

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：地球與太空科學

作 品 名 稱：誰滴了黑水滴-凌日黑滴效應的探討

學 校 / 作 者：高雄市立左營高級中學 洪驊成

作者簡介及照片

本人洪驊成，自幼生長於一個小康的家庭，在家裡，父母對於學習要認真踏實，而我本人是一個既活潑好動又外向愛玩的小孩，自小時候，就對於自然方面的東西感到興趣。對於學習東西，特別是在自然科學方面，會有要了解的很透徹、想知道他的原理。當初接觸科展，一方面是因為個人的興趣，另一方面是對地球科學這門學問還蠻有極大的好奇心和興趣。



誰滴了黑水滴 - 凌日黑滴效應探討

摘要：

本實驗的目的在於探討凌日時的黑滴效應。實驗以投影機在螢幕上投射出亮區模擬太陽，以保麗龍球模擬內行星橫越太陽表面，以相機作為觀測記錄器材，結果發現在內行星與太陽的第二及第三次接觸時會有黑滴現象。黑滴效應在光源顏色越接近紅色、拍攝相機的光圈值越小越明顯、相機對焦比實際值越小越明顯；光源的明亮度對黑滴效應沒有顯著影響。金星大氣、地球大氣不是造成黑滴現象的主因，而影響黑滴效應的因素與光的繞射相同。實驗結果發現，黑滴效應的成因主要發生在觀測紀錄的器材上面。

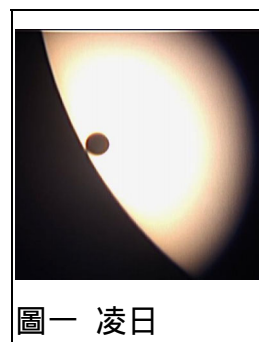
Who Dripped Black Drop on the Sun: The Black Drop Effect

Abstract

This study is conducted to explain the black drop effect for the transit of a planet. A video projector projects a bright square on the screen to simulate the Sun. A ball simulated the planet crossing the sun's disk. And a digital camera takes the images of transit. The Black-drop Coefficient is defined and a computer program is designed to analyze the image of black drop. The results show that the resolving power of the observation instrument is the main factor in the effect. The atmosphere and the solar limb darkening do not directly respond to it.

壹、前言

在歷史上的觀測記錄中，有一個令觀測者困擾不已的麻煩問題，就是判定金星和太陽接觸的確切時間相當困難，因為兩者的邊緣似乎有好幾秒鐘是相連的。這個現象被稱為「黑滴效應」，以往猜測是由「金星周圍的大氣或塵埃雲」造成的，也有認為是因地球大氣造成的模糊效果。(如圖一)



TRACE 衛星觀測 1999 年 11 月 16 日的水星凌日及 2004 年 6 月 8 日的金星凌日，雖然水星沒有大氣，且 TRACE 是從遠在地球大氣上方進行觀測，仍然看到微弱的「黑滴」效應。雖然這個發現無法排除大氣作用強化「黑滴」的假設，但是真正的成因顯然另有其由。

Pasacho, Schneider, & Golub(2004)以TRACE的影像進行分析，所獲得的結論是：『黑滴效應』部分是由行星和太陽盤面之間的光學暈抹所造成。除此之外，太陽盤面邊緣亮度變暗也是造成『黑滴』的一大因素。不過這樣的說法無法說明同樣的行星暈抹，同樣的太陽邊緣亮度變暗，卻何以有些照片有黑滴現象有些則無。

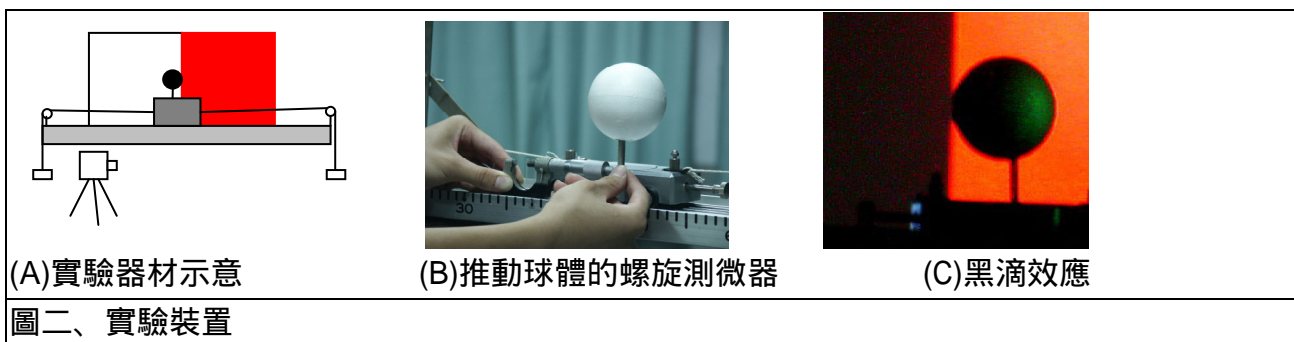
本研究的目的是在：

- (一)、探討影響「黑滴效應」的變因。
- (二)、探討「黑滴效應」的成因。

貳、研究方法

可能影響金星凌日時「黑滴效應」的原因，排除金星大氣、地球大氣後剩下：太陽波長(光色)、太陽亮度、太陽邊緣弧度、金星邊緣與太陽邊緣的距離、相機光圈、相機的物距。

基於上述理由，以及 TRACE 團隊的研究結果，推測它可能是光經過內行星邊緣，或是光線經過觀測器材的開孔(如相機的光圈)的繞射現象。根據上面的假設設計下列的模擬實驗。



