

Q: “光速に近い速さで遠くまで行って戻ってくると、そこは未来の地球である。”というのは、“16時に家を出て遠くまで出かけて戻ってきたら18時だった。”と何が違うのでしょうか。

A: なるほど。もっともな疑問です。違いは自分の時間です。タイムマシンで2時間後にいってもお腹はへりませんが、2時間出かけて戻ってくると、2時間分おなかへります。同様に50年間月にいて、地球に戻ってくるとそこは50年後の地球ですが、自分も50歳をとります。一方、光速に近いロケットで遠くまで行って戻ってくると、自分はほとんど歳をとらずに50年後の地球に戻ってくることができます。ですのでタイムマシンと表現しました。

Q: 「星は、我々が唯一目視できる過去である」？ というようなことを聞いたことがあるのですが、一体どういうことですか？

A: 例えば太陽から地球まで光の速さで約8分かかります。ですので私たちが見ている太陽は8分前の太陽です。宇宙人が太陽を破壊したとしても、それが目で確認できるのは8分後です。夜空の星はもっと遠くにあるので、その意味でもっと過去の星を見ていることになります。しかし、唯一というのは少し違って、例えば皆さんが見ている私も、ほんの少しですが過去の私です。

Q: コナンで蘭姉ちゃんが銃弾をよけるシーンがあったのですが、どのような条件が整ったら可能なのでしょうか？(距離は 10 m 以内だったようにみえたのですが・・・)

A: 銃弾の速さは 300 m/s くらいですので 10 m なら、約 0.03 s で到達します。その間に 0.1 m よける(静止状態から移動する)には、 $x = 1/2 at^2$ で必要な加速度 a は 200 m/s^2 くらいです(重力加速度の20倍)。銃弾を見てよけるのは無理でしょう。ただ、銃口の向きや引き金の指の動きから、銃弾の方向や発砲のタイミングを事前に予測できれば可能でしょう。

Q: 飛行機は音がした方向とずれた方向にいることが多い気がします。気のせいでしょうか。

A: 気のせいではありません。前のQ&Aで過去に発した光を見ている話がありましたが、同様に過去に発した音を聞いているのです。しかも音速は光よりずっと遅く 300 m/s くらいです。例えば飛行機が自分から 3 km の位置にあるときに発した飛行機の音は、自分まで到達するのに 10 s かかります。その音が聞こえたときには、飛行機は 10 s 進んでいるので、飛行機の音はずれた方向(10 s 前に居た方向)から聞こえます。

Q: 水飲み鳥が勝手に止まることはあるのですか？

A: あります。雨が降ってきたりして、湿度が 100 % になると止まります。

Q: 今回の力学的エネルギーと人間が消費するエネルギー(運動やダイエット)には関連がありますか？

A: あります。人間が摂取したり、消費したりするエネルギーの単位にはカロリー(cal)を使いますが、これもエネルギーの単位で $1 \text{ cal} = \text{約 } 4.2 \text{ J}$ です。今日、それに関連した問題もやります。成人男性で基礎代謝は約 1500 kcal ですが、たまに k (キロ) が省略されたりしますので、注意が必要です。

Q: 高校で、量子力学に虚数が使われるという話をきいたのですが、どのように使われるのか、簡単にでも教えてもらえると嬉しいです。

A: 量子力学では、状態を表現するのに(確率)振幅を使います。例えば電子のスピン(自転的運動)の状態は、z軸の正の向きに対して右ネジの向きに自転している振幅と、左ネジの向きに自転している振幅の2つの振幅で表現できます。振幅の絶対値の2乗がその状態である確率です。この2つの振幅でx軸の正の向きに右向きに回転している状態等、すべての状態を表現できるのですが、そのためには振幅は、実数でなく、複素数でなければ表現できないのです。

