

1. 實驗原理說明

(一) 純量與向量：

純量(scalar)：不具方向性的物理量，如：質量、溫度、時間、路徑長、速率……

向量(vector)：具有**方向性**的物理量，如：力、位移、速度……

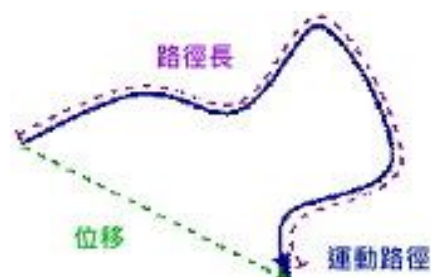
(二) 位置、位移與路徑長：

1. **位置(x)**：通常藉由座標描述質點的位置，而所選擇的參考點，稱為座標原點。

2. **位移(d)**：質點移動時，起、終點之間的**直線距離與方向**，與運動過程無關。

3. **路徑長(S)**：質點運動時所移動的**路徑總長度**，不具方向性。

註：物體運動時，位移之量值必小於或等於路徑長。



(三) 速率與速度：

1. **速率(speed)**：單位時間內所經過的路徑長，為純量。

平均速率： $v = S / \Delta t$

瞬時速率： $v = S / \Delta t$, Δt 趨近於零

2. **速度(velocity)**：單位時間內的位移，為向量。

平均速度： $v = d / \Delta t = \Delta x / \Delta t$

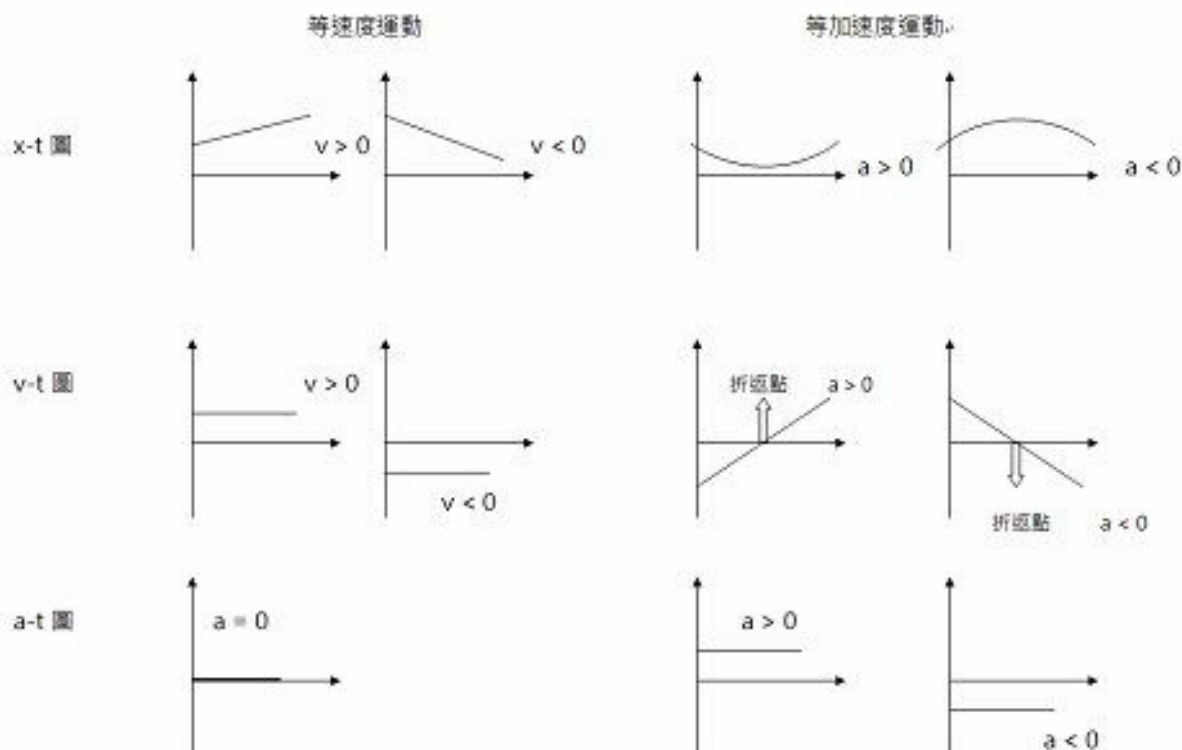
瞬時速度： $v = d / \Delta t = \Delta x / \Delta t$, Δt 趨近於零

