

「小世界大探究」教師手冊

壹、給教師的話

郭靜姿教授（民 82）於「如何指導資優生進行獨立研究」文中指出，資優教育的目的在培育學術研究與創造發明的人才，以能促進社會的進步。資優生的獨立研究可達下列的目的：1. 培養研究的興趣與精神。2. 提供實際研究的經驗。3. 加強研究方法的訓練。4. 培養獨立與自學的能力。5. 提高問題解決的能力。6. 發展高層思考的能力。故獨立研究在資優教育中成為必要的教學活動。然資優生進行獨立研究之能力，需透過課程循序漸進培養之，在知識與技能學習方面，大部分的資優生可透過課程進行學習，然在議題探究與問題解決之能力方面，則需透過優質的課程內涵及強化差異化輔導之課程，進行潛能的開發及能力的培養。

在一整學年的獨立研究課程中，若能在學生進行獨立研究實作前，安排系列能力養成培訓課程，將有助於學生在進行獨立研究實作能力。本課程即為強化學生對特定議題探究的興趣，及觀察分析中發現問題並提出可能的解決策略之獨立研究能力養成訓練課程。以學生過往在國小四年級自然領域學習過之光學知識背景為基礎，結合國民中學七年級自然領域生物科之學科知識應用，融入自然科學中物理與生物兩大學科知識概念，再透過自製顯微鏡的實作課程、標本採樣的觀察及討論，藉由結果分析引導其發現問題，於課程實施過程中，也利用科普文章閱讀，提升其對科學探究的興趣，發現問題的能力及解決問題的能力。最後，經由學生分組合作的方式，完成書面報告及上台發表，培養資優生溝通及合作能力，並於分組發表中規劃學生自評、學生互評及教師評鑑，以提升資優生思考力及表達力。

貳、課程/教學單元描述（含教材分析與課程架構）

本模組課程以平行課程模式設計教學，課程架構安排如下：



參、課程計畫

一、基本資料與學習目標

課程名稱	小世界大探究		特殊需求	獨立研究
教學年級/ 班級/組別	八年級資優班		相關領域	<input type="checkbox"/> 語文 <input checked="" type="checkbox"/> 數學 <input type="checkbox"/> 自然 <input type="checkbox"/> 社會 <input type="checkbox"/> 健體 <input type="checkbox"/> 藝文
實驗學校/ 日期	臺北市南區數理資優區域 衛星課程		重大議題	無
教學時間	共 8 節 360 分鐘		教學者/ 設計者	臺北市立萬芳高級中學許麗吉 臺北市立建國高級中學李文禮
教材來源	自 編		參考資料	http://chiuphysics.cgu.edu.tw/yun-ju/cguweb/sciknow/phystory/hooke.htm https://www.youtube.com/watch?v=h8cF5QPPmWU https://www.youtube.com/watch?v=N7fxaZuEP6c http://learning.cooc.tp.edu.tw/coocLearning/media/view/12801 http://learning.cooc.tp.edu.tw/coocLearning/media/view/12721 https://www.foldscope.com/ https://www.kickstarter.com/projects/276738145/foldscope-the-origami-paper-microscope
十二年國教 課綱 核心素養與 學習重點	核心素養	<p>獨-J-A2 提出適切的探究問題，依據習得的知識，透過獨立思考與分析，提出可能的問題解決模式，並實際驗證及解析。</p> <p>獨-J-B2 能善用科技、資訊與媒體，分辨資料蒐集可信程度，以獲得獨立研究過程中所需之資料。</p> <p>獨-J-C2 透過獨立研究小組學習，發展與同儕溝通、共同參與、執行及討論的能力，能接納不同意見，具備與人和諧互動技巧。</p>		
	學習表現	<p>1a-IV-1 能從日常生活經驗、自然環境觀察、領域學習課程、新聞時事或社會重大議題等向度發現並提出自己感興趣的內容。</p> <p>1a-IV-2 能透過與同儕的討論，分享探索的樂趣。</p> <p>1a-IV-3 能透過動手解決問題或驗證自己想法，而獲得成就感。</p> <p>1a-IV-4 能透過自己獨立研究過程，了解獨立研究的意義、歷程及實踐背後的重要價值。</p> <p>1b-IV-1 能理解同儕報告，提出合理且完整的疑問或意見，形成評價並提出合理的建議或改善方案。</p> <p>1b-IV-2 能主動與同儕合作完成小組獨立研究活動內容並達成目標。</p>		

	<p>1c-IV-1 能從他人研究成果、良師典範學習中及自己研究歷程及成果中，養成研究動機及熱忱。</p> <p>2a-III-2 能針對不同的研究問題認識不同的研究方法，並選用適合的研究方法進行研究。</p> <p>2b-IV-2 能比較與判斷自己及他人對於蒐集資料的解釋，在方法及程序上合理性，並提出問題或批判，並用實證加以驗證之。</p> <p>2c-III-3 能對各種問題解決的構想，加以探討調整的可能性。</p> <p>2d-IV-1 能與教師共同建構獨立研究內容或計畫，決定學習範圍、順序與進度。</p> <p>3a-IV-1 能從日常生活、課堂學習、自然環境、科技運用及社會議題中，進行有計畫的多方觀察後進而察覺問題。</p> <p>3b-III-2 能根據研究問題、資源，規劃研究計畫並依進度執行。</p> <p>3c-IV-1 能運用圖書館、網路、線上資料庫、期刊等，依據研究主題，搜尋相關資料。</p> <p>3d-IV-1 能依據研究主題，了解研究工具種類及用途，挑選適合研究工具。</p> <p>3d-IV-2 能獨立或依據操作指引，正確安全操作研究物品、器材儀器、科技設備與資源。</p> <p>3e-III-2 能從得到的資訊或數據，形成解釋、獲知因果關係。</p> <p>3f-III-3 能以個人或小組合作方式，運用複雜形式展現研究過程、成果、價值及限制等。</p> <p>3g-IV-1 透過檢核表或他人回饋，能對研究過程及結果進行自我評鑑。</p> <p>3g-III-2 能評估研究計畫執行的程度。</p>
學習內容	<p>一般探索</p> <ul style="list-style-type: none"> ●研究主題興趣探索 <p>研究方法訓練</p> <ul style="list-style-type: none"> ●思考能力訓練： <ul style="list-style-type: none"> ◎問題解決技能 ●研究方法介紹： <ul style="list-style-type: none"> ◎量化： ●實驗器材、科技設備操作技能。 ●資料蒐集與運用技能 <p>獨立研究實作</p> <ul style="list-style-type: none"> ●研究主題選擇： <ul style="list-style-type: none"> ◎觀察現象 ●研究資料蒐集： <ul style="list-style-type: none"> ◎觀察 ●研究資料整理與分析：

