

## 黑滴效應—論證與問題解決的個案研究

林明良<sup>1</sup> 蘇明俊<sup>2</sup> 江新合<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 高雄市左營高中

<sup>1</sup> 樹德科技大學 休閒事業管理系

<sup>1</sup> 國立高雄師範大學 科學教育研究所

(投稿日期：民國 97 年 10 月 20 日，修訂日期：98 年 06 月 12 日，接受日期：98 年 07 月 01 日)

**摘要：**本研究主要在藉由高中學生進行「黑滴效應成因」的專題探究個案，來呈現論證與問題解決的歷程，以作為教師指導專題探究的參考。專題探究小組由二位指導老師與二位高一男生組成，一年後一位學生應家長要求退出。在問題解決的過程中，教師時常運用腦力激盪的策略，以發散思考與收斂思考來引導學生。在解題的策略上則採用登山法，將「為什麼會產生黑滴效應」的問題，分解成「甚麼變因會影響黑滴效應」和「如何影響黑滴效應」，然後以歸納法進行探究活動，再以假設演繹來論證，找出黑滴效應的成因。這個案顯示 why 改成 what 和 how 是成功解題的關鍵。

**關鍵詞：**問題解決、開放式科學探究、黑滴效應、論證

### 壹、前言

現代的科學教育強調培養學生的科學探究能力，教育部(2003a)在《國民中小學九年一貫課程綱要》中，「自然與生活科技學習領域」的「基本理念」就明確指出學生學習科學的目的就是要「學會如何去進行探究活動：學會觀察、詢問、規劃、實驗、歸納、研判，也培養出批判、創造等各種能力。特別是以實驗或實地觀察的方式去進行學習，使我們獲得處理事務、解決問題的能力。」

在「分項能力指標」的前言中，則更進一步要求學生「由於經常依照科學方法從事探討與論證，養成了科學的思考習慣和運用科學知識與技能以解決問題的能力。」這些理念更藉由《中小學一貫課程體系參考指引》的訂定(教育部，2006)延續到後期中等教育。由此可見，我國的科學教育要求學生學會探究，不只是學會傳統的科學過程技能，更要學會論證與問題解決。

至於如何培養科學探究能力，美國《國家科學教育標準(NSES)》(NRC, 1996)則倡導

應該以探究式教學來進行，並特別強調現代和過去的探究式教學觀點的不同：現代的觀點更強調科學探究教學是「調查和分析科學問題的活動」，而不只是「演示和證明科學內容的活動」；是「作為論證和解釋的科學」，而不只是「作為探究和實驗的科學」；是「將想法和結論與同學公開溝通」，而不只是「學生只將想法和結論告訴教師」。換句話說，傳統的科學過程技能已經不再是探究教學的核心，現在的核心應該是論證與問題解決。

然而在實際的教學中，論證與問題解決並未受到重視。教育部(2003b)在2002年召開全國第一次科學教育會議，其第一議題「科學教育目標、現況與前瞻」的會議資料中，分析我國中小學科學教育的現況，即指出目前中小學自然科課本或教材的實驗部分，往往是器材、藥品及實驗步驟一應俱全，而學生只要如食譜般去遵照步驟「驗證」結果，這是驗證性的探究(Rezba, Auldrige, & Rhea, 1999)。學生在這樣的探究中，缺乏論證與問題解決能力的訓練。

即使在進行專題研究或科學展覽活動等較開放性的探究中，教師也常忽略論證的過程，教師通常指導學生依據「主題擬定、問題形成、方法設定、資料蒐集、結果整理、與產生結論」的流程來進行探究(例如熊召弟、張政義、吳思茜，2002；鄭登耀，2005)，這樣的流程雖然與科學論文的格式吻合，但是並不是在科學實驗室中發生的實際情形，科學家的探究絕對不像論文所呈現的那般單純，也不像前述流程那般順暢。

其實，科學論證才是科學活動的最核心(Norton-Meier, Hand, Hockenberry & Wise, 2008)。Norton-Meier等人就指出：科學家在提出問題後，會作出主張(Claim)，提供證據，和其他人辯論，與同領域的其他科學家的答案作比較，並且嘗試從發現的結果中尋

找模式(pattern)，當完成論證過程，科學家才開始撰寫報告準備出版。

如果學生的專題探究是沒有已知步驟、也沒有已知結果的探究活動，那麼學生應該會面臨與科學家相同的境遇，必須為自己的主張提供證據進行論證，尤其是當實驗結果與已知理論不同時，或是對實驗結果有不同的解釋時，正是培養學生論證能力的好時機。但是有些科學展覽的指導老師就表示「做出來的實驗和書本或網路寫的訊息不一樣，這個是很大的困擾呢，因為學生也會跑來問你。實驗做出來，和別人寫的不一樣怎麼辦？」(陳榮祥，2007：172)。由此可見，如果有一個論證與問題解決的案例可供參考，對學生或指導老師都會有所助益。

本研究就在藉由一位高中生對天文現象—黑滴效應(Black Drop Effect)的成因研究，來分析這個開放性探究中所呈現的論證與問題解決的歷程，以作為教師指導專題探究，或進行論證與問題解決的探究教學之參考。

## 貳、文獻探討

下面分別就「論證」與「問題解決」、及「黑滴效應」進行文獻探討，以作為個案分析的基礎。

### 一、論證(argumentation)

科學論證是運用證據資料(data)、佐以理由憑據(warrants)以及背書論點(backings)來說服別人相信某個主張(claim)為真的過程(Lawson, 2003; Toulmin, 2003)。Toulmin(2003)將這個過程畫成如圖 1 的架構。

Toulmin 論證的構成要素說明如下：

(一)主張(claim)：

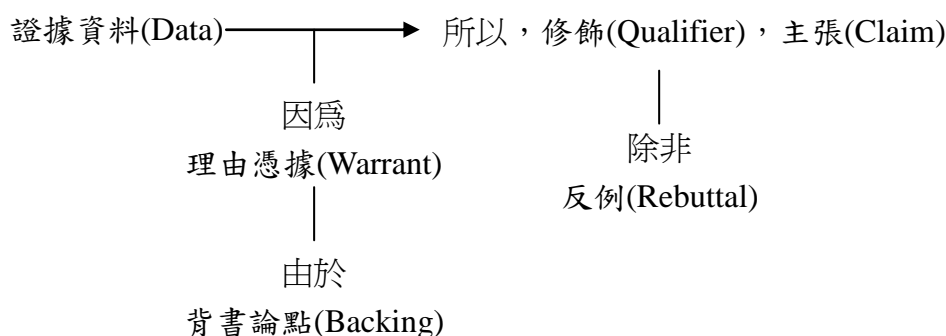


圖 1：論證架構(Toulmin, 2003: 97)

科學家希望建立的「正確」結論，這是科學論證的核心。

#### (二)證據資料(data)：

科學家蒐集到的事實，這是據以提出主張的基礎。

#### (三)理由憑據(warrant)：

規則、原理、或推論的依據，這是論證的「彈藥」，用來展現從證據資料到形成主張的合理性。

#### (四)背書論點(backing)：

保證理由憑據事實上有效的陳述，用來替理由憑證背書，賦予威信。

#### (五)修飾(qualifier)：

用來表示理由憑據的效力，作為主張的限制，用來避免主張被例外情形所推翻。

#### (六)反例(Rebuttal)：

指出理由憑據不適用的例外情況。

不過 Lawson(2003)認為目前的科學論證觀與 Toulmin 的有一點差異，Toulmin 的論證著重在說服別人，而現在的觀點則強調論證在測試不同假說的過程，換句話說，論證的初始目的是在分辨兩個或兩個以上的不同解釋(主張)，何者「正確」？而何者「不正確」？這種觀點下，主張就不一定是正確的，主張只是暫時性的解釋，它只是有可能是對的，因此必須從這個主張產生許多預測，然後蒐

集更多證據來測試這個主張，而反例就不再只是確保主張的正確性，反例也可以測試主張，一旦通過測試達成結論，就必須再度投入論證來說服別人。

本研究的個案探究過程與現在的科學論證觀點類似，因此將採這個觀點來進行分析，不過不管是 Toulmin 或 Lawson 所說的觀點，論證均包含證據與主張，以及從證據到主張的推論過程。

## 二、問題解決(problem solving)

一個問題至少具有三個要素(Ormrod, 1990)：已知(givens)、目標(goal)、及運作(operations)。而問題解決就是從已知的片段資料，經過一連串運作或行動，而達到(或趨近)目標的過程。心理學家以問題解決環(problem solving cycle)來描述問題解決的過程，包含下列階段(Pretz, Naples, & Sternberg, 2003)：

- (一)確認問題。
- (二)在心智上定義並表述問題。
- (三)發展解題策略。
- (四)組織與問題相關的知識。
- (五)分配心智和物質資源來解決問題。
- (六)監控朝向目標的進展。

### (七)評鑑解答的準確性。

這七個步驟沒有固定的順序，只是一個解題循環的要素，解決一個小問題就是完成一個循環，會引發另一個問題而又開始另一個解題循環，幾個循環後可能才解決原先設定的問題，達成所要的目標。

上述的問題解決循環描述的是一個解題的歷程，而問題要能真正解決，則在每一階段都要能有一些點子(ideas)。點子的來源來自解題者的創造力，因此 Osborn(1953)和 Parnes(1967)將創造性思考的技巧運用於問題解決，而發展出創造性問題解決 CPS(Creative Problem Solving)模式，其特點在問題解決的每一階段均先以發散思考尋找所有可能的答案，然後再以收斂性思考(convergent thinking)決定一個最佳答案。

