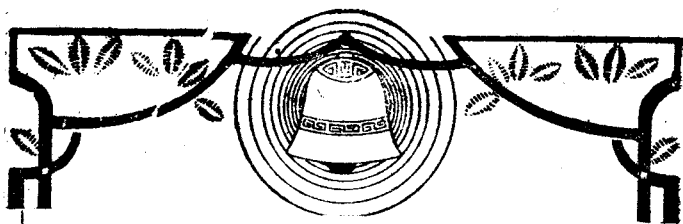


自然科學叢書

太陽系

李銳夫編著

正中書局印行



版權所有
翻印必究

中華民國三十年八月渝初版
中華民國三十六年一月滬一版

太 陽 系

全一册 定價國幣三元八角

(外埠酌加運費郵費)

著	者	李	銳	夫
發	行	人	吳	秉
印	刷	所	正	中
發	行	所	正	中

書 局

(1354)

目 次

第一章 緒論	1
第二章 太陽系總論	8
第一節 行星之運動	8
第二節 開普勒行星運動定律與牛頓萬有引力定律	11
第三節 三體問題 攝動 月球論 潮汐	14
第四節 行星與太陽之距離與公轉週期	19
第五節 軌道原素	22
第六節 行星之物理性質	25
第三章 太陽	27
第一節 太陽爲天體之一	27
第二節 太陽之熱源	28
第三節 太陽之組織	31
第四節 太陽中所含之物質	33
第五節 黑子	35
第四章 內行星	41
第一節 水星	41
第二節 金星	45
第五章 地球	49

第一節	地球之形狀大小及質量	49
第二節	地球表面之形狀	52
第三節	地球之內部與大陸漂移	53
第四節	地球之運動	55
第五節	四季之成因	59
第六節	地球之衛星——月球	61
第七節	日蝕與月蝕	66
第六章	外行星	73
第一節	火星	73
第二節	木星	79
第三節	土星	84
第四節	天王星	90
第五節	海王星	91
第六節	冥王星	92
第七章	小行星	98
第八章	彗星	103
第一節	彗星之運動與軌道	103
第二節	彗星之形狀大小與質量	105
第三節	彗星之光	109
第四節	彗星羣與彗星族	110
第五節	彗星之來源	113
第六節	歷史上大彗星	115
第九章	流星與宇宙塵	119

第一節	流星	119
第二節	流星羣	121
第三節	隕石	126
第四節	黃道光與對日照	128
第十章	太陽系之進化	130
第一節	小引	130
第二節	康德學說	132
第三節	拉普拉斯星雲學說	133
第四節	查姆柏林與摩爾吞之星子學說	135
第五節	金斯學說	140
第六節	月球之產生	144
第七節	太陽系之過去與將來	145
第八節	由天文學立場論地球上生命之原始與將來	148
附錄		157
一	太陽常數	157
二	行星最易觀察之時期表	158
三	著名小行星表	159
四	週期彗星表	161
索引		1
一	西文名詞	1
二	外國人名地名	7
三	中文名詞	11

第一章 緒論

茫茫宇宙，渺渺蒼穹，萬象森羅，一望無際；東升西沒而不息者，太陽也；朔望晦明而更迭者，月球也。此外更綴以燦爛閃爍之星辰，自東徂西，循環反覆，周而復始；有時益以流星彗星，尤足以動人心目。此種自然現象，與人類之生活，植物之生長，及潮汐之進退，皆有關係；故引起先民最初之注意焉。然當時人類，儀器缺乏，思想幼稚，乃以日月星辰之變化，爲人類吉凶之預兆；於是奉若神明，設爲祈禱。祈禱與，占星之術，隨之以生，故有黃道吉日之選。而帝王亦方得藉神權之餘，以保持其君位也。

然古代人類觀察星辰之變化，其目的在求定吉凶而外，更爲「象授時」。蓋考史家言，人羣進化，脫離漁獵時代，則以游牧爲生，逐水草而居，其時遷徙往來無常處，非觀察天象，不能以定方向。洎乎農業時代，日出而作，日入而息，春耕夏耘，秋收冬藏，皆藉星辰之位置以定季候。故帝王立國，以敬天授時爲使命，設專官，司觀察，齊四時，使閏餘成歲，然後寒暑不至易序。例如詩經「七月流火」，堯典之火，卽今之天蠍座 Scorpius；七月流火，乃七月之夕，天蠍座自天中向西移動之意也。古人由觀察星象以定季候，考之史乘，記載甚多。我國尚有一奇特之方法，藉北斗星之方向，以定季候；卽「斗柄東轉，天下皆春；斗柄南轉，天下皆夏；斗柄西轉，天下皆秋；斗柄北轉，天

下皆冬]是也。

天空星辰，追隨太陽之後，升自東而沒於西，其間之相關位置，大都不變；然由精細觀察，得知少數星球，其位置亦有改變者，如木星每十二年而一周。此種行動之星曰行星 planet，而其不動者曰恆星 fixed star。

吾國天文學起源甚早，而盛於漢。易經坤卦謂「大地直方大，環以四海，日月星辰，繞地疾轉」。漢時之宇宙構造論有蓋天、渾天、宣夜三說。蓋天謂天圓如張蓋，地圓如棋局。渾天謂地爲圓形，而天圍其外；其狀如鳥卵，天包地外，猶殼之裹黃，周旋無端，其形渾渾然。宣夜則以天爲無質無極，日月衆星，浮生通虛，其行其止，以氣是賴。三說以渾天論戰勝一切，垂二千餘年而不衰。渾天論始自漢之張衡，衡鑄渾天儀以爲準則；東吳天文學家王蕃，作更精細之解釋焉。

西歐天文學，發源於希臘。當時天文學家塞利斯 Thales，奧克前麥斯 Auaximanus，彼塔哥拉斯 Pythagoras，及海巴覺斯 Hypparchus 等輩出，對於天文學多所貢獻；然在希臘天文學史中，集天文學之大成者爲托雷密 Ptolemy，生於第二世紀，著有托雷密天文集 Almagest 一書。渠謂地球處宇宙之中心，而天可分爲若干層；日月星辰各居一層之上，行星不僅繞地而行，而且各公轉於一僞行星 fictitious planet。故諸星所行之軌道，對地球而言乃成一擺線 epicycloid。此在天文學史上謂之托雷密系 Ptolemaic system，歷一千餘年不衰。離騷天問章謂「圓則九重，誰營度之」，可見中國昔日，亦有天戒層狀之說也。

行星地球與太陽之運行問題，至哥白尼 Copernicus 出，始有適當

之解決。一四七三年，哥氏生於維斯丟拉 Vistula，對於天文學有特具之天才。彼在其不朽之名著天體公轉論 De Revolutionibus Orbium Coelestium 中，推翻前此一切以地球為中心之說，而主太陽居宇宙之中心，其他水星、金星、地球、火星、木星、土星，繞之而行。地球亦行星之一也；月球乃繞於地球之周圍。至各行星公轉之軌道，哥氏以為圓形；此雖為其錯誤之處，但其創立太陽居中之說，為後起天文學家之宗，實開天文學史中之一新紀元也。

繼哥白尼而起者有提科布拉 Tycho Brahe，生於一五四六年，因彼時儀器未精，不能測出恆星每年之視差，乃以地球為靜止，而非哥白尼之說。渠仍主張地球處宇宙之中心，月球與太陽各繞地球而行，至其他五行星則又繞行於太陽之周圍。此說在當時竟得風行；蓋論者方不滿哥氏之說也。

宇宙之組織與天體之運行，直至開普勒 Kepler 與牛頓 Isaac Newton 等出，始有定論。開普勒行星運動定律 Kepler's law 備述行星之排列，及其運行之方法與軌道之形狀。哥氏學說之成立，開氏與牛氏與有力焉。其後拉普拉斯 Laplace 作天體力學 Mécanique Celeste 一書，更臻完善；理論天文學至此，已告一段落矣。

現時吾人所承認之太陽與行星之排列，乃根據哥白尼之學說，再受開普勒與牛頓之修改者也。宇宙中之星辰，可分為恆星與行星二種，但所謂恆星行星者，仍屬相對而言；恆星並非絕對靜止，而亦有運動，且運動之速率極大，不過距離過遠，難以覺察耳。太陽乃恆星之一；諸行星繞行於太陽之周圍，同時再依通過其南北極所假定之軸而作自轉。行星尚有其附屬品曰衛星 satellites，衛星除自轉之

外，再公轉於行星之周圍。此外尚有彗星 comet，來去大都無定。流星 shooting star 乃宇宙中細小之天體，飄游於太空，一入地球之空氣層，則因摩擦發光。

一七八一年天文學家赫舍爾 Herschel 發現天王星，一八四六年勒未利埃 Leverrier 發現海王星。在火星與木星之間，一八〇一年正月一日意大利天文學家彼阿齊 Piazzi 發現一細小之行星，直徑不過五百英里。以後此種細小行星，年有所獲，時迄今日綜計所發現者一千餘顆；此即所謂小行星 minor planets 或 planetoids 或 asteroids 也。

天王星與海王星發現之後，天文學家以為尚有新行星，未經發現，或未可知。水星軌道向前進，天文學家皆疑水星被另一行星吸動所致，故在半世紀之前，太陽與水星間有新行星之說，震動一時；實際年來日全蝕時所攝太陽附近之影片，皆未見有所謂新行星者在，而水星軌道之向前進，相對論 theory of relativity 已有完滿之解決矣。至於海王星外是否另有新行星，昔日天文學家亦視為至難解決之問題，托德 Todd 與羅埃爾 Lowell 輩，曾羣起計算此新行星之軌道，卒於一九三〇年正月為羅埃爾天文臺 Lowell's Observatory 之湯保 Tombaugh 所發現，命名為冥王星 Pluto。故在今日，已知之行星，有水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星九行星。合九大行星、小行星、及各行星之衛星，與一部分之彗星與流星，皆以太陽為主宰，組成一系統，是曰太陽系 solar system。

太陽系在宇宙中之地位為如何耶？此亦為吾人之急欲了解者。夜晚仰瞻天際，恆有玉帶一彎，橫貫天空，此即所謂銀河也。銀河為

由無數之星會萃而成，合銀河內諸星曰銀河系 galactic system。吾人之太陽系爲銀河系中之一小組織，設銀河系爲一國家，太陽系不過一省或一縣耳。銀河系之中心爲人馬座 Sagittarius，故太陽系亦非居銀河系之中心也。太陽系之半徑已達一百萬萬英里以上，銀河系之廣袤，更非吾人所能想像；據最近所測得之結果，銀河之直徑達二十萬光年以上（光自甲地出發，一年後始達乙地，則甲乙之距離謂之一光年 light year。光年恆取爲量星宿距離之單位；在量太陽系中行星之距離，則恆用地球與太陽之距離爲單位，是曰天文單位 astronomical unit）。讀者若不能想像此距離之大小，則可設一喻：吾人皆知蛛絲爲最輕細之物，用蛛絲繞地球一周，兩磅足矣；然用蛛絲扯成銀河之直徑，則非 50,000,000,000 噸不足也。但銀河系之全體，亦不過宇宙中已發現十餘萬螺旋星雲之一耳。

近世吾人對於宇宙之了解，望遠鏡爲有極大功績。用望遠鏡以窺天象，始自加利略 Galileo。時在今日，其組織至爲複雜，計分折光鏡與迴光鏡二種。頁基斯天文臺 Yerkes' Observatory 之四十英寸望遠鏡爲世界最大之折光鏡。至迴光鏡則以美國加利福尼亞之威爾遜山天文臺 Mt. Wilson Observatory 所有者爲最大，對物鏡外部之直徑達一百英寸，鏡面之曲率係根據繁複之數學方程式計算而成。自一九一九年六月十九日此鏡落成後，天文學上開一新紀元。美國現又計劃建造二百英寸之迴光鏡，落成當不在遠矣。

宇宙之形狀與大小，自來哲學家與天文學家皆作種種解釋，迄未有正當之解決。哲學家康德 Kant 謂宇宙之範圍爲有限或無限，以同樣之立足點推之可以成立，亦可以否定。哈密爾敦 Hamilton 則以

爲宇宙之界限爲吾人意識所不能到。彼時因研究之工具未精，對此宇宙問題之研究，當然少有結果。吾人今日藉最強望遠鏡之力，得知最近之星團，其光須歷一萬八千四百年始能達到吾人之地球，而最近之星雲爲三角座星雲 *Triangulum nebula*，其距離爲八十五萬光年，吾人現時所見該星雲之光乃爲八十五萬年前該星雲中電子顫動所產生之光。星雲中其距離在一萬萬光年以上者，亦比比皆是；而所能觀察到之最遠星雲乃在一萬萬四千萬光年之遙也。宇宙之界限問題迄愛因斯坦 *Einstein*之相對論出，始有完滿之解說。根據相對論之結果，吾人之宇宙爲李曼幾何 *Riemannian geometry*的，爲彎曲的；雖無邊界，但有一定之容積，正如一圓線，雖其長度及其所包圍之面積爲有限，但並無起點與終點也。吾人在地面若取直線進行，因地球爲球形，終必返於原處；今在宇宙中亦然，若循一定之方向出發，亦可返於原處，惟惜吾人之生命爲過短耳。宇宙之圓周可由其曲率以計算之，約居8,000,000,000光年以上。因宇宙爲彎曲，光線亦不能直達，故光自一處取某一方向出發，約歷8,000,000,000年後當再返原處；若由相反之方向出發亦然；此猶在地球上向東出發可返原處，而向西出發亦可返於原處也。宇宙圓周之大既如此，今日最強望遠鏡所能見之空間距離，不過宇宙距離之一極微分數耳。然今日之宇宙容量，並非安定不變，不僅其大小日在擴張，且其擴張之速率亦日在增進也。

今日吾人所能見之星雲約爲 2,000,000 個，其總量約爲太陽之4,000,000,000,000,000倍，而不能見者爲數當更多。據愛丁頓 *Eddington*之推算，謂全宇宙物質之總量爲太陽之110,000,000,000

0,000,000,000,000倍，而此總量亦似日在遞減者。

宇宙容積之大既如此，而吾人類所活動之空間，即繞地球一周而言，亦不過一萬八千英里，以此與宇宙之圓周相較，直滄海之一粟。地質史示我人以地球之年齡為二十萬萬年，而人生上壽不過百歲，以此與二十萬萬年相較，曾不足以一瞬。故惟有讀天文學者，始知吾人軀殼之渺小，不足以自豪。然人類纖細之腦，將茫茫無涯之宇宙，收容之而繩以法則，斯亦足以堅吾人之心志焉！

第二章 太陽系總論

第一節 行星之運動

行星爲太陽所支配，作不息之運動。行星運動之種類甚多，其主要者爲自轉 rotation 與公轉 revolution。行星依其貫南北兩極所假設之軸而旋轉曰自轉；行星繞太陽之運動曰公轉。

設吾人處太陽之上以視諸行星之運行，則諸行星者皆爲自西徂東繞太陽而運動，此謂之順行 direct motion。然吾人係處地球之上，由運動之相對關係，視地爲靜，則太陽適繞行於地球之周圍，此太陽所行之道自古謂之黃道 ecliptic，今又名之爲地球繞太陽之軌道。黃道與地球赤道平面之

延長相割於二點，太陽在每年三月二十一日過其一點，而九月二十四日過其他一點。前者曰春分點 Vernal equinox，後者曰秋分點 Autumnal equinox。

圖1爲示現時太陽每年在天球上之位置。

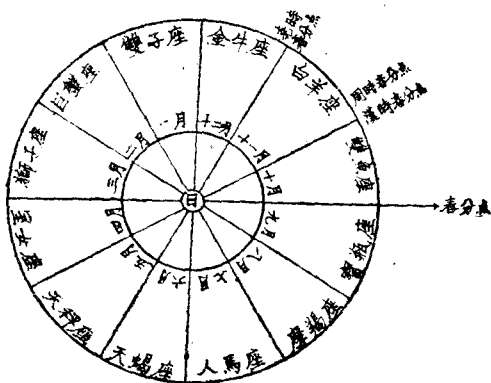


圖 1

行星之運行，居地球上視之，因地球本身亦有公轉，並非皆為作自西徂東之順行；而有時為自東徂西而行，此曰逆行 retrograde motion。由順而逆，或由逆而順，其間又經過一時期為靜止，是曰留 stationary。圖 2 乃示自一九二八年至一九二九年間火星在天球上之視行。

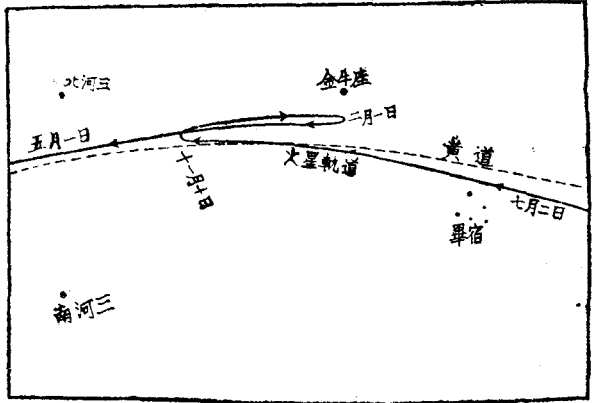


圖 2

行星何以有順行與逆行之別？哥白尼作以下之說明(圖3)：設 S 為太陽，小圓為地球之軌道，大弧為行星之軌道。茲取木星為例（土星、天王星等與

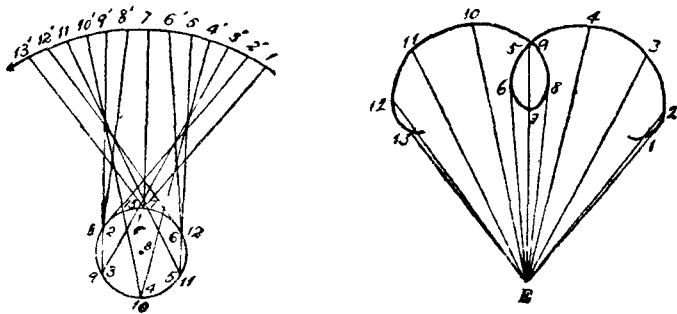


圖 3

此相同，水星與金星僅為處地球軌道之內，亦可以同理推之)。因木

星之角運動速率僅為地球角運動速率之十二分之一，設地球每相隔二月在軌道上之位置為1, 2, 3, ………等，則木星在軌道上之相應位置為1', 2', 3', ………等。使地球靜止在E，自E作平行且相等於11', 22', 33', ………等線分，則此諸線分之另一端點之軌跡適成一

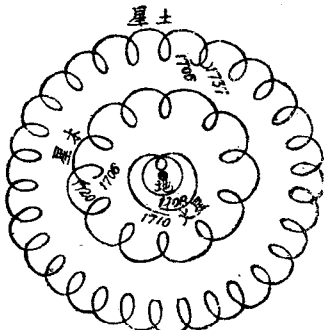


圖 4

外擺線，即一動圓在一定圓周外轉動時，動圓圓周上一點之軌跡。當木星在其視軌道上由1至6為順行，在6為留，自6至8為逆行，在8又為留，過此又為順行，故行星之視運行有順有逆。擺線圈之個數視行星而異（圖4），計木星有十一個圈，土星有二十一個圈。

在地球軌道以內之行星曰內行星 inferior planets，處地球軌道以外之行星曰外行星 outer planets。當地球、太陽、與行星三者居同一直線（其實為同一平面）之上曰合 conjunction。合有上合 superior conjunction 下合 inferior conjunction 之分；太陽在行星與地球之間曰上合，行星在太陽與地球之間曰下合，下合僅內行星有之（圖5）。若在外行星，有時地球運行至太陽與行星之中間，是曰衝 opposition。內行星在下合時與地球之距離為最近，外行星在衝時與地球之距離為最近。行星與太陽對地球所夾之角

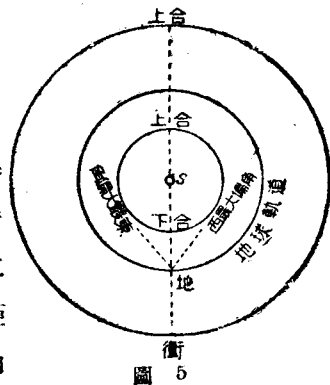


圖 5

曰偏角 elongation; 外行星之偏角可自零度以至一百八十度, 但內行星之偏角則否, 最小可爲零度, 而最大則不能達九十度。故內行星有最大之偏角。此最大偏角在東者曰東最大偏角, 在西者曰西最大偏角。吾人能否得見行星, 則全視其偏角而定, 如偏角小, 則行星僅能於日間在地平線之上也。

第二節 開普勒行星運動定律與牛頓萬有引力定律

十六世紀末葉, 天文學家提科布拉以其畢生之精力, 觀察火星之運動。其後有開普勒者出, 生於浮秦姆堡 Württemberg, 少加利略七歲, 以二十載之苦心, 研究提科布拉觀察所得之結果, 作火星運動詮釋 Commentariis de Motibus Stellae Martis一書, 樹立行星運動之基本定律, 一洗往昔宇宙圓形之哲學。開氏定律凡三:

第一定律 行星繞太陽之軌道爲橢圓, 而太陽居橢圓焦點之一。

第二定律 行星與太陽所連成之直線 (即動徑 radius vector) 在相等之時間內畫成相等之面積。

行星之軌道既爲橢圓, 而太陽又居橢圓二焦點之一, 則行星與

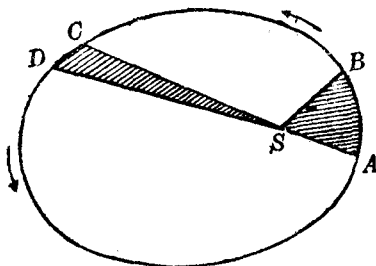


圖 6

太陽之距離時有改變。由此定律, 設 S 爲太陽, SAB 與 SDC 二扇形之面積爲相等, 則行星自 A 行至 B 與自 C 行至 D 所需之時間爲相等, 亦即行星距太陽愈近, 其公轉之速率愈大也 (圖6)。

第三定律 任二行星公轉

週期之平方之比等於其與太陽之距離之三方之比。

此第三定律又曰調和定律 harmonic law，可以數學公式表之如下：設 t_1 與 t_2 爲二行星之公轉週期， a_1 及 a_2 爲二行星與太陽之距離，則

$$t_1^2 : t_2^2 = a_1^3 : a_2^3.$$

但第三定律微欠精確；蓋此第三定律爲僅能視行星爲一質點，即其質量爲可以不計者。但行星並非質點，不過其質量與太陽之質量相較爲微細耳。由是開氏第三定律必須稍加修改。設 M 爲太陽之質量， m_1 與 m_2 爲二行星之質量，則修正後之開氏第三定律爲

$$t_1^2 (M + m_1) : t_2^2 (M + m_2) = a_1^3 : a_2^3$$

由開氏第二定律，得知行星有趨向於太陽之力；換言之，即太陽對諸行星皆有其吸引之力，而使其運行於軌道之上。由開氏第一定律可以推得太陽對行星之引力與行星至太陽之距離之平方成反變。更有進者，開氏第三定律明示太陽之引力與行星之質量爲有關也。

開氏行星運動之三大定律出後，大數學家牛頓即用力學以說明之。一六八七年牛頓在其所著之格物論 Principia 第三卷中發表其萬有引力定律 law of universal gravitation。其言謂：「萬物皆有相引之力，而此力與其相互之質量成比例」。

「推論一 太陽對某行星之引力之量爲太陽對該行星各部分之引力之總和」。

「推論二 太陽對某行星各部分之引力與太陽至各該部分之距離之平方成反比」。

換言之，即「宇宙中所有物體皆有其互相吸引之力，此力與其質

量之相乘積成正比，而與其距離之平方成反比」。

設 F 爲二物體相引之力， M_1 與 M_2 爲二物體之質量， r 爲其距離，則萬有引力定律可以數學方程式表之如下：

$$F \propto \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}, \quad \text{即 } F = G \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}.$$

此處 G 謂之引力常數 gravitational constant。

牛頓創其引力定律後，繼思月球既因受地球之吸引而運行於其周圍，則必爲引力定律所適合；即月球能保持其在軌道上之位置之力必等於月球物質向地面下降之力也。然欲證此，必須假設球體相引，其質量可視爲集中於其中心者，牛頓經多時之研究，終得證明此假設爲成立，而月球爲引力定律所支配，亦得以證實矣。時至今日，吾人已知大如天體之互相吸引，小如電子之互相結合，皆不能逃出引力定律之範圍也。

引力常數 G 之測定，在當時極爲困難，頗有一述之價值。最初進行此種計算者，爲一七九八年英國科學家卡文提什 Cavendish；彼以二小球 m 與 m' 裝於一輕棒之兩端（圖 7），棒心繫一細銀絲，絲之他端懸於一靜體上，兩個一百五十八仟克重之大鉛球 M 與 M' 懸於 m 與 m' 之附近。因 M 對 m 及 M' 對 m' 各有引力，於是棒即起移動，由此所移動之值，與使棒移動至一定角度所需之力相比，即可以求出 M 與 m 相吸之力，以此結果代入引力公式，則得 G 值。卡氏所得之結果未甚準確。一八三八年至一八四二年間，培利

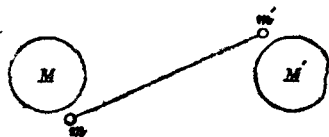


圖 7

Baily 在英國與賴赫 Reich 在德國作同樣之測驗，一八七二年科勞

Cornu 在巴黎，以改良之方法行之，亦皆未能得到精確之結果。一八八九年波埃斯 C. V. Boys 在牛津重作此實驗，渠以極細之石英絲代銀絲，仍依卡文提什之原理，乃得極精確之值。據其報告，在標準單位， $G = 6.6576 \times 10^{-8}$ ；即兩個一克重之物體，相距一厘米，則相引之力為 0.000,000,066,576 達因 dyne (達因乃量力之絕對單位)。

牛頓之萬有引力定律為解決二體問題、三體問題、多體問題、以及潮汐現象之基礎，故牛氏之功績，千古無可比擬。然用牛氏定律以解釋宇宙中之各種現象，困難尚多。即就在太陽系而言，水星軌道之近日點每百年中前進五十七秒，此非牛氏定律所能解釋；當時天文界曾作有新行星存在之假設，而自愛因斯坦之廣義相對論 general theory of relativity 出後，此問題已獲完滿之解決，牛頓力學至此，似有其缺點矣。然此不能即謂牛頓之不如愛氏；蓋學術之進化，自有階段；愛氏之得創相對論，近代數學與有力焉。

第三節 三體問題 攝動 月球論 潮汐

研究二天體間互相吸引之情形，即已知二天體之質量及其在某時間內居天空之位置及行動，推算此後該二天體之行動，謂之雙體問題 problem of two bodies。一六八五年牛頓在其所著之格物論第一冊第二節中即開始論此問題，並用幾何方法證明。雙體問題之解析證法則始自十八世紀初期之歐洲學者也。

牛頓之引力定律足以解決一切雙體問題之現象。若二天體依其間互相吸引之力而起運動，則各描一圓錐曲線，此圓錐曲線以二者之

重心爲焦點，其一對其他所行之軌道爲圓錐曲線。此逆定理亦得成立，即若面積定律爲適合，及其一之軌道爲以另一體爲焦點之圓錐曲線，且相吸之力僅與距離有關，則此力與二者間距離之平方成反比。圓錐曲線計分橢圓、雙曲線、與拋物線三種，圓乃爲橢圓之特例。雙體間之天體究取何種圓錐曲線而進行，則視其一最初所施於其他之速率而定。今就地球而言，若地球最初所受太陽所施與之速率爲無窮大，則地球公轉太陽之軌道爲直線，即永離太陽而去；若初速率爲每秒七十公里，則軌道爲雙曲線；若初速率爲每秒四十公里，則軌道爲拋物線；若初速率每秒在三十七公里與三十公里之間，則軌道爲橢圓，而以太陽爲最近之一焦點；若初速率正爲每秒三十公里，則軌道爲圓；若初速率爲在每秒三十公里與十公里之間，則軌道仍爲橢圓，而以太陽爲最遠之焦點。此外太陽之質量亦有關於地球軌道之形狀者。

若三個天體互相吸引，由其現狀以推算其將來之行動情形，是曰三體問題 *problem of three bodies*。在今日之數學力量，對三體問題尙不能作一般之解決。此問題牛頓本人即已注意之，直至十九世紀，不知絞盡幾多數學者之腦汁，然結果終鮮成績。迨霸恩卡累 H. Poincaré 出，證明以近世數學不能解決一般三體問題；於是此三體問題之研究，始告一段落焉。

一般三體問題之解決，今日雖尙不可能，然一部分解或近似解，則可做到。例如在太陽系中，太陽之質量過大，行星、衛星之質量與太陽比，渺乎其微，故研究太陽與某一行星中之關係，其他天體對其作用之力甚弱，直可以略去；在此種條件之下，三體問題直變爲二體

問題，不過第三體亦同時受太陽與行星之吸引耳。大數學家拉格隆日 Lagrange 在其三體問題一文及以後所發表諸文中，業將此特殊問題作數理方面之解決矣。

若兩體中有一體之形狀為扁球形，或兩體之中另有阻礙物質，或另有第三體對此二體各施引力作用，或若兩體互相吸引之外，另有一種力對此兩體發生作用，則此兩體運行之軌道不為純正圓錐曲線。此非純正圓錐曲線軌道與兩體不受外力作用時之正圓錐曲線軌道之差，即在二軌道上之坐標與速率分力之差，謂之攝動 perturbation，而發生攝動之力謂之攝力 disturbing force。

在太陽系中，太陽、行星、衛星、及細小塵點對太陽系中另一天體所生之攝動，若與太陽之吸力相較，薄弱殊甚；但精密測量，頗可覺察。就行星言，各行星因受彼此間互相攝動關係，其軌道之經緯度恆作繁複之變動；海王、冥王二星即係因此而發現者。

衛星之運動至為複雜，因其受行星吸引而外，更受太陽之吸引也。因月球足為諸衛星之代表，而月球之運動又有關於吾人之航海，是以另設月球論 lunar theory 以研究月球之運動。

論 S, E, m 為三天體（圖 8） m 繞 E 而公轉。茲研究 S 對 m 之攝力。設 m_1, m_2 為 m 在其軌道上之二位置；命 EN 表 S 對 E 之加速率之大小與方向，亦即 S 對 E 之單位質量之引力。

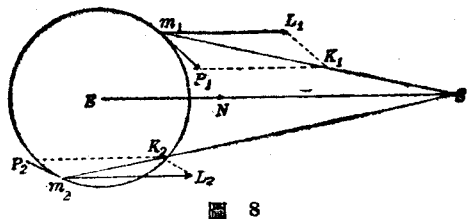


圖 8

用同一單位，命 mK 表 S 對 m 之加速率之大小與方向。因

$$m_1 S < ES < m_2 S,$$

$$\text{故 } m_1 K_1 > EN > m_2 K_2.$$

由引力定律，此諸加速率皆各與其相關之距離之平方成反比。將 mK 分爲 mL 與 mP 二分加速率，而 mL 平行於 EN 。因 mL 與 EN 爲相等且平行，此諸加速率對於 E 與 m 之相關位置無影響，故 mP 爲攝動加速率。

月球因太陽之攝動而起之變動現象，重要者有年差 *annual equation of the moon*、二均差 *variation of the moon*、月角差 *parallactic equation of the moon* 與出差 *evection of the moon*。因地球之軌道爲橢圓，地球與太陽之距離在一年中時行變動，當地球與太陽之距離愈遠，太陽對月球之攝力愈弱；由此月球之黃經在一年之中約變動十一秒，是曰年差，乃一五九〇年間，提科布拉由觀察而發現者。一五九〇年間提科布拉更由觀測發現月球在每半個月內向左右變動三十九分三十秒之角，是曰二均差，其理牛頓曾加以解釋。再上弦時月之位置遲二分五秒之角，下弦時則速二分五秒之角，是曰月角差。此外尚有出差者，即月球以三十一又十分之八日之週期，其黃經較平均位置約擺動一度十六分；此乃月球軌道長徑對太陽之方向改變所致也。再月球因太陽之攝動，恆見黃道左右各五度八分範圍內之星宿於月球軌道與黃道交點退行一周內，必皆經過爲其掩蔽。考黃道與月球軌道之交點每日約退行 $3'10.64''$ ，故積 18.6 年而一周；古人謂太陰爲十九年一章者，蓋即指此。月球除此諸種變動外，尚有作其他之複雜變動。

月球論須應用高等之數學解釋；在牛頓時代，分析數學尙未健

全發展，故牛頓亦嘗以月球論爲難，且對其友哈利 Halley 作失望之語。月球論至十八世紀始臻極盛，大數學家瓦勒 Euler、克雷羅 Clairaut、拉格降口、及拉普拉斯輩與有力焉。

地球上海水潮汐漲落之週期，適爲月球經過子午線之週期之二分之一，故潮汐爲因月球之吸動而起也。設在前圖中， E 爲地心， m_1 、 m_2 爲地球上之二點， S 爲月球；則 m_1P_1 與 m_2P_2 爲月球吸潮之加速率，故地球上之相對二處同時皆發生潮汐現象，惟反面之潮約較正面之潮弱百分之五耳。因月球在二十四小時五十一分內經過天頂一次，故地球上各處約在一晝夜間有二次潮汐發生。

吸潮力與普通吸力不同，吸力與距離之平方成反比，而吸潮力則與距離之三方成反比。由圖 9，設 E 爲地心， S 爲月球。命 $ES = D$ ， $EA = a$ ；因 D 與 a 之相差甚大，故可視爲 $ES = BS = B'S$ 。 S 對 E 點每單位質量之引力爲 $G \frac{m}{D^2}$ ，此處 m 爲 S 之質量， S 對 A 點每單位質量之引力爲 $G \frac{m}{(D-a)^2}$ 。命 S 對 A 點單位質量之升潮力爲 F ，則

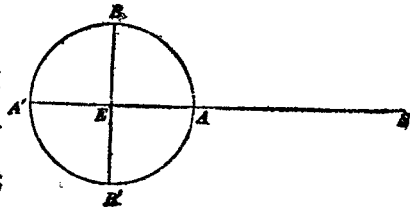


圖 9

$$F = Gm \left[\frac{1}{(D-a)^2} - \frac{1}{D^2} \right] = 2 Gm \frac{a}{D^3} \cdot \frac{1-a/2D}{(1-a/D)^2}.$$

因分數 a/D 之值甚微，可以略去不計，故

$$F = 2 Gm \frac{a}{D^3}.$$

令 F' 爲 S 對 A' 點每單位質量之吸潮力，則

$$F' = Gm \left[\frac{1}{D} - \frac{1}{(D+a)^2} \right] = 2 Gm \frac{a}{D^3} \cdot \frac{1+a/2D}{1+a/D}$$

故

$$F' = 2Gm \frac{a}{D^3}.$$

S 對 B 或 B' 點每單位質量之吸力為 Gm/BS^2 ，將此分為平行於 ES 之分力 $G \frac{m}{BS^2} \cdot \frac{ES}{BS}$ ，及沿 BE 之分力 $G \frac{m}{BS^2} \cdot \frac{BE}{BS}$ 。因 $BS = ES$ ，故平行於 ES 之分力為 $G \frac{m}{ES^2}$ ，此即 S 對 E 點每單位質量之力，此力為保持地球與月球之相關位置，而無昇潮之作用；故對 B 點之吸潮力為 $Gm \frac{BE}{BS^2}$ ，即 $Gm \frac{a}{D^3}$ ，在 B' 點之吸潮力亦同。故在地面上任一點之吸潮力皆與距離之三方成反比。太陽之質量雖大，但太陽與地球之距離遠過於月球與地球之距離；故結果太陽之吸潮力反不若月球之吸潮力之強；據計算，月球與太陽二者之吸潮力之比為十一與五之比。

第四節 行星與太陽之距離與公轉週期

欲知行星與太陽之距離，應先知地球與太陽之距離。求地球與太陽之距離，方法甚多；最普通者為水平視差法 horizontal parallax，及光行差法 aberration。

設 E 為地心， A 為地面之一觀測點， S 為太陽（圖 10）。人在 A 處視 S 之方向為 AS ，而 E 點對 S 之方向為 ES 。 AS 與 ES 之交角 θ 謂

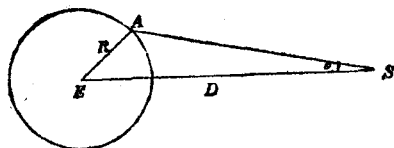


圖 10

之視差 parallax。設 ES 之長為 D ，地球之半徑 EA 為 R ，於是由正弦定律有

$$D:R = \sin(AE, AS) : \sin \theta$$

即
$$\theta = \arcsin[R \cdot D \cdot \sin(AE, AS)]$$

設 $(AE, AS) = 90^\circ$ ，則 θ 謂之水平視差，以 θ_h 記之，因 $\sin 90^\circ = 1$ ，故得

$$D = R / \sin \theta_h.$$

因地球為扁球形， θ_h 之值乃因緯度而變，計在兩極為最小，赤道為最大，故普通以赤道之水平視差為標準。據精確之考測， $\theta_h = 8.783'' \pm 0.015''$ ，由此求得 $D = 92,876,000$ 英里，此即地球與太陽之距離也。

既知地球與太陽之距離，則求行星與太陽之距離，易如反掌。水、金二星居地球軌道之內，為內行星；火、木、土、天王、海王、冥王諸星居地球軌道之外，為外行星。設 S 為太陽， E 為地球， V 為內行星（圖11）；當 $EV S$ 為九十度時，測角 SEV 之值，於是 $VS = ES \cdot \sin \angle ESV$ ，此即內行星與太陽之距離也。

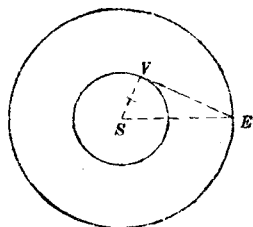


圖 11

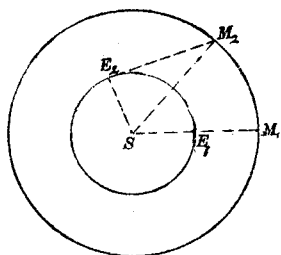


圖 12

至求外行星與太陽之距離，其方法與此稍異。設 S 為太陽， E_1 、 M_1 為地球與外行星在相衝時之位置；經若干時以後，地球公轉至 E_2 ，而外行星公轉至 M_2 ，而 $M_2 E_2 S$ 角適為九十度，此皆可由觀察而得（圖12）。設外行星自 M_1 至 M_2 之時間為 t ，地球之公轉週期為 T_1 ，外行星之公轉週期為 T_2 ，因軌道一周為三

百六十度，故有

$$T_1 : t = 360^\circ : (\angle M_1 S M_2 + \angle M_2 S E_2)$$

及 $\angle M_1 S M_2 : 360^\circ = t : T_2$

由是得
$$\angle M_2 S E_2 = 360^\circ t \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

故 $\angle M_2 S E_2$ 角可以求得。再由圖 12,

$$M_2 S = E_2 S / \cos \angle M_2 S E_2$$

此即外行星之距離也。

諸行星與太陽之距離其中有一種奇特之關係，一七七二年善得 Bode 根據梯底斯 Titius 之研究，發明一善得定律 Bode's law。設 Δ 為行星與太陽之距離，則善得定律為

$$\Delta = \frac{1}{10} (3 \times 2^m + 4), \quad m = -\infty, 0, 1, 2, 3, \dots$$

