

後記

## 1+1>2 跨科作品「昆蟲複眼定位器」創意滿分

麗山高中殷瑤萱、胡萱庭，一個喜歡研究昆蟲視覺，另一個則對液晶顯示器有興趣，沒想到兩人湊在一起，一加一大於二，變出一個不受天氣和所在地影響的「昆蟲複眼定位器」。

多位老師共同指導 「超效率」 測數據

二人一開始做研究，是憑著大概的方向，沒有先寫計畫書就開始，試驗很久試不出結果，後來是被物理老師金佳龍老師丟過來的文獻「打醒」，「我們那時才知道做研究一開始要先看文獻，先知道一些理論之後，再去推導。」殷瑤萱說。除了金老師以外，協助她們做研究的人，還有物理老師馮愛蓮老師，常在理論方面指導她們，生物老師張素卿老師，也是她們常常提問的對象，還介紹了台大昆蟲系的教授給她們，希望能提供她們一些幫助。

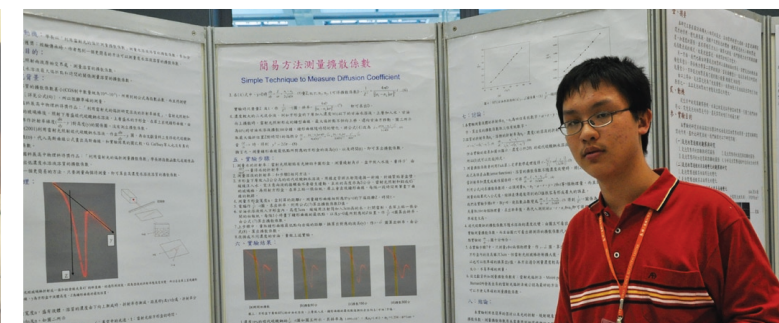
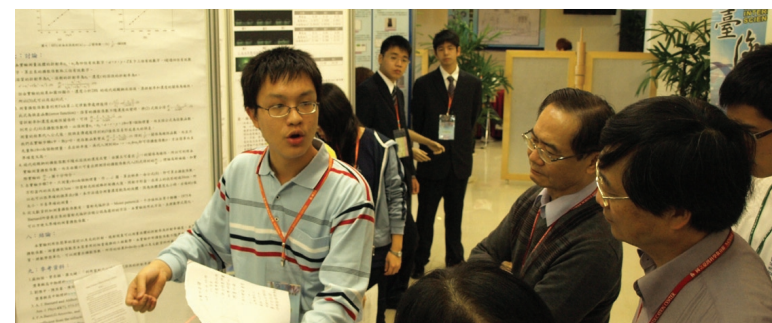
這是一個長達13個月的專題研究，做好昆蟲複眼模型之後，就開始大量的數據收集。「我要求她們每天都要有好幾個數據，儀器架在五樓天台上，所以每到下課時間她們就衝！」金老師笑著說。一開始因為步驟不夠熟，測量一次要一個小時，加以改良之後，可以在下課十分鐘內完成。「二個人一起測比較快，」胡萱庭說，「但平常我們要跑班，所以還要互相比對課表，就怕趕不上下一堂課！」在學校她們超認真測數據，回家之後也沒閒著，兩人不時還會上線討論，或是查文獻，可說是把時間完全投入在這份專題之中。

專題研究做出興趣 二人收穫滿滿

在專題研究當中，為了測數據，她們特別學了很多相關電腦軟體，有的甚至是原本完全不會的。此外，研究的過程也讓他們得到不少，「我們更懂得怎麼做研究了，」殷瑤萱說，「現在即使給我們一個新的題目，我們也大概知道要從哪下手，不會毫無方向！」另外，英文能力也意外地進步了，除了偶而需要用英文撰寫論文或做口頭報告之外，最大的進步原因應該是閱讀文獻。「現在知道很多專有名詞英文要怎麼說了，」胡萱庭笑道，「不過看太多文獻的壞處是，看了就會想再加做更多的實驗，結果工作量一直增加！」

一個專題做了這麼久，會不會覺得厭煩呢？「完全不會！還是很感興趣！」她們不假思索地回答。不只是如此，她們其實覺得這專題做得還不夠久，有很多可以發揮下去的空間，「如果再研究下去，希望可以做出測量空氣汙染的東西，」殷瑤萱表示。此外，在今年年初，她們在德國某大學的網站，發現他們正在做和她們相似度七八成的實驗，而且兩邊進行的時間差不多；雖然由於大學設備佳，能做的比她們精緻，但要追求的東西是相同的，二人為此非常雀躍，覺得世界上也有其他的人跟她們想到一樣的東西，是令人興奮的事情。