當時間間隔非常小時，物體的運動可視為直線，即位移量值與路徑長可視為相同，因此**瞬時速度量值必等於瞬時速率**。

(四) **加速度(acceleration)**：單位時間內的速度變化，為向量。

平均速度： $a = \Delta v / \Delta t = \Delta^2 x / \Delta t^2$

瞬時速度： $a = \Delta v / \Delta t = \Delta^2 x / \Delta t^2$, Δt 趨近於零



x-t圖：x-t圖的切線斜率($\Delta x/\Delta t$)即代表該點的瞬時速度

v-t圖：(1)v-t圖的切線斜率($\Delta v/\Delta t$)即代表該點的瞬時加速度

(2)v-t圖所為面積=位移大小

物體運動之x-t圖、v-t圖與a-t圖解說：

<https://www.youtube.com/watch?v=d8is0o4DhO4>

自由落體

與本主題相關之藝術(Art)

1.多人花式跳傘

<https://www.youtube.com/watch?v=oA1LqxAUyYc>

2.飛鼠裝滑翔運動

<https://www.youtube.com/watch?v=BCKHnvDGWOY>

3.【開創歷史】跳傘好手不用降傘 從2.5萬呎高空成功跳落安全網〈報導〉2016/07/31

<http://hk.apple.nextmedia.com/realtime/international/20160731/55433324>

與本主題相關之工程、產品(Engineering,Product)

大怒神

為遊樂園中利用重力加速度的原理達到極高刺激度的自由落體遊樂設施。

<https://www.youtube.com/watch?v=Il1g92jFltE>

與本主題相關之技術(Technology)

1.自由落體

「自由落體」是遊樂園和主題樂園遊樂器材，在香港稱為「跳樓機」，而在台灣則稱為「大怒神」。這種遊樂器材的乘坐檯可將乘客載至高空，然後以幾乎重力加速度垂直掉落，最後以機械將乘坐檯在落地前停住，這種利用物理學中的自由落體現象設計的遊樂器材，也以相同的名稱命名。

自由落體的外型的主幹為一個高大的柱體，柱體周圍附有軌道，讓乘載具爬昇。乘載具的搭乘人數依設計而異，上具有安全桿和安全帶等保護設備。自由落體遊樂設施的系統中具有偵測載具爬昇、下降速度的感應器，來維持整套機器的正常運作。



2.降落傘

由透氣的柔性織物製成並可摺疊包裝在傘包或傘箱內，工作時相對於空氣運動，充氣展開，使人或物體減速、穩定的一種氣動力減速器。通常有一個面積很大的傘蓋，可以產生很大的空氣阻力。下落的人或物體通過繩索與傘蓋相連。降落傘可以保證在空中下落的人或物體的安全。降落傘是空降兵的重要裝備。利用降落傘，人們可以控制下降方向，保證降落地點準確。



終端速度：

物體因為受力而做等加速運動，當此物體所受到的阻力與原本所受的力相抵消時，物體不再做加速度運動，而以等速度運動，此時的速度稱為終端速度。

而降落傘即運用終端速度的原理達到安全落地。

3.飛鼠裝滑翔運動 (Wingsuit flying or wingsuiting)

一種人體飛行運動項目，使用一種特殊跳傘裝備，稱之為飛鼠裝 (wingsuit)，從外觀上而言它增強人們想要運用身體飛行的意義。最新式的飛鼠裝設計方面：羽翼的設計上在腳部之間以及手臂下方都連結著翅膜。

飛鼠裝的滑翔從開始到結束降落地面的條件，如同極限跳傘與定點跳傘這樣運動一樣，必須要提供一高海拔處並且允許開展降落傘的位置，方能夠使用這套裝備來進行滑翔的動作。

飛鼠裝的飛行員的降落傘裝備原本是為了極限跳傘以及定點跳傘這兩主運動而設計的。飛行員在一高海拔處降落並且拉開他的手背上的飛翼進行滑翔以及打開降落傘著陸。



與本主題相關之科學(Science)

