

---

040509

---

--	--

---

# 行星凌日的黑滴效應探討

## 摘要：

本實驗的目的在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的器材上。

## 壹、前言

本研究延續去年我們對『凌日黑滴效應』的探討，希望這個研究能提供今年十一月水星凌日時，觀測黑滴效應的參考。

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)



圖一 凌日

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。

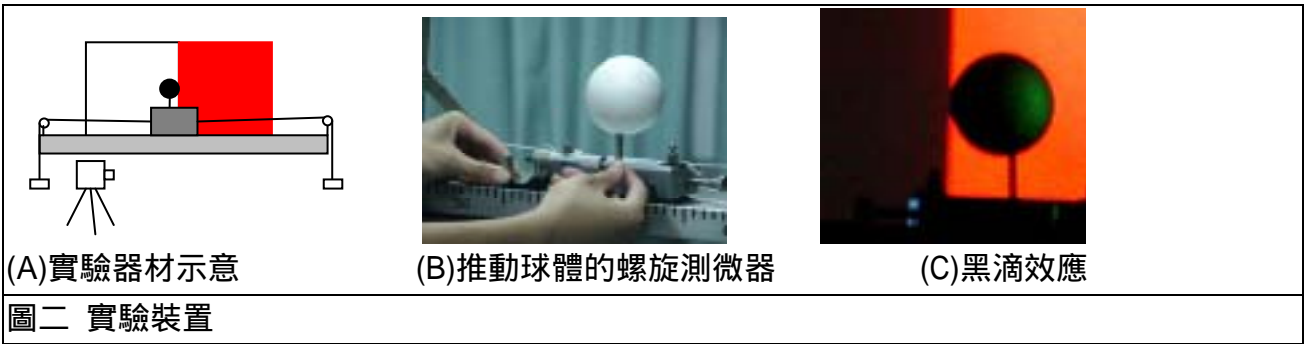
本研究的目的是在：

- 一、探討影響「黑滴效應」的變因。
