



Εύρηκα

以固態貼合法探討紙牌運動過程中路徑及壓力分佈

邱允謙

指導老師:賴奕帆
指導教授:楊鏡堂



研究動機

- 常常可以看到落葉飛落，但其背後的物理現象又有多少人知道？經過文獻搜尋以及各種探索，我們發現對於紙牌落下方面的研究及討論較少見，在這幾年隨著電腦的發明逐漸成熟，使得模擬的技術也隨之進步。秉持著對科學的熱忱，我開始動手模擬紙牌掉落的情形。



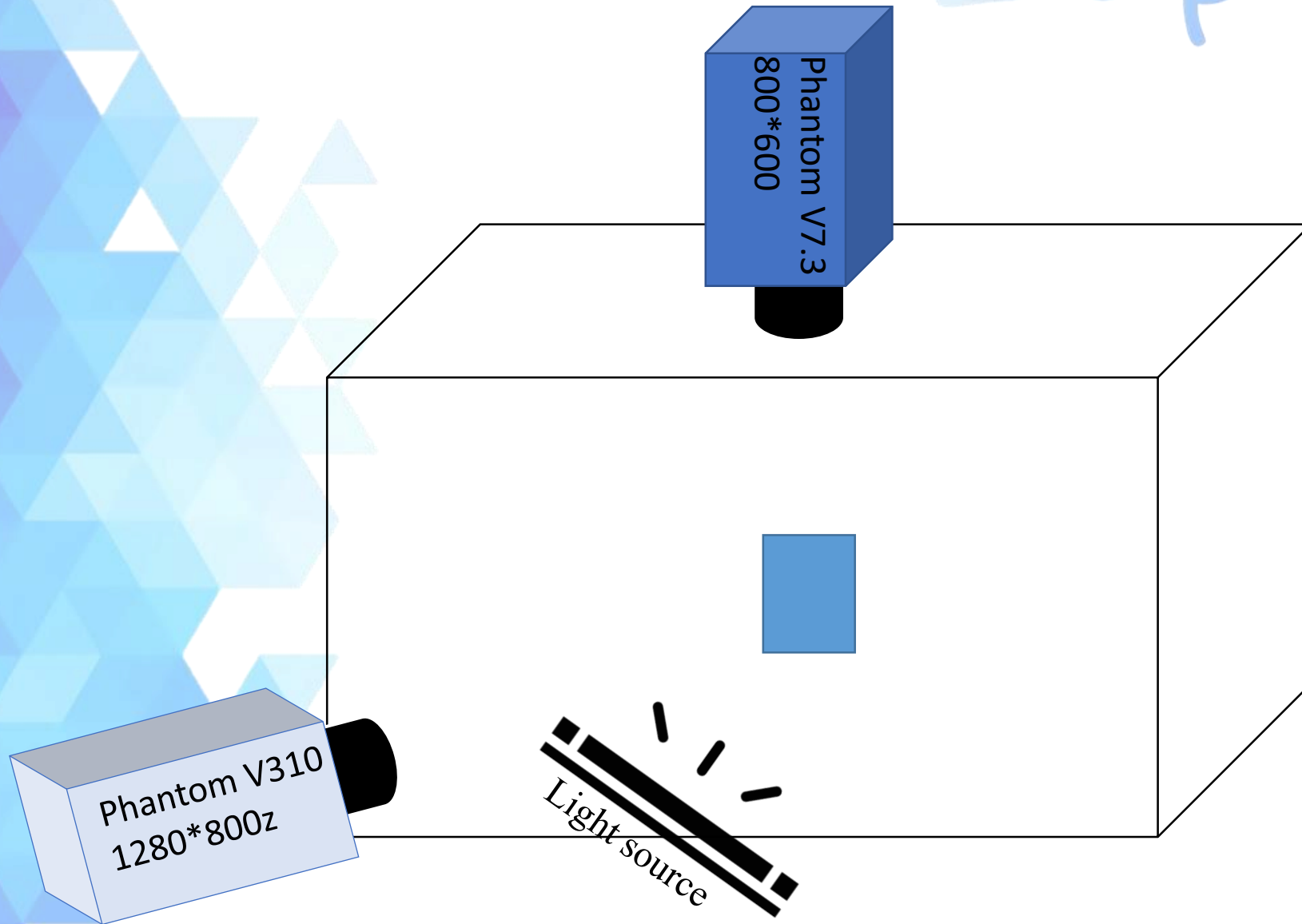
研究目標

研究紙牌的軌跡並了解其於流場中所受作用，分成以下幾個：

- 一、研究紙牌在不同傾斜角下(0到90度)自由落下
- 二、改變紙牌的長寬比(0.1到0.625)後自由落下
- 三、利用PIV對上面兩個目的做實驗，觀察實際渦漩與模擬的差異

