



訂審宏鏡周 著 崇 潘

學海航文天

行印社版出漢復

前 言

在茫茫的大海中，僅以一具六分儀就能縱橫海洋，這在非以航海為專業的人看來，似乎有些不可思議，其實際，所謂天文航海學說穿了，祇不過是球面三角形的解算輔以查表的方式予以簡化而已。

本書是以道頓氏航海學 (Dutton's Navigation And Piloting) 及鮑氏航海學 (Bowditch's Practical Navigator) 為藍本，筆者原想翻譯這兩本書，但翻譯的東西總來的比較艱澀，況且這兩本書在章節上筆者個人總覺得缺少聯貫性，因此筆者積實際的航海經驗以此兩本書為參考，而予以編寫。相信讀者讀完這本書定有事半功倍之感。

本書在時間一章中，所述的理論及方法非常簡單，讀者極易接受。在星的那一章中，星級、星座以及星的識別搜集資料非常詳盡，務使讀者對星象有一非常深刻的印象。在座標系統那一章內，將所有有關之名稱以及相互之關係解釋的非常清楚，使讀者有一整體的概念，並且本書所有的天文解算例題所用之航海曆均採用 1972 年航海曆。這些地方比之道頓氏及鮑氏的兩本書更為新穎合乎航海方面發展的趨向，另外本書的另一特色，就是例題較多，目的是使讀者有更多參考而易融會貫通。

筆者在寫這本書時，受到長官及同僚們的鼓勵與幫助，在此一併道謝。且本書付印倉促，加以筆者才疏學淺，錯誤遺漏之處，在所難免，尚祈先進賜予最大指教，以期本書更為完美，而使讀者獲得最大的助益。最後，筆者認為海洋的財富是無窮盡的，海權的強弱也代表國家的強弱。衷心地，希望我國青年有志之士，能對海洋產生興趣，進而進軍海洋，發展海洋開拓未來偉大的時代。

潘崇於 一九六一年七月一日

天文航海學 / 目次

前 言

第一章 宇宙概論 Outline of the universe 1

宇宙淺釋..... 1

第二章 太陽系 The Solar System 2

2-1 太陽之物理特性..... 2

2-2 太陽之熱..... 2

2-3 太陽之運動..... 2

2-4 行 星..... 3

2-5 行星之部位..... 5

2-6 九個行星..... 7

2-7 小遊星..... 8

2-8 慧 星..... 8

2-9 流星及隕石..... 9

習 題..... 10

第三章 地球 The Earth 11

3-1 地球之大小及形狀..... 11

3-2 地球上之位置..... 11

3-3 大 氣..... 12

3-4 大氣折光..... 12

3-5 地球之主要運動..... 13

3-6 地球自轉之觀感覺..... 13

3-7 地球之公轉..... 15

3-8 偏移或歲差..... 17

習 題..... 18

第四章 月球 Moon 19

4-1 月球之運動..... 19

4-2 月 象..... 19

4-3	日月蝕	21
4-4	潮 汐	21
	習 題	22

第五章 星 Star 24

5-1	恒星之特性	24
5-2	星之識別	24
5-3	星之等級	24
5-4	星 座	25
5-5	星 名	27
5-6	以道頓氏星圖識別恒星	30
5-7	北極區	30
5-8	春季天空	31
5-9	夏季天空	33
5-10	秋季天空	33
5-11	冬季天空	35
5-12	南極區	38
	習 題	39

第六章 時間 Time 40

6-1	時間的基準	40
6-2	太陽時	40
6-3	時間之表示	42
6-4	上中天與下中天	42
6-5	視太陽時	42
6-6	當地平時	43
6-7	區域時與時區誌	44
6-8	格林威治平時	47
6-9	時間之換算	47
6-10	國際日期分界線	51
6-11	計時儀器	52
6-12	恒星時	53
	習 題	54