中間試験の期日について

現時点で把握している他の教科の中間試験

6月 6日(木) 基礎化学B

6月13日(木) 基礎化学A

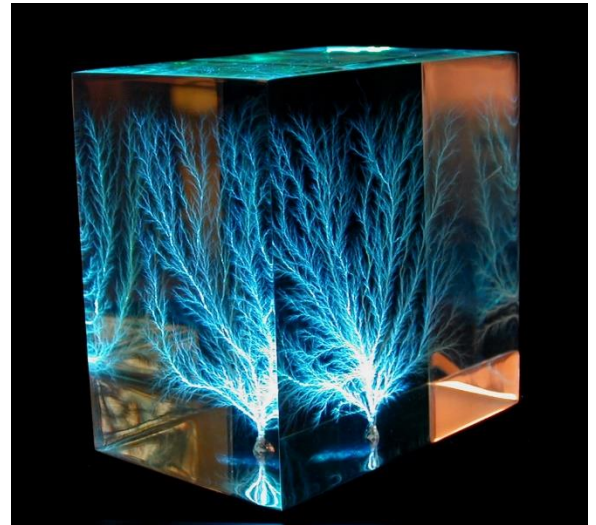
他に考慮すべきものはありますか？

6月18日火曜日5限に中間試験を行おうと思うのですがどうですか？

前回のQ: 雷が落ちて生還した人の皮膚にナントカ模様というのができる(?)らしいですが何故ですか。

A: リヒテンベルク図形といいます。絶縁材料の表面または内部に現れる分岐放電です。人間の場合、皮膚の表面にこの放電による火傷の痕が残るようです。下の写真のように落雷の後の芝生等にもできます。

表面だけでなく内部に3次元的にできることもあります。



化学結合に蓄えられるエネルギー

例：石油や石炭等の持つエネルギー。これらは燃焼等の化学反応で熱を発生する。

石油やガソリン、天然ガス等の持つエネルギーはおよそ 10 kcal/g（おおざっぱな値）
人間が消費するブドウ糖や脂肪の持つエネルギーも化学エネルギー

問題：前回4ページの問題におけるAさんの消費カロリーを求めよ。ただし、登山で体が消費したエネルギーはすべて位置エネルギーに転化するわけではない。筋肉の効率も 100 % でないし、筋肉を動かすためには、心臓・肺を動かすためのエネルギーも必要である。消費したエネルギーの 20 % が位置エネルギーになったものとせよ。1 cal は 4 J として計算せよ。

答：_____ kcal

残りの80%のエネルギーは最終的にどうなった？ _____

参考：成人1日約 2000 kcal 1 kcal = 1000 cal

問題：体脂肪の化学エネルギーは 1 g あたり 9 kcal である。消費したエネルギーを体脂肪に換算するとどれだけか？

答：_____ g

仕事率(パワー)

仕事率(パワー)：単位時間あたりに行われる仕事(記号 P) power

Δt 秒間に行われる仕事を ΔW とすると、その間の平均の仕事率 $\bar{P}$ は、

$$\bar{P} = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

仕事率(パワー) = $\frac{\text{行われた仕事}}{\text{時間}}$

仕事率の単位：W (ワット) = J/s

電球や蛍光灯、電気ストーブ等の消費電力のワット(W)と同じ

例：40 Wの蛍光灯は、1秒あたり40 J の電気エネルギーを消費している。40 W = 40 J/s
(後期の物理学IIで勉強します)

瞬間の仕事率 P は

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F \cdot \Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} F \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t} = F \cdot v$$

速度 v で運動している物体に力 F が作用している場合、力 F の仕事率 P は $F \cdot v$
($W = F \cdot s$ で1秒あたりの移動距離 s は v)

例題1 (p64) : クレーンが 1000 kg のコンテナを20秒間で25 mの高さまで吊り上げた。

- ①クレーンが20秒間でした仕事はどれだけか？ただし、重力加速度 g は、 10 m/s^2 とせよ。
(コンテナの加速減速の効果は無視し、クレーンがコンテナに及ぼした力は mg とせよ。)