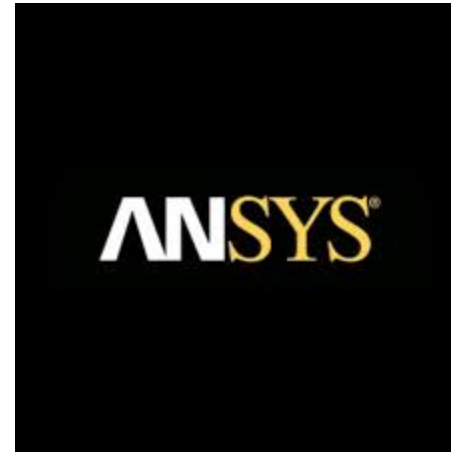


Εύρηκα



研究設備及器材

- 模擬軟體---ANSYS Fluent

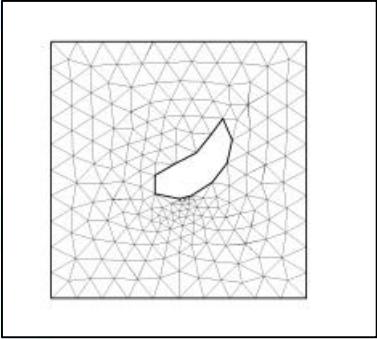
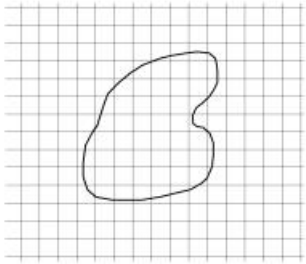


優點：

- 1．模型建構能力佳
- 2．網格完全貼合於物體表面在運算上較為準確
- 3．網格大小可調整，依照需求決定結果精細度
- 4．內建物理公式等程式碼，可直接使用不需再另行寫程式



研究過程-模擬

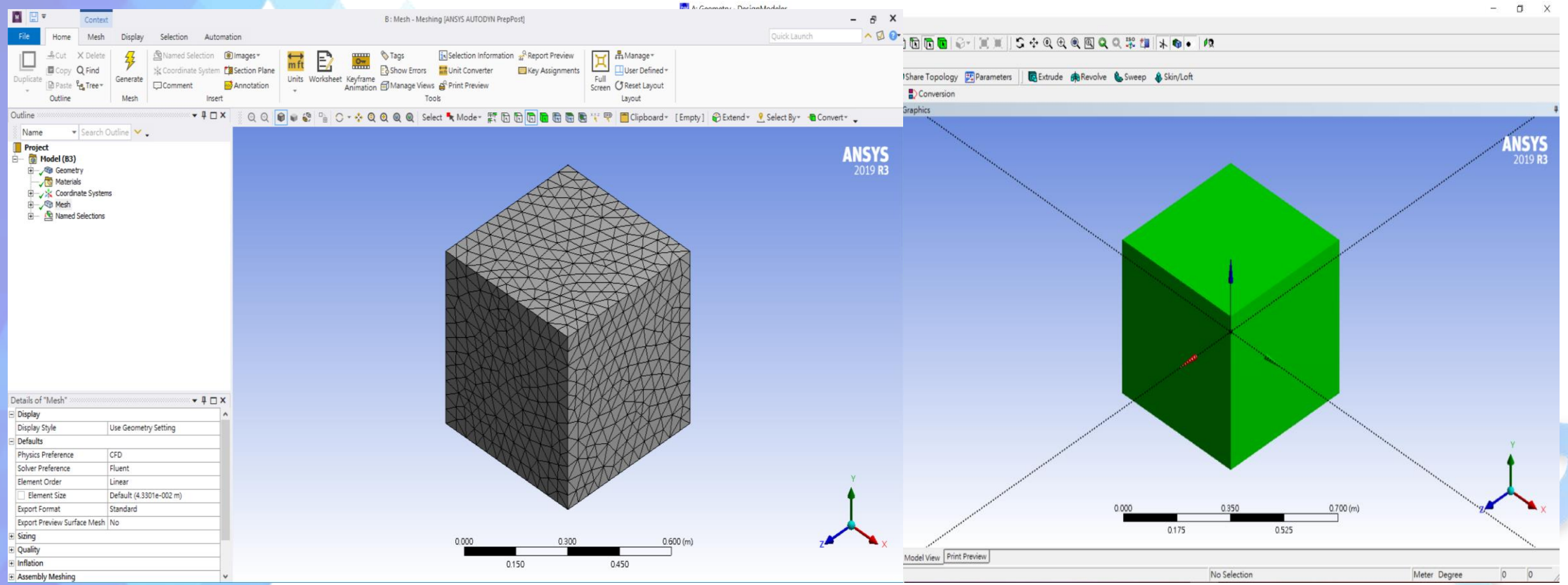
網格形狀		
名稱	物體貼合法 (Body-fitted Method)	沉浸邊界法 (Immersed Boundary Method)
網格	非結構性	結構性
邊界	具有明確的邊界，只需以作用在表面的壓力進行運算	邊界條件較為複雜，並以力作用的點連接形成表面
運算過程	因以物體為中心向外擴散生成不規則狀之網格，物體運動時便須重新生成網格系	網格只需要生成一次，後續可以相對座標的方式運算
計算時間	較慢（需耗時 6,7 個小時以上）	較快
邊界層	邊界層內流體黏滯性的影響在過程中較容易呈現	邊界層內流體黏滯性的影響需另外給定條件

Εύρηκα

- 擬流場等連續且複雜的運算主要是將方程式離散化，便是利用「網格」此工具。每一個網格都可視作一臺小型計算機，可模擬每個點的速度、壓力、受力等數值，再回傳數值至電腦



Εύρηκα



Εύρηκα

☒ Dynamic Mesh

Mesh Methods

- ☒ Smoothing
- ☐ Layering
- ☒ Remeshing

Settings...