行星公轉太陽一周所需之時間謂之一週期 period。週期可分為二種：居太陽上觀察行星自某點出發再回至某點所需之時間曰恆星週期 sidereal period，在地球上觀察行星自此合至彼合或自此衝至彼衝所需之時間曰會合週期 synodical period。設 S 為行星之會合週期， P 為行星之恆星週期， E 為地球之週期；於是在內行星有關係式：

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{P} - \frac{1}{E};$$

而在外行星有關係式：

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{E} - \frac{1}{P}.$$

行星之週期亦可由直接觀測而得。當行星經過其軌道與黃道之交點時，其緯度為零。行星兩次經過交點之時間即為其恆星週期。

茲列比較表如下：

行 星 名	符 號	平 均 距 離 (天文單位)	由 普 得 定 律 所 得	恆 星 週 期 (日為單位)	公 轉 速 率 (英里為單位)
水 星 Mercury	♿	0.387099	0.4	87.96925	23—35
金 星 Venus	♀	0.723331	0.7	224.7008	21.9
地 球 Earth	♁	1.000000	1.0	365.2564	18.5
火 星 Mars	♂	1.523688	1.6	686.9505	15.0
小 行 星 Asteroids		2.650000	2.8		—
木 星 Jupiter	♃	5.202803	5.2	4332.580	8.1
土 星 Saturn	♄	9.538843	10.0	10759.22	6.0
天 王 星 Uranus	♅	19.190978	19.6	30685.82	4.2
海 王 星 Neptune	♆	30.070672	38.8	60181.11	3.4
冥 王 星 Pluto		39.59673	77.2		

第五節 軌道原素

行星之軌道為橢圓已如前述。欲定一行星及其軌道在空間之位置，須有六條件，即軌道之長半徑、軌道之離心率 eccentricity、軌道平面與某標準平面之交角、軌道平面與某標準平面相交之位置、軌道長徑之方向、及某時行星在其軌道上之位置。若以黃道平面為標

準平面，則此種坐標制曰黃道制 ecliptic system；若以地球赤道平面為標準平面，則曰赤道制 equatorial system，二制以前者為較通行。地球軌道之春分點恆取為零點，記以符號 T 。

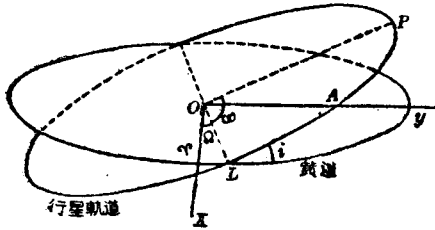


圖 13

軌道之長半徑恆以 a 表之，由此可以決定軌道之大小與公轉之週期。軌道之離心率以 e 表之，由此可決定軌道之形狀。設 xy 平面為黃道平面， LA 為行星之軌道（圖13）。 LA 所在之平面與 xy 平面之交線曰升降線 line of nodes。設行星在軌道上由南而北經過 L 點，則 L 點曰升交點 ascending node。設 T 為春分點，自 T 至升降線之角以 Ω 表之，是曰升交點黃經 longitude of the ascending node。行星軌道平面與黃道平面之交角恆以 i 表之，是曰斜角 inclination。由升交點黃經與斜角，則軌道平面之位置可以決定。設 P 為行星軌道上之近日點 perihelion point，則自升降線至近日點之距離取依行星運動之方向記以 ω ，此定軌道長徑之方向。命 π 為 $\Omega + \omega$ ，是曰近日點黃經 longitude of the perihelion，但此在實際方面並非真黃經也。由以上五端已備知軌道之大小、形狀、與位置矣；但尚須得知某時行星在軌道上之位置，始能推得在以後或以前任何時行星居軌道上之位置；此可用經過近日點之時期 T 以定之。合 a, e, Ω, i, ω 或 π 、及 T 謂之軌道要素 elements of orbit；是以二天體之相關運動為屬於六級 sixth order 的。

以上所述之軌道要素又可以用另一種方式表之；如軌道長半徑

可以公轉週期代之，近日點黃經可以近日點距角 argument of the perihelion 代之等。經過近日點之時期 T ，又恆用平均黃經 mean longitude 代之；假設一平均行星 mean planet 在近日點與真行星相合，其運行之等速角速率等於真行星之平均角速率，此假設行星在黃道上自春分點起至升交點，及在軌道上自升交點起至此假設行星之位置之黃經謂之平均黃經。茲將一九三二年一月一日格林尼治 Greenwich 零時之行星軌道要素列表如次：

行星名	平均距離 (天文單位)	離心率	軌道斜角 。 ' "	升交點黃經 。 ' "	近日點黃經 。 ' "	平均黃經 。 ' "
水 星	0.387099	0.2056206	7 0 12.5	47 31 30.8	76 23 50.9	129 52 54.33
金 星	0.723331	0.0068059	3 23 38.2	76 4 3.5	130 36 51.5	348 54 53.63
地 球	1.000000	0.0167381	—	—	101 46 15.7	99 56 33.96
火 星	1.523688	0.0933414	1 51 0.4	49 1 59.3	334 48 26.1	299 5 29.11
木 星	5.202805	0.0483885	1 18 25.0	99 45 41.0	13 13 37.1	129 39 59.74
土 星	9.538845	0.0557820	2 29 27.7	113 3 45.5	91 42 55.2	298 5 17.30
天王星	19.190978	0.0471314	0 46 22.2	73 39 4.5	169 33 42.7	20 55 54.05
海王星	30.070872	0.0085533	1 46 34.3	131 1 50.4	44 2 10.3	155 22 53.39
冥王星	39.59673	0.2537410	17 8 56.8	169 22 25.8	222 30 53.1	132 2 2.7

讀者注意，在上表中所列諸值，軌道斜角，皆甚微，水星為最大，

亦不過七度有餘耳，故諸行星之軌道平面皆與黃道平面接近。至軌道之離心率。除水星與冥王星而外，亦皆甚小，此乃表示軌道皆近於圓形也。

第六節 行星之物理性質

居地球上以視行星之體積甚小，但其視直徑apparent diameter可用一種量微表micrometer以測量之。設已知行星之視徑及其與地球之距離，則行星之真直徑可以直接求得。已知行星之直徑，則其面積與體積亦不難求得矣。

居行星上以視太陽之體積為如何？觀察者離太陽愈遠，則太陽之視徑與光度皆愈弱；視徑為與距離之一次方成反比，而光度則與距離之平方成反比。居水、金上以視太陽，其大小足等於二倍半於在地球上所見者。在海王星上以視太陽，則太陽之視徑不過一分，僅與吾人所見最明之星為相等耳。

茲將行星之物理性質列表如下：

行星名	平均直徑 (以英里為單位)	質量 (地球=1)	體積 (地球=1)	密度 (水=1)	重力 (地球=1)
水 星	3030	1/21	0.056	4.7	0.43
金 星	7700	0.82	0.91	4.94	0.82
地 球	7917.6	1.00	1.00	5.55	1.00

火 星	4230	1/9.32	0.152	3.92	0.38
木 星	86500	317.7	1309	1.32	2.65
土 星	73000	94.8	760	0.72	1.18
天王星	31900	14.6	65	1.22	0.90
海王星	34800	17.0	85	1.11	0.89

第三章 太陽

第一節 太陽爲天體之一

我人欲知宇宙中天體之情形，當自觀察太陽始。太陽 sun 爲宇宙中衆恆星之一，自具光熱，居太陽系之中心，爲行星之主宰。體積之偉大，在太陽系中無可比擬。據天文學家之測量，太陽之直徑約爲八十六萬六千四百英里，約爲地球直徑之一百零九倍，地球與月球之距離，僅足其半耳。其體積爲地球之一百三十萬倍，其面積爲地球之一萬二千倍，其質量爲地球之三十三萬二千倍。合九大行星之體積，亦不過太陽之千分之一耳。

太陽之重力爲地球二十七倍有半，物體苟在太陽面權之爲二十七公斤半，則在地面權之，不過一公斤而已。由是若一物體在太陽之表面拋出，則須有每秒六百十八公里之速率，始能脫離太陽而去。太陽與地球之距離爲九千三百萬英里，若以特別快車自地球向太陽開行，則須時三百五十年始達，而光線之進行亦須八分又十九秒也。

太陽亦有自轉，但自轉之速率，視緯度而不同，而其面部各層之運動，亦彼此各異。計緯度愈減，自轉之速率愈增，即近赤道之速率爲最大，此可由觀察而得；若以陀伯勒定律Doppler's law以研究其光帶所起之移位，亦證其然。阿丹斯Adams 求得在赤道高部每日自轉之角速率爲十五度，已知圓周爲三百六十度，故太陽自轉一周約

需二十四日。

太陽與地球相似，其周圍滿布磁場，而成一帶磁性之球體，其磁場雖小，但經精密之考測，約有二十高斯gauss；其原因殊難解釋。太陽磁場之極性與地球磁場之極性相近似，磁北極與自轉北極相近，磁軸與自轉軸相交成六度之角。

第二節 太陽之熱源

太陽爲一極熱之體，據蘭格利Langley之計算，地球空氣表面每平方碼所吸收之太陽熱，若以工作表之，有1.51馬力；故全地球所得之太陽熱達 23×10^{13} 馬力。由施德芬Stefan熱與距離平方成反比之定律推之，則太陽面部每平方碼所發之熱，足與70,000馬力相當，而太陽面之絕對溫度當達五千八百六十度。

由維恩Wien之光譜分析定律，光譜之強弱，視光源之熱度而定；反之，光源之熱度，可由其光譜之強弱而知之。太陽之光並非全部平均分布，中心最強，邊際次之。此蓋光球發出之光爲上層氣體吸收使然。光之分布，爲隨波長而異。太陽面部紫色光在邊緣約爲中心百分之三，紅光在邊緣約爲中心百分之三十。其熱線在邊緣約爲中心百分之四十。設太陽之最強光波爲 $\lambda 4680$ ，則太陽之絕對溫度爲六千二百十六度。若用普蘭克輻射定律 Planck's law of radiation 依光帶中之光力分布而計算之，得太陽面之絕對溫度爲七千度。由此太陽面之溫度當在六千至七千度之間，在此種高溫度之下，殆無物而不熔矣。然此種強熱，何自而來，論者紛紜，約而言之，其說有四：

1. 燃燒學說 科學家有謂太陽之熱源，乃為燃燒而成，據此以推算，設太陽之體為白煤，則燃燒一千年必盡；由此在數千年前，太陽之體積，當倍於今日，但自有史以來，已達五千年，太陽之大小，迄未有變；故此說之不足取，斷焉可知。

2. 隕石生熱說 一物體溫度之增高，等於所得之卡路里 (Calorie 即熱量之單位，等於一仟克之水溫度升高一度所需之熱) 為物體之質量與比^熱相乘積所除。由熱學，物體運動所生之熱 Q 為

$$Q = \frac{mv^2}{8338} \text{ 卡路里。}$$

隕石下落地面之速率約每秒 40233 米 (25 英里)，設隕石之質量為一仟克，則所生之熱量 $Q = 194134$ 卡路里。若命隕石之比熱為一 (實際不能及一)，則其所生之溫度為 194134 度。但隕石大都在空氣中燃燒完了，其熱散於空氣之中，而能落在地面者僅其一二孳孳大者，故為數甚少。隕石落入太陽面之速率每秒約三百八十四英里；其所發生之熱當 $236(384)^2 / (25)^2$ 倍於落入地面所發生之熱。故一仟克重之隕石落入太陽之面，其所發生之熱達 45815624 卡路里。

隕石既能生熱，每日落入地面之隕石為數達八百餘顆，而落入太陽之面者，當為更多；太陽之熱源，即在於此乎？但事實不然，隕石生熱，其熱量不能達今日太陽之情形；且流星經過日旁，受引力之影響，勢必有如彗星，不落日面而繞行過之。再隕石如落入太陽面過多，則水、金二星必為其所擾；但水、金二星並無此種現象，故隕石生熱之說，又不足恃也。

3. 體縮生熱說 一質點所做之功等於其進行之距離與抵抗其進行之力之相乘積。當一物體之體積縮小，則各質點向中心進行，故

能做功；由密度定律，其所發生之熱可以計算。根據此理，一八五四年德人黑爾姆荷爾茲 Helmholtz 在紀念大哲學家康德時，發表其日體收縮生熱之說；渠謂太陽縮小其直徑，故能發生強熱。一八五六年渠在哲學雜誌發表其用數學之計算。其結果所得之公式，設 T 為升高之溫度（以攝氏寒暑表為單位）則

$$T = \frac{6(c-1)r^3 Mg}{41690 R cmb}$$

式中 M, R 為太陽之質量及原半徑， c 為縮小之量， k 為比熱； r 及 m 為地球之半徑及質量， g 為地心加速率。若命 $k=1$ ，即水之比熱，太陽自無窮大縮小，即 $c = \infty$ ，則 $T = 27268000^\circ\text{C}$ ，即其所生之熱足以升高同質量之水之溫度達攝氏表二千七百餘度。

若太陽自海王星之軌道縮小，則其所生之熱為以上所計算之結果六千六百分之一。據阿善特 Abbott 之實驗，假定太陽全體所發之熱為相等，則其每年所放之熱足以升高與太陽等質量之水之溫度 1.44°C 。由此，若在上式命 $T = 14400$ ，則得 $c = 1.000528$ ；即太陽如縮小其今日之直徑四千分之一，則其所生之熱足以保持現狀達一萬年。今日太陽之平均視徑為 $1924''$ ，直徑縮小 0.000528 ，視徑僅減小 1 英寸，此殊難以覺察也。

但根據以上之公式以計算，地球之年齡不能超過二千萬年；果然者，地球上岩石之構成及生物之進化，則此二千萬年，實不足其數也。

4. 放射能說 自物質放射性發見後，近代之物理學、化學大放光明。考物質有放射之性質者為數甚多，而放出之線有 α 線 β 線及 γ 線三種，此種放射線皆從原子內部發射而出，故物質恆因放射而

起蛻變disintegration, 使其質量減小。放射線既由內部直衝而出, 乃失去一部分之動能; 此所失之動能變為熱, 近代物理天文學家皆主太陽之熱源, 乃為太陽中物質放射之能。

苟太陽之熱源確為放射能, 據金斯Jeans之解釋, 各種能力皆有其質量, 設某能力之量為 w , 則其質量為 w/c^2 , 此處 c 為光之速率, 即為每秒 2.9980×10^{10} 厘米。太陽因放射作用, 其質量必逐漸減少。今日太陽之質量為 2×10^{33} 克, 相當於 1.8×10^{54} 爾格erg之能力。太陽每年所放射之能達 1.8×10^{41} 爾格, 則太陽之質量, 必每年減少 1.4×10^{16} 噸之多, 據此以推算, 太陽不能放熱之期間, 尚在 1.5×10^{18} 年之後也。

第三節 太陽之組織

太陽之溫度之高既如前節所述, 則太陽面部之呈不安定現象, 乃為當然之事。太陽面部之組織, 可分為四層(圖14); 即光球Photosphere, 吸收層reversing layer, 色球chromosphere及冠層corona是也。

以精確之望遠鏡窺測太陽
之面, 見有無窮之小光點, 光點

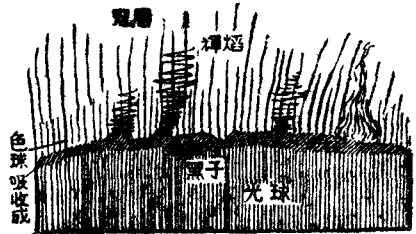


圖 14

之直徑可自五百至六百英里。光點變遷無定, 其速率每小時達三千英里之上。光點所在之處即為光球, 光球為太陽最熱之內體與稍涼

之外體交界之處，亦即太陽射熱之部。太陽放熱之速率極大，非傳導所能及，必爲熱氣自內部外噴，光點之成即在於此。但熱流一至外部，必放熱而冷化，於是其色轉黑，小光點旁之黑隙，即熱流冷化之處也。

光球之外爲吸收層，一八一四年夫牢因和斐Fraunhofer發現日光譜中含有黑線極多。一八九五年，羅蘭德 Rowland將日光譜之波長列成一表，表中約合一萬四千餘線。此種黑線之成因，爲光球中所發之光線經過上部冷氣之結果；蓋光球之光譜本爲連續，一部分經過冷氣時，爲冷氣所吸收，乃生黑線，此種冷氣包圍於光球之外，故名曰吸收層。

吸收層之外爲色球，色球之厚度達五千至一萬英里，上部之原質多氫與鈣。日全蝕之起始或將終，月球面部正影射光球之時，一部分之色球呈弧狀，此弧狀光之光譜顯出光弧，每光弧乃相當於色球中光譜之線。一九〇五年之日蝕，密舍爾Michell研究色球光譜中所含之線，列爲一表，極爲完備；彼更由各線之修短，以計算色球之厚度。

色球中有火光外伸曰輝焰 *prominence*，外噴之速率極大；但無一定，有初緩而忽急者，外噴之高度有達四十萬英里者，有時復下落日面，爲狀至爲美觀。輝焰之在昔日，惟能於日全蝕時見之。一八六八年，羅克頁 Lockyer利用分光鏡析散太陽之光，則輝焰隨時可見。黑爾 Hale更發明光譜照相機，則輝焰之形狀，可由照相而得。而德斯勒突 Des'andres應用一種光譜速率計 *Spectroenregistreurs des Vitesses*以計算氣體上升與下降之速率。

當日全蝕之時，太陽周圍爲白色之淡光所圍，此卽冠層也。外伸達二十萬至三十萬英里，亦有高至五百萬英里者。其光僅是月光之半，愈近日邊，其光愈濃。諸光似多湊積而成，自太陽邊緣外射，有如野菊之齊放，形狀變化無定。當日中黑子 sun spots 最多時，四周平均發達，當黑子最少時，赤道外伸，兩極較短。冠層之光譜可分爲三種：一爲連續光譜 continuous spectrum，爲固體或液體極時所生。二爲吸收光譜 absorption spectrum，爲被反射之日光所成。三爲明線光譜 bright line spectrum，爲氣焰所成；中有未知之原質，蓋明線光譜中有最明之線也。化學家名此原質曰冠質 coronium。由此，冠層乃由固體之微塵，液體之小滴，及氣體之浮雲所成，密度極稀；昔曾有彗星行經冠層，而其速率未嘗稍減，觀此亦足以徵之矣。

第四節 太陽中所含之物質

羅蘭德之日光譜表包含波長自2975A至7331A者。阿布尼Abney及梅徹斯Miegers布累格心Brakett自紅外光方面擴充至波長9850 A。科學家由此諸線與實驗室中各種原質之光譜相比較，計太陽中含有原質達六十六種之多（見St.utton: Astronomical Physics p. 41）。此種比較工作，至爲不易；蓋一方面地面之空氣層亦有吸收光線作用也。但地面空氣吸收光線所生之線，可以知之；蓋一方面可將日光譜與各種不同之星光譜比較，再由在極高之山巔與海平面同時所測得之光譜比較，及太陽在天頂與太陽初出水面所測得之光譜比較，其一太陽光經過空氣層薄，其他經過空氣層厚，因經過空氣層之

厚薄不等，其因空氣所吸收之線亦當然不同，故由此法可以認識由空氣所生之線。再太陽有自轉運動，因太陽面部之物質吸收所生之線，為受陀伯勒效應 Doppler's effect而起移動；但因空氣而生之線無此種現象也。

上述太陽面部物質有六十六種之多，但其中有數種是否確實存在，尚屬疑問。在日光譜中未見有金、鉑等金屬重原質之線，此或因輕原質上浮太陽之面，而重原質遠沉於內體之中。但又有例外者，如原質鈣，其原子量為四十，反遠出一萬英里之上，而與氫並駕齊趨也。

在此對太陽內部所含之物質之狀態，頗有一述之價值。太陽之溫度既如此之高，則太陽全部之物質自呈熔流之狀。在地球上，空氣與地球之本體有明顯界限，而在太陽上則否，惟覺入內愈深，密度稍有增加耳。

物質之溫度愈高，則其分子之組織愈鬆。在太陽表面上之水不僅化為蒸汽，且每一分子將分裂為二個氫原子與一個氧原子矣。原子之組織在中心者為原子核，外部為電子繞之而行。原子核對最與其接近之二電子吸引力最強，而對相距較遠之電子吸引力較弱，因此所受吸引力較弱之電子易由溫度之增高而行離散。由分光鏡觀測極熱之星球外部所圍之氣體，氧原子每有失去二個，甚或三個電子者。在太陽之中心溫度當居千萬度，此時氧原子核吸引其電子之力不足以抵抗因熱而起分離之力，故在太陽之中心，所有氧原子之電子將皆脫離其母體而呈紛亂之狀；然亦有若干種非氧之原子核，其吸引最接近之二電子之力不能為千萬度高之熱力所分解者，

但其外部之電子終必脫離母體而去。故太陽中心物質爲一部分原子核、電子、及失去一部分電子之原子所組成；此種物質各因溫度奇高而極迅速之運動也。

第五節 黑子

太陽面部之組織及溫度已如上述，但太陽面部形狀之變化極爲複雜；其中變化最大而最能引人之注意者，厥爲日中黑子sun spots。日中黑子之記載始自我國，而西歐則在加利略發明望遠鏡之後，黑子之位置乃附在光球之上，中心較光球爲暗，四周則較中心爲稍明。其生成也甚速，且多成羣。大多數之黑子，皆以極大之速率而運動，但亦有靜止而至數月者。黑子之大小，初無一定，但有直徑大自五百英里以至五萬英里者。大黑子可不必藉望遠鏡之力，而以黑色玻璃障光即可見之。

黑子之分布，位置略有一定，皆在太陽南北緯六度至三十五度之間。黑子之光譜與夫牢因和斐光譜有所不同；即黑子之光譜，高溫度之線甚少，有時竟完全缺乏，而低溫度之線甚強，其中有氫、鈣、鎂等化合物；但色球中之一般原質，在黑子中皆未之見。由此可見黑子中之溫度必較吸收層爲尤低。又在黑子之上，屢有吸收線被復原者，此乃證明在黑子之上必有輝焰。按弗舍德 Evershed 發現黑子中心之下部，有一種流質向外而流，但聖約翰 St. John 在其所著之日中黑子之輻射運動 Raodical Motion in Sun-spots 一書中，謂在黑子上高二千五百英里處之物質，並無運動，而在一萬英里以上，有流質自

外向內而流。由此種種現象，足知在黑子之各部皆有磁場存在。光譜中線之加廣，爲黑子光譜之特有性質。據黑爾在一九〇八年之研究，發現使此種線加廣之原因，爲黑子中有極強之磁場之故，此正證明以上之假設爲成立。黑爾更由威爾遜山天文臺觀察之結果，得由塞曼效應 Zeeman effect 以量太陽之磁場，所謂塞曼效應者，卽光譜受磁場所起之影響也。由此黑子中有磁場之學說，更加證實矣。

黑子之存在大都成對，其一隨其他而行。單獨之黑子必有一不可見之伴侶；故黑子成對，乃黑子之常態也。黑子既爲成對，乃有相對之兩極，卽其一爲北極，其他爲南極。黑子之兩極，多分居太陽之南北兩半球。黑爾曾由測驗磁場以求黑子之存在。黑子之極化更有奇特之現象，頗足令人注意。一九一二年，黑子最少，在是年之前，黑子之北極在太陽之南半球，南極在北半球；至一九一二年，其極互易，居南半球者變爲南極，在北半球者變爲北極。一九一七年黑子最多，其極並無改變，一九二三年黑子又最少，而其極又互易。由此可見黑子每在最少時，易極一次；其原因，雖在今日，尙未可得而知也。

黑子有最多最少之變遷已如上述。最初研究此問題者爲什發培 Schwab，渠由歷年關於黑子之數之記載，歸納結果，得知在一定時間之內，黑子有經過最多最少之變遷。佛爾夫 Wolf 與佛爾斐 Wolfer 求得黑子經過最多最少之週期爲十一又九分之一年；而佛爾斐曾將黑子最多最少之年代，列成一表如後（見37頁）。

據最近精確之考察，黑子之週期爲十一又八分之一年，與佛氏之值，略有出入。黑子初生之時，多在太陽南北緯三十度之附近。以後其數愈增而漸向赤道進行。居北半球者較在南半球者爲活動，約

最	少	最	多
1610年	(明萬曆三十八年)	1615年	(明萬曆四十五年)
1619年	(明萬曆四十七年)	1626年	(明天啟元年)
1624年	(明崇禎七年)	1639年	(明崇禎十二年)
1645年	(明弘光元年)	1649年	(明永曆三年)
1655年	(明永曆九年)	1660年	(明永曆十四年)
1666年	(清康熙五年)	1675年	(清康熙十四年)
1679年	(清康熙十八年)	1685年	(清康熙二十四年)
1689年	(清康熙二十八年)	1693年	(清康熙三十二年)
1698年	(清康熙三十七年)	1705年	(清康熙四十四年)
1712年	(清康熙五十一年)	1718年	(清康熙五十七年)
1723年	(清雍正元年)	1727年	(清雍正五年)
1734年	(清雍正十二年)	1738年	(清乾隆三年)
1745年	(清乾隆十年)	1750年	(清乾隆十五年)
1755年	(清乾隆二十年)	1761年	(清乾隆二十六年)
1766年	(清乾隆三十一年)	1769年	(清乾隆三十四年)
1775年	(清乾隆四十年)	1778年	(清乾隆四十三年)
1784年	(清乾隆四十九年)	1788年	(清乾隆五十三年)
1798年	(清嘉慶三年)	1805年	(清嘉慶十年)
1810年	(清嘉慶十五年)	1816年	(清嘉慶二十一年)
1823年	(清道光三年)	1829年	(清道光九年)
1833年	(清道光十三年)	1837年	(清道光十七年)
1843年	(清道光二十三年)	1848年	(清道光二十八年)
1856年	(清咸豐六年)	1860年	(清咸豐十年)
1867年	(清同治六年)	1870年	(清同治九年)
1878年	(清光緒四年)	1883年	(清光緒九年)
1889年	(清光緒十五年)	1894年	(清光緒二十年)
1901年	(清光緒二十七年)	1906年	(清光緒三十二年)
1913年	(中華民國二年)	1917年	(中華民國六年)
1923年	(中華民國十二年)	1928年	(中華民國十七年)

經過五年，即屆最多時期。以後仍向赤道推行，至南北緯六度附近而止，但其數日減。如是者六年，即達最少。

黑子之週期既為十一又八分之一年，而太陽面部輝焰之活動，太陽能力之增減，與冠層形狀之改變，亦呈十一年一次。當黑子最多時，輝焰亦最活動；同時地球上之風暴，植物之生長，與磁場之變化，亦隨之而生變遷。

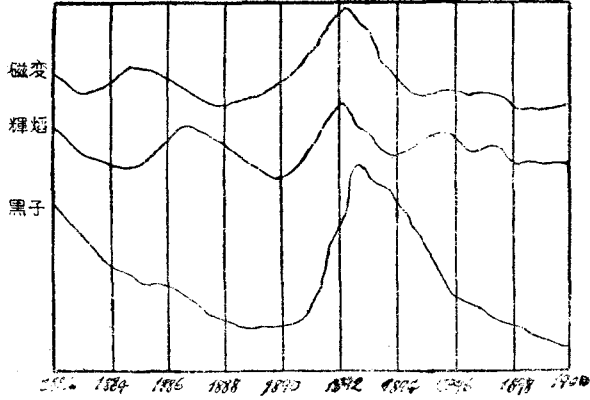


圖 15

圖 15 乃自一八八二年至一九〇〇年磁變、輝焰之活動，及黑子之多寡之比較圖也。

陶格拉斯 Dauglass 研究歐洲之氣候與植物生長之關係多年。渠在其所著之氣候循環與樹木之長成 Climatic Cycles and Tree Growth 一書中，將自一八二〇年至一九〇〇年間風暴之增加，松樹之長成與黑子之多寡繪成一圖。由該圖所得之結論，植物之長成 風暴之增加與黑子之數皆成正比。圖 16 錄自美國地理學家亨丁吞 Huntington 之地球與太陽 Earth and Sun 一書中，乃示美國北部與加拿大南部在一八八〇年與一九二〇年間，黑子與風暴之關係也。

黑子之形狀與性質，讀者已知其路矣；但黑子之成因，則學說繁

多，莫衷一是。自什發培發現黑子週期之後，一八五九年佛爾夫發表黑子之週期受行星之影響。據觀察之結果，黑子之週期與木星公轉太陽之週期相近，即木星在近日點之

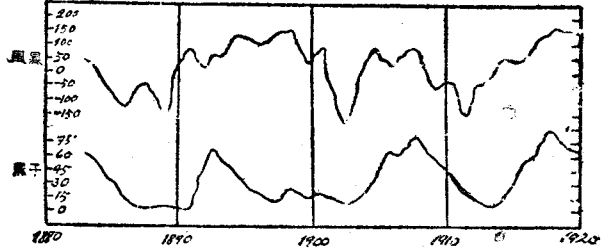


圖 16

時期每早於黑子最多之時期二年；而木星在遠日點之時期則每早於黑子最少之時期三年(圖17)。由此顯見木星之行動與黑子有關；換言之亦即黑子之生成有關於木星也。但木星為九大行星中之一，木星既有影響於黑子，其他八大行星亦當有同樣之作用。其實木星為行星中最大者，故其對於黑子之影響顯然可見；其他諸行星因質量較小，其影響不能明顯耳。但黑子最多之時期後於木星在近日點二年，此蓋因受其他行星之干涉所致。美國地質學家查姆柏林 Chamberlin 及天文學家摩爾吞 Moulton 創星子學說 planetesimal hypothesis，以為星球經過太陽之周圍，與太陽互有吸潮之力；於是在太陽方面，其相對兩旁之物質，受引力之作用，離母體而外射。太陽表面為非固體，行星行近太陽，則太陽面行星之一旁及背行星之一旁之物質受行星之吸潮力相引乃成黑子。考行星對太陽之擾力，與行星之軌道離心率、質量及距

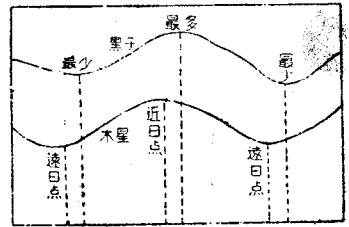


圖 17

爾吞 Moulton 創星子學說 planetesimal hypothesis，以為星球經過太陽之周圍，與太陽互有吸潮之力；於是在太陽方面，其相對兩旁之物質，受引力之作用，離母體而外射。太陽表面為非固體，行星行近太陽，則太陽面行星之一旁及背行星之一旁之物質受行星之吸潮力相引乃成黑子。考行星對太陽之擾力，與行星之軌道離心率、質量及距

離平方之倒數之相乘積成正比。此種擾力以木星爲最大，爲35.5倍於地球，其次爲土星，爲2.2倍於地球。再行星對太陽之吸潮力與行星之相衝與相合亦有關係，此種關係亦以木星爲最大，土星次之。故近代天文氣象學家咸信黑子之生成爲受木星之影響。

第四章 內行星

軌道居地球軌道之內之行星曰內行星。內行星計有水、金二星。茲分別論之如次。

第一節 水星

水星之發現極早，舜時所謂七政，水星乃爲其一。辰星、天攬、鈎星、細爽、能星、小正、安周皆吾國古時之名也。紀元前二百六十四年，歐洲歷史有水星之記載。水星因距太陽甚近，以肉眼觀察不能常見；而得見之時惟有在早晚而已，辰星之取名，殆即因此。但天文學家托雷密一生未之一見也。

今日望遠鏡進步，則水星雖在白晝，亦可得見。因其面部無特殊之記號，故其自轉之週期，至難決定。一八〇〇年德國天文學家什勒脫 Schröter 藉觀察之結果，謂其自轉之週期爲二十四小時又四分。一八八〇年邁羅 Milon 亦得同樣之結果。一八八九年意大利天文學家斯基阿巴累利 Schiaparelli 測得水星之自轉週期爲八十八日，與其公轉之週期爲相等。一八九六年羅埃爾所測得之結果亦同。一九二五年安托尼亞提 E. M. Antoniadi 在法國蒙同 Meudon 觀察水星，發現其面部有爲前人所未經發現之記號，由此而計算其週期亦爲八十八日。水星自轉與公轉二週期既爲相等，則水星常以一面向太陽，亦猶

月球之恆以一面向地球也。

水星之自轉軸與其公轉之軌道相垂直，故水星中季候 season 生成之原因，爲在距離太陽之遠近與天平動 libration 之作用。水星軌道之離心率極大，在近日點與太陽距離僅爲在遠日點與太陽距離之三分之二，由熱學定律，物體所受光熱之量與距離之平方成反比，故水星在遠日點所受太陽之光熱，僅足爲在近日點時之九分之四。又因水星有天平動，即在近日點公轉之速率較自轉之速率爲大，故一面多向太陽，而在遠日點自轉之速率較公轉之速率爲大，故其他一面又多向太陽，計兩邊迭次多向太陽各 $23^{\circ}.7$ 。由此水星永不向太陽之部分與永向太陽之部分各 $132^{\circ}.6$ 。故水星之一面除受他星所反射之光外，永不能得見太陽之光，於是不能有季候之分。至其向太陽之一部，因距離太陽有遠近之不同，因所受日光之多寡不等而分一年爲兩季；當水星在遠日點時爲涼季，當水星在近日點時爲熱季。

以望遠鏡窺測水星之面，在八十八日之內顯有盈虧一次，其形有如小月。當其在下合時以背太陽之半球向地球，星體黑暗不可見，以後明部漸增，至偏角最大時而如弦月。一至上合，又以面太陽之半球向地球，此時有如望月。後此則又減至下合而止。故水星亦猶月之有位相也。

物體之反照率 albedo 者，乃該物體所受之光與反射之光之比也。反光力之強弱與物體面部之情形有關，如面部平滑，則反照率自小；反之如外部有氣體包圍，而氣體中又多浮雲與水氣，則反照率自大。水星本體不能發光，而其所得太陽之光，約爲地球所得者之二倍半有奇。其反照率據爾納 Zöllner 之測驗，約爲 0.13；牟勒 Müller 測

得爲0.17。故水星之反照率甚弱，約與月球相等。由此得知水星面部即有氣體包圍，當亦甚爲稀薄。再天文學家觀察水星之邊緣，並無濃氣之現象，此亦足以證明水星面部無濃密之氣體也。根據氣體動力學原理，水星與太陽之距離過近，而其吸力又弱，其面部即有氣體包圍，亦當消散無餘矣。但在另一方面，哈金斯Huggins與福該爾Vogel研究水星之光帶，得知水星光帶中有因水氣而起之黑線，因此而斷定水星面部亦有水汽，不過其密度爲極稀耳。

水星與黃道之交角爲 $7^{\circ} 0' 8''$ ，故當水星居下合點而又在交點node附近時，水星經太陽之面而過，其形狀在望遠鏡中窺之爲一黑點如日中黑子，此曰凌日transit，此爲一六三一年十一月七日加孫提Gassendi所發現。水星之升點與降點在黃道經度二百二十七度與四十七度，故水星過黃道交點常在五月與十一月，而亦常在此時凌日。但在十一月時，水星居近日點，故在十一月之凌日，易爲吾人所見。天文學家考水星之恆星週期與地球公轉之週期比較，有

水星 22 周 = 7 年

水星 41 周 = 13 年

水星 145 周 = 46 年

故水星在今年十一月凌日，以後七年，十三年或各有一次凌日，而在以後四十六年必有一次凌日。茲將在二十世紀一世紀中水星凌日之時期，錄之於次：

一九〇七年十一月十四日 一九一四年十一月六日

一九二四年五月七日 一九二七年十一月八日

一九三七年五月十一日 一九四〇年十一月十二日

一九五三年十一月十三日 一九六〇年十一月六日
 一九七〇年五月九日 一九七三年十一月九日
 一九八六年十一月十二日 一九九九年十一月十四日

一八五九年勒未利研究水星數次凌日之結果，發現水星軌道之近日點，在一世紀中前進四十秒，非牛頓之引力定律所能解釋。勒氏乃謂此為另有新行星對水星攝動所致；於是在太陽與水星間另有新行星之學說，震動一時。是年法國來斯格波兒 Lescarbault 報告在三月二十六日，此未經發現之新行星，曾經凌日一次，勒氏即命其名曰發爾康 Vulcan。於是天文學家羣起推算其軌道，週期與大小。實際此種發現，全屬誤會，水星軌道近日點之向前進，乃力學上應有之現象，愛因斯坦相對論出後，此問題已有完滿之解決矣。惜須應用繁複之數學方程式，始能解釋，本書以篇幅所限，未能詳論，惟有將其最簡單之結果為讀者一述焉。設 Sw 為水星軌道近日點前進之量，則由相對論及開普勒行星運動第三定律得方程式

$$Sw = \frac{24 \pi^3 a^2}{c^2 T^2 (1 - e^2)}$$

式中 c 為光之速率， T 為水星公轉之週期， a 為軌道之長半徑， e 為軌道之離心率。由此方程式可以計算水星軌道近日點前進之量與實測之值相近。據紐科姆 Newcomb 之計算結果，謂在百年中水星近日點前進 $41''$ ($\pm 2''$)。格羅斯曼 Grossmann 改訂紐科姆之計算，得結果為自 $29''$ 至 $38''$ 。由相對論所得之結果為 $42''.9$ ，與觀察所得之值最為相近。相對論之成立，此亦一重要之證據也。

上述之公式對於諸行星皆可適合，因 e 為軌道之離心率，由圓錐曲線論， e 等於一，軌道為圓； e 大於一，軌道為雙曲線； e 小於一，

軌道爲橢圓； e 等於零，軌道爲拋物線，在上式中觀之， e 之值愈大，則 Sw 之值亦隨之而大。水星軌道之離心率在行星中爲最大，故水星軌道近日點之前進量最易觀察。至於金星則在百年中前進 $8''.6$ ，地球在百年中前進 $3''.8$ ，火星在百年中前進 $1''.35$ 。

第二節 金星

金星之發現，乃居有史之前；昔日希臘又有晨星（ $\pi\eta\omicron\sigma\pi\eta\omicron\rho\nu$ ）與晚星（ $\text{H}\epsilon\sigma\pi\epsilon\rho\nu\sigma$ ）之稱。啓明Lucifer與長庚Hesperus乃吾國之舊名，當其在西方近太陽時又曰太白星。金星出現時頗爲光亮，除太陽與月球外，衆星無與倫比者。其面部略有斑紋可見，但非顯著，邊緣較中心爲光。當其呈峨眉月形時，兩極顯有白點，一般之天文學家皆以爲積雪所成。星之中部有黑影，此或爲大陸與海洋，或爲一種氣體，但觀察不能明顯，難以斷言。羅埃爾曾將其明顯與永遠存在之斑紋，繪圖以明之。圖中有極長之黑線，自中心輻射而出。據羅氏之說明，在望時更易觀察。近代多數天文學家由觀察之結果，證明斑紋爲星中之高山。

金星之自轉週期，天文學家曾作多次之研究；一七四〇年卡西尼 Cassini由觀察求得其自轉之週期爲二十三小時二十分。一七九〇年什勒脫求得爲三十三小時二十一分，與卡西尼之結果相去不遠。一八八〇年斯基阿巴累利求得爲二百二十五日，與其公轉之週期爲相等，即常以一面向太陽。一八九五年以後，天文學家如培羅丁 Perrotin, 塔契尼 Tacchini, 馬斯卡里 Mascari, 塞路里 Cerulli 與羅埃爾