(一) 抓硬幣

先擺數枚硬幣在手肘上，如上圖同學示範，準備完成後，迅速的讓手肘離開硬幣，並試著用手掌將所有硬幣抓住，（訣竅：手要比硬幣落下速度還快）接著估計硬幣落下距離，帶入公式驗證看看重力加速度 g 是否正確。

(二) 反應時間測試

讀國中生物時老師常常用直尺來測反應時間，要怎麼測反應時間呢？我們只需要一把尺，請一位同學拿尺，另一位同學在尺的下緣準備接尺，當拿尺的同學放開尺時同時按下碼表測放開尺到同學接到尺的時間，再將尺落下的距離與時間帶

入公式看看重力加速度 g 是否符合我們的期待。



（如果我們要知道一個人酒醉程度有沒有影響反應速度，用本實驗就可以知道囉！）

(三) 科學期刊測自由落體與電梯中之加速度變化

科學期刊app：

Google給業餘科學家的最新款Android應用程式



科技期刊app是數位的科學用筆記本，能夠使用Android手機的各種感測器做實驗。只要一支電話，即可偵測出聲音、光線和動態，輕輕鬆鬆就能進入科學的天地。



X軸(左-右移動的加速度)

Y軸(前-後移動的加速度)

Z軸(上-下移動的加速度)

(四)珠鍊噴泉

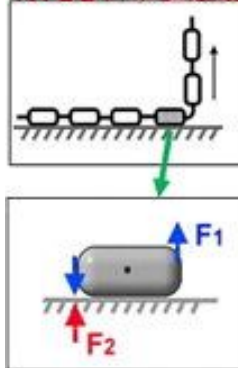
(1)珠鍊會持續從杯子中被拉出來，是由於重力的影響，亦即掉出杯子的珠鍊的重量（重力）往下拉，釋放的重力位能持續使杯子裡的鏈珠被拉出來。

(2)如果只是重力的影響，珠鍊只會被拉出來，不會有噴泉現象，因此必然是因為杯子裡的珠鍊受到除了重力之外的往上的力。

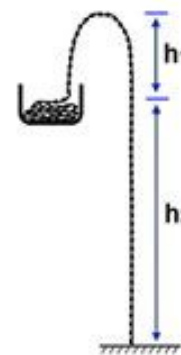
(3)此力來自於杯子內的珠鍊被重力往上拉時，除了「往上運動」，也伴隨著「旋轉運動」。參見圖五，珠鍊被往上拉的力為 F_1 （珠鍊右側），由於旋轉運動（以珠鍊中心為旋轉軸），珠鍊的左側為往下運動，必然撞擊杯底（或其他珠鍊），此撞擊產生的反作用力 F_2 就是使珠鍊往上的彈跳而產生噴泉現象的力。

(4)可推理如果 F_1 越大， F_2 也會越大，噴泉效應的高度也將會增加。而 F_1 來自於重力，因此掉落的距離越高，釋放的重力位能越大， F_1 也會越大。

NTCU科學遊戲實驗室



圖五



圖六

與本主題相關之數學(Math)

