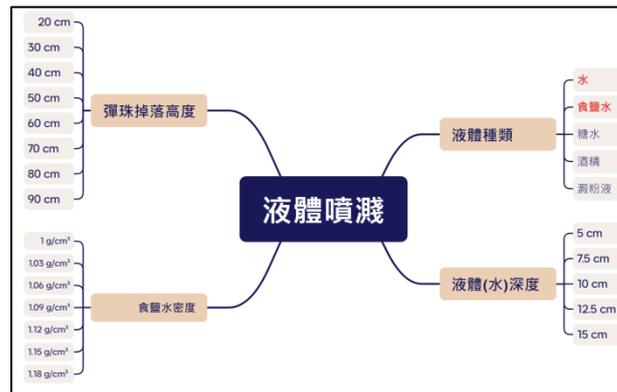


## 2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 普高組 技高組 成果報告格式

<b>題目名稱： 見證科學的水花——液體性質、落下條件與液體回彈高度的關係</b>
<b>一、摘要</b>
<p>液體濺射在日常生活中很常見，有時甚至令人困擾。因此，本研究的目的是探討影響液體反彈（沃辛頓射流）的潛在因素。我們在實驗中使用彈珠作為落下的物體，並利用高速攝影機捕捉反彈影像，再透過「Tracker」軟體收集數據。結果顯示，影響沃辛頓射流的主要因素為落下高度與液體深度。液體反彈的高度與落下高度呈正相關，且增加趨勢呈高度線性，但隨著落下高度增加，液體反彈變得更不穩定。另一方面，液體反彈的高度也與水深成正相關。最後，對於食鹽溶液而言，隨著密度增加，液體反彈的高度先下降後上升。當食鹽溶液密度低於 <math>1.12 \text{ g/cm}^3</math> 時，液體的黏度會抑制反彈；而當時食鹽溶液密度高於 <math>1.12 \text{ g/cm}^3</math> 時，表面張力則會促使液體反彈更高。本研究探討了沃辛頓射流與落下高度、液體深度及食鹽溶液密度之間的關聯性。然而，食鹽溶液的實驗中，關於黏度與表面張力如何影響沃辛頓射流的機制仍需進一步研究。</p>
<b>二、探究題目與動機</b>
<p>水是我們日常生活中不可或缺的一部分，但我們時常會被水濺濕。無論是在刺激的跳水比賽中，還是烹煮湯品時，液體濺射都是常見的現象。其中包括沃辛頓噴射流現象。沃辛頓射流的機制如下：當彈珠撞擊液體表面時，會形成一個氣柱，暫時增加液體表面積。由於表面張力的作用，液體會試圖縮小其表面積，導致液體回彈。此種液體回彈在日常生活中很常見，有時甚至令人困擾。因此，本研究的目的是：探討影響液體回彈（沃辛頓射流）的潛在因素。</p>
<b>三、探究目的與假設</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>一、不同的液體組成會造成不同噴濺高度</li><li>二、探討液體深度對噴濺高度的影響</li><li>三、探討彈珠掉落高度對噴濺高度的影響</li><li>四、調製不同密度的食鹽水，探討密度對噴濺高度的影響</li></ul>
<b>四、探究方法與驗證步驟</b>

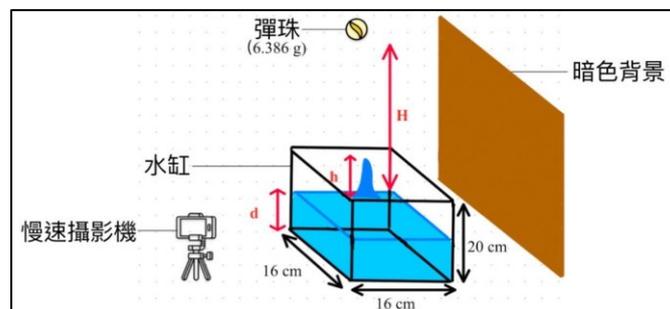
## 一、實驗架構



圖一、實驗架構圖

## 二、實驗設計

- 每組實驗進行 40 次，並利用箱型圖整理數據。
- 實驗一：將彈珠投入不同液體溶液中，觀察液體性質與液體回彈高度的關聯。液體種類包括：酒精、水、鹽溶液、糖溶液、馬鈴薯澱粉溶液。
- 實驗二：改變物體掉落高度 ( $H=20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 \text{ cm}$ )，固定液體(水)深度  $10 \text{ cm}$ 。
- 實驗三：改變液體(水)深度 ( $d=5, 7.5, 10, 12.5, 15 \text{ cm}$ )，物體掉落高度  $30 \text{ cm}$ 。
- 實驗四：在水中加入鹽以改變液體密度，固定物體掉落高度  $30 \text{ cm}$ 、液體(食鹽水)深度  $10 \text{ cm}$ 。