現在二人都已選好了未來的科系，殷瑤萱要往地質科學深造，胡萱庭則對牙醫情有獨鍾，選了口腔衛生。回想起這專題，她們說「很愛這個題目！很有成就感！」相信對一路帶著她們的老師們來說，沒有比聽到這句話更令欣慰的了。



1-2

物理

科學小論文

## 利用光線穿透法研究非線性擴散

國立嘉義高級中學  
黃宇晟

## 利用光線穿透法研究非線性擴散

### A 研究動機

作者自行研讀大學普物，發現其中並未提及擴散的相關的資訊，經請教師長之後，參閱相關物理期刊以及資料，驚訝的發現幾乎所有的擴散係數測量法都使用化學方法。藉此，作者想發展其中一些使用物理方法測量擴散係數的方法，簡化計算並賦予其對研究擴散的實用性。

### B 研究目的

1. 利用雷射光穿過透明溶液的投影圖形，測量溶質的擴散係數。
2. 由擴散係數隨著溫度、時間和濃度的變化，探討非線性擴散的動力學因素。

### C 器材

1. 方形盒，壓克力製（10cm x 10cm x 1cm）。
2. 玻璃棒（長30cm，半徑0.4cm）。
3. He-Ne雷射（2mW）。
4. 水浴恆溫槽。
5. 紙屏、筆、硫代硫酸鈉、氯化銨、甘油等。

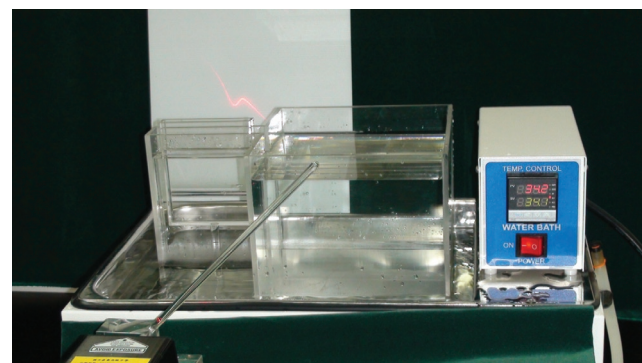


圖1 實驗器材的照片

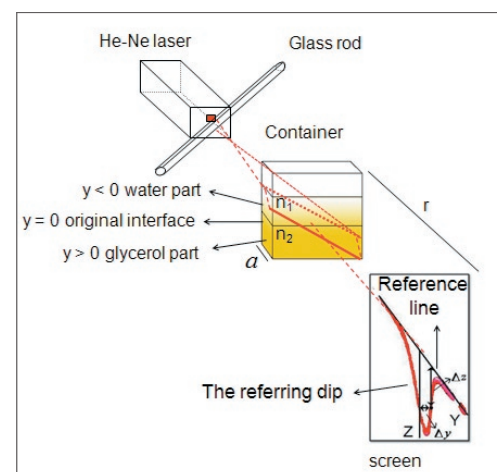


圖2 實驗器材的模擬圖示

### D 原理與公式

$$1. \text{Fick's first law: } J = -D \frac{\partial C}{\partial y} \dots (1),$$

$$\text{Fick's second law: } \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \dots (2),$$

2. 一個擴散中的液體，裝在一個寬a的方形容器中（如圖3所示）

折射率梯度由下而上遞減，我們可以得到：

$$\alpha_1 = \frac{ct/n + dn}{y} = \frac{ct/n}{y + dy} \dots (3) \Rightarrow \frac{dn}{dy} = \frac{n}{y} = \frac{Z}{ar} \dots (4)$$

