

物理

第1章	力のモーメント
第2章	運動量
第3章	円運動
第4章	単振動
第5章	電場
第6章	電流
第7章	磁場
第8章	電子・原子

次ページ「使用方法」を読んでください。

ver 1.1

このテキストの使用方法

1. PDFファイル閲覧アプリのインストール

このテキストは標準的なPDFファイルになっています。このテキストを読むためにadobe社のアプリAcrobat Reader(無料)をダウンロードし、インストールしましょう。iPhoneを使っているひとはApple社純正アプリ「ブック」(無料)でもokです。

iPhone用 [Acrobat Reader](#) [ブック](#)

Android用 [Acrobat Reader](#)

2. テキストのダウンロードと保存

このテキストをダウンロードしたらAcrobat Reader等のPDFファイル閲覧アプリにコピーをして保存しましょう。保存をすれば毎回ダウンロードする必要がなくなります。

iPhoneは[↑]□でAcrobatまたはブックにコピー
Androidは自動的にAcrobatで開きます。

3. 勉強方法

テキストをノートに写しましょう。また、テキストの「物理 **時間目」の部分をクリックすると、その時間の解説動画にジャンプします。解説を聞き、内容を理解してください。

4. 宿題

内容が理解できたら、宿題(プリント)にチャレンジ。「プリント名」をクリックすると、プリントの解説動画にジャンプします。

はじめに

これは自由選択「物理」のテキストです。スマホ縦画面にあわせて16：9で作られています。全画面で見てください。

物理の授業は週4時間あるので、毎週4時間分の勉強をしましょう。

勉強方法

- ①ノートに画面を写す。
ノートは毎回新しいページの1行目から書き、1回の授業をページをめくらなくても見渡せるように作りました。
- ②解説動画を見て内容を理解する。
- ③プリントで問題演習を行う。
解答は省略せずに使った公式や途中の計算式をかくこと。答えのみの場合は再提出になります。問題文の最後の括弧の中は答えです。自分の解答がまっているか確認しながら進んでください。
- ④問題集の同じテーマの問題を解く。

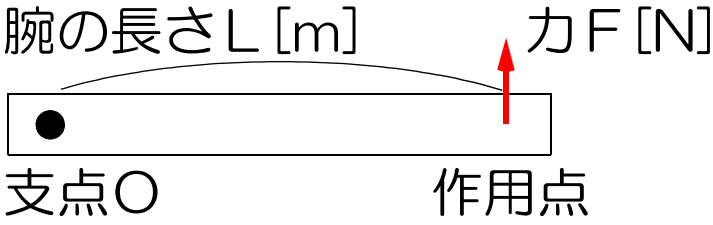
問題を解くことが理解を深めることにつながるので、繰り返し問題を解きましょう。

※プリントは1枚2点です。提出を忘れないこと。

物理 1 時間目

1. 力のモーメント N [N/m]

物体を回転させる働きのこと。

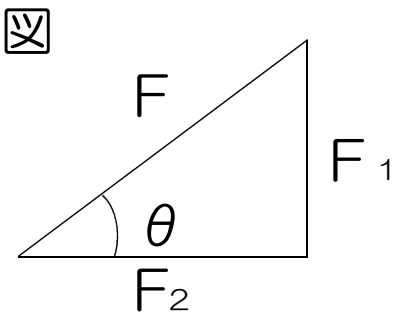
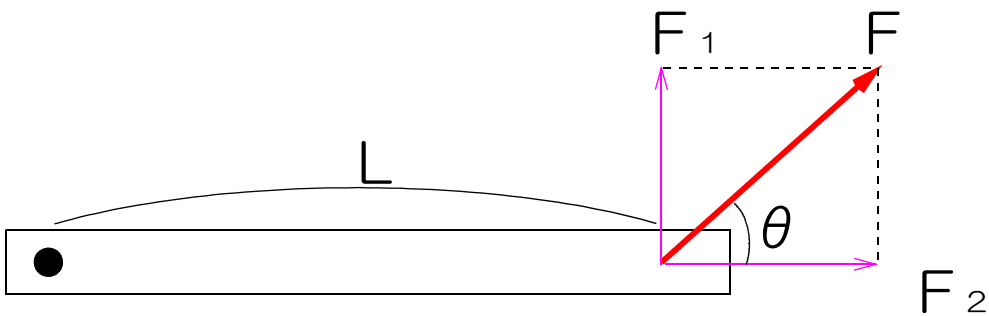


力 F は腕に対して直角のまま腕とともに回転する
支点 O : 回転の中心。上下左右に動かない。

$N = F L$	F : 力 [N] L : 腕の長さ [m] (支点から作用点までの距離)
-----------	-------------------------------------------------

2. 力 F が腕に直角でないときの力のモーメント N

※腕に対して直角方向の力の大きさを考える。



図より

$$\frac{F_1}{F} = \sin \theta$$
$$\therefore F_1 = F \sin \theta$$

$N = F L$ より

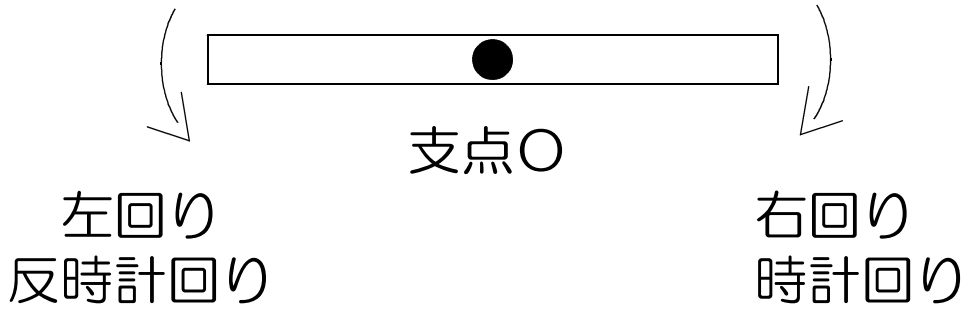
$$N = F_1 L = F \sin \theta \times L$$

$$N = F L \sin \theta$$

F : 力[N]

L : 腕の長さ[m]

3. 右回り・左回り



では、プリント 「力のモーメント」 をやってみよう。

●あとながき

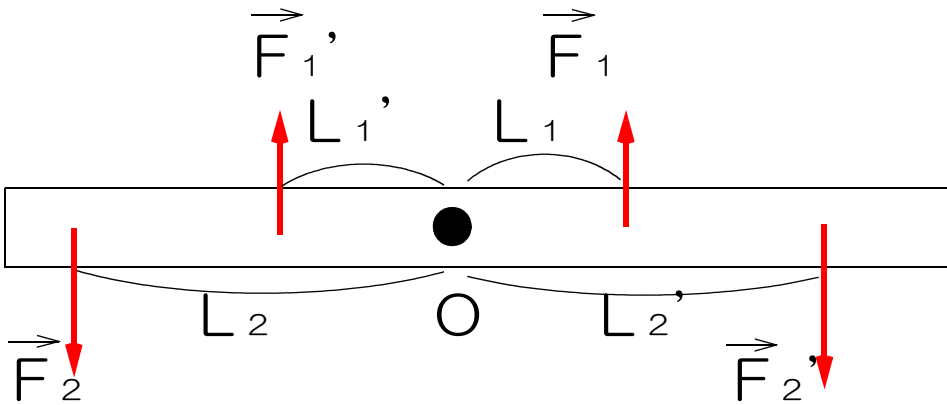
(あとながきとまえがきは写さなくて良い)

力のモーメント = 力 × 腕の長さ と覚えよう。

物理 2時間目

1.力のモーメントのつり合いとその条件 (物体が回転しないための条件)

左回りの
力のモーメントの和 = 右まわりの
力のモーメントの和



力のモーメントのつり合いの式

$$F_1 L_1 + F_2 L_2 + \dots = F_1' L_1' + F_2' L_2' + \dots$$

※物体が静止しているとき、物体内のどの点を支点として考えても、力のモーメントのつり合いがとれている。(後で使います)

では、プリント「力のモーメントのつり合い」をやってみよう。

物理 3時間目

1. 重心

重さの中心のこと。

物体の重心を支えるとバランスがとれる。

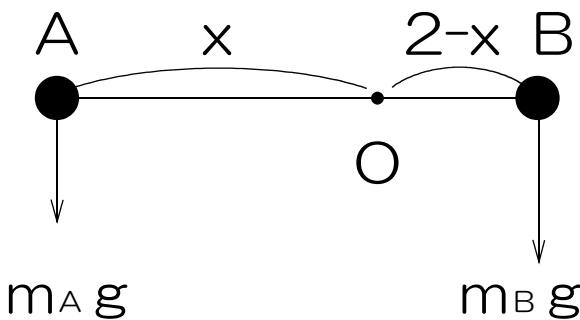
= 重心を支点として力のモーメントのつり合いがとれる。

では、プリント「重心」をやってみよう。

ヒント

1 問目

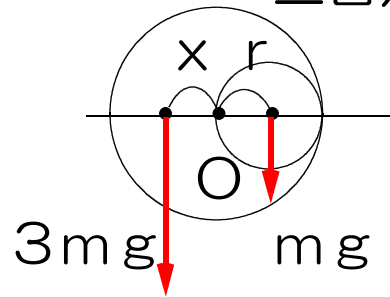
重心 O を自分で決め、つり合いの式を立てる。



3 問目

切りぬいた小円をはめ込むと、大円が完成し、バランスがとれることを考える。

三日月の面積は小円の3倍 → 重さも3倍

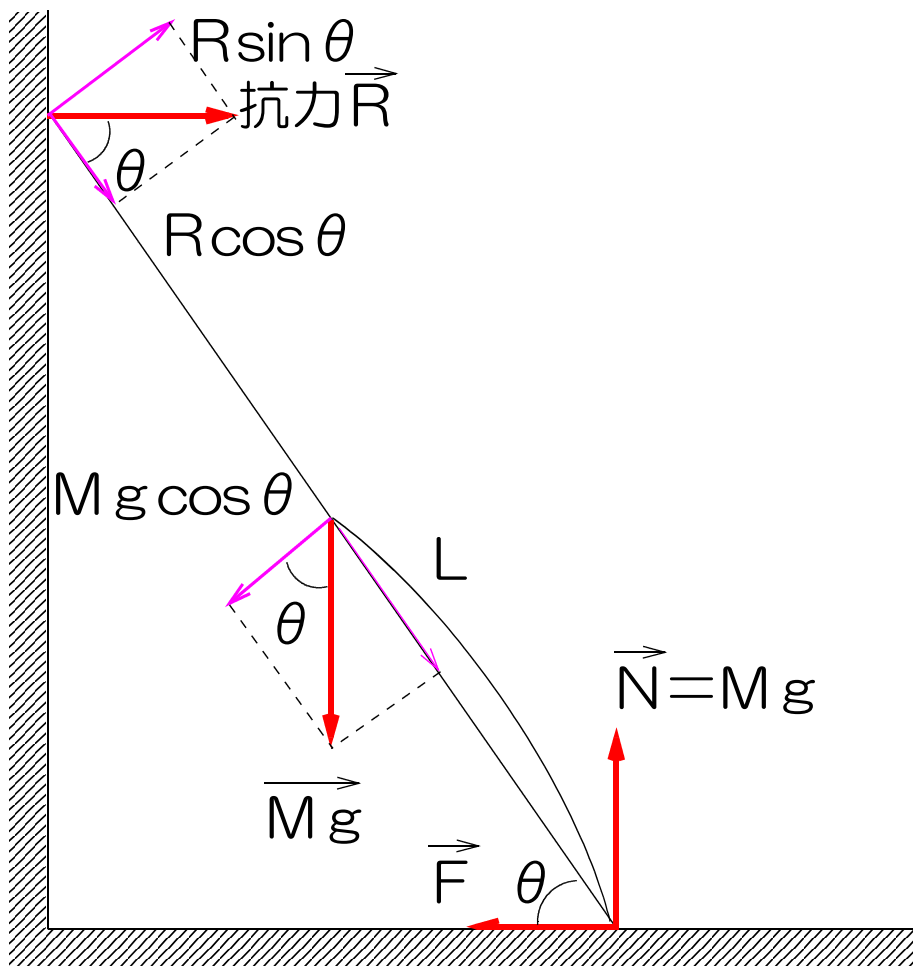


$$3mg \times x = mg \times 6$$

同様に、残りの問題も解ける。

物理 4時間目

力のモーメント応用例 なめらかな壁に立てかけられた質量 M の一様な棒が滑らないための条件
一様な棒：重心が棒の真ん中にある。



棒の質量を M 、長さを $2L$ 、
棒と床の間の静止摩擦係数を μ 、
棒と壁の間の静止摩擦係数を 0 とする。

棒が静止しているとき、
上下の力のつり合いより
 $Mg = N \dots \textcircled{1}$

左右の力のつり合いより

$$R = F \dots \textcircled{2}$$

力のモーメントのつり合い

棒と床の接点を支点Oとすると、

$$R \sin \theta \times 2L = Mg \cos \theta \times L \dots \textcircled{3}$$

※物体が静止しているときは、「上下」と「左右」と、「力のモーメント」のつり合いがとれている。また、 $R > F$ になると棒は滑る。

※支点Oは物体内であればどこでもかまわない。

③より (両辺をLで割る)

$$R \sin \theta \times 2 = Mg \cos \theta$$

$$\frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{Mg}{2R} \quad (\cos \theta \text{ と } 2R \text{ を移項})$$

$$\tan \theta = \frac{Mg}{2R} \quad \left(\frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \tan \theta \right)$$

棒が滑り出す直前において

$$R = F = \mu Mg \text{ なので}$$

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \frac{Mg}{2\mu Mg} \\ &= \frac{1}{2\mu} \end{aligned}$$

棒が滑って倒れない条件

$$\tan \theta \geq \frac{1}{2\mu}$$

では、プリント 「力のモーメント 応用」 をやってみよう。

物理 5時間目

1. 運動量 P [$\text{kg}\cdot\text{m/s}$]

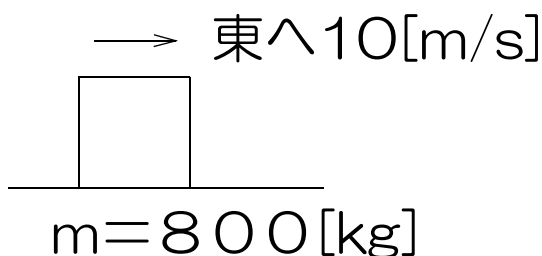
運動の激しさを表す量。

$$P = m v$$

m : 質量 [kg]

v : 速度 [m/s]

例 東向きに速さ 10 [m/s] で移動する質量 800 [kg] の物体の持つ運動量



$P = m v$ より

$$P = 800 \times 10$$

$$= 8000 \text{ [kg}\cdot\text{m/s]}$$

東向き

2. 力積 記号なし [$\text{N}\cdot\text{s}$]

物体に加えた力 F \times 加えた時間 t

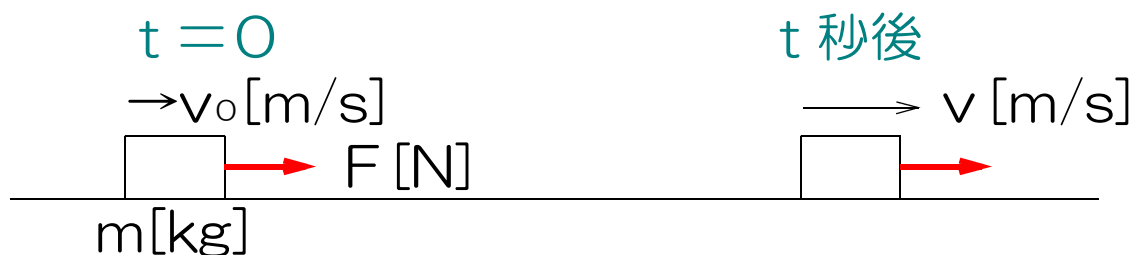
$$\text{力積} = F t$$

F : 力 [N]

t : 時間 [s]

3. 運動量と力積の関係

なめらかな水平面上を初速度 v_0 で運動する物体に、力 F を t 秒間加え続けたら速度が v になったとする。



このとき物体は加速度 $a = \frac{F}{m}$ の等加速度直線運動

をするので、

$$v = v_0 + a t \text{ より}$$

$$v - v_0 = a t$$

$$a = \frac{F}{m} \text{ より}$$

$$v - v_0 = \frac{F}{m} t \quad (\text{mを移項})$$

$$m(v - v_0) = F t \quad (\text{かっこを外す})$$

$$\boxed{mv} - \boxed{mv_0} = \boxed{Ft}$$

物体が力を加えられた後に持つ運動量 - 物体が初めに持っていた運動量 = 物体に加えられた力積

運動量の変化量

運動量の変化量は加えられた力積の量に等しい

→ 「運動量の変化量は力積に等しい」

$$mv - mv_0 = Ft$$

m : 質量[kg]

v : 速度[m/s]

v₀ : 初速度[m/s]

F : 力[N]

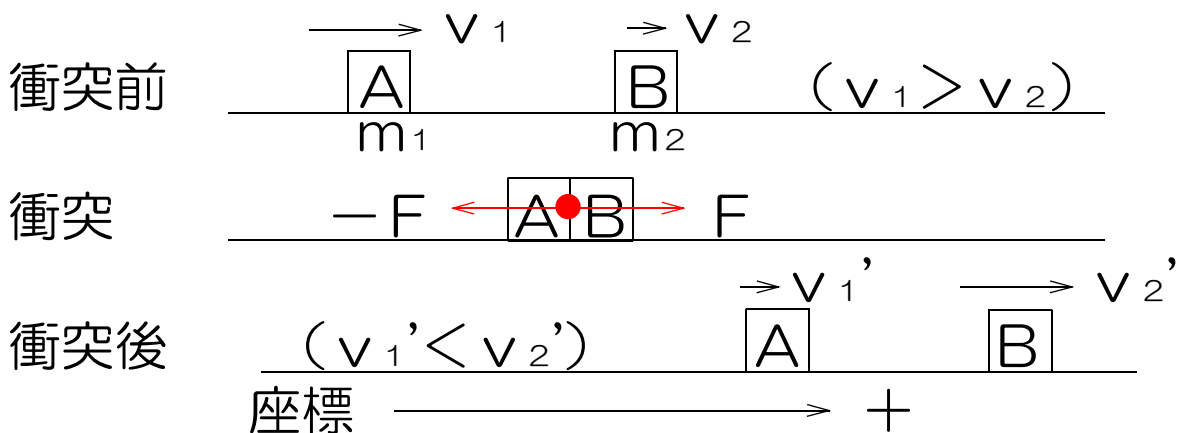
t : 時間[s]