圖二、實驗裝置示意圖

## 三、實驗結果

- 實驗一：

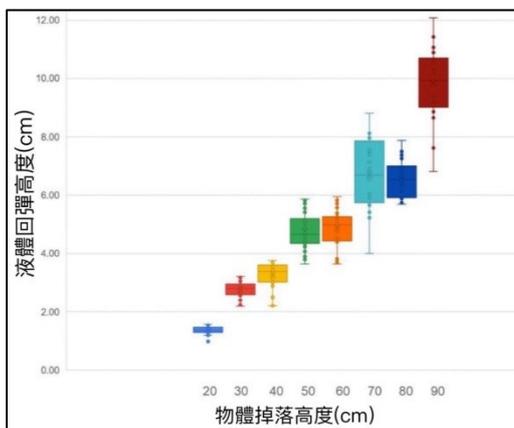
表一、不同溶液的密度與液體回彈高度

	水	食鹽水	糖水	酒精	澱粉液
密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.0	1.1	1.3	0.8	1.5
液體回彈高度(cm)	3.0	4.5	4.5	4.0	3.0

- 表一展示了彈珠在相同條件落入不同液體後，液體回彈的高度。酒精水溶液有著  $4 \text{ cm}$  的回彈高度，水與澱粉水溶液的回彈高度為  $3 \text{ cm}$ ，食鹽和糖水溶液的回彈高度為  $4.5 \text{ cm}$ 。

● 實驗二：

- 在實驗二中，我們改變了物體掉落高度並觀察液體回彈的高度，實驗結果如圖三所示：彈珠掉落高度越高，液體回彈得也越高。
- 在箱型圖中，四分位距(IQR)反映出數據的離散性。因此，根據圖三，我們發現在較低的彈珠掉落高度，數據離散性較小，其暗示著液體回彈較為一致。相對地，在較高的掉落高度，數據離散性較大，其暗示著液體回彈較不一致。



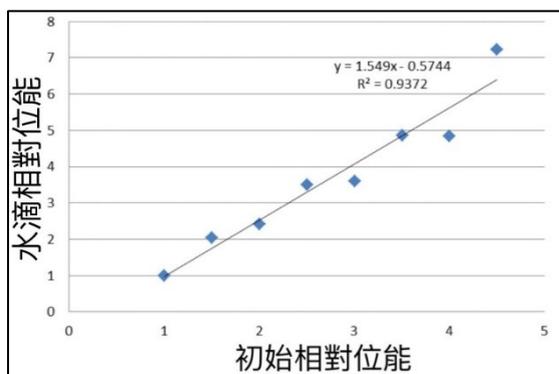
圖三、液體回彈-彈珠掉落高度箱型圖

- 為了研究彈珠掉落高度與液體回彈高度間的關係，我們使用位能公式計算了能量大小並製作了表二

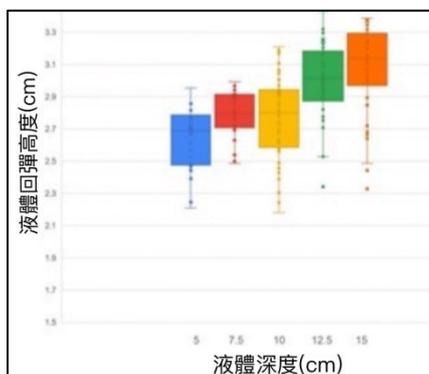
表二、液體回彈的相對位能表

彈珠的相對初始位能與液體回彈的相對末位能為我們使用位能公式計算的結果。我們假定每一回彈液珠的質量相同並使用算術平均數代表不同高度下液體的回彈高度。我們將在高度 20 cm 觀測到的結果當作基準值 1 以觀察比例關係。

掉落高度(cm)	20	30	40	50	60	70	80	90
初始相對位能	1.0 (標準)	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
水滴相對位能	1.0 (標準)	2.0	2.4	3.5	3.6	4.9	4.8	7.2