一、實驗設計

(1)滑車上插上保麗龍球，將其塗黑以避免反光。在這裡我們把它當成金星。如圖二。

(2)滑車兩端懸吊砝碼，前端黏載玻片，以螺旋測微器頂住載玻片以微調滑車位置。

(3)把筆記型電腦接上投影機。用Power Point軟體畫圓圈和矩形，當成不同弧度的太陽邊緣，並投影在螢幕上。

(4)把滑車軌道和螢幕放成平行，用相機接投影機放大影像，將背景調成白色，避免黑滴效應，旋轉螺旋測微器使黑球與太陽邊緣正好相切，固定滑車的位置。

(5)背景切回黑色，旋轉螺旋測微器使黑球微微離開太陽邊緣，用數位照相機把所看到的黑滴效應拍起來。

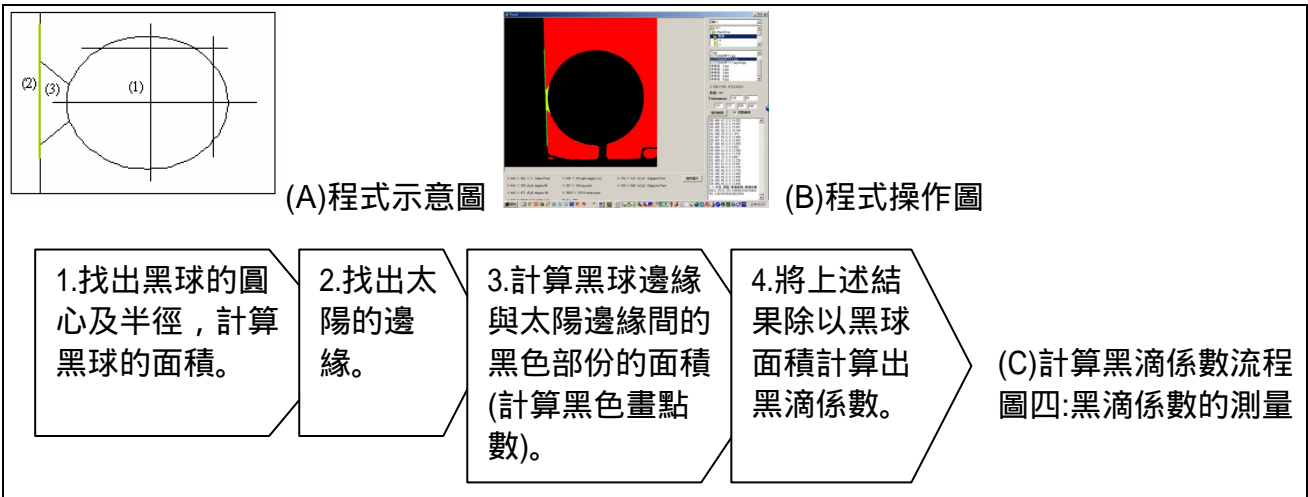
(6)分析相機照出來的黑滴效應。

圖三 實驗設計

二、黑滴效應的測量

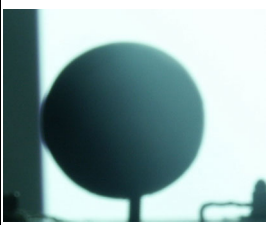
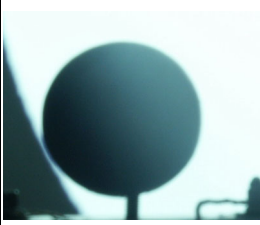
為了方便我們確定有無黑滴效應的出現，我們定了一個測定係數：

$C=b/D$,其中 b 為行星與太陽邊緣相連的黑色帶(黑滴)的面積， D 為行星的面積。我們稱 C 為黑滴係數。當行星邊緣與太陽邊緣間距固定時， C 值越大，黑滴效應越明顯。黑滴係數的測量以電腦程式協助，如圖四。其演算法如下：



參、研究過程與結果

實驗一:太陽邊緣的弧度會不會影響黑滴效應

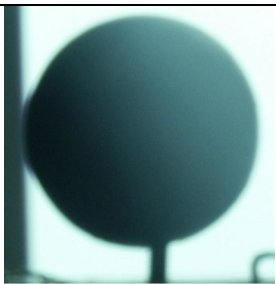
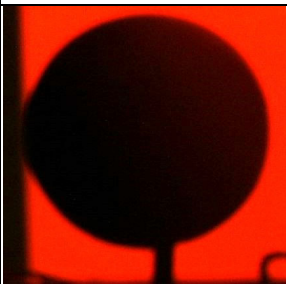
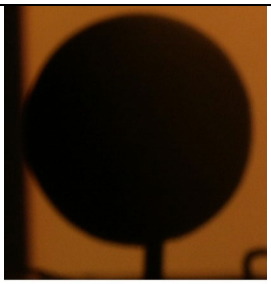
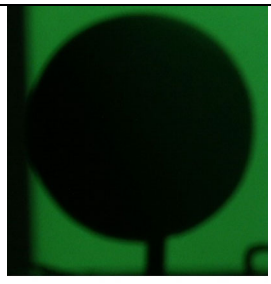
太陽邊緣弧度	直邊	弧邊
黑滴效應		

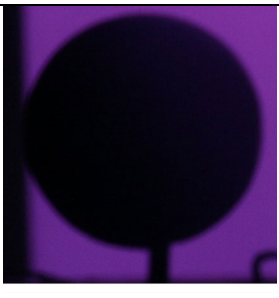
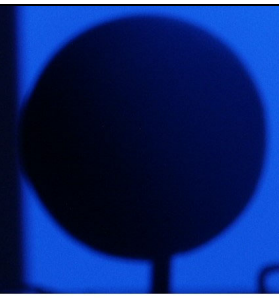
圖五 :弧形或直線邊緣對黑滴效應發生沒有明顯影響。