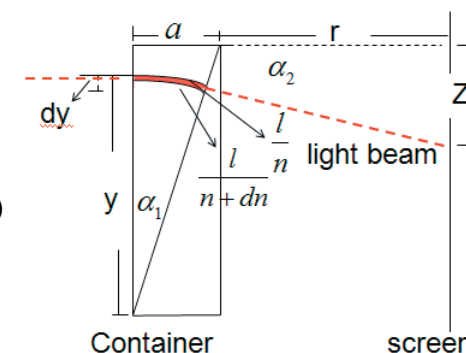


圖3 由於折射率梯度而偏折的雷射光線示意圖

3. 在擴散開始時(t = 0)，另兩液體交接處為 y = 0；而 y > 0 為待測液部份；y < 0 為水的部分。

$$4. \text{當 } t \gg 0, \text{ 由Fick's law 得到 } C = \frac{C_0}{2} \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{y}{2\sqrt{Dt}} \right) \right] \Rightarrow \frac{dn}{dy} = \frac{dn}{dC} \cdot \frac{dC}{dy}.$$

$$5. \text{由 } \frac{dn}{dy} = \frac{dn}{dC} \cdot \frac{dC}{dy} \text{ 結合等式(4), (5),}$$

$$\text{得到 } \frac{Z}{ar} = \frac{n_1 - n_2}{2\sqrt{\pi Dt}} e^{-\frac{y^2}{4Dt}} \dots (6). \text{ 當 } y = 0 \text{ (起始交界面), } \frac{Z}{ar} = \frac{n_1 - n_2}{2\sqrt{\pi Dt}} \dots (7)$$

$$6. \text{等式(6)可寫 } Z = \frac{ar(n_1 - n_2)}{2\sqrt{\pi Dt}} e^{-\frac{y^2}{4Dt}}, \text{ 即}$$

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = -\frac{(n_1 - n_2)ar\pi D}{4(\pi Dt)^{3/2}} e^{-\frac{y^2}{4Dt}} + \frac{(n_1 - n_2)ar}{2(\pi Dt)^{1/2}} \times \frac{y^2}{4Dt^2} e^{-\frac{y^2}{4Dt}}$$

$$\text{當 } \frac{\partial Z}{\partial t} = 0, \quad y_{\max}^2 = 2Dt \dots (8)$$

$$7. \text{Stokes-Einstein equation: } D = \frac{k_B T}{6\pi R \eta}$$

#### 所使用所有物理量意義

J: 擴散通量	C: 重量百分濃度
n: 液體的折射率	D: 擴散係數
t: 擴散所經歷時間	T: 擴散時的溫度
a: 容器寬	r: 成像屏幕和容器間距離
$\eta$ : 黏滯係數	R: 擴散分子大小
$k_B$ : 波茲曼常數	z: 投影圖形的垂直位置
$y_{\max}$ : 有最大z值所對應的y位置	
y: 擴散在垂直方的位置，即投影圖形的水平位置	



## E 步驟與方法

- 藉由雷射光通過擴散中液體的投影圖形，測量擴散係數。
  - 將待測液加入方型盒中加至3公分高，並加水至6公分處。
  - 以雷射光通過呈45度的玻棒，形成一帶狀雷射通過擴散中的方形盒，並將雷射投影至距離r公分遠的屏幕上，屏幕上會出現圖一所示的曲線。
  - 藉由測量曲線上各點的x、y座標的時變率，計算其擴散係數。
  - 以下列兩種不同的方式測量擴散係數：套用等式(7)或等式(8)。
- 圖4所示，硫代硫酸鈉水溶液擴散時，鐘型曲線的最低位置Z隨著時間漸漸上升，記錄Z隨時間t的變化，代入等式(7)，即可求出硫代硫酸鈉的擴散係數。
- 圖5所示，濃度較大的二元混合液，例如方形盒的下層加入濃度70%以下的甘油水溶液，上層加入水，甘油向上擴散時，雷射光照射形成的鐘型曲線，最大偏折點不但向上移，還向甘油方移動。圖4所示為60%的甘油水溶液擴散300分鐘，鐘形曲線隨時間的變化。記錄ymax隨時間t的變化，代入等式(8)，即可求出甘油的擴散係數。

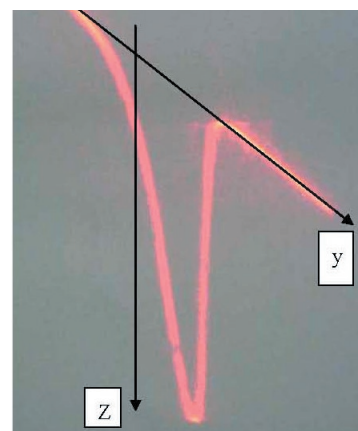


圖4 雷射光經玻璃棒折射成一條和鉛垂線夾角45°的斜直線，經過待測液後，因為溶液的折射率隨高度改變，所以在屏上呈現鐘形曲線，y為方形盒中液體高度，Z為鐘形曲線的最低位置。