圖四、初始相對位能與水滴相對位能



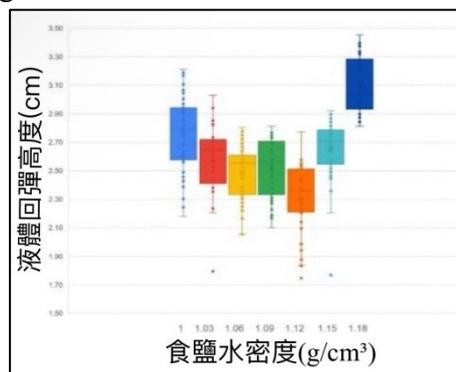
圖五、水深與彈跳高度箱型圖

- 根據表二與圖四，我們可觀察到液體回彈的高度與彈珠掉落高度的關係為正相關。在線性回歸模型中，其回歸直線的方程式為  $y=1.549x-0.5744$  而  $R^2$  值為 0.9372，這表明液體回彈高度的增加是高度線性的。
- 實驗三：
  - 根據圖四，較深的水深會導致較高的液體反彈。然而，這種增加並非完全線性。在較淺的水深（例如 5 cm）時，液體反彈的高度相對較低且穩定；而在較深的水深（例如 15 cm）時，反彈高度顯著增加，並且數據伴隨著更大的離散性。
  - 為了探討液體深度與液體反彈高度之間的關係，我們計算了數據的標準差，並將結果表達為相對於最大值的百分比。此外，儘管彈珠的高度保持不變——這意味著進入水中的位能和動能相同——但較深的水層能夠讓液體反彈得更高。具體而言，在水深為 5 cm 的組別中，反彈高度僅為水深 15 cm 組別觀察到的 86%。

表三、不同深度下的液體回彈高度及相對於最大值的百分比

水深(cm)	5	7.5	10	12.5	15
平均回彈高度(cm)	2.632	2.786	2.765	3.001	3.065
標準差	0.184	0.14	0.252	0.241	0.281
相對於最大值百分比(%)	86%	91%	90%	98%	100%

- 實驗四：
  - 根據實驗二和實驗三所述，水滴落下高度和水深皆影響水滴回彈。因此，進行實驗四時，此兩變因設為控制變因。根據圖六，隨著食鹽逐漸加入、溶於水中，水滴回彈高度漸減，但當食鹽水密度達到  $1.12\text{g/cm}^3$  時，趨勢轉而漸增。除此之外，食鹽水的密度達到接近飽和的  $1.18\text{g/cm}^3$  時，回彈高度已經比純水高。



圖六、食鹽水密度及液體回彈高度

#### 四、實驗分析

- 實驗一：
  - 在進行初步實驗後，我們發現除了高度與深度之外，密度、黏度與表面張力等有關液

體性質的因素也可能影響液體反彈的高度。因此，我們選擇較容易測量的密度作為其中一個變因。

● 實驗二：

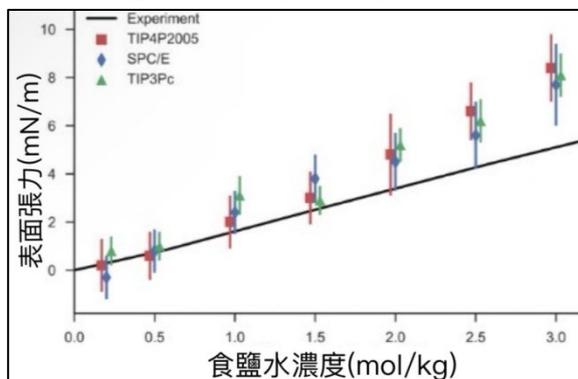
- 當彈珠落下高度較高時，彈珠具有更多初始位能，其取決於其高度。這會導致產生較大且較長的空氣柱，從而促使液體反彈得更高。
- 隨著落下高度從 20 公分增加到 90 公分，數據標準差也變大，這表示液體反彈不穩定的可能性也隨之增加。某些因素，例如空氣柱在較高彈珠落下高度時產生的結構不完整，可能會導致液體反彈的不穩定。因此，隨著落下高度增加，液體反彈變得更加不穩定且不一致。