等，證明斯基阿巴累利之結果爲合理；於是金星自轉週期與公轉週期相等之說，得以成立。但近代有由直接觀察而仍主金星之自轉週期爲二十三小時或二十四小時者。一九〇〇年培羅巴兒斯基 *Bélopolsky*根據陀伯勒定律，研究金星光譜中所起之移位以推求其自轉之週期；據其報告謂金星自轉之週期爲極短，但施里發 *Slipher*在羅埃爾天文台作同樣之研究，證明其自轉之週期爲極長。故金星自轉週期一問題，雖迄今日，尙未有完全之解決；而金星軌道平面與赤道平面之交角，亦因之不得而知也。

據爾納之研究，金星之反照率爲0.5，約爲月球之三倍；而羅素 *Russell*求得爲0.59。由此可見金星之反照率極強，此或由其面部有雲霧所致。當金星與太陽接近時，來曼 *Lyman*曾考得金星面部有稀薄之光線，乃斷爲因太陽光線爲金星面部氣體所折光而起。當金星經太陽面而過時，此種現象更爲明瞭。在一八七四年之金星凌日，窩宗 *Watson*計算金星空氣層之厚可五十五英里。一八九八年十二月，羅素在普林斯頓 *Princeton*重做來曼之觀察，結果以爲薄光乃由光線擴散 *diffusion of light* 而成。聖約翰與尼科爾松 *Nicholson*藉威爾遜山天文台精確望遠鏡之力以研究行星之光帶，結果得知金星光帶中有因水汽與氧所起之現象。由此得知金星面部必有氣體，惟厚薄難以斷言耳。

金星之季候乃視其自轉之週期及赤道與軌道之交角而定。設金星自轉之週期爲二十四小時，而赤道平面又與軌道平面略有相交，則金星季候之分，亦年有四季，而與地球相似；所不同者惟因其與太陽之距離較近，溫度略高耳。假定金星常以一面向太陽，即其自轉之

週期與公轉之週期同，則因金星軌道之離心率小，所生之天平動極小；於是金星無季候之分，必面太陽之半球溫度極高，而背太陽之半球溫度極低，但因其面部有氣體爲之包圍，氣體有對流之作用，將冷氣移至熱處，熱氣轉達冷處，如此循環進行，故背太陽之半球，亦不至爲絕對冷也。設金星面部有水汽，此種水汽一至寒冷之處，即下降爲雪；由此勢必使面太陽之半球水汽日減以至於無。故昔人有疑金星背太陽之半球皆爲水雪，而面太陽之半球絕無水汽之遺跡者。但實際則不然，蓋在面太陽之半球，水汽受熱上昇，遠到高處，遇冷復凝結而下降；故雖面太陽之半球，亦當有水汽也。

當金星在下合時，居地球上視之爲一黑點，自東徂西，凌太陽之面而過。但金星之軌道與黃道相交成三度半之角，是以金星之凌日，不能時得爲吾人所見也。金星經過黃道之時間約在冬至與夏至之前各十四日，故金星之凌日，約在此時。當其凌太陽之中心而過時，自首迄終可八小時。一八三九年之凌日，曾爲荷羅克斯 Horrox 與克拉布忒利 Crabtree 所見。

金星之十三恆星週期等於地球公轉八次，即有相差，亦不過一日。金星三百九十五恆星週期足等於地球公轉二百四十三次，故在今年金星凌日，八年左右當再經一次，又二百四十三年亦有一次，金星於每交點凌日爲成對，每對相隔八年。圖18爲一八七四年與一八八二年兩次凌日所行之道。

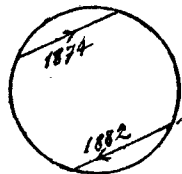


圖 18

以下爲自一六三一年至二〇一二年間金星凌日表：

一六三一年十二月七日

一六三九年十二月四日

一七六一年六月五日

一七六九年六月三日

一八七四年十二月九日

一八八二年十二月六日

二〇〇四年六月八日

二〇一二年六月六日

第五章 地球

地球者，亦行星之一也。吾人生於斯，長於斯，以至老死於斯，故其引起人類之研究特早；在今日有地質學研究其構造，地理學研究其表面之形狀，氣象學研究其外殼所包圍之氣體。本章所述，不過其概略耳。

第一節 地球之形狀大小及質量

地球之形狀爲球形，此吾人在小學讀教科書，即已知之。但考地球爲球形之證明，殊非易事。十六世紀探險 馬哲蘭 Magellan 自西班牙出發，經南美之南端，作環遊地球之壯舉，雖身死於南洋羣島，而其同伴卒由好望角以歸；於是論者謂此足以證明地球爲球形矣。但實際非然也。一人循一定之方位而行，能不回頭而得返原處，不足以證明地球爲球形。在地球上若向東或向西而行，或者可以回至原處；但若向南或向北而行，則非其所能矣。蓋我人一至北極，四面皆南，而一至南極，四面皆北；即向東或向西而行，亦難回到原處，蓋指南針難免易地而變。故向一定方向出發，能回至原處，乃爲一種理想，馬哲蘭之證明，充其量亦祇能證明地球爲圓柱狀耳。

論者每以地球爲球形可由月蝕時地球所投之影以證明之；但此

亦僅能證明地球爲扁圓形。尙有由先見船桅後見船身以證明地球爲球形者，然此亦僅證明地面爲一種曲面而已。

然則地球爲球形之證明果如何？地球爲球形之最佳證法爲觀察恆星。吾人居北極仰視北極星之位置適在天頂，但愈向南行，北極星之高度愈低，一至赤道，則北極星之位置適居地平之上；在南半球亦可取南極星而作同樣之試驗。故觀察恆星之高低，乃證明地球爲球形最佳之法也。

實際地球之形狀，並非如幾何學上之球形，乃赤道之直徑較兩極爲長。此可以在緯度四十五度附近之二海島上，作大地測量以證之。尙有應用懸擺亦可以得同樣之證明；蓋懸擺之公式爲

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad \text{即} \quad g = \frac{4\pi^2 l}{t^2}$$

此處 l 爲擺線之長， t 爲擺之週期。應用此法，在赤道上所求得之地心加速率 g 較在兩極所求得者爲小。此即兩極之半徑較赤道之半徑爲短也。

地球兩極半徑既較赤道半徑爲短，則地球爲橢圓體；此據牛頓之解釋，謂因地球自轉赤道部分受離心力所致。一八四一年培塞爾 Bessel 在歐洲各地測得赤道半徑爲6,377,397米，兩極半徑爲6,356,079米。一八六六年克拉克 Clarke 測得赤道半徑爲6,378,206米，兩極半徑爲6,356,584米。一九〇七年赫爾麥特 Hermert 與黑福特 Hayford 各求得精確之值。一九二四年地球物理學聯合會議採用黑福特之值，即

赤道半徑爲6,378,088米

兩極半徑爲6,356,909米

而一九一一年巴黎之天文學會議議決採用

赤道半徑爲6,378,200.00米

兩極半徑爲6,356,724.56米

由此則地球軌道之離心率爲二百九十七分之一，赤道全長爲40075,412.60米，子午線長爲40,007,973.28米。

近代學者有謂沿赤道之截面而仍爲橢圓者；但真正如何，尙待研究耳。

既知地球之半徑，則其體積立可求得。然在歷史上二千年前埃拉斯托塞斯 Erastotenes 在埃及之西尼 Syne 及其友人某在亞歷山地亞 Alexandria 自井中及日晷同時觀太陽，求得二處與地心之交角爲七度十五分，已知二處之距離爲四百八十英里，於是設 x 爲地球之圓周，則由

$7^{\circ}15': 360^{\circ} = 480: x$ ，求得 x 爲二萬四千英里。此爲直接求地球圓周之始。

由地球公轉之速率，得求得地球之質量爲太陽三十三萬分之一。

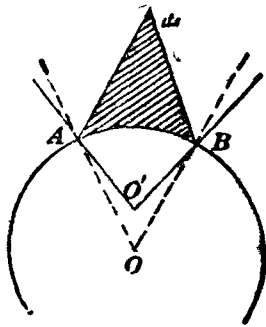


圖 19

然亦可在地球上直接以求之。一七七四年馬斯開林 Maskelyne 在格拉姆彼安山 Grampian Hill 測量地球之質量爲法甚簡，即在山之兩旁各垂一鉛直線（圖19），此二鉛直線因山之吸力關係，不相交於地心，而相交於 O' 處，測得

$$\angle AOB - \angle AO'B = 11.5''$$

$$\text{即 } \angle OAO' = \angle OBO' = 11.5''/2$$

因山之密度爲已知，故山之質量 M 亦

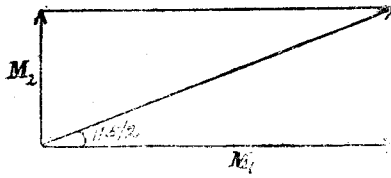


圖 20

爲已知(因 $D = \frac{M}{V}$)。設 M_1 爲地球之質量，則以平行四邊形法(圖 20)得 $M_1 = M_2 \cot \frac{11.5''}{2}$ ，但此結果不甚精確。

一七七九年卡文提什重行試驗，由前第二章所述，已知 G 之值，則依引力定律即可求得地球之質量爲 6×10^{21} 英噸。已知地球之大小及質量，則用 $D = \frac{M}{V}$ 公式，可求得地球之密度爲水之 5.58 倍。

第二節 地球表面之形狀

地球表面之形狀，複雜莫甚。其詳乃地質學與地理學之範圍。地球自產生以後，溫度極高；但因放熱作用，體漸收縮而呈凹凸不平之狀。再冷，則水汽凝爲雨點而下降地面，集於凹處。其不能爲水所掩蓋者，即成大陸。現日海洋之面積約爲三倍於大陸之面積，而山之高遠不若海洋之深：例如最高山如喜馬拉雅之高峯埃弗斯特 Everest，不過二萬九千餘英尺，而最低之海如非支 Fiji 羣島與馬里安那 Maliana 羣島之附近，深達三萬二千英尺。故截高山以補平地，尙在今日之水平線以下二英里也。

英國郭林 Green 考地球上各洲皆呈三角之形，渠謂地球並非真正球形，乃爲一正四面體 tetrahedron，而所有各洲皆居四面體稜角之上，故呈三角之形。至於稜角之所以不甚明顯者，乃因地球自轉之速率極大使然。此說亦有研究之價值也。

地球既爲行星之一，其本體不能發光。然其能反射太陽之光，自不待言。地球既僅能反射太陽之光，則其背太陽之半球當爲黑暗。由是居其他行星之上以視地球，自有其位相，亦猶居地球以視金水二星及月球也。在月球上觀察地球盈虧適與在地球上觀察月球之盈虧相反，當月望時在月球上不能見地光，而在月朔時在月球上正爲地圓。吾人每在陰曆初二初三，卽在新月後三日內，仰觀眉月，見其黑暗部分，時有薄光可見，此卽月球黑暗部分反射地球之光以入於吾人之眼臉也。吾人生在亞洲之東部，其所見月球所反射之地光，係自歐洲方面映入月面，故由觀察月面反射地光之強弱，可以推測歐洲之氣候。

然地球之反照率究爲如何耶？因吾人不能離地球而高立太空，故求地球之反照率，頗不易易。但由月球反射地光之強弱，地球上山川與海洋之面積，以及空氣中水汽之成分，亦可以推知其大略。據計算地球爲反射其所得太陽之光之半。

第三節 地球之內部與大陸漂移

地球之平均密度爲5.58，但地球表面巖石之密度，僅足其半：如花崗巖爲2.6—2.7，石灰巖爲2.6，玄武巖爲2.5—3。由此可知地球內部之物質，勢必極重。按地球與其他諸行星流星等爲同出於一源於是行星流星之中，必有共通之點。考隕石多鐵質，故地球內部之物質或者屬於鐵；地球有磁場，此亦中心多鐵之一種證據也。再火山流出之熔巖 lava，初出者多酸性，後出者多鹽基性，鹽基性之物質含

鐵多，可知入地愈深，得鐵愈多。

據近代地質學者之研究，謂地球巖石之組成，約分爲二層。地面之巖石較輕，內部之巖石較重。輕者爲矽鋁層，多爲花崗巖與片麻巖；重者爲矽鎂層，多爲輝長巖，玄武巖，與橄欖巖等。構成地心之核則多鎳與鐵也。

考尋常之山巖，非至攝氏寒暑表一千度不能熔化；但火山流出之熔巖皆爲液體，可見地球內部之溫度極高。美國之弗基尼阿 Virginia 礦，深達七千五百英尺，在礦下百英尺之處，溫度爲華氏五十五度，七千五百英尺之處溫度爲一百六十二度半，可知入地百英尺，溫度與地面相同，但過此每下六十英尺，則升高華氏一度。由此以推，在地面五十英里以下，溫度當居華氏五千度。在此種溫度之下，除碳而外，一切物質莫不熔化。但在五十英里以下地殼之壓力極大，在此種大壓力之下，雖然有極高之溫度，其硬度或甚於鋼，此可由地震波浪傳達之速率以證明之也。

地球中心之情形究爲如何，雖不得確實而知，但其外殼則恆呈不安定之活動，蓋地面之高低，相差懸殊，而巖石之成分，亦比重不等，在此種情形之下，自難平衡，滄海桑田，其原因卽在於此，此卽所謂地殼均衡 *isostasy* 是也。

地殼之構成，既其外部爲矽鋁層，其內部爲矽鎂層。矽鋁層之厚度約爲六萬米，以輕薄之矽鋁層覆蓋於沉重之矽鎂層之上，因地球自轉生離心力，易使此矽鋁層脫離下層而漂移。試考地質史上大陸之原始爲有南北二大部，因離心力作用，使此南北二大部向赤道而移動，大山脈卽因此而成。及相遇而復各循原路而返，乃生大盆地。

再因矽鋁層與矽鎂層中其距離不同，因此所生之引力亦異，當地球旋轉，矽鋁層運動不若矽鎂層之速，於是二者發生相對之運動，而地殼發生破裂矣。五大洲之生成與乎太平洋巖石離地球而去以成月球，殆皆因此也。

第四節 地球之運動

地球追隨行星之後，依橢圓之軌道繞行於太陽之周圍，速率每秒達十八英里，此曰公轉。考地球有公轉之證明甚多，例如在一年之中居地球上觀察半人馬座Centaurus α 星相差百分之七十五秒，此乃

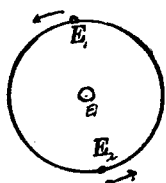


圖 21

因地球公轉一年間居軌道上不同之位置所生之視差也。再由分光鏡亦可以證之；設 S 為天空一恆星(圖21)， E_1, E_2 圓為地球之軌道。當地球居 E_1 點時，其運動

之方向為離 S ，當地球居 E_2 時，其運動之方向為趨 S 。由此根據陀伯勤定律以研究光帶上所起之移動，即可證明地球有公轉之運動。

地球除公轉而外，尚有自轉。地球有自轉之證據甚多。設如圖22， O 為地心， B 為地球上之一處， AB 為一塔，設在一分鐘，地球自轉將 B 點移至 D 點，

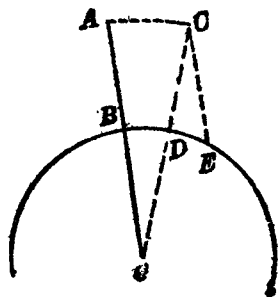


圖 22

塔頂A點亦移至C點。當一球自A處下落，一分鐘後至地，假定地球爲不動，則球下落之後，當在塔腳；但因地球有自轉，一分鐘後A點轉至C點，AC較AD爲大，故球落在E點，而BE等於AC。實際用此種方法以證明地球有自轉，殊難精確；蓋地球自轉之速率極大，設在赤道五百英里高之塔頂，此球下落至地，及離塔腳不過一英寸又三分之一，益之以空氣阻力，故極難準確。

一八五一年法之學科Foucault根據牛頓運動第一定律，在巴黎之最高屋名保太庵 Pauthéon 者之頂，懸一重四十磅之大鉛球，球下置一針與地相觸；使球擺動，則針在地上劃成位置不同之直線。此乃地球自轉方向時行改變之故也。

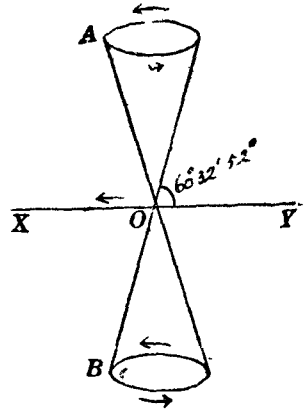
地球自轉之速率，正確計之當略有改變。例如地球上物體之移動，足以變更地球之運動量，但地球之運動能力不變，故運動之速率必生變遷，不過爲量極微耳。此外如流星之入地面，及地球之吸潮力，皆有使地球運動速率減少之虞。但實際研究天象之時刻，自托雷密以來，尙未增減百分之一秒鐘也。

年可分爲二種，自今年春分至明年春分曰太陽年 solar year，地球公轉自某點出發再回至某點所需之時間曰恆星年 sidereal year；二者相差二十分二十四秒，此曰歲差 precession of equinoxes。

歲差之發現甚早，吾國堯典第一章謂羲和測二至二分之法乃一面測太陽之影，一面測星之位置，得知日中星鳥以殷仲春，日永星火以殷仲夏，日短星昴以殷仲秋，日短星昴以殷仲冬。禮記所載，與此不同；至漢更異。堯典之火，即今之天蠅宮，今日之秋分太陽不在天蠅宮矣。晉虞喜乃發明此種差異之理，西歐則自一二五年海巴覺斯

出，始得而知也。

設如 圖23 XY為黃道，O為地心
 AB為地球之南北兩極。地球除公轉與
 自轉之外，其南北兩極復繞AB二圓而
 旋轉。故就北半球而言，當地球公轉未
 達一周，而A點因旋轉關係已至一周；
 歲差之原因，即在於此也。此種南北極
 旋轉之運動，謂之進動 precession。



圖

進動乃力學上應有之現象。其主要
 之原因為月球對地球有引力，而地球赤
 道直徑較兩極直徑為長所致。設如 圖24 A, B 為赤道上之相對二
 點，月球對 A, B 二點皆
 有引力，設以 F_1 及 F_2 代
 表引力，則因距離長短
 不等，乃生 $F_1 > F_2$ ，即引
 力不均。此不均之引力
 與地球自轉之合力使生
 進動。

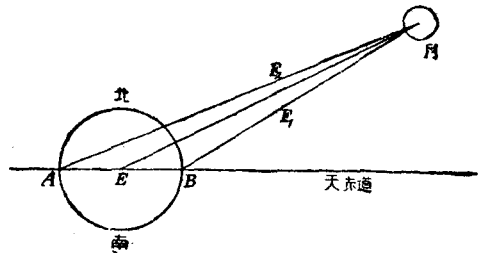


圖 24

地球之南北極既有進動，但其旋轉之速率極緩，約二萬五千八
 百年而一周。因此北極星之位置每年移動五十秒。在埃及建金字塔
 時代之北極星為天龍座 Draco α 星，現日之北極星為小熊座 Ursa
 minor α 星。自埃及建金字塔以至今日，不過五千餘年，故二萬年以
 後，北極星當回復而同於建金字塔之時代也。

月球對地球有引力，而地球對月球亦復如是；於是月球之兩極亦因吸力之不均起旋轉之運動，而地球復受其影響而生上下之運動，此曰章動 nutation。章動之週期為十八年七個月，蓋月球為約十九年一章也。

自十九世紀以來，天文儀器進步，觀察天空之位置，可以精確至十分之一秒。一八八五年柏林，巴黎，與普累格Prague三天文台同時測得該三處之緯度有改變，而改變之值亦相等。一八九〇年柏林天文台即遣人至與柏林天文台相對處之檀香山島測量，測得檀香山之緯度向北移，同時柏林之緯度向南移。一八九一年再取地球上相對之六處實行測量，結果亦同。由此得知北極之位置為有移動。據最近之考測，移動之範圍不循一定之方向，但不出以四十英尺為直徑之小圓以內也。

地質學家考吾國長江流域有冰河之遺跡，且其數不止一次，而歐美亦有同樣之現象。由此昔日之長江流域及歐美等處，曾經極冷之時期，迄北極移動消息傳出後，即有人疑及北極曾移至長江流域或歐美者。但因北極移動之範圍不出四十英尺，故昔日之北極能否移至長江流域或歐美等處，尚屬一種疑問也。

黃道與地球赤道之交角 obliquity of ecliptic 普通以 ϵ 表之。今日之 ϵ 為二十三度二十七分又八秒。但據近世之研究，地球軌道並非永遠不變，其變動之點有三：

(一) ϵ 之改變 ϵ 改變之值不等，在今日每年減少半秒。 ϵ 之最大值為二十四度五十分，最少值為二十二度十五分。

(二) ϵ 之改變 e 為軌道之離心率。在今日 e 為 0.0168，二萬

四千年改變一次。

(三)長徑之移動 地球軌道之長徑約十萬另八千年旋轉一周，在今日一端指雙子座Gemini，一端指人馬座。

地球除上述各種運動之外，尚有隨太陽作趨向織女星之運動。

第五節 四季之成因

四季者，春、夏、秋、冬是也。一年之中春、夏、秋、冬之開始，我國之舊曆與現行之國曆有所不同。舊曆之春、夏、秋、冬始自立春，立夏，立秋與立冬；而國曆則以自春分至芒種六節氣為春，夏至至白露六節氣為夏，秋分至大雪六節氣為秋，冬至至驚蟄六節氣為冬(圖25)。

吾人居住北半球之上，夏熱而冬寒；但南半球適與此相反，夏冷而冬熱；此因赤道與黃道斜交之故。

在夏至北極向太陽，斯時太陽正在北緯 $23^{\circ}27'$ 之天頂。冬至適與此相反，北極背太陽，而南極面太陽，斯時太陽正在南緯 $23^{\circ}27'$ 之天頂。至在春分與秋分，太陽正在赤道上，南北二半球得太陽之光熱為相等。茲就此半球而言，夏

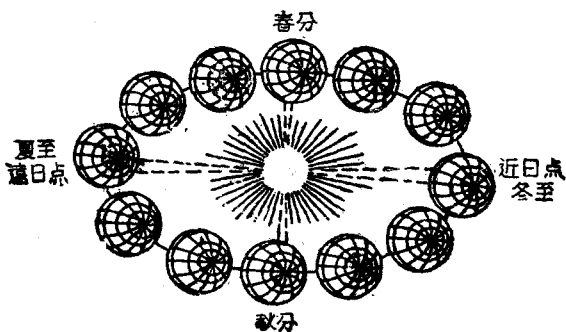


圖 25

時得太陽之部分多，而冬時得太陽之部分少，故夏熱而冬寒；此為赤道與黃道斜交生成四季原因之一。

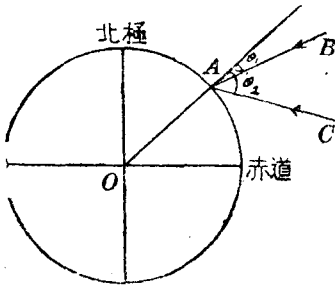


圖 26

因赤道與黃道之交角不因公轉而變。於是在一年之內，地球上各處對太陽之仰角有高低之不同。設如圖26，A為北半球之一處；BA為夏時太陽射入地面之方向，CA為冬時太陽射入地面之方向。則冬夏二時太陽光射入角相差甚大。據物理學定律，光熱之強弱與射入角有關。設 a, b, c 為平行光線(圖27)，射入CB平面上，PD為CB之垂線，則 $\angle BDP$ 角謂之射入角。圖27中 θ 角等於 $\angle BDP$ 角， $\cos \theta$ 愈小，則CB平面上每單位面積所得之光熱愈弱。由圖26設 θ_1 為北半球夏時太陽光之射入角， θ_2 為冬時太陽光之射入角。因 $\theta_1 < \theta_2$ ，故 $\cos \theta_1 > \cos \theta_2$ ，亦即北半球每單位面積得太陽之光熱，冬時不若夏時之多；故結果夏熱而冬寒。此為赤道與黃道斜交，生成四季原因之二。

甚大。據物理學定律，光熱之強弱與射入角有關。設 a, b, c 為平行光線(圖27)，射入CB平面上，PD為CB之垂線，則 $\angle BDP$ 角謂之射入角。圖27

中 θ 角等於 $\angle BDP$ 角， $\cos \theta$ 愈小，則CB平面上每單位面積所得之光熱愈弱。由圖26設 θ_1 為北半球夏時太陽光之

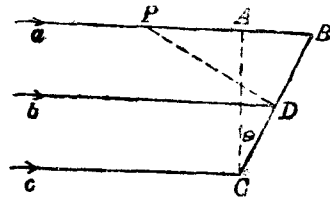


圖 27

射入角， θ_2 為冬時太陽光之射入角。因 $\theta_1 < \theta_2$ ，故 $\cos \theta_1 > \cos \theta_2$ ，亦即北半球每單位面積得太陽之光熱，冬時不若夏時之多；故結果夏熱而冬寒。此為赤道與黃道斜交，生成四季原因之二。

地球之外部包圍有空氣，空氣之高度，由觀察流星發光之結果，得知達一百英里之上。太陽光線在一年之中既有直射與斜射之不同，而太陽光線經過空氣層，其一部分將為空氣所吸收；於是經過空氣層愈厚，被吸收愈多。地面空氣層之厚薄平均，則在北半球而言，夏時太陽光直入，冬時斜入；斜入之光線經過空氣層較厚，所以冬日之太陽光為空氣層所吸收較夏日為多；結果冬寒而夏熱。此為赤道

與黃道斜交，使地面生四季之原因之三也。

有以上之三因，地球在一年之中，氣候有寒熱之分。歷家名最熱之時期爲夏季，最冷之時期爲冬季。冬夏之間，氣候溫和則名爲春與秋。現在之冬至，太陽居二十八宿之尾宿，而夏至在犛宿；故現在之冬至地球在其軌道之近日點，夏至在其軌道之遠日點。但因歲差關係，此種位置並非一定不變，乃爲十萬另八千年而旋轉一周；由此五萬餘年之後，地球將夏日在近日點，而冬日在遠日點。斯時當冬日更冷，而夏日更熱也。

由以上之四季成因，地球上最熱應在夏至，而最冷應在冬至；但事實上一年之中，最冷在大寒，最熱在大暑。此因地面能吸收熱，夏至時太陽之光雖強，但地面所吸收之熱直至大暑始達最多。大暑而後，太陽光日漸薄弱，地面所吸收之熱逐漸放出；直至大寒始得放盡，故以大寒爲最冷也。

第六節 地球之衛星——月球

天空諸星，太陽而外，其能最初引起吾人之注意者，首推月球，是以古今騷人墨客，咸以賦月爲韻事也。月球者，地球之衛星也；依橢圓之軌道繞地球而疾轉，其軌道與黃道相交成十五度之角。月球繞地球之軌道自古名爲白道moon's path。

月球與地球之距離之計算，在昔日頗感困難，迄三角學興後，此問題可由二人在地球上同經度之二處，同時測月球與天頂之距離以求之。據精確之計算，月球與地球之距離最近爲357,000千米，最遠

爲407,000千米,平均爲384,400千米,亦即十倍於地球之半徑也。

既知月球與地球之距離及月球之平均視半徑爲 $31'5.2''$,由此可推得月球之半徑爲1736.6千米。面積爲地球面積 13.5 分之一,體積爲地球體積 51 分之一,平均密度爲地球密度之 0.6 倍。重力爲地球重力之 $1/6$ 分之一,故一物在地球上權之若爲六仟克,則在月面上權之僅一仟克;若一人在地上登高至某一高度而覺疲乏,則在月球上可登六倍之高始覺疲乏也。

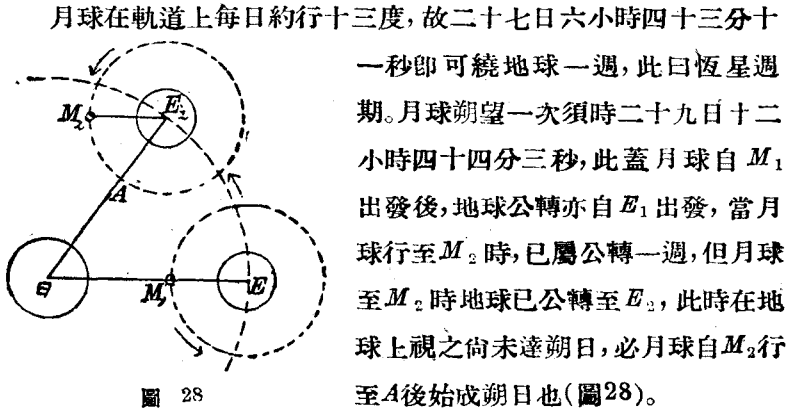


圖 28

月球自轉之週期亦爲二十七日六小時,與公轉之週期相等,故月球常以一面向地球。

月球無光,以反射太陽之光爲光。月球面太陽之半球光輝四射,

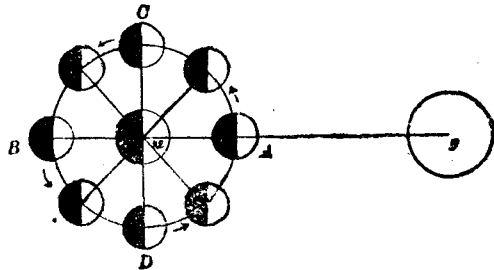


圖 29

背太陽之半球幽暗陰沉。如圖 29 當月球在 A 點時，背太陽之半球向地球，是曰晦 new moon，約爲陰曆初一。月球在 B 時以面太陽之半球向地球，是曰望 full moon，約在陰曆之十五。當月球在 D 與 C 處，向地球之半球光暗各半，是曰上弦 first guater 及下弦 third guater，約爲陰曆之初七八與廿三四也。居上弦時月之兩角向東，在下弦時兩角向西。

地球月球與太陽之距離平均相等，故月球上每方寸所得之日光與地球相等。在地球上所得之月光不足日光十萬分之一。據赫舍爾之推算，月望之光僅足日光四十六萬五千分之一，至若上下弦時減至八分之一，而在月晦更不足道矣。據天文學家之研究，一年中地球所得月光僅爲所得日光二百五十萬分之一；換言之，即在地球上十三秒中所得之日光，足敵四季之月光而有餘也。

月面無空氣，此可於恆星爲月體所隱蔽甚速以證之。蓋月面如有空氣，則星光之隱沒也必漸。月球之所以不能有空氣之理，可以氣體動力學以解釋之。月球之重力既爲地球六分之一，則在月球上如以每秒一英里半之初速率將一物體拋出，則此物體將永離月球以去而不能復返。月球面太陽之半球溫度甚高，苟月球有空氣存在，空氣分子經此高溫度之作用，愈顯其運動之速率，而此速率可超過每秒一英里半以上。是以月球即有空氣，亦當早經遺棄於太空。月面既不能有氣體，則雨澤之不能生成，與乎生物之不能生存，彰彰明矣。

以肉眼觀察月面，即見有光明與陰影之處。自望遠鏡發明後，月面之形狀，觀察頗爲明瞭。最初作此項之觀察者爲加利略，近代則以彼刺林 Pickering 爲健者也。

月面之形狀爲崎嶇參雜，高下不平，且多窟穴，約而分之，可爲

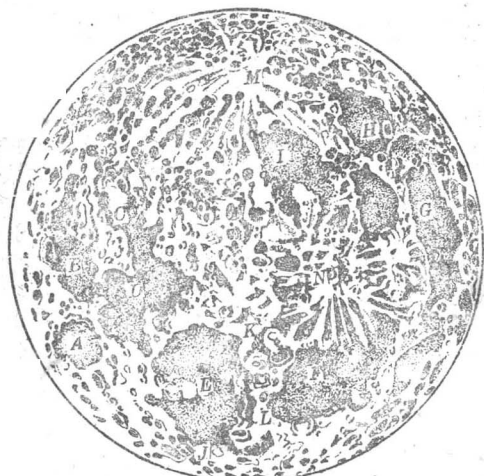


圖 30

陸與海二部。但海因月面無空氣，故亦無水，非如吾人之海之有波濤澎湃也。

月球之海洋可分爲十五部分，天文學家各賜以其名，其著者爲危難海 Mare Crisium，居月球之西南(圖30A)；豐饒海 Mare Fecunditatis，位於正西(圖30B)；神酒海 Mare Nectaris，在豐饒海之東北(圖30C)；靜寂海 Mare Tranquillitatis，在危難海之東北，神酒海之東南(圖30D)；晴朗海 Mare Serenitatis，在靜寂海之東南(圖30E)；陰雨海 Mare Imbrium，在月球之東南(圖30F)；暴風洋 Oceanus Procellarum，爲月面東部之大海，面積最大(圖30G)；潮溼海 Mare Humorum，在月面東北端(圖30H)；雲狀海 Mare Nubium，在潮溼海之西，而略偏於南(圖30I)。

月面之陸地卽爲高低凹凸之山嶺，因月面無空氣，故各山皆極險峭；再因月球之重力小於地球之重力六倍，故其山峯類皆較地球上之山峯爲高。其最著之山脈爲高加索山脈 Caucasus(圖30J)，亞平尼塞斯山脈 Apennines(圖30K)，來布尼茲山脈 Leibnitz，阿爾卑斯

山脈Alps(圖30L)等，而來布尼茲山脈中之最高峯高達九千米，亞平尼塞斯山脈中之海根斯山Mt. Huygens 高亦六千米，此可由其所投之影以測量之。

月面巖石多圓形之突起，極類吾人大地上火山口之邊緣，故天文學家咸以火山口目之。此種火山口數達三萬，新者重疊於舊者之上，中心每有極高之山峯。地球上最大之火山，首推日本之阿蘇山，其外輪之直徑達三十千米，而月球中格利馬爾提火山Grimaldi 之直徑竟達二百五十四千米；其他直徑在一百八十千米之上者，比比皆是。然此廣大巨物果爲火山耶？岐爾柏特 Gilbert 謂此火山口之成因，爲流星下落所致；因月球無空氣，流星可以直達月面，致使月面生陷落之現象；此說亦有一部分之理由。其實月面有此大火山，亦爲事實之可能。因月球重力僅爲地球重力六分之一，則月球上火山噴發之力量可較地球上大六倍也。

此外月面尚有壑道甚多，遍折於羣山之中，其最著者爲阿爾卑斯山之壑道，長達百二十千米，寬可十千米，深亦三千千米，此種壑道生成之原因，迄今尙無定論；有謂月面因火山噴發震動所致，亦有謂係當月球冷縮時所成者。

提科布拉，哥白尼等山(圖30M及N)，有光輝四射，滿月時尤甚，提科布拉山所放射者，數達數百條，其成因，雖在今日，尙不得而知也。

本節至此，再回述月面之溫度。月球面太陽之半球溫度可達華氏寒暑表二百四十四度，但其背太陽之半球溫度恆在華氏零下二百四十四度左右。據麥登 Meuden 之測驗，吾人所得之月光幾皆爲火山

灰所反射者，由此月球之表面將完全為火山灰所組成。火山灰為傳熱之絕緣體；於是太陽射入月面之熱不能傳入月體深處。據此以推，則月面經太陽作半月之照映，其溫度將達水之沸點以上，而在其表面一厘米之下之溫度，將在水之冰點之下；此實月球表面溫度之特徵。天文學家柏提Pettit與尼科爾松在月蝕時，測得月球表面溫度由華氏寒暑表一百九十四度降至零下一百五十二度，在數分鐘之中，溫度之相差竟達三百四十六度之多。吾人假定月面多火山，正與此為相合也。

第七節 日蝕與月蝕

因地球與月球皆不能自行發光，吾人所見月球之光及在月球上所見地球之光，皆為反射太陽者。由是月球與地球在其軌道上進行，其背太陽之部為帶有陰影向空間伸展。但此影在平時為不可見。若月球偶入於地影之內，則成月蝕 lunar eclipse。有時月球之影橫掃地面某點而過，使在地面該處之觀察者，突見太陽蝕去一部分或全部，此曰日蝕 solar eclipse。因在滿月時，月球與太陽相衝；新月時月球與太陽相合，是故月蝕僅見於滿月，日蝕則僅見於新月也。

欲知月蝕與日蝕之情形，當先知地影與月影之情形。設如圖31， L 為地影之長， R 為地球與太陽之距離， d 與 D 分別為地球與太陽之直徑，則地球之影為一錐體，其縱截面為三角形 CHK 。因地球與太陽之距離甚遠， CH 與 CK 可視為平行， CHK 角不過半度；由是 AB 與 HK 可作為等於太陽與地球之直徑 D 與 d 。由三角形 CAB 與三角形

CHK 爲相以,得 $L/(R+L)=d/D$, 即 $L=dR/(D-d)$ 。因 D 大於 d 者可

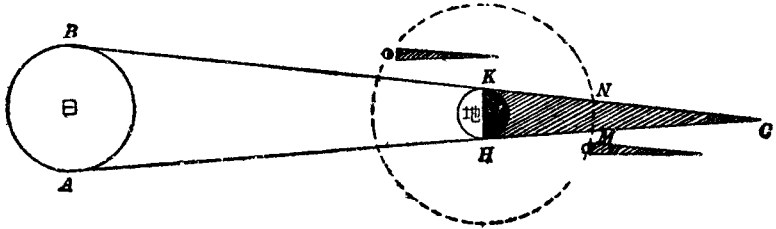


圖 31

109.5倍,而 R 平均爲93,000,000英里,故地影之長 L 爲 $1/(109.5-1) \times 93,000,000$,即857,000英里。但此值視地球之在近日點與遠日點而異,相差約28,000英里,但無論如何,皆遠過月球與地球之距離也。依同理得計算月影之長爲32,000英里,而當月球在近地點與遠地點相差8000英里。因月球與地球之距離在近地點爲222,000英里,在遠地點爲253,000英里,故其影有時可及地面,而有時爲不能達到地面。在前者之情形,人若在地球上月影之中心,可見日全蝕 total solar eclipse,而在後者,因月球之視徑爲小於太陽之視徑,吾人立在地面地心與太陽之連接線上,恆可見太陽中部黑暗,而邊緣光明,此曰金環蝕 annular。

圖31中 MN 截面之直徑可由相以三角形 CHK 與 CMN 以計算之。命 h 爲當月球進入地影時與地球之距離,則由相以三角形,得 $MN/(L-h)=d/L$ 。 h 之平均值爲239,006英里,由此得知 MN 之長約爲5,700英里;但其確實之值爲視月與地之距離及地與日之距離之變化而有600英里之差。當其最大時, MN 約爲月球直徑之三倍,因月球公轉速率爲每小時約行其直徑之距離,故月全蝕之時間約歷

二小時，亦即自食既至生光須經二小時，而自初虧至復圓約歷四小時也。

月影與地影皆含有本影umbra與半影penumbra二部。如圖32， CHK 部分為本影， CHK 以外部分為半影。在本影內完全不能得見太

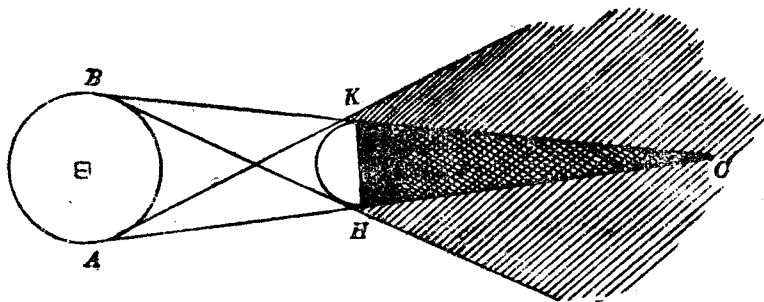


圖 32

陽光，而在半影之內，則有一部分之太陽光可見。月球投入地球之半影內其光無甚變化，但與本影接近，其東部邊緣光度漸減，終至全部黑暗而成全蝕。

月蝕無論全蝕與偏蝕，在地球上面月球之半球皆可見到；而日全蝕則不然。日全蝕惟能在月球之本影內始可見之，其範圍為不出直徑為一百六十八英里之圓周。金環蝕得見之範圍稍廣，約為直徑為二百三十英里之圓周。在半影內所見為偏蝕，其範圍之直徑為四千英里。因日蝕時，月影橫掃地面而過，故地面上在月影所行之路內，日蝕可依次而見。