(a) 剛開始擴散



(b) 擴散60分鐘後



(c) 擴散150分鐘後



(d) 擴散300分鐘後

圖5 方形盒下層放60%的甘油水溶液，上層放入水，鐘形曲線的最低點逐漸向右上（甘油）方偏。

## 4. 探討擴散動力學

- 將各種不同的硫代硫酸鈉水溶液，於不同的溫度下測量其由雷射投影的圖形，並計算出其擴散係數的隨時間的變化。
- 由此變化作數據分析，找出其所代表物理意義。
- 重複以上實驗並以甘油作為待測液。

## F 實驗結果與討論

- 在20°C下，以濃度21%的硫代硫酸鈉水溶液作為待測液，由其投影圖形作 $1/Z^2 - t$ 圖形（如圖6所示）， $1/Z^2$ 和t呈線性關係，套用公式(7)計算後得其

$$D = 7.5 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{s}$$

，由於曲線在z軸上沒有明顯偏移，不使用公式(8)測量擴散係數。

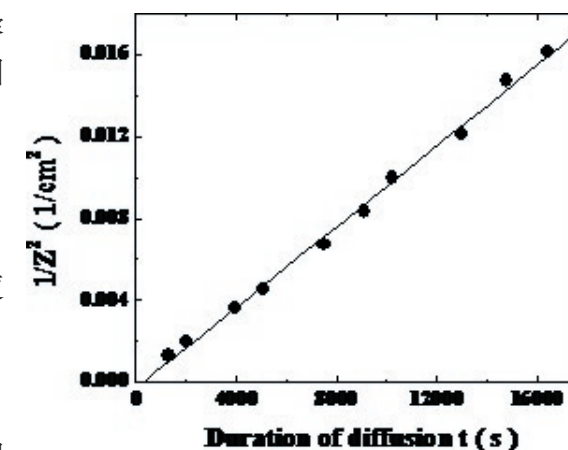


圖6 硫代硫酸鈉1/Z<sup>2</sup>對時間關係圖

- 以濃度60%的甘油水溶液作為待測液，其由其投影圖形作 $1/Z^2 - t$ 圖形（如圖7a），可發現其呈明顯線性關係，套用公式(7)計算後得其 $D = 1.46 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 / \text{s}$ ；圖7b中 $y_{\text{max}}$ 和 $t^{1/2}$ 亦成線性關係，套用公式(8)計算後得其 $D = 1.46 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 / \text{s}$ 。

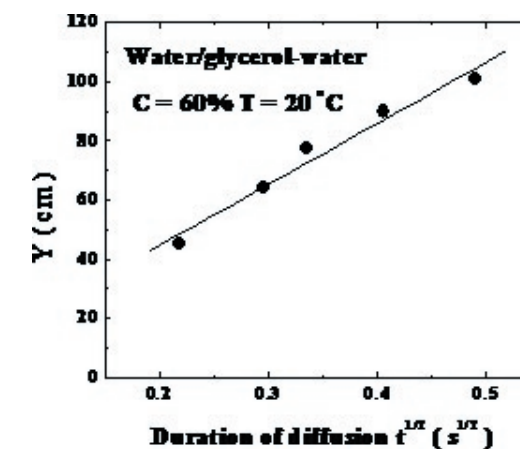
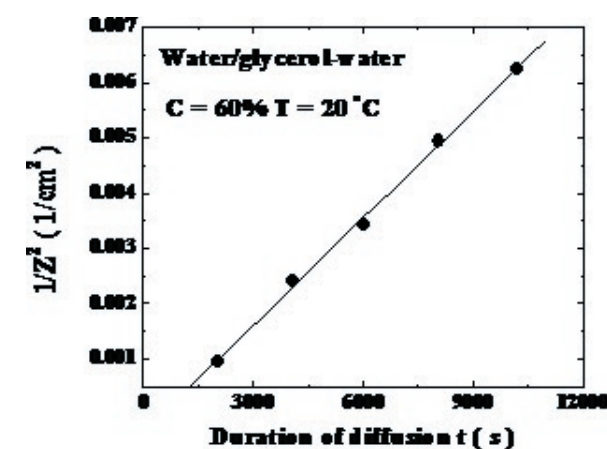


圖7 甘油水溶液的(a) 1/Z<sup>2</sup>對時間關係圖，(b) Y<sub>max</sub>對時間的二分之一方關係圖

3. 由以上兩項的數據，可以看出兩種不同的計算擴散係數的方法的優劣。使用公式(7)須計算使用到 $e$ 的次方，若有實驗誤差，將導致誤差較大，適用於擴散中點位移不大者（即 $z$ 較小者）。由此方式算出的實驗誤差  $\Delta D = -\frac{2[ar(n_1 - n_2)]^2 \Delta Z}{4\pi Z^3 t} = -\frac{2\Delta Z}{Z} D$ ，大約為

