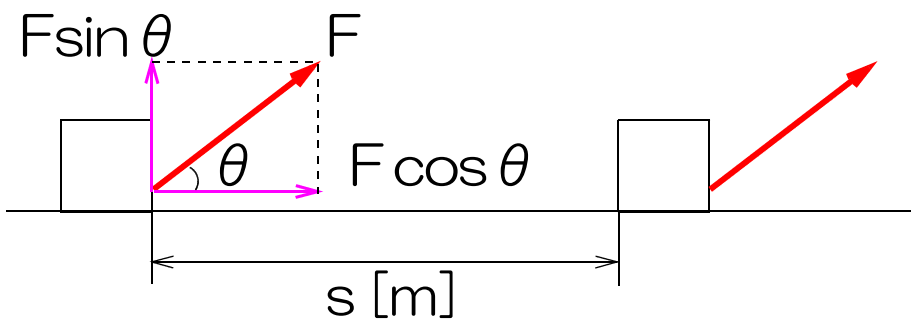
$$w = F s$$

w : 仕事

F : 力[N]

s : 距離[m]

2.加えた力の向きと物体の動く向きが異なる場合の仕事 w



$$\begin{aligned} \text{全仕事量 } w &= x \text{ 方向の仕事} + y \text{ 方向の仕事} \\ &= F \cos \theta \times s + F \sin \theta \times 0 \\ &= F s \cos \theta + 0 \end{aligned}$$

$$w = F s \cos \theta$$

F : 力[N]

s : 距離[m]

3.仕事率 P [W](ワット)

1秒間にする仕事の量

$$P = \frac{w}{t}$$

w : 仕事[J] t : 時間[s]

では「仕事・仕事率」をやってみよう

物理基礎 24時間目

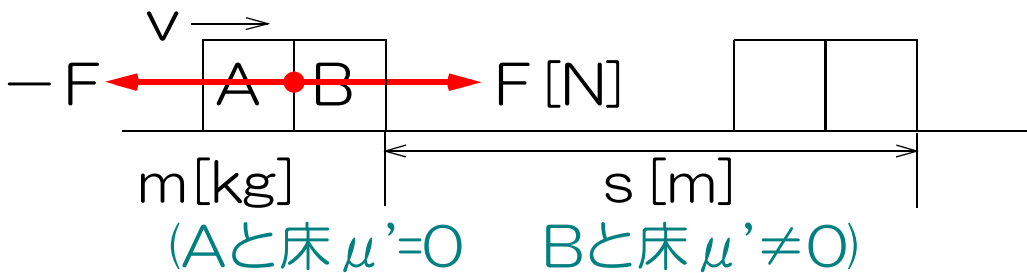
1. エネルギー

エネルギー = 仕事をする能力

物体が持つエネルギーの量 = 物体ができる仕事の量

2. 運動エネルギー U_k [J]

運動する物体の持つエネルギーのこと。



質量 m [kg] の A が速さ v [m/s] で B にぶつかり、力 F [N] を加え続けながら s [m] 進んで止まったとする。このときの A の加速度を a とすると

$$a = \frac{-F}{m}$$

$$v^2 - v_0^2 = 2as \quad \text{より}$$

$$0^2 - v^2 = 2 \times \frac{-F}{m} \times s$$

$$-v^2 = \frac{-2Fs}{m}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \underline{Fs}$$

A が B にした仕事の量 w

||

A が持っていたエネルギーの量 U_k

運動エネルギー U_k

$$U_k = \frac{1}{2} m v^2$$

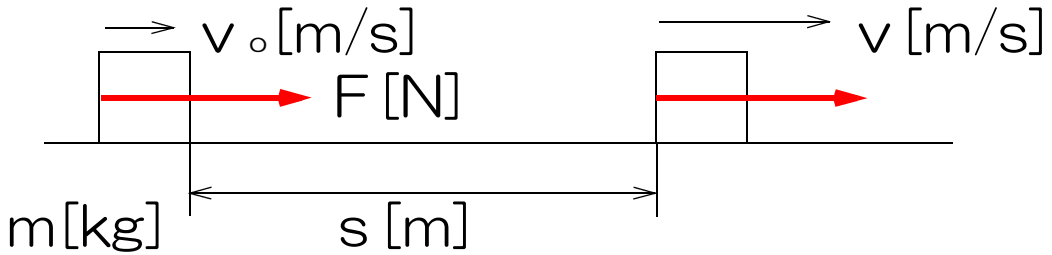
m : 質量 [kg]

v : 速度 [m/s]

では、「運動エネルギー」をやってみよう。

物理基礎 25時間目

1. 仕事 w と運動エネルギー U_k の関係



なめらかな水平面上を初速度 v_0 で運動する質量 m [kg] の物体に、力 F を加え続けながら s [m] 移動させたら速度が v になったとする。

この物体に生じる加速度を a とすると、

$$a = \frac{F}{m}$$

$$v^2 - v_0^2 = F s \quad \text{より}$$

$$v^2 - v_0^2 = 2 \times \frac{F}{m} \times s$$

$$\frac{1}{2} m (v^2 - v_0^2) = F s$$

$\frac{1}{2} m v^2$	$-$	$\frac{1}{2} m v_0^2$	$=$	$F s$
物体が仕事を された後に持つ 運動エネルギー		物体がはじめに 持っていた 運動エネルギー		物体がされた 仕事の量
運動エネルギーの変化量				

物体の持つ運動エネルギーの量は、
された仕事と同じ量だけ変化する。

運動エネルギーと仕事の関係を表す式

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = Fs$$

m : 質量[kg]

v : 速度[m/s]

v₀ : 初速度

F : 力[N]

s : 距離[m]

では、「運動エネルギーと仕事の関係」をやってみよう。

物理基礎 26時間目

1. 重力による位置エネルギー U_P [J]

高いところにある物体が持つエネルギーのこと。

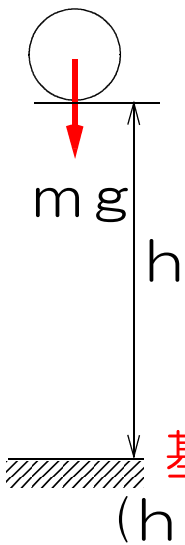
物体は落下するとき重力によって仕事をされるので、(運動)エネルギーを得る。

そして、このエネルギーを使って他の物体に仕事をする事が出来る。

物体の持つ重力による位置エネルギー U_P

||

物体が重力によってされる仕事の量 w



仕事 $w = F s$ より

$$w = m g \times h$$

$U_P = w$ より

重力による位置エネルギー U_P

基準面
($h=0$ の面)

$$U_P = m g h$$

m : 質量 [kg]

g : 重力加速度

$$g = 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

h : 高さ [m]

では、「重力による位置エネルギー」をやってみよう。

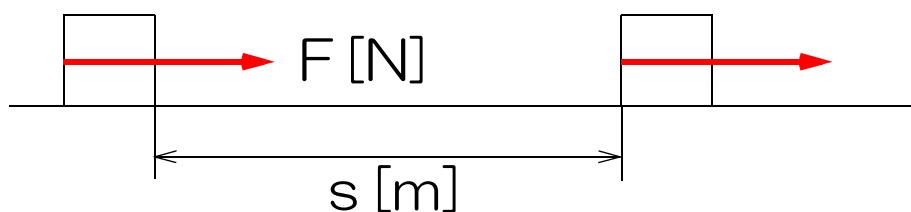
物理基礎 27時間目

1.弾性力による位置エネルギー U_P [J] (弾性エネルギー)