	<p>◎研究資料摘要</p> <p>●研究成果展現：</p> <p>◎展現形式：口頭發表、</p>
<p>獨立研究課程能力指標 (計畫研發)</p>	<p>自然與生活科技：</p> <p>1-4-1-1、1-4-2-1、1-4-2-3、1-4-3-2、1-4-4-1、1-4-4-2、1-4-4-4、1-4-5-1、1-4-5-3、1-4-5-5、2-4-1-1、2-4-2-2、2-4-5-6、3-4-0-1、3-4-0-8、4-4-3-3、5-4-1-2、6-4-2-1、6-4-4-1、6-4-5-1、6-4-5-2、7-4-0-1、7-4-0-4、7-4-0-6、8-4-0-3、8-4-0-4、8-4-0-6</p> <p>獨立研究：</p> <p>1.1.4.3 能依據研究倫理的規範，了解可進行的研究題材。</p> <p>1.2.4.4 能尊重其他研究參與人員的意願並取得同意。</p> <p>2.2.1.1 能了解可透過研究，探究感興趣的問題，進而尋找可能的答案或解決方法。</p> <p>2.3.1.1 能了解可透過研究，分析與探究問題，進而著手驗證，尋找可能的答案或解決方法。</p> <p>2.2.2.2 在教師的引導下，能依研究主題，選用適切的研究方法進行研究。</p> <p>2.2.3.1 能認識及運用不同資料搜尋方式，如圖書、網路、文獻資料庫等。</p> <p>2.2.3.4 能分辨資料的信實度並解釋說明分析後的發現。</p> <p>2.3.4.1 能依據主題自行進行研究設計（實驗、調查），並依實際需要修正方向或方法。</p> <p>2.1.4.2 在教師的引導下，能依研究需求，挑選或設計適合的研究工具或器材。</p> <p>2.3.4.2 能依研究需要，自行設計研究工具或器材，並視需要到學術機構尋求實驗設備或專業支援。</p> <p>2.2.4.3 能熟悉各種研究操作方法，並能控制變因以增進研究精確性。</p> <p>2.3.4.4 能利用適合的策略或軟體統整及分析研究紀錄，並針對研究結果加以推論。</p> <p>2.1.5.2 能以簡易的簡報軟體報告研究成果。</p> <p>2.1.6.2 能在師長引導下完成研究報告撰寫。</p> <p>2.2.6.3 能靈活且適當運用口語、文字、海報、簡報軟體或其他形式，展現研究過程與成果。</p> <p>2.2.6.4 能透過網站、研究專輯，以小組或個人的方式發表研究報告。</p> <p>3.2.1.1 能針對研究主題提出有關的主張及其理由。</p> <p>3.1.1.2 能從實驗（量化）或蒐集資料（質性）中整理分析出結果，並提出相關的結論。</p> <p>3.2.2.1 能針對所蒐集的研究資料，抱持合理的懷疑，並提出證據支持自己的想法。</p> <p>3.2.2.3 能依據研究主題，蒐集過去相關研究資料加以分析比較，提出彼此的關聯與差異。</p>

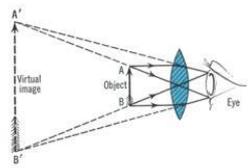
	<p>3.3.3.1 面對問題能進行預測、嘗試解決，勇於面對批判與應付未知情況。</p> <p>3.2.3.2 能在既有的構想或觀念上，提出一些新的想法或見解。</p> <p>3.2.4.1 能適切的選擇研究主題與對象，清楚陳述研究目的與問題。</p> <p>3.2.4.2 在教師的引導下，能根據研究主題與目的，依研究進展進行階段性的修正與檢討。</p> <p>3.2.4.3 能針對研究主題提出構想，並在教師引導下設計適切的研究工具與方法（調查、實驗等）。</p> <p>3.3.4.4 能自行解決研究過程遇到的問題，包含策略、工具、想法及執行方式。</p> <p>3.2.5.1 在教師引導下，能自行擬訂研究計畫並依計畫執行。</p> <p>3.2.5.2 能檢視調整研究進度，並在教師的引導下，適時尋求專家協助。</p>
單元目標	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能瞭解科學研究的工具可自行利用簡易工具而完成製作。 2. 能引發學生對生活中微小物質的觀察與相關科學探究。 3. 能在教師的引導下，閱讀本次學習主題相關科學期刊或雜誌文章，進而主動蒐集自己研究所需之參考資料。 4. 能透過小組分工合作，共同完成實驗及成果發表，並於此過程中，肯定自我能力並認同他人貢獻。 5. 提升學生對科學探究的興趣，發現問題的能力及解決問題的能力。
學習目標*	<p>1-1 能以國小曾學習過的光學知識為基礎，認識光學應用於微鏡放大的理論及觀察。</p> <p>1-2 能完成單式顯微鏡製作。</p> <p>2-1 能以自製之研究工具，對生活中周遭的事物進行觀察與探究。</p> <p>3-1 能體認微量觀察實驗在科學研究的重要性</p> <p>3-2 能了解跨領域科學研究，可能改善人類生活品質及身體健康。</p> <p>4-1 培養學生成果發表之圖文及語文表達力。</p> <p>4-2 透過小組合作過程中，能學習肯定自我並認同他人貢獻。</p> <p>4-3 藉由他人成功經驗及分享，提升自我獨立研究能力。</p> <p>5-1 能以精準圖文表達研究歷程及結果並針對實驗討論項目需論證有據。</p> <p>5-2 針對他人研究內容，提出看法及建議，提升思辨能力。</p>
教學資源	電腦、投影機、網路環境、學習單、1mm 直徑玻璃珠、2mm 直徑玻璃珠、防靜電鑷子、膠水、投影片、透明膠帶、卡紙片、剪刀、美工刀、洋蔥、亞甲基藍液、平板或智慧型手機、海報、彩色筆
教學方法/ 教學型態	課堂講授、小組討論發表、學習單練習、成果海報製作、成果發表
教學環境/ 地點	資優班教室

註：在學習目標方面，可視學生能力及程度分為高能力組(H)、中能力組(M)與較弱能力組(L)擬定不同層次目標，並在各學習目標後面註明該目標適用的對象。例如：三組皆須達到的標準(H, M, L)或高組要達到的標準(H)。

二、區分性教學設計

學生組別	高能力組(H)	中能力組(M)	較弱能力組(L)
學習優弱勢分析	國小階段層受過獨立研究課程訓練，且學習態度主動積極，喜愛科學實作。	雖國小階段未受過獨立研究課程訓練，然學習態度良好，並對科學實作興趣高。	對科學學習主動性較低且興趣不高，且科學實作能力或興趣較低。
起點行為 (研究能力)	具備基礎探究與實作能力，且對該主題學習相關知識具基礎認識。	對該主題學習相關知識具基礎認識，且對新知識學習興趣濃厚。	對升學考科以外的知識學習興趣較低，課堂及課後實作作業及討論較被動。
教學策略	引導其擬定研究目標，並主動完成探究與實作相關實驗與結果討論。	強化其探究與問題解決之基本能力，並引導其完成教師指定任務後，能進討論訂定出分組研究內容。	強化聯結課程認知，讓學生更加了解科學知識的學習與生活應用結合的重要性，提升學生學習動機，並督導其完成指定研究。
評量方式/ 評量標準	單式顯微鏡製作 課堂討論表現 科普文章閱讀理解 學習單 分組研究實驗設計 成果發表-學生自評、同儕互評及教師評鑑	單式顯微鏡製作 課堂討論表現 科普文章閱讀理解 學習單 分組研究實驗設計 成果發表-學生自評、同儕互評及教師評鑑	單式顯微鏡製作 課堂討論表現 科普文章閱讀理解 學習單 分組研究實驗設計 成果發表-學生自評、同儕互評及教師評鑑

三、教學計畫與進度(可自行增列)