では、「運動量・力積」をやってみよう。

物理 6時間目

1. 運動量保存の法則

一直線上の物体の衝突について考える



衝突による物体Aの運動量の変化

$$m v - m v_0 = F t \text{ より}$$

$$m_1 v_1' - m_1 v_1 = -F t$$

$$-m_1 v_1' + m_1 v_1 = F t \quad \dots \textcircled{1}$$

衝突による物体Bの運動量の変化

$$m v - m v_0 = F t \text{ より}$$

$$m_2 v_2' - m_2 v_2 = F t \quad \dots \textcircled{2}$$

①=②より

$$-m_1 v_1' + m_1 v_1 = m_2 v_2' - m_2 v_2$$

$$\underline{m_1 v_1 + m_2 v_2} = \underline{m_1 v_1' + m_2 v_2'}$$

衝突前に

物体A,Bが持つ

運動量の和

衝突後に

物体A,Bが持つ

運動量の和

運動量保存の法則

外力が働かないとき、2物体の衝突の前後において運動量の和に変化はない。

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

m_1 : 物体Aの質量[kg]

m_2 : 物体Bの質量[kg]

v_1 : 物体Aの初めの速度[m/s]

v_2 : 物体Bの初めの速度[m/s]

v_1' : 物体Aの衝突後の速度[m/s]

v_2' : 物体Bの衝突後の速度[m/s]

では、「運動量保存の法則」をやってみよう。

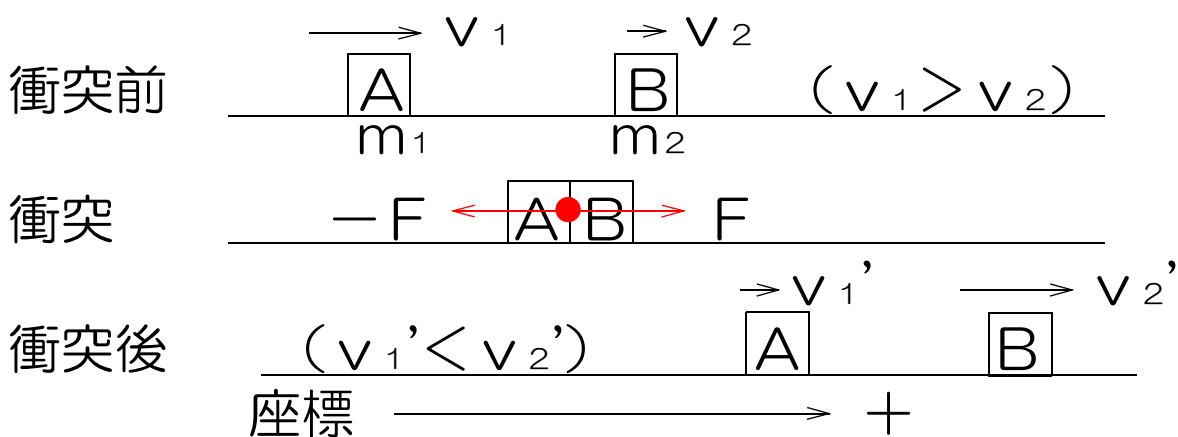
物理 7時間目

1. 反発係数 e (はね返り係数) 単位なし

① はね返りやすさを表す値。

② ぶつかる速さに対する、はね返る速さの割合。

AがBに後ろから衝突したとき、AはBを力 F で押し、作用反作用の法則より、BはAを $-F$ で押した。



$$e = \frac{\text{はね返る速さ}}{\text{ぶつかる速さ}} = \frac{\text{BがAから遠ざかる速さ}}{\text{AがBに近づく速さ}}$$
$$= \frac{v_2' - v_1'}{v_1 - v_2} = \frac{-(v_1' - v_2')}{v_1 - v_2}$$

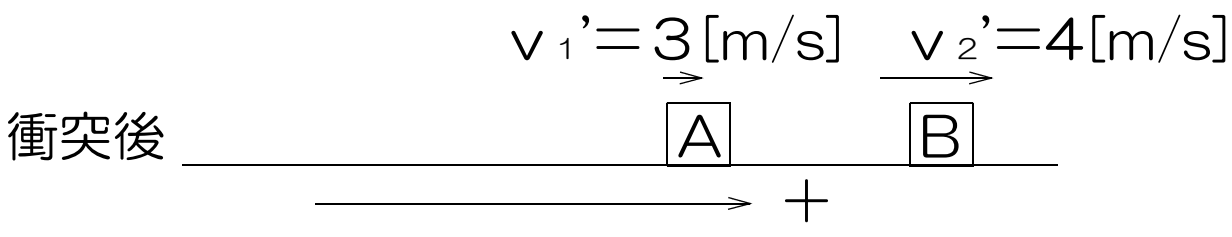
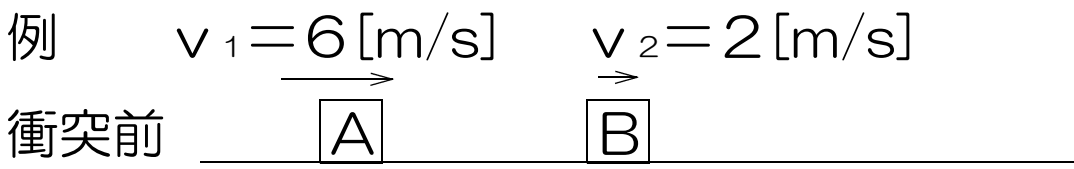
$$e = - \frac{v_1' - v_2'}{v_1 - v_2}$$

v_1 : 物体Aの初めの速度[m/s]

v_2 : 物体Bの初めの速度[m/s]

v_1' : 物体Aの衝突後の速度[m/s]

v_2' : 物体Bの衝突後の速度[m/s]



$$e = - \frac{v_1' - v_2'}{v_1 - v_2} \quad \text{より}$$

$$e = - \frac{3 - 4}{6 - 2}$$

$$= - \frac{-1}{4}$$

$$= 0.25$$

2. 衝突の種類

- $e = 0$ 完全非弾性衝突
- $0 < e < 1$ 非弾性衝突
- $e = 1$ (完全)弾性衝突

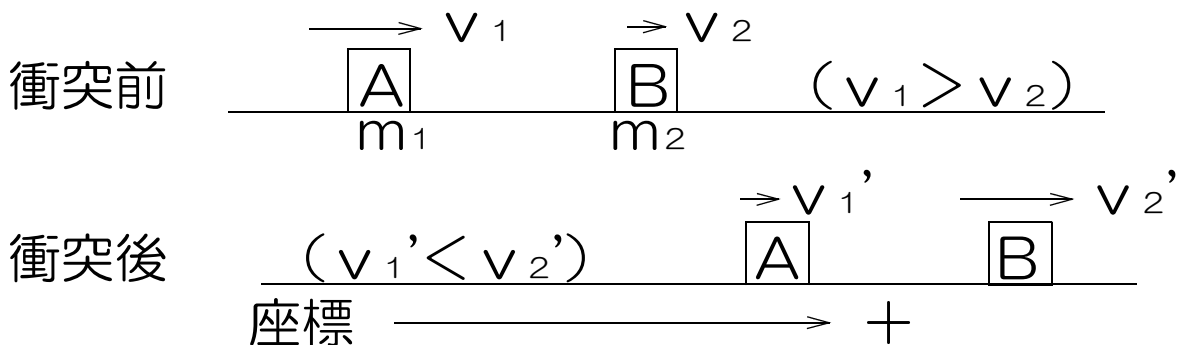
では、「反発係数」をやってみよう。

●あとかき

反発係数がマイナスになったり、1よりも大きくなることはない。

物理 8時間目

1.運動量保存の法則と反発係数



運動量保存の法則

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

反発係数

$$e = - \frac{v_1' - v_2'}{v_1 - v_2}$$

物体A

m_1 : 質量[kg]

v_1 : 初めの速度[m/s]

v_1' : 衝突後の速度[m/s]

物体B

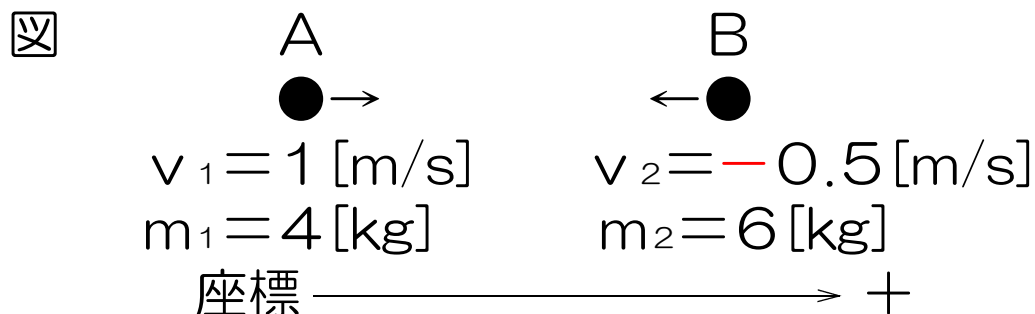
m_2 : 質量[kg]

v_2 : 初めの速度[m/s]

v_2' : 衝突後の速度[m/s]

この2つの公式を組み合わせて問題を解いていく。

例 右向きに速さ1 [m/s]で進む質量4 [kg]の物体Aが、左向きに速さ0.5 [m/s]で進む質量6 [kg]の物体Bと衝突した。この衝突の反発係数を0.5とすると、物体A,Bの衝突後の向きと速さはいくらか。右向きを座標の正の向きとして計算せよ。



$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \text{ より}$$

$$4 \times 1 + 6 \times (-0.5) = 4 v_1' + 6 v_2'$$

$$4 - 3 = 4 v_1' + 6 v_2'$$

$$1 = 4 v_1' + 6 v_2' \dots \textcircled{1}$$

$$e = - \frac{v_1' - v_2'}{v_1 - v_2} \text{ より}$$

$$e = - \frac{v_1' - v_2'}{1 - (-0.5)}$$

$$0.5 = - \frac{v_1' - v_2'}{1.5}$$

$$0.5 \times (-1.5) = v_1' - v_2'$$

$$-0.75 = v_1' - v_2' \dots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} \times 6$$

$$\begin{array}{r} 1 = 4v_1' + 6v_2' \\ +) \quad -4.5 = 6v_1' - 6v_2' \\ \hline -3.5 = 10v_1' \end{array}$$

$$\therefore v_1' = -0.35 \dots \textcircled{3}$$

③を②へ代入

$$-0.75 = -0.35 - v_2' \dots \textcircled{2}$$

$$v_2' = -0.35 + 0.75$$

$$= 0.4$$

答え 物体A 左向き 0.35[m/s]
物体B 右向き 0.4[m/s]

では、「運動量保存の法則と反発係数」をやってみよう。

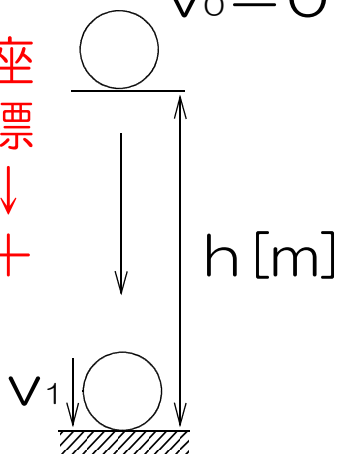
物理 9時間目

1.自由落下する物体の反発係数

①物体が床に衝突する速さ v_1

$$v_0 = 0$$

座標
↓
+



$$v^2 - v_0^2 = 2as \text{ より}$$

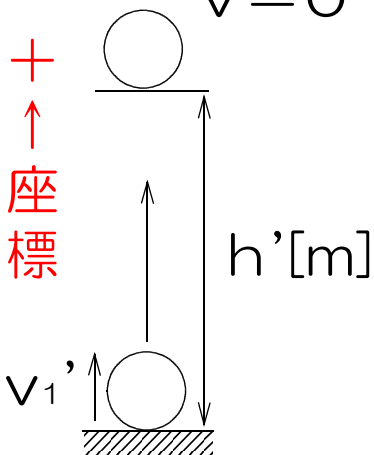
$$v_1^2 - 0^2 = 2 \times g \times h$$

$$\therefore v_1 = \sqrt{2gh} \quad \dots(a)$$

②物体がはね返る速さ v_1'

$$v = 0$$

+
↑
座標



$$v^2 - v_0^2 = 2as \text{ より}$$

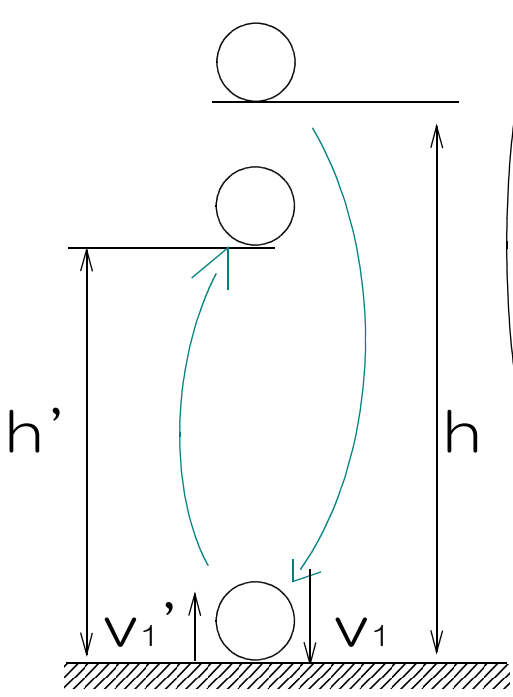
$$0^2 - v_1'^2 = 2 \times (-g) \times h'$$

$$-v_1'^2 = -2gh'$$

$$\therefore v_1' = \sqrt{2gh'} \quad \dots(b)$$

③自由落下する物体の反発係数 e

座標
↓
+



$$v_1 = \sqrt{2gh}$$

$$v_1' = -\sqrt{2gh'}$$

$$v_2 = 0 \text{ (床の速さ)}$$

$$v_2' = 0 \text{ (床の速さ)}$$

座標は下向きが+、
 v_1' は上向きなので-

$$e = - \frac{v_1' - v_2'}{v_1 - v_2} \text{ より}$$

$$e = - \frac{-\sqrt{2gh'} - 0}{\sqrt{2gh} - 0}$$

$$= \frac{\sqrt{2gh'}}{\sqrt{2gh}}$$

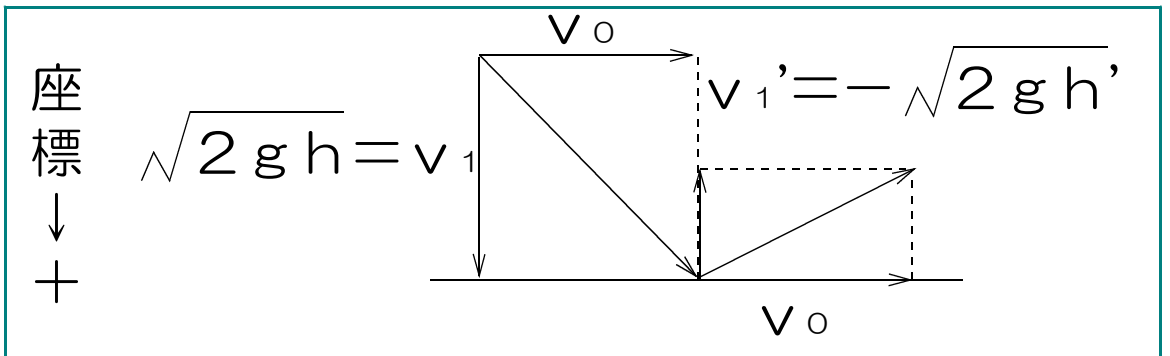
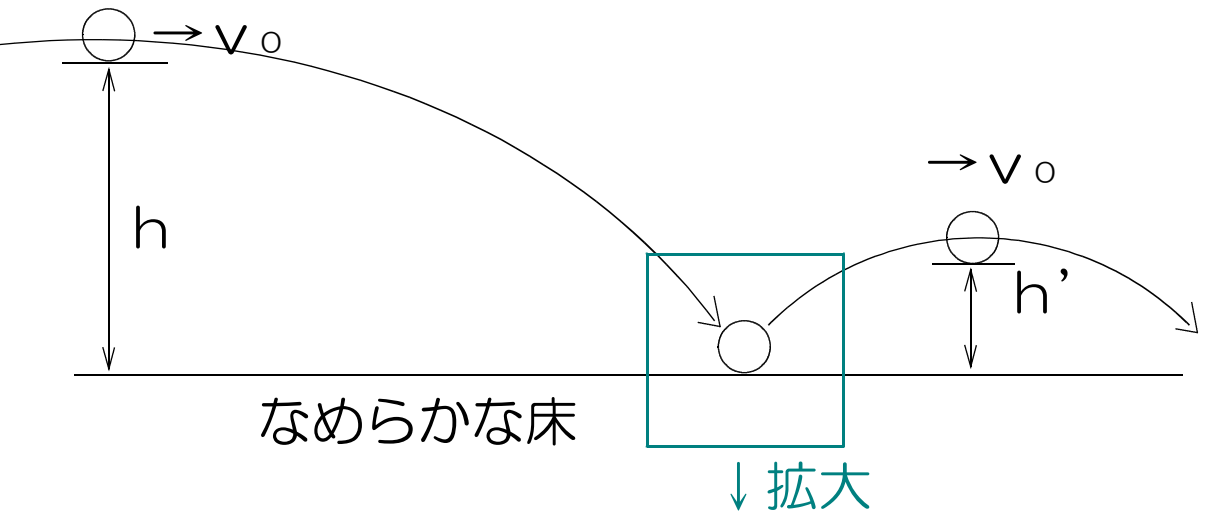
$$= \sqrt{\frac{2gh'}{2gh}}$$

$$= \sqrt{\frac{h'}{h}}$$

では、「自由落下する物体の反発係数」をやってみよう。

物理 10時間目

1. 水平投射された物体の反発係数 e



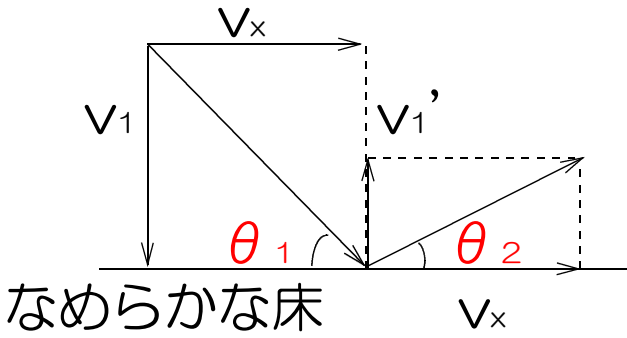
ポイント

- ① なめらかな床に衝突しても、**水平方向の速さは変化しない。**
- ② v_1 と v_1' は**自由落下と同じ考え方**でよい。
- ③ 反発係数 e は v_1 と v_1' のみで考える。

(水平方向の速さは無関係)

$$e = -\frac{v_1' - v_2'}{v_1 - v_2} = -\frac{-\sqrt{2gh'} - 0}{\sqrt{2gh} - 0}$$
$$= \frac{\sqrt{2gh'}}{\sqrt{2gh}} = \sqrt{\frac{2gh'}{2gh}} = \sqrt{\frac{h'}{h}}$$

2.衝突の角度のみが分かっている場合の反発係数



$$\begin{aligned} e &= - \frac{v_1' - v_2'}{v_1 - v_2} = \text{より} \\ &= - \frac{-v_x \tan \theta_2 - 0}{v_x \tan \theta_1 - 0} \\ &= \frac{\tan \theta_2}{\tan \theta_1} \end{aligned}$$

