



(本文作者指導學生實作)

# 指導中學生參與國際青年 物理辯論競賽之經驗 ——談實作指導過程

文／何世明

本文著眼於教師在物理辯論賽實作指導的過程中，所面臨的各種狀況及其克服的方法。以自身豐富的指導經驗，提出了唯有結合學校的資源，加上教師的耐心與專業和選手不懈的努力，方能展現出最佳的成果。並運用實際的例子說明，實驗所需要器材與各種難題時應有的態度。

## 豐富成果的條件與基礎

國際青年學生物理辯論競賽 (TYPT)，從 2009 年開始到今 (2017) 年已經連續舉辦八屆了。協同中學在我跟蕭嘉偉老師的帶領與歷屆同學的努力投入下，很幸運地，從第一



屆到第八屆在國內賽中都有不錯的成績（包括：金牌 3 面、銀牌 5 面、銅牌 9 面以及個人傑出獎 24 個）。且每年都有學生入選國際青年學生物理辯論競賽（IYPT）培訓選手，進而代表臺灣參加國際賽，均獲得優異的成績（4 面銀牌、2 面銅牌以及 2016 榮獲首面金牌，第八屆學生的合照如圖 1 所示）！協同中學將廢棄教室整理成 TYPT 物理實驗室（學生戲稱為廢墟），八年來已訓練出 12 名臺灣代表選手（最近一年更占了臺灣隊五名選手中的三名）。由這個實驗室培訓出來的學生，已超過一百多名！其中約有 30% 後來是醫學系學生，其他大部分幾乎都是「怪獸級」的科學人才，除了優異的科學表現外，甚至有就讀法律系的學生！這些學生在升學後的表現也都一路長紅，逐步邁向傑出！如第一、二屆參賽並代表臺灣參加國際賽榮獲銀牌獎的劉富蘭克林同學（當時該生負責將近一半的

問題），五年前由協同畢業後，獲得四年全額獎學金到史丹佛大學就讀，之後在柏克萊大學就讀物理研究所，現已是博士候選人，學業成就相當亮眼！

也因為協同中學在 TYPT 的表現非常亮眼，筆者這七、八年來在臺灣師大物理系的邀請下，也一直擔任國際賽的培訓指導委員至今。協同中學以及我個人能有這些成果，其實是有條件與基礎的，略述如下。

就我個人而言，在 18 年高中教師生涯裡，除正常課務、班務與校務外，一直都在培訓學生參與科學實作或專題研究方面的競賽，包括：

- (1) 連續 12 年指導學生參加遠哲科學趣味競賽（第 5～16 屆），獲獎：分區賽 1～3 名共約 50 項次、全國賽 1～5 名共約 10 項次。
- (2) 每年均指導科學展覽，多年來約有 30 幾件中小學科展分區與全國作品，獲得第一名～佳作獎項。



圖 1. 2016 第八屆 TYPT 榮獲金（總冠軍）、銀、銅牌獎之協同中學團隊大合照



由 2009 年開始，筆者逐漸將培訓學生參加各項科學競賽的重心，擺在物理辯論及科展上。因有指導遠哲科學趣味競賽與科展多年的經驗，對於實驗設計、材料找尋、論文搜尋、找出問題變因、運用簡單儀器精準測量……等所需的科學研究相關能力，均有很大的進步。這也是我一開始指導學生參加物理辯論就能抓到訣竅，第一年就有很好的成果的原因。

