基礎物理学

担当：田中好幸（薬品分析学教室）

イントロダクション

◆今日は、基礎物理学の講義のガイダンス、イントロダクションです。

◆どういう講義なのかの説明がメインです。

基礎物理学の教科書・参考書

教科書　訂正

◆「第３版 物理学入門」、原康夫著、学術図書出版社（2015）

参考書

◆「薬学生のための物理入門」、廣岡秀明著、共立出版（2009）

講義日

◆月曜１限目、木曜２限目　訂正

目的と概要

●物理学は、薬学における薬剤学（特に物理薬剤学）、分析化学、物理化学の基礎となる学問です（高校物理中心）。

●薬剤学、分析化学、物理化学は薬剤師国家試験、CBTでも出題されます。

●論理的な思考を養成して、記憶力に頼らなくても問題を解ける力を養成することを目的とします。

●(重要) 近年の薬剤師国家試験では、論理的思考が求められ、これが合否を決める要因となっています。

でも物理は苦手、と心配な方に

心配ご無用です！

皆さんが物理の苦手意識を持った理由：

- 物理を教えている高校の先生は必ずしも物理学（学問としての物理）の専門家ではありません。
- 受講者全員が理解できる講義はありません。

もう入試ではないので、物理のニュアンス（癖）を理解すれば十分です。

- 足し算、引き算等を理解した時の用に丁寧に基礎をとばさず積み上げれば理解できます。

心配無用といいきる理由

心配ご無用です！

理由その1）数年前ノーベル賞をとった天野先生も高校の時は物理が苦手と仰られていました（告白すれば私もそうでした）。

大学に入って必要に迫られて勉強していくうちに自然と身に付いたものです。

理由その2）物理がもともと苦手だった私は、皆さんがどこにつまずいているかその気持ちがわかります。

ただし注意点があります

ご存知ですか？

勉強には、
「正しい勉強法」と「間違った勉強法」があることを

特に物理では「間違った勉強法」をしていると、いくら勉強しても成果が上がりません。それどころか、脳が退化します。

「間違った勉強法」が染み付いた方は、まずは「正しい勉強法」を身につけるところから始めましょう。

- 一見遠回りに見えますが、この点（論理的思考）をクリアすることが国家試験合格への近道です。

「正しい勉強法」と「間違った勉強法」

「間違った勉強法」の例

- 教科書をノートに丸ごと書き写す。
- 丸暗記することが勉強と思っている。
  - 物理では少ない原理で沢山の現象を説明したい。
  - だから、物理では暗記項目は非常に少ない！
  - 論理的思考に逆行！

「正しい勉強法」

- 丸暗記するのは「定義」と「原理（原則）」のみ。あとは定義と原理から誘導する。

でもやっぱり理屈は苦手という方に

心配ご無用です！

皆さんが物理の苦手意識を持った理由：

つまずきの理由はひょっとすると中学校や小学校で学習した内容の取りこぼしが原因。

そこに立ち返ることをためらわないで下さい。手間を惜しまなければ理解できます。

足し算、引き算等を理解した時の用に丁寧に基礎をとばさず積み上げれば理解できます。

でもやっぱり理屈は苦手という方に

心配ご無用です！

だって、

皆さんが習っている学問は、地球上の誰かが一度は理解した内容です。

皆さんは、既にわかっていることを整理したかたちで教わるのです。

初めて物理法則を見つけるた人は、誰も知らなかったことを発見しました。これは人から教わることより難しいことです。

人に出来ることはあなたにも出来るはずです！（可能性は0ではない！！！）

でもやっぱり理屈は苦手という方に

自分の可能性に自分で勝手に蓋をしないで！

皆さんは「自分は勉強が苦手」と思っていませんか？

勉強が苦手だから、暗記で乗り切ろうとしてませんか？

ここで福音です。

もう入試ではない（物理の専門家の養成でもない）ので、物理のニュアンス（癖）を理解すれば十分です。

そのためには「正しい勉強法」を身につけることが重要。

それが国家試験合格への近道（必須事項）です。

物理のニュアンス（癖）を理解するために

問題演習を行います。

板書をノートに写すだけでは物理法則を理解したとはいえません。問題を解くことで何が理解できていなかったかを自分で把握しましょう。

教科書で抜けている補足事項のみ板書します。

皆さんは、講義の内容を理解することに集中してください。板書は教科書の欄外に補足事項としてメモしてください。メモする時間はとります。

演習問題で間違った場合、どの原理を勘違いしたかを見つけて下さい。間違った問題には印もつけて試験前によく復習しましょう。

授業の進め方

配布プリント中心に進めます。

板書は、配布プリントで抜けている補足事項のみ板書（皆さんは、教科書の欄外に補足事項をメモしてください）

講義の終わりに復習のための宿題を出します。（国家試験等の問題を元にした問題）

評価法

試験の成績で評価します。

演習問題を中心に(約60%)試験問題を出します。

連絡事項

レポート用紙で提出（B4）。×ノート、△ルーズリーフ

氏名、学籍番号、クラスをレポート用紙**上部**に記載

正解のときは丸をつけておいて下さい。

解答後に後から自分で加筆する場合は色ペンで記載して下さい。後から鉛筆書きで加筆されると、どこまで理解できていたかが私に解りません（講義の重要参考データ）。

複数の方で一緒に解答を考えた場合は、共同解答者の氏名も書いておいてください。

Web情報等の他人の情報を利用して解答した場合は、情報源も書いておいてください。

提出場所: 21号館7階0709号室前の「白いレターケース」

学習の到達目標

- 原理原則にのっとって考える力を養成する。
- 薬学の専門科目に必要な基礎物理学の概念を理解する。
- そのために、暗記に頼らない「正しい勉強法」を身につける。
- 学び（勉強法）の転換点にして下さい。
- これが出来れば、さらに研究を行うための「学問の勉強」という、次のステップに進めます（これが本来の大学の学問）。
- 「研究」とは将来に新しい知見を残すこと。物理で言えば「物理法則」の発見です。これが出来れば、教科書に自分の名前が載ることになります。

ディメンジョン（7ページ）

P7の「ディメンジョン」の説明が、物理的に正確な説明となるが、、、

実質的には

「ディメンジョン」≈「単位」
と考えてほぼ問題ない。

P7の「次元」の説明の脇に
「ディメンジョン」≈「単位」
と記載しておいて下さい。

ディメンジョン（P7） 1

P7の「ディメンジョン」の説明が、物理的に正確な説明となるが、、、

実質的には、「ディメンジョン」≈「単位」

最も基本的な単位系 ： 距離(m)、質量(kg)、時間(s)

MKS単位系（基本的な物理量）

距離(m)、質量(kg)、時間(s)、温度(K)、物質量(mol)、電流量(A)、カンデラ(cd)

国際単位系（通称SI）

ディメンジョン（P7） 2

P7の「ディメンジョン」の説明が、物理的に正確な説明となるが、、、

実質的には

「ディメンジョン」≈「単位」

例えば、速度 = 距離(m)÷時間(s) = 距離(m)／時間(s)

従って、速度の単位（ディメンジョン）は m/s。

より専門的には、$m \cdot s^{-1}$ と表す。

（$m \cdot s^{-1}$ = $m \cdot (1/s)$ =m/s ； • はかけ算の意味）
P5 表0.1の横に記載

ディメンジョン（P7） 2

• が「かけ算」の意味になるのは変数(文字)の時のみ
数字のかけ算では「×」を使います。

2 × 4　　~~2 • 4~~

例えば、速度 = 距離(m)÷時間(s) = 距離(m)／時間(s)

従って、速度の単位（ディメンジョン）は m/s。

より専門的には、$m \cdot s^{-1}$ と表す。

（$m \cdot s^{-1}$ = $m \cdot (1/s)$ =m/s ； • はかけ算の意味）
P5 表0.1の横に記載

補足

赤字は修正点

10^nを表す接頭語

10^{12}	10^{9}	10^{6}	10^{3}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
T (テラ)	G (ギガ)	M (メガ)	k (キロ)	m (ミリ)	μ (マイクロ)	n (ナノ)	p (ピコ)

10^{3}	10^{2}	10^{1}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}
k (キロ)	h (ヘクト)	da (デカ)	d (デシ)	c (センチ)	m (ミリ)

キロキロとヘクト出か(デカ)けたメートルと、弟子(デシ)に連られてセンチ、ミリミリ

補足2

なぜ乗数（10^nの"n"）が３の倍数ごとに名前がついているか

10^{12}	10^{9}	10^{6}	10^{3}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
T (テラ)	G (ギガ)	M (メガ)	k (キロ)	m (ミリ)	μ (マイクロ)	n (ナノ)	p (ピコ)

英語

			one	ten	hundred	one
one	ten	hundred	thousand	thousand	thousand	million
			k			M

日本語

				一	十	百	千	一	十	百	千	一
一	十	百	千	万	万	万	万	億	億	億	億	兆

べき乗表記を使う理由（有効数字）

測定値の末尾の桁は目見当（末尾の桁には誤差がある）

数学では： 1.0 km = 1000 m と書いても良いが、

物理や化学では： 1.0 km = 1000 mとは書けない

1.0 kmは2桁の精度しかない
= 0.1 km (= 100 m) の桁には誤差がある

1000 mは4桁の精度があると宣言していることに相当（1 mの桁のエラーしかないという意味）

物理や化学では： 1.0 km = 1.0×10^3 m がより正しい。

有効数字を決める要因1

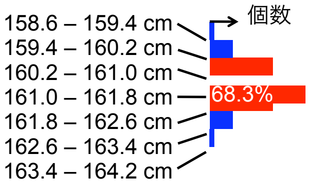
測定値の平均値を扱う場合（教科書P6の説明）

標準偏差の一番上の桁が平均値の有効桁数を決める

計算上、平均値が161.4 cm、標準偏差（平均値からのばらつきの指標）が　1.2 cmとなったとき

平均値 = 161 ± 1.2 cm などと表記する

ヒストグラム



有効数字を決める要因2

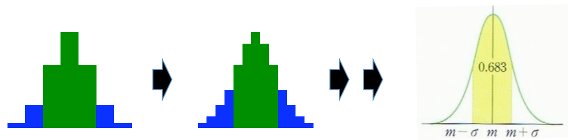
測定値の平均値を扱う場合（教科書P6の説明）

標準偏差の一番上の桁が平均値の有効桁数を決める

計算上、平均値が161.4 cm、標準偏差（平均値からのばらつきの指標）が　1.2 cmとなったとき

平均値 = 161 ± 1.2 cm などと表記する

教科書P6 図0.3はヒストグラムを細かくしたものに相当



宿題

1 速度の定義を述べなさい。

2 西向きに走る車と東向きに走る車の速度を区別したい時、どのように表せば良いか。数学的に表す方法について答えなさい。

宿題解答

1 以下の空欄に入る数値を答えなさい。答が4桁以上になる時はべき乗表記であらわしなさい。（べき乗表記の例: 3.0×10^5）

(1) 10000 m (= 10^4 m) = 10^5 dm = 10^2 hm = 10^3 deca m

(2) 100 kg = 10^5 g = 10^6 dg = 10^3 hg = 10^7 cg

(3) 50 MHz = 5×10^7 Hz = 5×10^{-2} GHz = 5×10^{-5} THz
= 5×10^{10} mHz = 5×10^9 cHz

宿題解答

2 50 cm × 20 cm × 10 cm の箱の体積をm³（立方メートル）の単位で表しなさい。導出の過程も書くこと。

注意点：式中の数値にも単位をつけること

50(cm)×20(cm)×10(cm) = 0.5(m)×0.2(m)×0.1(m)
= 0.01 m^3 = 10^{-2} m^3

単位だけかけ算すると: m×m×m = m^3 となる。体積の単位立法メートルを m^3 と表すのはこのため。

最後の単位が求められている単位になっているかどうか確認することで、計算間違い等を発見できる。

宿題

1 速度の定義を述べなさい。

2 西向きに走る車と東向きに走る車の速度を区別したい時、どのように表せば良いか。数学的に表す方法について答えなさい。

宿題解答

$\boxed{1}$ 速度の定義を答えなさい。

正解例）

単位時間あたりに進む距離(変位)

一定時間で進む距離(変位)

おしい例）

1秒あたりに進む距離(変位)

間違いではないが、定義としては不足している例）

距離(変位)と時間の比率

距離(変位)を時間で割ったもの

1章 運動

変位

皆さん、速度には正(+)の速度と負(−)の速度があるのをご存知ですか？

変位

速度が同じでも、西向きに走った場合と東向きに走った場合で、結果(たどりつく場所)が異なりますよね。これをどのように表したら良いでしょう？

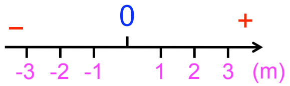
変位

変位（座標）を定義するための三要素

0点（原点）

正負の向き

単位(目盛)



(総)移動距離と変位の違い（教科書P13, 図1.12）

プールを泳ぐ人の変位のグラフ（教科書P13, 図1.13）

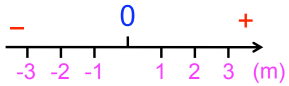
変位

変位（座標）を定義するための三要素

0点（原点）

正負の向き

単位(目盛)



グラフを描くときの必須要素と基本的に同じ！

0点（原点）

正負の向き

単位(目盛) → 軸ラベル（軸が表す物理量の種類）

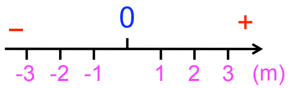
変位を用いた速度

変位（座標）を定義するための三要素

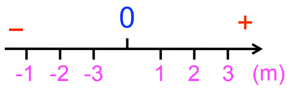
0点（原点）

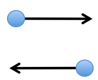
正負の向き

単位(目盛)



変位（座標）を使って速度を表すと、正の速度と負の速度



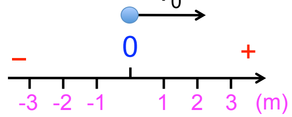


正の速度（正の方向への運動）

負の速度（負の方向への運動）

等速直線運動

一定速度 v_0

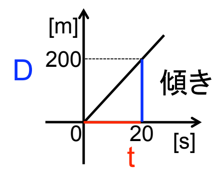


$$\frac{\text{変位}}{\text{移動時間}} = v_0\ (\text{一定値})$$

$$v_0 = \frac{D}{t} \Rightarrow D = v_0 \cdot t \quad （比例）$$

傾き

直線（比例）



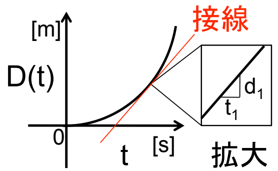
比例：縦軸との切片が0の一次関数

$$Y = aX + b$$

d-tプロット（変位-時間プロット）

等速運動でない運動

D-tプロット(変位-時間プロット)



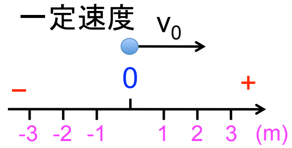
v(t)を時刻tでの速度(瞬間速度)とする

$v(t) = \frac{d_1}{t_1}$ = 接線の傾き

D(t)の時刻tでの微分と等しい

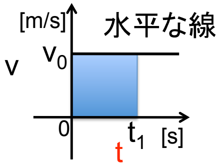
D(t): 時刻tでの変位

等速直線運動2



$\frac{\text{変位}}{\text{移動時間}} = v_0$ (一定値)

$v_0 = \frac{D}{t}$ ⇨ $D = v_0 \cdot t$ (比例)



$t = t_1$の時 $D = v_0 \cdot t_1$

移動距離(変位)Dは左のv-tプロットの

v_0 $\boxed{v_0 \cdot t_1}$ の面積と等しい

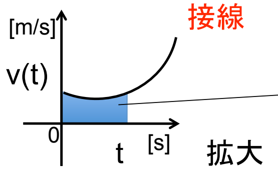
t_1

v-tプロット(速度-時間プロット)

移動距離Dを求めることは、D-tプロットの下の面積計算と等しい

等速運動でない運動

v-tプロット(速度-時間プロット)



変位(移動距離)は面積に等しい

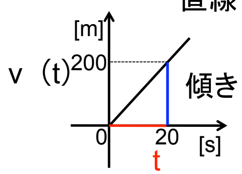
v(t)の積分と等しい

v(t): 時刻tでの速度(瞬間速度)

等加速度直線運動

v-tプロット(速度-時間プロット)

直線(比例)



傾き = a(加速度) ⇨ v (t) の微分に等しい

$$a(\text{加速度}) = \frac{\text{速度変化}}{\text{移動時間}} = \frac{200-0(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})}{20-0(\text{s})} = \frac{200(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})}{20(\text{s})}$$

$= 10\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

加速度は一般にaで表す。

宿題解答

1 時刻$t = 0$ s(秒)の時、A地点から5 m•s^{-1}の速度で西向きに走る自転車がある。A地点から自転車までの変位dと時刻tの関係をあらわすグラフを書きなさい。なお変位dは西向きを正の方向とする。導出過程も書くこと。

傾き = 5 ms^{-1}

d: A地点からの変位

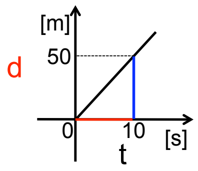
t=0(s)のとき自転車はA地点

これらからd-tプロットは原点を通る直線

よってd-tプロットは $d = at$（比例の式）

ここで傾きaは速度: $a = 5$ ms^{-1}

$d = 5t$



d-tプロット
（変位-時間プロット）

宿題解答

2 時刻$t = 0$ s(秒)の時、A地点から西に25 mの位置にいた自転車が東向きに5 m•s^{-1}の速度で走っている。A地点から自転車までの変位dと時刻tの関係をあらわすグラフを書きなさい。なお変位dは西向きを正の方向とする。導出過程も書くこと。

傾き = −5 ms^{-1}

t=0(s)のとき自転車は $d = 25$(m) (d切片)

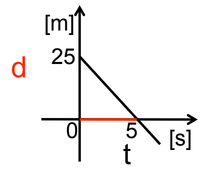
よってd-tプロットは $d = at + 25$（一次関数）

ここで傾きaは速度: $a = -5$ ms^{-1}

$d = -5t + 25$

t切片は $d = 0$ の時の t の値

$0 = -5t + 25$　　$5t = 25$　　$t = 5$



d-tプロット
（変位-時間プロット）

宿題解答

1 以下の空欄に入る数値を答えなさい。答が4桁以上になる時はべき乗表記であらわしなさい。
（べき乗表記の例: 3.0×10^5）

(1) $\underline{10000\ \text{m}\ (= 10^4\ \text{m})} = 10^5\ \text{dm} = \underbrace{10^2\ \text{hm}}_{\text{h} = 10^2} = 10^3\ \text{deca m}$