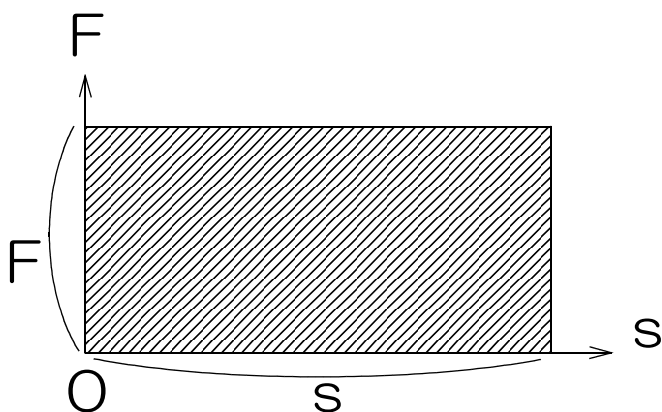
伸び縮みしたバネの持つエネルギーのこと。

① $F-s$ グラフの特徴

物体に力 F を加えて s [m]動かしたとする。



これを $F-s$ グラフに表すと、



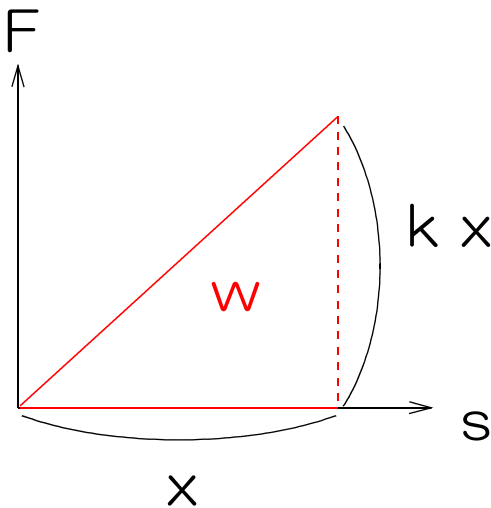
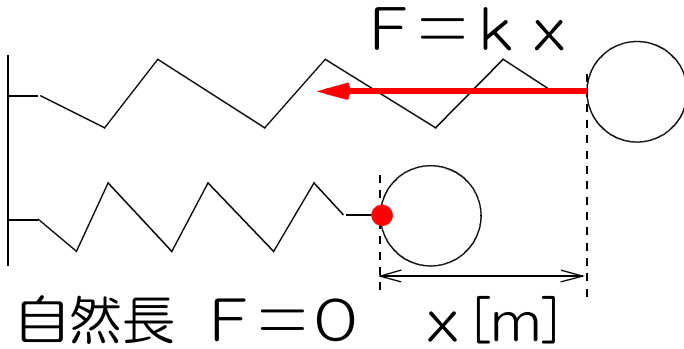
縦軸と横軸とグラフによって囲まれた面積は
縦 \times 横 $= F \times s =$ 仕事 w なので

$F-s$ グラフの特徴

$F-s$ グラフにおいて面積は仕事の量を表す

②バネのする仕事 w

なめらかな水平面上で、物体にバネ定数 k のバネをつけ、おもりをつまんで x [m]バネを伸ばしてから手を離す。バネの伸びが0になるまでに、バネが物体にする仕事 w について考える。



$F-s$ グラフにおいて面積は仕事 w を表すので

$$w = x \times kx \div 2$$

$$= \frac{1}{2} kx^2$$

バネの持つエネルギー U_P = バネのする仕事 w より

弾性力による位置エネルギー U_P [J]

$$U_P = \frac{1}{2} kx^2$$

k : バネ定数 [N/m]

x : バネの伸び(縮み) [m]

では、「弾性エネルギー」をやってみよう。

物理基礎 28時間目

1. 力学的エネルギーU[J]

$$U = U_K + U_P + U_P$$

$$U_K = \frac{1}{2} m v^2 \quad (\text{運動エネルギー})$$

$$U_P = m g h \quad (\text{重力による位置エネルギー})$$

$$U_P = \frac{1}{2} k x^2 \quad (\text{弾性力による位置エネルギー})$$

2. 力学的エネルギー保存の法則

自由落下する物体の持つ力学的エネルギーの変化について考える。

	m[kg]	U_K	U_P	U
A点 ●	0[m/s]	0	mgh_A	mgh_A
B点 ● ↓	v_B	$\frac{1}{2} m v_B^2$	mgh_B	①
C点 ● ↓	v_C	$\frac{1}{2} m v_A^2$	0	②

自由落下の公式

$$v^2 = 2 g s \text{ より}$$

$$v = \sqrt{2 g s}$$

(sは落下距離)

$$\therefore v_B = \sqrt{2 g (h_A - h_B)}$$

$$v_C = \sqrt{2 g h_A}$$

次①②の計算から、力学的エネルギーの値はA B Cどの点においても等しいことが分かる。

$$\textcircled{1} U = U_K + U_P + U_P \text{ より}$$

$$U = \frac{1}{2} m v_B^2 + m g h_B + 0$$

$$= \frac{1}{2} m (\sqrt{2 g (h_A - h_B)})^2 + m g h_B$$

$$= \cancel{\frac{1}{2} m} \times \cancel{2 g} (h_A - h_B) + m g h_B$$

$$= m g h_A - \cancel{m g h_B} + \cancel{m g h_B}$$

$$= m g h_A$$

$$\textcircled{2} U = U_K + U_P + U_P \text{ より}$$

$$= \frac{1}{2} m v_C^2 + 0 + 0$$

$$= \frac{1}{2} m \times (\sqrt{2 g h_A})^2$$

$$= \frac{1}{2} m \times 2 g h_A$$

$$= m g h_A$$

力学的エネルギー保存の法則

重力や弾性力のみによって運動する物体の持つ力学的エネルギーは一定に保たれる。
(保存される)。

$$U = U_K + U_P + U_P = \text{一定}$$

$$U_K = \frac{1}{2} m v^2 \text{ (運動エネルギー)}$$

$$U_P = m g h \text{ (重力による位置エネルギー)}$$

$$U_P = \frac{1}{2} k x^2 \text{ (弾性力による位置エネルギー)}$$

では、「力学的エネルギー保存の法則」「力学的エネルギー保存の法則2」をやってみよう。

物理基礎 29時間目

1. 温度の表示方法

① **セルシウス温度** (摂氏) t [$^{\circ}\text{C}$]

水の沸点を 100 [$^{\circ}\text{C}$]

水の凝固点を 0 [$^{\circ}\text{C}$] とし、

その間を 100 等分したもの。

② **絶対温度** T [K] (ケルビン)

自然界の最低温度 (-273.15 [$^{\circ}\text{C}$]) を

0 [K] としたもの。

2. 絶対温度 T とセルシウス温度 t の関係

T [K]	t [$^{\circ}\text{C}$]
373 [K]	100 [$^{\circ}\text{C}$]
273 [K]	0 [$^{\circ}\text{C}$]
0 [K]	-273 [$^{\circ}\text{C}$]

$$\boxed{T = t + 273} \quad t : \text{セルシウス温度 } [^{\circ}\text{C}]$$

3. 比熱 c [J/gK]

その物質の 1 [g] の温度を 1 [K] (1 [$^{\circ}\text{C}$]) 上昇させるのに必要な熱の量

例 水 4.2 [J/gK]

銅 0.39 [J/gK]

4. 熱容量 C [J/K]

その物体の**全体の温度**を 1 [K] (1 [°C]) 上昇させるのに必要な熱の量。

$$C = m c$$

m : 質量 [g]
 c : 比熱 [J/gK]

例 水 10 [g] の熱容量 C

$$C = m c \text{ より}$$
$$C = 10 \times 4.2$$
$$= 42 \text{ [J/K]}$$

5. 熱量 Q [J]

熱の量のこと。

質量 m [g]、比熱 c [J/gK] の物体の全体の温度を ΔT [K] 上昇させるのに必要な熱の量を Q とすると

$$Q = m c \Delta T$$

m : 質量 [g]
 c : 比熱 [J/gK]
 ΔT : 温度差 [K]
 C : 熱容量 [J/K]

$$C = m c \text{ より}$$

$$Q = C \Delta T$$

では、「熱と温度 1」をやってみよう。

※注意

物理では質量は [kg] を使って計算するが普通であるが、熱の範囲のみ昔のなごりで [g] を使って計算するので気をつけること。特に、他の分野と熱の分野が混在するときは間違いやすい。