CPS 模式被提出後，就一直根據實作的經驗不斷修正，1987年版的 CPS 模式分成三要素六階段，1992年因應實際解題的非線性特性，而提出非線性 CPS 模式(湯偉君、邱美虹，1999)。Isaksen, Dorval, & Treffinger(2000)後來將原來的三要素六階段

歸為主要過程要素及具體階段，又增加一個管理要素，用來控管解題的進行。2000年版的 CPS 模式(見圖 2)說明如下(Isaksen et al., 2000)：

#### (一)過程要素一，了解挑戰(Understanding the Challenge)

本要素在確定是否工作在正確的目標、挑戰、或機會上，亦即是否問對問題，問題的陳述方式是否有助於發現建設性答案。本要素包含三個階段：

- 建構機會(constructing opportunities)：確立一個廣泛的目標、挑戰或機會。
- 探索資料(exploring data)：對工作做多方面的探索，再決定哪一方面應該是主要的努力焦點。
- 確立問題(framing problem)：產生許多可能的問題陳述，然後選擇或建構一個明確的問題陳述以供使用。

#### (二)過程要素二，激發點子(generating ideas)

如果已經有了清楚的方向並且有了作為目標的問題陳述，接下來就需要激發許多可能成為解決方案的點子。本要素只有一個階

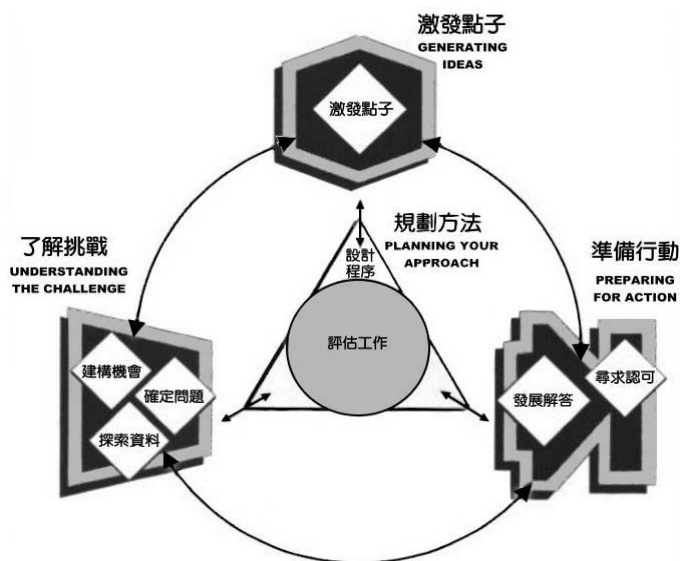


圖 2：創造性問題解決模式(Isaksen, Dorval, & Treffinger, 2000)

段：

- 激發點子(generating ideas)：產生許多新的、不尋常的、各式各樣的點子來回應選定的問題，然後鑑別出最有希望可能導致答案的一些想法。

### (三)過程要素三，準備行動(preparing for action)

如果已經有了一些新的、有希望的選項，再來可能需要進行分析、淬煉、或發展，而使他們成為有用的解決方案和明確的行動步驟。本要素包含二個階段：

- 發展解答(developing solution)：仔細檢查最有希望的可能選項，並且開始修飾使其成為具有潛力的解答。
- 尋求認可(building acceptance)：對所有具潛力的解答進行探索，並且尋求支持的資源以及克服阻力的方法，以增加成功履行的機會。然後發展明確的行動計劃，以監控解題行動，必要時修正行動。

### (四)管理要素，規劃方法(planning your approach)

本要素用來控管上述三個過程要素，包含二個階段：

- 評估工作(appraising tasks)：確定某一工作是否適合運用 CPS。
- 設計程序(designing process)：決定應用 CPS 過程要素、階段的最有效方法。

本研究的個案是一個開放性探究，指導教師以發散性思考和收斂性思考來指導學生進行問題解決，這點與 CPS 模式的特點吻合，因此將採用 CPS 模式來對個案的解題策略進行分析與比較。

## 三、黑滴效應(black drop effect)

當內行星(水星和金星)從地球和太陽之間通過時，從地球上可以看到黑色的行星圓

盤越過太陽表面的現象，這個現象稱為「凌日(transit)」。

當內行星凌日而與太陽邊緣內切時，有短暫時間看來像水滴狀相連的現象，稱為「黑滴效應 (black-drop effect)」。黑滴效應出現在行星與太陽的第二次及第三次接觸時，也就是剛完全進入，或正要退出太陽盤面瞬間，這個現象造成精確測量凌日時間的困擾，也引起 240 年來科學家的好奇(Mayo, 2004; Dick, 2004)。圖 3 是歷史上觀測到的黑滴效應，圖 4 是 2004 年金星凌日時拍攝照片出現的黑滴效應。

黑滴效應的成因在網路上可以查到許多不同的解釋(如，林省文, 2005; Bueter, n.d.; Dick, 2004; Pasachoff, Schneider, & Golub, 2004; Schneider, Pasachoff & Golub, 2004; Shiga, 2004)，這些解釋所運用的背景知識均在高中物理的範疇，因此這個問題是讓高中學生學習解決真實問題，並以論證作理論選擇的好題材。正好可以達成教育部 (2008) 訂定的高中基礎物理課程目標之一：「藉由師生互動與實驗活動，養成學生良好的科學態度，使其熟悉科學方法，提升學生縝密思考、探索真理及解決問題的能力。」

## 參、研究方法

本研究採用質性詮釋，研究的個案是高中生的開放性專題探究，探究的內容是以一連串的實驗與論證來尋求「內行星凌日時黑滴現象產生原因」的最佳解釋。

### 一、研究期間

本研究的研究期間與學生的探究活動（為了與本研究區別，本文中學生的研究均以探究稱之）期間重疊，從 2004 年 10 月到

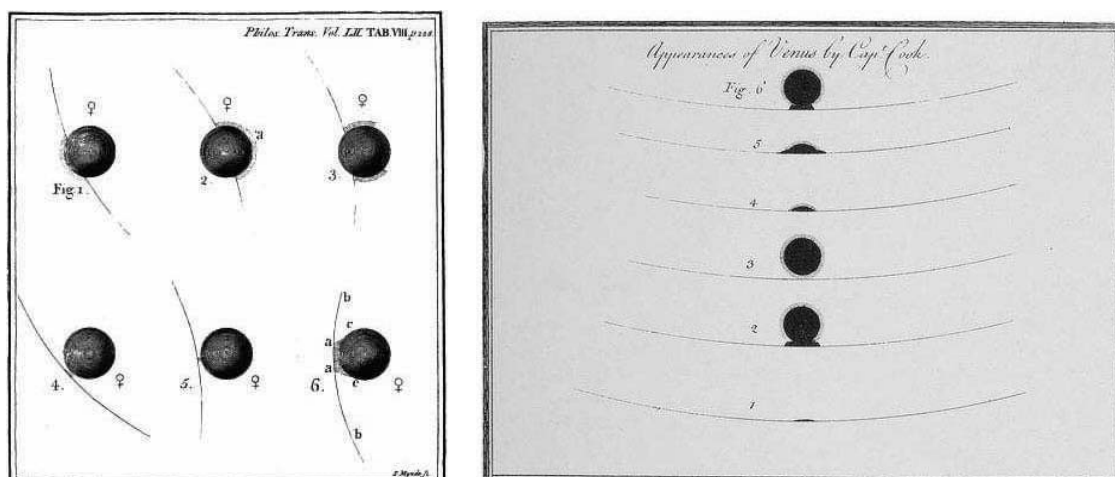


圖 3：歷史上觀測到的黑滴效應 (取自 Pasachoff, Schneider, & Golub, 2004)

左圖: Johann Doppelmayr (1742) 書上記錄的 1761 年金星凌日

右圖: James Cook 觀測到的 1769 年金星凌日 (Cook & Green, 1771)

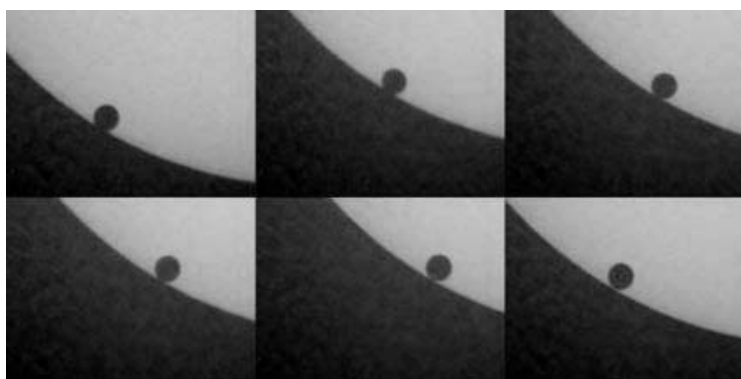


圖 4：2004 年 6 月 8 日的金星凌日拍攝到的黑滴效應 (取自 Shiga, 2004)

Joseph Tey 在新加坡拍攝的系列照片

2006 年 10 月，也就是個案學生的高一上學期到高三的上學期。

## 二、研究對象

研究對象是由二位高中男生 S1 與 S2、及兩位指導老師 T1 老師及 T2 老師組成的探究小組 (S1 與 S2 在本文中以小成與小驊為化名)。

小成在高一時加入學校專題研究社，對地球科學及自然科很有興趣，主動找老師作

專題探究，高二時成為社長。專題研究社的目的在提供學生專題探究的環境，上學期利用社團活動時間培養學生進行專題探究的基本科學過程技能，下學期則提供學生上台分享研究成果並接受質詢的機會。