では、「水平投射された物体の反発係数」をやってみよう。

物理 1 1 時間目

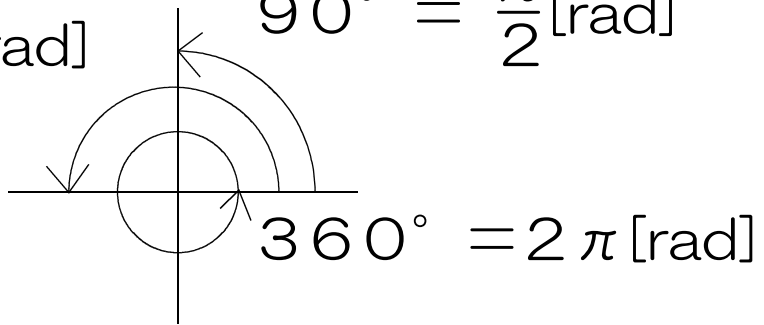
1.円運動

1点を中心として、そのまわりをまわる(回転する)物体の運動。

2.角度 θ [rad] (ラジアン)

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

$$180^\circ = \pi \text{ [rad]} \quad 90^\circ = \frac{\pi}{2} \text{ [rad]}$$



3.周期 T [s]

物体が1周(回転)するのに要する時間

例 2秒間に10回転する物体の周期 T

$$T = \frac{\text{時間}}{\text{まわった回数}} = \frac{2}{10} = 0.2 \text{ [s]}$$

4.回転数 f [Hz] (ヘルツ)

物体が1秒間に回転する回数

例 2秒間に6周する物体の回転数 f

$$f = \frac{\text{まわった回数}}{\text{時間}} = \frac{6}{2} = 3 \text{ [Hz]}$$

5.周期 T と回転数 f の関係

$$f \times T = \frac{\text{まわった回数}}{\text{時間}} \times \frac{\text{時間}}{\text{まわった回数}} = 1$$

$$\boxed{f T = 1}$$

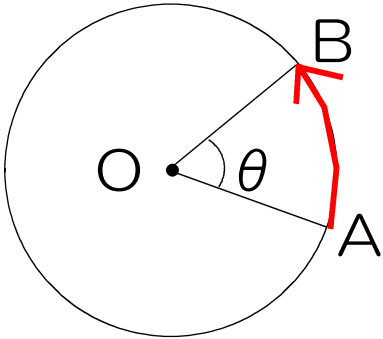
では、「角度・周期・回転数」をやってみよう。

物理 12時間目

1. 角速度 ω (オメガ) [rad/s]

1 秒間に回転する角度

AからBまで t 秒かかった



$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

θ : 角度 [rad]

t : 時間 [s]

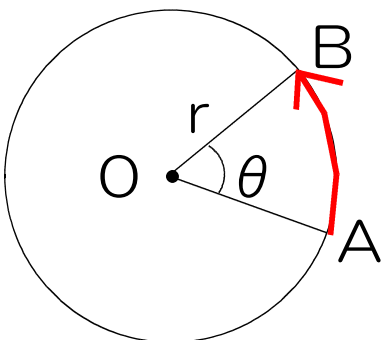
例 5秒間に2周する物体の角速度 ω

$$\omega = \frac{\theta}{t} \text{ より}$$

$$\omega = \frac{2 \times 2\pi}{5} = 0.8\pi \div 2.5 \text{ [rad/s]}$$

2. 弧 \widehat{AB} の長さ [m]

円周に対する \widehat{AB} の長さ = 一周に対する中心角

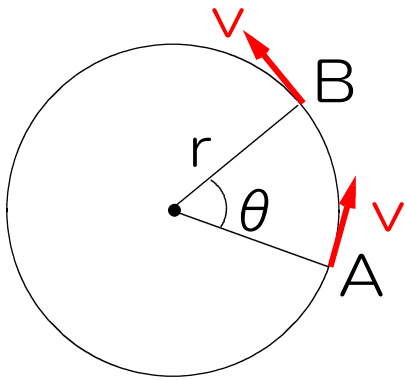


$$\frac{\widehat{AB}}{2\pi r} = \frac{\theta}{2\pi}$$

$$\therefore \widehat{AB} = \frac{2\pi r \times \theta}{2\pi}$$

$$\widehat{AB} = r\theta$$

3.円周上の速さ v [m/s]



AからBまで t [s]
かかったとする。

$$\text{速さ } v = \frac{\text{距離}}{\text{時間}}$$

$$= \frac{\widehat{AB}}{t}$$

$$\widehat{AB} = r\theta \text{ より}$$

$$v = \frac{r\theta}{t}$$

$$\frac{\theta}{t} = \omega \text{ より}$$

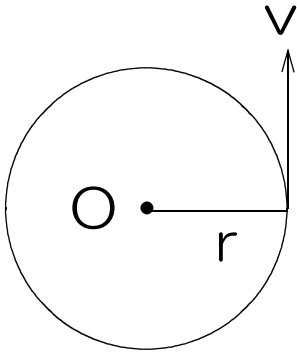
$$v = r\omega$$

r : 半径[m]

ω : 角速度[rad/s]

4. 周期 T [s] ②

物体が1周(回転)するのに要する時間



$$T = \frac{\text{円周の距離}}{\text{速さ}}$$
$$= \frac{2\pi r}{v}$$

$$v = r\omega \text{ より}$$

$$T = \frac{2\pi r}{r\omega}$$
$$= \frac{2\pi}{\omega}$$

$$T = \frac{2\pi r}{v} \quad \left(\text{円周上の速さ } v \text{ を使って} \right. \\ \left. \text{計算する場合} \right)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad \left(\text{角速度 } \omega \text{ を使って} \right. \\ \left. \text{計算する場合} \right)$$

r : 半径[m]

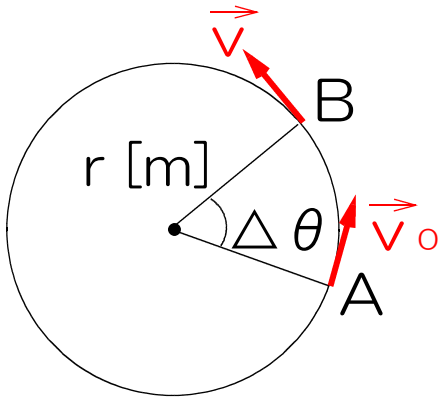
v : 速さ[m/s]

ω : 角速度[rad/s]

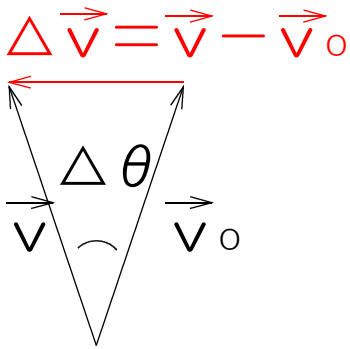
では、「角速度・円周上の速さ・周期」をやってみよう

物理 1 3 時間目

1. 等速円運動の加速度 a [m/s^2]



AからBまで Δt [s]



$$v = v_0 + a t \quad \text{より}$$

$$v - v_0 = a t$$

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

方向も含めて考えると

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$$

$\Delta \vec{v} = \vec{v} - \vec{v}_0$ とすると

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$|v| = |v_0| = v$ とすると
 $\Delta v = v \times \Delta \theta$ なので

$$a = \frac{v \Delta \theta}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{\theta}{t} = \omega \text{ より}$$

a : 加速度 [m/s^2]

r : 半径 [m]

ω : 角速度 [rad/s]

v : 速さ [m/s]

$$a = v \omega$$

$v = r \omega$ より

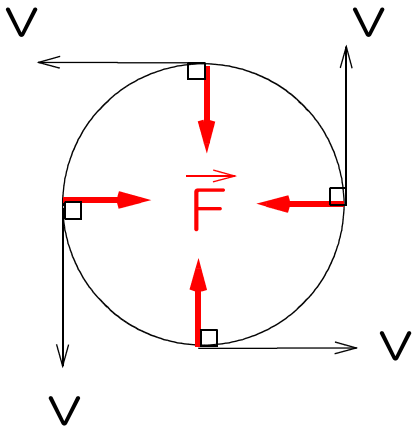
$$a = r \omega^2$$

$\omega = v / r$ より

$$a = \frac{v^2}{r}$$

2.向心力F [N]

物体を円運動させる(中心に向かう)力



$$\begin{aligned} F &= m a \\ a &= r \omega^2 \\ a &= \frac{v^2}{r} \end{aligned}$$

より

$$F = m r \omega^2$$

$$F = m \frac{v^2}{r}$$

向心力は物体の進行方向に対して直角向きに働くので、物体の進む向きを変えても、進む速さ v は変化させない。

m : 質量[kg]
 r : 半径[m]
 v : 速さ[m/s]
 ω : [rad/s]

では、「加速度・向心力」をやってみよう。

●あながき(この内容が分かるには時間がかかる)

物体に力が働かないとき物体はまっすぐ進む。円運動は力が円の中心に向かって働くので、 $F = m a$ にしたがって物体は円の中心に向かって加速します。つまり物体はまっすぐ進まずに、中心に向かって少しだけ落ちる(曲がる)。そして次の瞬間も進むときに少しだけ中心に向かって落ちます。この繰り返しによって物体は円を描くことになります。円周上の速さは変化しないのでつかみにくいのですが「物体は円の中心に向かって加速する」のです。

物理 14時間目

プリント「等速円運動 演習問題」

今まで習ったことをもとに考えてください。

ヒント

右側上の問題

「30回転するのに75[s]かかった」ということは、回転数はいくら？

右下の問題

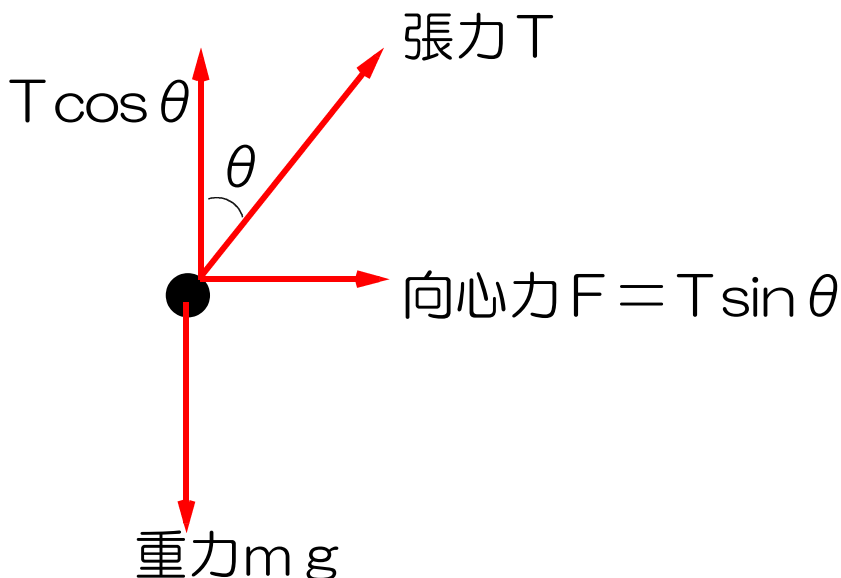
$F = \mu N$ を使う。

物理 15時間目

プリント「等速円運動 演習問題2」

このように天井からつるされたおもりを水平面内で円運動させる運動を円錐振り子と呼ぶ。

このおもりに働く力を考える。



物体に働く力は、重力と張力の2つ。
次に、張力を縦と横に分解。

上下の力のつり合いより
 $m g = T \cos \theta \dots \textcircled{1}$

①より T の大きさが分かり、 F の大きさが決まる。

$F = m r \omega^2$ にその結果を代入し、 ω を決定

$T = 2 \pi / \omega$ より、 T が決まる。

右ページも同様に計算。

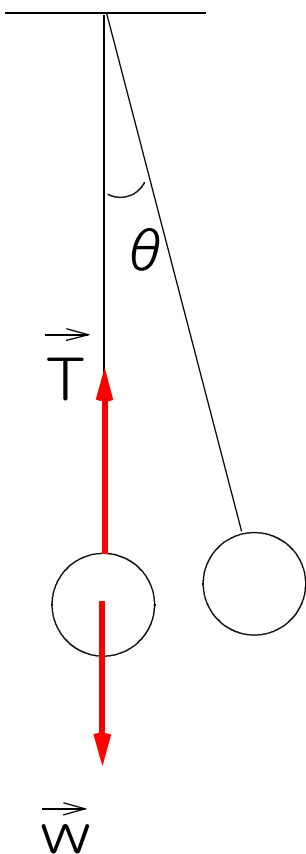
物理 16時間目

1.鉛直面内の円運動

今までは水平面上の円運動を扱ってきましたが、今回は鉛直面内で物体を円運動させます。上下に物体は動くので、上がっていくときは徐々に速度が遅くなり、下がるときは、徐々に速くなります。したがって等速円運動ではなくなりますが、円を描いて運動するので、その一瞬一瞬において円運動の公式が成り立ちます。では実際の問題を見てみよう。

プリント 「鉛直面内の円運動」 をやってみよう。

1 問目



1. 力学的エネルギー保存法則より求める。

高さの差は $L - L \cos \theta$

2. 下端を通過する瞬間、物体に働く力は張力 T と重力 w の2つ。

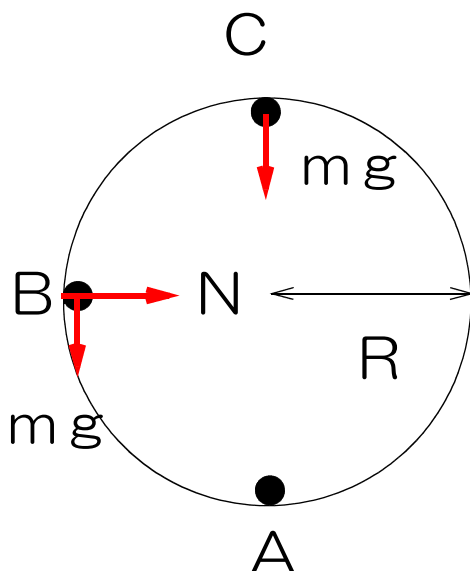
向心力 $F = T - w$ となる。

この F を公式に代入。

3. $F = m \frac{v^2}{r}$ に

1と2の答えを代入。

2問目



1. C点において物体に働く力は重力 w と垂直抗力 N の2つである。

2. 「C点で離れる」＝「 N が0」と考える。

したがってC点において向心力 F の役割を果たすのは重力 w のみとなり、C点での物体の速さを v_c として、

$$F = m \frac{v^2}{r} \quad F \text{ に } mg、v \text{ に } v_c \text{ を代入。}$$

v_c を求める。

次に、A点とC点で力学的エネルギー保存の法則を用いて、A点での速さ v_0 を求める。

3. 力学的エネルギー保存の法則を用いて速さを求め、円運動 $F = \frac{mv^2}{r}$ の式を使って N を求める。

3問目

垂直抗力 N が張力 T に変わっただけ。2と同じ考え方で解いていく。

プリント「鉛直面内の円運動2」をやってみよう。

「鉛直面内の円運動2 問い1」

円筒の表面をすべるので、物体に働く力は重力と垂直抗力 N の2つだけ。この2つの力の合力が向心力 F となっている。重力を円柱の中心に向かう方向と、それに垂直な方向の2つに分けて考える。

1. 力学的エネルギー保存の法則により求める。
2. 円柱の中心に向かう方向を正として考え、垂直抗力 N と重力の円筒の中心に向かう力の和を考える。
3. 物体が円柱から離れる瞬間、垂直抗力が0になる。よって向心力の大きさは $m g \cos \theta'$ となる。向心力の大きさが決まれば、速度が決まり、速度が決まれば、力学的エネルギー保存の法則から高さ(滑り降りた高さ)が決まる。また、 $\cos \theta'$ を与えられた記号で表すことが必要。

「鉛直面内の円運動2 問い2」

今までの問題を参考に自分で考えてみよう。

物理 17時間目

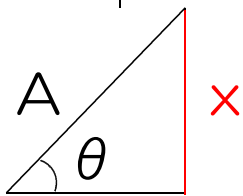
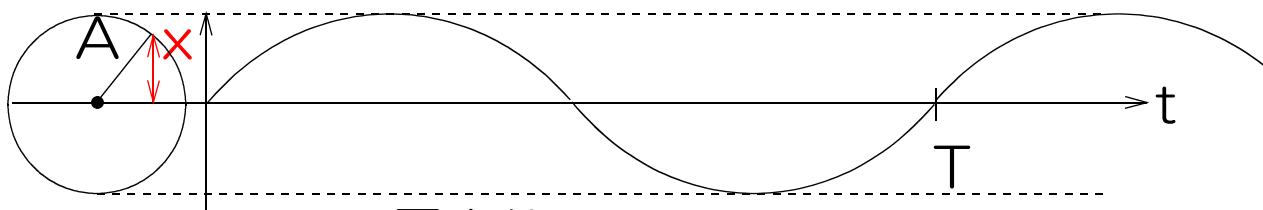
1. 単振動 (バネにおもりを付け、上下に振動)

同じ路を一定時間ごとに往復する運動

※単振動の動き方は円運動の動き方を真横から見たものに等しい。

2. 単振動の変位 x [m]

x (x の最大値は A)



図より

$$\frac{x}{A} = \sin \theta \text{ より}$$

$$x = A \sin \theta$$

$$\omega = \frac{\theta}{t} \text{ より}$$

$$\theta = \omega t$$

$$\therefore \boxed{x = A \sin \omega t}$$

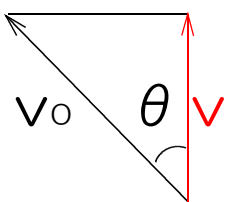
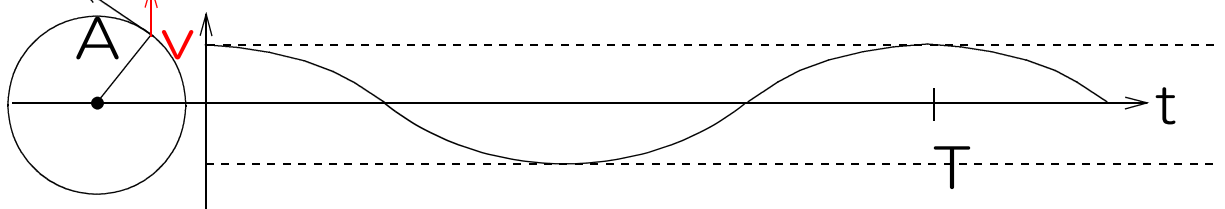
A : 振幅[m]

ω : 角速度[rad/s]

t : 時間[s]

3. 単振動の速度 v [m/s]

v_0 (v の最大値は $A\omega$)



