

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

題目名稱：玩具飛機

一、摘要

小時候玩紙飛機，發現飛機飛行時，有時候角度會突然上揚過多導致飛機墜落，而紙飛機不像真正的飛機，能夠在飛行的同時提供和調整動力，於是我們推測紙飛機的角度會突然上揚，可能和其最初射出時的角度有關，決定研究其中的關係。

我們使用了彈簧發射器，將保麗龍飛機以一定的初速彈射，並改變不同的初始發射角度 (0° 、 15° 、 40° 、 65° 、 90°)，我們將飛行軌跡拍攝影片，並使用 video analysis 軟體分析飛行軌跡，利用 $x-t$ 、 $y-t$ 、 v_x-t 、 v_y-t 將飛行軌跡分成了三個階段，我們主要聚焦在第一階段(水平等加速、垂直等速度)，同時使用力學的分析建立模型。

我們利用位置與速度對時間關係分段，發現在各個初始角度第一階段都有類似的關係：水平方向等加速度、鉛直方向合力等於 0。在此階段建立的模型可以和航空動力學飛行的模型相對應。

二、探究題目與動機

小時候玩紙飛機想射得遠一點，但總是捉摸不透紙飛機飛行的軌跡，常常會在飛行過程中角度突然上揚，甚至接近垂直，導致飛機直接墜落。上網搜尋資料後發現，飛機會失速墜落是因為攻角過大，也就是和飛機的俯仰角與行進方向有關。所以飛機在飛行時要注意提供動力的方式才不會墜機。

那麼只能提供初速度的紙飛機，要怎麼發射才不會因為失速而墜落呢？我們猜想這可能和飛機射出時的仰角有關，所以決定研究玩具飛機在不同仰角時的飛行軌跡。

三、探究目的與假設

目的：

本次探究目的為分析玩具飛機的飛行軌跡。我們將整個飛行過程分為三個階段，改變玩具飛機的機身與水平線的夾角大小 (0° 、 15° 、 45° 、 65° ，以下稱為 θ)，探討 θ 對於第一階段加速度的關係。

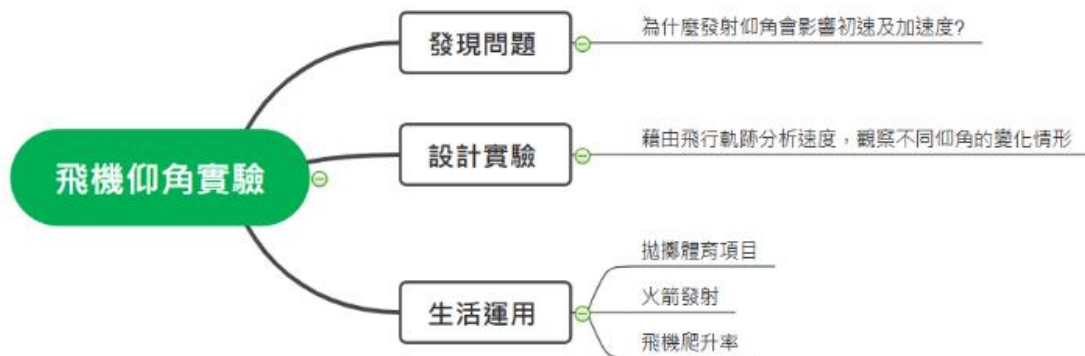
假設：

- 1.飛機受力有動力 (因為彈射後沒有其他動力，此處假設為 0)、重力、來自機身與機翼的力 F 。
- 2.飛機飛行期間，由於會有阻力與來自機翼的升力，我們查詢資料之後發現力量的方向與大小與攻角 (當下機身方向與飛機順時速度，也就是軌跡切線方向的夾角) 有關，因此，升力方向一直變化，我們將 F 分解為水平與垂直方向 F_x 、 F_y 。

- 3.飛行期間的模型是 F_x 、 F_y (可能會一直改變)、與 mg 在飛行期間的向量和造成 x 、 y 方向的加速度 a_x 、 a_y 進而影響到飛機的速度 v_x 、 v_y ，決定了飛機質心的軌跡。
- 4.我們將探討飛行期間的速度、加速度是否可以分階段分析，代表有不同的物理機制，並建立模型探討。從我們試做後粗略分為三階段。