$10^2\ \text{hm} = 10^2 \times 10^2\ \text{m} = 10^4\ \text{m}$　（確かめ算）

$10^4\ \text{m} = 10^4 \times \underbrace{?\times 10^2}_{\times 1}\ \text{m} = \underline{10^4 \times 10^{-2}} \times 10^2\ \text{m}$

$= \underline{10^2} \times 10^2\ \text{m} = 10^2\ \text{hm}$

連絡事項

レポート用紙で提出（B5）。×ノート、△ルーズリーフ

氏名、学籍番号、クラスを<u>レポート用紙**上部**に記載</u>

正解のときは丸をつけておいて下さい。

解答後に後から自分で加筆する場合は色ペンで記載して下さい。後から鉛筆書きで加筆されると、どこまで理解できていたかが私に解りません（講義の重要参考データ）。

複数の方で一緒に解答を考えた場合は、共同解答者の氏名も書いておいてください。

Web情報等の他人の情報を利用して解答した場合は、情報源も書いておいてください。

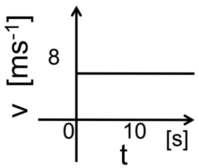
提出場所: 21号館7階0709号室前の「白いレターケース」

宿題

1 右のグラフのような運動をする自転車がある。この自転車の運動に関する以下の問いに答えなさい。全ての問題で導出過程を書くこと。なお変位dおよび速度vは西向きを正の方向とする。

(1) 時刻0秒の時と10秒の時の自転車の速度はいくらか。

(2) 時刻0秒から10秒の間に、自転車はどれだけ移動したか答えなさい。



v-tプロット
（速度-時間プロット）

宿題解答

1 右のグラフのような運動をする自転車がある。この自転車の運動に関する以下の問いに答えなさい。全ての問題で導出過程を書くこと。なお変位dおよび速度vは西向きを正の方向とする。

(1) 時刻0秒の時と10秒の時の自転車の速度はいくらか。

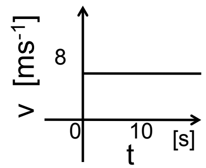
時刻に関わらず常に$v = 8\ \mathrm{ms^{-1}}$

正の速度は西向きの運動

0秒: 西向きに 8 $\mathrm{ms^{-1}}$

答 10秒: 西向きに 8 $\mathrm{ms^{-1}}$

傾き = 0 $\mathrm{ms^{-2}}$



v-tプロット
（速度-時間プロット）

注意点：速度はベクトル量なので方向の記載が必須

宿題解答

1 右のグラフのような運動をする自転車がある。この自転車の運動に関する以下の問いに答えなさい。全ての問題で導出過程を書くこと。なお変位dおよび速度vは西向きを正の方向とする。

(2) 時刻0秒から10秒の間に、自転車はどれだけ移動したか答えなさい。

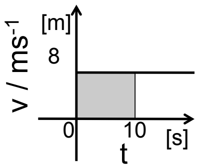
等速 ($v = 8\ \mathrm{ms^{-1}}$)で運動。よって、移動距離（変位）dは

$d = vt$ (灰色部位の面積と等しい)

$= 8\ (\mathrm{ms^{-1}}) \times 10\ (\mathrm{s}) = 80\ (\mathrm{m})$

答 時刻0秒の位置から西向きに 80 mすんだ位置

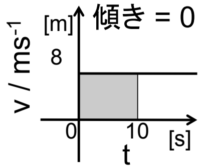
傾き = 0 $\mathrm{ms^{-2}}$



v-tプロット
（速度-時間プロット）

宿題解答

(3) A地点から自転車までの変位dと時刻tの関係をあらわすグラフを書きなさい。なお時刻 t = 0 sの時、自転車はA地点の東24 mの位置にいたものとする。



傾き = 0 $\mathrm{ms^{-2}}$

時刻 t = 0 s の時の自転車の変位 (d切片) は、$d = -24$ m

なお t = 0 s 時点の位置を基準とした位置の変化量 Δd は、

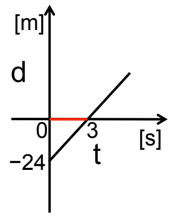
$\Delta d = vt$

これよりd-t関係式は、

$d = \Delta d - 24 = vt - 24$

$d = 8t - 24$

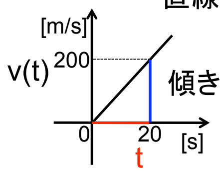
このd-t関係式は右図のようになる。



等加速度直線運動

v-tプロット（速度-時間プロット）

直線（比例）



傾き = a(加速度)

v(t)の微分に等しい

↓

v(t)自身がD(t)の微分

↓

a(加速度)はD(t)の二次微分

$$a(\text{加速度}) = \frac{\text{速度変化}}{\text{移動時間}} = \frac{200-0(\mathrm{m \cdot s^{-1}})}{20-0(\mathrm{s})} = \frac{200(\mathrm{m \cdot s^{-1}})}{20(\mathrm{s})}$$

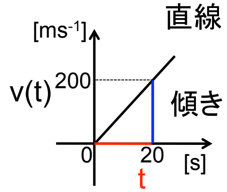
$= 10\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$　単位時間当たりの速度上昇率

加速度は一般にaで表す。

等加速度直線運動

v-tプロット（速度-時間プロット）

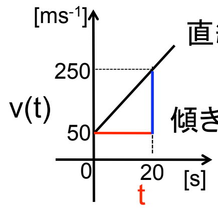
直線（比例）



傾き = a(加速度)

左のv-tプロットのように時刻0秒の初速度 $v_0 = 0\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$の時

$v(t) = at = 10(\mathrm{m \cdot s^{-2}})t(\mathrm{s}) = 10t$



直線（一次関数）

傾き = a(加速度)

左のv-tプロットのように時刻0秒の初速度 $v_0 = 50\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$の時

$v(t) = at + v_0$
$= 10(\mathrm{m \cdot s^{-2}})t(\mathrm{s}) + 50(\mathrm{m \cdot s^{-1}})$
$= 10t + 50$

重力加速度

（経験則）

物体が落下すると、速度を増しながら落ちていく
＝この物体は加速度を有している

この加速度を重力加速度 (g) という。

観測によれば、物体の落下速度は時間に比例する。
（厳密には一次関数の関係）

$v = gt$ (Eq. 1)　　一定の割合で速度が変化する
＝等加速度運動

落下距離 D は速度の積分なので $D = \frac{1}{2}gt^2$ (Eq. 2)

重力加速度：変位

速度→変位(移動距離)は積分（基本的に）

変位(移動距離) →速度は微分（常に正しい）

$v = D' = (\frac{1}{2}gt^2)' = (1/2)g(t^2)' = (1/2)g(2t) = (1/2)\cdot 2gt$

$= gt$

たしかに$v = gt$ (Eq. 1) に戻った。

$g = 9.8\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$ (定数!!!!!!!)

gが定数のため、$v = gt$ (Eq. 1) は等加速度運動。

等加速度運動

重力による運動 (g: 重力加速度)

速度(v) vs 時間(t): v-t 関係式　　$v = gt$ (Eq. 1)

変位(D) vs 時間(t): D-t 関係式　　$D = \frac{1}{2}gt^2$ (Eq. 2)

Eq. 1 は等加速度運動の v-t 関係式と同じ

一般の等加速度運動の加速度をaとすると等加速度運動では

速度(v) vs 時間(t): v-t 関係式　　$v = at$ (Eq. 3)

変位(D) vs 時間(t): D-t 関係式　　$D = \frac{1}{2}at^2$ (Eq. 4)

註：教科書では加速度をbとしているがあまり見ない表記なので、私の資料では加速度はaに統一します。

宿題解答

1 時刻t = 0 s(秒)の時、A地点を5 $m \cdot s^{-1}$の速度で西向きに通過した自転車がある。その後自転車が一定の割合で西向きの速度を増していき、10秒後に速度が15 $m \cdot s^{-1}$となった。この自転車の運動に関する以下の問いに答えなさい。なお距離d、速度vは西向きを正の方向とする。

(1) 自転車の加速度を求めなさい。導出過程も書くこと。

時刻t = 0 sの時の速度 = +5 $m \cdot s^{-1}$

時刻t = 10 sの時の速度 = +15 $m \cdot s^{-1}$

$$a(\text{加速度}) = \frac{\text{速度変化}}{\text{移動時間}} = \frac{15-5(m \cdot s^{-1})}{10-0(s)} = \frac{10(m \cdot s^{-1})}{10(s)} = 1\ m \cdot s^{-2}$$

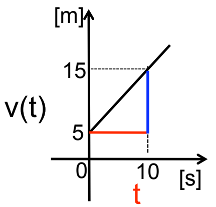
答:　西向きに 1 $m \cdot s^{-2}$

宿題解答

(2) 自転車の速度vと時刻tの関係をあらわすグラフを書きなさい。導出過程も書くこと。

時刻t = 0 sの時の速度 = +5 $m \cdot s^{-1}$

時刻t = 10 sの時の速度 = +15 $m \cdot s^{-1}$



この時、速度 v と時刻 t の関係式は以下のようになる。

$v = at + v_0$ (a: 加速度、v_0: 初速度(t=0の時の速度))

ここで $a = 1\ m \cdot s^{-2}$、$v_0 = 5\ m \cdot s^{-1}$を代入

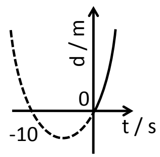
$v = t + 5$

宿題解答

(3) 自転車のA地点からの距離（変位）dと時刻tの関係をあらわすグラフを書きなさい。導出過程も書くこと。

この時、速度 v と時刻 t の関係式は以下の通り。

$v = t + 5$



変位は速度 v を積分したもの。

$d = \int v\,dt = \int(t + 5)dt = (1/2)t^2 + 5t + C$ （Cは定数）

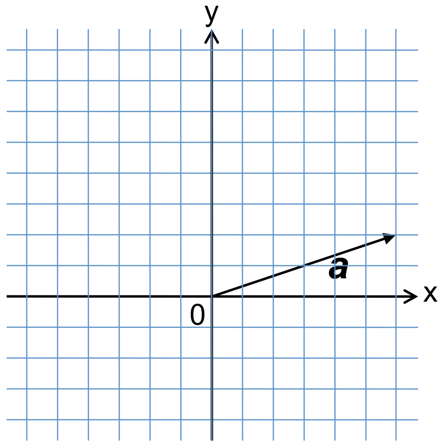
時刻 t = 0 の時、自転車はA地点（原点）にいたので d = 0

$0 = (1/2)\times(0)^2 + 5\times(0) + C$　　よって、C = 0

即ち、d-t 関係式は

$d = (1/2)t^2 + 5t$

変位と位置ベクトル



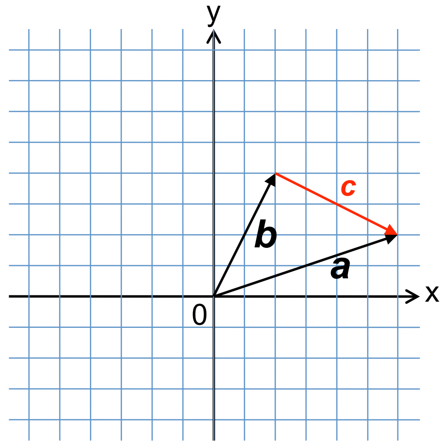
ベクトル ***a*** をどのように
表したら良いだろう？

座標を使ったら便利！

a = (6, 2)

物体の原点からの位置（座標）を利用して、
方向と位置を表す量（方向性を持つ量）

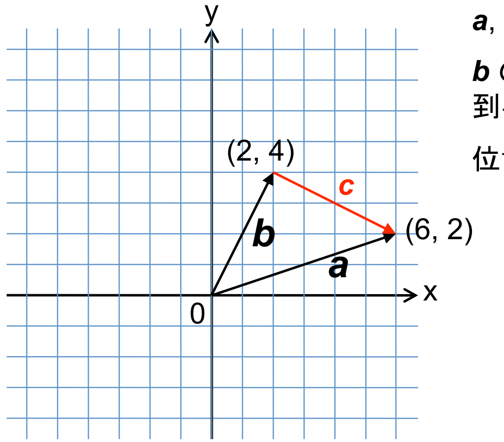
変位と位置ベクトル



a, ***b*** を位置ベクトルと定義

b の先端から ***a*** の先端に
到る位置ベクトル ***c*** は？

変位と位置ベクトル



a, ***b*** を位置ベクトルと定義

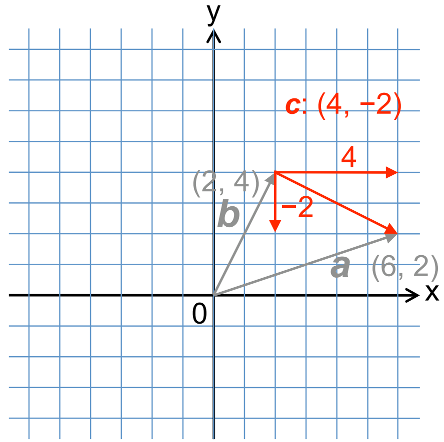
b の先端から ***a*** の先端に
到る位置ベクトル ***c*** は？

位置ベクトル
　= 原点からの座標

***a*:** (6, 2)

b: (2, 4)

変位と位置ベクトル



a, ***b*** を位置ベクトルと定義

位置ベクトル
　= 原点からの座標

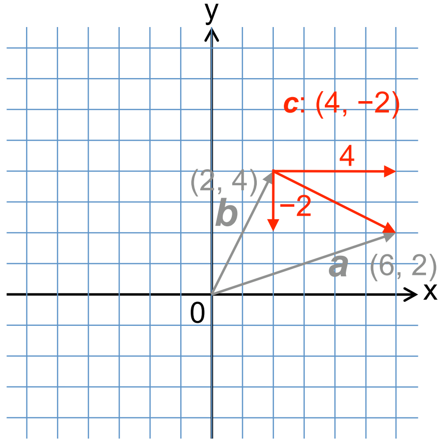
***a*:** (6, 2)

b: (2, 4)

a の先端から ***b*** の先端に
到る位置ベクトル ***c*** は？
= ベクトル ***a*** の座標を起点
とし、ベクトル ***b*** の座標を
終点とする位置ベクトル

c: (4, −2)

変位と位置ベクトル



a, ***b*** を位置ベクトルと定義

位置ベクトル ***c***
　　　= 座標の引き算
　　　= (座標の)変位

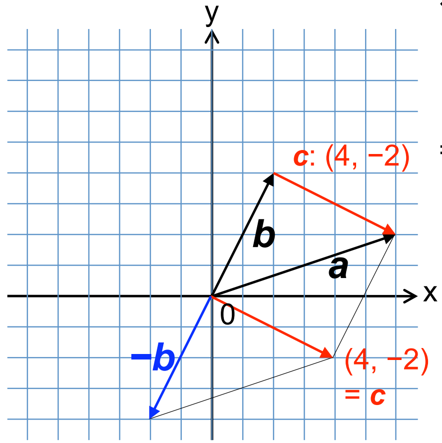
a:	(6,	2)
−)　***b***:	(2,	4)
c:	(4,	−2)

即ち

$\boldsymbol{c} = \boldsymbol{a} - \boldsymbol{b}$

ベクトルは足し算だけでなく
引き算も可能！

変位と位置ベクトル



ベクトル合成を図で求めると

$\boldsymbol{c} = \boldsymbol{a} + (-\boldsymbol{b})$
$= \boldsymbol{a} - \boldsymbol{b}$ (eq.1)

= (座標の)変位の引き算

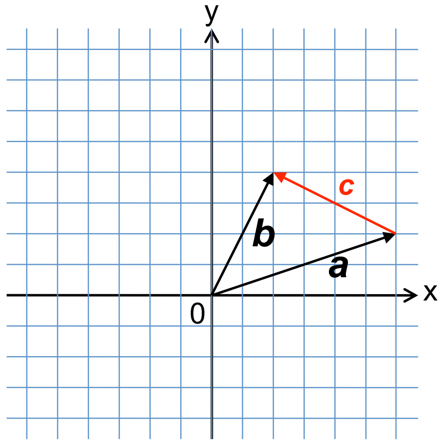
a:	(6,	2)
−)　***b***:	(2,	4)
c:	(4,	−2)

◯ eq. 1 ($\boldsymbol{c} = \boldsymbol{a} - \boldsymbol{b}$) より

$\boldsymbol{c} = \boldsymbol{a} - \boldsymbol{b}$
$\boldsymbol{c} + \boldsymbol{b} = \boldsymbol{a}$

ベクトルは移項も可能！

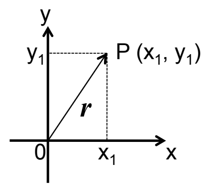
変位と位置ベクトル



a, ***b*** を位置ベクトルと定義

a の先端から ***b*** の先端に
到る位置ベクトル ***c*** は？

位置ベクトル



高校物理ではベクトルは $\vec{r}$ のように→をつけて表したが、専門的物理では太字で表す場合がある。例) $\boldsymbol{r}$

位置ベクトルの定義:

物体の原点からの位置(座標)を利用して、
方向と位置を表す量(方向性を持つ量)

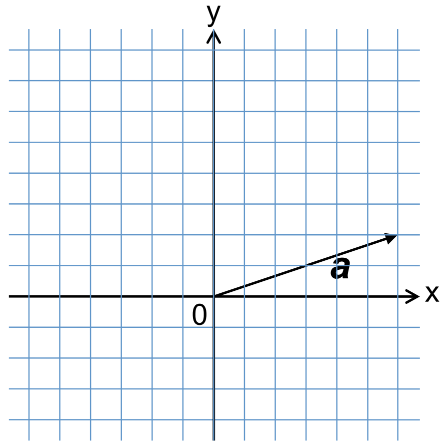
$\boldsymbol{r} = (x_1, y_1)$

位置ベクトルの長さ: $|\boldsymbol{r}| = \{(x_1)^2 + (y_1)^2\}^{(1/2)}$

三平方の定理から誘導

2章 力と運動

変位と位置ベクトル



ベクトル ***a*** をどのように
表したら良いだろう？

座標を使ったら便利！

a = (6, 2)