小驊是小成找來的研究夥伴，擅長數學，高一升高二的暑假起，因家長要求而退出探究小組。

T2 老師是 S1 的地球科學老師，因為學生的探究專題是有關天文的現象，因此找物理老師 T1 老師共同指導，T1 老師表示「我

們常常兩人一起共同指導，這樣一方面可以專長互補，也可以相互討論，另一方面可以分攤指導工作與時間，減輕負擔」。因為 T1 老師兼行政，工作繁忙，而 T2 老師的辦公室就在實驗室旁邊，所以 T1 老師負責控管專題探究的進行，T2 老師則負責實驗室的使用及器材的借用事宜，而實驗的進展則由學生隨時向兩位老師報告，兩位老師會視需要不定期與學生一起開討論會。

### 三、資料蒐集與分析

為呈現真實的情形，資料的蒐集在自然的情境中進行，除了晤談外沒有特別的實驗設計。蒐集的資料包括：學生二年來的研究筆記、不同版本的研究報告、學生的實驗照片、學生及教師的開會及晤談紀錄、研究者的觀察筆記與短敘文(vignette)。

資料將以 Toulmin 論證模式及 CPS 模式來進行探究過程中的論證與解題歷程分析。結果則以「故事」方式，循著專題探究的時間發展來呈現主要的事件。

## 肆、個案分析

### 序曲

2004 年 6 月 8 日大清早，太陽一如以往爬上山頭，5 點 11 分，一個罕見的天文現象正在太陽盤面悄悄上演。雖然有些學校舉辦了觀測活動，報紙上也有斗大的報導，上次看到這個現象是在 1882 年，錯過這次，就要等到 2012 年，再錯過，就此生無緣了，因為在下次就是 2117 年。然而對剛考過第一次基本學力測驗，正在忙著申請學校及準備第二次基測的考生而言，就如小成，雖然對自然科學滿懷興趣，但是不管報紙標題如何聳動，「金星

凌日」只不過是四個中文字，並未在其心中激起任何漣漪。

直到高一的社團活動，老師介紹了 6 月 8 日的金星凌日，並預告了 2006 年 11 月 9 日的水星凌日。小成終於意識到金星凌日的現象，上網查到一篇科學人雜誌在 2004 年 6 月號的報導(傅宗政譯, Dick 著, 2004)。引起小成注意的不是金星凌日的罕見性，而是奇怪的黑滴效應。畢竟凌日的發生日期可以精確計算，但是黑滴效應的成因卻是眾說紛紜。

小成拜訪了住家附近一位業餘的狂熱天文觀測者 T 先生，他的家裡就蓋有一座觀測圓頂。雖然問題未能獲得解答，卻獲贈 T 先生所拍攝的 2004 年金星凌日的系列照片檔案。T 先生鼓勵小成繼續探究，也答應指導及協助他拍攝 2006 年的水星凌日。

小成檢查了照片檔案，在 5:27:54"時出現不是很明顯的黑滴效應，而 5:29:54"時就沒有了，這不像網路上有些照片那樣，黑滴效應非常明顯。而且小成也發現：黑色的金星圓盤外，似乎有一圈亮圈。

黑滴似乎越來越難以捉摸，疑問也不斷地從小成心底升起。

### 一、問題的發生

個案學生小成目前處在 CPS 模式的了解挑戰要素，他已經完成了建構機會階段，確立了想研究內行星凌日的大目標，並且已進行了初步探索資料階段，分析了金星凌日可以研究的部分，有：凌日的周期、黑滴成因、黑色行星圓盤外的亮圈等。

評估資料的結果認為凌日周期已經有明確的解答，除非能提出新的預測法，否則不是有創意的問題。有關行星圓盤外的亮圈，

可能也是值得探究的題目，不過能蒐集到的資料不多，不像黑滴成因有許多資料，也有許多不同的解釋，而這些解釋大部分都在高中物理的範圍內，應該有能力去解決問題。

小成決定要探究「為什麼會有黑滴效應？」，並且找來同學小驊與兩位指導老師共同組成探究小組。

## 二、準備探究

指導老師要求學生繼續上網及從圖書館蒐集相關資料，為進行探究作準備，並進一步要求學生事先閱讀物理課本的光學部分，且在社團中學習科學過程技能，如控制變

因、設計實驗、處理數據、數據作圖、解釋數據等，以及以 Excel 作數據處理及作數據圖的技能。這一部分可說是奠定解題基礎，主要在提升學生解決問題所需的背景知識，與進行科學實驗的必要技能，以提升解題成功的機會。

CPS 模式中探索資料所指的資料，其來源如圖 5 所示，包含來自學習累積而來的資訊與知識，來自信念或過去經驗的印象，來自心理反應的感覺，以及仍無肯定答案的問題(Isaksen et al.,2000)。根據 CPS 的觀點，指導老師的要求是在豐富學生的知識庫，學生目前仍處在了解挑戰的探索資料階段。

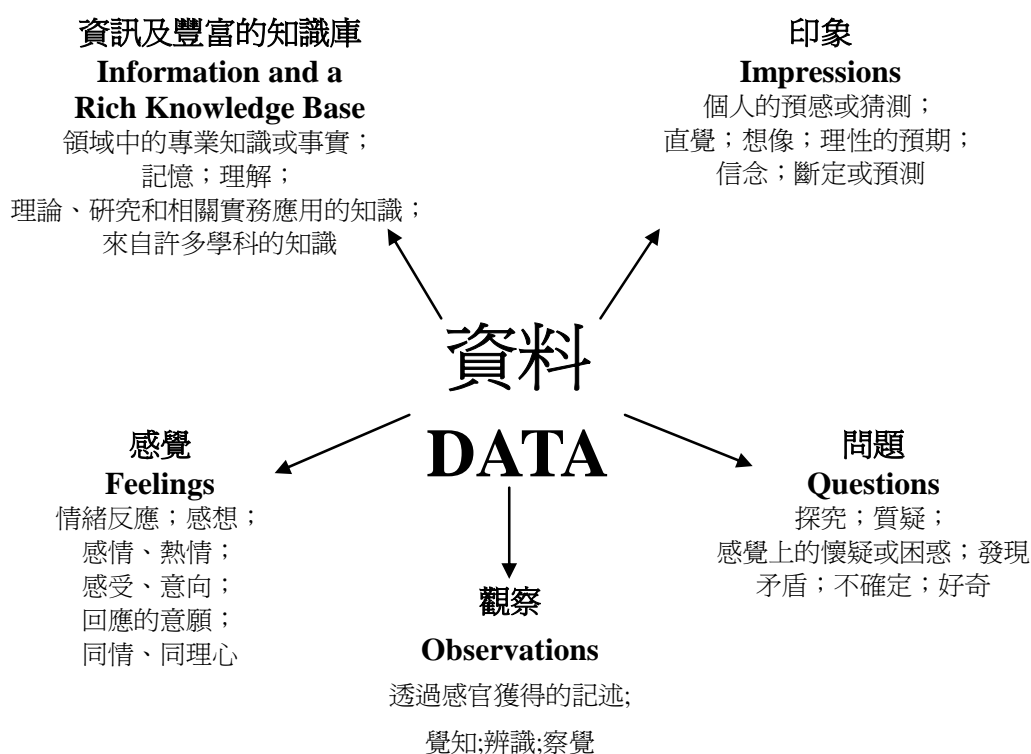


圖 5：資料的來源(根據 Isaksen et al., 2000)



### 混沌

時間在上學、上課、考試、下學的規律生活中，悄悄地流逝了。突然接到設備組辦理校內科學展覽競賽活動的通知，專題研究社的指導老師也宣布了，12月底必須提出實驗計畫，而現在已經十一月了，又要月考了。

小成與小驊之前閱讀蒐集到的資料，覺得每個說法似乎都很有道理，有些部分則看不懂，例如《科學人》那篇文章中提到「光學暈抹」，就不知道是在說甚麼，問老師，老師也說不知道，老師答應查一下原文再說。

至於如何進行實驗，要從哪裡著手？實在沒甚麼概念！一切茫無頭緒，只知道應該要能模擬出黑滴效應，否則就只能等到2006年11月9日的早上了！但是，是否能模擬出黑滴效應，要如何模擬，其實也沒甚麼把握，一切都在混沌中，模擬黑滴效應的想法，應該是混亂中一條可以把握的線索！當然，老師應該是那隻牽引走出迷宮的手。

小成與小驊跟兩位指導老師約好，在月考後的下午，討論有關專題探究的問題，地點就在地科實驗室。

### 三、確立問題

爲了確立問題，指導老師費了一番工夫進行引導，老師問學生如何回答「爲什麼」的問題。

T2：誰負責做實驗日誌？

S1：我。

T1：如果有人問你爲什麼，要怎麼回答？

S1,S2：(沒說話)

T2：老師的意思是說，你要怎樣回答...譬如說，爲什麼會產生黑滴效應？不是要你們說出真正的原因，而是要用甚麼方式來回答這個問題？

T1：爲什麼考試考不好？

S1：因為沒好好讀書。

S2：或沒有學會。

T1：你們在解釋爲什麼，也就是說，用解釋來回答爲什麼的問題。

S1：那我們也應該用解釋來回答爲什麼產生黑滴效應囉。

S2：那怎麼解釋？

T2：解釋是說，因為怎樣就怎樣。

T1：前一個怎樣，其實是一個變因，一個操縱變因，你們在專題研究課學過了。

S1：那後一個怎樣就是待測變因了。

S2：前一個是自變項，後一個是依變項。

T2：對！所以我們不要問爲什麼，我們要問...

S1：甚麼變因影響黑滴效應。

T1：對！所以研究題目可以先改成...

