

# 中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 物理科

團隊合作獎

030110

錯身而過-錯車瞬間壓力變化之探討

學校名稱：臺東縣立寶桑國民中學

作者：  國二 蘇品綸  國二 宋唯品  國二 張晉唯	指導老師：  林信吉  楊惠如
---	-----------------------------

關鍵詞：錯車、康達效應、白努力定律

## 摘要

搭火車於火車交會列車時會感受到左右晃動，好奇這是如何發生的，查閱了相關文獻，發現白努力定律與康達效應的解釋不同。所以我們設計模擬實驗：兩車一靜一動、兩車交會、兩車同時前進，觀察其發生的現象，並利用白努力定律以及康達效應進行推論，解釋錯車時車子晃動現象。實驗結果發現：當車子通過另一靜止的車子時，會先向外側晃動；同向前進的車子，會向內側晃動；反向交錯前進的車子，會向外側晃動。我們得到的結論是：發現白努力定律未能完全解釋錯車時車子晃動的現象。若以康達效應則較能解釋。

## 壹、研究動機

在月台上等火車時，人們若是站立在月台較靠近鐵軌側，火車進站時會先感受到一股壓力把自己向外推，當火車經過之後，又會感覺被吸了回去；搭火車於火車交會列車時會感受到左右晃動；在新聞中也報導當兩艘船以相同速率平行航行時，會撞在一起。我們很好奇這樣的現象，所以設計模擬實驗：兩車一靜一動、兩車同向前進、兩車反向交會，觀察其發生的現象。

## 貳、研究目的

本研究主要是想了解兩車一靜一動、兩車同向前進時、兩車反向交會，觀察錯車瞬間所發生的現象。

- 一、利用粉筆灰、紙片及便利條觀察錯車瞬間的晃動情形。
- 二、利用手機 APP(Physics Toolbox Sensor Suite)觀察錯車瞬間的晃動情形。
- 三、改變不同車型對於錯車現象的影響。
- 四、使用白努力定律及康達效應解釋錯車晃動時的情形。

## 參、研究設備及器材

### 一、研究器材

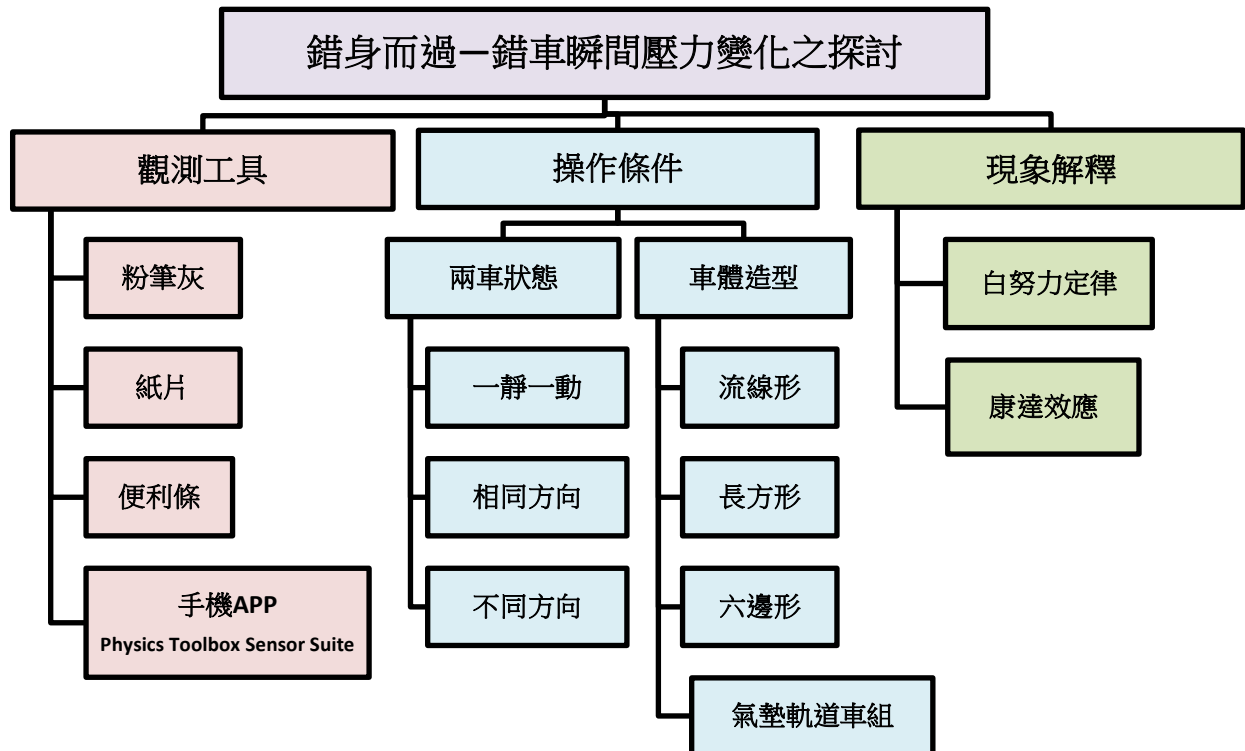
塑膠瓦楞板、美工刀、粉筆灰、便利條、紙片、剪刀、雙面膠、膠帶、夾鏈袋、手機、筆記型電腦、數位相機、攝影機、氣墊軌道及氣墊車組



### 二、我們將物理小車做成了三種車型



## 肆、研究過程與結果



一、利用粉筆灰觀察錯車瞬間的飛揚狀況

(一) 實驗過程：我們在兩車軌道中間加入粉筆灰，觀察錯車瞬間粉筆灰的飛揚狀況，

下圖為實驗時慢動作連續的照片，左車靜止，右車運動。



圖 1 為車子經過粉筆灰前後的情況

(二) 實驗結果：發現車子經過前後，粉筆灰皆無飛揚的現象。推論車長不足或車速不夠，無法帶動粉筆灰揚起。於是我們就試著利用紙片是否可以有晃動情形。

二、錯車面貼上紙片，觀察紙片是否有晃動情形

(一) 甲車靜止(左)，乙車運動(右)

