

新 中 學 文 庫

通 俗 天 文 學

著 康 紐
譯 木 克 金

商 務 印 書 館 發 行

地 理 學 叢 書

通 俗 天 文 學

著 康 紐
譯 木 克 金

編 王 雲 五
主 蘇 繼 頤

商 務 印 書 館 發 行

譯者序

譯這本書的動機很簡單：國內近年來天文學方面的書籍雖然比從前較多，卻大都是談談星座以及新發現的書，否則又往往過於專門，似乎還缺少一本較有系統而又不是課本的通俗天文學，這本書恰好够這條條件，正可補我們的不足，因此譯者不揣譾陋做了這件工作。

譯的體例也很簡單：只是把原文一句句改寫成中文而已。專門名詞一律遵照教育部公佈的天文學名詞和物理學名詞。

關於原書著者已有原來的專篇介紹，茲不贅。

至於譯者所犯的不自知的錯誤就只有敬候高明的指教了。

譯者

關於原著者

通俗天文學 (Astronomy for Everybody) 一出版便成爲最通行的科學書之一，只在美國就已賣去了五萬冊以上。此外還有英國版，還有許多種外國文譯本。

本書著者紐康教授 (Professor Simon Newcomb) 生於一八三五年三月十日，在坎拿大的新斯各夏省 (Nova Scotia) 卒於一九〇九年七月十一日，在華盛頓哥倫布區 (Washington D. C.)。先世爲自麻沙州 (Massachusetts) 到馬麗蘭 (Maryland) 一帶殖民地的早期移民。他是一個鄉間學校教師的長子，自幼便自謀生計。在美國住居並教了幾年書之後，他竟刻苦自修成爲哈佛的勞倫斯理學院 (Lawrence Scientific School of Harvard) 的計算員兼學生。一八五八年畢業得理科學士學位。他只是一個二十四歲的大學畢業生時已因一件工作而得到國際的名譽。這便是小行星軌道的計算，這工作結果證明當時天文家提出的小行星來歷說明之不可能。

(參看本書論『小行星羣』的一章。)

林肯總統 (President Lincoln) 在一八六一年委任他爲美國海軍 (U. S. Navy) 的數學教授。他擔任此職以至於死，直升至約等於後方司令的階級。他一直住在華盛頓，在海軍天文臺 (Naval Observatory) 進行了十六年的天文觀測，兼做選定的數學工作。一八七七年他的觀測工作告終，遂擔任美國星曆表 (American Ephemeris) 及航海曆書編纂所的總監督。該所每年出版的有主要天體表，日月蝕的材料，以及其他對天文家有價值而對航海家有必要的品物。當時還有四個政府也出版同類的東西，但在天文學的基本要素及常數方面，其間尚存在着有害的差異，因此紐康教授便擔任起全部校訂及計算天體運動新表的工作。這類工作中照例的部分可以交給助手做的都由海軍職員和計算員去做。

關於這件在量一方面爲前此天文家所未有的巨大工作，大英百科全書中曾說『楷萊 (Key) 當時英國最大的數學家) 把完成一行星的各種表說做「天文學的最高成就」，然而紐康所計劃並且進行了二十餘年之久的鉅大任務，卻是在絕對同一的基礎上建立起全部行星系統

的理論與表格。』這工作的成績經各國天文家採用，並成爲今日準確的航海與航空的基礎。

『紐康教授的最大成就之一是他關於月的運動的理論方面的探究，』對這種工作他用了從一八六八到晚年的最大努力。大英百科全書還說：『（甚至）他關於這難題的最初工作……已經由於其勇敢的概想而值得注意，而且已成爲對天體力學的重要的補充了。』他爲這工作的基礎曾收集歐洲各天文臺各圖書館中關於月的觀測紀錄，『所集年代有上下兩千六百年之多。』

『論到他的工作的範圍廣泛與性質重要，他所論及的問題的豐富，以及他秉持到底始終不懈的目標的一貫，紐康一定要被認爲他生存時代的最顯赫的天文家之一。』

紐康教授從不着忙，從未曾放棄過他每天的長時期的散步，然而仗了他的始終如一的努力，他竟有充分時間去思想，去寫作，以致他的著作（書籍與論文）題目竟能包括五百四十一種之多。所論及的範圍又異常之複雜，其中有財政學（這也是他精通的）甚至還有小說。他旅行極多，一則爲了普通的教養與娛樂，一則也爲了天文學上的目的，例如觀測日蝕和行星凌日，以及視察海軍天文臺和加里福尼亞的立克天文臺的大遠鏡的建立，以至於俄帝國天文臺的遠鏡玻璃的製

造。

在霍卜金斯大學 (Johns Hopkins University) 的早期九年中，他還是那兒的數學及天文教授，每星期往巴第摩 (Baltimore) 去兩趟上課。

他死後發表了一本紀載他所受過的科學榮譽的許多頁的表，其中有十七個歐美著名大學的名譽學位，許多外國政府的高級勳章，和全世界所有的最重要科學團體的紀念章和名譽會員資格。

著名天文家康柏爾教授 (Prof. W. W. Campbell) 在一篇短短的紐康教授傳中曾稱之爲「智慧方面的巨人」，還說：「紐康教授所得到的天文科學中的極高的位置可以由他所得到的榮譽表正確表示出來。他的工作，爲勤勞不倦的精力所推動，爲哲學的明智所導引，歷時半世紀以上，使他得以置身於美國同行之首，而且列身於橫亘世界縱越古今成就最多的一小羣天文家之中。」

日本書第一次出版以來，天文學界中又有了許多重要的發現。此次新版便完全校補一遍以

求包羅新知而趕上時代。校補者爲伊利諾伊大學天文臺 (Illinois University Observatory) 的貝克教授 (Robert H. Baker)。他既曾爲紐康博士的弟子，自身又爲一卓越的天文家，所以是這工作的唯一無二的適當擔承者。通俗天文學在新裝之下也就成爲加在這具有普遍吸引魔力的題目上的最後且最有力的一筆了。

原著者初版自序

本書的來歷是幾年前向 *McCure's Magazine* 投稿的論「天文學未決問題」論「日蝕」等文章。這些文章所引起的興趣使著者想到用同樣體裁來說明天文學中的主要事實。這企圖的結果現在便呈獻給讀者的高明的評判了。

一個作者如想不用專門語言來陳述天文學中事實，他便要發覺自身處於兩難的境地：或者是不不得不將本題說出一個很不完全的概念，或者是進而解釋力與運動使他的讀者也許覺到煩厭。著者採取一種折衷的辦法來對付這種困難；他一方面試竭力做得使所有讀者都能了解而且感到興趣，一方面也加入一些專門的解釋，但只在爲徹底了解某一些事實（例如時間的量度，季節的變換，星座的變動方位以及行星的狀況等）而不得不然時。但希望不願徹底知道這幾點的讀者也能在佔全書主體的天界現象的描繪與敘述中得到不少的興味。

紐康

目錄

第一編	天體的運行	一
第一章	我們的星辰系統	一
太陽系		
第二章	天界現象	八
星辰的每日視轉		
第三章	時間與經度的關係	一八
標準時——日期在什麼地方改變		
第四章	怎樣決定一個天體的位置	二五

第五章 地球的周年運動與其結果……………三〇

太陽的視途徑——四季——真運動與視運動之關係——年與歲差

第二編 遠鏡……………四五

第一章 折光遠鏡……………四五

遠鏡中的透鏡——遠鏡的裝置——遠鏡的製造——大折光遠鏡

第二章 返光遠鏡……………六二

第三章 遠鏡攝影術……………六七

第三編 太陽，地球，月……………七一

第一章 太陽系的最初一瞥……………七一

第二章 太陽……………七六

太陽的自轉——太陽的黑子——日珥與色球——太陽的組織——太陽的熱的來源

第三章 地球……………九四

地球的內部——地球的重力與密度——緯度的變移——大氣

第四章 月……………一〇四

月的公轉與位相——月的表面——月的自轉——月如何引起潮汐

第五章 月蝕……………一一六

蝕季——月蝕的景象

第六章 日蝕……………一二一

全蝕的美觀——古代日蝕——蝕的預測——日冕

第四編 行星及其衛星……………一二九

第一章 行星的軌道及其各種情形	一二九
行星的距離——刻白爾定律	
第二章 水星	一三六
水星的外觀——水星凌日	
第三章 金星	一四四
金星的自轉——金星的大氣——金星凌日	
第四章 火星	一五二
火星的表面及自轉——火星的運河——火星的四季——火星的衛星	
第五章 小行星羣	一六四
獵取小行星——小行星的軌道——軌道的分羣——愛神星	
第六章 木星及其衛星	一七三
木星的可見的表面——木星的組織——木星的衛星	

第七章	土星及其系統	一八二
	土星的衛星——土星光環的各種變化——光環的本質——土星的衛星——土	
	星的物理組織	
第八章	天王星及其衛星	一九三
	天王星的衛星	
第九章	海王星及其衛星	一九七
	海王星發現史——海王星的衛星	
第十章	冥王星	二〇二
第十一章	太陽系的比例尺	二〇七
	利用光的運動的量度——利用太陽引力的量度——量度太陽距離的結果	
第十二章	引力與行星的稱量	二一三
	如何稱量行星	

第五編 彗星與流星.....二二二

第一章 彗星.....二二三

彗星的軌道——哈雷彗——消失不見的彗星——恩克彗——木星捕捉彗星

——彗星的來歷——明亮的彗星

第二章 流星.....二四一

流星與隕石——流星雨——彗星與流星——黃道光

第六編 恆星.....二四九

第一章 星座.....二四九

北天星座——秋季星座——冬季星座——春季星座——夏季星座

第二章 恆星的本性.....二六六

星光的分析——恆星光譜的花樣——恆星的溫度——巨星與矮星——恆星的
大小——脈動星——新星

第三章 恆星的距離……………二八五

太陽進路——恆星的絕對星等——藉分光儀得出的距離——造父變星的距離

第四章 恆星系統……………二九八

目視雙星——分光雙星——蝕雙星——星團——球狀星團——銀河中的恆星

雲

第五章 星雲……………三一五

明亮的瀰漫星雲——星雲的光——行星狀星雲——暗星雲——星雲假說

第六章 銀河系……………三二八

插圖目錄

葉凱士天文臺四十吋折光遠鏡	封後
我們眼中的天球	一二
北天與北極星	一五
天球的經緯	二七
三月二十一日前後太陽經過赤道	三一
球軌道與黃道帶	三二
何由黃道傾斜而有四季	三四
春夏間太陽沿黃道之視運動	三五
三月到九月間太陽的視運動	三六

歲差·····	四二
遠鏡中物鏡的一部分·····	四八
轉動遠鏡的軸·····	五五
牛頓式與蓋賽林式返光遠鏡·····	六四
太陽的帶黑子的圓面——大太陽黑子之一·····	八〇
太陽黑子的緯度分佈·····	八三
月繞地球的公轉·····	一〇五
多山的月面·····	一一〇
假如月不自轉時月的運動·····	一一三
月如何每日引起潮汐二次·····	一一四
月在地球暗影中·····	一一六
月從地球暗影中經過·····	一一九

日全蝕時地球上的月影·····	一一一
日環蝕時月由日中心經過·····	一一二
四內層行星之軌道·····	一三〇
水星合日·····	一三七
水星的距角·····	一三八
金星在軌道中各點的位相·····	一四五
一八八二年金星凌日時金星大氣的效應·····	一四八
火星顯出極冠——土星及其光環·····	一六一
小行星的分羣·····	一六九
小行星軌道的分佈·····	一七〇
垂直看來的土星光環·····	一八五
如何土星光環平面的方向不變·····	一八六

傾斜的土星光環·····	一八七
第卅與海帕郎的軌道及其間的關係·····	一九一
冥王星的軌道·····	二〇四
用三角測量法測不能達到的物體的距離·····	二〇八
彗星的拋物線軌道·····	二二五
一九一〇年的哈雷彗·····	二三〇
秋季星座·····	二五六
冬季星座·····	二五九
春季星座·····	二六二
夏季星座·····	二六五
光譜——發光本領圖解·····	二七五
恆星視差的測量·····	二八六

武仙座球狀星團·····	三二一
天琴座環狀星雲——獵戶座大星雲·····	三二二
仙女座大漩渦星雲·····	三三四

通俗天文學

第一編 天體的運行

第一章 我們的星辰系統

入題之先，我們不妨對這我們生存於其中的星辰全體作一個概觀，試幻想我們是從它們的邊界之外的一點上來看它們。不用說我們是要把這一點定得異常之遙遠的。爲了得到這個遠距離的概念，我們且用光的運行來測量它一下。我們的這位用人光，每秒鐘差不多要急行十八萬六千三百哩，在一隻錶的兩聲滴搭之間要環繞地球好幾次的。我們所選定的那一點如果是很適當的話，那麼它離我們此間的距離就要光走一百萬年了。我們在那麼遙遠的一點上大概是要在差

不多完完全全的黑暗之中，只有一片漆黑無星的天空從各方面環繞着我們。可是，有一方面卻不然，我們可以看到一大塊微弱的光佔據着天空的一部分，正像一片微雲或則黎明之前的暗淡的曦光一樣。也許在別的方面也有同樣的光斑可以看見，但我們此刻先不管它。上面所說的這一片光，也就是我們所謂我們的星系的，纔是我們要觀測的對象。於是我們向它飛行過去——要飛得怎樣快是可想而知的。我們要在一年之內達到就非比光的速度更快一百萬倍不可。我們愈接近它，它就愈不住的在黑暗的天上展開來，直到後來把全天的一半都遮蓋住了，只有我們背後的一半天空還是照舊漆黑。

在達到這一階段之先，我們已看見這一大團光中有一些小光點在各處閃爍了。我們一面繼續我們的飛行，一面便看到這些光點愈來愈多，並且好像都從我們身邊經過在我們身後的遠處消失去，而許多新的光點又在面前不斷的迎上前來，我們正好像是火車中的乘客看到風景房屋從旁奔馳過去一樣。當我們深入其中的時候，就看出這些正是我們在夜間所看到的那些散佈全天的星辰。我們若用我們這幻想的高速度穿過這整個大光雲，還是除了星辰之外別的什麼也沒

有——只不過也許有少數的大團的光霧光雲零零落落落在星辰之間罷了。

但我們並不這麼辦，我們且選定一顆星，再減低我們的速度來仔細一點觀察它。這顆星倒並不大，可是我們愈接近它，它也便在我們眼中愈加明亮起來。過了一些時，它已亮得如同金星一樣了。再過些時，它可以照出影子來了；再過些時，我們可以用它的光讀書了；再過些時，它的光芒眩目了。現在看起來它像個小太陽。它可不正是我們的太陽！

我們且再選定一個位置；這地方照我們剛纔的旅行途程說起來是在太陽附近，但照我們普通的量度說起來卻已在幾十萬萬哩以外了。現在我們再看一看我的周圍，便可看到九顆（或則還要多）星似的光點圍繞着太陽，但各有不同的距離。如果我們用相當長久的時間守望着它們，便會看出它們都在繞着太陽運行，但週行一次的時間又各各不同，有的只用三個月，有的卻需要二百五十年。它們的相距遠近也大不相同，最遠的一個離太陽比最近的一個要遠一百倍。

這些星似的東西都是行星。我們小心一點考察一下，便會知道它們與眞星不同之點是：它們都是黑暗物體，它們的光都是向太陽借來的。

我們且再訪問一下其中的一顆。我們所選的依離太陽遠近而言是第三顆。我們愈向它行近（這方向我們可以說是由上而下，就是說與從它到太陽的直線成直角。）便看見它愈大愈亮。當我們離它非常之近的時候，它的形狀便好像半明半暗的月亮了——一半球在黑暗中，一半球被太陽的光輝照明。我們離它再接近些，那照明了的一部分，在我們眼中不斷的擴張着，又漸有了許多的斑點。再擴大一些，這些斑點便化成了海洋和大陸，其中大約有一半被雲遮住了，表面看不出來。我們所注目的這一塊表面在我們面前不住的擴大，不住的遮蔽了更大的天空，到後來我們看出它成了全盤世界。我們落在上面，於是現在我們又在地面上了。

就像這樣，當我們在天空中飛行時所絕對看不見的一點，在我們接近了太陽時就成爲一顆星，再接近一些就成爲一個不透光的球體，現在就成爲我們在上面生存的世界了。

這一次幻想的飛行使我們知道了天文學中一件主要的事實：在夜間天空上散佈着的大羣星辰都是太陽。換句話來說，太陽也就只是衆星之一。跟這些同伴比起來，太陽倒是較小的一個，因爲我們知道還有許多星要比太陽多發出幾千倍甚至幾萬倍的光和熱的。如果只從它們內在本

有的價值來評定羣星，我們的太陽實在沒有什麼特出的地方，以超過它的多少萬萬同輩。它對於我們的重要以及它在我們眼中的偉大，都只是由於我們對它的一種偶然發生的關係而已。

我們剛纔所描寫的這一偉大的星辰系統，在我們從地面上看來，正跟我們在幻想的飛行的後半途中所見的一樣。在我們現在天空中散佈着的也正是我們在飛行中所見的那些星辰。我們從現在的地位來望天，跟我們從遠處羣星間的一點來望天，其間的大不同只是太陽和行星的優越的地位。太陽的光芒竟使它在白晝遮掩了全部天上的星辰。假如我們能夠從任何一塊大地方割截去太陽的光芒，我們便一定會看到星辰晝夜都圍繞着太陽。這些物體都散佈在我們周圍各方面，簡直好像我們的地球巍然居於宇宙的中心一樣，這也正是我們的祖先所臆測的一種情形。

太陽系

天上物體中有一類是由無量數的星辰組成的星河，它的組成與形態我們剛纔已經說過了。

另一類是一顆單獨的星和它的從屬。（這一顆星對於我們要算是所有星中最重要的一顆。）這一羣便以太陽爲中心自己組成了一個小小的羣體，這便是我們所謂太陽系。我想先讓讀者們記在心中的這一系統的一個特色，便是和衆星之間的距離比較起來，它的範圍異常之渺小。它的四周上下都是幾乎完全空空洞洞的遼遠而且巨大的空間。即使我們能從太陽系的這一邊橫過到那一邊去，我們也不會把眼前的星星看得更近些，或則把天上各星座看得與地面所見有什麼不同。一個利用最精美的工具的天文家也只有在最精確的觀測中纔能發覺一點變化，但那也只是在比較附近的星上纔可能。

我們不妨用一個小小的比喻來造成關於各天體的不同的大小和遠近的概念，以便讀者們容易想像出我們在宇宙間的眞確地位。我們先想像在我們的宇宙模型中，我們所居住的地球只是用一粒芥子來代表。照這比例推下去，月亮便是只有芥子直徑四分之一大的一微塵，放在離地球一吋遠的地方。太陽可以用一枚大蘋果來代表，放在離地球四十呎的地方。其他行星的大小各不相同，約從一粒不可見的微塵到一粒豌豆那麼大，離太陽的平均距離也差不多是從十五呎到

三分之一哩那麼遠。於是我們又要想像着這些小東西都慢慢的各自圍着太陽兜不同的圈子，每週所用的時間也大不相同，約從三個月到二百五十年那麼久。既然這顆芥子是一年之間兜一個圈子，我們也必須想像月亮是陪着它走，而且每一個月也繞着它兜一次圈子。

照這比例說起來，全太陽系便可以在不到一方哩的地盤中擺下了。在這範圍以外，我們要跑出比全美洲還要大的地面去也看不到什麼東西，只除了也許有些彗星散佈在它的邊界上。出了美洲界限很遠我們纔碰到了一顆最鄰近的星，這星也像我們的太陽一樣可以用一枚蘋果來代表。再遠許多，便會在各方面都有一些別的星，可是大致都互相離開得像太陽跟它最鄰近的星相距的那麼遠。像整個地球這麼大的地方，依我們的模型比例說來，也只能容下兩三顆星罷了。

我們由此便可看出在一次宇宙間的飛行中，（例如我們方纔所想像的，）我們定會忽視一個像地球這樣不值得注意的小東西的，即使我們很細心的尋找也不能發現它。我們簡直像一個人在密士失必河（Mississippi）流域空中飛行，想找出一粒他明知道藏在美洲的什麼地方的一粒芥子來一樣。甚至那代表太陽的光明的蘋果也會被忽略過去的，除非我們碰巧飛得離它很近。

第二章 天界現象

這些絕大的距離將我們從各天體隔開，使我們不能把宇宙的大小造成一個明晰的概念，並且使我們很難想出這些天體對於我們的實際的關係，假若我們能一望而知星辰的遠近，假若我們的眼睛又銳利得足以看出恆星和行星表面上的微小的形貌，那麼，宇宙的真實構造便會從人類開始研究天空的那一天就真相大白了。只要略微一思索就容易明白，假如我們能超出地球到離地球相當遠，（就是說它的直徑的一萬倍吧，）那時它便不會被看出它的大小而只成爲一點，在太陽的光下，它也就會像一顆平常天上的星一樣對我們閃爍了。古人卻不會想到這麼遠的距離，因此他們便認爲那些天體都正如它們的外貌一樣，和地球是絕不相同的東西了。我們自己瞭望天空的時候，也不能想出這些恆星是比那些行星要更遠出千百萬倍的。它們都好像是在一個天空上以同等遠近分佈着的。我們必須用理智思索纔能研究出它們的真實的分佈與遠近來。

正因為想像出這種地上的跟天上的東西的距離其間有絕大的不同是不可能的，所以要弄成一幅符合它們之間的真實關係的心中的圖畫便非常困難了。我要求讀者用上十二分小心的注意力，以便我試把這些關係用最簡單的方法表示出來，以便把實際情形與我們所見的情形連結起來。

讓我們假定把地球從我們腳下拿開了，剩下我們在空中懸掛着。那時我們便會看見各種天體——太陽、月亮、行星、恆星——在各方面圍繞着我們，上下東西南北都有。眼睛那時所看見的就沒有別的東西。正如我們方纔所解釋了的，所有這些東西在我們看來也都好像是同樣遠近的。

從一中心點向各方面以同等距離散開來的大批的點一定是都在一個空洞球體的內部表面上的。因此在我們所假定的這種情形下，諸天體在我們看來一定也像是安置在一個球面上，而我們自己恰在球的中心。既然天文學的最終目的之一是研究從我們看來的各天體的方向，所以這眼見的大球在天文學中談起來也就彷彿是真有這回事了。這便是所謂『天球』(celestial sphere)。在我們所想像的這種情形中，腳下的地球一失去，所有在這天上的天體就會在任何

時光都靜止不動了。一天一天，一星期一星期過去了，那些恆星還在那兒絲毫不動。不錯，我們如靜守着那些行星，就會看出在幾天或幾星期（這是依它們各自的情形而定）之內它們慢慢繞着太陽轉，但這不是一下子便可看出的。我們的第一個印象大概是這個球是由什麼堅固的水晶體所做成，而那些天體便都釘牢在它的內部表面上。古人曾有過這種概念，他們還把它修正得更近乎實際，他們幻想着有許多的球形互相穿套着，以代表各天體的不同距離。

心中記住了這種概念，我們再把地球搬回腳下來。現在我們又要試一下讀者的想像力了。地球在跟天的大小比較的時候只是一粒微點；可是我們若把它放在適當的地方，它的表面便從我們眼中截去了一半宇宙，正好像一枚蘋果會從爬在上面的小蟲眼中遮去房間的一半一樣。在地平線上的一半天球還可以看見，便叫做『可見半球』（visible hemisphere）；另一半在地平線下，被地球遮隱了看不見的，便叫做『不可見半球』（invisible hemisphere）。當然我們可以周遊地球去看到那一半球的。

心裏記清楚了這種情形，我們要再請讀者集中一下注意力。我們知道地球不是靜止的，它不

住的依着通過它中心的一根樞軸旋轉。這件事的當然結果便是整個天球看起來都向相反的方向旋轉了。地球從西往東轉；因此天球便好像是從東往西轉。這實際的地球自轉和因之而起的星辰的視轉便叫做『周日運動』(diurnal motion)，因為這種運動是一日一週。

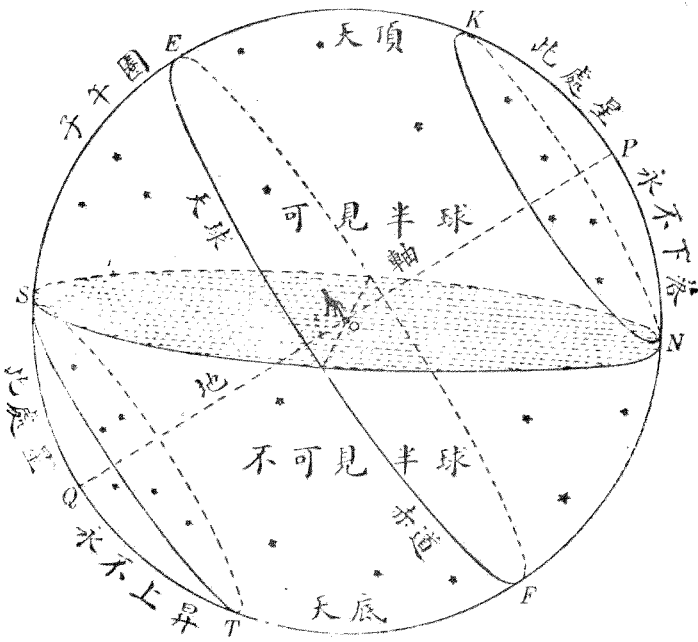
星辰的每日視轉

我們第二步便要表示出在地球自轉的極簡單的概念與因之而起的天體的周日視動所表現的較複雜的現象之間的連繫。後者是隨地球表面上的觀察者所在緯度而不同的。我們且先從我們在北緯中部所見的現象說起。

爲了這個目的，我們可以先在想像中造出一座中空的大球來代表天球。我們可以隨便把它造多麼大，但一個直徑三四十呎的已足敷應用了。現在把第一圖當做這個大球的內部，它是釘在樞軸的兩點上（P和Q），使它能夠偏斜斜着旋轉。在中心點O上，我們有一個平的盤子，N S，我們在這盤上坐着。星座都在球的內部，全表面上都有，可是下面一半被盤子遮住了我們看不見。這面

盤子很顯然的便代表了我們的地平線。

現在我們便使這大球在樞軸上旋轉起來。這時發生了什麼事？我們會看到在軸的P點附近的星在大球旋轉時也都繞着P點轉。在K、N圈上的星當繞到P點下面的時候會擦到圓盤的邊。離P點更遠的星就會沈落到盤下去，或遠或近。它們離P點遠近而定。靠近E、F圈上的星正在P、Q之間，它們的旋轉路程一半在盤上一半在盤下。末了，



第一圖 我們眼中的天球

在S T圈內的星就永不能昇到盤上面來因此也永不能爲我們所見。

我們眼中的天球就正是這樣一個球，不過加上無限大的廣袤而已。在我們看起來，它也是把天上的一點當做樞軸不住的繞着旋轉，差不多一日一週，太陽月亮星辰也都隨着它旋轉。星辰都保留着它們自己相互間的位置，竟好像是釘住在旋轉的天球中一樣。這便是說，如果我們在夜間任何一小時中給它們攝一幅照片，在另一任何小時中它們也還是照片中的狀況，只要我們能把它放在準確的地位上。

樞軸的P點叫做『天球北極』(north celestial pole)。在北緯中部的居民（我們中大部份都是）眼中，它便在北天上，差不多正當天頂跟北方地平線的正中。我們住的地方愈向南去，北極便愈近地平線，它的離地平的高度正相當於觀察者所在地的緯度。離北極很近的一顆星便是北極星，我們以後要講怎樣去找尋它。在平常的觀測中，北極星似乎從來不移動。在我們現代它離北極只有一度多一點，這差別我們現在很可以不管它。

正對着天球北極，因此在地平線下正和北極在地平線上一樣遠的是『天球南極』(south

celestial pole)。

很明顯的，在我們的緯度上所見的周日運動是傾斜的。當太陽從東方出來的時候，看起來它並不是從地平線上一直升起來的，它的路線是傾向着南方與地平線成一個或大或小的銳角。因此它在它沈沒的時候，它對於地平線也還是取着傾斜的路線。

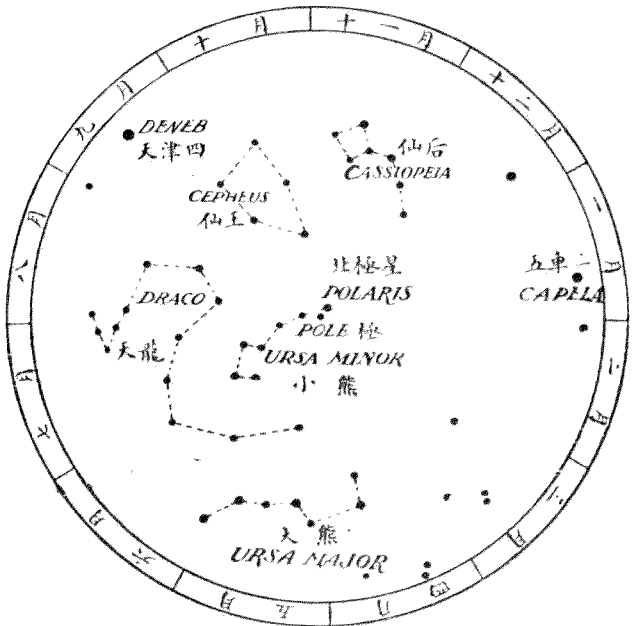
現在我們再想像出一隻極大的兩角規來，它要大得足以接着天界。我們把它的一隻腳指定天球北極，再把另一隻腳接上北極下面的地平線。讓指定北極的那隻腳不動，卻把另一隻腳在天球畫出一個大圓圈來。這大圓圈的下面正好和地平相連，而它的上面，在我們的北緯度地方看起來，最高點已差不多接近天頂了。這大圓圈裏的星是永遠不落的，它們看來只是每日環繞北極周行一次。因此，這圓圈便叫做『恆顯圈』(circle of perpetual apparition)。

在這圈外更向南的星都有昇有落，可是越往南去的星每天在地平線上的路程就越少，直到最南方的一點上，星星只在地平線上略一露面就消隱了。

更往南去的星，在我們的緯度上看起來，就根本不出現了。那些星都在一個『恆隱圈』(circle

of perpetual occultation) 中。恆
 隱圈以天球南極爲中心正像恆顯
 圈以天球北極爲中心一樣。

第二圖中是北方所見的恆顯
 圈中的北天主要星座。把適當的月
 份轉到頂上來，我們便可看到當月
 中每日下午八時前後的北天星座
 了。圖中也表示了找中央北極星
 的方法，就是利用大熊座中七顆星
 (中名北斗七星) 中的兩顆指極
 星 (pointers) 的延長線，那便是對
 着北極的方向。



第二圖 北天與北極星

現在我們來變換一下我們的緯度看看會有什麼變化。如果我們是向赤道方面旅行，我們的地平方向也改變了，而且在我們的途中可以看到北極星不住的往下沈落越過越低。我們接近了赤道，它也接近了地平，我們到了赤道，它也到了地平線上。不用說恆顯圈也隨着越來越小，我們到了赤道時，它也就根本消滅了，南北邊地平線上各有天的一極。那裏的周日運動就跟我們此地所見完全不同了。太陽、月亮、星辰、昇起來時就一直向上。如果有顆星恰好在正東方升起，它也一定正從天頂過去；從偏南些的天上升起的星一定從天頂南邊過去；而偏北的星也自然從天頂北邊過去了。

我們再繼續往南走，到了南半球上，我們又看到太陽雖還從東方出來，卻大致是從天頂的北面橫過中天了。南北兩半球上的最大不同點便是：太陽既在天頂的北邊過中天，它的視運動就不像在我們這兒一樣跟鐘錶上時針方向一致，卻恰好與之相反了。在南緯中部，我們所熟悉的北天星座都永遠在地平線下，而南方卻出現了新的星座。有些南天星座是頗以美觀著名的，例如南十字座。實在說來，大家常以為南天比北天更有光彩而且包含更多的星的。可是這種見解現在已證

明其不正確了。很小心研究計算這些星辰的結果，知道南天北天的星數差不多是相等。大概我們剛纔說的這種印象是由於南天的特別清明些也未可知。在南非洲以及南美洲的空氣中確乎比我們北方較少煙霧，這也許是因爲那兒氣候比較乾燥的原故。

我們剛纔說的北天星辰的繞極的周日運動也同樣可以適用於南天。但是南天並沒有南極星，因此也沒有方法找出天球南極來。南極附近有一些小星，可是也並不比天上別處更密。當然南半球上也有它的恆顯圈，而且我們越往南去，圈也越擴大。這便是說在南極周圍有一圓圈中的星永遠不落，卻繞着南極轉，看起來的方向也正和北天上的相反。因此，也還有一個恆隱圈，裏面包括了北極附近的星座，而這些星座卻是在我們的緯度上永遠不落的。我們一過了南緯二十度，就絕看不見小熊座的任何部份。再往南去，大熊也只在地平線上或多或少的露出一部份了。

如果我們再繼續向南極旅行，我們便再也看不到星辰的昇落了。那些星都水平的繞着天四面轉，中心南極便在天頂。不用說這種情形在北極也是一樣的。

第三章 時間與經度的關係

我們都知道一根由南而北通過地上某一地點的線是叫做那地方的子午圈。更正確些說，地球表面上的子午圈便是由北極至南極之間所做的半圓。這種半圓從北極向各方散開，因此我們可以把它這線畫到任何地方去。格林維基皇家天文臺 (Royal Observatory at Greenwich) 的子午圈是如今大多數國家公認的經度計算的起點，而歐、美大部份的鐘錶時間也是準此而定的。

相當於一地方的地上子午圈的還有天上的子午圈，從天的北極起始通過天頂，在最南一點與地平相交，再往南直達南極。既然地球繞着軸旋轉，它也就把地上的跟天上的子午圈一起連帶着旋轉，因此，天上的子午圈在一日之內經過整個天球。在我們看來的現象卻是天球上的每一點在一日之內都要經過子午圈。

中午便是太陽通過子午圈的時刻。在有鐵路以前，大家都依照太陽定鐘錶。可是因為黃道的

傾斜角與地球繞日軌道的偏心率，太陽經過子午圈前後每次所用的時間是不完全相等的。結果，假如鐘的時間準確，太陽便有時在正午十二點鐘以前，有時又在以後，通過子午圈了。如果明白了這個道理，便不難分辨出視時 (apparent time) 與平時 (mean time) 來了。視時是依太陽而定的每日長短不等的時間；平時是依鐘錶定的每月之內完全不差的時間。兩者之間的差別便叫做時差 (equation of time)。它們相差最多的時候約在每年十一月初和二月中。十一月初一太陽在十二點前十六分鐘經過子午圈；在二月中，卻又在十二點以後十四、五分鐘。