S1：影響黑滴效應的變因有哪些？

S2：然後，我們再看這些變因和黑滴效應的關係！

指導老師認爲要回答爲什麼的問題很難，所以問問題不要問 why，而要問 what，也就是不要問「爲什麼怎樣」，而是問「影響甚麼的變因有哪些」。

學生目前進入了CPS模式的確立問題階段。在這個階段指導老師運用「登山法(hill climbing)」問題解決策略，既然沒辦法直接解決問題，那就先設定目前可以做到的目的地，一步步朝目標前進(Ormrod, 1990)。

指導老師並未將過渡目標直接告訴學生，其實連後來的尋找變因、實驗設計、實驗裝置都是討論出來的，因為兩位老師相信引導學生自己去找出來才是學生自己的東西。

R(研究者)：為什麼不直接告訴學生，把題目直接從 why 改成 what 就好了!

T1：因為直接告訴他，時間久了，他會忘掉我告訴他甚麼；引導他說出來，時間久了，他會忘記我說的(部分)，只記得自己說的(部分)。

T2：我答應指導他們做科展，是希望他們能學到一些東西，而不只是聽老師的指示作一些實驗。小成是我導師班的學生，我覺得他是一個可以栽培的學生。

T1：我們都是在學生開始真正做實驗前，開個一、兩次會，等學生確實知道自己該做什麼後，就讓他們自己去做，之後如果發生甚麼問題，他們會來問，那時再來討論。我覺得這樣做，學生真的學到很多東西，所以在科展評審時，教授會發現學生對實驗很投入，對作品非常深入，那是真的，因為實驗就是他們的，不是老師的。

爲了確定指導老師的想法，研究者在二年後問了學生一個問題。

R：實驗步驟都是老師說的，還是你想出來的?

S1：有些應該是討論出來的，有些是我自己做的，老師很忙，我不好意思去煩他，我都在實驗室自己做，有結果再拿去給他看。

R：你怎麼會去研究哪些變因怎樣影響黑滴效應?老師要你做的嗎?

S1：沒有啊!實驗不都是這麼做的?  
也許老師有說，我忘掉了。

#### 四、腦力激盪

專題探究題目已經暫訂爲「影響黑滴效應的變因有哪些?」再來是「這些變因如何影響黑滴效應?」指導老師認爲第一個問題只要進行腦力激盪，運用發散思考的策略就可以獲得解答，第二個問題則需要實驗設計，於是學生被引導進入 CPS 模式的激發點子階段。

##### (一) 實驗變因

指導老師在尋找變因上運用了一個策略，把變因分成「主體變因」及「環境變因」，主體指的是要研究的對象，環境指的是主體所在的外在環境，不過並未嚴格區分兩者，因爲那不是目的，列出變因才是目的。

首先討論出主體有哪些，環境有哪些，然後再就每個主體及每個主體所在的環境提列變因，這樣做可以協助學生容易提出變因，並且避免漏掉重要變因，指導老師又運用了「登山法」。

T1：主體是甚麼?

S1：金星。

S2：還有太陽。

S1：太陽是環境。

T2：沒關係。先寫下來，寫在哪裡  
(主體或環境)都可以。

T1：還有嗎?

S1：觀測者算不算?因為有些人拍的黑滴就不明顯，有些很明顯。

S2：照相機，(天文)望遠鏡。

T1：我們把觀測者、照相機、望遠鏡用一個來代表就好了，因為觀測者的眼睛和相機的構造類似。

- T2：望遠鏡可以當作相機的鏡頭，因為拍攝時，可以把相機鏡頭拆掉，裝到望遠鏡上。
- S1：那就用照相機好了，因為黑滴的照片都是相機拍的。
- T1：金星、太陽、和相機的環境有哪些？
- S2：太空、空氣
- T2：還有嗎？
- S1：想不出來了。
- T1：好，暫時這樣。金星有哪些變因？

...

討論後整理出可能影響金星凌日黑滴效應的變因有：金星大氣、地球大氣、太陽波長(光色)、太陽亮度、太陽邊緣弧度、行星邊緣與太陽邊緣的距離、行星相對於太陽的移動速度、相機光圈、相機的物距。

其中金星大氣和地球大氣並未列入實驗設計的變因，理由是：科學家利用 TRACE 衛星觀測 1999 年的水星凌日，仍然看到微弱的「黑滴」作用(傅宗玖譯, Dick 著, 2004)，然而水星沒有明顯的大氣，而且 TRACE 是從遠在地球大氣上方進行觀測，顯示金星大氣及地球大氣不是造成黑滴效應的主要原因。

指導老師運用發散思考，採取地毯式的枚舉策略就各主體及其環境列出所有可以想到的變因，然後進行收斂思考，就每個變因進行檢討，最後留下的變因如下：太陽波長(光色)、太陽亮度、太陽邊緣弧度、行星邊緣與太陽邊緣的距離、行星相對於太陽的移動速度、相機光圈、相機的物距。

## (二)實驗設計

接下來進入到實驗設計的討論。

- T1：你們打算用甚麼來模擬金星？
- S1：我覺得可以用保麗龍球，實驗室就有。
- T1：那用甚麼模擬太陽？
- S2：紅色壁報紙。
- (註：後來發現，其實這個構想是行得通的。)
- T2：可是太陽會發光？
- S1：我們可以用投影機投在銀幕上，這樣我們可能需要暗室。
- T1：沒問題，你們可以用物理的科學實驗室，那裏也有一個單槍可以用。
- T1：那金星要怎麼運動？
- S1：用滑車。
- T1：好，就這樣，先試試看。
- T2：回去後，把須要借用的器材列個清單，明天中午來找我，你們可以利用午休時間做實驗，明天先把實驗裝置裝起來。

圖 7 是實驗裝置的示意圖。實驗的構想很簡單：以保麗龍球模擬內行星；用筆記型電腦接單槍投影機在銀幕上投射一個紅色亮區模擬太陽盤面，畫面是用 PowerPoint 作的。為了讓行星可以運動，保麗龍球架設在滑車上，而滑車在滑車軌道上，兩端掛上不等重的砝碼來驅動，並以單眼數位相機作為觀測器材。

## 五、前導實驗

實驗裝置架設好後(如圖 7)，終於可以進行前導實驗。根據 CPS 模式的觀點，學生現



圖 6：1999 年 11 月 15 日水星凌日時，TRACE 計畫的太空船拍到的黑滴效應 (Schneider et al., 2004)

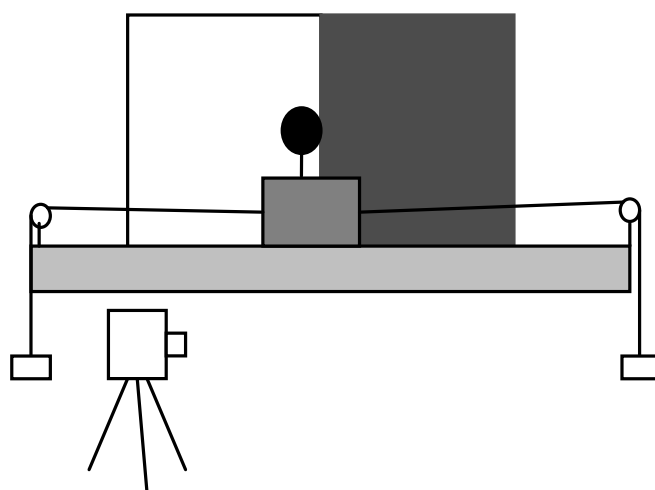


圖 7：學生的實驗裝置示意圖(小成繪)

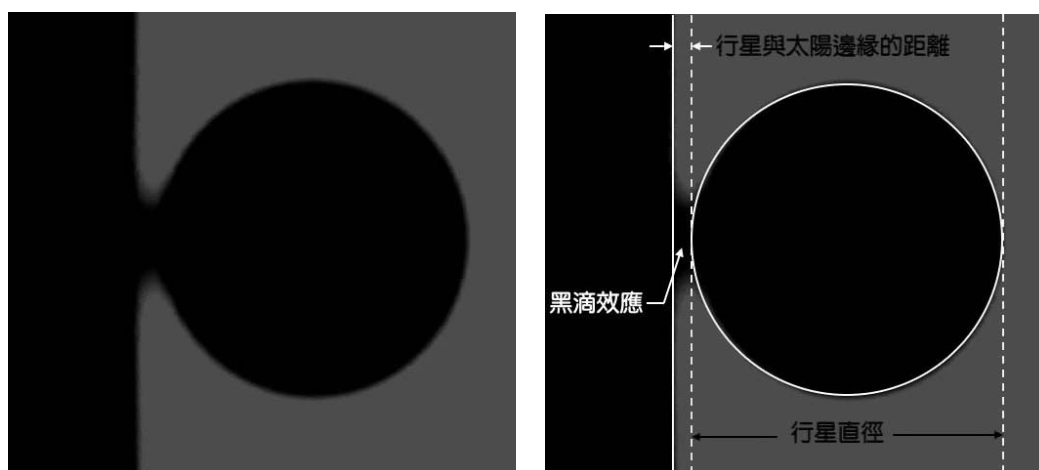


圖 8：模擬實驗的黑滴效應

在處於準備行動要素的發展解答階段。在這個階段中，實驗裝置及技術，不斷地以實作來調整，直到完全可行。其中每一個調整，其實都是一個小型的問題解決。

前導實驗時學生發現如果讓「行星(保麗龍球)」運動，那麼「行星與太陽邊緣的距離」這個變因幾乎無法控制，因為何時按下快門只能憑眼睛判斷，而且數位相機的快門會延遲，造成判斷的困擾。另一方面，學生在保麗龍球靜止的情況下，拍到了黑滴效應(見圖 8)。現在出現了抉擇的問題：要不要讓保麗