月球與其影向東移之速率約為每小時二千英里，地球赤道上各點因地球自轉關係，其東移之速率約為每小時一千英里，故月影對在赤道上之觀察者之移動速率為每小時約一千英里；居高緯度之處

因觀察者隨地球自轉之速率較緩，月影對觀察移動之速率更大；據計算，最大可達每小時五千英里。故一人在一處所見日全蝕之時間最長為七分五十八秒；所見金環蝕之時間最長為十二分二十四秒，而自初蝕至蝕終約歷四小時。

若白道與黃道為在同一平面之上，則每月皆有一次日蝕與月蝕；但白道與黃道相交成五度之角，則月球恆經地球與太陽之連接線（即地球在軌道上之矢徑）之北或南而過，而不能成蝕，故僅當地球之矢徑與月球軌道之升降線相合時，始能成蝕。其實日蝕或月蝕之發生，不必在地球之矢徑與月球之升降線完全相合，只須二者相接即可。太陽與月球之最近交點使能成蝕之最大角距曰蝕限 *ecliptic limit*。茲先研究月蝕限 *lunar ecliptic limits*。

圖33 為示地球之影與月球在其軌道上之情形。 N 為白道之交點。在 N 點月球正投入地影之中心；在 A 月球與地影相切。沿黃道， NA 之距離謂之月蝕限。

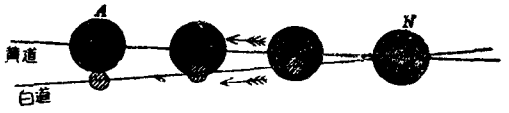


圖 33

其值有變動，最大為 $12^{\circ}.3$ ，最小為 $9^{\circ}.5$ 。故發生月蝕之可能條件為太陽當滿月時居交點之兩旁最大限度二十五度之內。太陽在黃道上每日約行一度，故其越過此限約歷二十五日；但月球一度朔望（即朔望月）為時約為二十九日，故有時太陽經過交點而不能有月蝕發生。但太陽每經一交點至多只能有一次月蝕。設太陽於一月初經過一交點，則在六月經過其他一交點，而在十二月重返第一交點。因月球之交點每十八年後退一周，故太陽每重返原位置之時間為 346.62 日，此

日蝕年 *eclipse year*。因回歸年 *tropical year* 為三百六十五日有餘，故在一年之中，太陽至多有多三次在交點上，所以一年之中至多可有三次月蝕，但無一次者亦有之。

由圖31，當月球將進入日地之間而方與 *BK* 相切時，則月心與日心在地心所夾之角曰日蝕限 *solar ecliptic limits*。日蝕限自 $15^{\circ}.4$ 至 $18^{\circ}.5$ ，故太陽歷日蝕之可能範圍至少有 31° 。再因太陽須歷一朔望月以上之時間始能越過此弧，故太陽在每次經過交點必有一次日蝕，而或有二次日蝕。綜計在一年內日蝕次數最多者可有五次，而最少亦有二次。

因日蝕與月蝕之發生必合於二條件，即月球須為新月或滿月，而太陽又須居白道之交點；故若今年有蝕，則歷朔望月與蝕年之最小公倍之時間，必重有蝕。此最小公倍為二百二十三個朔望月，即 6585.32日，亦即十八年十一又三分之一日，而僅少於十九個蝕年之 0.46日。在每十八年內，約有二十九次月蝕與四十一次日蝕；而在四十一次日蝕中，約有十次為日全食。

由黃道與白道之原素，及此諸原素之變動情形（如白道交點每十八年後退一周），可以推算過去及未來日蝕及月蝕之時間與情形，相差不過數秒。求月食之計算較求日蝕之計算為簡便，其詳可於任何實用天文學中求之。

圖34為自一八九四年與一九七三年間，每次日全蝕所經過之路徑。

觀察日蝕之現象與研究太陽之物理性質至有關係；此外研究月球之運動亦恆藉作日蝕之觀測。一九〇五年與一九一五年愛因斯

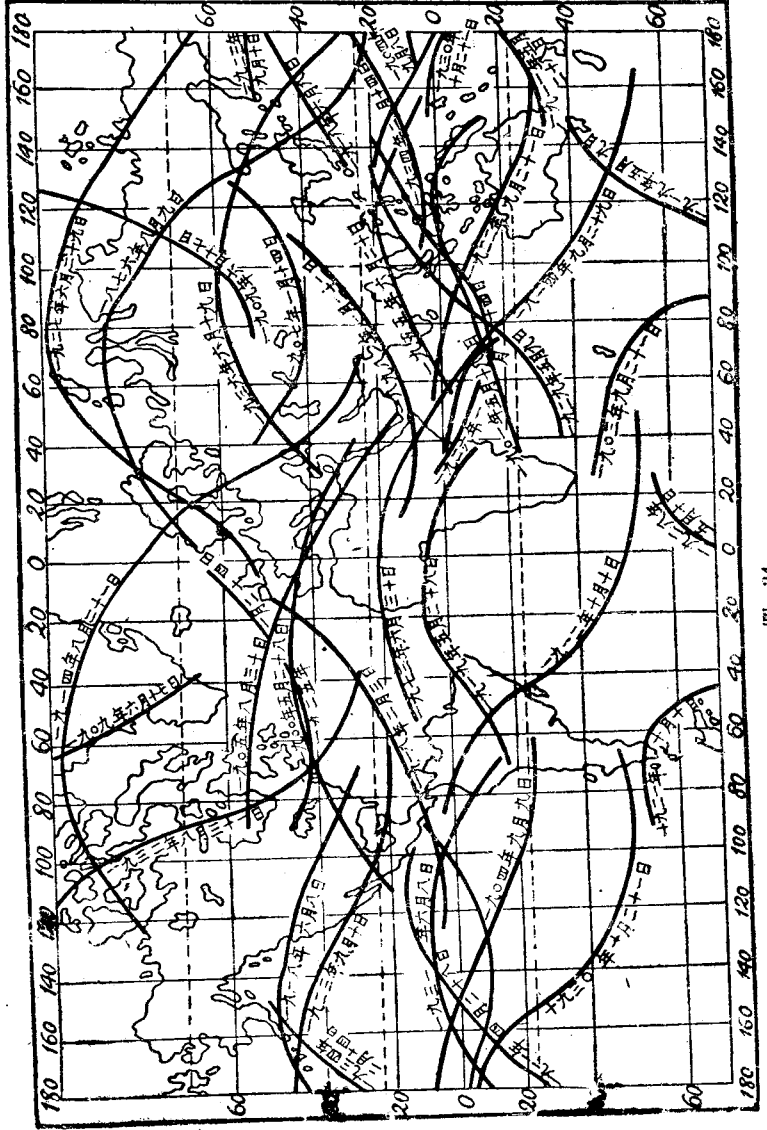


圖 94

坦發表其相對論，謂宇宙爲四元，即長、闊、厚及時間，而此空時間 space-time 爲彎曲的，其曲率在最大質量之天體之鄰近爲最大，此可從數學方面加以證明也。愛氏更謂光線經過其質量與大小如太陽者之鄰近，必起作 $1''.74$ 之彎曲。一九一九年之日全蝕在非洲及巴西 Brazil可見；當時愛丁頓與得維德松 Davidson 攝在日旁之星之位置照片，以後用同一儀器當太陽已移至天空之其他部分時，仍攝該星之影；將此二照片相比較，得知星之位置爲有不同，此因星光其一受太陽攝動，其他未受太陽攝動之故也。愛丁頓所得之結果與愛因斯坦之預測頗爲近似。相對論之成立，與此試驗至有關係也。一九二二年之日全食，卡姆培爾 Campbell 在澳洲所測得之結果亦同。

第六章 外行星

居地球軌道以外之行星曰外行星，外行星除小行星而外，其數有六，即火星，木星，土星，天王星，海王星，與最近新發現之冥王星是也。茲分別論之，至小行星則於次章中述之。

第一節 火 星

火星爲一光明之行星，以其色紅，故以火名。一六六六年胡克 Hooke 與卡西尼觀察火星之面部有黑色不變之斑紋，一九〇九年九月巴那德 Barnard 在頁基斯天文臺攝得火星面部黑色斑紋移動之影片，由此求得火星自轉之週期爲二十四小時三十七分二十二秒又百分之六十七，故其晝夜僅較地球上長三十餘分鐘。火星之赤道與軌道相交成二十三度至二十四度之角，故其四季之分亦與地球相近。但火星公轉之週期爲二十三個月，其所得日光僅足地球所得者之半，故火星之四季較地球上爲長，而溫度較地球上爲低也。

火星處地球軌道之外，故不能有盈虧可見。但當其在象限時，一小部分背太陽之半球向地球，此時在地球上視之，乃如滿月後三四日之狀。火星之反照率約爲百分之十五。據氣體動力學定律與火星之引力，得知火星面部可有稀薄之氣體。但當恆星爲火星掩沒時，恆

星之光隱沒也極速，且其四周之明昏與中部相等，由此得知即有氣體，亦當稀薄之至。科學家考火星之面部有雲狀之物，其色灰黑，而在兩極尤為常見。又有時全面有雲霧密布，而且略有週期，其原因雖不可得而解，但亦有氣體之象徵也。

火星之色為橘紅，而以望遠鏡窺之，則中部又有綠色與紫色之斑紋；雖大部分不盡明顯，而小部分實可區別。如接續觀察火星歷數小時之久，則多數斑紋頗有改變，而暗斑則僅有寬窄之變遷。此外兩極又有白斑，白斑之形狀乃隨火星之四季而變遷：冬時最多，夏時最少。白斑多時，四周廣布達離極二十五度至三十五度之附近，雖經長冬，仍無少改，但春季一至，輒行逐漸減少，減少之方法乃由邊緣縮小，有時分為數段，迄夏季而完全消滅，一至秋後冬初，則所消滅者重又生成。其他一極之變化，適與此相反。一八九二年南極之白斑縮滅極速，一月之後，減少一百五十萬英里。一八九四年火星南極有同樣之現象，不惟如此，斑邊之暗帶亦隨白斑向內而縮，猶冰雪之溶化為水也。

當火星與地球相衝而又在其軌道之近日點時，其與地球之距離為最近，而以南極面地球。故南極之白斑為我所研究最為詳細。一八九〇年美國天文學家彼刻林見火星南極有淡色之斑紋，模糊不清，其大有如中國之版圖，翌日再見，此模糊之淡斑，已一望而皆白矣。據此種情形以推測，白斑之成因似為大雪覆地。假定火星兩極之白斑確因積雪而成，則火星空氣中之有水汽，斷焉可知矣。哈金斯與福該爾曾藉分光鏡之力以證明火星空氣中含有水汽。但基勒Keeler與卡得培爾以更精確之儀器作同樣之研究，證明哈金斯之結果為不

足特，施里發在羅埃爾天文臺測驗所得，又與哈福二氏之結果為相同。故火星空氣中水汽問題，最近天文家爭論頗烈，終難得有定論；但實際火星之有水汽，亦事理之常也。

火星與太陽距離較地球為遠，每單位面積所得太陽之光熱僅足地球所得者百分之四十三，地球南北寒帶雖在炎夏，尚有冰雪遺留，火星所得之熱既較地球為少，則火星之平均溫度必較地球為低，於是火星之白斑雖在夏季，亦當然不能溶化。但實際火星之白斑一至夏季，輒完全消滅；此又顯然與理論相反者何也？欲知於此，請先論火星之溫度。

假定火星表面之空氣及組織完全與地球相同，即猶移置地球於火星之位置，則地面平均溫度當不若現時之高。考行星溫度之增高或降低，乃由其所吸收太陽之熱少於或大於所放射之熱而定。由施德芬放熱定律 Stefan's law of radiation，黑體 black-body 放熱量 R 與其絕對溫度 T 之四方成正比，即 $R = T^4$ ，亦即 $R = CT^4$ ，故設 r 為另一物體放熱量， t 為其絕對溫度，則有

$$T:t = \sqrt[4]{R} : \sqrt[4]{r}$$

應用此公式於地球與火星。地球上每年平均溫度為在華氏溫度計冰點以上 28° ，而華氏計之絕對零度乃居冰點以下 491° ，故地球上每年之平均溫度用華氏計自絕對零度起算為 $519^\circ (= 491^\circ + 28^\circ)$ 。設 T 為火星之絕對溫度，又因火星面上每單位面積所受之太陽熱為地球之所受者 0.43 倍，則由比例式 $T:519 = \sqrt[4]{0.43}:1$ ，求得火星之絕對溫度 T 為華氏計 420° ，即火星面部平均溫度居華氏計冰點以下 $71^\circ (= 491^\circ - 420^\circ)$ ，亦即在華氏零度以下 $39^\circ (71^\circ - 32^\circ)$ 也。但施德芬定

律未能十分精確，而火星與地球之情形又復彼此各殊，故此種結果不過為一種大略耳。假定火星面部氣體之組織與地球空氣完全相同，而僅較地球空氣為稀薄者，則火星之平均溫度必較 -39° 為尤低。倘若火星之氣體多水汽與二氧化碳，則因水汽與二氧化碳放熱之力弱，火星之溫度必較 -39° 為高。總之，火星溫度不能高於華氏零度以上也。

由普通氣象學關於汽化 evaporation 與凝結 precipitation 之基本定律，設空氣中有充量之水汽，於是溫度略低不必達於冰點，水汽即凝為雨點而下降；若空氣中含水汽甚少，則非達冰點以下，不能凝為雨點。反之亦同。設雪之溫度略高，而空氣中水汽之成分為極稀，於是雪不必達溶度而直接化為水汽；設空氣含有多量之水汽，則雪必待溫度至冰點以上始行溶化。總之，空氣中水汽多，汽化與凝結皆在冰點之上；水汽少，汽化與凝結皆在冰點以下也。

由此，假定火星之白斑為由霜雪所積而成，夏時白斑消滅，乃為霜雪之溶解；此蓋火星大氣中之水汽甚稀，霜雪不必至溫度達冰點以上即行汽化也。假定火星之溫度為已知，則由白斑之現象，可以計算火星空氣中水汽之分量；反之，已知火星中水汽之分量，亦可以計算火星之平均溫度。

一八七七年斯基阿巴累利發現火星面部有特殊之斑紋，即面部有暗色或綠色之直線，縱橫交錯，經橘紅色之部分而過，為狀細而長，有時長達數百英里以至三四千英里，足繞火星赤道四分之一周，闊可二十英里。斯基阿巴累利即名之曰運河 Canali (英文 canal)。各運河相交之處有黑點，科學家名之曰湖 Oases (按 Oases 為英文

oasis, 即沙漠中之良田)。有時數運河相交於一湖。斯基阿巴累利經十五年之觀察, 發現運河一百十五道, 至一九〇八年發現湖數可一百八十六。迄一九一〇年共得九百六十運河。最奇者爲運河之形狀, 有時現爲二平行線。一九〇八年所發現之四百三十運河中, 有五十一屬於兩平行線式。平行線相隔二百至四百英里。運河所在之處皆爲橘紅色之部分, 而在綠色則未之見也。運河之變遷, 有一定之週期; 即春季陸續出現, 速率極大; 初見於寒帶, 以後漸向熱帶而擴充, 約五十日而至赤道。星面之暗處, 綠色深淺亦隨運河之廣狹而變遷, 即運河愈廣, 其色愈深。以上所述皆爲斯基阿巴累利, 培羅丁, 托倫 Thollon, 彼刻林, 羅埃爾等所觀察之結果; 而天文學家之前輩如安托尼亞提, 巴那德等, 以精確之望遠鏡觀察, 則所謂運河者, 初未見也。

火星之運河究屬何物? 論者多矣, 有謂爲一種幻影者。安托尼亞提力言羅埃爾等所觀察爲錯誤。伊凡斯 Evans與最近之紐科姆曾以種種實驗, 以證明運河之觀察爲不可持。至於羅埃爾輩, 不僅主張運河之觀察爲真確, 而同時更解釋火星中有植物與有知識之動物之存在。渠謂運河與湖, 排列至有秩序, 非金星面部之崎嶇不平者所可同日而語, 此種有秩序狀態, 顯然非巖石經風化與侵蝕之結果, 乃爲有智識之動物所經營。火星無海, 其中之有智識動物必藉運河與湖之力以灌溉其土地。火星中既有聰明之動物, 則必種植植物以爲食料, 故所見之運河, 非運河之本體, 乃兩岸滋潤之土地。運河之本體因距離過狹, 自不能爲吾人所見。彼刻以爲所謂運河, 即爲植物也。羅埃爾更以爲運河兩岸滋潤之地, 乃爲植物茂生。運河之春現冬滅者,

即植物之在春季茂生，而冬季衰老也。運河之水之來源爲由兩極所積之雪溶化流入湖中，再由湖以分注於運河。羅埃爾以爲火星運河中之水每小時流二十一英里云。

羅埃爾之學說，殊難證實。火星中有動物之存在，似有可能。假如火星中確有生物，則此種生物必與地球上之生物不同；蓋火星重力小於地球，而所受之光熱，空氣之組織，與四季之長短，皆與地球各殊；不同之環境，當然生產不同之生物也。近代天文家以爲火星中運河之造成，爲有極聰明之工程師；但實際未必如是。假定火星上有生物，其聰明之程度駕地球上之人類而上之，則火星之聰明生物必可由種種方法以觀察吾人之地球，而更進一步想出一種方法而與吾人通信。然吾人類始終未曾接到火星上聰明生物之表示。雖一九二〇年意大利無線電工程師馬科尼 Marconi，報告地球上各大無線電臺皆接到一種不可思議之電浪，疑爲火星中生物所發。但此不一定出自火星中，或者爲其他之星球所發亦未可知。據法國那特曼 C. Nardman 之解釋，謂此種奇異之電浪，乃爲太陽所發之一種赫茲波 Hertz wave 也。故火星中假定有生物存在，則其智識或類原人時代，或在數千萬年以前曾經有超過吾人類智力之生物存在。但究爲如何，今日之人類尚無研究之能力，蓋無研究之資料也。

一八七七年八月豪爾 Hall 在華盛頓海軍天文臺以二十六英寸之望遠鏡窺測火星，發現火星有二衛星，其體積甚小，惟能於精密之儀器並隔絕火星本體之光線始能見之。其距離較近者曰戰神長子 Phobos，較遠者曰戰神次子 Deimos。戰神長子之公轉週期爲七小時有餘。但火星之自轉週期爲二十四小時半，當火星自轉一周，戰神長

子之公轉已達三周而有餘。故戰神長子昇於西而沒於東。茲列表比較如次：

名 稱	發 現 者	平均距離 (英里)	恆星週期	軌道與黃 道交角	離心率	直徑 (英里)	質量
戰神長子	<u>麥爾</u> 1877年8月17日	5850	7時9分 -7秒	27.5°	0.0170	25(?)	(?)
戰神次子	<u>麥爾</u> 1877年8月11日	14650	1日6時 21分16秒	27.5°	0.0331	10(?)	(?)

第二節 木星

木星亦爲一光明之行星，公轉太陽之週期約爲十二年，故古人謂之歲星；應星，紀星亦吾國之舊名也。木星之視徑變化甚大，計在十月相衝爲五十秒，在四月相衝爲四十五又二分之一秒。形圓而略扁，兩極直徑較赤道直徑小十六分之一，平均直徑約爲地球之十一倍，爲行星中之最大者。其表面之重力爲地球表面之重力之2.64倍。

木星之自轉週期約爲九小時五十四分。但此值未能精確，蓋木星面部斑紋無一定之位置也。考其赤道附近斑紋旋轉速率較兩極附近斑紋旋轉速率爲大，而光斑又較黑斑爲速；近赤道之斑紋旋轉週期爲九小時五十分，而在高緯度之斑紋旋轉週期爲九小時五十七分；所謂九小時五十四分者，不過取其平均數而已。赤道與高緯度之旋轉週期相差既達八十五分之一，則當木星旋轉八十五次後，赤道高緯度已多轉一周。最近巴那德考木星南北相對之緯度之旋轉速率亦

有不同，木星赤道圓周約三十萬英里，故其赤道旋轉之速率為每小三千英里，若是在赤道相鄰之二斑紋其旋轉週期相差七分，而速率每小時相差三百五十英里 $\left[350 = \frac{30,000}{85}\right]$ 。據氣象學家之考測，在地球上之暴風，每小時之速率自七十至一百英里，可見木星面部運動速率之大矣。

木星赤道與軌道相交成 $3^{\circ}5'$ 之角，而其軌道之離心率甚小，其所得太陽之光熱僅足地球所得者之二十七分之一，故其四季之區別，不甚顯著。假定木星之本體無熱外射，則木星之面部之溫度當為極低也。

木星之體積極大，雖當其在象限時，居地球上視之，亦不能有盈虧可見。木星之反照率據考測為 0.62，但據羅素之推測為 0.56。星之中心較邊緣為光。其變化甚大，此或為木星面部溫度極高所致。但

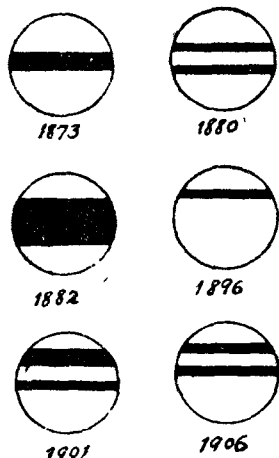


圖 3b

木星所得太陽之光熱極少，此高溫度又自何而來？則爾納推測木星內有熱外射，其面部之熱度高達到白熱。實際此種推測未必真確；蓋吾人考木星衛星經過木星面部時，其所生之影乃為黑色，又其衛星被蝕時，衛星亦完全黑色也。

最近之天文學家皆主斑紋之變遷為由氣體之變化，而豪夫 Hough 則獨以海洋解釋之。用近代分光鏡研究之結果，木星之光帶與太陽之光帶並無區別，而全部又無因木星氣體吸收所起之現象，惟

光帶中紅色下部略有變易耳，由此，則木星或無氣體，但分光鏡中所得之光，似皆由木星上部雲面反射而來；故木星表面之氣體問題，雖迄今日，尙未有真確之解決也。

以普通之望遠鏡窺測木星，見有平行之寬帶數道，居中者色白，寬約一萬英里。帶之兩旁各有紅棕色之帶，其寬與居中者略等。此外南北各有數帶，但觀察因斜視之故，不若赤道之明瞭。諸帶之變遷似有一定之週期，而南部之帶較北部之帶爲闊。圖35乃示自一八七三年至一九〇六年間其帶之變遷。

以精密望遠鏡窺察木星之帶，似爲雲狀之組織。已知木星平均密度爲地球之百分之二十四，與太陽略等，因中心之密度應較外部爲大，其面部物質之稀薄，可想而知。此種稀薄物質不能遮蔽內部，故吾人所見木星之物質，或爲木星內部之固體也。

木星之南半球時有暗斑出現，漸變紅色，最後則又消滅。最大之斑爲在一八七八年七月出現，當時普利舍特 Pritchett 於木星南部紅棕帶中發現橢圓形之淡紅斑，長約 $13''$ ，闊約 $3''$ ，即垂直於赤道七千英里，而平行於赤道三萬英里，其大可想而知。一年以後，變爲深紅色，其位置約居南緯二十度，此後二三年無所更改。在一八八二年至一八八三年其色略暗。一八八五年變爲淡紅色之環，中部浮有白雲。在一八八六年至一八八七年年光度復略明。但至一八八〇年，惟有微光可見矣。此種紅斑究屬何物？今日之天文學家尙不能加以解釋；有謂係火山之噴發者，但亦荒渺難徵也。

一六一〇年一月七日，加利略以其望遠鏡窺察木星，發現木星有四衛星；加氏窮數星期之研究，備知其性質。地球而外，在行星中

初知有衛星者爲自木星始。惟自加氏發現四衛星後，三百年未有所

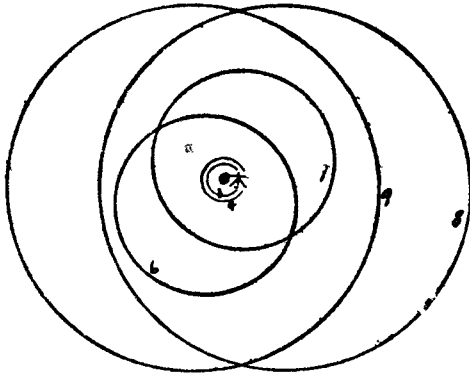


圖 36

科爾松在里克天文臺發現第九衛星。圖 36 第八、第九二星之運行方向爲由東而西，繞木星以逆行。茲列比較表於 83 頁。

第一至第四四衛星，雖用小望遠鏡，亦可觀察，當時加利略發現此四衛星僅用其自製七公分之望遠鏡也。此四衛星又名爲加利略衛星，哥白尼太陽中心說繼托雷密系而爲世人所公認者，此四衛星之發現與有力焉。

試觀上表，第六與第七二衛星，第八與第九二衛星之軌道離心率，公轉之週期，與軌道與黃道之交角，皆與相近，而第八與第九二衛星公轉之方向皆爲相反，此皆爲研究太陽系進化論之重要事實也。

法國數學家兼天文學家拉普拉斯發現第一、第二、第三三衛星

獲，及一八九二年九月，巴那德在里克天文臺 Lick observatory 又發現一衛星，距木星極近。一九〇五年由照相法再發現二衛星，與木星之距離較前五者爲遠。一九〇八年正月美羅脫 Melotte 在英國格林尼治天文臺發現第八衛星。一九一四年七月尼

發現次序	衛星名	發現人與發現時日	與木星距離 (英里)	恆星週期	軌道與黃 道之交角	離心率	直徑 (英里)	質量 地球—1
5	第五衛星	色那德 1892年9月9日	112,500	時分秒 11 57 28	2.2°	0.0028	100(?)	(?)
1	江中女神 Io	加利略 1610年1月7日	281,000	日時分秒 11 18 28 36	0	0.0000	2500	0.00001688
2	味王 Europa	加利略 1600年1月日	415,000	日時分秒 3 11 17 54	0	0.0003	2100	0.00002323
3	牧 童 Ganymede	加利略 1610年1月7日	664,000	日時分秒 7 3 59 36	0	0.0015	3550	0.00008844
4	仙 婢 Callisto	1610年1月7日	1,167,000	日時分秒 16 18 6 7	0	0.0075	3940	0.00004248
6	第六衛星	1904年12月	7,185,000	日 266	29°	0.1550	100(?)	—
7	第七衛星	1907年1月	7,403,000	日時 276 16	27°	0.2078	46(?)	—
8	第八衛星	1908年1月	4,090,000土	681.2日	148°	0.38	30(?)	—
9	第九衛星	1917年7月	5,000,000土	68日	157°	0.243	—	—

之相互關係，頗饒興趣。設 T_1, T_2, T_3 為第一、第二、第三三衛星之週期，於是 $\frac{360^\circ}{T_1}$ 為衛星之平均運動，拉氏求得第一衛星之平均運動加第三衛星之平均運動之二倍，適等於第二衛星之平均運動之三倍；即 $\frac{1}{T_1} + \frac{2}{T_3} = \frac{3}{T_2}$ 。由是此三衛星不能同時對太陽成衝或合。

木星與地球之距離過遠，衛星之形狀亦難觀察真切。巴那德以為第一衛星之兩極有黑斑，而赤道有白光之帶。亦有以第三、第四兩衛星為橢圓形者；但巴那德由里克天文臺之觀察，初未承認之。

木星之直徑甚大，所成太陽光之影長達一萬萬五千萬英里，衛星軌道與木星軌道之交角又小，故第二至第四衛星之被蝕，常得為吾人所見。一六七五年丹麥天文學家拉麥 Römer 察得木星衛星被蝕時間之修短為有不同，當地球與木星在衝時較在合時為長；因此得知光須經過一定之時間始得由此而達彼。故由木星衛星被蝕之時間，得以計算光行之速率也。

第三節 土星

土星為木星外之一行星，古名填星，又曰地侯，其與太陽之距離為地球之九倍有半，而直徑亦大地球九倍。平均密度為水之密度七分之五，略同松樹，實為行星中密度之最稀者。

土星面部之形狀與木星極為相似，惟以與地球之距離過遠，觀察未能精確。其赤道有白色之帶，而在高緯度則有黑帶；後者較前者為闊；此外亦有斑紋可見。一七九四年赫舍爾由斑之轉移求得土星自轉之週期為十小時十六分。一八七六年黑爾由土星赤道之白斑，

求得土星之自轉週期爲十小時十四分，學者咸以此值爲最精確。但在一九〇三年巴那德與諸天文學家同時觀察，發現此緯度上有白斑，求得該斑繞土星一周爲十小時三十八分，較黑爾之值爲大；然此乃諸帶自轉之速率有所不同也。假定白斑爲星帶上之雲，則所求得之值皆不足憑；設不爲雲，則赤道自轉之速率大於兩極者自八百以至九百英里；較地球上最大之暴風尤大八倍而有餘也。

土星密度之稀薄既如前述；其外部恐爲氣體；但其面部之形狀時行變易，而又不爲透光，此或有液體之微點圍繞其周圍，觀其面部各處旋轉速率之不等，亦可以略明其故矣。據則爾納之考測，土星之反照率爲百分之五十二，其光譜與太陽之光譜完全相同，而絕無顯有水汽之現象。但其紅橙二帶中微有黑帶，此其異於太陽之光譜也。

土星赤道與其公轉軌道相交成二十七度之角，較地球與火星爲尤甚。其軌道之離心率亦大；由此其四季之分，當甚明顯。但土星所得太陽之光熱僅足地球所得者九十分之一，故土星四季之溫度，惟視其本體爲如何耳。

土星爲居行星中之最美觀者；蓋其外部有光環圍繞，在適當之時以察之，美妙莫可名狀。一六一〇年加利略初見土星之環，因其遠鏡未精，所見亦難確實；彼誤以土星有兩耳。一六五五年海根斯 Huygens 研究環之性質與形狀，在其所著之土星系統 Systema Saturnium 一書中，曾繪環之形狀及其變化。二十年後卡西尼發現土星有二環，隔以黑隙；於是即名此黑隙曰卡西尼間隔 Cassini's division。一八五〇年蓬德 W. C. Bond 發現第三環。後此二星期，當蓬氏之發現尙未發表，道斯 Dawes 已報告同樣之結果矣。

土星之三環乃為三同心圓圍繞於土星之周圍，外部二環較為光明，內環稍暗，未易觀察。斯特盧未 Struve 以 A, B, C 代三環；即 A 為外環， B 為中環， C 為內環。內環又名暗環 crape ring， B 環又名明環 bright ring， A 環又名外環 outer ring，巴那德曾求得各環之大小如下：

土星之赤道直徑	38, 235 英里
土星中心至暗環內緣	44, 100 英里
土星中心至明環內緣	55, 000 英里
土星中心至明環外緣	73, 000 英里
土星中心至外環內緣	75, 240 英里
土星中心至外環外緣	86, 300 英里

自土星表面以至暗環內緣之距離為六千英里，暗環之闊約一萬一千英里，明環之闊約一萬八千英里。明環之光度約與土星本體相等。明環以外為卡西尼間隔，約二千二百英里。卡西尼間隔以外即外環，闊為一萬一千英里。外環之直徑為十七萬二千六百英里，約等於太陽直徑之五分之一，而二十一倍半於地球之直徑，其大亦可想見

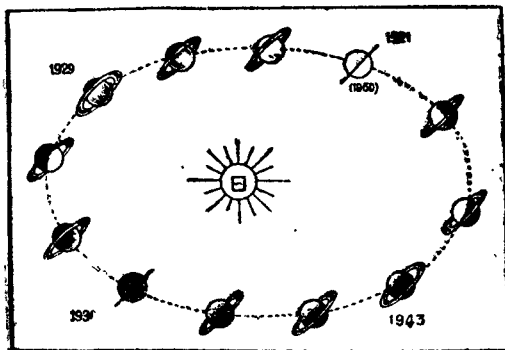


圖 97

矣。

土星環居土星赤道平面之上，而與黃道相交成二十八度之角，故居地球上以視土星環，其交角時行改變而如圖 37。當土星赤道平面與地球赤道平面相合時

視之，僅露一線，有時在數小時以內不得而見，一九二二年曾經一次。由此可知土星環之組織爲極薄，充其量亦不過五十英里耳。

一世紀之前，天文學家皆以土星環之組織爲一種固體或流體。一七〇五年賴特 Thomas Wright 與一七一五年卡西尼則以環爲一羣之流星或小衛星，繞行於土星赤道之周圍。彼爾斯 Pierce 證明土星之環不能爲連續之固體。拉普拉斯亦主爲流星羣之說，彼更以力學原理證明環之組織若爲連續之固體，則難能平衡。一八五七年馬克斯韋爾 Maxwell 又於動力學方面證明環既非連續固體，亦非流體，乃爲一種彼此獨立之微點，換言之卽爲流星羣耳。

假若環之組織誠如馬克斯韋爾所言，則環之近土星之部之運動速率必較外部爲速。一八九五年基勒由分光鏡所得土星之光譜，證明馬克斯韋爾之學說爲成立。

土星諸環何由而成？論者甚多，但最合理之說，厥爲諸環乃爲不得成衛星之微點湊積而成。科學家考月球對地球有生潮力，而地球對月球亦有同樣之力，但地球之質量大於月球者八十一倍，故地球對月球所生之力大於月球對地球者亦當八十一倍。據一八四八年羅什 Roche 之計算，假定衛星與本星之距離小於本星之半徑之 2.44 …… 倍者，則本星對衛星之生潮力足以分裂衛星而使散爲小塊。土星之質量大於地球者可九十五倍，外環之外緣與土星之距離僅爲月球與地球距離之三分之一，故土星對其環之平均吸潮力大於地球對月球之吸潮力者可一千倍。再土星之半徑爲一萬九千英里，其 2.44 倍爲 46,650 英里，僅較外環小 39,600 英里耳。故假定土星之環原爲固體，然因其所受土星之吸潮力過大，乃裂爲小塊，但仍環行於

土星之周圍，此即土星環之成因也。

一八五一年斯特盧未發表其測量土星之結果，以爲土星環之內緣有向土星面之移動，但其在一八八五年所測得之結果又與前說不合。自一八五〇年以至一八八五年，土星之環並無變動。苟據以上所述，土星環之組織爲細小之流星羣聚合而成，於是因彼此運動速率之不等，難免互相碰撞，假定確有此種情形者，則必因碰撞而生熱；換言之，即其運動之能力減少，而軌道隨之而減少。因此土星環必逐漸縮小也。

土星之衛星爲數凡九，一六五五年漸根斯發現其中之最大者。自一六七一年以至一六八四年，卡西尼發現四衛星。一七八九年赫舍爾發現二衛星。一八四八年九月，蓬德發現一衛星，二日以後拉塞爾 Lassell亦獨立發現之。一八九九年彼刻林發現第九衛星。一九〇五年彼氏由照相法謂得第十衛星，其距離土星之次序爲七，但此後迄未有見，故是否有此衛星，⁴不可得而知也。

土星與地球之距離過遠，其衛星之視直徑不能以量徽表測量，惟有由其所反射之光而推算其大概耳。

土星之第八衛星在土星之西時較在東時爲亮，此蓋第八衛星常以一面向土星，更加兩旁反照率不同之故也。羅埃爾與施里發現第一、第二兩衛星亦有同樣之現象。

以上所述諸衛星，除第九星而外，公轉之方向皆爲自西徂東；但第九衛星運行之方向與此相反，而與木星之第八、第九二衛星同。衛星逆行之發現，以此爲最初。衛星逆行與衛星之原始極有關係，然其理雖在今日，尙不能完全得以了解。但衛星離本星愈遠，其所受本星

之吸力愈小；可以斷言，而其易受太陽之影響，亦事理之常。衛星離本星在一定之距離時，逆行或較爲定安，亦未可知也。茲列表比較如下：

名稱	發現人與 發現時日	與土星之距離 (英里)	公轉週期	離心率	直徑	質量 地球=1
電 鬼 Mimas	<u>赫舍爾</u> 1789年7月1日	117,000	時 分 秒 22 37 12	0.0190	600(?)	(?)
巨 神 Enceladus	<u>赫舍爾</u> 1789年9月2日	157,000	日 時 分 秒 1 8 53 22	0.0046	100(?)	(?)
水 神 Tethys	<u>卡西尼</u> 1684年9月2日	183,000	日 時 分 秒 1 21 18 5	0.00012	1000(?)	(?)
山 神 Dione	<u>卡西尼</u> 1684年3月21日	238,000	日 時 分 秒 2 17 42 10	0.0000	1100(?)	(?)
天 女 Rhea	<u>卡西尼</u> 1672年12月23日	382,000	日 時 分 秒 4 12 27 56	0.0005	1500(?)	(?)
大力神 Titan	<u>海根斯</u> 1654年3月25日	771,000	日 時 分 秒 15 23 15 25	0.0289	3500(?)	$\frac{1}{4600}$
日 神 Hyperion	<u>蓬德</u> 1848年9月16日	934,000	日 時 分 秒 21 7 39 6	0.118	500(?)	(?)
天 子 Iapetus	<u>卡西尼</u> 1671年1月25日	2,225,000	日 時 分 秒 79 21 4 56	0.0216	2000(?)	(?)
瀾 神 Phoebe	<u>彼刺林</u> 1898年	8,000,000	日 時 513 16	0.1659	500(?)	(?)

第四節 天王星

一七八一年三月十三日，天文學家赫舍爾以其七英寸之望遠鏡，歷窺可見之星，忽見一屬於六等之星與衆星不同。赫氏經一二日之觀察，此新星已變動其位置，於是報告發現一彗星。不久，數學家雷克塞爾 Lexell依赫舍爾所報告之經緯度，推算其軌道，得知爲近似橢圓；再經一年之研究，乃知爲土星軌道外之一大行星。蓬德名之曰天王星。

天王星軌道之半徑大於地球者可十九倍，故居地球以視天王星，常爲海綠色之小圓，而無盈虧可見，天王星之反照率頗大，則爾納求得爲0.64。其所得太陽之光熱僅足地球所得者三百六十八分之一。其光帶中亦有吸收帶，由此可見其面部爲有空氣包圍也。

據一八八三年普林斯吞天文臺觀察之報告，謂天王星之形狀爲圓而略扁，即兩極半徑較赤道半徑爲短。巴那德與斯基阿巴恩利觀察之結果亦相同。天王星面部之形狀與木星相似，赤道附近亦有黑斑與帶，但模糊不清。自轉之週期亦難由觀察以決定。羅埃爾與施里發藉分光鏡之力，推得其自轉之週期爲十小時五十分；故天王星自轉二十四次約等於地球自轉十一次。赤道平面爲與軌道平面相合。

天王星之衛星有四（圖38），軌道皆近圓形，運動之方向皆爲逆行。茲列表比較如下：

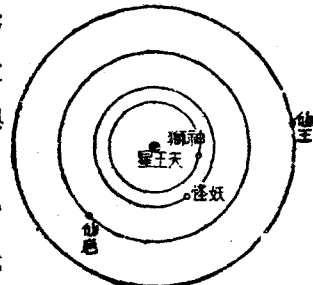


圖 38

名稱	發現人與 發現時日	與天王星 之距離 (英里)	公轉週期	軌道與黃 道之交角	離心率	直徑 (英里)	質量
神 獅 Ariel	<u>拉塞爾</u> 1851年10月24日	120,000	日 時 分 秒 2 12 29 40	97.85°	0.007	500(?)	(?)
妖 怪 Umbriel	<u>拉塞爾</u> 1851年10月24日	167,000	日 時 分 秒 4 3 28 25	97.85°	0.008	400(?)	(?)
仙 后 Titania	<u>赫舍爾</u> 1787年 月 11日	273,000	日 時 分 秒 8 17 0 0	97.85°	0.0028	1000(?)	(?)
仙 王 Oberon	<u>赫舍爾</u> 1787年 月 11日	305,000	日 時 分 秒 13 11 15 36	97.85°	0.0010	800(?)	(?)