- 二、探討「黑滴效應」的成因。

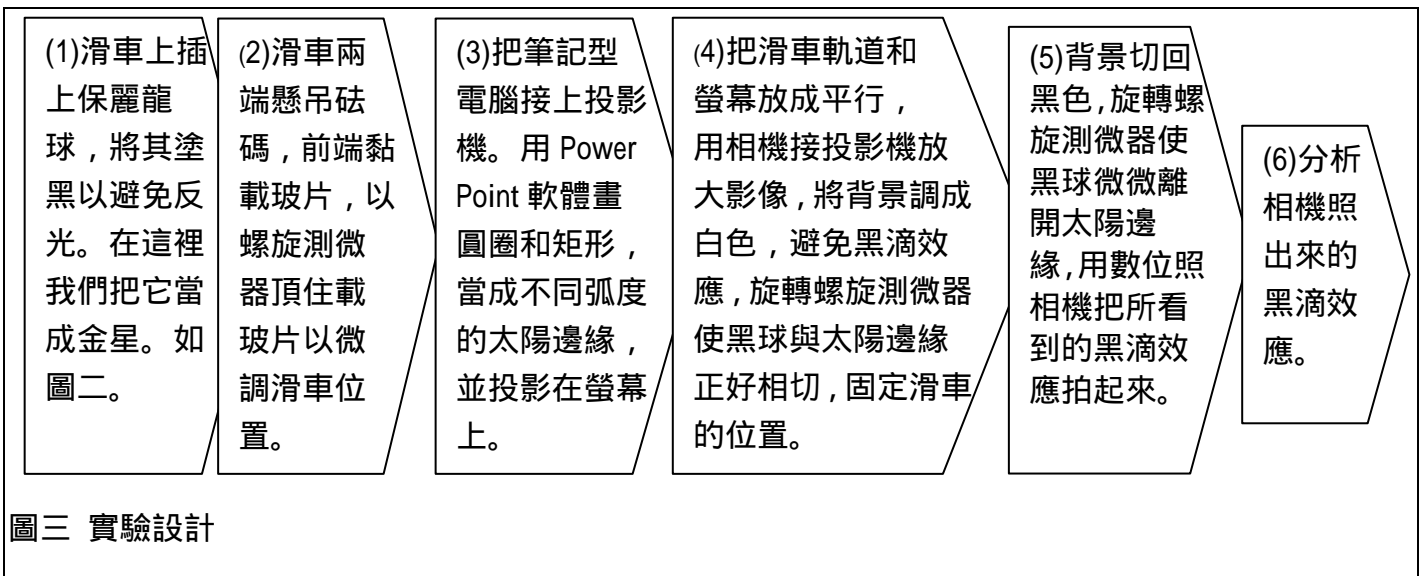
## 貳、研究方法

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。



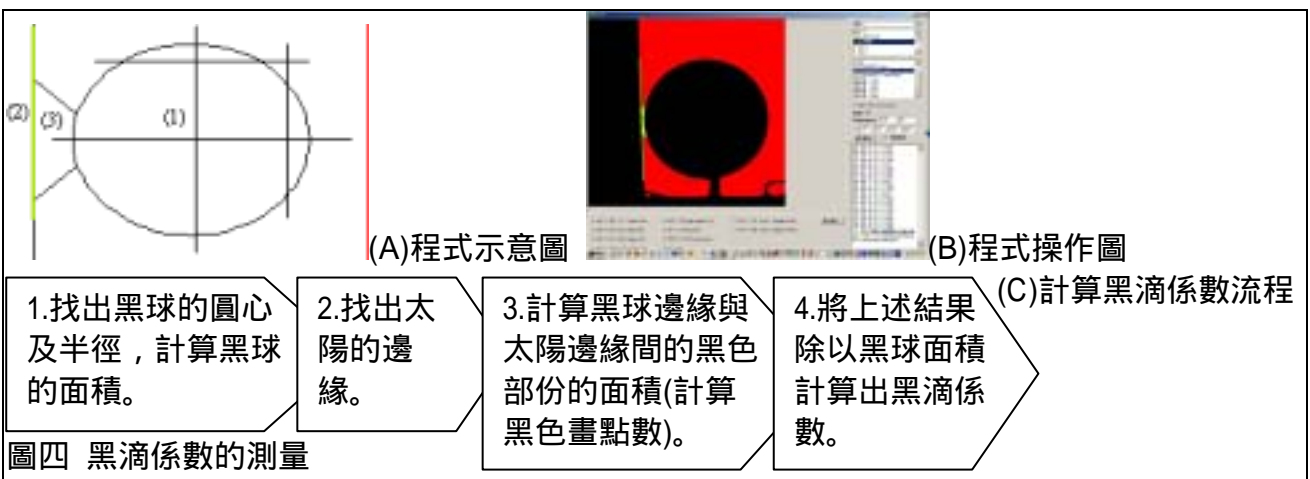
## 一、實驗設計



## 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

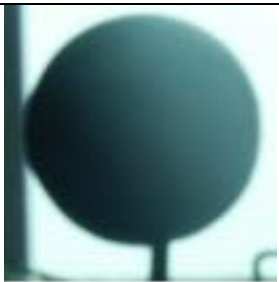


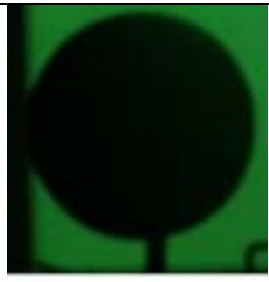
太陽邊緣弧度	直邊	弧邊
黑滴效應		



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