畢竟英文物理辯論競賽與科展不同，學生必須對所有主題（從觀察型實驗到研究型實驗）的理論建立與推導，都要親自參與並充分瞭解，才能在競賽時與對手深入討論，為問題找到最佳解答。因此，指導老師往往是扮演實驗或理論上引導與協助的角色而已。所以，當然要有程度優良、態度好的學生，才能指導訓練出優秀的成果。而協同中學是一所完全中學，高中部的規模並不大（一個年級 6 個班，僅 4～5 個班是自然組班級），為何每年都可以派出三隊，共 15 學生參賽，而且都能有相當不錯的表現？這點就要由協同中學的英文與數理科教學談起。協同中學從國中部開始，紮實又多元靈活的全英文教學內容與環境是值得推崇的。上課內容生活化，除了自編教材與學生常聽空中英文或空中美語外，科學、人文與時事的討論，甚至辯論是英文課堂中的常態。因此，協同中學培育出許多具有優秀的英文聽說讀寫能力的學生（不少學生國中即通過全民英檢中級甚至高級）。另外，數理科從國中開始，除了紮實的正課與教材內實驗，常會加入一些可能的有趣實作實驗，讓學生有親身實作的機會。更特別的是，每年舉辦全校科學運動會、模擬聯合國、高中英文辯論賽……等大型活動。在國三～高一安排每週 2～3 節的多元適性選

修課（含：科學專題或科展、英文中文物辯、遠哲科趣實作、機器人課程……等，以及人文方面課程）。也因為這樣的學習環境，方能培養出許多兼具數理、英文能力與多元能力的學生，因此，讓我每年都能找到超過 15 名以上資質不錯的選手。

## 選手的遴選方式

自從第一屆參賽獲得優良的成績後，全校自然組學生很多都對參加 TYPT 興趣濃厚。所以，從第二屆開始，我們建立了公平的遴選制度，這樣的制度一直維持至今，僅微幅修改而已。每年 8～9 月先公布訊息，讓高一、二自然組學生根據自己興趣與能力，自由報名參加遴選（原則上以物理或自然科能力前 30%，且英文能力有自信者優先）。報名完成後擇期進行規則說明與抽籤。透過抽籤的方式，每人給予當年競賽題目中的 3～4 題，並給予二～三週的準備時間，自行初步研究、實驗與簡報……等。參加甄選學生就其準備資料或研究成果，選擇一題全程以英文進行報告。評審團則由報告內容與回答問題綜合表現，進行評分（每名 1～10 分），由總分高低順序，選取前 10 或 15 名學生成為正式選手，進行培訓（前一年參賽表現優秀學生得優先錄取），其餘備取學生亦歡迎加入團隊一起參與研究與實驗，屆時可選擇參與中文物辯或延伸研究成為科展等。

## 培訓方式與實作指導過程

培訓與準備時間為期約五個月，由團隊物理老師（何世明和蕭嘉偉……）擔任指導老師。指導老師扮演協助了解題目、找出變因、實驗設計架設、協調夥伴工作



分配、尋求可用資源、凝聚團隊合作及激發企圖心與實驗進度的監督等角色。並以積極陪伴、耐心協助、充分投入與犧牲奉獻的態度，投入整個準備過程當中。而學生方面除了需具備多元能力外，更重要的是積極配合，互相分工合作、不分彼此。面對瓶頸時不輕言放棄，保持努力到最後的精神與做事態度。

在時間的安排方面，我們採取每週兩天，放學後留校兩小時實驗與研究，例假日學生可自由到校進行實驗或討論，指導老師彈性到校指導與協助學生。學生利用時間上網搜尋相關論文，由資料與實驗結果與指導老師討論，以便進行修正或加強。所有問題（12題）的理論、實驗研究成果與簡報製作，於隔年2月份以前完成，指導老師對簡報內容給予修正建議。從2月份開始，在放學留校時間進行辯論練習，由指導老師與同學互相討論彼此指正。

目前培訓時間與課程規劃如前所述，主要利用課餘時間：晚上和假日進行大部分實驗與研究等培訓事宜，而近年來逐漸將科學專題與物理辯論訓練特色課程加以結合。如此，可以在專題課程時間進行討論或實驗進度報告，甚至做實驗。

