

基礎物理学

担当 小野正利
onomasat@hoku-iryo-u.ac.jp

第3回補足

教科書

(1)「基礎物理学」

(2) <http://www.hoku-iryo-u.ac.jp/~onomasat/>



「物理学」の解説

○波動とは

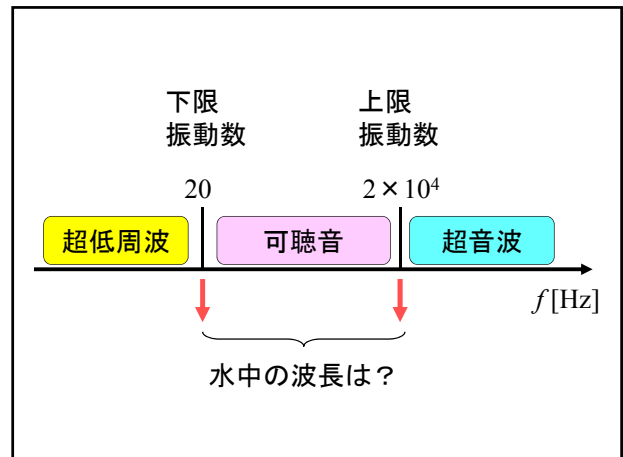
- (1) 波動とは空間の一部に生じた(**振動**)
が時間と共に他の部分に(**伝わる**)
現象である。
- (2) 波動には横波と縦波があるが、音波は
(**縦波**)で電磁波は(**横波**)
である。
- (3) 波長、振動数と波の速さの間には
(**波長**) × (**振動数**) = (**波の速さ**)
が成り立つ。

演習問題(波動)

- (1) 人間の可聴音の下限と上限の振動数は
20 Hz と 20,000 Hz の音波の水中における
波長 [m] を求めよ。
但し、水中における音速を 1,480 m/s とする。

波の速さ : c [m/s] 媒質内の振動の伝播速度
振動数 : f [1/s] 1 秒間の繰り返しの回数
波長 : λ [m] 波の繰り返しの長さ

$$\lambda \times f = c$$



$$(\text{波長} : \lambda) \times (\text{振動数} : f) = (\text{音速} : c)$$

↓
1,480 m/s

$$\lambda \text{ [m]} = \frac{1480 \text{ m/s}}{f \text{ [1/s]}}$$

下限 : $\lambda = 1,480/20 = 74 \text{ [m]}$

上限 : $\lambda = 1,480/20,000 = 0.074 \text{ [m]}$
= 7.4 [cm]

- (2) 電磁波は真空中を $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ の速さで
伝わる。緑色の光 (振動数は $6.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$)
の真空中における波長 [m] を求めよ。

波の速さ : c [m/s] 媒質内の振動の伝播速度
振動数 : f [1/s] 1 秒間の繰り返しの回数
波長 : λ [m] 波の繰り返しの長さ

$$\lambda \times f = c$$

$$(\text{波長} : \lambda) \times (\text{振動数} : f) = (\text{光速} : c)$$

↓

$$\lambda \text{ [m]} = \frac{3.0 \times 10^8 \text{ m/s}}{f \text{ [1/s]}}$$

$\lambda = 3.0 \times 10^8 / (6.0 \times 10^{14}) = 5.0 \times 10^{-7} \text{ m}$
= 5,000 Å

オングストローム : $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$

- (3) 水素原子はおよそ 1 Å の広がりをもっている。
波長が 1 Å の電磁波 (X線) の振動数 [Hz] を
求めよ。
但し、光速は (2) で与えた値を用いること。
($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$)

波の速さ : c [m/s] 媒質内の振動の伝播速度
振動数 : f [1/s] 1 秒間の繰り返しの回数
波長 : λ [m] 波の繰り返しの長さ

$$\lambda \times f = c$$

(波長: λ) $\times$ (振動数: f) = (光速: c)

