1. Realms of physics

物理 — 描述物体運作的科學，小到夸克、原子，大到星系、宇宙。

— 可以解釋、描述所有的物理現象。一般將物理区分成6個類別：
Mechanics, Wave motion, Thermodynamics, Electromagnetism, Optics, and Modern physics.

DVD的運作就包含了這6個類別的物理.

2. 測量與單位

观測 → 規則 → 物理定律 → 檢驗

观測需要單位，目前普遍使用的系統為
metric (公制) system：以 kg (公斤)、m (公尺)、s (秒) 作為質量、長度、時間的單位.

SI (international system of units)：对這些單位進行明確的定義。

— 長度：

最早的定義：$1\,m$ = 赤道到北極的$10^{-7}$。

1889：標準公尺；pt-Ir bar.

1960：以光波長為單位定義公尺 — Kr86的橘紅光波長的 $1\,650\,763.73\,\lambda = 1\,m$.

⇒ 操作型定義 → 普遍性。

1983：以光的行進距離定義"公尺"：

光在真空中，$(3\times10^{8})^{-1}$ s 所走的距離 ≡ 1 m。

↳ $(299,792,458)^{-1}$

i.e. 光在真空中的 speed 為 299,792,458 m/s.

Time：

最早的定義也來自地球運動 → 不準確！

1967：Cs 原子鐘，$Cs^{133}$ ground state 的兩個 hyperfine 能階間的躍遷週期的 9,192,631,770 倍為 1 s。

Mass：

Pt-Ir 合金錠

⇒ 正尋求其他準確的 operational 定義。

如定義 $C^{12}$ 的 mass 為 12 個 amu，$1\ amu = 1.660\ 538\ 86 \times 10^{-27}$ kg

其他 SI units：(7種)

m、s、kg 外，有 ampere (A) for 電流、

kelvin (K) for 溫度、

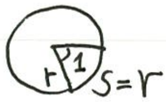
mole (mol) for 物質的量, and

candela (cd) for 照度 (luminosity).

燭光

其他單位：角度 $\left[\begin{array}{l}\text{2維平面角：radian (rad)}\\ \text{3維立體角：steradian (sr)}\end{array}\right.$

rad




度：$\frac{1}{360}$ 圓弧所張開的圓心角 $= 1^\circ$

rad：與半徑等長的圓弧所張開的圓心角。

沒有單位。

$\therefore 360^\circ = 2\pi,\ 1 \approx 57.3^\circ$ $\left\{\begin{array}{ll}\frac{\pi}{2}=90^\circ, & \pi/4=45^\circ\\ \frac{\pi}{3}=60^\circ, & \pi/6=30^\circ\end{array}\right.$

弧度 $\theta = \frac{s}{r}$


Speed的定義 $v = \frac{ds}{dt}$

$= \frac{d}{dt}(r\theta) = r\frac{d\theta}{dt} = r\omega$, $\omega$為角速率。

<u>sr</u>: 球面上與半徑平方相等的面積所張開的球心角.

∴ 球的 sr $= 4\pi$.

用字首表數量 (Table 1.1) → 常用:

| | | |
|---|---|---|
| T | $10^{12}$ | |
| G | $10^{9}$ | |
| M | $10^{6}$ | |
| k | $10^{3}$ | |
| m | $10^{-3}$ | mm |
| $\mu$ | $10^{-6}$ | $\mu$m |
| n | $10^{-9}$ | nm |
| p | $10^{-12}$ | pm |

單位符号的表示: 一般為小寫如 kg, m, s。
但如以人名為單位如 Newton, Ampere, 則需大寫，如牛頓－N, 安培－A。
唯一的例外是体積單位用 L 表示, ∵ l 易與 1 混淆。

非SI單位系統最常見者為英制單位. 1 mile ≃ 1.6 km

3. 數字

科學記數法 (scientific notation): $\underset{\substack{\uparrow \\ 1\sim 9 (一位)}}{\square}.\underbrace{\square\square\square\cdots}_{N位}\times 10^{n}$ $(n \in \mathbb{Z})$

有效位數 (significant figures, SF)

科學記數法中, 有效位數 $= N+1$

→ 12000 的有效位數不明 (至少2位) (不科學的記法),
但 12000.0 的有效位數為 6 位。

羅

※ 有效位數愈少，愈不精確(precise)。且計算過程無法提高有效位數。

For × and ÷，最後的答案的有效位數＝最少的有效位數。

例：$\frac{3.6479 \times 2.6}{1.485} = (6.387$ — 計算結果$) = 6.4$.