物体の原点からの位置（座標）を利用して、
方向と位置を表す量（方向性を持つ量）

ニュートンの運動の3法則

運動の第一法則

外力を受けない時 → 運動の状態は変化しない
外力の和が0を含む

静止している物 → 静止状態のまま

動いている物 → 等速直線運動
（当初速度を維持して運動し続ける）

ニュートンの運動の3法則

運動の第二法則

$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$　ニュートンの運動方程式

F: 力（物体に作用する外力）（ベクトル量）

m: 物体の質量（スカラー量）

a: 加速度（ベクトル量）

連絡事項

全員 ： 早期体験学習の開始予定

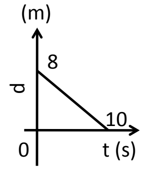
早期体験学習の最初の講義（オリエンテーション）

日時: 4/24 (月) 3, 4 限目
場所: 24 号館 201 教室

宿題（締切：4/18）

A地点を原点として自転車の運動を表したグラフを示す。

(1) グラフから読み取れる自転車の運動について、それぞれ言葉で説明しなさい。なお距離d、速度vは西向きを正の方向とする。



(2) グラフについて時刻 t = 5 s の時の速度はいくらか。計算過程も書くこと。

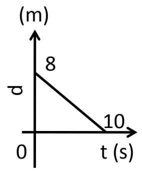
宿題解答

A地点を原点として自転車の運動を表したグラフを示す。

(1)各グラフから読み取れる自転車の運動について、それぞれ言葉で説明しなさい。なお距離d、速度vは西向きを正の方向とする。

(a)について:

時刻 t = 0 s の時、自転車はA地点から西に8 mの位置にいて、その後、一定のスピードで東に進んで t = 10 s の時、A地点に到達した。



ポイント:

グラフの縦軸: d (変位)
グラフの横軸: t (時刻)　　時刻と変位の関係を示すグラフ

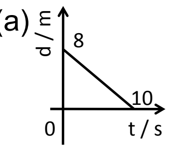
グラフの傾き → 時間あたりの変位(距離)の変化 → 速度

傾きが一定 → 等速直線運動

宿題解答

A地点を原点として自転車の運動を表したグラフを示す。

(2) 両グラフについて時刻 t = 5 s の時の速度はいくらか。計算過程も書くこと。



(a) 速度 = グラフの傾き(一定) 等速直線運動

どこの傾きをから速度を求めても同じ結果(速度)

速度 = 変位／時間 = (0(m) - 8(m))/(10(s) - 0(s)) = (-8(m))/10(s)
= <u>$-0.8(ms^{-1})$</u>　　<u>答　東向きに 0.8 ms^{-1}</u>

ニュートンの運動の3法則

運動の第二法則

F = *m**a***　　ニュートンの運動方程式

F: 力（物体に作用する外力）（ベクトル量）

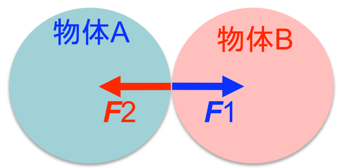
m: 物体の質量（スカラー量）

a: 加速度（ベクトル量）

ニュートンの運動の3法則

運動の第三法則

作用反作用の法則



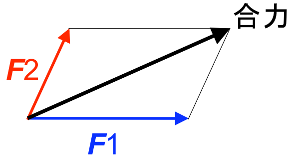
F1:物体Aが物体Bに及ぼす力（作用）

F2:物体Bが物体Aに及ぼす力（反作用）

|***F***1| = |***F***2|（力の大きさ（絶対値）が等しい）

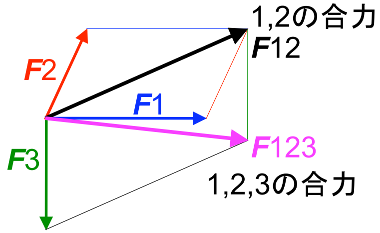
F1 と ***F***2 の向きが反対

力の合成



平行四辺形をかいて

力のベクトルの起点から対角線を書く



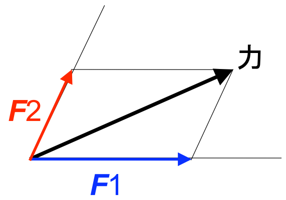
3つ以上の力の合力

2つの力の合力を求める

その合力とその他の力の合力を求める

残りの力の数分この作業を行う

力の分解



力を分解したい方向に直線を描く

元の力が対角線になるように直線を描いて平行四辺形をつくる

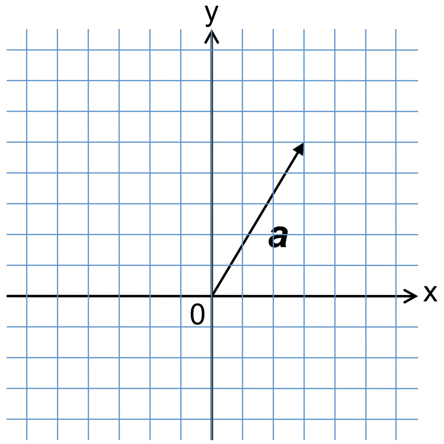
平行四辺形の各辺のうち元の力の起点を通る辺が分解された力のベクトル

一般に、物体が移動する方向や、物体が置かれている面に対して垂直な方向に力を分解することが多い。

（このように力を分解したほうが便利なことが多いため）

力を分解する方向は任意にとれるため、分解の方法は一つではない

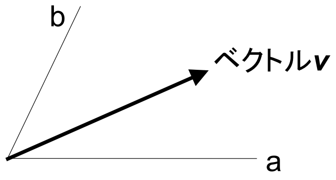
ベクトルの分解



ベクトル ***a*** を、x軸とy軸に沿ったベクトルに分解しなさい。

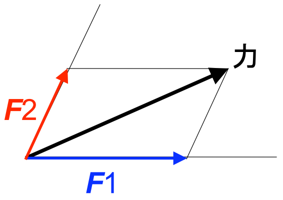
力の分解

ベクトル***v***を、a軸、b軸にそって分解しなさい。

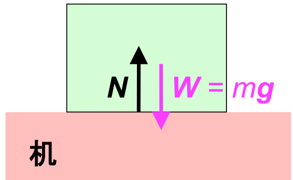


力の分解

ベクトル***v***を、a軸、b軸にそって分解しなさい。



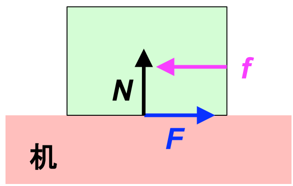
垂直抗力・摩擦力



W：質量mの物体に働く重力

N：机が物体を押し返す**垂直抗力**

W = −***N*** （運動の第三法則より）



f：物体を押す外力

F：机と荷物の摩擦力

F = μ***N*** μ：(静止)摩擦係数

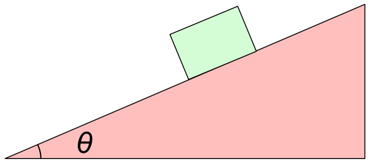
静止時 ***f*** = −***F*** （運動の第三法則より）

物体が止まっている時、μ：静止摩擦係数

物体が動いている時、μ'：動摩擦係数

斜面での垂直抗力・摩擦力

質量m(kg)の物体に働く力には、どのようなものがあるでしょうか？
全て図に書き入れてください。



斜面での垂直抗力・摩擦力

W : 質量mの物体に働く重力

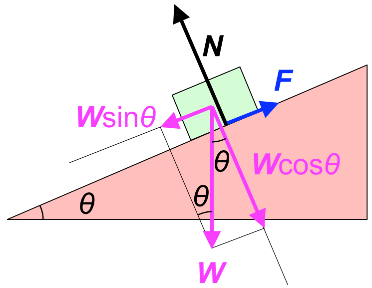
N : 斜面が物体を押し返す**垂直抗力**

F : 机と荷物の摩擦力

物体が静止している場合、
運動の第三法則より

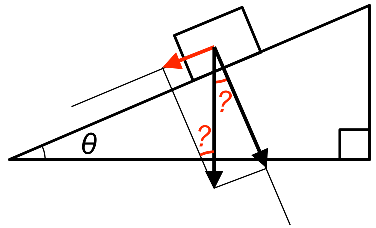
$N = -W\cos\theta$

$F = -W\sin\theta$



宿題

分力：直角三角形の各角度の求め方

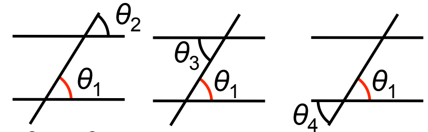


分力: 斜面に平行に下る方向の力 = mg•sinθ となることを証明しなさい。

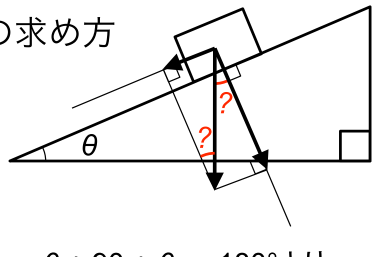
伝達事項

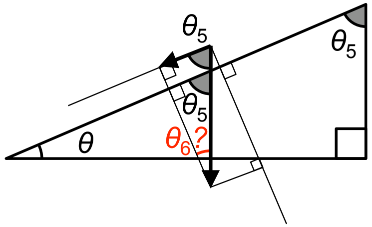
分力：直角三角形の各角度の求め方

基本原理



$\theta_1 = \theta_2$　$\theta_1 = \theta_3$　$\theta_1 = \theta_4$





$\theta + 90 + \theta_5 = 180°$より

$\theta = \boxed{90 - \theta_5}$　Eq. 1

$\theta_6 + 90 + \theta_5 = 180°$より

$\theta_6 = \boxed{90 - \theta_5}$　Eq. 2

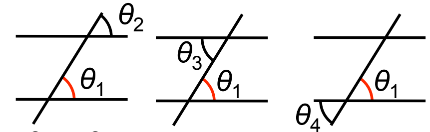
Eq. 1、Eq. 2より

$\theta_6 = \theta$

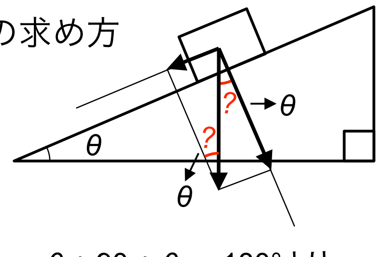
伝達事項

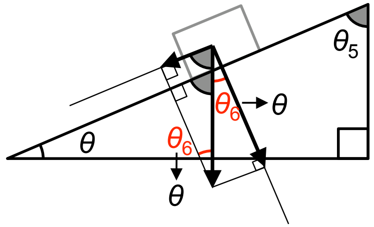
分力：直角三角形の各角度の求め方

基本原理



$\theta_1 = \theta_2$　$\theta_1 = \theta_3$　$\theta_1 = \theta_4$





$\theta + 90 + \theta_5 = 180°$より

$\theta = 90 - \theta_5$　Eq. 1

$\theta_6 + 90 + \theta_5 = 180°$より

$\theta_6 = 90 - \theta_5$　Eq. 2

Eq. 1、Eq. 2より

$\theta_6 = \theta$

伝達事項

分力: 斜面に平行に下る方向の力 = mg•sinθ の理由？

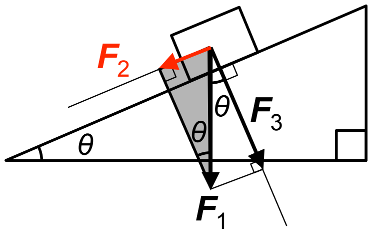
m: 物体の質量

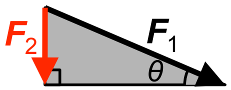
g: 重力加速度

物体にかかる重力$F_1 = mg$

F_2: 斜面に平行に下る力

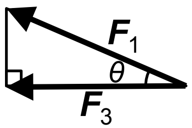
F_3: 斜面を垂直に押す力





$\sin\theta = F_2/F_1$

$F_2 = F_1\sin\theta = mg$•$\sin\theta$



$\cos\theta = F_3/F_1$

$F_3 = F_1\cos\theta = mg$•$\cos\theta$

重力加速度

（経験則）

物体が落下すると、速度を増しながら落ちていく
＝この物体は加速度を有している

この加速度を重力加速度という。

なぜだろう？

地球には重力があり、物体を引っ張り続けている。

引っ張る＝力が働き続けている。

重力加速度

逆に重力がなくなったら、物体はどうなるだろう？

引っ張り(外力＝加速の原因)がなくなることに相当。

物体は落下することもなく、その場に居続けると考えられる。ただし、地球の重力を切ることはできないので、それを見ることはできないのだが、、、、、

重力加速度

（経験則）

物体が落下すると、速度を増しながら落ちていく
＝この物体は加速度を有している
この加速度を重力加速度 (g) という。

観測によれば、物体の落下速度は時間に比例する。
（厳密には一次関数の関係）

$v = gt$ (Eq. 1)　一定の割合で速度が変化する
＝等加速度運動

落下距離 D は速度の積分なので $D = \frac{1}{2}gt^2$ (Eq. 2)

重力加速度：変位

速度→変位(移動距離)は積分（基本的に）
変位(移動距離) →速度は微分（常に正しい）

$$v = D' = \left(\frac{1}{2}gt^2\right)' = (1/2)g(t^2)' = (1/2)g(2t) = (1/2)\cdot 2gt$$
$$= gt$$

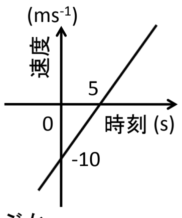
たしかに$v = gt$ (Eq. 1) に戻った。

$g = 9.8\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$ (定数!!!!!!!)

gが定数のため、$v = gt$ (Eq. 1) は等加速度運動。

解答

1 グラフのような運動をしている自転車に関する以下の問いに答えなさい。なお距離、速度は西向きを正の方向とし、グラフは直線である。



(1) 時刻0秒と5秒の時の自転車の速度はいくらか

答 0秒: 東向きに10 $\mathrm{ms^{-1}}$ 5秒: 0 $\mathrm{ms^{-1}}$

(2) 速度と時刻がグラフのような関係になる運動を何運動と呼ぶか

答 0秒: 等加速度運動

傾き一定 = 速度の変化率（加速度：単位時間あたりの速度の変化率）が一定

(3) 速度をv、時刻をtで表した時、vとtの関係式を求めなさい

傾き(一定) = {0-(-10)}/(5-0) = 10/5 = 2　切片(縦軸) = -10

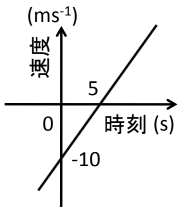
一次関数：(縦軸) = 傾き×(横軸) + 切片(縦軸)

$$v = 2t + (-10)$$
$$= 2t - 10$$

答 $v = 2t - 10$

解答

1 グラフのような運動をしている自転車に関する以下の問いに答えなさい。なお距離、速度は西向きを正の方向とし、グラフは直線である。



(4) 自転車は時刻0秒の時にA地点にいた。自転車のA地点からの変位をd、時刻をtで表した時、dとtの関係式を求めなさい。併せて、そのグラフを書きなさい。

速度 $\underset{微分}{\overset{積分}{\rightleftarrows}}$ 変位

$d = \int v\,dt = \int(2t-10)dt = 2\times(1/2)t^2-10t+C = t^2-10t+C$

$d = t^2-10t+C$　Cは定数

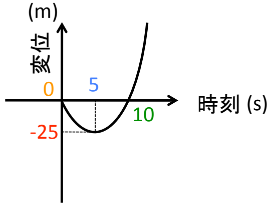
時刻t=0の時、A地点にいた→d=0: よって、t=0, d=0を代入すると

$0 = 0^2-10\times0+C$　　よって、C = 0

$d = t^2-10t = (t-5)^2-25$

横軸切片はd=0の時のtの値

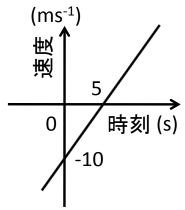
$0 = t^2-10t$　　$0 = t(t-10)$　よって、t = 0 or 10



答 $d = t^2-10t$

解答

1 グラフのような運動をしている自転車に関する以下の問いに答えなさい。なお距離、速度は西向きを正の方向とし、グラフは直線である。



(4) 自転車は時刻0秒の時にA地点にいた。自転車のA地点からの変位をd、時刻をtで表した時、dとtの関係式を求めなさい。併せて、そのグラフを書きなさい。

速度 $\underset{微分}{\overset{積分}{\rightleftarrows}}$ 変位

$d = \int v\,dt = \int(2t-10)dt = 2\times(1/2)t^2-10t+C = t^2-10t+C$

$d = t^2-10t+C$　Cは定数

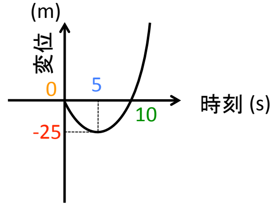
時刻t=0の時、A地点にいた→d=0: よって、t=0, d=0を代入すると

$0 = 0^2-10\times0+C$　　よって、C = 0

$d = t^2-10t = (t-5)^2-25$

横軸切片はd=0の時のtの値

$0 = t^2-10t$　　$0 = t(t-10)$　よって、t = 0 or 10



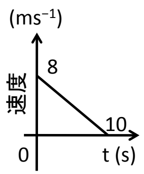
答 $d = t^2-10t$

宿題解答

A地点を原点として自転車の運動を表したグラフを示す。

(1) グラフから読み取れる自転車の運動について、言葉で説明しなさい。なお距離d、速度vは西向きを正の方向とする。

(2) グラフについて時刻 t = 5 s の時の速度はいくらか。計算過程も書くこと。



(3) グラフについて時刻 t = 5 s の時の加速度はいくらか。計算過程も書くこと。

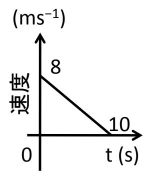
(4) グラフについて時刻 t = 5 s の時の変位はいくらか。計算過程も書くこと。

宿題解答

A地点を原点として自転車の運動を表したグラフを示す。

(1) グラフから読み取れる自転車の運動について、言葉で説明しなさい。なお距離d、速度vは西向きを正の方向とする。

時刻 t = 0 s の時、自転車は西向きに 8 ms^{-1} の速度で進んでいて、その後、一定の割合で減速し t = 10 s の時、速度が 0 ms^{-1} となった。