理想中的自由落體（忽略空氣阻力）：

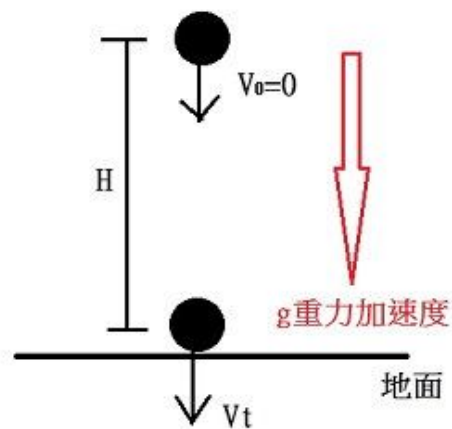
自由落體運動是指只受重力作用（沒有空氣阻力）的均勻加速度運動過程。

如果下落時間為 t ，瞬時速度為 V_t ，位移為 H ， g 為重力加速度

(1) $V_t = g \times t$

(2) $H = \frac{1}{2}gt^2$

(3) $H = \frac{V_t^2}{2g}$



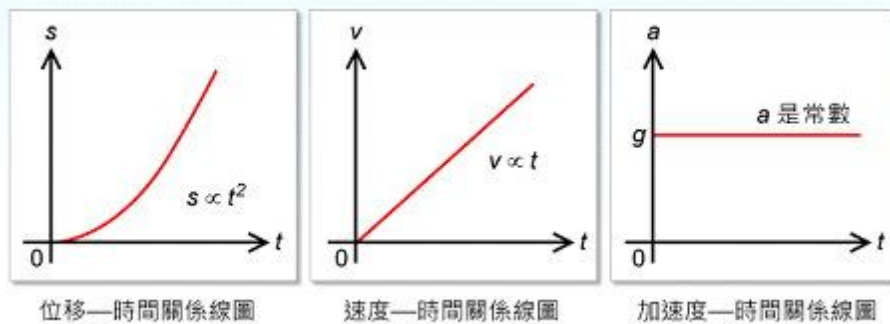
以上是自由落體的相關公式。

註：

1. 根據 $S = V_0t + \frac{1}{2}at^2$ ，當初速為零時，可得 $H = \frac{1}{2}at^2$ 。

2. 根據 $V_t^2 = V_0^2 + 2aS$ ，當初速為零時，可得 $H = \frac{V_t^2}{2g}$ 。

位移量、速度、加速度分別對時間做關係圖如下：



實際上的自由落體（考慮空氣阻力）：

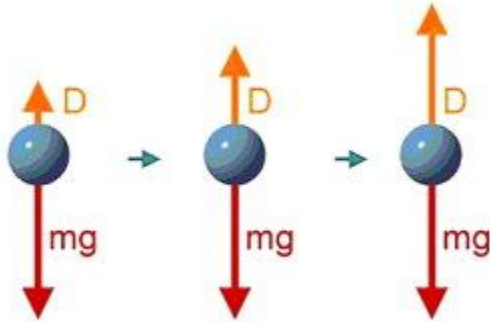
物體因為受力而做等加速運動（自由落體），當此物體所受到的阻力（空氣阻力）與原本所受的力相抵消時，物體不再做加速度運動，而以等速度運動，此時的速度稱為**終端速度**。