For + and −，有效位數則僅保留到小數點右邊最少的位數。

例：$17.524 + 2.4 - 3.56 = (16.364$ — 計算結果$) = 16.4$

4. 學物理

簡單但具挑戰性：

Simplicity：物理學的基本原理(principles)、定律(laws)不多。如守恆原理(動量、角動量、質能、電荷…)及運動定律.

challege：瞭解並運用原理及定律到問題上.

⇨ 須要策略：IDEA

I：Interpret — 問題解析。

D：Develop — 步驟，

E：Evaluate — 計算：以符號代替物理量，最後再代入數值。

A：Assess — 評估答案：dimension 對嗎？

在明顯的特別情形下是否正確？

↳ 如 $g=0$ or 物体的mass $=0$ or $\infty$，or 摩擦力$=0$ or 斜坡的角度$=0$, ….

羅

1. 平均速度和瞬間速度

position, distance → average speed

displacement (位移) $\Delta x = x_2 - x_1$

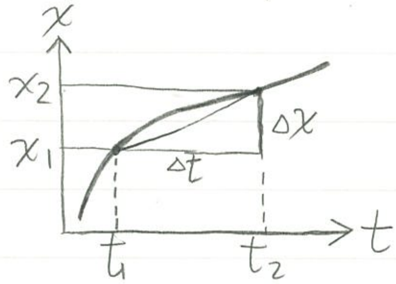
average velocity $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$

$\Delta \equiv$ the change in .... or the change between A and B.

= final的量 − initial的量 → $\Delta t > 0$ for $t$=time

位移和速度皆是向量,在1D中,向量以正,負表示.

瞬間(instantaneous)速度:某一時間點,物体的速度




在$t_1$的瞬間速度 = $t_1$物体的速度

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad \begin{cases} \Delta x = x_2 - x_1 \\ \Delta t = t_2 - t_1 \end{cases}$$

= $(x,t)$图上, $t_1$點的切線slope

$\equiv \frac{dx}{dt}$ ($x$的導数 derivative)

= 在$(x_1, t_1)$點上的切線(tangent line) slope.

2. 加速度(acceleration)

類似於 $\bar{v}$ 及 $v$,可定義平均加速度 over $\Delta t$ 為 $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$,

瞬間加速度(即物体的加速度)

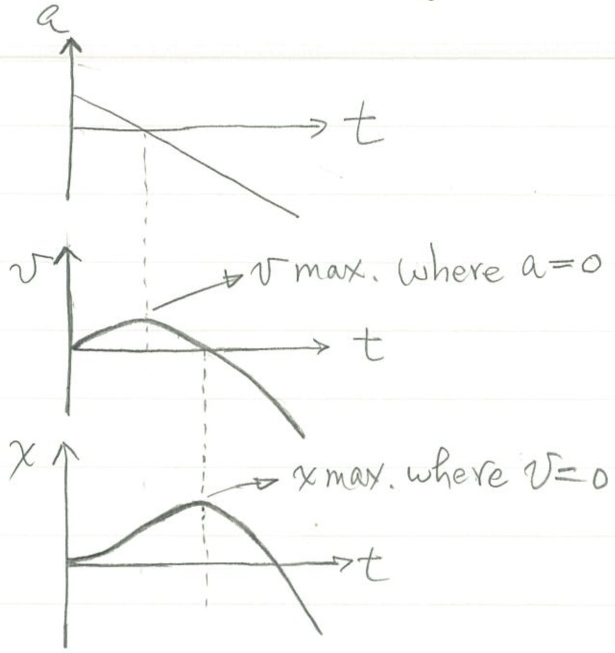
$$a = \frac{dv}{dt} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = (v,t)\text{图上的切線slope.}$$

$$= \frac{d}{dt}\left(\frac{dx}{dt}\right) = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (x\text{的二次導数})$$