Options

- ☐ In-Cylinder
- ☒ Six DOF
- ☐ Implicit Update
- ☐ Contact Detection

Settings...

Name
card

Mass (kg)
0.0015

☐ One DOF Translation
☐ One DOF Rotation

One DOF

Direction

X	Y	Z
0	0	0

Center of Rotation

X (m)	Y (m)	Z (m)
0	0	0

Spring

Preload (n) Constant (n/m)

0	0
---	---

☐ Constrained

Reference Point

Location (m)	Minimum (m)	Maximum (m)
0	0	0

Inertia Tensor

Ixx (kg-m ²)	Iyy (kg-m ²)	Izz (kg-m ²)
8.5e-08	5.4e-06	5.3e-06
Ixy (kg-m ²)	Ixz (kg-m ²)	Iyz (kg-m ²)
0	0	0

Create Close Help

Options

In-Cylinder Six DOF

Six DOF Properties
card

Create/Edit... Delete Delete All

Gravitational Acceleration

X (m/s ²)	Y (m/s ²)	Z (m/s ²)
0	-9.81	0

Dynamic Mesh Zones

Zone Names
card

Type

- ☐ Stationary
- ☒ Rigid Body
- ☐ Deforming
- ☐ User-Defined
- ☐ System Coupling

Dynamic Mesh Zones
card

Motion Attributes **Geometry Definition** **Meshing Options** **Solver Options**

Six DOF UDF/Properties
card

Motion Options

☐ Relative Motion
Relative Zone

Six DOF

- ☒ On
- ☐ Passive

Center of Gravity Location

X (m)	-4.59529e-07
Y (m)	-0.1165608
Z (m)	2.527365e-06

Center of Gravity Velocity

V_X (m/s)	-8.4521e-06
V_Y (m/s)	-1.504135
V_Z (m/s)	4.740223e-05

Rigid Body Orientation

Theta (deg)	0.01545398
Axis_X	-0.8522701
Axis_Y	-0.5230555
Axis_Z	-0.006978135

Rigid Body Angular Velocity

Omega_X (rad/s)	-0.00234238
Omega_Y (rad/s)	-0.003843719
Omega_Z (rad/s)	-0.000844242

Orientation Calculator...

Create Draw Delete All Delete Close Help

理論

所有流體皆滿足以下的假設：

- 質量守恆
- 動量守恆
- 連續體假設：

由原子構成的物質在液、氣態時，廣泛分布於空間之中，但忽視物質原子本性，並視之為連續均質無孔洞的物質，即為連續體。其性質以點函數看待並假設其性質在空間中連續地變化。

- 能量守恆



Εύρηκα

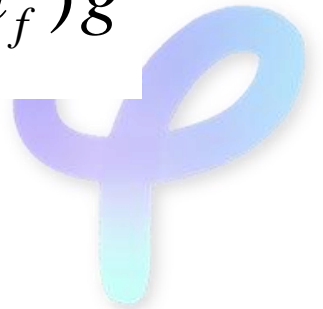
納維 - 斯托克斯方程式

對於我們的流場，有以下公式：

$$\frac{D}{Dt} L + (\nabla \bullet V) L = \frac{\delta}{\delta t} L + \nabla \bullet (VL) = 0$$

牛頓第二運動定律

$$[m_s + (f_{\text{add}} - 1)m_f] \frac{v_s^{n+1} - v_s^n}{\Delta t} = \iint (\rho + \iota) \bullet dA + (m_s - m_f)g$$



Εύρηκα

- 角動量守恆

$$\frac{d(I_s \omega_s)}{dt} = T_s$$

- 位移定義

$$\frac{dX_s}{dt} = V_s$$

- 總速度

$$U_s = V_s + \omega_s \times r$$



Εύρηκα

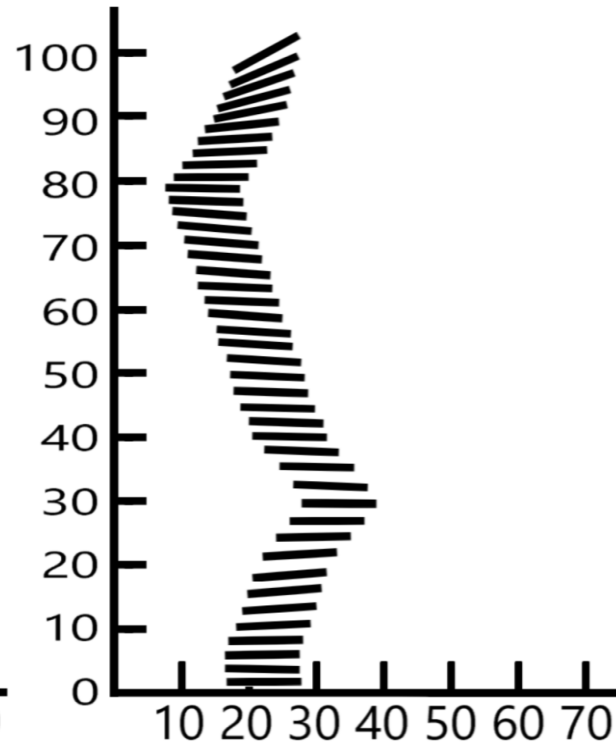
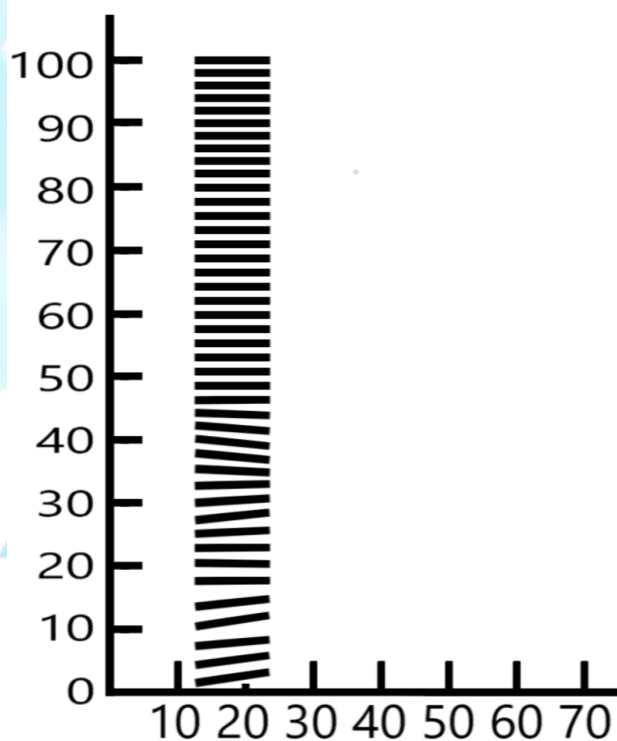
- 無滑移現象
- 邊界效應
- 阻力