四、探究方法與驗證步驟

(一) 實驗構思：

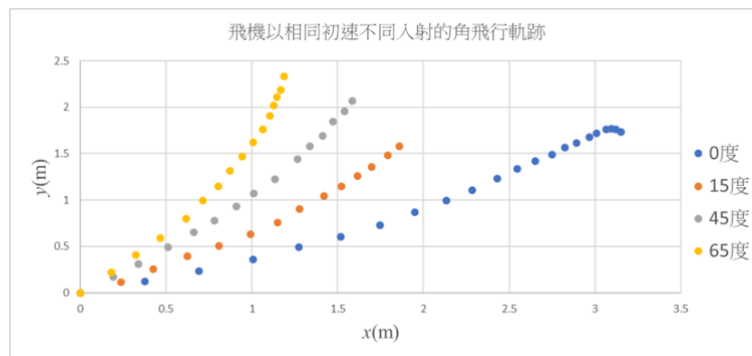


(二) 研究方法

- 1.以發射器發射保麗龍飛機，手機放置在固定位置拍攝影片。
- 2.調整飛機發射仰角，分別為 0 度、15 度、40 度、65 度，觀察其初速與加速度變化。
- 3.用 video analysis 分析飛行的前半段其速度變化，生成出 $v-t$ 、 $a-t$ 圖分析。

(三) 實驗數據

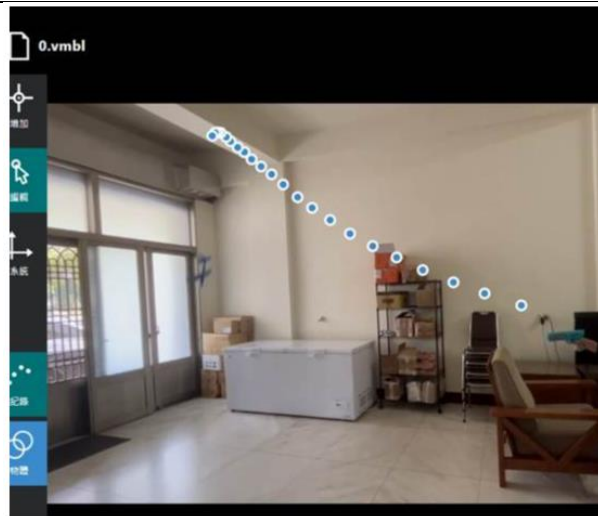
我們將入射角 0、15、45、65 度疊圖之後的飛行軌跡如下圖：



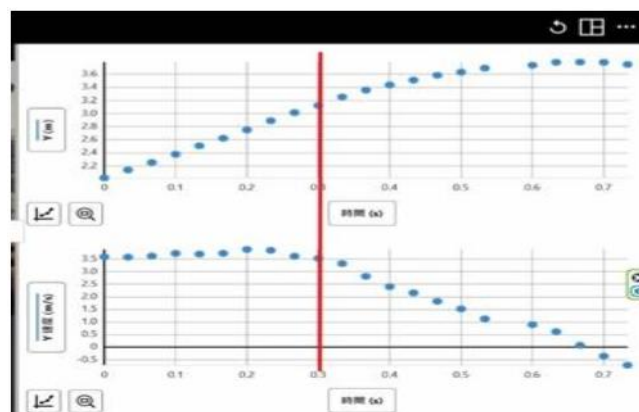
我們發現不管入射角為何，飛機都有機身/飛行軌跡上揚的情形，我們目前將飛機當作質點看待；暫不分析機身角度。因此我們在標示飛機位置時是點在飛機的質心上。

上圖軌跡未包含最後摔落的部分

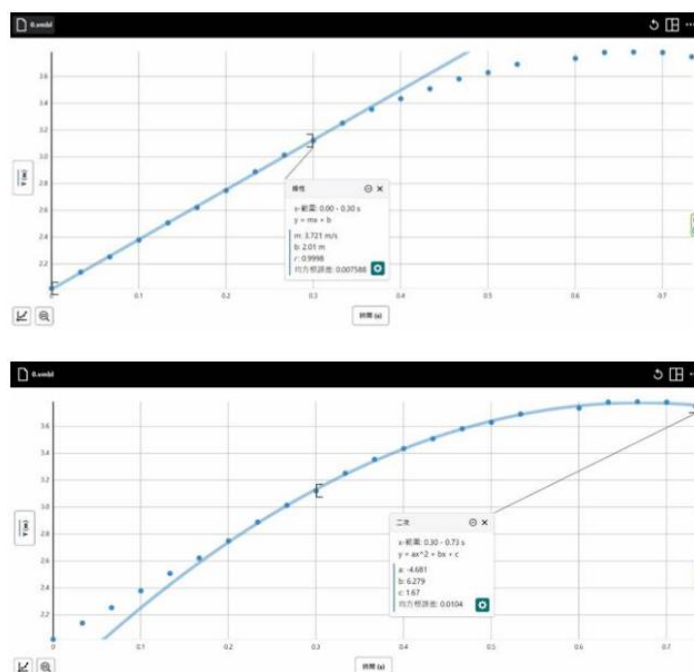
我們發現當仰角越高，飛機速率下降越快(點與點之間的時間間隔都約 1/30 秒)因此可以發現在摔落之前以 0 度的飛行時間最久，接下來我們以 0 度為例分析運動情形：