單元名稱	學習目標	教學規劃/活動/內容	時間	教學評量
小世界大探究	1. 能以國小曾學習過的光學知識為基礎，認識光學應用於微鏡放大的理論及觀察。 2. 能完成單式顯微鏡製作。 3. 能以自製之研究工具，對生活中周遭的事物進行觀察與探究。	1. 複習光的直線運動及基礎光的折射現象。 2. 光學基本概念簡介：光的直線進行、光的折射、凸透鏡中光的折射現象觀察。 3. 光學應用在生活的實例(分組討論與分享)。 4. 顯微鏡發展史及生物醫學上的應用介紹。 5. 顯微鏡的原理簡介  <p>【本次課堂學習僅藉由光的直線及折射現象的觀察及簡介，不著重於光學原理的探究】</p> 6. 每個學生完成自製單式顯微鏡(約需要20~25分鐘)。【教師若無自編之實作教學教案，可參考臺北市線上教學影片】 7. 以自製之單式顯微鏡，進行洋蔥表皮細胞觀察(含標本採樣及製作)。 8. 引導學生應用智慧型手機或平板相機功能，結合自製單式顯微鏡觀察，進行觀察標本放大及定圖，並將觀察所得結果拍照寄上傳至教師指定平台。 課後學習單建議內容： 經過今天的課程後，學會了自製顯微鏡，請同學想一想，你想利用自製的顯微鏡來觀察什麼物質或現象？請舉出一些實例，並簡述原因。	5分 10分 10分 10分 10分 20分 15分 10分	課堂表現 小組討論
	1. 能體認微量觀察實驗在科學研究的重要性 2. 能了解跨領域科學研究，可能改善人類生活品質及身體健康。	1. 學生進行課後學習單內容分享。(引導學生具體說明欲觀察之物質或現象的原因) 2. 提供相關科普文章進行導讀，引導學生理解微世界的觀察及相關科學研究，可能改善醫療技術或生活品質。 3. 本次科普文章摘自科學月刊第516期，黃明輝，天外飛來的輻射 p. 930-934，該文並獲作者同意影印給學生閱讀。宇宙射線是一種看不見的粒子，充滿在整個宇	15分 5分 25分	科普文章 學習單 課堂表現 小組討論

	<p>宙，如何發現其存在，在科學上極具探究價值，能給與學生啟發，並能瞭解其應用。</p> <p>4. 分組討論及分享：讓學生針對教師提供之科普文章或小組自選之科普文章，進行閱讀分享並提出小組成員討後，該研究可能衍生出之具體正向未來性。</p> <p>5. 分組實驗實作：2~3 人為一組，以自製單式顯微鏡為研究工具，進行分組研究觀察計畫撰寫及實作，含研究觀察目的，標本製作過程及實驗觀察結果記錄。</p> <p>課後學習單建議內容： 自製顯微鏡的過程中，請問還可以改進哪些步驟或材料，使顯微鏡效能再提升？</p>	25 分	
		20 分	
<p>1. 能以精準圖文表達研究歷程及結果並針對實驗討論項目需論證有據。</p> <p>2. 培養學生成果發表之圖文及語文表達力。</p>	<p>1. 教師針對學生欲發表之內容進行指導及檢核。</p> <p>2. 學生成果發表之表達力培訓。</p> <p>3. 各組學生均能在指定時間內，以清晰之口語表達，及穩健的台風進行發表。</p> <p>4. 發表海報之版面具簡潔、美觀及完整性。</p>	10 分 35 分 35 分 10 分	科學研究報告寫作技巧 ppt 學習單 課堂表現海報製作
<p>1. 透過小組合作過程中，能學習肯定自我並認同他人貢獻。</p> <p>2. 藉由他人成功經驗及分享，提升自我獨立研究能力。</p> <p>3. 針對他人研究內容，提出看法及建議，提升思辨能力。</p>	<p>1. 分組成果發表</p> <p>(1) 每組發表時間 5 分鐘為限，現場開放同儕提問，每組至多接受 2 個問題，且各組統答時間不超過 5 分鐘。</p> <p>(2) 進行成果發表同儕互評(評分項度及方式由教師自編)。</p> <p>(3) 教師進行總評，並於單元課程結束後，將學生作品公開至布告欄，開放全校師生共同觀看。</p>	80 分 10 分	課堂表現海報製作 分組報告 學生自評 同儕互評

四、應用與建議

延伸應用	<ol style="list-style-type: none">1. 引導學生以自製單式顯微鏡為工具，進行可能之科展主題探究。2. 鼓勵學生未來可依據實驗需求，自製實驗工具。
對超前或落後學生的建議	<p>高能力組：針對學生所提出之自製顯微鏡效能提升的策略，讓學生能完成實作，並進行驗證。</p> <p>低能力組：鼓勵學生課堂發表，並於發表後給予正向鼓勵，並每次課堂中，確認學生均有參與並完成實作，透過基礎任務完成的成就感，提升學生科學探究的興趣。</p>

附件一：學習單（一）

臺北市立 105 學年度 國中數理資優 衛星課程 學習單

日期： 月 日 ()

地點：

授課師資：

我的學校：_____國中 班級：_____ 姓名：_____

1. 我能自製顯微鏡了，利用自製的顯微鏡，我最想用來觀察什麼物質或現象？

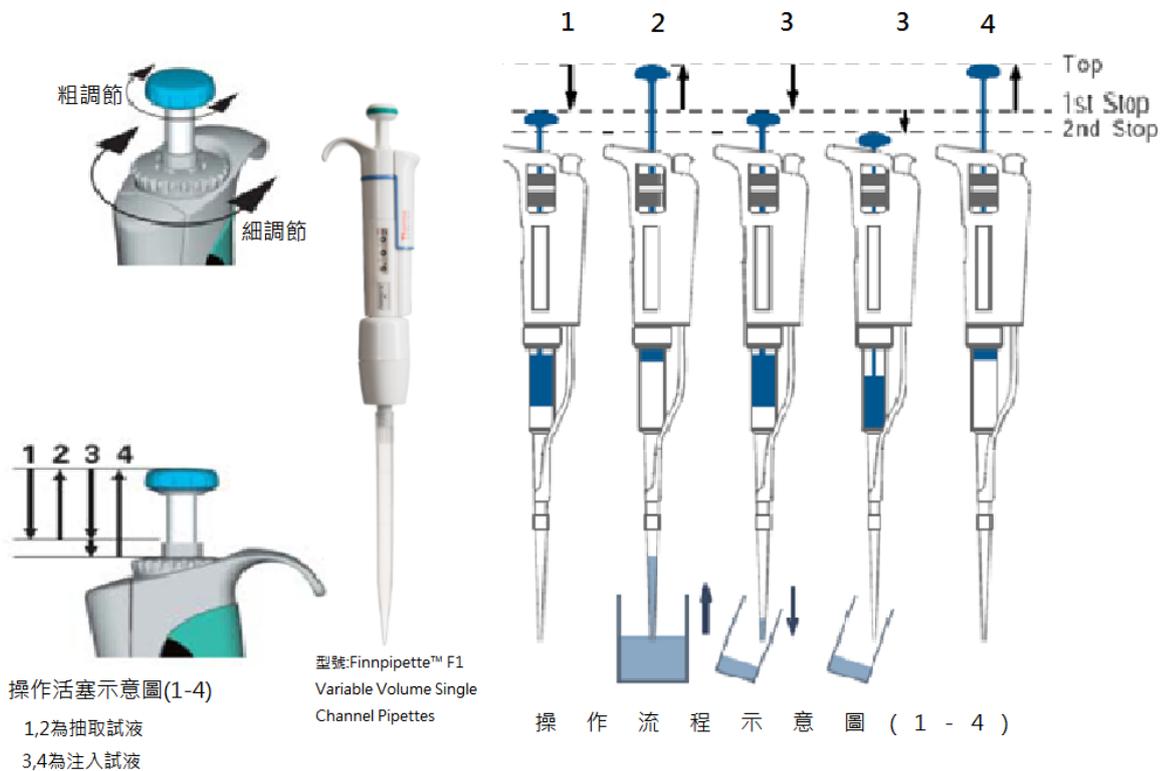
2. 自製顯微鏡的過程中，我可以改進哪些步驟或材料，使顯微鏡效能再提升？

3. 參觀了實驗室，哪一種儀器或設備最讓我感到新奇有趣，很想拿來做哪些科學研究？

4. 茭白屬禾本科、菰屬，草本，水生，具地下莖，植株高 1 公尺多，直立；茭白食用的部份，是基部由菰黑穗菌(又稱菰黑粉菌)寄生刺激而生成的筍狀莖，幼嫩時可食，具解煩熱，調腸胃，解毒利尿之功能。沒有菰黑穗菌寄生的植株，就不會生成筍。因為現在的茭白已無法結穗，故以無性生殖法進行繁殖，性喜溫濕的氣候，適於粘壤土生長。