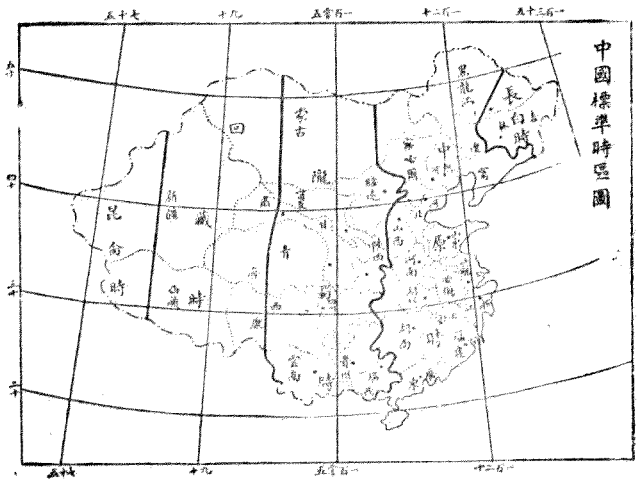
爲了決定平時，天文家想像出一個平太陽 (mean sun) 來。平太陽是永遠順着天球赤道運行，因此經過子午圈前後時間完全一致，因此也有時在真太陽之前，有時又落後了。這個想像出的平太陽就決定每天的時間。也許我們不管真實情形且照眼見的景象說起來較易明瞭，那麼我們先想像地球是靜止不動的，平太陽繞着地球轉，陸續經過各地的子午圈。我們這樣便要想像着中午是永遠環繞世界周遊了。在我們的緯度上，它的速度只不過是每秒千呎左右；這就是說，假如我們所在的地方正是中午，一秒鐘後，更西一千呎的地方便是中午，再過一秒鐘又西移一千呎，依此

類推下去，過了二十四小時後中午又回到我們這兒來了。這種情形的最顯著的結果便是：任何東西二地絕不能同時是在同樣的每日時間上。我們向西方旅行，便要不住的覺得我們的錶比當地的錶快，反之，向東方旅行，我們的錶又太慢了。這種不同的時間便叫做『地方時』(local time)。

標準時

從前這種地方時的應用會引起旅行者的很大的不便。每一條鐵路都有自己的子午圈，依照自己的時間開車；旅客便常常容易誤了火車，因為不知道自己的鐘錶跟鐵路時間的關係。自從一八八三年以來，我們現今的標準時制度纔成立。在這種制度下，每十五度中（就是說太陽在每一小時內經過的地方）有一標準子午圈。中午經過標準子午圈的時候，兩旁七八度之內也都算是正午。這便叫做『標準時』(standard time)。指示這些地帶的經度也都以格林維基作起點計算。費拉德爾費州 (Philadelphia) 約在格林維基西七十五度或則說西五小時。更正確些說是約五時一分。於是美國東部諸州的標準子午圈便在這地方東面一點。當平午 (mean noon) 經過這子

半圈時，西面一直到俄亥俄（Ohio）都要算是正午十二點的。一小時後，十二點便在密士失必河流域。再過一小時，十二點又在落磯山（Rocky Mountains）一帶。再過一小時，十二點在太平洋沿岸了。於是美國便有四種時間：東方時，中央時，山間時，太平洋時，每一時相差一個鐘頭。用這種標準時，在太平洋、大西洋之間的旅行者只要把鐘錶校正每次快或慢一小時，便可以在一時區中毫無差別了。（譯者註：此地雖然說的是美國情形，但中國的標準時區也是同一道理。但時區卻有五個：中原時區，瀘蜀時區，回藏時區，崑崙時區，長白時區。茲列一圖如下）



中國標準時區圖

一個地方經度的決定也就是利用這種時間的差別。試想像有一觀察者在紐約 (New York) 當某一顆星經過子午圈的準確時候發一下電報，這時間便在芝加哥 (Chicago) 和紐約兩處紀錄了下來。等到這顆星經過芝加哥的子午圈的時候，另一觀察者又發一下電報報告時間。這兩次電報中間所隔的時間便表示了這兩城市相差的經度。

另一種定經度的方法便是兩觀察者互相報告本地的地方時，這樣也可得到與前面同一的結果。兩地時間的相差也就是經度的相差。

可是在這方面有一點必須記得：天體的昇落出沒是依照地方時而不依標準時的。因此日曆中列的太陽出沒的時刻不能定我們鐘錶的標準時，除非我們恰好住在標準子午圈上。這兩種時間的差異之一便是：地方時當我們向東或西旅行時不斷的改變，而標準時卻只在我們經過某一時區的邊界時，一跳跳過去一小時。

日期在什麼地方改變

半夜也像中午一樣不斷的繞着地球旅行，陸續經過子午圈。每過一處便表示那子午圈上又開始新的日期了。假使它經過一處的日期正是星期一，那麼它再來時便是星期二了。因此一定有一道子午圈上是星期一星期二交界的地方，或則說是兩天之間交替的地方。這一劃分日期的子午圈叫做『日界線』(date line)只是由習慣和方便來定的。當移民向東西方發展的時候，人都把日期帶了去。但直到向東去的跟向西去的在一處碰了頭時，他們的日期已相差了一整天。向西去的還是星期一而向東來的卻已是星期二了。這便是美國人到亞拉斯加(Alaska)時所發生的事。俄國人向東走到了這地方，美國人向西走也到了這地方，可是美國人還在過星期六而俄國人已經度星期日了。於是發生了一個問題：當地居民要到希臘教堂做禮拜的時候，到底遵從新的還是舊的日期計算法呢？這問題一直鬧到聖彼得堡(St. Petersburg)大教堂的主教面前，最後還是請俄帝國國立普爾柯瓦天文臺(Pulkova Observatory)臺長斯特魯偉(Struve)來解決。斯特魯偉做了一個報告，認為美國人算法較為正確，日期纔算更改一致了。

現在習慣所規定的日界線是正反對着格林維基的子午圈。這道界線恰好在太平洋中間，經

過很少的陸地——只是亞洲的東北角也許還有菲支羣島 (Fiji Islands) 的一部份。這是一種很有利的情形，日界線經過一個國家內部所發生的種種不便就由此可以避免了。因為假如是那樣，這一城的日期就會和界線外的鄰城日期相差一天的。甚至也許一條街的兩旁的居民都會過着不同的星期日的。可是日界線既在海洋中就不會有這種不便了。日界線並不嚴格是地上的子午圈，它可以曲折拐灣以迴避上述的不便的。因此，查山島 (Christmas Island) 上的日期跟鄰近的紐西蘭島 (New Zealand) 上的日期一致，雖然離格林維基 一百八十度的子午圈正在它們中間經過。

第四章 怎樣決定一個天體的位置

本章中我不得不引用並且解釋一點專門的名詞了。這些專門名詞的意義都是很重要的，如果我們想完全明白天體的運行，以及任何我們想觀測星時星的位置。對於一位只想大致知道天界現象的讀者，這一章不是必要的。但我一定要請那想更深一點了解天象的人來一同作更深的研究，研究我們在第二章裏所描寫過的天球。我們現在回到第一圖上去，便可看出我們正在研究兩個球的關係。一個是真實的地球，我們住在它上面，它每天帶着我們不住的旋轉。另一個是天上看來彷彿有的天球，它在極其遼遠的途程之外從各方面圍繞地球，它雖然不是實有的，我們卻一定要想像着它，爲的是知道到什麼地方去找尋天體。要注意我們是在天球的中心，因此天球上的東西都好像是在球的內部表面上，可是我們卻在地球的外部表面上。

這兩球上的許多圈點都有相符的關係。我們已經說過地球的軸指出我們的南北極，又從兩

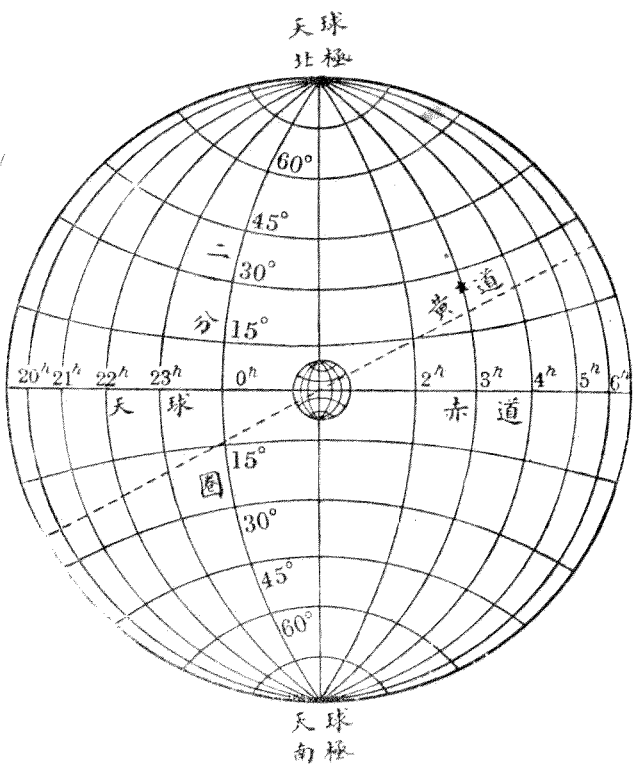
方面直橫過長空，指出天球上的南北極來。我們知道地球的赤道環繞地球離兩極相等遠。同樣的，在天球上也有一條赤道環繞天球離兩極各九十度。假使能把它畫在天上，我們就日夜都可看見它，永遠在同一的位置上。我們可以準確的想像出它的形狀來。它在正東正西兩點上與地平線相交，實際上也便是太陽當春分秋分時（三月九月）在地平線上的十二小時內，由周日運動在天上行過的那一條路線。在美國北部諸州看來，它正橫過天頂跟南方地平線的正中，越往南來，它也越近天頂。

正像我們有平行赤道而環繞地球赤道南北的緯度圈一樣，天球上也有與天球赤道平行以兩天極為中心的圈子。正像地球上的緯度圈越近兩極越小一樣，天上的緯度圈也越近天極越小。我們知道地上的經度是據由北極到南極的子午圈通過那地方而定的。這子午圈與格林維基子午圈所成的角度便是當地的經度。

在天上我們也有同樣的東西。也想像出來一些圈子從一天極到另一天極在各方面散開，可是都和赤道成直角正交，如第三圖所示。這便叫做『時圈』(Hour Circle)。其中之一叫做『二

分圈 (equinoctial circle) 圖中也標示着。這圈正通過春分點 (這一點我們下一章就要講到) 它在天上正跟格林維基子午圈在地上有同樣的作用。天球上一顆星的位置正跟地球上一座城的位置用一樣的方法來定的。由它的經緯度來表示。可是用的名

第一編 第四章 怎樣決定一個天體的位置



第三圖 天球的經緯

詞卻不大一樣。天文學中等於地上經度的叫做『赤經』(right ascension)；等於地上緯度的叫做『赤緯』(declination)。於是我們便有了下面這些定義，我要請讀者把它們好好的記下來。

一顆星的赤緯便是它離天球赤道南或北的視距。第三圖中的星正在赤緯北二十五度。

一顆星的赤經便是經過這星的時圈與經過春分點的二分圈所成的角度。第三圖中的星正在赤經三時上。

在天文學中，一顆星的赤經是用時分秒來表示的，正如第三圖中所示。可是它也可以用度數來表示，正像我們說地上的經度一樣。用時表示的赤經化成度數只須用十五一乘便得。這便是因為地球在每小時中旋轉十五度。從第三圖中還可看出，緯度的相差在全地球上都一樣長短，而經度相差卻不然了，它從赤道到極越來越小，先慢後快。在赤道上一經度約等於六十九又二分之一哩，可是在南北緯四十五度上，它只有四十二哩了。在六十度上它已不到三十五哩，在兩極它便等於零了，因為在那兒各子午圈都相遇於一點了。

我們還可看到地球自轉的速度也依這一規律而減小。在赤道上十五度約等於一千哩。地球

旋轉速度約爲每秒鐘一千五百呎。但在南北緯四十五度上速度已減小到每秒一千呎多一點了。在北緯六十度上已只等於赤道上的一半；到了極上又減小到零了。

應用這種經緯到天上去，唯一的困難只由於地球的自轉。只要我們不旅行，我們便永在地球的某一經度上不動。可是因了地球的自轉，天上任何一點的赤經（在我們看來是固定的）卻不斷的移動了。天球子午圈跟時間的僅有的不同只在前者隨着地球旋轉而後者卻定在天球上不動。

幾乎在地球與天球的每一點上都有一種嚴格的相似。地球在它的軸上從西往東旋轉，天球便好像從東往西旋轉。如果我們想像地球正在天球中央，有一根公共樞軸穿過它們（如第三圖所示），我們就可以對它們的關係得到一個明晰的概念了。

假使太陽也像星辰一樣似乎每年每年都固定在天球上不動，要找一顆我們已知赤經赤緯度數的星定會比較容易一些。因爲地球有每年一次的環繞太陽的公轉，所以在一個固定的夜間小時中，天球上的眼見位置便永在變換了。我們下面就要指出這種公轉所生的影響。

第五章 地球的周年運動與其結果

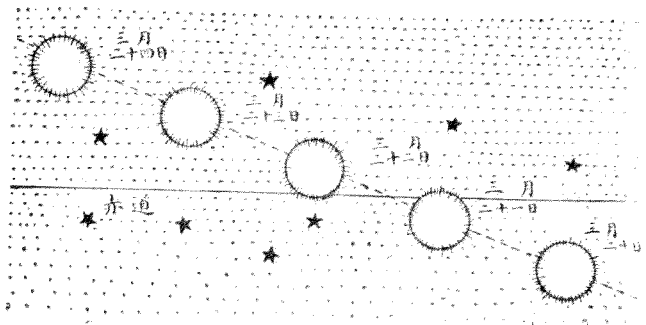
大家都知道地球不僅在自己的樞軸上旋轉，還環繞太陽作每年一次的公轉。這種運動的結果——實際上是表明這種運動的現象——便是看起來好像太陽在衆星之間環繞地球每年一次了。我們只要想像我們自己環繞太陽運動，並且看到太陽在向相反的方向運動，就不難知道一定會看出太陽在衆星之間移動了，因為星辰比較太陽要遼遠得多。不錯，這種運動不是立刻可以看出的，因為白晝看不見星。可是如果我們每天都守候着西天的某一顆星，就會看到它一天比一天落得早，換句話說，一天比一天更接近太陽——更正確些說，既然星的方位不變，太陽就好像是向星辰這方面來的。這樣一來，那種運動就顯然可知了。

假使我們能在白晝見星，看它們圍繞着太陽，這種情形便會更加顯然。我們定會看到，如有一顆星在早晨跟太陽同時升起，在一天之中，太陽就要漸向東去離開這星的。在太陽出沒之間，太陽

定會離開那顆星約有自己直徑那麼遠的。到次日早晨，我們又會見到它已離星很遠，約有它的直徑的二倍了。第四圖便表示在春分時（三月二十一日前後）的這種情形。這種運動一月一月繼續不斷。一年之後太陽便會離開那星環遊一次天球，又回來與星相會了。

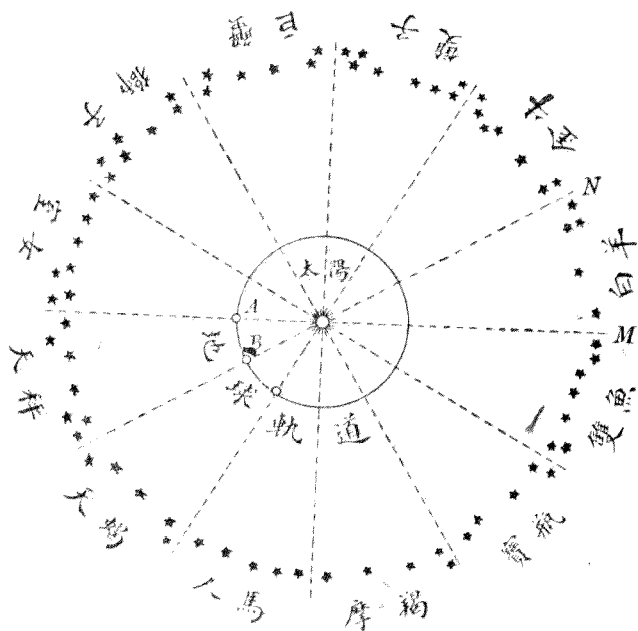
太陽的視途徑

上述情形的原因可由第五圖看出來，圖中表示地球繞日運行的軌道，用遼遠的星辰作背景。當地球在A的時候，我們看見太陽在AM線上，好像它正在星辰中間的M點上一樣。地球由A到B，太陽也好像由M到了N，照這樣繼續一年下去。太陽的這種周年運動古人早已知道，但他們費了很大



第四圖 三月二十一日前後太陽經過赤道

的事纔把這現象畫出來。他們想像了一根線繞過天球，太陽使每年依這路線環遊天球一次。這線他們叫做『黃道』(ecliptic)。他們還發現了行星也大致不差卻並不十分準確的在太陽的路程上在衆星之間運行。他們又想像出一條帶子把黃道線夾在中間並且包括了所有已知行星和太陽，這帶他們叫做『黃道帶』(zodiac)。這條帶分爲十二宮，每宮有一星座。太陽每月經過一宮，全年經過十二宮。這便是我



第五圖 地球軌道與黃道帶

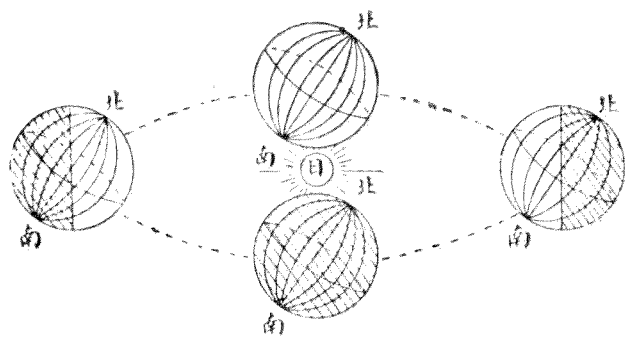
們所習知的黃道十二宮，宮名都和其中的星座名相同。這可不完全跟現今的情形相符，因為有一種很緩慢的歲差運動在中間，不久我們就要說明這一點。

我們現在就可看出我們說過的環繞全天球的兩道圈是由兩種絕不相同的方法決定的。赤道是由地球樞軸的方向規定的，恰在兩天極的正中間圈過天球。黃道卻是由地球繞太陽的運動來決定的。

這兩道圈並不一致，卻在正相對的兩點相交，約成二十三又二分之一度（ $23\frac{1}{2}^{\circ}$ ）的角，或說約一直角的四分之一。這角便叫做『黃赤交角』（obliquity of the ecliptic）。要想正確明白何以發生這種情形，我們必須再說一下兩天極；從我們已說過的話看來，不難知道兩天極並不由天上的東西決定，卻只是依據地球樞軸的方向；它們不過是天上相對的兩點正和地球樞軸成一直線罷了。天球赤道既是兩天極正中間的大圈，也便自然是只由地球樞軸的方向而定，跟別的毫不相干了。

現在我們且想像地球繞日軌道是水平的。我們可把它想像做一個將太陽安置在中心的平

盤的圓周。我們再假定地球依這圓周運行，中心恰與平盤相平；那麼，假如地球的軸是垂直的，它的赤道也一定是水平的並且跟平盤相平，而地球一年繞平盤一周的時候，中心也永遠正對着太陽了。於是，在地球上，由太陽的路程來決定的黃道也一定跟赤道是同一圓圈了。黃赤交角（黃道傾斜角）的來歷便是因為地球軌道並不垂直得像剛纔所假定的，卻傾斜了二十三又二分之一度。黃道對平盤的傾斜也就剛好是這麼多；所以，這傾斜只是由於地軸的傾斜。與此相關的有一件重要的事實，在地球繞太陽旋轉的時候，它的軸的在空間中的方向是不變的；因此，地球北極便有時對着太陽有時背着太陽了。這種情形見第六圖，圖中表示剛纔假想的平面盤，地球的軸偏向右方。不論地球在太陽的東西南北，北極的

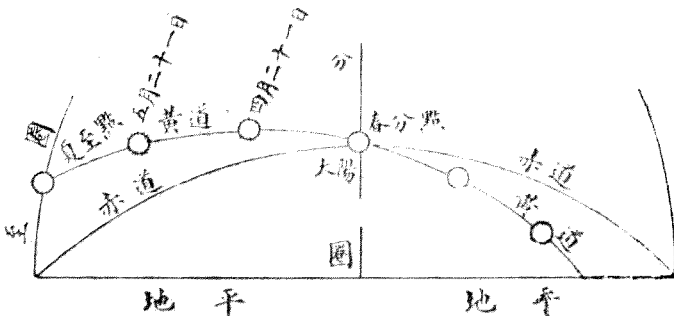


第六圖 如何由黃道傾斜而有四季

方向永遠不變。

要看出這種黃道傾斜的影響，且假想在三月二十一日左右的一個正午，地球突然停止不旋轉了，可是還繼續環繞太陽運行。以後三個月內我們所見的便是第七圖中的情形。圖中假定我們正向南天望去。我們看到太陽正在子午圈上，乍一看似乎停止不動。圖中表示天球赤道從東到西與兩面地平相交，正如前面說過的情形，黃道與赤道相交於春分點。接着守候了約我們現在三個月的時間，我們就會看到太陽慢慢的依着黃道走向寫着「夏至點」的地方去。那一點是它途中最偏北的一點，它約在六月二十二日前後達到。

第八圖使我們能更繼續追蹤太陽三個月。經過了夏至點以後，它的路程又使它漸接近赤道，約在九月二十三日前後它

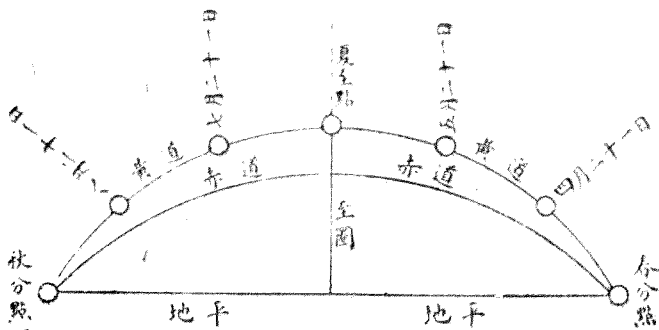


第七圖 春夏間太陽沿黃道之視運動

再由赤道經過。這一年賸下一半的路程剛好是它前六個月所行路程的複製品。它在十二月二十二日達到離赤道最南的一點，又在三月二十一日經過赤道。這些日期偶有前後的不同，那是因為閏年的原故。

我們現在看到太陽的周年視運動的途程中有四點要注意：(一)我們開始守候的地方是春分點。(二)太陽到最偏北的一點，又要向南接近赤道時，那是夏至點。(三)正對着春分點的是秋分點，太陽在九月二十三日前後經過。(四)正對着夏至點的是太陽最偏南的一點，那叫做冬至點。

在兩天極之間通過這些點與赤道成直角的時圈叫做【分至圈】(colures)。通過春分點的是二分圈，是赤經的起點，我們已說過了。與之成直角的是二至圈。



第八圖 三月到九月間太陽的視運動

現在我們再來說明星座與季候及每日時間的關係。假設今天太陽跟一顆星同時經過子午圈；明天太陽就要在該星之東離開約一度遠了，這就是說星要在太陽之前約四分鐘經過子午圈。這種情形一天天繼續下去一直到一年以後兩者又重新聚會，同時經過子午圈。這樣一來，星要比太陽多經過天空一次了。這就是說：一平年之間，太陽經過子午圈三百六十五次，一顆星就要經過三百六十六次的。當然，我們若取一顆南天的星來計算，它的出沒次數又和太陽一樣了。

天文家計算這種與太陽不同的恆星出沒是用的一種『恆星日』(sidereal day)，這一日之長正等於一顆星或則春分點經過子午圈兩次之間的時間。天文家又分一恆星日為二十四恆星小時，再照常分為分秒。他們又用一種較尋常時鐘每天快三分五十六秒的恆星時鐘來計算恆星時。所謂恆星午便是春分點經過當地子午圈的時刻。恆星時鐘那時便是零時零分零秒。照這樣安排下去，恆星時鐘便正好和天球的視轉時間一致，於是天文家不論晝夜只要向他的時鐘一看，便知道什麼星正經過子午圈以及各星座都在什麼位置上。

四季

假使地球樞軸正和黃道的平面垂直，黃道便要與赤道相合，我們也便不會有四季之分了。太陽永遠從正東方升起，向正西方落下去，全年不變。地上的氣候只會有些微的變化，因為地球在正月比在六月離太陽略近一點。可是黃道既然傾斜了，那麼，太陽在赤道北的時候（三月到九月）每天照耀在北半球上的時間，便要比南半球長一些，而且與地面所成的角度也要大一些。在南半球上的情形，便恰好與此相反。太陽從九月到三月之間照耀地面的時間，南半球上比北半球上長些了。於是，當北半球是冬季時，南半球便是夏季，恰恰彼此相反，這邊夏季那邊又是冬季了。

真運動與視運動之關係

在更進一步之前，我們不妨把我們所說過的現象總結一下。過去所說是從兩種觀點出發的：一是地球的真運動；一是這種真運動所引起的天的視運動。

眞周日運動是地球依自己的軸自轉。

視周日運動是因地球自轉而有的星體的現象。

眞周年運動是地球環繞太陽的公轉。

視周年運動是太陽在羣星之間環繞地球。

由於眞周日運動，我們的地平便從太陽或星辰上經過。

於是我們照眼見的情形說太陽或星辰上昇或落下了。

約在每年三月二十一日前後，地球赤道的平面從太陽的北面到南面去，約在九月二十三日前後又從南而北。

於是我們說太陽在三月中經赤道向北，在九月中又經赤道向南了。

在每年六月中地球赤道的平面在太陽之南與太陽相離最遠，在十二月中又在太陽之北的最遠處。

我們便說，在第一種情形中太陽在北至點，在第二種情形中在南至點了。

地球的軸對正和地球軌道垂直的線傾斜二十三又二分之一度。

眼見的結果便是黃道也對天球赤道傾斜二十三又二分之一度了。

在六月以及其他夏季的月份中，地球的北半球傾向着太陽這一邊。被地球帶着轉的北緯度地方便在旋轉一次中得太陽光的時間有一大半；而南緯度地方便只有一小半。

在我們看來的結果便是每天太陽在地平線上的時間較長，我們過着炎熱的夏季，而南半球上卻晝短夜長正是冬季。

在我們過冬的時候，這種情形便恰好反過來。南半球傾向着太陽，北半球遠離太陽。結果，南半球上晝長夜短正過夏季，北半球上卻輪到寒冷的冬季了。

年與歲差

我們區分年的辦法最自然的是依地球環繞太陽一週的時間來定。照我們所說過的看來，這種長短便有兩種不同的量法。一是量出太陽經過同一顆恆星兩次之間的時間。一是量出太陽經

過同一分點（春分秋分，也就是說經過赤道）兩次之間的時間。如果二分點是固定在衆星之間不變位置的，這兩種年的量法的結果便要完全相等了。但是古代天文家根據千百年觀察的結果發現兩者並不一致。太陽以恆星爲起點繞天一週比以春分點爲起點繞天一週要多費約十一分鐘的時間。這便顯出春分點是在衆星之間不住的一年一年改變位置了。這種移動便叫做『歲差』（the precession of equinoxes）。這也是跟天上的東西毫不相干的，只是由於地球在環繞太陽時每年不斷的慢慢移動軸的方向而已。

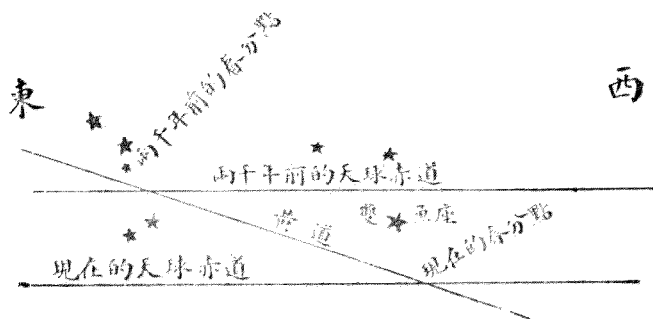
我們假定第六圖中的地球一直旋轉下去，經過六七千年繞轉過六七千次以後，我們就會發現那時地軸的北極不向我們的右方卻正對着我們這邊了。再過六七千年它會轉回我們的左方；再過第三個這樣長的時期，它便背向着我們；而第四時期一過，也就是說總約兩萬六千年以後，它又回到原來的方向了。

既然天極是依地軸的方向而定，這種地軸轉向的結果自然也要使天極在天上繞一個圓圈了。這圈的半徑約有二十三又二分之一度，現在的北極星離北極約一度多一點。可是北極卻漸漸

接近它，直到約二百年後又離它而去。一萬二千年後北極要移到天琴座 (Lyra) 中，離該座明星織女 (Vega) 約有五度。在古希臘人的時代中，他們的航海者並不認得什麼北極星，因為現在的北極星那時離北極還有十度到十二度遠，那時的北極在北極星跟大熊座之間。那時的水手便依大熊座定他們航行的方向。

從這看來，既然天球赤道是兩天極正中間的大圈，它的在羣星之間的位置便也不能不因此而變動了。過去兩千年間這種移動的情形表示在第九圖中。既然二分點便是赤道與黃道相交的二點，它們當然也得因此而移動了。這便是歲差 (二分點的前移) 的來歷。

上述的兩種年，一種叫做『恆星年』 (sidereal year)，另



第九圖 歲差

一種叫做『分至年』或則『回歸年』(tropical year)。回歸年便是太陽回歸二分點兩次之間所用的時間。時期是三百六十五日五小時四十八分四十六秒。

因爲四季是依太陽在赤道南北而定的，所以通常計算時間都是用回歸年。古代天文家以爲它的長短是三百六十五日又四分之一日。在多祿某 (Ptolemy) 約在基督紀元後二世紀生於埃及的天文家) 的時代中，還要算得更準，約爲比三百六十五日又四分之一日少幾分鐘。今日差不多所有的文明國家都採用了的格里曆 (Gregorian Calendar) 定的年的長短便和這非常相近。

恆星年是太陽經過同一恆星兩次之間所用的時間。時期是三百六十五日六小時九分。

依照基督教國家中一直應用到一五八二年的儒略曆 (Julian Calendar) 一年的時間恰爲三百六十五又四分之一日。這便比回歸年的真長要多出十一分十四秒來。因此四季便在千百年中慢慢改變了。爲了避免這一點，要有一個平均長度儘可能準確的年的制度，羅馬教皇格里哥里十三世 (Gregory XIII) 下一命令，在儒略曆的四百年之間取消三次閏日。依儒略曆，每一世紀的最後一年必爲閏年。在格里曆中，一六〇〇年仍爲閏年，可是一五〇〇、一七〇〇、一八〇〇、一九〇

○都是平年。

格里曆立刻爲所有天主教國家所採用，而新教國家亦漸次採用，因此過去一百五十年間它已成爲世界通行的曆法了。

第二編 遠鏡

第一章 折光遠鏡

在科學中沒有比應用遠鏡的這一部門還更能吸引羣衆興趣的了。我想讀者也一定想要明確的理解遠鏡究竟是什麼和用遠鏡又能看到些什麼的。這種工具的最完全的形式，例如天文家在天文臺上用的，是非常複雜的。可是其中有幾要點卻只消細心一點加以注意便可大致理會。明白了這些要點以後，再去參觀天文臺，審視這些儀器時，便可以比一個毫無所知的人多得到不少的滿足了。

我們都知道，遠鏡的重要功用是使我們能把遠處的東西看得近些；看一件若干哩以外的東西竟能彷彿是也許只在若干碼以內。造成這種結果的光學用具，我們可以馬上明白。這便是用的

一些很大的磨得很好的透鏡，這種透鏡跟我們所用的眼鏡是一類的東西，只不過更大更精美罷了。收集從物體來的光有兩種方法：一是使光通過許多透鏡，一是用一凹鏡把光反射出來。因此我們也有兩種遠鏡：一種叫做折光遠鏡，另一種叫返光遠鏡。我們先從折光遠鏡講起。

遠鏡中的透鏡

一架折光遠鏡中的透鏡有兩個組合或說兩系統；一是對物鏡，或叫『物鏡』這是在遠鏡的焦點上造成遠處物體的像；另一種是『目鏡』這是看像的東西。

物鏡纔是遠鏡中真正困難而且精巧的一部分。造成這一部分比其他所有部分加在一起都需要更多的精練的技巧。其中所需要天賦才能是怎樣的大，我們只須舉出一件事實來：五十年前，全世界上只有一個人的製造巨大精美物鏡的能力是任何地方的天文家都信任的，這人名叫葛拉克 (Alvan Clark)，不久我們就要講到他。

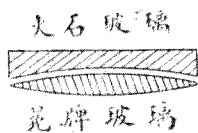
通常造成的物鏡是由兩大透鏡構成。遠鏡的能力便完全依靠這些透鏡的直徑，這便叫做遠

鏡的「口徑」(Aperture)口徑的大小不等，可以從家裏有的小遠鏡的三吋四吋，一直到葉凱士天文臺(Yerkes Observatory)大遠鏡的三呎多。爲什麼遠鏡的能力依仗物鏡的直徑？其中原因之一便是爲了把遠處東西看得比它原有的光大若干倍，我們必須有放大倍率的平方數的光纔行。譬如說，我們要有一百倍的放大倍率，就必須要一萬倍的光。我並不是說這麼多光是永遠必要的；事實並不如此，因爲平常我們可以在比它原有的較暗的光下看東西。但我們仍然要有一定量的光，否則便會太暗了。

要使在遠鏡中的遠處的物體靠得住有清楚的影像，最要緊的一件事便是物鏡一定要把從該物體上任何一點來的光都集中到一個焦點上來。如果這一點不會辦到，如果不同處來的光也略微分散到不同的焦點上去，那麼，那物體就要看來很模糊，就好像從一副不合光的眼鏡裏去看東西一樣。可是，一單片透鏡不管是用什麼玻璃製成的，是不能把所有的光集中於一焦點的。讀者當然知道平常的光，不論是從太陽或是從星上來的，都是無數不同的顏色的混合，只要將它通過三稜鏡便可分開來。這些顏色從紅色的一頭起一直排下去是黃、綠、藍、紫。一單片透鏡便要不同