②20秒間の平均の仕事率 $\bar{P}$ を求めよ。

③20秒間のコンテナの平均の速度 v を求めよ。

- ③コンテナが上の速度で運動している瞬間の仕事率 P を求めよ。ただし、この時、コンテナは等速運動しているものとする。

(参考) 馬力 [ps] とワット [W]

どちらも仕事率の単位、1 馬力 $\doteq 740 \text{ W}$ 馬一頭分(荷馬車)の仕事率(パワー)

最近では MKS単位系が浸透してきて、エンジンの最高出力(最大の仕事率)などもワットで表示される。

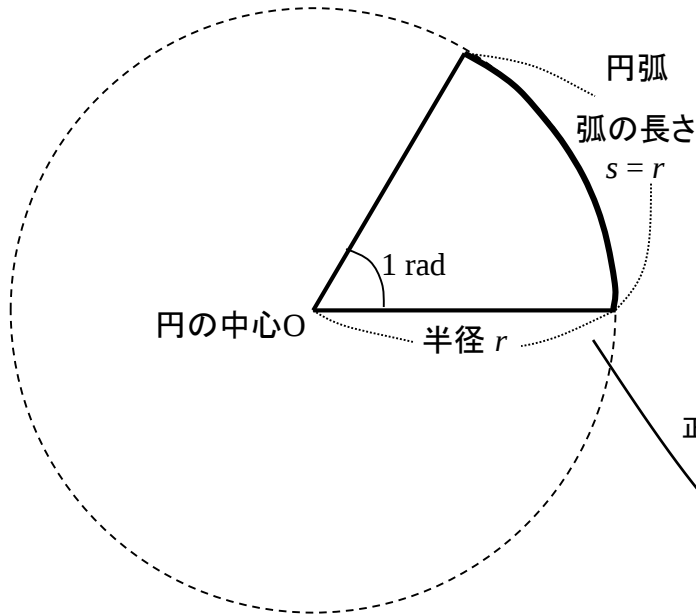
例: プリウスのエンジン(排気量1800cc)で $73 \text{ kW} = 73000 \text{ W} \doteq 99 \text{ 馬力}$
モーター $60 \text{ kW} = 60000 \text{ W} \doteq 82 \text{ 馬力}$

問題: 階段を全速力で駆けあがる際を想定して自分の(足の)最高出力(最大の仕事率)を計算せよ。

自分は階段を最速で、1秒間に_____m 上げる。(高低差で)

答: _____ W, _____ 馬力

1 rad の定義: 半径と弧の長さが等しいときの中心角が 1 rad



円弧の長さ s は、中心角 θ に比例

$$s \propto \theta \quad (\text{度でもradでも})$$

θ の単位を rad にすると比例定数は半径 r

弧の長さ $s = r\theta$ ($\theta = 1$ のとき、 $s = r$)

1 rad の定義

中心角が 360° のとき、
円弧の長さは円周 $2\pi r$ なので

$$s = r\theta = 2\pi r$$

$$\theta = 2\pi$$

つまり 360° は 2π rad

$$1 \text{ rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} \doteq 57.3^\circ$$

図の扇型は
正三角形に近い

正三角形
に近い

授業、教科書では、角の単位としてラジアンを用いる。

問題: 次の角は何 rad か? (360° は 2π rad)

$180^\circ =$ rad, $90^\circ =$ rad, $60^\circ =$ rad, $45^\circ =$ rad, $30^\circ =$ rad

(0.573°)

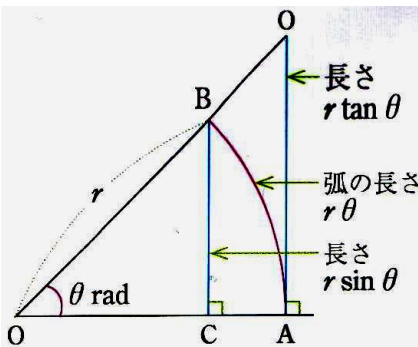
問題: 角 θ が 0.01 rad の時、計算機で、次の値を求めよ。

(1) $\sin \theta =$

(2) $\tan \theta =$

$$\text{角 } \theta \text{ が十分に小さいとき } (\theta \ll 1) \sin \theta \simeq \theta \quad \doteq \tan \theta$$