0.4~0.07D。

4. 使用公式(8)計算方法較簡單，若有誤差也較小，但需要有較大的 $z$ 值才適用。由此方式算出的實驗數據誤差  $\Delta D = \frac{y\Delta y}{t} = \frac{2\Delta y}{y} D$ ，大約為0.4~0.1D。

5. 圖8中的紅色圓點顯示硫代硫酸鈉待測液中各點的濃度梯度( $dn/dy$ )為一對稱曲線，且由圖形顯示擴散現象大多發生於水和溶液交界面。

6. 甘油待測液各點所得的濃度梯度為非對稱圖形，而最高峰偏向甘油部份（如圖8中的黑方塊），這顯示水在甘油中有較大親和力，擴散亦發生於甘油部分。

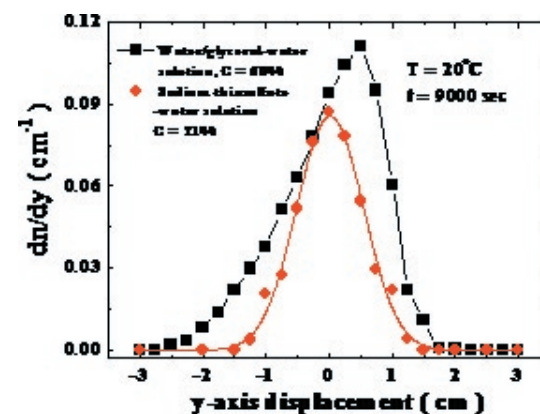


圖8 待測液中濃度梯度( $dn/dy$ )的比較圖

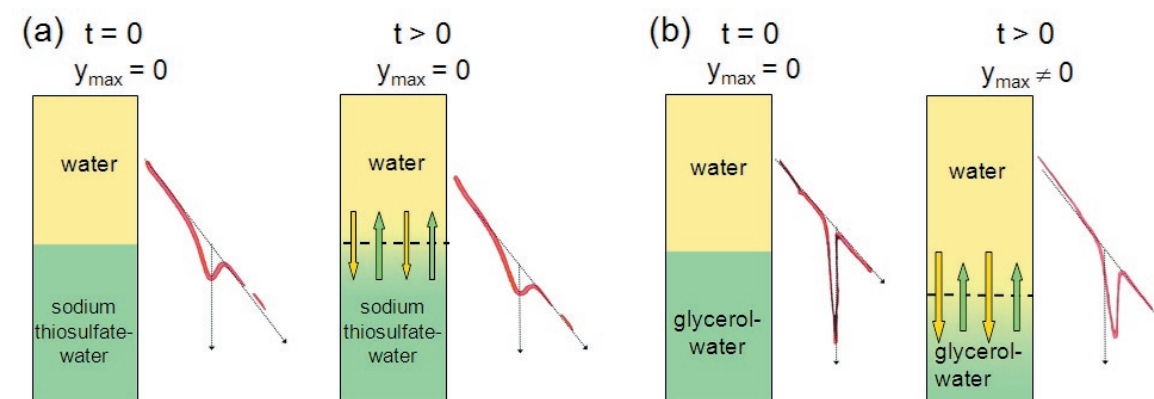


圖9 不同溶液的擴散假想圖(a)硫代硫酸鈉溶液(b)甘油水溶液

7. 定義 $dD/dT$ （單位溫度變化下的擴散係數梯度）為熱動力因素對擴散係數的影響。甘油水溶液中，熱動力因素對擴散係數的影響如圖8所示呈現 $e$ 的指數函數。而且在溫度為303K時呈現一個突然的上升。

8. 硫代硫酸鈉的熱動力因素對擴散係數的影響呈現直線上升，並沒有如甘油一般的急遽上升（如圖10所示）。因此推測此急遽上升與水和甘油的親和力有關：在303K之前，熱動力對擴散係數的影響幾乎沒有增加，但超過了此溫度則急劇增加，推測此溫度為擴散的能量障礙（即為稍後會說明，水能打破甘油彼此的氫鍵而形成穩定複合體的溫度）（如圖11所示）；而硫代硫酸鈉則沒有此現象，因為其擴散大多發生在交界面，不需要打破任何擴散的能量障礙。