顏色的光線收到不同的焦點上去；紅的離物鏡最遠而紫的最近。這種光線的分開叫做「色散」(dispersion)。

二百年前的天文家都以為絕無辦法避免透鏡的色散作用。約在一七五〇年，倫敦的多龍德(Dollond)發明一個方法避免這種弊病，便是利用兩種不同的玻璃，一種是冕牌玻璃，一種是火石玻璃。這種方法的原理是非常簡單的。冕牌玻璃的折光能力差不多跟火石玻璃一樣，可是色散能力卻差不多加大了一倍。於是多龍德用兩透鏡做成了一副物鏡，其中的一部分見第十圖。前面是一片冕牌玻璃的凸鏡，這是普通的做法。跟這連在一起的是一片火石玻璃的凹鏡。這兩透鏡的曲度既然相反，便要使光向不同的方向射去。冕牌玻璃要把光集中於一點，火石玻璃的凹鏡卻要把光線分散。如果單用它，我們便會看到光線通過它，不但向一焦點集中，反要從一焦點向各方漸漸分散。這片火石玻璃裂得恰好比冕牌玻璃的一半能力大一點。這一半能力已足可化去冕牌玻璃的色散了；卻還不能化去它的折光能力的一半以上。這聯合的結果便是所有的光線通過



第一〇圖
透鏡中物鏡的一部分

其中都差不多集中於一焦點，但這焦點卻要比冕牌玻璃單用時遠了約一倍。

我說差不多集中於一焦點。因為事實上不幸這兩層玻璃組合起來還絕不能把所有各種顏色的光線絕對集中於同一焦點上。遠鏡愈大，這種弊病愈嚴重。如果你從一架大折光遠鏡中去看月亮或一顆明星，一定會看到星或月的周圍有一圈藍色或紫色的暈痕。這兩重透鏡不能把藍色或紫色光線也集中到和其他顏色一同的焦點上去。

由於物鏡的這種集中光線於焦點的作用，遠處物體的像便在焦平面上形成了。焦平面便是通過焦點與遠鏡的軸或視線成直角的。

遠鏡中所成的像是怎樣的情形，可以在照相師準備好照相時去望一望他的照相機中的毛玻璃。你在那兒可以見到一副面孔或一張遠景畫在毛玻璃上。從各方面說來，照相機便是一架小望遠鏡，而毛玻璃，或則放感光片去照相的地方，便是焦平面，我們還可以反轉過來敘述這種情形，說遠鏡是長焦距的大照相機，我們可以用它照天空的像片，正如同照相師用照相機照平常的像片一樣。

有時候我們可以藉明白一件東西不是什麼來更充分的明白它是什麼。一百年以前的著名的月亮大騙案中，有一點恰能這樣幫助我們一下。那欺騙了很多輕易信人的讀者的作家說，侯失勒爵士(Sir John Herschel)用極大放大倍率的遠鏡觀測月亮，竟感到沒有充分的光足以看出那影像來了。於是有人向他建議用人工的光來照明那影像。結果非常驚人，因為月亮上的動物都在遠鏡中看出來了。如果大多數的人，甚至連頂有聰明才學的也算上，並沒有被騙的話，我也就用不着說下面的話了：遠鏡所成的一件物體的影像在本質上是不容外來的光幫助的。它的效驗並非由於它是一幅真像，卻只是由於遠處物體的任何一點上的光都相遇在影像上相當的點上，再從此散開，恰像有一幅物體的圖畫在焦平面上的一樣而已。事實上圖畫這詞也許比影像這詞要略好一點來表示物體的顯現情形，但這幅圖畫卻只是由光畫成的，其間毫無他物。

假若物體的影像（或說圖畫）恰好形成在我們眼前，那麼大家也許要問：為什麼看它還需要目鏡？為什麼觀測者不能站在圖畫後面，向物鏡望去，望見影像懸在空中？他實在可以這樣做，只要他把一片毛玻璃放在焦平面上，像照相師對待照相機一樣。他可以這樣去看影像現在毛玻

璃上。他再向物鏡望去，也就用不着目鏡可以看見物體了。可是在任何點上都只有一小部分看得見，因此直接看物鏡的好處也實在很少。要好好看還是得用目鏡。目鏡不過是一個小眼鏡，根本上同鐘錶匠用來察看錶的眼鏡是同類的。目鏡的焦點愈短，觀察愈加精密。

常有人問：著名望遠鏡的放大倍率有多麼大？答覆是：遠鏡的放大率不僅倚仗物鏡也還要看目鏡的。目鏡的焦點愈短，放大率愈大。天文遠鏡都有許許多多的目鏡的，其中有從最低直到最高各各不同，依觀測者的需要而用。

在幾何學原理允許的範圍之內，我們可以在任何遠鏡（不論它大小）上得到任何放大率。用一個平常的顯微鏡來看影像，我們可以使一個四吋小遠鏡有侯失勒的大返光遠鏡同等的放大率。可是要使任何遠鏡的倍率超過某一定程度以上是有許多實際困難的。首先是看物體表面時的光的缺乏。假設我們用一個三吋遠鏡望土星，使它有數百倍的放大率，土星便顯得黯淡不清楚了。但這還不是使小遠鏡有高放大率的唯一困難。光的本質照一般定律說是不允許我們能把每一吋口徑的放大率提高到五十倍以上，或則最多說也不能超過百倍的。這就是說，用一架三吋

遠鏡我們不能得到一百五十倍以上放大率的利益，更不用說是斷然不能超過三百倍的。

可是還有一重困難特別使天文家比別人更覺不好辦的。這便是由大氣而生的模糊，就是平常所說的看不清楚。

我們看天體是要透過一層厚厚的大氣的。大氣如壓縮到都跟我們周圍的空氣一樣密，便要有六哩左右之厚。我們知道看一件六哩外的東西，是會看到它的輪廓模糊的。主要的原因便是光線所必須透過的大氣永遠不息的擾亂着，引起不規則的折光，使物體顯得成波狀顫抖着。這樣產生的輪廓柔化與模糊在遠鏡中比物體本身還要加上許多倍。結果，我們加大了放大率，同時也依同等比例加大了影像中的模糊。這種模糊程度的深淺大半只看空氣的情形如何。天文家顧慮到這一層，便爲大遠鏡找尋空氣澄靜的地方，以便從中觀測天體得以輪廓鮮明。

我們常見到一些計算說用高倍率大遠鏡可以把月亮搬得多麼逼近。譬如說，用一架一千倍放大率的，我們看它似乎在二百四十哩以外；用一架約五千倍的，便似乎只在四十八哩之外了。這種計算倒是不錯的，只要單從月亮上的任何東西的眼見大小來說，可是絕不能涉及遠鏡的缺點。

以及大氣所給的壞影響。這兩層毛病的結果使上述的計算不能切合事實。我很懷疑任何天文家應用現有的任何遠鏡來觀測月亮或行星一類的東西，把放大率加到千倍以上還能得到多大的利益，除非遇上了一個大氣異乎尋常的平靜的機會。

遠鏡的裝置

那些根本未見過遠鏡的人大概會以為用遠鏡測天是極其簡單的事情，只消把遠鏡對着某一天體，再從中觀測就是了。（註）可是我們不妨試驗一下這種辦法，把遠鏡指着一顆星。一件也許出我們意料之外的事立刻便要引起我們的注意的。那顆星並不靜守在遠鏡的視野（或則說遠鏡中的小塊圓形的天空）中等我們去觀測，卻很快的逃了出去。這是因為地球繞自己的軸轉，星辰便彷彿向反對的方向轉了。這種運動與遠鏡的放大率同比例的加大。若用高倍率的遠鏡，我們還未來得及觀測時，星早已逃出我們觀測的範圍了。

現在我們必須記得視野也是同樣放大的了，因此它比看起來要小得多，縮小的倍率正等於

放大的倍率。舉例說，如果用的是千倍的，那麼普通遠鏡的視野便會是約二分的角度，這一小塊天空在肉眼看起來不過是一點罷了。這簡直就像我們從一座十八呎高的房頂上的一個直徑八分之一吋的小洞中去看星一樣。如果我們想像一下從這樣的小洞中望星，便不難明白要找到一顆星並且追隨它的運動是多麼難辦的事了。

解決這問題的方法便在適當的裝置遠鏡，使它在互成直角的兩軸上旋轉。『裝置』的意思便是說那一全套機器，藉它的幫助我們可以使遠鏡指定一顆星並追隨它的周日運動。爲了不要一開始就用對這種機件的詳細研究來分散讀者的注意，我們先來一個大綱，說明轉動遠鏡的兩軸之間的關係。主要的一根軸叫做『極軸』(polar axis)，是裝得恰好跟地球的軸平行，因此正對着天極。因爲地球每天從西向東旋轉，便有個鐘錶似的東西連着這軸使它以同等的運動從東向西旋轉。於是地球的旋轉便似乎爲遠鏡的相當的逆旋轉所取消了。當遠鏡指着一顆星而鐘錶開始走動時，這星找着了以後便不會逃出視野去了。

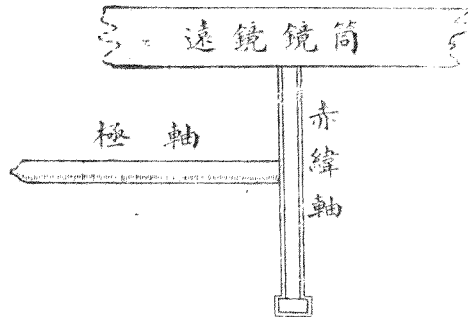
爲了使遠鏡可以自由如意的指着天上任何一點，就必須有另一根軸與極軸成直角。這便叫

做「赤緯軸」(Declination)。它上面有一帶剛好安在極軸的前端，兩者合成一個T字形。把遠鏡在這兩根軸上轉動，我們可以使它指着任何我們要看的地方。

既然極軸是跟地軸平行的，它的對地平的傾斜度就正等於當地的緯度。在北緯較南部，它便幾乎偏於水平而不垂直了。但在北方卻又是偏於垂直的。

很明顯的，上述的機械還不足以解決把一顆星移入視野（或照通常說法，找到一顆星）的問題。我們也許會摸索尋覓幾分鐘，甚至幾小時，而不能成功的。但是不要緊，找出星的方法還有兩種如下：

每一為天文學用的遠鏡都有另一小遠鏡附在遠鏡長筒的下一端，這叫做「尋星鏡」(Finder)。這尋星鏡的放大率較低，因此視野較大。如果觀測者能看見那顆星，便可從管外找到星再使尋星



第一圖 轉動遠鏡的軸

鏡對着它，使它入了尋星鏡的視野。找到以後再把星移到視野的中央。這樣辦完之後，星也便要在主要大遠鏡的視野之中了。

但是天文家所要觀測的星大都是肉眼全看不見的。因此他必須再有方法使遠鏡對着他離開遠鏡便看不見的星。這便要倚仗分裝在兩軸上的劃分度數的圓圈了。其中之一上面有度數及分秒刻着，這便表示遠鏡所指的那一點的赤緯。另一個裝在極軸上，叫做時圈，分爲二十四小時，每小時又分爲六十分，以表示赤經。當天文家要找一顆星的時候，他只要先望一望恆星時鐘，從恆星時中減去該星的赤經，便得到它的當時的『時角』(hour angle)，或則說在子午圈東或西的距離。他再使赤緯圈適合該星的赤緯，這就是說，他轉動遠鏡使圈上的度數(這要用放大鏡來看的)正等於該星的赤緯度；於是他再在極軸上轉動機器使時圈上也正是該星的時角。於是開動時鐘，再向遠鏡中望去，他所要找的星便赫然在目了。

如果讀者覺得這種辦法太複雜，他只要到天文臺去參觀一下便可看出手續是多麼簡單了。那樣一來，他就可以在幾分鐘內明白什麼是恆星時、時角、赤緯，以及這一類的名詞了；這些實際的

知識是要比任何紙上的描寫更容易使人明白的。

遠鏡的製造

現在我們且來談談與遠鏡製造有關的有趣的事，其中大半都是歷史事實。我們已經說過，最大的困難，最需要稀有的天生的特殊才能的，便在製造物鏡那一方面。只要對於正當的形式有一點極細微的差錯——這毛病是在物鏡中薄得只有十萬分之一吋的一部分上——便會把像毀壞了的。

製成鏡片（也就是說把鏡片磨得準確）的眼鏡師的本領還決不是所需要的全部。把大玻璃盤造得有必需的均勻與純淨也是同樣困難的實際問題。玻璃的均勻稍差一點，就要既不能用又不好看的。

在十九世紀開始時，要把火石玻璃製得有必需的均勻是一件大困難。這種物質中含有大量的鉛，在熔化玻璃的時候會沈下鍋底，因此使下半面的折光能力比上半面大。結果，在當時一架口

徑四吋五吋的遠鏡便要算是大遠鏡了。就在當時，瑞士人奇南 (Guinand) 發現了一種方法製成
大片的火石玻璃。也許他的成功只是由於在玻璃熔化時不住的加以有力的攪動而已。

要利用這些玻璃盤，還得一位有相當的才能的眼鏡師來把它磨光，使它恰好合用。明尼克 (Munich) 的夫牢因和斐 (Fraunhofer) 便是這樣一個技師，他在一八二〇年曾造過九吋口徑的遠鏡。他並不以此爲止，在一八四〇年又造成了兩架有直徑十五吋的物鏡的遠鏡。這些都是空前的產品，在當時曾被認爲奇蹟的。其中之一爲俄國普爾柯瓦天文臺所得；另一架爲哈佛天文臺 (Harvard Observatory) 所得，直到五六十年後還是可應用。

夫牢因和斐死了以後，在沒有人注意尋找的地方出現一位傑出的後繼者，麻沙州劍橋港 (Cambridgeport, Mass.) 的肖像畫家葛拉克。這個人幾乎未受初步的專門技術教育，又未受運用光學器具的訓練，卻成功了他所做的偉業，也足可證明天賦才能的重要了。他好像對於這問題的本質有天生來的完全概念，又加以超人銳利的眼力，遂得以解決了問題，他爲那種不可抗禦的衝動（這恰好是天才的標誌）所逼，從歐洲買來一些做小遠鏡所必需的粗玻璃盤，造成了一副

很滿意的四吋口徑的遠鏡。

葛拉克當他的透鏡的卓越已使他出名了以後，他又進行造一空前巨大的折光遠鏡。這便是在一八六〇年左右完成的爲密士失必大學而造的十八吋口徑的大遠鏡。這架遠鏡成功了尙待試驗的時候，他的兒子喬治·葛拉克 (George B. Clark) 曾在他工作場中用來觀測天狼星的伴星，這是早因其加於天狼星的引力而知其存在卻還從未被別人看見過的。內戰爆發，密士失必大學未能得到這遠鏡，遂爲支加哥人購去。它現在是伊文斯頓 (Evanston) 的狄爾邦天文臺 (Deerborn Observatory) 的主要工具。

大折光遠鏡

在英國遠陸續製出逐漸加大的玻璃片，製造者是奇南的女塔費爾 (Fell)。葛拉克用這些玻璃片造成更大的遠鏡。第一個是爲華盛頓的海軍天文臺 (Naval Observatory of Washington) 造的二十六吋遠鏡，還有一大小彷彿的爲維爾金尼大學 (University of Virginia) 而造。以後

便是爲俄國普爾柯瓦天文臺造的三十吋直徑的遠鏡。以後又爲加里福尼亞 (California) 的立克天文臺 (Lick Observatory) 造成三十六吋的遠鏡。

費爾死後，製玻璃的職務又由曼陀伊 (Mantox) 來繼承，他所製的玻璃的純淨與均勻是前此無人能及的。他供給葛拉克玻璃片，使葛拉克得以爲威士康辛 (Wisconsin) 的葉凱士天文臺造成最大遠鏡的物鏡。這遠鏡直徑有四十吋，是全世界最大的折光遠鏡。

近來各國關於光學玻璃的製造大加改良。有不少的專家已顯出他們的才能，製成精美巨大的透鏡了。二十六吋以上口徑的遠鏡已有一打以上在全球不同地方作觀測天象之用了。

在機械一方面也有了很大的改善。一個參觀現代天文臺的人是既要驚異於觀測天象有那麼便利，同時也要佩服觀測的高明的。大遠鏡安置得那麼平穩，竟可以很容易爲手推動，其迅速的運動也同樣是由電動機來管理的。當要移動遠鏡就新的位置時，天文家只消按一按電鈕，遠鏡便移動到新的位置上去了。圓頂也轉過去使光縫對着新的方向；觀測者所站的地板也如意起落，使觀測者得以就目鏡的新位置。

有許多用大遠鏡的研究，考察要把目鏡去了，換上一種別的工具。有時是放一安置底片的東西，以便爲天象攝影研究，有時是一具分光鏡，以便分析天體的光，有時是一種特殊的裝置來紀錄天體輻射的強度。遠鏡的重要作用便是收集光，把光集中在一焦點上，使人可以用上述或其他種種方法來研究。有的遠鏡，例如威爾遜山天文臺 (Mount Wilson Observatory) 的塔式遠鏡是固定的。活動的鏡子將天體的光一直引到遠鏡上，再由遠鏡將光集中於下面焦點上，以便實驗室中的研究。

(註) 作者想起當年立克 (Janier Lick) 要建築那使他後來傳名的天文臺的時候，他所感到趣味的大概只是大望遠鏡，而他的計劃也幾乎是要把所有的經費都用在製造儘可能的最大透鏡上。他起先並不知道天文家用的那些那末複雜的機件有什麼必要，一直到後來有人向他解釋用大遠鏡作準確觀測時的校準的必需品的用處，他纔明白。

第二章 返光遠鏡

我們已經知道，在折光遠鏡中，物鏡是一具透鏡，或許多透鏡的組合，安置在鏡筒的上端。它將星光折到近乎鏡筒下一端焦點上去，在那兒形成一個影像，這影像可以用目鏡來看，可以攝影，可以用其他種方法研究。伽利略（Galileo）所用的最初的遠鏡以及約三百年前所用的遠鏡都是折光遠鏡。這種遠鏡經過了消色方法改良後的形式仍有最普遍的用途。

在返光遠鏡中，物鏡是一凹鏡，安置在鏡筒最下端。它將星光反射到近乎鏡筒上端的焦點上去。此地發生了一重困難必須設法解決。要看焦點上的像，觀測者必須從上面向鏡中望去。如果他俯在鏡筒上來看，他便要看到他自己的影子在鏡中了。他的頭及肩都要遮去大部分射來的星光。因此必須想出方法來使焦點到筒外去，星的像纔能觀測得充分。不同的方法結果造成不同形式的返光遠鏡。現今應用的有兩種：一是牛頓式（Newtonian），一是蓋賽林式（Cassegrainian）。

牛頓式返光遠鏡用一小對角斜鏡安置在鏡筒中近乎筒頂的焦點之內。這鏡的折光面恰和遠鏡的軸成四十五度角，從大鏡受來會聚的光柱再向旁反射到鏡筒邊上去。在那兒可以用平常的目鏡來看，或則攝影。

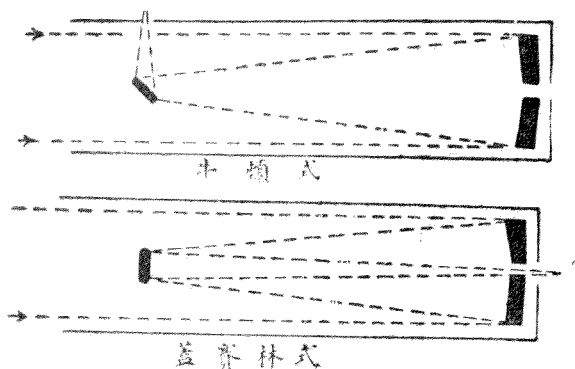
因此，用牛頓式返光遠鏡的觀測便在鏡筒的上端左近。觀測者用目鏡看去的方向正與他所觀測的星成直角。大返光遠鏡的觀測臺是連在旋轉圓頂上正對着光縫，很容易起落將觀測者放在適當的位置上去看遠鏡所指的任何方向。

蓋賽林式有一較小的略凸鏡放在主鏡與其焦點之間。小鏡將會聚的光柱再反射回去正向大鏡，從大鏡中央一小開口處通過剛在鏡後成焦點，這兒便安放目鏡。用這種遠鏡的觀測者直向他所觀測的物體望去，正如同用折光遠鏡的一樣。有許多返光遠鏡是既可用成牛頓式，又可用成蓋賽林式的。

返光遠鏡在二百年前纔廣被採用，雖則其中的不同形式的原理已在更早五十年就由牛頓 (Newton) 蓋賽林 (Cassorain) 及旁人說明過了。威廉·侯失勒爵士 (Sir William Herschel)

製了不少的返光遠鏡，還用了幾架做他的著名的天象的考察。約在一百年前，愛爾蘭業餘天文家羅斯爵士（Low Ross）有一具直徑六呎的大返光遠鏡，在當時已是其中巨擘了；實際上直到最近還沒有任何其他遠鏡比它更大。這一具大遠鏡爲人所知，特別因爲它第一次顯出了有些遙遠天體的旋渦構造，那些天體就是後來因此叫做旋渦星雲的。

早期返光遠鏡的鏡子是用一種鏡金（Speculum metal）做成的。當鏡面暗了的時候還須再磨過。而且侯夫勒，羅斯等人的大遠鏡的機械部分比起現今的來是非常粗糙的。它們並不能忠實的追隨天體的西移運動，這在攝影是首先必要的，或則說，其實幾乎在所有現代各種天文觀測中都是必要的。



第一二圖 牛頓式與蓋賽林式返光遠鏡

約在五十年前鏡金纜用玻璃來代替。圓玻璃的一面磨成所需要的形式爲鏡之基礎——其曲面則加一層極薄的銀甲。銀甲暗淡不明時，可以很容易的換上新的。今日的大遠鏡都用的玻璃加銀的鏡子。

加里福尼亞的威爾遜山天文臺的百吋返光遠鏡是全世界現有的最大遠鏡。其中的大鏡是玻璃上加銀的圓體，直徑有百吋多一點，厚度也有一呎多一點。全玻璃有四噸半重。這遠鏡安在一座直徑百呎的大圓頂內。

其次是維多利亞 (Victoria) 的多明寧天體物理學天文臺 (Dominion Astrophysical Observatory) 的七十二吋返光遠鏡。與之相埒的是俄亥俄 (Ohio) 的帕爾金斯天文臺 (Perkins Observatory) 的七十吋返光遠鏡；而不久將略超過它的是正在製造中的托輪托大學 (University of Toronto) 的大返光遠鏡。還有好些架五呎口徑的返光遠鏡。威爾遜山天文臺 的一架已用了二十多年了。還有一架同樣大小的新遠鏡在南非洲麻塞爾坡爾 (Mazellport) 的哈佛天文臺 南方分部，將要大大提高南天的攝影研究。

將要超過所有這些遠鏡而爲其巨擘的是正爲加里福尼亞的工藝館 (Institute of Technology) 製造的二百吋返光遠鏡。熔解的石英代替它的大鏡的玻璃。石英較不易受氣候改變的影響，而且較少爲其自身重量所彎曲。這大石英盤將有約十七呎寬二呎厚。雖比現有的最大遠鏡的直徑加二倍並且聚光力也加了四倍，這新遠鏡卻只比現有的長出三分之一。這大鏡將星光聚於它表面上六十呎外的焦點上。這遠鏡將安置在離巴沙德那 (Pasadena) 相當遠近的有利的地方。

第二章 遠鏡攝影術

天文學的一件最大進步便是由於攝影術在天體研究上的應用。回到上一世紀的四十年代，紐約的杜拉伯 (Drapper) 成功了一張月亮的銀板攝影 (daguerreotype)。利用了更進步的發明，哈佛天文臺的邦德 (Bond) 和紐約的羅斯浮德 (Rutherford) 開始把這技術應用到月亮星辰上面去。這些前驅者的企圖當然不能與現代的天體攝影相媲美，但是羅斯浮德所攝的昴星團及其他星團的相片到現在還有天文學中的價值，也就可見他們的成功了。

昴星團攝影是可以用普通攝影機的，只要我們把它安置得像一架赤道儀一樣可以追隨星辰的周日視動。幾分鐘的露光便可以攝得比肉眼所見較多的星了；事實上用大攝影機是連一分鐘也用不到的。可是平常天文家所用的卻是一種攝影遠鏡。普通攝影機自然也能用，只要加上相當的改善裝置，但爲了得到最好的效果起見，遠鏡的物鏡必須特別造成使紫色藍色光線到一焦

點，因為這種光是攝影底片最敏感的。

爲攝影而設的折光遠鏡常做得比同口徑的目視遠鏡要短些，爲的是可以同時多見更大的天空。又爲了大視野的像的清晰與顏色模糊的減少，其中的物鏡常是兩重的，便是所謂『雙重鏡』(Doublet)，例如巴納德(Barnard)用來成功他的空前絕後的銀河及彗星攝影的勃魯斯雙重鏡(Bruce Doublet)。其中最大的是哈佛天文臺的二十四吋雙重鏡，它曾大大增加我們對於南半天球的知識。折光遠鏡只要是物鏡充分消色了以後，是既可以眼視又可用做攝影研究的。

在今日說來，攝影底片已大量的代替了眼睛用在遠鏡上了。晴朗的天空便利用做大批的攝影，而這些永久的紀錄又便於精密的研究。常常在一件特別有趣的天體（例如新行星或新星）發現以後，天文家還可以在早先的該部天空影片中找尋未發現前許多年來的歷史。這便是最近發現新行星冥王星時的情形。

從前天文家紀錄太陽黑子、日蝕、行星、彗星、星雲及其他天體的現象都用儘可能正確的圖畫。這些圖畫要長時間纔能製成，其中還有藝術家個人的偏見。有時兩位天文家的同一物體的兩張

互不相符，或則到後來又發現與原先的也大不相同。用攝影機我們可以得到更忠實的具體的影像，而且常常需要的時間更短。

天體攝影的一件最大的優點便是在長時間的露光之後，底片上可得到許多眼看不大清楚或簡直看不見的情形。譬如說，有些星雲在照片中很明顯，眼睛卻在最大遠鏡中也不能看見。爲個非常黯弱的天體攝影需要若干小時的露光，需要遠鏡的活動部分移動得異常之準確，需要天文家的技術與耐性，這纔能得到一張清晰的圖畫。

第三編 太陽，地球，月

第一章 太陽系的最初一瞥

我們已經說過這一羣較小的天體（我們所居住的是其中之一）怎樣自成一個獨立的集團了。雖然以全宇宙的標準來說是非常渺小，可是在我們這方面說來卻是全宇宙最重要的一部分。在進行全太陽系各方面的詳細描寫之前，我們先作一個概觀，說明這是那一類的天體以及它的構成。

首先我們要提到太陽，這是巨大的發光的在系中央的物體，它把光和熱散給全系並且用它的強有力的吸引力維持全系。

其次輪到那些行星，它們在有規則的軌道中環繞太陽，而我們的地球也是其中之一。行星

(Planet) 這字的本意是遊行不定，古時給它們起這名字是因為它們不在恆星之間守着固定的位置，卻在恆星間遊行不定。行星分爲不同的兩類，叫大行星與小行星 (major and minor)。

大行星一共九顆，是全系中除了太陽便算最大的物體。它們到太陽之間的距離大半都多少依照着一種很規則的等次，從最近的水星的四千萬哩到最遠的冥王星的約四十萬萬哩。冥王星約比水星離太陽遠一百倍。它們繞太陽一週的時間卻相差更遠。水星繞太陽只要我們的三個月還不到，冥王星行它的遙遠的路程卻幾乎要二百五十年。

大行星分爲兩羣，其間有一道很寬的空隙。內層的一羣是四顆大體上比外層一羣較小的行星；四顆合起來還不够外層的天王星的四分之一大。

在兩羣之間的空隙中旋轉的是小行星 (asteroids)。和大行星比起來，它們真是渺小得很。我們已知的說來，它們全部都在一道很寬的帶中，這帶從離太陽比地球遠一點起到幾乎更遠十倍爲止。其中大部分都約比地球離太陽遠四五倍。它們跟大行星還有一點不同，便是數目的衆多；我們已知的已在一千顆以上，而新的還不斷被發現，使我們無從估定其總數。

太陽系中的第三類是「衛星」(Satellites)或則說「月亮」。有幾顆大行星都有一顆或一類以上這種小天體繞着旋轉也陪伴着它們繞太陽旋轉。最內層的兩顆行星，水星跟金星，都沒有衛星。別的行星，有的只有一個(我們的月亮)，有的卻有九個，便是木星和土星。因此，除了水星跟金星而外，每一顆大行星都是一個近似太陽系的系統的中心。這些系統有時便以其中中央星體爲系名。因此我們便有了火星系，其中有火星與其兩衛星；木星系，其中有木星與其九衛星；土星系，其中有土星與其光環以及九衛星。

太陽系中第四類是「彗星」(Comets)。它們繞太陽旋轉的軌道都是很奇怪的偏心的。我們只在它們接近太陽時纔看見，這在它們的大多數說來都要隔幾百年甚至幾千年一次的。便是那時候若不遇上有利的情形，也還是會失去機會的。

在上述諸天體之外還有無數的流星式的小東西也依有規則的軌道繞着太陽轉。它們大概是跟彗星多少有點瓜葛的。它們都是完全看不見的，除非碰巧投入了我們的大氣中來，那時我們便叫它們做「流星」(shooting stars)。

下面是依距太陽遠近爲次序並附其所有衛星的行星表：

(一)內層大行星：

水星 (Mercury)

金星 (Venus)

地球 (Earth) 有一衛星

火星 (Mars) 有二衛星

(二)小行星

(三)外層大行星：

木星 (Jupiter) 有九衛星

土星 (Saturn) 有九衛星

天王星 (Uranus) 有四衛星

海王星 (Neptune) 有一衛星

冥王星 (Pluto)

我們並不依這次序來敘述它們。我們在說完太陽以後便跳過水星和金星來談地球和月亮。以後我們再回頭來挨次談其他的行星。

第二章 太陽

太陽系中最大的居中央的物體當然要首先引起我們的注意。我們看到太陽是一發光的球體。我們所首先要問的自然這球體的大小與遠近了。我們知道了它的遠近以後也就很容易說出它的大小來。我們測算出太陽直徑的對角約爲半度。如我們畫出互成此角的二直線，再向空間中無定延長，太陽直徑一定等於與太陽等距離的地方的兩線的相距。精確的計算只是非常簡單的三角問題。我們現在只要說太陽直徑在我們眼中所成的角度是 $32'$ （三十二分）。這使我們知道太陽的距離是直徑的 107.5 倍。如果我們知道了太陽的距離，也只要用 107.5 除使得它的直徑了。

太陽的距地球平距離是 $92,870,000$ （九千二百八十七萬）哩。用 107.5 除，我們發現太陽直徑約爲 $864,000$ 哩。這便是地球直徑的約一百一十倍了。又可推算出太陽的體積是較地球

大一百三十萬倍以上。

太陽的平均密度只是地球密度的四分之一，比水的密度約大十分之四倍。

太陽質量約爲地球的 332,000 倍。

太陽表面的重力約爲地球表面重力的二十八倍。假如人可以到太陽上面去，一個常人將有兩噸重而被自己的重量壓倒。

太陽對於我們異常重要，因爲它是我們的光和熱的偉大來源。假如沒有它，不僅世界要爲無盡的黑夜所包圍，而且在極短時間中要陷於永恆的寒冷。我們都知道在晴朗的夜間，因爲地面將日間從太陽收來的熱又散發到空中去，比較要冷些。如若沒有日間的輸入，熱量便要繼續消失。直到比我們現今兩極還要冷出多少倍去。植物當然不能生長。海洋要完全結冰，地球上的生命也要不久便消滅了。

我們平常所看見的太陽表面叫做『光球』(photosphere)。這名詞是用來區分我們所見的太陽表面，使它不致於跟外面的差不多更透明的一層以及內部的看不見的部分相混的。肉眼

看來，光球好像各部完全一樣。但在遠鏡中看來，全表面都有斑點，恰好可以比做一盆稀飯。在最好的情形下的考察使我們知道這是由於有很不規則的小顆粒佈滿全光球。

當我們比較光球各部分的光度時，發現全圓面的視中心較邊明亮。這種差別不用遠鏡也可看出來，只要我們用一塊黑玻璃遮住眼睛，或則在傍晚的濃厚的霞彩中去望落日。這種光的消失愈近邊愈快，到圓面的最外邊時，光度只比中央的一半多一點了。其中還有顏色的不同，邊上的光跟中心的光比起來要更顯得灰白些。

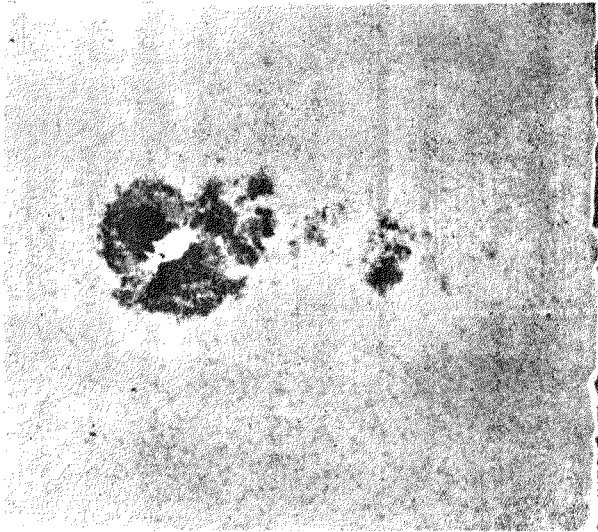
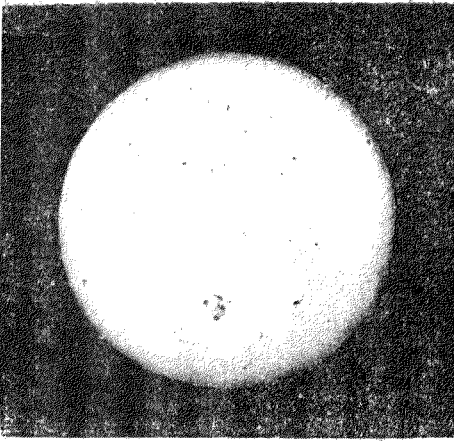
光球便是我們的眼界極限，下面我們便看不見了。雖然看起來似乎和皮球表面一樣光，它的密度卻幾乎只有我們周圍的空氣的萬分之一。我們看這一層還要透過若干千哩的太陽的『大氣』。光球的圓面邊上的更黑更紅，也由於這種大氣的更加厚，卻還是因為那些部分的光球較薄。我們向太陽邊斜看過去，正值更高且更冷的一層，那兒的光也使更弱更紅了。

