

同步衛星在地球上的 8 字形足跡

高小組物理科第一名

桃園縣石門國民小學

作者：廖仁豪、廖仁傑、王重樑、黃克彬

指導教師：王湘茹、郭惠娟



一、研究動機

在六上自然課【地球的運動】單元課程中，有同學發問『同步衛星的運動週期與地球相同，所以同步衛星會靜止在地球上空？』老師說：『同步衛星就是地球靜止衛星，這個論點可能有錯，同學應動手做實驗，以求甚解』；剛好學校配合自然教學課程，安排了一次天文館之旅，我們意外發現衛星軌道的奧妙，就這樣我們展開了一連串的研究學習活動。

二、研究目的

（一）作一簡易的地球與衛星軌道模型，初步觀察衛星與地球間相對運轉的情形，並比較兩個圓周運動的互動關係。

（二）整理實驗的結果，培養分析與歸納的能力。

（三）進而發揮實驗精神，實際動手操作，研究人造衛星在地球上的足跡；並探討同步衛星 8 字形足跡的原因。

(四) 探討同步衛星在通訊上的應用。

三、研究設備器材

地球儀、大小鋼圈各一個、不同顏色的貼紙、量角器、紙、筆。

四、研究問題

- (一) 何謂人造衛星？同步衛星？傾角？人造衛星的足跡？
- (二) 如何作簡易的模型，初步觀察衛星與地球間相對運轉的情形。
- (三) 研究不同傾角的同步衛星在地球上的足跡。
- (四) 研究不同週期的非同步衛星在地球上的足跡。

五、研究過程

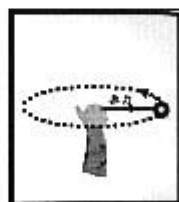
(一) 何謂人造衛星？同步衛星？傾角？人造衛星的足跡？

1. 人造衛星：

什麼是「人造衛星」？在天文學中，繞著「恆星」（如太陽）運轉的星球稱為「行星」（如水星、地球等），而繞著行星運轉的星球稱為「衛星」如月亮，因此由人類所設計製造，靠火箭或太空梭送入太空中繞著地球或其他行星運行的飛行器我們便稱之為「人造衛星」。

2. 人造衛星是以何種機制環繞地球運動？

要了解這個問題，首先來研究圓周運動：推想把右圖旋轉運動中，繩子的拉力，改為地心引力，則衛星的軌道，就是通過引力中心球心的圓形軌道如果進一步參考其他資料衛星軌道也有是橢圓軌道，此次研究為了簡單起見，只考慮圓形軌道。



3. 同步衛星：

是指人造衛星位在地球上空約36,000公里的圓形軌道上，繞行地球一週的時間和地球自轉一圈的時間一樣都是24小時。

4. 靜止衛星：

當同步衛星運轉的軌道面，正好與赤道面相同，從地面上看來衛星是不動，我們稱之為靜止衛星。

5. 傾角：

人造衛星的軌道面與地球赤道面的夾角。

6. 人造衛星的足跡：

人造衛星繞地球運轉時，將其在地球表面（對地心的投射）之連續投影點，連接所形成的軌跡。

（二）如何作簡易的模型，初步觀察衛星與地球間相對運轉的情形：

1. 方法一：

（1）利用一個地球儀首先將赤道分成24等分（ $360^\circ / 24 = 15^\circ$ ）。

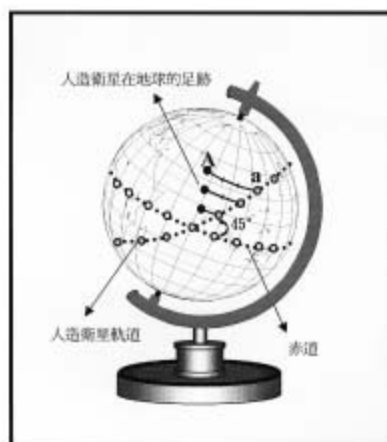
（2）利用一長條貼紙表示衛星的軌道，長度等於地球儀圓周，分成24等分。（假設傾角為 45° ），貼繞於赤道夾角正 45° 一週。

