

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 生活與應用科學科

040821

g 星剖測—流星運動的探討

學校名稱：國立臺東女子高級中學

作者： 高二 林之綠 高二 陳宣靜 高二 傅子容	指導老師： 謝建智
-----------------------------------------------	------------------

關鍵詞：流星、運動力學、大氣層

g 星剖測——流星運動的探討

摘要

本研究主要分析流星的位移、平均速度及運動變化。研究發現：臺東觀察點(o)拍攝的流星(2012/08/13, AM04:03)，其位移為 25.68 km，平均速度為 33.35 km/s，與理論中流星體進入地球大氣的速度範圍(11~72 km/s)相符，且該流星應為英仙座流星群之一。以 UFO Analyzer 軟體分析流星影像圖檔，發現隨著時間增加，方位角及方位角對數值逐漸遞增，而仰角及仰角對數值逐漸遞減($p < 0.05$)。臺東和高雄觀察點之流星方位角(az)與時間(t)的對數比值約為 1.7，即： $\log az \approx 1.7 \log t \Rightarrow az \approx t^{1.7}$ ，流星仰角(ev)與時間(t)的對數比值約為 1.0，即： $\log ev \approx 1.0 \log t \Rightarrow ev \approx t^{1.0}$ 。另外，隨著時間的增加，流星高度遞減，但瞬時速度呈不規則的變化。在高度約 79km 時，瞬時速度明顯減少，分析得知速度驟變的區域在電離層與中間層之間的交界處附近。

壹、研究動機

當妳在夜晚走出戶外抬頭仰望星空時，偶而妳會發現一點亮光劃過夜空，然而就在妳脫口驚呼：「流星！」之際，它卻已消逝無蹤，徒然留下一聲嘆息----還沒來得及許願呢！升上高中後，在物理課及地球科學課上瞭解了許多運動學、天文學的知識，正當我們如火如荼的和它們打交道時，一篇新聞吸引了我們的目光----「2013年2月15日俄羅斯隕石墜落事件」，新聞標題說，此隕石的衝撞威力相當於廣島原爆的30倍！這篇報導引起了我們對流星的興趣。

我們知道，當任何地球上的物體在做垂直運動時，其加速度必為地心引力 g ，那麼流星呢？流星是受到地球重力吸引而進入大氣層，那麼它的運動又是呈現怎樣的型態呢？我們學習許多的天文運動學知識，如果能和充滿神秘氣息的天文結合，一定相當有趣，於是我們試著一探美麗的流星運動。

教材相關性：高中基礎物理(二)B-----第2章 運動學
高中基礎地球科學(下)-----第5章 望星空

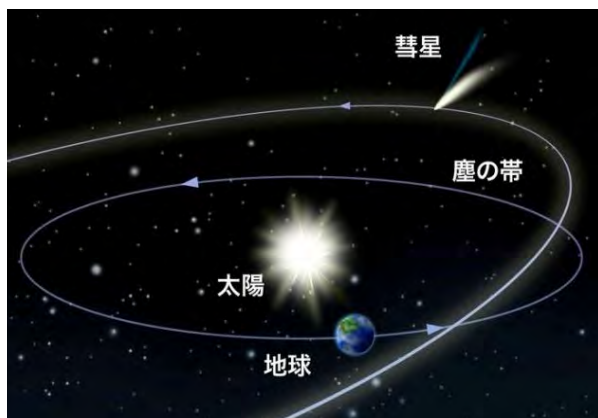
貳、文獻探討

一、流星現象

流星現象(圖一)發生的原因是因為來自星際間的物體，如彗星(圖二)或小行星的碎片、殘骸及太空中的塵粒，但也有可能是人造衛星或太空任務中掉落的物體，進入地球大氣層所造成。這些物體稱為流星體(meteoroid)，在太陽強大的引力作用之下，它們大約會以每秒42公里的速度繞著太陽運動，其軌道大多是拉得較扁的橢圓或拋物線，當它們在運行的過程中接近大行星時便會受到擾動，甚至脫離原來的軌道。假若它們受到地球引力影響，從太空中以11~72 km/s的速度與地球大氣分子碰撞和摩擦，流星體的動能轉換成熱能在大氣中燃燒的現象，即是我們所謂的流星(shooting star or meteor)；同時受碰撞的大氣分子因吸收能量發生離化作用，因此便在流星體行進路徑產生了離化尾(流星尾)(郭銘賢，2000)。

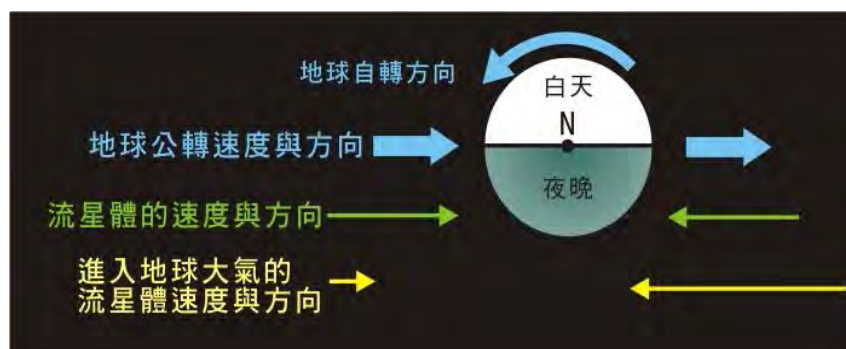


圖一 流星現象



圖二 彗星和流星群的關係

當流星體在大氣層中與空氣分子碰撞時，動能轉化為熱能，致使流星體瞬間氣化而產生一道光跡，其亮度不僅與質量、大小有關，而且也隨著速度快慢而異。平日夜晚肉眼所觀測到的流星每小時約有 5~7 顆，出現的時間則是下半夜多於上半夜，這是因為下半夜出現的流星屬於與地球迎面相遇或被地球追趕的流星，流星亮度會提高，而上半夜出現的流星屬於追趕地球的流星，流星亮度減低；在地球軌道附近的流星速度最高為 42 km/s，就流星相對於地球公轉的速度(約 30 km/s)而言，前者進入地球大氣的速度約 72 km/s(流星與地球公轉的速度和)，後者約為 11 km/s(流星與地球公轉的速度差)(圖三)。由於流星體的運行軌道和地球公轉軌道之間的夾角是任意的，流星體進入地球大氣時的速度將因夾角的不同而有不同的合成速度。