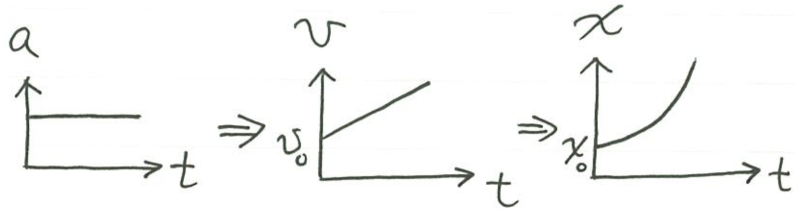
acceleration : $\vec{v}$和$\vec{a}$ 同方向
deceleration : $\vec{v}$和$\vec{a}$ 反方向
] 統稱 acceleration

$[a]$ (表a的單位) = 距離/時間$^2$ = $m/s^2$ (SI unit)

$(x, v, a)$ vs. $t$ 图：Fig. 2.7




3、等加速度運動
i.e. $a=$常数.




實例：地表附近之加速度 (no air resistance)

$$\therefore\ v = v_0 + at$$
$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

消去 $t$ ： $v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$

消去 $a$ ： $x - x_0 = \frac{1}{2}(v_0 + v)t = x_0 + \bar{v}t.$

Table 2.1

(上4式可由 $a, v$ 的定義及積分求得)

地球表面附近的向下加速度为定值 $g = 9.8\ m/s^2$,
限定條件：free fall body (自由落体), 只有重力作用, 不包含氣体阻力.

Note：In 1D, $a$ 和 $v$ 的相对方向只有2種：同方向 or 反方向。
In 2D 以上, 则有更多的可能性。

1、向量、分量、$\vec{v}$ and $\vec{a}$

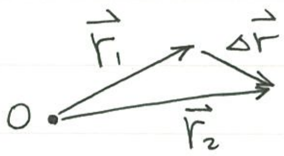
1D：一個變數，正負號代表方向。

2D以上：用向量描述。具有方向的物理量：有大小及方向.

vs. 純量(scalar)：只有大小，如動能，質量.

位置向量(position vector)：$\vec{r}$

位移向量(displacement vector)：$\Delta\vec{r}$ — $\vec{r}$的變化量.




$$\Delta\vec{r}=\vec{r}_2-\vec{r}_1 \quad (\sim \Delta x = x_2 - x_1)$$

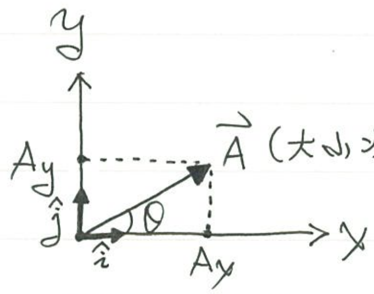
• 向量分量(components)

如右圖，$A_x$、$A_y$分別是$\vec{A}$在x、y方向上的分量。$\vec{A}=A_x\hat{i}+A_y\hat{j}$

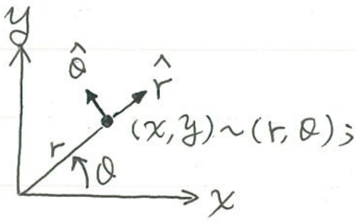
∴ $A_x = A\cos\theta$, $A_y = A\sin\theta$, and $\tan\theta = A_y/A_x$, where $\hat{i}$, $\hat{j}$, ($\hat{k}$) 分別是x, y, (z)方向上的單位向量。

[參考：2D極座標(polar frame)]

→其他座標系統




(Note that the components themselves aren't vectors but scalars!)