（3）假設地球為靜止，人造衛星經過，三小時到a點，但是考量地球自轉，則在地球上的投影點足跡應為A。依此原理，用筆輕觸a點，將地球儀由西向東轉3個 15° 可求得A點。

• 結果：

（1）如右圖模型。

（2）重複操作多次，我們發現誤差量較大。



2. 方法二：

（1）如方法一，步驟一。

（2）做一大銅圈，並24等分標誌為（ 0° ， 15° ，…… 90° ）四個區域。

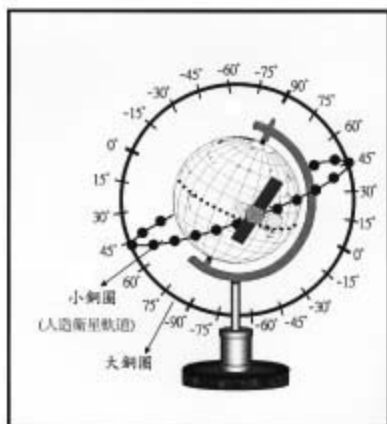
（3）再做一小銅圈畫上24等線；並在每一等分線中間穿洞。

（4）小銅圈可依不同的傾角，調整於大銅圈上，並可旋轉。

（5）小銅圈即表示人造衛星的軌道（為了實驗操作方便，且不會影響人造衛星對地球的投影點，我們做的小銅圈是比實際的同步衛星軌道小）。

（6）小銅圈在大銅圈上的角度，即代表了人造衛星與地球赤道面的傾角，小銅圈的洞上穿上一鐵棒，鐵棒應指向地球儀球心。鐵棒代表人造衛星。

（7）我們先設定好要分析的項次（衛星的週期、傾角、運轉方向、起始值）調整小銅圈在大銅圈的角度，再依序利用等分點轉動地球儀與小銅圈，轉動定位後，鐵棒指向地球儀的點



・即可表示衛星在地球的足跡。

・結果：

(1)如右圖模型。

(2)重複操作多次，我們發現比較簡單、精準、方便哦！

(三) 研究同步衛星在地球上的足跡。

1. 研究一：

利用方法二之衛星模型，研究正傾角 0° 、 15° 、…… 90° 實驗點出同步衛星在地球上的足跡。

・結果：

將衛星的足跡座標點整理列表，並依座標點畫於世界地圖上，如圖1-1。

・分析：

圖1-1得知：

- ・同步衛星的足跡均為8字形（24小時循環一次）。
- ・足跡運轉方向均相同，8字形的位置，由起始點決定。
- ・8字形的大小，由傾角決定，傾角 90° 時最大，漸漸縮小至 0° 為一點。
- ・最高、低點的緯度座標，正好是傾角的角度。
- ・最高點、赤道、以及最低點會形成一直線。