第七章 天球上之量度 Measurement on celestial sphere 56

7- 1	The equimoctial system of corrdinates 天赤道座標系統	56
7- 2	天赤道座標系統	56
7- 3	天 球	58
7- 4	天 極	58
7- 5	天赤道	59
7- 6	天子午線	59
7- 7	本地子午線	59
7- 8	天頂與天底	59
7- 9	上半圈與下半圈	59
7-10	時 圈	59
7-11	“Dec” 赤緯	59
7-12	極矩 (P)	59
7-13	日行圈	60
7-14	“L.H.A.” 本地時角	60
7-15	“GHA” 格林威治時間	60
7-16	“t” 子午角	60
7-17	SHA 恒星時間	60
7-18	RA 赤經	61
7-19	中 天	61
7-20	上中天與下中天	61
7-21	GHA, LHA, t 三者之關係	61
7-22	GHA 與 SHA 之區別	63
7-23	The horizon system of coordinates 水平線座標系統	64
7-24	水平線座標系統	64
7-25	視水平線	64
7-26	知覺水平線	64
7-27	假想水平線	65
7-28	天水平線	65
7-29	地平經圈	65
7-30	仰極 (近極)	65
7-31	主直立圈	66
7-32	卯酉圈 (PV)	66
7-33	高度 (h)	66
7-34	頂距 (z)	66
7-35	高度圈	66

7—36	方位角 (Az)	66
7—37	方位 (Z_n)	66
7—38	方位角與方位之關係	67
7—39	天體出沒方位角 (A)	67
7—40	混合座標系統	68
	習題	69

第八章 航海三角形與天測位置線

The Navigation Triangle and Celestial Lines of Position...71

8—1	航海三角形	71
8—2	航海三角形之應用	71
8—3	觀測高度 (H_o) 計算高度 (H_c) 及高度差 (a)	73
8—4	計算高度及方位之求得	73
8—5	天測位置線	74
8—6	高高度觀測之位置線	75
8—7	天文定位與航進天文定位	75

第九章 航海曆

Nautical Almanac78

9—1	航海年曆	78
9—2	航海曆內容	78
9—3	航海曆之每日頁	79
9—4	增量和修正量表	79
9—5	各天體 GHA 及 Dec 之求法	80
	習題	84

第十章 航海六分儀及高度修正

The Marine Sextant and Its Altitude Correction86

10—1	船用六分儀	86
10—2	船用六分儀之構造	86
10—3	六分儀之光學原理	87
10—4	六分儀之讀法	88
10—5	六分儀高度觀測	88
10—6	以六分儀觀測太陽	89

10 — 7	以六分儀觀測月亮	89
10 — 8	以六分儀觀測恒星或行星	89
10 — 9	測量水平角	90
10 — 10	六分儀誤差	90
10 — 11	六分儀之調整	90
10 — 12	指標修正量	93
10 — 13	六分儀高度之修正	94
10 — 14	指標修正量 (IC)	95
10 — 15	眼高差 (D)	95
10 — 16	折光 (R)	95
10 — 17	空氣溫度與大氣壓力	96
10 — 18	視半徑 (SD)	96
10 — 19	放大 (A)	96
10 — 20	眩視 (J)	97
10 — 21	象 (F)	97
10 — 22	視差 (P)	97
10 — 23	修正綜述	98
10 — 24	航海曆中修正量之應用	100
10 — 25	非標準折光狀況下六分儀高度之修正	105
	習題	106

第十一章 使用航海曆及 H.O.214 表以求取位置線之完整解算

The complete solution for a Celestial line of position with Nautical almanac and H.O.214107

11 — 1	完整解算之步驟	107
11 — 2	求觀測太陽位置線之完整解算	110
11 — 3	太陰觀測之完整解算	109
11 — 4	行星觀測之完整解算	113
11 — 5	恒星觀測之完整解算	113
	習題	117

