

2.3. 牛頓運動第二定律 (Newton's Second Law of Motion)

2.3.1. 淨力對物體運動速率和/或方向的影響 (Effect of a Net Force on the Speed and/or Direction of Motion of an Object)

- 先重溫牛頓運動第一定律：當物體有受到淨力作用嘅時候，佢會保持靜止或作勻速運動。
- 由此我哋可以估到當物體係有受到淨力作用嘅時候：
 - 如果佢原本靜止嘅話，咁佢就會開始郁。
 - ◆ 即係話物體嘅速率會增加，而運動嘅方向會同淨力嘅方向相同。
 - 而如果佢原本已經郁緊嘅話，咁佢嘅運動速度會有改變。
- ✧ 留意依部分課程嘅標題係用緊“運動速率、方向”而唔係用“速度”。
 - 其實咁係有 D 怪嘅，因為速率只係講標量而唔講方向。
 - 好可能考評局只係想依部分俾個引子大家。
- 我哋先假有一個物體正以勻速向平面上嘅“12 點方向”移運。
- 如果喺依個時候有一個淨力作用喺物體身上，淨力對“物體運動嘅速率同方向”所產力嘅影響係會同佢哋嘅方向好有關係：
 - 如果淨力嘅方向同物體運動嘅相方相同：
 - ◆ 物體嘅速率會增加
 - ◆ 運動方向不變
 - 如果淨力嘅方向同物體運動嘅方向相反：
 - ◆ 最初物體嘅速率會減少，而運動方向不變。
 - ◆ 當速率減到零嘅時候，物體就會停落嚟。
 - ◆ 之後物體就會開始向原先相反嘅方向移動，而速率就會開始增加(即會越走越快)。
 - 如果淨力嘅方向同物體運動係互相垂直嘅話：
 - ◆ 運動方向會偏向淨力嘅方向(即開始“轉彎”)
 - ◆ 物體嘅速率會不變
 - 此點其實有 D 特別嘅。以前會考課程只要求大家學“直線運動”。所以物體只會向前、向後移動而唔會“轉彎”。
 - 而所謂“物體嘅速率會不變”只係講緊當淨力嘅方向同物體運動係互相垂直嘅時候。
 - ✧ 如果淨力嘅方向不變，咁當物體一轉彎，佢嘅運動方向已經唔係同淨力嘅方向垂直。所以物體嘅速率會開始增加。
 - ✧ 而如果淨力可以跟住物體運動方向改變而變變，令到兩者永遠垂直，咁物體嘅速率就永遠唔會改變，只會不停咁轉彎。例子包括地球喺萬有引力下而圍住太陽轉圈(我哋唔見得個地球會越行越快)。

2.3.2. 說出牛頓運動第二定律及以實驗查證公式 $F=ma$ (Stating Newton's Second Law of Motion and Verifying the Formula $F=ma$ Experimentally)

牛頓運動第二定律

- 牛頓運動第二定律內容：
 - 當物體受到淨力 (F) 嘅作用時就會產生加速度。
 - ◆ 加速度 (a) 嘅方向係同淨力嘅方向相同。
 - ◆ 加速度嘅量值亦會同淨力嘅量值成正比。
 - ◆ 但加速度係會同物體嘅質量 (m) 成反比。
- 以上嘅內容簡單嚟講就係：
 - 當一個質量(mass)為 m 嘅物體受到一個淨力 F 嘅作用嘅時候會產生一個加速度 a 。
 - 而依個加速度 a 會符合如下嘅公式：

$$F = ma$$

以實驗查證公式 $F=ma$

- 利用實驗嚟查證公式 $F = ma$ 總係離唔開做以下幾樣嘢：
 - 安排一個物體 (通常實驗都係用小車(trolley)) 可以作勻速運動嘅環境。
 - ◆ 例如可以傾斜一條軌道，令佢變成一條“已獲補償摩擦作用嘅軌道” (friction compensated runway)。
 - 咁點先至可以知道軌道已經“已獲補償摩擦作用”？
 - 方法就係輕輕咁推小車一下而小車會作勻速運動。
 - 用唔同嘅力嚟拉小車，然後量度小車嘅加速度。利用數據 (例如畫 graph)，我哋就可以證明加速度係同拉力成正比嘅，即

$$a = k_1 F \quad (k_1 \text{ 為一個常數})$$
 - ◆ 量度小車加速度嘅方法可以係用 1.7.1 講過嘅“紙帶打點計時器”或者其他電子儀器。
 - ◆ 而“唔同嘅力”就可以透過用唔同數目嘅橡根嚟拉架車嚟做到。但留意：
 - 所用嘅橡根嘅長度同粗幼要條條一樣。
 - 每次拉小車嘅時候我哋要維持 D 橡根有固定而且相等嘅伸展長度。
 - 有咁嘅要求係因為橡根嘅拉力會同橡根嘅粗幼同伸展長度有關。
 - 用相同嘅力嚟拉唔同重量嘅小車，然後量度小車嘅加速度。利用數據 (例如畫 graph)，我哋就可以證明加速度係同小車重量成反比嘅，即