$$F_D = \frac{1}{2} \rho V^2 C_d A$$



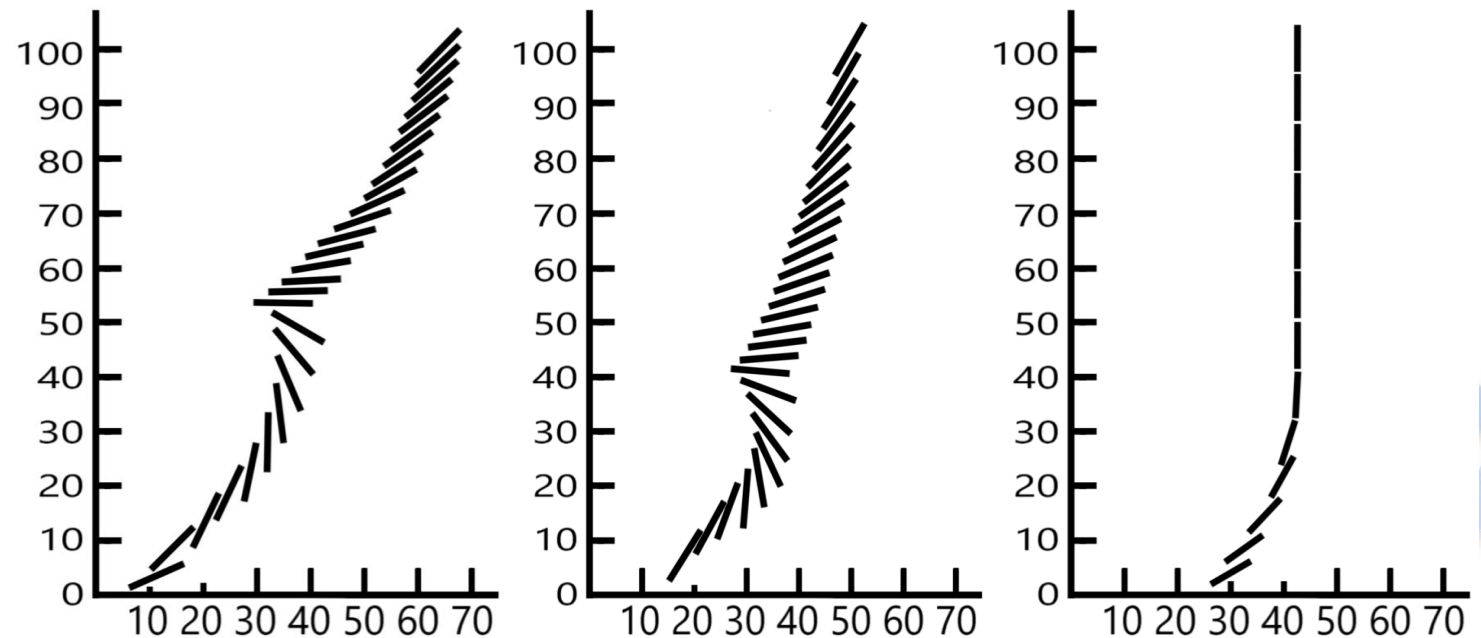
研究結果

- 在和水平面夾角為0以及30度的時候會出現晃動（ fluttering ）的現象



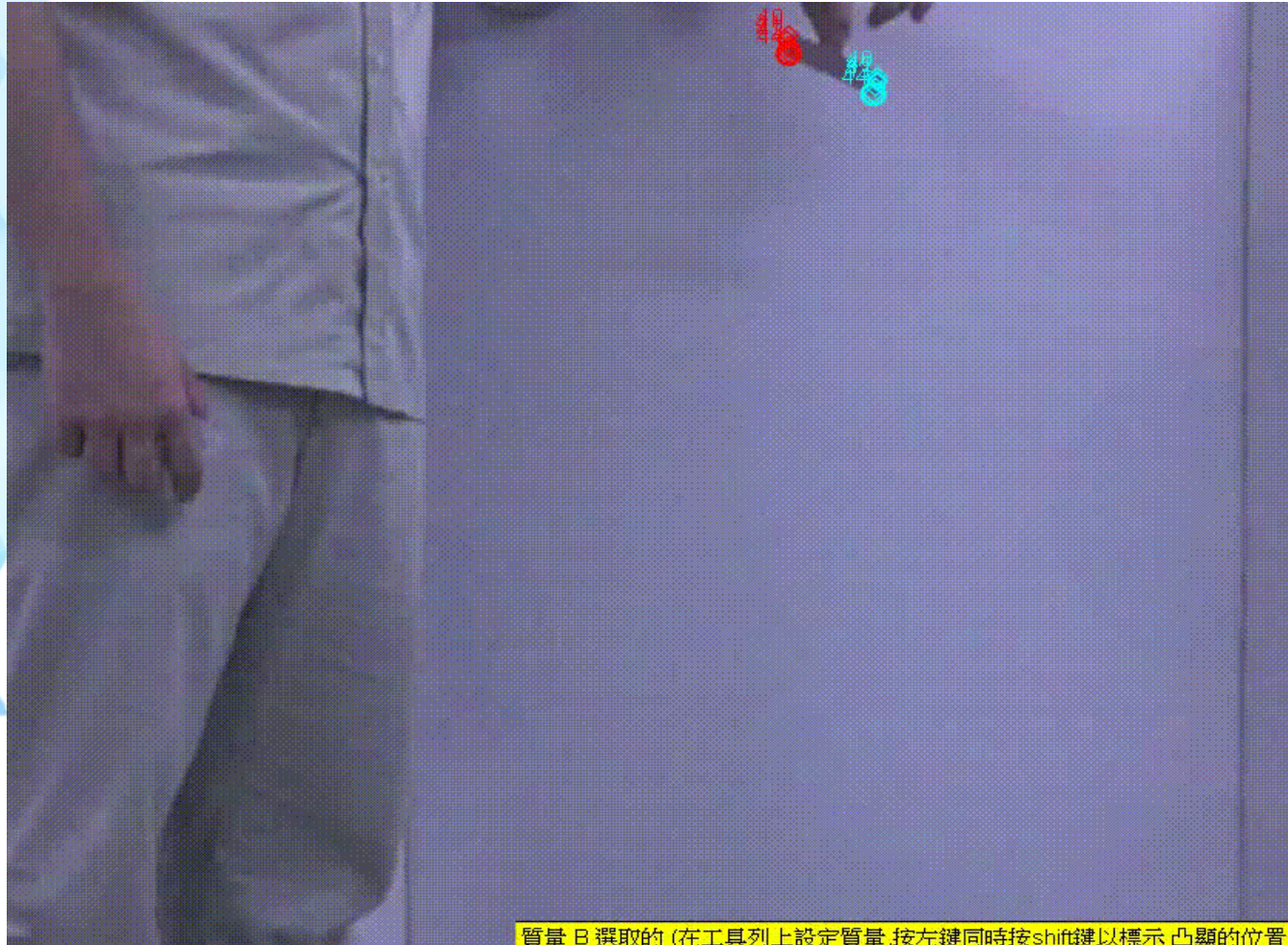