圖三 流星進入地球大氣的速度

流星出現的高度約在 100~150 公里之間，屬於大氣層電離層的底部，而消失點則在 50~100 公里之間，為大氣平流層上半與電離層底部(程昭團，2005)，但有些明亮的火流星(fire meteors)(圖四)可以下墜到非常低的高度。火流星會在空中留下兩種痕跡，因為高溫而離子化的物質以次穩態(meta-stable)存在而發光的稱為殘痕(persistent train)，而殘留下的一般不發光物質稱為煙痕(smoke train)，煙痕可以在白天因陽光照耀而被看見，如果當時有月光的話，那麼會呈現白色的亮痕，在高空沒有風將其吹散的情況下，它可維持十多分鐘以上才會逐漸消失不見。



圖四 火流星

二、隕石

流星體在到達地表之前，首先要通過一層厚厚的大氣層，這層大氣越近地面分子越密，一般來說流星體在距地表 140 km 即開始與大氣分子發生碰撞，產生光、熱與離化，在 50~70 km 處燒盡化為烏有。大部分的流星體，在到達地表前就已消失殆盡，只有極少數質量較大且堅實的流星體能將地表撞成坑洞(隕石坑)而被發現，這些在地

表發現的流星體稱為隕石(meteorite) (郭銘賢，2000；程昭團，2005)。

三、流星群(流星雨)

流星依其發生的時間、頻率和形態，分為偶發流星和流星群。一般而言，偶發流星都是零星而單獨的，出現的時間和方向是無規律性的，而彼此之間也是不相關的，這種流星也叫「散在流星」，中國民間通常叫它"賊星"，在無光害的高山上或海邊比較容易看見。

若一小時內出現的流星數目達數十顆或上百顆時，稱為「流星群」(meteor shower, meteor swarm)，若出現數量達幾百顆或者幾千顆時，則稱為「流星暴」(meteor storm)。流星群由輻射點(radiant point)向外輻射，拖曳的亮光既長又快，可以證明流星雨在太空中是平行向地球入射的，速率也相同，但我們從地球上，好像是從輻射點飛出，那是由於遠近比例的幾何透視所造成的結果，而輻射點就是流星群的平行路徑的盡頭，就像平行的鐵軌會在遠處交會一般。



圖五 獅子座流星群示意圖

流星群是以其輻射點在那一個星座，就稱為那個星座的流星群(表一)。例如：在每年1月的天龍座流星群、8月的英仙座流星群、11月的仙女座流星群及獅子座流星群(圖五)...等。每天都有上百億顆流星體進入地球的大氣層，為我們帶來豐富的太陽系天體形成演化的信息(臺北市立天文科學教育館，2011)。

表一 2012年主要流星群(臺北市立天文科學教育館，2011)

流星群名稱	來源天體	發生期限	輻射點		速度 km/s	亮度 指標	備註
			赤經°	赤緯°			
天琴座	C/Thatcher	04.16~04.25	271	34	49	2.1	
寶瓶座 η	1P/Halley	04.19~05.28	338	-01	66	2.4	
寶瓶座 δ 南	96P/Machholz 2	07.12~08.23	340	-16	41	3.2	流星暗且慢
摩羯座 α	72P/Denning-Fujikawa	07.03~08.15	307	-10	23	2.5	流星慢而亮
英仙座	109P/Swift-Tuttle	07.17~08.24	48	58	59	2.2	
天鵝座 κ		08.03~08.25	286	59	25	3.0	
獵戶座	1P/Halley	10.02~11.07	95	16	66	2.5	
金牛座北	2P/Encke	10.20~12.10	58	22	29	2.3	流星亮且慢
獅子座	55P/Tempel-Tuttle	11.06~11.30	152	22	71	2.5	
雙子座	MP3200	12.07~12.17	112	33	35	2.6	

四、地球大氣層

大氣層垂直結構由下至上大致可分為對流層、平流層、中間層、游離層及外氣層(表二)，分述如下：

- (一)對流層：最接近地面的大氣層稱為對流層，平均高度約 10 公里。對流層高度隨緯度變化，在赤道最高約為 15 公里，極地最低約 8 公里。顧名思義，對流層是對流最旺盛的區域，也是天氣現象發生的地方。大氣中的水氣，約有 80% 存在於對流層，因此它也是蒸發、雲、雨等最經常出現的區域。平均而言，對流層溫度隨高度降低，每上升 100 公尺，溫度下降約 0.6°C。
- (二)平流層：含有臭氧,具有吸收紫外線功能，保護地球上所有生物的生存和地表免於受陽光中強烈的紫外線致命的侵襲，又叫同溫層。因為在同溫層內部的臭氧層有吸收太陽輻射的功能，在此層的氣溫會隨高度增加。
- (三)中間層：又稱「中氣層」。此層主要成份有臭氧、氧、二氧化碳、氮的氧化物，這些部份是由光化學作用引起之產物，故又稱「光化層」，溫度隨高度上升而下降。
- (四)電離層：又稱「增溫層」、「游離層」，空氣極稀薄，離子特別多。溫度相當高，且隨高度升高而溫度升高。在電離層中陽光電離大氣分子與離子重新捕獲自由電子的過程平衡。一般來說高度越高，大氣越稀薄，則電離過程越佔上風。不過電離層的特性還隨許多其它因素影響。電離過程的主力是太陽及其活動。電離層內電離度主要由獲得的太陽輻射所影響。因此電離層隨周日和季節(冬季半球遠離太陽，因此受到的輻射比較少)而變化。太陽活動主要隨太陽黑子周期而變化。一般來說太陽表面黑子越多，太陽活動越強烈。除此以外隨地球表面緯度的不同當地受到的太陽輻射強度也不同。耀斑和太陽風中的帶電粒子可以與地球磁場相互作用，導致對電離層的擾亂。
- (五)外氣層：外太空的起點，含元素中最輕的二種氣體：氫(H)及氦(He)。

表二 地球大氣層垂直結構(維基百科)

大氣分層	範圍
外氣層	800 km ~ 2000 km 至 3000 km
電離層	80 至 85 km ~ 800 km
中間層	50 km ~ 80 至 85 km
平流層	7 至 11 km ~ 50 km
對流層	0 ~ 7 至 11 km