龍球運動？

其實這個問題的考量是：行星的運動是不是造成黑滴現象的主要原因？從在保麗龍球靜止狀態下拍到黑滴效應的事實來看，答案是「不是」。其次要考量的是實驗裝置及後續數據處理的問題。如果讓保麗龍球運動，它的速度可以使用光電計時器來測得，而觀測者可以改為攝影機。但是讓保麗龍球靜止不動的話，實驗裝置可以簡化，後續的影像處理也可以簡化。因此決定先以靜態來模擬，也就是不處理「行星移動速度對黑滴效

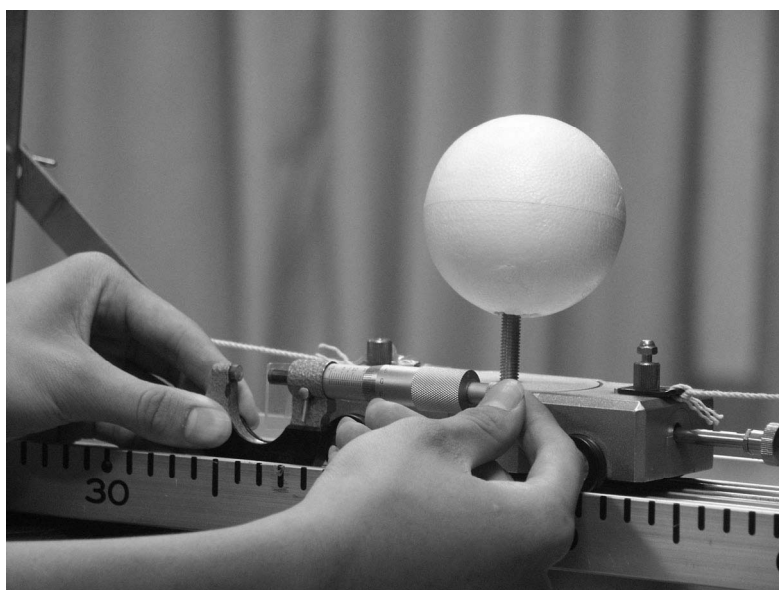


圖 9：保麗龍球位置的微調

應的影響」，而只專注於找出造成黑滴效應的主要因素。

現在還有一個問題需要解決，實際操作時發現：保麗龍球位置的控制很困難。只要保麗龍稍微移動，影像上的保麗龍球就會有很大的變動。解決的方法如圖 9 所示：在滑車的側邊貼上載玻片，兩側懸吊砝碼，螺旋測微器固定在滑車上，用來頂推載玻片，砝碼則確保兩者緊靠，旋轉螺旋測微器就可以精確微調保麗龍球的位置。

#### 擱置

寒假終於到了。扣掉過年，其實也沒有幾天可以做實驗。小驊又有固定的時間去補習，常只落得小成獨自一個人在實驗室，想趁著過年前多做些實驗。

實驗進行得很順利，過年前已經完成一大半，可是卻發現了一個問題：待測變因是黑滴效應，可是黑滴效應怎麼測呢？照片上倒是可以看出黑滴效應明不明顯，可是想

到要量化，還真是一籌莫展。老師一時也沒解決辦法，只說，想想看，你到底憑甚麼來說明不明顯？

問題就暫時這樣擱著，可是心裡卻不時去思索。

日子還過得真快，一下子就過年，一下子又開學了。實驗已經大致完成，累積了一大堆的照片檔案，面對著如何量化黑滴效應的問題。

## 六、實驗探究與數據處理

學生利用寒假開始進行實驗，處在 CPS 模式的發展解答階段。實驗裝置仍如圖 7，因應實驗室的限制，保麗龍球和螢幕的距離為 440cm，滑車到觀測者的距離為 450cm。

### (一) 實驗探究

實驗一：太陽邊緣弧度對黑滴效應的影響

事先做好三種不同弧度的太陽邊緣 PowerPoint 投影片，弧度是分別按照太陽對

水星、太陽對金星的比例來換算，再加上直線邊緣。結果顯示弧形或直線邊緣對黑滴效應的發生沒有明顯影響。因此後面的實驗均採用直線邊緣。

#### 實驗二：光的波長對黑滴效應的影響

光的波長是以不同顏色的紅、橙、綠、藍、紫及白色的 PowerPoint 來切換，沒有黃色是因為投影機投出來的黃色偏綠。結果顯示紅色光的黑滴效應最明顯。因此後面的實驗均採用紅色光模擬太陽圓盤。

#### 實驗三：太陽光盤的亮度對黑滴效應的影響

改變 PowerPoint 的紅色亮度值由 28 逐級增加到 128 (0 最黑，255 最亮)，並將彩度固定為 255，來模擬太陽光盤的亮度變化。結果顯示光盤亮度對黑滴效應影響不大，但是較亮較容易辨識，因此後來的實驗均採用彩度 255，亮度 128 的紅色。

#### 實驗四：相機光圈對黑滴效應的影響

相機光圈控制相機快門開孔的大小，光圈讀數越大，開孔直徑越小，球面像差越小，照片越清晰；反之，相片較模糊。至於黑滴效應，並不容易以肉眼判別其明顯程度的差異，所以必須有量化數據。

#### 實驗五：行星邊緣和太陽邊緣的距離對黑滴效應的影響

旋轉螺旋測微器，可以改變行星(保麗龍球)的位置。其位置的 0 點訂在保麗龍球邊緣和亮區邊緣正好接觸處，但是黑色邊緣會有黑滴效應，無法辨識，所以利用 PowerPoint 將黑色變為白色，如此就可以確定，待歸零後再切換回黑色。依序從-3.5mm(內切前)至 3.5mm(內切後)，每 0.5mm 拍攝一張照片，照片可以組成動畫。結果顯示黑滴效應發生在行星與光球盤面內切前後，雖然行星離開邊緣一段距離仍有相連現象，但距離稍微增加，相連的黑帶就突然消失。這個現象與實際的凌日黑滴效應相同。

## (二) 黑滴效應的量化

關於黑滴效應的量化，指導老師決定仍然以腦力激盪來解決，這也是 CPS 模式解決問題的策略。老師要求學生說明他們怎麼判斷黑滴明不明顯，結果蒐集到下列幾種方式：看黑滴與太陽邊緣接觸的長度、或是與行星接觸的長度、或是黑滴的寬度等。但是要比較必須確定行星大小一樣，因此訂定上述的長度對金星直徑的比值來做比較，就命名為「黑滴系數」。因為有三種不同長度，所以有三種不同定義的黑滴系數。

這個方法很容易執行，只要利用尺規測量就可以，於是先找了一組照片來測試，結果發現三種系數某種程度上可以代表黑滴的明顯程度，但是有些情形卻與大家的肉眼判斷不一致，無法適切表示黑滴效應的大小。

後來意識到所謂的明顯，應該是指面積的大小(見圖 10)，所以黑滴係數  $C$  就定義為  $C=b/D$

其中  $b$  為行星與太陽邊緣相連的黑滴(圖 10 的黃色區)的面積， $D$  為行星的面積。

黑滴係數的測量則借助電腦程式，學生將演算法(見圖 11)與電腦老師討論，獲得老師協助，很快拿到程式開始進行分析。

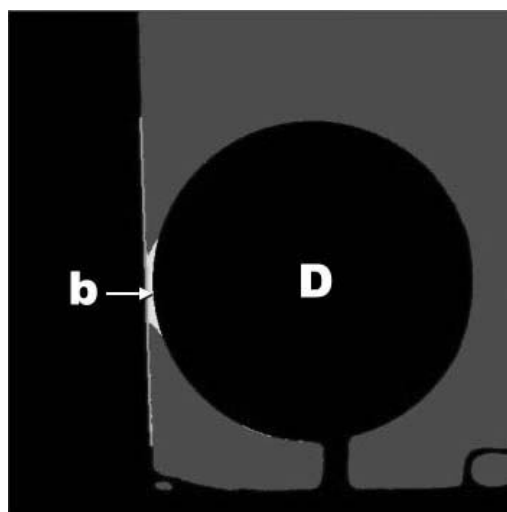


圖 10：黑滴係數  $C=b/D$

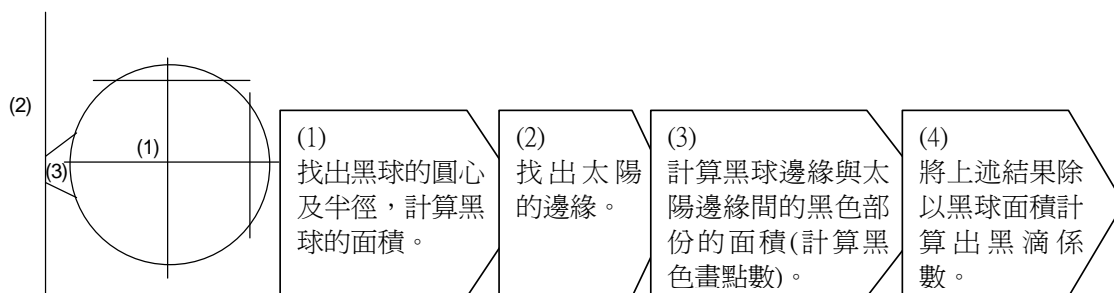


圖 11：黑滴係數計算之流程(修改自學生參加 46 屆高雄市科展報告書)