如果要進一步深入了解茭白，我最想研究的目的為何？請就此目的設計一實驗。

5. 微量吸管(micropipette)是進行任何與微量溶液有關的實驗時，如生化或者分子生物實驗，所必備的工具，其操作方式大致如下圖所示。



倘若發現微量吸管的容量不準了，短時間內又急著用無法請商家校正，我該如何自己手動調整？

辛苦同學假日參與，希望大家都能有收獲！

感謝所有協助的教師，給同學們一個優質的學習機會和更寬濶的視野，將來有機會，同學們也要回饋社會喔！

我想給主辦單位的意見回饋：

臺北市 105 學年度國民中學學術性向 數理區域衛星資賦優異教育方案課程

主辦單位：臺北市政府教育局

模組課程設計：臺北市立萬芳高級中學許麗吉主任

課程名稱：創意科學家培育課程(I)：主題一、小世界大探究—科學探究實作

日期：10月22日(六) 9:00-12:00

地點：國立臺灣大學生物資源暨農學院—植物病理與微生物學系暨研究所

授課師資：沈偉強教授兼系主任及團隊、張良肇老師(北市立麗山高中)、李文禮老師(北市立建國中學)、許麗吉主任(北市立萬芳高中)

原就讀學校：_____ 國中 班級： 8 姓名： 簡

【獨立研究發想書】請簡要回答下列問答：

1. 經過今天的課程後，學會了自製顯微鏡，請同學想一想，能夠利用自製的顯微鏡來觀察什麼物質或現象？請舉出一些實例。

答：

透過顯微鏡，我們可以觀察：
洋蔥表皮、植物的細胞壁，
甚至是生活中的水質、土壤等等。

2. 自製顯微鏡的過程中，請問還可以改進哪些步驟或材料，使顯微鏡效能再提升？

答：

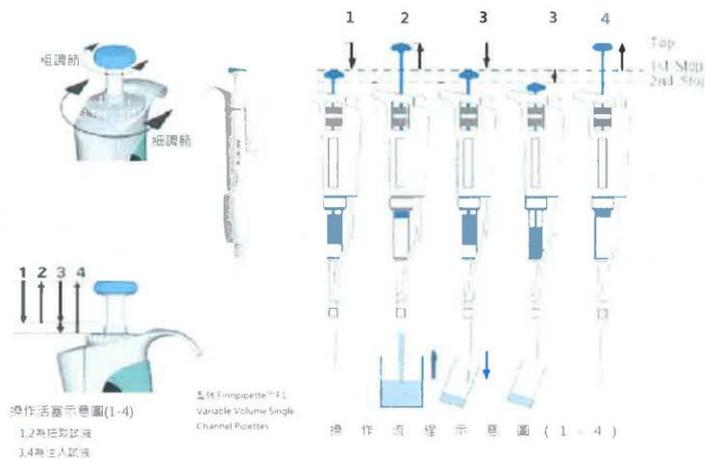
我們可以想辦法將透明珠做大，
方便觀察標本；或是加小凹面鏡，
可以聚光，就不用抬頭觀察了。

3. 今天的課程中，有哪一種裝置、儀器或設備最讓我感到新奇有趣，如果能夠使用這些儀器，請問同學會拿來做哪些科學研究？

答：

我十分喜歡一個名為生長箱的設備。它是使用液態氮來保存植物種子，而培養時也有溫度及晝夜長的控管，如果可以，我會拿來培養各式的植物。

4. 微量吸管(micropipette)是進行任何與微量溶液有關的實驗時，如生化或者分子生物實驗，所必備的工具，其操作方式大致如下圖所示。



倘若發現微量吸管的吸取量不準了，短時間內又無法請商家校正，請問該如何自己手動調整，請想出一個方法，並且說出你的理由？

答：

我會調整它的粗調節輪，並用細調節輪輔助。☺

天外飛來的輻射

2012 年為發現宇宙線的一百週年，民眾仍是一知半解。本文將回答最常問的問題：宇宙線是什麼？從哪裡來的？如何發現？有何科學價值？有何用途？

黃明輝

19 世紀末期，電磁學已經完成，化學的原子說也已成型。但原子又是什麼組成的？科學家開始研究次原子的領域，逐漸發展出 20 世紀的近代物理。

20 世紀初的極限運動：發現宇宙線

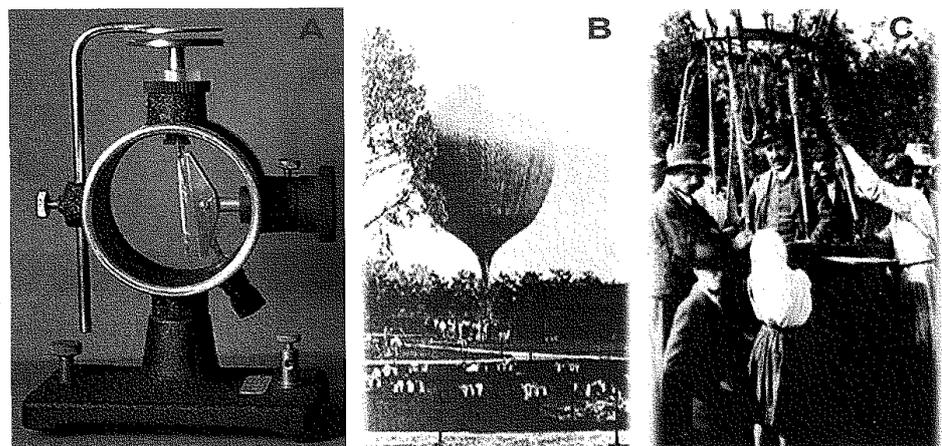
初期，科學家發現某些礦物有 α 、 β 、 γ 三種輻射線，除了會使照相底片感光以外，也會游離空氣，使帶電的驗電器逐漸失去電荷，因此驗電器就可以測出游離粒子數。1897 年，湯姆森 (Joseph John Thomson, 1856~1940) 測量到陰極射線 (與 β 射線具有相同性質) 的電荷質量比 (e/m)。1909 年密立根 (Robert Andrews Milikan, 1868~1953) 從油滴實驗發現電荷有最小的

單位 $e=1.6 \times 10^{-19}$ 庫倫，由此可推出陰極射線的質量 m ；這個粒子就是電子。1911 年拉塞福 (Ernest Rutherford, 1871~1937) 由 α 射線在金箔的散射實驗，發現原子內的構造類似行星與恆星的關係，證實了原子核的存在。此時科學家只知道原子裡有電子與原子核而已。

1911~1912 維克爾·海斯 (Victor Hess, 1883~1964) 帶著驗電器登上氣球，在高空測量游離粒子數飛行 (圖一)。他發現從地表約 1.5 公里以上，大氣中的游離粒子數隨海拔高度上升而