流體中的阻力： $D = \frac{1}{2}C\rho Av^2$

C:阻力係數，與物體的形狀有關

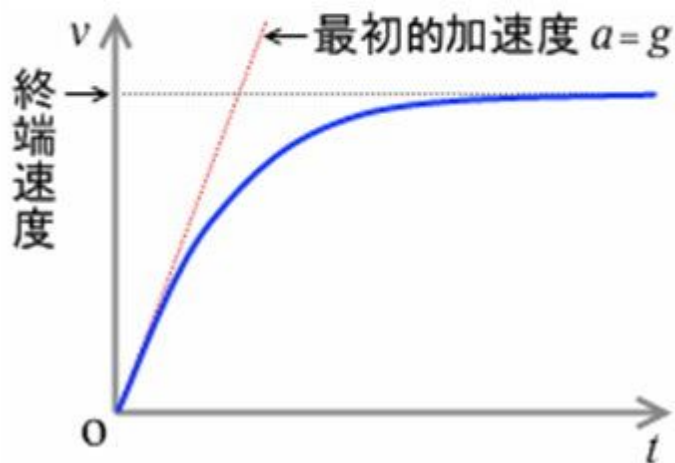
ρ :流體密度
 A :物體的有效截面積
 v :物體的速度

以自由落體而言，物體受重力作用，速度隨著物體下降增加，阻力也隨之增加。
當所受的阻力等於重力時，兩力相互抵消，物體以等速度下降。



$$mg = \frac{1}{2} C \rho A v^2$$

終端速度：
$$v_t = \sqrt{\frac{2mg}{C\rho A}}$$



2. 實驗器材

(一) 抓硬幣

1. 多枚硬幣

(二) 科學期刊測自由落體與電梯中之加速度變化

1. 安裝好應用程式「科學期刊」的手機
2. 捲尺
3. 膠帶
4. 軟墊

(三) 珠鍊噴泉

1. 珠鍊
2. 杯子

3. 實驗演示項目

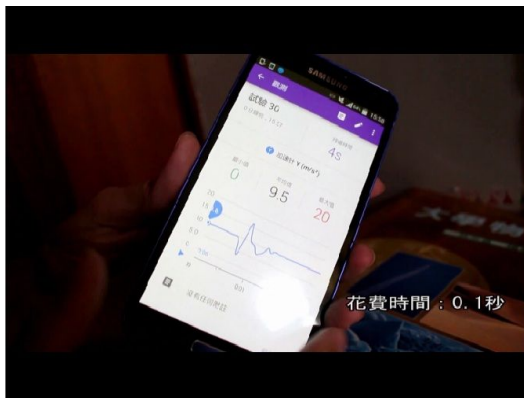
(一) 抓硬幣

1. 先擺數枚硬幣在手肘上
2. 準備完成後，迅速的讓手肘離開硬幣，並試著用手掌將所有硬幣抓住
(訣竅：手要比硬幣落下速度還快)
3. 估計硬幣落下距離，帶入公式驗證看看重力加速度 g 是否正確。



(二) 科學期刊測自由落體與電梯中之加速度變化

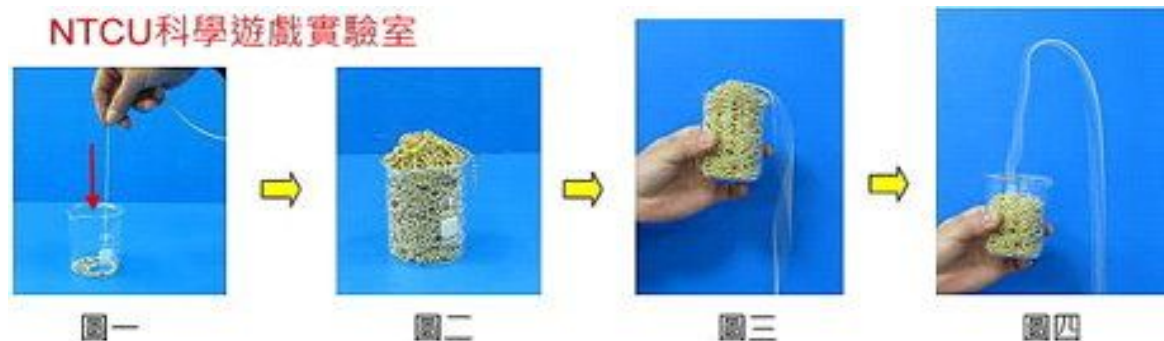
1. 使用應用程式科學期刊測得當手機分別以5cm、50cm、125cm之距做自由落體所需花的時間，並與理論值做比較。
2. 探討電梯上、下樓過程中加速度的變化。



(三) 珠鍊噴泉

1. 首先在五金行購買直徑約3毫米的珠鍊，建議購買約10公尺長。
2. 取一可以容納珠鍊的杯子，將鍊珠放入杯子中，如圖一。
注意：珠鍊不可以互相糾結或打結，完成後如圖二。
3. 將杯子拿起來，建議高度至少離地一公尺高，然後將珠鍊的末端往下拉（輕拉即可），並放手讓珠鍊自由落下（如圖三）。
註：讓珠鍊從杯子裡掉出來時，不必用力拉，建議先拉出約10公分，再自由落下即可。

結果，杯子裡的珠鍊持續被拉出來，落在地上。令人驚訝的是：珠鍊很快的形成噴泉狀！（如圖四）。這到底是怎麼回事呢？



4. 演示參考影片

1. 抓硬幣：<https://www.youtube.com/watch?v=nJLknKSDnAE>
2. 科學期刊測自由落體與電梯中之加速度變化：<https://youtu.be/oteoBsqx3YA>
3. 珠鍊落下似噴泉：<https://www.youtube.com/watch?v=f0-ja0s8nJA>
4. 雨傘真能當降落傘？：<https://www.youtube.com/watch?v=kNs4Tw3a-TE>

5. 演示參考看板及國高中學習單

(另製)

6. 這個實驗的趣味

- (1) 在電梯中用科學期刊所測得手機的加速度會因為電梯的運動不同而造成加速度的變化，上樓或下樓時候的加速度量值是變大還是變小呢？
- (2) 什麼魔力驅使長長的鍊珠像噴泉般湧出呢？
- (3) 我們在得知重力加速度 g 之後，就可以更進一步探討很多自由落體的奧秘，我們可以借由想像得知高空彈跳跟高空跳傘在跳出去的那一剎那與經過一段時間後的速度會有何差別。

7. 問題與討論

(同高中物理動手學—自由落體)

8. 相關學測題目

(圖片有問題)

102-54~55為題組

物體自高處落下時，除了受到重力之外，還有空氣阻力。某同學觀測一小物體自高處落下，其速度 v 與時間 t 的關係如圖12。

102-54.