P.S:實際太陽與金星的弧率比：1380000 公里：12104 公里

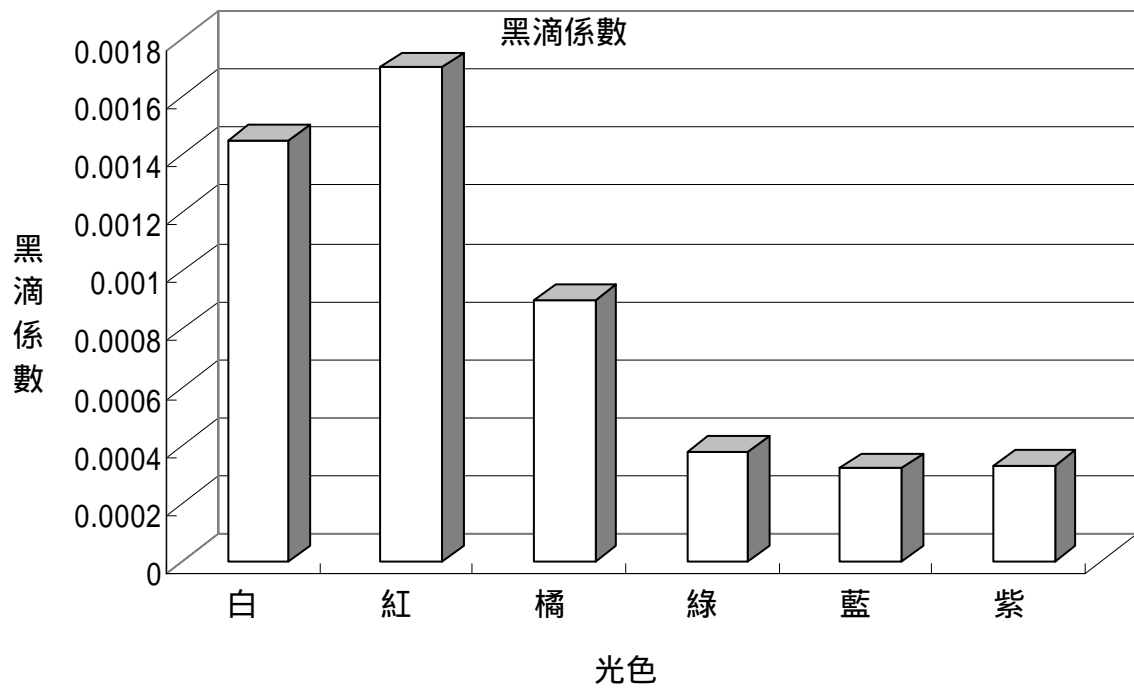
實驗二: 光的波長會不會影響到黑滴效應

固定所有實驗器材，只改變投射的太陽顏色。

光色	白色	紅色	橙色	綠色
黑滴效應				

光色	紫色	藍色
黑滴效應		

(A)實驗照片



(B)數據圖

圖六:以紅色的光最明顯。顏色越接近紅色，黑滴效應越明顯！

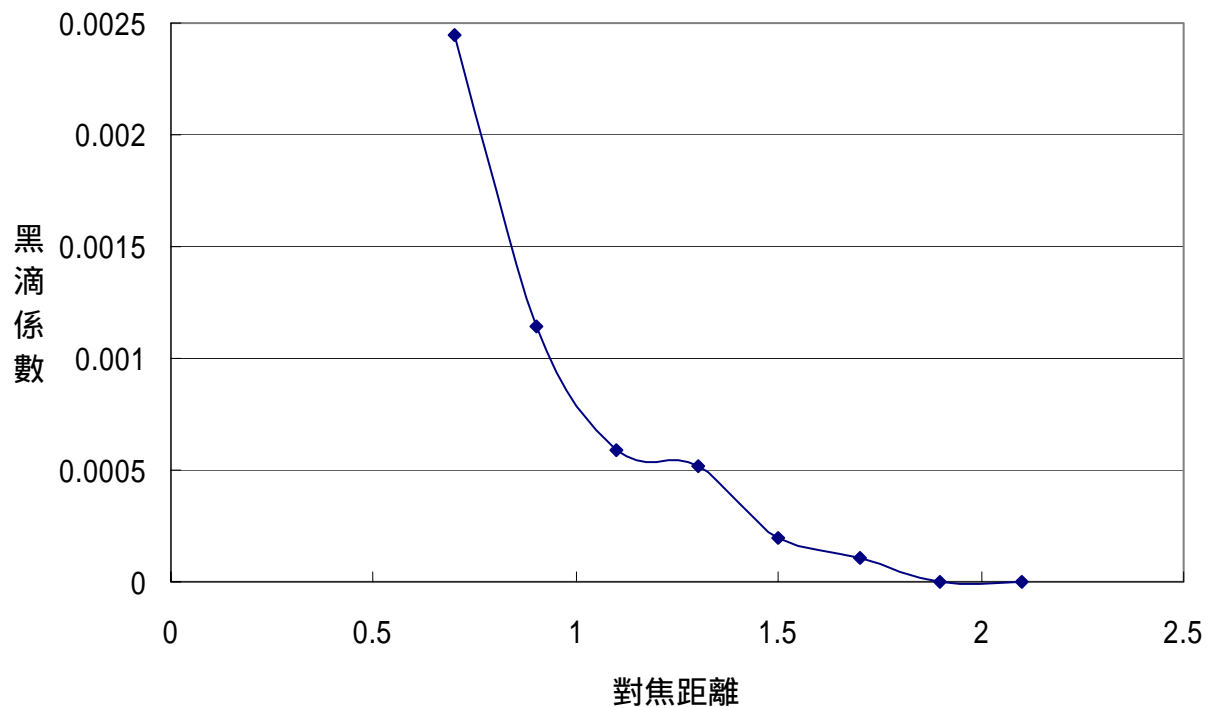
實驗三: 相機的像距大小對黑滴效應影響

固定所有實驗器材，只改變相機的像距(即改變對焦的距離)。

焦距	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5
黑滴效應					

焦距	1.7	1.9	2.1
黑滴效應			

(A)實驗照片



(B)數據照片

圖七 相機的對焦比實際越小，黑滴效應會越明顯。

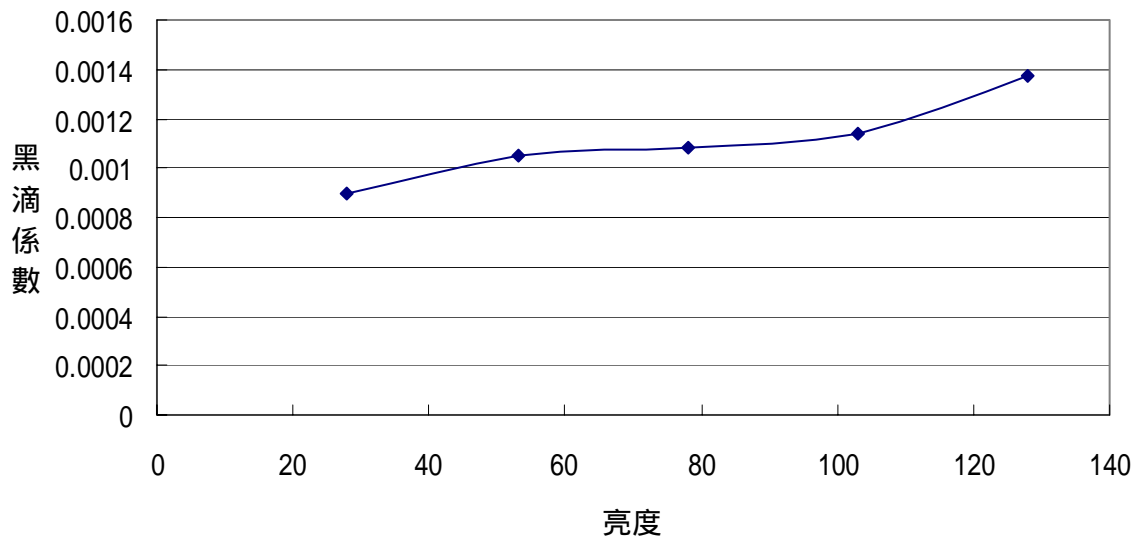
實驗四:光的明暗度會不會影響到黑滴效應

固定所有實驗器材，只改變投射的太陽亮度。

光度 (亮度/ 彩度)	128 / 255	103 / 255	78 / 255
黑滴 效應			

光度 (亮度/ 彩度)	53 / 255	28 / 255