細心的觀測便可看出太陽跟地球一樣也在通過其中心的一根軸上自西而東的旋轉。我們用同地球上同樣的詞把軸與表面相交的兩點叫做太陽的兩『極』。而把在兩極中間的圓圈叫做太陽的『赤道』。赤道的自轉週期是 247 日。因為環太陽一週比環地球一週要遠出一百一十倍，所以在這樣的時期中要轉一周的話，自轉速度一定要比地球的快四倍以上了。太陽赤道的自轉速度約為每秒一哩多。

這種自轉的有趣之點是愈離赤道遠的地方自轉週期也愈長。在太陽的南北極附近，自轉週期約為 341 日。假如太陽也同地球一樣是固體，它的各部分的自轉速度便要一致的。因此太陽便不能是固體，它不是液體便是氣體，至少在表面一層是這樣。

太陽赤道與地球軌道平面傾斜七度。它的方向在我們看起來，春天它的北極背離我們七度，而所看見的圓面中心約在太陽赤道南邊約七度。夏天秋天便輪到與此相反的一種情形。

太陽的黑子 (sun-spots)



第一三圖 (上)太陽的帶黑子的圓面
(下)大太陽黑子之一(葉凱士天文臺攝)

當太陽用遠鏡觀測時，它的表面便往往有（雖然不是永遠有）黑點子。這些黑子都隨着太陽自轉，也就是根據了這些黑子纔更容易定出它的自轉週期的。在圓面中央出現的黑子在六天以後便會移到西部邊上，然後從那兒消失不見。約在兩星期以後，如這黑子仍舊存在，它又會在東面邊上出現的。

黑子的大小頗不相同，從在最好遠鏡中纔看得見的微點一直到肉眼用黑玻璃隔着也可看見的大塊都有。它們平常都成羣出現，有時單粒黑子雖看不見而它們的集團卻可以爲肉眼看見。單個的黑子有的直徑達五萬哩。最大的一羣黑子竟遮住了太陽表面圓盤的六分之一。

一羣黑子發展下去時，它們都依與太陽赤道平行的圈子展開。從太陽自轉方向說來領頭的黑子大半是全體中最大的，而且是壽命最長的，往往在別的都消失了以後還存在。一羣黑子常常只剩下一些單個的成員。一羣中殿後的也往往很大。正常的黑子是近乎圓形的，其中更黑暗的部分叫做『本影』(umbra)，邊上較明的部分叫做『半影』(penumbra)。在分散的過程中，黑子分裂成一些很不規則的碎片。約三百年來的太陽黑子的觀測使我們知道了太陽黑子的頻數

是多少依照規則的，週期約爲十一年一次。有些年太陽上面很少黑子，甚至於沒有。一九一二年如此，一九二三年又如此。第二年出現的黑子數便加多了一些；一年一年增加下去，平均約加到五年。以後又一年一年漸漸減少，直到週期滿了纔又增加。這種變化之迹可以一直追算到伽利略時代去，雖然是到了一八四三年須華勃 (Schwabe) 的觀測纔成立了它們的週期率。

最近的太陽黑子最多的一年是一九二八年春季。到一九三九年又要更多起來。

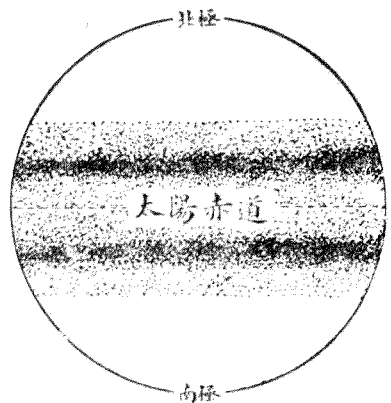
太陽黑子數目改變的週期也是那更普遍的十一年循環週期之一，這種週期是太陽與地球上的許多現象都依從的。深紅的『日珥』 (prominences) 在太陽黑子最多時也最常出現。『日冕』 (corona) 也隨黑子的增加或減少而改變形狀。地球上的『磁暴』 (magnetic storm) —— 便是羅盤針亂轉而有線無線電的通報都非常困難時——也和黑子一同增加強度與數目。『極光』 (aurora) 也在黑子最多時更頻繁而且壯觀。氣候在這週期中的少許的變換也差不多證明了。

與太陽黑子有關的還有一條可注意的規律，便是黑子並不散在太陽的全部，卻在太陽緯度

上的某些部分縱有。在太陽赤道上比較不多，可是離赤道向北或向南就漸多起來，從南緯或北緯十五度起，到二十度是黑子最多出現的地方，再遠又漸減少，三十度外便幾乎看不見了。這區域如第十四圖所示，其中最黑的部分便是黑子最多的區域。如果我們以一白色球代表太陽，每一黑子觀察到了便在相當地方加一黑點，若干年後便要成爲第十四圖中的形狀了。

還有一些羣無數的較光球更亮的小點也往往可在太陽上看見，在黑子附近更多，這便是『光斑』(faculae)。

太陽黑子表示太陽上起了極大的風暴。它們很像我們地上的颶風，只是更大了不知多少倍罷了。極熱的氣體在太陽旋渦中向上飛騰。到了光球以後，那兒的壓力比下面要小得多，這些氣體便噴發出來，流出了表面。這樣膨脹的結果它們便冷了下去也因此減弱了光輝。這便是太陽黑子。



第一四圖 太陽黑子的緯度分佈

其中菌狀旋渦的平頂也還是極熱極亮的。看起來黑暗只是因為跟周圍未被擾亂的太陽表面相對照的原故。

地上的颶風由於地球的自轉結果，在北半球逆着時鐘方向旋轉，在南半球卻順着，太陽黑子也正和這一樣，在太陽赤道北的跟赤道南的領頭的黑子的旋轉方向恰恰相反。這兒又顯示了太陽的自轉。但是太陽上的風暴情形卻更加複雜。隨從的黑子常看來跟領頭的黑子旋轉方向相反，而其他黑子卻又或依此或遵彼。還有一種可驚的情形，便是每在最少期後太陽上旋渦的方向便恰好反過來。

太陽黑子上的氣體又為旋渦中心壓力較低的地方所吸收。下降時也還是旋轉着的。這種情形在詹「太陽分光攝影儀」 (spectroheliograph) 所攝的照片中可以看得很清楚。那是一種特殊的儀器，我們現有的許多關於太陽現象的知識都賴之得來。

四十年前，美國的海爾 (Hale) 和法國的德朗德 (Deslauriers) 各不相謀的發明了太陽分光攝影儀。這是連接在遠鏡上的一部分，利用它可以在一種單純化學元素的光下給太陽攝影，例

如鈣光或氫光常用這種儀器給太陽作氫光攝影時，照片中便只攝得太陽上是氣的一部分——這種氣體的集團，『譜斑』(Flare)。它們在太陽黑子附近的分佈便顯出了黑子上的旋渦。利用這種儀器纔可以攝得太陽邊上的火焰狀的突出物，日珥，而不必等待日全蝕。由這太陽分光攝影儀所得的太陽現象現在可用『太陽分光儀』(spectrohelioscope)來直接觀測，這是海爾最近發明的，現正在全世界上許多地方的天文臺中應用着。

日珥與色球

太陽的另一個可注意的特色便是日珥，我們關於這些東西的知識有一段很有趣的歷史，等說到日蝕時就要談及的。日珥是從太陽各部分射出來的，極稀薄的灼熱的大團氣體。它們竟大得使地球投入其中只能如同一粒沙投進燭焰一樣。它們升起時的速度也非常可驚，有時竟是每秒鐘數百哩。它們也像光斑似的在黑子地帶更多，但並不限於那些地帶。由我們周圍的空氣的折光而生的太陽周圍的光焰使它們不但不能為平常視力所見，甚至用大遠鏡也不能見，除非碰到日

全蝕時，因為月球的干涉纔消失去那一層光焰。那時它們便遠肉眼也能看見，彷彿是從黑暗的月亮的邊上投射出來的深紅的火焰。

日珥有兩種：一是爆發日珥，一是寧靜日珥。第一種從太陽上昇起像極大的火浪；另一種卻似乎靜靜的懸在上面，像空中的浮雲一樣。我們不能確定是什麼東西支持着它們。但這大概是太陽光射線的一種推斥力。

光譜的分析告訴我們這些日珥是由氫、鈣以及其他氣體構成的。它們的紅色是由於氫。陸續不斷的研究又告訴我們日珥是與圍繞並停止在光球上薄氣層有關的。這層便叫做『色球』(chromosphere)，因為它有和日珥一樣的深紅色。也同日珥一樣，它的黯色是由於氫，但同時它裏面也還有鈣及其他元素。

太陽最外層的附屬品該注意的還有『日冕』。這是只在日全蝕時纔看得見的環繞太陽的柔軟的光輝，它從太陽展開的光線之長有時竟超過太陽直徑。它的確切性質尙待研究。在日蝕一章中我們還要說到它的。

太陽的組織

現在我們再總結一下我們所見所見的太陽有些什麼。

首先是那球體的廣大的內部，那是我們當然永遠見不到的。

我們望太陽時所見到的只是球體的發光的表面，那便是光球。這並不是真的表面，可是大半是一層幾百哩厚的氣體層，我們不能不把它當做表面。這氣層上有一些斑駁的黑子，而在其中或其上還有光斑。

在光球的頂上又有一層氣體叫做色球，這是用有力的分光儀在任何時都看得見的，可是直接看來卻非在日全蝕時不可。

從紅的色球噴發出同樣紅的火焰叫做日珥。

包圍全部的是日冕。

以上是我們所見的太陽。我們知不知道太陽究竟是什麼呢？首先，它究竟是固體呢，液體呢，氣

體呢？

看得見的表面的不是固體已由它的自轉的性質表明了。我們已知道它的表面上的各部分自轉週期是不相同的。而且，它的極高的溫度也不能讓它是固體或則液體的。許多年來大家都相信太陽內部也一定是大團氣體，但被各部分極大分量的壓力壓成液體一樣的密度了。

人人都會承認太陽一定是極熱的。它能在九千餘萬哩外造成仲夏那樣的熱天，本身當然要熱極了。這照適當的測算看來也是真的。我們所得太陽輻射的直接來源的光球已有攝氏六千度或華氏一萬度以上的溫度了。

不同的測太陽溫度的方法都得到相同的結果。這些方法是依仗公認的輻射體的溫度與輻射的量或質之間的關係的。譬如說，輻射與溫度的四之一的一力量成比例。這便是所謂斯忒藩定律 (Stefan's law)。這定律告訴我們如果一幅射體的溫度加倍，它的輻射量便增大十六倍。

用一平底盆盛五分之二吋深的冷水放在太陽直射的光下去。一分鐘後，溫度計便要紀出水的溫度約增高到華氏三度半了，如果其中沒有空氣的干涉又沒有水的熱量同時漏去的話。

因此，假如有一五分之二吋厚的冷水的圓球形的殼，半徑恰等於地球對太陽的距離，恰好將太陽圍在正中，在一分鐘後便要增加上述的溫度了。既然這一層殼將太陽完全包住，那麼我們已在一分鐘內捉住了太陽的全部輻射而測得其效果了。

由這種測算得出從太陽表面的每一平方碼中都不息的流出七萬馬力的能量來。再依據輻射定律我們又可由此推算出太陽的溫度來了。實際上我們不用水盆和普通溫度計，卻是用一種很精巧的儀器：『日光熱量計』(pyrheliometer)。用這種儀器的觀測已在斯密梭尼天體物理學天文臺(Smithsonian Astrophysical Observatory)的各分部做了許多年了。

因為我們不能看見光球以下的太陽內部，所以要得到一個關於太陽內部情形的明確概念便不容易了。我們很可假定愈深處的壓力與溫度也都愈高的。遠在一八七〇年美國的物理學家冷因(Linné)就已計算過太陽內部的溫度，他假定裏面各處都在一種平衡的情況中。每一點上的上層的重量都完全被下面熱氣體的膨脹力所支持。問題便是要算出內部要熱到什麼程度纔可以使太陽不致被自己的重量壓碎。

近年來，關於太陽及星辰內部的理論研究正爲英國的艾丁頓 (Eddington)，甄思 (Jeans)，密倫 (Milne) 諸人所熱烈研究。艾丁頓發現太陽中心的密度約爲水的五十倍，而溫度約爲攝氏三千萬至四千萬度。密倫的推算出來的中心密度與溫度較此數目更要大得多。這問題還未完全解決。

太陽的熱的來源

太陽從它表面上每一平方碼傾注出等於七萬馬力的能量。既知道太陽直徑是八十六萬四千哩，我們很易算出它的表面有若干平方碼了。這數目再用七萬一乘，也就可得出太陽不住散發出全部能量的以馬力表示的巨大數目了。當我們想到照地質學家和生物學家的說法，太陽已用與現在同樣的強度照耀過了若干萬萬年的時候，我們便遇上一個重要而且困難的問題了。

這種輻射能量的來源在什麼地方？當然它是直接由光球來的。可是一定還得有能量的新的供給不斷的到光球這面來纔能維持住不斷的輻射。那麼，這種使太陽得一天一天照耀過了若干

萬萬年的彷彿永不耗竭的內在供給的來源是什麼呢？

據能量不滅定律說能量不能從烏有中出來。它可以由這種形態變到那種形態，可是宇宙間能的全量是不能增加的。除非太陽從外面不斷的接收能量，它的儲藏一定要依我們上述的比率減少下去。我們很可假定這儲藏會有一天完全消盡，太陽會漸暗下去以至於完全無光。可是太陽一百年又一百年的照耀下去，看起來光輝絲毫未減。這怎麼可能呢？

我們不要想像太陽只是從一個原先更高的熱度漸漸冷卻下來。也不能把太陽發光只比成太陽內部的燃燒。這樣的情形都會不久便告結束的。而且，太陽的過度的熱也使它不能燃燒。還有一種想法，以為那些不斷的落到太陽裏去的大量的流星會增加它的能量儲藏，而適足補上輻射的所失，這卻又全不合乎事實。流星投入太陽的數目絕不夠維持那種能量的供給的。而且這種太陽表面的能量補充也跟內部很少影響；只有內部的高溫度纔必須維持下去使太陽不致於破碎。

七十多年以前，物理學家赫爾姆霍斯 (Helmholtz) 創出太陽熱的收縮學說，以後的許多年來都得很得科學家的信任。他證明太陽半徑每年收縮一百四十呎便足夠產生一年中由輻射而失

去的熱了。依這學說太陽從前是更巨大更稀薄的。這種見解正好跟赫爾姆霍斯時代流行的拉伯拉斯 (Laplace) 的假說相合，那種假說正是說太陽與太陽系都是由原先稀薄的氣團收縮成現狀的。依收縮說，將來太陽會緊密得不能再快快收縮以適應由輻射而來的熱的損失。幾百萬年以後，它將冷得不能再維持地球上的生命。

這種收縮學說畫出了一幅黯淡的遠景，它顯示了生物世界的末日只在很短的時期以後——至少照天文學尺度說來是很短的。但在近年來這收縮說跟拉伯拉斯假說一同遇到了反駁。不論從多麼大的體積收縮到現在這樣大，太陽照現在這樣發光率，只要兩千萬年多一點便够得到充分的熱量了。但它卻一定依這率照得比這時期更長得多的。於是收縮說便不能解釋太陽在過去輻射的維持了。它的對將來的預言因此我們也便沒有多大的信任。而且事實上太陽的逐漸收縮又絕無確切的證明。

隨着放射現象的發現，天文家便問到太陽的長期不斷的輻射是否由其內部的鐳及其他元素的破碎而維持。相當的計算不久便給了一個否定的答覆。可是還有一點出路，只要我們假想太

陽包含了較地球上最重元素鈾，更要複雜的放射元素。可是必須附帶聲明一句：關於這種超放射的元素我們還毫無所知。

這問題的正確答案的探索還在繼續下去。這也是今日物理學的基本問題之一。不用說這問題不僅是在太陽而且與一切恆星有關的。現在有人提出意見說太陽輻射的來源存在於原子之中——說太陽質量的大部都可以轉化，事實上也在不斷的轉化成能量以維持太陽發光。如果這是我們所尋覓的真正的來源，那麼太陽一定要以可驚的速率損失它的質量，而每四分鐘後太陽的質量便要減少十萬萬噸了。

第三章 地球

我們所居住的這球體既是行星之一，那麼即使它沒有別的值得我們注意的地方也該在天體間佔一位置要我們敘述了。雖然它跟宇宙間大天體比起來，或甚至跟我們太陽系的四大行星比起來，它只是眇不足道的一員，可是在它自己的系統中卻還是最大的一個。至於它是人類住處的一點我們更不用說了。

地球是什麼？我們可以先下一個廣泛的定義，說它是一個物質的球體，約有八千哩的直徑，由於其各部分的互相吸引而團成一起。我們都知道它並非嚴格的球形，它的赤道部分較鼓起來一些。因為它表面的不平，於是決定它的準確的大小與形狀也就更困難了。此外，大洋上的距離以及兩極圈中的區域的測量又都是很難精確的。因此要決定它的大小與形狀就非由測量諸大陸的邊界跟內部做起不可。這種工作既非常重要，重要的國家也便陸續加入合作了。美國海岸及大

地測量所 (Theodolite Station) 已完成了大西洋太平洋之間的三角形的一邊的測量。大西洋與太平洋兩邊的南北海岸的測量也做過了。英國人又同樣測量了非洲，而俄國人和德國人各擔任自己的地域。

最近的關於地球形狀及大小的結論可概括如下。但我們要先說明大地測量學家所謂『地球形狀』(figure of the earth) 並非指大陸的形狀，卻是說如果有些運河將海洋的水輸入大陸中分佈以後的海洋水平。這樣的地球是近似橢圓體，其較短的直徑是通過兩極的軸，大小如下：

極直徑 7,900.0 哩

赤道直徑 7,926.7 哩

我們由此可以看出赤道直徑比極直徑大 26.7 哩了。

地球的內部

我們由直接觀察所知的地球差不多完全限於它的表面。人類在上面挖穿的最深處跟全球

大小比起來不過像蘋果皮之於蘋果一樣。

我先要請讀者注意一下地球上的重量、壓力、重力等事實。我們且試研究一塊一立方呎的泥土，這是地球外層表面的一部分。這一立方呎的加在自己底下的重量也許是一百五十磅。下面一立方呎也有同樣重量，因此加在自己底下的重量便是自身重量加上面一立方呎的重量了。這種壓力的增加一直隨着我們的深入。地球內部的每一平方呎都支持着一直到表面的一平方呎的柱形的壓力。表面下不到若干碼的地方這種壓力已以噸計了；一哩深的地方大概是三十噸或四十噸；一百哩的地方是幾千噸了；這樣一直繼續到中心。在這種不可思議的壓力之下，地球中部的物質便遭了高度的壓縮。那兒的質料也更沈重。地球的平均密度是認為等於水的五倍半，但其表面密度卻只有水的二倍或三倍。

關於地球的確知事實之一便是在表面以下的礦坑中，愈深處溫度愈高。增加的比率依地域與緯度而各處不同。平均增加率是每下降五六十呎增高華氏一度。

這種溫度的增加到地球中心時將怎樣呢？回答這問題我們可以說不能僅據表面的情形，因

爲外部會已經在很久以前使冷卻了的，所以我們不能在下降時得到很大的溫度增加。從地球存在以來熱量都被保持着這一點事實表示出到中心一定要更強烈的，而近表面的溫度增加的比率也一定要繼續下去若干哩直到內部的。

依這增加率算來，地球的十哩或十五哩深的地方的質料一定是灼熱的，而一百哩二百哩以下的熱度也一定足以熔化所有構成地殼的質料了。這件事實使早期的地質學家認爲我們的地球是一鎔化了的大塊，正如一大塊鎔化了的鐵，上面蒙了一層幾哩厚的冷殼，在這殼上我們居住着。火山的存在以及地震的發生都似乎增加了這種見解的可靠性。

但在近年來天文家與物理學家收集了一些證據（這些都是儘可能可靠的，）證明地球從中心到表面都是固體，甚至比同樣大的一塊鋼還要堅硬。這學說是由開爾文爵士(Lord Kelvin)第一個充分發展了的。他表明如果地球是被一層殼包着的液體，月亮的作用便不是吸起海洋的潮汐而只要將全地球在向月的方向拉起來，卻不改變殼與水之間的相關位置。

同樣可靠的是那奇特的現象，地球表面的緯度變移，這在下面我們就要敘到。不僅是一個內

部柔軟的球體不能像地球這樣旋轉，便是不比鋼更堅硬的球體也不能。

那麼我們如何能調和這固體性質與那不可思議的高溫度呢？看來只有一個可能的解決。地球內部的物質因那絕大的壓力而保持其為固體。據實驗證明：一片岩石到了鎔點以後再加以重壓，壓力的結果使它又還原為固體。因此，我們增加了溫度只要同時增加壓力便可以使地球質料保持固體了。照這樣，我們深入地球時，壓力的增大總超過溫度的增高，於是便維持了全體的凝固。

地球的重力與密度

與地球有關的另一有趣問題便是它的密度，或說比重。我們都知道一塊鉛比同樣大的一塊鐵重，而一塊鐵又比同樣大的一塊木頭重。是不是有方法決定地球廣大內部的深處一立方呎有多重呢？如果有方法，我們便能決定全地球的實在重量了。這問題的解決要依賴物質的引力。

任何小孩從會走路時起就很熟悉於萬有引力的效應了，可是最深的哲學家也不明白它的起因。依照牛頓的萬有引力的學說，將所有地面上的東西引向中心去的力量並不僅存在於地球

的中心，卻由於構成地球的一切物質質點的共同努力。牛頓還把他的學說更推進一步，說宇宙間一切物質質點都吸引着其他的質點，而這力量是依距離增加的平方而減少的。這就是說，距離加一倍，力量便要四來除；遠三倍被九除；遠四倍被十六除；依此類推。

承認了這一點，那麼我們四周的物體都有自己的引力了，於是又有問題：我們能不能實驗這力量並測出它的大小呢？數學理論說明同等比重的球體吸引其表面小物體的力量與其直徑成比例。一個直徑二呎密度跟地球一樣的球體的引力有地球重力的兩千萬分之一。

物理學家成功了一種實驗，測出了鉛以及其他資料的直徑一呎左右的球體的引力。這種測量是異常之精巧而困難的，幾年以前其準確性還似乎不可信。所用的工具在原則上是極簡單的。一根極輕的棒由繫在中央的一條最細最軟的線而水平的懸在空中。棒的兩端各有一小球以維持其平衡。要測驗的便是鉛球在這兩球上所加的吸引。鉛球（不止一個）放的位置恰好集聚力量，夠使棒在水平面上起一點輕微的扭曲運動。要想知道這種情形的困難，我們必須記得那吸引力量還不見得會有兩小球重量的千萬分之一的。要找出一件重量不超過這力量的東西確是非

常困難的。不僅是一隻蚊子的重量，便連蚊子的一肢也要超過那測出的力量的。假如把蚊子放在顯微鏡下，由一專家施行手術從它的觸鬚上切下一部分來，這大概可等於那測出的力量了。

赫爾(Hell)在美國度量衡標準局所決定的萬有引力常數是最近的。這種測量的結果，使我們知道地球的平均密度是較水的五倍半略多一點。這比鐵的密度較小一點，可是比平常石頭的密度卻大得多了。因為構成地球外殼的材料平均密度僅是這數量的一半，所以地球中心的物質一定壓緊得不僅比鐵的密度大得多，簡直要超過鉛了。

緯度的變移

我們知道地球在通過其中心在兩極與表面相交的一根軸上旋轉。我們且想像自己正站在極的中心在地上豎一根棒，我們那時便會被地球帶着每二十四小時繞棒旋轉一周了。我們要感覺這種運動的，因為我們會看到太陽星辰都由於周日運動而向反對方向作水平的運行。可是我們又有一樁偉大的發現便是緯度的變移：旋轉的地軸與地球表面而相交之點並不固定，卻順着

道在直徑約六十呎的圓圈中的多少可變而不規則的曲線移動。這就是說，如果我們站在北極上天天觀察極的位置，我們會看到它每天移動一吋二吋或三吋，繞着一中心點轉，它有時離這點近，有時遠。它照這樣不大規則的路線下去，約需十四月繞成一圓圈。

這是怎麼知道的？[?] 回答便是：我們利用天文觀測可以在任何夜間測定我們當地鉛垂線與當日地球自轉軸所成的準確角度。一九〇〇年國際大地測量學會 (International Geodetic Association) 在地球四面設了四五分處來作這種觀測。一處在蓋塞斯堡 (Nuthensburg)，另一處在太平洋岸，第三處在日本，第四處在意大利。在這以前，同目的的觀測已在歐美許多地方做過了。

上述的這種變移最先是在一八八八年由德國的居士特耐爾 (Künner) 所發現，他是從許多多並非爲這特殊的目的而做的天文觀測中得來的。從此以後，這方面的考察便一直繼續下來，想劃定上述的變移曲線。直到現在所知道的只是這種變移有些年大有些年小。結果看來在七年之中定有一年極會在一比較大的圈子上劃過一大部分，而三四年後它又會在數月中幾乎不離中心。

假使地球是液體的，或則甚至於是由一種可彎曲性與極堅的鋼相等的物質構成的，這樣的軸的變移便不會發生了。因此我們的地球就一定是一般的平均說來，比鋼還要更堅硬了。

大氣

從天文學方面說來和從物理學方面說來一樣，大氣都是地球的一件最重要的附屬品。雖然它對我們的生活有那麼必要，它卻給了天文家一個非對付不可的最大的障礙。它多少要吸收去一些從中經過的光，因此輕輕改變了我們所見的天體的眞色，而且使它們在極清朗的夜間天空上也不免較原來黯淡。它還要屈折從中經過的光，使它行一道略曲的路線（這線對地球而言是凹的），卻不一直射入天文家的眼裏。結果又使星辰都看起來離地平線比實際位置高了。從天頂直射下來的星光是不受屈折的。離天頂愈遠折光愈甚，但是即使離天頂四十五度時，折光之差也只有一弧分，還要比肉眼能見的最小量要小的；不過在天文家看來已是大量了。物體愈近地平其折光率愈增大；離地平二十八度時已比四十五度時增大一倍；在地平線上天體由折光而起的眼

見的提高已在半度以上，這已比太陽月亮的全直徑還要大了。結果便是當我們在日出日沒時看到太陽恰觸地平而實際的太陽還在地平線下。我們看得見它只是因為折光的原故。地平附近折光率增大的另一結果便是太陽在那兒看起來要扁些，它的垂直的直徑好像比水平的直徑要短。任何人都可看到這種情形，只要有機會見到海洋上的落日。這便是因為太陽的下半部較上半部受到的折光更大。

當太陽在熱帶的晴朗的空氣中沈下海洋去時，有一種美麗的景致可以看見，這卻是在我們緯度上較濃厚的空氣中所很難見到甚至萬難見到的。這又是出於大氣對各色光線的不同等的折光。大氣也像一片三稜鏡一樣對於紅色光線折光最少而對其他光線便依光譜順序，黃、綠、藍、紫，而逐漸折得利害。落日的藍光紫光在達到我們眼中以前已被大氣大大的散射了。結果，當太陽的邊在海洋面上消失的時候，這一連串光線也依同樣的順序逐漸消失去。太陽逝去前的兩三秒鐘，它的殘留可見的邊緣的閃光很迅速的變更顏色而且愈過愈黯。我們最後見到的便是瞬目即逝的綠色的一閃光。

第四章 月

各種不同的測量都一致把月亮的離地球平均距離認為約二四〇、〇〇〇哩弱。得到這距離的方法是直接測量視差（這在以後我們要說的），還有一種是計算月亮爲了在投射到空間中去後還能繞地球兜現今的圈子應該離地球多遠。這軌道是橢圓的，因此它的實際距離常常不同。有時它較平均距離少一萬哩或萬五千哩，有時卻又多出這個數目。

月球的直徑是比地球直徑的四分之一略大一點；準確些說是二、一六〇哩。最細心的測量也未發現它不成球形，只不過它表面是不規則的罷了。

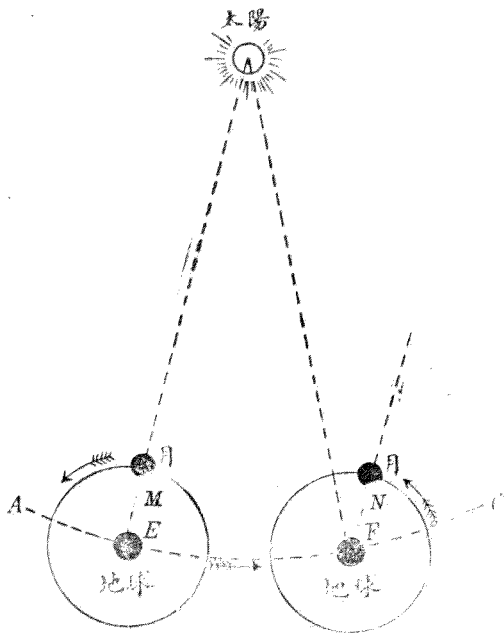
月的公轉與位相

月亮陪着地球作繞日的運行。這兩種運動的合一有的人看來要覺得稍爲複雜了，其實並不

難明白。試想有一把椅子放在急行火車中，有一人離椅三尺繞着椅轉。他可以不論轉多少次也不變距離，更與火車的運動毫無牽涉。就像這樣，地球在自己軌道中向前運行，月亮繼續繞着它轉，而對地的距離並無多大變動。

月繞地球一週實際所需的時期是二十七日又八小時；但從一新月（朔）到另一新月其間卻是二十九日又十三小時。這種不同是因為地球繞日運動；或則說（實則意思一樣）因為太陽

順着黃道的視運動。要表明這一點，且劃A-C弧作為地球繞日軌道的一段。假定某一時候地球在



第一五圖 月繞地球的公轉

E點，月在M點正處於地球太陽之間。二十七日又八小時之後，地球已由E點移到F點。當地球這樣運行的時候，月也依自己軌道順箭頭方向前進，這時恰到N點。這時EM線與FN線是平行的，因此月實際已完成它的公轉一週，看來又回到和上次一樣的位置了。可是太陽此時在FS方向上。因此月要再到太陽地球之間的位置上就必須再運動一些時不可。這又需要兩天多一點的時光，於是使兩新月之間的時間成了二十九天半了。

月的不同的位相 (Phase) 是隨它對太陽的位置而定的。因為它是黑暗物體自己不能發光，我們只在太陽照到它的時候纔看見它。它在太陽跟我們之間的時候，它的黑暗的一半對着我們，就完全不能被看見。平常曆書中稱這時為『新月 (朔)』。但我們平常在這時的後兩日內還不能看見月亮，因為它還在黃昏的暮靄中。在第二天或第三天我們纔看到這照明了的球形的一小部份，形狀正是我們所熟悉的一彎蛾眉。這蛾眉月有時也叫做新月，雖則曆書中的新月期要早幾天。

在這位置上，在又過了幾天後，我們就可見到月的全面了，黑暗部分發着微弱的光，這是從地

球上反射去的光，假如有人在月上居住，他那時會看見在他的天空上地球像一輪將圓的滿月，雖然實際上要比我們所見的月大。月在它軌道中一天天前進，這種地光便一天天減少，約在上弦時地光沒有了，一方面因為月上有光部分的光加強，另一方面也因為地球的光減弱了，下弦時亦復如此。

在曆書中的新月（朔）後約七八天，月便到了上弦期。我們便可看到照明部分的一半。以後的一星期內，月被叫做『凸月』（gibbous phase）。在第二星期末尾（望）月正與太陽相對，我們便見到月的全面如一圓盤。我們叫做滿月。以後的時候，月的位相反轉來還原，這是人人知道的。

我們許會認為這些事情都太平常不值得敘述，可是在『古舟子歌』（The Ancient Mariner，英國詩人 Coleridge 的名作）中竟描寫了一顆星在蛾眉月的兩尖之間，好像那兒沒有黑暗物體一樣。大概有過不止一個詩人描寫新月出現於東天而傍晚的一輪滿月卻赫然照耀於西天吧。

月的表面

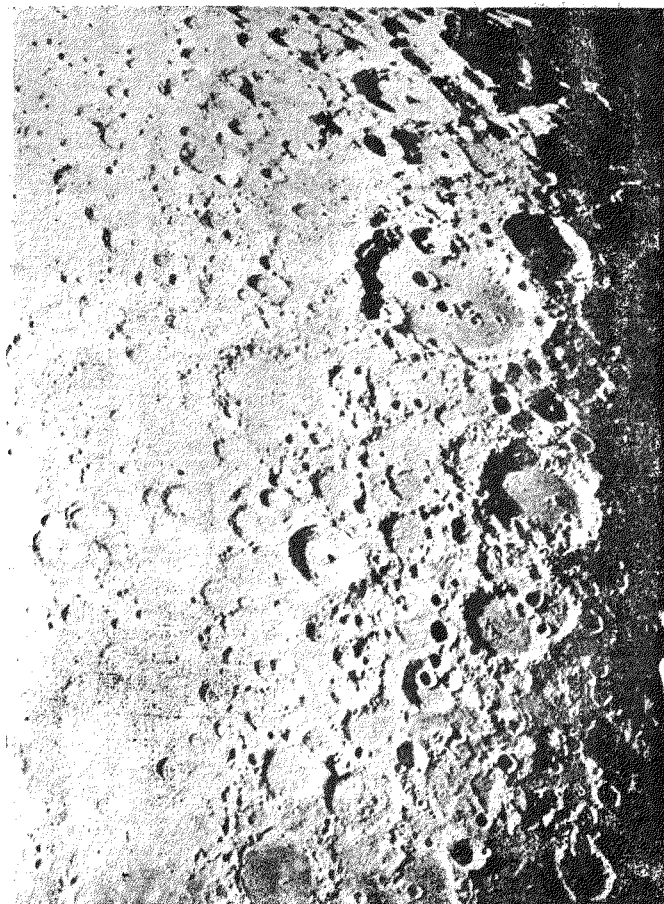
我們用肉眼也可看出月亮表面上有着不同的明暗地域。暗的地方常被人看得彷彿像一個人的面孔，尤其是鼻子與眼睛更加顯然。這便是所謂『月中人』了。便是用最小的遠鏡我們也可看出月面上有繁複的形勢的；遠鏡愈有力，我們所見也愈細微。我們在遠鏡中所見的第一樣觸目的東西將是那些隆起物，或照平常說法是那些山。這些最好在上下弦時看，那時從日出或日沒這一邊照出的長影使那些不整齊處更加清楚。滿月時倒不易看清，因為太陽光幾乎是直射在上面而一切都照明了。雖然平常把這些高低地方叫做山，它們大半卻跟地上的普通的山形狀不同。它們跟地上的大火山的噴火口倒更相似些。很通常的形狀是一座圓形碉堡，直徑常有若干哩，周圍的牆也有數千呎高，而中間卻相當平坦。在許多這樣的月上寰形山中，有一個或更多的山峯從中間平地上直拔起來。在上弦月中我們可看出這些圍牆以及中央的山峯的影子投在內部平地上。遠鏡能力愈大，看見的愈詳細。這些究竟由何構成，還不能指出；它們也許是堅硬的岩石，也許是大