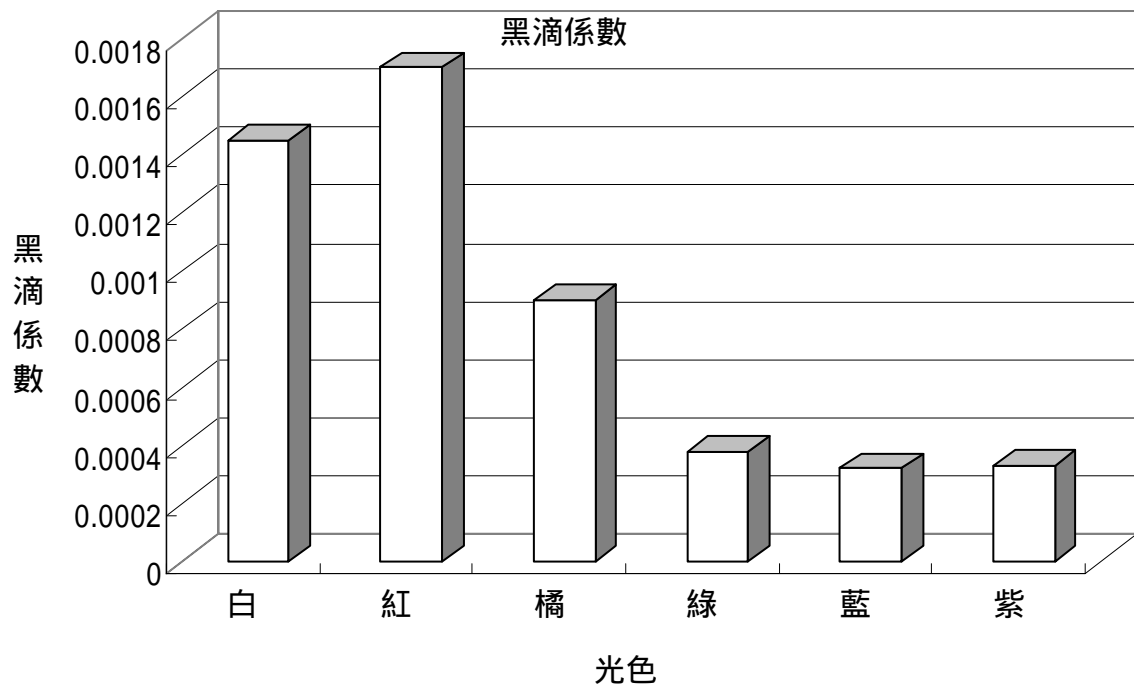
### 實驗二: 光的波長會不會影響到黑滴效應

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！

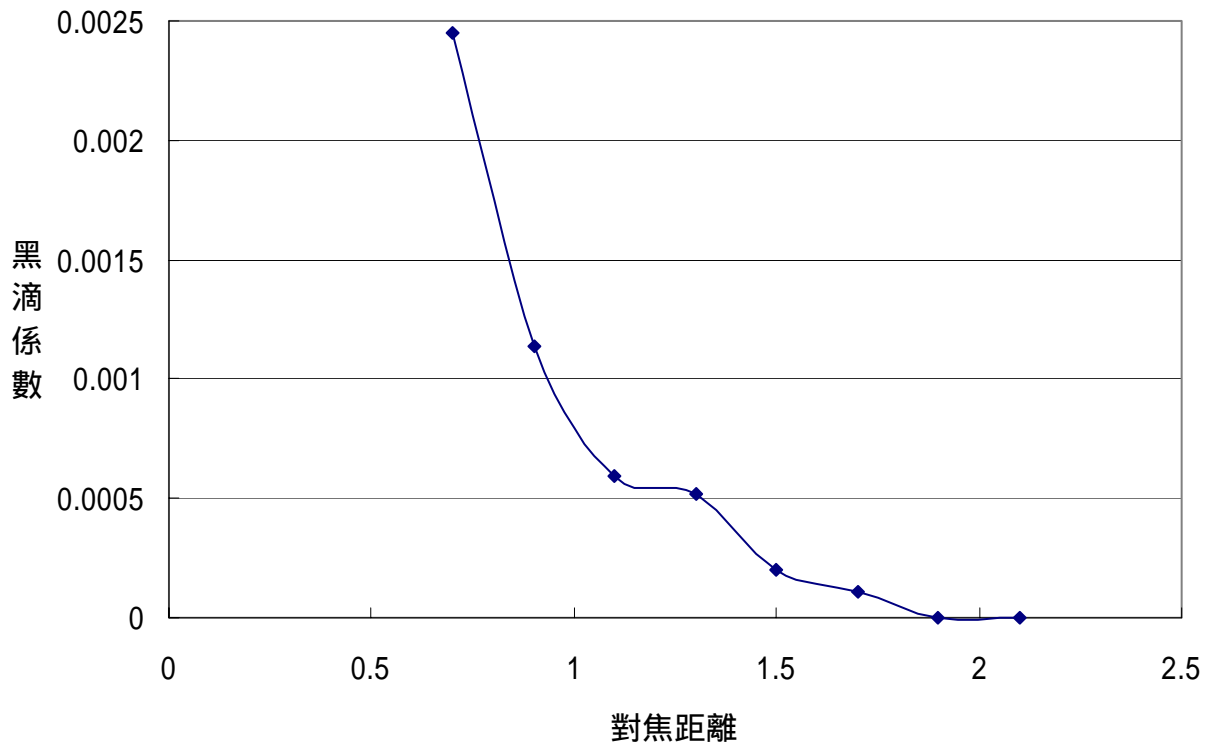
### 實驗三：相機的像距大小對黑滴效應影響

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。

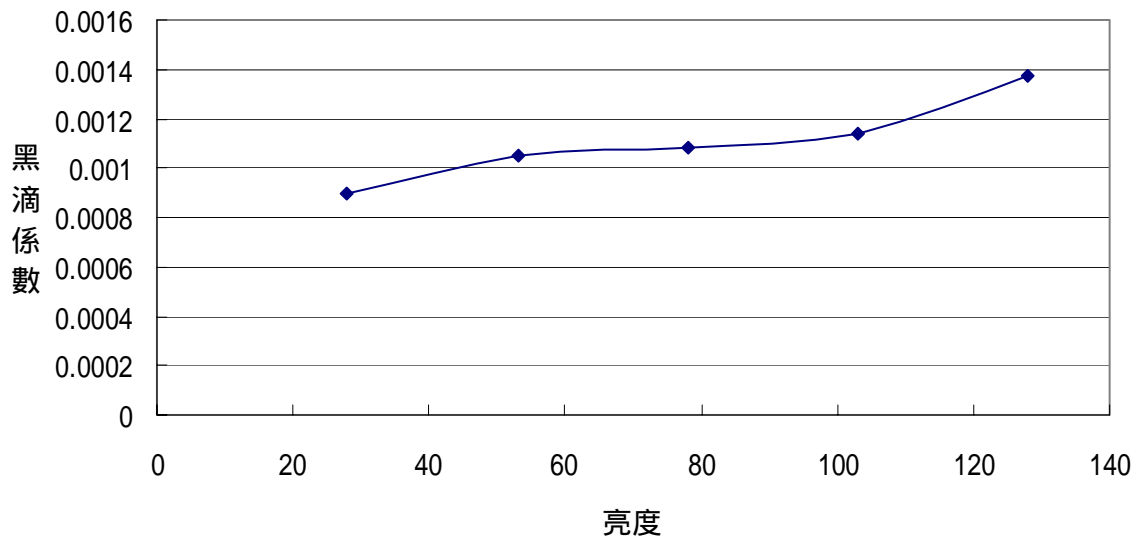
### 實驗四:光的明暗度會不會影響到黑滴效應

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			