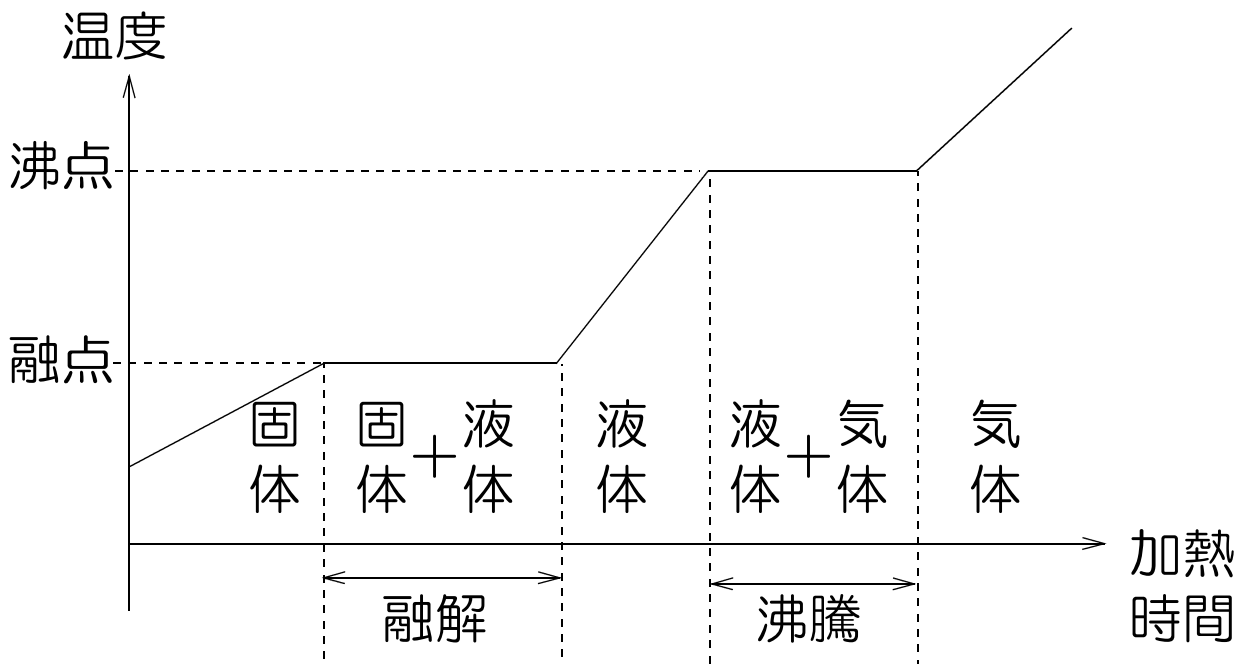
物理基礎 30時間目

1. 物質の三態

物質の3つの状態(固体・液体・気体)のこと。

2. 温度の変化と状態の変化

固体に熱を加えたときの温度の変化と状態の変化について考える。



融点 [°C] : 固体がとけ始める温度。

沸点 [°C] : 液体が沸騰する温度。

融解熱 [J/g] : 融点にある固体 1 [g] を液体の状態にするのに必要な熱の量。

蒸発熱 [J/g] : 沸点にある液体 1 [g] を気体状態にするのに必要な熱の量。

潜熱 : 温度の変化ではなく、状態の変化に使われる熱(融解熱・蒸発熱)のこと。

例 水の場合

融点 $0 [^{\circ}\text{C}]$

沸点 $100 [^{\circ}\text{C}]$

融解熱 $330 [\text{J}/\text{g}]$

$0 [^{\circ}\text{C}]$ の氷 $1 [\text{g}] \rightarrow 0 [^{\circ}\text{C}]$ の水 $1 [\text{g}]$

$\uparrow Q = 330 [\text{J}]$

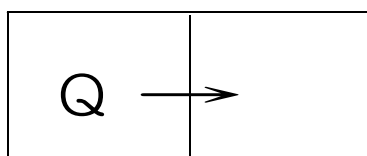
蒸発熱 $2300 [\text{J}/\text{g}]$

$100 [^{\circ}\text{C}]$ のお湯 $1 [\text{g}] \rightarrow 100 [^{\circ}\text{C}]$ の水蒸気 $1 [\text{g}]$

$\uparrow Q = 2300 [\text{J}]$

3. 熱量保存の法則

A B



熱は温度の高い方から
低い方へ移動する

T_A T_B ($T_A > T_B$)

熱量保存の法則

温度の異なる2物体を接触させるとき、高温の物体が失う熱量 Q_1 と、低温の物体が得る熱量 Q_2 は等しい。

$$Q_1 = Q_2$$

では、「熱と温度2」をやってみよう。

物理基礎 31 時間目

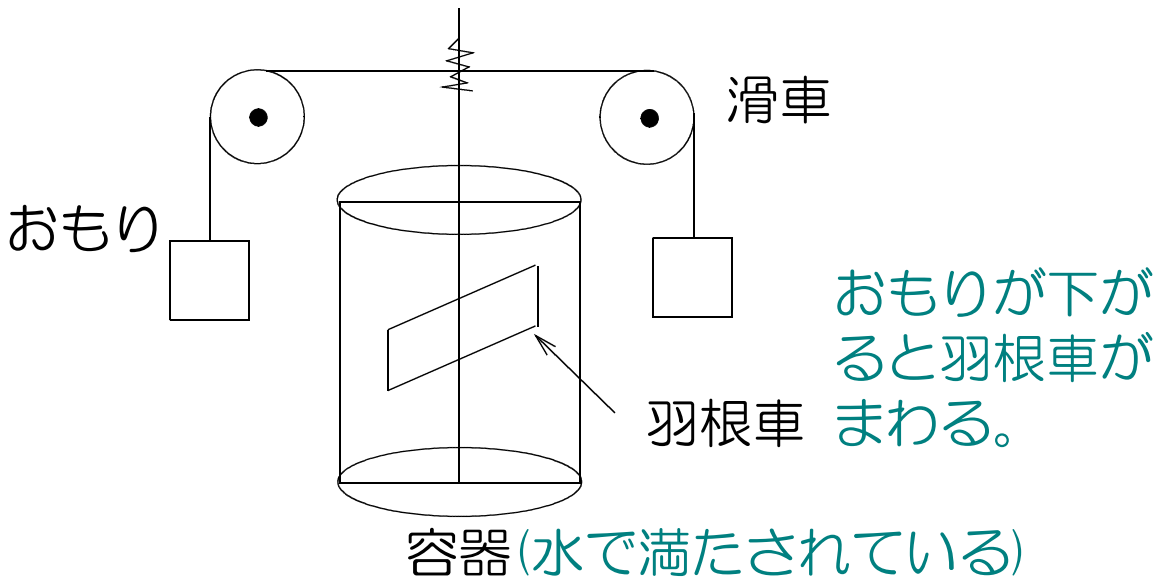
1. ジュールの実験 (ジュールは人の名前)

容器を水で満たし、その中に羽根車を入れ、容器の両側のおもりが下がると、容器内で羽根車が回転するようにした。

おもりが下がると、羽根車と水の摩擦により熱 Q が発生し、水温が上がる。

このとき、おもりが失うエネルギー U と発生する熱 Q の関係を調べた。

図 (超簡略版) 軸には糸が巻き付けられている。



実験結果

発生する熱の量 Q = 失われた力学的エネルギーの量 U

熱 Q と力学的エネルギー U の関係

$$Q = U$$

では、「熱と温度の3」をやってみよう。

※公式を用いて計算するとき、質量の単位に注意。

$Q = mc\Delta T$ は [g] それ以外は [kg]