堆的鬆軟石塊。因為我們即使使用最強遠鏡也只能看出月上直徑百呎以上的東西，所以我們不能說月面較小部分的木質究竟是什麼。

早期的用遠鏡的觀測者假定月中黑暗部分是海而明亮部分是大陸。這種想法是因為黑暗部分看來比別處平坦。這些假定的海洋於是都有了名稱，例如 *Mare Imbrium* 陰雨海；*Mare Serenitatis* 晴朗海。這些名稱雖皆出於幻想，卻直到現在還保留着叫月上的黑暗部分。遠鏡的稍進一步的改良便證明認這些暗區為海洋的想法全是空幻不實的了。這些形狀的不同只是由於月面物影的明暗而已。

月中最可注意的景物之一便是從某些點上放射出的一些明亮的光線。很低能的遠鏡也可看出其中最顯明的來。在月球南極附近，第谷 (*Tycho*) 寰形山旁，便是許多很美的光線散發的中心點。看來好像月亮被敲破了而破隙都充滿了熔化的白色的物質。不管我們接受與否這種意見，我們審察月面時總不能不相信當年月上是大火山的施威場所，而今卻都烟銷火滅了。

常有人問月上有無空氣或水。科學的答覆是否定的。當然這並不是說我們的衛星上絕無一



第一六圖 多山的月面（葉狀士天文學攝）

片陰溼的地方和一點大氣的微跡；我們能說的只是即使月也有大氣包圍，那大氣卻稀少得使我們簡直無從得知其存在的。假若月上大氣能有地上大氣密度的百分之一，我們也一定可知它的存在，因為星光從月面掠過時一定會遭到折光的。可是我們一點也沒有見到這種折光的跡象。假若月上有水，便一定會藏在凹缺處或在穴內流着。假若在赤道區有這樣一片水，便一定會每天反射太陽的光，因而很明顯的被我們看見。水也一定會在月上的長而熱的白晝中蒸發，如量不在小，也定會造成可見的大氣的。

以上種種似乎都想來答覆另一問題；便是月上能否居人的問題。在地球上所有的這種生命是一定要空氣和水來維持的。

月上完全沒有水和空氣的事實造成了一種我們在地球上經歷不到的情形。我們可以確說的只是月面上毫無變化。地面上的一塊石頭永遠遭受氣候的折磨，年復一年遂由風和水將它解散沖去。可是月面上並無氣候變異，一塊石頭躺在上面可以經過不知若下千萬年還遇不到一點擾害。月面當太陽照着時異常之熱，而日沒之後又變成極度的冷了。除了這種溫度的變化以及流

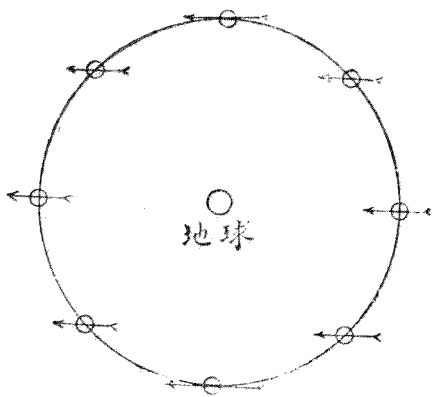
屢的撞落而外，整個月面從我們所見說來是絕對平靜無事的。一個沒有氣候沒有任何事件發生的世界——這便是月亮。

月的自轉

月繞軸自轉這事是許多問題的題目，因此我們要解釋一下。人人知道月亮永把同一面對着我們，這便是說它的自轉週期跟它的繞地球公轉週期是一致的。也許有人假定它根本不旋轉的。這混亂是因爲關於運動的概念不同。在物理學中我們說一件東西不旋轉是用一根直線通過其中任何地方（除了順着旋轉的軸）永不改變方向。我們且假想有這樣一根線通過月球；那麼，如月不自轉，這根線便永不改方向。隨便月在繞地球軌道中的那一點上，正如第十七圖所示。稍把這幅圖研究一下便可知：除非月也自己旋轉我們便一定會看到它全表面的各部分的。

月如何引起潮汐

住在海邊的人都特別熟悉於海潮的漲落這是平均說來每天約遲三刻鐘與月的周日視動相符合的。這便是說，如果今天月在天空某處時海潮漲起，以後月又到那一處時一定又會有高潮，天天如此，月月年年亦復如此。我們知道月用它加在海洋上的引力造成這種潮汐。我們很容易明白月在任何地方上面天空中便會引起當地的水；難懂的只是一天有兩次潮，潮不僅在對着月的這邊有，連地球那邊反對着月的地方也有。關於這一點的答覆便是月實際上把地球也連水一起吸引的。如果它將地球上任何部分（海洋在內）都同等吸引，那便不會有潮汐，而地面上並無變化，同沒有月的吸引一樣了。可是引力正等於距離的平方反比，月加在距離較近的地球上的區域及海洋的引力便較大，而對最遠的部分的引力也就低於其平均數量了。

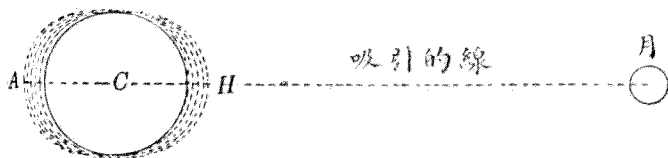


第一七圖 假如月不自轉時月的運動

要表示這種變化情形，且設 A、C、H 爲地球上被月吸引的三點；因爲月吸引 C 較甚於 A，它便將 C 從 A 拉開，增加 C、A 間距離。同時吸引 H 又甚於 C，又照樣增加 H、C 間的距離。假若全地球都是液體，這種吸引便只把全球改成橢圓形，使長直徑的這一面對着月。可是地球既是固體，便不能拉長改變形狀。然而海洋卻是液體，便遭受這種改變了。結果，在海洋拉成橢圓形的這兩端便有高潮而中間區域便是低潮了。

對於這種情形的完善的解釋必需引出一些運動規律來，此地卻不能這樣做。但我還要補充一句：假如月加在地球上的吸引永在同一方向，幾天之後，兩者便要聚在一起了。可是因爲月繞地轉，這吸引的方向便永遠改變，所以一月的時期也只將地球拉離其平均位置約三千哩。

也許又有人假定，月既如此吸引潮汐，那麼我們永遠當月在子午圈上時有高潮而月在地平線上時有低潮了。事實並不如此，原因有二。首先，月要



第一八圖 月如何每日引起潮汐二次

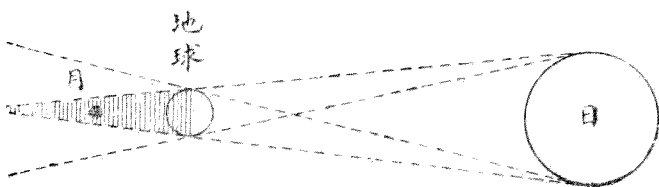
把水吸引成橢圓狀是需要一些時間的，而當它已使水起必要的運動變成這形狀時，這運動在月離子午圈後還要繼續下去，正像一塊石子離開手後還向上衝去而波浪也被水的動力推往前進一樣。另一原因是大陸的隔斷。海潮遇上大陸便依大陸情形而改方向，但由這一點轉向另一點又需要長時間。因此我們比較各地潮汐時便要發現其並不規則了。

太陽也同月一樣要吸引起潮汐，但較小。當新月與滿月時，這兩位在一條線上合力吸引，因此有最高潮和最低潮。這些是所有海濱的人都熟悉的，他們叫做『大潮』(Spring Tides)。在正弦下弦時，太陽的吸引對着月亮的吸引，因此潮既不漲得極高也不落得極低，這便叫做『小潮』(Neap Tides)。

第五章 月蝕

月蝕是月入了地球的陰影中。日蝕是因為月在太陽與我們之間經過。我們以下便要說明這些現象中最有趣的幾方面以及其發生的規律。

為什麼不是每次滿月都有月蝕呢？地球的陰影當永在反背太陽的一面；可是滿月之月卻有時在陰影上，有時在陰影下經過，因此不會被蝕。這是因為月的軌道對黃道平面約有五度的小傾斜，地球卻正在黃道平面上運行，而其陰影中心也正投在那兒。再回到我們從前的假想，把黃道在天球上畫出來，再進一步假定把月在星間運行的視途徑也畫出來。我們那時就會發現月的軌道與太陽軌道在相對的兩點相交，其交角只有五度。這兩點叫做「交點」(nodes)。在一交點上月由下面或說黃道南移到黃道北。這一



第一九圖 月在地球暗影中

點叫做「升交點」(Ascending node)。在另一點上月由北而南，這一點叫做「降交點」(Descending node)。這些交點用了升降字樣是因為在我們北緯度上看來，黃道赤道以北是在其南方之上的原故。

在兩交點之間的兩點上，月的中心約在黃道平面上有它離我們的十二分之一，就是說約二萬哩。因為太陽比地球大，地球的陰影便逐漸成圓錐狀尖削下去。在月距離那麼遠的地方，陰影的直徑約有地球的四分之三，就是說約六千哩。又因為陰影中心是在黃道平面上，在月距離那麼遠的地方，陰影便只能在平面上上下各遮掩三千哩。所以月只有在到了兩交點附近時纔能通過陰影。

蝕季

連接太陽月亮的這根線當然要隨着地球繞太陽而繞圓的。因此它在一年之內要經過月的交點二次。這就是說，如果我們假定月的兩交點畫在天上，升交點在一點上，降交點在另一點上，那時太陽在循黃道而東行的運動在我們看來便要在一年之內經過這兩交點的。太陽經過此一交

點時，地球的陰影便似乎經過彼一交點。日蝕或月蝕一年約只能發生兩次（隔六月一次）。這種『蝕季』（eclipse seasons）約長一月；這就是說，從太陽離交點近得足以發生蝕起算到離得太遠不能發生蝕止，約有一個月。一九三〇年的蝕季是四月和十月。

假如月的交點在黃道上的位置是固定的，蝕便只能在這兩月之內或附近發生了。可是，因為太陽加在地球和月亮上的吸引，交點位置不斷的逆着地月的運動方向變動。每一交點約在十八年七個月內繞大球西向旋轉一周。也在同樣週期中蝕季倒回經過一年。平均說來，每年約較上一年提早十九日。

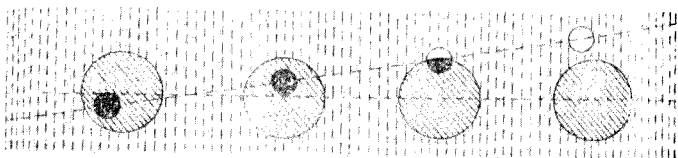
月蝕的景象

如果我們在一次月蝕開始時便守候月亮，我們會看到它的東邊沿漸漸黯起來終至完全消失。月一面向前進，月面進陰影而黑暗的部分一面加大。可是如果我們非常細心的注視着，我們會看到在陰影中沒着的部分並未完全消失，卻用一種極黯弱的光照着。如果全盤月亮都進了陰影

中，這便是全蝕；如只有一部分入了陰影中，這便是偏蝕。全蝕時，那幾乎永在照着蝕去的月面的光，便更可清楚看見，因為這時不被未蝕部分的閃光所淹沒了。這種黯紅色的光是由地球大氣的折光而起的（這種折光已見第三章）。那些剛擦過地球邊的或在離地球表面不遠的地方經過的太陽光線，都被折光投在陰影中，於是又投射在月上。這光的紅色也和落日的紅色是同一原因，便是大氣吸收去綠色藍色光線，卻讓紅色光線透過。

月蝕每年要有二三次；其中至少有一次幾乎永遠是全蝕。但是當然這也只有任地球上那時正在月光下的半球上可以看見的。

月蝕時月上的觀測者可看見地球造成的日蝕。我們所描寫過的這種現象在他看來是非常明白的。地球的眼見大小當然比我們所見的月亮大。其直徑會比太陽還大出三四倍之間。起初這大物體接近太陽是他



第二〇圖 月從地球暗影中經過

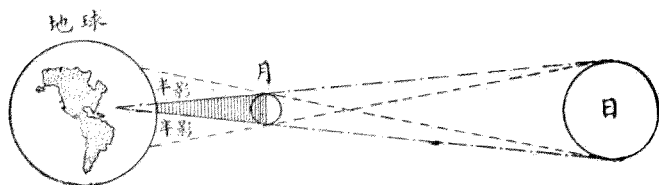
看不見的。那觀測者所見到的只是太陽光被看不見的前進的地球切去。當地球差不多全部遮住太陽時，他便可以看出全輪廓來，因為周圍有一圈由地球大氣折光而生的紅光。最後當真太陽光完全消失時，便只能看見一個明亮的紅光環圍住一個黑暗的，否則便看不出來的，地球。

月蝕的情形跟日蝕的情形大不相同（下章我們要講日蝕）。月蝕可以在同時被地上月光下的全半球看見。當月升起時便已蝕去的情形下有一奇特的現象。我們會看到蝕去的月在東邊地平上而太陽也還在西邊地平上可以看見。這看起來似乎矛盾的現象是因為實際上其中之一是在地平線下，可是經過折光竟提高得使我們也看得見了。

第六章 日蝕

假如月亮恰在黃道平面上運行，它便要在每次新月時從太陽面上經過了。可是因為它軌道的偏斜（見前章），便只有在太陽方向正接近月的交點之一時纔能發生這樣的事了。那時我們如在地球上恰好的地方，便可看到日蝕。

假定月亮從太陽面上經過。第一個問題便是它能不能遮住太陽的全面。這不單要看它倆的真實大小還要看眼見大小的。我們知道太陽直徑約比月亮大四百倍。但它也比月亮恰遠了四百倍。這樣造成了一件有趣的結果：在我們眼中看來，它倆差不多同樣大了。有時月亮彷彿大些，又有時彷彿小些。在前一情形下，月可以完全掩日；在後一情形下，便辦不到了。

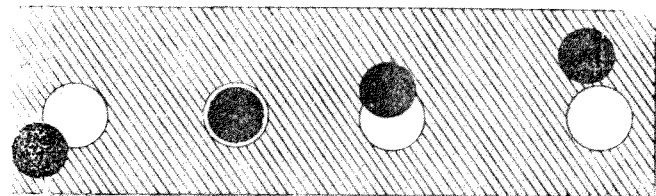


第二一圖 日全蝕時地球上的月影

月蝕與日蝕之間的最大差異是：月蝕在任何看得見的地方情形都一樣，而日蝕的情形卻要看觀測者的位置。最有趣味的日蝕是月中心恰掩日中心。這叫做『中心蝕』(central eclipse)。要看這種蝕，觀測者必須在連貫日月中心直線所達的地方。那時若月的眼見大小比太陽的大，便會全部掩去太陽。這蝕便是『全蝕』(total eclipse)。

若太陽那時看來大些，在中心蝕時便有一圈太陽光環圍住中間的月亮。因此這種蝕叫做『環蝕』(annular eclipse)。

連接兩中心的直線從地球面上掠過，我們可以在地圖上劃出它的路徑來。這種表明日蝕的區域和路線的地圖是預先在航海曆書中印出來的。在中心線南北附近地方也可見到全蝕或環蝕，但決不能在一百哩以外。在這限外的觀測者只能見到偏蝕，這便是月掩去太陽一部分。在更遠的區域便根本見不到日蝕了。



第二二圖 日環蝕時月由日中心經過

全蝕的美觀

全蝕是大自然給人看的一件動人的美景。要充分鑑賞其美觀，最好是站在高地上能見到周圍很遠的地方，尤其是在月亮來的那一邊愈看得遠愈妙。第一件指示非常事件發生的信號並不在地上或空氣中，卻在太陽圓面上。在預報的一定時刻，在太陽西部的邊緣上便有了一個小小的缺口。它一分鐘一分鐘的增長，真彷彿漸漸蝕去可見的太陽。未開化民族看到這偉大光明的太陽會這樣縮小而幻想有天龍來吞它，自然也不是奇怪了。

過一些時候，也許在一小時以內，所見到的只有前進的月亮的不息的擴展。如果這時觀測者正站在一顆大樹旁邊，又有樹葉讓太陽光線從葉間小隙漏射到地上，還可見到一種有趣的情形。地上的漏出的太陽影像這時都會有缺口顯出偏蝕的太陽。不久，太陽變成新月一樣了，但這新月不但不長大卻反縮小。不過便是在這時候，眼睛還習慣於那消逝去的光輝，因此直到這新月變得非常狹小以前還可看出彷彿可見的暗影。如果觀測者有一架遠鏡和看太陽用的黑玻璃罩，他可

以有一極好的機會來看月上的山。殘留的太陽還保持其照常的柔和而一致的光輝。可是由月面造面的一邊的輪廓卻是參差不齊的。

當這一鉤新月將要消逝的時候，不息前進的月上的巉削的山峯便達到了太陽邊界，使太陽只剩下串碎片或光點從月面的凹處漏出來。這也只是一兩秒鐘的時光，於是完全消逝。

現在可以看到這場奇觀了。天空清明，太陽正在中天，天上卻看不見太陽。應該有太陽的地方只有極黑的月球彷彿高懸在空際。其周圍有一圈燦爛的光輝。這便是所謂『日冕』。我們在論太陽的一章中已經敘及。雖則用肉眼看來也非常明亮，但若用倍率低的遠鏡看來更饒興趣。甚至一副觀劇的雙眼鏡都可敷用。用大遠鏡只能見到日冕的一部分，因此這景象的最美的一部分便沒有了。一副普通的放大十倍或十二倍的小遠鏡，在這一方面說來，是比大遠鏡還要合用的。這樣的工具不但可助我們看日冕，還可使我們見到日珥——奇形怪狀的紅雲在各處起落，竟彷彿是從黑月上起來的。

古代日蝕

有一點值得注意：古人雖對日蝕這件事很爲熟習，智者還很了解其中的原因，甚至能推測出再來的週期，可是在古代歷史紀錄中卻很少關於這種現象的真實紀載。中國古史中有時常紀載某時某地發現日蝕，但並未詳細紀其特點。亞述學家（Azzyriologists）從古文件中考出一段日蝕紀載，說是紀元前七百六十二年六月十五日日蝕見於尼納瓦（Nineveh）。我們的天文年表也證明那時確有日全蝕，陰影經過尼納瓦之北約百哩。

也許最有名且最引起爭論的一次古代日蝕便是所謂泰勒士日蝕（Eclipse of Thales）。其主要歷史根據是赫洛多圖斯（Herodotus，古希臘史家）的紀事。據說當立加人（Lycians）與密加人（Miles）正在打仗的時候，白晝忽變爲黑夜。兩軍因此息戰而促成媾和。又說泰勒士（Thales，古希臘哲人）曾向希臘人預言過白晝將變爲黑夜，甚至連那一年都指出了。我們的天文年表中也證明紀元前五百八十五年確有一次日全蝕，時間也離那次戰爭最近，但我們現在知

道那陰影的路徑只有在日落後纔能到他們戰場上。關於這件事直到現在還有疑問。

蝕的預測

蝕的出現依一定律，這在古代已經知道。其根據是：日月都在約六千五百八十五日八小時或十八年又十一日的週期之後再回到離月之交點及近地點的位置上。這時期叫『沙羅週期』(Saros)。各種蝕都在其沙羅週期之尾再現。譬如說，一九〇〇年五月的蝕可以看做一八四六年一八六四年及一八八二年蝕的重演。可是一次蝕再現時，看得見的地上區域卻改變了，這是因為週期中多出的八小時。在這八小時中地球又繞軸自轉了三之一，太陽下的區域便因此而與前不同了。每次蝕的所在區域都較前移動環球三之一的路程，或說向西移經度一百二十度。只有在三次重演以後纔又回到差不多同地來。但同時月的運行線又有了變動，因此陰影會比以前移南或移北。

。有兩系日蝕是以全蝕期間長而值得注意的。一九二二年九月二十一日の日蝕屬於其中之一。

一。這要在一九四〇年十一月一日再現；南美洲可以見到。全蝕期間約六分鐘。

一九〇一年五月十一日的日蝕屬於另外更可注意的一系。在二十世紀的百年內的累次重演中，全蝕期間要一次次加長。在一九三七年，一九五五年，一九七三年全蝕時間要超過七分鐘。日全蝕期間最長限度是七分半鐘。

日冕

日全蝕時最美觀的景物便是日冕，這也只在日蝕時纔能見到。太陽周圍的這種珠光當全蝕成功時便突然出現，而在全蝕時間一過便同樣突然消隱。從照片中見到這種日冕有錯雜的組織，其形狀卻顯然依日中黑子數目的增減而變化。

約近乎太陽黑子最多期時，日冕在太陽各方的範圍都差不多大。這時可把它比做一朵天竺牡丹。從日盤外各方展開花瓣。其他特點便是黯弱的流光以及紅日珥之上的精製的拱門。

近乎太陽黑子最少期時，從兩極地方現出知穗向赤道屈曲。這使我們想起磁石附近的鐵屑

所演的花樣。可是關於近極流光之研究卻不曾證實我們認爲與太陽磁場有密切關係的第一印象。日冕狀貌還有一點值得注意：長的流光由赤道部分展開正如鳥之雙翼。

當做美景看，日冕一定要列在天界景象的最優等中。它給天文學的貢獻卻直到現在還令人失望。不錯，日冕在我們看來是非常稀罕的，而且便在那難得的機會中也只是曇花一現。可是過去四十年中所得的全蝕的精美照片已足供我們長期研究了。這種研究直到現在還只很微末的報酬了我們的日蝕觀測團（常要到很遠的地方去）所用去的時間、精力與金錢。日冕是否會給我們什麼重要的消息，這還屬於未知之列呢。

第四編 行星及其衛星

第一章 行星的軌道及其各種情形

行星繞其中央發光體而行的軌道嚴格說是橢圓形，或說是略扁的圓圈。但這扁的程度非常之小，若不測量，眼睛是看不出來的。太陽並不在橢圓中心，卻在其中之一焦點上，有時離中心遠得可以被眼睛立刻看出來。由這離開便量出了橢圓的偏心率，這卻比扁的程度要大。舉例說，水星的軌道偏心率就很大，其扁的程度卻只有五分之一；就是說，如果我們用五十代表其軌道的較長直徑，其較短直徑便是四十九。但太陽離這軌道中心照同比例說卻已是十了。

爲表明這一點，我們畫一幅較內層行星的軌道圖，並大致準確表示軌道的形狀與相對的位置。一瞥中就可看出這些軌道在有些點上比別處更接近的。

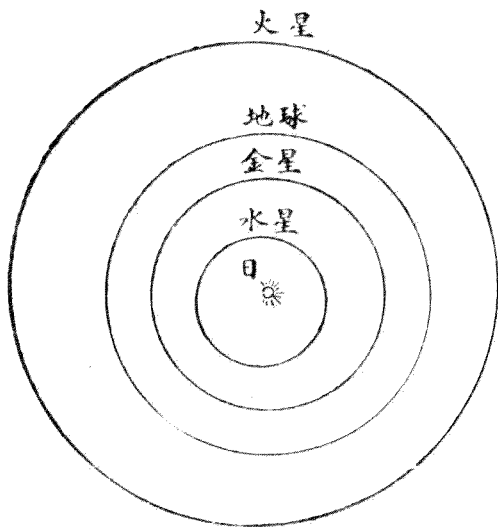
解釋行星的真實的與眼見的各種情形與運動便要應用一些專門術語，茲說明如下：

『內行星』(inferior planets)是指那些軌道在地球軌道之內的行星。這一類中只有水星和金星。

『外行星』(superior planets)是指那些軌道在地球軌道之外的行星。其中有火星、小行星、以及外層的五大行星。

當一行星在我們看來從太陽經過，因而彷彿與太陽相並而在同一方向時，這叫做與太陽相合。

『下合』(inferior conjunction)是指行星在太陽與我們之間的合。



第二三圖 四內層行星之軌道

『上合』(superior conjunction)是指行星在太陽那一邊的合。

稍爲一想就可明白外行星決不會有下合的事，但內行星卻既可下合又能上合。

當一行星在與太陽相反對的方向時，叫做『衝』(opposition)。那時行星在日沒時昇日出時落。當然一顆內行星是不會有衝的。

軌道的『近日點』(perihelion)是離太陽最近的一點；『遠日點』(aphelion)是離太陽最遠的一點。

當內行星(水星金星)繞太陽旋轉時，在我們看來好像由太陽這一邊到那一邊。它們對太陽的眼見距離無論何時都叫它們的『距角』(elongation)。

水星的最大距角通常有二十五度，有時多有時少，因爲這行星的軌道偏心率大。金星的最大距角幾乎是四十五度。

當這兩行星之一在太陽東時，我們在日落時看見它在西天；在西時，我們又在天明時見它在東天。因爲這兩顆星絕不能遠離太陽出我們上述界限，所以在黃昏的東天或黎明的西天出現的

行星絕不會是水星或金星。

沒有兩行星的軌道恰在一平面上。這就是說，我們如依一軌道水平望去，所有其他軌道都略有些傾斜。天文家爲方便起見以地球軌道平面（或黃道平面）作爲水平標準。既然每一軌道都以太陽爲中心點，便各有兩點在地球軌道水平面上。更準確些說，這便是其軌道與黃道平面相交的兩點。這叫做『交點』（nodes）。

一軌道由黃道平面傾側出去的角度叫做『交角』（inclination）。水星軌道交角最大，約有七度。金星軌道交角約三度又二十四分。外行星的都較小，約自天王星的四十六分到土星的二度三十分。冥王星卻是例外，其軌道交角有十七度。

行星的距離

把海王星（也許連冥王星一起）除外，行星的距離很密切的吻合一條所謂『波特定律』（Bode's Law）。定律的名稱便是首先指出這一點來的天文家的名字。定律的內容是取0 3 6 12

……等數，每過一數則增加一倍，然後向每數加1，於是我們便得到了行星的大致不差（除了海王星）

水星	$0 + 1 = 1$	實際距離	4
金星	$3 + 4 = 7$	實際距離	7
地球	$6 + 4 = 10$	實際距離	10
火星	$12 + 4 = 16$	實際距離	15
小行星	$24 + 4 = 28$	實際距離	20—40
木星	$48 + 4 = 52$	實際距離	52
土星	$96 + 4 = 100$	實際距離	95
天王星	$192 + 4 = 196$	實際距離	192
海王星	$384 + 4 = 388$	實際距離	301
冥王星	$768 + 4 = 772$	實際距離	396

在實際距離一項上我們看出天文家不用哩數或地上的尺度去表示天體間的距離。這有兩種理由。第一，哩太短了；用起它們來好像用吋量兩城間的距離一樣。其次，天上的距離不能用我們的必須準確的尺度來固定的；如果我們用地球對太陽的距離作單位，我們便可用這來很準確的決定行星間的距離了。因此要得到天文學中的行星距太陽遠近，就要把上面表中的最後一數用十除，或則加上一個十位的小數點。

在這表中我們也沒有用不必要的小數來分散讀者的注意力。實際上水星距離是0.387，其他亦如此；我們只把它算做0.4又乘以10，以便跟波特定律相比較。

刻白爾定律

行星的在軌道中的運動符合一種由刻白爾(Kepler)定下的規律，因此該律便叫『刻白爾定律』(Kepler's laws)。這定律的第一條我們已經說過，便是行星軌道是橢圓形，太陽在其一焦點上。

第二定律是行星離太陽愈近，運行愈快。用更近數學的較確切的話來說，凡在相等期間內由行星至太陽直線所經過畫出的面積必相等。

第三定律是行星距太陽平均距離之立方與其公轉週期之平方成正比。這條定律還得說明一下。假定有一行星距太陽比另一行星遠四倍。於是它繞太陽一圈要遠八倍。這數目的求法是先求出四的立方六十四，再求其平方根，遂得八。

既然天文家用來表示太陽系中距離的單位是地球對太陽的平均距離，那麼內行星的平均距離必為小數（如我們上述）而外行星便要由1.0的火星到4.0的冥王星了。如果我們求出這些距離的立方數再求出其平方根，我們便得出以年為單位的它們的公轉週期了。

我們還可看出愈外層的行星繞行軌道的時期愈長，不僅因為路程更遠還因為它們走得更慢。再照前面例子說，假定一外層行星距太陽遠了四倍，它運動速率也便減了一半。因此繞一圈纔加上八倍。地球在軌道中運動速率是每秒鐘18.5哩。海王星的速率卻只是每秒鐘6.0哩，而它的路程要遠三十倍。這便是它要一百六十多年纔能繞太陽一周的原因了。

第二章 水星

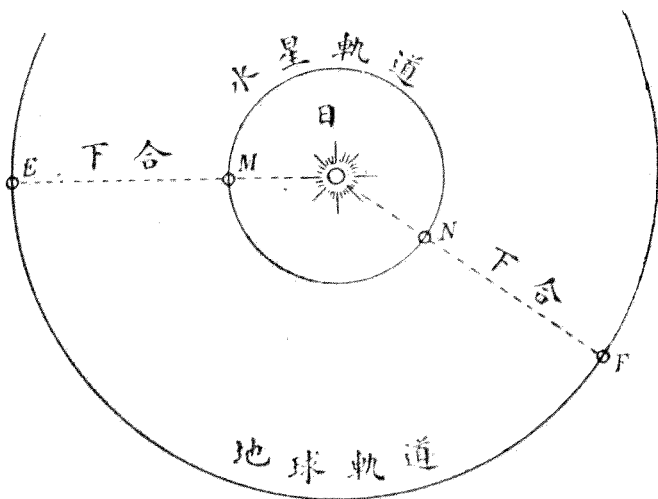
我們現在要依照距太陽遠近的次序來開始敘述我們所知的大行星的一切了。那麼第一個輪到的便是水星。這不僅是一顆離太陽最接近的行星，而且是九顆中最小的一顆行星；它確乎小得使我們幾乎不能將它列在大行星中，如果不是因為它的地位的緣故。它的直徑只比月大出百分之五十，但體積是與其直徑的立方成比例的，因此它比月的體積大了三倍多。

除了冥王星以外，水星要算是大行星中軌道偏心率最大的一顆。雖然還有些小行星在這方面也要超過它（下面便要敘及）。因此它離太陽的遠近也有很大的變化。在近日點上這距離是不到二千九百萬哩；在遠日點上其距離竟比四千三百萬哩還要多。它的繞日公轉週期是不到三個月——更確切些說，八十八日。因此它在一年之中繞太陽四次有餘。

在地球繞太陽一次的時間中水星繞了四次有餘，水星與太陽的「合」也依照一雖不一致

卻很規則的週期。爲了表明其視運動的確性，且假設第二十四圖中的內圓代表水星軌道而外層代表地球軌道。當地球在E點而水星在M點時，水星正與太陽在下合點上。三月之後它又回到M點，但這時並無下合，因爲同時地球也在軌道中向前進了。當地球達到F點而水星到了N點時，又有了下合。這種由一下合到另一下合的一週運動叫做一行星的『會合周』(synodic revolution)，水星的會合周較實際公轉期多三分之一；這就是說，MN弧略小於全圓的三分之一。

現在再假定在第二十五圖中地球在E點，

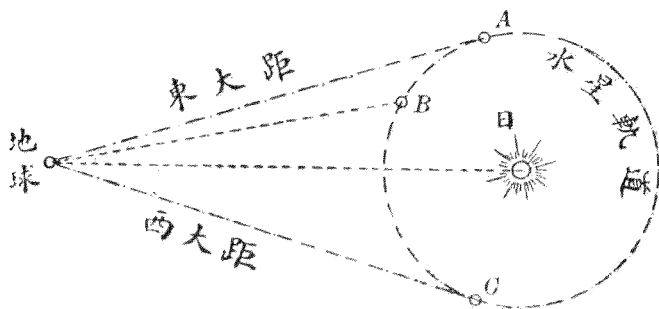


第二十四圖 水星合日

水星不在M點卻到幾乎最高處的A點上去了。這時從地球看來它是在離太陽視距離最遠的一點上，或用術語來說，是在『大距』上。如在太陽之東，便在太陽之後沈沒，便可在日沒後半小時至一小時內見於西天的薄霧中。在反對方向的C點附近便到了太陽之西；於是在日出前升起，可見於東天的晨曦中。當作昏星來看，最好在水星的東大距時（春季）當作晨星來看，最好在水星的西大距時（秋季）。

水星的外觀

用遠鏡觀測水星的最好的時候是當它在東大距時的下午較晚時，或當它在太陽之前升起時的黎明。假定它在太陽之東，大概在下半任何時候都可用遠鏡看見它，但空氣通常都是被太陽



第二五圖 水星的距角

光線攪亂了的，因此很不容易作一好好的觀測。下午較晚時空氣較澄定，這行星便可較便觀測。可是到了日落之後，它又是在不斷增厚的大氣之中了，因此模糊也逐漸增加。因為有這種情形，水星是很難如意觀測的一顆行星，而觀測者所見的水星表面也就很不相同了。

從前差不多所有的觀測者都一致認為水星的自轉週期是無法確定的。但在一八八九年斯克亞巴列里 (Schia parelli) 用精巧的遠鏡在北意大利的美麗的天空中觀測，結果說該行星的狀貌天天照樣毫無變化。他因此得到結論以為水星永遠以同一面對着太陽，正如月之於地球一樣。在亞利桑拿 (Arizona) 的弗拉斯塔夫天文臺 (Flagstaff Observatory) 觀測的洛威爾 (Lovell) 也有同樣的意見；現在大多數天文家都贊同這種見解。