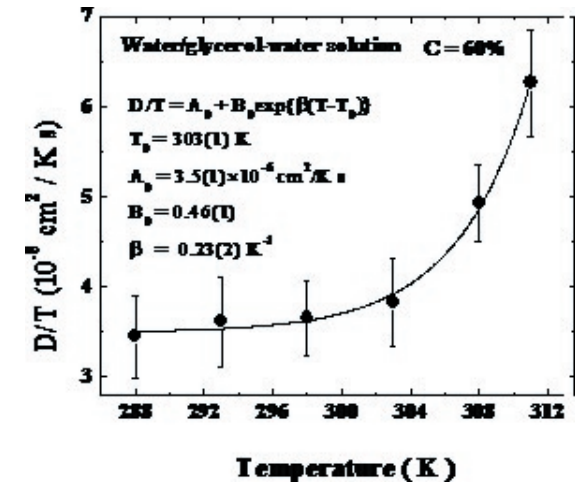


圖10 甘油水溶液中熱動力影響的擴散係數對溫度的影響

9. 濃度越高的甘油溶液，擴散係數不一定為一定值，如圖13所示。當濃度小於60%時，擴散係數為一定值，但若大於70%其值則有明顯的增加。推測這是由於水對甘油的吸引力遠大於甘油彼此間的引力。

10. 由甘油的擴散係數隨時間的變化的圖形（如圖14），可以發現不論濃度為何，可以將其分為兩階段。前半段擴散可以為一指數遞減函數，而後半段則約為一直線函數。根據此圖形和上一結論推測甘油的擴散應可分為兩階段。此外，這種現象是硫代硫酸鈉水溶液中所未見的。