ポイント:

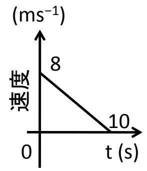
グラフの縦軸: v (速度)
グラフの横軸: t (時刻)　　時刻と速度の関係を示すグラフ

グラフの傾き → 時間あたりの速度の変化 → 加速度

宿題解答

A地点を原点として自転車の運動を表したグラフを示す。

(2) グラフについて時刻 $t = 5$ s の時の速度はいくらか。計算過程も書くこと。



(b) 速度 = 縦軸の読み値(グラフのv座標)

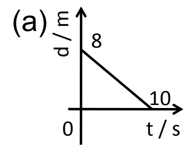
t	v	
		傾き = $-0.8(\mathrm{ms^{-2}})$　v切片 = $8(\mathrm{ms^{-1}})$
0(s)	$8(\mathrm{ms^{-1}})$	$v = -0.8t + 8$
10(s)	$0(\mathrm{ms^{-1}})$	$v(t=5) = -0.8\times5 + 8 = 4(\mathrm{ms^{-1}})$

答　西向きに 4 $\mathrm{ms^{-1}}$

宿題解答

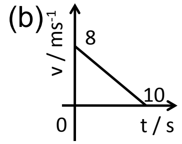
A地点を原点として自転車の運動を表したグラフを示す。

(3) 両グラフについて時刻 $t = 5$ s の時の加速度はいくらか。計算過程も書くこと。



(a) 速度 = グラフの傾き(一定)

等速直線運動 ⟶ 加速度 = 0　　答　0 $\mathrm{ms^{-2}}$



(b) 速度 = 縦軸の読み値(グラフのv座標)

t	v
10(s)	$0(\mathrm{ms^{-1}})$
−) 0(s)	$8(\mathrm{ms^{-1}})$
10(s)	$-8(\mathrm{ms^{-1}})$

傾き

$= (0(\mathrm{ms^{-1}}) - 8(\mathrm{ms^{-1}}))/(10(\mathrm{s}) - 0(\mathrm{s}))$

$= (-8(\mathrm{m}))/10(\mathrm{s}) = -0.8(\mathrm{ms^{-2}})$

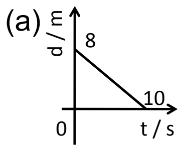
答　西向きの加速度を正にとって-0.8 $\mathrm{ms^{-2}}$

= 西向きの速度が0.8($\mathrm{ms^{-2}}$)の割合で減速

宿題解答

A地点を原点として自転車の運動を表したグラフを示す。

(4) 両グラフについて時刻 $t = 5$ s の時の変位はいくらか。計算過程も書くこと。

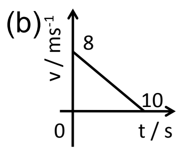


(a) 変位 = グラフ縦軸の読み値　　$d = -0.8t + 8$

$d(t=5) = -0.8\times5 + 8 = 4(\mathrm{m})$

答 A地点の西 4 mの位置

(b) 変位の変化量 = v-tプロットの時刻0(s)から5(s)までの積分値



$v = -0.8t + 8$

$\int v dt = \int(-0.8t + 8)dt = [-0.4t^2 + 8t]_0^5$

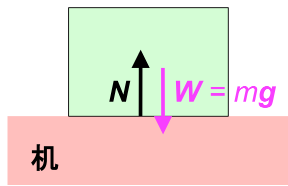
$= (-0.4\times5^2 + 8\times5) - (-0.4\times0^2 + 8\times0)$

$= (-10 + 40) - 0 = 30$

答 t=0sの位置から西 30 mの位置

演習問題解答

質量2 kgの箱が机の上にある。箱の体積は500 $\mathrm{cm^3}$、重力加速度は9.8 $\mathrm{ms^{-2}}$とする。



(1) 箱にかかる重力はいくらか。

重力(N) = 質量(kg)×重力加速度($\mathrm{ms^{-2}}$)

$= 2(\mathrm{kg})\times9.8(\mathrm{ms^{-2}}) = 19.6\ (\mathrm{kgms^{-2}}) = 19.6\ (\mathrm{N})$

答 鉛直下向きに19.6 N

(2) 机が箱を押す力はいくらか。

机が箱を押す力(N) = 垂直抗力(N) = −箱に働く重力(N) = −19.6(N)

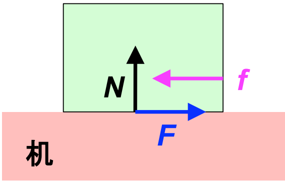
(運動の第三法則より)

答 鉛直上向きに19.6 N

演習問題解答

質量2 kgの箱が机の上にある。箱の体積は500 cm^3、重力加速度は9.8 ms^{-2}とする。

(3) 机と箱の間の摩擦力はいくらか。静止摩擦係数0.5とし、左向きに押されている。



摩擦力(N) = 静止摩擦係数×垂直抗力(N) = 0.5×|−19.6(N)| = 9.8(N)

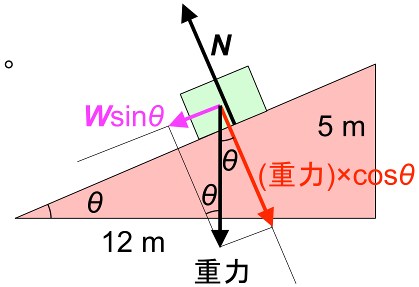
摩擦力は押されている向きと逆方向に働くので、摩擦力は右向き

<u>答 右向きに9.8 N</u>

演習問題解答

質量26 kgの箱が右図の斜面に静止していた時、下記の力を計算しなさい。ただし、重力加速度を***g***とする。

(1) 箱に働く重力はいくらか。



重力(N) = 質量(kg)×重力加速度(ms^{-2}) = 26(kg)×***g***(ms^{-2}) = 26***g*** (N)

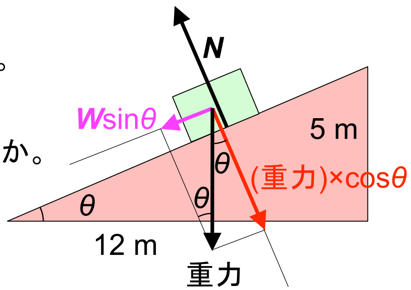
重力は常に鉛直下向きに働く

<u>答 鉛直下向きに 26***g*** N</u>

演習問題解答

質量26 kgの箱が右図の斜面に静止していた時、下記の力を計算しなさい。ただし、重力加速度を***g***とする。

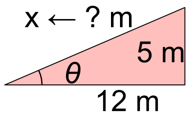
(2) 斜面が箱を押す垂直抗力はいくらか。



垂直抗力

= −(箱が斜面に垂直に押す力(N))

= −{(重力(N)) × $\boxed{\cos\theta}$} これが不明



三平方の定理から $x^2 = 12^2 + 5^2$ $x = \sqrt{169} = 13$

$\cos\theta$ = (底辺)/(斜辺) = 12/13

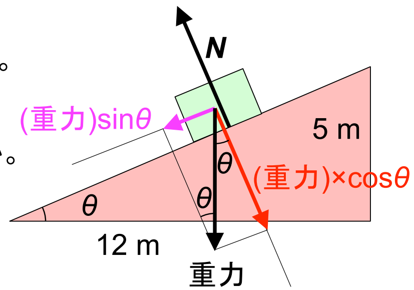
垂直抗力 = −{26***g***(N)×cos*θ*} = −26***g***(N)×(12/13) = −24***g***(N)

<u>答 斜面に垂直で上向きに 24***g*** N</u>

演習問題解答

質量26 kgの箱が右図の斜面に静止していた時、下記の力を計算しなさい。ただし、重力加速度を***g***とする。

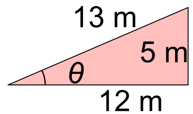
(3) 斜面に平行な方向の力はいくらか。



斜面に平行な方向の力

= {(重力(N)) × sin*θ* }

$\sin\theta$ = (対辺)/(斜辺) = 5/13



斜面に平行な方向の力 = {26***g***(N)×sin*θ*}

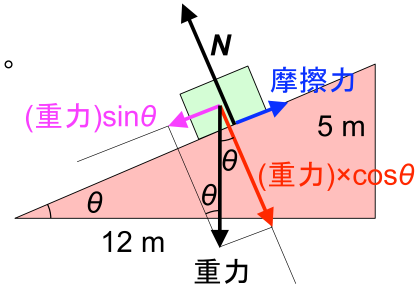
= 26***g***(N)×(5/13) = 10***g***(N)

<u>答 斜面に平行に下る向きに 10***g*** N</u>

演習問題解答

質量26 kgの箱が右図の斜面に静止していた時、下記の力を計算しなさい。ただし、重力加速度を***g***とする。

(4) 斜面と箱の摩擦力はいくらか。静止摩擦係数が0.5、動摩擦係数が0.4とする。



摩擦力 = −(斜面に平行に下る力)

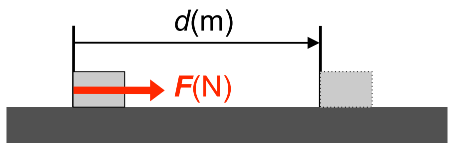
= −(10***g***(N)) = −10***g***(N)

<u>答 斜面に平行に上る向きに 10***g*** N</u>

3章 仕事とエネルギー

仕事（定義）

摩擦力に逆らって床の上の物体を力***F*** (N)で距離*d* (m)移動するのに必要な仕事量***W*** (J) は、以下のように定義される。

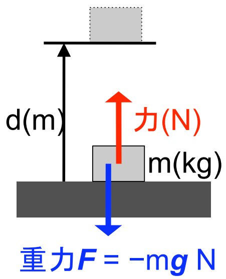


仕事 (J) = 力(N)×距離(m) = ***F***(N)•*d*(m)

= ***F***×*d*(N•m) = ***F****d* (J)

仕事　***W*** = ***F****d* (J)

仕事（定義）



ゆっくりと床の上の質量 m kg の物体を距離 d m 持ち上げるのに必要な仕事量 ***W*** を求める。重力加速度は ***g*** (m•s^{-2})とする。

仕事 (J) = 力(N)×距離(m)

ここで力(N)とは、重力に逆らって持ち上げる力

|重力に逆らって持ち上げる力(N)| = |(重力(N))|

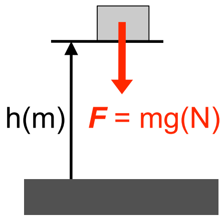
重力(N) = (質量(kg))×(重力加速度(m•s^{-2}))

仕事 (J) = 重力に逆らって持ち上げる力(N)×距離(m)

= (質量(kg))×(重力加速度(m•s^{-2}))×距離(m)

W (J) = m(kg)***g***(m•s^{-2})h(m) = m***g***h (kg•m^2•s^{-2}) = m***g***h (J)

位置エネルギー（重力ポテンシャル エネルギー）



床の上の h(m)の位置にある m(kg)の物体が持つ重力ポテンシャルエネルギー ***U***(J)を求める。重力加速度は ***g*** のままとする。

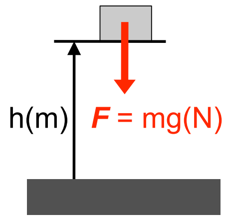
重力ポテンシャル エネルギー***U***(J)
= (質量(kg))×(重力加速度($m•s^{-2}$))×高さ(m)

U = m(kg)***g***($m•s^{-2}$)h(m) = m***g***h ($kg•m^2•s^{-2}$)
= mgh (J)

組み立て単位が仕事と同じ

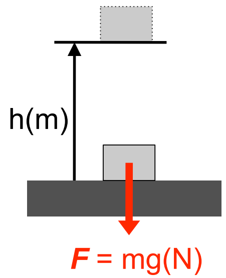
単位は「J」となる

位置エネルギー（重力ポテンシャル エネルギー）



床の上の h(m)の位置にある m(kg)の物体が持つ位置エネルギー ***U***(J)を求める。重力加速度は ***g*** のままとする。

U = m(kg)***g***($m•s^{-2}$)h(m) = m***g***h ($kg•m^2•s^{-2}$)
= mgh (J)



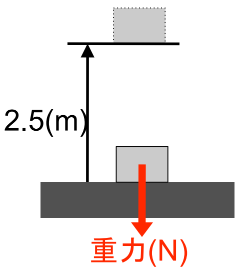
位置エネルギー ***U*** J は、床の上の m kg の物体を h m 持ち上げるのに必要な仕事量 ***W*** と等しい。

W = m(kg)***g***($m•s^{-2}$)h(m) = m***g***h (J)

U(J) = ***W***(J)

即ち、物体は仕事量***W*** (J)を受け取って、位置エネルギー***U*** (J)を得たと考えられる。

＝＝＝演習問題解答＝＝＝



床の上に置いてある質量2 kgの箱を高さ2.5 mの棚の上に上げた。箱の静止摩擦係数を0.5、重力加速度は9.8 ms^{-2}とする。

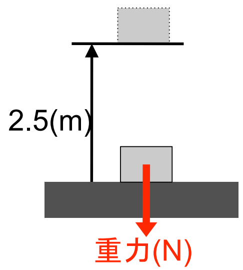
(1) 箱に対してなされた仕事はいくらか。

重力(N) = 質量(kg)×重力加速度($m•s^{-2}$)
= 2(kg)×9.8($m•s^{-2}$) = 19.6(N)

仕事(J) = 力(N)×距離(m) = 重力(N)×距離(m)
= 19.6(N)×2.5(m) = 49(J)

<u>答 49 J</u>

＝＝＝演習問題解答＝＝＝



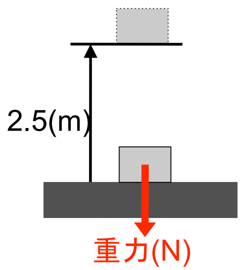
床の上に置いてある質量2 kgの箱を高さ2.5 mの棚の上に上げた。箱の静止摩擦係数を0.5、重力加速度は9.8 ms^{-2}とする。

(2) 棚の上の箱の床面に対する重力ポテンシャルエネルギーはいくらか。

重力ポテンシャルエネルギー(J) =質量(kg)×重力加速度($m•s^{-2}$)×距離(m)
= 2(kg)×9.8($m•s^{-2}$)×2.5(m) = 49(J)

<u>答 49 J</u>

＝＝＝演習問題解答＝＝＝



床の上に置いてある質量2 kgの箱を高さ2.5 mの棚の上に上げた。箱の静止摩擦係数を0.5、重力加速度は9.8 ms^{-2}とする。

(3) 箱を持って横に10 m移動した。箱に対してなされた仕事はいくらか。

移動方向の力は0(N)なので

仕事(J) = 力(N)×距離(m) = 0(N)×2.5(m) = 0(J)

答 0 J

＝＝＝演習問題解答＝＝＝

質量100 gのボールが10 ms^{-1}の速度で床の上を右向きに転がっている。このボールの運動エネルギーを求めなさい。全ての問題で計算過程を書くこと

運動エネルギー
= (1/2)質量(kg)(速度($m{\bullet}s^{-1}$))^2
= $(1/2)\times 0.1(kg)\times(10(m{\bullet}s^{-1}))^2$
= $(1/2)\times 0.1(kg)\times 100(m^2{\bullet}s^{-2})$
= $(1/2)\times 10(kg{\bullet}m^2{\bullet}s^{-2})$
= $5(kg{\bullet}m^2{\bullet}s^{-2}) = 5(J)$

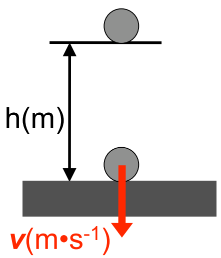
答 右向きに5 J

重力ポテンシャル エネルギー ⇔ 運動エネルギー

宇宙空間を、速度 $\boldsymbol{v}$ (m/s) で進む質量 m kg の球がある。
この球がもつ運動エネルギー $\boldsymbol{K}$ (J)を求める。重力加速度は $\boldsymbol{g}$ とする。

$\boldsymbol{K} = (1/2)m(kg)\boldsymbol{v}^2\,(m{\bullet}s^{-1})^2$
$= (1/2)m\boldsymbol{v}^2\,(kg{\bullet}m^2{\bullet}s^{-2}) = (1/2)m\boldsymbol{v}^2$ (J)

$\boldsymbol{K}$(J) = $(1/2)m\boldsymbol{v}^2$ (J)



床面から h(m) の高さにある物体の位置エネルギー $\boldsymbol{U}$ J は $\boldsymbol{U}$ = mgh(J)。

この物体を自由落下させると速度を増しながら落下する (等加速度運動)。

位置エネルギーが運動エネルギーに変換された。

重力ポテンシャル エネルギー ⇔ 運動エネルギー

宇宙空間を、速度 $\boldsymbol{v}$ (m/s) で進む質量 m kg の球がある。
この球がもつ運動エネルギー $\boldsymbol{K}$ (J)を求める。重力加速度は $\boldsymbol{g}$ とする。

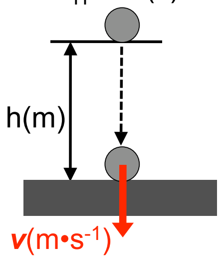
運動エネルギー$\boldsymbol{K}$ (J) = (1/2)×(質量(kg))×(速度($m{\bullet}s^{-1}$))^2

$\boldsymbol{K} = (1/2)m(kg)\boldsymbol{v}^2\,(m{\bullet}s^{-1})^2$
$= (1/2)m\boldsymbol{v}^2\,(kg{\bullet}m^2{\bullet}s^{-2}) = (1/2)m\boldsymbol{v}^2$ (J)

$\boldsymbol{K}$(J) = $(1/2)m\boldsymbol{v}^2$ (J)

力学的エネルギー保存則

U_H = mgh(J)
K_H = 0 (J)



U_L = 0 (J)
K_L = (1/2)mv^2(J)

床面から h(m) の高さにある物体の位置エネルギー ***U*** J は ***U*** = mgh(J)。

この物体を自由落下させると速度を増しながら落下する (等加速度運動)。

位置エネルギー ***U*** が運動エネルギー ***K*** に変換された。***U*** と ***K*** は互いに交換可能

即ち、 $U_H = K_L$

mgh(J) = (1/2)mv^2(J)