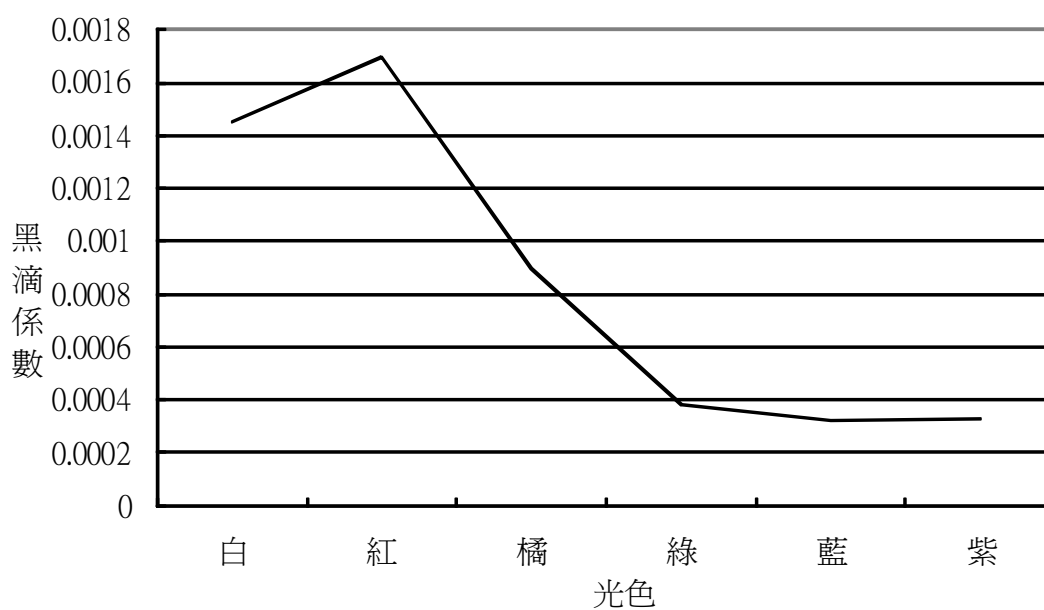


圖 12：光的顏色對黑滴效應的影響

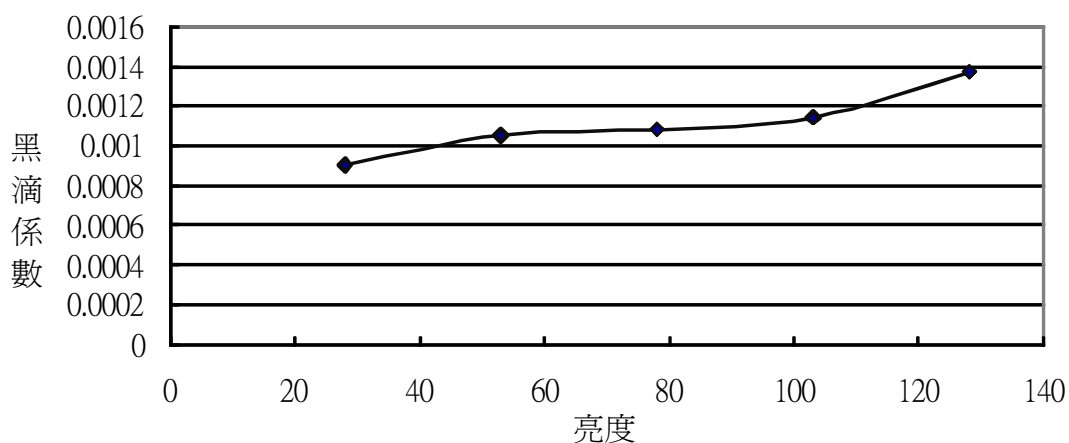


圖 13：光盤亮度對黑滴效應的影響

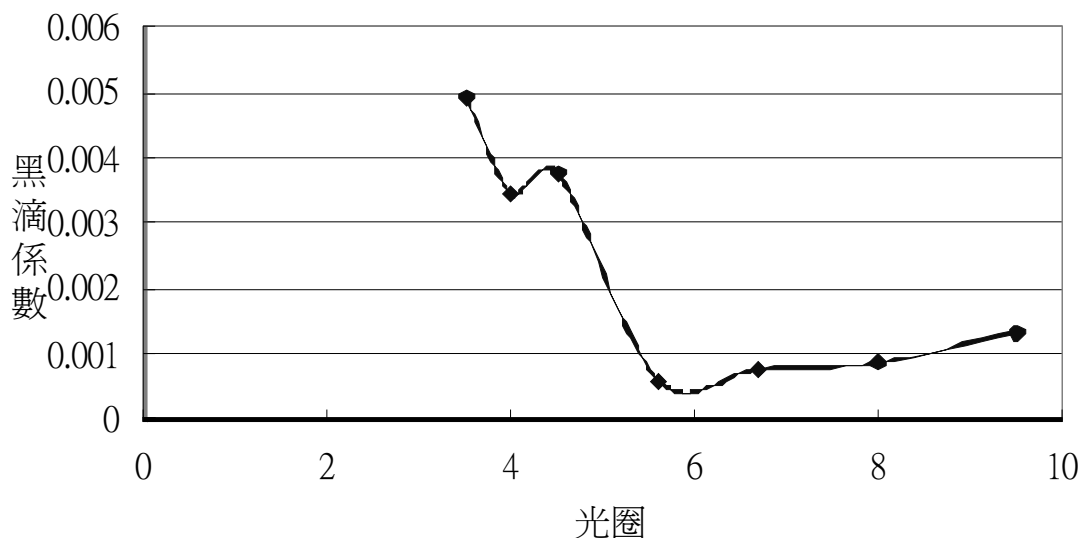


圖 14：光圈對黑滴效應的影響

### (三)數據分析

有了量化的黑滴係數後，變因如何影響黑滴效應的問題就獲得了解答。如圖 12 所示，黑滴係數隨著光的波長變短而遞減，顯示光的波長越長，越接近紅光，黑滴效應越明顯。而圖 13 顯示光盤亮度越亮，黑滴係數越高，可是係數變化不太，表示對黑滴效應的影響不大。圖 14 則顯示當相機光圈數在 5.6 以上時，光圈數越大(即直徑越小)，黑滴係數變大，換句話直徑越小的開孔，黑滴效應越明顯；但在光圈數小於 5.6 時，照片變得較為模糊，此時直徑越大黑滴現象越明顯。

## 七、黑滴效應的成因推論

解決二個問題後，現在可以開始解決下一個問題：「黑滴效應的成因」。解題的歷程又到 CPS 模式的探索資料階段。

### (一)假說

學生把蒐集到的資料對黑滴成因的解釋歸納成三種假說(傅宗玖譯, Dick 著, 2004; Schneider, Pasachoff, & Golub, 2004)：

#### 1.地球大氣擾動說

1999 年水星凌日時美國太空總署 TRACE ( Transition Region and Coronal Explorer )計畫的太空船拍攝到凌日時的黑滴現象(圖6)(Dick, 2004; Schneider, Pasachoff, & Golub, 2004)。這個事實否定了地球大氣擾動說。

#### 2.凌日行星大氣說

因為水星沒有顯著的大氣(Dick, 2004)，因此上述事實也否定了凌日行星大氣說。

#### 3.暈抹與邊緣變暗說

Pasachoff, Schneider, & Golub(2004)以 TRACE 的影像進行分析，提出這個假說：黑滴效應部分是由行星和太陽盤面之間的光學暈抹及太陽盤面邊緣亮度變暗兩個因素所造成。

### (二)論證

暈抹與邊緣變暗說，其實可以拆成兩個原因，一是暈抹，一是邊緣變暗。其中邊緣變暗並非黑滴效應的主要成因，因為在前面的探究實驗中，並未讓邊緣變暗，仍然有黑



滴效應，而且盤面光度對黑滴效應影響的實驗結果也不支持邊緣變暗會加強黑滴效應的假說，因此只剩下暈抹這項原因。

「光學暈抹(optical smearing)」這個詞在 Pasachoff, Schneider, & Golub(2004)的論文中使用的是 PSF。請教天文專家得知 PSF 是 Point Spread Function，指一個點光源經過望遠鏡成像不會是一個點光源，而是會稍微擴散成一個邊緣模糊的小圓。所以簡單的說 Pasachoff 等人認為那是光學儀器造成的點擴散(也就是模糊)及太陽邊緣變暗造成黑滴效應。前面的探究實驗駁斥了邊緣變暗這個因素，而相機光圈的實驗支持模糊是造成黑滴的原因，因為光圈小於 5.6 時，光圈越小，影像越模糊，黑滴係數越大。

解題歷程又到了 CPS 模式的發展解答階段。

現在的問題變成：造成模糊的原因是甚麼？

利用發散思考列出了相機(或望遠鏡)對焦不準、相機(或望遠鏡)鏡頭的球面像差、及光的繞射現象等因素，第一個是人為誤差，可以避免；第二個是儀器的精密問題，技術上可以改善；第三個，繞射現象是光的性質，無可避免。

解題歷程進入了 CPS 模式的尋求認可階段，專題探究團隊以論證來探索解答，尋求支持。

1.論證一：黑滴效應的成因不只是儀器的球面像差

根據相機光圈實驗結果，黑滴效應的成因不只是球面像差造成的模糊，因為光圈大於 5.6 後，黑滴係數反而上升，由於光圈開孔越小，球面像差越小，影像會越清晰，那麼黑滴係數應該越小才對，可見還有球面像差以外的因素。以 Toulmin 論證分析如圖 15：