黑滴 效應		

(A)實驗照片



(B)數據圖

圖八:不管光的亮度是越大還是越小，對黑滴效應影響不大。但是，越亮度越方便觀察黑滴效應。

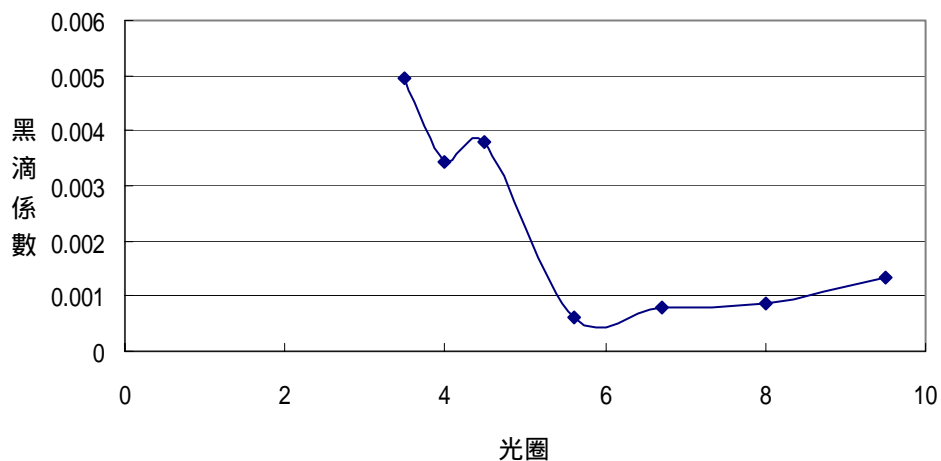
實驗五：相機的光圈對黑滴效應的明顯程度

固定所有實驗器材，只改變相機的光圈。

光圈數值	3.5	4	4.5	5.6
黑滴效應				

光圈數值	6.7	8	9.5
黑滴效應			

(A)實驗照片



(B)數據圖

圖九:當相機的光圈直徑較小時,黑滴效應的照片越清晰,直徑越小黑滴效應越明顯。但在光圈的直徑在大到一定的程度時,照片變得較為模糊,此時直徑越大黑滴的現象越明顯。

實驗六:黑滴效應出現時金星邊緣和太陽邊緣的距離

微調螺旋測微器推動滑車,以數位相機拍攝距太陽邊緣不同距離的黑球之黑滴效應。

距離 (mm)	23	22	21	20	19
黑滴效應					

18.5	18	17.5	17	16.5
16	15.5	15	14.5	14

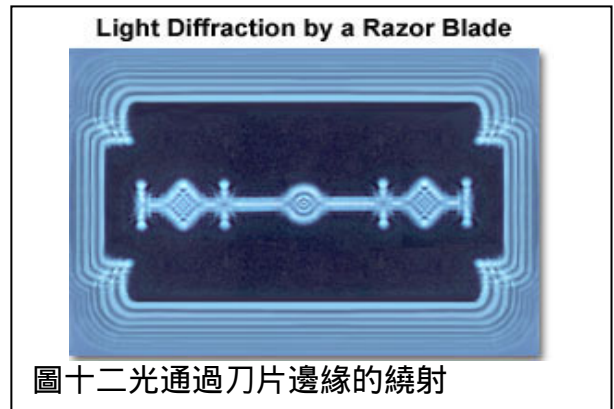
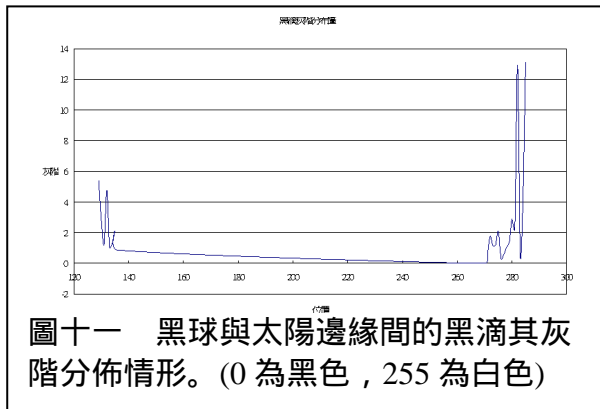
圖十:黑滴效應發生在行星第二及第三次接觸光球盤面時。雖然離開邊緣一段距離仍有相連現象,但距離稍微增加,相連的黑帶就突然消失。