全エネルギー ***E*** は

$E = U_H + K_H = U_L + K_L =$ 一定

(力学的エネルギー保存則)

運動エネルギー ⇔ 仕事

外力を加えて初速度 v_0 (m/s) を速度 v_1 (m/s) に変化させた時
速度変化は外力による仕事 ***W*** によってもたらされたと考える。

$K_0 = (1/2)mv_0^2$　$K_1 = (1/2)mv_1^2$

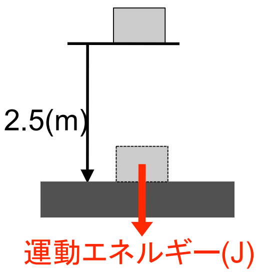
$$\boxed{K_1 - K_0 = W}$$

速度変化 $v_0 \rightarrow v_1$ (m/s) による運動エネルギー変化 $K_1 - K_0$ は外力による仕事 ***W*** に等しい。

$K_1 > K_0$ の時　$W > 0$ (仕事***W***により運動エネルギー ***K***↑)

$K_1 < K_0$ の時　$W < 0$ (始状態→終状態で ***K***↓)
(運動エネルギーから仕事***W***を取り出した)

＝＝＝演習問題解答＝＝＝



床の上に置いてある質量2 kgの箱を高さ2.5 mの棚の上に上げた。箱の静止摩擦係数を0.5、重力加速度は9.8 ms^{-2}とする。

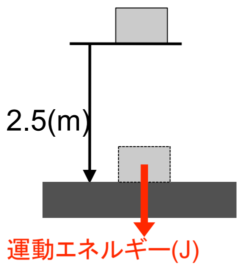
(4) 机の上から箱を床に落とした。床に落ちる直前の箱の運動エネルギーはいくらか。

床に落ちた後は重力ポテンシャルエネルギーは0(J)なので、重力ポテンシャルエネルギーが全て運動エネルギーに変換される

|運動エネルギー(J)| = |重力ポテンシャルエネルギー(J)| = 49(J)

<u>答 鉛直下向きに49 J</u>

＝＝＝演習問題解答＝＝＝



床の上に置いてある質量2 kgの箱を高さ2.5 mの棚の上に上げた。箱の静止摩擦係数を0.5、重力加速度は9.8 ms^{-2}とする。

(5) 机の上から箱を床に落とした。床に落ちる直前の箱の速度はいくらか。

運動エネルギー(J) = (1/2)質量(kg)×(速度(m•s^{-1}))^2

運動エネルギー 49(J) と質量 2(kg)を代入し、速度を***v***とする。

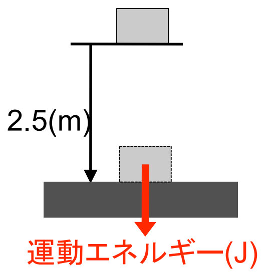
49(J) = (1/2)×2(kg)(v(m•s^{-1}))^2

49 = (v(m•s^{-1}))^2

v(m•s^{-1}) = ±7

<u>答 鉛直下向きに 7 m•s^{-1}</u>

＝＝＝演習問題解答(別解)＝＝＝



床の上に置いてある質量2 kgの箱を高さ2.5 mの棚の上に上げた。箱の静止摩擦係数を0.5、重力加速度は9.8 ms^{-2}とする。

(5) 机の上から箱を床に落とした。床に落ちる直前の箱の速度はいくらか。

2.5(m)落ちるのにかかる時間 t(s) を求めれば、床面に落ちる直前の速度を求められる。

自由落下距離(m) = (1/2)重力加速度(m•s^{-2})(時間(s))^2

2.5(m) = (1/2)×9.8(m•s^{-2})(t(s))^2

$2.5 = 4.9t^2$

$t^2 = 2.5/4.9 = 25/49$

$t = \pm 5/7$(s)

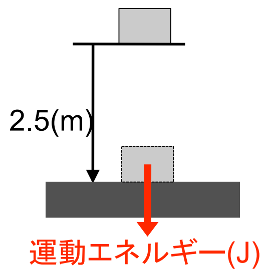
速度 = 重力加速度(m•s^{-2})×時間(s)

= 9.8(m•s^{-2})×5/7(s)

= 49/7(m•s^{-1}) =7(m•s^{-1})

<u>答 鉛直下向きに 7 m•s^{-1}</u>

＝＝＝演習問題解答(別解)＝＝＝



床の上に置いてある質量2 kgの箱を高さ2.5 mの棚の上に上げた。箱の静止摩擦係数を0.5、重力加速度は9.8 ms^{-2}とする。

(4) 机の上から箱を床に落とした。床に落ちる直前の箱の運動エネルギーはいくらか。

(5)の別解より床に落ちる直前の速度は 7(m•s^{-1})

運動エネルギー(J) = (1/2)質量(kg)×(速度(m•s^{-1}))^2

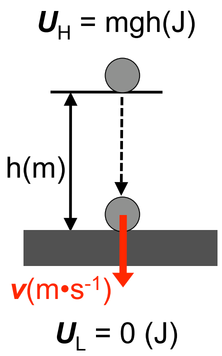
= (1/2)×2(kg)×(7(m•s^{-1}))^2

= (1/2)×2(kg)×(7(m•s^{-1}))^2

= 1×49(kg•m^2•s^{-2}) = 49(J)

<u>答 49 J</u>

エネルギー：安定性についての考察



床面から h(m) の高さにある物体と床面にある物体ではどちらが安定か？

<u>答: 床面にある物体のほうが安定。</u>

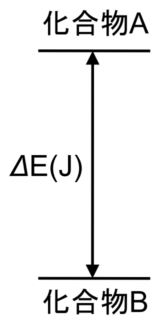
理由: 床面にある物体のほうが壊れない。

位置エネルギーを有している分だけ高エネルギー状態 (=仕事をするポテンシャルを有している)。

位置エネルギー:
ポテンシャルエネルギーの一種

化合物でも、高エネルギー状態の化合物は不安定
(反応活性が高いため、化学反応を起こして別化合物になる
= 元の化合物は徐々に消失する)

化学におけるエネルギー



化合物A 高エネルギー (反応活性が高い)

仕事ができる (= 化学反応を起こせる) 。

化学反応を起こして別化合物になる。

= 元の化合物は徐々に消失する。

= 化合物として不安定

= 反応剤として適している。

化合物B 低エネルギー (反応活性が低い)

仕事ができない (= 化学反応を起こせない) 。

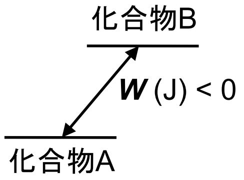
= 元の化合物のまま存在し続ける。

= 化合物として安定

= 薬剤化合物 (最終産物) として適している。

化学におけるエネルギー

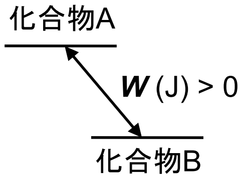
化合物A → 化合物B + ***W***(J)



外からエネルギー (仕事***W***) を加えて、高エネルギー化合物へと変換

エネルギー (仕事***W***): 熱 (吸熱)、光、高エネルギー化合物

化合物A → 化合物B + ***W***(J)



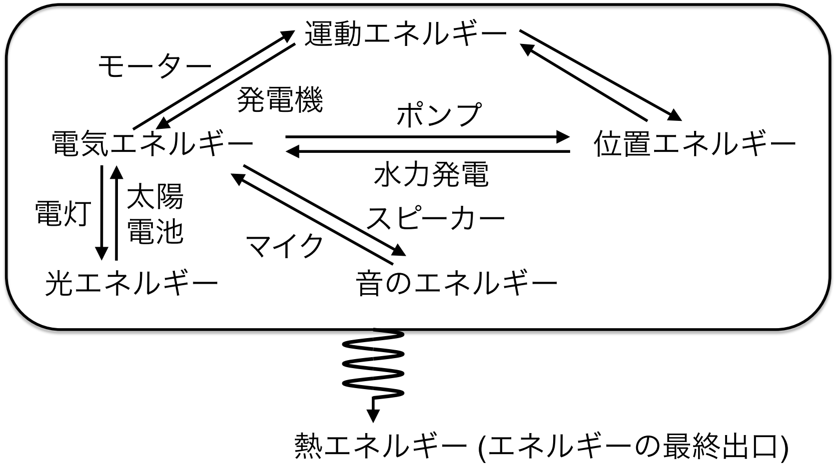
高エネルギー化合物から低エネルギー化合物への変換でエネルギー (仕事***W***) が生成

エネルギー (仕事***W***):熱 (発熱)、光、高エネルギー化合物の生成

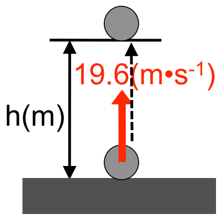
化学反応で生じたエネルギー (仕事***W***) の多くは熱エネルギーへ。

エネルギーの可換性

エネルギー: (エネルギー保存則)



＝＝＝演習問題解答＝＝＝



質量200 gの鉄球を地上から速度19.6 ms^{-1}で鉛直上向きに打上げた。鉄球が受ける空気抵抗は無視できるものとし、重力加速度は9.8 ms^{-2}とする。

(1) 鉄球の打上げ直後の運動エネルギーはいくらか。

運動エネルギー(J) = (1/2)×(質量(kg))×(速度(m•s^{-1}))^2

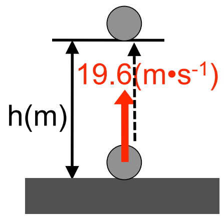
= (1/2)×0.2(kg)×(19.6(m•s^{-1}))^2

= (1/2)×0.2(kg)×384.16(m^2•s^{-2})

= 0.1(kg)×384.16(m^2•s^{-2}) = 38.416(kg•m^2•s^{-2})

答　鉛直上向きに 38.416 J

＝＝＝演習問題解答＝＝＝



質量200 gの鉄球を地上から速度19.6 ms^{-1}で鉛直上向きに打上げた。鉄球が受ける空気抵抗は無視できるものとし、重力加速度は9.8 ms^{-2}とする。

(2) この鉄球が最高到達点にいる時の床面に対する重力ポテンシャルエネルギーはいくらか。

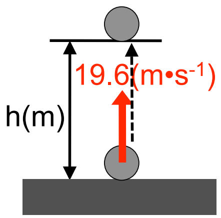
	床面	最高到達点
重力ポテンシャルエネルギー	0 (J) (高さ = 0)	X (J)
運動エネルギー	38.416 (J)	0 (J) (速度 = 0)

エネルギー保存則から、重力ポテンシャルエネルギー＋運動エネルギー = 一定

0(J) + 38.416(J) = X(J) + 0(J)　　　X = 38.416 (J)

答　38.416 J

＝＝＝演習問題解答＝＝＝



質量200 gの鉄球を地上から速度19.6 ms^{-1}で鉛直上向きに打上げた。鉄球が受ける空気抵抗は無視できるものとし、重力加速度は9.8 ms^{-2}とする。

(3) この鉄球の最高到達点は何mか。

最高到達点での重力ポテンシャルエネルギー = 38.416 (J)、質量 = 0.2(kg)、重力加速度 = 9.8 ms^{-2} を代入。高さを h（m）とおく。

重力ポテンシャルエネルギー = (質量(kg))×(重力加速度($m•s^{-2}$))×(高さ(m))

38.416 (J) = (0.2(kg))×(9.8($m•s^{-2}$))×(h(m))

$$h(m) = \frac{38.416\ (J)}{0.2(kg)\times 9.8(m\bullet s^{-2})} = 19.6\ (m)$$

答　床面から19.6 m 上

質問解答

1番(1),(2)では四捨五入しなくていいのですか？

この講義では物理の「理論値」を算出する手順を講義しています。理論値には有効数字という概念はなじみません。どこまでも正確な値を求めることが原理的に可能です。
一方、実験値を取り扱う場合には有効数字の考慮が必須です。
なのでこの講義では有効数字は無視しますと宣言しています。

扇の弧の長さを(半径(m))×(角度(rad))で求めると、弧の長さの単位がrad•mになるが良いのか？

実は、角度の単位radは物理単位ではありません。1回転に対する割合に近い概念です。10(m)×10%/100=1(m)となって、%が消えてしまうのと似たことです。

＝＝＝演習問題解答＝＝＝

$\boxed{1}$ 弧度法に関する以下の問題に答えなさい。

(1) 扇の中心角が 2 rad（ラジアン）で半径が6 mの時、扇の弧の長さはいくらか。

扇の弧の長さ = (半径の長さ)×(中心角(rad))

= 6(m) × 2(rad) = 12 m　　答 12 m

(2) 扇の中心角が 2 rad（ラジアン）で半径が6 mの時、扇の面積はいくらか。

扇の面積 = (円の面積)×(中心角の割合)

= π × {6(m)}^{2} × {2(rad)/2π (rad)} = 36 m^2　答 36 m^2

(3) 中心角が 2π rad（ラジアン）で半径が6 mの扇の弧の長さ

扇の弧の長さ = (半径の長さ)×(中心角(rad)) = 12π (m)

＝＝＝演習問題解答＝＝＝

$\boxed{1}$ 弧度法に関する以下の問題に答えなさい。

(3) 中心角が 2π rad（ラジアン）で半径が6 mの扇の弧の長さ

扇の弧の長さ = (半径の長さ)×(中心角(rad))

= 6(m) 2π (rad) = 12π (m)　　答 12π m

$\boxed{2}$ 1周の角度 360° は rad（ラジアン）単位でいくらか。小数点以下2桁で求めなさい。なお円周率π= 3.1416とする。

1周の角度(rad) = 2π(rad) = 2 × 3.1416(rad) = 6.2832 rad

小数点以下2桁にすると、6.28 rad　　答 6.28 rad

ポテンシャルエネルギー

位置エネルギーは数あるポテンシャルエネルギーの一つ

位置エネルギー：重力場中のポテンシャルエネルギー

重力(重力場に発生する力) $\boldsymbol{F} = G\dfrac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$

m_1: 物体1の質量, m_2: 物体2の質量, r: 物体間距離, G: 重力定数

電場エネルギー(電位)：電場中のポテンシャルエネルギー

クーロン力(静電相互作用のもと) $\boldsymbol{F} = k\dfrac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$

q_1: 物体1の電荷, q_2: 物体2の電荷, r: 物体間距離, k: 比例定数

重力と重力加速度

位置エネルギーは数あるポテンシャルエネルギーの一つ

位置エネルギー：重力場中のポテンシャルエネルギー

重力(重力場に発生する力) $\boldsymbol{F} = G\dfrac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$

m_1: 物体1の質量(kg), m_2: 物体2の質量(kg), r: 物体間距離(m), G: 重力定数(kg•m^3•s^{-2})

ここでm_1に地球の質量M_1、rに地球の半径Rを代入すると

$$\boldsymbol{F} = G\frac{M_1 \cdot m_2}{R^2} = (G\frac{M_1}{R^2})\, m_2 = \mathrm{g}m_2 = m_2\mathrm{g}\ (= m\mathrm{g})$$

即ち、重力加速度は　$\mathrm{g} = (G\dfrac{M_1}{R^2})$

公式

g: 重力加速度; t: 時刻; 加速度: a;

(自由落下)速度　$\boldsymbol{v} = \mathrm{gt}$　　($\boldsymbol{v} = \mathrm{at}$)

(自由落下)距離 $\mathrm{D} = \dfrac{1}{2}\mathrm{gt}^2$　($\mathrm{D} = \dfrac{1}{2}\mathrm{at}^2$)

公式 (試験に出すので暗記すること)

速度　$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{a}\mathrm{t}$　　(自由落下)速度　$\boldsymbol{v} = \mathrm{gt}$

距離　$\boldsymbol{D} = \dfrac{1}{2}\boldsymbol{a}\mathrm{t}^2$　　(自由落下)距離　$\boldsymbol{D} = \dfrac{1}{2}\mathrm{gt}^2$

力 $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$

重力 $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{g}$

万有引力 $\boldsymbol{F} = \mathrm{G}\dfrac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$

摩擦力 $\boldsymbol{F} = \mu\boldsymbol{N}$

復元力 $\boldsymbol{F} = -k\mathrm{x}$

回転運動　接線方向速度 $\boldsymbol{v} = \mathrm{r}\boldsymbol{\omega}$　向心加速度 $\boldsymbol{a} = \mathrm{r}\boldsymbol{\omega}^2$

振動数(周波数) f = 1/T　単振動振動数 $\mathrm{f_v} = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{\mathrm{k}}{\mathrm{m}}}$

仕事 $\boldsymbol{W} = \boldsymbol{Fd}$

位置エネルギー $\boldsymbol{U} = m\boldsymbol{gh}$

運動エネルギー　$\boldsymbol{K} = \dfrac{1}{2}m\boldsymbol{v}^2$

$\boldsymbol{v}$: 速度(m•s^{-1}); g: 重力加速度(m•s^{-2}); t: 時刻(s); $\boldsymbol{D}$ or $\boldsymbol{d}$: 距離(m); $\boldsymbol{a}$: 加速度(m•s^{-2}); $\boldsymbol{F}$: 力(N); m: 質量(kg); $\boldsymbol{N}$: 垂直抗力(N); μ: 摩擦係数(無次元); r: 半径(m); $\boldsymbol{\omega}$: 角速度(rad/s); T: 周期(s); f: 振動数(s^{-1} or Hz); x: 変位(m); k: バネ定数(N•m^{-1}); $\boldsymbol{W}$: 仕事(J); $\boldsymbol{h}$: 高さ(m); G: 重力定数(kg•m^3•s^{-2})

4章 周期運動
回転運動

弧度法

角度の単位は °(度) だけでじゃない

角度の単位は rad(ラジアン)単位でも表せる

扇形の弧の長さ

$$\text{扇形の弧の長さ} = \text{円周の長さ} \times \frac{\text{中心角}(°)}{\text{1周の角度}}$$

$$= 2\pi r \times \frac{\boxed{\text{中心角}(°)}}{360°}$$

扇形の弧の長さ $\propto$ 中心角

＝＝＝演習問題解答＝＝＝

2 弧度法に関する以下の問題に答えなさい。

(1) $\pi/3$ rad(ラジアン)は何度(°)か

1周 360° が 2π rad(ラジアン)

(1周 360° が 2π rad(ラジアン)になった理由は後で説明)