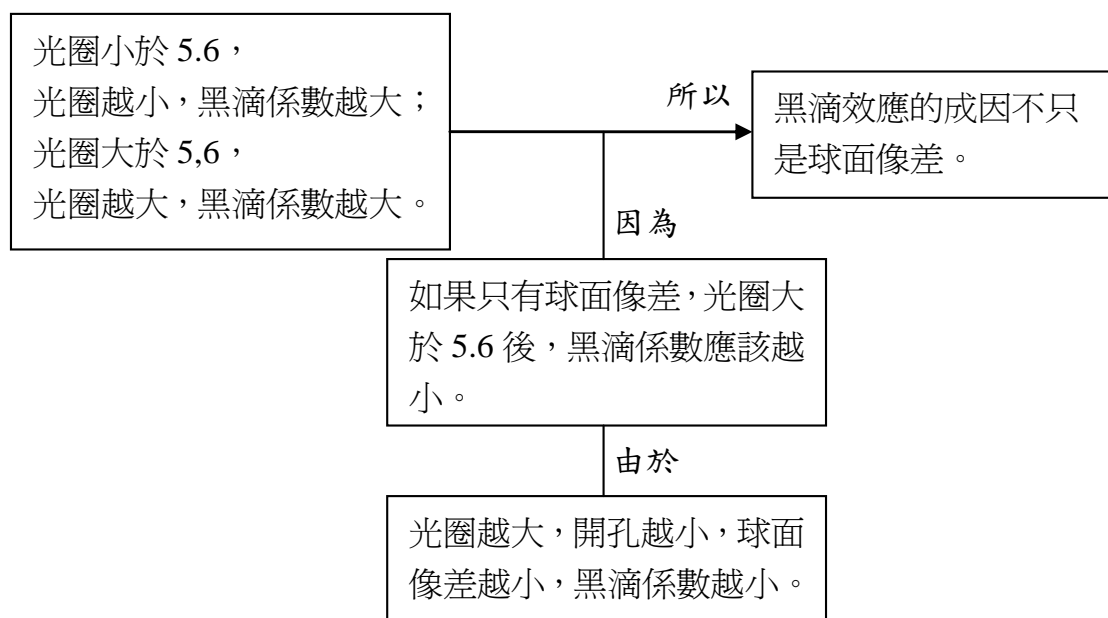


圖 15：黑滴效應的成因不只是儀器的球面像差之論證

## 2. 論證二：光的繞射是黑滴效應的主要成因

爲了了解是否是邊緣繞射，老師要求學生從「太陽」邊緣到黑球之間取得一條灰階分布的數據，作圖如圖十六。結果在邊緣地區出現了有如邊緣繞射的明暗相間的條紋。

現在應用假設演繹的推論來支持繞射的說法：

(1) 根據「太陽」及黑球間，其邊緣出現明暗相間條紋，可以推測黑滴有繞射條紋存在。

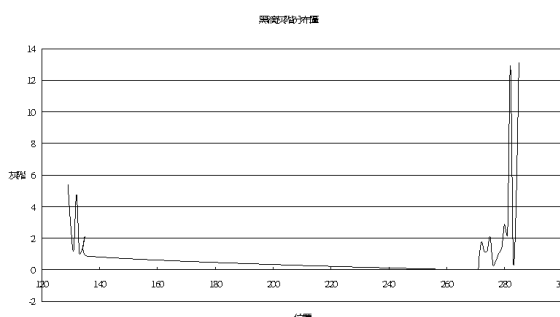


圖 16：太陽邊緣與黑球間的黑滴其灰階分佈情形。(0 為黑色，255 為白色)

(2) 根據色光的實驗結果，光波長越長，黑滴係數越大，這現象可用繞射來解釋：因爲光波長越長，繞射條紋越寬，影像越模糊。

(3) 根據相機光圈的實驗結果，光圈大於 5.6 後，黑滴係數越大，這現象也可以使用繞射來解釋，因爲光圈越大，開孔越小，繞射條紋越寬，影像越模糊。

根據上述推論繞射可能是黑滴效應的主要原因之一，也是無法避免的因素。上述論證分析如圖 17。

## 八、發表

解題的歷程來到最後一個階段，還是 CPS 模式的尋求認可階段，只是這次是尋求他人的認可，尤其是科展評審的認可，換句話說，學生必須在短時間內去說服別人，去說服評審，而使用論證是說服的可行策略。

首先提出實驗獲得的結果，根據結果作推論，由推論獲得主張或結論。如果能提出

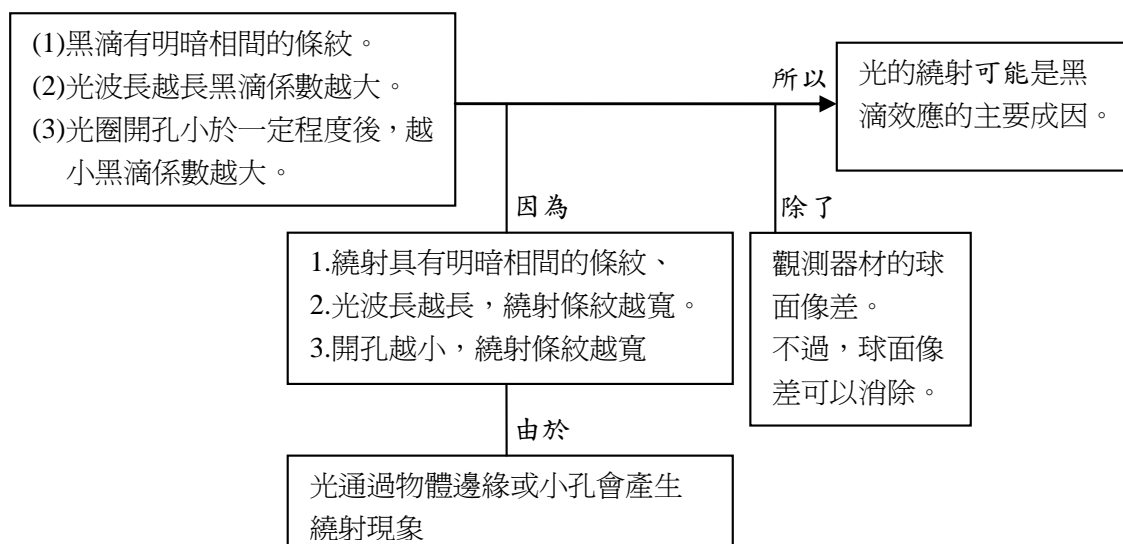


圖 17：光的繞射是黑滴效應的主要成因之論證

具震撼效果的演示，則會更具吸引力，也許更增加說服力。所以學生準備在電腦上模擬行星進入太陽盤面，而且行星與太陽邊緣均未模糊而清晰可見，太陽邊緣也未變暗，然後近看會發現無黑滴效應，而遠觀就出現黑滴效應，來展示模糊是黑滴的成因，最後再論證黑滴效應無法避免，只能減輕，因為繞射也是主要成因。

### 參展

小成與小驊帶著筆記型電腦，懷著志拓不安的心情，踏進工博館，這是科學展覽競賽的會場。作品已經說給同學聽過、老師聽過好幾遍了，他們也給了很多意見，也作了許多修正，老師也說表現不錯，不用緊張，要有自信，但是想到要面對評審，還是胃裡蝴蝶亂飛。

老師為了避免學生有太高的期待，到時候打擊太深，已經先打過預防針了。老師說：你們參加科展的目的是什麼？如果只是為了得獎，那失望的機會很大。因為參展的件數非常的多，而能得獎的就只有幾件，大家也很努力在做，優秀作品一定很多，所以沒有得獎是正常的事。去看看別人的作品，也可以聽聽別人怎麼講，看看有哪些可以參考，可以學習。其實在做科展的過程中，你們已經學到很多了！

小成的電腦展示行星凌日的策略確實成功了，不但吸引了參賽的學生，評審也很有興趣。評審完畢，設備組長決定留下來，讓學生參觀工博館，一方面等成績公布。

將近下班時間，老師接到小成的電話，高興的聲音中有一絲失望，小成說得到最佳創意獎，應該

是安慰獎，因為不能參加全國競賽。還說另外一組女生在哭，要跟老師說話。老師只好說沒關係，妳們已經盡力，如果妳們願意，我們可以利用暑假繼續研究、修正作品，今年年底可以參加台灣國際科展。

也許留給學生另一個努力的目標，是最好的安慰。

### 九、修訂

一個問題的解決其實不是探究的結束，它可能又引發了另一個問題。繞射造成黑滴效應，那繞射是太陽光經過行星邊緣時產生，還是經過觀測器材時產生？其實，前面的展示已經說明了，黑滴效應是在觀測端產生，換句話說觀測器材才是造成黑滴效應的主因。

趁著暑假輔導課尚未開始時，小成又加做了一些觀測器材的實驗，小驊則因為家長認為會影響功課而退出了。

增加的實驗用來探討相機的對焦(即相機的物距)、相機的感光度、以及相機畫素。結果發現相機對焦(物距)比實際越小，拍攝影像越模糊，而黑滴係數越大；拍攝使用的感光度(ISO)越高，拍攝影像越清楚，而黑滴係數越小，但差異不大；拍攝使用的畫數越高，影像也越清晰，而黑滴係數也越小。這說明了黑滴現象的主要成因是觀測器材，由相機對焦及相機畫素的實驗得知，影像的模糊化是出現黑滴現象的主因。

學生對黑滴效應成因的結論如下：

黑滴效應的主要成因在觀測端，觀測器材(如望遠鏡、相機、眼睛)產生像的模糊化，亦即觀測器材的鑑別率(包含光經過光圈或目鏡的繞射現象、感光器材的解析度及感光度)是產生黑滴效應的主要因素。金星大氣、