(A)實驗照片

光度 (亮度/ 彩度)	53 / 255	28 / 255
黑滴 效應		



(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。

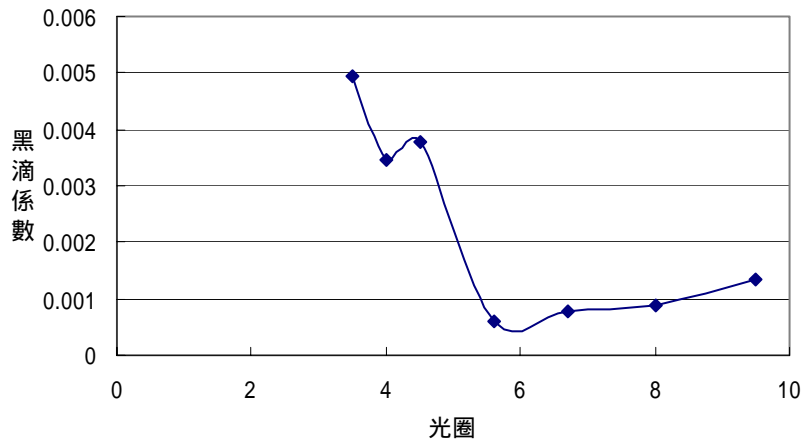
### 實驗五：相機的光圈對黑滴效應的明顯程度

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

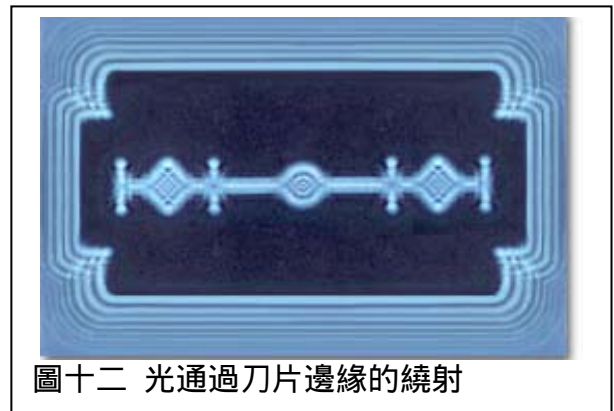
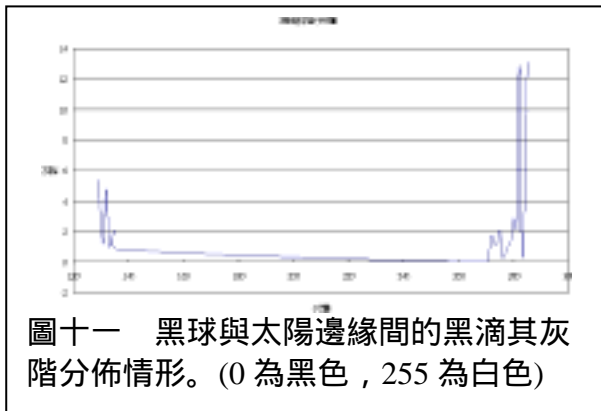
圖十 黑滴效應發生在行星第二及第三次接觸光球盤面時。雖然離開邊緣一段距離仍有相連現象，但距離稍微增加，相連的黑帶就突然消失。