↓
 $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$

$$f \text{ [1/s]} = \frac{3.0 \times 10^8 \text{ m/s}}{\lambda \text{ [m]}}$$

$$f = 3.0 \times 10^8 / (1 \times 10^{-10}) = 3 \times 10^{18} \text{ Hz}$$

(4) 振動数 2.00 MHz の超音波の波長が血液中では 0.785 mm であったとすると、血液中の音速は何 m/s になるか。(1 MHz = 10^6 Hz)

波の速さ: c [m/s] 媒質内の振動の伝播速度
振動数: f [1/s] 1 秒間の繰り返しの回数
波長: λ [m] 波の繰り返しの長さ

$$\lambda \times f = c$$

(波長: λ) $\times$ (振動数: f) = (音速: c)

↓
0.785 [mm]
||
 $7.85 \times 10^{-4} \text{ [m]}$

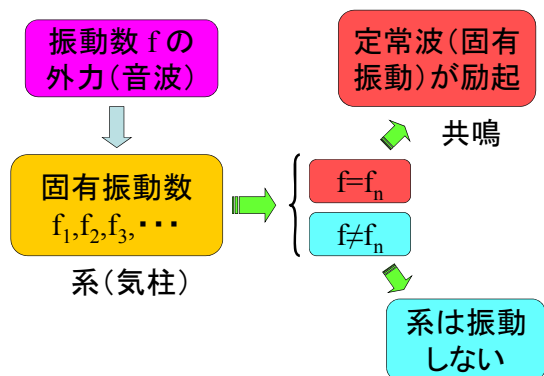
$$\begin{aligned} c &= \lambda \times f \\ &= 7.85 \times 10^{-4} \text{ m} \times 2.00 \times 10^6 \text{ Hz} \\ &= 1,570 \text{ m/s} \end{aligned}$$



○固有振動数とは

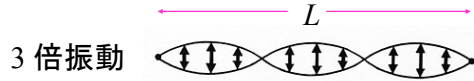
- (1) 2つの波が重なり、強め合ったり弱め合ったりすることを波の(干渉)という。
- (2) 反対方向に進む振幅、波長、振動数が等しい2つの波が重なると(定常波)ができる。
- (3) 広がりをもった物体は、その物体に特有の振動しやすい振動数をもっている。これを(固有振動数)という。

○共鳴(共振)

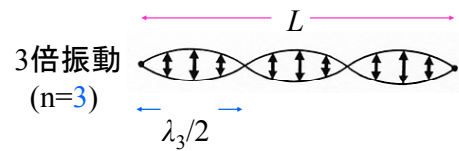


(5) 両端を固定して張った長さ L [m] の弦を振動させると、両端が節の定常波ができる。

(5.1) この定常波の 3 倍振動の波長を L を用いて表せ。



固定弦の3倍振動の波長を λ_3 とする



$$(\lambda_3/2) \times 3 = L$$

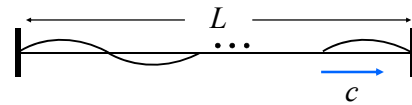
$$\lambda_3 = 2L/3 \text{ [m]}$$

(5.2) この定常波の 3 倍振動の振動数 [Hz] を L と弦を伝わる横波の速さ c [m/s] を用いて表せ。

3 倍振動の振動数を f_3 とすると

$$\begin{aligned} f_3 \times \lambda_3 &= c \text{ から} \\ \Rightarrow f_3 &= c/\lambda_3 \\ &= c/(2L/3) \\ &= 3c/(2L) \text{ [Hz]} \end{aligned}$$