因為水星對太陽的地位常有變換，它也像月亮一樣有圓缺的位相。這是依其暗半球及明半球與我們看去的方向之間的關係而定的。背太陽的黑暗面是我們永看不到的。當上合時，明半球對着我們，這行星的表面便成圓盤有如滿月。當它由東大距移向下合時，向着我們的暗半球部分便愈來愈多，明半球部分愈來愈少。但這缺點卻有了補救，因為同時這行星也愈來愈離我們愈近，

因此它的被照明了的部分也可更看得清楚。它的在一會合周中不同時的眼見形狀和大小的變化程序跟金星相仿，在下一章中我們就要敘到。

水星上沒有大氣是大概可靠的。它即使有大氣也稀薄得不能反射太陽光看來是一定可靠的。

水星凌日

我們很容易立刻看出，假如內行星和地球在同一平面上繞太陽而行，那麼每次下合時都要從太陽表面經過了。但沒有兩顆行星是在同一平面上旋轉的。在所有大行星中，除了冥王星而外，水星軌道對地球軌道的偏斜最大。因此它常常在太陽南或北離得較遠或較近。但如果它在下合時偶爾接近了它的一交點，我們便可從遠鏡中看到它如一粒黑點經過太陽表面。這種現象叫做「水星凌日」(Transit of Mercury)。這種凌日的相隔期間從三年以至於十三年不定。天文家觀測這種現象有很大興趣，因為可以極準確的決定其進入太陽圓盤及離開的時刻。知道了這時

間以後，關於這行星的運動規律便又有新知了。

水星凌日的第一次觀測是一六三一年十一月七日加森第（Cassini）做的。因為他的工具不完美，現在他的觀測已無科學價值了。又一次較好但還不算好的觀測是哈雷（Halley）在一六七七年到聖海倫拿島（St. Helena）去做的。從此以後，這種凌日的觀測便很有規律的繼續下來。下面的表指示未來若干年中的凌日以及能見的地域。

一九三七年五月十一日 水星擦過太陽南部邊緣。在歐洲可見，但在美洲卻在日出之前。

一九四〇年十一月十日 美國西部可見。

一九五三年十一月十四日 全美國可見。

自一六七七年來的水星凌日的觀測發現了一件有趣的事實。這顆行星的軌道是慢慢改變的，它的近日點在一百年中約比其受所有已知行星的吸引而應改變的程度更多前進四十三秒。這一點誤差是一八四五年勒威耶（Le Verrier）所發現，他是在海王星發現之前會計算其位置而有名的。他把這種差異歸之於水星太陽之間另有一行星或一羣行星的吸引。它這聲明使人

又尋找這假定的行星。約在一八六〇年法國一鄉間醫生勒斯加波(Lescault)用一架小遠鏡觀測，以爲它已發現那行星從太陽面上經過了。另一位在同日觀測太陽的較有經驗的天文家卻只看到一顆平常的黑子。大概就是這黑子哄騙了那位醫生天文家。現在已過了許多年，在幾處天文考察太陽爲太陽攝影，卻一點沒有發現這一類的東西。

可是，我們仍然可以認爲有些小行星在這區域中運行，只是它們太渺小了。因此經過太陽面時竟逃出了我們的視察。如果真是這樣，它們的光一定完全被天光遮去，所以平常看不見。可是我們還有機會，就是在日全蝕的時候，天上一點別的光也沒有，應該能看出來的。於是當日全蝕時就常有觀測者來找尋它們，並且用上極有力的攝影機。終結的答案畢竟在一九〇一年日全蝕時得到了：那時在太陽附近攝得約五十顆星，其中有的只是八等星，但都是我們所已知的。因此大致可以決定在水星軌道圈內決沒有比八等星光更明的行星了。像這樣的小行星非有幾十萬顆是不能造成水星的那種軌外活動的。這麼多的小行星定會把那一塊天照明得比任何處天空都亮的。這結果可使我們得一結論來反對那種認水星近日點移動是由於更內行星的見解了。要假定這

類內行星存在。除上述困難外還有一點：如果有這行星，它一定要使水星或金星（或兩者兼有）的交點變動的。

愛因斯坦 (Einstein) 在一九一五年完成的廣義相對論要使水星近日點比依照牛頓引力的原理推算的移進每一百年約快四十三秒，這便恰與實際觀測相符合了。有好些天界現象用相對論比用舊學理來表現更爲成功，這也便是其中例證之一。

第三章 金星

在天上所有的星似的物體中，金星是最明亮的。只有太陽月亮超過了它的光彩。在一個晴朗無月的晚間，它都可以照出影子來。如有觀測者知道它的所在，又有一副好眼睛，在白晝當它近了子午圈時都可看得見，只要太陽不恰在它的附近。當它在太陽東面時，我們可以在西天望見它，日落之前它呈黯淡的光輝，隨着日光減弱它的光便增強起來。它在太陽西面時，便在太陽之前升起，出現於東天。在這兩種不同情形下，它便被叫做昏星，或則晨星。古人當它是昏星時叫它做 *Vesperus*（長庚），晨星時叫 *Phosphorus*（啟明）。據說古人並不知道這兩者原是一體。

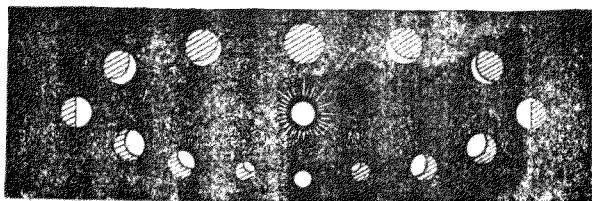
即使用低倍率的遠鏡考察金星，也可看出它跟月亮一樣有圓缺的位相。這樁事實是伽利略在第一次用遠鏡看這行星時就確定了的，這使他更堅決信仰了哥白尼（*Copernicus*）系統的真理了。他照當時的習慣把這發現發表成爲一個謎語。這謎語是一些字母，以後放在一起就可說出

這發現。他的謎語說：「愛的母親正與（Venus）爭賽而相呢。」

我們說過的水星的會合運動與金星的原則上一致，因此不必重述。第二十六圖示這行星在會合軌道中各部所現的眼見大小。當它由上合到下合時，圓盤逐漸增大，但我們不能見其全部。它的照明了的表面也同時逐漸減小，漸成半月形，繼成新月形，最後漸減小一直到下合。在下合時全黑暗面都對着我們，因此不能看見。金星最明的時候在它處於下合及大距之正中時。那時如在太陽之東，便後太陽二小時而沈沒；若在西則先太陽二小時而上昇。

金星的自轉

金星自轉的問題自伽利略以來就使天文家及一般人感到興趣了。但是要得到關於這問題的確切的事實卻有極大的困難，因為這顆行星



第二十六圖 金星在軌道中各點的位相

具有非常的亮光。在遠鏡中看來也決不可見清晰的痕跡。看得見的只是表面上的一團亮光，其間略有明暗的等次，正像我們看一個磨得很光但略有點黯的金屬球一樣。雖然如此，還是有些觀測者認為他們分出了明暗的斑點。遠在一六六七年加西尼(Cassini)就根據這些假定的斑點斷定金星約在不到二十四小時內繞軸自轉一週。十八世紀中意大利人物郎機尼(Blanchini)發表一很長論文論究這問題，文中並附許多插圖。他的結論是金星要二十四日以上纔能繞軸自轉一週。一八九〇年斯克亞巴列里得到一個更不同的結論，說金星繞軸自轉週期與繞日公轉週期相等；換句話說，水星與金星同樣只以一面對着太陽，正如同月亮對我們一樣。他的結論是根據金星南半球上一些微點在陸續若干日內在同一位置上不動。他可以每天觀測若干小時，而這些微點的恆久便取消了金星一日左右自轉一週的論調。洛威爾在亞利桑拿天文臺的小心研究結果也贊同他的意見。

這些細心的觀察者考察金星面上符誌而得的自轉週期的結論竟如此不同，這只有一種解釋。這些符誌實在都太黯淡了。現在的意見是金星自轉比地球慢得多。分光儀的特殊觀測以及金

星兩極沒有可察出的扁率，都證明這一說。但像二百二十五日這樣長的週期還不是可以完全接受的。羅斯的最近的攝影使這些符誌比眼見更爲清楚，卻表示它們的變動比設若金星永以一面對太陽時要快些。羅斯便試定下一個三十日的週期。

金星的大氣

現在大家都已承認金星上包圍着一層大概比地球更濃厚的大氣。這是當一八八二年金星經過太陽表面時由本書著者在好望角 (Cape of Good Hope) 觀測到的一種可注意而又有趣的情形。當這顆行星有一半多一點經過太陽面上時，它的外邊緣就明亮了（如第二十七圖所示）。這種明亮的開始卻不從弧的中心點（那樣是正常折光所應有的現象），反而是在靠近弧的一頭的一點上。這種情形由普林斯頓 (Princeton) 的羅素 (Russell) 解釋了，他說那大氣中蒸汽成分太多，因此我們不能由其中直接的折光而看到太陽光。我們所見到的只是飄在其大氣中的一層照明了的雲或蒸汽層罷了。情形既然如此，地上的天文家大概也就絕不能透過這些雲去看見

金星的固體本身了。因此那些假定的斑點也就只是永在變化的暫時的斑點了。

要表明那種甚至很好的觀測者都會被欺的幻象，我們不妨提出一件事實來：有些這一類觀測者都認為當金星下合時我們可以見其全面。它那時的狀貌正如我們在新月初現時看我們的衛星一樣，「新月在舊月的懷中。」月亮的那種情形，我們都知道我們看見那黑暗半球是藉助於地球的反光。但金星上卻不會有地球或其他東西能反射充分的光上去的。有時有人解釋這種現象認為也許是金星上全包覆着一層燐光。但這還是歸之於視覺的幻象為妙。這種現象是常在白晝看見的，那時天空非常明亮，那時燐火之類的微光是全不可見的。不論我們把這種光的來源歸之於什麼，它總應該在黃昏以後比在白晝更易看見的事實上。那時看不見，這便根本上取消了它的真實性了。



第二七圖 一八八二年金星凌日時金星大氣的效應

這情形證明了一條有名的心理學規律：想像很能造出習慣看見而實際不存在的東西。我們很習慣於看月上的情形，因此我們看金星時，也因大體現象相似而將那假定的相似情形加進去了。

透過金星大氣而攝其表面照片的機會大有進步了，因為現在可用一種特別敏感於紅光或紅外光的底片放在紅濾光鏡後露光。飛機在高空攝影當攝影人不能看見地面時使用這種方法得到清晰的照片。最近斯梯芬斯 (Stevens) 還用同樣的方法在飛機上從數百哩外攝得很好的安底斯山 (Andes) 的照片的。他在拍照時安鏡頭方向需要猜測，因為他不能透過雲霧看見山峯。約在一九二七年金星在有利的大距時，羅斯用威爾遜山天文臺的大遠鏡在紅光及紅外光下攝得金星照片。照片中金星的盤面是全白的。但用紫外光攝的卻現出了清晰的斑紋——這還是第一次在這顆行星上清楚看見的。這是大氣中的雲紋，它們在日光透到金星表面以前反射了大部分的紫外光。

在攝得的金星圓盤上兩極端有明亮的斑點，這與火星上的極冠 (polar caps) 有些相似，雖

則比較不永久些。經過圓面的黑帶使人想到木星上的雲帶，也同樣的很快改變形狀。在金星的大氣下有無大陸與海洋，植物與動物，甚至有智慧的生命，我們至少在現在說來，只能猜想而已。

金星凌日

金星凌日是天文學中稀有的現象，因為平均起來要六十年一次。在過去及未來數百年中約有一循環週期，約為二百四十三年間四次。兩次凌日之間的時間約為：一百零五年半一次，又八年一次，又一百二十一年半一次，又八年一次，以後又一百零五年半一次再循環下去。過去六次及未來二次的日期如下：

一六三一年十二月七日

一八七四年十二月九日

一六三九年十二月四日

一八八二年十二月六日

一七六一年六月五日

二〇〇四年六月八日

一七六九年六月三日

二〇一二年六月六日

現在活着的人怕少有能看到下次凌日的，因為要等到二〇三四年，可是那年六月八日金星經過太陽表面的時刻現在已可為世界各地預先算出，只有一兩分鐘的誤差。

前一百年中對於這種凌日所起的興趣是因為假定可以藉此有最好的方法決定地球太陽之間的距離。由於這種假定以及這種現象的稀罕，過去四次凌日遂經過大規模的觀測。在一七六一及一七六九年，重要的沿海國家都派一些觀測者到世界各地去紀錄金星進入太陽圓面及離開的準確時刻。在一八七四及一八八二年，美、英、德、法都組織了大規模的遠征隊觀測團。在這些機會的第一次中，美國觀測團北方分佈於中國、日本、東西伯利亞，南方分佈於澳大利亞、新西蘭島等地。在一八八二年便用不着分發到這些地方遠征了，因為在美國也可看得見凌日。南半球上便有好望角等處觀測。這些次的觀測對於決定金星的未來運動是很有價值的，但是後來知道別的方法太陽遠近的方法卻比這還要可靠，因此在那一方面反沒有什麼偉大價值了。

第四章 火星

近年來大家在火星上集中了很大的興趣。它的跟我們地球的相似，它的運河、氣候、下雪、以及其他可注意的特點都使我們關心於那上面的可能的居留者。現在我來盡力說一些關於這方面的我們實際已有的知識，但對於那些希望得到我們鄰居上有理性生物存在的確切證據的讀者，卻恐怕要使他們失望了。

我們先說一些瑣細的特點，這可以幫助我們認識這顆行星。它的公轉週期是六百八十七日或者說差四十三日不到兩年。如果這週期是恰好兩年，火星便要當地球公轉兩次的時間作一次公轉，而我們也會在很規律的隔兩年見一次火星的衝了。但因為它走得比這快些，地球便需要一兩個月的時光去追上它，所以衝便要隔兩年零一二個月一次了。這多出的一兩個月在八次衝以後集成一年；因此，過了十五年或十七年以後，火星的衝又回到同日而在軌道中所佔的位置也差

不多還原了。在這期間內地球已公轉十五次或十七次而火星只有八九次。

這兩次衝相隔期間的一月左右的差異是因為其軌道的極大的偏心率。在這一方面除了水星跟冥王星外沒有一顆大行星能比得上。它的值是 0.093 ，或說將近十分之一。因此，當它在近日點時差不多離太陽比平均距離要近十分之一，而在遠日點時也差不多要遠十分之一。它在衝位對地球的距離也有這麼多的不同，因此在距離本身之間也便有更大的不同了。如果衝時火星位置在近日點附近，火星地球間距離小得只有三千五百萬哩；但在遠日點時卻比六千萬哩還要多。結果便是，在有利的衝位時（這只能在八九月中）要比在不利的衝位時（在二三月中）更亮三倍以上。有利的衝曾發生於一八七七、一八九二、一九〇九、一九二四；下一次在一九三九。

火星當近了衝位時是很易認出的，一則因它的光特強，一則因它的光的紅色，這是跟大多數明星很不同的。在遠鏡中看它倒並沒有肉眼看它那麼動人的紅光，這是很奇怪的。

火星的表面及自轉

惠更斯(Huygens)約在一六五九年第一個從遠鏡中認出火星表面的變化的特性，並且爲它畫了一幅畫。他所畫出的特點到今日還能認出而且指定的。守視這些情形可使我們容易看出這顆行星繞軸自轉一周約需比我們的一天略長一點（二十四小時三十七分。）

這自轉週期比任何其他行星（地球除外）的都算定得更爲精確。二百年來火星都恪遵這時期自轉，我們也還沒有理由假定將來會有可見的變動。這時間跟我們的一日這樣相近，其相差又只是多出三十七分鐘，結果便是在連續的夜裏的同一小時內，火星差不多是以同一面對着地球的。可是畢竟因爲多出了一點，每天夜間要見它較前落後一點，因此在四十日後我們已見到它全面各部對着地球了。

所有直到最近已知的火星表面情形都可在一幅圖中表明：其明暗區域以及平常總可看見的包着它兩極的白冠。當一極偏向我們因此也偏向太陽時，這白冠便逐漸減小，離遠太陽時又加大。加大的情形是地上看不見的，但當它再現時卻可看出比起先大了。這種極冠都很自然的被認爲冰雪，當火星的冬季包圍其極區而夏季便全部或一部分消溶。

火星的運河

在一八七七年斯克亞巴列里發現了所謂『運河』。這是一些條紋在這行星上縱橫參差，略較表面一般情形黑暗一點。由於翻譯錯誤而生的誤解很少比這次更甚的了。斯克亞巴列里把這些條紋叫做 *canale*，這意大利字的意思是水道。他這樣叫它們是因為當時認為表面上的黑暗區都是海洋，這些連結海洋的路線便假定都有水，因而定名為水道。可是譯成了『運河』以後卻得了更廣泛的涵義，都以為這些便是該地居民的工作成績，正像地上的運河是人類的工作成績一樣了。

關於這些水道，在天文學權威之間也有一些不同的意見。這是因為事實上它們並不是平均一致的表面上的清晰的條紋。火星上各處都有些明暗的不同——又都那麼微弱而不清楚，從這一塊到那一塊之間又只有幾乎不可察覺的等次，因此大都很難給它們劃出一定的輪廓。把它們分別出來已是極端的困難，在不同的光下，在不同的我們大氣的情形中，它們又都改變形貌，於是

給它們畫出的畫便都大不相同了。在洛威爾天文臺 (Lowell Observatory) 的觀測者所繪的圖中，這些水道是細黑線，而且多得織成一面包住火星表面大部分的網。在斯克亞巴列里的圖中，它們倒像是黯弱的闊帶，既不像洛威爾天文臺的畫那樣清楚，也不那樣繁多。在這圖中還有一點有趣：在水道相交的地方都有圓點好像圓形的湖一樣。

火星上一件很清楚認出的特色是一塊大的黑的近乎圓形的周圍白色的斑點，叫做『日湖』 (Solis Lacus)。這是所有觀測者都同意的。他們也還大致同意於從這湖分出的一些條紋或水道。但我們更進一步便要發覺他們並不完全同意於這些水道的數目以及周圍的情形了。另一特色是一塊三角形的黑斑 (Syrtis major)，惠更斯第一個畫出的。

關於火星上運河的存在現在已無疑義了。它們已經過許多天文家的觀測，並且有過很成功的攝影。大概說來，它們許比早期觀測者所見要寬闊些，不規則不精工一些。我們認為這些運河是火星上自然的（非人工的）景物。

火星的表面於是便有極有趣而又多變換的種種相了。在所有行星中（除了地球）它的表

而是最適於遠鏡觀測的它現一片帶紅色的背景，使人想到荒漠的原野。在這背景上我們看到一些藍綠色大塊；這是起先叫做「海」的，這名字一直延留到現在，正像月上的海一樣，雖然這兩種海現在都無人認它是有水的地方。連接這些海有時從中經過的，是一些較狹的暗紋，便是運河，這舊有的名字也隨着海一同延存下來。

直到此刻我們所說的各種情形都不屬於火星的極區。即使在那些雪冠化去以後，這些區域也太偏斜使我們很難在上面看到清楚的情形。這些覆蓋極區的冠帽究竟是不是真正的雪，在火星冬季落下，而太陽光又來臨時化去這是一個有興味的問題。為解答這問題，我們必須考慮一下關於火星大氣的最新發現。

火星的四季

所有最近的觀測者都一致認為火星的大氣比我們的要稀薄得多，所含的水汽成分也較少。這結論是從遠鏡及分光儀兩方面的觀測得來的。對於這行星的最細心的觀測告訴我們上面的

景物很少會被火星大氣中的雲所遮蔽。

可是只有在大氣中水汽凝結時纔會下雪的。所以火星的極區中可以下那麼多的雪便不能使人無疑了。

另一方面，太陽光線的化雪能力是一定要為其所帶的熱量限制的。在火星的極區中，這光線是斜射的，即使它所帶的熱量全被吸收，也只能在全夏季中溶化幾呎深的雪。太陽光中的大部分還一定要被白雪反射出去，而由於向完全冷卻的空間中的強烈的輻射，也要冷卻的。因此我們的結論是：能在火星極區中下落並且化去的雪量一定很少，大概也許只有幾吋深。

極薄的一層雪也可以現成白色表面的，所以這並不足以證極冠的不是雪。可是更近乎真實的是說這種現象只是水汽在極冷的表面上的簡單的凝結，情形正和我們的霜相仿，而霜不過是凍結的露水。這在我看來是極冠的最可採取的解釋。還有人以為這些極冠是炭酸的凝結。我們只能說，這雖非不可能，卻不大可以使人相信。

火星上看來是有生命的。幾年以前這種說還普遍認為幻想的。現在卻普遍承認了。但我

們只是指的似乎我們的植物的那種生命形態，並非指有智慧的人類生命，因為還沒有證據證明火星上這種生命的存在。火星上有水有空氣，不用說比起地球來是少極了；在它的赤道區域內正午時溫度在冰點以上，雖然便是那兒大部分時間也還在冰點以下，而別的地方當然永在冰點以下了。

火星上有季候變換的意見在幾十年前經人提出，現在已經許多天文家公認了。火星赤道向軌道傾斜約 25° ，其兩極也和地球的一樣交換着向太陽或背太陽。因此這行星便有和我們相仿的季候了，雖然它的四季都比我們的約長一倍，因為它的一年約有我們的兩年。

當火星的一半球上春季漸過的時候，白色的極冠便漸減縮，這一半球的黑暗地方便更顯明綠色更重。當夏季漸過而極冠完全或差不多完全化去時，這些黑暗地方便很顯然的衰落而變成褐色。關於這種季候變遷的最可信的解說便是說這是植物的表現，在火星春季植物開始茂盛，而秋季來臨便又死去。

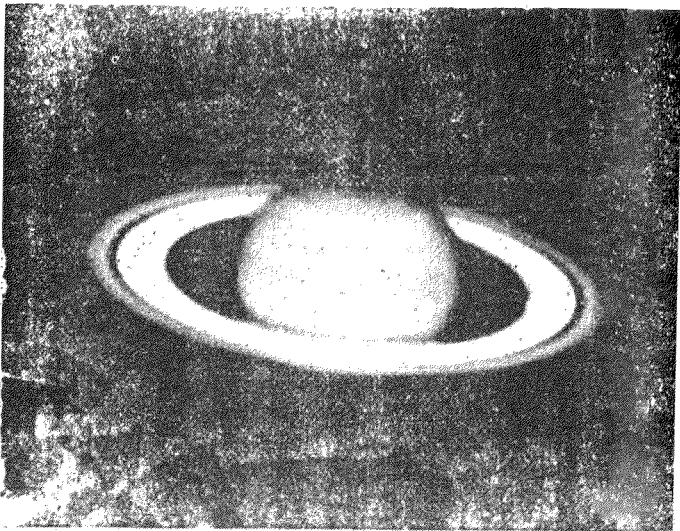
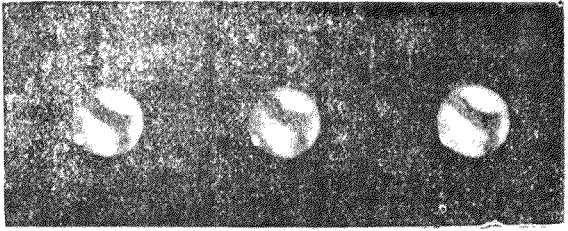
最近的用各色濾光鏡攝的火星照片，尤其是洛威爾與立克天文臺所攝的，更加強了火星表

面及大氣的特點。在紫外光下攝得的照片中，其表面上的各種東西——綠色大斑點以及有些運河——清晰可見。我們記得用同樣方法攝得的金星照片中只有一片白盤，因此可以斷定火星大氣比金星的較為透明了。火星的紫外光照片在另一方面卻很少表面的特點。這是一些大氣的圖書，其中有時有雲，或則至少是彷彿地球上的雲的東西。

真正可驚的情形是這些白色極冠在紅外光照片中不清楚，在紫外光照片中卻很顯然。萊特（Wright）的結論是認為我們所見的白冠並不是雪冠，只是極區上的霧層，雖然下面也許有較小的雪冠。

火星的衛星

火星的兩顆衛星是一八七七年赫爾（Herschel）在海軍天文臺發現的。以前的觀測未曾見到是因為它們異常之渺小。大概從沒有人想到衛星會有那樣小，因此也沒有人費神用大遠鏡去細心尋覓。可是發現以後它們卻絕不是難見的東西了。當然這看見它們的容易程度是要倚靠火星在



第二八圖 (上) 火星顯出極冠 (下) 土星及其光環
(葉凱士天文室攝)

軌道中的位置以及對我們地球的方位的。它們除了當火星接近衝位時是看不見的。在每次衝時，有三個月四個月甚至六個月（依情形而定）的期間可以觀測它們。在近日點附近的衝時，可以用直徑不到十二吋的遠鏡看見它們；究竟看出多麼小，是要依觀測者的技術和他的從眼中截去火星光的努力而定的。大致說來，一架直徑十二吋至十八吋的遠鏡是必需的。看它們的困難完全因火星的光輝而起。如果能將這光輝除去，更小得多的遠鏡中也無疑的可以看見了。因為這種光輝的原故，外層的一顆較容易看見，雖然內層的一顆更為明亮。

郝爾把外層一顆叫做戴幪斯 (Deimos)，內層一顆叫做何博斯 (Phobos)，這兩個都是古神話中戰神 (Mars 即火星之西名) 的侍從。何博斯有一特點；它繞這行星旋轉一周只用七小時三十九分，這時已知全太陽系中週期最短的。這比火星繞軸自轉一次的時間的三分之一還少。因此，在火星上居民看來，他們的最近的月亮出於西方而沒於東方。

戴幪斯的公轉期間是三十小時十八分。這種迅速運動的結果便是在它一起一落之間要過去差不多兩天。

的。
何博斯離火星表面只有三千七百哩，如果火星居民有遠鏡這一一定是他們的有趣味的對象。

在大小一方面說來，這兩位是我們在太陽系中看得見的最小的東西了（除了也許還有更微弱的小行星。）光度的推測告訴我們戴幙斯的直徑是五哩，何博斯的直徑是十哩。我們所見的它們的大小和從紐約望波斯頓空中懸的一枚蘋果差不多了。

這兩衛星的大用處是使天文家能够藉以研究出火星的準確的質量。這是證明了只有地球質量的九分之一。這是怎樣得來的，要等後面論及稱量行星的那一章中纔能敘述。

第五章 小行星羣

太陽系中火星木星軌道間的大空隙，在行星距離都已準確測定後，當然要引起天文家的注意了。當波特發表了他的定律時，這便成了惹人注意的事件。八個數目是很規律的遞加下來的，除了一個之外都代表一行星的距離。那一個數目卻空着。是真的原有這空隙，還是只因填這空隙的行星渺小得未被我們注意到呢？

這問題由意大利天文家皮阿齊 (Piazzi) 解決了。他有一座小天文臺在西西里 (Sicily) 的帕來頓 (Palermo)。他是一個熱心的天文觀測者，擔任造一個他的工具可以決定的恆星位置表，在一八〇一年一月一日，他爲新世紀行了開幕禮，發現了一顆在原先空無一物的地方的星；這顆星不久便證明了是尋覓了好久的行星。這顆星得了個名字叫穀神星 (Ceres)。

那時引起驚異的是這顆行星竟然那樣渺小；當它的軌道知道了以後，又發現其離心率很大。

可是新的發現不久便來了。在這新行星被發現後還未完成一周公轉時，布列門（Bremer）的醫生奧爾伯（*Olbers*）常應用閑暇時間作天文觀測及研究，這時發現了在與前者同一區內運轉的另一行星。代替那一顆大行星的，有了這兩顆小行星。他提出意見以為這些也許是一大行星的碎片，而假如真是這樣，大概還可以發現許多。這個猜測的後半已證明是真實無疑了。在接着來的三年中又發現了兩顆，一共是四顆小行星了。

這樣過了約有四十年。一八四五年德國觀測者亨克（*Hencke*）發現了第五顆。第二年加上了第六顆，於是開始了一連串不息的發現，一年一年增加下來，現在已經超過了一千的數目了。

獵取小行星

直到一八九〇年這些天體的發現都是由於少數的觀測者，他們用特別的注意去尋覓捕獲這些小星，正如同獵者捕獸一樣。他們也可以說是安置了陷阱，把黃道附近的天空一小區的星畫出圖來。記得清楚了，再去守候那自投羅網的闖入者。只要出現了一個，這便是一顆小行星，於是獵

者將它放進他的籠中。

約在一八九〇年纔發現了攝影術是發現這些東西的更容易更有效的方法。天文家把遠鏡對準天空，開動時鐘，用較長的露光時間（也許是半點鐘左右）爲星攝影。真恆星一定在底片上現爲小圓點，但假如碰巧行星在內，便一定要運動，它的影像便是一短線而不是圓點了。天文家用不着搜索天空只消搜索照片了，這工作容易得多，因爲一顆行星可以從長尾巴上立刻認出。海德堡（Heidelberg）的吳爾夫（Max Wolf）發現了五百以上小行星。

新近發現的小行星大半都是極黯弱的；而數目也好像隨着黯弱的程度增長。平常推測有萬顆是在我們遠鏡所及的範圍以內。這些物體中的較大的也小得只能在平常遠鏡中現成星似的點子，而它們的圓面使用最有力的工具也不容易看出來。穀神星最大，直徑有四百八十哩，約有十二顆直徑超出一百哩。最小的只能由其光度粗略的推算其大小了。它們的直徑大概有二十哩到三十哩光景。

小行星的軌道

有的小行星的軌道的偏心率是很大的。例如伊達哥星 (Ithaica) 的軌道偏心率便是 0.61 ，這便是說當在近日點時它離太陽比平均距離要近三分之二，在遠日點時要遠三分之二。當它在離太陽最遠的地方竟和土星差不多遠了。

有的軌道的傾斜之大也是可注意的。有的超過了 20° ；在伊達哥星是 43° 。

那種認為這些東西也許是被一次炸裂所粉碎的行星殘片的見解現已被拋棄了。那些軌道佔領的邊界太寬，如果這些小行星當初是一體時便不見得會這樣的。依我們現代的哲學而言，這些東西從開始有時就和我們現在所見一樣了。依星雲假說的理論而言，所有行星的物質從前都是環繞太陽運行的雲狀質料的環。別的行星都是由於環中物質漸集中於環中最密的一點，因而成爲一顆星。可是也許造成小行星的這一環不像那樣集中而成了這些碎片。

依照張伯倫 (Hamberlin) 和摩爾頓 (Moulton) 的微星假說 (planetesimal hypothesis)

這些小行星是由於較少的比大行星較小的星的撞碰而成的。因此其中便有些沒有得到那近圓而偏斜的軌道，於是成功了許多次的撞碰。

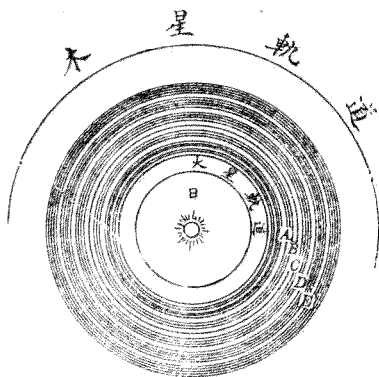
軌道的分羣

這些小行星的軌道有一特色，可以使我們對它們的由來得一點線索。我曾經解釋過：行星軌道都近似圓形，但太陽並不在圓心。現在且假想我們從無窮的高處俯視太陽系，再假定小行星軌道都可看成精細畫出的圓圈。這些圓圈便要互相交錯，像織網一樣，成功一大寬的環，環外邊的直徑幾乎比內邊直徑加一倍。

可是假定我們能把這些圓圈當做絲線圈拿起來，再重新佈置一下使它們都以太陽為中心，卻不改它們的大小。那些較大的軌道直徑就差不多要比較小的加一倍，因此這些圓圈便要佔據很寬的空間，如第二十九圖所示。奇怪的是它們並不平均分佈於全部佔有的空間，卻集成清楚分開的幾羣。這也在第二十九圖中顯示着，並且又用不同的但更完全的方法在第三十圖中表示

着，第三十圖的說明如下：每一行星都在一定數目的日期內繞太陽公轉一次，它離太陽愈遠，這週期便愈長。因為軌道的全圓周是 1,296,000"，所以用公轉週期來除這數目，得的商數便是表示那行星平均每日運行多少角度了。這角度便叫做該行星的『平行度』(mean motion)。小行星的平行度約自 400" 起到 1,000" 以上，度數愈大，公轉週期愈短，行星離太陽愈近。

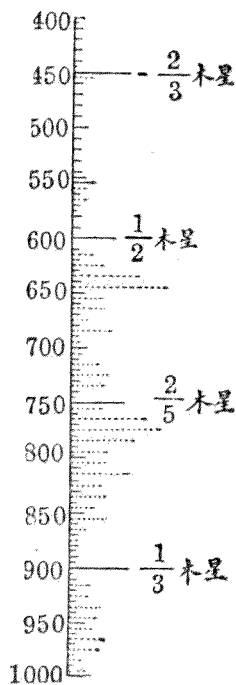
現在我們畫出一道垂直線，在旁邊註上平行度數，從四百秒到一千秒，每隔十秒畫一格。在每一格中我們把所有平行度數在這以內的小行星都用點子代表點出來。舉例說，在 550" 與 560" 之間有三小點。這便是說表中有三小行星的平行度數在 550" 與 560" 之間。560" 與 570" 之間有四行星，570" 與 580" 之間有一行星。以下便要到了 610" 後纔有六顆在 610" 與 620" 之間。接下去便多起來了。



第二九圖 小行星的分群

一考察這圖，我們便可以分出五羣六羣來。最外層的約在 $400''$ 與 $400''$ 之間，離木星也愈近。公轉週期也差不多要八年之

久。以後是一道寬空隙，直到 $560''$ ，我們纔又發現十顆行星在 $540''$ 與 $580''$ 之間。從此以下，行星數愈加增多，但在 $700''$ 、 $750''$ 、 $900''$ 旁卻只有很少或簡直沒有。好了，奇怪的事就在這一點上：凡這些空隙都是行星運動恰與木星成一簡單關係的地方。一顆平行度 $900''$ 的行星繞太陽一周的時間是木星的三分之一； $600''$ 的是二分之一； $750''$ 的是五分之一。依天體力學定律，凡一行星與其他行星有上述的簡單關係的要由於互相的作用而漸生大的變化。因此，第一個指出這些空隙的奇爾屋（Kirke Wood）就假定這是因為空隙中原有的行星不能永久保持其軌道。但是，奇怪的是在平行度為木星三分之一或相等的地方卻不特沒有空隙，反有成羣的行星。