## 肆、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。

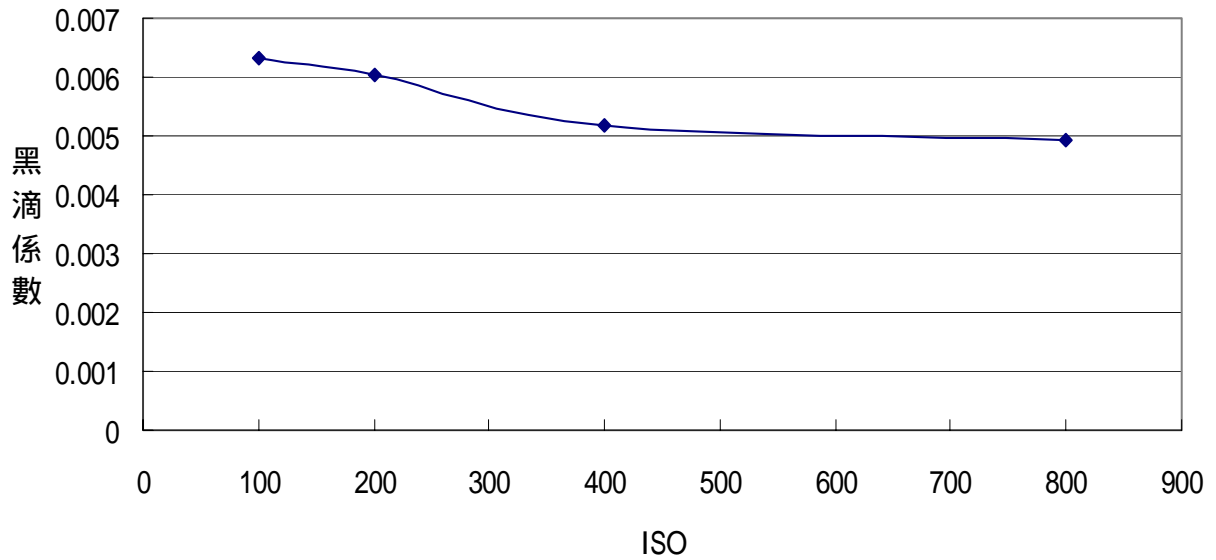


## 實驗七：數位相機感光度對黑滴效應的影響

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) 實驗照片



(B)數據圖

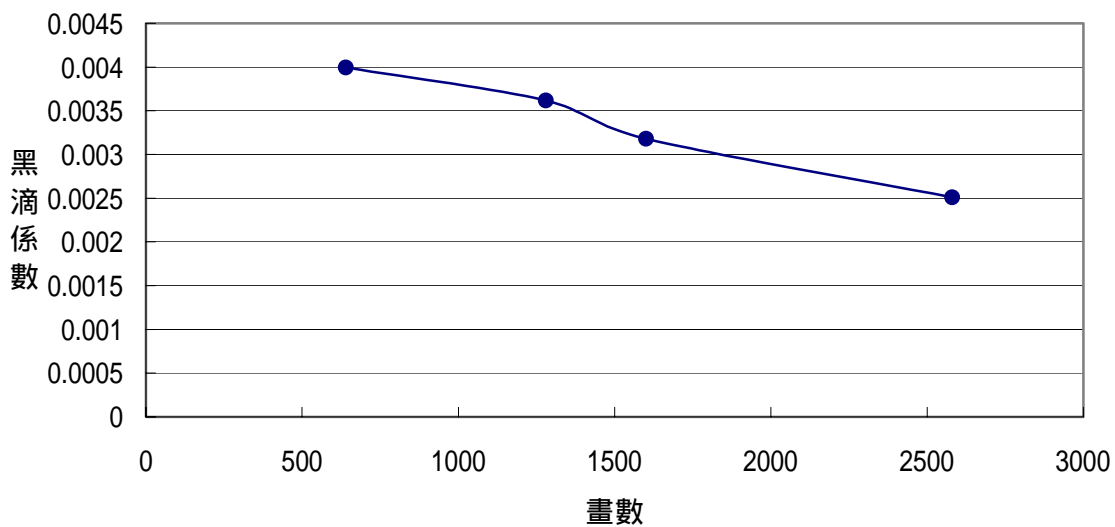