(6) 張力 400 N で引っ張り、両端を固定した長さ 0.4 m の弦がある。弦の線密度は 0.01 kg/m である。



(6.1) 弦を伝わる横波の速さは何 m/s か。

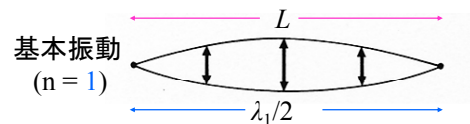
弦を伝わる横波の速さ c [m/s]

$$c = \sqrt{\frac{T}{\rho}} \quad \begin{array}{l} T: \text{弦の張力 [N]} \\ \rho: \text{弦の線密度 [kg/m]} \end{array}$$

$$c = \sqrt{\frac{400}{0.01}} = \sqrt{40000} = 200 \text{ m/s}$$

(6.2) 弦に生じる定常波の基本振動は波長は何 m か。

固定弦の基本振動の波長を λ_1 とする



$$\lambda_1/2 = L$$

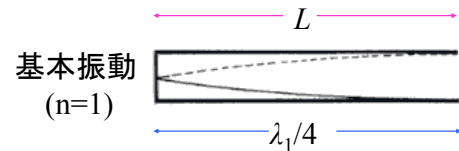
$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 2L \quad \leftarrow L=0.4 \text{ m を代入} \\ &= 2 \times 0.4 \\ &= 0.8 \text{ m} \end{aligned}$$

(6.3) 弦に生じる定常波の基本振動は何 Hz か。

基本振動の振動数を f_1 とすると

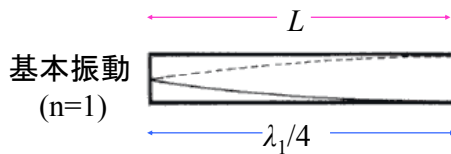
$$\begin{aligned} f_1 \times \lambda_1 &= c \Rightarrow f_1 = c/\lambda_1 \\ &= 200/0.8 \\ &= \mathbf{250} \text{ [Hz]} \end{aligned}$$

(7) 成人の外耳道管の長さは 25 mm 程度である。長さが 25 mm の閉管（一方の端が閉じ、他方の端が開いている管）の中に生じる音の定常波について、基本振動の波長 [m] を求めよ。また、基本振動数は何 Hz か。ただし、音速を 340 m/s とする。



(7) 成人の外耳道管の長さは 25 mm 程度である。

閉管の基本振動の波長を λ_1 ,
振動数を f_1 とする。



$$\begin{aligned} \lambda_1/4 = L \text{ より } \lambda_1 &= 4L \quad \leftarrow L=0.025 \text{ m を代入} \\ \lambda_1 &= 4L = 4 \times 0.025 = \mathbf{0.1} \text{ m} \end{aligned}$$

基本振動の振動数を f_1 とすると

$$f_1 \times \lambda_1 = c \Rightarrow f_1 = c/\lambda_1$$



$$\begin{aligned} c &= 340 \text{ m/s,} \\ \lambda_1 &= 0.1 \text{ m} \end{aligned}$$

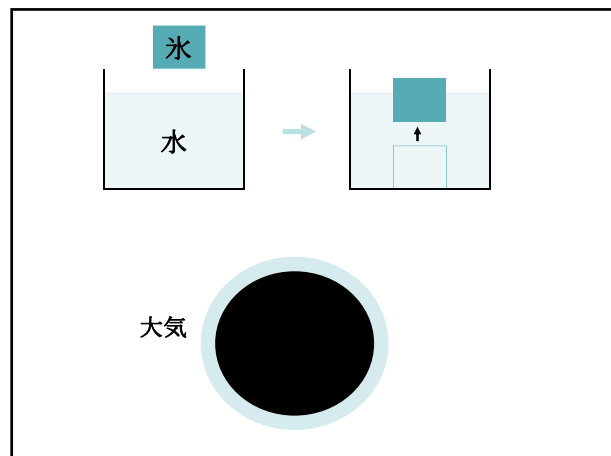
$$\begin{aligned} f_1 &= 340/0.1 \\ &= \mathbf{3400} \text{ Hz} \end{aligned}$$