$x = r\cos\theta$
$y = r\sin\theta$

• 類比於1D的定義：

The change in position：displacement $\Delta\vec{r}$

the change in velocity：$\Delta\vec{v}$

$$\bar{\vec{v}}=\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \text{ and } \vec{v}(t)=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}=\frac{d\vec{r}(t)}{dt}$$

∴ if $\vec{r}=x\hat{i}+y\hat{j}$, then $\vec{v}=\frac{dx}{dt}\hat{i}+\frac{dy}{dt}\hat{j}=v_x\hat{i}+v_y\hat{j}$

Similarly, $\bar{\vec{a}}=\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ and $\vec{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=\frac{d\vec{v}}{dt}$。

3D or 2D 的曲線運動必是加速度運動, i.e. $\vec{a} \neq 0$, ∵曲線運動至少表示其方向有改變, ∴ $\Delta\vec{v} \neq 0$.

∵ $\vec{a}$ 的作用: speeding up or slowing down and changing direction.
when $\vec{a} \perp \vec{v}$ : $v$ 不變, 但 $\vec{v}$ 的方向改變。
例: 圓周運動 (§3.6), $\vec{a}$ always $\perp \vec{v}$

(2. 相对運動)

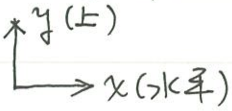
A 对 B 的相对運動 velocity $= \vec{v}_{AB}$
B 对 C 〃 $= \vec{v}_{BC}$
则 A 对 C 〃 $\vec{v}_{AC} = ?$
Obviously, $\vec{v}_{AC} = \vec{v}_{AB} + \vec{v}_{BC}$ (valid only when $v \ll$ 光速)

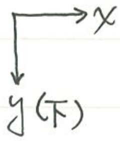
3. 等 $\vec{a}$ 運動與抛体 (projectile) 運動

- When $\vec{a}$ 為固定常数 → 其分量當然也是固定的常数
  ⇒ 每個分量上的方向視為 1D 運動, 各個方向運動各自独立不相關.
  ∴ for constant $\vec{a}$, 1D → 2D or 3D

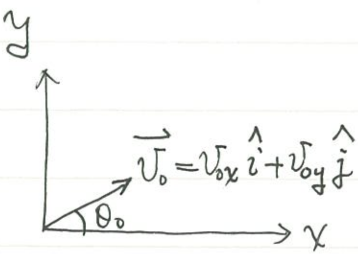
$$\begin{cases} \vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t \\ \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2 \end{cases}$$

地表附近重力場 $\vec{g}$ = constant. 在不計空氣阻力下 (free fall body) 的 2D 運動為抛体運動: 只有在垂直方向有固定 $\vec{a}$ 作用、

坐標系,  : $\vec{g} = -g\hat{j}$

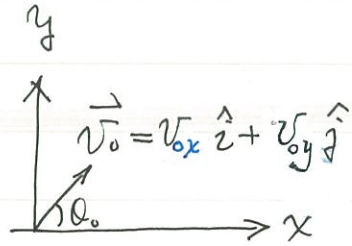
 : $\vec{g} = g\hat{j}$

$v_x = v_{0x}$
$v_y = v_{0y} - gt$
$x = x_0 + v_{0x}t$
$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$



- Projectile trajectories (軌跡 = path)

拋体在 x-y 平面上的軌跡 $y(x)=?$




$$x = x_0 + v_{0x}t = 0 + v_0\cos\theta_0 \cdot t$$

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 = 0 + v_0\sin\theta_0 \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$$

消去 $t \Rightarrow y = x\cdot\tan\theta_0 - \frac{g}{2v_0^2\cos^2\theta_0}x^2$ : a parabola

(這不是物理的基本方程式，不需記！)

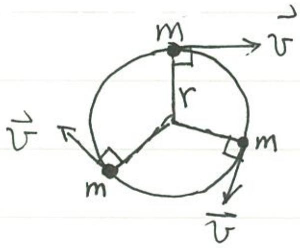
- Projectile 的水平射程 (range)

For $y=0$, $x=0$ (原發射點) or $x = \frac{v_0^2}{g}\sin 2\theta_0$ (range)

∴ max 水平射程 occurs at $\theta_0 = 45^\circ$.