參、研究目的

- 一、瞭解流星形成原因。
- 二、分析流星的方位角(az)、仰角(ev)、高度及經緯度，並計算流星的位移(S)、平均速度(V)。
- 三、探討流星的運動變化。

肆、研究設備與器材

儀器設備	數量	儀器設備	數量
台東大學流星觀測用攝影機(CCD) (圖六)	2	MS EXCEL 軟體	1
Free Video to JPG Converter 軟體	1	電腦	2
UFO Analyzer 軟體	1		



圖六 台東大學流星觀測用攝影機(CCD)

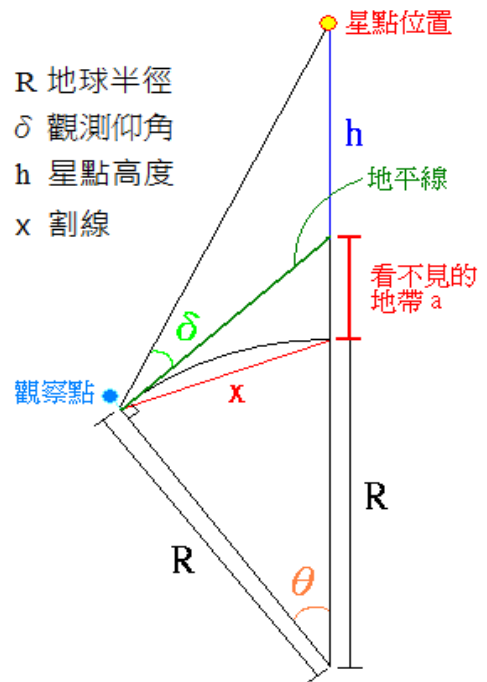
伍、研究過程與方法

一、名詞定義

(一)星點高度(h)的計算

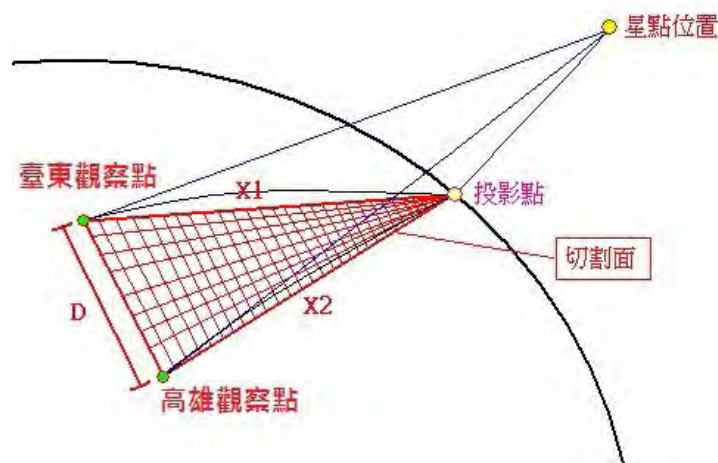
為了減少誤差，我們挑選的流星有兩組數據：一個來自臺東觀察點（臺東大學的流星觀測攝影機），另一個是高雄觀察點（高雄師範大學的流星觀測攝影機），利用兩觀察點觀測同一顆流星的數據交會，使我們計算流星在三維空間中的位移誤差減少。

由於地平面實際上是弧形的，若直接以觀察點測得的仰角(δ)算出星點高度(h)，將會忽略掉地平線以下一段觀察點看不見的距離(a)(圖七)，而為了計算之便，我們將計算的區域改為星點投影點與觀察點所形成的切割面(圖八)。所以在計算時，星點距地面的距離(即星點到投影點)就必須將 a 納入考量。

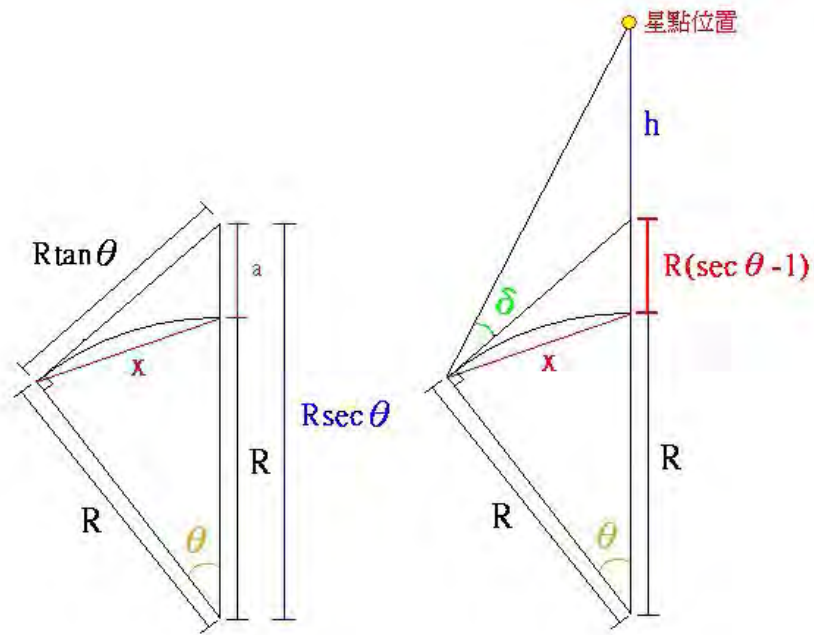


圖七 星點高度(h)和仰角(δ)、地球半徑(R)之關係

以下是計算出 a 的過程：觀察點的地平線是地球弧面的切線，所以地平線與觀察點至地球中心的直線距離 R 呈直角，形成一直角三角形，因此可 $a + R = R \sec \theta$ ，所以 $a = R(\sec \theta - 1)$ (圖九)。



圖八 星點位置、觀察點和切割面示意圖



圖九 a 的計算過程

(二)方位角(az)與仰角(ev)

- 1.方位角(Angle of azimuth, 簡稱 az): 以經線為基準, 向北為 0° , 向南為 180° 。
- 2.仰角(Angle of elevation, 簡稱 ev): 地平線為 0° , 正上方為 90° 。

(三)流星位移(S)