(七)黑滴成因推論

圖十一為黑球與太陽邊緣間的黑滴其灰階分佈情形，0 為黑色，255 為白色。由圖可看出邊緣地方可以看到明暗的變化，如同圖十二刀片邊緣的繞射情形，這同時也解釋了金星在太陽光球上移動時，金星周圍出現亮圈的現象。如果行星凌日的黑滴現象是光線的邊緣繞射現象，則影響黑滴現象的因素應該與繞射因素相同，亦即光的波長越長(偏紅色)繞射現象越明顯，黑球與太陽邊緣越近繞射越明顯，觀測的孔徑越小繞射越明顯，這與本研究的結果相符。

然而黑滴現象到底是發生在行星端，或觀測端？

如果是在行星端，因繞射條紋的寬度與距離成正比，條紋寬度會很寬，因此可能出現在觀測端。為了佐證這個推測，我們在電腦螢幕上直接畫出黑球與太陽邊緣，以確定行星端沒有繞射，然後以相機對著螢幕拍攝，結果發現黑滴現象，因此我們繼續探討數位相機的感光度和畫素對黑滴效應的影響。

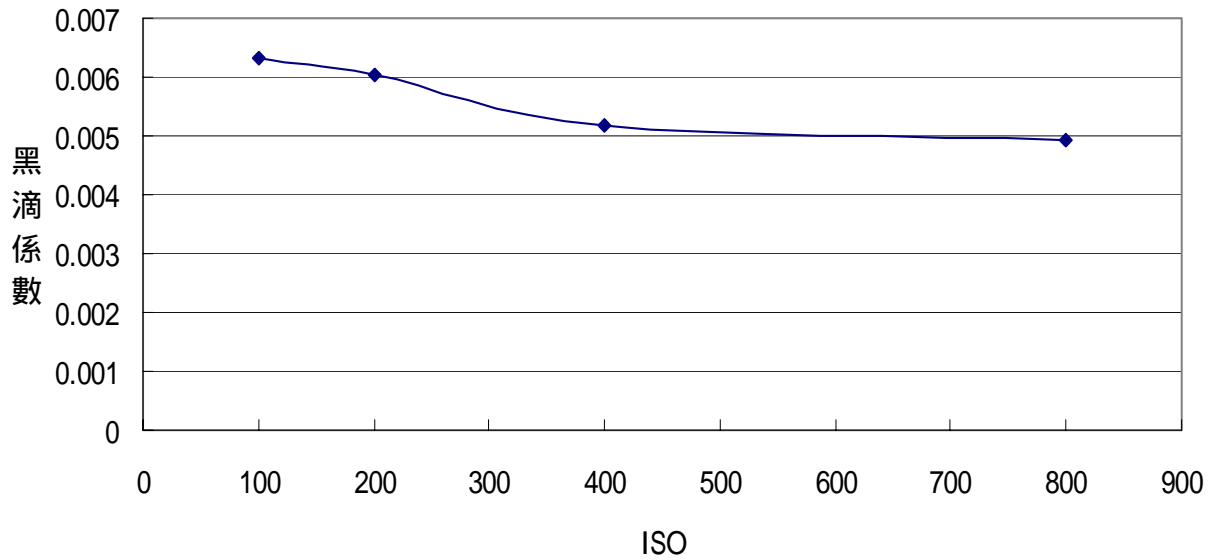


實驗七: 數位相機感光度對黑滴效應的影響

固定實驗的器材，只改變相機的感光度

感光度 (ISO)	100	200	400	800
黑滴效應				

(A)實驗照



(B)數據圖

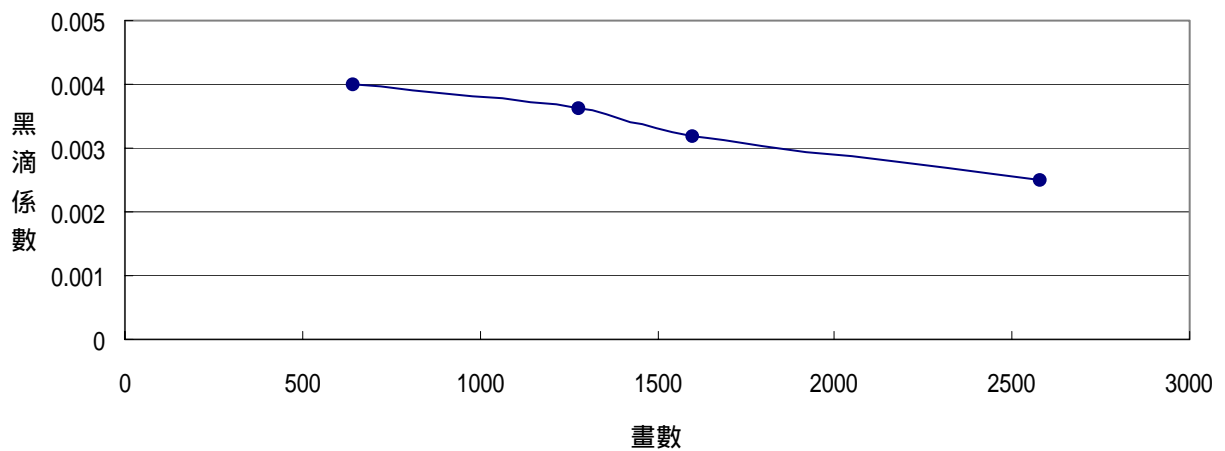
圖十三:當感光度的數值越大時，黑滴效應越不明顯。

實驗八: 數位相機畫數對黑滴效應的影響

固定實驗的器材，只該變相機的畫數。

畫數	640	1280	1600	2560
黑滴效應				

(上)實驗照片 (下)數據圖



圖十四:相機的畫數越高時，黑滴效應越不明顯。亦即畫素越低，影像較模糊。

四、結論

內行星有沒有大氣，以及地球大氣不是黑滴效應形成的主因，因為 TRACE 太空望遠鏡觀測的水星凌日照片有黑滴現象。太陽邊緣變暗也不是黑滴效應形成的必要條件，因為我們所模擬的亮區邊緣並沒有變暗卻也有黑滴效應。根據我們的實驗得知：影像的模糊才是形成黑滴效應的原因。影像模糊除人為的對焦不良外，實驗五顯示造成影像模糊的原因有二：光圈越小黑滴效應越明顯，表示原因之一是觀測端的針孔(如目鏡、光圈或瞳孔的孔徑)繞射；光圈越大黑滴效應也會增加，顯示透鏡的像差(如望遠鏡或相機物鏡的球面像差)是另一個原因。除了觀測器材外，記錄影像的器材所造成的模糊也是出現黑滴效應的原因，如底片、數位相機或視網膜因點擴散產生的模糊。根據上面的推論，我們利用高斯模糊來模擬黑滴效應，結果如附圖。