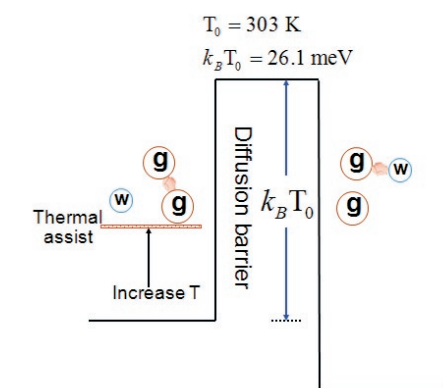


圖11 甘油擴散現象模擬的假想圖

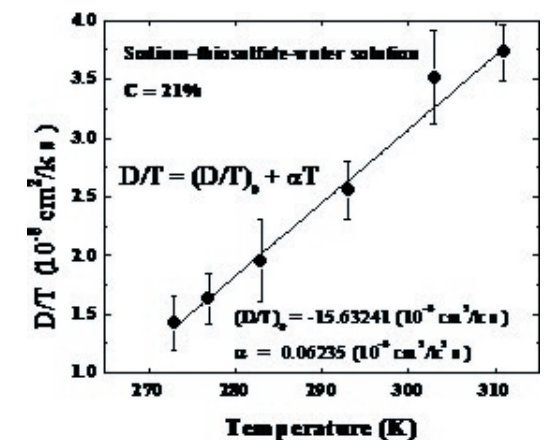


圖12 硫代硫酸鈉溶液中熱力影響的擴散係數對溫度的影響與回歸曲線



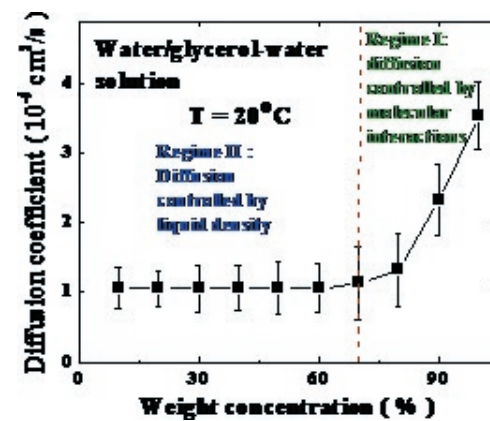


圖13 甘油的擴散系數對濃度變化圖。

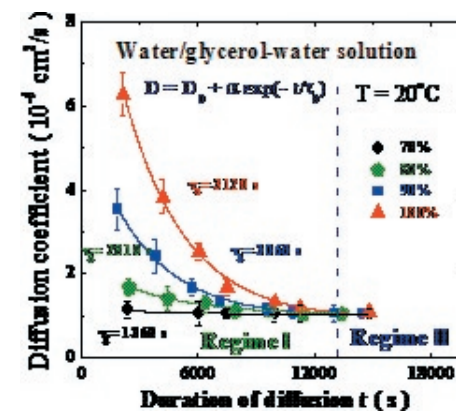


圖14 甘油的擴散系數對時間變化圖

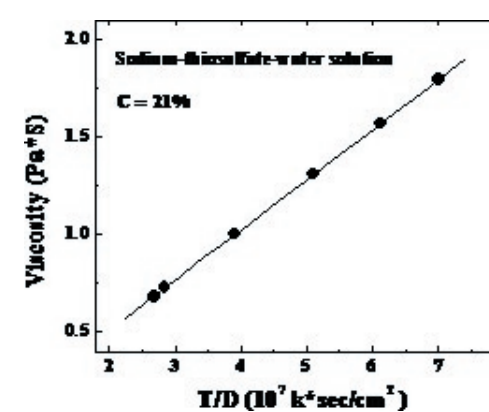
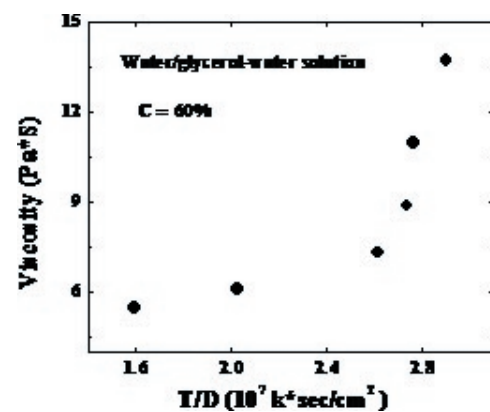


圖15 (a)硫代硫酸鈉 和 (b)甘油的T/D對η的相關圖

11. 由以上結論，推論甘油有下面兩種擴散機制：（如圖16）

- 在甘油和水分子的比低於1：3時（重量濃度大於66%），每個甘油分子的三個OH端都可以和一個H<sub>2</sub>O形成氫鍵，因此增加甘油濃度不影響擴散係數。
- 在甘油和水分子的比低於1：3時（重量濃度小於66%），每個甘油分子的三個OH端都可以和一個H<sub>2</sub>O形成氫鍵，因此增加甘油濃度不影響擴散係數。

12. 將先前提過熱動力因素影響的擴散系數和Stoke-Einstein Equation比較，發現硫代硫酸鈉的T/D和 $\eta$ 成正比（即符合Stoke-Einstein Equation），而甘油則無明顯關係（如圖15）。這推測是因為以氫鍵影響的擴散並不符合的Stoke-Einstein Equation基本條件，這也間接證明了甘油的擴散和硫代硫酸鈉有顯著的差異。

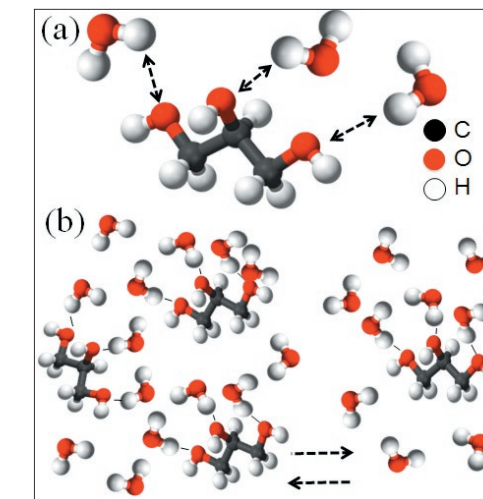


圖16 甘油分子在不同濃度下的擴散機制假想圖

## G 結論

- 本實驗成功設計出一套簡易、創新和準確測量擴散係數的儀器，並能使其用於了解分子擴散的動力學。
- 甘油的擴散由於和氫鍵有關係，顯現出明顯不同於硫代硫酸鈉的擴散物理性質，由此套儀器和數據分析，成功找出其中的擴散障礙，以及甘油擴散的兩個不同的機制。



## 後記

### 就愛基礎學科 全才學生踏向物理研究之路

「我想當科學家！」語出驚人的黃宇晟，在自修大學普物時靈光一現，自己研發了一套物理測量液體擴散系數的方法，不只創新，同時又具備簡單、準確的特性，有成為高中物理教具的潛力。