第十二章 使用航海曆與H.O.211表或H.O.208表求

天測位置線之完整解算 The complete

solution for a celestial line of position with

Nautical almanac and H.O.211 or H.O.208 119

- 12-1 航海三角形之解算.....119
- 12-2 H.O. 211 表.....119
- 12-3 H.O. 211 表公式之產生.....119
- 12-4 以 H.O. 211 表之解算法..... 122
- 12-5 H.O. 208 表.....124
- 12-6 H.O. 208 表所用公式之產生..... 124
- 12-7 H.O. 208 表之解算法..... 126
- 12-8 餘弦半正天公式.....127
- 12-9 H.O. 218 表.....128
- 12-10 測天應注意之事項.....128
- 習 題.....129

第十三章 航行中求羅經差 Compass Error at sea 130

- 13-1 方位之觀測.....130
- 13-2 以 H.O. 214 表求羅經差..... 130
- 13-3 以 H.O. 71 表求羅經差..... 132
- 13-4 北極星求方位法.....134
- 習 題.....137

第十四章 日月出沒曙昏 Sunrise and sunset and Moonset

Twilight; Moonrise and Moonset138

- 14-1 日出、日沒、黎明、黃昏.....138
- 14-2 月出與月沒.....140
- 14-3 在航行時求日、月之出沒與曙昏.....142
- 習 題.....144

第十五章 以H.O.2102-D型拔星儀識別天體

Identifying the celestial Bodies with H.O. 2102-D 145

15-1	拔星儀.....	145
15-2	使用H.O. 2102-D型拔星儀識別恒星及行星	146
15-3	使用H.O. 214表識別恒星、行星.....	148
	習 題.....	149

第十六章 緯度觀測 Latitude Observation 150

16-1	觀測緯度.....	150
16-2	北極星求緯法.....	150
16-3	用航海曆以北極星求緯度.....	151
16-4	中天高度法.....	153
16-5	中天時間之決定.....	154
16-6	中天時 L. Z. Dec 三者之關係.....	158
16-7	太陽中天高度觀測之解算.....	160
16-8	正午求緯決定船位.....	163
	習 題.....	163

附 錄

附錄 A	天文航海之簡寫、符號及標註
附錄 B	美國海軍官校所用之天文航海解算格式
附錄 C	1972 年航海曆之節錄
附錄 D	H.O. No. 214 表之節錄
附錄 E	H.O. No. 71 表之節錄
附錄 F	H.O. No. 211 表之節錄
附錄 G	H.O. No. 208 表之節錄
附錄 H	H.O. No. 218 表之節錄

第一章 宇宙概論

Outline of the universe

宇宙淺釋

宇宙——爲無窮大，人類至目前爲止尙無任何方法及儀器可定其界限。

光年——因宇宙的距離過於驚人，因此吾人乃引用光在一年時間內所行之距離來做爲宇宙間的距離單位，稱之爲光年。

$$\begin{aligned}C &= 3 \times 10^8 \text{ m / sec} \\&= 186,000 \text{ 哩 / 秒} \\ \text{光年} &= 5.88 \times 10^{12} \text{ 哩}\end{aligned}$$

人類之知識已使宇宙擴展到約 20 億光年之距離，或大於 $11,000 \times 10^{18}$ 哩。最近之恆星超過四光年，而大多數之恆星離地球在 100 光年以上。太陽光到達地球（距離約 93,000,000 哩，須 $8\frac{1}{3}$ 分鐘，月球射到地球（約距 240,000 哩）之光須 $1\frac{1}{4}$ 秒鐘。吾人肉眼所見大多數遠距離之星體約兩百萬光年。

天河系——是由數目驚人之星、塵雲 (dust clouds)、氣體 (gas) 等所成，因引力關係而形成凸透鏡之形狀。所有天河系均依其重心而自轉，並以驚人之速率在太空中移動。平均天河系估計有 1000 億顆恆星，直徑爲 100,000 光年，其厚度爲一 15,000 光年，邊緣 5,000 光年。