流星在天空中的發光點稱為流星的「出現點」, 其發光的終止位置稱為「消失點」, 從出現點到消失點所通過的路徑稱為「流星位移(S)」。(臺北市立天文科學教育館, 2011)

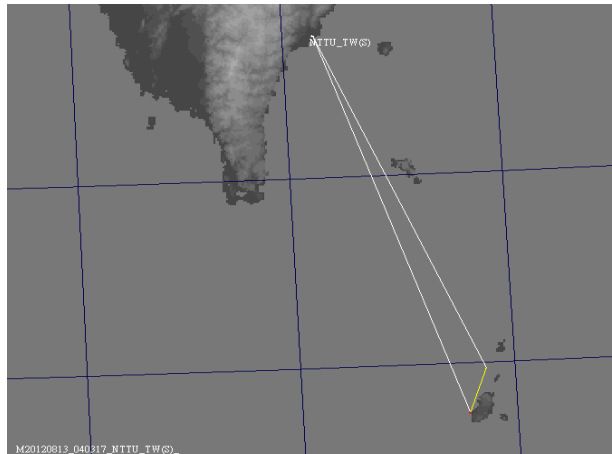
二、研究步驟

- (一)從流星觀測攝影機所拍攝到流星影片當中, 選取一顆流星(圖十)(2012/08/13, AM04:03)分析。
- (二)將拍攝到流星影片, 以 Free Video to JPG Converter 軟體分解為每秒 29 張的靜態流星影像圖檔。
- (三)以 UFO Analyzer 軟體分析每張流星影像圖檔, 得到每一張流星點的高度、經緯度。



圖十 臺東觀察點所拍攝的流星
(2012/08/13, AM04:03)

- (四)以 UFO Analyzer 軟體分析臺東觀察點所拍攝的流星影片，利用流星出現點及消失點的方位角(az)、仰角(ev)，推測該流星的位移(S)、平均速度(V)及輻射點(圖十一)。
- (五)將流星運動的時間(t)、高度和經緯度關係製成圖表，進行線性迴歸並分析。
- (六)將流星運動的時間(t)、高度和經緯度等數值取對數，進行線性迴歸並分析。



圖十一 以 UFO Analyzer 軟體模擬臺東觀察點所拍攝的流星位移(2012/08/13, AM04:03)

陸、研究結果

一、流星的位移(S)和平均速度(V)

以臺東觀察點(o)拍攝的流星
(2012/08/13, AM04:03), 計算
其位移和平均速度

1. $\Delta aa'o$ 、 $\Delta bb'o$ 各為一直角三角形
(圖十二)

2. 則 $\angle a'ao = 90^\circ - ev_a$ (出現點仰角)

$$= 90^\circ - 27.04^\circ = 62.96^\circ$$

$\angle b'bo = 90^\circ - ev_b$ (消失點仰角)

$$= 90^\circ - 16.78^\circ = 73.22^\circ$$

3. 利用正弦定理, 求 La'

$$\frac{La}{\sin \angle a'ao} = \frac{La'}{\sin \angle aa'o}$$

$$\Rightarrow \frac{211.3}{\sin 62.96^\circ} = \frac{La'}{\sin 90^\circ}$$

$$\Rightarrow La' = 237.42 \text{ km}$$

4. 利用正弦定理, 求 Lb'

$$\frac{Lb}{\sin \angle b'bo} = \frac{Lb'}{\sin \angle bb'o}$$

$$\Rightarrow \frac{232.8}{\sin 73.22^\circ} = \frac{Lb'}{\sin 90^\circ}$$

$$\Rightarrow Lb' = 243.17 \text{ km}$$

5. 求 θ (流星消失點和出現點的方位角差, 表三)

$$\theta = 163.61^\circ - 159.10^\circ = 4.51^\circ$$

6. 利用餘弦定理, 求流星位移(S)

$$\cos \theta = \frac{La'^2 + Lb'^2 - S^2}{2 \times La' \times Lb'}$$

$$\Rightarrow \cos 4.51^\circ = \frac{237.42^2 + 243.17^2 - S^2}{2 \times 237.42 \times 243.17}$$

$$\Rightarrow S = 25.68 \text{ km}$$

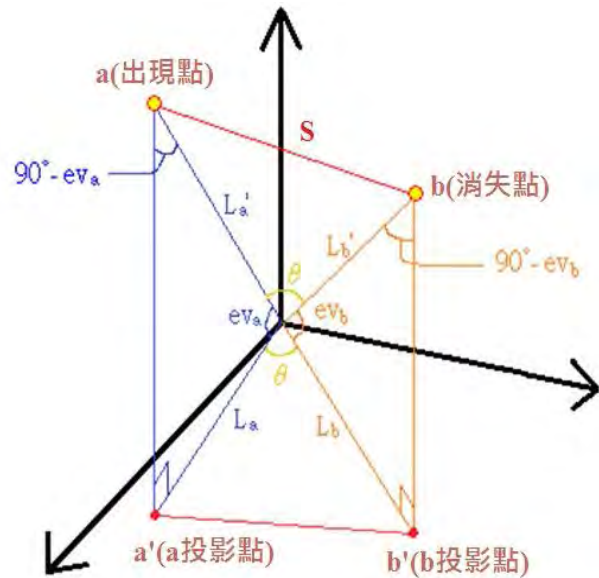
7. 流星的平均速度(V)

$$V = \frac{S}{t} = \frac{25.68}{17.73 - 16.96} = 33.35 \text{ km/s}$$

符合理論中流星體進入地球大氣的速度範圍(11~72 km/s)之間。

8. 輻射點

以 UFO Analyzer 軟體分析臺東觀察點所拍攝的流星影像, 往宇宙延伸, 發現和英仙座有交集, 因此判斷該流星應為英仙座流星群(07.17~08.24)之一。