基礎物理あれこれ

基礎物理学 問題 第3回

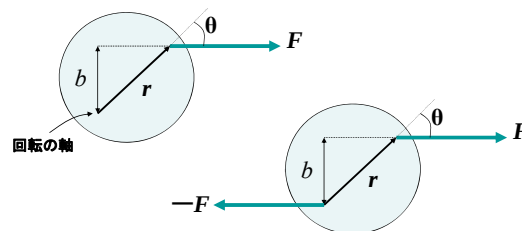
問題3 図のような鉄の容器（ボンベ）を、真空にして重さをはかり、次に水素をつめて重さをはかった。真空のときと水素をつめたときとで、その重さはどうなるか。下のア、イのうち、正しいものに○をつけよ。（はかりは十分精密なものとする）。
 ア. 真空のときの方が重い。
 イ. 水素をつめたときの方が重い。



(3) トルク(力のモーメント)

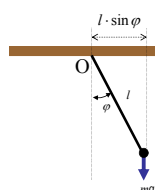
$$N \equiv b F = r F \sin \theta$$

$$\rightarrow N = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$$

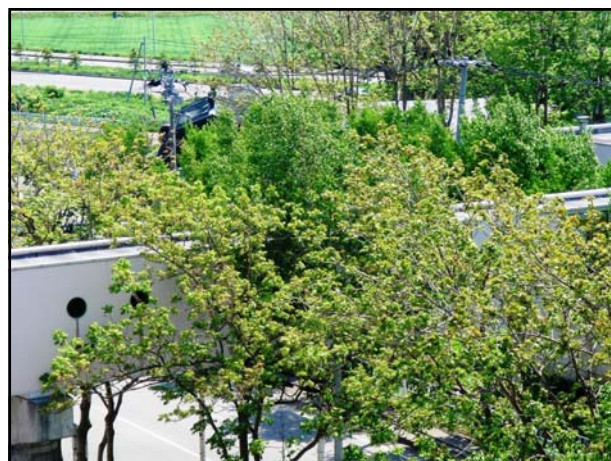


基礎物理学 問題 第3回

問題4 点Oを支点とする長さ $l(=2\text{m})$ の振り子に働く力のモーメント N を求めよ。棒の質量は無視できるものとする。また、棒の先端につけた物体の質量 m は 30kg 、重力加速度 g の値は 9.8 m/s^2 、角度 φ の値は 30° とする。



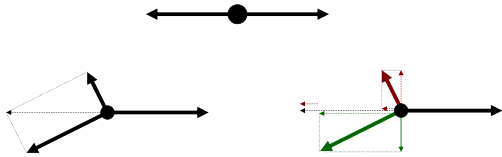
$$\begin{aligned} N &= l \cdot \sin \varphi \times mg \\ &= 2\text{m} \times \sin 30^\circ \times 30\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 \\ &= 294 \text{ m} \cdot \text{kg} \cdot \text{m/s}^2 = 294 \text{ m} \cdot \text{N} \end{aligned}$$



(4) 物体の平衡(静止の状態)

平衡の条件(静止の条件)

○ 質点の場合 → 質点に働く外力の和がゼロ



(4) 物体の平衡(静止の状態)

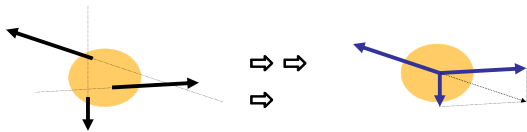
平衡の条件(静止の条件)

○ 大きさのある物体の場合

(イ) 全ての外力のベクトル和がゼロ

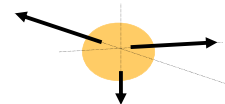
(ロ) 任意の位置の周りのトルクの和がゼロ。

(イ) 全ての外力のベクトル和がゼロ

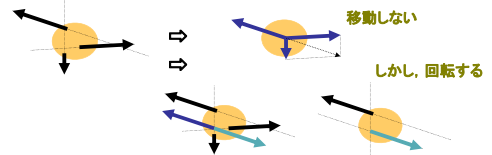


(ロ) 任意の位置の周りのトルクの和がゼロ。

力のモーメントがゼロの例 (回転が起こらない例)