宇宙島——單就天空中大熊星座 (Big dipper) 轉動之小範圍言之，人類已發現約有 300 個如此大之天河系，人們往往稱之宇宙島。

天河群——是由許多天河系在天空中因引力作用連成一氣而稱之。

銀河——與平均天河系可謂近似。其直徑約爲 80,000 光年最大厚度約 10,000 光年，約含 1,000 億顆恆星。

第二章 太陽系

The Solar System

銀河系中間有一顆恆星稱之爲太陽，與其行星 (planets)，行星之衛星 (Satellites)，流星 (meteors)，及慧星 (Comets)，而組成太陽系。

2-1 太陽之物理特性

1. 約佔太陽系 99.9% 之質量。
2. 直徑約爲 864,000 哩。(109 倍於地球)。
3. 體積爲地球之 1,300,000 倍。
4. 質量爲地球之 330,000 倍。
5. 密度只有 1.4 地球則爲 5.5。

2-2 太陽之熱

1. 表面溫度約爲 10,000 °F。
2. 表面每平方呎可產生八千匹馬力之能量。

太陽，這個大火球，遲早是要熄滅的。太陽的熄滅，和火柴的熄滅可大不一樣。在它熄滅之前，它的熱度比現在還會更高。據科學家說。現在，太陽的熱度已有逐漸增高的傾向。不過，因爲這種傾向並不太大，因此我們幾乎感覺不到。可是，假定再過幾十億年，問題便不同了。太陽熱度的增高，儘管非常緩慢，但經過幾十億年的累積，其所增高之熱度，已足使地球上的生物全歸毀滅。

太陽繼續發高燒之後，還會膨脹。膨脹中的太陽，天文學家稱之爲「紅色巨怪」(Red Giant)。這隻巨怪噴出之火，足把地球變成一塊燙手的「煤渣」。據哈佛天文學家，薩根博士推想：「當太陽開始膨脹之時，地球上的景象是，海洋裡的水開始沸騰，灼熱的空氣不斷的上升。太陽的膨脹，會使其本身超越水星與金星之軌道，而直接觸及地球！」假定這種變化再持續下去，最後，太陽便會爆炸。隨著太陽的爆炸，那時我們地球，便會化作一股輕煙，消失在太空裡。

2-3 太陽之運動

1. 由西向東旋轉，其轉動之軸，與黃道平面 7° 的傾斜。
2. 利用都卜勒氏效應 (Doppler's effect)，與注視其黑子及其他方法，可決定其旋轉一次所需之時間 (週期)，其週期因緯度之不同而有所

不同，在赤道附近約為二十五天，在兩極處約為三十四天。

- 3、空間位移——除上述的自轉外，整個太陽系均伴同太陽指向織女星（Vega）之方向，以每秒 12 哩餘之計算速率而齊進。所以每三個月，吾人隨太陽運動之距離，等於吾人至太陽之距離。

2-4 行 星

1、行星與恆星之區別：

- ①恆星固定不動，行星以一定之軌跡轉動。
- ②恆星所放之光較閃爍，行星所放之光較靜而不動。

2、行星之運動

- ①自轉——所有之各行星，均由西向東旋轉（一如地球）。
- ②公轉——各行星在偏心率很小之橢圓上由西向東環繞太陽轉動。伊等軌道幾在同一之平面。除冥王星外，軌道平面均與黃道作不及 8° 之傾斜，由太陽觀之，關於各行星之公轉週期，「恆星時間」（Sidereal period）方為各星真正旋轉一周之時間，由地球觀之，「交會時間」（Synodic period）為各行星繞太陽一周之時間。所謂交會時間即太陽連續兩次在地球與另一行星之間之所需時間。顯而易見的，並無地球之交會時間。