圖12的數據中，小物體從 $t = 0$ s 至 $t = 2.0$ s 的位移與下列何值(單位為m)最為接近？

- (A) 4 (B) 6 (C) 9
- (D) 12 (E) 14

120-55.

下列有關小物體運動的敘述，何者正確？

- (A) 小物體的加速度量值越來越大
- (B) 在 $t = 1.4$ s 時，小物體所受空氣阻力的量值為零

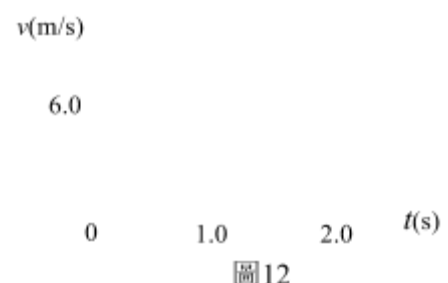


圖12

- (C)在落下的全程中，小物體所受空氣阻力的量值為一定值
 (D)小物體所受空氣阻力的量值隨速率增快而變大
 (E)在 $t = 2.0 \text{ s}$ 時，小物體所受重力量值為零

《基礎物理二A：一、運動學，直線運動》

103-63-64為題組

某生搭電梯由五樓直接下降到一樓，行進的距離為12公尺，取重力加速度為 10m/s^2 。電梯的速率 v 隨時間 t 而變，如圖11所示。當電梯由靜止啟動後可分為三個階段：最初的2.0秒加速行進；接著有 t_0 秒以2.0公尺/秒等速行進；最後4.0秒減速直到停止。

103-63.

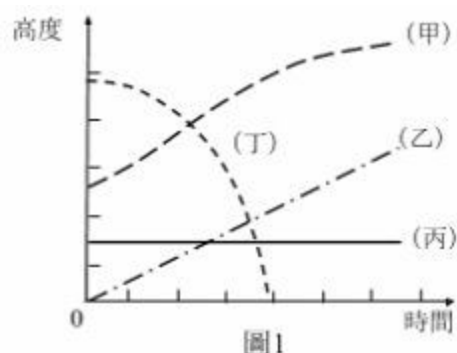
下列何者為圖11中的 t_0 值？

- (A) 2.5 (B) 3.0 (C) 3.5 (D) 4.0 (E) 4.5

《基礎物理二A：一、運動學，直線運動》

104-2.

某生靜坐在樹幹筆直的果樹下，觀測以下（I）至（IV）四者的高度隨時間變化的情況：



- (I) 樹幹上的凹洞
 (II) 從樹下沿樹幹等速向上爬行的松鼠
 (III) 樹上落下的果實
 (IV) 從樹上起飛且越飛越高的小鳥

該生將各運動簡化為質點運動，並以質點距地面的高度為縱坐標，時間為橫坐標，繪製高度對時間的關係圖，如圖1所示。關於圖線（甲）至（丁）與（I）至（IV）四者的高度隨時間變化的對應關係，下列選項何者最可能？

圖線 情境	甲	乙	丙	丁
(A)	I	II	III	IV
(B)	II	I	IV	III
(C)	IV	III	I	II
(D)	III	IV	II	I
(E)	IV	II	I	III

《運動學》

9. 參考資料

1. 維基百科
2. <http://www.makezine.com.tw/make2599131456/appgoogleandroid>
3. <http://ezphysics.nchu.edu.tw/ccp/kinematics/k5.htm>
4. <http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-037.html>

10. 其他

1. 世界自由落體紀錄

<https://www.youtube.com/watch?v=dOoHArAzdug>

2. 不揹降落傘往下跳 創紀錄行動將直播〈報導〉

<https://tw.news.yahoo.com/%E4%B8%8D%E6%8F%B9%E9%99%8D%E8%90%BD%E5%82%98%E5%BE%80%E4%B8%8B%E8%B7%B3-%E5%89%B5%E7%B4%80%E9%8C%84%E8%A1%8C%E5%8B%95%E5%B0%87%E7%9B%B4%E6%92%AD-134648272.html>