Εύρηκα

- 而夾角為45度及60度時會出現翻轉（tumbling）的現象。在夾角為90度的時候，會出現轉彎（turning）的現象。



實作---30度

Εύρηκα

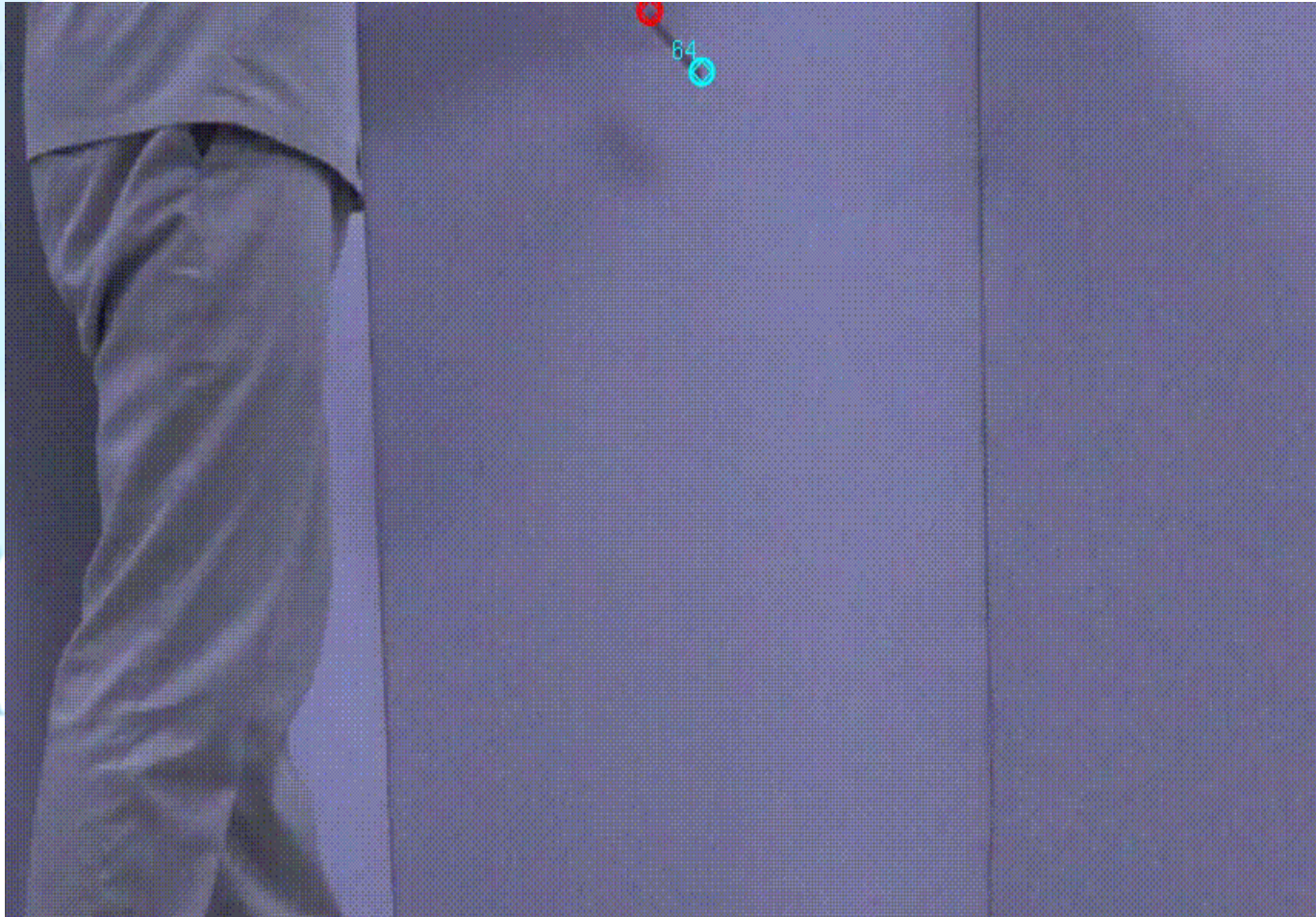