目前協同中學科研班科學專題課程規劃如下：

**高一上學期：**以一個多月進行科學專題製作基本能力訓練，之後開始進入各科實作，若是參與物辯的學生，則開始從事前述課程內容。

**高一下學期：**各小組於課程時間作專題研究（上課地點為各科實驗室，科學專題實驗室或電腦教室），物辯學生則在物理專題實驗室從事前述課程內容。

科學班高二科學專題課時段與高一重疊，高二參與物辯學生則由上學期開始的

第一個月，就開始第一階段資料搜尋、理論探討及初步觀察型實驗，建立作業，待高一學生完成科學專題製作基本能力訓練後，高一、二物辯學生合作進行第一～三階段課程與作業（如圖2所示，見P.34）。除參加TYPT選手外，可以另外增加約10人左右加入團隊（對物辯興趣高但未入選TYPT選手者），選擇2～3題與TYPT選手同學一起合作，於每年5月參加臺灣高中暨大學中文物理辯論賽。

## 規劃物辯融入特色課程

未來除了原有的各項適性選修及特色課程外，將配合107課綱，規劃將中英文物辯、科展、小論文整合成物理進階選修課程（探究與實作），大致規劃如下：

- （一）除了原先物理辯論培訓課程外，進一步將其開設成物理辯論實作特色物理選修課程。有興趣選修的同學（含科實班及其他自然組同學）報名，通過甄選後均可以選修，選修的學生分成英文物理辯論選手15名（參加3月份徐有庠盃英文物理辯論（TYPT））及一般選修學生10～15名（將來可參加中文物理辯論或科展），全部學名可以一起上課，進行討論、實驗研究、辯論與互評。
- （二）選修與甄選方式，請參考選手甄選與物辯選修課程培訓模式流程說明（如圖2，頁34）。
- （三）高一上學期：共同選修時間，將科學專題製作基本能力訓練濃縮成1個月，接著開始進入物辯課程訓練，進行基本訓練、meeting、論文討論與實驗研究。期末2～3周進行辯論與互評，寒假期間作最後補強與修正後，