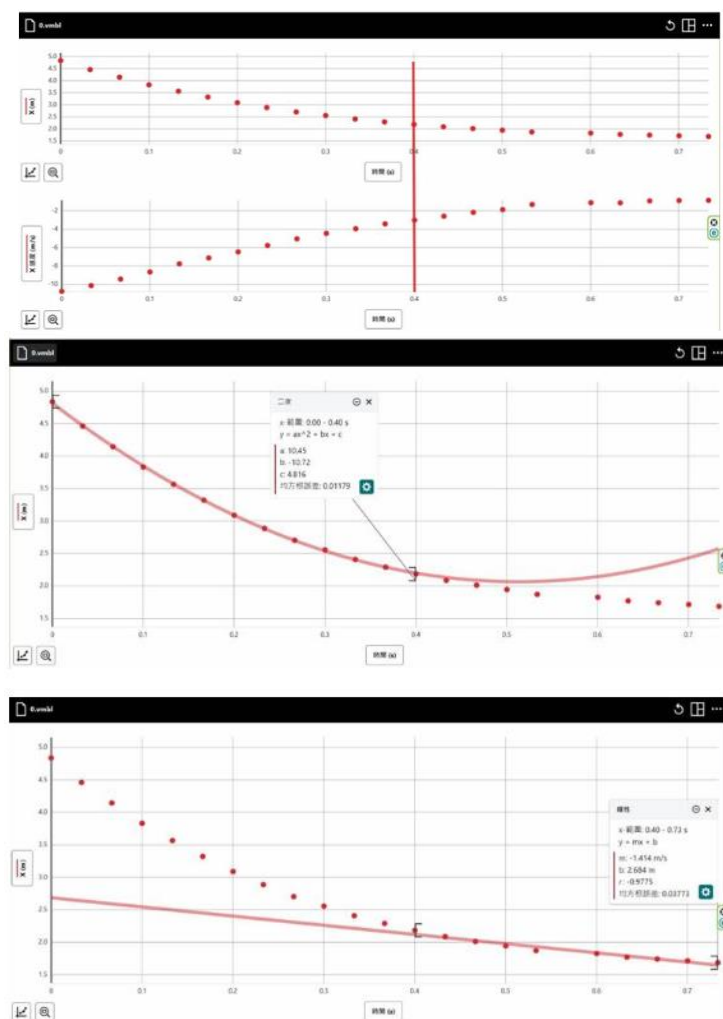
將 x-y 方向分開分析，首先我們看 y 方向：



由 y-t 與 v_y -t 配合我們可以在(摔落)之前分成兩階段:等速度段與等加速度度段
對 y-t 使用直線/二次曲線擬合後可以得到以下結果：

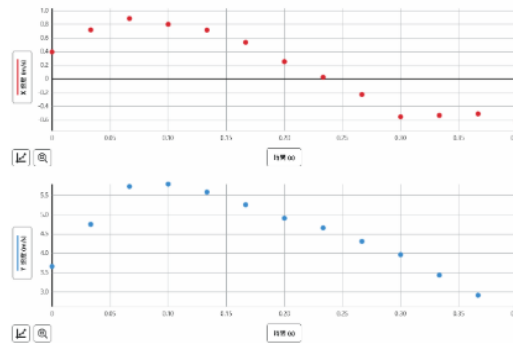


在 $x-t$ 與 v_x-t 方面我們也是類似方式分段，可得到以下結果：



不過在不同角度，第二階段幾乎都為變加速度運動，因此我們著重於第一階段的分析。
實驗結果如下表：

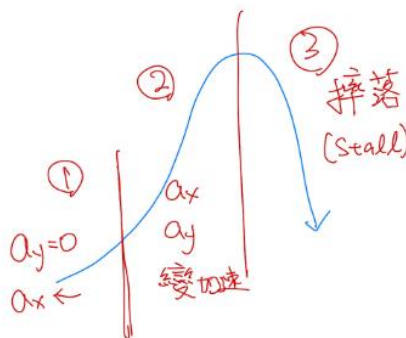
飛機各階段速度/加速度狀態							
仰角	第一階段				第二階段		第三階段
	水平		鉛直		水平	鉛直	
	狀態	加速度(m/s^2)	狀態	速度(m/s)	狀態	狀態	狀態
0	等加速	20	等速	3.7↑	等加速($a=9.2$)	變加速	摔落
15	等加速	8.56	等速	3.9↑	變加速	變加速	摔落
45	等加速	10.3	等速	4.8↑	變加速	變加速	摔落
65	等加速	7.2	等速	5.9↑	變加速	變加速	摔落