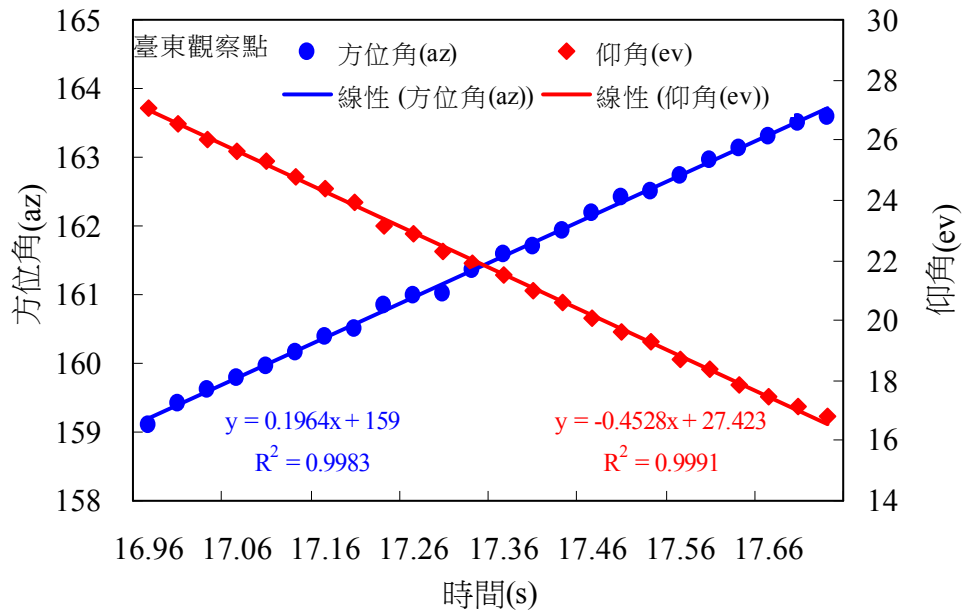
圖十二 流星位移(S)計算示意圖

表三 臺東觀察點拍攝的流星(2012/08/13, AM 04:03)出現點及消失點的時間、方位角、仰角

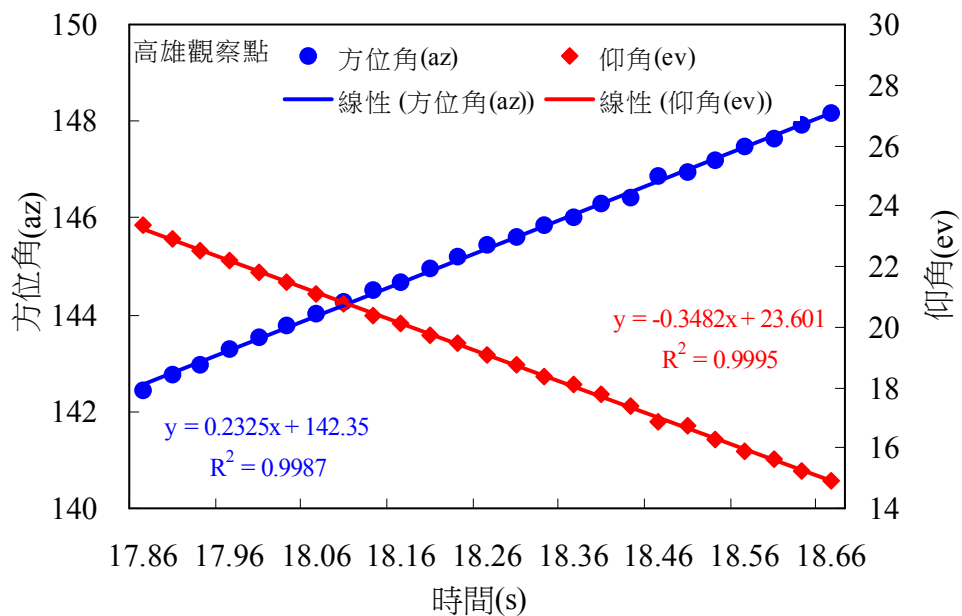
	時間(s)	方位角(az)	仰角(ev)
a(出現點)	16.96	159.10°	27.04°
b(消失點)	17.73	163.61°	16.78°

二、流星運動的方位角(az)和仰角(ev)關係

將臺東觀察點的流星(2012/08/13, AM04:03)取固定時間間隔(1/29 秒)的方位角(az)和仰角(ev)變化進行比較，發現隨著時間的增加，方位角逐漸遞增($y=0.1964x+159$, $R^2=0.9983$), 而仰角逐漸遞減($y=-0.4528x+27.423$, $R^2=0.9991$)(圖十三), 且皆存在顯著的線性關係($p<0.05$)。高雄觀察點的流星觀測數據亦然(圖十四)。