地球大氣、太陽邊緣變暗都不是黑滴效應的必要因素。

### 尾聲

台灣國際科展的成績揭曉了，在地區科展落敗的那組女同學，獲得了第一名，現在換成小成落敗。帶他們到台北參加競賽的設備組長說，其實小成也很為得第一名的同學高興，只是有些落寞，也責怪自己沒能把作品說明得很好。為了安慰小成，設備組長決定帶他們去陽明山，並且鼓勵小成繼續參加五月的地方科展，並推薦參加旺宏科學獎。

小成又重新修改了作品，企圖增加更多的說服力，結果在地方科展拿到第二名，並獲推薦參加全國科展，在全國科展獲得佳作。全國科展評審的評語為「1.應用攝影及電腦模擬探討出正確的結果值得嘉許。2.如能應用各種色光的波長和間隙(星體之間)與點滴效應有何關係，仍值得再加以探討。」

進一步擴充修改的作品獲旺宏科學獎第二名。

## 伍、結論與建議

本研究以 Toulmin 論證及創造性問題解決(CPS)模式來看學生與老師組成的專題探究小組如何解決「黑滴效應成因」的問題。

從個案分析發現，整個解題歷程符合 CPS 模式，其中三個過程要素：了解挑戰、激發點子、及準備行動，可以對應專題探究的發現問題、設計實驗、及進行實驗，換句話說 CPS 模式可以作為專題探究的模式。個案分析的結果得到下列啓示與建議：

### 一、探究問題的尋找可以從大範圍逐漸縮小，最後必須明確化

本個案的問題從「行星凌日」現象尋找研究機會，然後探索相關資料，找出行星凌日可以提列出的問題，最後決定要研究「黑滴效應的成因」。不過，研究成因是在問「為什麼? why」，不容易一步達成，因此採用「登山法」解題策略，設定中途目標，將 why 改成 what 和 how，所以題目就變成「影響黑滴效應的變因」以及「變因如何影響黑滴效應」兩個問題，這樣的問題就變得相當明確，接下來只要提列變因，再利用控制變因來進行實驗，也就是使用歸納法來回答 how 的問題。從 why 改成 what 和 how 是成功解題的關鍵。

### 二、變因的提列可以運用腦力激盪的策略

變因可以分成主體變因和環境變因，首先運用發散思考來提列主體，也就是要研究的對象，再來就每一個主體提列其所在的環境。然後再提列每一個主體和每一個環境的所有可能變因。再運用收斂思考來評估決定要研究的變因。這是 CPS 模式激發點子的過程。

### 三、設計實驗時要考慮：改變的變因為何?如何改變?要測量的變因為何?如何測量?

例如，本個案中要研究太陽光盤的顏色對黑滴效應的影響，則必須改變光盤顏色，就要設計如何改變顏色，而要測量的變因是「黑滴效應的明顯程度」，因此就設計出黑滴係數來進行測量。

### 四、「解釋」有賴於論證來產生

從實驗得到的是歸納的結果，要從這結果來提出「解釋」，就必須要經過論證。解釋也可以採取腦力激盪來產生，再利用推論來對解釋提出理由做支持，得不到支持的解釋就必須淘汰。假設演繹是本個案最常用的推論。

## 五、建議

指導老師在專題研究中應該以引導來代替直接的指示，善用發散思考、收斂思考、及登山法等策略，來引導學生解題。以下根據本個案情形，將學生的專題研究概分五期，來提出建議：

- (一)準備期，學生蒐集資料，教師協助學生準備必要的基礎知識與技能；
- (二)混沌期，學生釐清問題，縮小研究問題至明確可行的地步，並進行初步的探索，這個時期學生顯得茫然無緒，教師利用腦力激盪讓學生發散思考，列出所有可能的變因，再利用收斂思考找出可能可以進行的實驗；
- (三)探究期，學生設計實驗及裝置進行實驗，根據結果修改裝置及實驗方法，或進行新實驗，教師扮演諮詢顧問的角色，並要求學生不定時報告實驗進度與初步結果；
- (四)反思期，學生根據實驗結果論證所蒐集到各種理論，並提出自己的看法，必要時再回到探究期，教師仍然採取腦力激盪並扮演批判角色；
- (五)精煉期，學生從同儕、老師及科展評審的質疑與批判來進行修正。

## 參考文獻

1. 林省文(2005)。水星與金星凌日時的黑滴現象理論模擬。台北天文館學報,3, 67-74.
2. 教育部(2003a)。國民教育九年一貫「自然與生活科技」課程綱要(2003年2月27日公佈)。臺北：教育部。
3. 教育部(2003b)。第一次全國科學教育會議實錄。臺北：教育部。
4. 教育部(2006)。中小學一貫課程體系參考指引(2006年10月26日公佈)。臺北：教育部。
5. 教育部(2008)。普通高級中學物理科課程綱要草案B版。2008年8月17日，取自 <http://www.ep.nctu.edu.tw/~promotion/high-school/examine/must-BFinal-930205.doc>
6. 陳榮祥(2007)。V圖式科學探究指導模式之開發及應用。國立高雄師範大學科學教育研究所博士論文，未出版，高雄。
7. 傅宗玖(譯)(2004)。Dick, S.J.著。金星凌日。科學人。2004年3月4日，取自 <http://sa.ylib.com/read/readshow.asp?FDocNo=464&DocNo=745>
8. 湯偉君、邱美虹(1999)。創造性問題解決模式(CPS)的沿革與應用。科學教育月刊, 223, 2-20。
9. 熊召弟、張政義、吳思茜(2002)。超炫3D立體鏡：一場探究光和像的科學專題學習。論文發表於北京師範大學主辦之「第六屆全球華人計算機教育應用大會」，北京。
10. 鄭登耀(2005)。教師指導科學展覽之歷程與省思。國教輔導雙月刊, 45(2), 41-44。
11. Bueter, C. (n.d.). *The "black drop" effect*. Retrieved August 17, 2008, from <http://www.transitofvenus.org/blackdrop.htm>
12. Dick, S.J. (2004). The transit of Venus. *Scientific American*, May 2004, 98-105.

13. Isaksen, S.G., Dorval, K.B. & Treffinger, D.J., (2000). *Creative Problem Solving: An Introduction*. Waco, TX: Prufrock Press.
14. Lawson, A.E. (2003). The nature and development of hypothetico-predictive argumentation with implications for science teaching. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1387-1408.
15. Mayo, L. (2004). The transit of Venus: twice in a lifetime. *Mercury*, March-April 2004, 13-18. Retrieved June 28, 2009, from [http://sunearth.gsfc.nasa.gov/sunearthday/2004/venus\\_transit.pdf](http://sunearth.gsfc.nasa.gov/sunearthday/2004/venus_transit.pdf)
16. Norton-Meier, L., Hand, B., Hockenberry, L. & Wise, K. (2008). *Questions, claims, and evidence: the important place of argument in children's science writing*. Arlington, VA: NSTA Press.
17. NRC (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
18. Ormrod, J.E. (1990). *Human learning: principles, theories, and educational applications*. New York: Macmillan Publishing Company.
19. Osborn, A.F. (1953). *Applied imagination*. New York: Scribner.
20. Parnes, S. J. (1967). *Creative behavior guidebook*. New York: Scribner.
21. Pasachoff, J.M., Schneider, G., & Golub, L. (2004). The black-drop effect explained. In D.W. Kurtz (Ed.), *Transits of Venus: New Views of the Solar System and Galaxy, Proceedings IAU Colloquium No. 196*, ( pp. 242-253). Cambridge: Cambridge University Press
22. Pretz, J.E., Naples, A.J., & Sternberg, R.J. (2003). Recognizing, defining, and representing problems. In J.E. Davidson & R.J. Sternberg (Eds.), *The psychology of problem solving* (pp 1-30). New York: Cambridge University Press.
23. Rezba, R.J., Auldridge, T. and Rhea, L. (1999). *Teaching & learning the basic science skills*. Retrieved June 24, 2009, from <http://www.pen.k12.va.us/VDOE/instruction/TLBSSGuide.doc>.
24. Schneider, G., Pasachoff, J.M., & Golub, L. (2004). TRACE Observations of the 15 November 1999 Transit of Mercury and the Black Drop Effect for the 2004 Transit of Venus. *Icarus*, 168, 249-256.
25. Shia, D. (2004, July 12). Where was the black drop?. *Sky & Telescope*. Retrieved June 29, 2009, from <http://www.skyandtelescope.com/news/3309181.html>
26. Toulmin, S.E. (2003). *The uses of argument, updated edition*. New York: Cambridge University Press.

## **Black Drop Effect: A Case Study of Argumentation and Problem Solving**

**Ming-Laing Lin<sup>1</sup> Ming-Jun Su<sup>2</sup> Shing-Ho Chiang<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Kaohsiun Municipal Tsoying Senior Hight School

<sup>2</sup> Shu-Te University

<sup>3</sup> National Kaohsiung Normal University

### **Abstract**

This case study describes Senior high school students' argumentation and problem-solving process during a scientific inquiry about "What causes the black drop effect". Its purpose is to provide a reference for teachers whom guide scientific inquiry. The inquiry team consisted of two teachers and two tenth-grader boys, but one boy withdrew one year later. During the process of problem solving, teachers used "hill climbing" and brainstorming as strategies. The "why" question was converted into "what" and "how" questions. In this case, the question "why the black drop effect happen" was converted into "what variables affect the black drop effect" and "how do the variables affect the black drop effect". Then, do the inquiry activities through induction, and argument by hypothetic-deduction to find out the explanation for the causes of the black drop effect. This case study shows that the conversion of "why" into "what" and "how" is a key to successful problem-solving.

**Key words:** Argumentation, Black Drop Effect, Open Scientific Inquiry, Problem Solving.