五、討論

一、為何實際觀測金星凌日時，有些照片有黑滴現象，有些則無？

由本研究得知，觀測器材左右了黑滴效應。如果使用的觀測與拍攝器材的孔徑較小，解析度、感光度較差，則黑滴現象較明顯，而且若對焦較實際短時黑色的干涉條紋被放大而連成一片，加上觀測時的濾鏡提高了光球與干涉條紋的對比，而容易觀測到黑滴現象。如果使用的器材孔徑較大，而且對焦在實際位置時，明暗的干涉條紋清晰，因此看來呈淡灰色，而且黑球邊緣呈現亮紋，使得黑滴現象不明顯。

二、黑滴現象是否可以避免？

本研究結果顯示，黑滴現象無法避免，只能減少。而且黑滴現象其實不只是發生在行星凌日，兩個很接近的暗色物體都會發生黑滴效應。

六、應用

鑑別率是黑滴效應產生的主要原因，因此我們可以利用黑滴效應來判斷觀測器材的鑑別率，本研究提出的黑滴係數可作為判斷鑑別率的依據。

七、參考資料:

Dick, Steven J. (2004)。金星凌日。科學人，28，科學人雜誌知識庫。

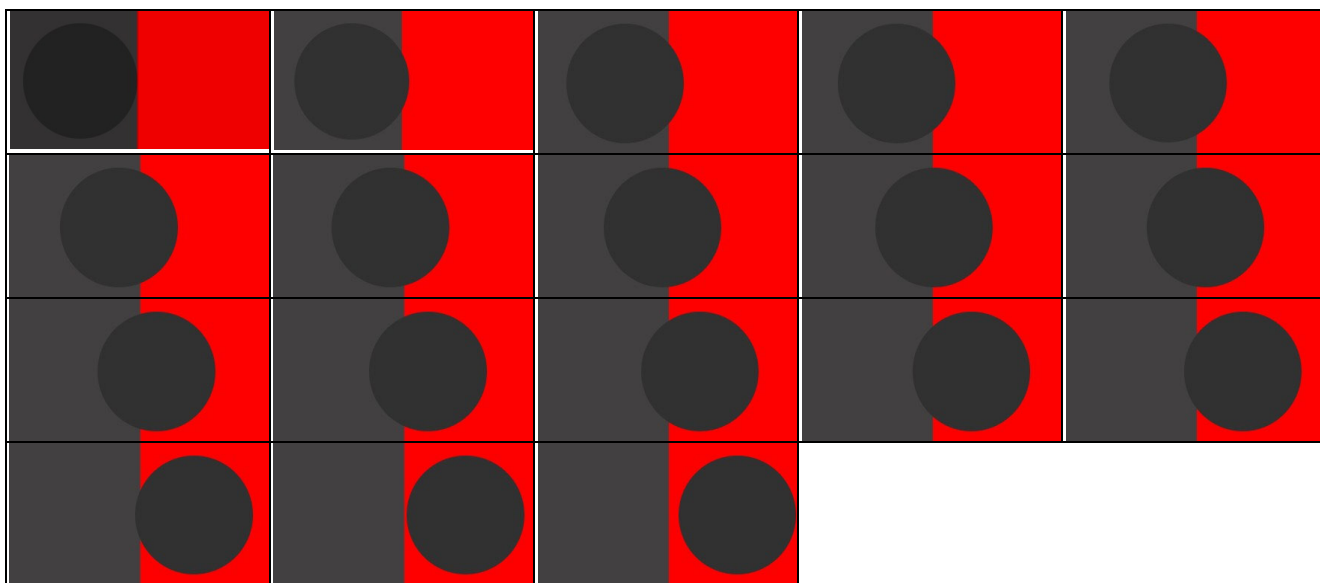
Pasacho, Jay M; Schneider, Glenn; Golub, Leon (2004)。The black-drop effect explained. Retrieved May 2, 2005, from <http://nicmosis.as.arizona.edu:8000/PREPRINTS/IAUcolloq196.pdf>

Wright, ernie(2004)。A Venus Transit Illusion: Photoshop Simulation of the Black Drop Effect. Retrieved May 2, 2005, from <http://home.comcast.net/~erniew/astro/bd.html>