物理基礎 32時間目

1.波動

ある場所に生じた振動が次々ととなりに伝わっていく現象。

2.媒質

波を伝える物質のこと。

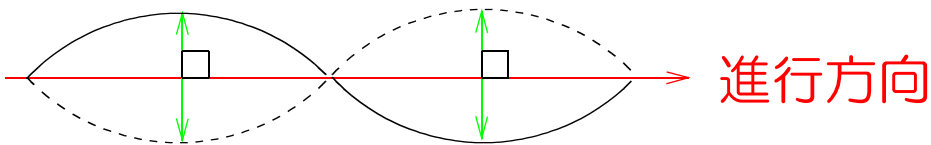
3.波源

最初に振動を始めた点。

4.横波

波の振動方向が波の進行方向に垂直な波。

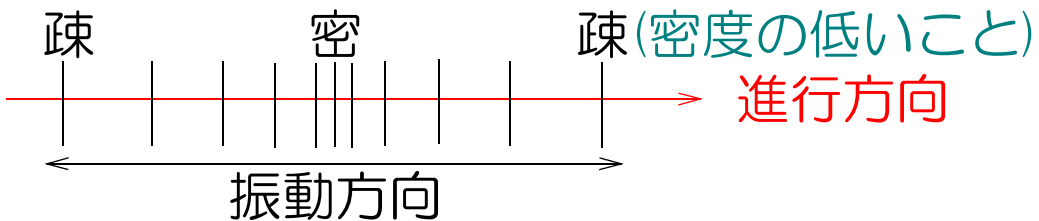
振動の方向



例：水面上の波 光 地震のS波

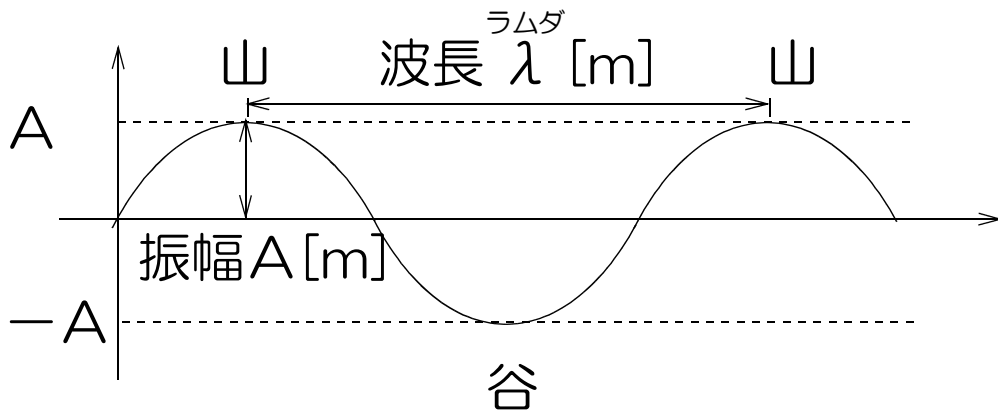
5.縦波（疎密波）（そみつは）

波の進行方向と波の振動方向が平行な波。



例：音 地震のP波

6.波の要素



山：最も高い点

谷：最も低い点

波長 λ [m]：山から山までの距離

振幅 A [m]：山の高さ(谷の深さ)

では、「波の要素と波形」をやってみよう。

物理基礎 33時間目

1. 周期 T [s]

媒質中の1点が1往復するのに必要な時間。

2. 振動数 f [Hz] (ヘルツ)

媒質中の1点か1秒間に往復する回数。

3. 振動数 f と周期 T の関係

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{なので} \quad \boxed{f T = 1}$$

4. 波の速さ v [m/s]

波形の移動する速さのこと。

媒質中の1点か1往復するごとに、波は1波長(λ [m])進む。また、波の振動数を f [Hz] とすると、媒質は1秒間に f 回往復するので、波が1秒間に進む距離を s とすると、

$$s = f \lambda \text{ となる。}$$

$$v = \frac{s}{t} \quad \text{より}$$

$$v = \frac{f \lambda}{1} = f \lambda$$

$$\boxed{v = f \lambda} \quad v : \text{波の速さ [m/s]}$$

f : 振動数 [Hz]

λ : 波長 [m]

5. 波の進距離 x [m]

$$\boxed{x = v t} \quad v : \text{波の速さ [m/s]}$$

t : 時間 [s]

では、「波の速さ」をやってみよう。

物理基礎 34時間目

1. [rad] (ラジアン)

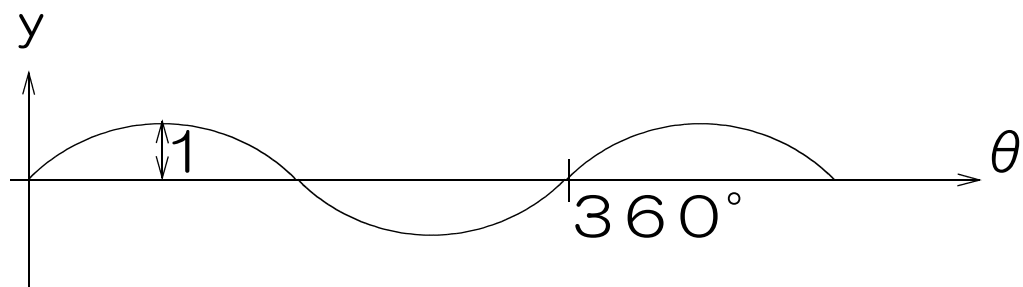
角度の単位のひとつ

$$360^\circ = 2\pi [\text{rad}]$$

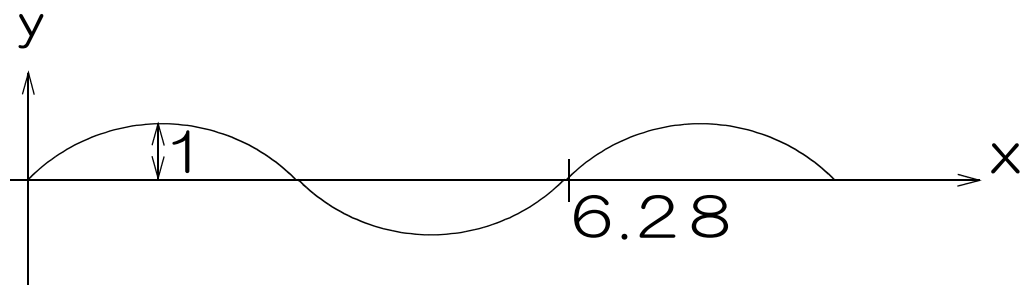
2. プリント「波の式」の説明

θ°	0	90	180	270	360
$x [\text{rad}]$	0	$\frac{\pi}{2}$	π	$\frac{3\pi}{2}$	2π
$x [\text{rad}]$	0	1.57	3.14	4.71	6.28
$\sin x$	0	1	0	-1	0

グラフ2 $y = \sin \theta$



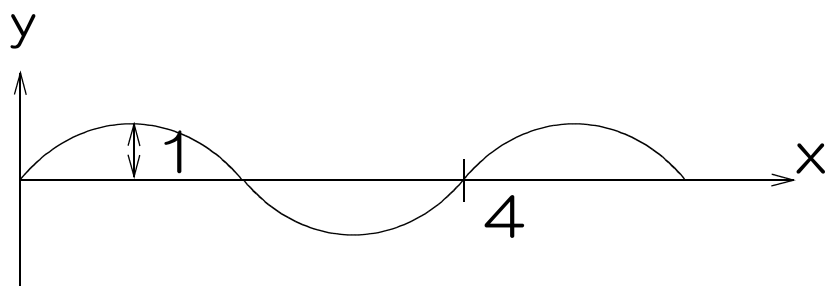
グラフ3 $y = \sin x$



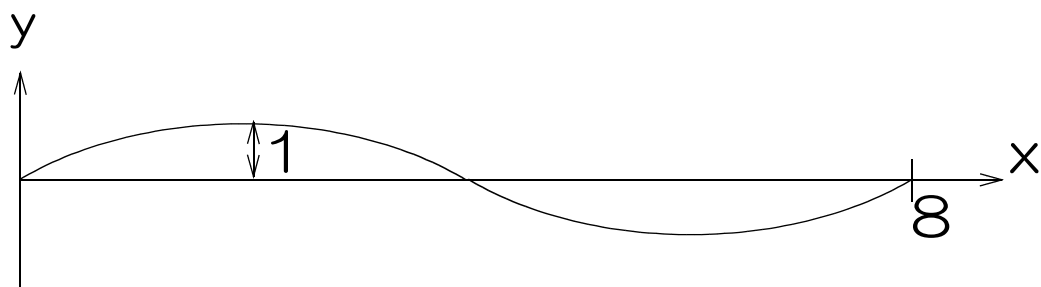
グラフ4 $y = \sin 2\pi x$



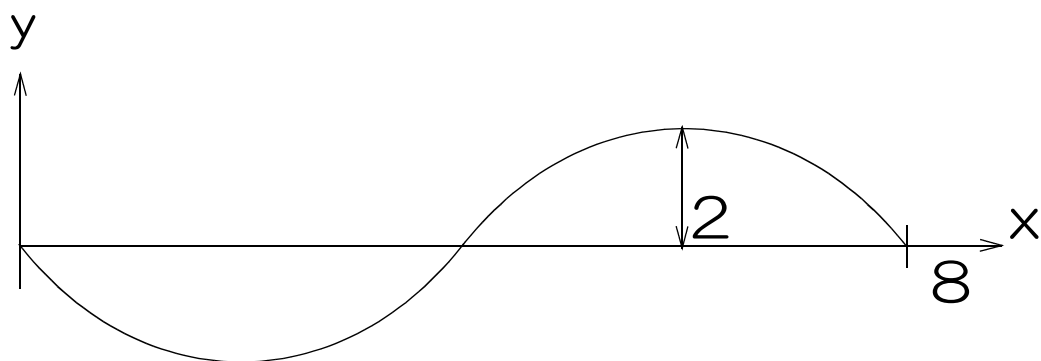
グラフ5 $y = \sin \pi \left(\frac{2\pi x}{4} \right)$