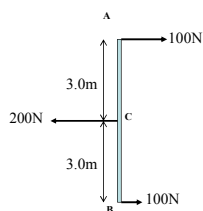


力のモーメントがゼロでない例 (回転が始まる例)



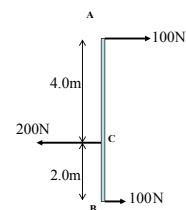
基礎物理学 問題 第3回

問題5 紙面の手前から裏側を回転の正の方向とする。下の図の場合について、A点の回りのモーメントを求めよ。(計算は教科書10頁参照)



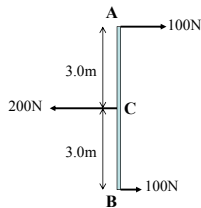
基礎物理学 問題 第3回

問題6 紙面の手前から裏側を回転の正の方向とする。下の図の場合について、A点の回りのモーメントを求めよ。(計算は教科書10頁参照)



基礎物理学 問題 第3回

問題5 紙面の手前から裏側を回転の正の方向とする。右の図の場合について、A点の回りのモーメントを求めよ。



A点の回りの力のモーメント

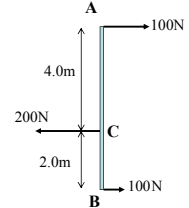
$$= 3\text{m} \times 200\text{N} - 6\text{m} \times 100\text{N} = 0 \text{ m} \cdot \text{N}$$

(参考) B点の回りの力のモーメント

$$= 6\text{m} \times 100\text{N} - 3\text{m} \times 200\text{N} = 0 \text{ m} \cdot \text{N}$$

基礎物理学 問題 第3回

問題6 紙面の手前から裏側を回転の正の方向とする。右の図の場合について、A点の回りのモーメントを求めよ。



A点の回りの力のモーメント

$$= 4\text{m} \times 200\text{N} - 6\text{m} \times 100\text{N} = 200 \text{ m} \cdot \text{N}$$

(参考) B点の回りの力のモーメント

$$= 6\text{m} \times 100\text{N} - 2\text{m} \times 200\text{N} = 200 \text{ m} \cdot \text{N}$$



(5)運動の第2法則

運動量 mv が時間によって変化する割合は、その物体に働く力 f に比例し、その力の方向に生じる。(注: v は速度)

$$ma = f$$

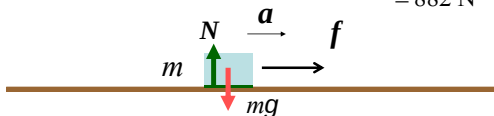
一様な重力場の中の運動 $f = mg$

注目: 力の単位 $\text{N} \rightarrow \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$

基礎物理学 問題 第3回

問題1 30 kg の物体を $3g$ の加速度で水平に移動させる時の力は何 N か。ここで g は重力加速度 ($g \equiv 9.8 \text{ m/s}^2$) を表す。ただし、物体は滑らかで水平な台の上に載っているものとする。

$$ma = f \quad f = ma = 30 \text{ kg} \cdot 3g \\ = 30 \text{ kg} \times 3 \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 882 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \\ = 882 \text{ N}$$

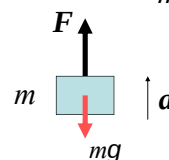


問題2 30 kg の物体を $3g$ の加速度で鉛直上方に持ち上げるのに必要な力 F は何Nか。ここで g は重力加速度 ($g \equiv 9.8 \text{ m/s}^2$) を表す。

$$ma (= f) = F - mg$$

大事な点は

f は質量 m の物体に働いている外力の和(合力)を表している。



$$\therefore F = ma + mg = m \cdot 3g + mg \\ = 4mg = 4 \times 30 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \\ = 1176 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 1176 \text{ N}$$