1. 實驗過程：以下為連續的畫面。

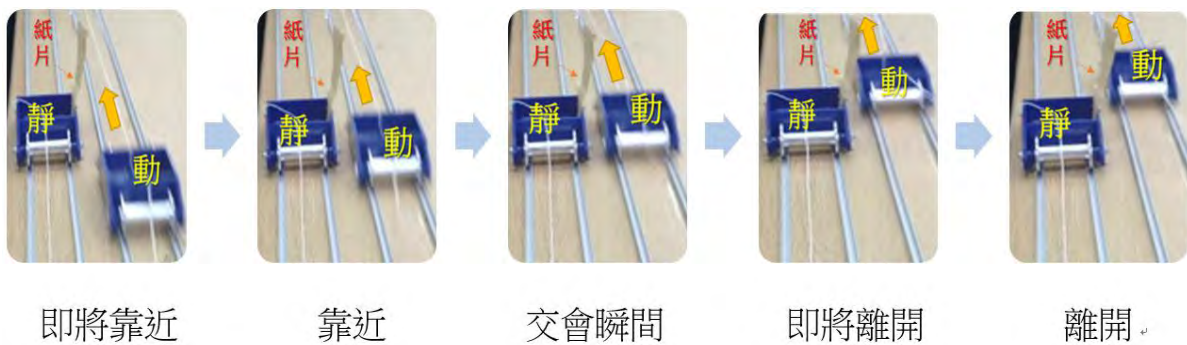


圖 2 甲車靜止，乙車運動時觀察紙片晃動情形

2. 實驗結果：我們觀察到甲車上的紙片有明顯往外晃動。

實驗次數	甲車(靜)
1	←
2	←
3	←
4	←
5	←

三、以便利條作為測試工具，甲車(左)靜止，乙車(右)運動

錯車面貼上便利條，觀察便利條在流線形車子上是否有晃動情形

(一)流線形車

1. 實驗過程：以下為連續的畫面。

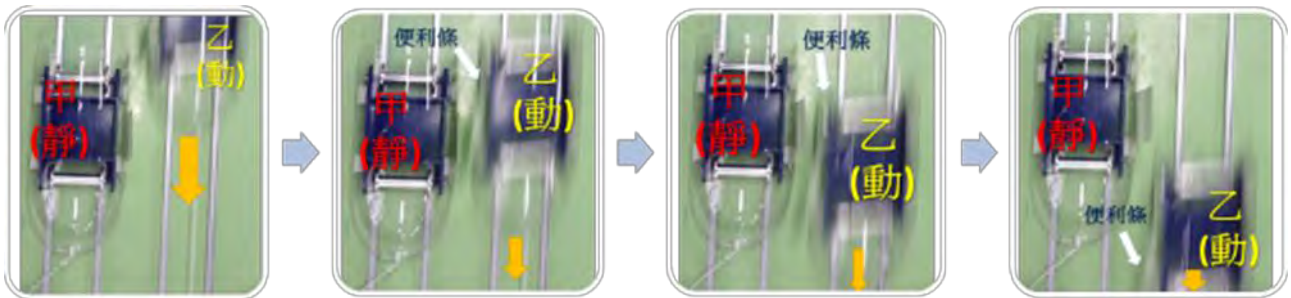


圖 3 流線形車，甲車靜止，乙車運動時觀察便利條晃動情形

2. 實驗結果：透過實驗我們發現，便利條有明顯往外晃動

實驗次數	甲車（靜）	乙車（動）
1	←	→
2	←	→
3	←	→
4	←	→
5	←	→

(二)長方形車

1. 實驗過程：以下為連續的畫面。

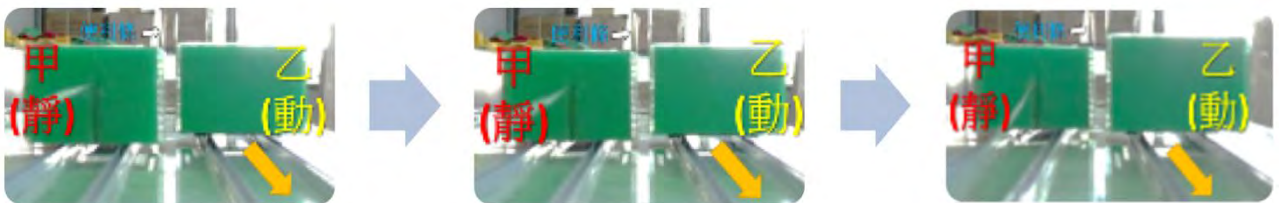


圖 4 長方形車，甲車靜止，乙車運動時觀察便利條晃動情形

2. 實驗結果：透過實驗我們發現，便利條有明顯往外晃動

實驗次數	甲車（靜）	乙車（動）
1	←	→
2	←	→
3	←	→
4	←	→
5	←	→

### (三)六邊形車

1. 實驗過程：以下為連續的畫面。

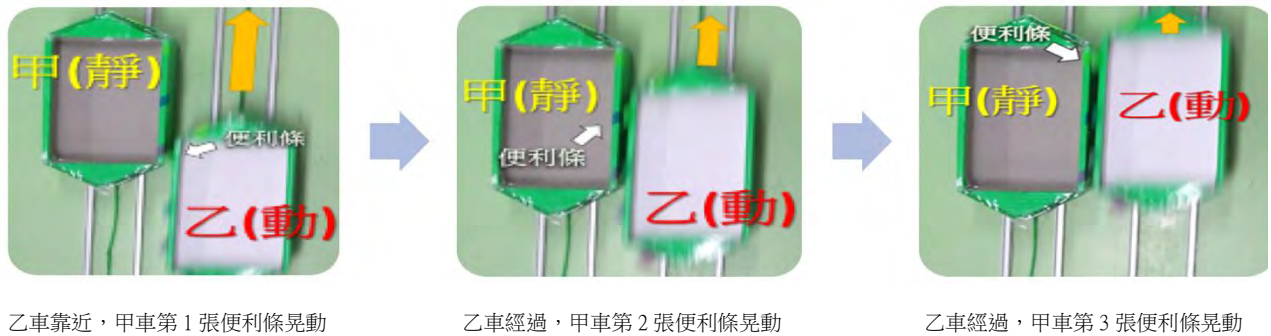


圖 5 六邊形車，甲車靜止，乙車運動時觀察便利條晃動情形

2. 實驗結果：透過實驗我們發現，便利條有明顯往外晃動

實驗次數	甲車	乙車
1	←	→
2	←	→
3	←	→
4	←	→
5	←	→

### 四、兩車同向運動，甲車(左)、乙車(右)兩台車子來自相同方向

我們把便利條放在兩台車子錯車面，並觀察車子上便利條變化。

#### (一)流線形車

1. 實驗過程：以下為連續的畫面。

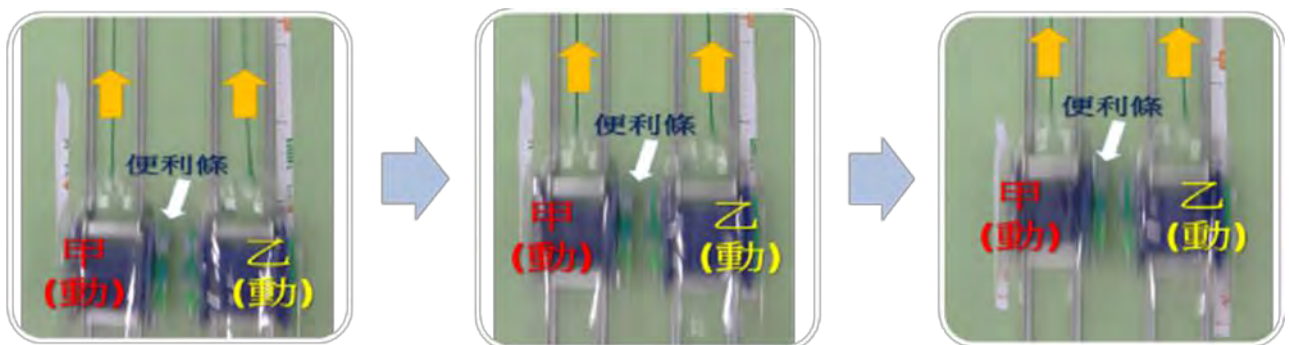


圖 6 流線形車，兩車同向運動時觀察便利條晃動情形

2. 實驗結果：透過實驗我們發現，便利條有明顯往內晃動

實驗次數	甲車（靜）	乙車（動）
1	→	←
2	→	←
3	→	←
4	→	←
5	→	←

### (二)長方形車

1. 實驗過程：以下為連續的畫面。

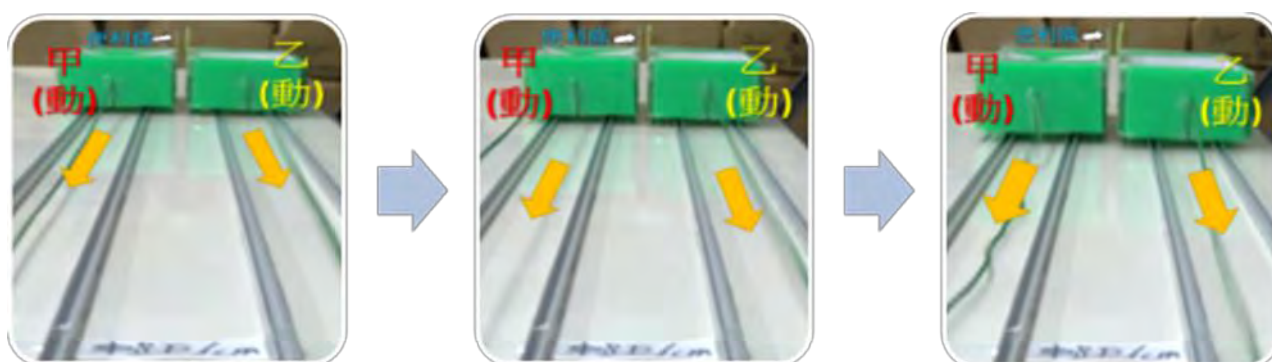


圖 7 長方形車，兩車同向運動時觀察便利條晃動情形

2. 實驗結果：透過實驗我們發現，便利條有明顯往內晃動

實驗次數	甲車	乙車
1	→	←
2	→	←
3	→	←
4	→	←
5	→	←

### (三)六邊形車

1. 實驗過程：以下為連續的畫面。

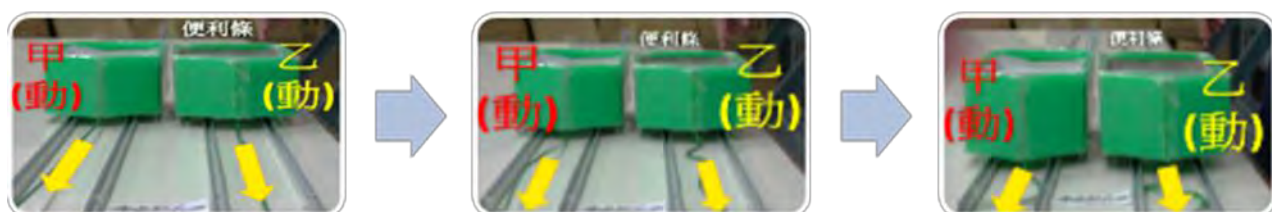


圖 8 六邊形車，兩車同向運動時觀察便利條晃動情形

2. 實驗結果：透過實驗我們發現，便利條有明顯往內晃動

實驗次數	甲車	乙車
1	→	←
2	→	←
3	→	←
4	→	←
5	→	←

五、兩車反向運動，甲車(左)、乙車(右)來自相反方向

(一) 流線形車

1. 實驗過程：以下為連續的畫面。

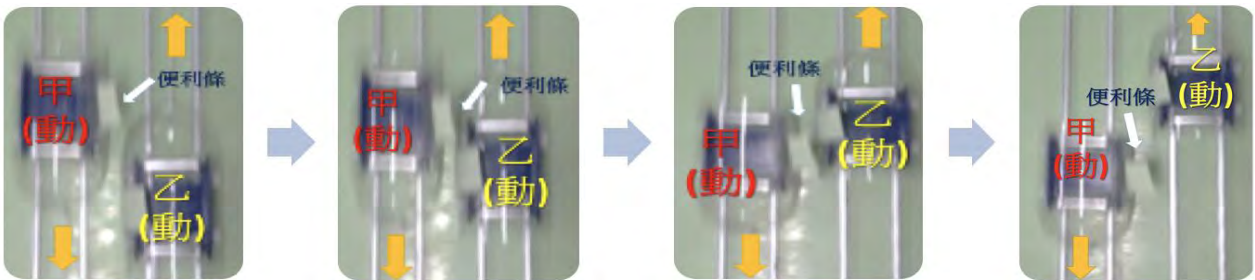


圖 9 流線形車，兩車反向運動時觀察便利條晃動情形

2. 實驗結果：透過實驗我們發現，便利條有明顯往外晃動

實驗次數	甲車	乙車
1	←	→
2	←	→
3	←	→
4	←	→
5	←	→

(二)長方形車

1. 實驗過程：以下為連續的畫面。

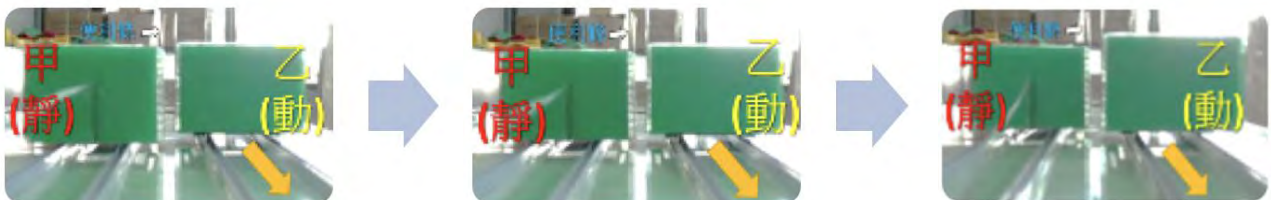


圖 10 長方形車，兩車反向運動時觀察便利條晃動情形



2. 實驗結果：透過實驗我們發現，便利條有明顯往外晃動

實驗次數	甲車	乙車
1	←	→
2	←	→
3	←	→
4	←	→
5	←	→

### (三)六邊形車

1. 實驗過程：以下為連續的畫面。

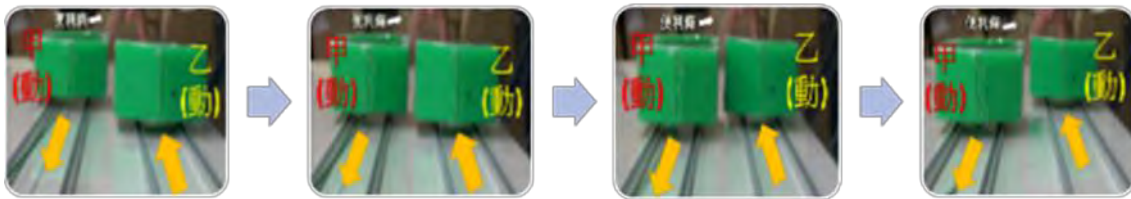


圖 11 六邊形車，兩車反向運動時觀察便利條晃動情形

2. 實驗結果：透過實驗我們發現，便利條有明顯往外晃動

實驗次數	甲車	乙車
1	←	→
2	←	→
3	←	→
4	←	→
5	←	→

### 六、利用手機 APP 測量錯車瞬間的晃動情形

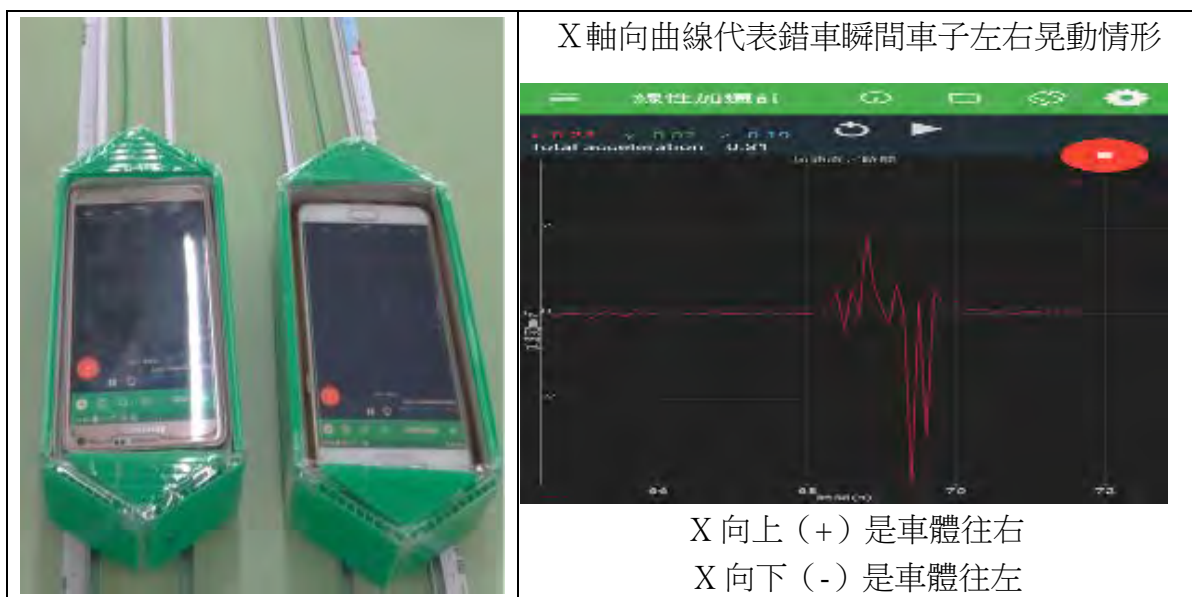








圖 12 實驗裝置圖




(一) 三種不同車型，兩車一靜一動，錯車瞬間測量結果

兩車狀態		車距		拉動車體砝碼重量		觀測工具	
一靜一動		1cm		200g		手機A P P	
車型							
次數	甲	乙	甲	乙	甲	乙	
1	←(-1.01)	(0.98)→	←(-1.41)	(2.36)→	←(-1.39)	→(1.89)	
2	←(-1.94)	(1.56)→	→(1.12)	(1.39)→	←(-2.39)	→(2.75)	
3	←(-2.32)	(1.24)→	←(-1.87)	(-2.39)←	←(-2.65)	→(3.10)	
4	←(-1.41)	(0.89)→	←(-1.96)	(2.36)→	←(-2.78)	→(2.47)	
5	←(-0.38)	(-0.16)←	←(-1.58)	(2.39)→	←(-2.56)	→(2.00)	
結果	4次往外晃動 1次同向運動		3次往外晃動 2次同向運動		往外晃動		

(二) 三種不同車型，兩車同向前進，錯車瞬間測量結果

兩車狀態		車距		拉動車體砝碼重量		觀測工具	
同向前進		1cm		200g		手機A P P	
車型							
次數	甲	乙	甲	乙	甲	乙	
1	→(0.29)	(-0.87)←	→(1.97)	(-2.36)←	(2.36)→	←(-2.30)	
2	←(-1.06)	(1.59)→	←(-2.56)	(1.96)→	(1.96)→	←(-1.71)	
3	→(0.94)	(-1.17)←	→(1.65)	(-3.22)←	(2.15)→	←(-1.01)	
4	←(-0.94)	(-1.23)←	←(-1.67)	(0.96)→	(2.22)→	←(-2.47)	
5	→(1.98)	(-2.01)←	→(1.06)	(-2.35)←	(2.32)→	←(-1.18)	
結果	3次往內晃動 1次往外晃動 1次同向運動		3次往內晃動 2次往外晃動		往內晃動		