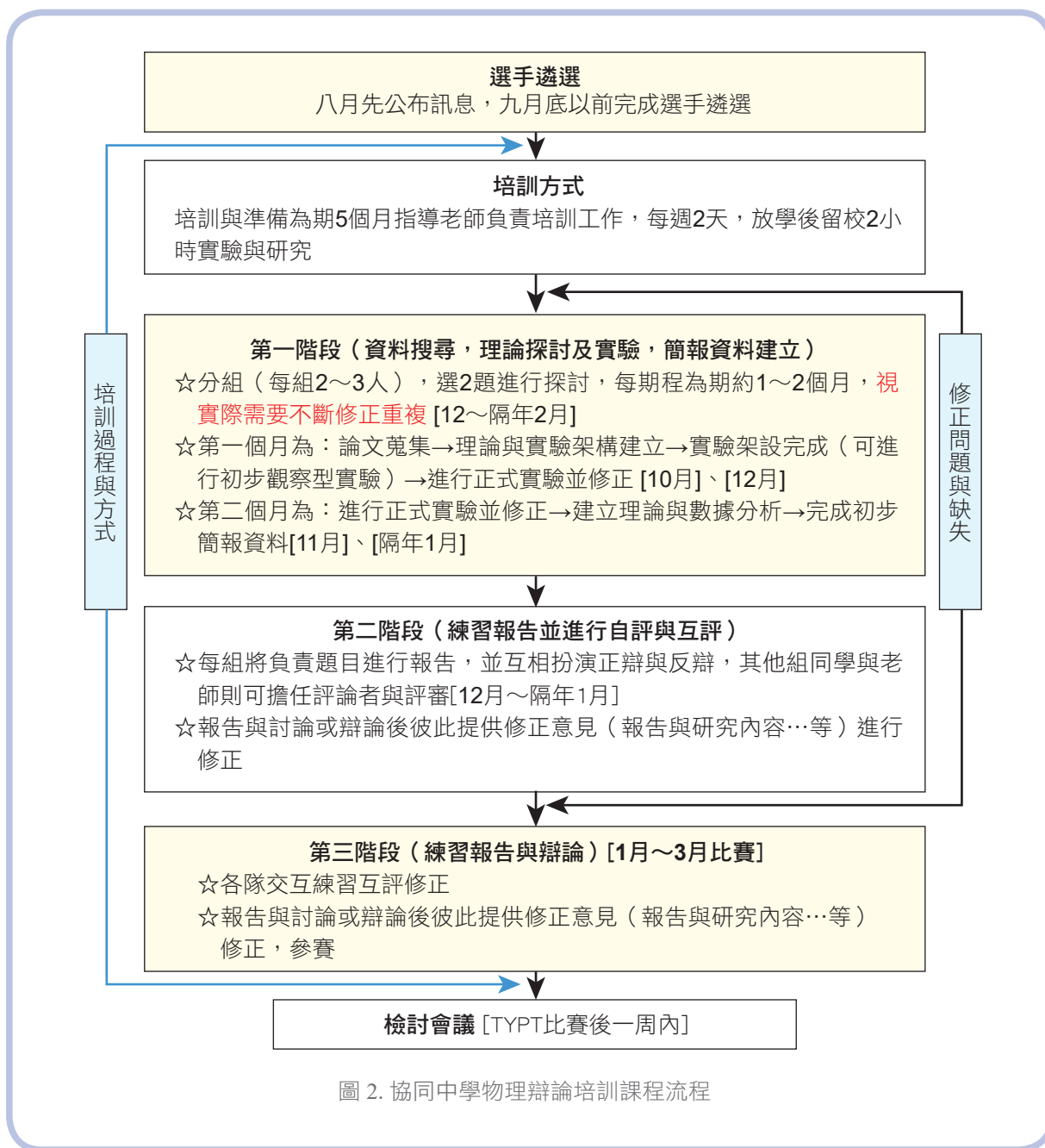


圖 2. 協同中學物理辯論培訓課程流程

盡可能參賽（英文物理辯論或中文物理辯論）

- (四) 研究時間：共同選修時間外，每週2天，放學後留校2小時，進行實驗與研究，例假日學生可自由到校進行實驗或討論，指導老師彈性到校指導與協助學生。

(五) 訓練準備場所與資源：目前學校提供2間專題實驗室及實驗研究所需基本經費，儀器與材料則逐年購置累積，以供學生做實驗、資料搜尋、簡報資料製作與討論等，實驗室如圖3所示。



圖 3. 由我帶領歷屆同學，由舊教室整理出來的協同中學 TYPT 物理實驗室，有點簡陋與雜亂，卻可以讓學生盡情揮灑與學習的科學窩（學生戲稱為「廢墟」）

## 實驗設計與研究過程

首先師生須先了解各問題所要探討的現象，盡可能蒐集相關論文文獻，無論是否找到論文，均需先想辦法利用可找到的材料與儀器，架設簡略實驗，並進行初步觀察型實驗，先做出題目要求的初步現象，進行觀察並找出可能變因與基本理論推估。如果有找到相關文獻，下一步須設法重複實驗，加以驗證文獻的真實性。如未找到相關文獻，也必須由觀察型實驗中，想辦法改善實驗裝置，以便對各變因做精確控制與測量。這往往是不容易且相當費時的過程。

有了想法後還須想辦法找到適合的材料與儀器（須考慮到高中經費有限與加工問題）。等到材料與儀器找到後，還需要自行加工建置實驗架設，這個階段常常考驗老師與學生的工藝技術，如木工、水電、各種機械工具（如電鑽、雕刻機……）操作等。因為經費有限，所以，許多部份（如固定支架）常常利用木材、水管、

角鋼、塑膠板等單價便宜的材料來達到目的。甚至將廢棄的日常用品（如舊課桌椅、廢木料甚至掃把柄……等。）重新回收利用，以便將經費用在不可或缺的儀器上。等到設想的架設完成後，便須開始進行研究型的實驗，才能確知原先的方法是否可行，如果結果不理想，則需要找到問題癥結並修改設計。

由於許多設施所費不貲，因此盡可能尋找替代方式，例如：可以利用喇叭、訊號連接線、擴大器加上手機下載訊號產生器軟體當成訊號源，將喇叭利用木條木板固定，即可組成震動器或震動平台裝置，效果相當不錯。另外，善用數位相機與 Tracker 軟體，可以做很多運動行為的量測與分析。

