

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

□普高組 成果報告格式

題目名稱：未解之謎-不會混合的三色牙膏

一、摘要

思考為什麼三色牙膏不論怎麼擠壓都不會混合在一起，我們透過一系列的實驗得出，要破壞掉牙膏的結構才能將其混合成單色，擠壓較不容易。此外，我們思考並設計改變牙膏包裝是否有影響。也藉由簡易實驗探討層流與牙膏的關係。藉由實驗去查詢有關牙膏成分以及原理並分析。

二、探究題目與動機

每天起床後必定會做的事情莫非就是刷牙了，你是否有注意過帶有不同顏色線條的牙膏，無論你怎麼放置，三個顏色的線條都不會混在一起。不管怎麼捏、擠，最終擠出來依舊維持原樣。究竟是擠得不夠徹底、還是它真的很頑強堅持不變呢。所以我們根據上述的問題做了幾個簡單的小實驗，以不同力道擠壓和攪拌去觀察結果，再去延伸探討其背後的意義。

三、探究目的與假設

- (一)了解牙膏組成成分。
- (二)平放的三色牙膏不會混色的原因。
- (三)三色牙膏擠出後不會混在一起的原理。

(四)改變作法例如擠壓、捏、攪拌觀察結果。

(五)假設以不同包裝，同樣力道捏合，觀察是否對混色難易程度有影響。

四、探究方法與驗證步驟

(一)研究器材及設備：

三條同牌子的三色牙膏、紙張、盤子、剪刀、筷子、長尾夾、寶特瓶、吸管、煉乳、塑膠袋。

(二)研究方法與實驗設計：

實驗一：將牙膏以不同力道捏合，觀察擠出後的牙膏是否和原本一樣三色分明。

實驗二：實驗組為正常的牙膏包裝(較硬)，對照組為以塑膠袋包裹的模擬牙膏，探討包裝材質是否會影響到混色難易程度。

實驗三：以空的寶特瓶連接吸管讓水流保持平穩，從同側持續擠煉乳，模擬雷諾數層流的實驗。

(三)實驗步驟：

實驗一：觀察冷凍牙膏的橫切面→分別以不同力道擠捏牙膏→觀察結果→剪開牙膏的後面用筷子將牙膏攪拌→擠出牙膏並觀察。

實驗二：將牙膏擠進塑膠袋裡→將空氣全部擠出並封緊→以相同的力道捏合→從底端剪成類似於牙膏口的大小→觀察並擠出。

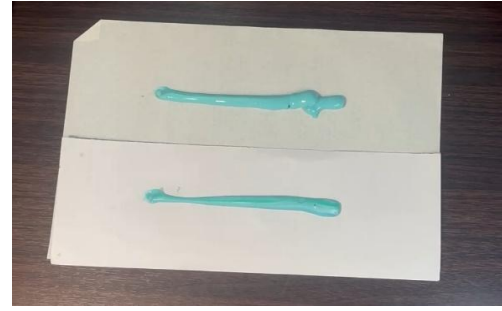
實驗三：將寶特瓶蓋剪成和粗吸管一樣的大小→將吸管穿入後蓋上瓶蓋並倒過來→吸管底端須和寶特瓶瓶口平行→將水注滿後開始擠煉乳→觀察。

(四)實驗與過程：

在實驗開始前我們注意到瓶子的設計有可能會影響實驗的結果，例如瓶內自帶隔層，所以我們先將牙膏冷凍，觀察其橫切面。剪開瓶身觀察內部結構為毫無阻礙的空瓶。我們設想牙膏在受到捏合後，牙膏內應該會被混合，擠出的牙膏應該為單色的。在經過實驗後，以小力道捏合的牙膏，結果為三色線條交界變得較不清楚，但依然不能混合成單色。我們加大力度的揉捏、擠壓，持續個一分鐘，期望裡面的牙膏能夠混合成單色，結果雖然有混合一點，但依舊有明顯的線條。我們加大強度捏了兩分鐘，依舊未混合。我們決定將牙膏剪開用筷子將其攪拌，攪拌後的牙膏雖然比前者都要接近單色，但依舊有不明顯的線條，我們猜測是我們攪得不夠徹底。改變攪拌的方向，改從前端攪拌，結果最後真的被混合在了一起。也因為攪拌的關係，破壞了牙膏的結構，導致變稀。觀察以不同力道捏合擠出後的效果(圖一)觀察攪拌過後擠出的效果(圖二)我們可以從(圖一)觀察到以捏合的方式並不能完全的使牙膏混合成單色，擠出後依然是三色，且並沒變得更稀。從(圖二)裡我們了解到了需要破壞牙膏的結構才能使牙膏混成單色。並且觀察到攪拌過後的牙膏比沒攪拌的還要稀，更接近流體。