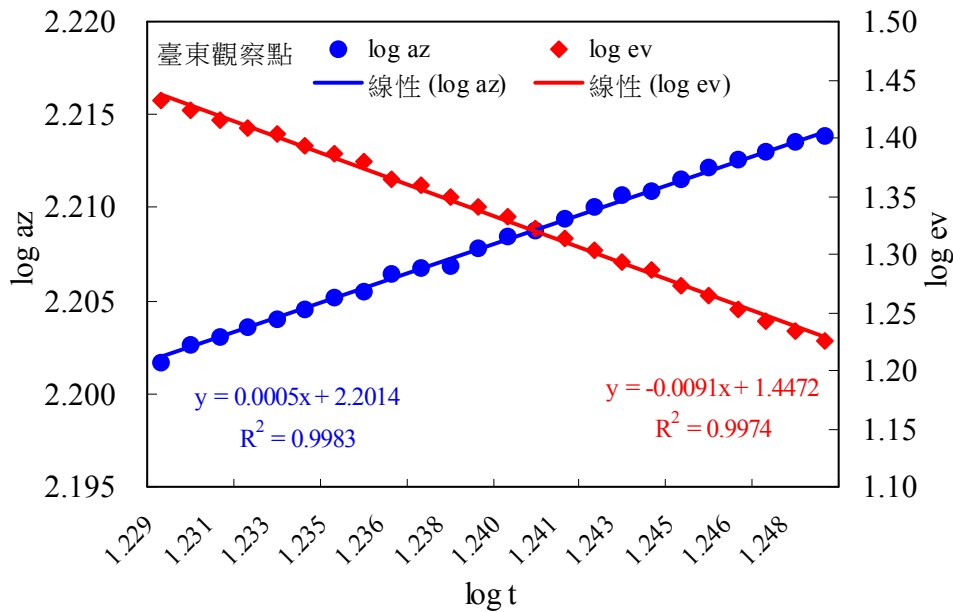
圖十三 臺東觀察點的流星方位角(az)和仰角(ev)變化



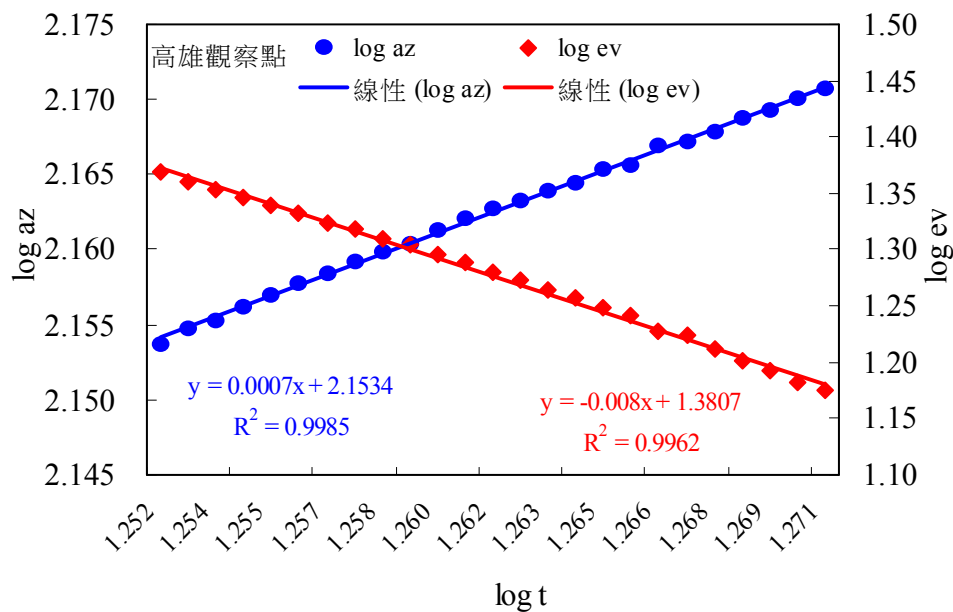
圖十四 高雄觀察點的流星方位角(az)和仰角(ev)變化

三、流星運動的方位角(az)和仰角(ev)對數關係

將臺東觀察點的流星(2012/08/13, AM04:03)取固定時間間隔(1/29 秒)的方位角(az)和仰角(ev)對數值變化進行分析,發現隨著時間對數值的增加,方位角對數值逐漸遞增($y=0.0005x+2.2014$, $R^2=0.9983$),而仰角對數值逐漸遞減($y=-0.0091x+1.4472$, $R^2=0.9974$) (圖十五),且皆存在顯著的線性關係($p<0.05$)。高雄觀察點的流星觀測數據亦然(圖十六)。



圖十五 臺東觀察點流星方位角(az)和仰角(ev)的對數變化



圖十六 高雄觀察點流星方位角(az)和仰角(ev)的對數變化

四、流星運動方位角(az)、仰角(ev)對數值與時間對數值之比值

(一)方位角(az)對數值與時間對數值之比值

取方位角(az)與時間(t)的對數值，並求其比值，發現(附錄一、二)臺東和高雄觀察點其比值皆約為 1.7(臺東： 1.78 ± 0.01 ；高雄： 1.71 ± 0.00)，即：

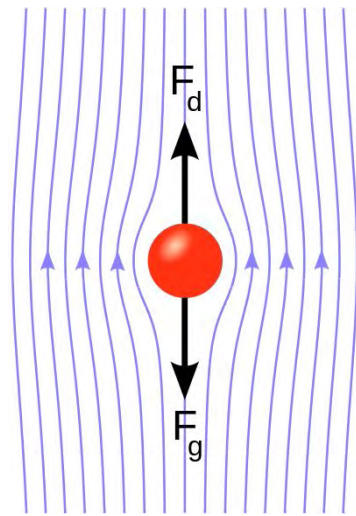
$$\log az \approx 1.7 \log t \Rightarrow az \approx t^{1.7}$$

(二)仰角(ev)對數值與時間對數值之比值

取仰角(ev)與時間(t)的對數值，並求其比值，發現(附錄一、二)台東和高雄觀察點其比值皆約為 1.0(臺東： 1.08 ± 0.06 ；高雄： 1.01 ± 0.05)，即：

$$\log ev \approx 1.0 \log t \Rightarrow ev \approx t^{1.0}$$

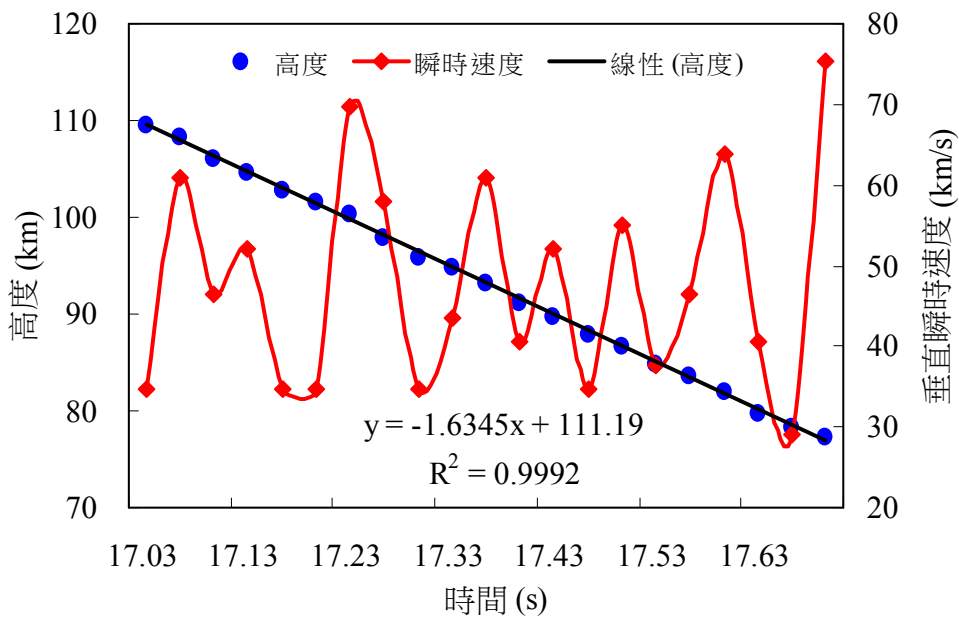
顯示該流星體於觀測時間內，速度幾乎不變；我們推測，此時流星體向下的重力(F_g)約相等於向上的阻力(F_d)，流星體的淨力為零，因此流星體的速度保持不變，可能已到達其終端速度(**terminal velocity**)(圖十七)。但在後來的分析中，此推測即被推翻。