扇の中心角 = (1周の角度)×(1周にしめる中心角の割合)

$$\text{1周にしめる中心角の割合} = \frac{(\text{中心角})}{(\text{1周の角度})} = \frac{\pi/3(\text{rad})}{2\pi(\text{rad})} = \frac{\pi}{3} \times \frac{1}{2\pi} = \frac{1}{6}$$

$$\text{扇の中心角} = 360° \times \frac{1}{6} = 60°$$

答 60°

＝＝＝演習問題解答＝＝＝

(2) 50°は何rad(ラジアン)か

1周 360° が 2π rad(ラジアン)

(1周 360° が 2π rad(ラジアン)になった理由は後で説明)

扇の中心角 = (1周の角度)×(1周にしめる中心角の割合)

$$\text{1周にしめる中心角の割合} = \frac{(\text{中心角})}{(\text{1周の角度})} = \frac{50°}{360°} = \frac{5}{36}$$

$$\text{扇の中心角} = 2\pi\ (\text{rad}) \times \frac{5}{36} = \frac{5\pi}{18}\ (\text{rad})$$

答 $\frac{5\pi}{18}$ (rad)

＝＝＝演習問題解答＝＝＝

(3) 扇の中心角が3 rad（ラジアン）で半径が10 cmの時、扇の弧の長さはいくらか。

1周 360° が 2π rad（ラジアン）

扇の弧の長さ(m) = (円周の長さ(m))×(1周にしめる中心角の割合)

$$\text{1周にしめる中心角の割合} = \frac{(\text{中心角})}{(\text{1周の角度})} = \frac{3(\text{rad})}{2\pi(\text{rad})} = \frac{3}{2\pi}$$

扇の弧の長さ = (円周の長さ)×(1周にしめる中心角の割合)

= (2π×半径の長さ)×(中心角の割合)

$$= (2\pi\times10(\text{cm}))\times\frac{3}{2\pi} = 10(\text{cm})\times3 = 30\ (\text{cm})$$

答　30cm

＝＝＝演習問題解答＝＝＝

(3) 扇の中心角が $\boxed{\text{3 rad（ラジアン）}}$ で半径が10 cmの時、扇の弧の長さはいくらか。

1周 360° が 2π rad（ラジアン）

扇の弧の長さ(m) = (円周の長さ(m))×(1周にしめる中心角の割合)

$$\text{1周にしめる中心角の割合} = \frac{(\text{中心角})}{(\text{1周の角度})} = \frac{3(\text{rad})}{2\pi(\text{rad})} = \frac{3}{2\pi}$$

扇の弧の長さ = (円周の長さ)×(1周にしめる中心角の割合)

= (2π×半径の長さ)×(中心角の割合)

$$= (2\pi\times10(\text{cm}))\times\frac{3}{2\pi} = 10(\text{cm})\times\boxed{3} = 30\ (\text{cm})$$

rad（ラジアン）単位の角度と一致

これが「1周 360° が 2π rad（ラジアン）」と定義した理由

＝＝＝演習問題解答＝＝＝

(3) 扇の中心角が $\boxed{\text{3 rad（ラジアン）}}$ で半径が10 cmの時、扇の弧の長さはいくらか。

1周 360° が 2π rad（ラジアン）

$$\text{扇の弧の長さ} = (2\pi\times10(\text{cm}))\times\frac{3}{2\pi} = 10(\text{cm})\times\boxed{3} = 30\ (\text{cm})$$

= (半径の長さ)×(中心角(rad))

円周の長さ = 中心角360°(=2π)の扇の弧の長さ

= (半径の長さ)×(中心角(rad))

= r ×(2π(rad)) = 2πr

＝＝＝演習問題解答＝＝＝

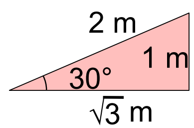
(4) sin(π/2)、sin(π/4)、cos(π/6)、cos(π)、はいくらか。

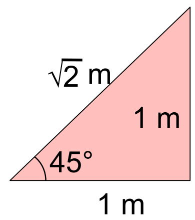
$\sin(\pi/2) = \sin(90°) = 1$

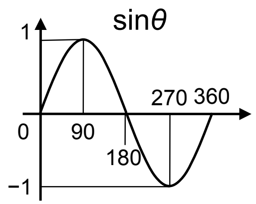
$\sin(\pi/4) = \sin(45°) = 1/\sqrt{2} = \sqrt{2}/2$

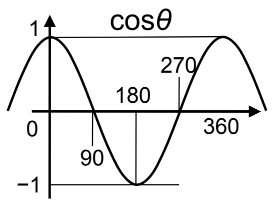
$\cos(\pi/6) = \cos(30°) = \sqrt{3}/2$

$\cos(\pi) = \cos(180°) = -1$



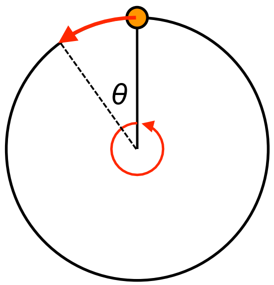






＝＝＝宿題＝＝＝

回転速度はどのように表したら良いか。
考えてください。



速度（移動速度）の定義覚えていますか？

rad（ラジアン）て何？

π（パイ）て何？

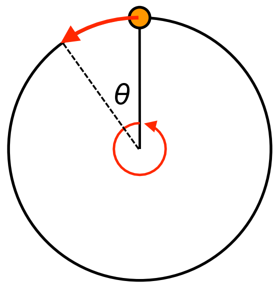
rad（ラジアン）が単位から、消える時と消えない時

等速円運動

周期 T (s): 1周まわるのにかかる時間(秒)

振動数(周波数) f (Hz または s^{-1}):
単位時間(1秒)あたりの回転数

$$f\,(\text{Hz or } s^{-1}) = \frac{1}{T}$$



角速度 ω (rad•s^{-1}):
単位時間(1秒)あたりの回転角度(rad)

$$\omega\,(\text{rad}\cdot s^{-1}) = \frac{2\pi\,(\text{rad})}{T\,(\text{s})} = \frac{\text{1周の角度 (rad)}}{\text{1周まわるのにかかる時間(s)}}$$

時間 t (s) 後の回転角 θ (rad):

回転角 θ (rad) = ω(rad•s^{-1}) × t(s) = 角速度(rad•s^{-1}) × 時間(s)

＝＝＝演習問題解答＝＝＝

3 半径4 mの円周上を1周12 s (秒) で等速回転する自転車がある。以下の問題に答えなさい。

(1) 自転車の角速度をrad単位で求めなさい。円周率はπとする。

角速度 (rad•s^{-1}) = 2π(rad)／(かかる時間(s))
= 2π (rad)／12(s) = π/6 (rad•s^{-1})　　答 π/6 rad•s^{-1}

(2) 自転車は3(s)で円周上を何rad回転するか。円周率はπとする。

回転角(rad) = (角速度(rad•s^{-1}))×(時間(s))
= π/6 (rad•s^{-1}) × 3(s) = π/2 (rad)　　答 π/2 rad

＝＝＝演習問題解答＝＝＝

3 半径4 mの円周上を1周12 s (秒) で等速回転する自転車がある。以下の問題に答えなさい。

(3) 自転車は3(s)で円周上を何m進むか。円周率はπとする。

扇の弧の長さ = (半径の長さ)×(中心角(rad))
= 4(m) × π/2(rad) = 2π (m)　　答 2π m

(4) 自転車の接線方向の速度はいくらか。円周率はπとする。

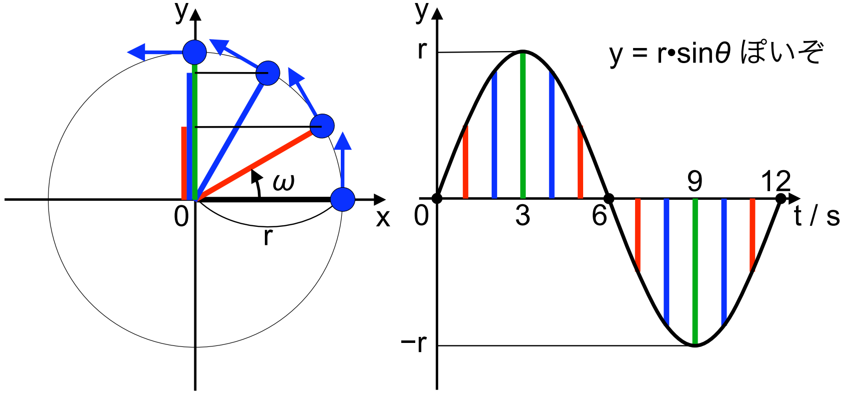
非常に短い時間では、円周上を進む速度と接線方向の速度は一致する

接線方向の速度(m•s^{-1}) = 円周を進む速度
= (円周の長さ)／(かかる時間(s)) = (2π×4(m))／12(s)
= 2π/3(m•s^{-1})

答 2π/3 m•s^{-1}

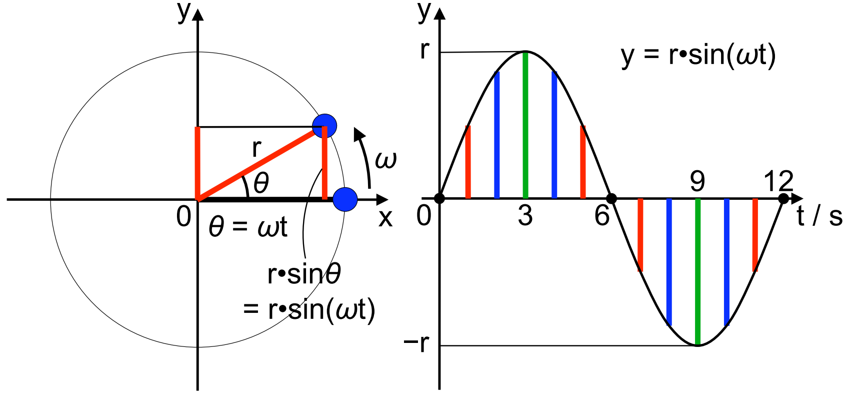
等速回転運動：y軸投影 (y座標)

12秒間で1周の角速度ωで物体が等速回転している。



等速回転運動：y軸投影

12秒間で1周の角速度ωで物体が等速回転している。

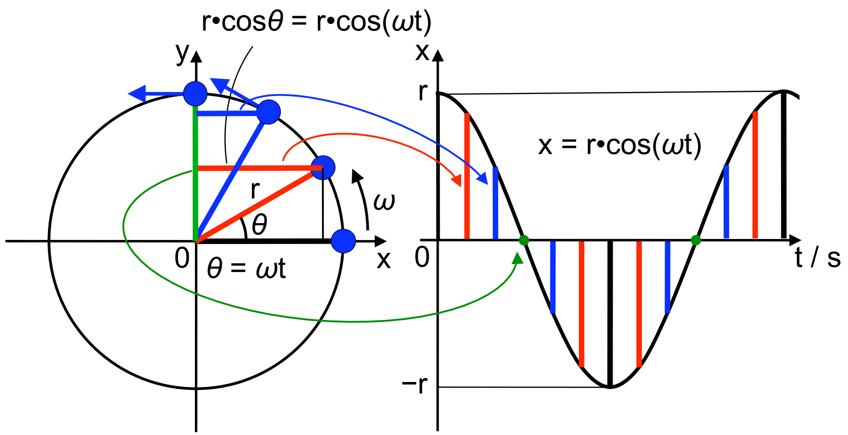


$\omega = 2\pi(\mathrm{rad})/12(\mathrm{s}) = \pi/6(\mathrm{rad/s})$

$y = r\cdot\sin\{(\pi/6)t\}$

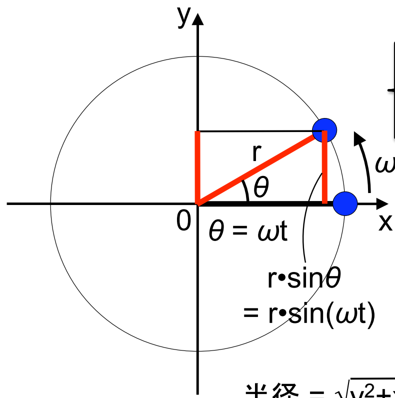
等速回転運動：x軸投影 (x座標)

角速度ωで物体が等速回転している。



等速回転運動：x, y座標

角速度ωで物体が等速回転している。



$$\begin{cases} x = r\cdot\cos(\omega t) \\ y = r\cdot\sin(\omega t) \end{cases}$$

$$(x, y) = (r\cdot\cos(\omega t), r\cdot\sin(\omega t))$$

半径 $= \sqrt{y^2+x^2} = \sqrt{(r\cdot\sin(\omega t))^2 + (r\cdot\cos(\omega t))^2}$

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

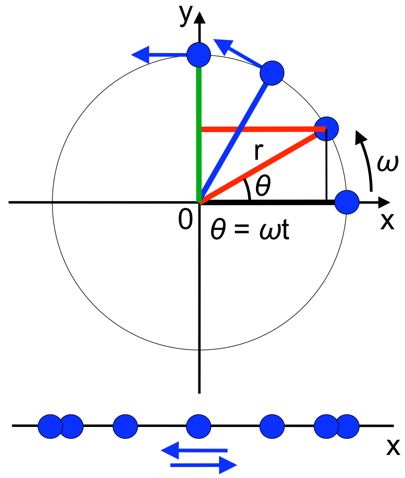
＝＝＝基礎練習問題＝＝＝

y = sin(x) のグラフを描きなさい。xはrad単位の角度とする。

y = cos(x) のグラフを描きなさい。xはrad単位の角度とする。

等速回転運動：x軸投影

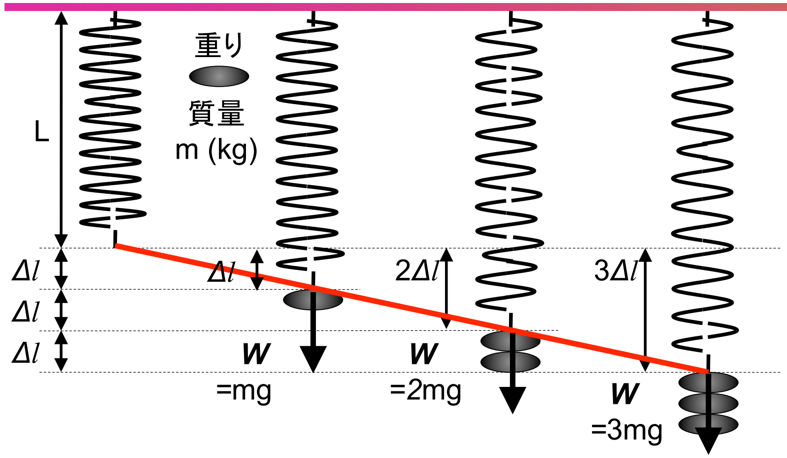
12秒間で1周の角速度ωで物体が等速回転している。



真横（y軸方向）
から見ると

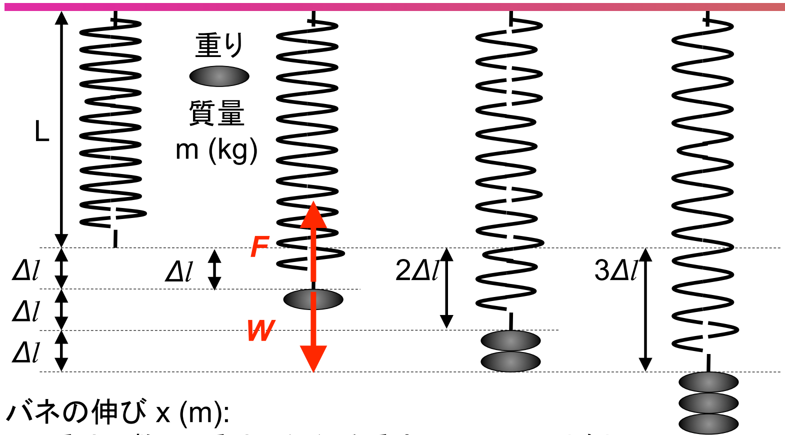
単振動

単振動：バネの動き



バネの伸び x (m):
重りの数 (= 重りにかかる重力 ***W*** (N)) に比例

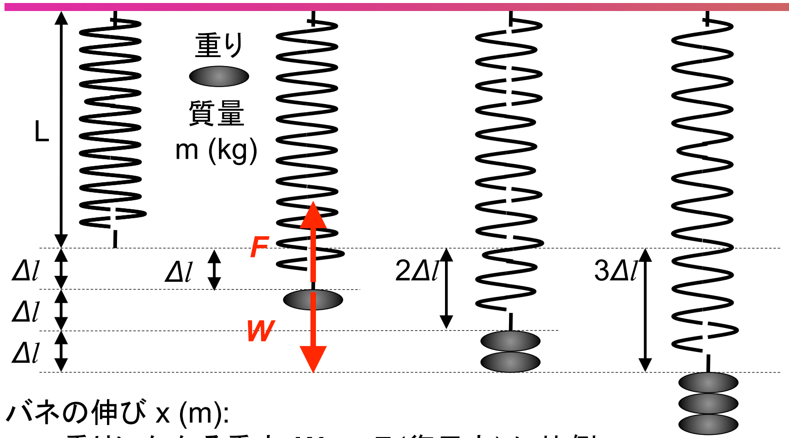
単振動：バネの動き



バネの伸び x (m):
重りの数 (= 重りにかかる重力 ***W*** (N)) に比例

作用反作用の法則: バネが重りを引っ張る力 (復元力) ***F*** (N)は重力 ***W*** (N)と向きが反対で同じ大きさの力 → ***F*** (N) = −***W*** (N)

単振動：バネの動き



バネの伸び x (m):

重りにかかる重力 $\boldsymbol{W} = -\boldsymbol{F}$ (復元力) に比例

$\boldsymbol{F}$(N) = $-kx$ = $-k$(N/m)•x(m)　　フックの法則

註：バネが重りを引っ張る力 (復元力) $\boldsymbol{F}$ (N)はバネののびる向きと反対

等速回転運動：向心力

向心力を $\boldsymbol{F}$ とするとx軸方向の力 $\boldsymbol{F}_X$ は

$\boldsymbol{F}_X = -Cx$ (Cは定数: $C = \boldsymbol{F}/r$)