當進入研究型的實驗時，須盡可能考慮到可能的影響因素，想辦法達成所需的變因控制設計，實驗架設完成後便進行下列過程：正式實驗並修正→建立理論與數據分析→完成初步簡報資料→練習簡報→參賽→檢討。以下僅舉兩個實例加以說明：



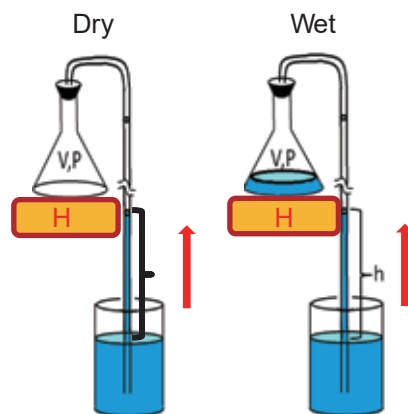
## 2010 IYPT Two flasks :

**題目：**Two similar flasks (one is empty, one contains water) are each connected by flexible pipes to a lower water reservoir. The flasks are heated to  $100^{\circ}\text{C}$  and this temperature is held for some time. Heating is stopped and as the flasks cool down, water is drawn up the tubes. Investigate and describe in which tube the water goes up faster and in which the final height is greater. How does this effect depend on the time of heating?

**觀察型實驗：**這個實驗在國內賽一開始時是備齊錐形瓶、U 型玻璃管、透明塑膠管、加熱器、水槽……

等，於實驗室桌子與地板間（高度落差約 2m）進行觀察型實驗。我們發現乾燥的瓶子加熱至  $100^{\circ}\text{C}$  約 1 分鐘後，在冷卻期間管子吸水高度約 1 ~ 1.5m 左右，但是，瓶內有水的瓶子加熱到水沸騰（約  $100^{\circ}\text{C}$ ）約 1 分鐘後，一開始冷卻沒多久，下方水槽的水很快就被吸入錐形瓶內。看到此現象馬上想到，水沸騰後沒多久，錐形瓶內會完全被高溫水蒸氣佔據，當它降溫後，水的蒸氣壓會迅速下降，而因為室溫下水的蒸氣壓很小，所以瓶內外的氣壓差有可能達到接近 0.9atm 以上，而 1atm 可以支撐約 10m 高的水柱。所以，這個實驗不可能在實驗室操作，需想辦法找到超過 10m 的柱子架設實驗管子，而且透明塑膠管需要有一定硬度，可以承受 1atm 的壓差而不會扁掉。

**研究型的實驗：**由前述觀察型實驗經驗，我們想辦法在校園各建築物中找到一處可以由地下室到 3 樓約 12m 高的柱子，也找到夠硬且耐熱的透明塑膠管、溫控加熱器、溫度計、氣壓計、跑道用的布尺……等，開始進行實驗架設，將管子與布尺（方便拍攝影片後，由影片讀取液面高度）用膠帶固定在柱子上，在地下室放置冷水槽（槽內放以墨水染色的水，方便讀取液面），錐形瓶、U 型玻璃管、加熱器、溫度計、氣壓計等則架設於 3 樓陽台，另外，在適當地點架設一台數位相機，以便在操作過程拍攝液面上升的情形。這個實驗至少需要 3 ~ 4 人才可以進行：1 人在地下室負責把冷水槽與管子放置妥當，3 樓則需 1 ~ 2 位進行加熱與溫度壓力量測（可用數位相機攝影輔助讀取溫度與壓力值），另外 1 位則負責拍攝液面上升影片（如圖 4 所示）。如此方式，每一個實驗均操作多次後，由影片（樓上、樓下兩組）讀取數據（當時以人工讀取數據再輸入電腦，相當費時。）所幸，這個由影片讀取數據的動作，現在可以用 Tracker 快速完成。讀取完數據後，進行數據分析（可利用 Origin、Excel 等軟體進行分析，嘗試由已知物理理論建立數學模型，並以實驗結果比對擬合（如圖 5，