図より $v = v_0 \cos \theta$

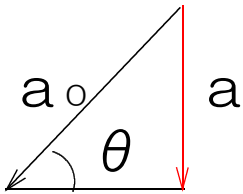
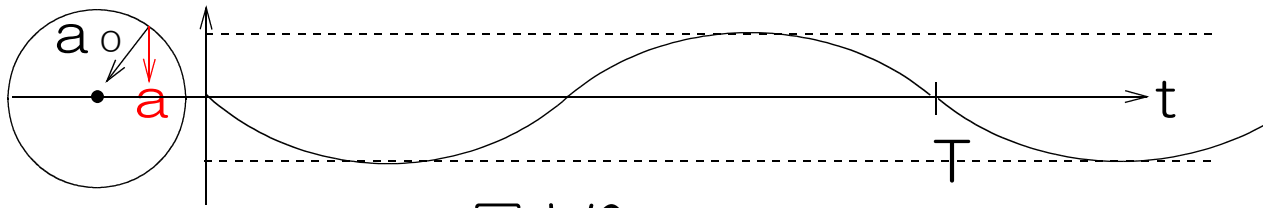
$$(v_0 = A\omega (v = r\omega \text{ より}))$$

$$(\theta = \omega t)$$

$$\therefore \boxed{v = A\omega \cos \omega t}$$

4.単振動の加速度 a [m/s^2]

a (a の最大値は $A\omega^2$)



図より

$$\frac{a}{a_0} = \sin \theta$$

$$\therefore a = a_0 \sin \theta$$

$$a = r \omega^2 \text{より}$$

$$a_0 = A \omega^2$$

$$a_0 = A \omega^2$$

$$\theta = \omega t \text{より}$$

$$a = A \omega^2 \sin \omega t$$

θ が $0 \sim 180^\circ$ のとき

$a < 0$ なので “-” を付ける

$$a = -A \omega^2 \sin \omega t$$

また、 $x = A \sin \omega t$ より

$$a = -\omega^2 x$$

A : 振幅[m]

ω : 角速度[rad/s]

t : 時間[s]

では、「単振動 変位・速度・加速度」をやってみよう。

物理 18時間目

1. 復元力 F [N]

物体を単振動させる力のこと。

物体が $x = A \sin \omega t$ で表される単振動をしているとき、

$$a = -\omega^2 x$$

$$F = ma \text{ より}$$

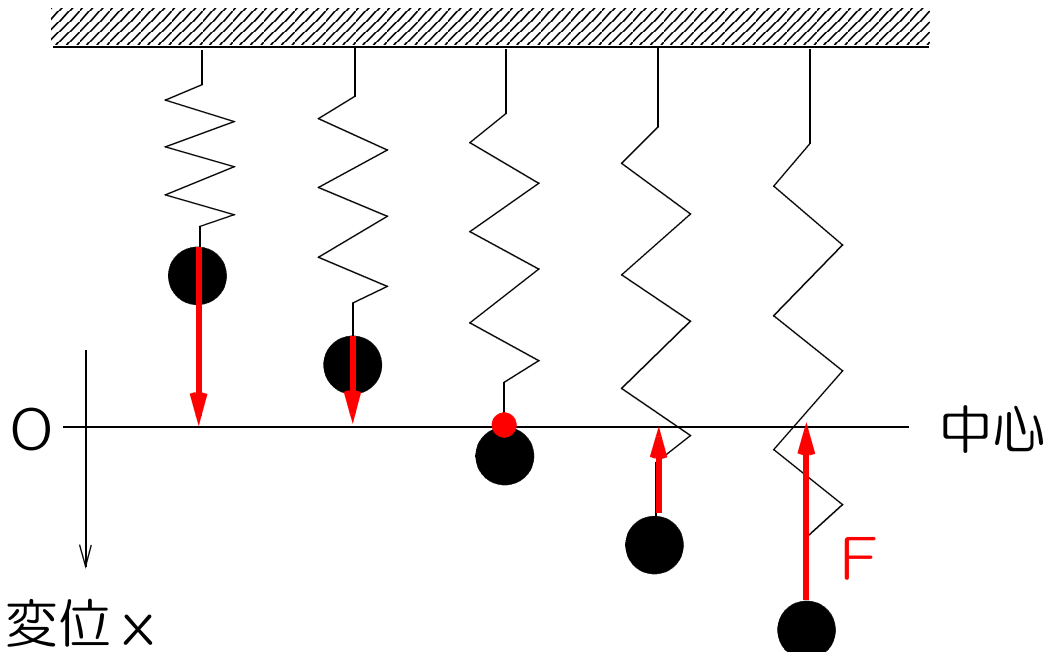
$$F = -m\omega^2 x$$

$m\omega^2$ は一定なので、 $m\omega^2 = k$ とおくと

$$F = -kx \quad (k \text{ はバネ定数ではない!})$$

単振動する物体には、その振動の中心に向かい、変位 x に比例する力が働く。

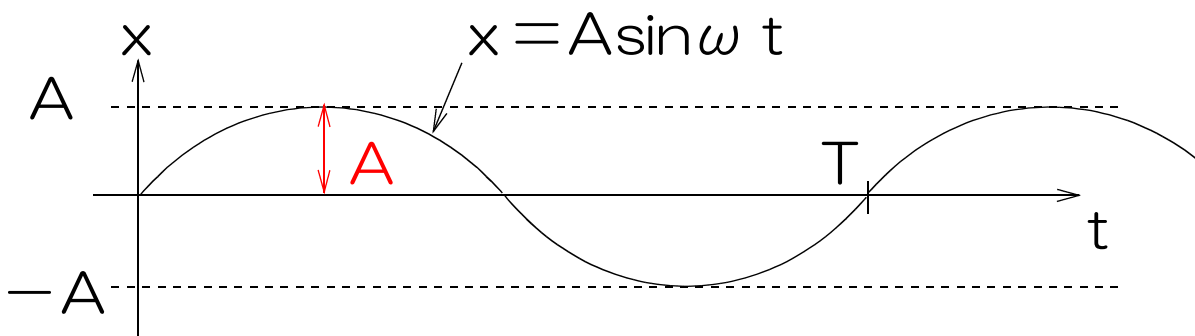
例 おもりにバネを付けて天井からつるし、上下に振動させる場合。



図の赤矢印のようによろしく、物体には中心に向かい、変位 x に比例する力が働く。

2. 振幅 A [m]

変位 x の最大値のこと



3. 単振動の周期 T [s]

物体が 1 往復するのに要する時間。

(円運動の周期 T と同じ)

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad \omega : \text{角振動数} [\text{rad/s}]$$

4. 単振動の振動数 f [Hz]

物体が 1 秒間に往復する回数のこと。

(円運動の回転数 f と同じ)

5. 周期 T と振動数の関係

$$f T = 1$$

では、「単振動 復元力・振幅・周期・振動数」
をやってみよう。

物理 19時間目

1. 復元力Fと周期Tの関係

単振動する物体の変位がxときに、
物体に働く力の合力をFとすると、
復元力 $F = -kx$ 。

$$k = m\omega^2 \text{ より}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ より}$$

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

復元力Fと周期Tの関係

物体に働く力の合力Fが

$F = -kx$ (kはバネ定数ではない)
で表されるとき、
単振動の周期Tは

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

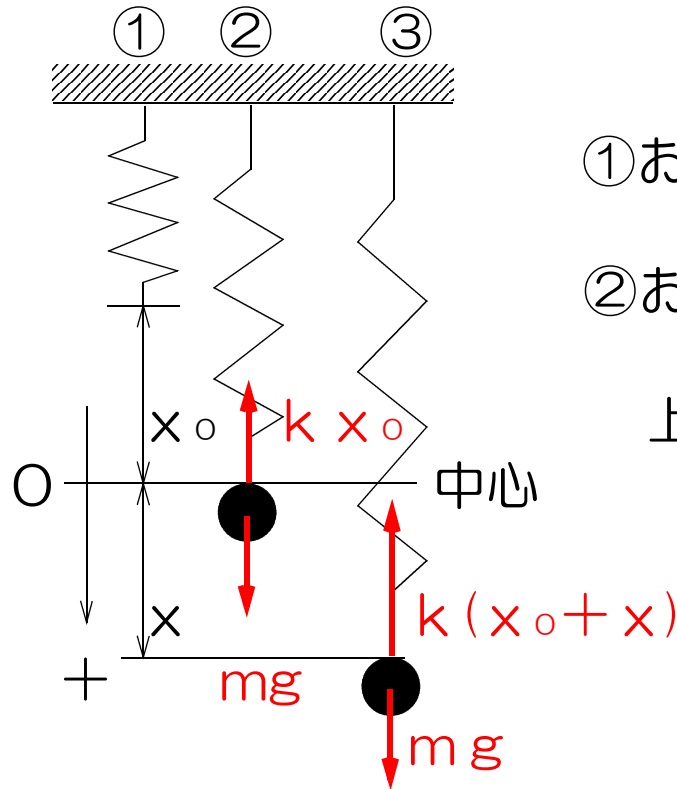
$$k = m\omega^2$$

m : 質量[kg]

になる。

2.バネ振り子

おもりにバネをつけ、天井からつるす。



①おもりが無いとき

②おもりが静止している時
(つり合いの位置)

上下のつり合いより
 $mg = kx_0$

③おもりをさらに x [m] 引き下げたとき
おもりに働く力の合力を F とすると
合力 $F = mg - k(x_0 + x)$

$$= mg - \underbrace{kx_0}_{mg = kx_0 \text{ より}} - kx$$

$$= -kx$$

$$F = -kx$$

k : バネ定数 [N/m]

x : つり合いの位置からの
バネの伸び [m]

おもりに中心に向かい、
変位 x に比例する力が働く。 ← 単振動の条件

→ おもりは上下に単振動をする。

3.バネ振り子の周期T [s]

復元力と周期の関係

$F = -kx$ のとき

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ より

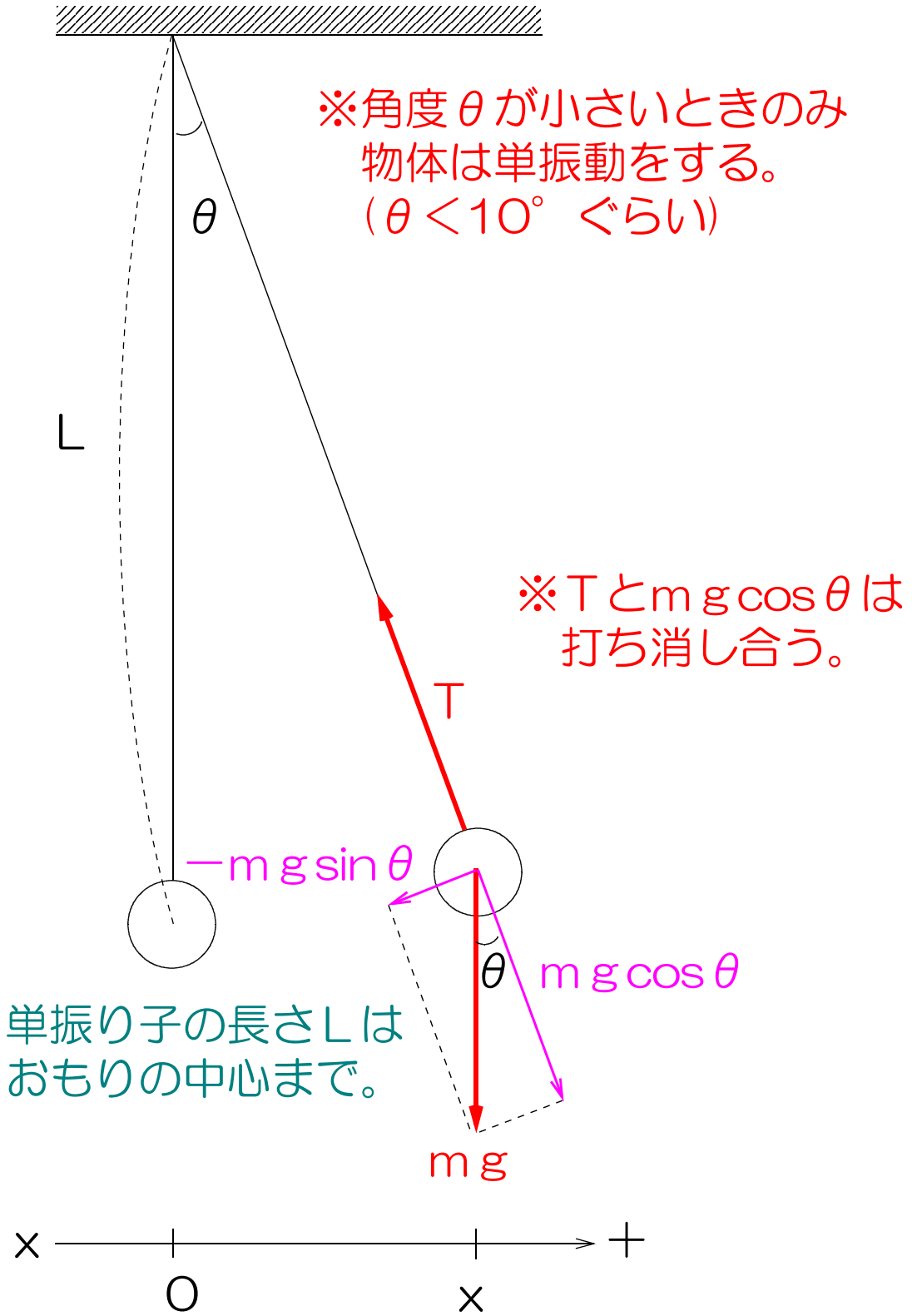
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

m : 質量[kg]

k : バネ定数[N/m]

4.単振り子

おもりに糸をつけて天井からつるし、糸がたるまないように少しだけ傾ける。



図のとき、
力のつり合いより
 $T = mg \cos \theta$

物体に働く合力をFとすると
 $F = -mg \sin \theta$

図より

$$\sin \theta = \frac{x}{L}$$

$$\therefore F = -mg \times \frac{x}{L}$$

$$F = - \frac{mg}{L} x$$

→ おもりに中心に向かい、
変位 x に比例する力が働く。

→ おもりは左右に単振動をする。

$$k = \frac{mg}{L}$$

5. 単振り子の周期

復元力 F と周期の関係

$F = -kx$ のとき

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \text{ より}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{\frac{mg}{L}}} = 2\pi \sqrt{m \times \frac{L}{mg}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

L : 単振り子の長さ[m]

g : 重力加速度

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

●あとかき

単振動といたら、この「バネ振り子」と「単振り子」が定番です。その他では、木の棒を縦にし、下端におもりを付けて水面に浮かべ、上下に振動させる場合があります。

単振り子において、張力 T と $m g \cos \theta$ は向きが反対で大きさが等しいので、打ち消し合います。

もし、打ち消されないのであれば、力の大きい方へおもりは動くことになりますが、振り子の長さが一定なことから、この2つの力の大きさは等しく、互いに打ち消し合うことが分かります。

物体が単振動をする条件と、そのときの周期の関係が理解しづらいと思いますが。17時間目のはじめの所をよく見返してください。

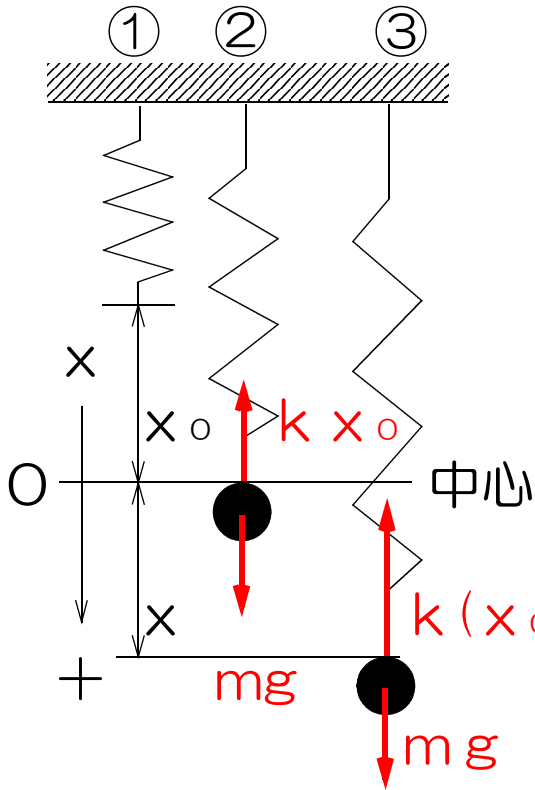
図にも書きましたが、単振り子の場合は最大の振れ角が小さいときのみ、この周期 T の公式は成り立ちます。それは物体に働く $-m g \sin \theta$ が、 θ が大きいと水平から大きく傾き、中心に向かう力の大きさが $-m g \sin \theta$ にならず、単振動の条件を満たさなくなるからです。つまりここでは、 $-m g \sin \theta$ は常に水平方向を向いていると近似して考えています。このように物理は厳密さを追求する数学と異なり、ちょっとごまかすときがあります。

ちなみに θ が十分に小さいとき、 $\sin \theta \doteq \theta$ になります。（[rad]を使った場合。これもごまかし）

では、「単振動の周期」をやってみよう。

物理 20時間目

1.バネ振り子の力学的エネルギー保存の法則



①おもりが無いとき

②おもりが静止している時
(つり合いの位置)

上下のつり合いより

$$mg = kx_0$$

③さらに x 引き下げたとき

$$U = U_K + U_P + U_P$$

U : 力学的エネルギー [J]

U_K : 運動エネルギー [J]

U_P : 重力による位置エネルギー [J]

U_P : 弾性力による位置エネルギー [J]

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。

$$U = U_K + U_P + U_P = \text{一定}$$

つり合いの位置を基準面 ($h = 0$) とする。

おもりがつり合いの位置から x [m] 下の点を通過
するときのおもりの速さを v とすると、

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{1}{2} m v^2 + m g (-x) + \frac{1}{2} k (x_0 + x)^2 = \text{一定} \\
 &= \frac{1}{2} m v^2 - m g x + \frac{1}{2} k x_0^2 + \frac{1}{2} k 2 x x_0 + \frac{1}{2} k x^2 \\
 &= \frac{1}{2} m v^2 - m g x + \frac{1}{2} k x_0^2 + k x x_0 + \frac{1}{2} k x^2
 \end{aligned}$$

$$m g = k x_0 \text{より} \quad k = \frac{m g}{x_0}$$

$$= \frac{1}{2} m v^2 - m g x + \frac{1}{2} k x_0^2 + \frac{m g}{x_0} x x_0 + \frac{1}{2} k x^2$$

$$= \frac{1}{2} m v^2 - \cancel{m g x} + \frac{1}{2} k x_0^2 + \cancel{m g x} + \frac{1}{2} k x^2$$

$$= \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} k x_0^2 + \frac{1}{2} k x^2 = \text{一定}$$

$\frac{1}{2} k x_0^2$ は一定なので

$$\therefore \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} k x^2 \text{ も一定}$$

バネ振り子の力学的エネルギー保存の法則
 つり合いの位置を $h=0$, $x=0$ とすると

$$\frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} k x^2 = \text{一定}$$

では、「バネ振り子の力学的エネルギー保存の法則をやってみよう。

物理 21時間目

ここから 第5章 電場(電界)の話

1. 帯電

正または、負の電気を帯びること。種類の異なる2物体を擦りあわせると次のように帯電する。

例1 ガラス と 絹布

⊕ ⊖

例2 エボナイト と 毛皮

⊖ ⊕

2. 電荷Q[C](クーロン)