第三〇圖
小行星軌道的分佈

愛神星

這些小行星中有一顆非常特別，因此我們也要加以特別的注意。一八九八年以前所知的數百小行星都在火星木星軌道之間運行。但那一年的夏天，柏林的威特（Wirtz）發現了一顆行星。在近日點時竟深入了火星軌道的內部——實際已在距地球軌道一千四百萬哩以內。他替它起名字叫做『愛神星』（Eros）。這顆行星的軌道偏心率又很大，在遠日點時又遠遠逃出了火星的軌道外。此外，這行星與火星的兩軌道竟如同鎖鍊的兩環相結，因此如果軌道都是鐵絲的便要連套在一起了。

這行星又因了軌道的傾斜，常脫出了黃道帶的範圍以外。當一九〇〇年接近地球時，它竟跑到北方去，跑得那樣遠，在北緯中部都不見它落下地平線而經過子午圈時也在天頂以北了。它的運動這樣特別無疑問的是我們不能早早發現它的一個原因。當它在一九〇〇——一九〇一年接近地球時，我們曾很仔細的考察了一下這顆愛神星，卻發現它的光度每小時都在改變。小心的觀

測察出這種變光有規則的週期是五小時一刻鐘，有人便假定這顆星實際是兩顆星互相繞着轉——也許兩者已經合而爲一。可是還有更近似的猜測，說這行星表面上有光明區和黑暗區，它的變光是由於向着我們的半球上明暗區域的變換。但因為有時這種變光漸漸消失去，這問題又更加複雜難以解決。

對於愛神星以外的小行星，也有人疑心過有也許由於繞軸自轉而生的變光，但至今一切還未決定。

從科學觀點看來，愛神星也是最有興趣的，因為它有時離地球那樣近，它的距離便可以測得極其準確，而太陽的距離以及全太陽系的大小由此也可以比用其他任何方法測得更爲準確。不幸它的最接近的時候卻相隔很久。

在一九〇〇年愛神星離地球約只有三千萬哩。在一九三一年一月三十日它的距離約只有一千六百萬哩，這比任何曾經接近過地球的行星都更近，雖然它還可以更近二百萬哩。下一次愛神星接近期在一九七五年。

第六章 木星及其衛星

木星是全太陽系中除了太陽便算第一的「巨人行星」。它確實在外形上在質量上都要比所有其他行星合攏來還大三倍。但我們那中央發光體還是不可及的，木星也還不到太陽的千分之一。

在它的衝時（每年約遲一月）這顆行星很容易在晚間天空認出它的光彩與顏色。它那時是全天上星狀物體中最明亮的一顆，只要除了金星，有時還要除去火星。它和火星很容易分辨，因為它是白色。如果我們用一架最小的遠鏡，甚至用很好的普通雙眼鏡來看它，就可立刻看出它不是一顆星似的點子，而是很不小的一個球體。我們還可見到有兩道類似暗影的帶子橫在圓面上。這是二百年前惠更斯注意了並且畫出來的。用更大的遠鏡看來，這些帶狀物便化成斑駁陸離的雲狀物，而且它們永在變化，不僅是每月不同，甚至每夜不同。每小時以及每夜仔細觀測它們的情

況，便可發覺這行星在約九小時五十五分鐘內繞軸自轉一次。因此天文家可以在一夜中看到它的全部表面輪流現到眼前來。

這行星有兩特色會立刻引起有遠鏡的觀測者注意。其中之一是圓面上光度並不平均；光漸到邊上漸陰暗，光在近邊緣處看來不明亮堅硬，卻柔軟而且散開了。從這方面說，它的情形與火星及月亮恰成對照。這邊上的陰暗通常認為是由於圍繞這行星的厚密的大氣。

上面所指的另一特色是圓面的橢率。這行星並不是完善的圓形，它的兩極較為平扁，如同我們的地球，但比地球更甚。最細心的觀測者從別的行星上看地球是不會發見它與正確球形之差的。木星的顯著的扁率是由於它繞軸自轉的迅速，這使它的赤道部分凸了起來。

木星的可見的表面

在遠鏡中所見的木星狀貌同我們大氣中所見的雲一樣多變。那上面常有延長的雲層，其形成的原因也顯然和我們大氣中雲層的來歷一樣——是由於空氣之流。在這些雲中間，常可見到

白色圓斑。那些雲的顏色有時是淡紅的，尤其是近赤道的部分。在赤道南和北的緯度中部區域的雲是最暗最清楚的。就是這兩處的雲在小遠鏡中現成兩條黑帶。

木星的外觀幾乎在每一點上都和火星大不相同，最顯著的一點便是完全沒有固定不變的狀貌。火星圖可以畫起來並且經一代一代的試驗真確，可是要給木星畫這樣一幅永久圖卻全不可能。

雖然這樣不固定，卻還有一些情形是經歷了許多年不改的。其中最可注意的便是約在一八七八年出現於這行星南半球的緯度中部的紅色大斑點。約有好些年它都還是很清楚的約三萬哩長的東西，可以從它的顏色立刻認它出來。十年以後它纔開始消隱，但也不是用的一致速度。有時彷彿完全消失了，過些時又重新明亮起來。這種變化一直繼續下去，可是在一八九二年以後便只有黯淡與不見了。如果這斑點最後消失了的，話它的靠不住竟使人不能指定最後見到它的日期。有的觀測者還有時報告看見了這斑點。其下方的一塊白色大斑點是一百年前被注意到的，現在還可以明白看見。

木星的組織

木星的組織還是一個未決的問題。還沒有一種假說可以立刻解釋所有的事實。

也許木星的最可注意的特色便在它的密度之小。木星的直徑約有地球的十一倍。因此它的體積一定要比地球大一千三百倍以上。但它的質量卻只比地球的三百倍多一點。因此它的密度就一定要不如地球了；事實它的密度也比水的大三分之一。由簡單的算術便可知道它表面上的重力約爲地球表面上的二倍三倍之間。在這樣引力之下，我們很可假定它的內部遭了極大的壓縮，而那兒的密度也要比較大的。如果它也是和地球表面一樣由固體或液體物質構成，這種情形便一定可靠了。單從事實做結論，只能說它的外層至少是由氣狀物質構成的。但是又如何能將這形式與紅斑點延續那麼些年的事實調和呢？這纔是真正的困難。

雖然如此，這假說還是我們現在不得不接受的，因爲它用不着許多修正。除了這行星的永遠不變形貌可做它有包圍的大氣的證據外，我們還有一個幾乎極可靠的證據在白轉規律中。我們

發現木星跟太陽有一點相同，它的赤道部分自轉週期比北緯中部地方的自轉週期短，雖然它所繞的圈子更長。這大概是普通氣體物自轉的公律。赤道附近與緯度中部自轉時間之差約為五分鐘。這就是說，赤道部分在九小時五十分鐘內自轉一周，緯度中部要九小時五十五分鐘自轉一周。這就等於這兩部分的速度之差是約一小時二百哩；假如表面是液體的，似乎絕不會有這種情形的。

認為這行星能自己發光的見解大概被否定了，因為事實上它的衛星到它暗影中時便完全消失不見。因此我們很可斷定，木星不能發充分的光輝使我們單用它的光看見它的衛星。如果它的衛星能從它受到從太陽受的光的百分之一時，我們都幾乎不能假定上述情形的。我們還發現木星所發的光還略少於它從太陽受去的。這便是說，所有它發出的光在量的估計上都是反射出來的，不能假定它比地上一塊白色東西更亮。最近的輻射測量還未得到其內部熱量的指示。

最能適應所有事實的假說似乎只是：這行星有一固體的冷的中心核，核的密度許可以和地球或其他固體行星相比，而這全體的小的平均密度是由於包圍這中心核的大氣太多了。

木星的衛星

當伽利略第一次把他的小遠鏡指着木星時，他極高興而且驚訝的發現了它有四顆小小的伴侶。他一夜一夜守望下去，發現它們都圍繞着中心體轉，正像行星繞太陽（這卻是當時未被公認的學說）一樣。這可注意的與太陽系的相似很有力的支持了哥白尼的理論。

這些物體可用尋常雙眼鏡甚至好的觀劇鏡望見。有人甚至假定說精明的眼睛有時都可不用什麼幫助看見它們。它們一定是和肉眼所見的最小的星一樣亮的，但木星的光輝太強了，即使是最銳利的肉眼看來，也不能超越這重困難看見它們。

雖然這木星四衛星有名字叫 Io, Europa, Ganymede, Callisto，但平常卻大半依它們離行星遠近叫它們的號數。第二衛星約比我們的月亮小一點，第一衛星卻較大一點。第三第四衛星直徑有三千二百哩，比月亮約大百分之五十；這是太陽系中最大的衛星，甚至比水星還要大。可是因為它們離太陽比月亮遠了五倍，四顆連合起來照在木星上的光還沒有地球上望月月光的

三分之一。又和月亮永把一面對着地球一樣，這些衛星也都永把一半球對着木星。換句話說，它們自轉與公轉的週期相等。

一八九二年以前大家只知道這四顆衛星；後來巴納德在立克天文臺發現了第五顆，比前四顆更近木星也更黯得多。它在不到十二小時中繞木星一週，這是除了火星內層衛星外已知的最短公轉週期。但這還比木星的自轉週期長一點。較外的一顆，或說前已知四顆的最內一顆，還叫做第一衛星，它的公轉週期是一日又十八小時半，而四顆明衛星的最外一顆要差不多十七日纔能環繞一周。

木星的第六第七衛星是一九〇四年一九〇五年帕林 (Perrine) 在立克天文臺發現的。兩者離行星的平均距離差不多都是七百哩以上，公轉週期約在八個月到九個月之間。略後些時又發現了另外更遠的一對，總數一共是九顆了。第八衛星是一九〇八年麥洛特 (Melotte) 在格林維基天文臺發現，第九衛星是一九一四年尼可孫 (Nicholson) 在立克天文臺發現的。它們倆離行星的距離約自一千五百萬到二千萬哩，公轉週期都超過了兩年。除了在所有太陽系的衛星中

離它們的主星算最遠外，它們還有一點跟這系中大部分成員不同，就是它們從東往西旋轉。

四顆較外的衛星軌道偏心率都比較內的大。它們都很小，直徑約只有百哩或許還少得多，因此只能用大遠鏡看見。有人以為它們的來歷與內層衛星不同。有的天文家以為它們也許是被捉住了的小行星。

這四顆明亮的衛星在環繞木星旋轉時有許多有趣味的現象，我們可以用中等的遠鏡觀測。這便是它們的『蝕』和『凌』。當然木星也跟其他不透明體一樣有影子的。這些衛星環繞木星在經過木星那一邊的途中幾乎一定要從陰影中經過的。第四衛星和更遠的衛星有時是例外，它們有時從陰影上有時在下經過，正像月亮有時從地球陰影上下經過一樣。當一顆衛星進陰影的時候，它漸漸黯淡，終至於完全消失。

因同樣理由，這些衛星當繞到木星這一邊的時候，往往從木星圓面上經過。一般定律是，當一顆衛星侵犯木星時，看來比木星更亮，因為木星的邊上較暗。可是當接近了中央部分時，也許看來又沒有後面背景亮了。當然這不是因為衛星的亮度有變化，只是因為這顆行星的中央部分比邊

界更明亮，這一層是已經提到過的。

同樣有趣的是衛星的影子，在這同樣的情形下常可見到投射在木星上，看來像一粒黑點隨着衛星經過。

木星衛星的種種現象（包括它們以及它們影子的『凌星』）都在航海曆書中有預報。因此一個觀測者永遠可如何時能見到『星蝕』或『凌星』。

四顆舊衛星的最內一顆的蝕約在不到兩天內發生一次。一個在地球上未知區域內的觀測者可藉其時刻來定當地的經度。他要把自己的錶與地方時的誤差糾正，這是用一種簡單的天文觀測方法，凡天文家和航海家都熟悉的。以後他再觀測這衛星發生蝕的地方時，他將這時與曆書中預告的格林時比較一下。依照我們在本書『時間與經度』章中所說的系統就可依此差異得出當地的經度。

但這方法並不十分精確。這種蝕的時間的觀測，其不可靠的程度約為一分鐘的很大的分數，或則說赤道地方的十五哩。

第七章 土星及其系統

土星在大小和質量兩方面都是行星中僅次於木星的。它在二十九年半的時間中環繞太陽一周。當這顆行星可以看得見時，偶然的觀測者也大半不難認出它來，一則因為它的光微帶紅色，二則因為它的光是固定的不像它周圍的恆星一樣的閃爍。

雖然土星遠不如木星明亮，它的光環卻使它成爲太陽系中最偉觀的一個。全天空沒有第二樣像這些光環的東西，早期用遠鏡的觀測者認爲這是一個謎也便不足怪了。在伽利略看來它們好像是土星的兩面的把手。過一兩年後他卻看不見了。我們現在知道這是因爲土星在軌道中運動，這些光環恰把邊衝着我們，竟薄得遠鏡中也看不到了。可是這忽然隱失使那位哲學家大惑不解，據說他怕自己受了什麼幻象的欺騙，於是竟停止了觀測土星。後來他年紀漸老，把繼續觀測的工作委託給別人。不久這兩面的把手又出現了，可是還無法研究出它們究竟是什麼。過了四十多

年後，這謎纔由天文家兼物理學家的惠更斯解答了。他說明這行星周圍有很薄的平面光環，並不與之接觸，卻與黃道傾斜。

土星的衛星

除了光環以外，土星還有九顆衛星，與木星同佔衛星特多之優越地位。有人猜疑還有第十衛星，不過尙待證明。它們的大小以及離土星的遠近都很不相同。其中之一叫第坦（Titan）可以用小遠鏡望見；至於最小的只有在極有力的遠鏡中纔可看到。

第坦是惠更斯發現的，正當他找出光環的真實本性的時候。此中還有一個故事是從惠更斯的通信集刊佈後來的。這位天文家依照當時習慣想保障他的發現的優先權而又不讓人知道，便把這發現隱藏在一個謎裏。這個謎也是一些字母，排好了時可以告訴閱者土星的伴侶在十五日內環繞一週。這謎也送了一份給英國著名天文家瓦里斯（W. R. Wallis）。瓦里斯給惠更斯答覆除謝謝他的關心之外，還說他自己也有些話要說，因此也給了一些字母，但比惠更斯還要長。當惠更斯將

自己的謎向瓦里斯解釋了以後，他得到了瓦里斯的答覆卻大吃一驚，因為瓦里斯所解釋的自己的謎正是那同一個發現，不過當然是話不同而且長些罷了。後來纔知道這專門弄數目的瓦里斯想表示出這種猜謎辦法的無用，因而在看明白了謎意以後自己造了一個說同樣一件事的謎給惠更斯。

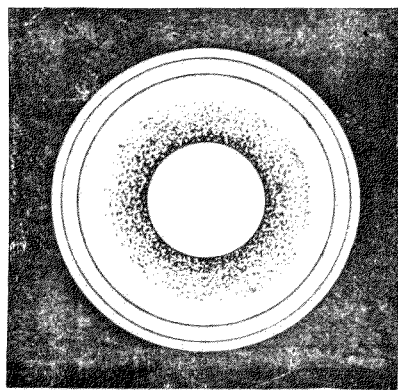
土星光環的各種變化

巴黎天文臺 (Paris Observatory) 創立於一六六六年，是渲染路易十四 (Louis XIV) 朝代的法國一大科學機關。加西尼便是在那兒發現了土星光環的環縫，知道光環實際分爲兩道，一在外一在內，卻同在一平面上。外層光環似乎又可以分而爲二，發現這一道縫的是恩克 (Encke)。因此叫做恩克環縫，不過其真實性質還有可疑。它決沒有加西尼環縫那樣清晰，只是一道輕影而已。

爲了把土星光環的各種變化狀態表示清楚，我們先畫一幅假如我們能够垂直的看它們（這是萬辦不到的）時的形狀。在第三十一圖中我們先要注意加西尼環縫，它把光環分而爲二。

一內一外，外環較窄。於是在外環上我們又看到那較不清楚的恩克環縫，這應該是比前者更不清楚更難看出的。內環上我們注意到它的裏邊漸漸陰沒，有一道灰暗的邊叫做『土星暗環』(Crape ring)。這是哈佛天文臺的邦德 (Bond) 第一個描寫出來的，許久以來都認爲是另外獨立的一道光環。但細心的觀測卻證明並不如此。這道暗環只是連接着外面的環，而外面的環也只漸漸移化到這環上去。

土星光環約向土星軌道平面傾斜二十七度，並且當土星繞太陽作公轉時仍保持其空間中的方向不變。這種情形可在第三十二圖中見到，那圖表示土星繞太陽軌道的遠觀。當土星在A點時，太陽光照在光環的北方(上方)。七年以後，土星到B點，光環的邊向着太陽。過B點以後，太陽光照在南方(下方)，偏斜度逐漸增加直到土星達到C點，那時偏斜最大，約有二十七度。以後光環對太陽方面的傾側逐漸

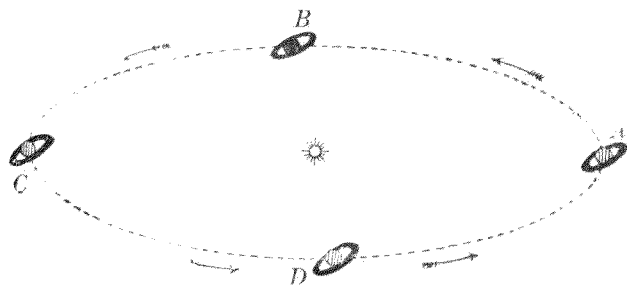


圖三一圖 垂直看來的土星光環

漸減小，等到了D點時，光環的邊緣又對着太陽了。從D點到A點再到B點，太陽光又射在北方。

地球比起土星來離太陽簡直太近了，竟使我們望土星光環都差不多好像從太陽上望去一樣。有十五年的期間我們可以看見光環的北面，在這期間的正中我們看它在最大角度上。再年復一年過去，角度便愈過愈小，光環也愈來愈以邊的方向對着我們，最後竟縮成一道橫過土星的線，或則也許完全消失不見。以後又漸漸展開，再過十五年再合上。在一九二一年不見一次，一九三六年又要不見一次。

我們有了這些光環真實形狀的概念就不難明白它們對我們的形相。這些光環在我們看來永在偏斜着，卻絕不超出二十七度角。土星及其光環的最常見的形狀是如第三十三圖所示。光環

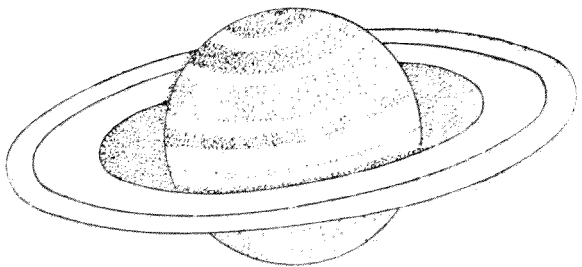


第三二圖 如何土星光環平面的方向不變

角度愈大時看來愈方便。那時看環縫與暗環最好。土星的暗影映在光環上現成一道缺口。經過土星上的黑道像是內環的邊的是光環投射在土星上的影子。

光環的本質

當大家公認我們在地上研究所得的力學定律也統治着天體運動時，土星光環又引起了一個謎。什麼使這些光環保持其位置的？什麼使土星不奔向內環而產生『天翻地覆』而毀掉整個美麗的組織呢？在觀測證據還未得到時，大家已明白光環決不是像看來一樣連成一片的了。它們在土星的偉大的吸潮力之下決不能保持連繫。它們卻是由一些像衛星一樣環繞行星的小物體構成的。這種見解非承認不可，可是久久得不到觀測的證據，一直等到歧勒 (Lohr) 纔用分光儀得到。他發現當



第三三圖 傾斜的土星光環

光環的光散成光譜時，暗光譜線都移動得表示出光環各部是用不同角速度環繞土星的。最外層繞行最慢；速度一直增加到最內層，而每處都等於該處若有衛星時那衛星的速度。

土星的衛星

惠更斯在宣佈了土星衛星第坦的發現以後，便慶賀太陽系的完成了。那時恰有七大七小，正符合一種魔數。但在以後三十年中加西尼便炸破了這個神奇系統，他又發現了四顆土星的衛星。以後又過了一百年，偉大的侯失勒 (Herschel) 又發現了兩顆。最後，第八顆在一八四八年經邦德在哈佛天文臺發現，第九顆在一八九八年經皮克林 (Pickering) 發現。

下面是一張表，其中有它們離土星的距離（以哩為單位）和公轉週期，以及發現者的姓名。

號數	名稱	發現者	發現年	對 <u>土星</u> 距離	公轉週期
1	Mimas	侯失勒 (Herschel)	1789	115,000	0 日 23 小時
2	Enceladus	侯失勒	1789	135,000	1 日 9 小時

3	Tethys	加西尼(Cassini)	1684	183,000	1	21
4	Dione	加西尼	1684	234,000	2	16
5	Rhea	加西尼	1672	327,000	4	12
6	Titan	惠更斯(Huygens)	1655	759,000	15	23
7	IHyperion	邦德(Bond)	1848	920,000	21	7
8	Iapetus	加西尼	1671	2,210,000	79	8
9	Phoebe	皮克林(Lickering)	1768	8,034,000	550	

這表中最可注意的是這些衛星的距離的相差太遠以及較內層四衛星的公轉週期間的關係。五顆內層的衛星彷彿是自成一羣。以後便是一大空隙，比五顆中最裏層一顆的距離還要寬；此後纔是另外一羣二顆，第坦與海帕郎(Hyperion)再過又是一空隙比海帕郎的距離還要寬，此後纔是亞帕圖斯(Iapetus)，最後纔是符伯(Phoebe)，差不多又遠了四倍。

公轉週期間的有趣的關係是第三衛星的週期幾乎恰好是第一顆的二倍；而第四顆又幾乎

是第二顆的二倍。還有，第坦週期的四倍幾乎正好是海帕郎週期的三倍。

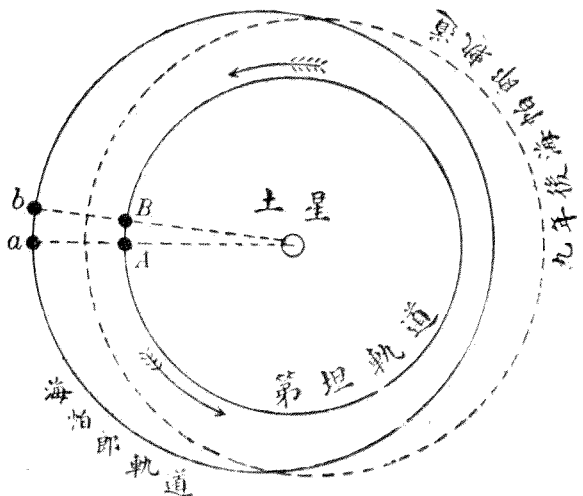
最後提到的這層關係的結果便是這兩顆衛星藉引力而互相加的極奇怪的作用。爲表明這一點，我們畫了一幅它們二者的軌道圖。兩者中較外的一顆，海帕郎的軌道是非常偏心的，這可由圖中看出。假定某一時候兩者正在一線上相合；較內較大的第坦在A點，海帕郎恰在外面的a點上。在六十五日以後，第坦環繞了四週而海帕郎三週，於是它們又在離上次很近但並不恰好的地方相合了。第坦將達到B點，而海帕郎到b點。第三次合的地方便在Bb線更上一點，依此例繼續下去。實際上這些合的相距比我們能在圖上畫出的比例還近的。在十九年中這相合點慢慢經過全圓周，這兩衛星復相合於A點。

這相合點繞着圓周慢慢移動的結果便是海帕郎的軌道，或更正確些說是它的較長的軸，也隨着這相合點轉，因此在兩軌道相離最遠的地方永遠有合的情形發生。圖中虛線便表示海帕郎的軌道怎樣在九年之內繞了半個圈子。

這種作用的有趣的一點便是據我們所知而言這是獨一無二的，全太陽系中別無這種情形。

不過，就土星的第一衛星與第三衛星，第二衛星與第四衛星而言，大概也會有與這很相類似的交互作用的。

構成這些光環與衛星的物質的交互吸引還有一更驚人的結果！除了最外兩衛星外，這些物體都恰恰在一平面上。太陽的吸引如果沒有阻礙的話，會在幾千年內將這些物體的軌道拉到不相同的平面上去，可是都還對土星軌道平面有同樣的傾斜。但是由於它們互相吸引，這些軌道平面都保持在一起，竟好像都緊緊依附著那行星一樣。還有值得注意的是最外層衛星繞行星從東往西轉，正如同木星的最外層兩衛星一樣。



第一四圖 第坦與海帕即的軌道及其間的關係

土星的物理組織

土星的物理的構成跟它的鄰居木星有很可注意的相似之點。它們也同樣以密度之小而引起注意，土星甚至比水的密度還小。還有一點相近的是自轉的迅速；土星繞軸自轉一週約需十小時十四分，比木星自轉週期略多一點。土星表面也好像爲雲狀物所變幻，很似木星，但較黯淡，因此不能看得同樣清楚。

我們說過的關於木星密度之小的大概起因的話也可同樣用在土星上。大概是這行星有一較小但質量較富的中心核，周圍爲極厚的大氣叢蔽，而我們所見的只是這大氣的外層而已。

第八章 天王星及其衛星

依離太陽的遠近算來，天王星是大行星中的第七顆。通常以爲這是一顆遠鏡中的行星；但一個目光銳利的人也很容易看見天王星而不用什麼人工的幫助，只要他準確知道在什麼地方找尋，以便不被那些無數同樣的小恆星所矇混。

天王星是一七八一年經威廉·侯失勒發現。他起先以爲只是一顆彗星的核。但它的運動立刻表示出並非彗星，不久那發現者也就知道這是太陽系的新補充上的一員了。他爲了要謝保護他的英王喬治三世 (George III)，便提議把這行星叫做 (Georgian Sidus)，這名字在英國差不多存留了七十年。有的大陸上的天文家認爲應該以發現者的名字叫它，因此常常稱之爲「侯失勒」。但一八五〇年以後，原由波特提出的「天王星」這名字成爲公用的了。

當這行星的軌道測定因而它從前所經的路程也可以追畫出來時，大家纔知道它約在百年

前就同前幾年一樣被看見被紀錄下來了。英國欽天監符蘭斯第 (Flamsteed) 擔任製恆星表時，已在一六九〇至一七一五年之間把它當作恆星紀錄了五次。更加奇怪的是巴黎天文臺的勒摩涅 (Lemonnier) 在兩月之內（一七六八年十二月及一七六九年一月）把它紀錄了八次。但他毫未比較研究自己的觀測，直到侯失勒宣佈發現新行星時，勒摩涅纔知道有一樁多麼高價的榮譽在他手中過了十年而他沒有得到。

天王星的公轉週期是八十四年，因此它在天空的位置一年一年沒有多少改變。

天王星的距離約比土星加了一倍。依天文單位說是 19.2 ，依我們日常計算是 $1,782,000,000$ 哩。

因為它有這樣遠，所以很難確然看出它表面的特色。在優良遠鏡中它現成一個略帶綠色的灰白圓面。有的天文家幻想着已在它表面上看出不清楚的情形。用分光儀做的觀測表示天王星在 10^8 小時中繞軸自轉一周，方向與衛星一致。

天土星的衛星

繞天王星旋轉的衛星共有四顆。外層兩顆可以用口徑十二吋以上的遠鏡看見；內層兩顆只有在最強的遠鏡中纔能看到。它們的名字以離天王星遠近爲序是：Ariel, Umbriel, Titania, Oberon。對天王星的距離從十一萬九千哩到三十六萬四千哩。

這些衛星的歷史有些特別。除了那兩顆較明的以外，侯失勒在一八〇〇年以前以爲他有時常瞥見另外四顆，因此約過了五十餘年之久大家都以爲天王星有六衛星。因爲在那些年中還沒有一架遠鏡能比侯失勒的更高明。

約在一八四五年，英國的拉塞爾（W. Herschel）擔任製造大返光遠鏡，於是產出了他的兩大遠鏡，口徑一是二呎，一是四呎。他後來把較大的一具運到馬爾塔島（Island of Malta）上去，想在地中海的晴明的天空作觀測。在那兒他和他的助手很仔細的考察天王星，得到結論說侯失勒所假定的候補衛星並不存在。可是另一方面卻有了兩顆新的，但離天王星非常之近，以前的觀測者決

不能看見。以後二十年間，這些新發現物體便被當時歐洲最好的遠鏡找來找去，結果找不到，有些天文家宣佈懷疑它們的存在了。但是到了一八七三年冬季，又被華盛頓海軍天文臺新完成的二十六吋遠鏡發現了，並且證明其運動正和拉塞爾的觀測一致。

這些物體的最可注意的特點便是它們的軌道幾乎垂直於該行星的軌道。結果，這行星軌道上便有相反對的兩點，在那兒衛星軌道以邊對着我們。當天王星靠近了這兩點之一時，我們便從地球上望見那些衛星彷彿自南而北又自上而下在行星兩邊縱跳，正像鐘擺的錘一樣。以後這行星逐漸前進，這種眼見的軌道也慢慢展開。過二十年後我們又垂直的看它們了。那時它們幾乎現成圓形，可是以後又隨着行星的進行而漸漸收小。上一次見到軌道的邊是在一九二四年，下一次要在一九四五年左右。

第九章 海王星及其衛星

以離太陽遠近爲序，海王星便繼天王星而來。它的大小與質量本和天王星相差不多，但它的距離卻是三十天文單位（天王星的是十九又十分之二），這便使它更黯得多而且更不易看見了。它是遠在肉眼可見限度以下的，但一架中等遠鏡可以使它現出來，只要觀測者能分別出那些固定於天空的無數亮度相似的恆星。

海王星的圓面只有在很有力的遠鏡中纔能看出。那時它帶有藍色或鉛色，跟天王星的海綠色顯然不同。因爲在這行星圓面上什麼標誌也看不到，所以它的繞軸自轉方式便絕不能由直接觀測而得了。用分光儀做的觀測顯出它的自轉週期是 10.8 小時。

一八四六年海王星的發現是被認爲數理天文學的最可注意的勝利的。當任何其他證據都沒有時，它的存在已由它加於天王星的吸引而被知道了。引起這件發現的歷史極爲有趣，因此我

們要簡單的敘述一下其中要點。

海王星發現史

在十九世紀最初二十年間，巴黎的波伐（Bouvard），著名的數理天文家，準備造成木星、土星、天王星（當時認為最外層的行星）的運動新表。他根據拉伯拉斯的算法得出這些行星由互相吸引而生的誤差。他很成功的使他造出的表適合木星、土星的觀測所得的運動，但要造成適合天王星的觀測所得的運動的表，所有他的努力都沒有效果。如果他只管從侯失勒以來所做的觀測，還可以勉強對付過去；可是絕不能適合當這行星被認做恆星時的符蘭斯第及勒摩涅的從前的觀測。因此他放棄了舊的觀測，把軌道照新觀測排好，發表了他的表。但不久便發覺這行星又出了它被算定的位置了，於是天文家都驚奇以為其中必有故事。不錯，這一點誤差依肉眼的標準看來是很微小的；事實上假如有兩顆行星一在真位置一在算出的位置，肉眼是不能把它們分而為二的。但是遠鏡中卻要分得很清楚了。

這種情形一直維持到一八四五年，這時巴黎的勒威耶忽想到這誤差也許是由於天王星之外的一未知行星的吸引。他便開始計算要產生這誤差那行星一定在什麼軌道中運行，以後把所得結果提交法國科學院。這是一八四六年夏季的事。

恰巧在勒威耶開始工作之前，一個劍橋大學的英國學生亞當士 (John C. Adams) 也有同樣的意思，也做了同樣的工作。他得到結果甚至還在勒威耶之前，也把結果提交英國欽天監。兩位計算者都算出了當時未知行星所在的位置，因此如果能將這行星從恆星中分出，那就只消在指定區域內尋找便可發現新行星了。但是不幸那時欽天監的艾雷 (Airy) 不大相信這回事，而且不以爲這樣費事去尋覓會有可靠的機會。這樣一直到勒威耶的預言出來纔引起了他的重視，而兩位計算者所得結果之相近也受到了注意。

尋覓新行星的問題現在成立了。劍橋大學的蔡立士 (C. L. Lyell) 在那一星區中作了很澈底的觀測。我必須解釋一點：用那時的不完善的工具來從周圍無數恆星中尋出一顆那樣微小的行星並不是容易的事，而必須先反覆決定若干次儘可能的多數星的位置，爲的是由比較這些觀測

纔能決定其中是否有一顆移動了位置。

當蔡立士正進行這工作時，勒威耶寫了一封信給柏林天文臺的伽勒，告訴他這行星在恆星中的被推定的位置。恰巧那時柏林的天文家正好完成了一幅一部分天空的星圖，而該行星便是推定在這部分天空中。因此就在接到信的當天晚間，這些天文家便拿起星圖到遠鏡下去，想找找看是否遠鏡中有不見於星圖中的物體。這物體不久就發現了，而且把它的位置和周圍恆星比較，彷彿它也有輕微的移動。但伽勒之爲人是異常謹慎的，他要等第二晚間來證實他的發現。第二晚發現那星已移動了很多，竟絲毫不容置疑了，於是他寫信給勒威耶說這顆行星確實存在了。

這新聞傳到英國以後，蔡立士便去檢查自己的觀測，發現他實際上已經將這行星觀測過兩次。不幸他未曾把自己的觀測比較研究，以致到了人家在柏林認出之後纔知道。天文家將發現海王星的榮譽給了勒威耶和亞當士兩人。

不用說這新發現的行星是要被全世界的天文家所觀測了。拉塞爾不久便發現海王星有一顆單獨的直徑約有三千哩的衛星陪伴着。

這衛星離海王星約二十二萬哩，幾乎跟月亮離地球差不多；可是它的公轉週期只是五日二十小時，這表示海王星的質量比地球大十七倍。

這衛星自東而西旋轉，軌道近圓形，向海王星赤道傾斜二十度。在約六百年間，這軌道不改傾斜度，向東方輕移一周。這種退行是由於海王星赤道部分的隆起。關於這退行速度的觀測使我們能算出海王星赤道部分隆起的多少；這爲量卻小得不能從遠鏡中所現出的遙遠的海王星的小圓面上斷然看出的。

赤道部分隆起便暗示它的自轉。這隆起量和我們已知的這行星內部情形連起來恰做了關於自轉週期的證據。但在這一方面，分光儀卻更易解決。從海王星的光譜的斜率中，立克天文臺的摩爾 (Moore) 在一九二八年推出這自轉週期是 15.8 小時。自轉方向是從西到東。