よく使う近似式, rad の利点の一つ



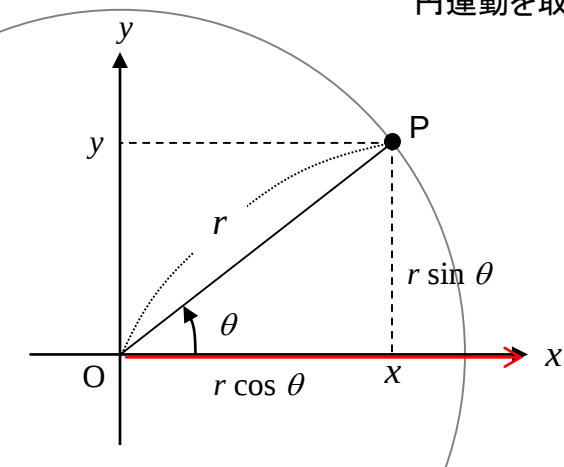
rad を用いるその他の利点: $\frac{d}{dx} (\sin x) = \cos x$

(角の単位に度を用いるとうならない)

直交座標 x, y と極座標 r, θ

等速円運動の場合: x, y はどちらも変数 r は定数、変数は θ だけ。

円運動を取り扱うには極座標の考え方が便利



$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

角 θ は、+x軸を基準 ($\theta = 0$) とし、
質点が反時計まわりに動くと角 θ は増加する。
質点が時計まわりに動くと角 θ は減少する。
(θ はマイナスの値もとれる)

質点 P が原点 O を中心とする半径 r の円周上を反時計まわりに一定の速さ v で運動する場合、
角 θ (角位置 θ) は、単調増加する。

速度 v の 等速直線運動

位置: $x(t) = vt + x_0$ x は単調増加する。

$$\text{速度 } v = \frac{dx}{dt}$$

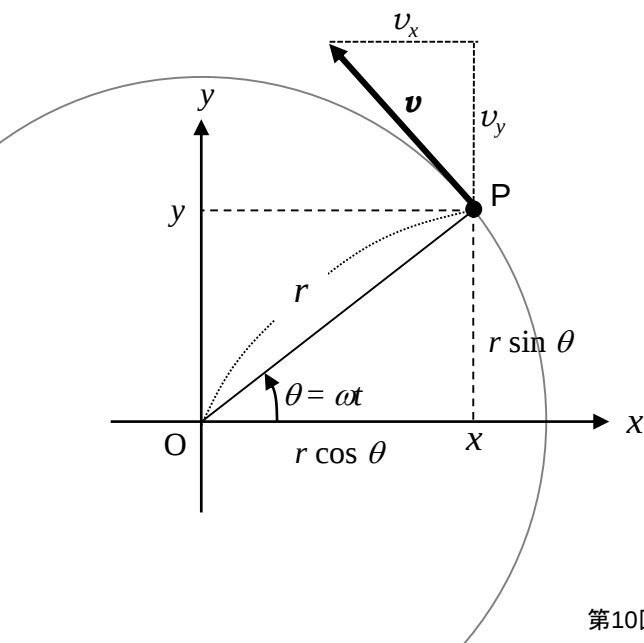
v は単位時間 (1 s) あたりの変位
(位置の変化)