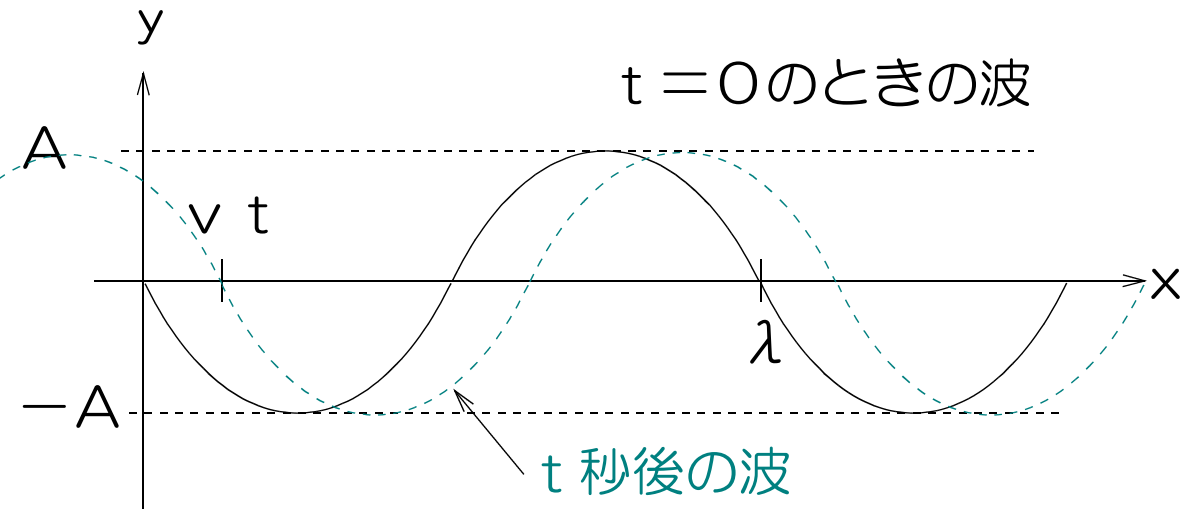
グラフ6 $y = \sin \left(\frac{2\pi x}{8} \right)$



グラフ7 $y = 2\sin \left(\frac{-2\pi x}{8} \right)$



3.波の式



波長 λ [m]、振幅 A [m] の波が速さ V [m/s] で右向きに進むことを考える。

時間 $t = 0$ における波形を式で表すと、プリントより

$$y = A \sin \left(\frac{-2\pi x}{\lambda} \right)$$

となる。

この波は、 t 秒後には $v t$ [m] 右へ移動するので、 t 秒後の波形を式で表すと、

$$y = A \sin \left(\frac{-2\pi(x - vt)}{\lambda} \right)$$

$$= A \sin \left(\frac{2\pi(vt - x)}{\lambda} \right)$$

$$= A \sin 2\pi \left(\frac{vt - x}{\lambda} \right)$$

$$= A \sin 2\pi \left(\frac{vt}{\lambda} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$v = f \lambda \text{ より}$$

$$y = A \sin 2 \pi \left(\frac{f \cancel{\lambda} t}{\cancel{\lambda}} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$= A \sin 2 \pi \left(f t - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$T = \frac{1}{f} \text{ より}$$

$$y = A \sin 2 \pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

◎波の式（右向きに進む波）

$$y = A \sin 2 \pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

A : 振幅[m] x : 位置[m]

t : 時間[s] λ : 波長[m]

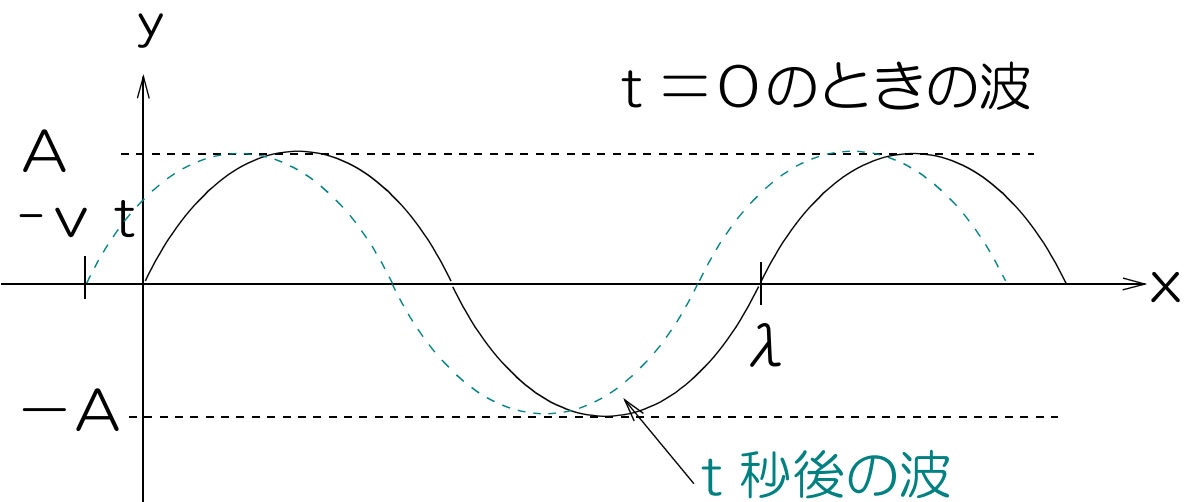
T : 周期[s]

では、「波の式」をやってみよう。

1.左向きに進む波

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right)$$

A : 振幅[m] x : 位置[m] 波の進む向きは
 t : 時間[s] λ : 波長[m] ここで判断する
 T : 周期[s]



※ 左に進む波の特徴
 t = 0のとき 原点から山が始まる。

2.波の式と波の要素

例 $y = 0.2 \sin \pi (0.8 t - 4 x)$

$$= 0.2 \sin 2 \pi (0.4 t - 2 x)$$

$$0.4 = \frac{1}{2.5} \quad 2 = \frac{1}{0.5} \quad \text{なので}$$

$$y = 0.2 \sin 2 \pi \left(\frac{t}{2.5} - \frac{x}{0.5} \right)$$

公式 $y = A \sin 2 \pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$ と比較

式と公式の同じ場所を見比べると、

振幅 $A = 0.2 \text{ [m]}$

周期 $T = 2.5 \text{ [s]}$

波長 $\lambda = 0.5 \text{ [m]}$

振動数 $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2.5} = 0.4 \text{ [s]}$

速さ $v = f \lambda = 0.4 \times 0.5 = 0.2 \text{ [m/s]}$

では、「波の式と波の要素」をやってみよう。

※分かる?