質量 B 選取的 (在工具列上設定質量, 按左鍵同時按 shift 鍵以標示 凸顯的位置)



實作---60度

Εύρηκα



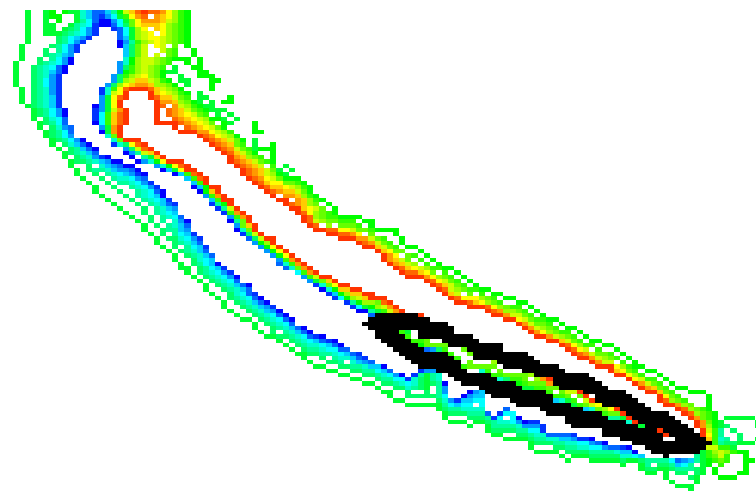
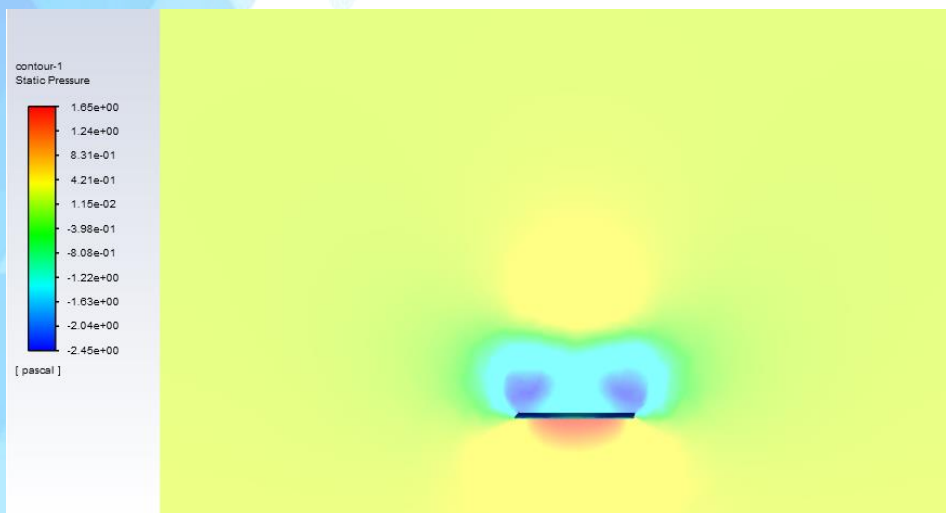
實作---90度