● 實驗三：

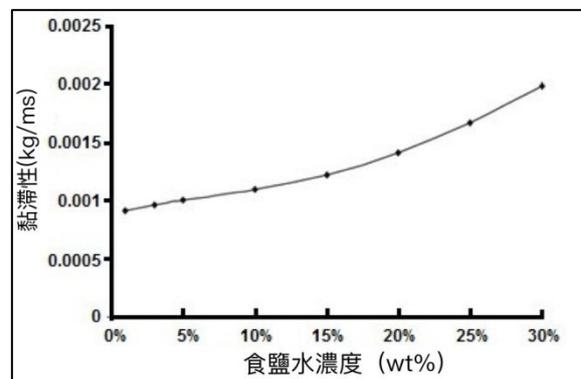
- 較深的水層為彈珠下落時產生完整的氣柱提供了更多空間。較完整的空氣柱在反彈時釋放出更多能量，從而產生更高的濺射。
- 水的深度對液體反彈的高度有顯著影響。在較淺的深度（如 5 公分）時，反彈高度相對較低且穩定；當深度增加至 15 公分時，反彈高度明顯上升，但數據離散性相對於實驗二而言，較不明顯。
- 在較深的水層中，更多能量在液體中傳遞，導致更為複雜的回彈機制，包括在深水中更常見分散水滴。
- 水深與液體反彈之間的關係並非完全線性。然而，各深度間反彈高度的數據離散性仍然極小，顯示液體得不穩定與液體流動等因素對結果穩定性的影響有限。

● 實驗四：影響食鹽水回彈趨勢的有以下兩個主要因素

- 表面張力：根據圖六，隨著食鹽水密度上升，其表面張力也隨之上升，另外，表面張力是發生在液體表面的凝聚劑，方向及趨勢朝向恢復原表面。如此，彈珠落水產生的空腔，表面張力就會促使液體回復成原本的狀態，而越強的表面張力會讓液體回復更明顯，回彈高度因此變高，整個推論如下：密度 $\uparrow$ →表面張力 $\uparrow$ →液體回彈高度 $\uparrow$
- 黏滯性：根據圖七，食鹽水密度上升，黏滯性會跟著上升。黏滯性越強液體內耗越明顯，越有利分散動能。動能分散後，液體回彈高度降低。



圖六、食鹽水濃度與表面張力



圖七、食鹽水濃度-液體黏滯性

## 五、結論與生活應用

### 一、結論

- 液體反彈的高度與落下高度呈正相關，且增加趨勢高度線性。當落下位置較高時，彈珠擁有的初始位能（取決於其高度），這促使產生較大且較長的空氣柱，進而導致更高的液體反彈。
- 隨著落下高度增加，液體反彈變得較不穩定，可能是由於彈珠落入液體時所形成的空氣柱不完整所致。
- 液體反彈的高度與水深也呈正相關。我們推測這是因為當彈珠進入水中時，較深的水能形成較大的空氣柱，從而產生較大的液體反彈。然而，液體深度也會限制空氣柱的傳播距離，進而降低最終的反彈高度。
- 雖然水深顯著影響液體反彈的高度，但與實驗二相比，整體的變異性在各水深之間仍相對較低。
- 當食鹽溶液密度低於  $1.12 \text{ g/cm}^3$  時，黏度會使反彈高度逐漸降低；而當密度高於  $1.12 \text{ g/cm}^3$  時，表面張力則會使液體反彈越來越高。我們認為：在密度低於  $1.12 \text{ g/cm}^3$  時，黏度是主要影響因子；而在密度高於該臨界值時，表面張力則成為主導因素，使反彈高度提高。
- 當鹽溶液密度達到  $1.185 \text{ g/cm}^3$  時，溶液已接近飽和，此時水的反彈高度甚至高於純水。

### 二、生活應用

本研究發現液體的反彈高度與落下高度與水深有正相關，且物體高度越高、液體深度越深，反彈越明顯但也越不穩定。這些結果可應用於馬桶、水槽與洗手台的設計，透過降低水流的落下高度與控制水槽的深度（如維持在 10 至 12 公分），能有效減少水花濺射發生的機率，提升使用舒適度與衛生性。

## 六、參考資料

1. Thomas R. Underwood & H. Chris Greenwell (2018). The Water-Alkane Interface at Various NaCl Salt Concentrations: A Molecular Dynamics Study of the Readily Available Force Fields. *Nature*, 8, 5, <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18633-y>
2. Rustandi, Andi; Adyutatama, Muhammad; Fadly, Enriko; and Subekti, Norman (2012). Corrosion Rate of Carbon Steel For Flowline and Pipeline as Transmission Pipe in Natural Gas Production with Co2 Content, *Makara Journal of Technology*, 16(1), 60, <https://scholarhub.ui.ac.id/mjt/vol16/iss1/9>