$$a = k_2 (1/m) \quad (k_2 \text{ 為一個常數})$$
 - ◆ 要改變小車嘅重量嘅方法包括將唔同數量嘅小車重疊、或者喺小車上加法碼。
- 綜合“ $a = k_1 F$ ”同“ $a = k_2 (1/m)$ ”，我哋可以推論出：

$$a = k (F/m)$$
 即
$$F = (1/k) ma$$
- 其實透過以上實驗我哋只可以證明到 F 同 ma 係成正比嘅 (即 $F \propto ma$)。
 - 而當中嘅常用 $(1/k)$ 根本就係因為科學家牛頓係定義力嘅單位嘅時令到佢變成 1。

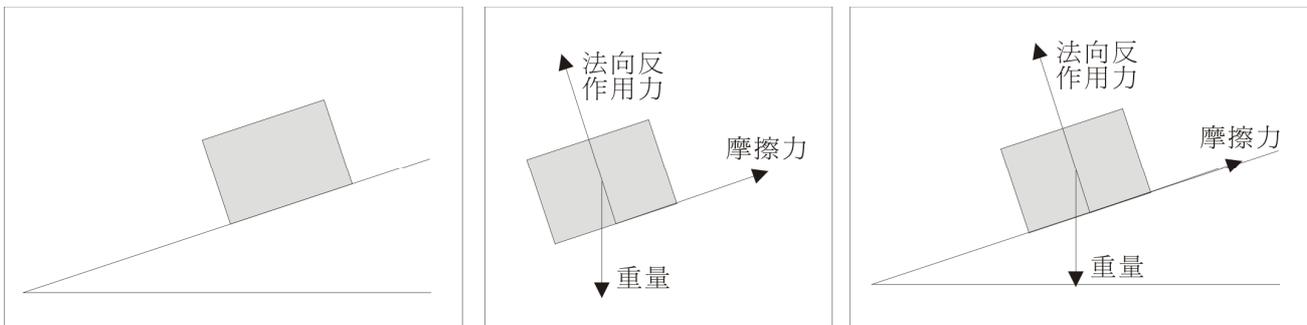
2.3.3. 用牛頓為力的單位 (Using Newton as a Unit of Force)

- ✧ 力的單位是“牛頓”(Newton)，簡寫係 N。
- ✧ 根據牛頓嘅定義：1N 嘅力 = 作用喺一個 1kg 物體身上而產生一個 1ms^{-2} 加速度嘅力
 - 因此我哋只要代入之前查證至嘅公式“ $F = (1/k) ma$ ”，我哋就會得到“ $1/k = 1$ ”。即係

$$F = ma$$

2.3.4. 用孤立物體圖顯示作用於物體上的各個力 (Using Free-body Diagrams to show the Forces Acting on Objects)

- ✧ 喺度先講一講 D 詞語 (因為你好可能會喺唔同嘅書入面見到唔同嘅用詞)。
 - 喺會考嘅課程入面，英文版提到要大家識“free-body diagram” (一般譯做“自由體圖”)。但中文版就用咗“隔離圖”。
 - ◆ 但其實“隔離圖”同“自由體圖”係有些少分別嘅。
 - 而依家中學文憑課程入面就出現咗第三個詞語：“孤立物體圖”。
- ✧ 不過點都好，既然英文版始終都係用 free-body diagram，所以我哋可以當幾個中文名都係指同一樣就 OK，當中小小嘅分別唔駛理。
- ✧ 我哋係度就不如用 free-body diagram 依個詞語吧。
 - 放心，只要你日後見到“孤立物體圖”依幾個中文字就知係“free-body diagram”就 OK。情形就好似我哋 99.99% 會講“Music Video”，而唔講“音樂視像”。
- 所謂“free-body diagram”，其實就係將我哋要考慮嘅物體同其他物體“分開”。
 - 咁做就可以方便我哋將作用喺物體身上嘅每一個力畫出嚟。
- 例子：喺下面最左幅圖度，有一個物體被放置喺一個斜坡上面。



- 中間嗰幅圖就係 free-body diagram。
 - ◆ 喺圖入面我哋只會畫個物體同標明有咩力作用喺佢身上。
- 最右嗰幅圖可以話係平時我哋見得最多嘅圖。
 - ◆ 依幅圖可以話係喺原來最左幅圖上面標明到有咩力作用喺物體身上。
 - ◆ 除非題目講明要你畫 free-body diagram，否則大家用依幅圖嚟幫助計數都 OK。
- Free-body diagram 嘅用處：
 - 佢最大用處係方便我哋諗清楚有咩力作用喺物體身上。
 - 有咗依 D 力嘅標記，我哋就可以用前面“力的分解”一章所提到嘅方法搵個“合力”。
 - 有咗個合力，我哋就可以利用 $F=ma$ 公式計到物體嘅加速度。