Εύρηκα



討論

- 在初落下時紙牌兩側的壓力幾乎為對稱的，因此初下落過程中可視為完全鉛直墜落。

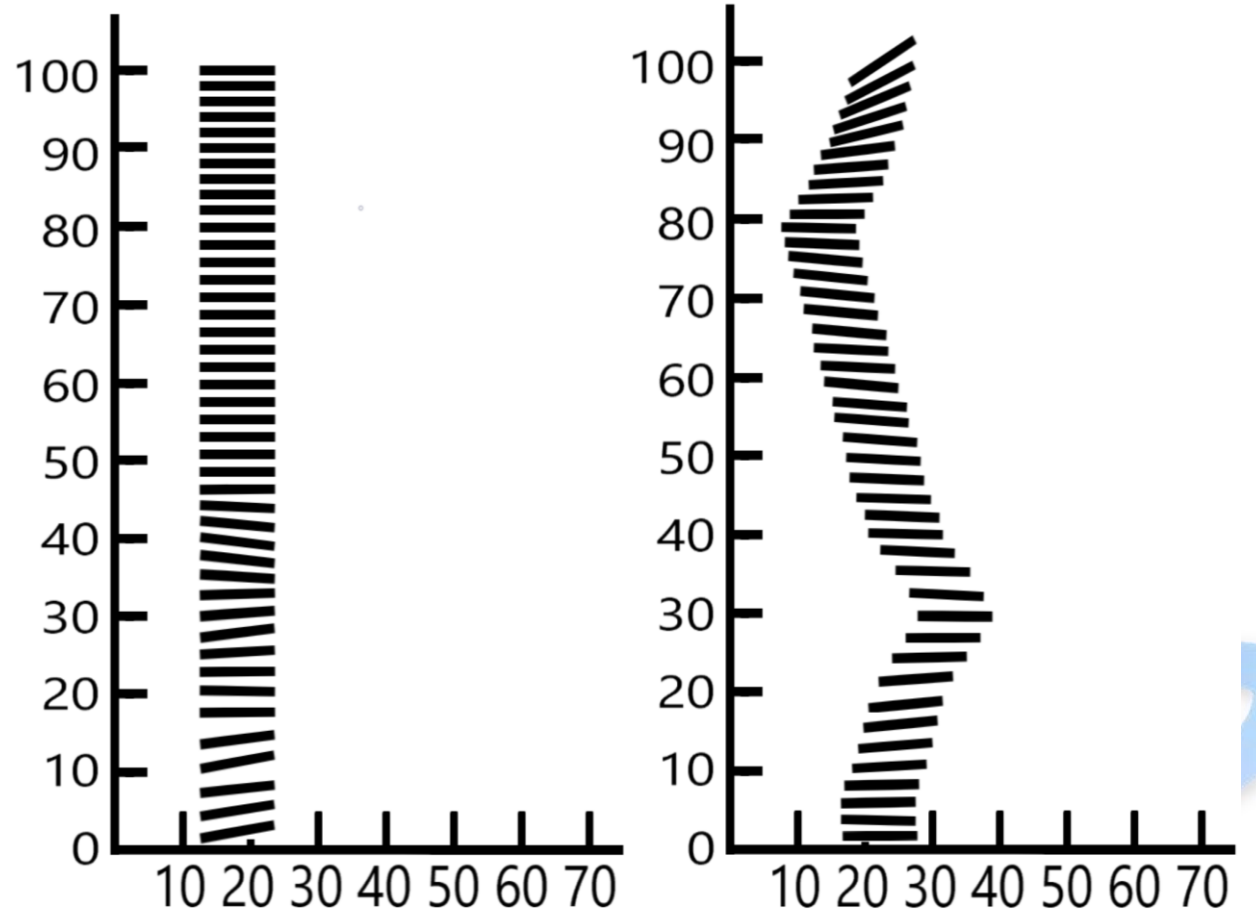


$$\frac{D}{Dt} L + (\nabla \cdot V) L = \frac{\delta}{\delta t} L + \nabla \cdot (VL) = 0$$