第五節 海王星

自一七八一年赫舍爾發現天王星之後，不久其運行之軌道與推算之結果，顯有差異，迄一八四五年相差至二分。由此大數學家培塞爾即謂天王星受其他新行星吸動所致。此種消息傳出後，法國少年天文學家勒未利埃與英國劍橋少年天文學家阿丹斯即從事分別研究，彼輩各以數學方法推算此未發現之新行星之軌道與位置。二人取法雖異，而結果則同，此乃近世數學進步之功也。一八四五年之秋，阿丹斯商其結果於其師查利斯Challis，查利斯者，乃劍橋大學天文學之教授也，即將阿丹斯之結果轉給於英國皇家天文臺臺長阿利Airy。阿利置之。迄勒未利埃在法國方面發表同樣之結果後，查利斯經阿利之敦勸，始從事窺求。在當時之英國，並無精密之星圖，極

難求得新行星之位置。故查氏所觀察之空間長可十度，闊達三十度，反復觀察者計三次。在此三次中，行星必變動其位置，故如有移位之星，即爲新行星也。其工作自七月二十九日起始，在十等以內之星，一一加以考驗，至十月一日乃發現此新行星焉。但在法國之勒未利揆正當英國天文臺搜查之時，改訂其結果，是年八月三十一日計算完畢，即致書德國柏林天文臺加爾博士 Dr. Galle；書中謂：“請將望遠鏡對準黃道上寶瓶座 Aguarius（吾國昔日所謂危室二宿），即經度三百二十六度，則在該處一度之內，將見一第九等而可識別之新行星”。加爾博士在九月二十三日接讀勒未利揆之書，立取白萊米葛 Bremiker 之精密星圖，即晚依照勒未利揆所指示之位置，從事窺求。在半小時之內，距勒未利揆所指定之位置 $52'$ 處發現一新星。渠由二十四小時之接續觀察，乃知爲一行星。此新發現之行星名曰海王星，而加爾卻早查利斯所發現者七日。

海王星發現之後，於是天文學家復由觀察之結果反求其軌道與距離。吾人居地球上觀察海王星，乃爲一第八等之星，絕非肉眼所可見及者也。

海王星之反照率據則爾納之計算爲 0.47。其光帶與天王星相似，而在紅帶中有黑帶可見，此因其面部有濃密之氣體之故；但致生黑帶之原因，則不得而知。海王星距離地球過遠，其面部之形狀，不能精確觀察，故其自轉之週期亦莫可究竟。但豪爾謂其自轉週期爲七時十五分，究竟如何？尙待研究也。

海王星與太陽之距離較地球與太陽之距離遠三十倍而有餘，故居海王星以觀太陽，則太陽之視直徑不過一分，約與金星距地球最

近時在地球上所見之金星相等。居海王星上對火星以內之四行星，不能以肉眼觀察，而木星惟當晨曦時可以一見，海王星所得太陽之光熱僅足地球所得者九百分之一。據則爾納之推測，地球所得太陽之光較滿月時之月光六十一萬八千倍，而海王星所得之太陽光僅足滿月時之月光六百八十七倍。故若海王星面部之組織與地球相似，則其面部之平均溫度當在華氏寒暑表零下三百六十度也。

海王星發現未至一月，即一八四六年雙十節拉塞爾即發現一衛星名曰海神 Triton，與海王星之距離為223,000英里，公轉週期為五日二十一小時三分二十七秒。其軌道與赤道之交角為一百三十八又十分之六度，故繞海王星而作逆行。

第六節 冥王星

海王星發現之後，天王星之運行除受海王星之攝動而外，尚有差異；因此勒未利揆則以為受另有未發現之新行星攝動所致，於是鼓其餘勇，接續推測此新行星之軌道，然卒因能力有限，未能有何結果。

繼勒氏而起者有法之加朗 Gaillot及丹麥之勞 Lau二氏，渠二人由天王星自發現以來繞太陽二週有半其中所起之不規則行動，以推算此新行星之位置；加氏算得在距離四十四及六十六天文單位之處有此新行星，而勞氏則算得在距離46.5及71.8之處有此新行星。法之佛蘭明 Flammaian研究一八六二年之第三彗星突入太陽系及同年八月十日之流星之現象，謂皆係受一新行星之作用所致，渠並算

得此新行星當居距離 48 天文單位之處，結果雖與實際頗為近似，但此新行星之本體，固未有發現也。

美國天文學家羅埃爾，建天文臺於美之阿里叢省 Arizon 夫勒格 Fragstaff 地方，於研究火星之餘，從事於新行星之探求。一九一五年斯達夫 渠於其新行星之推測一文中預示此新行星之位置（見 Memoirs of the Lowell Observatory 1, no. I, 1915）；但不幸天不假以餘年，羅氏 竟於一九一六年長辭人世，此新行星者，終未得以一見。

天文學家彼刻林 研究天王星除受海王星攝動而外，更參考 1909 年所得之天王星之照片，及一九一五年羅埃爾 所預示之新行星之位置，以六十英寸口徑之迴光鏡，廣索黃道一度半內之天空，未有所獲。然若此新行星在黃道一度半之內者，則在一九二零年已為彼氏 所發現矣。

行星距太陽愈遠，則計算其位置愈屬繁複，故雖探求者輩出，然歷時數十年，終未有所獲。羅埃爾 氏私人建築天文臺，對新行星之探求雖畢生未有結果，但事有幸者，一九三〇年一月湯保 即在羅埃爾 天文臺發現此多年未決之新行星，羅氏 有靈，亦當含笑於九泉矣！今請略述此新行星發現之經過焉。

湯保 者，一年方二十四歲之青年，美國堪薩斯省 Kansas 之農家子也，幼為牧童，近年以來服務於羅埃爾 天文臺，專司望遠鏡攝影工作，於是每日在黃道附近依羅埃爾 所預言新行星之位置，從事探求，忽於一九三〇年一月二十一日所攝之照相底片上，發現在黃道雙子座 δ 星之西，即吾國二十八宿之畢，觜，鬼 三宿之間，有未經前人發現之新星，當時疑為彗星；然繼續觀察歷七星期之久，其經度一如羅氏 所

預告，始知爲一行星，是年三月三日爲羅氏七十五週年紀念日，即天

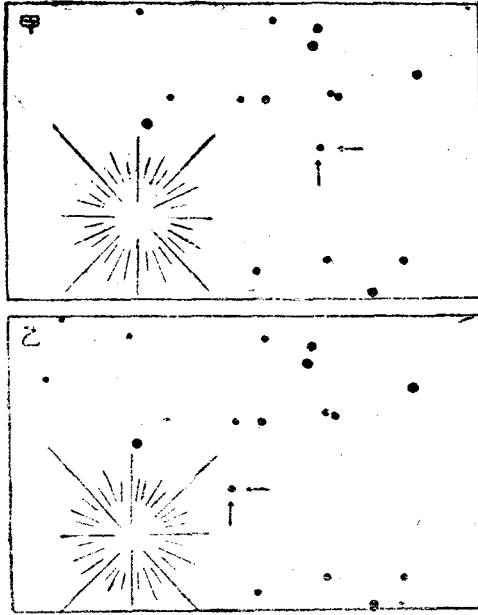


圖 39

王星發現之一百四十九週年紀念日，羅埃爾天文臺臺長施里發報告其結果於哈佛大學天文臺 Harvard Observatory，同年五月十三日施氏並以冥王星之定名電告全世界（圖39甲、乙分別示）。一九三〇年三月二日與五日所攝雙子座 δ 星鄰近之天空。箭頭所示之星在三日內移動位置，足見其爲一行星。

自冥王星發現之消

息傳出後，天文學家發起觀察，並計算其軌道，得知在一九一九年十二月二十七、二十八及二十九三日，哈馬孫 Humason 曾攝得其照片，第當時未曾注意耳。又羅斯 Ross 在頁基斯天文臺研究一九二一年巴那德與一九二七年渠所得之照片，皆有冥王星之鴻爪可見。

天文學家根據一九三〇年三月及五月威爾遜山天文臺所觀察之結果與同年一月冥王星發現時之位置，及一九一九年哈馬孫之報告計算冥王星之軌道原素報告於哈佛大學天文臺；尼科爾松及麥蓋爾 Magall 由冥王星對木，土，天王，海王四大行星所生之攝動，及

由一九三〇年春秋二季，及一九一九年，一九二一年，一九二七年歷

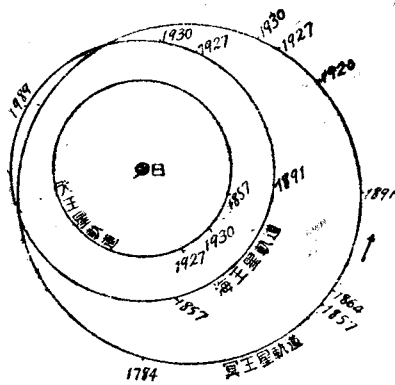


圖 40

年所測之結果，求得冥王星之公轉週期為247.6968年，與太陽之平均距離為39.45743天文單位。軌道之離心率為0.24852，最近過日點之時期為一九八九年十一月六日二十三時三十一分十六秒（美國時）（圖40）。波兒瓦 Bolvor, 惠普爾 Whipple, 及薩加 Zagar諸氏所得之值亦皆與此

相同。

冥王星之質量可由其對海王星之攝動以計算之。一九三〇年查克孫 Jakson作海王星之軌道 The Orbit of Neptune一文（見Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 90, 728），謂冥王星之質量為地球之 0.94 ± 0.25 倍。

由照片所示，冥王星為十五等至十六等之星，而由直接觀察所得約為十四等至十四等半之星，肉眼絕對不能見，而藉大望遠鏡之力，亦須於天朗氣清時始得以見之。天文學家曾謂吾人所見冥王星之光猶見四百三十英里外之一燭光。又里克天文臺之曼實 Meuze謂一人在紐約高屋之頂，手執一磚反射太陽之光，而居西部加利福尼亞之里克天文臺觀之，其光與冥王星相等，其暗淡亦可想見矣。冥王星之視徑為 $0.5''$ ，其真直徑約為一萬九千英里，約居天王星與地球之中。冥王星體積之小，為近代太陽系進化論者之所期望，後當評論

之。

假設冥王星之密度與地球相等，而反照率如月球，及由觀察所得爲十四等星，則冥王星之質量僅當地球之質量之三分之二。若冥王星之質量在地球之質量之三分之二以上，則其密度將較任何行星爲大也。

居冥王星以觀太陽，則太陽之視徑僅足在地球上所見者三十分之一，其所得太陽之光熱，渺乎其微。由此以推，冥王星表面溫度當居攝氏寒暑表零下二百二十度以下。

冥王星之衛星現尙未曾有所發現；然以今日望遠鏡之設備，對冥王星之衛星尙不能以觀測也。

第七章 小行星

天文學家考諸行星與太陽之距離，其中有一種奇特之關係；即每行星與太陽距離之二倍幾等於外一行星與太陽之距離：例如地球與太陽距離之二倍約等於火星與太陽之距離。但火星與太陽距離之三倍半始等於木星與太陽之距離，其中相差將近一倍。又依善得定律而推算，則2.8距離處應有一新行星。時迄十九世紀初期，乃發現在2.8距離處有細小之行星羣，亦公轉於太陽之周圍，天文學家名之曰小行星minor planets(或planetoid)，赫舍爾謂之asteroids。天文界自善得定律出後，火星與木星間另有新行星之學說，日盛一日。一八〇〇年德國天文學家組織團體，專事搜尋。但在一八〇一年正月一日，即十九世紀之第一日，意大利天文學家彼阿齊在巴勒摩 Palermo 發現一特殊之第七等星，次晚即測得其有行動，直徑為地球直徑十六分之一，於是名之曰穀神星Ceres。彼氏觀察達八星期之久，此新行星至上合點，不能為其所見；當時交通不便，穀神星之發現消息未達德國，而德之哲學家黑格爾 Hegel 發表由哲學方面證明不能有新行星之存在，并譏德國觀察團之愚笨，迄彼阿齊發現穀神星之消息至後，始自知其失言。以後高斯 Gauss 以其所發明之方法而計算穀神星之軌道與距離，得知其為居火星與木星之間。據薩趣 Zach 報告，謂在是年十二月三十一日此穀神星重為所見。

一八〇二年三月二十八日俄爾柏斯 Olbers 當窺探穀神星之際，在黃道室女座 Virgo 附近，即吾國黃道二十八宿中之角宿，發現第二小行星，光度與距離皆與穀神星相等，於是名之曰智神星 Pallas。一八〇四年九月二日，哈爾丁 Harding 發現第三小行星曰婚神星 Juno。一八〇七年三月二十九日俄爾柏斯再發現第四小行星曰竈神星 Vesta，此為小行星中之最大而且最光者；當其近地球時，雖肉眼亦可得見。此後直至一八四四年未有發現。一八四五年德國亨開 Hencke 窮十五年之精力又得一小行星曰義神星 Astraea (同 Astrea)。一八四六年即海王星發現之一年，並無小行星發現。一八四七年又發現小行星三顆，此後不至一年，而發現達一百餘顆之多。

昔日之天文學家窺求小行星，皆由望遠鏡窺測黃道附近之星球之位置與星圖相較，然後察其是否有移位，決定其是否為行星，故工作極其困難。迄一八九一年佛爾夫乃改用照相之法，即裝照相機於望遠鏡上，鏡之西轉速率與恆星西沒之速率相等，經長時間之露光，則恆星為不移位，其在乾片上所顯之影為一點，至於行星則隨時移位，而在乾片上顯留一短直線；故如乾片上有直徑可見，即為新行星之存在。用此照相法，事半功倍也。自照相法發明後，有天文學家四人，仍以舊法各發現小行星二十餘顆，而巴里塞 Palisa 發現八十三顆，培忒斯 Peters 發現五十二顆，盧忒 Luther 發現二十四顆，窩宗 發現二十二顆，却路哀 Charlois 發現一百餘顆，皆應用新法者也。至一九〇七年綜計所發現之小行星達六百三十五顆，而在今日則已得一千餘顆矣。

前此小行星之發現，皆以希臘羅馬之神名名之。但日後小行星

之發現日多，神名不敷應用，則改以數字代之。例如穀神星爲最初發現之小行星，代以 1，智神星代以 2 等。

小行星之軌道雖居火星與木星之間，但彼此相差極大。亨伽利亞星 Hungaria 434 與太陽之距離爲最近，平均約 180,000,000 英里，週期爲二年又九月。圖爾星 Tbulle 279 與太陽之距離爲最遠，平均 400,000,000 英里，週期爲八年三百十三日。據斯維次特勒普 Svedstrup 之計算，小行星之平均距離爲 246,000,000 英里，而其平均週期爲四年四個月。

小行星與黃道之交角，平均約八度；但智神星之交角爲三十五度，攸夫羅西尼星 Euphrosyne 31 爲二十六度有半。而軌道離心率亦彼此不同，愛斯蘭星 Aethra 132 爲 0.38，其他亦有爲 0.3 者。

小行星之視直徑過小，不能以量微表而測量，惟能以其光能而計算之。彼刻林以照相法而假定其反照率與火星相同，求得竈神星之直徑爲 319 英里。在一八九四年與一八九五年間，巴那德藉里克天文臺望遠鏡之力，以量微表量得穀神星之直徑爲 485 英里，智神星之直徑爲 304 英里，婚神星之直徑爲 118 英里，竈神星爲 243 英里。綜計直徑大於一百英里者爲數無幾，而小於五英里者亦有之。

小行星之質量，分別研究殊非易事。其平均質量約等於地球外殼之質量或火星之質量。假定如此，則穀神星之質量爲地球之質量之五千八百分之一，於是其重力不過爲地球之重力之二十二分之一耳。若一物自其表面外擲，每秒之加速率爲二千五百英尺，約等於來福鎗子彈之速率者，則此物體永不能復回。勒未利埃計算小行星質量之總和爲地球之質量四分之一，而一八九六年黑文南 Havene 則

謂其總質量不過地球一百十五分之一。但就近日所知者，小行星之總質量不過地球之質量千分之一耳。

關於小行星之成因學說有二：其一主張小行星乃一顆大行星崩裂而成；假定此學說為真確，則小行星之軌道應有相交之處，此相交之處，即為原星崩裂之點。但小行星近者與太陽之距離不及遠者之半，而且軌道多不相交，此與事實為衝突。其他為根據星雲學說，謂太陽系原為一星雲，而星雲中小行星帶內之物質，或因木星之攝動或因物質之性質特別，未能攝為一團而成小行星。究竟如何，現尚不可得而知也。

一八九八年八月維特 Witt 在柏林由照相法發現一運動極速之小行星，名曰愛神星 Eros 433，昌德勒 Chandler 由哈佛大學天文台一八九三年，一八九四年及一八九六年所攝之照片，得知其軌道之形狀為近日點與地球軌道接近，而遠日點則居火星軌道之外（圖41）：其與太陽之平均距離為 135,480,000 英里，公轉週期為六百四十三日，軌道之離心率為 0.223，故在遠日點之距離為 165,670,000 英里，在近日點之距離為 105,290,000 英里。一九三一年與地球最為接近，相距約 13,500,000 英里。軌道與黃道之交角為十一度，故不能與火星相遇。其直徑約二十英里，故惟當與地球最接近時，始可由肉眼以觀察之。

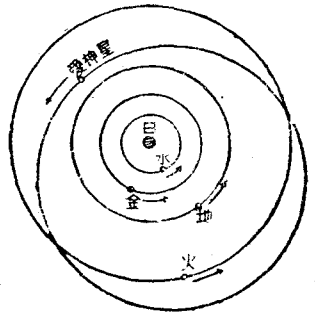


圖 41

愛神星有一奇特之現象，即自一九〇一年二月後，天文學家每

見其星光有變動，但爲期甚暫，變動頗具週期性。其後發現其他小行星亦有同樣之情形，此殆各小行星自轉所生之現象；再因小行星多有不爲球形者，故其反射太陽之光，不能一定。

第八章 彗星

太陽系中諸天體，不僅行星與衛星而已，流星與彗星環行於太陽之周圍者，亦屬焉。彗星爲形似星雲狀之天體，後隨長尾，大者雖在白晝，亦可得見。其記載甚早，史多可考；此蓋古人重視彗星，以爲其出現乃不祥之兆也。在十七世紀望遠鏡未發明之前，綜計世界各國關於彗星之記載，達四百以上；迄望遠鏡發明後，彗星出現，爲數仍多，不過光明者較少耳。據紐科姆之統計，自一五〇〇年以至一八〇〇年，彗星可以肉眼而見者，爲數七十有九。哈姆普爾特Humboldt則謂在此三百年中，光明者四十有三。自一九二一年至一九三〇年，十年間發現大小之彗星共五十八顆，綜計在望遠鏡發明後，所發現之彗星亦達四百顆之多。

第一節 彗星之運動與軌道

哲學家亞理斯多德Aristotle以爲彗星乃爲地球之汽，浮遊於空氣之上層。一五七七年提科布拉等居歐洲三不同之位置同時觀測彗星，始知彗星距離乃在月球軌道之外。開普勒以爲彗星之軌道爲一直線，而在天空飄游無定，“猶魚之在海”。百年以後，黑腓林斯Hevelius則主彗星之軌道爲拋物線，其徒多安腓爾Doerfel由一六八一

年之彗星運動狀況，以證明其師之說成立。然至牛頓發明由觀察以求彗星軌道之法出後，彗星之軌道及形狀始得以大白。

彗星之軌道爲圓錐曲線，此可由三次窺測其經緯而計算之。但此法困難之處有二：其一爲彗星不似其他行星之爲固體，難能定其重心之所在；其他則爲彗星之軌道極大，吾人所窺測之時間乃彗星在其軌道上進行一小弧，由小弧以推算全軌道之形式，殊難準確。迄拉姆伯特 Lambert，拉普拉斯，高斯與最近天文學家應用改良之法出後，彗星之軌道始得以準確測定焉。至一九二六年止，彗星軌道已經測定者，爲數達四百二十八顆。其中軌道爲拋物線者約居百分之七十七，軌道爲橢圓者約居百分之十三，餘則軌道爲雙曲線。由圓錐曲線論之研究，得知圓錐曲線離心率大於一者爲雙曲線，等於一者爲拋物線，小於一者爲橢圓；故離心率等於一或大於一之彗星，將一去而永不復返，而離心率少於一之彗星，來去則有一定之週期。

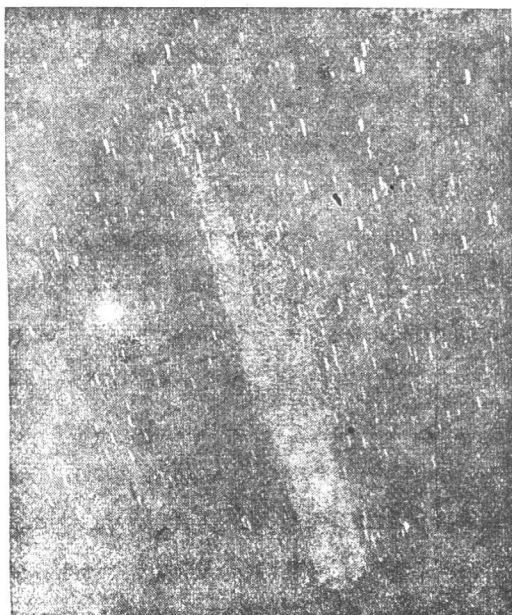
公轉之週期自三年以至八年之彗星，其軌道之近日點深入地球軌道之內，而遠日點則遠達木星軌道之左右。至於週期爲七十五年之彗星，其軌道之遠日點當居海王星之附近。週期爲三十五年之彗星，軌道之遠日點當與天王星接近。彗星近日點最近者，距太陽不過數千萬英里，經太陽之冠層而過之。計入水星軌道之內者有三十五顆，入地球軌道之內而得見者約爲全數四分之三，其餘之近日點則皆深入木星軌道之內；此不過就可見者而言，至其不可見者，爲數之多，自不待言。

彗星軌道與黃道之交角自零度以至九十度不等，故彗星不似行星僅見於黃道之周圍；雖在兩極附近，亦有其踪跡，但其升點則皆在

黃道之周圍也。週期在百年以內之彗星，除哈利彗星 Halley's Comet (圖42示哈利彗星，1910年5月29日頁基斯天文台巴那德攝)與雷俄尼特隕石 Leonid Meteors 外，其運動之方向皆與行星相同；但其餘無週期之彗星，逆行者殊多。

第二節 彗星之形狀大小與質量

彗星之形狀雖各不同，但其組織可分三部，即彗髮 coma of the comet, 彗核 nucleus of the comet, 與彗尾 tail of the comet 是也。



彗星之首部曰彗髮，彗髮為彗星之主體，大者視徑如月球，光芒四射，為星雲狀之組織，形狀大多為圓形，而亦有為橢圓形者。彗髮近太陽時則縮，

圖 42

遠太陽時則漲，其直徑之變遷有自一萬英里以至一百萬英里者；故其體積最小與最大時之比略等於一與十萬之比。此在一六一八年大彗星出現時，開普勒最先注意之。其原因不可得而知；但據赫舍爾之解釋，謂彗髮近太陽而縮，乃彗髮近太陽遇熱體漲；外殼稀薄，太陽光得以透過，故居地球上視之，其體縮小，實則為漲大也。

彗髮之中心有核，光明如辰星，此曰彗核。彗星無彗核者亦有之，而亦有在同一彗星之中，彗核之數居二個以上者。彗核之變遷亦常無一定，普通可見彗星之彗核，直徑最小不過一百英里，最大可達六千至八千餘英里。一八一一年之彗星據赫舍爾之計算，核之直徑達四百三十九英里，而彗髮之直徑達五十萬英里，約二倍於月球與地球之距離。

光明之彗星背太陽之部有極長之尾，如煤煙之隨火車而行，此曰彗尾。當彗星向太陽進行時，其尾之形狀亦變化無常。

彗尾之體積之大更無倫比。大尾前部寬自數千以至數萬英里，後部寬自數萬以至數十萬英里。最長之彗尾，有過萬萬英里者；故彗尾之體積超過太陽與行星體積之總和者千萬倍。彗星與太陽愈為接近，尾長愈增，故彗尾之加長乃與彗髮適成相反也。

彗星體積之大既如此，但其質量則極小；此可由彗星被行星攝動而改變其軌道，而行星及其衛星絕不因彗星之攝動而受影響以證明之。例如一八八六年有彗星經木星諸衛星軌道之內而過，彗星受木星及其衛星之攝動，改變其週期二十七年為七年，而諸衛星之週期則無少改。又如一七七〇年之雷克塞爾彗星 Lexell's Comet 與俾拉彗星 Biela's Comet，當其行近地球時為地球攝動而改變其週期，

但地球上之年月並未增加一秒。故天文學家有謂彗星之物質苟聚集為一團，則可容於一小箱之中；此雖言之太過，但彗星之質量無論如何當在地球質量百萬分之一也。

彗星之質量既屬昧知，則其密度亦因之而不可得以計算。假定一彗星之直徑為四萬英里，而質量為地球之二十五萬分之一，則彗星之密度當為地面空氣密度之九千分之一。但彗核之密度必比此平均數為大，而外部必更稀；於是彗尾密度之稀，較實驗室中之真空管恐又過之。科學家考天空小星為直徑達十萬英里之大彗髮所蔽時，

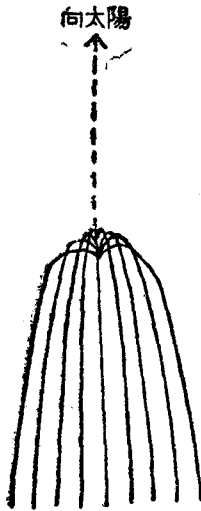


圖 43

小星仍得以見，彗髮密度之稀，於此亦可想見矣。讀者注意：彗星密度之稀薄既如此，但此乃就平均而言，至組成彗核之物質之密度未必如此；彗核或為固體之微點，而此微點之大小亦未能一定，或達直徑數尺，或竟細如塵點者。

彗尾之成因為彗核之物質外射，此外射之物質似對太陽有相拒之力，乃反而成尾形（如圖43所示）。據培塞爾·諾爾吞 Norton，與近代天文學家之研究，彗尾之物質與彗核及太陽皆有相拒之性質，故既由核外射，復反而為尾。而巴那德曾計其相拒之力之大小。一八一二年俄爾柏斯則謂相拒之作用，乃為彗尾含電行致。彗星之含電約有二種之解釋：其一，彗星所含之電與核中所含者相同，而與太陽所含者相反，於是成尾之物質與太陽相吸，脫離彗核而出，但其所含之電不若太陽所含者之強，乃復為太陽所感化而成與太陽相同之電，故

終復與太陽相拒，反而成尾；其他則為彗尾與太陽及彗核所含之電皆為相反，故成尾之物質為彗核拒出後，復為太陽拒回而成尾。彗尾與太陽既有相拒之力，而不致使彗星永離太陽而去者，又何故歟？此不可不加以解釋者。我人當知電力之相拒乃限於外部之微點，而吸力之作用為及於全體之物質。試就一微點而言，其受電力之相拒當大於受吸力之吸引，故微點後退成尾；但就全體而言則不然，蓋電力之相拒不能及於中心之物質，故彗星不至永離太陽而去也；彗星所受太陽之吸力，大於其與太陽相拒之電力者實多。俄氏此說，時在今日，似僅有歷史之價值。

自馬克斯韋爾創光之電磁學說 electromagnetic theory of light 後，得知光線之對物體，亦有其壓力。科學家考物體之大者，受光壓力不能覺察；但細小之塵點，其直徑居一萬分之一英寸之左右者，其受光之壓力或較受吸力為大。雷培杜 Lebedew, 尼科爾斯 Nichols, 與赫爾 Hull 對此問題，曾有相當之研究；其結果證明事實與理論相合。彗星之物質乃為直徑五萬分之一英寸之塵點而組成，此種塵點受太陽光之壓力較受太陽之吸力為大，自不待言，故背太陽以去而成尾。什發茲喜爾特 Schwarzschild 與尼科爾松以為彗尾塵點之大小若與光之波長相等，則太陽光之波浪足以造成彗尾而有餘。由此得知彗核中之固體時相摩擦而成塵點，再受太陽光之力驅而成尾，彗尾之成因，其在斯乎？

彗尾之形狀可分為三類：其一為直線狀，此為相拒之力約十二以至十五倍於吸力而成，而塵點離彗核之速率每秒達四五英里之上；其二即常見散髮狀之尾，如多那提彗星 Donati's Comet 之主尾，

其相拒之力約二倍半於吸力；其三爲粗曲而大之尾，相拒之力僅大於吸力十分之一或一倍。據天文學家布累提欽Bredichin之研究，第一類之尾爲由氫所成，第二類之尾爲由碳所成，而第三類之尾則爲碳氫所合成，研究彗星光譜之結果，亦與此相合。

彗核之質量甚小，其對彗尾之物質之引力，有鞭長莫及之概；故當彗星重見時，其尾每不能如第一次之光明，此乃其一部分之尾質遺棄於太空也。又當彗星行近太陽時，太陽對彗星有生潮之力，使彗星向太陽與背太陽二部之物質被吸出而消散。例如一八八二年之大彗星，與太陽最近時相距僅三十萬英里，受太陽吸潮力之影響，其核裂而爲五；又見小彗星七八，與大彗星相並離太陽以去。當彗星行近行星時，亦受同樣之作用。此外流星或流星羣與彗星相遇，亦有使彗星消散之虞也。

第三節 彗星之光

彗星之光度，明暗不等，有在白晝可見，而亦有須藉望遠鏡之力而始能見之者。彗星之來源，論者紛紜，主反射太陽之光者與主能自行發光者，各有其人。但彗星距太陽愈遠，其光愈暗，以至不可見，此非其視徑過小，乃因其距離過遠，光線過暗也。又彗星之視光度不合於光線反射定律，而時有變動，在數小時之內可大至七八倍，忽而又暗，猶電光之變遷。故彗光之來源究屬如何？雖在今日，尙不得而知也。

大部分彗星之光譜爲連續光帶，此爲其反射太陽之光所成；但

殊暗淡，難以漸見。彗星之光譜與其與太陽之距離而有改變。當彗星在近太陽時，其光譜中列有鈉、氫、鐵等元素之輝線，此因彗星與太陽接近，其所含之元素呈特別之活動所致。當彗星在近日點之附近，其光譜中亦有夫牢因和斐線 Fraunhofer's lines，此乃因其反射太陽之光，可以無疑。當彗星遠離太陽時，其光譜中顯有各種碳氫化合物之輝線，有時更益以氫光。但吾人在實驗室中碳氫化合物之光譜中有五明帶，而彗星中為僅有三明帶，一在黃，一在綠，一在藍，此三明帶何以呈特殊之明顯？迄今尚不知其故。天文學家有謂吾人所見彗星之光不為彗星之本身所發，而為其映射空間之稀薄物質而生者，但亦難能徵信也。

一八八二年之韋爾斯彗星 Welles' Comet，當其近太陽時，光譜中除碳氫化合物外，尚有金屬之輝線如鈉與鎂等，而在彗核之光譜中有夫牢因和斐輝線，此乃有鐵之徵也。其他諸線，以不能作長時間之觀察，難以決定。一八九二年之荷姆斯彗星 Holmes' Comet，僅顯連續光譜而無其他之明暗各線。哈塞爾柏格 Haselberg 研究十八個彗星之光帶，得知其中二個有末明外，其餘十六個皆為相同，即為碳氫化合物之光譜，而其所以略異者，乃因光線過弱所致。據最近研究彗星光譜之結果，得知其性質極為複雜，除碳氫化合物，氫及反射太陽光而外，尚有因其他物質而起者也。

第四節 彗星羣與彗星族

一八六五年胡克發現一羣彗星，依同一之軌道，彼此相隨以經

太陽之附近，此後逐年發現此種成羣之彗星，為數極多；天文學家名之曰彗星羣cometary group。其最著者為一六六八年，一八四二年，一八八〇年，一八八二年之彗星成羣，不僅其軌道相近，而其位置與運動之方向，亦皆類似，但非為同一之彗星，可以斷言也。此諸彗星之軌道之遠日點六倍於海王星之距離，週期約自六百以至八百年，故約由天狼星Sirius而來，其在近日點之速率每秒達四百英里，彗尾皆光明而美麗，長達萬萬英里之上。此或為往昔之一大彗星行近太陽時，受太陽引力之影響分散而成也。

彗星軌道之遠日點有在行星之附近者，合此類之彗星曰行星屬之彗星族family of comets。週期在三年以至七十年之彗星，其軌道之遠日點，昇點，降點，皆與行星相近，盡為屬於行星族之彗星。計木星族之彗星四十有二，週期在三年至八年；土星族之彗星三，其週期約為十二年至十八年；天王星族之彗星二，週期約在三十年左右；海王星族之彗星八，週期約為六十年至七十年。據彼刻林之研究，距海王星數倍之處，有彗星數族，此或居距海王星數倍之處，尚有未發現之行星也。茲將曾經出現二次以上之彗星列表（錄自宇宙壯觀）如下：

族別	彗 星 名	週 期 年 日	近日 離 天文 單 位	距遠日點 天文離 單 位	離心率	交 角	最近過近日點 年月日(英京)	已回 次數
木	恩開 Encke	3 109.1	0.33	4.094	0.847	12°35'	1934 10 31	38
	格利-斯開哲勒盧普 Grigg-Skjelle up	4 280.9	0.593	4.936	0.694	17° 29'	1922 5 15	2
	泰姆培爾 II Tempel II	5 63.2	1.323	4.950	0.573	12° 45'	1925 8 7	8

那明 Neujmin	5	153.4	1.339	4.827	0.56	10	371927	1	15	2
布羅孫 I Brosen I	5	166.4	0.583	5.610	0.810	29	241830	2	24	5
泰姆培爾-斯威夫特 TempeL-Swift	5	248.6	1.153	5.214	0.638	5	271914	7	21	4
維內刻 Wiunecke	5	325.8	0.973	5.552	0.702	18	171921	6	12	10
斯威夫特 De Vico F. Swift	6	146.0	0.670	5.225	0.516	3	351901	2	13	3
格利亞庫彼耐 Griacobini	6	186.2	0.976	5.997	0.720	30	441926	12	11	3
泰姆培爾 I TempeI	6	196.5	2.091	4.902	0.402	10	471898	10	4	3
達累斯特 D' Arrest	6	497.9	1.270	5.725	0.637	15	471923	9	15	3
科夫 Kopff	6	213.1	1.706	5.318	0.514	8	421926	1	27	3
培賴恩 Pertine	6	219.2	1.198	5.760	0.660	15	431922	12	25	2
芬雷 Finlay	6	242.3	1.007	6.075	0.715	3	231926	8	7	5
俾拉 Biela	6	253.0	0.879	6.223	0.752	12	221852	9	23	6
荷姆斯 Holmes	6	313.0	2.122	5.097	0.412	20	491906	3	14	3
菩累利 Borrelly	6	239.6	1.403	5.837	0.614	30	241925	10	7	4
布盧克斯 Brooks	7	38.4	1.963	5.429	0.469	6	41925	11	2	5
腓 Faye	7	160.1	1.666	5.566	2.536	10	31925	8	7	10

星

族	紹馬塞 Schaumasse	8 27.0	1,170	6.870	0.709	14 22	1919 10 2	2
	佛耐夫 Wof	8 102.9	2,434	5.594	0.405	27 18	1925 11 8	6
	科馬斯索拉 Comas Sola	3 188.5	1,773	6.568	0.575	13 46	1927 3 22	2
土星族	塔特爾 Tuttle	13 182	1,028	9.542	0.816	55 0	1923 4 28	7
天王星族	泰姆培爾 Tempel	33 71	0,977	19.595	0.905	162 42	1866 1 11	2
海王族	韋斯特法爾 Westphal	61 44	1,254	29.771	0.920	40 52	1913 11 26	2
	蓬-普累利 Fons-Brooks	69 229	0,485	34.016	0.971	19 12	1919 10 11	2
	布羅孫 II Brosen II	71 205	0,776	33.698	0.955	74 3	1884 1 25	2
星族	俄爾柏斯 Oilers	72 237	1,199	33.823	0.921	44 34	1887 10 8	2
	哈利 Hailey	76 7	0,587	35.303	0.967	162 15	19.0 4 20	29

第五節 彗星之來源

彗星之來源，學說衆多，而最足研究者爲拉普拉斯之俘獲論 Capture Theory。彗星自無窮遠以入太陽系，其軌道原爲拋物線，但一進太陽系後，受行星攝力之影響，則其運動之速率苟不增加，即行減小；速率增加，則軌道爲雙曲線，速率減少，則軌道爲橢圓。後者成爲有週期之運行，而爲行星所吸引，以成行星之俘獲品。木星之質量居行星之中爲最大，故爲木星所吸引而成爲木星族之彗星爲最多。

但木星對此自無窮遠而來之彗星，使其軌道變為極少之橢圓，乃非一朝一夕之事，而為經過久長之時間也。然彗星為行星所俘獲後，仍圍繞太陽而公轉，並不因行星之攝引而即變為行星之衛星，此又為不可解者；但彗星或有特殊之性質，非行星之吸力所能統御而使為其衛星者，亦未可知也。

彗星之軌道除為行星族者外，鮮有為橢圓者，其來源當較海王星尤遠數倍，飄游於太空，來往無定，其經過太陽系者，亦不過偶然而已。例如一八八二年之大彗星，乃自天狼座而來，亦自天狼星而去。天狼星為天體中距太陽較近之恆星，乃彗星自天狼星來太陽系一次，需時一萬四千年。假定所自來之空間位置較天狼星尤遠四倍者，則歷時須加多八倍。

彗星所自來之空間之遠既如此，然其必有產生之方法，拉氏之俘獲論，未及此也。普羅克忒 Proctor 以為彗星之產生，乃為天體噴吐而成，即所謂噴吐論 Ejection Theory 者是也。渠謂行星族彗星乃為行星最熱時所噴吐而成，其他軌道為拋物線之彗星乃為太陽或其他恆星所噴吐。但噴吐論亦有不能自完其說者，即彗星之光帶不完全與太陽相同，可見彗星乃非源自太陽。至於行星之產生彗星，亦非事實之可能，蓋行星焉能有此噴吐之力，而使彗星永離母體而去，不能復返？例如木星族之彗星為木星所噴吐，則在噴吐之時，分離之速率當居每秒三十五英里之上，始能脫離木星而去；此種噴吐之力，自何而來？其或受其他天體之吸潮力所支配歟？

