

## 2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

### 高中（職）組 成果報告表單

題目名稱：球球滾起來

#### 一、摘要：

當液體黏製係數不同時，液體滾動速率也會不同，因此在柱體中分別裝入膠水、蜂蜜、番茄醬等不同黏度之液體，並藉由 tracker 分析出液體每秒的運動速率，結果發現柱體會產生緩慢或間歇性運動。

#### 二、探究題目與動機

國小時，國小自然老師曾經讓我們看過不同質量的球滾動，並讓我們猜測哪顆球會較快滾動到終點，我們各自表達了各自的想法，而我當時是猜測質量較大會較快，然而實驗結果與我當時所想像的並不同，實際上是同時到達，我們問了為什麼，然而老師只說了以後就會知道了，於是這次的探究，我們就想探討裝了不同液體的柱形容器，與滾動速率之關係。

#### 三、探究目的與假設

##### 壹、目的與假設

本次實驗目的為，探討黏製係數對液體滾動速率的影響。假設液體黏滯係數愈高，滾動的速度會愈慢。

##### 貳、實驗原理

如果將一顆球從高處往低處滾時，球會呈現等速直線運動。但我們將黏滯係數高的液體放入蝸牛球裡，卻發現物體滾動速率會忽快忽慢，甚至停止，所以我們想去探討黏度跟速率之間的關係。

黏度也稱動力黏度、黏（滯）性係數、內摩擦係數。定義為流體承受剪應力時，剪應力與流體單位速率差的比值。簡單來說，黏滯力是黏性液體內部的一種流動阻力，並可能被認為是流體自身的摩擦，其力量主要來源為分子間相互的吸引力。黏度較高的物質，比較不容易流動；而黏度較低的物質，比較容易流動。其中液體的黏滯係數分別為水： $8.90 \times 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 、蜂蜜： $50 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 、膠水  $0.3\text{-}30 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 、番茄醬： $20 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 、護手霜： $30 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 。

蝸牛球延斜坡滾下能夠呈現緩慢或間歇性之滾動運動，是因為其動能和重心位置之搖晃平衡現象而看似漸歇所致。瓶內的高黏滯性液體會於旋轉使球體整體的重心移動至球體與斜坡之接觸點正上方，使蝸牛球的轉矩消失。而滾動之速率取決於黏滯性流體使重心轉移之速率。當旋轉速率較高且黏滯性流體於瓶內分布較均勻時，整體動能會比重心之最大位能還高，即會形成連續滾落之現象。

## 註:名詞解釋

**蝸牛球**：本實驗的主要觀察對象，由一個材質輕且中空的柱形容器，把黏滯液體和 BB 彈放入其中，而組成的玩具。

**黏滯係數**: 流體承受剪應力時，剪應力與流體單位速度差的比值。單位: 帕斯卡·[Pa·s]

## 四、探究方法與驗證步驟

### 壹、實驗材料

柱形容器兩層(蝸牛球)、100ml 量杯兩瓶、bb 彈 (紅綠黃)、保鮮膜(22cmX100 尺)、尺 2 隻 ( 50cm )、量角器砂紙 ( #400 )、木製斜面、水、膠水(135ml)、蜂蜜 ( 50ml )、番茄醬(1 罐)、護手霜(60ml)。

### 貳、實驗步驟

1. 用砂紙 ( #400 )，打磨木製斜面(需均勻打磨，不可有地方為粗糙)。
2. 將其中一種液體 ( 水、膠水、蜂蜜、番茄醬、護手霜 ) 分別倒入兩個量杯 取 20ml 的液體，再各自倒入柱形容器中的上層與下層，並各放入一顆 bb 彈(選擇在液體中顏色最鮮豔的 BB 彈)。
3. 將倒入液體的柱形容器的開口，用兩層保鮮膜蓋起來，再將蓋子蓋上。
4. 將木板放置在地面上與地板的角度呈  $10^\circ$  ( 用量角器測 )。
5. 接著開始進行實驗，將柱形容器從木製斜面上滾下來，過程中使用手機錄影 ( 此步驟每種液體重複 10 次 )。
6. 結束後換另一種液體，並重複步驟 2 到步驟 4，直到所有液體 ( 水、膠水、蜂蜜、番茄醬、護手霜 ) 都實驗完畢。
7. 將影片放上 tracker 進行數據分析。