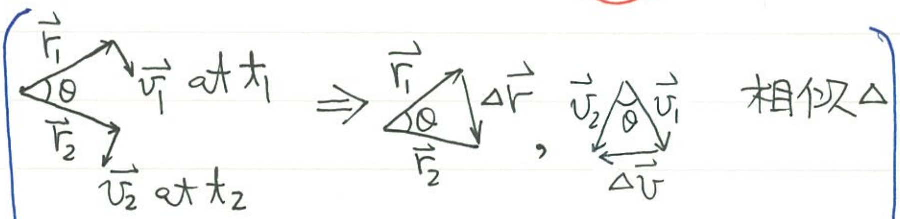
(→ 考慮空阻時，max. 水平射程 occurs at $\theta_0 < 45^\circ$, why?)

4. 等速率圓周運動 (Uniform circular motion ≡ UCM)




2D 的重要運動形式：m 的 speed 固定，但方向為切線方向。
∴ 有加速度 $\vec{a}$, $\vec{a}=?$

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



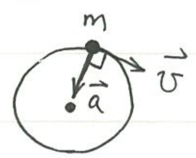

Here $|\vec{r}_1| = |\vec{r}_2| = r$, $|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2| = v$

from 相似△, $\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta r}{r}$

when $\Delta t$ 很小時，

$\Delta r \approx$ 弧長 $= v\cdot\Delta t$

∴ $\frac{\Delta v}{v} = \frac{v\cdot\Delta t}{r} \Rightarrow \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v^2}{r} = \bar{a}$, ∴ as $\Delta t \to 0$, $\boxed{a = \frac{v^2}{r}，方向：向圓心}$




牛頓稱之為向心加速度 (centripetal)

注意：UCM is not a constant $\vec{a}$ motion！

UCM的週期 T = 繞一周的時間

$\therefore T = \dfrac{2\pi r}{v}$

$\because a = \dfrac{v^2}{r}$ , $\therefore a = \dfrac{4\pi^2 r}{T^2}$

非等速圓周運動 ⇒ $\vec{a}$ 不只有向心的分量 $a_r$，也有切線方向的分量 $a_t$。

$a_r$ 用於改變方向，

$a_t$ 用於改變切線速率 $v$.

r = radial (徑向方向)

t = tangent (切線方向)

進行曲線運動的物体就是非UCM。

1. • Dynamics: the subject of "why" of motion.
→ isn't about what causes motion itself;
it is about what causes changes in motion.
不是「運動」本身，而是「運動改變」的原因.
Changes in what? ⇒ position, velocity, acceleration.

Galileo identified the right question about motion. But it was Newton who formulated the laws how motion changes

Newton I and II laws ⇒ force ↔ change in motion.
Force is a vector, 向量可以合成、分解、∴有數力作用在物体上時 ⇒ net force (淨力).
∴物体可以受力作用而沒有改變運動狀態，∵ net force = 0.

• Newton I: 淨力為零 ⟺ 靜者恆靜，動者恆作等速度運動.
(又稱 inertia laws - 慣性定律) (uniform motion = unchanging motion)

Newton II: $\vec{F}_{net} = \frac{d}{dt}\vec{p} = \frac{d}{dt}(m\vec{v})$ 相对性原理

$= m\vec{a}$ (when m remains constant.)

Note: Newton II 包含 Newton I? Newton I 有何特殊之處?
Newton I 是在 $\vec{F}_{net} = 0$ 的狀況，∵ when $\vec{F}_{net} = 0$，則
$m\vec{v}$ = constant，其中有 $\vec{v} = 0$ (靜) 及 $\vec{v} \neq 0$ (動)。

Force 的單位: 1 newton (= 1 N) = 1 $kg \cdot m \cdot s^{-2}$.

慣性質量 m: a measure of an object's inertia
and determines the object's response to a force.

Note: Newton laws 不適用在 $\vec{a} \neq 0$ 的系統內!