2.3.5. 測定作用於物體的淨力 (Determining the Net Force Acting on Object(s))

- 先考慮右面幅圖嘅情況 (D 加全部都係平行嘅)。



- 設向右為正。

- ◆ 作用喺物體嘅淨力

$$= 8 + 5 + (-3) \quad (\text{你亦可以睇成係 } = 8 + 5 - 3)$$

$$= 10\text{N} \quad (\text{正 } 10 \text{ 代表咗淨力係向右嘅})$$

- 喺度你可能會有幾個問題想問：

- ◆ 之前講過力會用箭咀代表，而箭咀嘅長度就代表咗力嘅量值。咁點解喺幅圖度 D 箭咀係一樣長嘅？

➢ 冇錯，箭咀嘅長度就代表咗力嘅量值。但實際上我哋只會係用“圖解法求矢量的和”嘅時候先會緊足規矩。

➢ 喺畫 free-body diagram 嘅時候，我哋只會理個箭咀嘅方向。

- ◆ 物體應該受到地心吸力嘅影響，所以應該有個向下嘅力。咁點解唔駛理？

➢ 冇錯，物體的確受到地心吸力嘅影響，所以圖入應該有個向下嘅力作用喺物體身上。(依個力就係物體嘅重量。)

➢ 但因為物體喺放係地面上，地面會托住個物體，所以地面會施一個向上嘅力喺物體身上。依個力叫做“法向反作用力 (normal reaction force)”。

➢ 我哋唔駛理依兩個力係因為物體唔會向上下移動，所以佢哋係會互相抵消嘅。

- 依家考慮一個喺斜面上面嘅物體。

- 設平行斜面而向下嘅方向為正。

- ◆ 留意喺一維運動入面，我哋係會用物體運動嘅方向嚟係正負。

- 有三個力作用緊喺物體身上：

- ◆ 物體嘅重量 W

- ◆ 摩擦力 f

- ◆ 法向反作用力 R

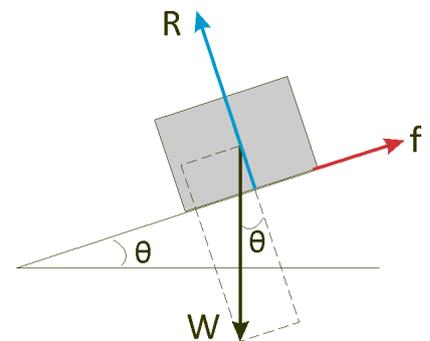
- 因為 D 力唔係平行嘅，所以我哋要做“力的分解”：

- ◆ 但留意，好以定正負方向嘅，我哋會沿於物體運動嘅方向嚟做力嘅分解。

- ◆ 平行於斜面的淨力 $= W\sin\theta - f$

- ◆ 垂直於斜面的淨力 $= 0\text{N}$ (原因當然係因為物體唔會垂直於斜面咁郁)

➢ 亦因為係咁，我哋可以知道 $R = W\cos\theta$



- ☆ 有關法向反作用力，我哋會喺後面學牛頓運動第三定律嘅時候再講多少少。

2.3.6. 應用牛頓運動第二定律解決有關一維運動的問題 (Applying Newton's Second Law of Motion to Solve Problem involving in One Dimension)

- 標題講明只考一維運動，即係物體只會沿住一條直線咁行。
 - 因此淨力嘅方向一定會同物體速度嘅方向一樣或者相反。
- 而“應用牛頓運動第二定律”即係考“ $F=ma$ ”條公式。
- 當然，考試又點會齋考一條咁簡單嘅公式呢。題目通常要你做嘅嘢係：
 - 要你計個作用喺物體上嘅“淨力”出嚟先。
 - ◆ 就係因為咁所以先要你學 2.3.5 入面嘅“測定作用於物體的淨力”。
 - 之後代入 $F=ma$ 度計個加速度出嚟。
 - 有咗個加速度之後，大家就可以再利用“勻加速運動方程”去計算其他資料。
- 例題： 有一架 300kg 嘅汽車以時速 80km/h 嘅速度行駛。若煞車的力量 (braking force) 是 3000N，汽車的煞車距離是多少？

- 解答： 根據牛頓第二定律，

$$F = ma$$

$$-3000 = 300 a$$

$$a = -10 \text{ ms}^{-2}$$

所以煞車時的減速度為 10 ms^{-2} 。

利用 $v^2 - u^2 = 2as$

$$0 - (80 \times 1000 / (60 \times 60))^2 = 2(-10)s \quad (80 \text{ km/h 要改為用標準單位 } \text{ms}^{-1})$$

$$s = 24.7 \text{ m}$$

所以，汽車的煞車距離為 24.7m