第六節 歷史上大彗星

彗星之歷史上記載，次數甚多。其最著者，首推哈利彗星（圖42），恩開彗星，俾拉彗星，布盧克斯彗星，此皆有定期之彗星也。而一八一一年之大彗星，一八八二年之大彗星，一八九二年之大彗星，摩累豪施彗星 Morehouse's Comet, 得拉文彗星 Delavan's Comet, 乃無定期彗星中之最著者也。

哈利彗星為歷史上最著名之彗星，一六八二年哈利藉阿彼安 Apian與夫拉卡斯托 Fracastor 前此之測定，以牛頓所創之方法而推算其軌道，故即以其名名之。哈利所得之結果與一五三一年，一六〇七年之彗星同軌道，故知此三年所見者即為同一之彗星，其回歸之週期為七十六年。當時哈利曾推得在一七五九年三月十三日，此彗星當可重見。其後距推測之時期不足一月，而此彗星竟又歸來，但不幸哈利已不在人世矣！

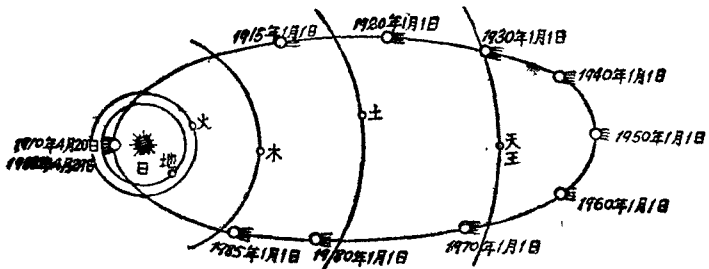


圖 44

哈利彗星出現之記載，以吾國最為詳盡，始自春秋魯文公十四年，即公元紀元前六一一年，是年秋七月有星孛入於北斗，此即哈利

彗星。惟據科韋爾 Cowell 與克羅密林 Crommelin 之研究，關於哈利彗星之記載，以自紀元前二四〇年，即秦始皇七年始之記載為可靠。計自秦始皇七年以至清宣統二年（一九一〇年），哈利彗星共出現二十九次。一九一〇年重見時，於五月十八日經過近日點，與地球之距離最為接近，約一千五百萬英里，其尾之長達三千七百萬英里，故地球已入其尾之內，但地球上之生物並未受其損害，此亦足以證明彗尾密度之稀矣。（圖44）示自一九一〇年至一九八六年（民國七十五年）間，哈利彗星在軌道上之位置。今日之哈利彗星當居天王星軌道之外，而最近一次之重見，當在一九八六年。至其通過近日點之日期，依科韋爾與克羅密林之計算謂在二月間，而摩爾吞則謂在四月二十九日，圖44乃為根據摩氏之推測者；究竟孰是孰非，則有待於將來之考證也。

恩開彗星為木星族中最初發現之彗星，亦週期最短之彗星也。恩開 Encke 求得其週期為三年四月，在昔日每公轉一周恆減短二時有半，迄一八六九年，每周減短一小時又十五分，自此以後以至二十世紀，似又不減者。關於恩開彗星最初之記載為一七八六年一月十七日之出現，至一九三一年已出現三十八次，出現期間少則三日，多則歷一百五十四日。其體積之變化亦甚大，一八二八年出現時，十月二十八日與太陽之距離為 135,000,000 英里，直徑為 312,000 英里，而在是年十二月二十四日與太陽之距離為 50,000,000 英里，直徑減為 14,000 英里。據布蘭科 Blencoe 之研究，恩開彗星之週期與木星、土星之週期有密切之關係；其軌道之變動為受木星之攝動最大，受土星之攝動次之。考恩開彗星週期之十八倍為 59.472 年，而木星

週期之五倍爲59,311年，土與週期之二倍爲58,915年；是以恩開彗星每回歸十八次，回反其與木星土星之相關位置，故其爲木、土二星之攝動情形爲每十八年周而復始也。

俾拉彗星亦木星族中之一彗星，體積甚小，一八二六年俾拉 Biela初發見之；加姆巴特 Gambart乃計算其週期爲三年而有餘。當其距地球最近時不過數千英里，故當地球與其接近時，地球將經其彗髮而過。在一八三二年之與地球接近，天文學家預備從事測驗，但結果彗星已先一月而過相遇之點，以致其距離不能在15,000,000英里以內。其在一八三九年之行經近日點，因在天空位置之關係，未能爲吾人所見。一八四六年之十一月二十八日得以重見，但一至十二月十九日其彗核忽變長形，再經十日則裂而爲二，平行而進，相距約十六萬英里，如是者經四月之久。一八五二年八月之重見，二體相距一百五十萬英里，此後則不復返。事有更奇者，即在一八七二年之十一月二十七日，地球適經俾拉彗星之軌道時，忽有大流星羣發現，一八八五年與一八九二年之十一月，亦有同樣之情形。此流星羣現名爲仙女座流星羣 Andromedes，後當詳之。布盧克斯彗星亦木星族中之大彗星，每七年三十八日歸來一次。

一八一一年之大彗星出現，爲吾人所見者達十有七月之久；其光半爲自發，半爲反射，距太陽愈近，自發之光愈增。最大時尾長萬萬英里，寬一千五百萬英里，俄爾拍斯由此以創其彗尾爲電力相拒之說。

多那提彗星乃十九世紀最大彗星之一，尾分三枝，發現於一八五八年。在一百十二日以內，目力可見，以望遠鏡觀之，達九月之久。

尾長約54,000,000英里，週期爲二百年。軌道之遠日點五倍於天王星之距離而有餘。彗核直徑變化自五百英里以至三千英里。

一八八二年之大彗星爲是年九月三日奧克蘭Auckland所發現，天文學家科蒙Common與托倫等皆曾見之。其光極強，雖在白晝，亦可得見。近日點居太陽之冠層之內。最奇者，此彗星之頭部中有弱光一帶，不爲其他彗星所有，在此彗星之附近，另有斷片狀之光芒，左右相隨。

一八九二年之明彗星，其奇在尾，計在五六日之內，其尾分枝自二以至十二不等，而形式亦隨之而變。

摩累豪施彗星係一九〇八年摩累豪施於照片中發現者。其尾變化極速，據孚勒Fouler之研究，其中含有一氧化碳(CO)。

得拉文彗星在一九一四年出現，尾分二枝，其一略曲。

第九章 流星與宇宙塵

第一節 流星

細小之天體浮游於太空，爲數極多，是曰流星 meteors。流星無光，且體積甚小，不能爲我人所見；但其一入地球吸力範圍之內，卽向地面下落；當其自空氣層經過時，因進行之速率極大，乃摩擦發光，故我人所見之流星，實已入地球之空氣層之內也。

流星每日入地球之空氣層之內者，據紐頓 H. A. Newton 之計算，約自一千五百萬顆至二千五百萬顆。一人每小時平均得見七顆，但以小遠鏡窺之，則所見多至三百餘顆。而一日一年之中則又因時間而有不同。

流星入空氣層之方向，初無一定。其射進空氣層之點，須視地球公轉之速率及流星之速率而定。地球公轉運動，其向前之半球與流星相遇之機會較後半球爲多。蓋地球前進，在前半球之流星除因地心吸力所吸引者以外，另有所追獲也。在早晨時，我人所在之子午線爲向前，在黃昏時爲在後，故早晨所見之流星較黃昏爲多。而一年之中則以十一月十五日之前後二十四小時以內爲最多，其次則在十一月二十四日之前後，故十一月爲流星最活躍之期也。

流星發光處之高度可藉在地面二處同時觀察之仰角以計算之。

一七九八年布隆特斯 Brondes 與 本曾柏格 Benzenberg 在 革丁根 Göttingen 相隔數英里之處，同時觀察流星發光之點而計算其高度。其後得寧 Denning 及 俄利維埃 Olivier 等亦作同樣之觀察。結果得知普通所見之流星，其距離皆居一百英里之內，至其消滅點之高度，不過三十英里。其所經過空氣層之厚度約自五十至一百英里。在遠鏡中所見流星之高度有自一千至二千英里者。流星進行之速率，則因時間過短不能精確計算，惟能以自初見至消滅之時間除其所經之路程而求其近似值為每秒三十六英里耳。

流星之質量，大小不等，可由其所發之光而尋其近似值。據一八六〇年托姆松 Thomson 在 科彭黑根 Copenhagen 之考測，一隻標準燭光在一分鐘內所發之光等於二十八呎磅 footpounds 之能力，流星之光量可以光度計 photometer 量之而與標準星光相較，且已知流星之高度，則流星光可與標準燭光相比；由此一流星之能力可以呎磅表之。既知流星之能力，由公式

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

其質量不難測得。但一流星發光之能力，僅其全能力之一小部分，故以此法計算流星之質量，仍不能十分精確。據計算，一秒鐘內，流星落入地面之總質量達二萬公斤。

流星之光可以分光鏡析之以研究其所含之物質。但流星發光已與空氣起化學之變化。故其本體所含之物質，仍不克完全知曉。據天文學家彼刻林之研究，流星光譜中含有氫線。空科利 Konkoly 謂有鈉線。然此二線者或因空氣而生，亦未可知。不過流星中之多鐵，鎳，鈷，及鉻已為天文學家所公認。他如鎂，鈉，鈣，鈔，鈷，銻等元素，亦

所具有，特含量極少耳。

天文學家考流星之溫度當在數千度以上，此必因其與空氣相摩擦之故。物體運動，止之則動能變為熱能。由實驗知一千克重之物體下落四百二十五米所生之熱能將一仟克重之水升高攝氏一度。此所生之熱量謂之一卡路里（普通稱之為大卡路里，其千分之一謂之小卡路里）。因物體動能之大小與物體之質量及運動速率之平方之相乘積成正比。動能既能變為熱，則若設 Q 為熱量（以卡路里為單位）， m 為流星之質量， v 為流星之速率，則應有

$$Q \propto mv^2, \text{ 或 } Q = Cmv^2$$

在此欲求 C 之值，因墜體公式有 $v^2 = 2gs$ ，今如 Q 及 m 俱為單位值，依實驗之結果，物質須經過 425 公尺之距離，又因 $g = 9.8094$ ，故得 $C = 8338$ ；代入上式得 $Q = 1.8338mv^2$ ，故得公式 $Q = \frac{mv^2}{8338}$ 。

設流星之質量為一，而每秒之速率為二十五英里，或 40233 公尺，則 $Q = 194,134$ 卡路里。換言之，即一仟克重之流星落入地面所生之熱為十九萬四千一百三十四卡路里。流星自無窮遠以入太陽之面，每秒之速率為三百八十四英里。故一仟克重之流星落入太陽面所生之熱量為 45,815,624 卡路里，故其所生之熱量之大為二百三十六倍於落下地球之面者。

第二節 流星羣

流星有時為數特別增加，而其所進行之路，若向後延長，似皆交於一點者。此點曰射源 radiant point。據天文學家之計算 流星射

源之多達二百餘處。因射源之位置居天空之某星座，即以某星座之名名之，最著者如獅子座流星羣Leonids，其射源在獅子Le座；英仙座流星羣Perseids，其射源在英仙Perseus座；仙女座流星羣，其射源在仙女Andromeda座；雙子座流星羣Geminids，其射源在雙子座；天琴座流星羣Lyrids，其射源在天琴Lyra座。每在十一月十四至十九日

日間天空多流星，乃獅子座流星羣與地球相遇也。

十一月二十四日左右當亦有流星羣之發現，此乃屬於仙女座流星羣，至於英仙座流星羣，則見於八



圖 45

月初十也。圖45示流星羣之軌道及地球經過流星羣之情形。

地球與流星羣相遇，流星之所以發於同一射源者，蓋因流星進空氣層皆係平行方向，如圖46中 A_1B_1 、 A_2B_2 、 A_3B_3 等為諸流星所行

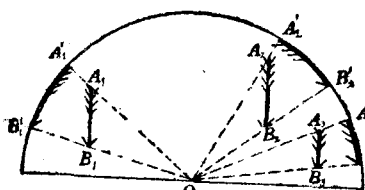


圖 46

之道，因我人在 O 處觀察，則所見流星之位置其為在天球上之射影，即為 $A'_1B'_1$ 、 $A'_2B'_2$ 、 $A'_3B'_3$ 等。若向後延長，則似交於一點；故我人所見

之流星羣似皆從一射源而出發者。茲將著名之流星羣列表如下頁：

天琴流星羣每年四月二十左右最為活躍。一八〇三年最盛後，至一九二三年始行復盛，其射源似有移動。關於天琴流星羣之記載，以紀元前六八七年為最早。一八〇三年之出現，居美國東部者皆能

名 稱	出現時期 月,日 月,日	最多時期 月 日	射		源 赤 緯 度
			赤時	經分	
方牆座流星羣 Quadrantids	12,28至 1, 9	1, 3	15	20	+5
御夫座流星羣 Auricids	2, 7至 2,23	2, 10	5	0	+1
天琴座流星羣 Igrids	4,16至 4,22	4, 21	18	4	+33
寶瓶座流星羣 η Aquarids	4,20至 5, 8	5, 4至3	22	32	-2
武仙座流星羣 Herculeids	5,13至 5,29	5, 24	13	36	+30
天蠍座流星羣 Scorpids	5 至 7	6, 4	16	48	-21
人馬座流星羣 Sagittids	6 至 7	7, 28	20	12	+24
摩羯座流星羣 Capricornids	7 至 8	7, 22	20	20	-12
寶瓶座流星羣 δ Aquarids	8,18至 8,12	7, 28至31	22	36	-11
英仙座流星羣 L, β Perseids	7, 至 8	8, 16	3	12	+43
英仙座流星羣 Perseids	7, 8至 8,25	8, 11至12	3	4	+57
天龍座流星羣 Draconis	8,18至 8,25	8, 23	19	24	+61
白羊座流星羣 Arietids	8, 至10,	9, 21	2	4	+19
	9, 至10,	10, 15	2	4	+9
英仙座流星羣 ϵ Perseids	8, 至 9,	9, 15	4	8	+35
獵戶座流星羣 Orionids	10, 9至10,29	10, 19	6	8	+15
大熊座流星羣 μ Ursids major	10, 至12,	11, 16至25	10	16	+41
金牛座流星羣 Taurids	11,	11, 21	4	12	+23
獅子座流星羣 Leonids	11, 9至11,29	11, 14至15	10	0	+23
仙女座流星羣 Andromedes	11,20至11,30	11, 20至23	1	40	+43
雙子座流星羣 Geminids	12, 1至12,14	12, 11	7	12	+33

見之。其週期尚不能確定(圖47)。

英仙流星羣軌道之近日點居地球軌道之內，而遠日點則遠在海

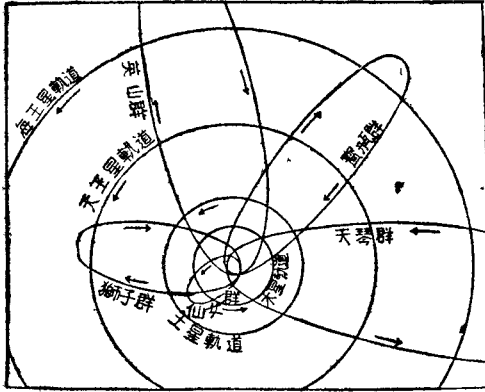


圖 47

王星軌道之外(圖47)。公轉太陽一週需時一百餘年。諸星平均分布於軌道之上，故每年可見。星帶極闊，地球須歷三十餘日始能出其範圍，其進行之方向為逆行。英仙流星羣之射源最初決定者為一八三七年美

國之舍斐 Schaeffer。此流星羣出現之數時有變更，自一九〇一年以來，個數似有遞減之勢，其原因不可得而知。

一八三三年在美國所見之流星羣，其射源在獅子座，是為獅子座流星羣(圖47)。其軌道平面與黃道相交成十七度之角，近日點與地球之軌道相交，遠日點則在天王星軌道之外。進行之方向為與行星相反。流星分布於軌道之上，長達二萬萬英里，全羣須歷數年之久始能通過近日點，故在接續二三年中皆可以得見。考此流星羣之週期約為三十三年，故一八六六年復見。但一八九九年則較弱，而在一八九八年至一九〇一年之中，流星之數較其他諸年為多。一九三二年與一八九九年相距適為三十三年，故又屆其活躍之期。當時天文家曾預告謂九十九年前之奇觀，或將復見於該日，惟及期出現之數，寥寥無幾。考獅子星座在天空之位置為赤經十度，赤北緯二十三度，

即我國昔日所謂軒轅星之位置。在我國東部沿海一帶軒轅星在夜午出地平面，早晨移向正南，故必仰首東望，始能觀其風儀。然所見星數極鮮者，殆此羣流星已呈衰落現象，或其軌道因攝動，而有變更；三十三年之週期，已失其信用矣。

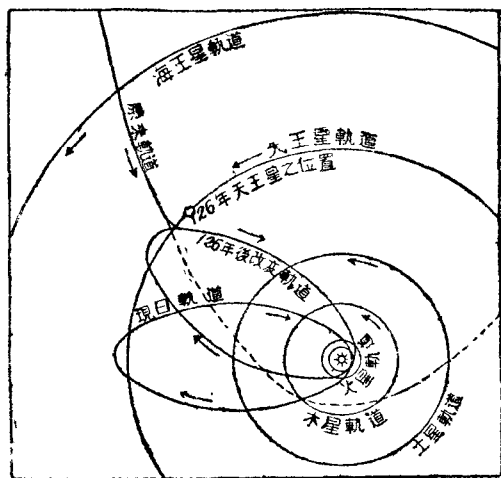
十一月二十四日左右之仙女流星羣（圖47）亦因受行星攝動之關係，常有數日之差。一八九五年曾早四日出現，其速率極小，方向與行星相同。此流星羣亦屬每年可見者，惟隔十三年則星數加多一次。一八八五年地球與之相遇，曾有石塊隕落於墨西哥。是年十一月二十七日頓薩 Denza 在四小時之內，觀察到三萬九千五百四十六個流星。根據紐頓之統計，在一處每時下落地面有七萬五千個。此流星羣最密之部，其厚不逾十萬英里，主要部分經過近日點不逾六小時，而星之密度約 8000 立方英里內有流星一顆云。

一八六六年斯基阿巴累利證明英仙流星羣與一八六二年之塔特爾彗星同軌道。勒未利挨由阿丹斯所示獅子流星羣之週期及射源之位置，而推算獅子流星羣之軌道與俄波爾則 Oppolzer 所發表之一八六六年泰姆培爾彗星同軌道。而淮斯 Weiss 又證明四月二十日之流星羣與一八六一年之第一彗星為同軌道。一八七二年仙女流星羣隨俾拉彗星同進行，最近更知五月寶瓶流星羣（圖47）與著名之哈利彗星為同道。

流星既與彗星同道而行，於是天文學家有謂流星乃彗星最薄之一部分者，而斯基阿巴累利及刻爾克武特 Kirkwood 二氏則以為彗星受太陽之吸力乃分裂而成流星羣。此種學說，是否有當？尚不得而知；而流星與彗星之有關係可以斷言。前節曾述空科利氏謂流星光

譜中有鈉線之存在。渠更研究一八七三年十月十三日之大流星亦具有同樣之情形，并有彗星上所特有之碳化氫線存在，於此更見流星與彗星關係之密切矣。

獅子座流星羣與一八六六年之泰姆培爾彗星同軌道既如上述，再回考歷史上關於獅子座流星羣之記載，得知在公元九〇二年至一六九八年，其間共約八百年，出現凡十有四次，但歷史上在九〇二年以前則絕無關於此流星出現之記載。故天文學家咸主獅子座流星羣為由泰姆培爾彗星而來，即當彗星與地球接近，其一部分之物質受



地球引力之攝引，乃進入地球之空氣層而成流星。若是則泰姆培爾彗星者乃獅子座流星羣之母星也。泰姆培爾彗星乃屬於天王星族之彗星，據勒未里挨之推算，謂泰姆培爾彗星之軌道原非如此，而在一二六年行近天王星，突受引力之影響，乃改變其軌

道其改變之情形有如(圖48)所示。然究竟如何迄無定論。

第三節 隕石

隕石 meteorites 者乃天空落入地面之天體也。泰西有名之爲氣石 aërolites 或天石 uranoliths 者。世界上關於隕石之記載以吾國爲最早，左傳曾載僖公十六年有隕石落於宋五。隕石每年落入地球面者甚多，但爲吾人所見者，不過二三顆耳。

隕石之軌道，頗不易推測，其中爲橢圓軌道者甚多，而軌道之遠日點有達木星之左右者。說者謂流星入空氣層後因摩擦而發光，其燃燒未盡者，落入地面，卽爲隕石。此乃認隕石卽從流星而來者。但實際則不然；蓋考流星在一年之中以下半年爲多，而隕石之下落則以上半年爲多，於此足見其非爲同出一源矣。流星燃燒未盡落入地面，固爲隕石，而一切隕石則未必盡爲燃燒未盡之流星也。吾人亦恆見天空有火球下落，其實一切隕石多係火球，火球或爲界於隕石與流星之間者，卽下降之速率大者爲流星，而速率小者爲隕石。

隕石之大小不等，大者數百斤，小者有僅數兩。下落時光明閃爍，聲若懸岩之下墜。當隕石初入地球之空氣層也，外體極冷，而一至接觸，則變極熱，物體熱漲冷縮，隕石因內外漲縮不均，自易碎裂；故一至地面，其外部卽呈熔冶之狀。隕石因其成分不同，而又分爲隕石與隕鐵。前者成分多矽酸鹽礦物，而後者多鉄與鎳。在今日隕石（隕石與隕鐵總稱）中所含之原素，業經證實者有鉄、鎳、鈷、鋁、鎂、鈣、碳、氧、硫黃、磷、矽、氮、氫、氦、鎳、鈉、鉻、銅、銻、錳、氯、銩、鋇、碲、銻、鈦、錫等二十七種；此外或尚有金、銀與鉛。

若隕石不盡爲流星者，則其來源究爲如何？有謂昔日月球脫離地球時，地球表面之一部分突然因壓力減小，其內部之物質立卽爆發，吾人已知在地球上若一物體以每秒9.7公里之初速率外拋，則此

物體永不復返地面，當月球離去時，地面因壓力之減低而爆發之速率，能超過於每秒9.5公里者，自不成問題；此爆發而入於太空之物質，直為若干小月球，小月球公轉於地球與月球之公共重心者有之，其運行於太陽之周圍者亦有之。此類小月球經悠久之歲月後，又與月球或地球相接近，受月球與地球吸潮力之影響，粉裂而成無數之小塊，是殆吾人所謂隕石也，但亦荒渺難徵矣。

天文學家更考隕石之組織與火山中流出之熔巖相似，因此昔日之天文學家多主隕石為太陽，行星及衛星所噴吐而成者。最近美國創星子學說之查姆柏林氏，謂隕石乃恆星系中之行星，近其他恆星時，為恆星吸力所裂散而成。一九二七年什維納 R. Schwinner 研究地質上第三紀以前之巖石中並無隕石之遺跡，由此可以證明隕石之發生必在第三紀之後。渠并謂隕石乃非來自太陽系，而為兩星相撞所生之宇宙雲所成。在第四紀之初，地球始入此宇宙雲之中，故隕石至第四紀之初始有發現。此說頗有特殊之見解，值得研究也。

第四節 黃道光與對日照

在每年三、四、五三個月中，如天朗氣清，太陽方入地平線之時，恆見西天有薄光，呈稜錐之形，其軸為在黃道平面之內，秋季九月與十月間，在東天亦有同樣之現象，此曰黃道光 zodiacal light。黃道光昔人早已知之，惟視為晨夕天空之朦影；一六八三年卡西尼始進而研究之。

黃道光狀甚美麗，惟光甚弱，雖用望遠鏡窺測，亦並無光點可

見。佛爾夫曾用光度計測驗，亦無何種確實之結果。一九〇九年淺色 Fath 在威爾遜山天文臺測其光譜，得知其與太陽光譜無異，其中亦有夫牢因和斐線。

黃道光之成因頗難確定。而一般天文學家咸認在太陽之附近，有密集之流星羣居於黃道平面之上，此流星羣反射太陽之光，而成黃道光，但究竟如何，尚不可得而知也。

在天氣晴明之夜，黃道上與太陽相對之天空有時亦有薄光可見，但較黃道光爲更弱，此曰對日照 counter glow，一八五四年布羅孫初發見之。至其成因，現尚不能決定；有謂係叢集於內行星軌道內之宇宙塵——即隕石狀之物體——反射太陽光所致者。

第十章 太陽系之進化

第一節 小引

吾書至此，已詳論太陽系中諸天體之情形，然此諸天體究如何以產生？將來之變化如何？旁及太陽系在全宇宙中之位置為如何？是不僅為讀者所欲了解，抑亦為近世宇宙論中之中心問題，本章將對此諸問題作概要之敘述。

自十八世紀以來，地質學家由巖石中所含古代生物之化石，證明地球上之生物為有連續之關係：即簡單下等之生物滅亡，組織較複雜之生物繼之而生，世代相承，乃成今日繁複之情形，此即生物之進化也。

一八五八年，英之達爾文 Darwin 作物種原始 Origin of Species 一書，集進化學說之大成；於是進化論之基礎，得以確定。然考進化思想之起源乃為極早，昔日之希臘，謂萬物起於火或氣與水，中國則有陰陽五行之說。雖言近神話，但已含有萬物進化之思想矣。

一七五〇年，英之大哲學家賴特著宇宙論 Theory of the Universe 一書，以研究宇宙中星辰之進化，開近代進化思想之源始，繼賴氏而起者，有德之少年哲學家康德，於一七五五年出版其自然史與天體論 All'gemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels oder Versuch von der Vertassung und dem mechanischen Ursprunge

des ganzer Weltgebäudes, nach Newtonschen Grundsätzen abgehandelt一書，亦研究天體之進化。但當時之人類，對於進化之觀念尙未成熟；故賴特與康德之工作，在科學方面，供獻殊微。迨一七九六年，法國天文學家兼數學家拉普拉斯言出，始創科學化之天體進化學說。拉普拉斯於出版其不朽之名著天體力學之後，再作宇宙系統探奧 Exposition du Systeme du Monde 一書，創立星雲學說 nebular hypothesis，理精而辭簡。當時適值法國革命，思想革新，於是拉氏之學說，即為一般科學家所承認。達爾文之生物進化論，實師於此也。但近代科學進步，觀察漸精，乃知拉氏之學說仍未能止於至善；於是最近美國地質學家查姆柏林著地球原始 Origin of the Earth 一書，另創新說。天文學家摩爾吞亦為主斯說之健者。英國大科學家金斯 Sir James H. Jeans 更進而修正焉。

太陽系之經進化作用，乃有顯明之事實，例如行星與小行星皆繞太陽而旋轉，其軌道幾在同一平面之上，考行星之軌道與黃道之相交，原可自零度以至一百八十度；但交角最大之小行星，亦不過十八度耳，此中之有關係，可以斷言，康德與拉普拉斯學說之立腳點，即在於此。行星軌道之離心率本可自零以至於一，但考行星中軌道離心率皆居十分之三之內。再行星公轉之方向，皆與太陽自轉之方向相同，此亦非偶然之事實，而有歷史之關係；換言之，即經過進化之作用也。

然欲求太陽系進化學說之成立，不能不求與事實相符合；所謂事實者，即太陽系中之質量，角運動量，及能力之有無變遷是也。天文學家考行星之質量，每年雖因隕石之下落而增加，但自有人類歷

史以來，地球質量之加增，尙不能以覺察，故知行星之質量，自古迄今，未有改變也。至行星軌道交角之小與離心率之微，皆足以證明地球未曾受外力之騷擾，亦太陽系中之運動量，未有改變也。然太陽系中之能力則不然，太陽、行星、衛星、皆互有吸潮之力，此種吸潮之力，有阻止太陽系中各天體運動之作用，由此，運動能力不能無消失於太空。至若位置能力，亦因太陽及行星體積之縮小以消散；而太陽之發光，亦足以使能力之減少。故太陽系中之能力，惟有減而無增。凡此諸端，皆當爲談太陽系進化者之所注意也。

第二節 康德學說

德之哲學家康德，於三十一歲時，著自然史與天體論一書，其中曾論及太陽系之原始如下（錄自學藝雜誌 康德說）：

「今日組成太陽、行星、及彗星之物質，最初便彌滿於此等天體所占之空間，質點之引力，向此微塵質之中心（即今日太陽所占之點）作用，而有直接落下此中心之傾向。此際質點，有正面衝撞者；有側面擦過者；而中心之周圍，遂生沿閉曲線軌道之運動。此軌道運動之物體，經屢次衝突，其結果成爲在同一中心之周圍，從同一之方向而運動，又落於此中心之物體一部分爲此羣所強要，亦成同樣之運動；因此太陽始自轉於同一方向」。

康德之學說，在思想界曾經震動一時；但吾人一經以科學之光分析之，則所謂康德之學說者，實不值一笑耳！蓋其學說，乃完全建樹於諸假設之上，而絕無科學之證據也。雖然，康德在當時學術環

境之下，而能產生此種玄論者，已足驚人；此猶相對論出後，牛頓力學，雖根本動搖，然此非牛頓之錯誤，蓋在牛頓之時，惟能產生此種力學而止，故牛頓之力學方面之貢獻，在當時已爲登峯造極矣。由此康德之學說，在天文學史上，亦自有其相當之位置也。

第三節 拉普拉斯星雲學說

拉普拉斯者，法之農家子也。年未及冠，即作力學原理一文，請教於當代法國大數學家達隆培爾 D' Alembert，極爲達氏所稱贊。一七九六年作宇宙系統深奧一書，發表其星雲學說，爲後世研究太陽系原始之宗。

拉普拉斯觀察太陽系中各行星之關係，乃創立其星雲學說。謂太陽系之原始，乃爲極大之星雲 nebula，溫度甚高，而密度極稀，散布太空，其體積乃擴至最遠行星之軌道之外，全體作速作之旋轉，其方向與今日行星之公轉之方向相同。其後因放熱作用，溫度日漸降低，而體積亦隨之而縮小；但因角運動量之不變，於是旋轉之速率增加。至一定之體積後，居赤道之物質，因旋轉所生之離心力大於其中中心之吸力，於是赤道之物質，即離母體而成環，但仍隨母體以旋轉。環因旋轉之關係，失其凝結之力，乃向一核而縮爲球體，此即所謂行星也。行星有八，即當時之太陽曾經八次之成環作用也。行星自太陽分出後，溫度仍高，於是行星又同樣而產生衛星；今日土星之環，或即未凝成之衛星也。一八五四年，黑爾姆荷爾茲創太陽直徑縮小放熱之說，證明拉普拉斯學說更能適合。

據赫舍爾與近代天文學家之觀察，天空中有無數如拉普拉斯所說之星雲，形狀不同，有似無法形之雲狀者，有如圓形之雲狀者，亦有顯螺旋之形者，最大之星雲，有時更有核可見，又在昴宿（即屬白羊座Aries）有星團與星雲相連，此乃顯然星雲變為星團也，由此，拉普拉斯之學說，更有相當之證據矣。

據拉普拉斯之學說，地球乃自太陽中分出，今日之地殼，雖已冷化，但內部仍為極熱，此可由火山流出之熔巖以證之，再地球外部之物質，與太陽中之所有者，類皆相同，此亦足以證明地球與太陽同出一源也。

拉普拉斯之學說，雖有相當之證據，而且言之成理；但不久即顯其缺點，即太陽系中有特殊之現象，非拉普拉斯學說所能解釋，故震動一時之拉普拉斯學說根本又起動搖矣，茲將拉普拉斯所不能解釋之事實，略舉如下：

（一）諸行星既由太陽中分出，則其軌道應居同一平面之上，即在太陽赤道之平面上，雖有相差，亦當極微；但行星中有差至七度者。

（二）太陽為球形，則行星之軌道亦當為圓形，即有離心率。決不能如水星之達五分之一而有餘。

（三）行星與衛星既同出一源，則其運動方向，亦當為相同；但木星與土星，各有一衛星為逆行，天王星海王星之衛星皆為逆行。

（四）火星自轉一周，需時二十四小時三十七分，其衛星名戰神長子者繞火星一周所需之時間僅七小時，設拉普拉斯之學說成立，則衛星公轉週期當較本星之自轉週期為長。

(五)小行星愛神星軌道之近日點與地球軌道接近，遠日點在火星軌道之外，則又何故？

(六)太陽自轉一次需時二十五日，故其赤道每秒自轉之速率爲一英里又三分之一；但據拉普拉斯學說推算，則太陽赤道之自轉速率應爲每秒二百七十五英里。

(七)行星既自太陽中分出，則行星之運動量，應較太陽爲小；但木星與土星之運動量較太陽爲大。

凡此七端，皆非拉普拉斯學說所能解釋，而拉普拉斯學說引爲最重要之證據之七星環，據近代學者之研究，亦不能爲拉氏學說之證據。是以拉氏之星雲學說，又成爲歷史上之學說矣。

第四節 查姆柏林與摩爾吞之星子學說

拉普拉斯之星雲學說與事實既不相符，於是一九〇〇年美國地質學家查姆柏林與天文學家摩爾吞，乃創星子學說。近世望遠鏡發達後，宇宙之容量，因之而加增。昔日之人類，僅知宇宙之中，太陽行星而外，惟有恆星而已。自基勒在里克天文台以照相之法攝得天空之現象後，發現天空除恆星行星外，尚有極大之星雲，爲數達十有餘萬。其形狀彼此各殊，而以螺旋形之組織爲最多。此曰螺旋星雲 spiral nebula。 (圖49)示M101之星雲，全體作螺旋之形，此類星雲現已發現達二千餘個。今請先述螺旋星雲產生之原因焉。

考天空之星球，皆作不息之運動，其相對之速率，每年達六萬萬英里之上；同時亦有自轉之運動，而方向乃無一定，故難免彼此相

遇。設二星相遇，則因其運動之速率極大，於是運動之能力一變而為熱能；此種熱能，其大無比，足以燧化兩星球為氣體而有餘。但二星彼此相接近而未達相遇之機會者，數當更多；於是此互相接近之二星，即行產生螺旋星雲。

設如圖 50， S 與 S' 為二星，當其互相接近時，則 S' 對 S 有生潮之力；考 S' 對 S 生潮力之大小，與 S' 半徑成正比，

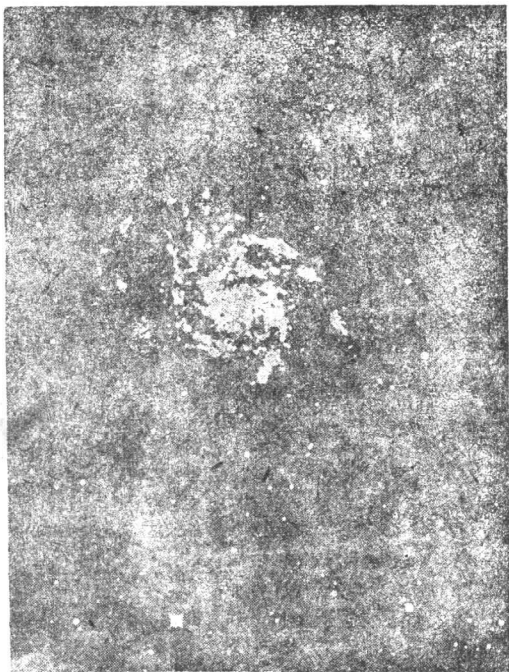


圖 49

而與其距離之三方成反比，其距離愈近，生潮之力愈甚。當 S' 在 S'_1 時，則 S 上相對二面之物質為其吸出，假定 S' 之位置不動，則所吸出之 P 物質，永離 S 之面以去；但 S' 與 S 有相對之運動，假定以 S 為靜止，則 S' 在一定之軌道上行動，當 S' 由 S'_1 行至 S'_2 ，則 P 物質所行之路為 SP 曲線，蓋 P 進行之方向必為 S 與 S' 之合力也。因 S' 在空間進行不

已，在一旦與 S 接近後，重又離開；當其離 S 日遠，則其對 P 之吸力日

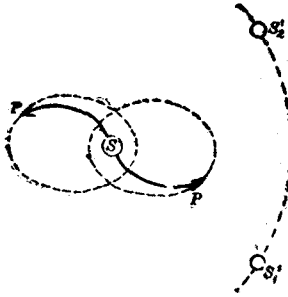


圖 50

微，於是 P 即繞 S 而行一橢圓之軌道，但當 S' 對 S 自遠而愈行接近，則 S 上被吸出之物質所行之路愈曲；反之 S' 與 S 之距離愈遠，則其所吸出之物質所行之路之曲度愈小。設如圖51所示， a 及 a' 為當 S 居 S_1' 時被吸出之物質所行之路； b 及 b' 為當 S 與 S' 在最近時被吸出之物質所行之路； c 及

c' 為當 S' 在 S_2' 時被吸出之物質所行之路。實際 S' 對 S 之吸力乃為連續不斷，故 S 上之物質亦連續為 S' 所吸出；由是在某一時間之中，各被吸出之物質為居空間中 A 及 A' 二曲線之上，故成螺旋之形，此即螺旋星雲之原始也。以上之理論，乃專就 S 之一方面而言；假定 S 及 S' 二星之質量相差不遠，則同時 S' 亦因 S 吸潮力之關係，而成螺旋星雲。

設螺旋星雲原始之學說為事實，則太陽系之在昔日，亦為大星球之一，在億萬年之前，曾因偶然機會與其他一大星接近，乃變為蝶形星雲，其星核即今日之太陽；其四周蝶形之臂即無數微細之行星 planetesimal，此無數細小之行星巒居同一平面之上，繞星核而旋轉。但在細小行星羣

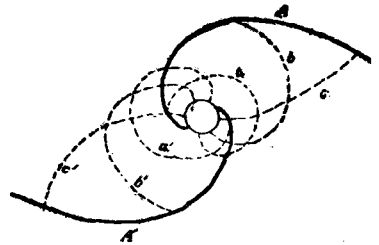


圖 51

中，仍有極多之小星核，其組織或為固體，或為連續之物質，或為細小行星相撞而成，乃無一定；但亦皆隨細小行星羣而旋轉。由是時長

月久，此種小星核，聯合諸細小行星，而體積增大以成一大行星 此即行星之成因也。

行星之原始既爲如此；而衛星之原始，則有二法：其一乃行星之星核原附有衛星之星核，以後體積增大而成衛星；其他則爲另一星核，爲行星所吸而成，前者衛星公轉之方向與行星自轉之方向爲相同，後者則衛星公轉之方向可以任意，木星及土星之一部份衛星與天王星海王星之衛星皆爲逆本星而行，爲由第二種之方法以造成者也。

小行星之所以未經結合而成一大行星者，其原因或爲小行星中缺乏一種星核之故；愛神星則因其軌道與火星軌道不在同一平面之上，故不能爲火星所吸而成爲火星之衛星。

假定查姆柏林之學說爲成立，則太陽系中所有之現象，自當皆能加以解釋。茲先論太陽之自轉與行星軌道公轉軌道交角問題。在表面上觀之，恆星與太陽接近後，對太陽有吸潮之力，能將太陽面部之物質吸出，使離母體而達海王星與冥王星之遠，此種離母體之物質繞母體以公轉，其對母體之自轉亦有影響，即離母體之物質，並非全部皆離母體以去，而一部分速率較小者復行回至母體，但其下落之方向爲順母體之自轉之方向而斜入，此實有增加母體自轉速率；再恆星趨近於太陽時所行之方向未必適居太陽赤道平面之上，由此則太陽受恆星之吸引後所起之自轉將爲新力與舊力之合力，故其赤道平面與行星軌道平面相交應成相當之角。吾人已知太陽自轉一周須時二十五日，而其赤道平面與行星軌道平面相交僅成七度之角，似非爲星子學說所能解釋者。此據查姆柏林之解釋，謂太陽原有之