③空間運動。

3、行星運轉之定律

凱浦勒氏（Kepler）係發明下述定律之第一人，即管制行星在軌道上運動之定律。

Kepler's law

- ①行星之軌道為橢圓，以太陽在共同之焦點上（Common focus）。
- ②連接行星與太陽之直線，在相等時間間隔時，所掃越之面積均等。
- ③任何二行星，其旋轉一週之時間的平方，與伊等至太陽平均距離之立方，成正比例。

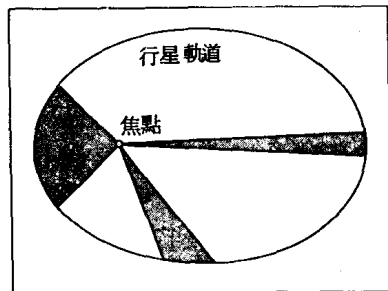


圖 1 等時間間隔所掃越之面積相等。

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3$$

T 表公轉一週之時間。

d 表距太陽之平均距離。

行星之運動，亦受制於牛頓 (Issac Newton) 在 1687 年釐定之定律。

牛頓之運動定律 (Newton's laws of motion)

- ① 除非有外力作用，每個物體均繼續保持其靜止，或在直線上作規律運動之狀態。
- ② 物體受外力作用時，其加速度與外力成正比，而與物體之質量成反比，加速度發生於來力所施之方向。

$$F = ma$$

F 表外力

m 表質量

a 表加速度

- ③ 每一個動作，均有相等，與相反方向之反應。

牛頓萬有引力定律 (Universal law of gravitation) 每個物體之分子，吸引其他物體分子時，其所用之力，係與兩物體質量相乘之積，成正比例，而與兩物體之距離平方成反比。

$$F = G \frac{m_1 m_2}{(d_1 d_2)}$$

F 表力

m 表質量

d 表距離

G 表萬有引力常數

4、太陽系之行星

依與太陽之距離次序現有之九個行星為水星 (mercury)、金星 (Venus)、地球 (Earth)、火星 (Mars)、木星 (Jupiter)、土星 (Saturn)、天王星 (Uranus)、海王星 (Neptune)、冥王星 (Pluto)。(最近科學家用精確之數學方法，算出尚有一個行星在冥王星之外，為地球 180 倍大，尚未證實暫時命名愛克斯星)。在地球與太陽間之兩星謂之次行星 (Interior planets)，其餘軌道在地球之外者，謂之大行星 (Superior Planets)。最近太陽之四行星，統稱內行星 (niner planets)，因伊等大小比較相近，其軌道亦比其他各星之軌道為小。在火星之外者謂之外行星。

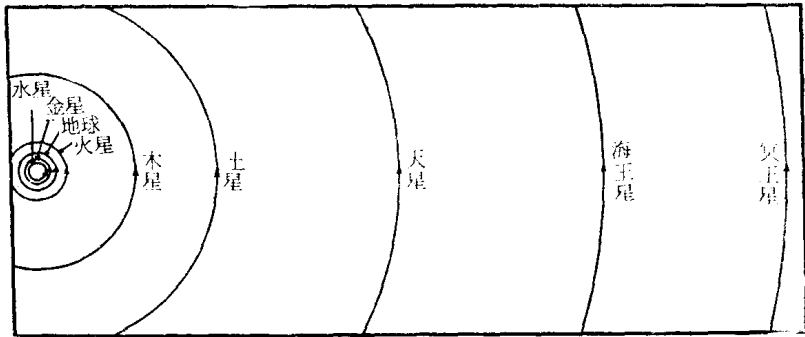


圖 2 行星系

2-5 行星之部位

衝 (opposition) —— 兩行星黃徑或赤徑相距 180 時稱之。

合 (conjunction) —— 兩行星黃徑或赤徑同度時稱之。

上合 (順合) —— 內行星又有上合與下合之分，即太陽居於地球與行星之間

下合 (逆合) —— 即行星居於太陽與地球之間。

留 —— 地球與行星均繞日而行，有時地球視行星在天上位置不稍進退，即謂之留。凡留又為順合與逆合之交，因有順留與逆留之別。順留者乃行星順合而留。留後則逆合。逆留乃行星由逆合而留，留後則順合。凡順留必在上合之後，逆留必在下合之後。