實驗數據結果圖形)，與實驗擬合時，如發現問題則需要修正理論或重做實驗檢視，直到理論與實驗結果吻合時方可。

**理論建立與報告撰寫：**當問題有一些初步結果時，就應該開始製作簡報，隨著實驗進度再逐步修改報告內容，也才知道需要甚麼影片或照片甚至繪圖，否則可能發生來不及打成報告的情況。由於本篇文章內容，僅設定著重在實作指導過程，故在此不介紹簡報部分。

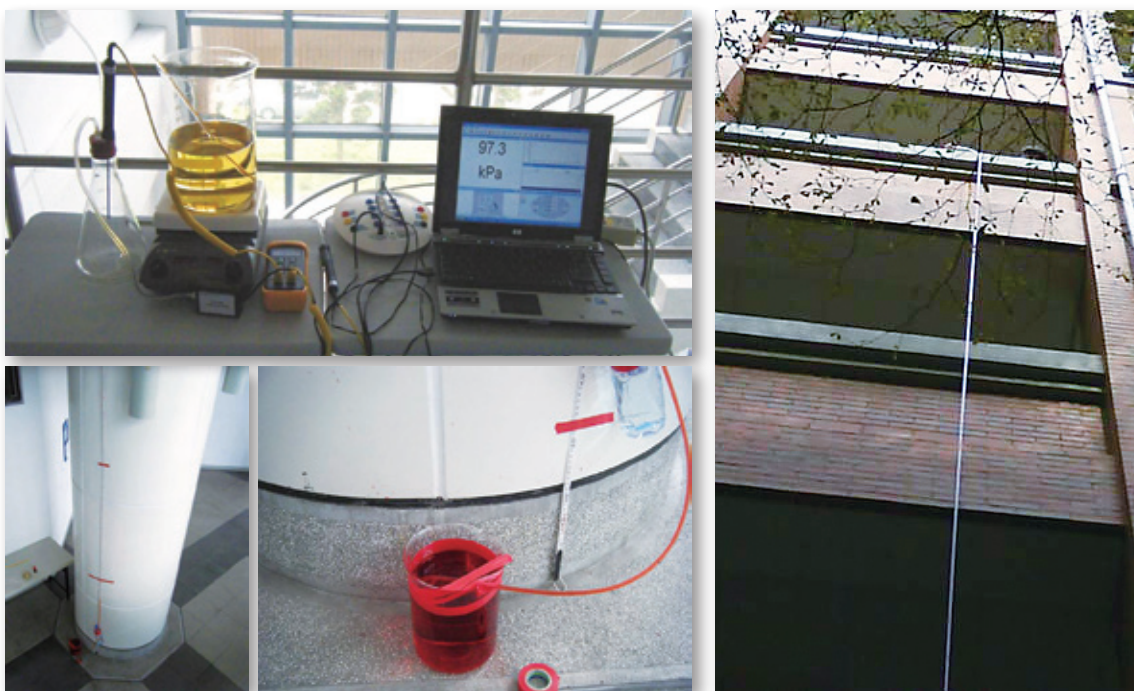


圖 4. Two flasks 實驗架設(左圖為 IYPT 培訓時的架設，右圖則是國內賽準備時在協同教學大樓裝置)