例:

Case(i) 在地面上放置一球 → 球靜止, 與我無相对運動.

∴ Newton I works.

Case(ii) 在雲霄飛車的車箱地板上放置一球 → 一放手, 球即沿切線方向飛走, 沒有作用力之下, 球與我有相对運動.

→ Newton laws fail!

但地面的观察者则認為沒錯, Newton laws work.

雲霄飛車是一個 $\vec{a} \neq 0$ 的系統, 在其內 Newton laws 不 work。

地面系統: $\vec{F}_{net} = 0$, 特稱為慣性参考座標系 (inertial reference frame, 簡稱 IRF)

⇨ Newton laws work only in IRFs。

Which one is an IRF? Earth?

嚴格說, 地球 is not an IRF, but 地球的転動对大部份運動的影响甚微 (除大氣與海洋運動) 如 Case(i) 的実驗。

If 地球不是 an IRF, which one is? → no one is (狹義相对論)

2. Forces

種類: contact forces (macroscopic) and 超距力 (acts at a distance)

三種基本力: Gravity、electroweak forces and strong forces.

Electroweak — weak nuclear force
— electromagnetism (電磁力) — 生活中大部份的力.

Strong force — binding quarks to form 中子、質子及其他粒子。

重力 (gravity force)

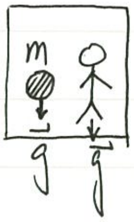
— mass (質量): 物体固有的性質, 不因地而異, kg。
— Weight (重量): 作用在物体上的力, N (牛頓)。

例: 重力加速度為 a 的星球上, 質量 m 的物体, 重量為 ma。

羅

∴ 在沒有 $\vec{a}$ (i.e. $a=0$)，如星際空間，重量$=0$，但 mass $\neq 0$。
但重量$=0$ 並不表示物体所受的 $\vec{F}_{net}=0$ ⇒ weightlessness (失重狀態).
例：國際太空站內的人員，自由落体電梯內的人員.

Fig. 4.9




同時具有 $\vec{g}$。

3. Newton 定律的運用

重要步驟：Draw a free-body diagram

(i) 辨識物体及所有作用在物体上的力。
(ii) 將物体以"點"表示。移除背景物。
(iii) 在"點"上畫出所有作用力向量，向量的尾端在"點"上。
(iv) $\vec{F}_{net}=m\vec{a}$、

⇒ 在範例中展示。

4. Newton III law and normal force (正向力)

- III：if A施加一力在B上，則B亦施加一方向相反，大小相同的力在A上. (作用力和反作用力定律)

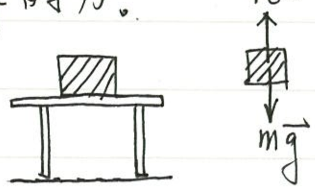
  ⇒ $\vec{F}_{AB}=-\vec{F}_{BA}$

  Note: $\vec{F}_{AB}$ 和 $\vec{F}_{BA}$ 分別作用在不同的物体上！
  ∴不會互相抵消。

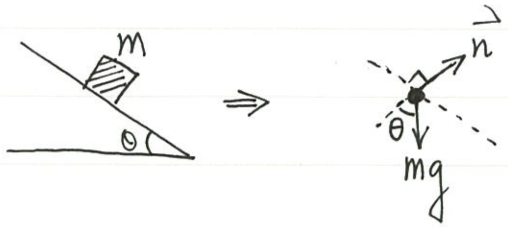
- Normal force (用 $\vec{n}$ 表示)：在接觸面上以垂直接觸面方向作用在物体的力。

$\vec{n}$：table作用在m的正向力

e.g.




table?




Newton III 以例說明:
Example 4.4 and
GOT IT? 4.5

- 力的測量: Hooke's law

理想spring对外施加的力正比於压縮量or伸長量

$$F_{sp} = -kx$$

$F_{sp}$: spring force
(spring对外的作用力)

$k$: spring constant or force constant 是spring堅硬度的表現, 單位: N/m

$x$: spring的位移量(相对於自然長度)