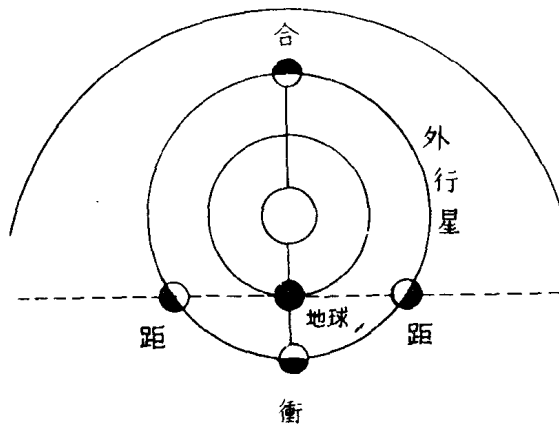


圖 3 a 行星之部位。

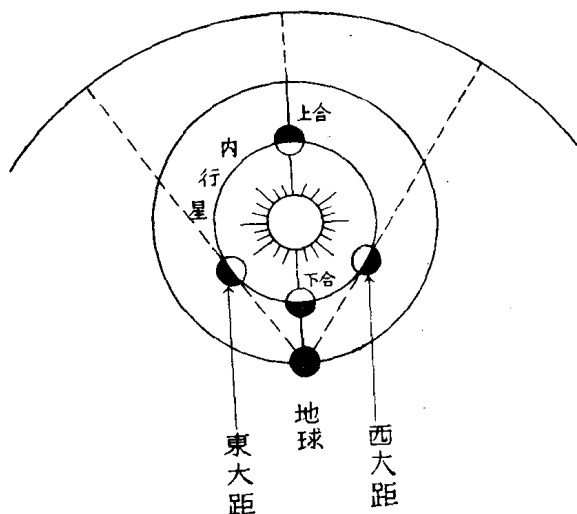


圖 3b 行星之部位

離日度 (Elongation) — 行星與太陽間之弧距離曰離日度，以行星在太陽之東或西而定東西。其最大值謂之最大離日度 (Greatest elongation)。

昇交降交 — 行星軌道與黃道之交點稱之，昇交乃行星自南而北過黃道之交點。降交則反是。

PLANET	MEAN DISTANCE FROM SUN		MEAN DIAMETER (IN MILES)	SIDE-REAL PERIOD	AXIAL ROTATION	KNOWN SATELLITES
	MILLIONS OF MILES	ASTRONOMICAL UNITS				
Mercury	36	0.4	3,008	88 days	88 ^d	none
Venus	67	0.7	7,700	224.7 days	unknown	none
Earth	93	1.0	7,918	365.24 days	23 ^h 56 ^m	1
Mars	141 $\frac{1}{2}$	1.5	4,215	687 days	24 ^h 37 ^m	2
Jupiter	486	5.2	86,800	11.86 years	9 ^h 50 ^m	12
Saturn	883	9.5	71,500	29.46 years	10 ^h 14 ^m	9
Uranus	1790	19.2	31,700	84.02 years	10 ^h 49 ^m	5
Neptune	2810	30.1	31,000	164.7 years	15 ^h 40 ^m	2
Pluto	3690	39.5	unknown, approx. 3,500	248.4 years	unknown	unknown

行星表

第二欄為距太陽之平均距離，第三欄為平均直徑，第四欄為恆星時間（公轉一周），第五欄為自轉一周的時間，第六欄為已知之衛星數。

2-6 九個行星

1、水星

- ①其偏心率除冥王星外，較其他各行星均大。
- ②水星與月球相似點甚多。
- ③有極高之溫度差。

2、金星

- ①其最近似地球有時被稱為地球之雙生姊妹。
- ②在日間可以用肉眼視之，航海人員往往用為日間測空。
- ③其距離球最近，但吾人知之最少，因其表面常有厚雲籠罩。
- ④晝夜之溫度幾不變，約在冰點之下。