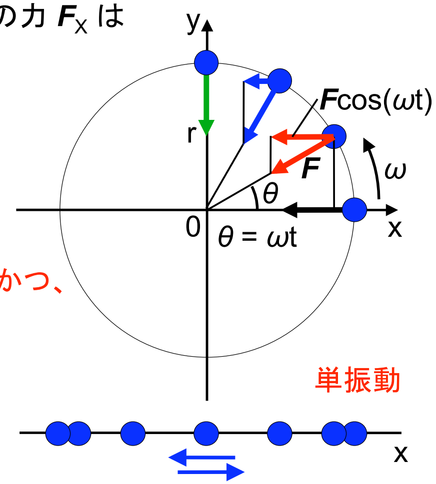
この式から
x軸方向の力は変位xに比例

裏を返すと

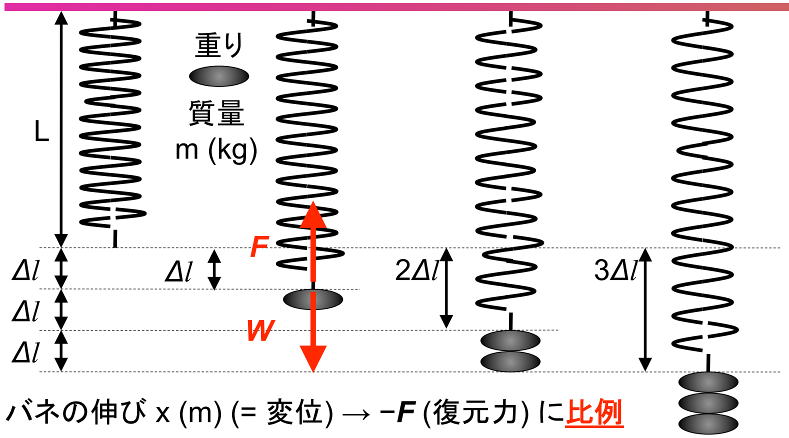
軸方向の力が変位xに比例、かつ、
移動方向と力が逆向きの時

$\boldsymbol{F}_X = -Cx$

軸上で単振動する！



単振動：バネの動き



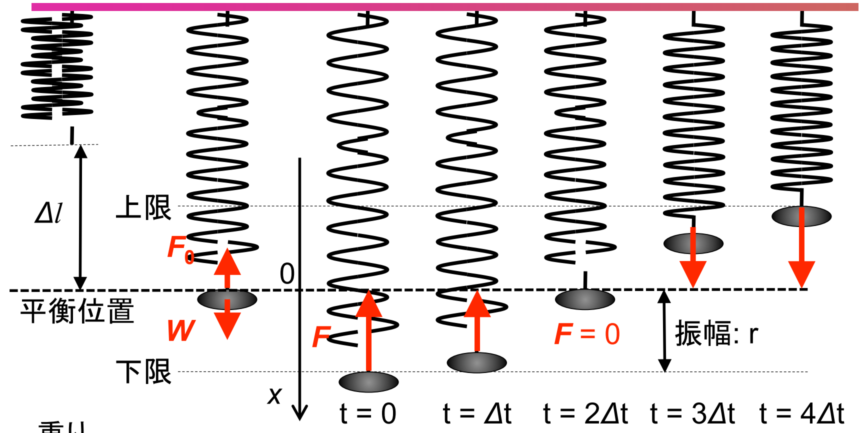
バネの伸び x (m) (= 変位) → $-\boldsymbol{F}$ (復元力) に<u>比例</u>

$\boldsymbol{F}$(N) = $-kx$ = $-k$(N/m)•x(m)　ただし k (N/m) はバネ定数

フックの法則

バネによる重りの伸縮振動は単振動！！！になる

単振動：バネの動き

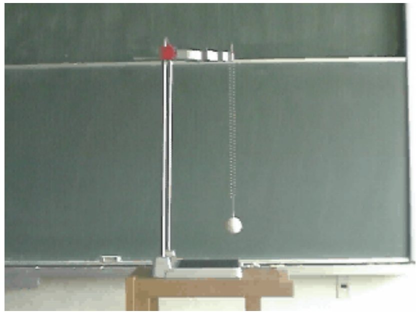


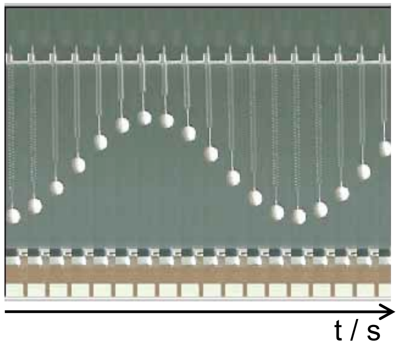
重り
質量
m (kg)

[定義] 平行位置からのバネの伸び: x (m) (= 変位)

$\boldsymbol{F}$(N) = $-kx$ = $-k$(N/m)•x(m)

単振動：バネの動き

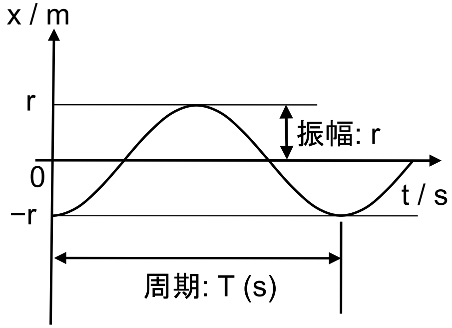


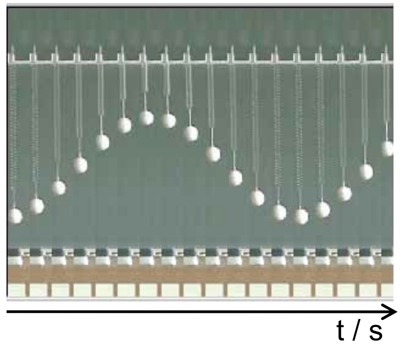


出典：http://www.mars.dti.ne.jp/~stamio

単振動：バネの動き

x = −r•cos(ωt)　ω: 単振動と周期が同じ回転運動の角速度

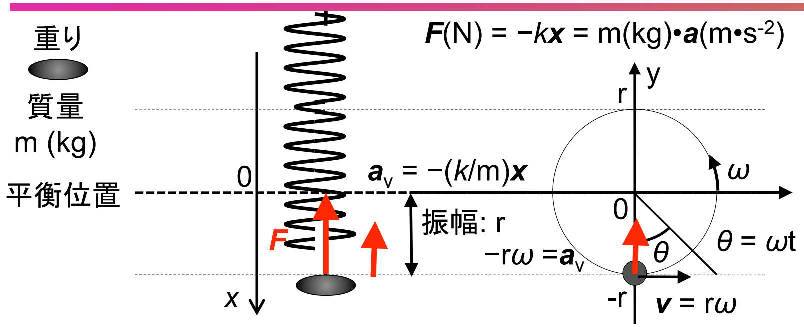




振動数 f(s^{-1}) = 1/T(s)　周期 T(s) = 2π(=360°)(rad)/ω(rad/s)

出典：http://www.mars.dti.ne.jp/~stamio

単振動：周期/周波数の計算



単振動の周期T_v = $2\pi(m/k)^{(1/2)}$ (s)

単振動の振動数 $f = 1/T_v = (1/2\pi)(k/m)^{(1/2)}$ (s^{-1})

周期・周波数のいずれもr (振幅) を含まない

= 周期・周波数はr (振幅) に無関係に一定！！！

連絡事項

これまでの講義資料を薬品分析学教室のHPに載せました。

講義資料ページ
http://p.bunri-u.ac.jp/lab05/lecture/lecture_index.html

もしくは

薬品分析学教室HP　http://p.bunri-u.ac.jp/lab05/

薬品分析学教室HP中の「講義関係」のリンクをクリック

修正版やアップデートしたファイルがアップされることもありますので、時々チェクしてみて下さい。

＝＝＝演習問題解答＝＝＝

3 5 mの円盤の端に質量10 gの物体が固定されており、円盤の中心を回転軸として1周0.5秒の等角速度で運動している。角度はrad単位とする。

(1) 物体の振動数、角速度、時間t (s)後の回転角を計算しなさい。

周期(s) = 1周にかかる時間(s) = 0.5(s)より

振動数 = 1／(周期(s)) = 1／(0.5(s)) = 2(s^{-1}) 又は 2 (Hz)

角速度 (rad•s^{-1}) = 2π(rad)／(かかる時間(s))

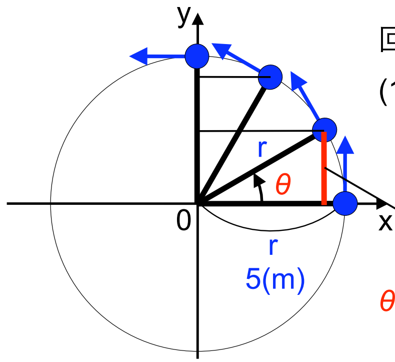
= 2π (rad)／0.5(s) = 4π (rad•s^{-1})

t (s)後の回転角(rad) = 角速度 (rad•s^{-1}) × (かかる時間 t(s))

= 4π (rad•s^{-1}) × t(s)= 4π t (rad)

＝＝＝演習問題解答＝＝＝

(2) x軸上から運動し始めた時の物体のy軸投影（y座標）と時間 t (s)の関数として表しなさい。



回転角θ は t(s)後の回転角(rad)

(1) より、t(s)後の回転角 = 4πt (rad)

よって、θ = 4πt (rad)

回転角θ 半径 r の時、y座標(m)は

y = r•sinθ

θ = 4πt (rad) および r = 5(m) を代入

y = r•sinθ = 5(m)×sin(4πt)

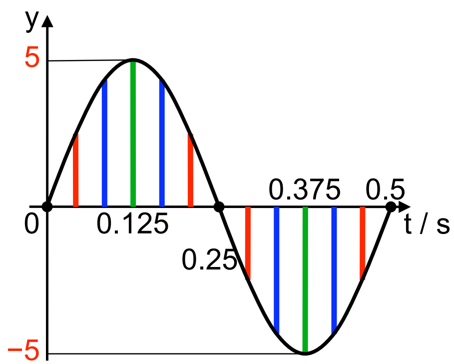
y = 5sin(4πt)

＝＝＝演習問題解答＝＝＝

(2) x軸上から運動し始めた時の物体のy軸投影（y座標）と時間 t (s)の関数として表しなさい。

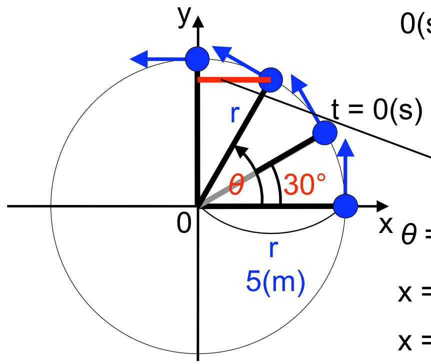
y = 5sin(4πt)

t (s)	θ (rad)
1(s)	4π(rad) (720°)
0.5(s)	2π(rad) (360°)
0.25(s)	π(rad) (180°)
0.125(s)	π/2(rad) (90°)



＝＝＝演習問題解答＝＝＝

(3) 左回りでの回転角を正の角度と定義する時、物体がx軸と−30°の角度をなす位置から左回りの回転運動を始めた。物体のx軸投影（x座標）と時間t (s)の関数として表しなさい。また、その関数のグラフを描きなさい。



(1) より、t(s)後の回転角 = 4πt (rad)

0(s)時の角度 = 30° = π/6 (rad)

よって、θ = 4πt + π/6 (rad)

回転角θ 半径 r の時、y座標(m)は

x = r•cosθ

θ = 4πt + π/6 および r = 5(m) を代入

x = r•cosθ = 5(m)×cos(4πt + π/6)

x = 5cos(4πt+π/6)

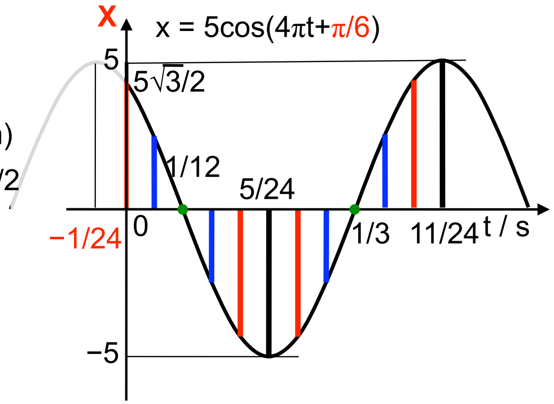
＝＝＝演習問題解答＝＝＝

(3) 左回りでの回転角を正の角度と定義する時、物体がx軸と−30°の角度をなす位置から左回りの回転運動を始めた。物体のx軸投影（x座標）と時間t (s)の関数として表しなさい。また、その関数のグラフを描きなさい。

$x = 5\cos(4\pi t+\pi/6)$

$\theta = 4\pi t + \pi/6$ (rad)

t (s)	θ (rad)	x (m)
0(s)	π/6(rad)	$5\sqrt{3}/2$
1/12(s)	π/2(rad)	0
5/24(s)	π(rad)	−5
1/3(s)	3π/2(rad)	0
11/24(s)	2π(rad)	5



＝＝＝演習問題解答＝＝＝

(3) 左回りでの回転角を正の角度と定義する時、物体がx軸と−30°の角度をなす位置から左回りの回転運動を始めた。物体のx軸投影（x座標）と時間t (s)の関数として表しなさい。また、その関数のグラフを描きなさい。

$x = 5\cos(4\pi t+\pi/6)$

$\theta = 4\pi t + \pi/6$ (rad)

t (s)	θ (rad)	x (m)
0(s)	π/6(rad)	$5\sqrt{3}/2$
1/12(s)	π/2(rad)	0
5/24(s)	π(rad)	−5
1/3(s)	3π/2(rad)	0
11/24(s)	2π(rad)	5

$\theta = 4\pi t + \pi/6$ (rad)

$\pi/2$(rad) $= 4\pi t + \pi/6$ (rad)

$4\pi t + \pi/6 = \pi/2$

$4\pi t = \pi/2 - \pi/6$

$4\pi t = (3\pi - \pi)/6$

$4\pi t = 2\pi/6$

$4\pi t = \pi/3$

$t = (\pi/3)\times\{1/(4\pi)\} = 1/12$

＝＝＝基礎練習問題＝＝＝

y = sin(x−π/3) のグラフを描きなさい。xはrad単位の角度とする。

y = sin(2x) のグラフを描きなさい。xはrad単位の角度とする。

y = sin(2x−π/3) のグラフを描きなさい。xはrad単位の角度とする。

＝＝＝基礎練習問題＝＝＝

y = sin(x−π/3) のグラフを描きなさい。xはrad単位の角度とする。

ここで sin(x−π/3) のカッコの中身 (x−π/3) が 0 になると

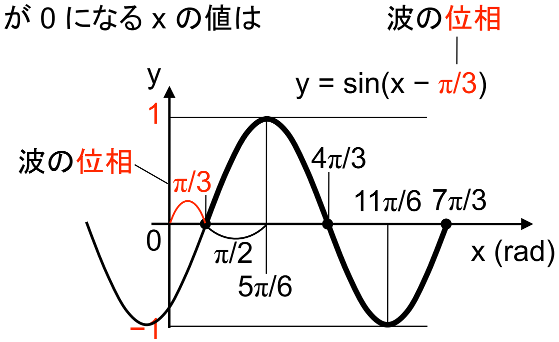
$y = \sin(x-\pi/3) = \sin(0) = 0$

カッコの中身 (x−π/3) が 0 になる x の値は

$x - \pi/3 = 0$

$\therefore\ x = \pi/3$

これは x = π/3
→通常の sinθ の
θ = 0(rad) の点



＝＝＝基礎練習問題＝＝＝

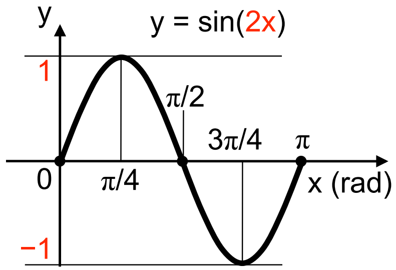
y = sin(2x) のグラフを描きなさい。xはrad単位の角度とする。

y = sin(2x) では、角度が2x → xの2倍が三角関数の角度

x = π → 2x = 2π (360°) → 1周期が π (180°)

xの係数 → xが時刻(s)の場合、係数は角速度(rad•s^{-1})に相当

x(rad)	三角関数の角度(2x)	sin(2x)
0	0	0
π/4	π/2	1
π/2	π	0
3π/4	3π/2	-1
π	2π	0
2π	4π	0



＝＝＝基礎練習問題＝＝＝

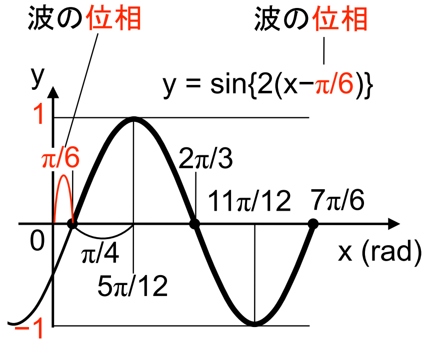
y = sin(2x−π/3) のグラフを描きなさい。xはrad単位の角度とする。

y = sin(2x−π/3) = sin{2(x−π/6)}

x = π/6 → sinθ の開始（位相のずれ）

x の係数 = 2 → π が一周期

x(rad)	2(x−π/6)	sin{2(x−π/6)}
0	−π/3	1/2
π/6	0	0
5π/12	π/2	1
2π/3	π	0
11π/12	2π	−1
7π/6	4π	0



等速回転運動：向心力

12秒間で1周の角速度ωで質量m(kg)の物体が等速回転している。

向心力を $\boldsymbol{F}$ とするとx軸方向の力 $\boldsymbol{F}_X$ は

$\boldsymbol{F}_X$ = -−$\boldsymbol{F}$cos(ωt) (eq.1)

x軸方向の変位xは

x = r•cos(ωt) (eq.2)

cos(ωt) = x/r (eq.3)