圖十七 流星體的淨力為零($F_g \approx F_d$)，到達終端速度

五、流星高度(H)、瞬時速度與時間之關係

將臺東觀察點的流星(2012/08/13, AM04:03)取固定時間間隔(1/29 秒)的垂直高度(H)與高度差變化進行分析，並比較流星高度、瞬時速度與時間之關係。結果發現隨著時間的增加，高度遞減($y = -1.6345x + 111.19$, $R^2 = 0.9992$)；但瞬時速度變化不如先前仰角分析的推測，呈現等速度運動，而是不規則的變化(圖十八)。在高度約 79km 時，瞬時速度明顯減少，分析得知速度驟變的高度區域在電離層與中間層之間的交界處附近，因此推測此變動和大氣層的性質改變有關。



圖十八 臺東觀察點流星高度、瞬時速度的變化

六、流星高度(H)對數值與時間對數值之比值

取高度(H)與時間(t)的對數值，並求其比值，發現(附錄一)臺東觀察點其比值皆約為 1.6，即： $\log H \approx 1.6 \log t \Rightarrow H \approx t^{1.6}$

柒、討論

- 一、本研究之流星位移計算是以地球切割平面做計算，而地球表面實際上是圓弧的，所以計算值與實際值會稍有誤差。
- 二、使用 UFO Analyzer 軟體讀取每一個流星點的方位角(az)、仰角(ev)、高度與經緯度時，是將滑鼠游標瞄準在流星點上，並讀取滑鼠游標顯示的數據，然而流星點圖片經過數位化轉換後，其光暈和流星實體的界線已經模糊無法辨識，所以滑鼠游標顯示的數據並非絕對精準。
- 三、原本以仰角分析所呈現的結果，讓我們推測流星已進入終端速度。但高度變化的分析卻呈現每個星點的瞬時速度不規則的變化，所以流星並非如原先推測進行等速度運動，而是在不同的大氣層中呈現不一樣的速度。
- 四、探討流星運動的過程中，我們發現所觀測的流星並非如預期的等加速度運動，並推測其原因與大氣造成的阻力有關。根據文獻探討的內容，流星通常出現於電離層底部至平流層上半部，我們認為能藉由探討流星的運動來間接了解部分大氣層的狀況。
- 五、流星形狀的改變也可能是造成流星運動瞬時速度變化不一的原因之一，若其形體不均勻，則在運動過程中，流星體會因力矩而翻轉，造成速度的改變。

捌、結論

- 一、臺東觀察點(o)拍攝的流星(2012/08/13, AM04:03), 其位移(S)為 25.68 km, 流星速度(V)為 33.35 km/s, 與理論中流星體進入地球大氣的速度範圍(11~72 km/s)相符, 並且該流星應為英仙座流星群(07.17~08.24)之一
- 二、以 UFO Analyzer 軟體分析臺東觀察點之流星(2012/08/13, AM04:03)影像圖檔, 取固定時間間隔(0.03 秒), 發現隨著時間的增加, 方位角(az)逐漸遞增($y=0.1964x+159$, $R^2=0.9983$), 而仰角(ev)逐漸遞減($y=-0.4528x+27.423$, $R^2=0.9991$), 且皆存在顯著的線性關係($p<0.05$)。高雄觀察點的流星觀測數據亦然。
- 三、分析臺東觀察點之流星(2012/08/13, AM04:03)時間、方位角(az)和仰角(ev)對數值變化, 發現隨著時間對數值的增加, 方位角對數值逐漸遞增($y=0.0005x+2.2014$, $R^2=0.9983$), 而仰角對數值逐漸遞減($y=-0.0091x+1.4472$, $R^2=0.9974$), 且皆存在顯著的線性關係($p<0.05$)。高雄觀察點的流星觀測數據亦然。
- 四、臺東和高雄觀察點之流星方位角(az)與時間(t)的對數比值約為 1.7(臺東: 1.78 ± 0.01 ; 高雄: 1.71 ± 0.00), 即: $\log az \approx 1.7 \log t \Rightarrow az \approx t^{1.7}$ 。流星仰角(ev)與時間(t)的對數比值約為 1.0(臺東: 1.08 ± 0.06 ; 高雄: 1.01 ± 0.05), 即: $\log ev \approx 1.0 \log t \Rightarrow ev \approx t^{1.0}$ 。
- 五、分析臺東觀察點的流星(2012/08/13, AM04:03)高度、瞬時速度與時間之關係, 發現隨著時間的增加, 高度遞減($y=-1.6345x+111.19$, $R^2=0.9992$), 但瞬時速度呈不規則的變化。在高度約 79km 時, 瞬時速度明顯減少, 分析得知速度驟變的高度區域在電離層與中間層之間的交界處附近。

玖、參考文獻

- 1.康熹文化事業股份有限公司 (2011) **高中基礎地球科學(下)**，新北市：康熹文化事業股份有限公司。
- 2.郭銘賢 (2000) **確定雷達流星尾資料之輻射點及其應用於 1998 年中壢雷達觀測獅子座流星雨**，國立中央大學太空科學研究所碩士論文。
- 3.程昭團 (2005) **利用雷達干涉法進行流星尾定位與背景風場估計**，國立中央大學太空科學研究所碩士論文。
- 4.臺北市立天文科學教育館 (2011) **天文年鑑 2012**，臺北市：臺北市立天文科學教育館。
- 5.課堂外的教室~自然~生態~科學~的天地
<http://tw.myblog.yahoo.com/yuch60/article?mid=93&next=90&l=f> (文摘自 TAS 台灣天文網)(檢索日期 2013/3/3)
- 6.翰林出版事業股份有限公司 (2011) **高中基礎物理(二)B 上**，臺南市：翰林出版事業股份有限公司。
- 7.維基百科