(三) 三種不同車型，兩車反向交會，錯車瞬間測量結果

兩車狀態		車距		拉動車體砝碼重量		觀測工具	
反向交會		1cm		200g		手機A P P	
車型							

次數	甲	乙	甲	乙	甲	乙
1	←(-1.19)	(2.65)→	←(-1.83)	(2.36)→	←(-2.45)	(1.89)→
2	←(-1.93)	(1.36)→	→(1.24)	(2.56)→	←(-1.89)	(1.77)→
3	→(1.37)	(1.96)→	←(-2.56)	(1.79)→	←(-1.56)	(2.76)→
4	←(-2.36)	(0.98)→	←(-1.98)	(2.43)→	←(-2.36)	(1.89)→
5	←(-1.79)	(1.89)→	←(-1.06)	(0.96)→	←(-2.96)	(2.75)→
結果	4次往外晃動 1次同向運動		4次往外晃動 1次同向運動		往外晃動	

## 七、利用「氣墊軌道車組」測量錯車瞬間的晃動情形

前述實驗設計的軌道產生較多的摩擦力，經專家建議，借用「氣墊軌道車組」。

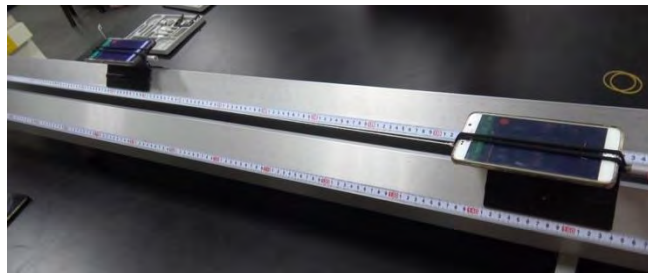


圖 13 氣墊軌道車組

(一) 以便利貼作為測試工具：因氣墊軌道通有強烈氣流，便利貼受氣流干擾不停晃動，無法進行觀察。

(二) 使用手機 A P P 作為測試工具

### 1. 實驗紀錄

氣墊軌道車組		車距		拉動車體砝碼重量		觀測工具	
		1.5cm		520g		手機 A P P	
兩車狀態	兩車一靜一動		兩車同向前進		兩車反向交會		
次數	甲	乙	甲	乙	甲	乙	
1	←	→	←	←	→	→	
2	←	→	←	←	←	→	
3	→	→	←	←	→	→	
4	→	→	←	←	→	←	
5	←	→	←	←	←	←	
結果	3次往外晃動 2次同向運動		5次同向運動		1次往內晃動 1次往外晃動 3次同向運動		

2. 實驗結果：無法推估結果，推測氣墊軌道上的小氣孔送氣干擾了氣墊車的晃動情形

## 伍、討論

### 一、文獻參照及討論

#### (一) 白努力定律

船在平行航行時，為什麼兩艘船會撞在一起？根據白努力定律，流體的壓力與流速有關，流速越大，壓力越小。因此當兩艘船平行向前航行時，在兩艘船中間因空間狹小導致內側水流比外側的水流得快，兩船內側的壓力比兩船外側的壓力要小，在兩船外側水壓推擠下，兩船靠近甚至相撞(李芷欣等，2017)。如果根據白努力定律也可得知，當火車經過時，靠近火車的空氣流動會較快，壓力變小，使人靠近甚至撞到火車(陳義翔等，2011)。

根據張慧貞教授(2015)發表在物理雙月刊的文章「教科書對於演示實例之理解與誤解」中，說明「白努力定律」是在同一道流體中不同的位置推導出「流速快壓力小」的關係，因此只適用在同一道流體情況，而且流速與壓力只是大小關係，不是因果，而根據牛頓定律的觀點，壓力差才是速度的變化的原因，因此正確說法應該是「壓力大則速度小」。

#### (二) 康達效應

「康達效應」又叫做「附壁效應」，意思是說流體有沿著障礙物的曲面流動的現象，因為流體沿著彎曲面彎曲需要向心力(向凹面垂直於曲面)，這是曲面物體對流體所施的力，根據作用與反作用力定律，曲面物體會受流體的反作用力作用(向凸面垂直於曲面)(張慧貞，2015)。

車子運動的時候，空氣被車頭分開，沿著車體流動的氣流，是否造成錯車瞬間壓力變化，引起車體晃動，我們將以白努力定律和康達效應來預測和解釋實驗所獲得的現象，以探討它們的適用性。

二、利用粉筆灰作為觀察錯車瞬間壓力變化的工具，發現皆無飛揚現象，推論車子長度不足或車速不夠快，無法帶動氣流讓粉筆灰揚起。

三、以紙片作為測試工具，我們在網路上看到了以下的報導，有人站在火車旁是會被吸進去的說法。



圖 14 擷取新聞報導畫面，說明玩偶在火車通過瞬間往外晃動

透過影片放慢的速度，我們發現了影片裡的玩偶，是先往外晃動。我們的實驗，把人當作紙片，將紙片貼於靜止車側邊，另一車滑動通過時，在交會瞬間帶動氣流推移，紙片亦是往外晃動，我們的實驗觀察與新聞報導相符。



圖 13 擷取新聞報導畫面，說明火車通過瞬間，產生吸力

此新聞報導說明火車通過瞬間，人靠近軌道時會感受到吸力，是因為白努力定律「速度快，壓力小；速度慢，壓力大」的原理；但在我們的實驗發現紙片會先往外晃動，與白努力的解釋不符。

將紙片貼於靜止車側邊的實驗，無法推估另一車運動時兩車交會所產生的晃動現象，故嘗試在兩車內側側邊貼上較輕薄的便利條，以利於觀察錯車瞬間細微的晃動情形。

四、以便利條作為測試工具，實驗結果整理如下表：

兩車狀態	甲車	乙車	晃動狀況
兩車一靜一動	←	→	往外晃動
兩車同向前進	→	←	往內晃動
兩車反向交會	←	→	往外晃動

為了提升實驗準確性，徵詢專家教授意見，推薦使用手機的 APP：Physics Toolbox Sensor Suite，再次驗證實驗是否與便利條實驗結果相吻合。

五、以手機 APP 作為測量工具，發現流線形車和長方形車可能因為車體造型影響氣流流動，造成實驗結果不穩定，六邊形車車頭具有導流效果，實驗結果較為穩定。

實驗結果整理如下表：

六邊形車	甲車	乙車	晃動狀況
兩車一靜一動	←	→	往外晃動
兩車同向前進	→	←	往內晃動
兩車反向交會	←	→	往外晃動

六邊形車測試結果與便利貼實驗結果相符。

## 六、現象解釋與原理對照

### (一) 兩車一靜一動

#### 1. 利用白努力定律解釋

<p>當運動的車子接近另一靜止的車子。</p>	<p>交會時，兩車間形成狹小間隙，流速變快、壓力變小；車體兩側相對壓力大。</p>	<p>壓力大會往壓力小運動，所以車子會往內晃動。 (與本實驗結果不符)</p>

#### 2. 利用康達效應解釋

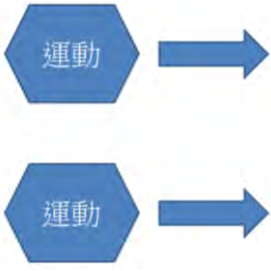
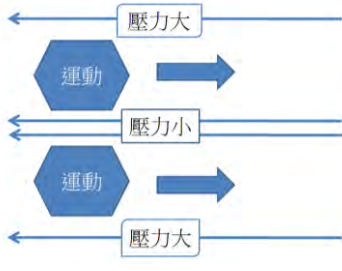

<p>運動車子前進時，氣流會沿著車體表面流動。</p>	<p>兩車交會瞬間，運動車體表面氣流會撞擊靜止的車。</p>	<p>因氣流撞擊產生的反作用力，造成兩車往外晃動。 (與本實驗結果相符)</p>

兩車一靜一動時，若以白努力定律進行解釋，在兩車交會瞬間，會在兩車之間形成狹小間隙，空氣受到擠壓造成流速變快、壓力變小，而在車體外側相對壓力大，因壓力差異造成車體會往內晃動，但我們觀察到的現象是車體會往外晃動，白努力定律之解釋與本實驗結果不符。


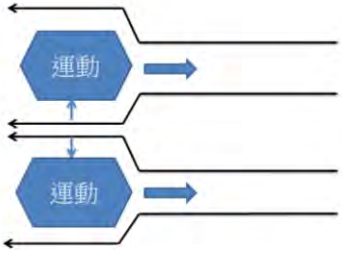

根據康達效應，空氣會沿著運動的車體表面流動，當兩車交會時，動車的流動氣體會擠壓靜止車體，使靜止的車體往外晃動，同時產生反作用力，使動車亦往外晃動，與我們觀察到兩車車體皆往外晃動的現象是相同的，故康達效應之解釋與本實驗結果相符。

## (二) 兩車同向運動

### 1. 利用白努力定律解釋

		
<p>當兩台車子朝相同方向前進時。</p>	<p>前方氣流通過兩車間隙時，流速變快、壓力變小；車體兩側相對壓力大。</p>	<p>壓力大會往壓力小運動，所以車子會往內晃動。 (與本實驗結果相符)</p>

### 2. 利用康達效應解釋

		
<p>兩車朝相同方向前進，氣流會沿著車體表面流動，受兩車間隙的擠壓。</p>	<p>兩車中間的氣流彎曲弧度較外側大，所以氣流所需的向心力較外側大，亦即兩車所受向內的力大於向外的力。</p>	<p>造成兩車車體會往內晃動。 (與本實驗結果相符)</p>

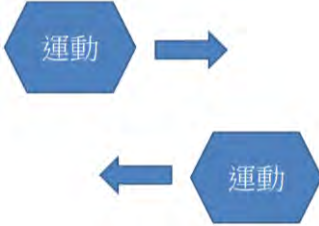
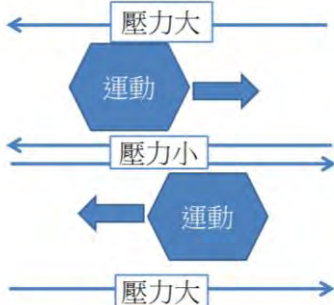
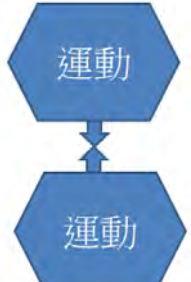
兩車同向運動時，如果用白努力定律進行解釋，當兩車同時同向前進，前方氣流通過兩車間隙時，空氣受到擠壓，流速變快、壓力變小，車體兩側相對壓力大，兩車會往內晃動。我們觀察到的現象是兩車車體會往內晃動，白努力定律之解釋與本實驗結果相符。

以康達效應進行討論，兩車往相同方向前進時，氣流會分別沿著兩車體表面流動，受兩車間隙的擠壓，兩車中間的氣流彎曲弧度較外側大，所以氣流所需的向心力較外側大，亦即兩車所受向內的力大於向外的力，造成兩車車體往內晃動。與我們觀察到兩車車體皆往內晃動的現象是相同的，康達效應之解釋亦與本實驗結果相符。

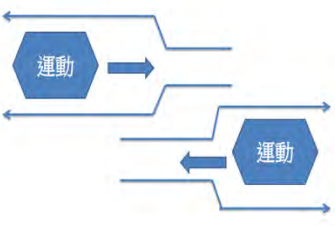
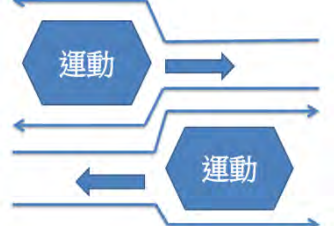

故當兩車同向前進時，以白努力定律與康達效應解釋，皆符合實驗觀察結果。

### (三)兩車反向運動

#### 1. 利用白努力定律解釋

		
<p>兩車朝不同方向前進。</p>	<p>錯車瞬間，壓力變小，流速變快；車體兩側相對壓力大。</p>	<p>車子往內晃動。 (與本實驗結果<u>不符</u>)</p>

#### 2. 利用康達效應解釋

		
<p>兩車朝不同方向前進，氣流會沿著車體表面流動。</p>	<p>兩車交會瞬間所帶動的空氣流動方向相反，因此中間空氣沿車身運動的速度較外側小。</p>	<p>車子受向外的力大於向內的力，造成兩車往外晃動。 (與本實驗結果相符)</p>



兩車反向運動時，以白努力定律進行解釋，錯車瞬間兩車之間空氣受到擠壓，造成壓力變小，流速變快；車體兩側相對壓力大。因壓力差異造成車體會往內晃動，但我們觀察到的現象是車體會往外晃動，白努力定律之解釋與本實驗結果不符。