增加 (圖二)；與來自地表放射性礦物的預期相反，因此推論此輻射源必定來自地球以外。海斯也利用日蝕時做實驗，發現即使太陽被遮蔽，仍有相同的游離粒子，證實了這種輻射源可能不是太陽。1932 年密立根命名此種輻射為「宇宙輻射」(cosmic radiation)，後人又通稱為「宇宙線」(cosmic ray)。海斯因發現宇宙線而在 1936 年獲得諾貝爾物理獎。直到 1919 年拉塞福才發現質子，所以宇宙線其實比質子有著更悠久的歷史！

當年海斯使用沒有加壓的開

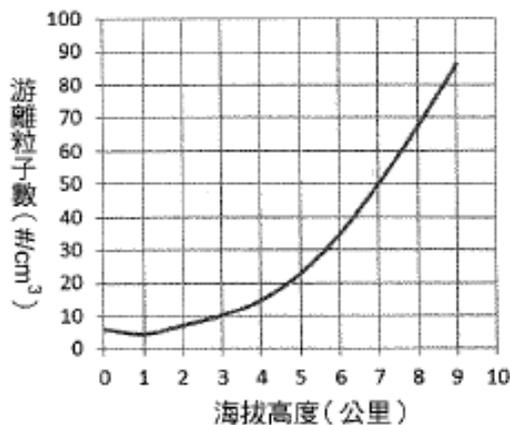


圖一：(A) 沃爾夫驗電器，(B) 海斯所用的氫氣球，(C) 海斯在 1912 年 8 月降落後的留影。

放式吊籃，飛到最高5350公尺高空做實驗，其困難猶如攀登喜馬拉雅山。後續的研究更是讓宇宙線學家上山下海，因此將早期的宇宙線研究稱之為20世紀初的極限運動，可說是毫不遜色！今年是發現宇宙線的一百週年，為了紀念海斯百年前的先鋒英雄式的創舉，我們舉辦一系列的科普演講活動，本文針對民眾對宇宙線最常問的幾個問題作簡短回答。

宇宙線是什麼？

海斯雖知道這些高空輻射源來自地球以外，但仍不知究竟是甚麼造成輻射。後來有其他學者從平地到高山、甚至在輪船上巡迴全球，進行類似實驗。集合各地的數據後，發現宇宙線通量（每單位面積單位時間單位立體角的粒子數 $1/m^2 \cdot s \cdot sr$ ）與地磁場的緯度有關（稱為緯度效應），暗示宇宙線應該是帶電的粒子。



圖二：海斯與羅西測量大氣游離輻射隨高度變化的關係。

1930年代發展出新的探測技術，可以測出宇宙線的方向；接著發現了從西方來的宇宙線比從東方來的宇宙線多（稱為東西效應）。以帶正電的粒子為例，從西方來的軌跡來自於太空，但從東方來的低能量粒子的軌跡會被地球阻擋，因此不可能是宇宙線。綜合緯度效應與東西效應，宇宙線學家證實了宇宙線主要是由帶正電的粒子組成。

同一時期，除了感光乳膠片以外，物理學家開發許多測量這些宇宙輻射，例如：雲霧室、火花室等。從這些實驗中發現到許

多與一般的電子質子不同的新粒子，例如1932年安德森（Carl D. Anderson, 1905~1991）從雲霧室的照片發現正子：與電子類似但帶正電的反物質。後來證實這些粒子都是原始的宇宙線與大氣作用產生的次級粒子，又稱為次級宇宙線；海斯等人所測到的就是這些次級宇宙線。早期的粒子有關的研究需要利用次級

宇宙線。直到1950年代人造粒子加速器出現以後，物理學家開始用可控制的粒子束作實驗，逐漸演變成為現代的核子物理與粒子物理。

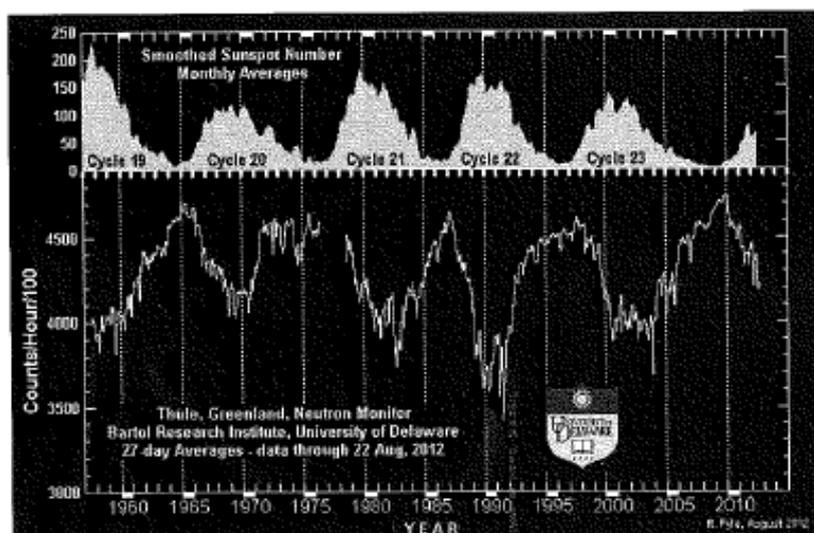
次級宇宙線中，常見的粒子除了電子（ β 射線）、正子及原子核以外，還有渺子（ μ , muon）與微中子（ ν , neutrinos）這兩種輕子。渺子跟電子類似，但質量是電子的270倍；渺子具有很強穿透力，可以穿越數千公尺岩石到達地下，後面會再提到渺子的應用。

海斯雖然證實宇宙線與太陽

表一：宇宙線的分類與成分

分類法	宇宙線形式	成分
來源	太陽宇宙線	太陽風：電子、質子與磁場組成電漿，粒子能量約在0.1MeV以下；太陽風暴可能含較多的高能量（~MeV）質子
	銀河宇宙線	成分比率會隨能量而變化，以20 GeV以下的宇宙線為最大量，其成分為：質子~86%、氦核13%、其他重原子核<1%、電子<0.1%、 γ 射線<0.01%。
位置	原始宇宙線（大氣層外）	電子、正子、渺子（muon）、微中子（neutrino）等
	次級宇宙線（大氣層內）	電子、正子、渺子（muon）、微中子（neutrino）等

註：能量的單位是電子伏特 eV，相當於 $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ 。一個 GeV 就是 10^9 eV ，或十億電子伏特。



圖三：上半段為太陽黑子數，可以明顯看出約11年的週期性變化，下半段為格陵蘭島上的Thule中子計數器測得的宇宙線數據。兩者明顯有負相關，這是宇宙線受太陽風阻擋的結果。

無關，但地面上長期的監測宇宙線計數，卻發現跟太陽黑子數有相反的變化：黑子數越多時、宇宙線數量較低。這個關聯性直到1960年代進入太空時代才有解答。科學家發現太空竟然充滿輻射性，這就是被地磁場束縛住的電子與質子所形成的范艾倫輻射層。另外也發現太陽風與太陽風暴，這些都是太陽表面噴發出來由電子、質子混雜在磁場所形成電漿。因此把來自地球以外的宇宙線分成太陽宇宙線（solar cosmic ray）與銀河宇宙線（galactic cosmic ray）。1970年代附近，科學家將粒子偵測器放上氣球或衛星，到高空直接測量原始的宇宙線。發現原始銀河宇宙線約為86%的質子、13%的氦核、1%的其他更重的原子