附錄

附錄一 臺東觀測點流星(2012/08/13, AM04:03)的方位角(az)、仰角(ev)、高度(H)和對數比值

時間 (t)	方位角 (az)	仰角 (ev)	高度 (H) (km)	log az	log ev	Log H	log t	$\frac{\log az}{\log t}$	$\frac{\log ev}{\log t}$	$\frac{\log H}{\log t}$
16.96	159.1011	27.0398		2.2017	1.4320		1.2294	1.7908	1.1648	
16.99	159.4322	26.5461		2.2026	1.4240		1.2302	1.7904	1.1575	
17.03	159.6226	26.0379	109.5	2.2031	1.4156	2.0394	1.2312	1.7894	1.1498	1.6564
17.06	159.8053	25.5937	108.3	2.2036	1.4081	2.0346	1.2320	1.7887	1.1430	1.6515
17.09	159.9746	25.2790	106.2	2.2041	1.4028	2.0261	1.2327	1.7879	1.1379	1.6436
17.13	160.1612	24.7676	104.6	2.2046	1.3939	2.0195	1.2338	1.7869	1.1298	1.6369
17.16	160.4036	24.3912	102.8	2.2052	1.3872	2.0120	1.2345	1.7863	1.1237	1.6298
17.19	160.5130	23.9382	101.6	2.2055	1.3791	2.0069	1.2353	1.7854	1.1164	1.6247
17.23	160.8551	23.1714	100.4	2.2064	1.3650	2.0017	1.2363	1.7847	1.1041	1.6192
17.26	160.9941	22.8526	98.0	2.2068	1.3589	1.9912	1.2370	1.7839	1.0985	1.6097
17.29	161.0195	22.3237	96.0	2.2069	1.3488	1.9823	1.2378	1.7829	1.0897	1.6015
17.33	161.3719	21.8854	94.8	2.2078	1.3402	1.9768	1.2388	1.7822	1.0818	1.5957
17.36	161.6068	21.5031	93.3	2.2085	1.3325	1.9699	1.2395	1.7817	1.0750	1.5892
17.39	161.7145	20.9815	91.2	2.2087	1.3218	1.9600	1.2403	1.7808	1.0657	1.5803
17.43	161.9471	20.5980	89.8	2.2094	1.3138	1.9533	1.2413	1.7799	1.0584	1.5736
17.46	162.1880	20.0823	88.0	2.2100	1.3028	1.9445	1.2420	1.7793	1.0489	1.5656
17.49	162.4227	19.6316	86.8	2.2106	1.2930	1.9385	1.2428	1.7788	1.0404	1.5598
17.53	162.5124	19.3060	84.9	2.2109	1.2857	1.9289	1.2438	1.7776	1.0337	1.5508
17.56	162.7535	18.7231	83.6	2.2115	1.2724	1.9222	1.2445	1.7770	1.0224	1.5445
17.59	162.9763	18.4022	82.0	2.2121	1.2649	1.9138	1.2453	1.7764	1.0157	1.5369
17.63	163.1431	17.8817	79.8	2.2126	1.2524	1.9020	1.2463	1.7754	1.0049	1.5262
17.66	163.3009	17.4924	78.4	2.2130	1.2428	1.8943	1.2470	1.7747	0.9967	1.5191
17.69	163.5247	17.1048	77.4	2.2136	1.2331	1.8887	1.2477	1.7741	0.9883	1.5137
17.73	163.6102	16.7790	74.8	2.2138	1.2248	1.8739	1.2487	1.7729	0.9808	1.5007

附錄二 高雄觀測點流星(2012/08/13, AM04:03)的方位角(az)、仰角(ev)和對數比值

時間 (t)	方位角 (az)	仰角 (ev)	log az	log ev	log t	log az/log t	log ev/log t
17.86	142.4546	23.3744	2.1537	1.3687	1.2519	1.7204	1.0933
17.89	142.7840	22.9252	2.1547	1.3603	1.2526	1.7202	1.0860
17.93	142.9621	22.5307	2.1552	1.3528	1.2536	1.7193	1.0791
17.96	143.2780	22.2140	2.1562	1.3466	1.2543	1.7190	1.0736
17.99	143.5264	21.8230	2.1569	1.3389	1.2550	1.7186	1.0668
18.03	143.7686	21.4989	2.1577	1.3324	1.2560	1.7179	1.0608
18.06	144.0150	21.1060	2.1584	1.3244	1.2567	1.7175	1.0539
18.09	144.2555	20.7802	2.1591	1.3176	1.2574	1.7171	1.0479
18.13	144.5000	20.3854	2.1599	1.3093	1.2584	1.7164	1.0405
18.16	144.6624	20.1218	2.1604	1.3037	1.2591	1.7158	1.0354
18.19	144.9768	19.7299	2.1613	1.2951	1.2598	1.7155	1.0280
18.23	145.2096	19.4694	2.1620	1.2894	1.2608	1.7148	1.0227
18.26	145.4503	19.0717	2.1627	1.2804	1.2615	1.7144	1.0150
18.29	145.6144	18.7378	2.1632	1.2727	1.2622	1.7138	1.0083
18.33	145.8531	18.3389	2.1639	1.2634	1.2632	1.7131	1.0002
18.36	146.0117	18.0726	2.1644	1.2570	1.2639	1.7125	0.9946
18.39	146.3161	17.7445	2.1653	1.2491	1.2646	1.7123	0.9877
18.43	146.4060	17.4056	2.1656	1.2407	1.2655	1.7112	0.9804
18.46	146.8612	16.8773	2.1669	1.2273	1.2662	1.7113	0.9693
18.49	146.9391	16.7433	2.1671	1.2238	1.2669	1.7105	0.9660
18.53	147.1755	16.2727	2.1678	1.2115	1.2679	1.7098	0.9555
18.56	147.4781	15.8729	2.1687	1.2007	1.2686	1.7096	0.9465
18.59	147.6319	15.6042	2.1692	1.1932	1.2693	1.7090	0.9401
18.63	147.9324	15.2033	2.1701	1.1819	1.2702	1.7084	0.9305
18.66	148.1555	14.9366	2.1707	1.1743	1.2709	1.7080	0.9239

【評語】 040821

1. 本作品探討流星運動特徵，以分析流星之天文以增進人類太空之知識庫，是個頗為值得鼓勵之計畫。
2. 本作品若能在理論之分析部份及結果之印證及與第三方分析結果之比對，多加著力，結果將更可觀。