根據康達效應，空氣會沿著運動的車體表面流動，在兩車交會瞬間，兩車中間由兩車所帶動的空氣流動方向相反，因此中間空氣沿車身運動的速度較外側小，所以兩車中間空氣分子所需的向心力較小，因此車體外側所受的凸面向外的力大於內側凸面向外的力，所以造成兩車往外晃動。與實驗觀察到兩車車體皆往外晃動的現象是相同的，故康達效應之解釋與本實驗結果相符。

## 陸、結論

我們透過紙片、便利條、手機 APP，觀察兩車一靜一動、兩車同向前進、兩車反向交會時，錯車瞬間所發生的現象，搭配白努力定律與康達效應加以解釋，得到以下結論：

錯車瞬間壓力變化	白努力定律	康達效應
兩車一動一靜	無法解釋	可解釋
兩車同向前進	可解釋	可解釋
兩車反向交會	無法解釋	可解釋

透過我們的實驗與討論，發現白努力定律只能解釋兩車同向前進時有往內晃動情形；但康達效應則能解釋兩車一靜一動時會往外晃動、兩車同向前進時會往內晃動、兩車反向交會時會往外晃動。

## 柒、參考資料

一、火車進站勿靠近！"低壓吸力"恐致命(2017年8月3日)。中視新聞。取自

<https://www.youtube.com/watch?v=zmJ5vcutC94>

二、陳義翔、卓彥廷、吳智暉 (2011)。趣味證明伯努力現象。中學生網站小論文專區。

取自 <http://www.shs.edu.tw/works/essay/2011/03/2011033016254297.pdf>

三、張慧貞 (2015) 。教科書對於演示實例之理解與誤解。物理雙月刊，37(3)，5-19。

取自 [https://drive.google.com/open?id=0B-pVmhF\\_2ma4aC1NaTdIUlY3N28](https://drive.google.com/open?id=0B-pVmhF_2ma4aC1NaTdIUlY3N28)

四、陳昭熙、洪稚森、孫琮原、蘇柏愷、謝徐家 (2017) 。凌空飛翔的紙蟬。中華民國第 57

屆中小學科學展覽會作品說明書。取自 <https://www.ntsec.edu.tw/FileAtt.ashx?id=11520>

五、南一教科書團隊編著 (2017) 。國中自然與生活科技第五冊。南一出版社。

六、李芷欣、林姿均、林瑋廷 (2017) 。氣體的流動—白努力定律。中學生網站小論文專區。

取自 <http://www.shs.edu.tw/works/essay/2017/11/2017111504444897.pdf>

## 附錄

在討論變因時，討論車速與車距是否對於實驗有關鍵性的影響，實驗結果能推估出較理想的實驗狀態，對於本研究無關鍵性影響，故置於附錄，作為佐證。

一、以不同重量的砝碼拉動車子，模擬不同車速

使用 100g 砝碼拉動車體，速度緩慢，無任何現象產生；使用 400g 砝碼，在實驗過程中連結車體的繩子多次被拉斷，無法進行實驗。

(一) 車子一動一靜實驗測量記錄

兩車狀態		車距				車型				觀測工具	
一靜一動		車距 1cm				六邊形				手機 APP	
砝碼重量	150g		200g		250g		300g		350g		
次數	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙	
1	← (-1.37)	→ (0.43)	← (-1.39)	→ (1.89)	← (-1.18)	→ (2.06)	← (-2.23)	→ (2.36)	← (-1.32)	→ (2.41)	
2	← (-1.42)	→ (0.22)	← (-2.39)	→ (2.75)	← (-1.81)	→ (1.38)	← (-1.89)	→ (2.87)	← (-1.54)	→ (1.75)	
3	← (-0.98)	→ (0.12)	← (-2.65)	→ (3.10)	← (-1.56)	→ (1.34)	← (-1.45)	→ (3.56)	← (-1.93)	→ (1.46)	
4	← (-1.05)	→ (0.56)	← (-2.78)	→ (2.47)	← (-1.76)	→ (1.11)	← (-1.68)	→ (2.23)	← (-1.86)	→ (1.93)	
5	← (-0.21)	→ (1.05)	← (-2.56)	→ (2.00)	← (-2.12)	→ (1.42)	← (-1.69)	→ (2.56)	← (-2.07)	→ (1.78)	
結果	往外晃動		往外晃動		往外晃動		往外晃動		往外晃動		

(二) 車子同向前進實驗測量記錄

兩車狀態		車距				車型				觀測工具	
同向前進		車距 1cm				六邊形				手機 APP	
砝碼 重量	150g		200g		250g		300g		350g		
	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙	
1	→ (1.08)	← (-2.26)	→ (2.36)	← (-2.30)	→ (2.18)	← (-2.01)	→ (2.17)	← (-1.89)	→ (1.72)	← (-1.96)	
2	→ (1.29)	← (-1.58)	→ (1.96)	← (-1.71)	→ (2.15)	← (-1.76)	→ (2.12)	← (-1.49)	→ (1.91)	← (-1.65)	
3	→ (1.06)	← (-2.28)	→ (2.15)	← (-1.01)	→ (2.05)	← (-1.28)	→ (1.97)	← (2.16)	→ (2.56)	← (-2.41)	
4	→ (2.39)	← (-1.89)	→ (2.22)	← (-2.47)	→ (2.14)	← (-2.27)	→ (1.89)	← (1.68)	→ (2.32)	← (-1.87)	
5	→ (2.76)	← (-2.07)	→ (2.32)	← (-1.18)	→ (1.26)	← (-1.25)	→ (1.83)	← (2.03)	→ (2.67)	← (-1.91)	
結果	往內晃動		往內晃動		往內晃動		往內晃動		往內晃動		

(三) 車子反向交會實驗測量記錄

兩車狀態		車距				車型				觀測工具	
反向交會		車距 1cm				六邊形				手機 APP	
砝碼 重量	150g		200g		250g		300g		350g		
	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙	
1	← (-1.19)	→ (1.29)	← (-2.45)	→ (1.89)	← (-1.56)	→ (1.87)	← (-1.96)	→ (2.03)	← (-2.97)	→ (2.57)	
2	← (-1.57)	→ (1.78)	← (-1.89)	→ (1.77)	← (-1.44)	→ (1.65)	← (-2.02)	→ (1.98)	← (-2.69)	→ (2.41)	
3	← (-1.74)	→ (1.67)	← (-1.56)	→ (2.76)	← (-1.38)	→ (1.08)	← (-1.90)	→ (1.23)	← (-2.42)	→ (2.21)	
4	← (-1.49)	→ (1.89)	← (2.36)	→ (1.89)	← (-1.86)	→ (1.24)	← (-1.79)	→ (1.65)	← (-2.11)	→ (1.76)	
5	← (-1.28)	→ (1.65)	← (-2.96)	→ (2.75)	← (-1.78)	→ (1.30)	← (-1.85)	→ (1.89)	← (-2.08)	→ (1.59)	
結果	往外晃動		往外晃動		往外晃動		往外晃動		往外晃動		

二、以不同車距利用手機 A P P 測試錯車瞬間晃動情形

(一) 車子一動一靜實驗測量記錄

兩車狀態		砝碼重量				車型				觀測工具	
一靜一動		200g				六邊形				手機 APP	
車子 間距	1cm		1.5cm		2cm		2.5cm		3cm		
	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙	
1	← (-1.01)	→ (0.98)	← (-0.97)	→ (0.78)	← (-2.76)	→ (2.48)	← (-2.10)	→ (1.76)	← (-1.36)	→ (1.47)	
2	← (-1.94)	→ (1.56)	← (-1.56)	→ (1.32)	← (-1.56)	→ (1.43)	← (-1.13)	→ (1.23)	← (-1.54)	→ (1.60)	
3	← (-2.32)	→ (1.24)	← (-1.33)	→ (1.08)	← (-2.57)	→ (2.16)	← (-0.76)	→ (1.47)	← (-1.47)	→ (1.37)	
4	← (-1.41)	→ (0.89)	← (-1.41)	→ (1.29)	← (-2.74)	→ (2.54)	← (-0.81)	→ (0.87)	← (-1.30)	→ (1.03)	
5	← (-0.38)	→ (0.16)	← (-0.54)	→ (0.81)	← (-2.32)	→ (2.67)	← (-0.36)	→ (0.39)	← (-1.06)	→ (0.81)	
結果	往外晃動		往外晃動		往外晃動		往外晃動		往外晃動		

(二) 車子同向前進實驗測量記錄

兩車狀態		砝碼重量				車型				觀測工具	
同向		200g				六邊形				手機 APP	
車子 間距	1cm		1.5cm		2cm		2.5cm		3cm		
	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙	
1	→ (2.36)	← (-2.30)	→ (2.51)	← (-2.12)	→ (1.15)	← (-1.29)	→ (1.18)	← (-1.39)	→ (1.91)	← (-1.29)	
2	→ (1.96)	← (-1.17)	→ (2.98)	← (-2.37)	→ (1.06)	← (-1.37)	→ (1.54)	← (-1.79)	→ (1.22)	← (-1.13)	
3	→ (2.15)	← (-1.01)	→ (2.47)	← (-2.78)	→ (1.79)	← (-1.67)	→ (1.36)	← (-1.83)	→ (2.11)	← (-1.67)	
4	→ (2.22)	← (-2.47)	→ (1.75)	← (-1.73)	→ (0.98)	← (-0.73)	→ (1.32)	← (-1.57)	→ (1.65)	← (-1.97)	
5	→ (2.32)	← (-1.18)	→ (2.45)	← (-1.82)	→ (1.45)	← (-1.23)	→ (2.37)	← (-2.08)	→ (1.97)	← (-1.26)	
結果	往內晃動		往內晃動		往內晃動		往內晃動		往內晃動		

(三) 車子反向交會實驗測量記錄

兩車狀態		車距砝碼重量				車型		觀測工具			
反向		200g				六邊形		手機 APP			
車子 間距	1cm		1.5cm		2cm		2.5cm		3cm		
	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙	
1	← (-2.45)	→ (1.89)	← (-1.25)	→ (1.17)	← (-1.12)	→ (1.36)	← (-1.26)	→ (1.39)	← (-1.22)	→ (1.03)	
2	← (-1.89)	→ (1.77)	← (-1.89)	→ (1.69)	← (-1.39)	→ (1.79)	← (-1.79)	→ (1.83)	← (-0.59)	→ (0.76)	
3	← (-1.56)	→ (2.76)	← (-2.03)	→ (2.19)	← (-1.45)	→ (1.82)	← (-1.36)	→ (1.09)	← (-0.93)	→ (0.57)	
4	← (-2.36)	→ (1.86)	← (-1.89)	→ (1.49)	← (-1.56)	→ (1.30)	← (-1.49)	→ (1.31)	← (-0.94)	→ (1.49)	
5	← (-2.96)	→ (2.75)	← (-1.59)	→ (1.79)	← (-1.73)	→ (1.57)	← (-1.37)	→ (0.77)	← (-1.14)	→ (0.73)	
結果	往外晃動		往外晃動		往外晃動		往外晃動		往外晃動		

## 【評語】 030110

實驗的設計能驗證提出的問題，即錯車瞬間壓力的變化。但在理解與使用白努力定律的條件上，未能清楚說明。在運用康達效應時，亦有類似狀況。

若能清楚區分流體與物體的差異，並進而量出流體的流動，當可改善誤用白努力定律的狀況，而不致產生弔詭(paradox)的狀況。

但團隊整體的努力與認真值得肯定。

# 壹、研究動機

等火車時，若是靠近鐵軌側站立，火車進站時會先感受到一股壓力把自己向外推，火車經過之後，又會感覺被吸了回去；搭火車於火車交會列車時會感受到左右晃動；報導指出當兩艘船以相同速率平行航行時，會撞在一起。我們很好奇這樣的現象，所以設計模擬實驗：以兩車一靜一動、兩車同向前進、兩車反向交會，觀察其發生的現象。



# 貳、研究目的

本研究主要是想了解兩車一靜一動、兩車同向前進、反向交會，觀察錯車瞬間所發生的現象。

- 一、 利用粉筆灰、紙片及便利條觀察錯車瞬間的晃動情形。
- 二、 利用手機APP(Physics Toolbox Sensor Suite)觀察錯車瞬間的晃動情形。
- 三、 改變不同車型對於錯車現象的影響。
- 四、 使用白努力定律及康達效應解釋錯車晃動時的情形。