$$0.4 = \frac{4}{10} \quad \text{なので}$$

分子・分母を4で割ると

$$0.4 = \frac{4}{10} = \frac{1}{2.5}$$

物理基礎 36時間目

1. 「波の式 演習問題」をやってみよう。
2. 「波の式 演習問題2」をやってみよう。

ここまでで波の式のお話はいったん休憩。
次からは波の性質について話をしていきます。

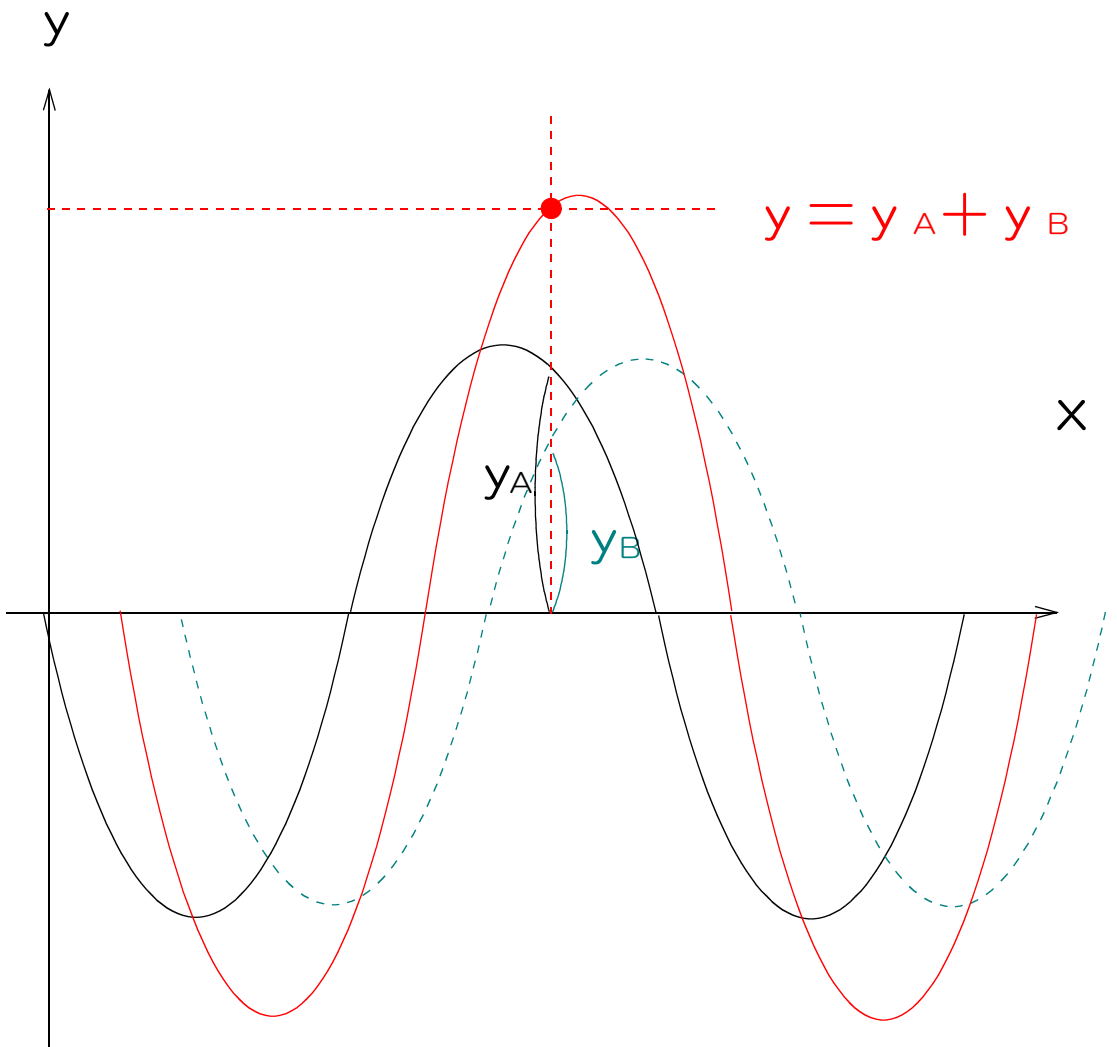
物理基礎 37時間目

1. 波の独立性

波と波はぶつかって(重なって)も壊れたりとはね返ったりせず、何事もなかったかのようにお互いにすり抜けていく。

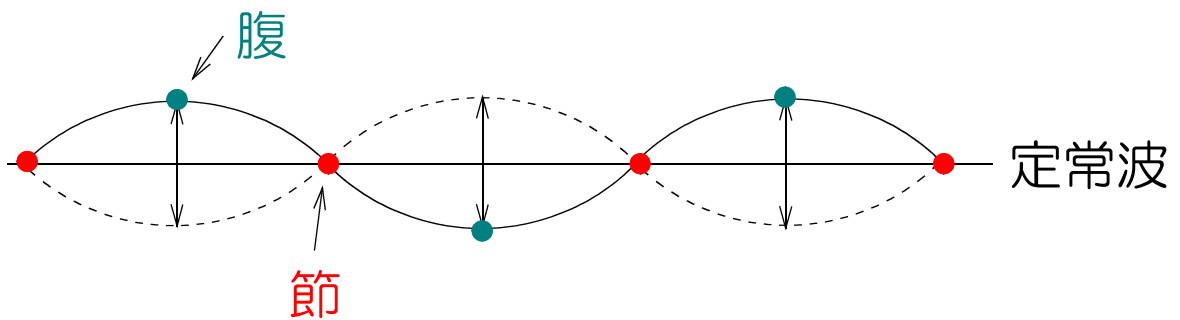
2. 波の重ね合わせの原理

波と波が重なったときの高さ(変位) y は、それぞれの波の高さ(変位) y_A , y_B の和に等しい。



3.定常波（ていじょうは）

波長 λ 、震幅 A 、速さ v の等しい2つの波が互いに逆向きに進んで重なり合うときに生じる左右に動かない波のこと。



節：振動が常に0の点

腹：振動が最も大きい点

※できた定常波の波長 λ はもとの波の波長に等しいので、腹と腹・節と節の間隔は $\lambda/2$ になる。

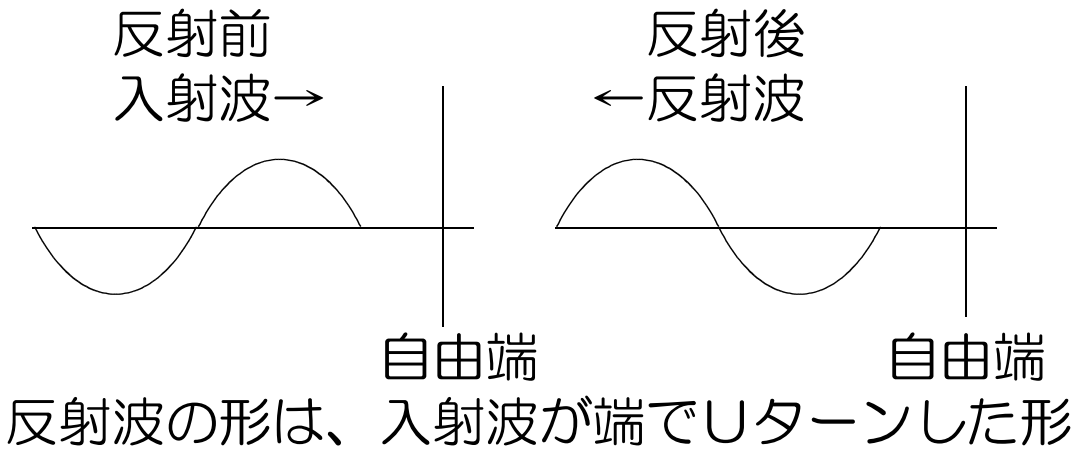
では、「波の重ね合わせの原理」「定常波」をやってみよう。

物理基礎 38時間目

1. 波の反射

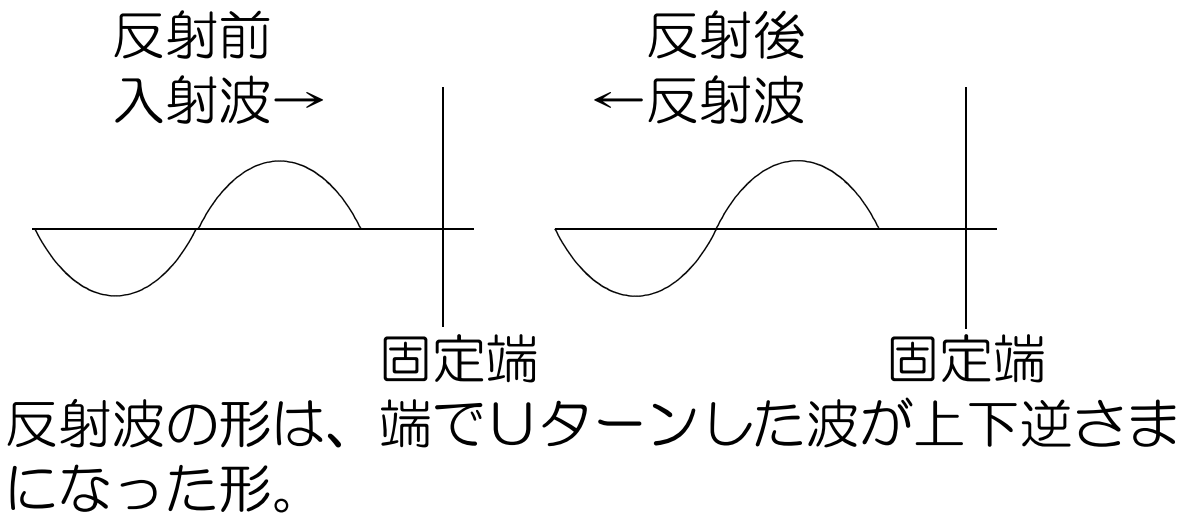
① 自由端の場合

固定されておらず、自由に動ける端のこと。



② 固定端の場合

固定されており、動くことの出来ない端のこと



③ 波が端で反射するとき出来る波形は、入射波と反射波が重なり合っ出来る。

では、「波の反射 自由端 固定端」をやってみよう。

物理基礎 39時間目

今回はプリントの作業から入ります。

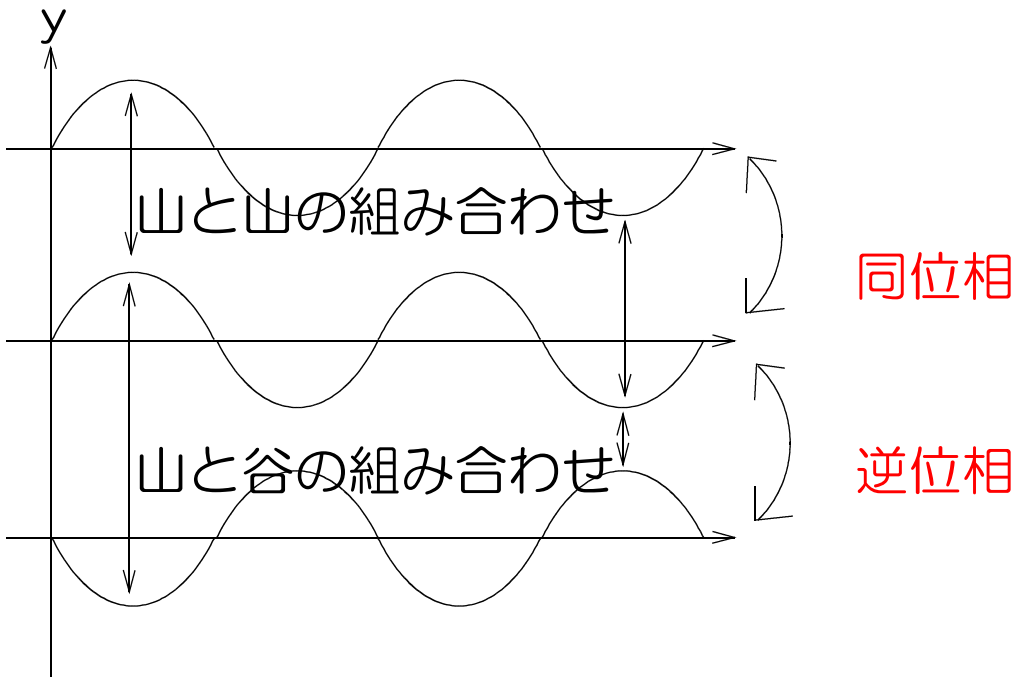