3、火星

- ①就吾人所知，在其他行星中，該星可能具有生物者。
- ②火星赤道對其自身軌道平面之傾斜，較地球微甚，故火星之各季節，與地球季節比較，時間約長兩倍。
- ③其有二衛星內側為佛寶（phobos）。外側為戴毛（Deimos）。

4、木星

- ①其為行星中最大者。
- ②其自轉一週的時間不到 10 小時為各行星中最少者。
- ③有 12 個衛星，有四個內側衛星均為大，外側衛星分為兩組。

5、土星

- ①有九個已知之衛星。
- ②其由三個環所組成，各環均以許多實體小分子組成，與落在地球上之隕石相類似，各自追隨其自身軌道，以繞行本星。

6、天王星

- ①有四個衛星。
- ②其自轉幾與黃道成直角。

7、海王星

- ①有一個衛星。
- ②是先由天文數學推算出來，而再發現此星的。

8、冥王星

- ①於 1930 年始被人類發現於婁威爾天文台。
- 註：在海王星發現後，天王星運動中不規則處，仍有小部份無法說明。

在 19 世紀之末期，天文學家開始疑及，似另有一行星尚未被發覺。直至 20 世紀之初期，麥威爾 (Cowell) 即著手此問題並對此做了許多計算。在 1916 年婁氏死之前數年，對此星之探討仍未成功。1926 年婁氏建於亞利桑那之福來格斯他夫之天文台繼續研討經於 1930 年發現此星。

2-7 小遊星

已有若干年，人們推測在火星與木星之間另有一個行星，但人們所發現的却是為數甚多的遊星，其中最大的為希利 (Ceres)，據科學家推測，這些小遊星係由一顆行星碎裂而成。它們現在的軌道，就是從前那顆行星的軌道。

2-8 慧星

若干世紀以來，人們對於慧星莫不心懷恐懼。大多數人這樣想：這種東西一旦和地球撞個正著，地球必會給撞得粉碎！不過，據科學家說，慧星對於地球的危害，其實並不太大。因為地球與慧星兩者軌道的交叉，平均要約兩百萬年才有一次。由於 1908 年曾有一度交叉，因此，我們目前正處於一個很長的安全期中。1908 年撞上地球的那顆慧星，由於體積非常之小，質地又很酥鬆（科學家戲稱為一個骯髒的雪球），因此，僅把西伯利亞一片縱橫五十英哩的森林夷為平地。這次災害，一則受害範圍很小，二則受害之地的西伯利亞，乃是一片荒漠之地，因此並不十分受人重視。甚至科學家，也是在事件發生幾年後，才把它的性質弄清楚。

人類之所以會因慧星而發生世界末日恐懼，主要在於慧星有著一條光芒萬丈的尾巴。1910 年赫利慧星出現時，它那條尾巴就照亮了大半邊天。這種現象，當然是令人惶悚的，即令今天，人類對於慧星的知識已相當豐富，天文學家甚至已能精確算定赫利在 1985 年間將會再度出現，但一談到慧星，仍舊足以引起人類對世界末日的焦慮。

慧星雖有時容積甚大，但質量則甚小，慧星具有一頭，在頭之中心，有一似星之實體核，並常有一壯觀之尾。該實體是由相距鬆濶之許多小分子組成，並非一獨體。

慧星並不遵循各行星運轉之規律，伊等之行動有時由西向東，一如其他行星，有時則又由東向西，其極度偏心之軌道，與黃道可作任何傾斜之角度，其旋轉一週之時間變化也最大，可由 3.3 年起至數千年不等，但現在尚無憑證足以指證任何慧星並非太陽系之一分子。