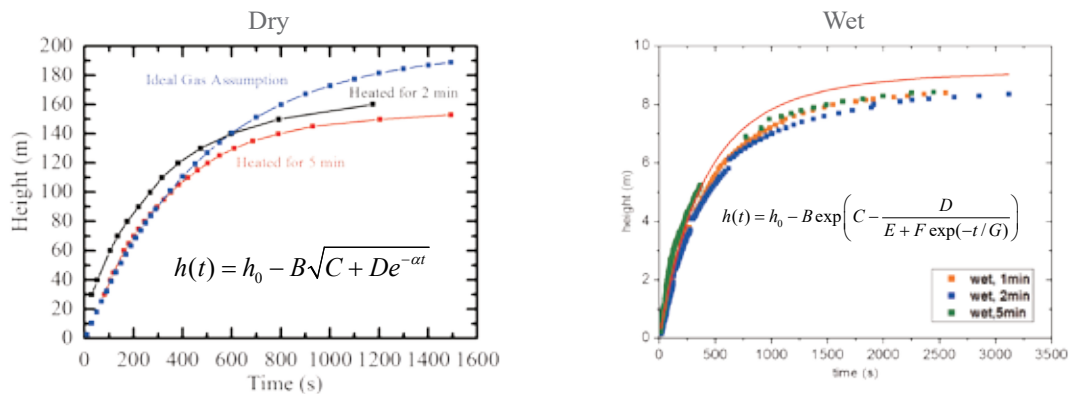


圖 5. Two flasks 實驗數據結果圖形(左圖為乾燥瓶子管內液面高度隨時間上升的結果，右圖則是裝水瓶子的實驗結果)



## 2016 IYPT Ultrahydrophobic Water

**題目：**Set a dish filled with soapy water onto a loudspeaker or other vibrator. When it oscillates, it is possible to hold small droplets on its surface for a long time. Explain and investigate the phenomenon.

**觀察型實驗：**這個實驗一開始利用喇叭、訊號連接線、擴大器加上手機下載訊號產生器軟體當訊號源，將喇叭利用木條木板固定後，當作振動裝置，再拿一個培養皿，用絕緣膠帶固定於喇叭上，注入一般清潔劑於培養皿中，啟動振動裝置，以一般滴管，將清潔劑水溶液滴入培養皿振動的液體表面，先看到水滴存活於液面的情形，改變振幅與頻率觀察液滴存活情形（如圖 6）。發現有很多種情況，而且存活時間與其在水面上運動情形似乎均與平台是否穩固水平有很大關係。

**研究型的實驗：**為了要詳細觀察各種變因的影響，可能需要利用示波器觀察振幅與頻率！而且振動台是否水平穩固，對水滴存活與運動行為影響很大，所以喇叭的支架應該要修改，可能需要在支架底端加上調整與吸振元件（如音箱的調整腳）之類，而滴入水滴大小利用改變注射筒針頭粗細（針尖磨平）控制，每種尺寸針頭滴出水滴大小再利用滴 100 滴測質量方式量測等。將實驗裝置修改成如圖 7 裝置，以便進行更精確的實驗。