自轉赤道平面與曾經一度接近之恆星所行之路幾在同一平面之上，而此恆星運行之方向與太陽自轉之方向相反，太陽因恆星吸力關係所起之自轉速率，僅稍大於原有之自轉速率，但因方向相反，結果使太陽易其自轉之方向。再因現日之自轉速率為原有自轉速率及受恆星吸力所起之自轉速率之合力，二速率大小相差無幾，而方向相反，故現日太陽自轉之速率甚緩；而其赤道平面亦與行星軌道平面幾為相合也。

細小行星羣之軌道，不在同一平面之上，而其軌道之離心率，亦可以相差甚大；蓋細小行星與小星核之相撞，可由任何之方向也。當細小行星在與運動相反之方向與小星核相撞時，則小星核軌道之離心率，必因之而減小，此在距今一百五十年前之瓦勒即已證明之。再若軌道形狀與大小相等之二小行星相撞，則相合後之軌道離心率，必較在相合前之公共離心率為小，此亦易於證明。假定小星核 M 與細小行星 m 之軌道（依假設為相同）離心率為 ϵ ，而軌道之長半徑為 α ， M 與 m 在未相撞前之速率為 V_0 及 v_0 ，而在相合後之速率為 V ；則在相撞以前二者之運動能力為 $\frac{1}{2}(MV_0^2 + mv_0^2)$ ，而在相撞以後變為 $\frac{1}{2}(M+m)V^2$ ，因相合時一部份能力變熱而減少，故

$$MV_0^2 + mv_0^2 > (M+m)V^2$$

由雙體問題之研究，設 a 為二者相合以後軌道之長半徑，則 $V^2 = \frac{2}{r} - \frac{1}{a}$ ；故由上不等式得

$$M\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{\alpha}\right) + m\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{\alpha}\right) > (M+m)\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right),$$

即
$$\frac{M+m}{\alpha} < \frac{M+m}{a}$$

由上式觀之，可知 $a < \alpha$ ，設相合後之軌道離心率為 e ，則 $e < \epsilon$ ，此即相合後之離心率變小也。離心率既可因相撞而改變，故太陽系中諸行星，可有不同之離心率也。

查姆柏林與摩爾吞之星子學說最困難之點，即在太陽與另一恆星相遇之機會問題。二星球能彼此引起潮汐之距離當為非常接近。今日與太陽最接近之恆星為大犬座 Canis Major ϵ 星，即天狼星，二百萬年以前，太陽與天狼星之最近距離為三光年。故在億萬年以前，其他一恆星行近太陽，亦為事理之可能也。但星子學說完全以螺旋星雲為依據，認太陽系之在昔日，亦曾經為螺旋星雲之階段，此種設想，實係錯誤；蓋今日吾人對於螺旋星雲構造之觀念已與十九世紀之天文學家為異，太陽系乃銀河系之一部份，苟吾人立身天外，則見銀河全系始為一螺旋星雲，是以星子學說，又呈動搖矣！但學說之成立，不能即認為天經地義，吾人考科學史上驚動一時之哥白尼學說，乃為開普勒所修正，而開普勒又為牛頓所修正，故牛頓者，已屬登峯造極矣；孰知二百年後，復有愛因斯坦者出，更修正牛頓之定律，然誰敢謂愛因斯坦為最後者哉？故學說之成立，乃由環境所造成，其為時代之函數殆無疑義也。

第五節 金斯之學說

拉普拉斯與查姆柏林之研究為僅囿於太陽系之本身。金斯則大事推廣，渠以研究太陽系之產生應注意於現宇宙中一切天體之形成。

金斯之出發點在研究星雲之進化，渠謂宇宙在最初之時為渾然一氣，因其各部份彼此互相吸引，乃向中部收縮而生核心，與全體作疾速之旋轉，於是其旋轉之赤道發生離心率，使全體日形扁平，亦即其赤道四周之物質散布日遠。此種作用愈趨愈甚；但此擴散物質之密度未見均勻，又互起吸潮而更擴大，使赤道兩相對處各伸出腕臂，又因本體旋轉關係，此伸出之腕臂隨旋轉而成螺旋之形，此即吾人所見之螺旋星雲也。螺旋星雲之一部更進而變為球狀星團 globular cluster；今日天空有不少球狀星團，即羣星聚集，其中部成為圓團，密度較大，外部較疏；武仙座 Hercules 之球狀星團足為典型。星團經悠久之歲月後，彼此又因組織不健全，乃分散而為獨立之恆星，此種獨立之恆星溫度甚高，更自行收縮而放出光熱，旋轉之速率亦隨之而增。但有時因旋轉關係，發生不平衡，星體由一裂而為二，或三，或四，或多個，此即吾人當日常見之雙星是也。

太陽之形成，當在銀河系變為螺旋星雲之後。在數萬萬年之前，銀河系中之太陽在宇宙運行與另一恆星接近，於是太陽為引力定律所支配（當然另一恆星亦如此），其面部溫度極高之氣體受恆星吸潮力之作用，其向恆星之一面，隆起而成巨潮，高達數萬以至數十萬英里，其下端乃站着於太陽面上，而上部則隨恆星運行之方向而行動。在太陽背恆星之一面，亦隆起成潮，惟不若前者之高。當恆星與太陽愈行接近，因引力不平衡，此巨潮直向恆星衝去，而下部之物質更因壓力減小，繼之而起；如此繼續進行，在太陽面有一道氣柱，直向恆星伸出。恆星當一度與太陽接近後，並不與太陽相撞，而又開始離去（如相撞，情形又不如此），如對太陽之吸潮力亦因之而逐漸低降，於

是太陽面未隆起之物質上升之量亦逐漸減少。當恆星愈行愈遠後，太陽面部所射出之物質仍高立於太陽之面部，呈兩端尖銳，而中部肥厚之形——金斯以雪茄煙喻之。離太陽最遠之尖端即為當恆星自遠而來時，太陽面部被吸出之物質；中部肥厚之處為恆星與太陽最接近時太陽面部被吸出之物質；距太陽最近之尖端為恆星離去時太陽面部被吸出之物質。在今日吾人可藉望遠鏡之力，得見天空中有此種面部附有氣體之星體（如N. G. C. 5278—9，與N. G. C. 4395—4401，雖其產生之原因未必皆與此相同）。太陽面部物質初被吸出時為連續之白熱氣體，其後溫度漸低，因重力不平衡，乃起凝結而成無數之星子，猶水汽之凝為雨點，大小不等。大者更吸引在其附近之小星塊而增加其體積；但因受引力之作用，開始作環繞太陽之運行，是即行星也。行星之軌道在最初為受太陽引力與近太陽之恆星之引力所支配；迨後恆星漸行漸遠，其引力對此行星有鞭長莫及之勢，行星乃開始依純正之橢圓軌道繞太陽以公轉。但當時太陽之附近空間滿佈小星塊，行星在其中進行，處處受碰撞，猶汽船之行於碎冰之中，此種相撞，使行星之軌道日漸變動而成近似圓形，即離心率變小，故今日諸行星之軌道之離心率皆甚小也。

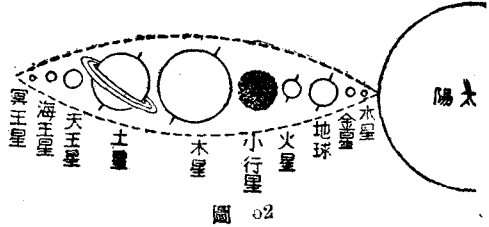
考今日最大之行星為木星與土星，而其位置排列在中部，此即昔日氣柱肥厚處所形成者。其他行星位置排列在此二大行星之兩旁，其體積逐漸細小，蓋因其位置在昔日適當氣柱之尖端也（圖52）。再考各行星之軌道之離心率，水星與冥王星為最大，蓋此二星昔日為居氣柱之兩端，與細小星塊碰撞之機會較少也。

衛星之產生，其方法與行星同，即在昔日行星之軌道之離心率

甚大，當行星經過近日點時，其面部之物質受太陽或即原有接近之恆星，或二者之吸潮所作用，躍出而成衛星。

金斯曾用嚴密之數學以證明其學說（見 Jeans: Problems of Cosmogony and Stellar Dynamics 與 Jeans: Astronomy and Cosmogony 二書），渠謂今日

太陽之自轉乃為太陽原有自轉運動，並未受曾經一度接近之恆星所影響。至行星軌道之平均



面，乃為往昔恆星與太陽接近時，恆星所進行之路之平面，其與太陽赤道平面相差不遠者，殆為偶然耳。

金斯更謂無論原始之太陽為如何，若其僅有自轉運動，決不能有行星系產生，其所以成為今日之情形者，為有第二天體對彼施作用之結果；此所以引出潮汎之理論。至產生行星系之機會為如何？據金斯計算，在今日太陽附近星球分佈之情形，某一星與其他一星相撞之機會在 6×10^{17} 年內為有一次，而達到起潮汐作用而產生行星系之機會，當為稍多，或可謂在 5×10^{17} 年內而有一次。命星之平均年齡為 5×10^{12} 年，則在十萬顆星中為有一星在其生存期間而產生行星系；故今日在十萬顆恆星中，可有一顆為有行星系也。

在銀河系中，約有一萬萬顆恆星，其分佈之密度與在太陽附近恆星分佈之密度相等，而在銀河邊際當有更多之星，惟其分佈不若如此之密。在此一萬萬顆比接近之恆星中，產生行星系之速率當為每 5×10^9 年有一次，而在銀河邊際，因星之分布密度較稀，其產生

行星之機會可略而不詳，則在全銀河系中有行星系存在之速率約爲每五十萬萬年有其一；太陽系之年齡約爲二十萬萬年，則太陽系者在全銀河系之恆星中殆爲最年青者。

第六節 月球之產生

地球之衛星——月球——之產生，在此頗有一述之價值。談月球之來源者，有法之大數學家 霸恩卡累與創進化論之達爾文之子小達爾文 G. H. Darwin。彼二人對於月球產生之說皆主爲從地球分出者。霸恩卡累以當地球形成時，溫度甚高，因自轉速率甚大（遠勝今日），自轉所生之離心率亦大，於是即形成卵形；再則變爲梨形；梨形更因旋轉，梨頭漸離母體以去而變爲月球，（圖53）乃示地球產生月球之階段。

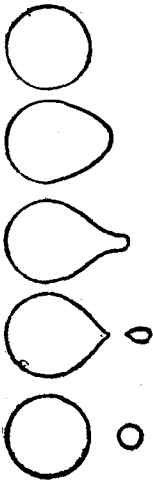


圖 53

固因地球自轉速率過大所致，同時亦因太陽對地球有生潮之力。太陽對地球之吸潮力雖微，不足立使月球與地球分裂；但考潮汛之升降與被作用之物體之密度及吸潮力之大小而有一定之週期；若潮汐升降之週期適等於地球自轉週期之半，則第二次上昇之潮適與第一次降而復升之潮相符合，第三次亦如此，如是繼續增長，上升之潮必愈積愈高。在昔月球未脫離地球以去時，地球之自轉週期爲四小時，而地球上潮汐之週期適等於地球自轉週期之半，於是赤道部份日見肥大，結果脫離母體。

如是繼續增長，上升之潮必愈積愈高。在昔月球未脫離地球以去時，地球之自轉週期爲四小時，而地球上潮汐之週期適等於地球自轉週期之半，於是赤道部份日見肥大，結果脫離母體。

而向太空逃去，是爲月球。考月球之比重約與橄欖巖相近，而地面之巖石以橄欖巖爲普通，此亦爲月球自地球分出之一證據也。今日地質學者，無論主大陸海洋之分佈爲有一定位置者，及主大陸漂移者，皆承認太平洋之形成，年代甚遠，爲地球新生時之低窪；今日波濤湧之太平洋，或卽皎皎明月之故鄉歟！

第七節 太陽系之過去與將來

欲知太陽系過去之歷史，首當求其自產生以至今日所經過之時間；換言之，亦卽太陽系之年齡也。太陽系之年齡，在產生行星之前，實無可以計算，而自產生行星以至今日，其中所經之時間，尙有蛛絲馬跡之可求。金斯由天文學之立足點，求得太陽系之年齡約爲二十萬萬年，已如第五節所述。考自來論太陽系之年齡者，大有人在。中國唐時，有「自天地創始以至無窮爲一元，一元分爲十二會，每會一萬另八百年」之說。而耶蘇舊約謂上帝創造天地僅須七日。此種神話，缺少科學之根據，當無一顧之價值。然以科學之方法而推算太陽系之年齡者，當自黑爾荷姆爾茲始。一八五四年，黑氏以爲太陽之熱源，乃由太陽縮小其體積而成。據此說以推算，則在三千萬年之前，太陽之體積爲無窮大，而經一萬年後，太陽當變爲固體而不能再縮。由此太陽之年齡不能超過二千萬年之外也明矣。英國著名科學家開爾文 Lord Kelvin 由地殼之厚度，與地殼溫度減低一度所需之時間，以推算地球之年齡，其結果與黑氏無甚出入。約利 Joly 曾由海水中所含之鹽分，以推求地球之年齡；蓋海水原無鹽分，但雨水溶解陸地

巖石中所含之鹽分，隨河流而入海，海水蒸發為雲，鹽分仍留於海，而雲復下降為雨，再溶陸上之鹽入海，如是循環不已，海水乃含鹽日多，故由每年海水中鹽分增加之量，亦可以計算地球之年齡，約利用上法求得之結果為一萬萬年左右。小達爾文由水成巖之厚度，求得地球之年齡則在十萬萬年左右。但考巖石之構成，與生物之進化，則此十萬萬年者，尚不足其數。最近自原子放射之說成立後，科學家以為太陽之熱源，乃為一種原子組成之能力 sub-atomic energies，即太陽熱源為原子如鐳 Radium 等之蛻變而生；設如此說，則求得地球之年齡當在二十萬萬年左右。更有由水星軌道離心率以求太陽系之年齡者，其結果與此相近。地球為太陽系中產生較早之行星，故太陽產生行星以來或者已經二十萬萬年矣。

太陽系過去之年齡，尙有事實足以攷證，窮源究委，或有水落石出之一日。然太陽系將來之變化，既少可為參考之事實於前，又乏足供研究之材料於後，故研究將來，殊非易事也。

研究太陽系之將來，可分二層：其一為太陽本身之變化；其他為行星之變化。據今日之情形，太陽放射之能力為 0.6×10^{24} 馬力；亦即太陽每秒放射四百萬噸之質量於太空。然其吸收其他星球之能力殊微，故太陽之能力，消散日甚。由此，今日光耀之太陽，將來終有變為黑暗之一日。故將來之太陽系，必成黑暗之世界，一切生物無生存之可能，自不待言。然太陽之放射方式，吾人尙未能確實瞭解；但其不與燃燒相同，可以斷言。物質之燃燒為原子內部改組，太陽與星球之放射，似為將其原子加以毀滅者，其原子被毀滅之重量適等於放射之重量。由是太陽每日毀滅其原子達 35×10^{19} 噸之多。是故太

陽不僅日漸變暗，而更日漸變輕也。但太陽之質量碩大無比，故其放射能力之期間，當可延至 15×10^{12} 年；換言之，亦即太陽不能溫行星之日，尚在十五萬萬年之後也。

太陽如此，行星本身之變化亦大。行星之面部，每日隕石下落極多，據計算，每年下落地面者，達三萬六千五百噸之多，則在十萬年之後，地球表面之厚度，將增加一英寸，地球之體積既有增而無已，於是地球與太陽之吸力，亦必隨之以增加，吸力增加，則軌道縮小，於是年長減短，而地球自轉之速率，亦因之而縮短；換言之，即日長加甚，而一年之日數減少。再流星進行之方向多與地球相反，此亦足以使地球之軌道縮小而致年長減短，地球如此，其他行星亦然，故將來之太陽系必與今日大殊。行星之軌道既日行減少，則按羅什定律，行星與太陽之距離苟少於太陽直徑之 $2.44 \dots \dots$ 倍時，行星受太陽引力之作用，立即崩散，故將來之太陽系或不能有九大行星也。雖然，流星之減少地球公轉之時間者，在百萬年之中，不過一秒鐘耳。

一八九三年，赫舍爾由觀察十二恆星之運行，以研究太陽之運動，得知太陽乃向武仙座 λ 星進行，由此，天文學家研究太陽之運行者相率而起，卡普丁 Kapteyn 證明赫舍爾之觀察有欠精確，最近由陀伯勒定律以研究恆星光譜中所起之移位，得知太陽帶領太陽系之全體，向織女星進行，其速率為每秒十二英里，由此將來之太陽系，必有與織女星接近之一日，而崩裂之虞，亦將接踵而至。但織女星與太陽之距離達 9×10^{14} 英里之遠，則太陽與織女星接近而崩散之時，當居千百萬年之後也。

太陽與行星之前途既如上述，而行星之衛星將來變化如何？斯

亦讀者所急欲知者。月球爲地球之一衛星，亦足以爲諸衛星之代表。月球對地球有吸潮之力，而地球對月球亦有吸潮之力，而後者可二十倍於前者。因地球之自轉速率遠過於月球之公轉速率，而方向爲相同，則二者間之吸潮力將使地球之自轉週期，月球之公轉週期，與二者間之距離皆行增加；蓋月球吸潮力有使地球自轉向後退，而地球牽引月球以向前；由是地球自轉速率減少，同時月球之向前分力使月球公轉之軌道增大，而其公轉週期亦隨之以增，亦即月球日離地球以去。此種趨勢將繼續進行，直至月球西昇而東沒時爲止。迨月球西昇東沒後，其對地球之吸潮力適與太陽對地球之生潮力相反，又使地球自轉速率增加及月球公轉速率減小。斯時月球又受引力定律所支配，復折而返向地球而行。今日之月球尚繼續在離開之時。月球歸來時，月球之本身當起不可思議之變化；當月球返向地球，與地球之距離在一萬英里時，地球對月球之吸力，將使月球面地球與背地球之兩旁凸出，而變爲橢圓之形。若月球更向地球接近，至距地球在羅什定律之限內，則月球向地球與背地球之二半球不得不起分離，於是由一裂而爲二，更由二而爲四，以至於無數碎塊，但仍繞地以疾行，其情形殆有類於今日之七星環也。

第八節 由天文學立場論地球上 生命之原始與將來

本章至此已詳論太陽系各天體形成之學說；然吾地球上生命之源始及其將來之變化，就天文學之立場觀之，將爲如何？金斯營著神

謎之宇宙 The Mysterious Universe 一書，其第一章垂死之太陽 The Dying Sun 即討論此問題也，茲特譯出以爲吾書之結束焉。

「太陽與天空諸星，皆屬熾熱，生命難以立足。而初自母體——太陽——中分出之粉屑——行星，小行星與衛星等，亦當如此，可以無疑。但以後逐漸冷化，直至今日，則原自母體帶出之熱已放散無餘；今日之熱，則爲得自太陽之放射者。在時間之過程中，吾人不知如何，何時與何故，此自太陽分出之諸冷化碎屑中，其一忽然產生生命。其始也爲簡單之有機體；其生命之才能，舍生與死之外，則無長物。但由此纖細之原始，竟發生生命之長流；逐漸複雜，演成各種生物，其生命集中於情感與願望，藝術之欣賞，及其最高之希望與最貴之志願所居之宗教。

「吾人雖不能斷言，但人類之產生似爲如此。處於細小沙粒上之吾人，欲於其周圍之空間與時間中求了解宇宙之性質與目的。吾人最初之印像，即爲恐懼。吾人之深以宇宙爲恐懼者：因其距離之無涯；因其時間之久長，直使人類之歷史，不足以一瞬；再因吾人乃極端孤寂，與所居之地球在空間中之渺小，僅足爲一顆恆河沙粒——恆星——百萬分之一。但除此之外，吾人更覺宇宙之可懼者，爲其不以人之生命爲意；吾人之感情、願望、及事業，藝術及宗教，似皆初未有與宇宙之計劃爲相連絡者。或者可謂宇宙對於吾人之生命未免有所敵視。蓋空間之大部份皆爲嚴寒，生命苟入其中，立遭凍斃；同時又有大部份物質，酷熱無比，使生命絕難立足；空間又爲放射物質所阻隔，諸天體又連續爲各種放射物質所襲擊，而此放射物質多能阻止生命之發生，甚或加以摧殘也。」

「吾人顛倒於此種宇宙之中，苟非絕對錯誤者，則可謂爲一種偶遇之結果。所謂偶遇，對地球之存在實不足以驚奇，蓋偶遇之事，實爲常見，若宇宙經過久長之時間，則各種可想像之偶遇，皆有發生之一日。嘗憶赫胥黎 Huxley 有言，若令六猴作無意識之打字，則歷億兆年後，必將大英博物院中所有藏書皆能錄出，且若查閱一特殊之猴所打之最後一頁，必可見其在盲目舉動中，曾由偶遇而錄出一首莎士比亞之短詩，此在吾人當認爲偶遇之事，但若吾人取諸猴在億萬年中所打成之諸紙而閱之，則當可見其中有莎翁之短詩一首，此爲一種盲目之機會而已。同理，億萬顆星球在空中盲目遊行，經過億萬年之時間，必能遇到各種偶遇之事；其中有限數之星球得遇產生行星系之特殊偶遇。據計算，有行星系之星球與空中全數星球比較數爲極微；故行星系之在空中，必爲極稀少之物也。

「行星系在宇宙中爲數之少，頗關重要；蓋據吾人之所知，類地球上之生命，僅能生於如地球之行星上也。生命需要適宜之物質環境始能產生，其最重要者，即爲液體狀態物質可以存在之溫度。

「諸星之本身皆不能以產生命，蓋溫度過高也。吾人可以諸星爲大火球，其熱四面散射，以溫暖至多在絕對零度上四度——約合華氏冰點以下四百八十四度——之太空，而至銀河外之空間，則屬更低。故遠離火球，其溫度遠居冰點以下數百度，寒冷至不可想像；接近火球，其溫度達數千度，使所有固體熔解，液體氣化。

「生命僅能在距各火球有限距離內之一溫帶中生存，生命在此帶以外，立即凍斃；在此帶以內，立即乾枯。約而計之，生命可以生存之區域之總和，尙不足全空間一千兆兆分之一。然即在此區域之內，

生命之存在亦甚稀，蓋諸太陽亦如吾人之太陽，偶遇產生其行星之事爲不常見也。十萬星球中，其有一行星在生命可存在之溫帶內繞之而公轉者，不過一星而已。偶視之，即知生命似爲宇宙之非重要副產品，而吾衆生爲非在主線之上也。

「適宜之物質環境是否即足以產生生命，吾人實不可得而知。有一派學說謂地球逐漸冷化，生命即隨之以生。另一派學說謂地球因一次偶遇而形成，生命則需另一偶遇而產生。有生之物，其物質之成分完全爲普通之化學原子如碳、氫、氧及氮等——碳，見於煙煤；氫與氧，見於水；氮，見於空氣。生命所必需之各種原子，於地球初生時，當已具備。在某時期中，一羣之原子，或偶然依照生命之細胞，自相排列，此如有充裕之時間，實爲可能；亦猶六猴在充分時間之內竟能錄出莎翁之短詩也。但僅如此即爲有生命之細胞乎？換言之，即生命之細胞，僅爲一羣普通之原子依照特殊之方法排列而成乎？抑或有其他乎？生命之細胞僅爲原子乎？抑原子另加生命乎？自另一方面言之，一多能之化學家能由必需之原子以造成生命，正如一兒童可由美卡諾 Meccano 以製造一機器，而能令其轉動乎？對此諸問題，吾人實不能有所解答。若此可以解決，則宇宙中其他諸世界上是否有如吾人之生物存在，當可知其略矣；且由此對解釋生命之意義，當有至大之影響——或即思想將因此而起極大之革命，較諸加利略之天文學及達爾文之生物學爲尤甚焉。

「雖然，據吾人之所知，生物之原素，僅含普通之原子，而其所包含之主要原子，具有特殊之才能，能結合成特大之球形或分子。

「大部分之原子，皆不具此種性質。例如氫與氧原子能化合成氫

(H_2 或 H_3)，氧或臭氣(O_2 或 O_3)，水(H_2O)，或過氧化氫(H_2O_2)等分子；但此諸化合物，無一含有四原子以上者。若加以氮，其情形仍無多改變。氫、氧及氮之化合物，比較皆僅含少數之原子，但若再加碳，則其情形大殊；氫、氧、氮及碳原子之化合成分子，恆有包含數百，數千，甚或數萬原子者。而生物之構成，亦端賴此類之分子。在一世紀之前，普通皆假定此類分子及參與構成生物之其他物質之產生，必需一種生活力 vital force。其後弗勒 Wohler 曾在實驗中以普通化學之綜合法，製出一種獸類排洩之尿素[$CO(NH_2)_2$]；而組織生物之其他要素，亦由此漸能製造。昔日所認為由生活力之作用所生之各種現象，今日則知僅為普通物理與化學所起之作用而已。雖此問題距解決尚遠，但吾人得知生物之異於無生物者，非藉生活力之存在，而由極普通之碳素；彼與其他原子聯合而成特大之分子已耳。

「若然，則生命之得以在宇宙中存在者，為藉碳原子之有一種特殊性質矣。或碳有足以在化學方面注意者，即其為金屬與非金屬間之一種過度物質；但碳之物質組織，據吾人之所知，並無特殊之才能足以聯合其他分子。碳原子為六電子繞一適宜之中心而旋轉，猶六行星公轉於一中心太陽之周圍；碳之異於週期表中其相鄰二元素矽與氮者，僅前者少一電子，後者多一電子耳。但此區區之不同點，已足成為研究有生物與無生物之區別之憑藉。此六電子具有特殊性質之理由，為似寓於自然基本律之中，可以無疑；但數學物理尚不能以御之也。

「在化學中亦有同類之事實 磁性現象於鐵為特著，而在其相鄰之二原子鎳及鈷則較次，此三原子之電子數分別為二十六，二十

七，二十八。其他原子則直無磁性之可言。何以此具有二十六，二十七，二十八個電子之原子，而尤以其前者，有特殊之磁性；對此數學物理亦無能為力。第二例為放射作用，除稍有例外者外，特別只見於含八十三至九十二個電子之原子；吾人亦不知其為何故也。

「故化學為僅能示吾人以生命與磁性及放射作用為屬於同類而已。宇宙之構成為運用於依某種之規律，因有諸規律，具有六，二十六至二十八，及八十三至九十二個電子之原子，有某種特殊之性質，而顯示於生命，磁性，及放射作用諸現象。萬能之宇宙製造者，初不受任何之限制，決不為現今宇宙中之諸規律所拘束；彼原可選造宇宙以適合多種其他諸組規律中之任一律。若彼選取另一組規律，則其他特殊原子必將有其他之特性與之聯合。但吾人可斷言放射作用，磁性，或生命，則未必曾預列於其中。化學乃示生命正如磁性與放射作用，僅為因在現日宇宙統治下之一組特殊規律之一種偶遇而已。

「再『偶遇』二字尚未足以問難者：宇宙之創造者，若選取一特組之規律正為要有生命之出現者，則何偶遇之有？且若此即為其創造生命之方法，亦何有偶遇之可言？吾人恆以創造者為一放大具有人形之生物，亦能為情感及興趣所驅使，則以上之疑難，殊無法以解答，而僅能附帶聲明。謂當將創造者作知此之假定時，則除所假定者之外，無足以再置一辭矣。雖然，若吾人放棄心中之一切擬人論 anthropomorphism，則無理由以假定現有之規律，特為產生生命而設。此正謂宇宙之規律，與特為選取以產生磁性及放射作用者為相同，而此實更近似；蓋物理學在宇宙中之活動地位，遠較生物學為遼闊

也，在嚴密之物質立足點而言，由生命之纖細足解宇宙之大建築師初未有注意及此也。

「茲取一小喻，能使此情形更加瞭解，一無想像能力之水手，慣於結繩，或思若結繩為不可能，則渡重洋亦為不可能。結繩惟能於三元空間中之行；而在一，二，四，五，或任何多元空間中為不可能。由此事實，此無想像能力之水手，或以仁慈之創造者必特別關心於水手，而特為選擇空間為三元，使其結繩與渡重洋皆能於其所創造之宇宙中之行——簡言之，即因空間為三元，故能有水手。此正與以上之理論為相似；蓋生命之全部與結繩正為相同，無一能在物質宇宙之全部活動中佔一較重要之地位也。

「科學之所能明示吾人者，為吾人來源之奇異，當吾人捨論生命之原始而求瞭解人生之目的，或預想已經命定之人類之前途，則當愈加疑惑也。

「吾人所知之生命，惟能在適當光熱情形之下始克生存。吾人之所以得存在者，因為地球收受太陽所放射之光熱，適當其宜，若光熱不能平衡，過多或過少，則地球上之生命必行消滅。然此種平衡之傾覆，則甚易耳。

「居住地球上溫帶中之原始人類，見冰河下流近其家園，必生恐懼；冰河由山谷下流，年廣一年；每年冬日，愈覺太陽之熱不足以溫其生命。此與彼輩亦猶吾人之以宇宙似與生命為勁敵也。

今日之吾人，處在圍繞於太陽外之一狹溫帶中，窺深悠長之未來，得見另有一種冰河時期以恐嚇吾人。坦拉塔拉 Tantalus 立於足可沒頂之深湖中，尚命定渴死（此為希臘神話）；人類之悲劇，正復如

是；雖宇宙物質之大部份仍屬過熱，生命不能插足；而人類以及有生之物之將來，或將死於寒冷也。太陽無外得之熱，其供給生命之放射必日漸減少。由此，空間中生命得以存在之溫帶，亦必漸向太陽縮小。欲求生命仍可寄托，則地球必需日漸趨近此垂死之太陽。但科學告吾人以地球不但不能向內而移，且將為無情之動力學定律所支配，反漸離太陽而去，入於外部寥冷及黑暗之區域。若非天體互撞，或地面忽起變化，使生命立即滅亡；行見地球接續離太陽以去，而生命終遭凍斃也。此可預料之定數，不但特別對地球為然；其他之太陽亦必與吾人之太陽同病而死，且其他行星上如有生命，亦將受同樣不光明之終結也。

「物理學所能示吾人者，正與天文學同。茲離開天文學而從物理學方面觀之，熱力學第二定律能預知宇宙亦有一終結——熱逝heat-death——，即宇宙之全能力將平均分佈，宇宙中所有物質必至同溫度。斯時溫度之低降，足使生命不能生存，自何種特殊之路以至此終局，為無關係；但「異途同歸羅馬」，最後之結局，必為全部之滅亡耳。

「然一切生命，或由錯誤而入於不為生命而設計之宇宙中，此種宇宙之各方面，對生命不僅漠視，抑亦敵對；生命棲止於一沙屑之上，直至凍斃而後已。生命在短時間之內，徘徊於纖細之舞臺上，明知前途終歸於盡，及事業必隨種族而亡，所餘者僅為未產生生命前之宇宙而已。生命果僅如是乎？

「此由天文學中發生之問題，吾人欲求解答，必於物理學中味之。蓋天文學僅能示人以宇宙之目前排列，空間之廣大與空虛，及吾人之纖細；并告人以在時間之過程中各種變化之性質。但吾人在求

「回答吾人之問題以前，必須深察事物之根本性質。然此種探索，非天文學之範圍；將驅吾人入於近代物理學之中心矣。」

(完)

附 錄 一

太 陽 常 數

- 視 直 徑 = $31'59.23''$ 。
真 直 徑 = 1390000 仟米·公里) = 866400 英里。
= 地球直徑之 108.96 倍。
面 積 = 地球面積之 11872 倍。
體 積 = 地球體積之 1293604 倍。
密 度 = 地球密度之 $1/4$ 。
質 量 = 地球質量之 333432 倍。
表 面 重 力 = 地球表面重力之 27.6 倍。
自轉軸之傾斜 = $7'15''$ 。
自轉週期：
赤道 **25** 日
南北緯 30 度 26.5 日
南北緯 40 度 27 日
兩極 30 日
黑子活動週期 **11.13** 年

附 錄 二

行星最易觀察之時期表

年 份	水 星		金 星		火星	木星	土星
	晨 星	昏 星	晨星	昏星			
1939	8月25日—9月1日	3月14日—21日	2月	—	7月	9月	10月
1940	8月7日—14日	2月25日—3月3日	9月	4月	—	11月	11月
1941	9月9日—16日	2月8日—3月15日	—	11月	9月	12月	11月
1942	10月24日—31日	1月22日—29日	4月	—	—	—	11月
1943	10月7日—14日	4月27日—5月4日	11月	6月	12月	1月	12月
1944	9月20日—27日	4月9日—16日	—	—	—	2月	12月
1945	9月4日—11日	3月2日—10日	6月	2月	—	3月	—
1946	8月18日—25日	3月7日—14日	—	9月	1月	4月	1月
1947	8月1日—8日	2月18日—2月25日	1月	—	—	5月	1月
1948	11月3日—10日	2月1日—8日	9月	4月	2月	6月	2月
1949	10月7日—24日	5月7日—14日	—	11月	—	7月	2月
1950	9月30日—10月7日	4月20日—27日	4月	—	3月	8月	3月

上表中火、木、土三星適於在所列之月份與地球相衝，於夜午過子午線，宜於夜間觀察。

附 錄 三

著 名 小 行 星 表

符號	星 名	發 現 日 期	平黃經	黃赤交角	離心率	軌道長 半徑(天 文單位)	恆星週期
1	Ceres	1801年1月1日	232°52'	10° 36'	0. 79	2.766	4.600年
2	Pallas	1802 3 28	259 45	34 44	0.235	2.772	4.615
3	Juno	1804 9 1	171 54	13 2	0.256	2.670	4.362
4	Vesta	1807 3 29	102 17	7 8	0.089	2.362	3.629
5	Astraea	1845 2 8	353 41	5 20	0.190	2.576	4.185
6	Hebe	1847 7 1	98 37	14 48	0.201	2.432	3.778
7	Iris	1847 8 13	290 43	5 28	0.231	2.386	3.686
8	Flora	1847 10 18	242 27	5 53	0.157	2.201	3.266
9	Wetis	1848 4 26	70 20	5 36	0.123	2.337	3.687
10	Hygiea	1849 4 12	181 58	3 49	0.114	3.139	5.562
323	Brucia	1892 12 20	191 17	19 21	0.275	2.158	3.169
433	Eros	1898 8 13	204 35	10 50	0.233	0.458	1.761
434	Hungaria	1898 9 13	301 24	22 30	0.074	1.944	2.712
531	Zerlina	1904 4 12	119 33	24 33	0.190	2.802	4.692
719	Albert	1911 10 3	75 38	10 50	0.541	2.585	4.156
887	Alinda	1918 1 2	265 45	8 58	0.533	5.529	4.023

944	Hidalgo	1920年 0月 31日	100°37'	48° 4'	0.653	2.717	13.670年
1035	Ganymed	1924 10 23	21 19	25 9	0.539	2.636	4.353
1000	Piazza	1923 8 12	154 45	20 43	0.279	3.181	5.674
1071	Gaussia	1923 8 8	27 33	9 22	0.144	3.190	5.698
1002	Orbersia	1923 8 5	101 6	10 47	0.150	2.789	4.658
153	Hilda	1875 11 2	194 59	7 9	0.159	3.969	7.806
190	Ismene	1875 9 22	259 33	6 3	0.138	3.963	7.811
334	Chicago	1892 8 23	82 32	4 38	0.042	3.904	7.714
361	Bononia	1893 3 11	71 33	12 24	0.208	3.950	7.850
499	Venusia	1902 12 21	303 56	2 55	0.209	3.941	7.82
748	Silviana	1913 3 14	239 24	2 15	0.154	3.957	7.872
958	1921 KC	1921 9 28	99 24	5 38	0.203	3.955	7.865
279	Thule	1888 10 25	118 28	2 21	0.058	4.255	8.778
588	Achilles	1906 2 22	252 28	10 18	0.150	5.238	11.989
617	Patroclus	1906 10 17	234 12	22 6	0.140	5.190	11.823
624	Hektor	1907 2 10	162 24	18 10	0.030	5.249	12.025
659	Nestor	1903 3 23	30 58	4 32	0.107	5.177	11.779
884	Priamus	1917 9 22	300 27	8 51	0.118	5.256	12.051
911	Agamemnon	1919 3 19	236 51	21 57	0.086	5.155	11.702

表中軌道原素爲依 1925.0 年春分點。

附 錄 四

週期彗星表(僅出現一次者)

族 名	彗 星 名	週 期	出現通過近日點時期	應出現而未 出現之次數
木 星	Heifenzrieder	4.5年	1766年 4月 27日	35(?)
	Blainpain	4.8	1819 11 20	22(?)
	Grischau	5.4	1743 1 8	33(?)
	Barnard, I	5.5	1884 8 16	7
	Lexell	5.6	1770 8 13	27(?)
	Pigott	5.6	1783 11 20	25(?)
	Coggia	6.2	1873 12 1	8
	Brooks, I	6.3	1886 6 6	6
	Barnard, II	6.3	1892 12 11	5
	Jaylar	6.37	1916 1 3	1
族	Juttle	6.61	1858 5 3	10(?)