核，電子的比例只有約0.1%。

太陽風往太陽系外吹襲，因此會影響由太陽系往地球進來的銀河宇宙線通量。太陽表面的活動又以黑子數為代表，有著約為11年的週期性變化。太陽活躍期時，黑子數多、太陽風較強，因此宇宙線的通量下降。因此宇宙線的通量也隨著太陽的週期而變化，如圖三所示。

宇宙線物理

宇宙線的偵測分成直接與間接兩種，直接偵測必須以衛星或高空氣球攜帶類似粒子物理實驗的儀器，遠離大氣層的干擾才能偵測原始宇宙線。由於偵測器的體積有限，故只能偵測通量高的低能量事例，能量上限約 10^{14} eV。目前最先進的偵測器是由

丁肇中院士主持的 α 磁譜儀（Alpha Magnetic Spectrometer，簡稱AMS），2011年5月24日登上太空站。短短一年的時間，已經收集到比以往100年所收集到的所有宇宙線還多的數據。相信未來會有更詳實的數據，促使更多的成果出現。

間接偵測的方式是藉著原始宇宙線與大氣作用產生的次級粒子，來反推原始宇宙線的能量與方向。目前最大的能測量極

高能量宇宙線的探測器是皮爾傑傑宇宙線觀測站（Pierre Auger Observatory），位在南美洲，占地3000平方公里，約為台灣面積的1/12！其偵測的能量下限約為 10^{18} eV。粒子物理學家雖有了大強子對撞機（Large Hadron Collider, LHC），其質心能量也只能到約 10^{17} eV，與最高能量的宇宙線 3×10^{20} eV相比，仍是太小。科學家想要探索宇宙更早期的高溫時期的物理，或是超越標準模型的物理，就要更高能量的粒子，粒子物理學家又再跟宇宙線學家合流，合稱為「粒子天文物理」（Particle Astrophysics）或是「天體粒子物理」（Astroparticle Physics）。

直接測量宇宙線可以量出宇宙線的組成元素，成分比例跟太

陽系成分類似，但多了一些高溫星體（O型、B型）的成分，顯示宇宙線的種子應該來自於恆星。但是這些低能量的恆星風粒子如何加速成到這樣高的能量？

綜合許多不同的宇宙線實驗後，宇宙線呈現特殊的冪次律：通量約正比於能量的 $-2.5-3$ 次方，在中間約 3×10^{15} eV及 3×10^{18} eV附近有轉折，在 5×10^{19} eV附近減滅。這種冪次律現象也可以由加速機制而得。目前認為 3×10^{15} eV以下的宇宙線是在超新星爆炸的爆震波上來回加速所造成。天文學家在超新星遺骸附近的爆震波上，觀測到高能電子被加速時所放出的同步輻射X光。因為質子質量重，不易產生同步輻射，故可被反覆加速，依此推估同樣的機制可使質子加速至 10^{15} eV附近。而電子質量輕，容易產生輻射而損失能量，非常不容易被加速到GeV以上。這就是為何宇宙線中電子含量極低的理由。

從 3×10^{15} eV以上，因為間接測量法對成分無法完全確定，只能簡略地分成質子或鐵核。大部分宇宙線學家相信從 3×10^{15} eV到 3×10^{18} eV之間仍然是本銀河系的宇宙線，但對於加速機制仍有疑慮。在 3×10^{18} eV以上的極高能宇宙線，則認為是從銀河外而來的宇宙線，但對於其能量來源或加速機制則仍無共識。

宇宙線的應用

民眾最想知道的問題就是宇宙線有什麼用途？事實上，人類隨時隨地都生活在宇宙線的環境中。在海平面附近，每一平方公分每一分鐘就有約一個次級宇宙線的粒子通過。以一個成年人為例，每秒約有數百個粒子穿越過身體，在此次演講系列中，有幾場也展示宇宙線偵測器，民眾可以了解到隨時都可能出現宇宙線。演講中提到宇宙線是一種「輻射源」，此時就開始引起民眾的「輻射恐慌」了！其實，次級宇宙線的輻射是自然輻射的一部分，台灣每人每年平均受到約2.82毫西佛(mSv)的輻射劑量，自然輻射劑量約為2 mSv，其中來自宇宙線的部分僅佔約0.27mSv，其他是來自地殼的氡氣與放射性礦物，及人體內的放射性鉀(^{40}K)。人造輻射(多為醫療用)約0.82mSv，遠比宇宙線的輻射更多。

地球上的生物早就習慣於這種自然輻射了，否則生物就無法存活下來。但是自然輻射也不全然無害，只是機率極低而已。高空中次級宇宙線的通量大增，因此所有飛航人員及太空人都有嚴格的執勤時間管制，以避免過多的輻射劑量。當太陽風暴到達地球時，太陽風粒子會入侵到南北極區，造成高空的輻射量激增。

因此許多飛越極區的飛機必須採取繞道，遠離極區上空。

自然輻射在生物體內仍有很低的機率會產生傷害，主要的作用是加熱，微量的機率是核反應，或者產生新的基因突變，可能會造成細胞的變化。惡性的變化可能成為癌症，造成生物個體的滅亡，使這種惡性的基因停止；但若非惡性的變化，就會造成新的變種，繁衍出不一樣的下一代。這種演變促進了生物演化、形成複雜多樣的生物圈。因此自然輻射對少數個體可能是壞事，但對族群而言卻是幫助演化的好事。

次級宇宙線中也含有中子，會與氮作用產生放射性同位素碳 ^{14}C ($^1_0\text{n} + ^{14}_7\text{N} \rightarrow ^{14}_6\text{C} + ^1_1\text{H}$)。這些 ^{14}C 在數年內(遠小於 ^{14}C 的半衰期5730年)就被植物吸收，一段時間(相當於半衰期)後就會衰變成一般的 ^{12}C 。樹木的年輪可以精確定出年份，從樹木年輪中的 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比率就可推算出數千年來的宇宙線通量紀錄。反過來，古文物中若含有植物成分，就可以測量其 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比率，而定出年份。這是廣泛應用於考古學與古氣候學的放射性定年術。古氣候學也用另一種 ^{10}Be 做更久的定年， ^{10}Be 也同樣是次級宇宙線作用產生的粒子。

宇宙線中含量最多的是中子，它有很強的穿透力。為了避

免繚子的干擾，許多精密的實驗得設在地下深處。有些科學家就利用這種特性，做一些巨大結構的斷層掃描。例如：路易斯·阿佛雷茲 (Luis W. Alvarez, 1911~1988) 曾在 1965~1969 年間在埃及的卡夫拉 (Chephren) 金字塔進行實驗，以繚子偵測金字塔內是否仍有未發現的密室。類似的實驗最近也在墨西哥的太陽金字塔內進行。另一個新的應用是掃描火山內部的岩漿分佈與熔岩通道，目前在日本與義大利有此實驗，但仍無明確成果。

最新的一種宇宙線跨領域研究是與氣象及氣候的關聯。氣象方面，科學家在雷雨時發現了 X 光與 γ 射線，可能是次級宇宙線在雷雨雲間的強烈電場加速的現象。高能宇宙線會在大氣產生大量的次級帶電粒子，形成一條低電阻的通道，觸發雷雨雲釋放出更多電荷，形成閃電。

氣候方面，主要是研究太陽黑子與氣候的關聯。在西元 1645~1715 連續約 70 年裡，太陽表面幾乎沒有黑子，剛好此時是一個全球冷化的時期，稱為中世紀小冰河期 (Little Ice Age)。這段期間稱為蒙德極小期 (Maunder minimum)。隨後氣溫回升，太陽黑子也是一樣回升了。而最近五十年來的全球暖化趨勢，也剛好遇上本世紀最強的五個太陽週期！