# 參、研究設備及器材

## 一、研究設備裝置



## 二、改變車體造型



# 肆、研究過程

## 錯身而過—錯車瞬間壓力變化之探討



# 伍、結果與討論

一、以便利條作為測試工具：錯車面貼上便利條，觀察便利條是否有晃動情形。

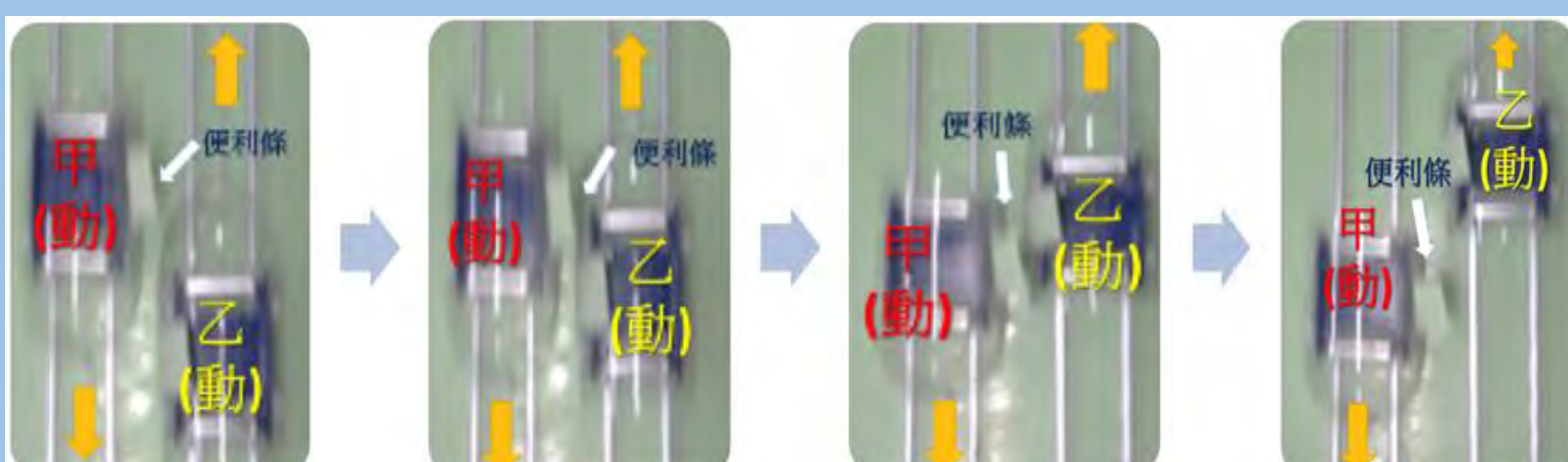
兩車狀態	車距	砝碼重量	觀測工具
一靜一動	1cm	200g	便利條
車型	流線型	長方形	六邊形
車子	甲 乙	甲 乙	甲 乙
5次觀察	← →	← →	← →
結果	往外晃動	往外晃動	往外晃動



兩車狀態	車距	砝碼重量	觀測工具
同向前進	1cm	200g	便利條
車型	流線型	長方形	六邊形
車子	甲 乙	甲 乙	甲 乙
5次觀察	→ ←	→ ←	→ ←
結果	往內晃動	往內晃動	往內晃動



兩車狀態	車距	砝碼重量	觀測工具
反向交會	1cm	200g	便利條
車型	流線型	長方形	六邊形
車子	甲 乙	甲 乙	甲 乙
5次觀察	← →	← →	← →
結果	往外晃動	往外晃動	往外晃動



## 二、利用手機APP測量錯車瞬間的晃動情形

接著為了量化，使用手機的APP：**Physics Toolbox Sensor Suite**，來測量車子晃動的加速度，再次驗證實驗是否與便利條實驗結果相吻合。



以APP測量車子左右方向晃動的加速度(向右為+，向左為-)。



利用手機來觀察車子的內外晃動，六邊形的現象最明顯。

兩車狀態		車距		拉動車體砝碼重量		觀測工具	
一靜一動		1cm		200g		手機APP (m/s <sup>2</sup> )	
車型 次數	流線型		長方形		六邊形		
	甲	乙	甲	乙	甲	乙	
1	(-1.01) ←	→(0.98)	(-1.41) ←	→(2.36)	(-1.39) ←	→(1.89)	
2	(-1.94) ←	→(1.56)	(1.12) →	→(1.39)	(-2.39) ←	→(2.75)	
3	(-2.32) ←	→(1.24)	(-1.87) ←	←(-2.39)	(-2.65) ←	→(3.10)	
4	(-1.41) ←	→(0.89)	(-1.96) ←	→(2.36)	(-2.78) ←	→(2.47)	
5	(-0.38) ←	←(-0.16)	(-1.58) ←	→(2.39)	(-2.56) ←	→(2.00)	
結果	4次往外，1次無法判別		3次往外，2次無法判別		往外晃動		

兩車狀態		車距		拉動車體砝碼重量		觀測工具	
同向前進		1cm		200g		手機APP (m/s <sup>2</sup> )	
車型 次數	流線型		長方形		六邊形		
	甲	乙	甲	乙	甲	乙	
1	(0.29) →	←(-0.87)	(1.97) →	←(-2.36)	(2.36) →	←(-2.30)	
2	(-1.06) ←	→(1.59)	(-2.56) ←	→(1.96)	(1.96) →	←(-1.71)	
3	(0.94) →	←(-1.17)	(1.65) →	←(-3.22)	(2.15) →	←(-1.01)	
4	(-0.94) ←	←(1.23)	(-1.67) ←	→(0.96)	(2.22) →	←(-2.47)	
5	(1.98) →	←(2.01)	(1.06) →	←(-2.35)	(2.32) →	←(-1.18)	
結果	3次往內，2次無法判別		3次往內，2次往外		往內晃動		

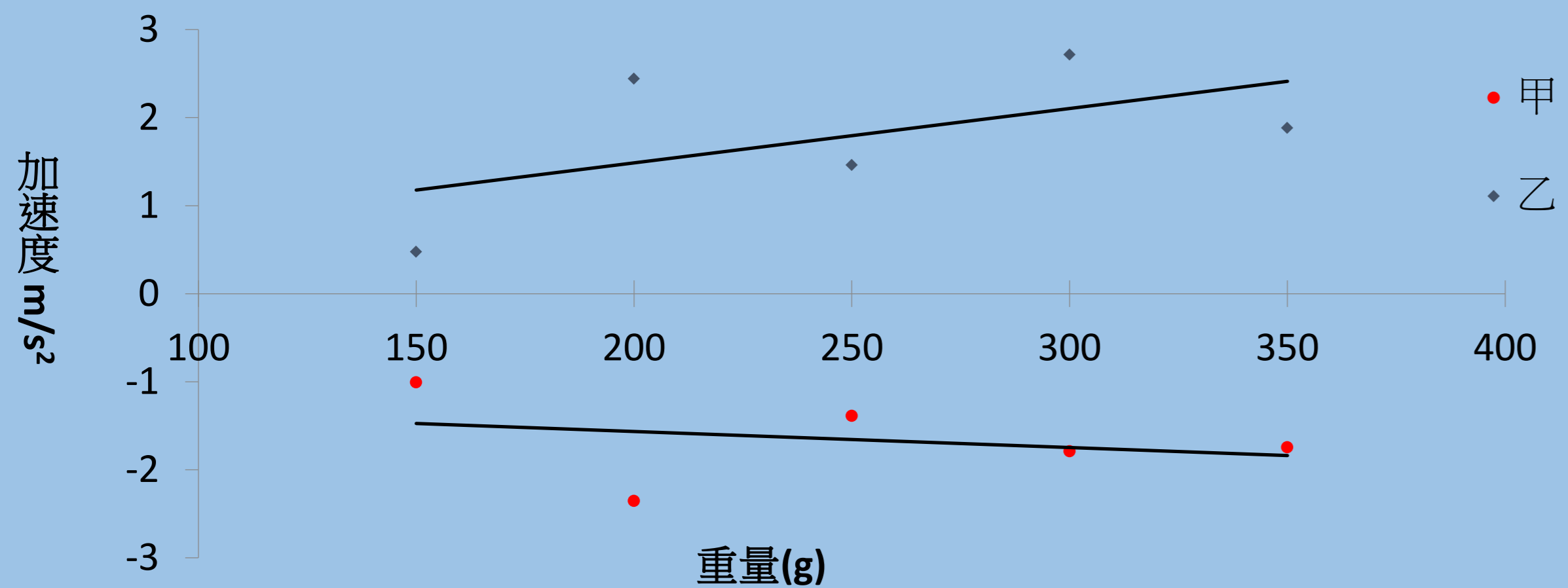
兩車狀態		車距		拉動車體砝碼重量		觀測工具	
反向交會		1cm		200g		手機APP (m/s <sup>2</sup> )	
車型 次數	流線型		長方形		六邊形		
	甲	乙	甲	乙	甲	乙	
1	(-1.19) ←	→(2.65)	(-1.83) ←	→(2.36)	(-2.45) ←	→(1.89)	
2	(-1.93) ←	→(1.36)	(-1.24) →	→(2.56)	(-1.89) ←	→(1.77)	
3	(1.37) →	→(1.96)	(-2.56) ←	→(1.79)	(-1.56) ←	→(2.76)	
4	(-2.36) ←	→(0.98)	(-1.98) ←	→(2.43)	(-2.36) ←	→(1.89)	
5	(-1.79) ←	→(1.89)	(-1.06) ←	→(0.96)	(-2.96) ←	→(2.75)	
結果	4次往外，1次無法判別		4次往外，1次無法判別		往外晃動		

## 三、不同速度、車距的實驗：

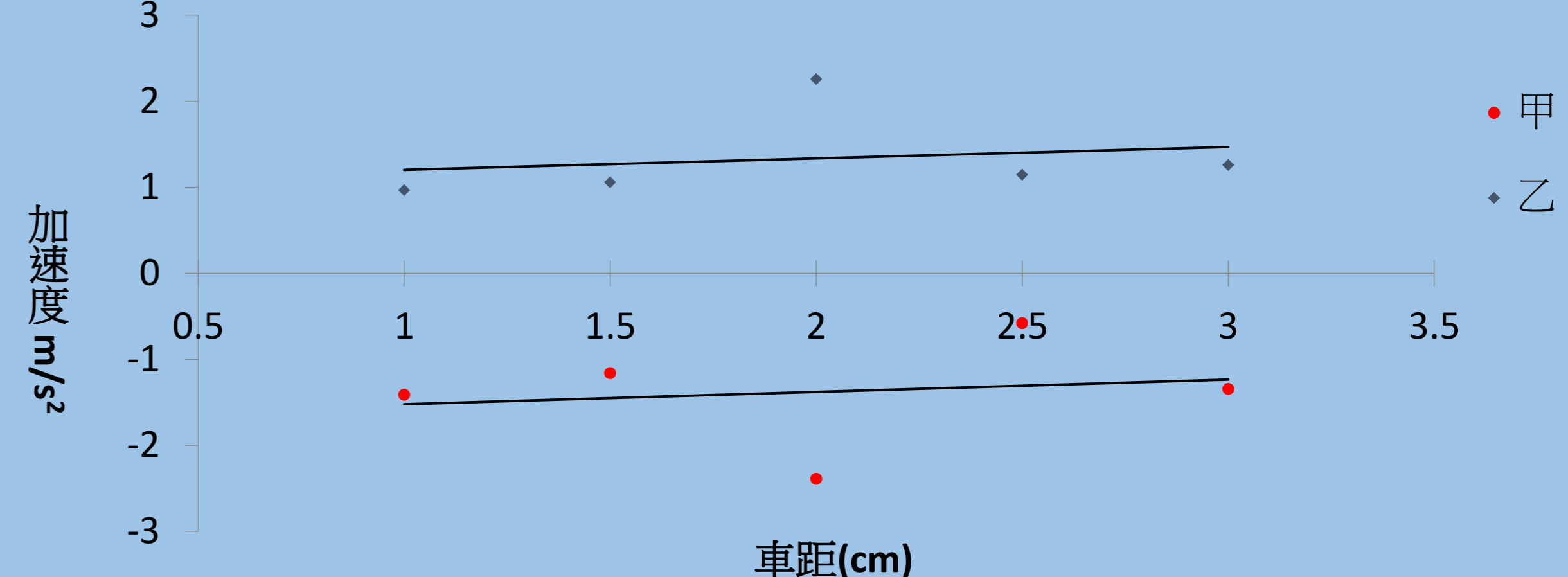
兩車車距:	1cm		觀測工具:				手機APP(m/s <sup>2</sup> )			
砝碼重量	150g		200g		250g		300g		350g	
六邊形	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙
一靜一動	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→
	(-1.06)	(0.46)	(-2.35)	(2.44)	(-1.38)	(1.46)	(-1.78)	(2.71)	(-1.74)	(1.86)
同向前進	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←
	(1.71)	(-2.01)	(2.20)	(-1.73)	(1.95)	(-1.71)	(1.99)	(-1.85)	(2.23)	(-1.96)
反向交會	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→
	(-1.45)	(1.65)	(-2.24)	(2.21)	(-1.60)	(1.42)	(-1.90)	(1.75)	(-2.45)	(2.10)