	Schorr	6.68	1918年 9月28日	1
	Swift, I	7.0	1889 11 29	5
	Swift, II	7.2	1895 8 20	4
	Denning II	7.4	1894 2 9	4
	Wolf	7.5	1925 1 23	0
	Melcalf	7.59	1906 10 10	2
	Daniel	6.48	1909 11 28	2
	Giacobini, I	6.66	1896 10 28	4
	Denning, I	8.8	1881 9 13	5
土星族	Peters	12.8	1846 6 1	6
	Neujmin	17.6	1913 8 16	0
天王星族	Coggia	40.1	1867 1 20	1
海王星族	Pon, II	63.8	1827 6 7	1
	De Vico	73.2	1846 3 5	1(?)
	Dubiago	80.0	1921 5 4	0

索引一 西文名詞

名 詞	頁數	名 詞	頁數
Aberration 光行差	19	Ariel 神獅(天王星之衛星).....	91
Absorption spectrum 吸收光譜.....	33	Aries 白羊座	134
Aérolites 氣石.....	127	Arietids 白羊座流星羣	123
Aethra 愛斯蘭星(小行星).....	100	Ascending node 昇交點.....	23
Albedo 反照率.....	42	Asteroids 小行星.....	4
Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmel oder Versuch von der Verfassung und dem mechanischen Ursprunge des ganzer Weltgebauedes nach Newtonschen Grundsätzen abgehandelt.		Astraea (同Astrea) 義神星(小行星)	99
自然史與天體論	130	Astronomical unit 天文單位.....	5
Almagest 天文集	2	Aurigids 御夫座流星羣	123
Andromeda 仙女.....	122	Autumnal equinox 秋分點.....	8
Andromedes 仙女流星羣	117	Biela's comet 俾拉彗星	106
Annual equation of the moon 年差	17	Black body 黑體	75
Annular 金環蝕	67	Bode's law 普得定律	21
Anthropomorphism 擬人論	153	Borrelly 菩累利(彗星)	112
Apparent diameter 視直徑	25	Bright line spectrum 明線光譜.....	33
Aquarids 寶瓶座流星羣	123	Bright ring 明環.....	86
Aquarius 寶瓶座.....	92	Brooks 布盧克斯(彗星).....	112
Argument of the perihelion		Brosen I 布羅孫 I (彗星)	112
近日點距角	24	Brosen II 布羅孫 II (彗星)	113
		Callisto 仙婢.....	83
		Caloris 卡路里.....	29
		Canali 運河.....	76
		Canis Major 大大座	140
		Capricornids 摩羯座流星羣	123

Cassini's division 卡西尼間隔.....	85	Doppler's law 陀伯勒定律.....	27
Capture theory 俘獲論.....	113	Draco 天龍座.....	57
Ceres 穀神星(小行星).....	98	Draconis 天龍座流星羣.....	123
Centaurus 半人馬座.....	53	Earth 地球.....	22
Chromosphere 色球.....	31	Earth and Sun 地球與太陽.....	38
Climatic Cycles and Tree Growth 氣候循環與樹木之長成.....	38	Eclipse year 蝕年.....	70
Coma of the comet 彗髮.....	105	Ecliptic 黃道.....	8
Comas Sola 科馬斯索拉(彗星).....	113	Ecliptic limit 蝕限.....	69
Comet 彗星.....	4	Ecliptic system 黃道制.....	23
Cometary group 彗星羣.....	111	Ejection theory 噴吐論.....	114
Commentaris de Motibus Stellae Martis 火星運動詮釋.....	11	Electromagnetic theory of light 光之電磁學說.....	108
Conjunction 合.....	10	Elements of orbit 軌道要素.....	23
Continuous spectrum 連續光譜.....	33	Elongation 偏角.....	11
Corona 冠層.....	31	Enceladus 巨神(土星之衛星).....	89
Coronium 冠質.....	33	Encke 恩開(彗星).....	111
Counter glow 對日照.....	129	Epicycloid 擺線.....	2
Crape ring 暗環.....	86	Equatorial system 赤道制.....	23
D'Arrest 達累斯特(彗星).....	112	Erg 爾格(功之單位).....	31
Darwin 達爾文.....	130	Eros 愛神星(小行星).....	101
Deimos 戰神次子.....	78	Euphrosyne 攸夫羅西尼星(小行星).....	100
Delavan's comet 得拉文彗星.....	115	Europa 腓王公主.....	83
De Revolutionibus Orbium Coelestium 天體公轉論.....	3	Evaporation 汽化.....	76
Diffusion of light 光線擴散.....	45	Evection of the moon 出差.....	17
Dione 山神(土星之衛星).....	89	Exposition du Systeme du Monde 宇宙系統探奧.....	131
Direct motion 順行.....	8	Family of comets 彗星族.....	111
Disintegration 蛻變.....	31	Faye 腓(彗星).....	112
Disturbing force 攝力.....	16	Fictitious planet 偽行星.....	2
Donati's comet 多那提彗星.....	108	Finlay 芬雷(彗星).....	112
Doppler's effect 陀伯勒效應.....	34	First quarter 上弦.....	63
		Fixed star 恆星.....	2

Footpound 呎磅.....	120	Juno 婚神星(小行星).....	95
Fraunhofer's lines 夫宰因和斐線.....	110	Jupiter 木星.....	22
Full moon 望.....	63	Kepler's law 開伯勒行星運動定律.....	3
Gauss 高斯(磁力單位).....	28	Kopff 科夫(彗星).....	112
Galactic system 銀河系.....	5	Law of universal gravitation 萬有引力定律.....	12
Ganymede 牧童.....	83	Leo 獅子.....	122
Gemini 雙子座.....	59	Leonids 獅子座流星羣.....	122
Geminids 雙子座流星羣.....	122	Leonid meteors 雷俄尼特隕石.....	105
General theory of relativity 廣義相對論.....	14	Lexell's comet 雷克塞爾彗星.....	106
Globula cluster 球狀星團.....	141	Liberation 天平動.....	42
Gravitational constant 引力常數.....	13	Light year 光年.....	5
Griacobini 格利亞庫彼耐(彗星).....	112	Line of nodes 昇降線.....	23
Grigg-Skjellerup 葛利一斯開哲勒盧普 (彗星).....	111	Longitude of the ascending node 昇交點黃經.....	23
Halley's comet 哈利彗星.....	105	Longitude of the perihelion 近日點黃經.....	23
Harmonic law 調和定律.....	12	Lucifer 啟明.....	45
Heat-death 熱逝.....	155	Lunar eclipse 月蝕.....	66
Hercules 武仙座.....	141	Lunar ecliptic limits 月蝕限.....	69
Herculids 武仙座流星羣.....	123	Lunar theory 月球論.....	16
Hertz wave 赫茲波.....	78	Lyra 天琴.....	122
Hesperus 長庚.....	45	Lyrids 天琴座流星羣.....	122
Holmes' comet 荷姆斯彗星.....	110	Mars 火星.....	22
Horizontal parallex 水平視差.....	19	Mean longitude 平均黃經.....	24
Hungaria 亨伽尼亞星(小行星).....	100	Mean planet 平均行星.....	24
Hyperion 日神(土星之衛星).....	89	Mecanique Celeste 天體力學.....	3
Iapetus 天于(土星之衛星).....	89	Mercury 水星.....	22
Inclination 斜角.....	23	Meteorites 隕石.....	127
Inferior conjunction 下合.....	10	Meteors 流星.....	119
Inferior planets 內行星.....	10	Micrometer 量微表.....	25
Io 江中女神.....	83	Mimas 電鬼(土星之衛星).....	89
Iostasy 地殼均衡.....	54		

Minor planets 小行星.....	4	Phobos 戰神星子.....	78
Moon's path 白道.....	61	Phoebe 鵝神(土星之衛星).....	89
Morpheus's comet 摩累泰施彗星.....	115	Photometer 光度計.....	120
Nebula 星雲.....	133	Photosphere 光球.....	31
Nebular hypothesis 星雲學說.....	131	Planck's law of radiation 普蘭克輻射定律.....	28
Neujmin 那明(彗星).....	112	Planet 行星.....	2
Neptune 海王星.....	22	Planetesimal 微細之行星.....	137
New moon 晦.....	63	Planetesimal hypothesis 星子學說.....	39
Node 交點.....	43	Planetoids 小行星.....	4
Nucleus of the comet 彗核.....	105	Pluto 冥王星.....	4
Nutation 章動.....	58	Pons-Brooks 蓬一普累利(彗星).....	113
Oases 湖.....	76	Precession 進動.....	57
Oberon 仙王(天王星之衛星).....	91	Precession of equinoxes 歲差.....	56
Obliquity of ecliptic 交角.....	58	Precipitation 凝結.....	76
Others 俄爾柏斯(彗星).....	113	Principia 格物論.....	12
Opposition 衝.....	10	Problem of three bodies 三體問題.....	15
Origin of Species 物種原始.....	130	Problem of two bodies 雙體問題.....	14
Origin of the Earth 地球原始.....	131	Ptolemaic system 托雷密系.....	2
Orionids 獵戶座流星羣.....	123	Quadrantids 方橢座流星羣.....	123
Outer planets 外行星.....	10	Radiant point 射源.....	121
Outer ring 外環.....	86	Radium 鐳.....	146
Pallas 智神星(小行星).....	99	Radical Motion in Sun-spots 日中黑子之輻射運動.....	35
Parallactic equation of the moon 月角差.....	17	Relativity 相對論.....	4
Parallax 視差.....	19	Retrograde motion 逆行.....	9
Penumbra 半影.....	68	Reversing layer 吸收層.....	31
Perihelion point 近日點.....	23	Revolution 公轉.....	8
Period 週期.....	21	Rhea 天女(土星之衛星).....	89
Perrine 培頓恩彗星.....	112	Riemannian geometry 李曼幾何.....	6
Pegasus 英仙.....	122	Rominnence 輝宿.....	32
Persids 英仙座流星羣.....	122	Rotation 自轉.....	8
Perturbation 攝動.....	16		

Sagittarius 人馬座	5	Tempel 泰姆培爾(彗星).....	118
Sagittids 人馬座流星羣.....	123	Tempel I 泰姆培爾 I (彗星).....	112
Satellites 衛星	3	Tempel II 泰姆培爾 II (彗星).....	112
Saturn 土星	22	Tempe-L. Swift 泰姆培爾-斯威夫特 (彗星)	112
Schaumasse 紹馬塞 (彗星).....	113	Tethys 水神(土星之衛星).....	89
Scorpius 天蠍座	1	Tetrahedron 正四面體	52
Scorpiids 天蠍座流星羣	123	The Dying Sun 垂死之太陽.....	149
Shooting star 流星	4	Theory of the Universe 宇宙論.....	139
Sidereal period 恆星週期	21	The Mysterious Universe 神秘之宇宙	149
Sidereal year 恆星年	56	The Orbit of Neptune 海王星之軌道	96
Sirius 天狼星	111	Third quater: 下弦	68
Sixth order 六級	23	Thule 圖爾星(小行星).....	100
Solar eclipse 日蝕	66	Titan 大力神(土星之衛星).....	89
Solar ecliptic limits 日蝕限	70	Titania 仙后(天王星之衛星).....	91
Solar system 太陽系	4	Total solar eclipse 日全蝕.....	67
Solar year 太陽年	56	Transit 凌日.....	48
Space-time 空時間	72	Triangulum nebula 三角座星雲.....	6
Spectroregistresurs des Vitesses (德) 光譜速率計	12	Triton 海神(海王星之衛星).....	93
Spiral nebula 螺旋星雲.....	135	Tropical year 回歸年.....	70
Stationary 留	9	Tuttle 塔特爾(彗星).....	113
Stefan's law of radiation 施德芬放熱定律	75	Umbra 本影	68
Sub-atomic energies 原子組成之能力	146	Umbriel 怪妖(天王星之衛星).....	91
Sun 太陽	27	Uranoliths 天石	127
Sun spots 日中黑子	3	Uranus 天王星	22
Superior conjunction 上合	10	Ursa Minor 小熊座	57
(De Vico E.) Swift 斯威夫特(彗星).....	112	Ursida Major 大熊座流星羣.....	128
Synodical period 會合週期	21	Variation of the moon 二均差.....	17
Systema Saturnium 土星系統	85	Venus 金星	22
Tail of the comet 彗尾	105	Vernal equinox 春分點	8
Taurids 金牛座流星羣	123	Vesta 賽神星(小行星).....	99
		Virgo 處女座	99

Vital force 生活力	152	Wolf 佛爾夫(彗星)	113
Welles' comet 韋爾斯(彗星)	110	Zeeman effect 塞曼效應	36
Westphal 未斯特法爾(彗星)	113	Zodiacal light 黃道光	128
Wlasecke 維內刻(彗星)	112		

索引 二 外國人名地名

人名或地名	頁數	人名或地名	頁數
Abbott 阿善特	31	Boys (C.V.) 波埃斯	14
Abney 阿布尼	33	Brakett 布累格忒	33
Adams 阿丹斯	7	Brazil 巴西	72
Airy 阿利	91	Bredichin 布累提欽	109
Alexandia 亞歷山地亞	51	Bremiker 白菜米葛	92
Alps 阿爾卑斯山脈	6	Brondes 布隆特斯	120
Antoniadi (E. M.) 安托尼亞提	41	Campbell 卡姆培爾	72
Apennices 亞平尼塞斯山脈	61	Cassini 卡西尼	45
Apian 阿彼安	115	Caucasus 高加索山脈	64
Aristotle 亞理斯多德	103	Cavendish 卡文提什	13
Arizon 阿里叢省	94	Cerulli 塞路里	45
Auaximanus 奧克龍麥斯	2	Challis 查利斯	91
Auckland 奧克蘭	118	Chamberlin 查姆柏林	39
Baily 培利	13	Chandler 昌德勒	101
Barnard 巴那德	75	Charlois 却路亥	99
Bélopolsky 培羅巴兒斯基	46	Clairaut 克雷羅	18
Benzenberg 本曾柏格	125	Clarke 克拉克	50
Bessel 培塞爾	50	Common 科蒙	118
Biela 俾拉	117	Copenhagen 古彭黑根	120
Blencoe 布蘭科	110	Copernicus 哥白尼	2
Bode 普得	21	Cornu 科努	14
Bolwer 波兒瓦	95	Cowell 科章爾	116
Bond (W.C.) 蓬德	10	Crabtree 克拉布威利	47

Crommelin 克羅密林.....	116	Gauss 高斯.....	98
D' Alembert 達隆培爾.....	133	Gilbert 皎爾伯特.....	65
Darwin (G. H.) 小達爾文.....	144	Göttingen 革丁根.....	120
Dauglass 陶格拉斯.....	38	Grampian Hill 格拉姆彼安山.....	51
Davidson 得維德松.....	72	Green 郭林.....	52
Dawes 道斯.....	85	Greenwich 格林尼治.....	24
Denning 得甯.....	120	Grimaldi 格利馬爾提火山.....	65
Denza 頓薩.....	125	Grossmann 格羅斯曼.....	44
Deslandres 德斯勒突.....	32	Hale 黑爾.....	32
Doerfler 多安腓爾.....	103	Hall 豪爾.....	78
Eddington 愛丁頓.....	6	Halley 哈利.....	18
Einstein 愛因斯坦.....	6	Hamilton 哈密爾敦.....	5
Encke 恩開.....	116	Harding 哈爾丁.....	99
Erasthenes 埃拉斯托塞斯.....	51	Harvard Observatory 哈佛大學天文臺.....	95
Euler 瓦勒.....	18	Haselberg 哈塞爾柏格.....	100
Evans 伊凡斯.....	77	Havens 黑文南.....	100
Evershed 埃弗舍德.....	35	Hayford 黑福特.....	50
Everest 埃弗斯特.....	52	Hegal 黑格爾.....	98
Fath 法色.....	129	Helmholtz 黑爾姆荷爾茲.....	30
Fecunditatis 豐饒海.....	64	Hencke 亨開.....	99
Fiji 非支.....	52	Hermert 赫爾麥特.....	50
Flammaian 佛蘭明.....	93	Herschel 赫舍爾.....	4
Foucault 孚科.....	56	Havelins 黑腓林斯.....	103
Fouler 孚勒.....	118	Hooke 胡克.....	73
Fracastor 夫拉卡斯托.....	115	Horrox 荷羅克斯.....	47
Fragstaff 夫勒格斯達夫.....	94	Hough 藁夫.....	80
Fraunhofer 夫牢因和費.....	32	Huggins 哈金斯.....	43
Gaillot 加期.....	93	Hull 諱爾.....	108
Galileo 加利略.....	5	Humason 哈馬孫.....	95
Galle 加爾.....	92	Humboldt 哈姆堡爾特.....	103
Gambart 加姆巴特.....	117	Huntington 罕丁吞.....	38
Gassendi 加孫提.....	43	Huxley 赫胥黎.....	150

Huygens 海根斯	85	Mariana 馬里安娜	81
Hyparchus 海巴魯斯	2	Marconi 馬科尼	78
Isaac Newton 牛頓	3	Mare Crisium 危難海(月球)	84
Jakson 查克孫	98	Mare Foecundatis 豐饒海(月球)	84
Jean 金斯	31	Mare Humorum 潮濕海(月球)	84
Joly 約利	145	Mare Imbrium 陰雨海(月球)	84
Kant 康德	5	Mare Nectaris 神酒海(月球)	84
Kapteyn 卡普丁	147	Mare Nubium 雲狀海(月球)	84
Keeler 基勒	74	Mare Serenitatis 晴朗海(月球)	84
Kelvin 開爾文	145	Mare Tranquillitatis 靜寂海(月球)	84
Kepler 開普勒	3	Mascari 馬斯卡里	45
Kirkwood 柯爾克武特	125	Maskelyne 馬斯開林	51
Konkoly 空科利	120	Maxwell 馬克斯韋爾	87
Lagrange 拉格隆日	16	Meggers 梅徹斯	38
Lambert 拉姆伯特	104	Melotte 美羅脫	82
Langley 蘭格利	28	Mendon 蒙同	41
Laplace 拉普拉斯	3	Meuden 麥登	65
Lassel 拉塞爾	88	Meuze 曼實	96
Lau 勞	93	Michell 密舍爾	32
Lebedew 雷培杜	108	Milon 邁羅	41
Leibnitz 萊布尼茲山脈	64	Moulton 摩爾吞	39
Lescarbault 萊斯格波兒	44	Mt. Huygens 哈金斯山	65
Leverrier 勒未利埃	4	Mt. Wilson Observatory	
Lexell 雷克塞爾	90	威爾遜山天文臺	5
Lick Observatory 里克天文臺	82	Müller 牟勒	42
Lo kyer 羅克頁	32	Nardman (C.) 那特曼	78
Lowell 羅埃爾	4	Newcomb 紐科姆	44
Lowell's Observatory 羅埃爾天文臺	4	Nichols 尼科爾斯	103
Luther 盧忒	99	Nicholson 尼科爾松	46
Lyman 萊曼	46	Newton (H. A.) 紐頓	119
Magall 麥蓋爾	95	Norton 諾爾吞	107
Magellan 馬哲蘭	50	Oceanus Procellarum 暴風洋(月球)	64

Olbers 俄爾柏斯	99	Stefan 施德芬	28
Olivier 俄利維埃	120	St. John 聖約翰	35
Oppolzer 俄波爾則	125	Struve 斯特盧夫	86
Palermo 巴勒摩	98	Svedstrup 斯維次特魯普	100
Pal'sa 巴里塞	99	Syne 西尼	51
Pantheon 保太庵	56	Tacchini 塔奇尼	45
Ferrotin 培羅丁	45	Tantalus 坦塔拉斯	154
Peters 培忒斯	99	Thales 塞利斯	2
Pettit 柏提	66	Thollon 托倫	77
Piazzi 彼阿齊	4	Thomson 托姆松	120
Pickering 彼刻林	63	Titius 梯底斯	21
Pierce 彼爾斯	87	Todd 托德	4
Poincaré (H.) 彭恩卡累	15	Tombaugh 湯保	4
Prague 普累格	58	Tranquillatis 靜寂海	64
Princeton 普林斯吞	46	Tycho Brahe 提科布拉	3
Pritchett 普利舍特	81	Virginia 弗基凡阿	54
Proctor 普羅克忒	114	Vistula 維斯丟拉	3
Ptolemy 托雷密	2	Vogel 福該爾	43
Pythagoras 彼塔哥拉斯	2	Vulcan 發爾康	44
Reich 賴赫	13	Watson 窩宗	48
Roche 羅什	87	Weiss 淮斯	125
Römer 拉麥	84	Whipple 惠普爾	96
Ross 羅斯	95	Wien 維恩	28
Rowland 羅蘭德	32	Witt 維特	101
Russell 羅素	46	Wohler 弗勒	152
Schaeffer 舍費	124	Wolf 佛爾夫	36
Schiaparelli 斯基亞帕里	41	Wolfer 佛爾斐	88
Schröter 什勒脫	41	Wright (Thomas) 賴特	87
Schwabe 什發培	36	Württemberg 浮泰姆堡	11
Schwartzschild 什發茲喜爾特	108	Zach 薩超	98
Schwinner (R.) 什維納	128	Zagar 薩加	96
Sipher 施里發	46	Zöllner 則爾納	72
		Yerkes' Observatory 頁基斯天文臺	5

索引三 中文名詞

名 詞	頁數
二 畫	
二均差 Variation of the moon.....	17
人馬座 Sagittarius.....	5
人馬座流星羣 Sagittids.....	123
三 畫	
三體問題 Problem of three bodies ...	15
三角座星雲 Triangulum nebula	6
大犬座 Canis Major	140
大熊座流星羣 Ursida Major	123
小行星 Asteroids.....	4
小行星 Planetoids	4
小行星 Minor planets	4
小熊座 Ursa Minor.....	57
小達爾文 Darwin (G.H.)	144
上合 Superior conjunction.....	10
上弦 First quarter	63
下合 Inferior conjunction	10
下弦 Third quarter	63
土星 Saturn	22
土星系統 Systema Saturnium.....	85
大力神(土星之衛星) Titan.....	80

名 詞	頁數
山神(土星之衛星) Dions	89
四 畫	
天女(土星之衛星) Rhea.....	89
天石 Uranoliths	127
天子(土星之衛星) Iapetus.....	89
天琴 Lyra.....	122
天琴座流星羣 Lyrids.....	123
天龍座 Draco	57
天龍座流星羣 Draconis.....	123
天蠍座 Scorpius	1
天蠍座流星羣 Scorpids.....	123
天王星 Uranus.....	22
天狼星 Sirius	111
天文集 Almagest.....	1
天平動 Liberation	42
天文單位 Astronomical unit.....	5
天體力學 Mécanique Céleste.....	3
天體公轉論 De Revolutionibus Orbium Coelestium	3
日神(土星之衛星) Hyperion.....	89
日蝕 Solar eclipse	66
日全蝕 Total solar eclipse.....	67

日蝕限 Salar ecliptic limits.....	70	六級 Sixth order.....	23
日中黑子 Sun spots.....	30	牛頓 Isaac Newton.....	3
日中黑子之輻射運動 Raodical Motion in Sun-spots.....	35	內行星 Inferior planets	10
月蝕 Lunar eclipses.....	66	反照率 Albedo.....	42
月蝕限 Lunar ecliptic limits.....	69	引力常數 Gravitational constant.....	13
月球論 Lunar Theory.....	16	方牆座流星羣 Quadrantids.....	123
月角差 Parallaxic equation of the moon.....	17	五 畫	
水星 Mercury	22	仙王(天王星之衛星) Oberon.....	91
水神(土星之衛星) Tethys.....	89	仙后(天王星之衛星) Titania.....	91
水平視差 Horizontal parallex	19	仙婢 Callisto.....	83
火星 Mars.....	22	仙女 Andromeda.....	122
火星運動詮釋 Commentarirs de Moti- bus Stellae Martis.....	11	仙女流星羣 Andromedes	117
木星 Jupiter.....	22	布盧克斯(彗星) Brooks.....	112
太陽 Sun	27	布羅孫 I (彗星) Brosen I.....	112
太陽系 Solar system	4	布羅孫 II (彗星) Brosen II.....	113
太陽年 Solar year	56	布蘭科 Blencoe	116
什勒脫 Schröter	41	布累格忒 Brakett.....	33
什發培 Schwabe	36	布累提欽 Bredich'n	109
什維納 Schwinner (R.).....	128	布隆特斯 Brondes	120
什發茲喜爾特 Schwarzschild	108	卡西尼 Cassini.....	45
夫拉卡斯托 Fracastor.....	116	卡路里 Calorie.....	29
夫牢因和斐 Fraunhofer.....	32	卡普丁 Kapteyn	147
夫牢因和斐線 Fraunhofer's lines.....	110	卡文提什 Cavendish	13
夫勒格斯塔夫 Fragstaff.....	94	卡姆培爾 Campbell.....	72
巴西 Brazil	72	卡西尼隔閡 Cassini's division.....	85
巴那德 Barnard	73	白道 Moon's path	61
巴里塞 Palisa	99	白羊座 Aries.....	134
巴勒摩 Pelermo	98	白羊座流星羣 Arietids	123
公轉 Revolution	6	白萊米葛 Bremiker.....	92
		加耶 Gaillet.....	93
		加爾 Galle	92

加利略 Galileo.....	5	光線擴散 Diffusion of light.....	46
加孫提 Gassendi.....	43	光譜速率計(德) Spectroenregistrans	
加姆巴特 Gambart.....	117	de Vitesses.....	32
尼科爾松 Nicholson	46	光之電磁學說 Electromagenetic the-	
尼科爾斯 Nichols.....	108	ory of light.....	108
平均行星 Mean planet.....	24	托倫 Thollon	77
平均黃經 Mean longitude.....	24	托德 Todd	4
半影 Penumbra	68	托姆松 Thomson.....	120
半人馬座 Centaurus	55	托雷密 Ptolemy	2
外環 Outer ring	86	托雷密系 Ptolematic system.....	2
外行星 Outer planets.....	10	那明(彗星) Neujmin	112
弗勒 Wohler.....	152	那特曼 Nardmen (C.).....	78
弗基尼阿 Virginia	54	宇宙論 Theory of the Universe.....	130
本影 Umbra.....	68	宇宙系統探奧 Exposition du Systeme	
本曾柏格 Benzenberg.....	120	du Monde.....	137
出遊 Evection of the moon.....	17	交點 Node.....	43
瓦勒 Euler	18	交角 Obliquity of ecliptic	56
正四面體 Tetrahedron.....	52	自轉 Rotation.....	8
巨神(土星之衛星) Enceladus	89	自然史與天體論 Allgemeine Naturge-	
未斯特法爾(彗星) Westphal.....	113	schichte und Theorie des Himmel	
古彭羅根 Copenhagen.....	120	oder Versuch von der Vertassung	
生活力 Vital force	152	und dem mechanischen Vrsprunge	
		des ganzer Weltgebanded, nach	
		Newtouschon Grundsätzen abge-	
		handelt.....	130
地球 Earth	22	多安腓爾 Doerfel.....	103
地球原始 Origin of the Earth.....	131	多那提(彗星) Donati's Comet.....	108
地球與太陽 Earth and Sun	38	合 Conjunction.....	10
地殼與衡 Isostasy	54	行星 Planet.....	2
光年 Light year	5	年差 Annual equation of the moon	17
光球 Photosphere.....	31	色球 Chromosphere.....	31
光行差 Aberration	19	牟勒 Müller	42
光度計 Photometer.....	120		

六 畫

西尼 Syne.....	51
回歸年 Tropical year.....	70
伊瓦斯 Evans	77
危難海(月球) Mare Crisium.....	64
江中女神	83
安托尼亞提 Antoniadı (E.M.).....	41

七 畫

阿利 Airy	91
阿丹斯 Adams.....	27
阿善特 Abbott.....	30
阿布尼 Abney	30
阿彼安 Apian	115
阿黑邊省 Arizon	94
阿爾卑斯山脈 Alps.....	65
克雷羅 Clairaut	38
克拉克 Clarke	50
克羅密林 Crommelin	116
克拉布威利 Crabtree	47
佛爾夫(彗星) Wolf.....	113
佛爾夫 Wolf.....	36
佛爾斐 Wolfer.....	36
佛蘭明 Flamman.....	93
陀伯勒效應 Doppler's effect.....	34
陀伯勒定律 Doppler's law.....	27
亨開 Hencke.....	99
亨加利亞星(小行星) Hungaria.....	100
近日點 perihelion point.....	23
近日點距角 Argument of the perihelion.....	24
近日點黃經 Longitude of the perihelion.....	23

吸收層 Reversing layer.....	31
吸收光譜 Absorption spectrum.....	33
罕丁香 Hunt ington	38
孚科 Foucault	56
孚勒 Fouler	113
汽化 Evaporation	76
妖怪(天王星之衛星) Umbriel	91
呎磅 Footpound	120
赤道制 Equatorial system.....	23
却路真 Charlois	99
李曼何 Riemannian geometry.....	6
里克天文臺 Lick Observatory	82
攸夫羅西尼星(小行星) Euphrosyne.....	100
岐爾伯特 Gilbert.....	65

八 畫

拉麥 Römer.....	84
拉塞爾 Lassell.....	88
拉格隆日 Lagrange.....	6
拉普拉斯 Laplace.....	3
拉姆伯特 Lambert	104
彼阿齊 Piazzi	4
彼刻林 Pickering.....	43
彼爾斯 Pierce	87
彼塔哥拉斯 Pythagoras	2
金星 Venus	22
金斯 Jeans.....	31
金環蝕 Annular	67
金牛座流星羣 Taurids	123
來曼 Lyman.....	46
來斯格波兒 Lescaubault.....	44
萊布尼茲山脈 Leibnitz	64

空時間 Space-time	72	哈爾丁 Harding	99
空科利 Konkoly	120	哈金斯 Huggins	43
亞歷山地亞 Alexandria	51	哈馬孫 Humason	96
亞卑尼塞斯山脈 Apennines	64	哈利(彗星) Halley's comet	105
亞理斯多德 Aristotle	103	哈密爾敦 Hamilton	5
昇交點 Ascending node	23	哈姆普爾特 Humboldt	103
昇降線 Line of nodes	23	哈塞爾柏格 Haselberg	110
昇交點黃經 Longitude of the ascend- ing node	23	哈佛大學天文臺 Harvard Observatory	95
波兒瓦 Bolver	96	馬哲蘭 Magellan	50
波埃斯 Boys (C.V.)	14	馬科尼 Marconi	78
明環 Bright ring	86	馬斯卡里 Mascari	45
明線光譜 Bright line spectrum	33	馬斯開林 Maskelyne	51
武仙座 Hercules	141	馬里安那 Mallana	52
武仙座流星羣 Herculids	123	馬克斯韋爾 Maxwell	87
非支 Fiji	52	科努 Cornu	14
長庚 Hesperus	45	科蒙 Common	118
法色 Fath	129	科夫(彗星) Kopff	112
牧童 Ganymede	83	科章爾 Cowell	116
舍斐 Schaeffer	124	科馬斯索拉(彗星) Comas Sola	113
芬雷(彗星) Finlay	112 ^o	俄爾柏斯 Olbers	99
美羅脫 Melotte	82	俄爾柏斯(彗星) Olbers	113
則爾納 Zöllner	42	俄利維埃 Olivier	120
昌德勒 Chandler	101	俄波爾則 Oppolzer	125
坦塔拉斯 Tantalus	154	查利斯 Challis	91
物種原始 Origin of Species	130	查克孫 Jak on	96
垂死之太陽 The Dying Sun	149	查姆柏林 Chamberlin	39
刺爾克武特 Kirkwood	125	施德芬 Stefan	28
頁基斯天文臺 Yerkes' Observatory	5	施里費 Slipher	46
		施德芬放熱定律 Stefan's law of ra- diation	75
		恆星 Fixed star	2
		恆星年 Sidereal year	59
九 畫			
哈利 H lley	18		

恆星週期 Sidereal period	21	格利馬爾提火山 Grimaldi	65
星雲 Nebula	133	格利一斯爾哲勒盧普(彗星) Grigg- Skjellerup	111
星子學說 Planesimal hypothesis	39	海王星 Neptune	22
星雲學說 Nebular hypothesis	131	海神(海王星之衛星) Triton	93
神星(天王星之衛星) Ariel	91	海根斯 Huygens	85
神酒海(月球) Mare Nectaris	64	海巴魯斯 Hyppochus	2
神秘之宇宙 The Mysterious Universe	149	海根斯山 Mt. Huygens	65
英仙 Perseus	122	海王星之軌道 The Orbit of Neptune	96
英仙座流星羣 Perseids	122	泰姆培爾(彗星) Tempel	113
冠層 Corona	31	泰姆培爾 I (彗星) Tempel I	112
冠質 Coronium	33	泰姆培爾 II (彗星) Tempel II	111
胡克 Hooke	73	泰姆培爾一斯威夫特(彗星) Tempel-L. Swift	112
約利 Joly	145	埃弗斯特 Everest	52
柏提 Pettit	66	埃弗舍德 Evershed	35
逆行 Retrograde motion	9	埃拉斯托塞斯 Erastothenes	51
春分點 Vernal equinox	8	俾拉 Biela	117
秋分點 Autumnal equinox	8	俾拉彗星 Biela's comet	106
冥王星 Pluto	4	紐科姆 Newcomb	41
保大庵 Pantheon	56	紐頓 Newton (H.A.)	19
相對論 Relativity	4	高加索山脈 Caucasus	64
俘獲論 Capture Theory	113	高斯 Gauss	98
室女座 Virgo	99	高斯(磁力單位) Gauss	28
軌道要素 Elements of orbit	23	恩克 Encke	116
威爾遜山天文臺 Mt. Wilson Observat- ory	5	恩開(彗星) Encke	111
十 畫		視差 Parallax	19
格物論 Principia	12	視直徑 Apparent diameter	25
格林尼治 Greenwich	24	氣石 Aerolites	127
格羅斯曼 Grossmann	44	氣候循環與樹林之長成 Climatic cycles and Tree Growth	38
格拉姆彼安山 Grampian Hill	51	流星 Meteors	119
格利亞庫彼耐(彗星) Giacobini	112		

流星 Shooting star..... 4
 留 Stationary 9
 郭林 Green 52
 康德 Kant..... 5
 凌日 Transit..... 43
 射源 Radian' point.....121
 哥白尼 Copernicus 2
 革丁根 Göttingen.....120
 陰雨海(月球) Mare Imbrium 64
 浮泰姆堡 Württemberg 11
 陶格拉斯 Dauglass..... 38
 連續光譜 Continnous spectrum..... 32
 球狀星團 Globular cluster141
 韋爾斯(彗星) Welles' comet110
 原子組成之能力 Sub-atomic energies 145

十 一 畫

彗星 Comet 4
 彗髮 Coma of the comet105
 彗尾 Tail of the comet105
 彗核 Nucleus of the comet105
 彗星羣 Cometary group111
 彗星族 Family of comets.....111
 培利 Eaily..... 13
 培忒斯 Peters 99
 培塞爾 Bessel 50
 培羅丁 Ferrotin 45
 培賴恩(彗星) Perrine.....112
 培羅巴克斯基 Belopolsky 46
 得寧 Denning120
 得維德松 Davidson..... 72
 得拉文彗星 Delavan's comet115

開爾文 Kelvin145
 開普勒 Kepler..... 3
 開伯勒行星運動定律 Kepler's law ... 3
 荷羅克斯 Horrox..... 47
 荷姆斯彗星 Holmes' comet110
 麥登 Meuden 65
 麥蓋爾 Magall..... 95
 望 Full moon 63
 晦 New moon 63
 偏角 Elongation 11
 曼實 Meuze 96
 進動 Precession 57
 週期 Period 21
 啟明 Lucifer..... 45
 章動 Nutation 58
 順行 Direct motion..... 8
 斜角 Inclination 23
 隕石 Meteorites119
 基勒 Keeler 74
 淮斯 Weiss125
 密舍爾 Michell..... 32
 偽行星 Fictitious planet..... 2
 紹馬塞(彗星) Schaumasse.....115
 梅徹斯 Meggers 33
 梯底斯 Titius 21
 赫神星(小行星) Ju o 99
 啡王公主 Europa..... 83
 勒未利捷 Leverrier 4
 御夫座流星羣 Aurigids123

十 二 畫

黑爾 Hale..... 32

黑體 Black body.....	75
黑文南 Havene.....	100
黑羅特 Hayford	50
黑格爾 Hegal	98
黑爾姆荷爾茲 Helmholtz	3
黑腓林斯 Hevelins	103
普累格 Prague.....	50
普林斯吞 Princeton.....	46
普利舍特 Pritchett	81
普羅克忒 Proctor.....	144
普蘭克輻射定律 Planck's law of ra- diation	28
斯特盧未 Stuve	86
斯威夫特(彗星) (De Vico E.) Swift	
斯維次特勒普 Svedstrup.....	100
斯基阿巴累利 Schiaparelli.....	41
菩得 Bode.....	21
菩累利(彗星) Borrelly	112
菩得定律 Bodes' law	21
達爾文 Darwin	120
達廉培爾 D' Alembert	133
達累斯特(彗星) D' Arrest.....	112
黃道 Ecliptic	8
黃道光 Zodiacal light	128
黃道制 Ecliptic system.....	22
勞 Lau	93
湖 Oases	76
腓(彗星) Faye.....	112
運河 Canali.....	76
湯保 Tombaugh	4
道斯 Dawes	85
頓薩 Denza	25

惠普爾 Whipple	98
聖約翰 St. John	35
晴朗海(月球) Mare Serenitatis.....	64
量微表 Micrometer.....	25
發爾康 Vulcan.....	44
狀海(月球) Mare Nubium.....	64
智神星(小行星) Pallas	99
提科布拉 Tycho Brahe.....	3

十三畫

愛丁頓 Eddington	6
厄神星(小行星) Eros.....	101
愛因斯坦 Einstein	6
愛斯蘭星(小行星) Aethra	100
雷培杜 Lebedew	108
雷克塞爾 Lexell	90
雷克塞爾 彗星 Lexell's comet	106
雷俄尼特隕石 Leonid meteors	105
塞利斯 Thales	2
塞路里 Cerulli.....	45
塞曼效應 Zeeman effect	36
察夫 Hough.....	80
察爾 Hal.....	78
奧克蘭 Auckland.....	118
奧克前麥斯 Auaximanus.....	2
獅子 Leo	122
獅子座流星羣 Leonids.....	122
塔起尼 Tacchini.....	45
塔特爾(彗星) Tuttle	113
暗環 Crape ring	86
蒙岡 Mendon	41
歲差 Precession of equinoxes	56

繞遊 Disintegration 31
 電鬼(土星之衛星) Mimas..... 89
 福該爾 Vogel 43
 義星神(小行星) Astraea (問Astrea)... 99
 會合週期 Synodical period 21
 萬有引力定律 Law of universal gravi-
 tation 12
 微細之行星 Heteresimal 137

十四畫

赫爾 Hull..... 108
 赫舍爾 Herschel 4
 赫茲波 Hertz wave..... 78
 赫胥黎 Huxley..... 105
 赫爾麥特 Hermert 50
 維特 Witt..... 101
 維恩 Wien..... 28
 維內刻(彗星) Wiuncke 112
 維斯丟拉 Vistula..... 3
 蝕年 Eclipse year 70
 蝕限 Ecliptic limit..... 69
 賴赫 Reich 13
 特 Wright (Thomas) 87
 德 Bond (W.C.) 85
 蓬一普果利(彗星) Pons-Brooks 57
 窩宗 Watson 46
 爾格 Erg 31
 對日照 Counterglow 129
 銀河系 Galactic system..... 5
 噴吐論 Ejection theory 114
 圖爾星(小行星) Thull 100
 廣義相對論 General theory of relati-

vity 1

十五畫

摩爾吞 Moulton 32
 摩累森施彗星 Morehouse's comet ... 115
 摩馬座流彗星 Capricornids 123
 衝 Opposition 10
 輝耀 Prominence 33
 熱逝 Heat-death..... 155
 桑風洋(月球) Oceanus Procellarum... 64
 穀神星(小行星) Ceres..... 96
 潮濕海(月球) Mare Humorum..... 64
 調和定律 Harmonic law..... 13
 德斯勒突 Deslandres 32

十六畫

戰神異子 Phobos..... 78
 戰神次子 Deimos..... 78
 衛星 Satellites..... 3
 盧忒 Lutner..... 99
 邁羅 Mila 41
 凝結 Precipitation 76
 諾爾吞 Norton..... 107
 靜寂海(月球) Mare Tranquillatis... 64

十七畫

薩加 Zagat 96
 薩德 Zach 33
 擬人論 Anthropomorphism 153
 螺旋星雲 Spiral nebula..... 135

十八畫

雙子座 Gemini 59
 雙子座流星羣 Geminids... ..122
 雙體問題 Motion of two bodies..... 14
 擺線 Epicycloid 2
 豐饒海(月球 Mare Foecunditatis ... 64
 賽神星(小行星) Vesta 99
 獵戶座流星羣 Orionids123

十九 畫

羅什 Roche 87
 羅斯 Ross..... 95
 羅素 Russell..... 43
 羅克貝 Lockyer 32
 羅蘭德 Rowland..... 32
 羅埃爾 Lowell..... 4

羅埃爾天文臺 Lowell's Observatory... 4
 水瓶座 Aquarius 92
 水瓶座流星羣 Aquarids123

二十 畫

蘭利 Langley 28

二十一 畫

擾力 Disturbing force..... 36
 擾動 Perturbation 16
 拉普拉斯 Laplace146
 彭加勒 Poincaré (H.) 15

二十二 畫

菲勞(土星之衛星) Phoebe..... 89