◎ 運動の例と演習

1. 放物運動

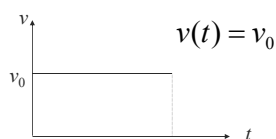
(1) 直線運動の速度

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} \xrightarrow{\Delta t \rightarrow 0} \frac{dx}{dt}$$

(2) 直線運動の加速度

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} \xrightarrow{\Delta t \rightarrow 0} \frac{dv}{dt}$$

(3) 速度一定の運動(等速度運動)



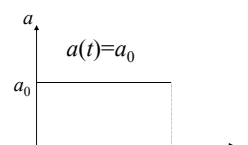
$$v_0 = \frac{\Delta x}{\Delta t} \equiv \frac{x(t) - x(0)}{t - 0} = \frac{x(t) - x(0)}{t}$$

この式から $\Delta x = x(t) - x(0) = v_0 \Delta t = v_0 t$

$$x(t) = x(0) + v_0 t = x_0 + v_0 t$$

ただし, $x(0) \equiv x_0$

(4) 加速度一定の運動(等加速度運動)



$$v_0 = \frac{\Delta v}{\Delta t} \equiv \frac{v(t) - v(0)}{t - 0} = \frac{v(t) - v(0)}{t}$$

この式から $\Delta v = v(t) - v(0) = a_0 \Delta t = a_0 t$

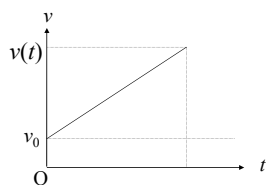
$$v(t) = v(0) + a_0 t = v_0 + a_0 t$$

ただし, $v(0) \equiv v_0$

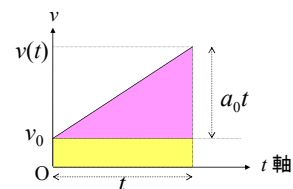
$$a(t) = a_0$$



$$v(t) = v_0 + a_0 t$$



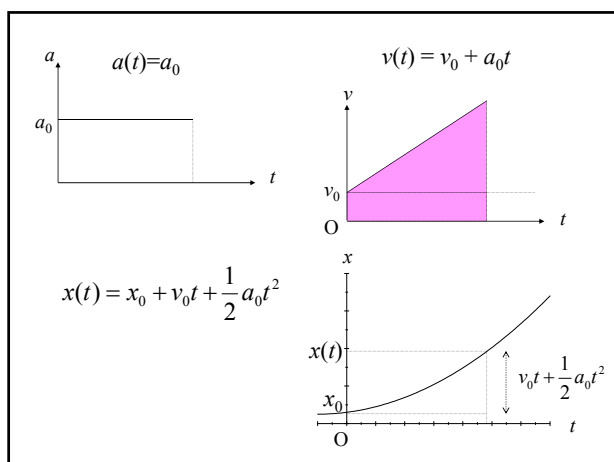
$$v(t) = v_0 + a_0 t$$



$$x(t) - x(0) = (\text{黄色の面積}) + (\text{ピンクの面積})$$

$$= v_0 \times t + \frac{1}{2} a_0 t \times t$$

よって, $x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a_0 t^2$ ただし, $x(0) \equiv x_0$



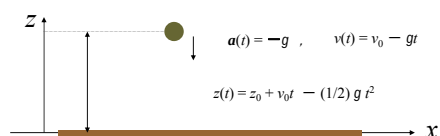
一様な重力場の中の運動(落下運動)

鉛直上方を z 方向とする

加速度が $a(t) = -g$ となる
(g は重力加速度の大きさ)

従って, 速度: $v(t) = v_0 - gt$

位置: $z(t) = z_0 + v_0 t - (1/2) g t^2$



(5) 放物運動

x 方向: $x(t) = (v_0 \cos \alpha) \cdot t$

y 方向: $y(t) = h + (v_0 \sin \alpha) \cdot t - \frac{1}{2} g t^2$