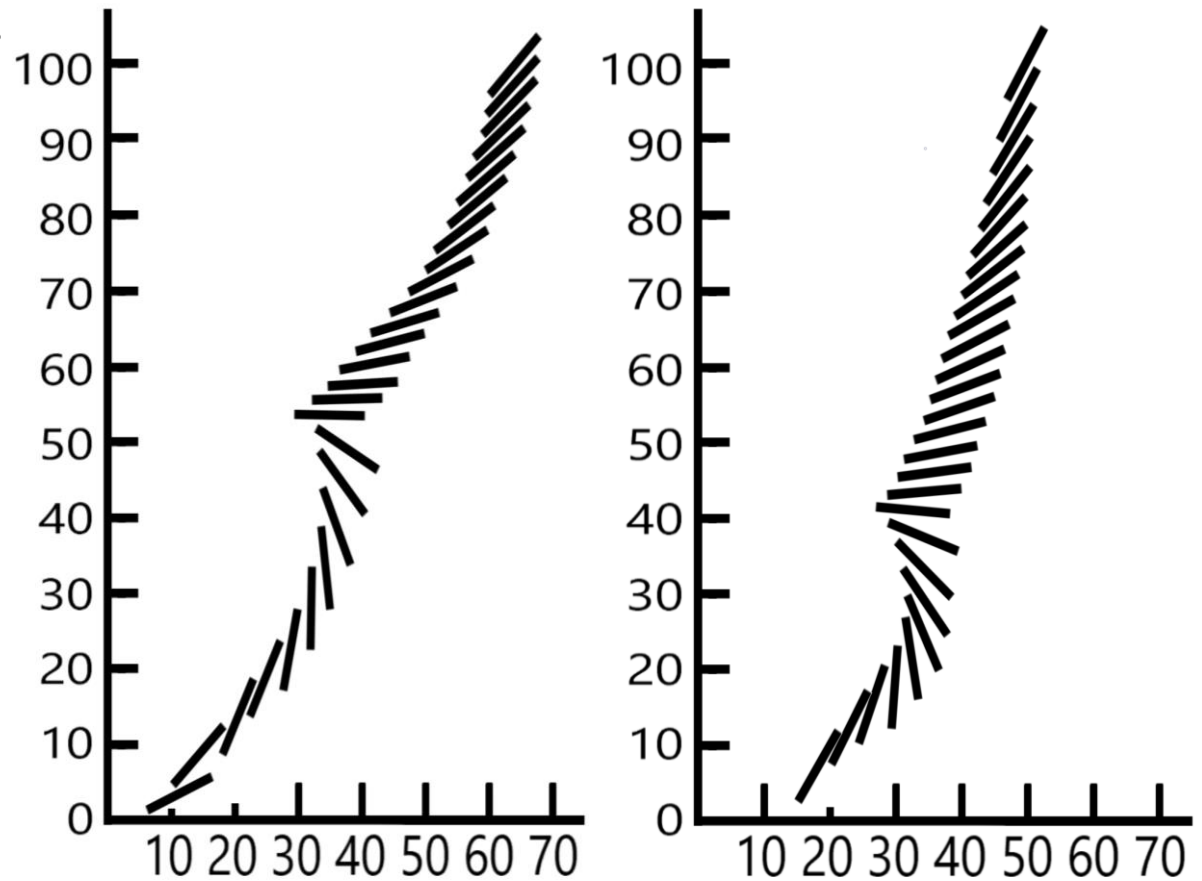
Εύρηκα

- 皆出現晃動的現象。但因為初始落下傾斜30度時，導致後面的渦流產生變化，並因為截面積小，阻力也較小，使得晃動的幅度變大，產生左右晃動現象。



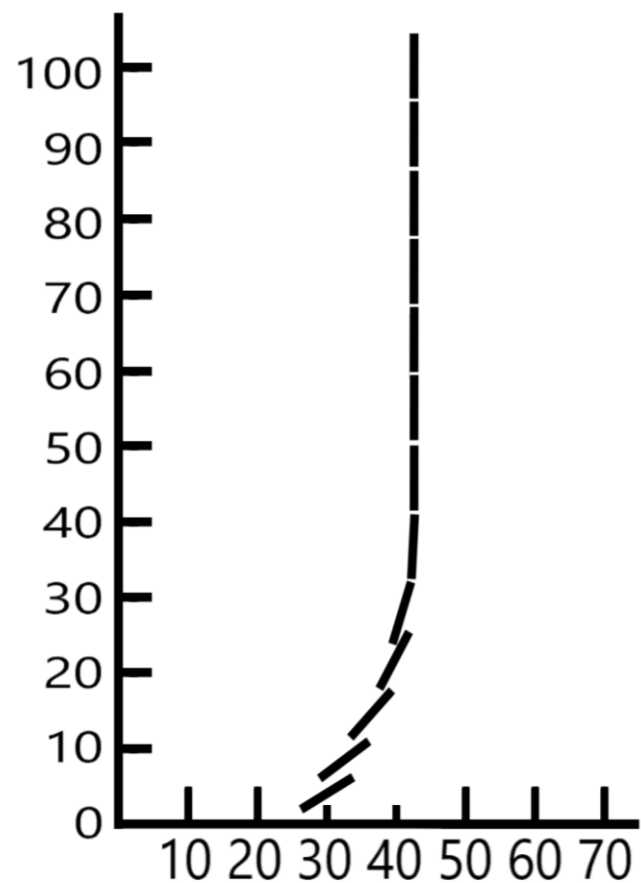
Εύρηκα

- 此兩路徑皆有翻轉情況產生，但發生的高度不同。此則源於傾斜角度不同時，紙牌水平面之截面積有所變化。在夾角為45度時截面積較大，因此其阻力作用的情況較為明顯，使之在較高處即翻轉。



Εύρηκα

- 在夾角為90度時，紙牌幾乎為垂直落下，但在近地面處會產生轉彎的現象。因其截面積為圖中最小的，故也是在最低處受氣流影響才產生較明顯的影響。



結論

- 一、在利用物體貼合法進行模擬時，方便調整參數，在正確的理論中，可觀察與分析紙牌晃動與翻轉的現象。
- 二、透過物體貼合法我們已可成功地對紙牌自由落下的過程進行模擬，且與現實比對下具有高相似度的結果。
- 三、目前完成簡易的實作，我們下一步計畫將完整的數據呈現，並能夠與完整的模擬(0到90度)進行討論。



Εύρηκα

指導教授

姓名:楊鏡堂

系所:台大機械系

實驗室:熱流光束實驗室

提供幫助:實驗室,軟體



感謝

- 楊鏡堂 教授
- 賴奕帆 老師
- 特教組老師
- 所有任課老師
- 兩班導師
- 姚志鴻 老師
- 高君陶 老師
- 225, 226所有同學

Εύρηκα