帯電した物体の持つ電気のこと。

3. 静電気力(クーロン力)

電荷間に働く力のこと。

特徴 ①同種の電荷は反発する。

$F \leftarrow \oplus \qquad \oplus \rightarrow F$

②異種の電荷は引き合う。

$\oplus \rightarrow F \leftarrow \ominus$

4. 電気素量 e

電荷の最小単位

$$e = 1.6 \times 10^{-19} [\text{C}]$$

※電子1個の持つ電気量は

$$-e = -1.6 \times 10^{-19} [\text{C}]$$

5.電荷保存則

物体間で電荷のやりとりがあっても
電荷の総量(和)に変化はない。

6.導体

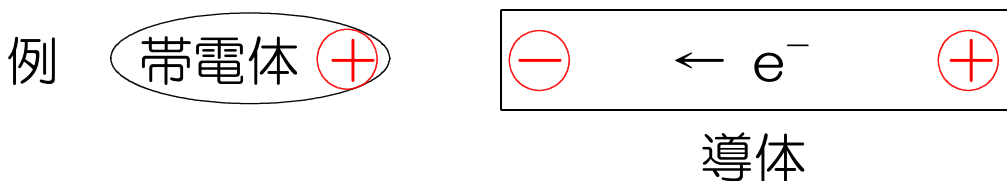
電気をよく通す物質 例：銀 銅 …

7.不導体

電気を通さない物質 例：ゴム ガラス …

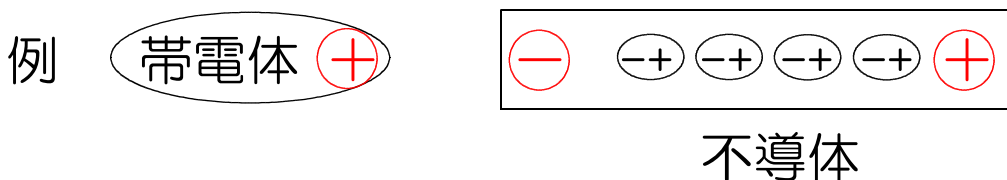
8.静電誘導

導体に帯電体を近づけると、静電気力により、導体内の自由電子 e^- が移動して、帯電体の近い側に異種の、遠い側に同種の電荷が現れる現象。



9.誘電分極

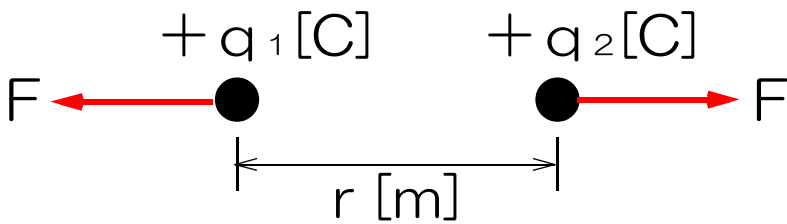
不導体に帯電体を近づけると、原子や分子内部の電子の位置がわずかにずれて、帯電体の近い側に異種の、遠い側に同種の電荷が現れる現象。



では、「電荷と帯電」をやってみよう。

物理 22時間目

1. 静電気力(クーロン力) F [N]



実験より

$$F = k_0 \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

q_1, q_2 : 電気量 [C]

r : 電荷間の距離 [m]

k_0 : クーロン定数

$$k_0 = 9.0 \times 10^9 \text{ [Nm}^2/\text{C}^2\text{]}$$

$$k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \doteq 9.0 \times 10^9$$

ϵ_0 : 真空中の誘電率

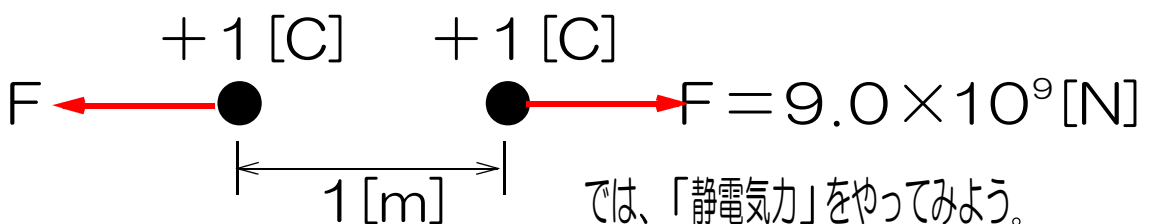
$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ [C}^2/\text{Nm}^2\text{]}$$

ϵ (イプシロン)

2. クーロン [C]

電気量の単位。

定義：真空中に等量の電荷を 1 [m] の距離においたときに、お互いに働く力の大きさが 9×10^9 [N] になるような電気量を 1 [C] とする。



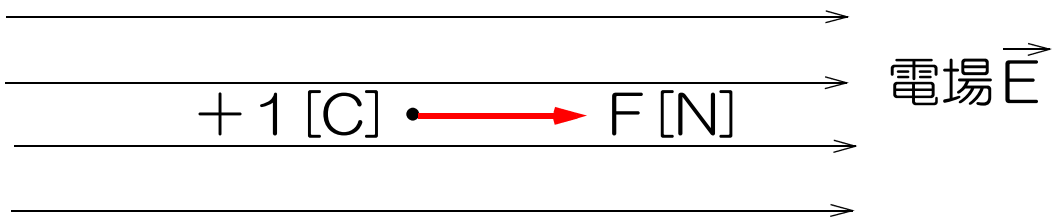
では、「静電気力」をやってみよう。

物理 23時間目

1. 電場(電界)

電荷に静電気力の働く空間のこと。

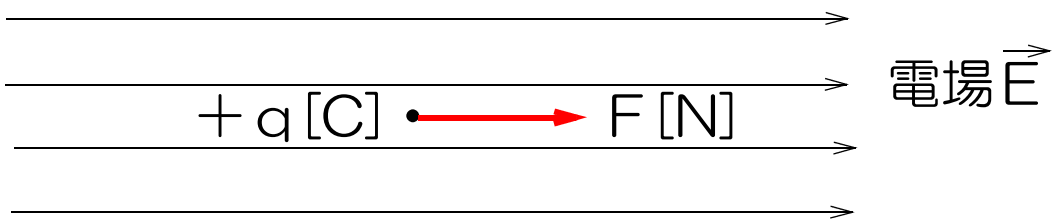
2. 電場の強さ E [N/C]



定義：電気量 $+1$ [C] の電荷に 1 [N] の静電気力が働くような電場 E の強さを 1 [N/C] とする。

3. 電場の中の電荷に働く力 F の大きさ

電荷に働く力 F の大きさは電場の強さ E と電気量 q に比例する。

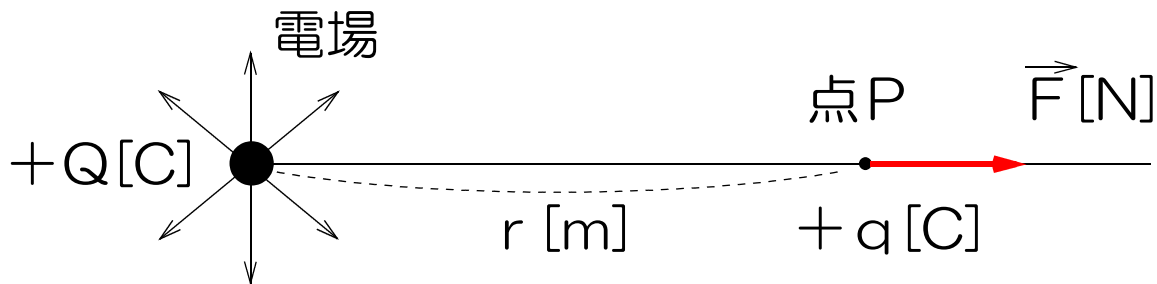


$$F = qE$$

q : 電気量 [C]

E : 電場の強さ [N/C]

4.点電荷Qの作る電場とその強さE



点電荷Qは、放射線状の電場を作る。点Pでの電場の強さをEとすると、

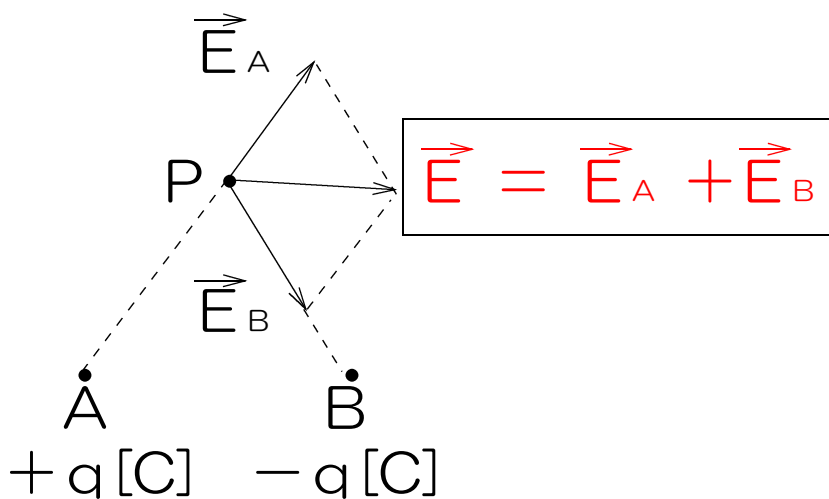
$$\begin{cases} F = qE \\ F = k_0 \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \text{より} \end{cases}$$

$$qE = k_0 \frac{Qq}{r^2}$$

$$E = k_0 \frac{Q}{r^2}$$

Q : 電気量[C]
r : 距離[m]

5.電場の合成



\vec{E} : 点Pにおける実際の電場[N/C]

\vec{E}_A : 点Aの電荷が点Pに作る電場[N/C]

\vec{E}_B : 点Bの電荷が点Pに作る電場[N/C]

では、「電場」をやってみよう。

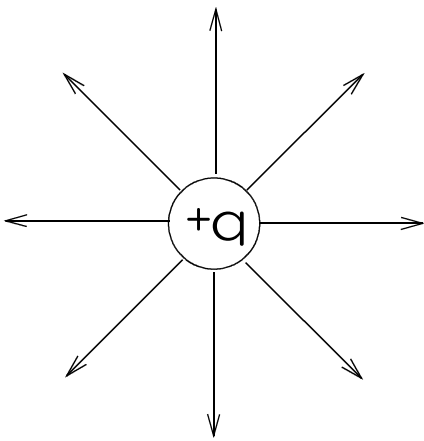
物理 24時間目

1. 電気力線 (でんきりきせん)

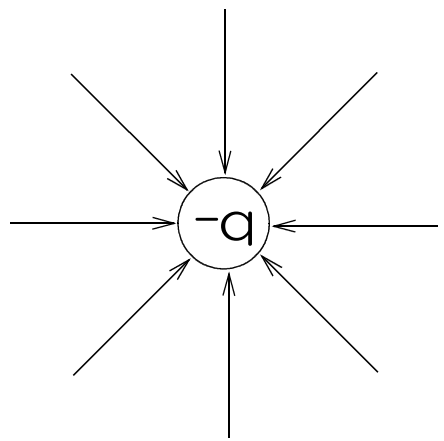
電場の様子を図に表すために考えられた線。

- 特徴
- ① 正電荷から出て負電荷に入る。
 - ② 交わったり枝分かれしない。
 - ③ 電気力線の接線の向きはその点の電場の向きを表す。
 - ④ 線の密度の高い場所は電場が強い。

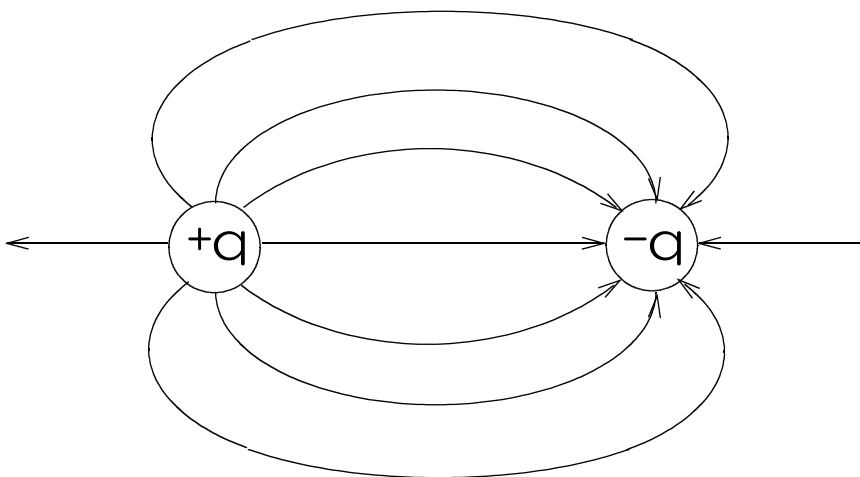
例 1



例 2

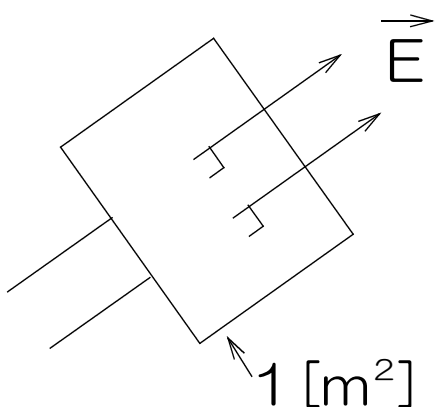


例 3

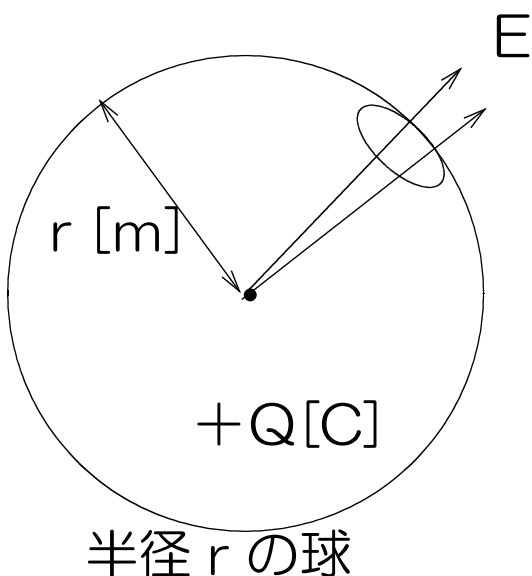


2. 電気力線の密度

定義：電場の強さが E [N/C] の点では、電場に垂直な 1 [m^2] の面を E 本の電気力線が通るものとする。



3. 点電荷 Q から出る電気力線の本数 N



点電荷 Q を中心とする半径 r の球を考える。

全球面での電場の強さを E 、球の面積を S 、球面を通る全電気力線の本数を N とすると、

$$N = \text{面積 } S \times 1 \text{ [m}^2\text{] あたりの本数 } E \\ = 4\pi r^2 \times k_0 \frac{Q}{r^2}$$

$$N = 4\pi k_0 Q$$

k_0 : クーロン定数

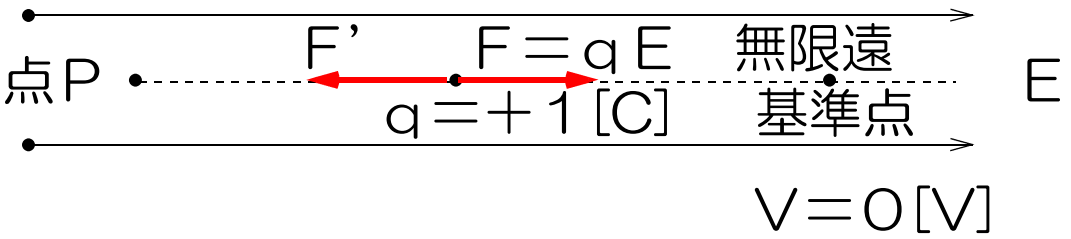
$$k_0 = 9.0 \times 10^9 \text{ [Nm}^2\text{/C}^2\text{]}$$

Q : 電気量 [C]

では、「電気力線」をやってみよう。

物理 25時間目

1. 電位 V [V]



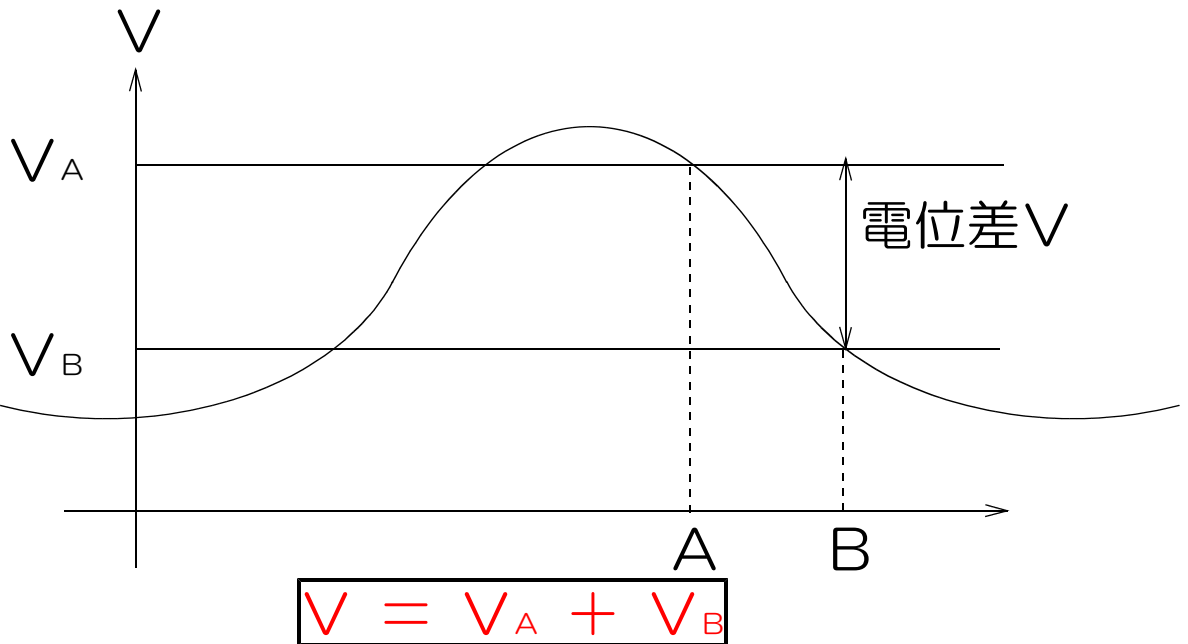
定義： $+1 [C]$ の点電荷 q を基準点(無限遠)から点Pまで運ぶのに必要な仕事 w をその点Pの電位 V と呼ぶ。

$$V = \frac{w}{q}$$

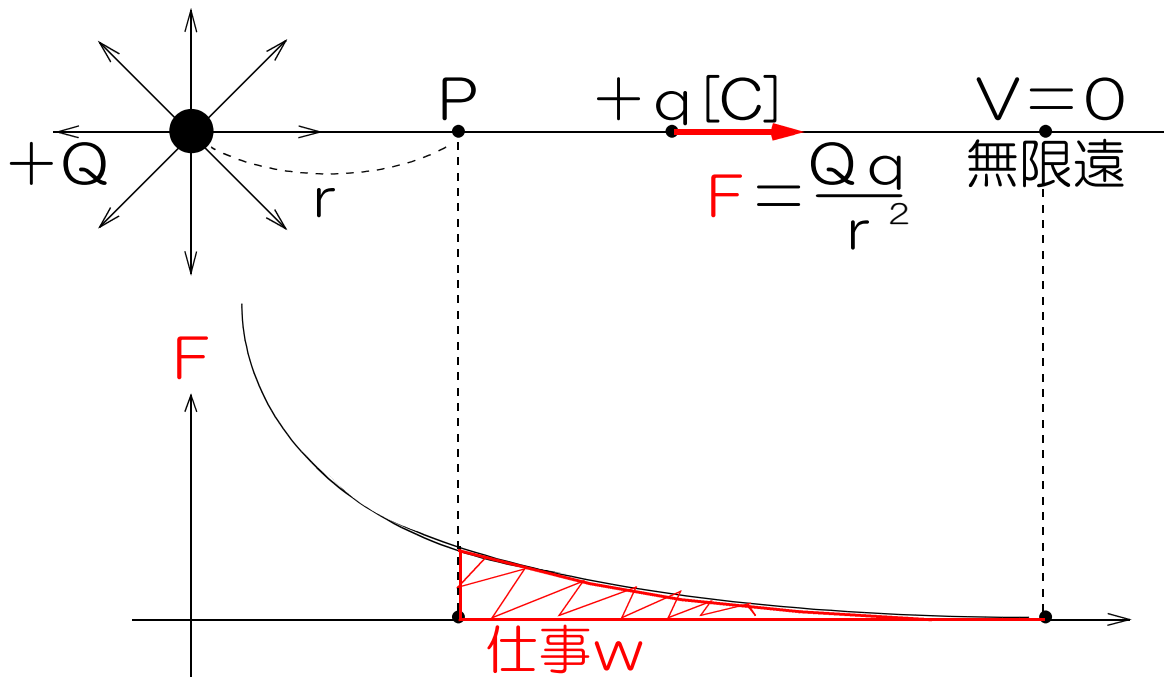
w : 仕事 [J] 仕事 = 力 \times 距離
 q : 電気量 [C] 力 $F = qE$