砝碼重量:	200g		觀測工具:				手機APP(m/s <sup>2</sup> )			
兩車車距	1cm		1.5cm		2cm		2.5cm		3cm	
六邊形	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙
一靜一動	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→
	(-1.41)	(0.96)	(-1.16)	(1.05)	(-2.39)	(2.25)	(-0.58)	(1.14)	(-1.34)	(1.25)
同向前進	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←
	(2.20)	(-1.62)	(2.43)	(-2.16)	(1.28)	(-1.25)	(1.55)	(-1.73)	(1.77)	(-1.46)
反向交會	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→
	(-2.24)	(2.20)	(-1.73)	(1.66)	(-1.45)	(1.58)	(-1.45)	(1.27)	(-0.96)	(0.91)

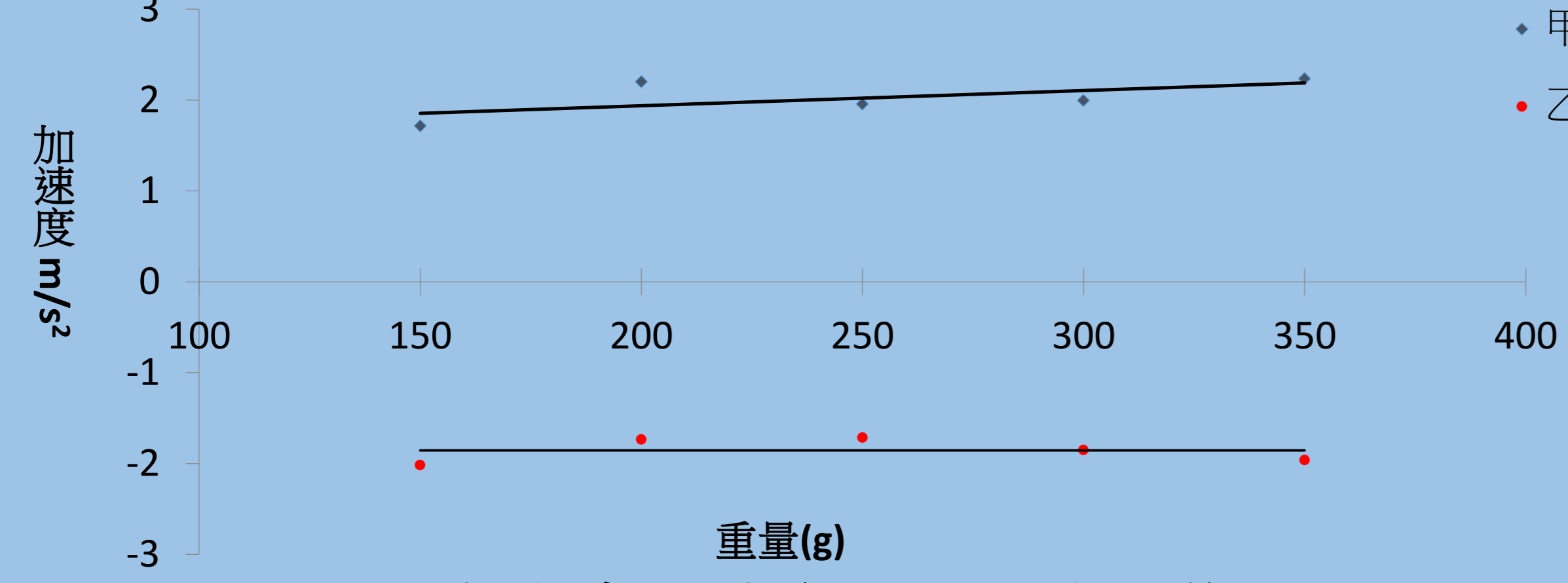