#### 重視多方能力培養 未來道路自己選擇

即將出國進修物理的黃宇晟，談話落落大方，一點也沒有高中生常見的害羞靦腆；當解說自己投高瞻計畫的小論文內容時，他只用短短三言兩語，竟然能清楚明瞭。「可能因為我有參加過演講比賽吧！」他笑著說。的確，黃宇晟的生活充滿了各種領域的探索和學習，也得到家人的支持，從小便是科展常客，物理化學地科組都參加過，高二到清華大學修習普物課，到嘉義大學旁聽數學課，還要準備出國念書的英文等等，過著十分忙碌又用功的高中生活。

黃宇晟不只對理科領域充滿興趣，人文領域的東西也一樣愛，藝術、音樂、英文小說和科幻電影，是他平常的生活消遣，興趣十分廣泛。不過他也有不擅長的科目，例如生物，「所以我沒有要當醫生，」黃宇晟說，「家人也這麼覺得，認為我適合待在研究室。」

對科學研究有驚人熱情的黃宇晟，不意外地選擇了出國念物理。為何他並不像其他成績優異的高中生那樣，選擇醫學系或電機系呢？對此，黃宇晟的方向很明確，「我喜歡基礎科學，未來想當科學家！我會去思考，這些研究有什麼發展性，對人類有什麼貢獻等問題。」不過這個選擇，也有其踏實的理由，「假設我後悔了，也可以跳工科，有物理學科的基礎，發展性還是很大。」

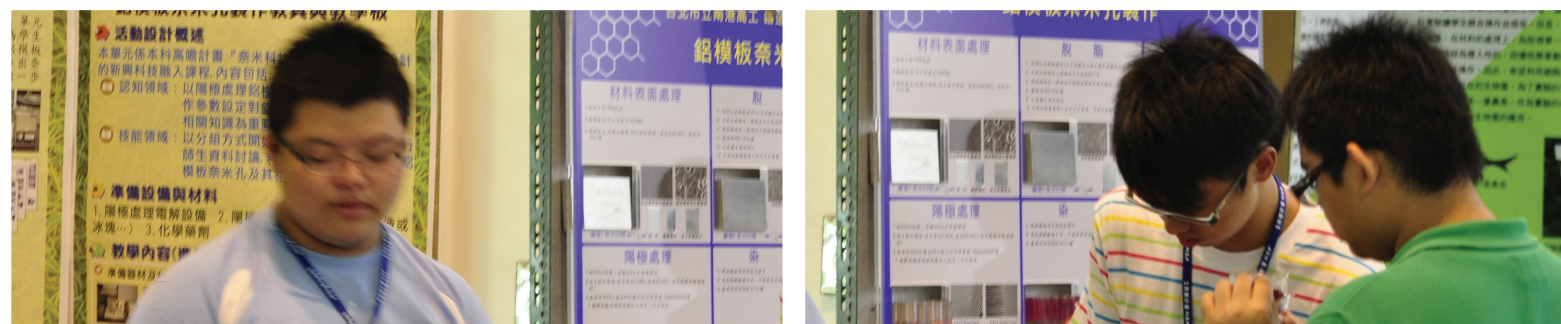
#### 老師、學長經驗傳承 嘉中實驗傳統超紮實

在嘉義高中就讀資優班，受到李文堂老師教導的黃宇晟，也和老師一樣，致力於研發一套簡單又準確的儀器來檢測物理現象。這在嘉義高中似乎是個大型主題，黃宇晟接下了學長已有的成果，繼續往前做；但黃宇晟並不是全盤照抄，「不是只照著原先設定來做，而是修改了一些解析的方法，也重做了一些數據。」在李老師的帶領下，學生們在同一個主題上持續努力，除了實驗步驟紮實之外，也保持開放心態，查詢最新期刊，跟上世界的腳步。

對於高瞻計畫，黃宇晟認為它和科展有很大的不同，「高瞻計畫領域十分廣泛，有時甚至包含社會科學的內容，和科展重視研究的發展性相比，高瞻計畫更重視應用性，和生活有密切的關係。」而他參與高瞻計畫最印象深刻的事，則是可以看見他人有創意的作品，「即使是一個新的測量方法，可以用來測量系數或溶液性質，都很有意思。」看來互相交流、研究，的確是許多參加者在高瞻計畫得到最寶貴的經驗。

## 2-1 化學

科學小論文



### 3C產品鋁合金奈米染色技術之 研究與觀察

國立南港高級工業職業學校

陳勁昕、蔡秉辰、李建翔、龔建霖、翁慶明、游承濤、吳柏均