2. 研究二：

利用方法二之衛星模型，研究負傾角（ -30° 、 -45° ）實驗點出同步衛星在地球上的足跡。

・結果：

將衛星的足跡座標點整理列表，並依座標點畫於世界地圖上，如圖1-2。

・分析：

圖1-2得知：

- ・與圖1-1特性相同。
- ・衛星足跡之特性與傾角之正負無關。
- ・正傾角出發12小時後就變成負傾角，所以，正傾角與負傾角實是一體兩面的。

3. 研究三：

利用衛星模型，研究運轉方向改變（由東向西），實驗點出同步衛星在地球上的足跡。

・結果：

將衛星的足跡座標點整理列表，並依座標點畫於世界地圖上，如圖1-3。

• 分析：

圖1-3得知：

- 同步衛星的足跡形狀類似是。
- 衛星運轉的方向改變，足跡形狀亦改變哦！

(四) 研究非同步衛星在地球上的足跡。

1. 研究四：

利用衛星模型，研究週期比地球小（1：2，1：3，1：6）的非同步衛星在地球的足跡。

• 結果：

(1) 將衛星的足跡座標點整理列表，並依座標點畫於世界地圖上，如圖2-1、圖2-2、圖2-3。

(2) 分析圖2-1、圖2-2、圖2-3得知：

- 當地球週期為衛星週期的倍數，足跡均為波浪形。
- 衛星週期小（轉速快）波浪轉折越多。

2. 研究五：

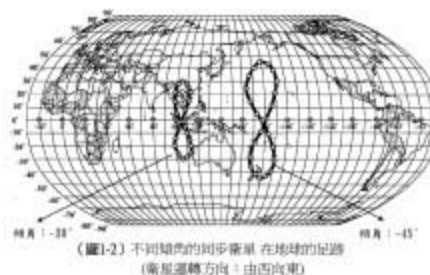
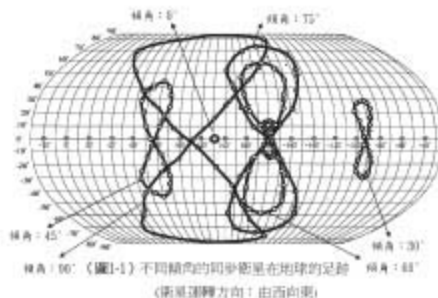
利用衛星模型，研究週期比地球大（2：1，3：1）的非同步衛星在地球的足跡。

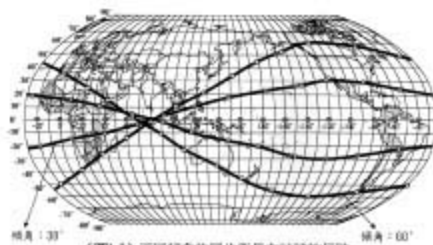
• 結果：

(1) 將衛星的足跡座標點整理列表，並依座標點畫於世界地圖上，如圖2-4、圖2-5。

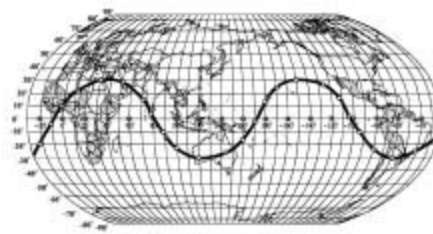
(2) 分析圖2-4、圖2-5得知：

- 衛星足跡為波浪形。
- 衛星足跡與研究四的結果不同。

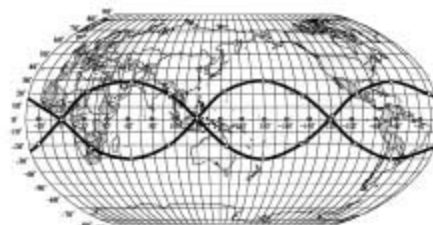




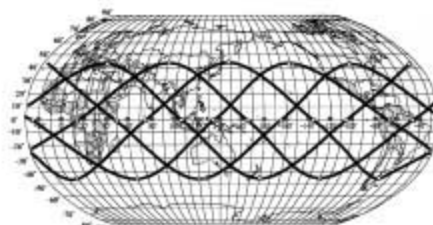
〈圖1-3〉不同傾角的同步衛星在地球的足跡
(衛星運轉方向：由西向東)



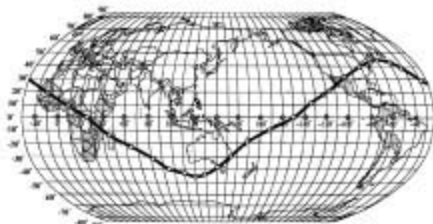
〈圖2-1〉週期1:2的非同步衛星在地球的足跡
(衛星繞地球一圈需2小時，運轉方向：由西向東)