圖十三 當感光度的數值越大時，黑滴效應越不明顯。

### 實驗八：數位相機畫數對黑滴效應的影響

固定實驗的器材，只改變相機的畫數。

畫數	640	1280	1600	2560
黑滴效應				

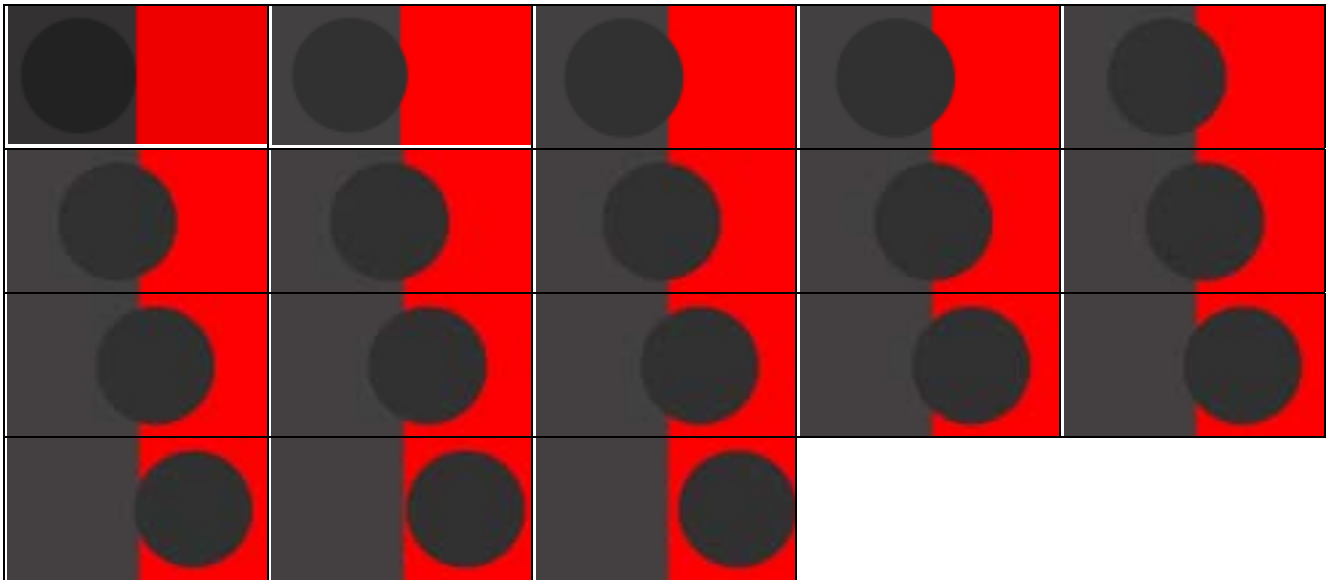
(上)實驗照片 (下)數據圖



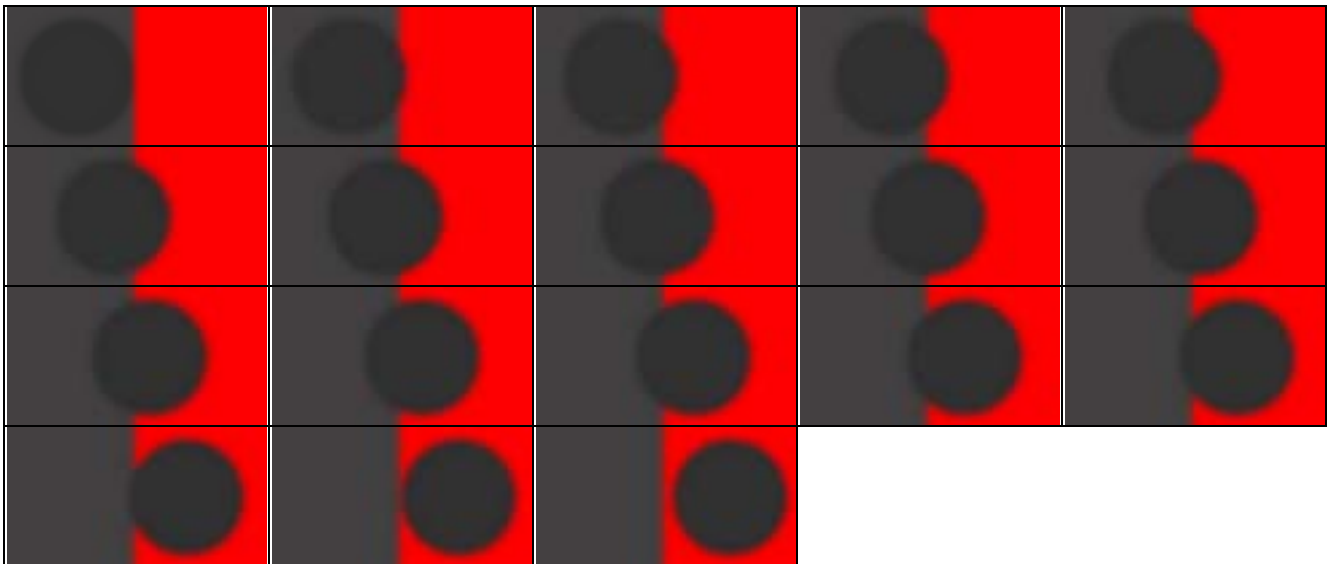
圖十四 相機的畫數越高時，黑滴效應越不明顯。亦即畫素越低，影像較模糊。