2. 電位差 V [V]

- ① 電場の中の2点の電位の差のこと。
- ② 点Bから点Aまで $+1 [C]$ の点電荷を運ぶのに必要な仕事の量。



3.点電荷のまわりの電位V[V]



$+q$ [C]の点電荷に働くクーロン力を F とすると

$$F = k_0 \frac{q_1 q_2}{r^2} \text{ より}$$

$$F = k_0 \frac{Qq}{r^2}$$

$+q$ [C]の電荷を無限遠から r [m]の点までクーロン力に逆らって運ぶのに必要な仕事を w とすると

$$w = \int_{\infty}^r k_0 \frac{Qq}{r^2} dr$$

$$= -k_0 Qq \int \frac{1}{r^2} dr$$

$$= -k_0 Qq \times \left(-\frac{1}{r}\right)$$

$$= \frac{k_0 Qq}{r}$$

$$V = \frac{W}{q} \text{ より}$$

$$V = \frac{k_0 Q q}{r} \times \frac{1}{q}$$

$$V = k_0 \frac{Q}{r}$$

Q : 電気量[C]

r : 距離[m]

k_0 : クーロン定数

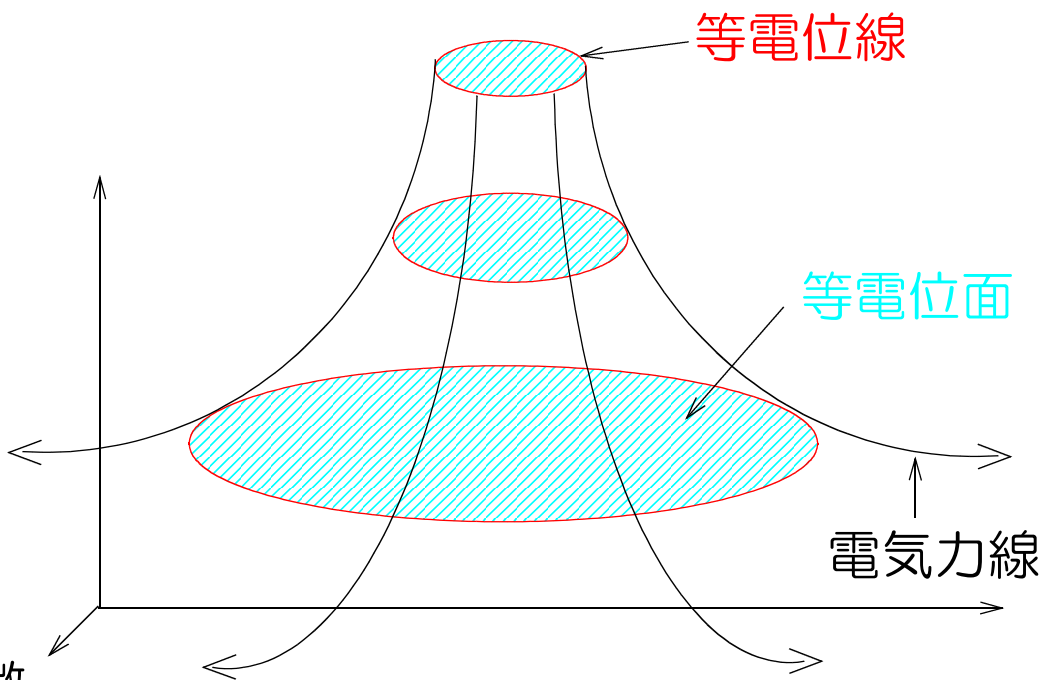
$$k_0 = 9.0 \times 10^9 [\text{Nm}^2/\text{C}^2]$$

4. 等電位面

等しい電位の点を連ねた面のこと。

5. 等電位線

等電位面のふちの部分。



特徴

① 等電位面上での電荷の移動に必要な仕事は0。

$$V = w/q \text{ より } w = qV \quad w = q \times 0 = 0 [\text{J}]$$

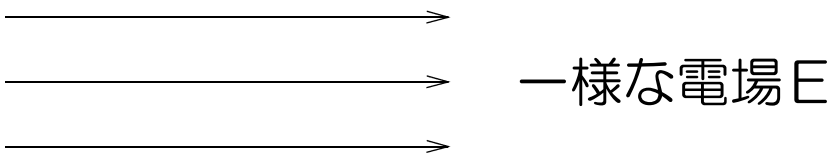
② 等電位面と電気力線は直交する。

では、「電位」をやってみよう。

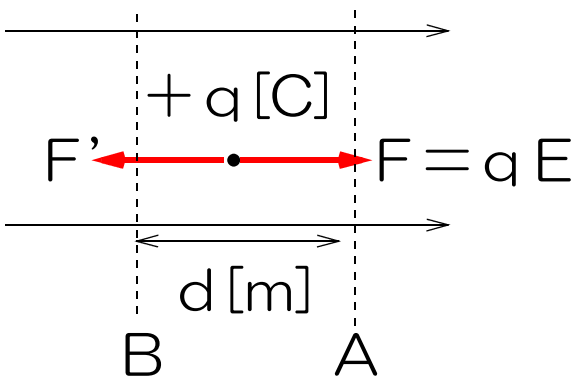
物理 26時間目

1. 一様な電場 (いちようなでんば)

電場の向きと強さが一定な電場のこと。



2. 一様な電場の強さ E [N/C] [V/m] 単位2つ



電荷 q を静電気力 F に逆らって距離 d [m] 移動させるのに必要な仕事を w とすると

$$w = F s \quad \text{より}$$

$$w = F' d$$

$$F' = qE \quad \text{なので}$$

$$w = qEd$$

$$V = \frac{w}{q} \quad \text{なので}$$

$$V = \frac{qEd}{q}$$

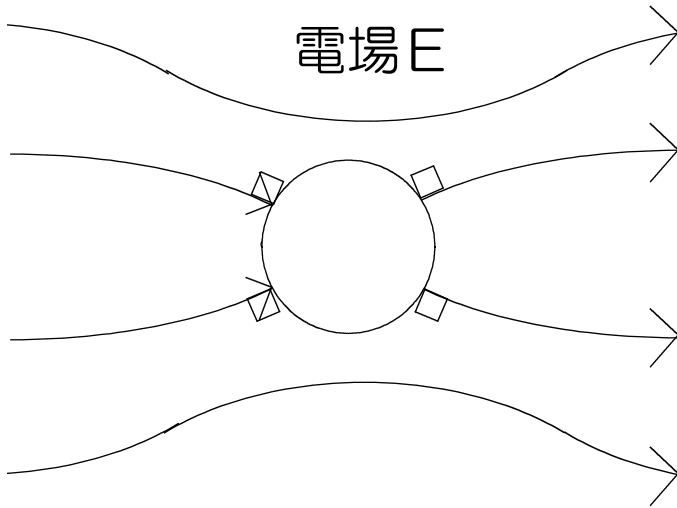
$$V = Ed$$

$$E = \frac{V}{d}$$

V : 電位差 [V]

d : 距離 [m]

3. 電場の中におかれた導体



静電誘導により、導体内の電子が電場と逆向きに移動し、その電荷によって逆向きの電場が導体内に作られて元の電場を打ち消す。

(電子の移動は導体内部の電場が打ち消されるまで続く)

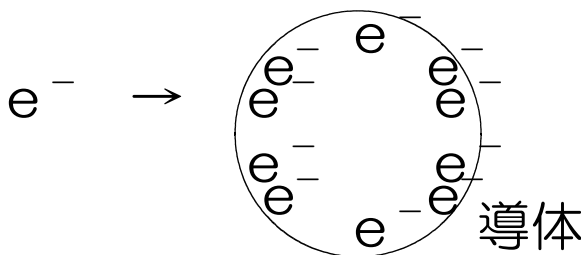
- 特徴
- ① 導体内の電場の強さは0。
 - ② 導体内は全て等電位。
 - ③ 電気力線は導体表面に垂直。

4. 電場の中におかれた不導体

誘電分極により、不導体内部の電荷の位置がずれて逆向きの電場を作り、元の電場の一部を打ち消す。

5. 帯電した導体

導体に電荷を与えると、お互いに反発してその表面のみに分布し、その内部(中心)には分布しない。



では、「一様な電場」をやってみよう。

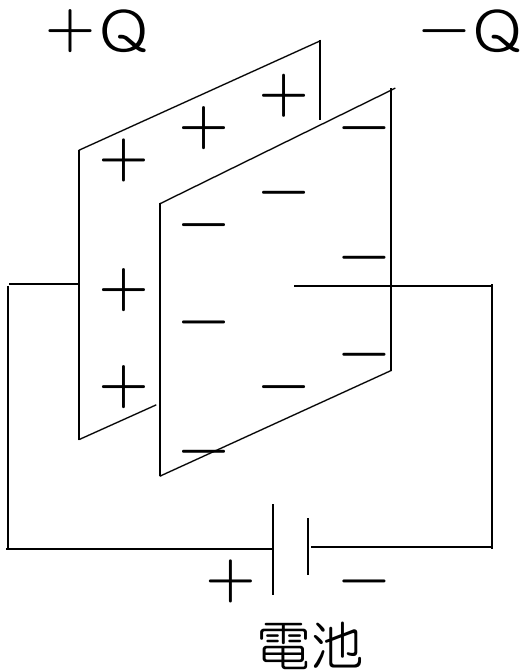
物理 27時間目

1.コンデンサー

電荷を蓄える装置

2.平行板コンデンサー

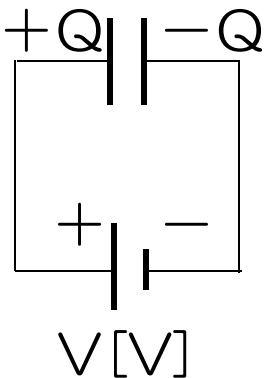
2枚の金属板を向かい合わせに並べてつくるコンデンサーのこと



3.電気容量C[F](ファラッド)

電荷の蓄えやすさを表す量

定義：1[V]あたり、1[C]の電荷を蓄えるコンデンサーの電気量を1[F]とする。

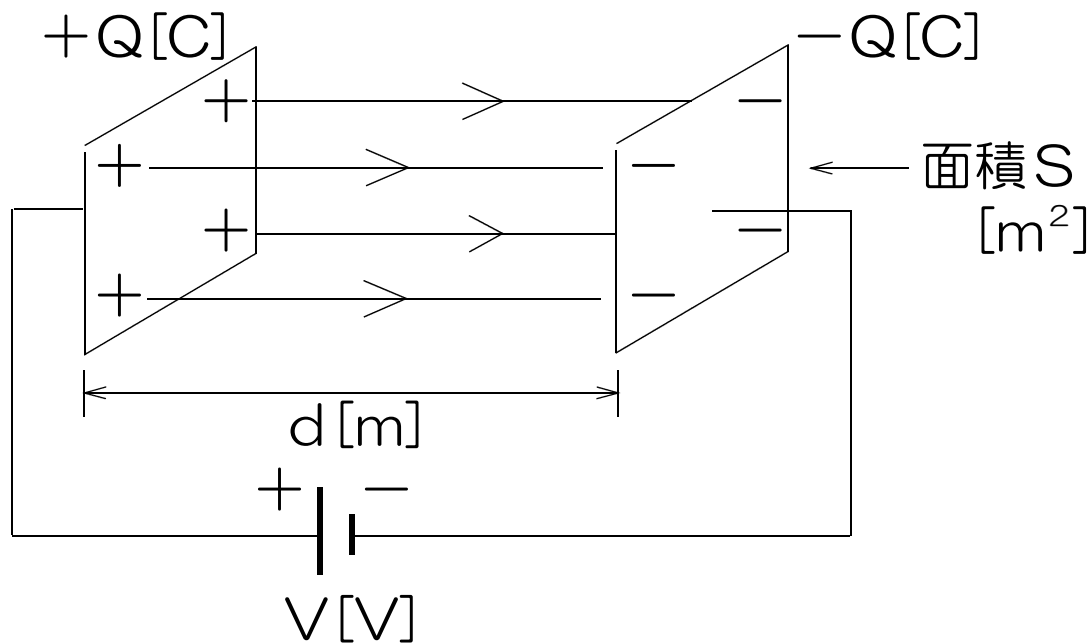


$$C = \frac{Q}{V} \text{ より}$$

$$Q = CV$$

Q : 電気量[C]
V : 電圧[V]

4. 平行板コンデンサーの電気容量



$$E = \frac{V}{d}$$

$$E = \frac{4\pi k_0 Q}{S} \quad \text{より}$$

$$\frac{4\pi k_0 Q}{S} = \frac{V}{d}$$

$$Q = CV \quad \text{より}$$

$$\frac{4\pi k_0 CV}{S} = \frac{V}{d}$$

$$C = \frac{1}{4\pi k_0} \times \frac{S}{d}$$

$\frac{1}{4\pi k_0}$ は一定なので、 $\frac{1}{4\pi k_0} = \epsilon_0$ とすると

$$C = \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

S : 面積 $[m^2]$

d : 距離 $[m]$

ϵ_0 : 真空の誘電率

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} [C^2 / Nm^2]$$

5.誘電体

コンデンサーの極板間に入れる不導体のこと

6.誘電体を入れたコンデンサーの電気容量C

$$C = \epsilon_r C_0$$

ϵ_r : 比誘電率 単位なし

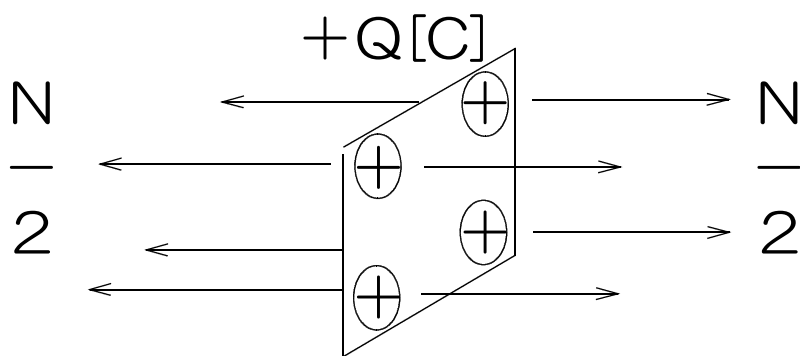
C_0 : 元の電気容量[F]

●あとかき

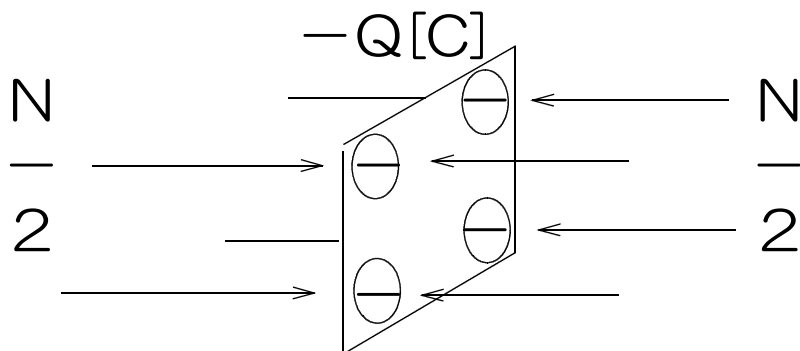
2枚の金属板の間の電気力線の数について

+Q[C]の点電荷から出る電気力線の本数をNとすると、 $N = 4\pi k_0 Q$ 本であったが、平板でも同じである。また、電気力線は導体の表面に垂直なので、電気力線は金属板の表面から平行に出て行く。

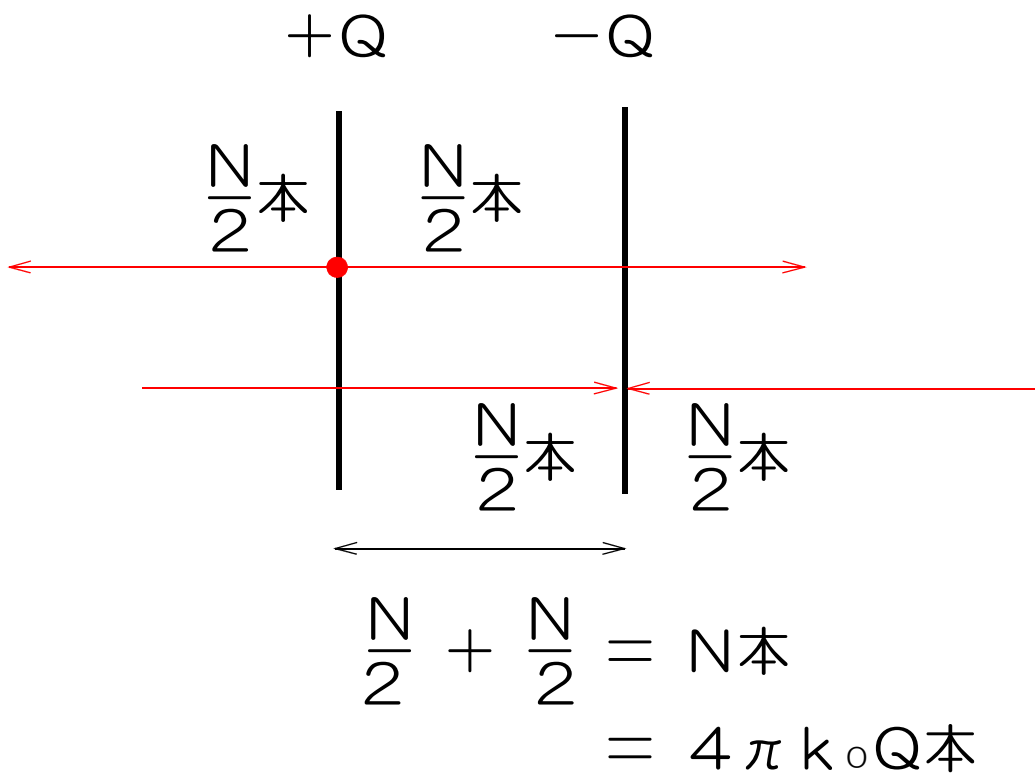
+Qに帯電した金属板を真横から見ると数のように、左右にN/2本ずつ電気力線が出ることになる。