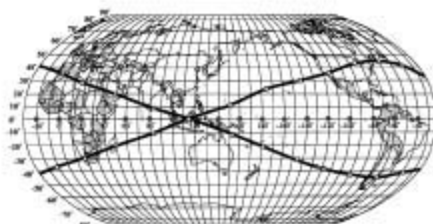
〈圖2-2〉週期1:3的非同步衛星在地球的足跡
(衛星繞地球一圈需3小時，運轉方向：由西向東)



〈圖2-3〉週期1:6的非同步衛星在地球的足跡
(衛星繞地球一圈需6小時，運轉方向：由西向東)



〈圖2-4〉週期1:12的非同步衛星在地球的足跡
(衛星繞地球一圈需12小時，運轉方向：由西向東)



〈圖2-5〉週期1:24的非同步衛星在地球的足跡
(衛星繞地球一圈需24小時，運轉方向：由西向東)

六、實驗結果討論

(一) 探討同步衛星 8 字形足跡的原因：

1. 變因一週期：

當我們完成 8 字形足跡時，我們發現緯度最高點、赤道、以及緯度最低點這三個點幾乎是呈一垂直線，而且 8 的中心點好像也落在赤道上。同步衛星由赤道到緯度最高點，將繞地球 $1/4$ 圈（90度）並且耗時6小時，而地球自轉90度也是6小時，所以最北的投影點將在赤道投影點的正北方。同理，最南的投影點將在赤道投影點的正南方，所以，這三點會在同一垂直線上。這三個點固定下來，求人造衛星的足跡其實等於研究這三點間的足跡連線應該如何連接。

2. 變因一地球的形狀：

當地球為球形時，地球在赤道的剖面半徑。

最大，越往南北極半徑越小，各緯度的地球角速度雖然都相同，但是，線速度卻是越靠近兩極越小。如果人造衛星的東西向速度保持固定，在靠近赤道處人造衛星的東西向速度較地球的東西向速度小，所以就東西向而言，由赤道上空以正傾角出發的人造衛星在開始的時候是落後的。因為地球與人造衛星均是由西向東轉，落後的人造衛星投影點將會偏西。到了高緯度，人造衛星東西向速度較地球的東西向速度大，投影點將會逐漸東移，這就形成先西再東的弧線。到了緯度最高點，人造衛星追上了地球，投影點落在正北方。當人造衛星從緯度最高點向赤道出發時，相同的道理造成了相反的結果，此時，人造衛星先是領先，然後被地球追上，這就形成先東再西的弧線。兩個弧線在北半球形成一個圈圈。同理，人造衛星繞行南半球時也將形成另一個圈圈，兩個圈圈組合起來就是一個8字形。

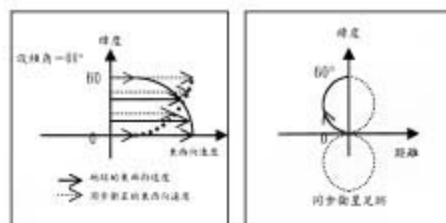
3. 變因—人造衛星的軌道：

假想有一個人造衛星由赤道出發傾角為正，剛出發時，它的方向最偏北，隨著時間增加，方向逐漸偏東（和赤道平行方向），到緯度最高處時人造衛星前進方向正好和赤道平行，接著方向逐漸偏南，回到赤道時，方向最偏南。由於方向一直變動，因此，雖然人造衛星維持等速前進，但是，它在東西向的速度都不相等。在靠近赤道處人造衛星東西向速度最小，小於平均速度。在圓柱形地球實驗中，地球東西向速度等於平均速度，所以，人造衛星一開始將落在地球之後。在緯度最高處時人造衛星東西速度最大，大於地球東西速度，人造衛星將領先地球。依此推論同步衛星足跡為8字形。