(圖一)不同力道捏合擠出的結果



(圖二)攪拌後擠出的結果

讓我們意想不到的，改變了包裝材質，將三色牙膏混成單色牙膏竟然不需花費與之前還要多的時間，較薄的塑膠袋擠壓時的壓力較容易均勻傳導，混合程度越高。另一方面是色層排列結構受損。牙膏一般情況下是以穩定的擠壓讓三色不易混合，但因為袋子薄的原

因，牙膏的分色結構就越容易破壞，因此較好成為單色。

我們嘗試著模擬當初雷諾數的層流實驗，我們以寶特瓶來彌補設施的不全，將煉乳從流水的一端持續擠出，觀察吸管内是否符合雷諾數的層流。在結果可以觀察到煉乳順著水流平行的運動。發現在水流速率較慢時物質可以較平穩前進，當水流速率變快後物質明顯的出現變化直到後面越來越混亂，這也帶出了雷諾先生當時提出的，控制物質流動狀態的是一個無量綱數，這就是雷諾數的來源。



裝置



結果

(五)原理與分析：

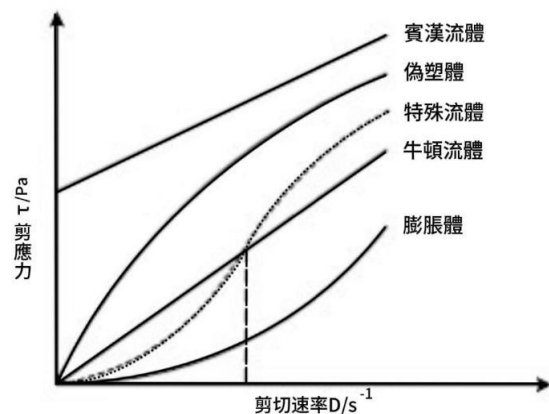
三色牙膏在管內不會混合就要從流體開始說起，流體又分做牛頓流體以及非牛頓流體，什麼是非牛頓流體？非牛頓流體是一種不遵守牛頓黏性定律的流體，非牛頓流體的黏度會隨剪切效率而變化。近年牙膏被分為剪裁變稀的一種，是指非牛頓流體在裁切或攪拌之後流體速度改變。除了剪裁變稀，我們的主題牙膏也是非牛頓流體中的賓漢流體（在流動前有屈服應力。），牙膏有臨界屈服應力，當他超過臨界值，才會開始流動。這也就表示靜止平放牙膏時三個顏色不會向下混在一起。所以當你不管放了好久，只要沒有外力介入，他就永遠不會混在一起。賓漢先生的研究裡有提到，懸浮物中的固體顆粒網路(三維網狀結構)使它在不受力的影響下，具有固體般的屈服應力，不具流動性，當外力超過臨界值，顆粒網路被破壞成小結構，黏度降低，所以將牙膏放在桌上一會他也不會融合。牙膏的黏度

圖一

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

雷諾數 ρ 體積密度 v 流體流速 D 管內直徑 μ 流體黏度

圖二



與壓力無關，所以當擠壓時流速並不會改變。但攪拌時因為破壞了牙膏結構，所以會造成流速變快導致變稀。關於三條色彩不混合的原理牽涉到了流動的本質，使用雷諾數(圖一)可以來描述流體流動狀態。一般來說雷諾數小於 2000 為層流，雷諾數大於 4000 則為湍

流。牙膏的雷諾數大約為 0.0005，所以為層流(圖二)。牙膏的各個顏色有屬於自己的獨立軌跡，部分互不干擾，平行的向擠壓的方向流動，只要不把他們全部攪在一起通常不會有特別的變化，所以三色線條不會混合。

五、結論與生活應用

牙膏的流動方式為層流，所以三個顏色才不能混在一起，需要破壞牙膏結構，才能將他們混合。在日常生活中我們也可以觀察到很多層流的現象發生，例如最親近我們的血液，人體內的毛細血管內的血液是典型的層流，可以確保氧氣和養分穩定的運輸。醫療注射以及點滴，為了確保注射時的安全，液體需要穩定且可被預測的進入人體血管內。注射針筒、點滴管線的設計會影響流速與管徑，讓液體維持在低雷諾數內，就能確保是「層流」狀態。日常生活中還有不少有用到層流存在，他看似隱形，但卻是一個很實用的原理。

應用場景	使用目的	好處	層流特性
水龍頭	穩定水流	省水、避免噴濺	平滑、低速流動
醫療點滴	穩定輸液	確保藥效和安全性	低雷諾數

參考資料

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35194071/>

https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/bulletin/13/nbsbulletinv13n2p309_A2b.pdf

<https://reurl.cc/VY8lxb> <https://reurl.cc/Z4XvLQ>

<https://reurl.cc/NYq9Km>