甲動乙靜加速度對重量的關係圖



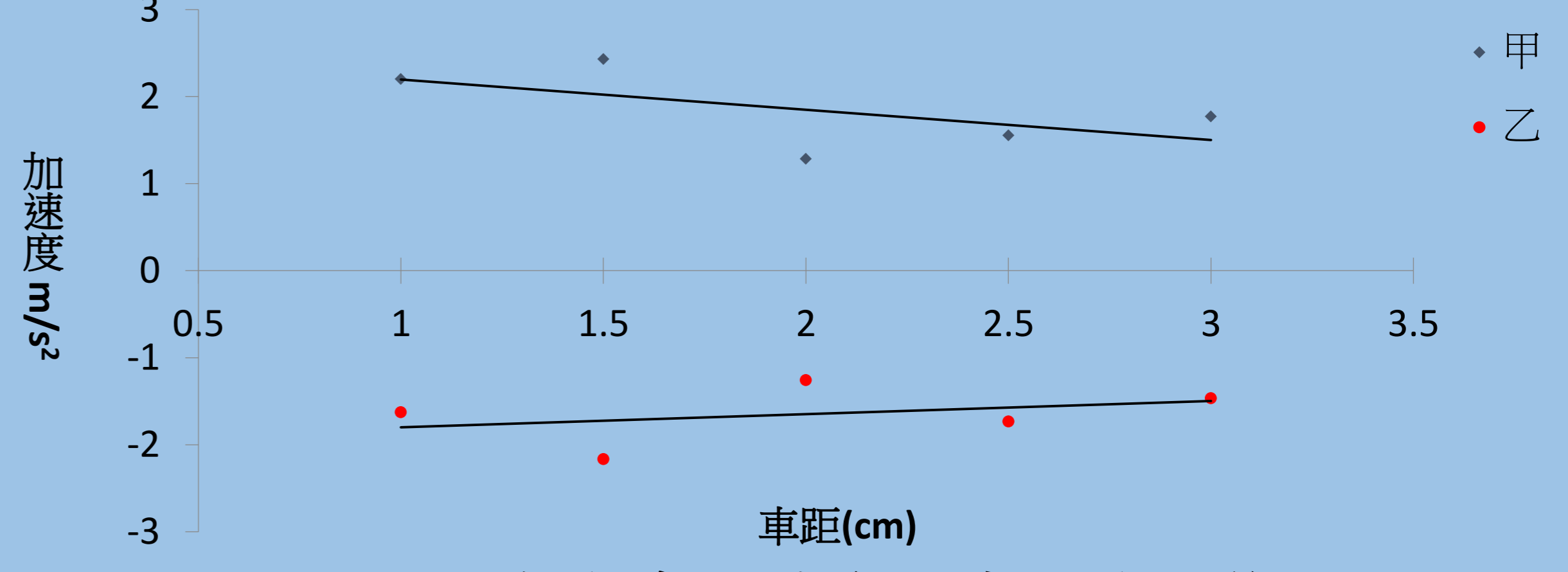
甲動乙靜加速度對車距的關係圖



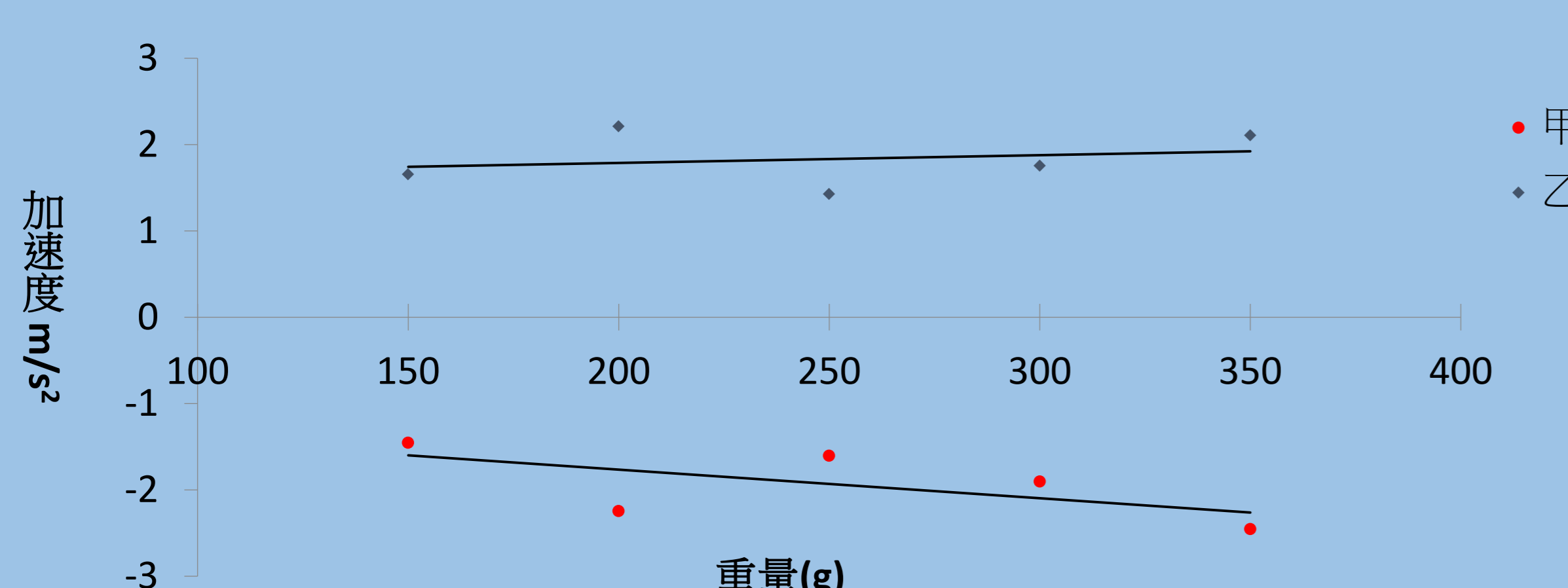
同向前進加速度對重量的關係圖



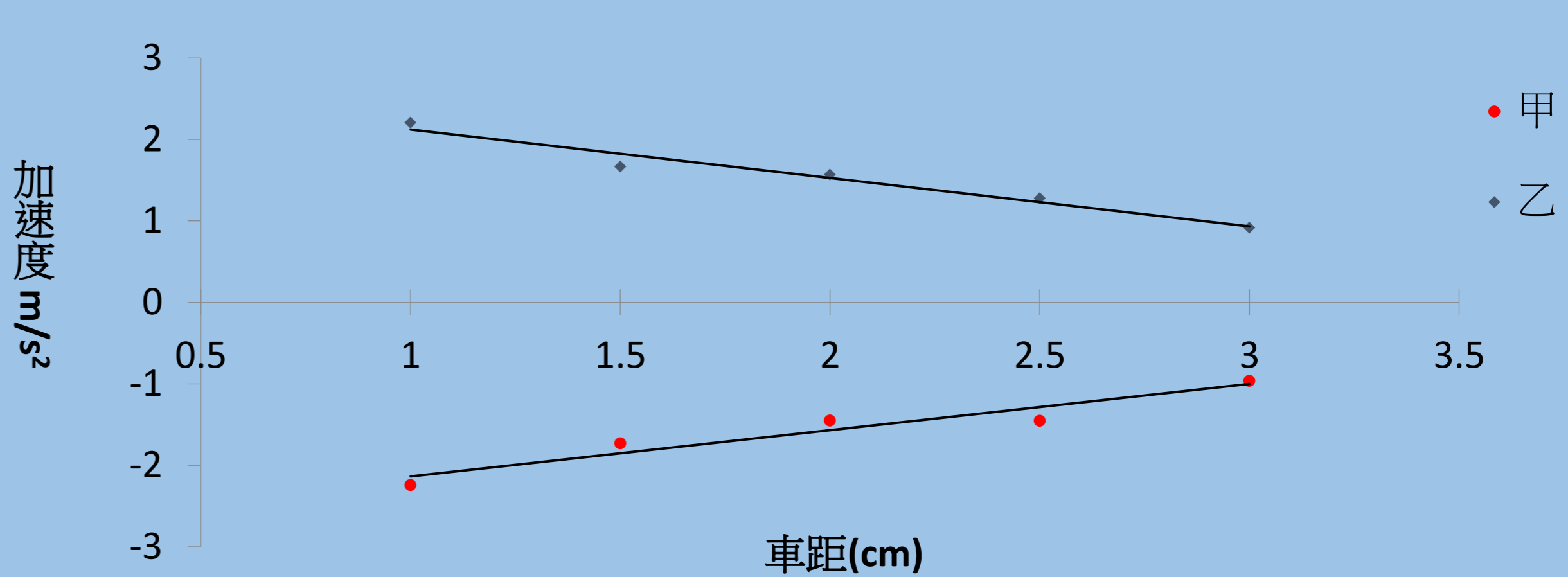
同向前進加速度對車距的關係圖



反向交會加速度對重量的關係圖



反向交會加速度對車距的關係圖

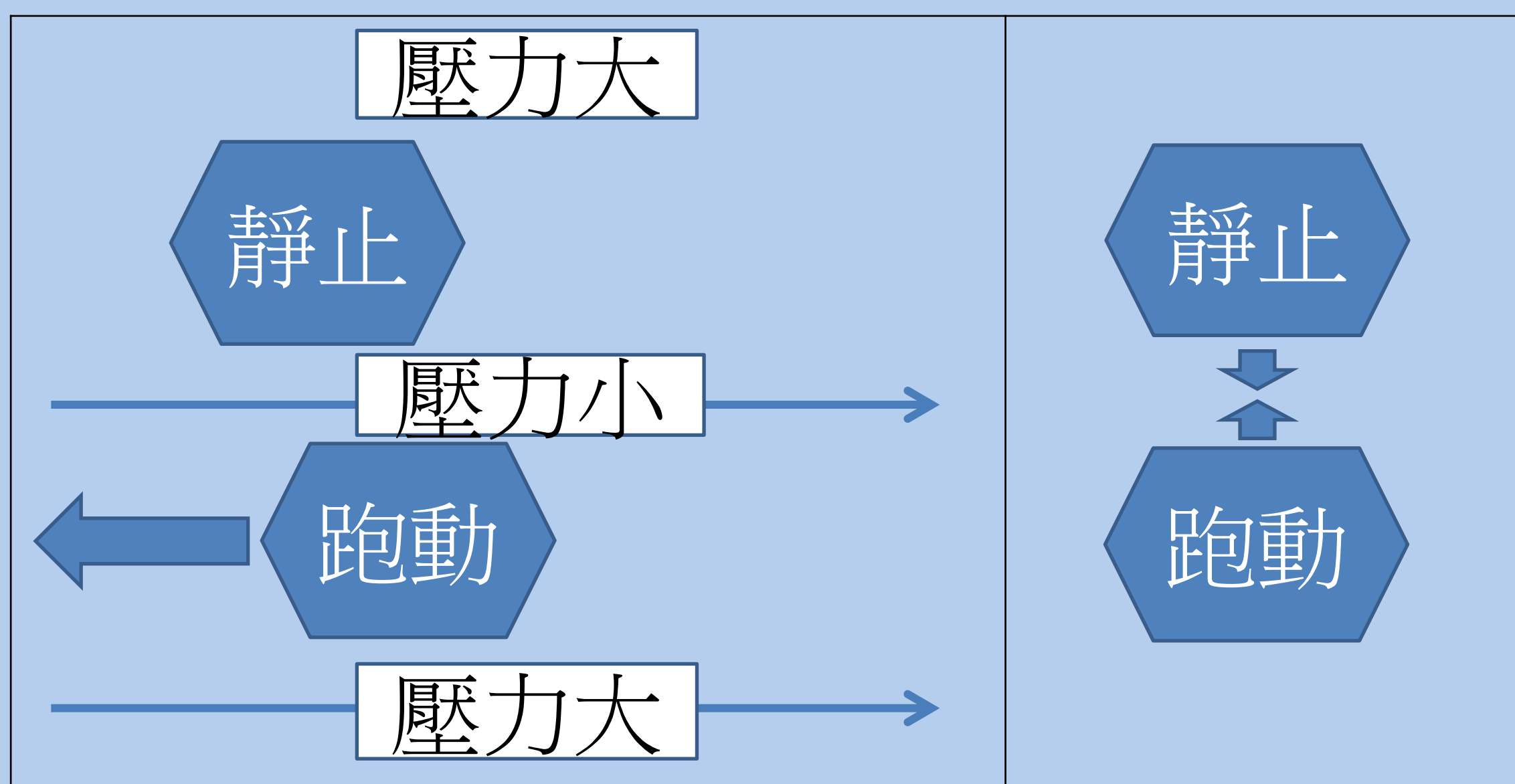




#### 四、現象解釋與原理對照

##### (一) 一靜一動

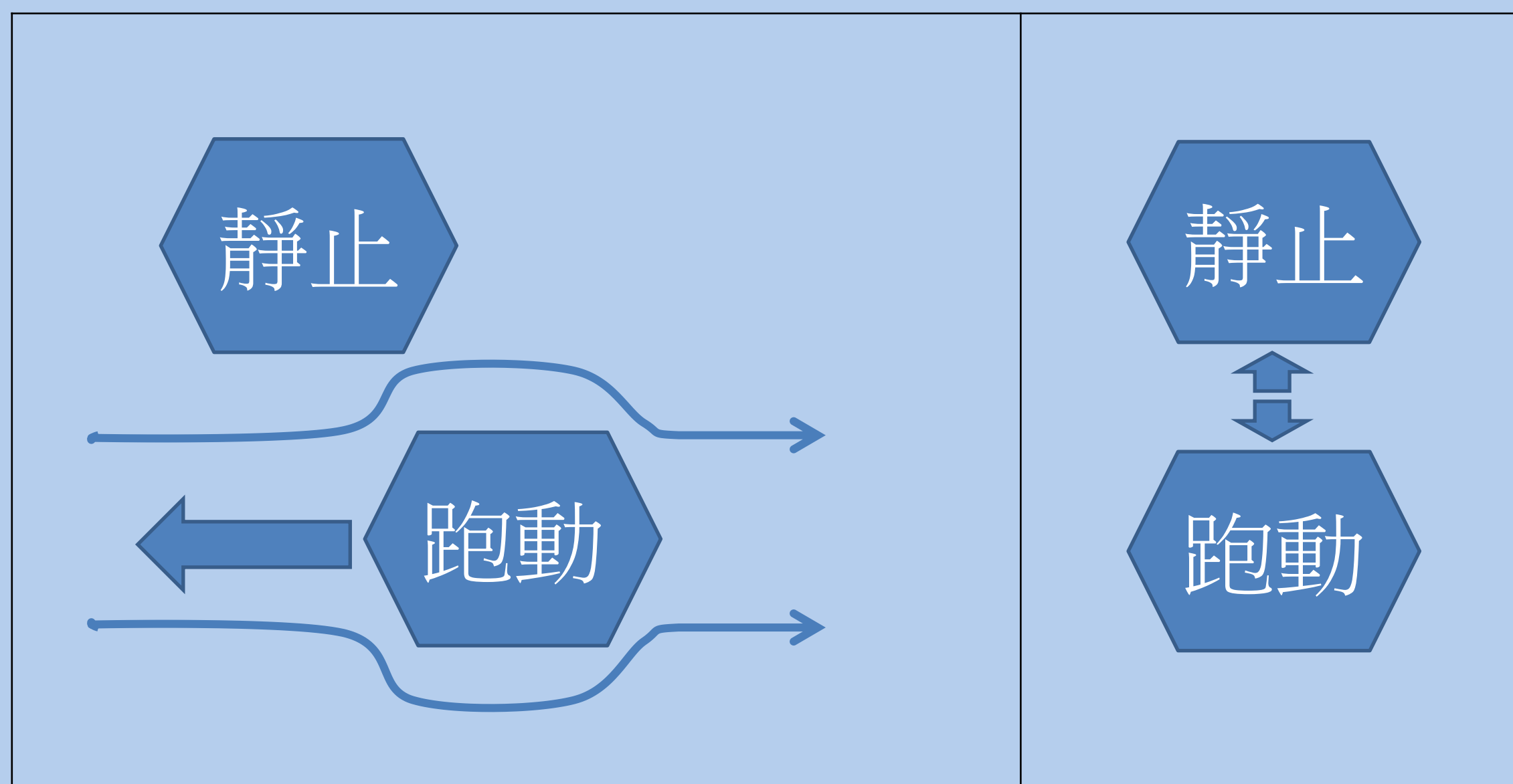
###### 1. 白努力定律解釋



中間的空間變小，流速變快，壓力變小，而外面氣流流速慢，於是壓力較大。以白努力定律解釋，兩車往內晃動。

(與實驗結果**不符**)

###### 2. 康達效應解釋

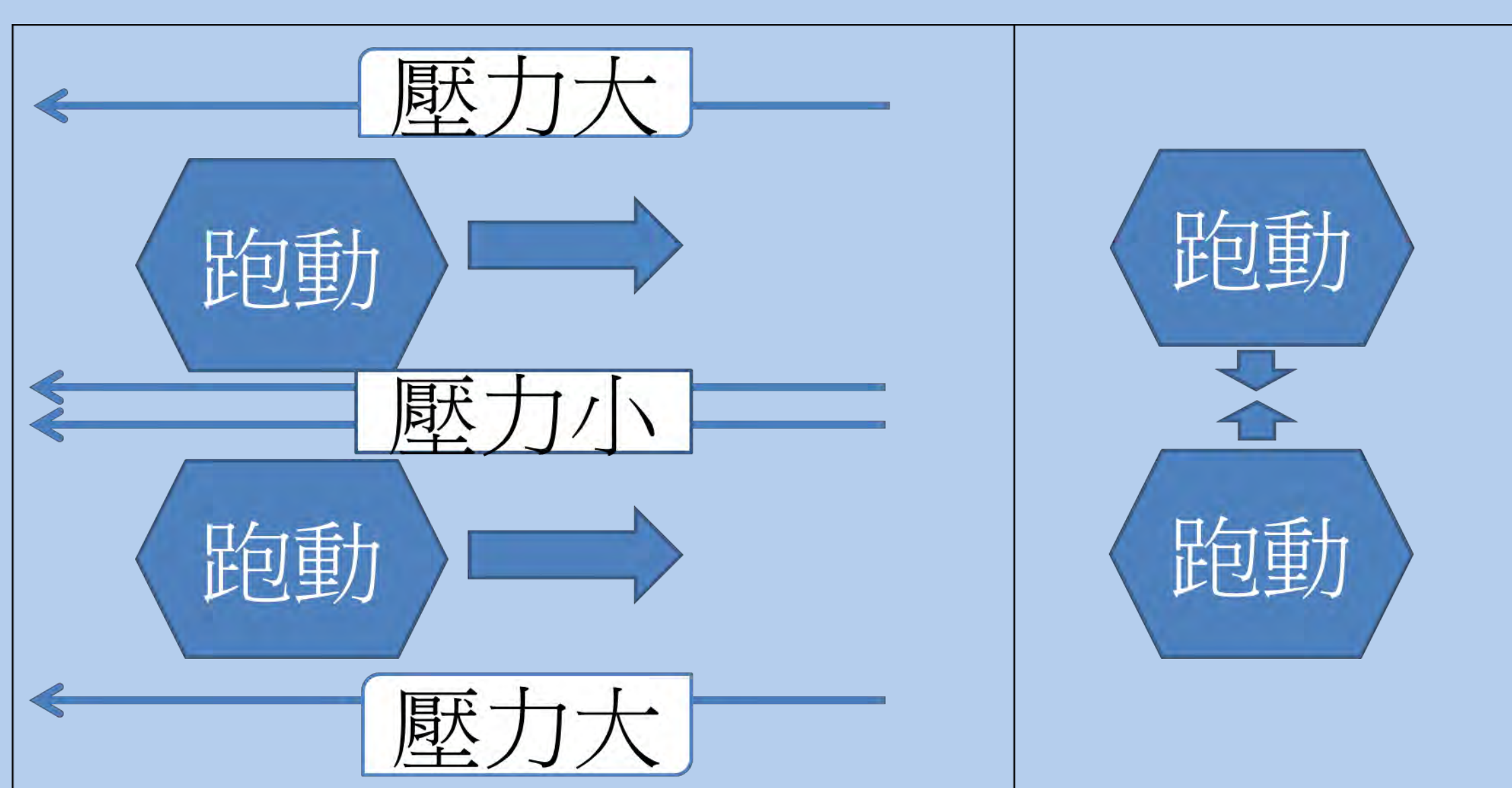


跑動的車子和靜止的車子交會時，跑動車子帶來的氣流，碰撞到靜止車。造成反作用力，兩車會往外晃動。

(與實驗結果**相符**)