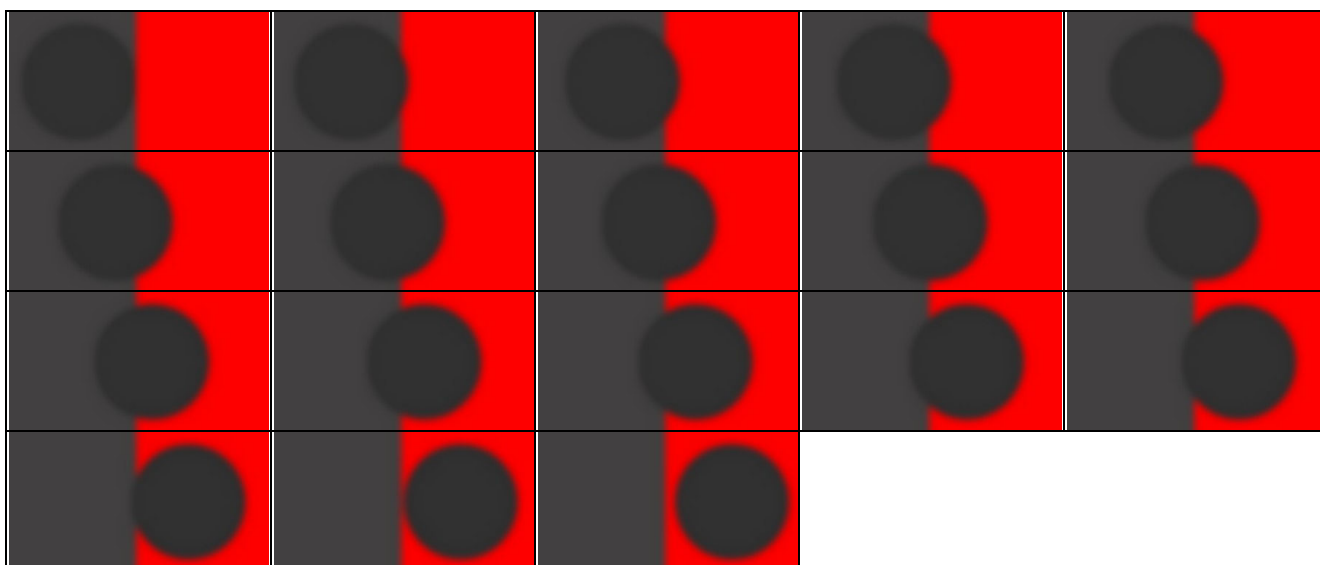
附:黑滴效應模擬圖

下面是我們用電腦根據我們的推論，以 PhotoImpact 的高斯模糊所做出來的模擬黑滴效應。第一個為正常沒有模糊的，第二個為高斯模糊處理，模糊度為 5 點的，第三個為模糊度為 11 點的，第四個為邊緣變暗但沒有模糊的，第五個為邊緣變暗且模糊度為 5 點的，第六個為邊緣變暗且模糊度為 11 點的。