▲表(一)發射仰角為 0 度時的速度

(五)實驗分析

1.觀察飛機飛行的軌跡，我們將其分為三階段（如圖(一)所示）：



▲圖(一)

第一階段：垂直方向=0、水平方向等加速度運動

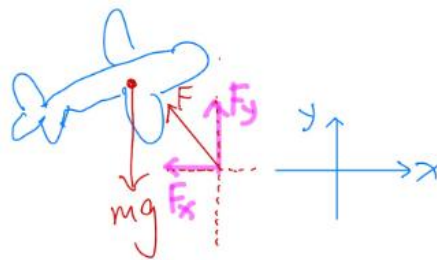
第二階段：變加速度運動

第三階段:墜落

本次實驗主要分析第一階段的速度及加速度變化

2.建立模型（如圖(二)所示）：

因為沒有動力，我們可以把飛行期間飛機的受力模型畫成下圖：



▲圖(二)

我們分成 x 、 y 方向單獨分析，軌跡圖中分成三段分別以等速度 / 等加速度 / 變加速度 / 墜落進行分段分析。

3.結果

第一階段的 y 方向合力幾乎為 0， x 方向幾乎為等加速度運動。可以推測 F_y 跟 mg 抵銷，

剩下 F_x 讓飛機進行等加速度運動，代表第一階段的 F_x 差不多為定值。造成 y 方向速度固定， x 方向速度減小，讓飛機速度的仰角上升。

第二階段後因為沒動力， y 方向合力不再是 0，此時飛機為變加速度，隨著飛機速率漸減， F 值也漸減無法提供足夠的力量讓飛機穩定飛行，進入第三階段（摔落）

五、結論與生活應用

結論：

1. 我們使用發射器將保麗龍飛機以固定的初速彈射，搭配了不同的仰角進行實驗，發現整個飛行軌跡可以分成三個階段：

(1) 等加速度運動

(2) 變加速度運動

(3) 摔落

2. 我們利用運動的獨立性將 x y 方向分開，去分析三個階段，可以發現：

(1) 第一階段使用力學分析後，可以知道 y 方向合力為 0，此時合力 F 有 x 方向的力量，因此使 x 方向速度減小。雖然仰角不同，但 y 方向幾乎都是等速度運動， x 方向為等減速運動，因此飛機的仰角會逐步上升進入第二階段。

(2) 第二階段因為沒有動力， x y 方向都是變加速度運動。

(3) 第三階段飛機摔落，可以跟航空動力學中的摔落失速(stall)呼應。

生活運用：

1. 有些紙飛機透過改變機翼的角度，可以讓飛機進行各種弧線(甚至倒飛)的飛行，這些飛行的力學分析基礎都可以用我們這個模型來做類推。

2. 我們這次使用的模型也可以運用在飛行動力學中，各個機翼(包含尾翼等)可以透過不同的夾角調整其飛行軌跡。

3. 透過不同仰角的實驗，我們會發現仰角會影響爬升時的水平距離以及爬升率。

因此可以在不同軌道(例如航空母艦等)軌道設計時，設計一個小角度讓飛機更快升空。但是因為爬升角度太陡峭容易有失速的問題，因此也不能用 90 度的方式攀升，意思是要在穩定飛行的前提下，小角度會有最佳的起飛距離與爬升率。

參考資料

1. 【2021 科學探究競賽-這樣教我就懂】高中職組優選-紙蜻蜓

<https://sciexplore2021.colife.org.tw/work.php?t=C0121>

2. 【2024 科學探究競賽-這樣教我就懂】技高組-飛機起飛角度的探討

<https://sciexplore2024.colife.org.tw/work/2024/D0009>

3. YOUTUBE-航太小常識系列【J's lab.】EP.3 爬升角&攻角&俯仰角(中文 CC 字幕)

<https://www.youtube.com/watch?v=uZ0UUvs1nVY>