##### (二) 同向前進

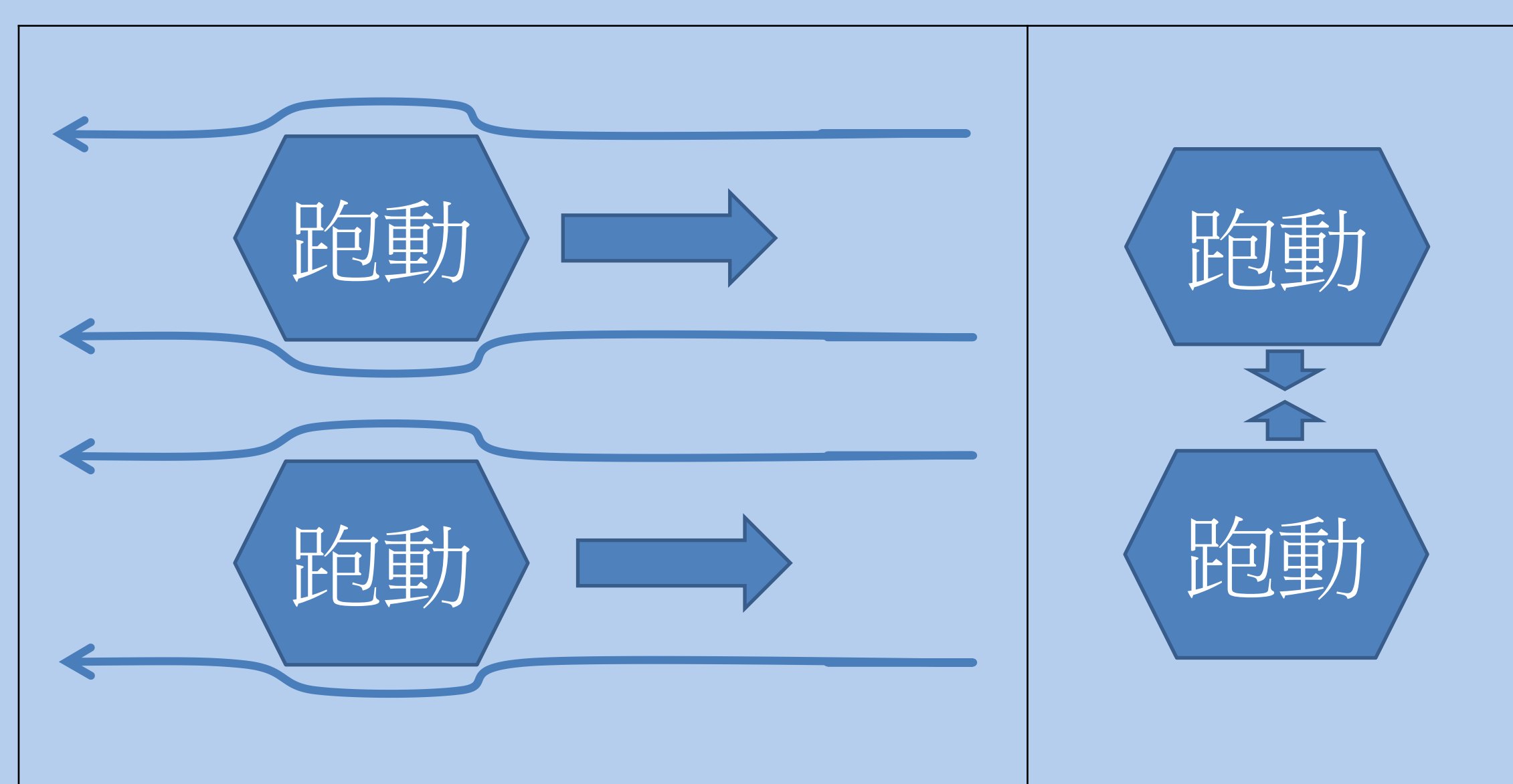
###### 1. 白努力定律解釋



中間的空間變小，氣流的流速變快，壓力變小，而外面的壓力較大。以白努力定律解釋，兩車會往內晃動。

(與實驗結果**相符**)

###### 2. 康達效應解釋

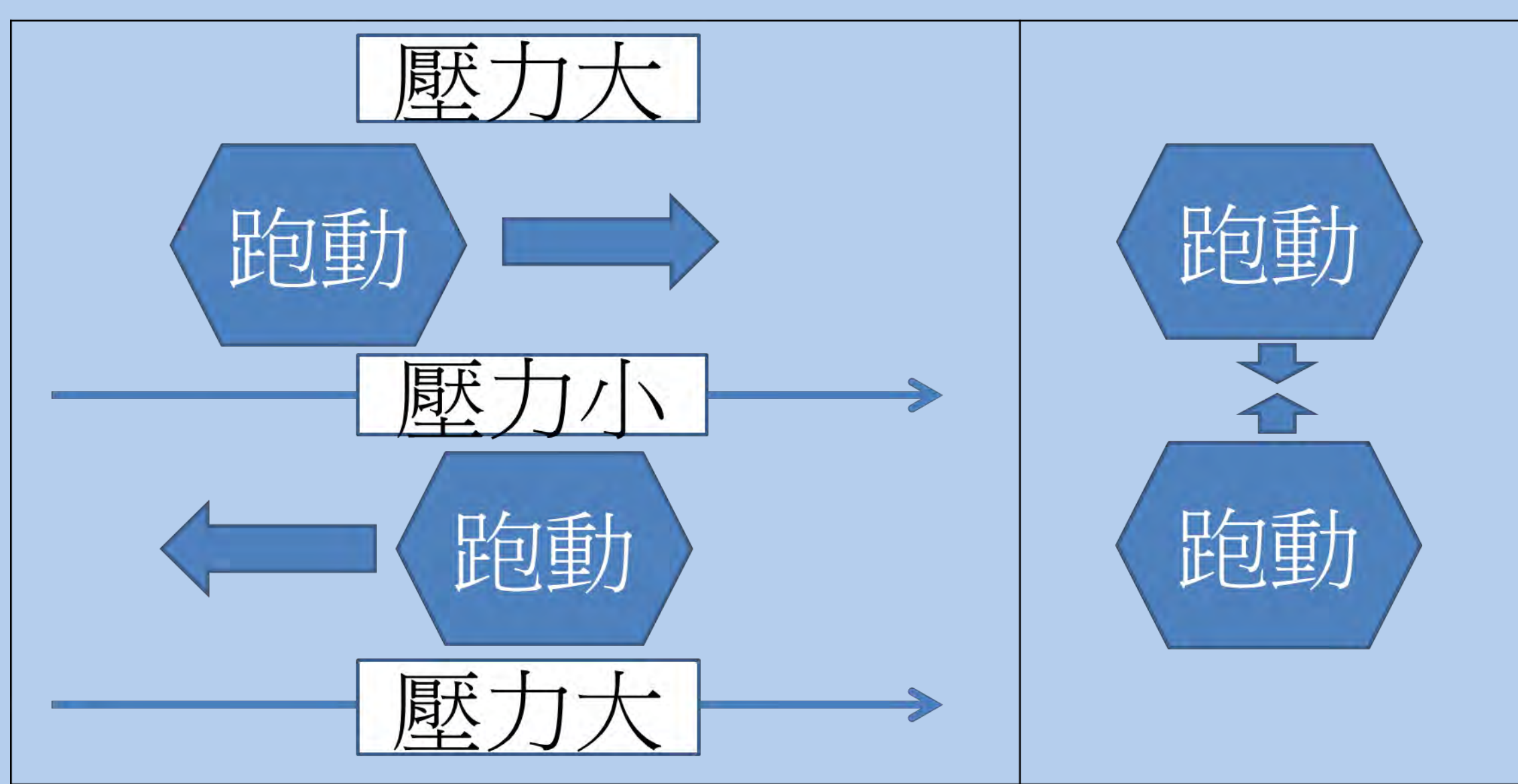


中間氣流彎曲弧度較外側大，中間氣流轉彎所需的向心力也較外側大。所以兩車所受向內的力大於向外的力，會往內晃動。

(與實驗結果**相符**)

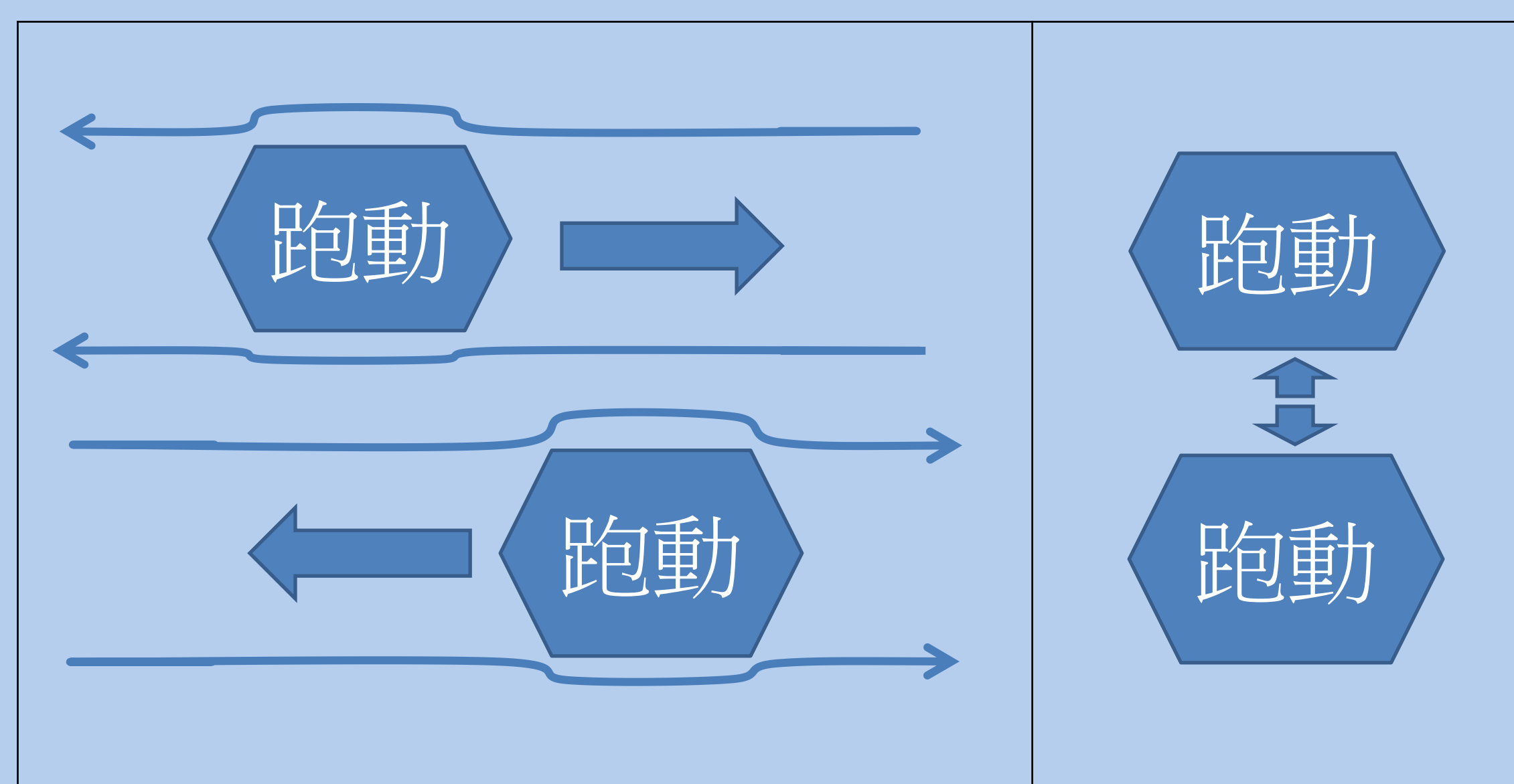
##### (三) 反向交會

###### 1. 白努力定律解釋



兩車在交會時，中間空間變小，流速變大，壓力變小，而外側壓力較大。白努力定律解釋，兩車往內晃動。(與實驗結果**不符**)

###### 2. 康達效應解釋



中間氣流沿車身運動的速度小，向心力也較外側小。所以兩台車子受向內的力小於向外的力，往外晃動。(與實驗結果**相符**)

#### 陸、結論

##### 一、利用便利條、手機測試錯車晃動現象

晃動情形	一靜一動	同向前進	反向交會
流線型	往外晃動	往內晃動	往外晃動
長方形	往外晃動	往內晃動	往外晃動
六邊形	往外晃動	往內晃動	往外晃動

二、 1. 改變速度 (以不同重量砝碼帶動) 速度越快則晃動現象越明顯。

2. 改變車距，車距越近，晃動現象越明顯。

##### 三、白努力與康達的總結

錯車瞬間壓力變化	白努力定律	康達效應
兩車一靜一動	無法解釋	可解釋
兩車同向前進	可解釋	可解釋
兩車反向交會	無法解釋	可解釋

#### 柒、參考資料

1. 陳義翔、卓彥廷、吳智暉 (2011)。趣味證明伯努力現象。中學生網站小論文專區。 取自 <http://www.shs.edu.tw/works/essay/2011/03/2011033016254297.pdf>
2. 張慧貞 (2015)。教科書對於演示實例之理解與誤解。物理雙月刊, 37(3), 5-19。取自 [https://drive.google.com/open?id=0B-pVmhF\\_2ma4aC1NaTdIUy3N28](https://drive.google.com/open?id=0B-pVmhF_2ma4aC1NaTdIUy3N28)
3. 陳昭熙、洪稚森、孫琮原、蘇柏愷、謝徐家 (2017)。凌空飛翔的紙蟬。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書。取自 <https://www.ntsec.edu.tw/FileAtt.ashx?id=11520>
4. 南一教科書團隊編著 (2017)。國中自然與生活科技第五冊。南一出版社。
5. 李芷欣、林姿均、林瑋廷 (2017)。氣體的流動—白努力定律。中學生網站小論文專區。取自 <http://www.shs.edu.tw/works/essay/2017/11/2017111504444897.pdf11>