同様に、電気量が $-Q$ のとき、金属板には、左右から $N/2$ 本の電気力線が入ることになる。



ここで、2枚の金属板を並べて真横から見ると、金属板の間は電場の向きが同じなので、お互いに強め合い、合計 N 本となる。



また、右側の金属板の右側と、左側の金属板の左側は、互いに逆向きの電場によって打ち消されるので、 0 になる。

では、「平行板コンデンサー」をやってみよう。

物理 28時間目

1. コンデンサーの並列接続

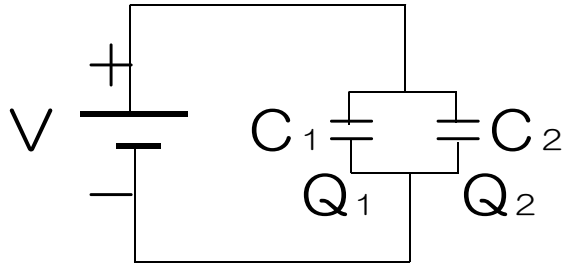
並列接続なので、 C_1 と C_2 に加わる電圧はともに V であり、 C_1 に蓄えられる電気量を Q_1 とすると、

$$Q = CV \text{ より}$$

$$Q_1 = C_1 V$$

同様に、

$$Q_2 = C_2 V$$



C_1 と C_2 に蓄えられる電気量の和を Q とすると、

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$= C_1 V + C_2 V$$

$$= (C_1 + C_2) V \cdots \textcircled{1}$$

C_1 と C_2 の合成容量を C とすると、

$$Q = CV \cdots \textcircled{2}$$

①と②より

$$CV = (C_1 + C_2) V$$

$$\therefore C = C_1 + C_2$$

並列につなげた C_1 と C_2 を1つのコンデンサーと見なしたときの電気容量(合成容量) C

$$C = C_1 + C_2 + \cdots$$

2. コンデンサーの直列接続

直列接続なので $V = V_1 + V_2$

(C_1 と C_2 には同量の電荷 Q が蓄えられる)

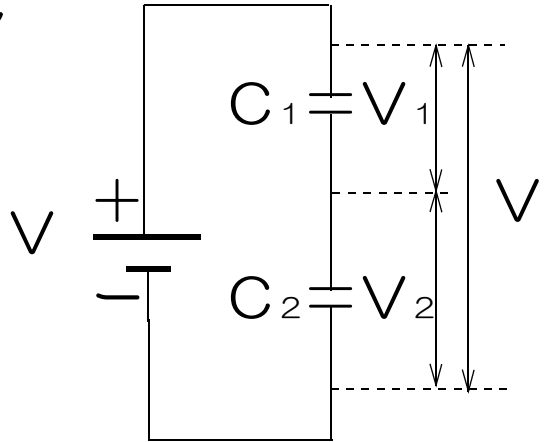
$$Q = CV \text{ より } V = \frac{Q}{C}$$

$$\therefore V_1 = \frac{Q}{C_1} \quad V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$V = V_1 + V_2$ より

$$\therefore V = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$\therefore V = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) Q \quad \dots \textcircled{1}$$



C_1 と C_2 の合成容量を C とすると

$$V = \frac{Q}{C} \quad \dots \textcircled{2}$$

①=②より

$$\therefore \frac{Q}{C} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) Q$$

$$\therefore \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

直列に接続された C_1 と C_2 を1つのコンデンサーと見なしたときの電気容量(合成容量) C

$$\boxed{\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \dots}$$

では、「コンデンサーの並列直列接続」をやろう。

物理 29時間目

1.プリント

「コンデンサーのつなぎ替え」

「コンデンサーを含む回路」

「コンデンサーを含む回路2」

をやってみよう。

物理 30時間目

1. 静電エネルギー U [J]

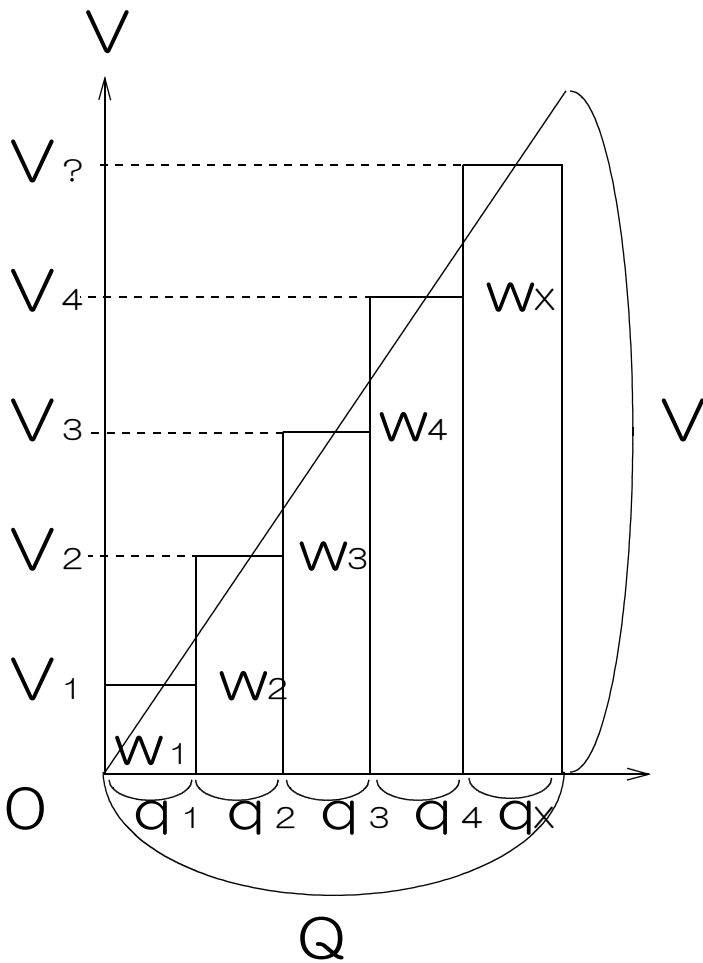
電荷を蓄えたコンデンサーの持つエネルギー

コンデンサーの持つエネルギーの量 U = コンデンサーの充電に必要な仕事 w

2. コンデンサーの充電

$Q = CV$ より

$V = \frac{Q}{C} \rightarrow$ コンデンサーに蓄えられた電気量 Q が大きくなると、コンデンサーの電圧が高くなる。



$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots$$

$$V = \frac{W}{q} \text{ より}$$

$$w = qV$$

$$\therefore w_1 = q_1 V_1$$

$$w_2 = q_2 V_2$$

$$w_3 = q_3 V_3$$

$$W = w_1 + w_2 + w_3 + \dots$$

= グラフ上の三角形の面積

$$= Q \times V \div 2$$

$$= \frac{1}{2} QV$$

$Q = CV$ より

$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

$$U = W \text{ より}$$

静電エネルギー U [J]

$$U = \frac{1}{2} QV$$

Q : 電気量 [C]

C : 電気容量 [F]

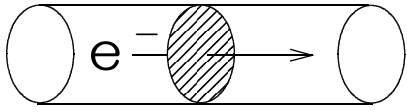
$$U = \frac{1}{2} CV^2$$

V : 電圧 [V]

では、「静電エネルギー」をやってみよう。

物理 3 1 時間目

1. 電流 I [A] (I は i の大文字)



定義 導体の断面を1秒間に
1 [C]の電荷が横切るとき
この電流を1 [A]とする。

← 電流 I

$$I = \frac{Q}{t}$$

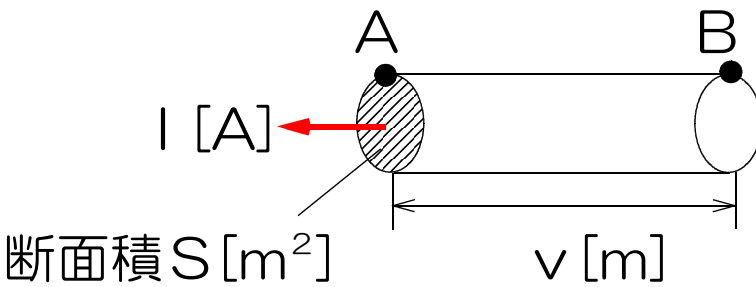
Q : 電気量 [C]

t : 時間 [s]

(1 [C] = $1.6 \times 10^{-19} \times 6.25 \times 10^{18}$ 個)

2. 定常電流

大きさや向きが一定な電流のこと。



電子の速さを v とすると、断面 S を1秒間に横切る電子の数 N は、 AB 間に含まれる電子の数に等しい。

$$\begin{aligned} N &= \text{体積} \times 1 [\text{m}^3] \text{中に含まれる電子の数 } n \\ &= v \times S \times n \end{aligned}$$

断面 S を横切る電子の全電気量を Q とすると、

$$Q = Ne$$

$$N = v s n \quad \text{より}$$

$$Q = e n v s$$

$$I = \frac{Q}{t} \text{ より}$$

$$I = envs$$

e : 電気素量[C]

$$e = 1.6 \times 10^{-19} [\text{C}]$$

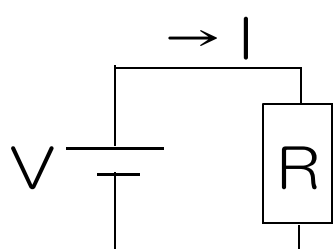
n : 導線 1 [m³]に含まれる電子の数 [個/m³]

v : 電子の導線内での速さ[m/s]

S : 導線の断面積[m²]

3. オームの法則

電圧Vと電流Iと、抵抗Rの関係を表す法則。



$$I = \frac{V}{R}$$

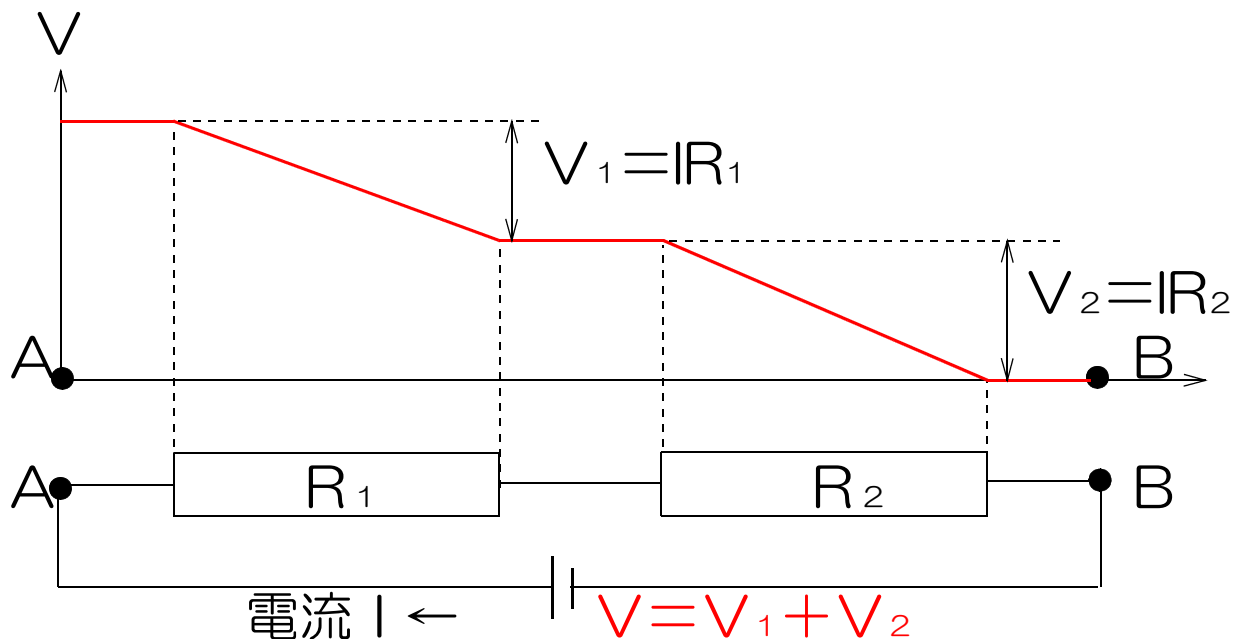
V : 電圧[V]

I : 電流[A]

R : 抵抗[Ω]

4. 電圧降下

電流が抵抗を通過するときに電圧が下がる現象。



では、「電流・オームの法則・電圧降下」をやってみよう。

物理 32時間目

1. 抵抗の直列接続

直列接続なので R_1 と R_2 に流れる電流は共に I

$$I = \frac{V}{R} \text{ より}$$

$$V = I R$$

$$V_1 = I R_1$$

$$V_2 = I R_2$$

$$V = V_1 + V_2 \text{ より}$$

$$V = I R_1 + I R_2$$

$$= I (R_1 + R_2)$$

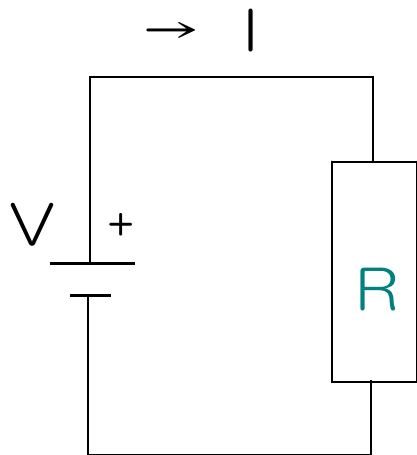
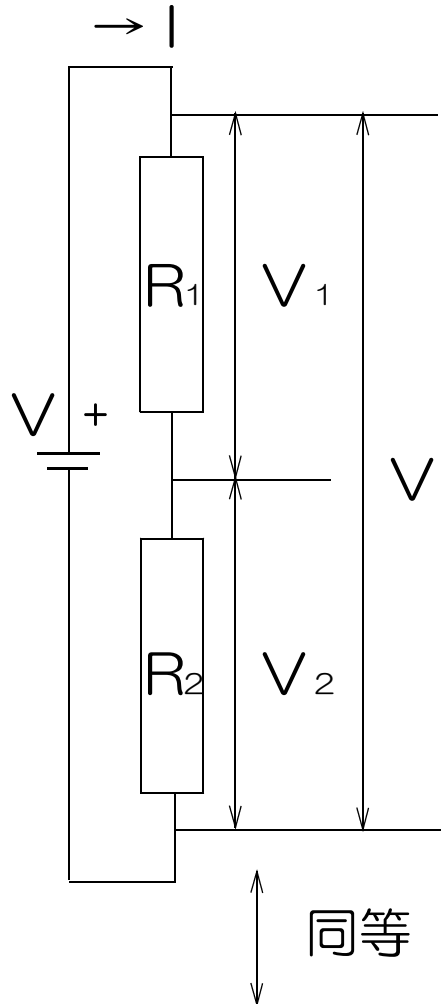
$$V = I R \text{ より}$$

$$I R = I (R_1 + R_2)$$

$$\therefore R = R_1 + R_2$$

直列接続された抵抗の
「合成抵抗値 R 」

$$R = R_1 + R_2 + \dots$$



R は R_1 と R_2 を直列接続した
たものと同じ働きをする。

2. 抵抗の並列接続

並列接続なので R_1 と R_2 にかかる電圧は共に V

$$I = \frac{V}{R} \text{ より}$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2}$$

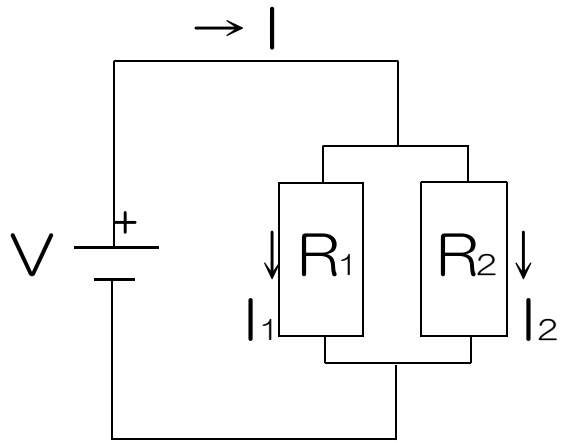
$$I = I_1 + I_2 \text{ より}$$

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

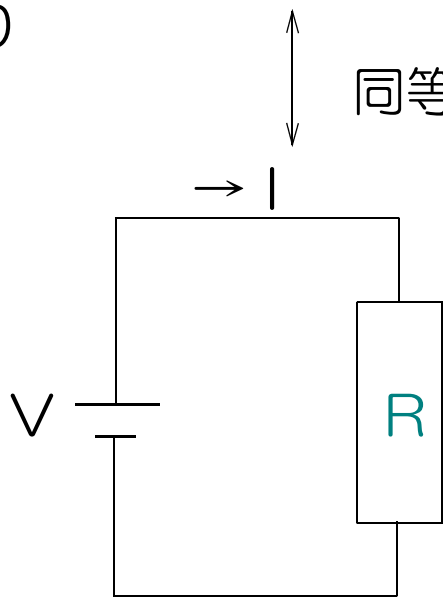
$$I = \frac{V}{R} \text{ より}$$

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



同等



R は R_1 と R_2 を並列にしたものと同じ働きをする。

並列接続された抵抗の「合成抵抗値 R 」

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

3. 抵抗率 ρ (ロウ) [Ωm]

断面積 1 [m^2]、長さ 1 [m]の導線の抵抗値のこと。

例 銅 1.7×10^{-8} [Ωm]

鉄 8.8×10^{-8} [Ωm]

実験より、

電気抵抗値 R の大きさは、

① 導線の長さ L に比例する。

② 断面積 S に反比例する。

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

ρ : 抵抗率 [Ωm]

L : 導線の長さ

S : 導線の断面積 [m^2]