1.プリント「水面上の波の干渉1」

水面に石を投げると同心円状の波が外側に広がっていき様子を目にするが、同時に2カ所に石を投げたときに広がっていく波が干渉するとどのような模様が出来るかを考える。

プリントのやりかた

- ①プリントには似たような図が4つ描かれているが、少しずつ異なる。
- ②中心の黒丸は波源を表す。
- ③図1から始まり、時間とともに2,3,4と進む。
図1では一番内側にある太線が1つずつ外側へ移動している。
これは、水面上の波が時間とともに外側へ広がっていく様子を表している。
- ④円は波を表し、太線は山を、点線は谷を、細線は高さ0を表す。
- ⑤赤ペンで太線と太線の交わる点を縦につなぐ。
- ⑥鉛筆で太線と点線の交わる点を縦につなぐ。
- ⑦赤い線と黒い線は決して交わらない。
- ⑧図1から図4まで同様に線をかく。
- ⑨4つの図を見比べ、2番の問いに答える。

1.同位相と逆位相



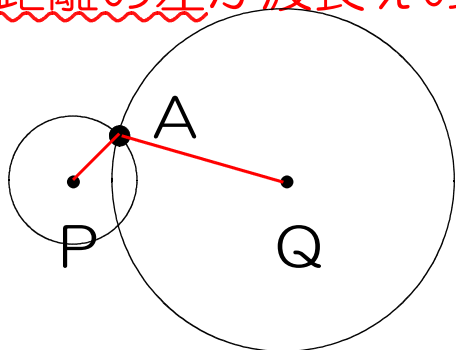
2つの波を比べたときに、同じ場所に山と山、谷と谷があるものを同位相、同じ場所に山と谷、谷と山があるものを逆位相という。

2.水面上の波の干渉

(波源が同位相・同振幅・同波長の場合)

水面上の2つの波源から同心円状の波が広がり、重なり合くと、水面上に定常波が出来る。

- ①点P,点Qから来る波が、点Aで強め合う条件。
波源PQから点Aまでの
距離の差が波長 λ の整数倍のとき。



$$|PA - QA| = m\lambda$$

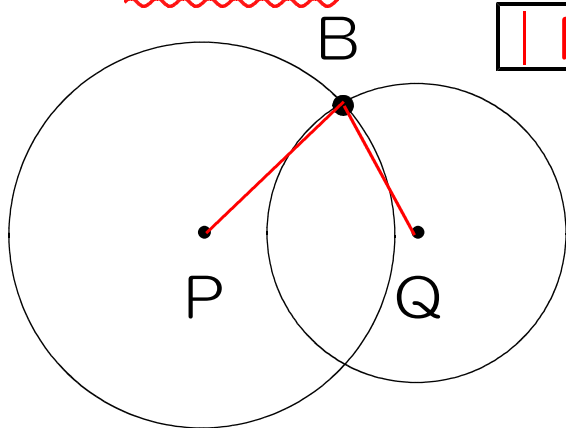
($m=0, 1, 2, \dots$)

点Aには点Pと点Qから
同位相の波がやってくる。
→お互いに強め合う。
→振幅は2倍になる。

- ②点Pと点Qから来る波が、点Bで打ち消し合う条件

波源PQから点Bまでの

距離の差が波長の整数倍 + $\lambda/2$ のとき。



$$|PB - QB| = m\lambda + \lambda/2$$

($m=0, 1, 2, \dots$)