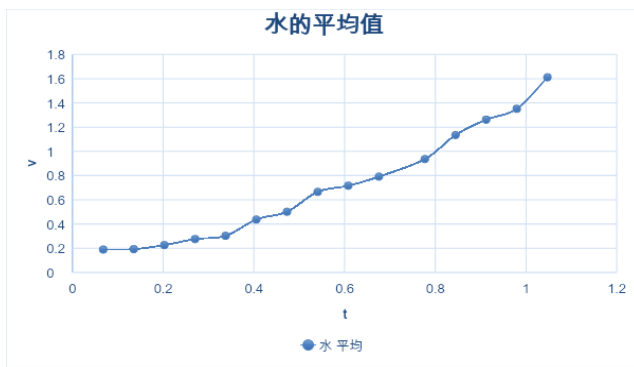
實驗裝置

## 五、結論與生活應用

### 壹、實驗數據

#### 一、個別分析

(一) 木製斜面(400 號砂紙) 蝸牛球內部裝水



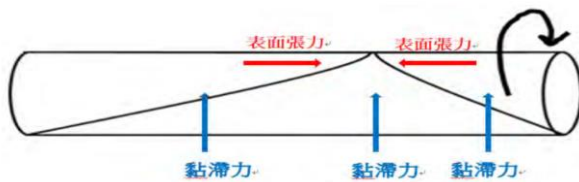
圖一蝸牛球內部裝水的平均數據)

**分析:**

水在(0-0.2 秒)的速率並未有明顯改變，直到(約 0.35 秒)速率開始上升。

**討論:**

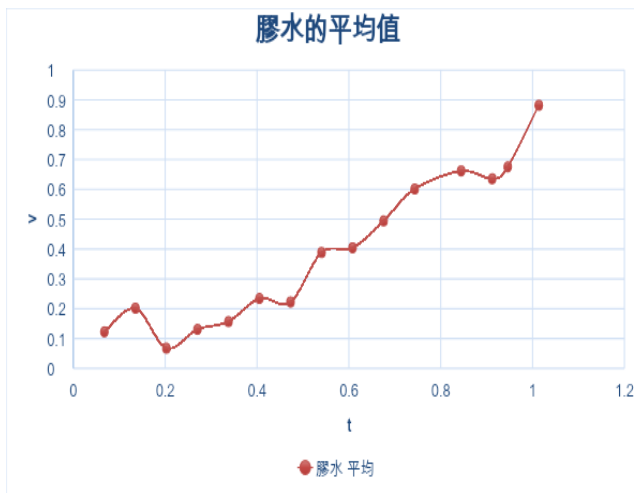
因為水的黏度並不大，所以不太會因液體的黏滯性影響到滾動的速度。不過當蝸牛球剛開始轉動時，管壁會拉起水形成薄膜，越上方管壁的水會因為重力影響逐漸增大，而因為水和管壁之間的速率差越小，導致黏滯力下降，同時在表面張力的作用下，為了達到水膜的最小面積，水薄膜向中間聚集，因此在管壁上會形成山坡，如圖二所示，所以才在剛開始(圖一 0.15-0.2 秒)有明顯的改變。



圖二

(資料來源: 液兒液兒瓶中轉)

(二) 木製斜面(400 號砂紙) 蝸牛球內部裝膠水

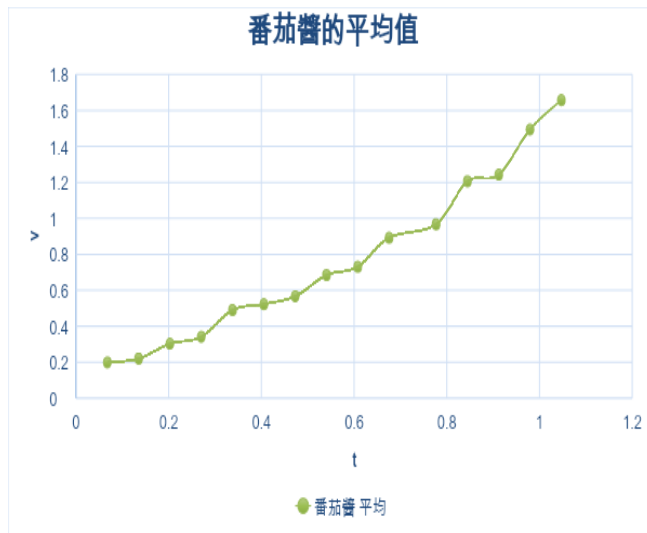


圖三(蝸牛球內部裝膠水的平均數據)