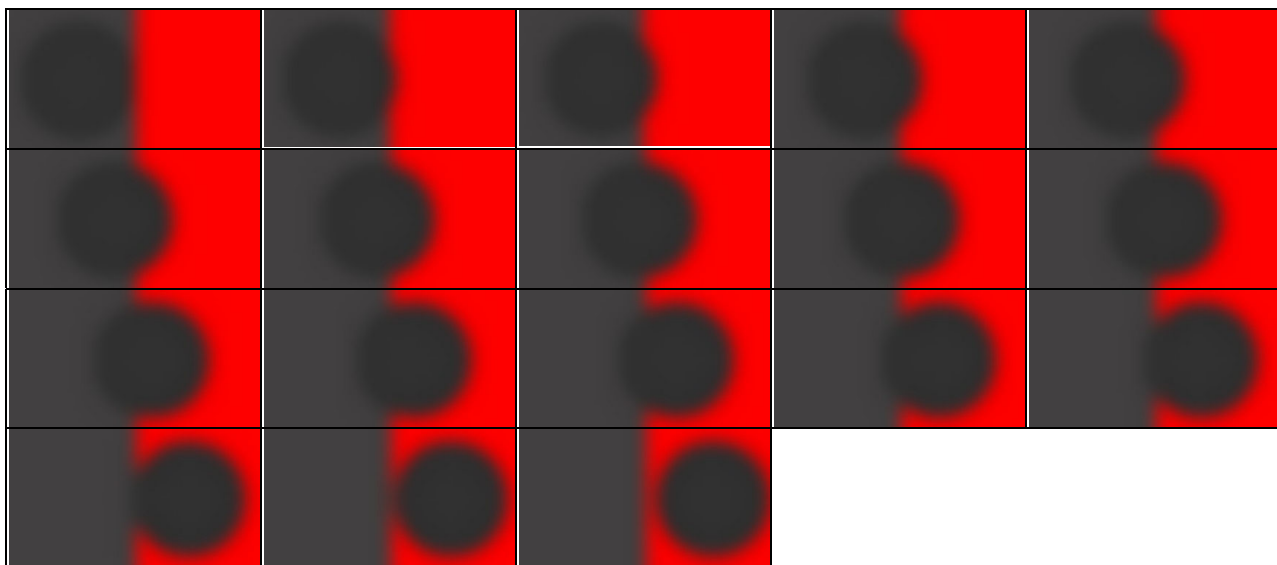
一、正常



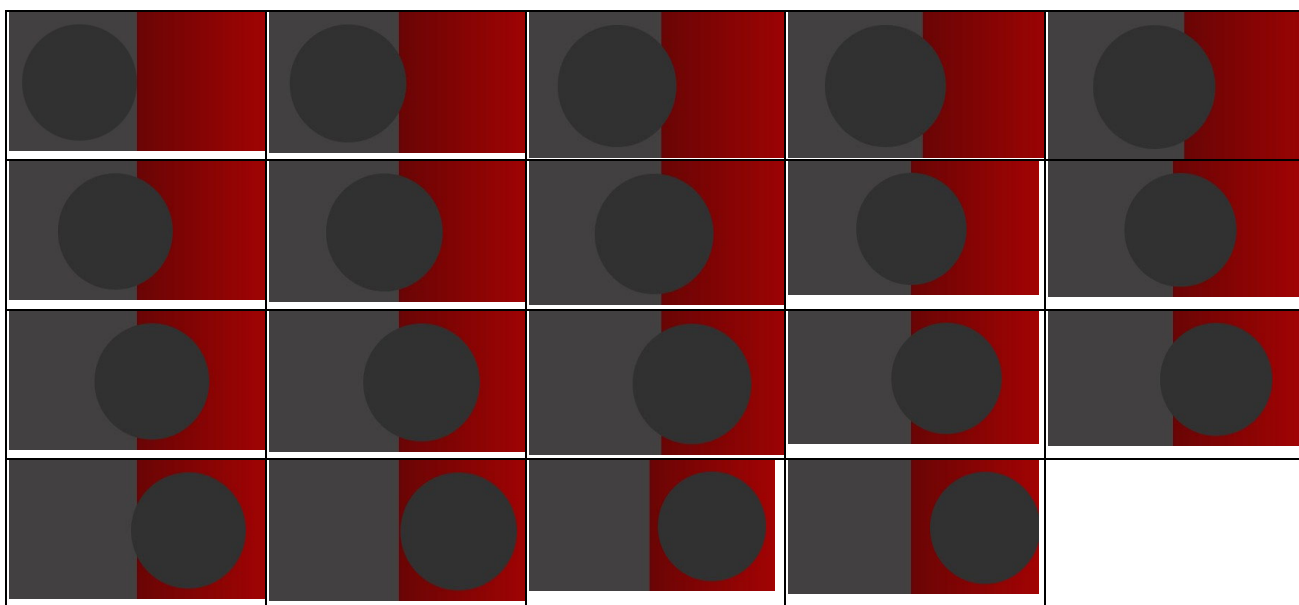
二、模糊度為 5 點



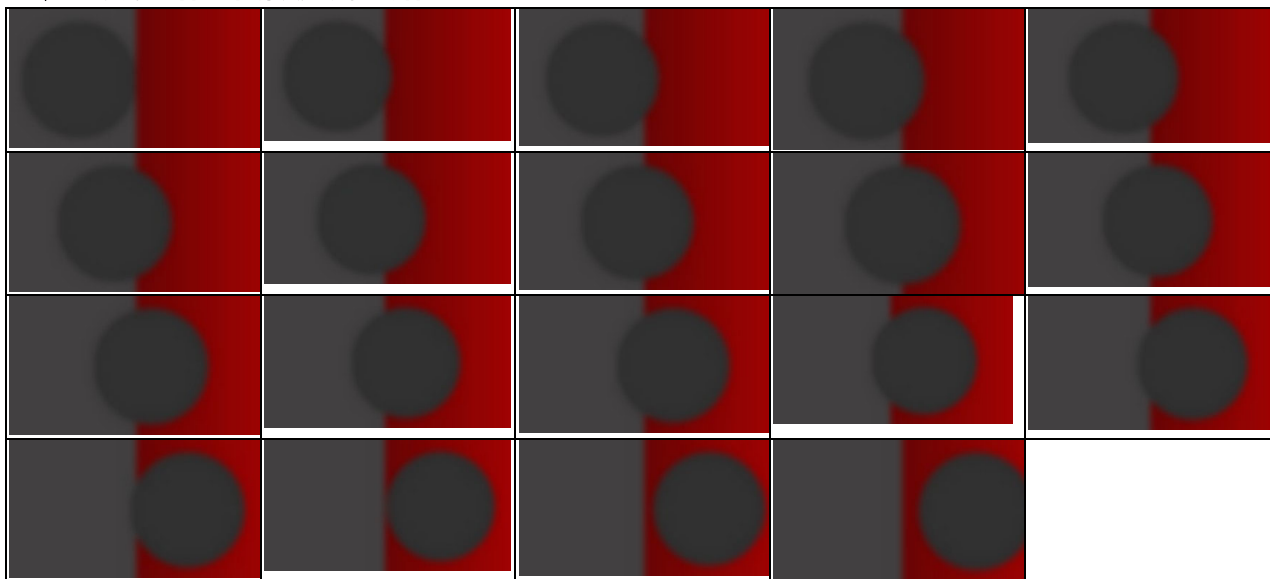
三、模糊度為 11 點



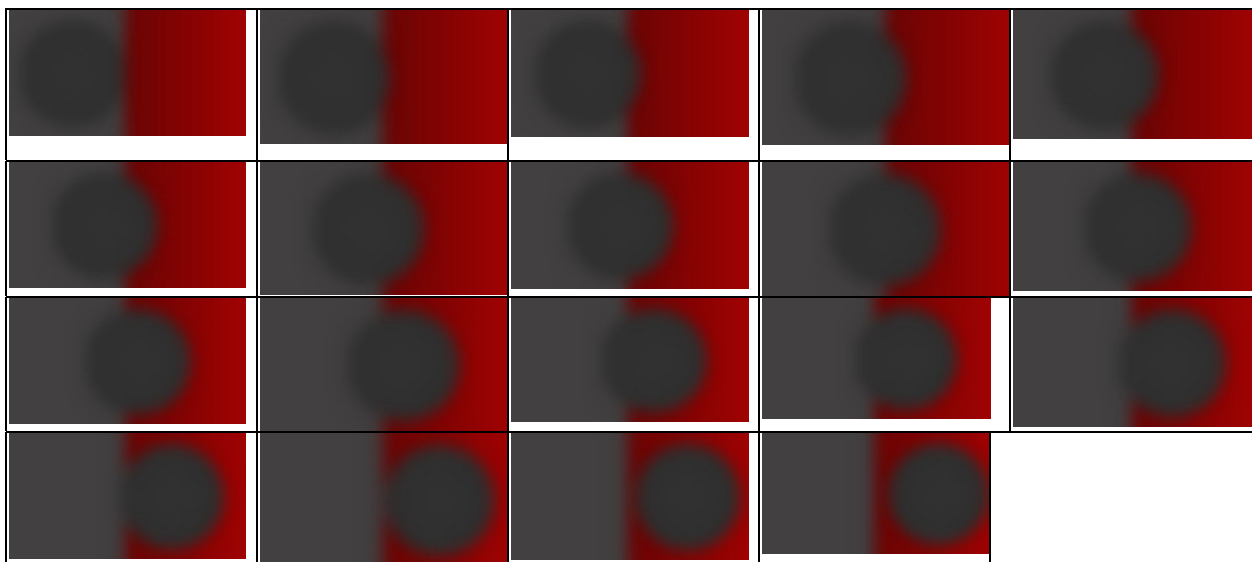
四、邊緣變暗，沒有模糊



五、邊緣變暗且模糊度為 5 點



六、邊緣變暗且模糊度為 11 點



評語

本研究使用小型裝置，模擬內行星「凌日」時所發生的「黑滴」現象，試著找出這個現象的物理本質。研究本身富有探究精神，但在實驗設計上是否能確實反應實際的天體之象，卻令人存疑。尤其在攝影器材上及照明方式的安排上，許多細節及技術參數，可能成爲無法準確控制的變因，因此未獲推薦。