4. 結論：

經過以上的探討，可以獲知形成人造衛星8字形神秘投影足跡的原因主要有三項：

- (1) 同步衛星的運轉週期。
- (2) 地球的形狀。
- (3) 同步衛星的運動軌道。



(二) 探討同步衛星在通訊上的應用：

目前的社會，資訊傳輸非常便利，我們可以打電話到外國，收看國外的電視等等；這些都需依靠有中間者來傳輸資料，在眾多的中間者中最高最遠的應該是人造衛星了。它不但要有好的傳輸品質（沒有太多的雜訊），而且它相對地球基地的位置及方位，也不要亂跑，最好24小時都不要亂動。故靜止衛星是通訊衛星

的第一候選者。但由圖 1-1 得知靜止衛星的軌道只有一個，實在太少了，故小傾角的同步衛星雖然有 8 字形的足跡，但對基地台而言，只要 8 不要太大，它是第二位候選者。

台灣位於（北緯 25° 、東經 120° ）附近，實驗結果得知，我們要發射同步衛星，就應考量起始點且傾角需在 30° 左右，使得 8 字形的足跡，能涵蓋台灣上空。如果能在 8 字形的軌道面上放置多顆衛星，使得地面基地台時時刻刻有衛星在天空中服務，也是不錯的點子。

七、結論

（一）我們藉由地球儀和一些巧妙的推理，找出兩個都在做圓周相對運動的物體，其間的一些奇妙特性。

1. 同步衛星的 8 字形足跡（24 小時循環一次）。
2. 8 字形足跡的大小，由傾角大小決定，傾角 90° 時最大，漸漸縮小至 0° 為一點。最高、最低點的緯度座標，正好是傾角的角度。
3. 同步衛星足跡之特性與傾角之正負無關。
4. 衛星運轉的方向改變，足跡形狀亦改變。
5. 非同步衛星是週期性的波浪形足跡。

（二）雖然這可能是一個簡單的物理數學問題，但藉由地球儀的幫忙，在某些程度上我們仍然能發現很多衛星的足跡特性，並利用六上所學的一些幾何圖形，驗證及推論同步衛星的 8 字形足跡產生之原因；想不到我們這群臭皮匠的合作，也可以作出像美國太空總署（NASA）常在其大型看板上所表示的衛星足跡軌道圖。

（三）如果問我們下一步最想做的是甚麼？那就是利用此次科展的經驗精進模型，配合齒輪、地球儀做一更具智慧、可調式且自動畫圖的衛星模型。讓大家一起動動手做實驗，進而對人造衛星更了解、更有興趣哦！

由本次的科學問題研究及到台北天文館的參觀，我們更了解天體物理學中有關行星運動的行為。在有星辰的夜空，當我們抬頭看星星時，會覺得自己很渺小，宇宙很浩大，但人的智慧卻能領悟大自然，並設計像衛星這樣的東西，真是一件不可思議的事情。日後，我們這些臭皮匠將好好充實我們的物理及數學知識，以便持續探索奇妙未知的宇宙世界。

八、參考資料

- (一) 國科會太空實驗室籌備處網站。
- (二) 六上自然課程教材。
- (三) 太空屬於我們(銀禾文化)。
- (四) 衛星通訊(建宏)。
- (五) 哥白尼21、小牛頓。
- (六) windows 98+Office 97。

評語

研究主題及內容適合國小學生的程度，在師長指導下研發改進的衛星軌道模型，可供學生實際操作和模擬實驗，對於各式衛星在地球上留下的足跡的形狀亦能提供明顯的說明。整個活動中學生可以手腦並用，並對該模型中地球和衛星的運轉方式的改進提出初步構想，改以馬達驅動，而使衛星在地球上的足跡更易於顯現。研究過程中學生尚利用電腦繪圖呈現所測得衛星足跡。整體而言，為一極具教學價值、能充分培養學生科學方法和態度的活動。