**分析:**膠水在(0~0.1 秒)速率上升直到(0.1~0.2 秒)大幅下降，接著(0.2~0.3 秒)又上升，(0.3 秒)開始平緩上升，(0.3~0.4 秒)開始加快上升，(0.4~0.5 秒)小幅下降，(0.5~0.6 秒)一開始速率大幅上升，後面開始平緩下降，(0.6~0.8 秒)速率逐漸上升(0.8~0.9 秒)先小幅上升，接著開始小幅下降，(0.9~1 秒)已開始快速上升。

(三) 木製斜面(400 號砂紙) 蝸牛球內部裝番茄醬

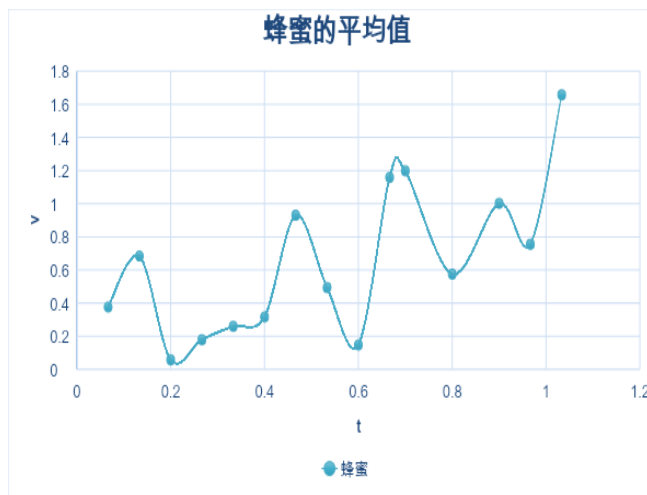
圖四(蝸牛球內部裝番茄醬的平均數據)



分析:

番茄醬的速度皆緩慢起伏。(0.1~0.25 秒)速度上升，(0.3-0.4 秒)速度變為平緩，(0.4~0.6 秒)速率又變快。在(0~0.15 秒)速率平緩上升，(0.15~0.2 秒)小幅上升，(0.2~0.3 秒)又開始平緩上升，(0.3~0.5 秒)一開始小幅上升，接著又平緩上升，(0.5~0.8 秒)一開始小幅上升，接著平緩上升，(0.8~0.9 秒)一開始大幅上升，接著超平緩上升，(0.9~1.1 秒)是大幅上升然後小幅上升。

(四)較粗的木板(400 號砂紙) 蝸牛球內部裝蜂蜜

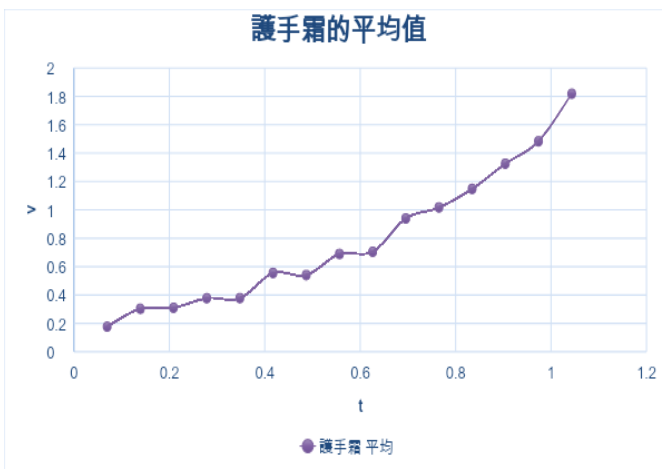


圖五(蝸牛球內部裝蜂蜜的平均數據)

分析:

(0.1~0.2 秒)先大幅上升，接著大幅下降，(0.2~0.4 秒)先小幅上升(0.3 秒)左右變平緩上升，接著小幅下降後又上升，(0.4~0.5 秒)大幅上升，(0.59 秒)曲線又再上升，(0.6~0.7 秒)超大幅上升，後面一小段是一個上升到下降的小曲線，(0.7~0.8 秒)是大幅下降，(0.8~0.9 秒)是大幅上升，(0.9~0.95 秒)是大幅下降，(0.95~0.15 秒)是超大幅上升。