等速円運動

角位置: $\theta(t) = \omega t + \theta_0$ θ は単調増加する。

$$\boxed{\quad} : \omega = \frac{d\theta}{dt}$$

ω は単位時間 (1 s) あたりの回転角
(角位置の変化)



$$x(t) = r \cos(\omega t + \theta_0)$$

$$y(t) = r \sin(\omega t + \theta_0)$$

$$x \text{ 方向の速度 } v_x(t) = \frac{dx}{dt} = -r\omega \sin(\omega t + \theta_0)$$

$$y \text{ 方向の速度 } v_y(t) = \frac{dy}{dt} = r\omega \cos(\omega t + \theta_0)$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$= \sqrt{(r\omega)^2 \sin^2(\omega t + \theta_0) + (r\omega)^2 \cos^2(\omega t + \theta_0)}$$

$$= r\omega \sqrt{\sin^2(\omega t + \theta_0) + \cos^2(\omega t + \theta_0)} = r\omega$$

$$\boxed{v = r\omega}$$

問題: 地上で、ひもに付けられたおもりを等速円運動させるには、どうすればよいか？

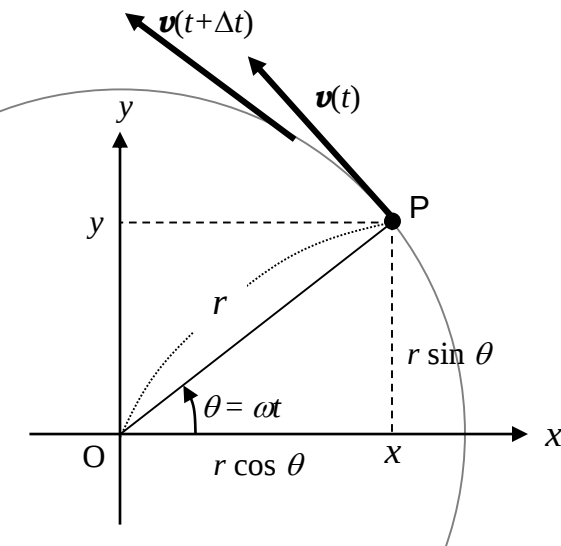
問題: ひもに付けられたおもりが、1.50 秒で 1 回転している。このおもりの角速度 ω を求めよ。

π は 3.14 として計算せよ。(周期が 1.50 s の等速円運動、周期は後で勉強する。)

また、おもりの速さ v を求めよ。ただし、ひもの長さは 78.9 cm で、ひもが水平面となす角は 45.0° とする。

答: $\omega =$ _____ $v =$ _____

等速円運動の加速度



$$v_x(t) = -r\omega \sin(\omega t + \theta_0)$$

$$v_y(t) = r\omega \cos(\omega t + \theta_0)$$

$$a_x(t) = \frac{dv_x}{dt} = -r\omega^2 \cos(\omega t + \theta_0) = -\omega^2 x$$

$$a_y(t) = \frac{dv_y}{dt} = -r\omega^2 \sin(\omega t + \theta_0) = -\omega^2 y$$

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = r\omega^2$$

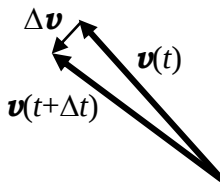
$$(\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1, x^2 + y^2 = r^2)$$