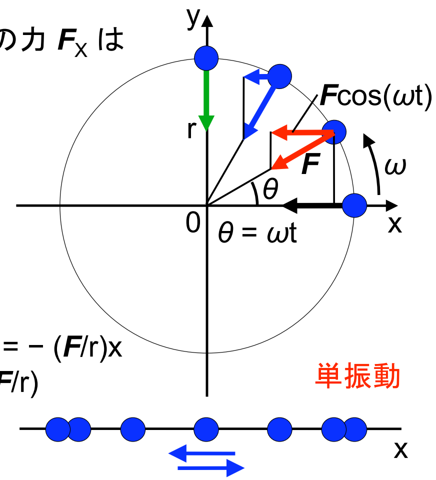
eq.3をeq.1に代入すると

$\boldsymbol{F}_X = -\boldsymbol{F}\cos(\omega t) = -\boldsymbol{F}(x/r) = -(\boldsymbol{F}/r)x$

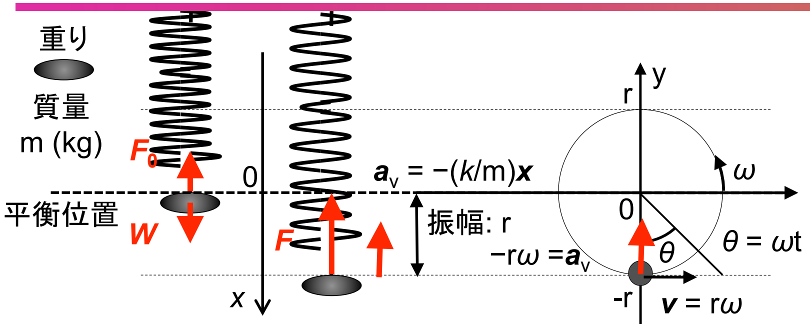
$\boldsymbol{F}_X = -Cx$ (Cは定数: $C = \boldsymbol{F}/r$)

この式から

x軸方向の力は変位xに比例



単振動：周期の計算（加速度）

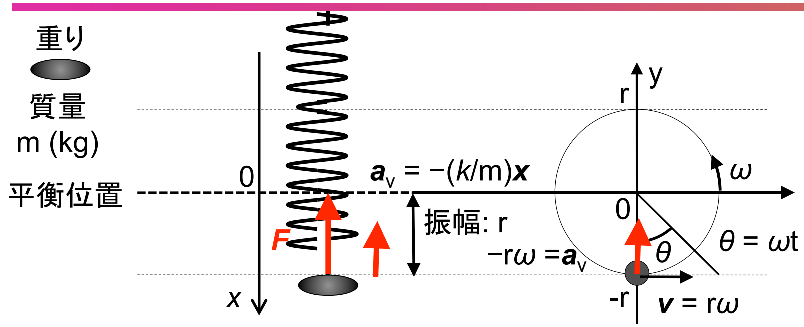


$\boldsymbol{F}$(N) $= -k\boldsymbol{x} =$ m(kg)$\cdot\boldsymbol{a}$(m$\cdot$s^{-2})　よって、$\boldsymbol{a}$(m$\cdot$s^{-2}) $= -(k/m)\boldsymbol{x}$

振幅 r の単振動 = 半径 r の回転運動の投影図

単振動の最大振幅時の加速度$\boldsymbol{a}_v$ = 回転運動の向心加速度$\boldsymbol{a}_R$

単振動：周期の計算（角速度）



単振動の最大振幅時の加速度$\boldsymbol{a}_v$ = 回転運動の向心加速度$\boldsymbol{a}_R$

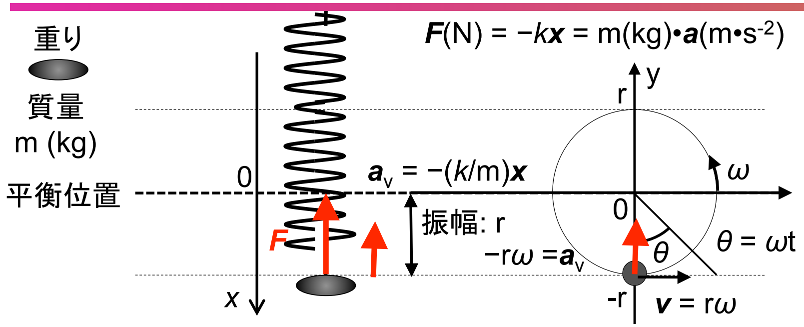
よって　$-r\omega^2$ (m$\cdot$s^{-2}) $= -(k/\mathrm{m})\mathrm{r}$

$\omega^2 = (k/\mathrm{m})$

$\omega = (k/\mathrm{m})^{(1/2)}$　←角速度

(周期T= 2π(=360°)/ωの計算に必要)

単振動：周期/周波数の計算



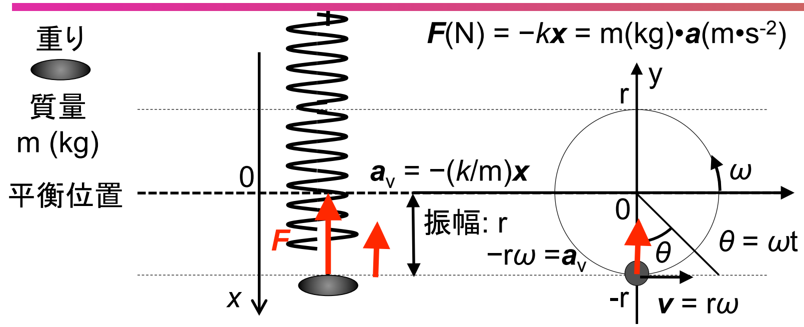
単振動の周期T_v = 回転運動の周期T_R

$= 2\pi(\mathrm{rad})/\omega(\mathrm{rad/s})$　← $\omega = (k/\mathrm{m})^{(1/2)}$を代入した

$= 2\pi/(k/\mathrm{m})^{(1/2)}$ (s)

$T_v = 2\pi(\mathrm{m}/k)^{(1/2)}$ (s)

単振動：周期/周波数の計算



単振動の振動数

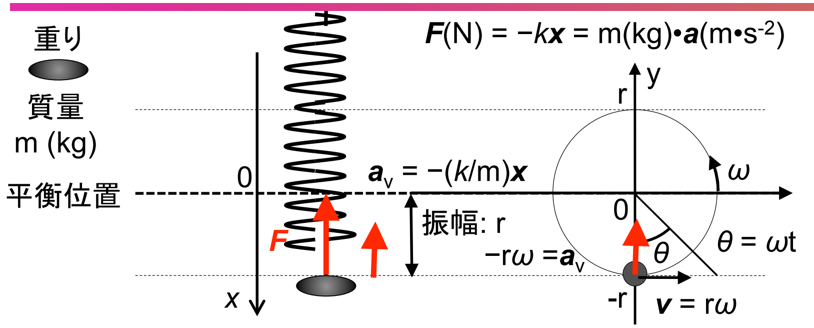
$f = 1/T_v = 1/\{2\pi(\mathrm{m}/k)^{(1/2)}\}$ (s^{-1}) $= (1/2\pi)\times\{1/(\mathrm{m}/k)^{(1/2)}\}$ (s^{-1})

$= (1/2\pi)\times[1/\{(\mathrm{m})^{(1/2)}/(k)^{(1/2)}\}]$ (s^{-1}) $= (1/2\pi)\times\{(k)^{(1/2)}/(\mathrm{m})^{(1/2)}\}$ (s^{-1})

$= (1/2\pi)\times(k/\mathrm{m})^{(1/2)}$ (s^{-1})

単振動の振動数　$\boxed{f = (1/2\pi)(k/\mathrm{m})^{(1/2)}\ (\mathrm{s}^{-1})}$

単振動：周期/周波数の計算



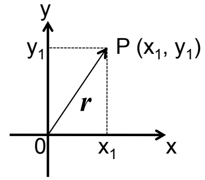
単振動の周期$T_v = 2\pi(m/k)^{(1/2)}$ (s)

単振動の振動数 $f = 1/T_v = (1/2\pi)(k/m)^{(1/2)}$ (s^{-1})

周期・周波数のいずれもr (振幅) を含まない

= 周期・周波数はr (振幅) に無関係に一定！！！

位置ベクトル



高校物理ではベクトルは $\vec{r}$ のように→をつけて表したが、専門的物理では太字で表す場合がある。例）$\boldsymbol{r}$

位置ベクトルの定義：

物体の原点からの位置（座標）を利用して、方向と位置を表す量（方向性を持つ量）

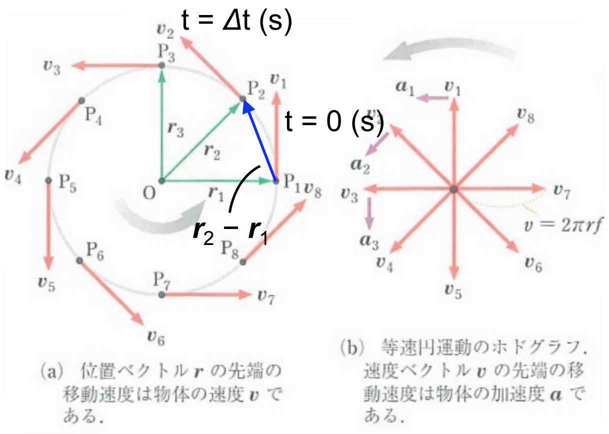
$\boldsymbol{r} = (x_1, y_1)$

位置ベクトルの長さ: $|r| = \{(x_1)2 + (y_1)2\}^{(1/2)}$

三平方の定理から誘導

ポドグラフ

$$\underset{\text{位置ベクトル}}{\text{変位}} \xrightarrow{\text{微分}} \underset{\text{位置ベクトル変化}}{\text{速度}} \xrightarrow{\text{微分}} \underset{\text{速度ベクトル変化}}{\text{加速度}}$$



(a) 位置ベクトル $\boldsymbol{r}$ の先端の移動速度は物体の速度 $\boldsymbol{v}$ である.

(b) 等速円運動のホドグラフ. 速度ベクトル $\boldsymbol{v}$ の先端の移動速度は物体の加速度 $\boldsymbol{a}$ である.

平均速度 $\overline{v}$

$= (\boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1)/(\Delta t - 0)$

$= (\boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1)/\Delta t$

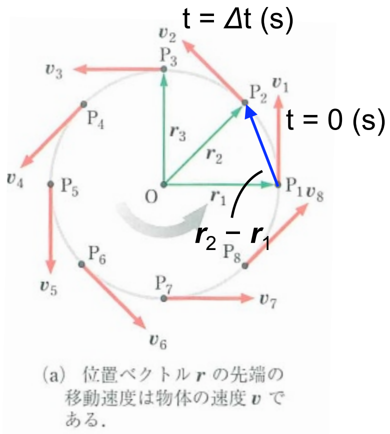
瞬間速度v

$= \lim_{\Delta t \to 0}(\boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1)/\Delta t$

円周運動の速度

1秒あたりの回転数（周波数）: f (Hz (s^{-1}))

回転半径: r (m)



(a) 位置ベクトル $\boldsymbol{r}$ の先端の移動速度は物体の速度 $\boldsymbol{v}$ である.

動径ベクトル（位置ベクトル）: $\boldsymbol{r}$

時刻 0 (s) から Δt (s) の位置ベクトルの変化 = 速度

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \to 0}(\boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1)/(\Delta t - 0)$$

$$= \lim_{\Delta t \to 0}(\boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1)/\Delta t$$

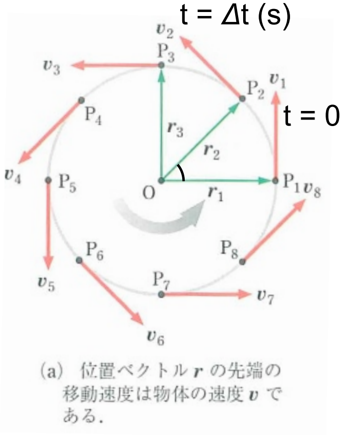
Δt (s) → 0 の時、$\boldsymbol{v}$ は $\boldsymbol{r}$ と直交

動径（中心からの距離）が不変でも、ベクトルの向きが変われば、速度が生じる

円周運動の速度

1秒あたりの回転数（周波数）: f (Hz (s^{-1}))

回転半径: r (m)



(a) 位置ベクトル $\boldsymbol{r}$ の先端の移動速度は物体の速度 $\boldsymbol{v}$ である.

1周（円周）の距離 = 2πr

1秒あたりの移動距離
= 2πrf = v

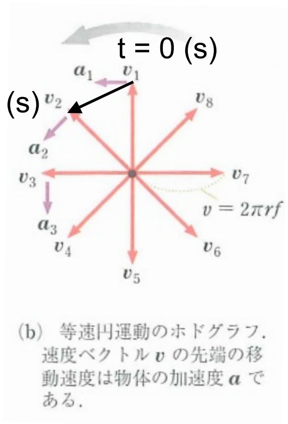
v = 2πrf

1秒あたりの回転角度（角速度）
= 2πf = ω

2π (rad) = 360° を思い出そう

v = 2πrf = r(2πf) = rω

円周運動の加速度



(b) 等速円運動のホドグラフ. 速度ベクトル $\boldsymbol{v}$ の先端の移動速度は物体の加速度 $\boldsymbol{a}$ である.

速度ベクトル: ***v***

時刻 0 (s) から Δt (s) の速度ベクトルの変化 $\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_2 - \boldsymbol{v}_1$

加速度: ***a*** とすると

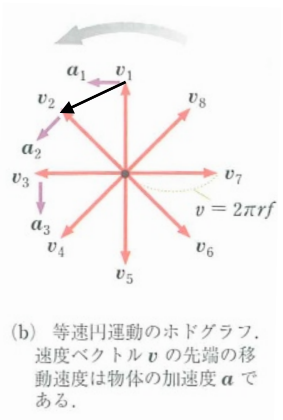
$$\boldsymbol{a} = \lim_{\Delta t \to 0}(\boldsymbol{v}_2 - \boldsymbol{v}_1)/(\Delta t - 0)$$

$$= \lim_{\Delta t \to 0}(\boldsymbol{v}_2 - \boldsymbol{v}_1)/\Delta t$$

Δt (s) → 0 の時、***a*** は ***v*** と直交する

円周運動の加速度

1秒あたりの回転数（周波数）: f (Hz (s^{-1}))



(b) 等速円運動のホドグラフ. 速度ベクトル $\boldsymbol{v}$ の先端の移動速度は物体の加速度 $\boldsymbol{a}$ である.

v = 2πrf = ポドグラフの回転半径

ポドグラフ1周の距離
= 2πv

1秒間のポドグラフ先端移動距離
= 2πvf
= 速度ベクトルの1秒間あたりの変化
= 加速度 ***a***
= 2πvf = (2πf)v = {(2πf)•r•(1/r)}v
= {(2πrf)(1/r)}v = v(1/r)v = v^2/r

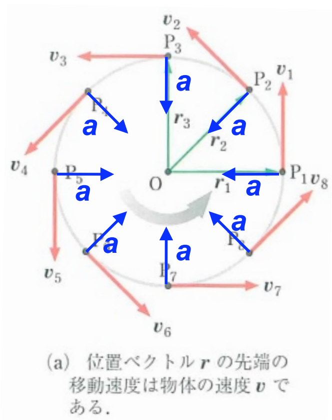
a = v^2/r　　$\boldsymbol{a} = |v|^2/\boldsymbol{r} = (2\pi f)^2\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}\omega^2$

a: 向心加速度（円の中心に向かう）

円周運動と向心加速度

a: 向心加速度（速度と直交して円の中心に向かう加速度）

$\boldsymbol{a} = |v|^2/\boldsymbol{r} = (2\pi f)^2\boldsymbol{r}$



(a) 位置ベクトル $\boldsymbol{r}$ の先端の移動速度は物体の速度 $\boldsymbol{v}$ である.

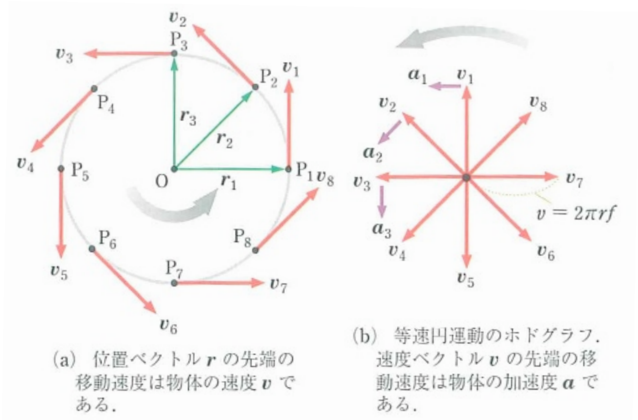
1秒あたりの回転数（周波数）:
f (Hz (s^{-1}))

1周するのにかかる時間（周期）:
T (s)

f (Hz (s^{-1})) = 1/T (s)

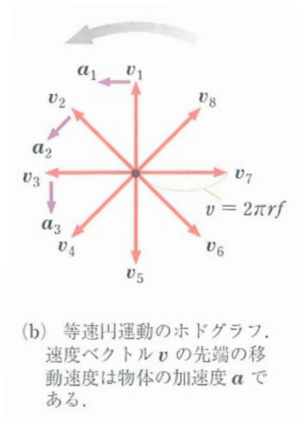
f (Hz (s^{-1}))•T = 1

ポドグラフ



ポドグラフ：時間とともに進行方向（ベクトルv_1~v_8）の向きが変わっていることを示す図。

ポドグラフ



速度 |***v***| を変えずに速度ベクトルの向きだけを変えるためには真横からの力 ***F*** を受けなければならない。

F = *ma* の関係から力と同じ向きに（即ち真横からの）加速度が存在する。
（真横で無ければ進行方向に加速度が残り、速度が変化する）

加速度は進行方向（ベクトルv_1~v_8）に対して直角方法。

予習項目（解答）

地球の周りをまわっている人工衛星の周回運動を無理矢理止めたらその後人工衛星はどうなるか答えなさい。

人工衛星の周回運動をしている→等速直線運動ではない！！！

→地球からの重力（重力加速度）を受けて周回運動

重力ベクトル（重力加速度ベクトル）の方向→地球の中心

周回運動を無理矢理止めると

→重力（重力加速度）のみが残る

→重力に引かれて、重力加速度で加速されながら地球に落ちる。

周波数と周期

1秒あたりの回転数（周波数）: f (Hz (s^{-1}))

1周するのにかかる時間（周期）: T (s)

f (Hz (s^{-1})) = 1/T (s)

f (Hz (s^{-1}))•T = 1