(五) 木製斜面(400 號砂紙) 蝸牛球內部裝護手霜



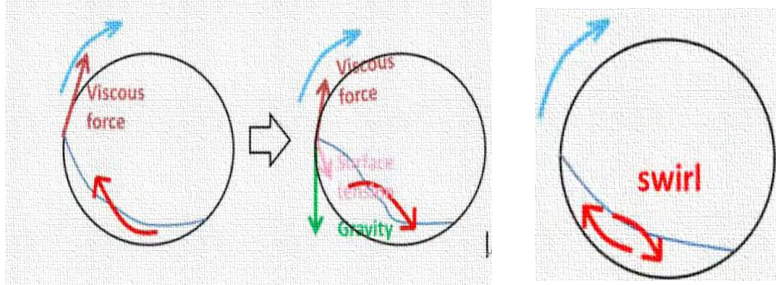
圖六(蝸牛球內部裝護手霜的平均數據)

分析:

(0.1-0.35 秒)速率緩慢上升，約(0.17 秒)速率些微下降，(0.35 秒)開始速度開始上升。(0.35-0.75 秒)呈小型的波浪狀，最後持續上升。

## 結論:

蝸牛球開始轉動的時候，因為黏滯力帶動使液體被拉起，一開始黏滯力 > 重力+表面張力所造成的力，所以會有一層薄膜從管壁和液體接觸面被拉起來，造成在整個蝸牛球管壁都有一層極薄的液體，但當黏滯力帶動的液體變多時，重力+表面張力造成下拉的力變大，而拉起的液體和管壁的速率差變小，導致黏滯力下降，因此液體會往下流，因為蝸牛球是

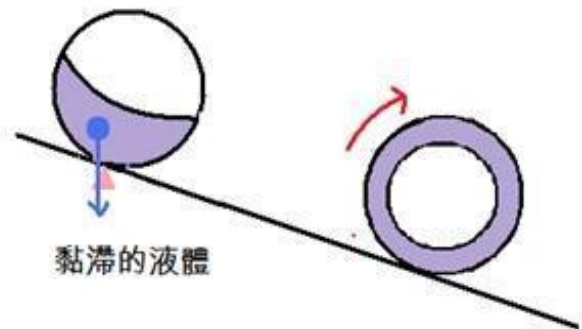
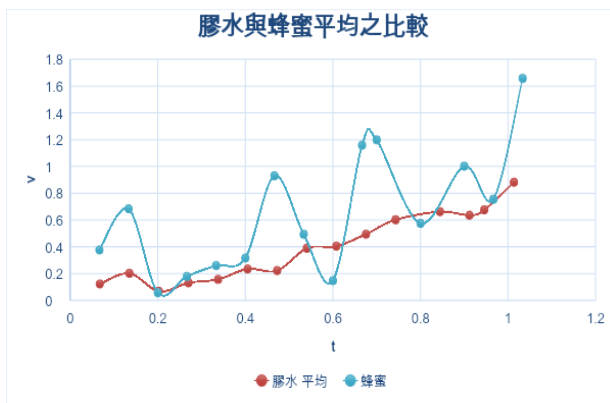


持續轉動，所以在這樣的循環之下會產生一個漩渦，如圖六所示(紅色箭頭為液體方向，藍色箭頭為蝸牛球的轉動方向)。

圖七(資料來源: 液兒液兒瓶中轉)

## 二、比較分析

### (一) 木製斜面(400 號砂紙) 黏度高的非牛頓液體

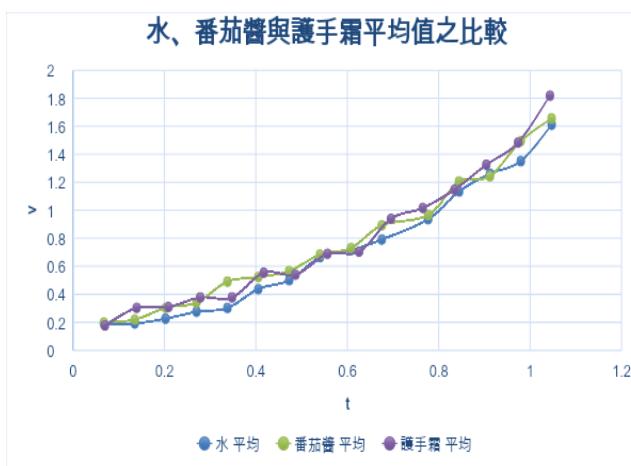


圖八(蝸牛球內部分別裝入膠水、蜂蜜的平均之比較)

圖九(圖片來源:科學小玩意)