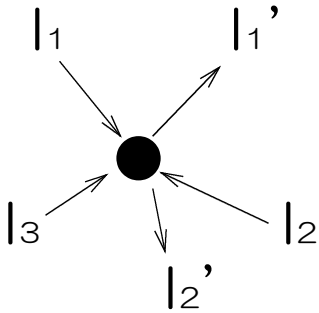
では、「抵抗の直列・並列接続・抵抗率」をやってみよう。

物理 33時間目

1.キルヒホッフの法則

電気回路を流れる電流や電圧についての法則

法則1 1点に流れ込む電流の和と
流れ出る電流の和は等しい。

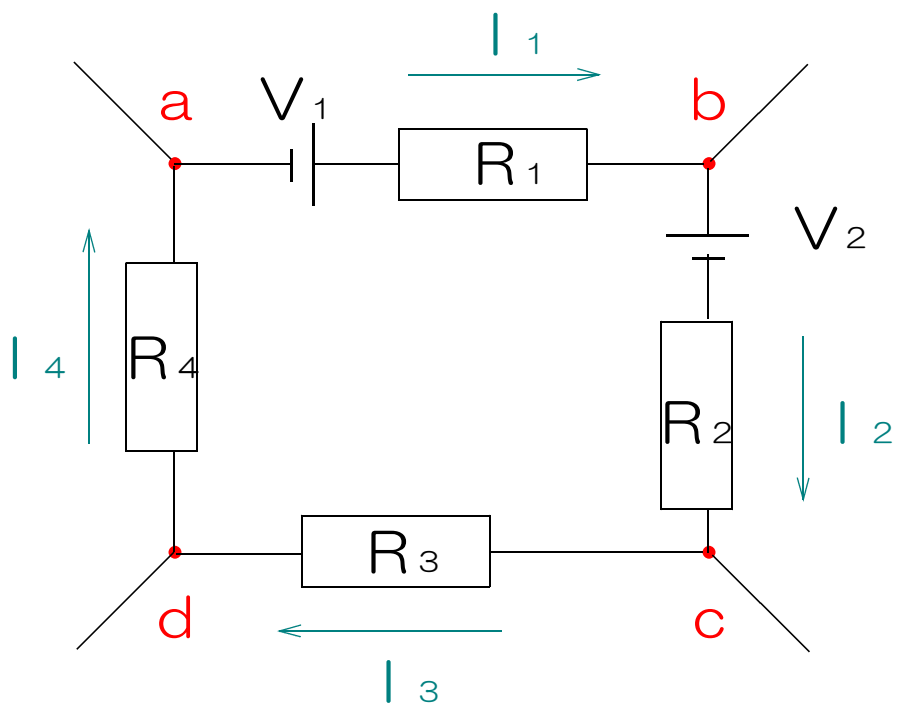


$$I_1 + I_2 + \dots = I_1' + I_2' + \dots$$

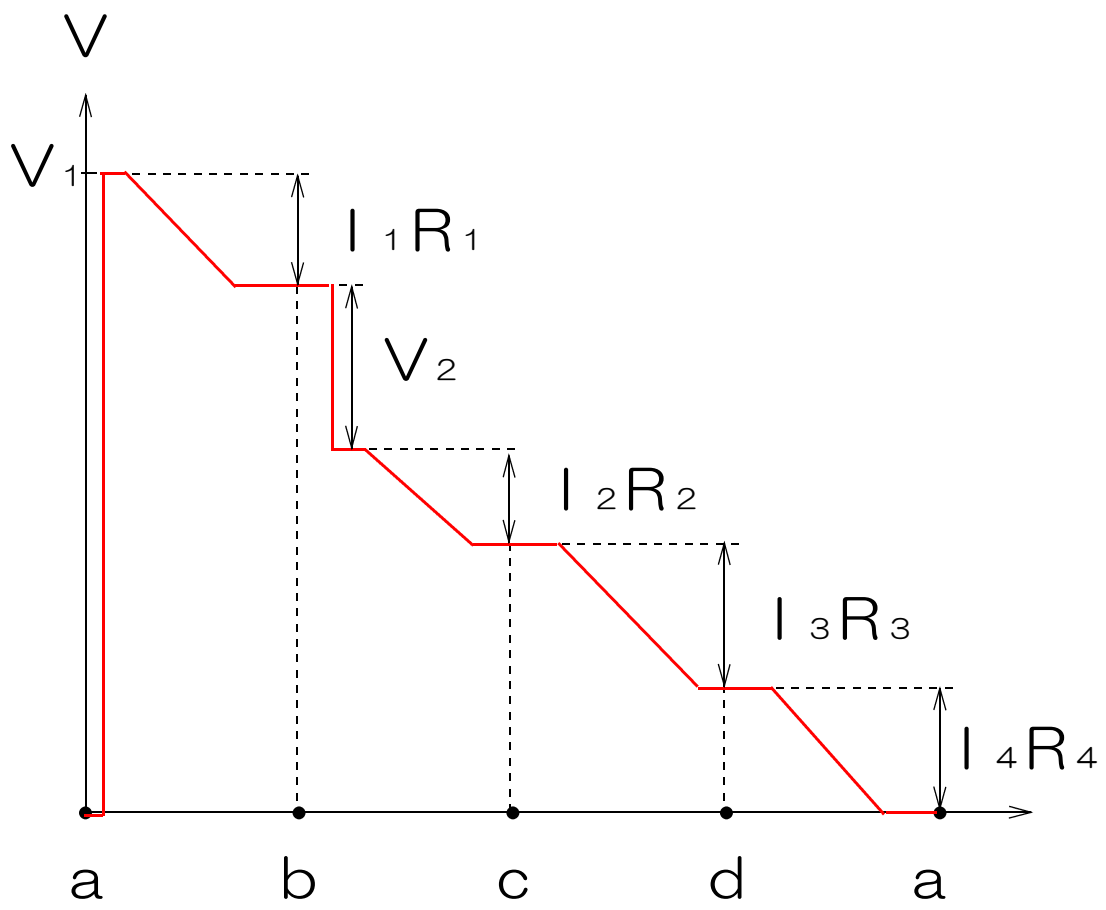
流れ込む電流の和 流れ出る電流の和

法則2 ひとまわりの回路の中で起電力の和は、
各抵抗による電圧降下の和に等しい。

例 a b c d aのひとまわりの回路について考える

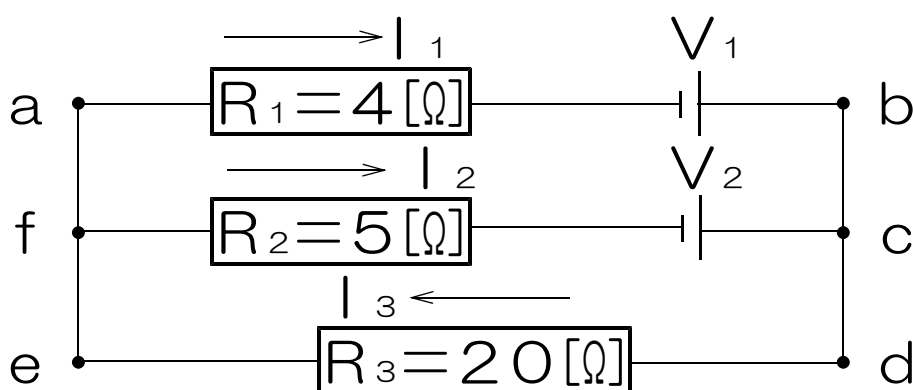


ひとまわりしたときの電圧の変化。



$V_1 + V_2 + \dots = I_1 R_1 + I_2 R_2 + \dots$
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 起電力の和 電圧降下の和 </div>

例題 次のような回路の抵抗 R_1, R_2, R_3 に流れる電流 I_1, I_2, I_3 の向きと大きさはそれぞれいくらか。



電池の向きから I_1 と I_2 は右向き、 I_3 は左向きと仮定して式を立てる。

法則1より

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad \cdots \textcircled{1}$$

法則2より

回路 a b d e a について

$$V_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3 \quad \cdots \textcircled{2}$$

回路 f c d e f について

$$V_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3 \quad \cdots \textcircled{3}$$

①②より

$$V_1 = I_1 R_1 + (I_1 + I_2) R_3$$

$$8 = 4 I_1 + 20 I_1 + 20 I_2$$

$$8 = 24 I_1 + 20 I_2 \quad \cdots \textcircled{4}$$

①③より

$$V_2 = I_2 R_2 + (I_1 + I_2) R_3$$

$$15 = 5 I_2 + 20 I_1 + 20 I_2$$

$$15 = 20 I_1 + 25 I_2 \dots \textcircled{5}$$

$$\textcircled{4} \times 5 - \textcircled{5} \times 4$$

$$40 = 120 I_1 + 100 I_2$$

$$- 60 = 80 I_1 + 100 I_2$$

$$-20 = 40 I_1$$

$$\therefore I_1 = -0.5$$

$$\textcircled{4} \text{より}$$

$$8 = 24 \times (-0.5) + 20 I_2$$

$$8 = -12 + 20 I_2$$

$$20 = 20 I_2$$

$$\therefore I_2 = 1$$

$$\textcircled{1} \text{より}$$

$$-0.5 + 1 = I_3$$

$$\therefore I_3 = 0.5$$

答え

電流 I_1 左向き 0.5 [A]

電流 I_2 右向き 1.0 [A]

電流 I_3 左向き 0.5 [A]

※ I_1 の計算結果はマイナスとなった。これは、はじめに仮定した電流の向きが反対であったことを意味する。よって I_1 の流れる向きは左向きとなる。

では、「キルヒホッフの法則」をやってみよう。

物理34時間目

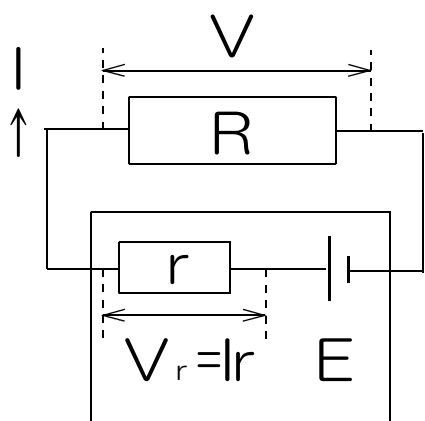
1. 電池の起電力 E と内部抵抗 r

起電力：回路に流れる電流が0のときの
電池の電圧

端子電圧 V ：回路に流れる電流が0でないときの
電池の電圧

(電流 I が変化すると V も変化する)

起電力 E 内部抵抗 r の電池に抵抗 R をつなげると



$$E = V + V_r$$

$$V_r = I r \text{ より}$$

$$E = V + I r$$

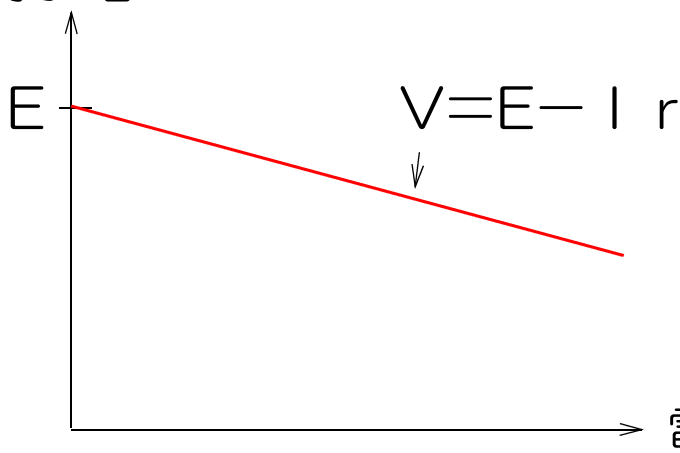
$$\therefore V = E - I r$$

E ：電池の起電力[V]

I ：電流[A]

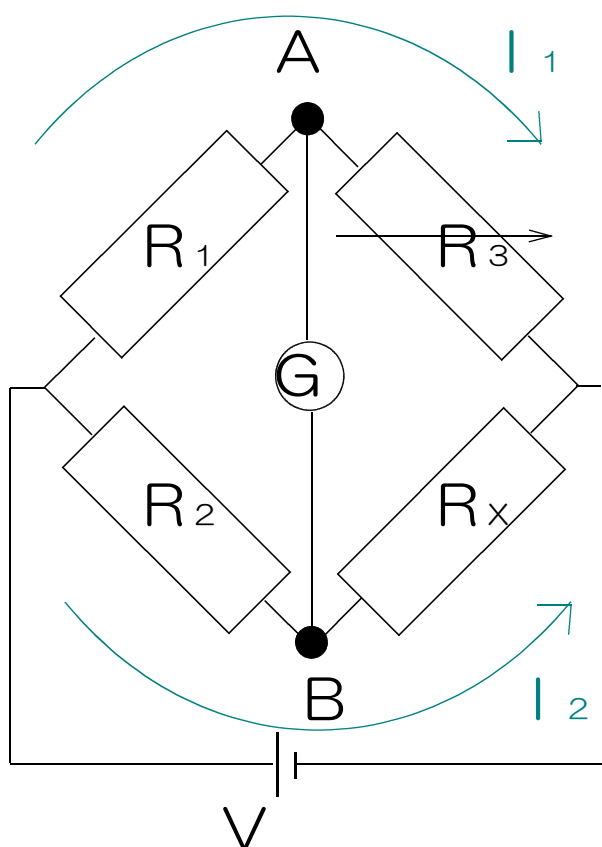
r ：電池の内部抵抗[Ω]

端子電圧 V



電流 I が大きくなると、端子電圧 V は小さくなる。

2.ホイートストンブリッジ 抵抗値を測定するための回路



G : 検流計
電流の向きと大きさを
はかる電流計
 R_x : 未知抵抗[Ω]
 R_3 : 可変抵抗[Ω]
 R_1, R_2 : 既知抵抗[Ω]

※ R_3 を調整してGに流れる電流を0にする。
Gが0を指す条件→A点とB点の電圧が等しい。

そのとき

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \quad \dots \textcircled{1}$$

$$I_1 R_3 = I_2 R_x \quad \dots \textcircled{2}$$

なので

①より

$$I_2 = \frac{I_1 R_1}{R_2} \quad \dots \textcircled{3}$$

②より

$$I_2 = \frac{I_1 R_3}{R_x} \quad \dots \textcircled{4}$$

③=④より

$$\frac{I_1 R_1}{R_2} = \frac{I_1 R_3}{R_x}$$

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

$$R_1 R_x = R_2 R_3$$

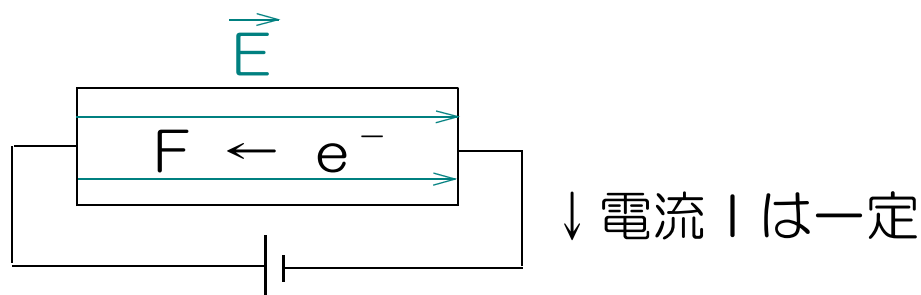
では、プリント「電池の起電力 ホイートストーンブリッジ」をやってみよう。

物理35時間目

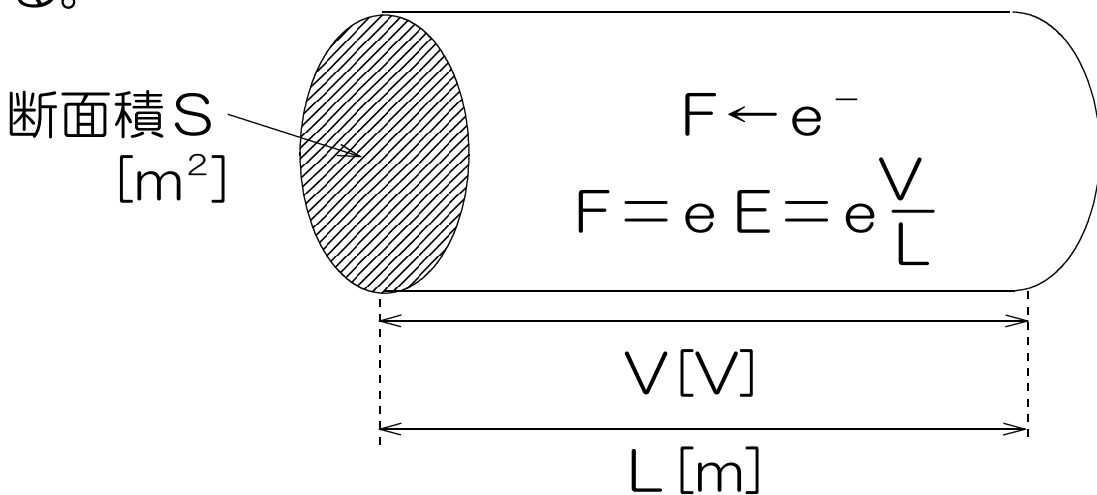
1. 電流のする仕事 w [J]

導体に電源をつなげると、内部に電場ができる。

このとき導体内部の自由電子 e^- は静電気力 F によって仕事をされるが、加速せずに速さは一定である。(もし加速するのであれば、電流は一定ではなく増えていくはずであるが、オームの法則により電流は一定である。)



このことから電子は外部からされた仕事 w' と同じ量の仕事 w を外部にしている ($w=w'$) ことが分かる。



$$E = \frac{V}{d} \text{ より}$$

$$E = \frac{V}{L}$$

$$F = qE \text{ より}$$

$$F = e \frac{V}{L}$$

1個の電子が t 秒間にされる
仕事の量を w_0 とすると

$$\begin{cases} w = F s \\ F = e \frac{V}{L} \\ s = v t \text{ より} \quad (v \text{ は電子の速度}) \end{cases}$$

$$w_0 = e \frac{V}{L} \times v t$$

全電子のされる仕事量を w' とすると、
 $w' = w_0 \times$ 電子の数 N

$$\begin{aligned} N &= \text{体積} \times 1 [\text{m}^3] \text{中の電子の数 } n \\ &= S L \times n \end{aligned}$$

$$\therefore w' = e \frac{V}{L} v t \times S L n$$

$$= e V v t S n$$

$$I = e n v S \text{ より}$$

$$w' = I V t$$

$$w = w' \text{ より}$$

電流が外部にする仕事 w

$$w = I V t$$

I : 電流[A]

V : 電圧[V]

t : 時間[s]

2.ジュール熱Q[J]

電流によって発生する熱のこと

電流のする仕事wが全て熱Qになるとすると

$$Q = w$$

$$w = I V t \quad \text{より}$$

$$Q = I V t$$

$$V = I R \quad \text{より}$$

$$Q = I^2 R t$$

I : 電流[A]

V : 電圧[V]

R : 抵抗[Ω]

t : 時間[s]

3.電力P[W]

電流のする仕事の仕事率のこと

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

$$w = I V t \quad \text{より}$$

$$P = \frac{I V t}{t}$$

$$P = I V$$

V : 電圧[V]

I : 電流[A]

$$(1 \text{ [kW]} = 1000 \text{ [W]})$$

では、「電流のする仕事 ジュール熱 電力」をやってみよう。

物理 36時間目

1.半導体