$v = r\omega$ を用いると

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

$$\omega = \frac{v}{r}$$

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



ベクトルでは $\mathbf{a} = (a_x, a_y) = -\omega^2 (x, y) = -\omega^2 \mathbf{r}$

$$\mathbf{a} = -\omega^2 \mathbf{r}$$

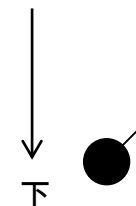
速さ一定だが有限の加速度

等速円運動の加速度は常に位置ベクトル $\mathbf{r}$ と逆向きで
円の中心を向いているので、これを という。

問題: 上の問題の等速円運動しているおもりの加速度の向きを図に書き込み、その大きさも求めよ。

横から見た図

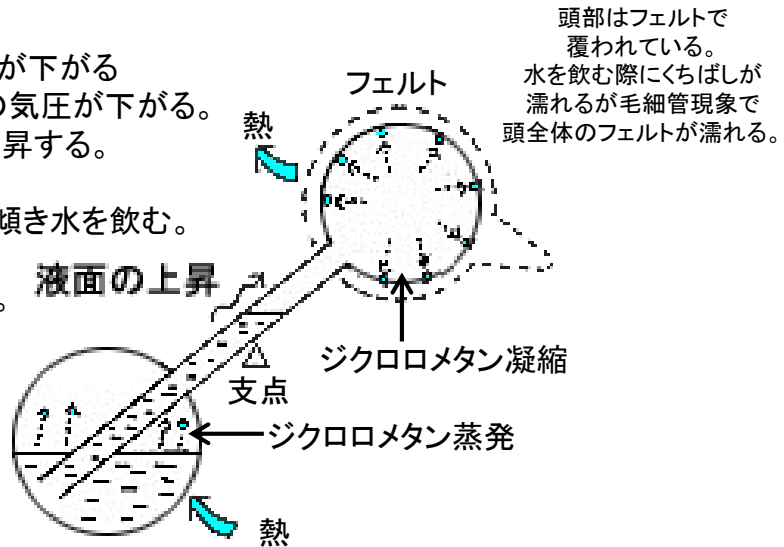
45°



水飲み鳥(平和鳥)解説

動作原理

- ①頭部から水が蒸発し、気化熱で頭部の温度が下がる
- ②頭部のジクロロメタンの蒸気が凝縮し頭部の気圧が下がる。
- ③頭部と胴体の気圧差により管内の液面が上昇する。
- ④液体が頭部に流れ込み重心が上がる。
- ⑤重心が右の図で支点より右になると前方へ傾き水を飲む。
- ⑥傾くと管の下端が液面より上に出る。
- ⑦気泡が管を通して上昇し液体が流れ落ちる。
- ⑧重心が下がり①に戻る。



歴史

昭和21年(1946)に熱力学の研究者でアメリカ人のMiles V. Sullivanが考案した。

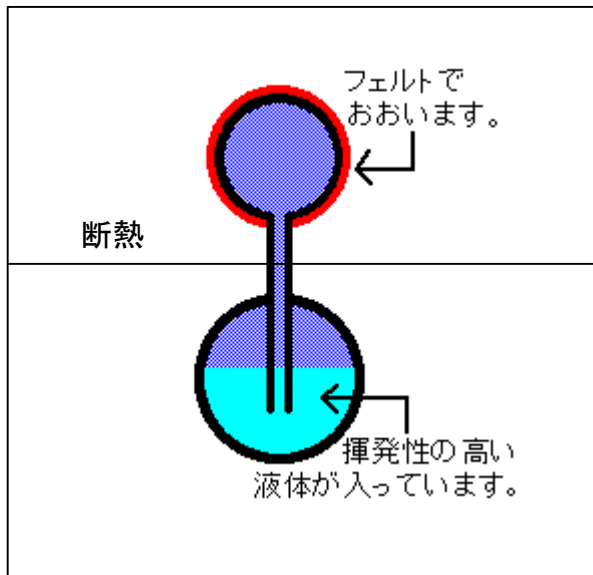
エネルギーの流れ

ガラスとその内部のエネルギーの流れのみを考えると簡単である。(濡れたフェルトは外部) お尻(高温熱源)から流入する熱は、頭(低温熱源)から逃げる熱より少しだけ多い。その差分のエネルギーでジクロロエタンを頭に運ぶ仕事をする。(位置エネルギーとなる。) 重心が上がり、水を飲む際に位置エネルギーが運動エネルギーに変換される。

水飲み鳥は熱機関である。p180

一見、永久機関に見えるがそうではない。

水飲み鳥を有限な空間で動かし続けると、頭から蒸発する水分で湿度が上昇し、湿度が100%になると動かなくなる。永久に動き続けることはできない。水がすべて蒸発してしまっても動かなくなる。



また、実際に断熱するのは難しいが左の図のように頭部とお尻の間を外部も含めて断熱したとする。

お尻の部分は内部の液体が蒸発する際に吸熱するのでどんどん温度が下がる。上の部分が蒸発を続けていて温度が下がっていても下の部分が同じ温度まで下がると動かなくなる。