這種「巧合」或者「關聯」是否暗示太陽表面活動 (黑子數為代表) 可能影響地球氣候？小冰河期時，人類尚未大量使用石化燃料，這是一個釐清全球暖化有多少是人造溫室氣體所造成，有多少是太陽變化所造成的關鍵。不過現在學界的觀點猶如政治的兩極化，聯合國設立的政府間氣候變遷委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 堅持人造溫室氣體貢獻超過九成！但許多科學家相信我們對太陽對氣候的關係仍不清楚，無法解釋小冰河期的原因。

部分科學家提出一套 SCRC (Sun-Cosmic Rays-Cloud) 理論：太陽表面活動弱時→黑子數少→宇宙線通量高→次級帶電粒子多→雲的凝結核增加→低層雲增加→反射較多陽光到太空→地球降溫。其中牽涉到許多關聯，只有一個尚無明確證據，就是次級帶電粒子如何促進雲的凝結核！這部分也有一個 Cloud 實驗，以粒子加速器的粒子束做實驗，證實凝結核數確實正比於帶電粒子數。此 SCRC 理論仍待進一步證實，但以 IPCC 為首的氣候學家們仍無法接受這些結果。

結論

一百年前，維克爾·海斯帶著簡單的驗電器登上氣球證實了

地球以外的輻射源：宇宙線。百年來宇宙線學家逐步辨認出宇宙線的成分、能量，也觀察到可能的來源與被加速的地方。宇宙線的研究也衍生出粒子物理、太空天氣等新科學。人類了解到隨時隨地都會出現的宇宙線，影響著地球生物的健康與演化，甚至可能跟氣候有關聯。未來的 21 世紀裡，宇宙線仍將是人類探索遙遠銀河唯一的「外星物質標本」。這些偉大的知識，就是紀念海斯的最佳賀禮。☺

參考資料

1. 天外飛來的輻射活動網站：Cosmicrays.tw 或 宇宙線.tw。
2. 黃明輝，〈宇宙線的世紀探索〉，《臺北星空》第 53 期 16-22 頁，2011 年。
3. 黃明輝，〈天外飛來的輻射序列活動〉，《物理雙月刊》第 34 期 265-268 頁，2012 年。
4. 黃明輝，〈宇宙線的研究與應用〉，《物理雙月刊》第 33 期 271-276 頁，2011 年。
5. 黃明輝，〈極高能宇宙線望遠鏡的發展與近況〉，《臺北星空》第 45 期 6-14 頁，2009 年。
6. 黃明輝，〈太陽宇宙線與氣候的關聯〉，《物理雙月刊》第 31 期 516-528 頁，2009 年。

黃明輝：任教聯合大學能源工程系及通識教育中心

附件四：學習單（三）

科普文章閱讀學習單

姓名：

科學月刊 NO. 516 黃明輝 天外飛來的輻射 P. 930-P. 934

1. 能說出宇宙線的組成。(20分)
2. 能說明宇宙線與太陽黑子的關係和影響機制。(20分)
3. 能說出宇宙線如何應用？(請就定年、考古、地質、氣象和氣候等方面分述) (30分)
4. 能提出本篇文章給我的心得？(有創意最好) (30分)

研究報告寫作技巧

台北市立建國高級中學 李文禮

壹、研究報告包含內容

1. 題目
2. 摘要
3. 關鍵字
4. 研究動機(目的)
5. 文獻回顧(探討)
6. 研究過程(方法)
7. 理論分析
8. 實驗設計(數據分析、模型製作、數值模擬)
9. 討論
10. 結論
11. 附錄(致謝)
12. 參考文獻

1. 題目：

題目的訂定非常重要，好的題目可以引起讀者的注意，有興趣來閱讀你的研究報告。而題目的訂定必須貼切、兼具新鮮感和創意且能切實反映研究報告內容。題目名稱不宜過長，但要能掌握主題，尤其應包含研究主題的關鍵字，以利於電腦查詢。

2. 摘要：

摘要等於是整篇研究報告的縮影，希望讀者閱讀完摘要，對於整篇研究報告有一個清晰概括的輪廓，才知道這篇研究報告適不適合他，因此摘要的撰寫必須提綱契領，內容必須清楚而且不能太過冗長，亦應說理清晰、文字簡潔。

3. 關鍵字：

關鍵字通常是指這篇研究報告主要牽涉到哪些知識，通常都是放在摘要與研究動機之間，而所列出的關鍵字不要太多，最好是3-4個，盡量不要超過5個字詞。研究報告的關鍵字應出現在摘要之內。

4. 研究動機(目的)：

只要讀完一篇研究報告的摘要、研究動機與結論就可以清楚知道這篇研究報告在做什麼。研究動機的內容除說明動機，同時點出所要探討的問題為何，以及解決這個問題的重要性。注意：一篇研究報告通常只有一個問題，也以解決此問題為原則，最好不要同時出現兩個或更多的問題。

5. 文獻回顧(探討)：

這個部分最主要就是回顧一些相關的研究方法，同時提出比較對象。本節要能將別人的方法作簡短的介紹，讓讀者有更多的了解，以便稍後與我們的方法做比較。這個部分我們不需要把別人的內容整個移植，只要擷取重點介紹即可。

6. 研究過程(方法)：

研究過程就是將自己所提出的方法呈現出來，是整篇研究報告的核心，在全文長度的比例上，是最主要的部份，不宜過短，至少要佔1/4。

7. 理論分析：

利用相關的理論來做分析比較，除了以理論基礎來證明我們所提出的方法具有正確性、適當性與可行性外，我們還可以藉此與其他的方法做比較，同時證明我們的方法優於其他方法。

8. 實驗設計(數據分析、模型製作、數值模擬)：

利用實驗數據(模型、模擬)來證明理論分析的正確性與優越性，也可在理論分析不夠強而有力的情形下，佐以實驗數據來加以證明。然而實驗數據必須客觀，如果能多與一些有名的實驗數據比較則效果更好，而且實驗數據不能太少，否則便失去其客觀性，數據越多，則別人越能夠接受我們所提出的方法。千萬不能偽造數據，這是科學嚴重的禁忌。

9. 討論：

針對前面的研究方法、理論分析與實驗，本節可以討論一些所觀察到的現象或者提出心得與看法，也可加入一些批判的意見。討論內容必須客觀，不可偏頗或者故意隱瞞事實，更不可誇大其詞，有幾分證據就講幾分話。

10. 結論：

結論是把研究報告的內容做個總結，要簡潔有力，最好以條列式呈現。結論應包含研究成果的具體說明、提出方法的優劣評論、未來研究的指引等。將摘要與結論並列比較，內容應有所互補，避免雷同重複，並進行文辭的修飾。

11. 附錄(致謝)：

這部分通常是一些在研究報告中提到的定理證明、圖表或重要數據，而這部分亦可直接置於文中適當之處，不用在附錄中出現，通常是定理證明過程太長，或者圖表太大、太多，才將其移至附錄中。若欲感謝某人或某團體時也可利用此處寫上致謝。

12. 參考文獻：(1)

列出的參考文獻一定是研究報告中提及的，研究報告中沒有提到的絕對不能出現在此，而所列出的參考文獻必須完整，以便讀者能很容易的找到他想參考的文獻。參考文獻的寫法有許多種，通常只要選擇某一種常見的規格來模仿便可，如IEEE的格式；

12. 參考文獻：(2)