藉由觀察發現膠水與蜂蜜都並非一味的加速。膠水的運動，在剛開始會出現停滯的狀況，(如下圖所示)，就算外罐已翻轉，裡頭液體仍緩緩流動，並與蝸牛球產生反方向的力矩，直到變成右邊像輪胎那個樣子，才會開始加速，原因就是因為他黏滯係數大。其中受到蜂蜜受到黏滯力的影響比膠水大上許多(圖八波浪狀可知)。

### (二) 木製斜面(400 號砂紙) 黏度低的液體

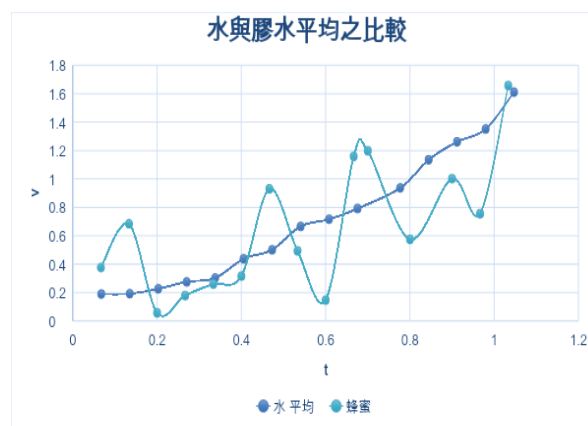


圖十(蝸牛球內部分別裝入水、番茄醬與護手霜平均值之比較)

非牛頓流體包括假塑性流體和賓漢流體。賓漢流體有時像液體，有時像固體，以牙膏為例，我們用力擠它時，才會從管子裡面「流」出來，被擠到牙刷上時，它也依然能夠保持一定的形狀而不會趴下去，護手霜就是這樣的原理，其剪切應力和剪切速率也是成線性關係，但與牛頓流體不同的是，它有一個屈服應力，只有當外力大於屈服應力時它才會發生流動。番茄醬屬於假塑性流體，

在低剪切速率下黏度保持為常數，當剪切速率增大，黏度反而減小。也就是說給它施加的外力越大，它表現出來的黏度越小。所以它也叫做切力稀化流體。像是我們緩慢攪拌酸奶的時候，會發現比較費勁，而攪拌得快了，反而會更加輕鬆。這三個液體看似相同，但還是有些微的差異，例如水都的速度都是一直上升的，故其黏滯力小於重力。但護手霜跟番茄醬皆有忽快忽慢的情形，固期黏滯力大於重力。其中護手霜忽快忽慢的現象較番茄醬明顯，故期黏滯係數大於番茄醬。

### (三) 木製斜面(400 號砂紙) 黏度最高與最低之比較



圖十一(蝸牛球內部分別裝入水與膠水平均值之比較)

此組數據以黏度最大的蜂蜜以及最小的水做對比。蜂蜜會呈現維波浪狀的原因為滾動速率受到液體流動影響，因蜂蜜黏度較大，而在滾動的過程中膠水與罐壁的黏滯與阻力，使得在滾動中產生反方向力矩減緩移動與滾動的速率。而水就不易受到黏度影響，保持原狀靠重力滑落。有此現象可發現，當液體黏度較大時，其運動速率就容易呈現波浪狀。

## 貳、結論

當物體黏滯力 > 重力 + 表面張力時，蝸牛球的運動速率就會變慢，甚至靜止。本次實驗的黏滯係數的大小為，蜂蜜 > 膠水 > 護手霜 > 番茄醬 > 水。伽利略在測量自由落體的加速度時，測量工具均為剛體，包括球也是實心的均勻球體，因此變化的規則是可預期的。不過本次實驗球體內是空心的，裡面所裝的液體的黏滯係數也不同，以至於其運動並非等速。

## 參考資料

科學玩具柑仔店

<http://kingdarling.blogspot.com/2013/02/snail-ball.html>

Deceptology

<http://www.deceptology.com/2010/03/snail-ball-does-not-obey-gravity-at.html>

滾動液罐中液體作用之探討

[https://www.mxeduc.org.tw/scienceaward/history/projectDoc/8th/doc/SA8-081\\_final.pdf](https://www.mxeduc.org.tw/scienceaward/history/projectDoc/8th/doc/SA8-081_final.pdf)

滾吧！瓶瓶罐罐～裝膠水的罐子會怎麼滾？

<http://n.sfs.tw/content/index/11393>