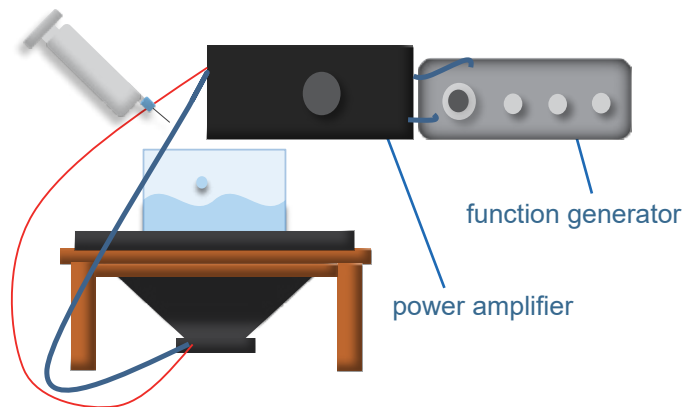


圖 6. Ultrahydrophobic Water 觀察型實驗架設示意圖

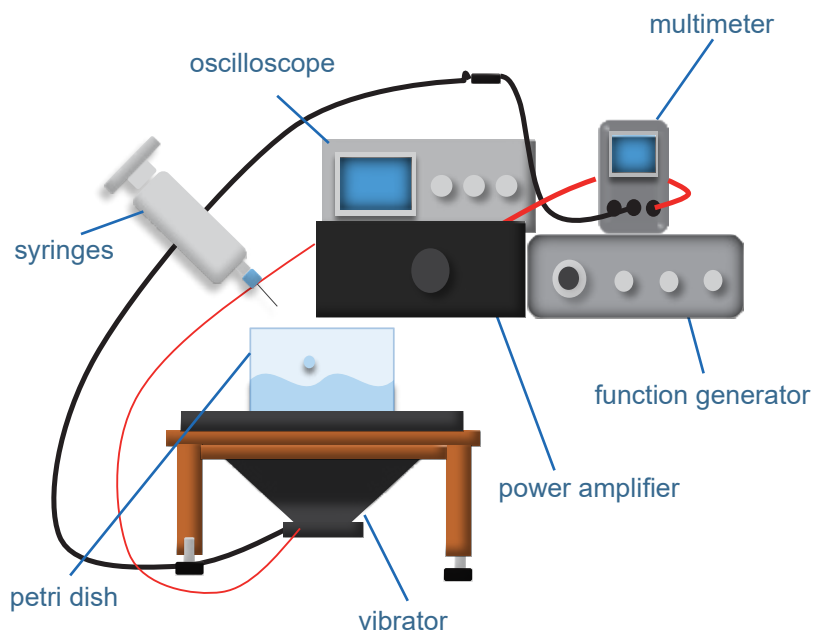


圖 7. Ultrahydrophobic Water 研究型實驗架設示意圖



## 建議與結論

- **指導教師應扮演的角色：**協助瞭解題目、找出各題目的變因、幫忙看論文，協助實驗設計架設、材料搜尋、實驗進度的監督、協調夥伴工作分配、凝聚團隊合作及激發每個人的企圖心等角色。整個準備過程中，積極陪伴、耐心協助、充分投入與犧牲奉獻。例如，我義務每週兩個晚上和假日，儘可能陪伴與指導同學。
- **靈魂人物的選擇：**最好能甄選出具備多元能力與旺盛企圖心的學生，扮演靈魂人物，指導老師可以針對這些同學加強指導，再由這些同學幫老師帶領整個團隊。
- **學校應有的資源：**專用實驗場所與合理要求儀器的提供，每年有少許經費挹注，逐步建立實驗設備和團隊。
- **指導教師應該具備的態度：**積極陪伴、耐心及旺盛企圖心，但是不要有太大壓力，抱持著：讓學生有多元學習的管道與環境，自己也能與學生一起享受過程的心態。
- **學生應有的態度與作為：**TYPT 所需 12 道題目，相當於要進行 12 個科展，所以，學生必須有旺盛的企圖心、積極耐操、永不放棄努力到最後的精神，對於老師交代工作應有責任感，最好要能有主動尋解決問題能力，方可有好的成果。

## 其他建議

- 一、建議老師有時間常逛家庭五金百貨行、B&Q、五金行、機械行、電子材料行，文具行……等，如有可能要找到好配合的儀器商，亦可上網搜尋器材公司，如：各式馬達公司，裸銅

線……等，另外，奇摩與露天拍賣有很多寶和器材可以找到，充分利用網路資源，善用數位相機（有高速攝影功能為佳）與分析軟體：Tracker、Gold Wave、Origin、Excel……等。

- 二、老師與學生均要學會基本水電、加工、木工。因為，很多實驗想法必須自己想辦法製作架設，像我的實驗室有很多的工具，如：鋸子、鐵槌、起子、電鑽、甚至有鑽床、自由錐、雕刻機……等；基本材料也有一些，如：釘子、各式螺絲釘、木板、木條、角鋼、各式夾具架子、水管……等。
- 三、可以善用學生家長資源，部分學生家長可能在學術界服務，也可能具有水電、機械等專長，可以尋求協助。另外，也可以尋求鄰近大學理工學院教授協助。

## 參考文獻

1. 2010 IYPT 國際青年學生物理辯論競賽臺灣代表隊研究報告 Two flasks，劉富蘭 克林 與 何世明 撰。
2. 2016 IYPT 國際青年學生物理辯論競賽臺灣代表隊研究報告 Ultrahydrophobic Water，林莉祺 與 何世明 撰。
3. 協同中學－物理辯論培訓課程流程圖 何世明 撰寫。

何世明

嘉義縣基督教協同高級中學物理科教師兼自然科主席