## 伍、模擬實驗黑滴效應的電腦模擬

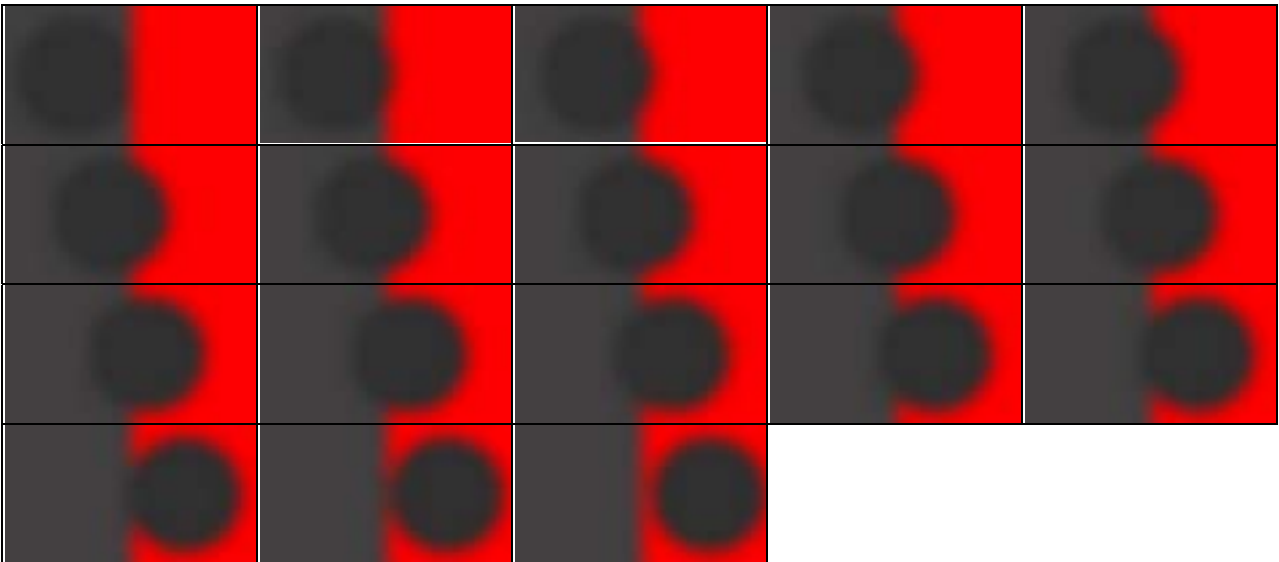
下面是我們用電腦根據我們的實驗結果所畫出來的，以 PhotoImpact 的高斯模糊所做出來的模擬黑滴效應。第一個為正常沒有模糊的，第二個為高斯模糊處理，模糊度為 5 點的，第三個為模糊度為 11 點的，第四個為邊緣變暗但沒有模糊的，第五個為邊緣變暗且模糊度為 5 點的，第六個為邊緣變暗且模糊度為 11 點的。當畫面的模糊度越大時，黑滴效應會越明顯。而當邊緣變暗時，只會讓黑滴效應比較容易判別。