列舉時，可以(姓，年代)或參考文獻編號列舉，被列舉的文獻必須位置正確；若參考的方法在許多文獻都出現過，選擇最有名的那一篇為列舉的參考文獻，參考文獻中盡量不要列舉本地的會議論文或非英文書寫的文章，一般而言，這類型的論文國際化的程度或公信力較低，不僅讀者未來根據文獻所列去查資料困難，而且整篇研究報告的水平也會降低。

12. 參考文獻：(3)

一般，中文部分的參考文獻置於前，作者依姓氏筆劃排列。

(1)如引用期刊時：

陳麗明(姓名)，小論文寫作指導與圖書館利用教育(篇名)，高中圖書館季刊(刊名)，第22期，民87年3月(年代)，頁78~83(頁碼)。

(2)如引用圖書時：

鄭恆雄、林呈潢、嚴鼎忠編著，參考服務與參考資料(書名)，台北縣蘆洲鄉：空大，民85。

12. 參考文獻：(4)

而英文部分的參考文獻置於後，文獻之title除第一個字母與專有名詞(如PWM)大寫外，均以小寫為之，作者並依英文字母排列。

Fillmore, Charles J. 1968. The case for case. Universals in linguistic theory, ed. by Emmon Bach and Robert Harms, 1-88. New York: Holt, Rinehart and Winston.

貳、選擇研究題目

選擇題目是影響研究報告成敗的關鍵，我們可以擬定適當的小題而大作，大致上可以從以下幾方面著手：

貳、選擇研究題目：

1.先擬定一個對自己有濃厚的興趣的題目，因為作者瀏覽群書、蒐集資料、整理分析，到撰寫研究報告，都非常辛苦，樣樣都需要興趣配合。

貳、選擇研究題目：

2.儘量縮小題目的研究範圍，許多人喜歡從大題著手，但閱讀一些前人的文獻之後，會發現資料太多，問題不簡單，最後才會選定某一個問題的某一層面、某研究的觀點或方法，以逐步縮小題目範圍。

貳、選擇研究題目：

3.探討已往的相關文獻時，不妨多問：「這個問題有無再加研究的必要？有無重新研究的可能？這個問題的知識，是否仍有缺陷，尚待補充？我們若拿來再作的時候，又有多大的益處？前人研究的理論、方法、過程是否能加以修正、充實、擴充、甚至取代？」所擬定一般性的題目也隨之縮小成特殊性的題目，一直到找到合適的研究題目為止。

貳、選擇研究題目：

4.提出假設，就是對所研究的問題提供可能有創意的答案，所謂「答案」應包含作者需要證明的觀點和意見，以供後人從事後續研究之參考，以便測定該假設是否合理健全。一篇有價值的研究報告，並非拾人牙慧，僅是綜合已往的相關文獻作摘要式的概述，而無創新及創意。

貳、選擇研究題目：

5.想辦法找出一個客觀、且能以統計數字回答的問題較好。也可以翻閱歷年出版的碩博士論文，或期刊文章，如果文中有「建議作進一步研究」等字句，則可考慮作為研究主題。

貳、選擇研究題目：

6.研究生應每週定期與指導教師見面，每次見面前均應準備充分，例如，完成哪些工作？是否符合進度？會面後並應e-mail簡短的摘要給指導教授，其實這也是研究過程中很好的記錄。

參、注意事項：

1.圖表的描述必須前後一致，如以” Fig. 1”來描述圖一時，便不能在描述圖二時變成”Figure 2”或”圖二”。此外，描述圖表的文句不能有句點。圖說文字一定要放在圖的下方，而描述一個表的句子則一定要放在表的上方，通常圖號後應加空格。

參、注意事項：

2.若作者不只一位時，在作者名字的排列上通常以對研究報告的貢獻度來排列，最有貢獻的排在第一位，第二有貢獻的排在第二位，依此類推，而通常是以想出idea的人放在第一位。

參、注意事項：

3.研究報告最基本的要求就是文句通順，此外切忌文法錯誤，而且用字要正確，句子越簡單越好，”Simple is Good”就是寫研究報告的一種藝術。

參、注意事項：

4.注意標題的編號與格式應符合投稿論文的規定，如I、II、III；A、B、C；或一、二、三。

標題不可出現在一頁的最後一行。

更應注意投稿的截止時間及其他相關事項。

參、注意事項：

5.不可出現拼字的錯誤，學生常會使用中文注音輸入法，尤應注意避免音同字不同的錯誤。簡單的基本英文法可應用Words的文法檢查。

參、注意事項：

6.報告中所用到的符號必須大小一致，上下標必須清楚，而且儘可能要有意義或是通用者，比如說：Efficiency就是效率的意思，因此可以用E來代表效率，比用A來代表效率要好。我們希望讀者一看就可猜出這些符號所代表的意義。必須注意，文章中出現的每一個符號最好都要事先定義。

參、注意事項：

7. 研究報告內容要有一定的廣度與深度，方法步驟必須交代清楚，最好能夠引經據典，盡量從多方的看法來做論述，而不要只針對某一點就妄下斷語。

參、注意事項：

8. 寫研究報告最忌抄襲，別人文章裡的句子一句都不能抄，但可用自己的話改寫，若一定要把別人的句子原封不動的搬來，則要把別人的文章列入參考文獻，同時標明出處。即使是自己以前被某家期刊雜誌接受後的文章，同樣不能抄襲，亦應註明出處。

參、注意事項：

9. 寫好研究報告，方法無它，就是要多寫，多寫才能熟練寫作技巧，並且才能累積許多寫研究報告的經驗，等經驗豐富了之後，寫的文句自然順暢，所要表達的內容將更能達意。

參、注意事項：

10. 撰寫報告要能打鐵趁熱，因為在兩個不同時候的用字遣詞是會有差異的，所以要儘可能短時間內把它寫完、一氣呵成。之後則要多閱讀幾遍，並請他人校稿指教。

參、注意事項：

11. 剛開始寫文章時可以抓住一個固定的學習對象，學習他寫文章的風格，有了模仿的對象後就知道該如何下手，熟能生巧後，就能衍化出自己的寫作風格。

肆、蒐集資料途徑：

1. 向各行各業的學者專家請教，千萬不能閉門造車。
2. 整理訪問、通訊、實驗、測量或統計與問卷所得來的資料。
3. 閱讀期刊、專業網站及數值資料庫(如 NASA、NOAA、USGS等)、百科全書、全國博碩士論文摘要檢索系統 (<http://datas.ncl.edu.tw>)、參考書目等。

伍、結語：

從事科學研究是很辛苦和漫長的一件苦差事，除了創意、天賦及基礎科學能力外，更要肯下苦功。發現可疑之處，能發掘問題、蒐集資料、比較鑑定、知所取捨等，都是做研究的基本功夫。

研究報告的撰寫，要能格式完整、論證嚴謹及旁徵博引，以突顯本研究的價值和學術地位。

陸、重要研究報告競賽時程

- 3月 校內科展
- 5月 北市科展
- 5月 旺宏科學獎
- 7月 全國科展
- 11月 國際科學展覽活動報名 台灣科教館
- 11月 北市中學生科學研究獎助

柒、參考網站：

http://www.ad.ntust.edu.tw/grad/code/thesis_research/mo.htm “談如何旁徵博引、小題大作從事研究論文之寫作” 政大 莫建清

<http://pemclab.cn.nctu.edu.tw/W3publis/format/writing.htm> “投稿論文寫作步驟與要點” 鄒應嶼

<http://www.cs.ccu.edu.tw/~ccc/article/TecWrite.htm> “撰寫科技研究論文之要領” 國立中正大學資訊工程研究所教授 張真誠 逢甲大學資訊工程研究所 張鎮驛

附件六：活動照片