点Bには点Pと点Qから
逆位相の波がやってくる。
→互いに打ち消し合う。
→振幅は0になる。

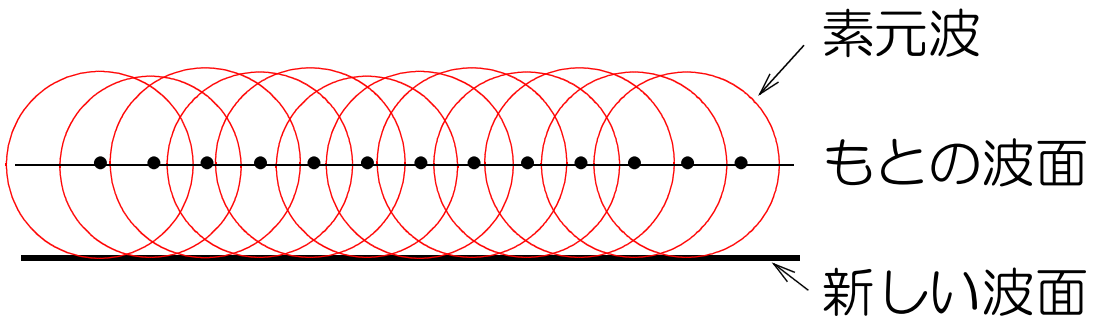
では、「水面上の波の干渉2」をやってみよう。

物理基礎 4 1 時間目

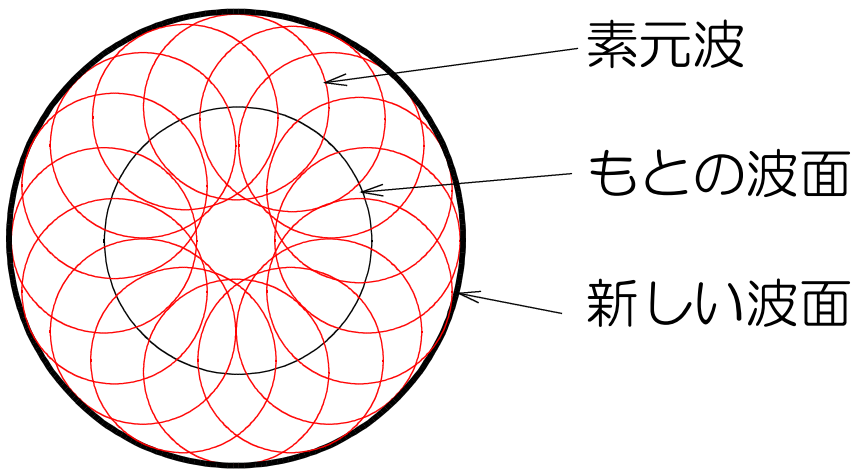
1. ホイヘンスの原理

ある瞬間に波面上の各点から「素元波(そげんは)」が出て重なり合い、共通に接する面ができて、これが次の瞬間の波面になる。

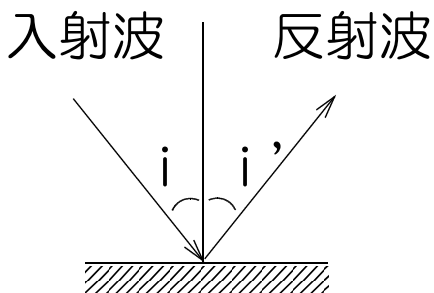
例1 平行に進む波



例2 同心円状に広がる波



2. 波の反射



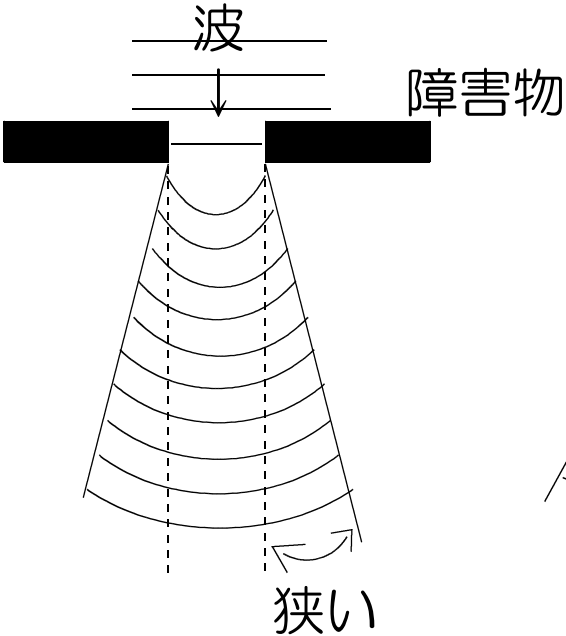
ホイヘンスの原理より
入射角 i = 反射角 i'

3.波の回折(かいせつ)

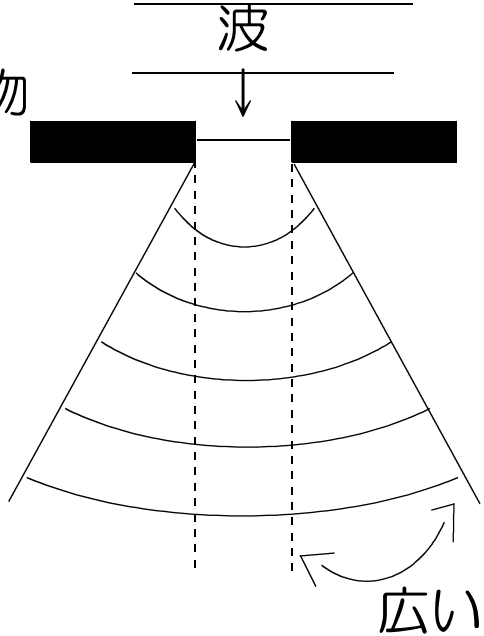
波が障害物の裏側に回り込む現象。

特徴 隙間の幅に対して波長が長いほど波の回折は大きい。

波長が短い場合



波長が長い場合



※線は波の山を表す。

線の間隔が広い→波長が長い。

では、コンパスを用意して「ホイヘンスの原理」をやってみよう。

物理基礎 42時間目

1. 波の屈折

速さの異なる媒質(ばいしつ)の境界面に波が斜めに入射するときに、**波の進行方向が曲がる現象。**

2. (相対)屈折率 n_{12} (エヌいちに) 単位なし

2つの媒質内での波の速さの比のこと。

$$n_{12} = \frac{v_1}{v_2}$$

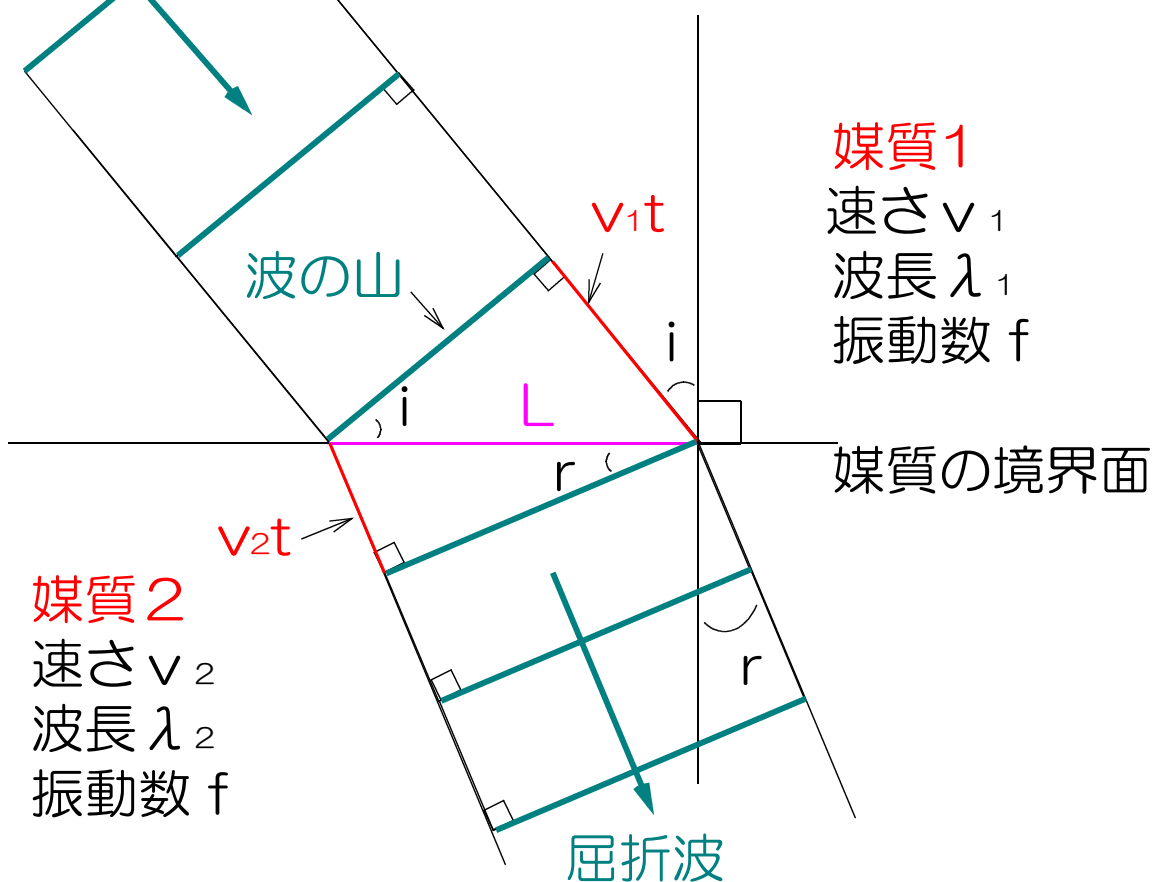
と定義する。

n_{12} : 媒質1に対する媒質2の相対屈折率

v_1 : 媒質1内での波の速さ[m/s]

v_2 : 媒質2内での波の速さ[m/s]

入射波



図より

$$\sin i = \frac{v_1 t}{L}$$

$$\therefore L = \frac{v_1 t}{\sin i} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$\sin r = \frac{v_2 t}{L}$$

$$\therefore L = \frac{v_2 t}{\sin r} \quad \dots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1} = \textcircled{2} \text{より}$$

$$\frac{\cancel{v_1 t}}{\sin i} = \frac{\cancel{v_2 t}}{\sin r}$$

$$\boxed{\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin i}{\sin r}}$$

※波は屈折しても振動数 f は変化しないので、

$$v = f \lambda \text{より}$$

$$v_1 = f \lambda_1$$

$$v_2 = f \lambda_2$$

$$\boxed{\frac{v_1}{v_2} = \frac{\cancel{f} \lambda_1}{\cancel{f} \lambda_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}}$$

$$n_{12} = \frac{v_1}{v_2} \quad \text{より}$$

$$n_{12} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

n_{12} : 媒質1に対する媒質2の相対屈折率

i : 入射角

r : 屈折角

では、「波の反射・屈折・回折」「波の屈折 練習問題」をやってみよう。