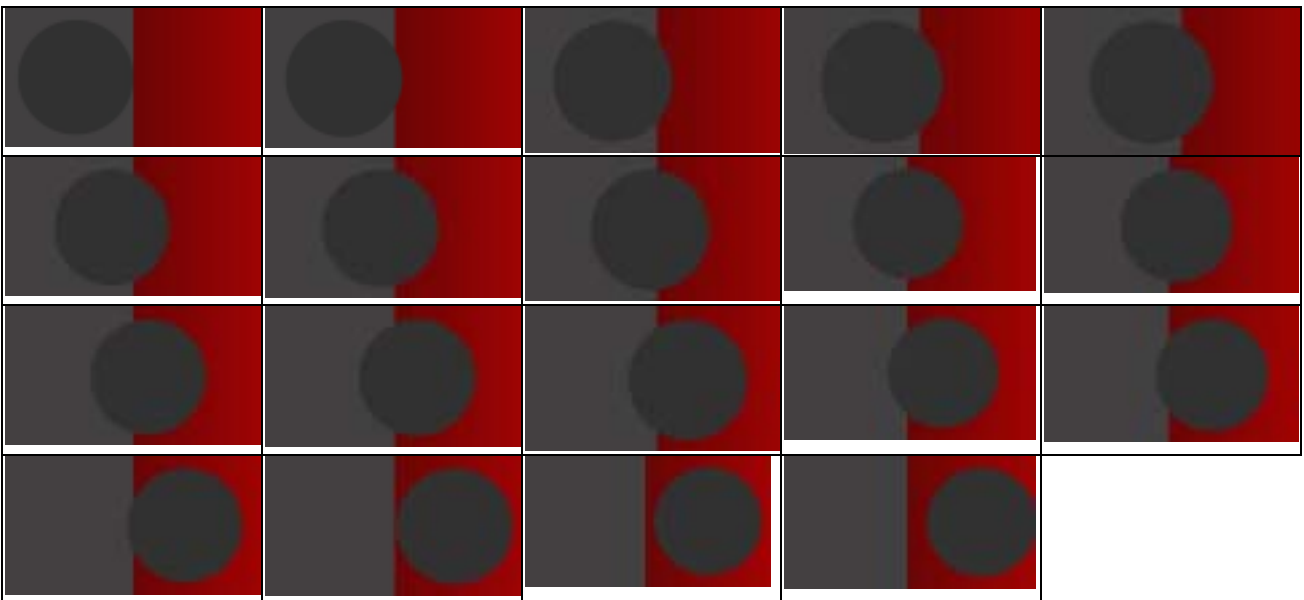
圖十五 (a) 正常



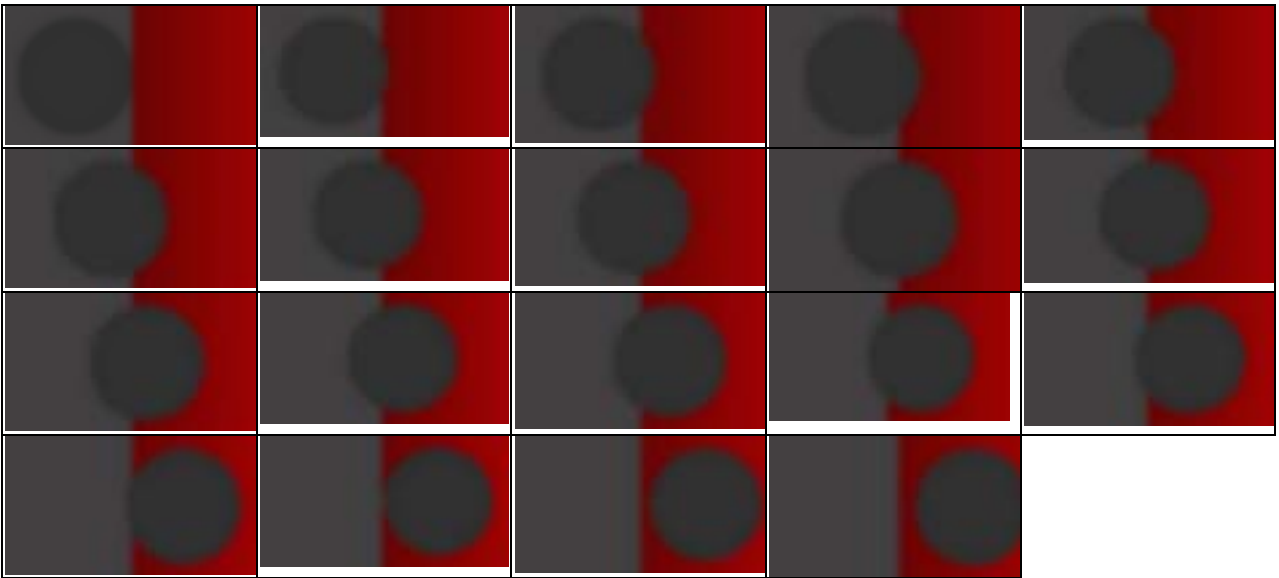
圖十五 (b) 模糊度為五點



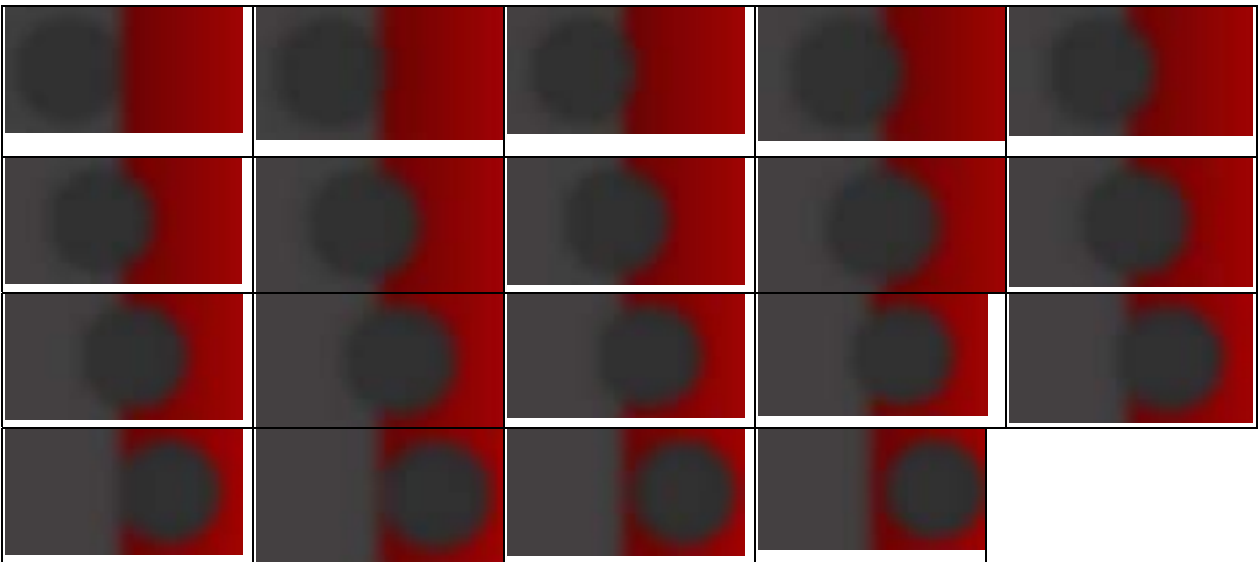
圖十五 (c) 模糊度為十一



圖十五 (d) 邊緣變暗、沒有模糊



圖十五 (e) 邊緣變暗、模糊度為五點



圖十五 (f) 邊緣變暗、模糊度為十一點

## 陸、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。

## 柒、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。

### 捌、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>

040509

1.

2

( )