第十章 冥王星

剛纔所說的海王星的發現，還沒有把天王星出錯的問題完全解決。連海王星加的吸引也算上，天王星還是不忠實依從它的新軌道。不錯，算得的與測得的位置之間的差異已經小得多了——實際上已經小得使許多天文家心中以為說還有未知行星負責的話很不可靠了。如果有新行星存在，發現的問題就更困難，因為一則天王星運動誤差太小，二則新行星在遠鏡中也一定是黯淡不明的物體。

在亞利桑拿的天文臺中的洛威爾也是努力關於這問題的工作的一人。他計算出可能的海王星外行星的軌道。以後他和洛威爾天文臺的其他天文家便進行用遠鏡搜尋。這搜尋是用的攝影方法。先把推定新行星存在的一塊天空攝得一些照片。過幾天再在同一區內攝取另一些照片與先攝得的相比較，以決定有沒有恆星改動了位置。如果有，這便決不是顆恆星，只是行星；如果走

運的話，許就是正找尋着的行星。

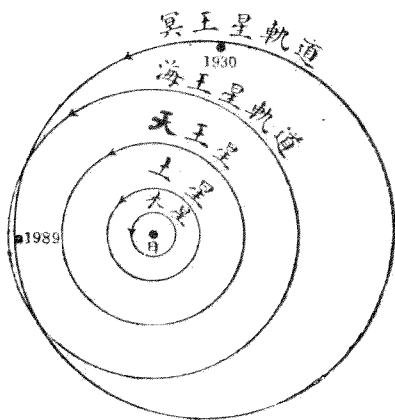
洛威爾死於一九一六年，但這搜尋卻依然繼續不斷。其中有過許多次的失望，因為有許多小行星——大半在火星木星軌道之間運行的小行星——都很像恆星卻也以運動與恆星相異。在找尋的過程中曾發現照片上有許多移動的物體；但過些時又證明是小行星而不是天文家搜尋的更遠的行星。一九三〇年一月間，照片中又出現了一顆移動物體，而且它移動得很慢，很够比海王星更遠的條件。這是在雙子座的 δ 星附近。這究竟真是所尋找的行星，還是不過另一顆停滯了正常的迅速運動的小行星呢？時間會告訴我們的。這物體便一夜接一夜的經了熱心的守候。它並不加快運動。搜尋完成了，新行星發現了。這發現在一九三〇年三月十三日宣佈的；發現者是湯苞 (C. W. Tombaugh)。

接着便在舊天空照片中仔細找尋新行星發現前的紀錄。找出了好些幅，一直迴溯到一九一九年。這種有價值的紀錄發現便給了我們計算行星軌道必需的東西。它繞太陽公轉的週期是二百四十九年，而對太陽的平均距離約為地球距離的 39.6 倍。

平均說來，這海王星外的行星是在海王星外九萬萬哩。但是它的軌道離圓形還遠得很——事實上比其他任何主要行星都更甚——竟切入了海王星的軌道。那麼，有無撞碰的危險呢？絕沒有。因為這海王星外的行星的軌道非常傾斜，所以，雖則它有時比海王星更遠有時又更近於太陽，它們兩者之間的最小距離卻是二萬四千萬哩。

新行星定名為冥王星 (Pluto)，這有兩層適合。一則這名字的前兩字母 P L 正好是洛威爾 (Perival Lowell) 的縮寫，洛威爾是亞利桑拿的弗拉斯塔夫的洛威爾天文臺的創立人，這次發現便在那天文臺上。二則命名的人以為冥王正是更外面的黑暗

世界的王。但原來意義倒是陰曹地獄的王，而那兒卻不見得特別黑暗的。也許最近一個天文家提出的「海后星」(Amalthea) 更好些，因為那是海王的妻子。冥王的名字就可以留給也許還有



第三五圖 冥王星的軌道

的更遠的行星了。但這是小事。

可是冥王星自身情形怎樣呢？它的大小和質量倒更像地球而不太像它那些近鄰的巨人行星。它現爲只在大遠鏡中纔可看見的黃色星。它的表面以及它的大氣的詳情現在還屬未知之列。有一點卻是一定的。那兒的溫度一定非常之低——低得絕不允許生命存在。在冥王星上看來太陽只是一大光點，光度不過比我們的滿月之光大三百倍罷了。無疑問的那兒不是樂土。

可是現在這故事的最有趣的一部分來了。由照片的研究一發現了新行星的存在，天文家便馬上開始計算它的軌道與大小。結果證明它非常之小，也許只有地球的十分之一大。那麼難道它的存在可以如洛威爾猜想的引起天王星運動的變化嗎？平常人可以猜，但細心的計算卻可以給我們一個決定的答案。這種工作的最大部分是由我們的關於這方面的現存最高權威，耶魯大學 (Yale University) 的勃朗教授 (Prof. Ernest W. Brown) 擔任了的，他的研究給了一個確切的答案。他發現冥王星給天王星的影響很小，小得如他所說『不能像洛威爾那樣由它加於天王星的影響而計算推斷出它的存在。』

洛威爾的計算只有理論的趣味了。他的實際的功勞只是用他的私產創立並且輔助了一座天文臺，這天文臺參加了普通的天體攝影研究，又特別爲了發現新行星而加意搜索攝得的照片。在他死後好久，這特殊物體纔找到了。因此我們知道了還有另一大行星的存在，於是可以更充分了解全太陽系。冥王星之外是否還有行星呢？也許有罷。只有將來能夠知道了。

第十一章 太陽系的比例尺

測定天上距離的方法和工程師測定一樣不能達到的東西（例如山峯）的方法相仿。取A點及B點爲基線以測定第三點C。工程師把儀器放在A點測定B C間所成的角。再放在B點測定A C間的角。因爲三角形三內角之和永遠是一百八十度，那麼從中減去A角B角之和便可得出C角了。我們立刻便可看出C角是和基線相對的，正是在C點的觀測者的所見。這角度通常稱爲「視差」(Parallax)。這便是從A點看C點和從B點望C點的方向差異。

我們又可立刻看出，對於基線而言，物體的距離愈遠視差愈小。到某一定長距離以外，它便要小得使觀測者看不出來了。那時怎樣看來B C線與A C線都是同樣的方向了。這種看不出視差來的距離當然也要看測量的精確與否以及基線的長短的。

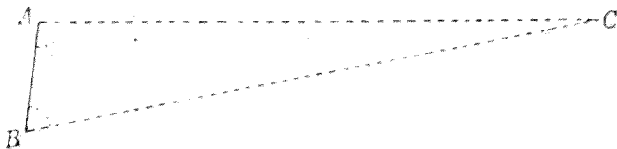
月是一切天體中最近的，因此有最大的視差。這角幾乎有了一度，如果以地球赤道半徑做基

線的話。因此月的距離的測定便可達到最精確的程度。甚至生在紀元後一二百年的多祿某 (Holiemy) 都能測出了大致準確的月的距離。但太陽及行星的視差就小得需要較精良的儀器了。

測量中基線的兩端可以是地球上任何二地——譬如說格林維基和好望角兩地的天文臺。在我們已說過的金星凌日的時候，有一些在地球上不同地域的處所可推出金星凌日開始和完成時的方向。這種測定距離的方法叫做『三角測量法』(triangulation)。

這樣說的三角測量法只是供對本問題中一般原則的了解而已。實際視差的測定需要聯合一些極複雜的觀測，這是本書不能細論的，但其基本原則卻只如上面所說。

爲了得出全太陽系的大小，我們只要知道某一定時間任何一行星對我們的距離。火星和愛神星特別適於決定這比例尺。所有行星的軌道及運動都



第三六圖 用三角測量法測不能達到的物體的距離

儘量精確的畫成圖了，可是把這圖放在面前我們便如同一個人有一幅極準確的某國地圖，上面卻沒有哩數比例尺。因此他便不能量出圖中此點到彼點的距離，除非他知道了那比例尺。天文家所需要的正是這種太陽系圖的比例尺，而直到現在即使用最精良的儀器還沒有達到他所企求的準確。

這要得到的基本單位便是已經說過了的——地球到太陽的平均距離。測量視差決不是測定這距離的唯一的方法。過去百餘年中還發展了一些其他方法，其中有些同視差的最好的測量同樣精確，也許還更加精確呢。

利用光的運動的量度

這些方法中最簡單顯著的方法之一便是利用光速度。當地球在軌道中不同點時所做的對木星衛星的蝕的觀測，使我們知道光經過與地球太陽之間相等的距離需時約五百秒。這種測定還有一種方法，便是利用星的光行差。這就是說星因了地球及藉以見它的光線聯合運動而生的

方向的微末的改變。結果得出光從太陽到地球須經時 498.6 秒。因此，如果我們能知道光在一秒鐘內所行的速度，我們便可用 498.6 來乘得太陽的距離了。依邁克爾孫 (Michelson) 最近的量度，光速度是每秒 $186,284$ 哩。再用 498.6 乘，我們便得出約有 $92,900,000$ 哩，這便是從地球到太陽的距離。

利用太陽引力的量度

測定太陽系比例尺的第三方法便是太陽加在月亮上的引力的量度。這種引力的效應之一便是，當月亮進行環繞地球的公轉時，在上弦期它約在平均位置之後兩分鐘多一點，到望月時便趕上又超過，於是在下弦期它又在平均位置之前兩分鐘了。到朔時它再落後到平均位置上去。這樣便有一種盪動與月繞地球的運動相調諧。這盪動的量恰和太陽的距離成反比例。因此，量度出這量來便能決定那距離了。

第四種方法仍依賴引力。只要我們曉得了地球質量與太陽質量間的確切的關係；這就是說，

如果我們能够精密測定太陽比地球重多少倍，我們便能够算出地球必須離太陽多麼遠纔會環繞它每年一周。因此唯一的困難便是稱出地球的重量來和太陽相比較了。辦這事的最準確的方法是找出由地球的吸引而生的金星軌道的變動。利用一七六一年，一七六九年，一八七四年，一八八二年金星凌日而比較金星軌道位置的結果，我們發現它有一種前行運動，這便顯出太陽的質量比地球月亮聯合起來還要大 $332,600$ 倍。於是我們又可有另一種方法計算太陽的距離了。

量度太陽距離的結果

由上述及其他方法便得出了太陽的『地心視差』(geocentric parallax)，這就是說，由地球中心和赤道一點望來的日出日沒時太陽中心方向的改變。這是 $8''.80$ 強。這一點移差是微小得不能被肉眼看出了，但在遠鏡中還是很易見到的角度。因此從太陽上望地球，肉眼看來只是一光點，而遠鏡中看來卻是小圓盤了。

知道了太陽的視差和赤道部分的地球半徑，要算出太陽的平均距離只是很簡單的事了。這

距離的最可靠的值是 92,900,000 哩弱。

以哩數計，太陽到地球的距離似乎大得出奇了。當然這確是不小。以光速度或無線電傳遞速度計，這只是八分鐘多一點，而最近的恆星距離卻已超過四光年了。在最近的恆星上看來，太陽只是一顆星，而地球便用我們最大的遠鏡也看不出來了；即使能見到，也非用最大的遠鏡不能把太陽地球分開。這兩者之間的距離，在我們看來有這樣廣大，卻只能造成不到一弧秒的角度。

地球到太陽的平均距離便是所謂『天文單位』(astronomical unit)。它便成爲太陽系全圖的比例尺，我們藉此測定其他行星的距離。此外，它還是量度太陽系以外的恆星及其他天體的距離的一根大基線。爲了這一點，天文家曾用各種可能的方法以求把這距離量得極其準確。

第十一章 引力與行星的稱量

我們已經知道了一點關於行星環繞太陽軌道的情形；但是遵從軌道卻並非行星運動的基本定律；行星運動卻只是受萬有引力支配的。引力定律依牛頓說法便是，宇宙間物質的每一質點都吸引着其他質點，其力量正與其間距離的平方成反比例。所有別的自然過程都要受冷熱時地，其他物體的存在或不在，等的影響或改變。但是還沒有一件人所能加於物質的作用可以把物質的引力改變到最輕微的限度。兩物體互相吸引的量完全相等，不管我們怎樣對付它們，不管我們在它們中間加什麼障礙，不管它們的運動有多麼迅速。

行星的運動是受它們的引力支配的。即使只有一顆行星環繞太陽，它也一定要繼續轉下去，而且這只是爲了太陽的吸引的力量。用純粹數學的計算可以知道這樣一顆行星必繞成橢圓形的軌道，以太陽爲一焦點。它一定要遵這橢圓軌道一直永遠旋轉下去。但依照定律，這些行星又必

須互相吸引。這種互相吸引比起向太陽的吸引來差得多多，因為我們太陽系中的行星的質量比那中央物體小得多的原故。這種互相吸引的結果便是行星錯出了橢圓軌道。它們的軌道與橢圓形確乎非常相近，但是並不絲毫不差。而且這行星運動的問題又是一樁純粹數學的表演。從牛頓以來這問題便佔領了世界上最能幹的數學家。每一代都研究並修補前代的工作。牛頓後一百年，拉伯拉斯與蘭格倫日（Lagrange）引申出對於行星橢圓軌道的形式位置變動的更完善的解釋。這些變動可以在幾千年幾萬年甚至幾十萬年以前預算出來。因此我們知道地球繞太陽軌道的偏心率現在正在縮減中，而且還要縮減下去約四萬年。以後又再增加，以致再過萬千年後要比現在的更大起來。其他行星也有同樣情形。它們的軌道也在數萬年中往復改變形狀，正所謂『永恆的大鐘』計算年代如同我們計算秒一樣。『假如不是數理天文家預言現在的行星運動有驚人的準確，讀者也許很有理由懷疑這對將來萬千年預言的正確性了。這種準確的得來是由於測定的每一行星加在其他行星運動的影響。我們要預算這些物體的運動，不妨先假定它們都在固定的橢圓軌道中繞太陽旋轉（這是如果沒有其他行星吸引時的情形）。我們那時的預言便常常出

錯，差錯的程度約可到一度的很大的分數；也許在長時間以後還要更大。

但是將所有其他行星的吸引加上以後，這種預言的準確竟使最精細的天文觀測也幾乎不能顯出可察見的誤差了。前面說過的海王星的發現史便供給我們一個所有關於這種預言的可靠的、最驚人的例證。

如何稱量行星

我現在要努力告訴讀者一點數理天文家得到上述結果的情形了。他當然要知道每一行星加在其他行星上的吸引，這是與發動吸引的行星的質量成正比例的。『質量』這個字常常用來表示物質的量，而在我們周圍的地球表面上便幾乎有和『重量』一樣的意義。因此我們可以說，當天文家測定行星質量時，他是把行星稱了一下。他做這件事正和屠夫在彈簧秤上稱牛腿用的是同一原理。當屠夫提起牛腿時，他感到牛腿向地球去的拉的力量。當他把牛腿掛上鉤時，這拉的力量便從他的手上移到秤的彈簧上去了。這拉力愈大，彈簧也拉下愈多。他在標尺上看出的數目正

表示這拉力。你們知道這拉力只是地球加在牛腿上的吸引。但依力的一般定律說，牛腿吸引地球跟地球吸引牛腿的力恰好相等。所以這屠夫實際上做的事只是去發現牛腿吸引地球的力有多麼強，而他把這吸引的力叫做牛腿的重量。應用這同一原理，天文家發現一物體的重量的方法，也便是去發現它加在別一物體上的吸引力。

把這原理應用在天體上的時候，我們立刻便遇到一件似乎不可超越的困難。我們決不能跳上天體去稱它們。那麼我們如何能測出它的吸引力呢？我在答這問題之先，必須更準確的解釋一下一件物體的『重量』與『質量』的分別。物體的重量在全世界各處是不相等的。在紐約稱來三十磅重的東西，到格林蘭 (Greenland) 的彈簧秤上要多出一盎司（英兩）來，而到赤道上又差不多要少去一盎司。這是因為地球並非完善的球體，卻有些偏扁，而且也因為它在旋轉着的原故。因此重量便隨地域而不同了。如果把一隻三十磅重的牛腿拿到月亮上去稱的話，那拉的力量便只有五磅了，因為月亮比地球要更小更輕。但是放在月亮上的那塊牛肉和在地球上時是一樣多的。到火星上又有一重量，到太陽上又有一重量（那兒差不多要變八百磅的。）因此，天文家下

說一顆行星的重量，因為重量是隨稱的方面不同的；他卻只說一顆行星的質量，這意思是那行星有多少量，不管你在什麼地方稱它。

同時我們可以（這不會有任何差訛的）一致承認一天體的質量以它在某一公認地點（譬如說紐約）稱得的重量為準。既然我們連想像中也不能把一顆行星搬到紐約來，因為它也許比地球自身還要大，那麼我們所能想像的只是：假定這行星可以分做若干同等份，把其中一份拿到紐約來稱一下。我們那時便可以容易發現它的重量的磅數或噸數了。這便是天文家當做行星的質量的。

利用這些解釋，我們再看地球的重量是怎樣發現的。我們應用的原理是，同比重的球體吸引它們表面上的小物體的力量與發生吸引的物體的直徑成正比例。舉例說，一直徑二呎的物體吸引比直徑一呎的大一倍，直徑三呎的是三倍，依此類推。好了，我們的地球是直徑四千萬呎，便是四呎的一千萬倍。因此，如果我們做一個直徑四呎的小地球模型，使它恰有地球的平均比重，它的吸引力便恰是地球的一千萬分之一了。我們曾在論地球的一章中說明這樣一個模型的吸引力

怎樣測量，並且說過全地球的質量是同樣大小的水球的五倍半了。於是這質量便是已知量了。

現在再說到行星。我已經說過一天體的質量或重量是由它加於另一天體上的吸引而定的。測量行星吸引力有兩種方法，一是測出它加在隣行星上使它們移出單獨行時應有的軌道的吸引力。量出那誤差，我們便可測定吸引的量，由此得出該行星的質量。

讀者會立刻明白，這樣得出結果所必需的數學計算是非常精細而且複雜的。對於那些有衛星圍繞的行星卻可以有更簡單得多的方法，因為那行星的吸引力可以從衛星的運動上測定。運動第一定律告訴我們，一運動物體如無其他力加以作用定依直線進行。因此，如果我們看見一物體依曲線運動，我們便知道定有他力加以作用，而這他力的方向便是曲線曲向的方向。一件親切的例證便是手中拋出去的石頭。假如石頭不被地球吸引，便要依拋出的路線一直進行，完全脫離地球。但在地球的吸引下，它一面前進一面被拉下去，直到最後到了地上。這石頭拋出得愈快，當然使走得愈遠，而它的路徑的曲線掠過的地方也愈大。如果是一顆槍彈，它的前一部分曲線幾乎要成爲直線了。如果我們從高山頂上水平的放一枚礮彈出去，速度每秒五哩而且不遭空氣的阻礙，

它的路徑的曲度一定和地球表面一致，因此這礮彈永不能達到地面，卻繞着地轉像在自己軌道中進行的小衛星一樣。這件事如果辦成功了，天文家知道這礮彈速度後便能算出地球的吸引力。月亮是一顆衛星，它的運動正像那礮彈一樣，一位在火星上的觀測者也能在量出月的軌道後測定地球的吸引力，正如同我們從實際觀測我們周圍落下的物體來測定它一樣。

於是，對於一顆像火星或木星一樣有衛星環繞的行星，地球上的觀測者便可從它加在衛星上的吸引而測定它的質量。這計算法則是非常簡單的。行星衛星間距離的立方用公轉週期的平方一除，商數便與行星質量成比例。這條定則可以應用在繞地球的月的運動和繞太陽的行星運動上。如果我們用一年的日數三百六十五又四分之一的平方來除地球到太陽的距離九千三百萬哩的立方，就可得出一商數。我們姑把它叫做太陽商數。如果我們用月亮公轉週期的平方來除月亮到地球距離的立方，又可得另一商數，我們可以叫它地球商數。太陽商數約比地球商數大出三十三萬倍。因此使得結論：太陽質量一定比地球質量大三十三萬倍；要這麼多地球總能造成一個太陽那麼重的物體了。

我說這算法只是爲的表明這條原理；決不要認爲天文家正是照這樣辦，只要做簡單的算法就夠了。在月亮地球的情形中，月的距離受太陽吸引的影響而變動，因此它們的實際距離是一個變動的數量。因此天文家實際做的找出地球吸引力的方法是觀測在不同緯度地方定秒的鐘擺的長短。以後用極精細的數學方法可以極準確的發現離地球某一定遠近的小衛星的旋轉週期，由此得出地球商數。

但是我說過我們必須由衛星來找出行星的商數的；幸而其他衛星的運動受太陽吸引的改變比月亮小得多。這樣，當我們計算火星的外層衛星時，我們發現商數是太陽商數的 $\frac{1}{3,085,000}$ 。

由此我們斷定的火星的質量便是太陽質量的 $\frac{1}{3,085,000}$ 了。同樣發現了木星質量是太陽的

$$\frac{1}{1,047} \text{ 土星是 } \frac{1}{3,600} \text{ 天王星是 } \frac{1}{22,700} \text{ 海王星是 } \frac{1}{19,400}$$

我所說的只是天文家解決這問題的大原則。他的工作的基底只是萬有引力定律。這定律由二百餘年的數學推演達到今日的境地，而距完善還很遙遠。測定一顆衛星的距離並不是一晚

間可以做到的事；這需要若干月以至若干年的耐性的工作，而結果還不能如天文家所願的那樣準確。他儘力去做，暫時以所得結果爲滿意，再進行改善他的工作，而這改善是他永遠試驗着，永遠得到不同的成績的。

第五編 彗星與流星

第一章 彗星

彗星與我們以前所研究的天體不同的地方在其特殊的形狀，偏心的軌道，出現的稀少。其組織的問題至今還有相當神祕，但這絕不減損其出現時所引起的興味。一顆明亮的彗星可分三部，但並不清楚分開，卻是互相連合成一氣的。

首先，我們肉眼所見的是一顆星狀物。這叫做彗星的核。

包圍這核的是雲狀的模糊一塊，正像一團霧，漸漸的一直淡到邊上，我們竟不能確定它的邊界。這叫做『彗髮』(coma)。核與髮在一起合稱彗星的頭部，看來好像是一顆星從一塊雲霧中發光一般。

從這彗星展開來的是尾部，它的長短幾乎是各色各樣都有。小彗星的尾部可以小到無可再小，最大彗星卻可以佔據天穹的大部。接近彗星頭部處窄而且亮，離頭部愈遠便愈寬愈散漫。因此它是多少帶有扇形的。到末尾時它消隱得非常模糊，簡直與天連成一片，很難說眼睛可以追蹤到什麼地方。

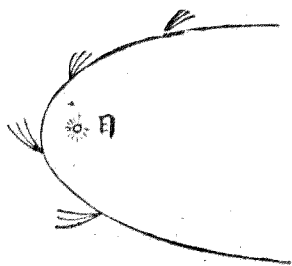
彗星的亮度互相有極大的不同，不管其中較亮的可以有多大的光彩，而大部分還是肉眼看不見的。但在遠鏡中的彗星以及明亮的彗星之間並不能劃分很寬的界限，只有從最暗到最明的一道規則的光度表。有時一顆遠鏡中彗星竟沒有可見的尾部；這卻只是在最黯淡的時候纔如此。有時卻又幾乎完全沒有核。所有能見的只是一小團霧狀物，像輕雲一片，中央略為亮些。

從歷史紀載中看來，一百年中肉眼可見的彗星約有二十至三十顆。但用一架遠鏡搜索天空時，卻發現這種物體多得出乎意外。每年都有勤勞的觀測者發現一大批。無疑問的，這數目大半依靠機會以及搜索的技術。有時一顆彗星被幾位觀測者各不相謀的發現。這時便要以那第一個在某一定時內正確定出彗星位置並且電告天文臺的人為發現者。

彗星的軌道

在遠鏡發明後不久就發現彗星也和行星相似是循着環繞太陽的軌道運行的。牛頓爵士證明它們的運動也正和行星運動一樣受太陽的引力支配的。其間的大不同處是它們並不像行星一樣軌道是近似圓形的，它們的軌道卻延展得大半都不能測定其遠日點或說另外一端在何處。我們下面要對彗星軌道的性質和支配它們的定律略加解釋。

牛頓證明一切在太陽引力影響下運動的物體都永遠畫出圓錐曲線。這曲線有三種：橢圓、拋物線、雙曲線。第一種是人所共知的自身屈曲相合的曲線。拋物線和雙曲線卻不如此；它們都以兩支線遠遠延長出去。拋物線的這兩支線在更遠處可以差不多得到同一方向相合，但雙曲線的兩支線卻永遠相離分。



第三七圖 彗星的拋物線軌道

心中記清了這三種曲線，我們再假想地球在軌道中某一點上把我們放棄了懸在空中，我們這行星使單獨進行直到一年以後再來到我們腳下載起我們來。在我們脫離了地球以後，我們便以放槍來消遣時光，使我們的槍彈也像小型行星一樣環繞太陽。所有我們放出的槍彈中，凡速度在地球以下的，便是說每秒速度不到十八哩半的，都要繞太陽依自身合攏卻比地球軌道小的路線運行，並不管我們對什麼方向放射去。這中間還有一條很簡單且很奇特的規律，就是凡速度相同的，軌道的週期也必相同。所有用和地球相等速度放射出去的槍彈都要一年環繞一周，而且在同時齊集它們的出發點。如速度超出了每秒十八哩半，軌道便比地球的大，而且速度愈高，公轉週期愈長。速度超出了約每秒二十六哩，太陽的吸引便收不住它，而這槍彈便要依了雙曲線的一端而一去永不回了。不管我們對什麼方向投射都會發生這種情形的。因此在離太陽一定遠近的地方便有一定的速度限制，只要速度超出了這限制，彗星便要離開太陽不再回來了；而如果不這限制，它還是一定會回來的。

離太陽愈近這種速度限制愈大。它是和到太陽距離的平方根成反比例的；因此遠了四倍便

只有一半了。發現空間中任何點的速度限制的定則是極簡單的。這便是取行星在圓形軌道中經過這點的速度再以2的平方根(1.414……)去乘。

因此如果天文家能從觀測中發現一顆彗星經其軌道中一已知點的速度，他也可以測定這彗星能離太陽最遠的距離和它回轉的週期了。把這彗星可見期中的觀測細心比較一下，他大概可得關於這問題的確定的結論。

事實上還沒有見到一顆彗星的速度確然超出了上述限制的。不錯，有些觀測中可以算出些微的超出，但這種超出還不比觀測此類天體應有的誤差更大。大半速度都和限制非常接近，竟很難說是超出或不到。因此這彗星便無疑的要飛到無窮的遠處去，要過幾百年幾千年甚至幾萬年纔能回頭了。有的彗星的速度卻又比限制差得很多。這一類彗星的公轉週期較短，因此稱爲「週期彗星」(periodic comets)。

依我們所知說來，大部分彗星的運動的歷史都屬這一類。在我們看來，它們好像從不知何處的遙遠的空間中飛來落在太陽上面。如果一顆彗星對準了太陽飛去，它便要落進太陽去的，但這

種情形不但到現在未見發生，而且依我們下面說的理由也決不會有希望發生的。彗星愈接近太陽，速度愈加，循更大的曲線繞中央物體旋轉，再依由此而生的離心力飛開來回到無窮空間中去，去的方向差不多和來的方向相同。

因為這種物體的黯弱無光，即使在遠鏡中也只有當它在軌道中近太陽部分纔可看見。這便是決定許多只見一次的彗星的準確週期非常困難的原故了。

哈雷彗

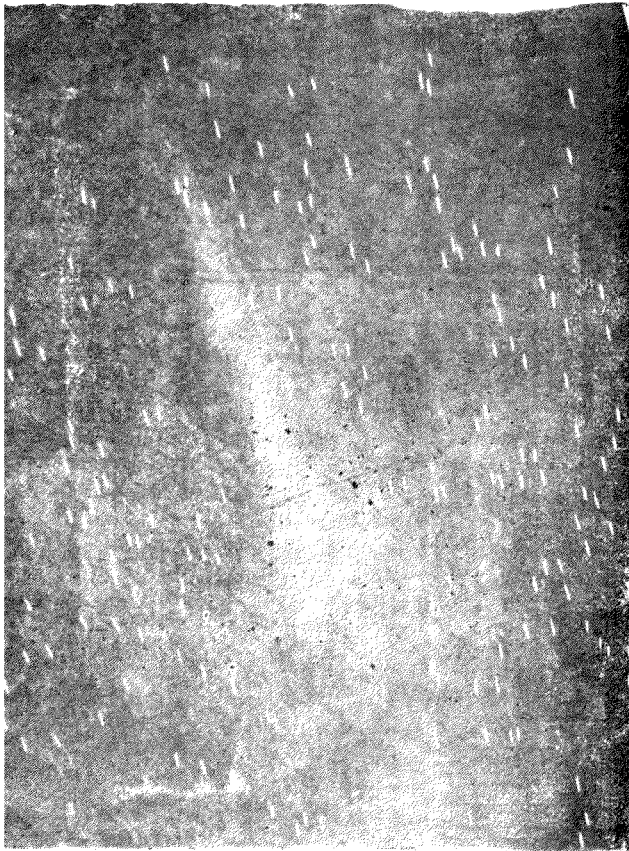
這些物體中第一顆被發現依規則週期而回轉的是天文學史上著名的哈雷彗 (Halley's comet)。這彗星出現於一六八二年八月，約被觀測了一個月方纔隱沒。哈雷竟能根據觀測所得計算出它的軌道要素。他發現正和刻白爾在一六〇七年觀測的一顆明亮的彗星的軌道特色相合。兩顆彗星會恰好在同一軌道中運行看來是絕不會有的事。哈雷因此斷定這真實的軌道必為橢圓而這彗星定有約七十五年的週期。如果真是這樣，它一定會隔七十五年出現一次。

於是他從許多年代中減這週期看是否有彗星出現的紀載。從一六〇七減去七十五得一五三二。他發現確有一顆彗星出現於一五三一年，他也很有理由認這是那同一軌道中的彗星。再從這一年推上七十五年，便是一四五六年。一四五六果然又有一顆彗星出現，並且這顆彗星會使基督教國家非常震恐，以致教皇加里斯都三世（Calixtus III）下令祈禱避災，一則抵制這顆彗星，二則抵制正向歐洲進攻的土耳其人。那『教皇下諭制彗星』的傳說大約即指此事。

更古的歷史中還可發現這顆彗星的可能的出現，但哈雷不能證實確是這彗星，因為缺乏詳密的紀載。但這四次觀察詳細的年月，一四五六、一五三一、一六〇七、一六八二，卻使人很有根據推測這彗星在一七五八年還要回到太陽邊來。當時法國最優越的數學家克來霍（Clairaut）又算出了木星土星加於這彗星軌道的影響。他發現這種影響要使這彗星延遲到一七五九年春季纔能回返近日點。它果然依這預言出現而且確實在那年三月十二日經近日點。

哈雷彗下一次過近日點在一八三五年十一月，再下一次在一九一〇年五月。這次出現在五月初黎明前東天中呈露耀目的光彩。五月十九日這彗星恰從地球太陽之間經過，再過兩天它的

尾部便要掠過地球。但屆時任何情形也未觀測到。約到一九一一年七月間這彗星已退行極遠，連遠鏡中也看不見了。現在它已出了海王星軌道以外，還要在外邊過三十年，到一九



第三八圖 一九一〇年的哈雷彗（葉凱士天文臺攝）

四八年經遠日點。哈雷彗回到近日點在一九八五年。那時它無疑問的又要成爲肉眼所見的奇觀的。

消失不見的彗星

一七七〇年六月經法國天文家勒克塞(Lexell)發現了一顆有特殊趣味的彗星。這星不久就可被肉眼看見了。它在一橢圓軌道中運行，週期約只有六年。因此它的回轉使大家深信不疑的預言了，可是它卻絕未再現。其中原因很迅速的就發現了。當它六年後回轉的時候，正好在太陽那一邊，所以看不見它。再過去繼續公轉時，它必須正從木星鄰近經過，而木星的有力的吸引使它改了新軌道，於是再也回不到遠鏡能及的範圍以內了。這也便解釋了何以從前也未曾見過它。在勒克塞發現它以前，它也正從木星附近經過，木星把它投入了與前不同的軌道。就這樣，我們系統中的這巨人行星簡直可以說是先把這彗星在一七六七年拉過來，使它到太陽附近，讓它繞太陽轉兩個圈子，又在一七七九年它來到旁邊的時候再重新給它一推，一推就不知推向何處去了。從此

以後，竟有二三十顆彗星都明知是週期的，卻大半只觀測到兩三次回轉。

彗星是可以解散和衰亡的。畢拉彗（*Behr's comet*）便是顯然完全解散的一顆。這彗星在一七七二年第一次被觀測到，但並不知其爲週期彗星。一八〇五年它又出現，天文家還是沒有注意它的軌道正是一七七二年的那顆。一八二六年第三次發現它，這時用進步的方法測算軌道，纔把它和以前兩次的認成一顆。公轉週期已定爲六又三分之二年。因此它必須於一八三二年及一八三九年再出現。但這兩次地球都不在一個看得見它的位置上。到一八四五年年終它又出現，在一月十二月中又觀測了它。到一八四六年一月它靠近了地球和太陽，纔發現它已分成兩半。起先其中較小的部分非常黯淡，後來光度漸增終至與另一部分相等。

下一次回轉在一八五二年。這兩部分比前分離得更遠了。在一八四六年相隔約爲二十萬哩；在一八五二年已超過一百萬哩了。最後一次觀測在一八五二年九月。雖然從此以後還要回來七八次，卻再也沒有看見。根據以前的回轉，我們可以很準確的算出它再見的位置，而由它的不出現，我們也可以認爲它是完全解散了。下一章中我們再略研究構成它的物質。

有兩三顆彗星都是照同樣情形消失不見的。它們都只被觀測了一次或一次以上的回轉，每次都更黯淡稀薄，最後完全消失不見。

恩克彗

週期彗星中觀測得最頻繁而且最規則的一顆名爲恩克彗 (Encke's comet)，這是第一個準確測定它的運動的德國天文家的名字。它的第一次發現在一七八六年，但是它的軌道卻沒有立刻測定（這是常有的情形）。第二次在一七九五年被加樂林·侯失勒女士 (Miss Caroline Herschel) 發見。一八〇五年及一八一八年又發見兩次。只在後一次纔測定它的準確軌道，纔建立起它的週期性並且與前此的觀測合一。

這時恩克纔發現它的週期約是三年一百十日，依行星（尤其是木星）的吸引而有變動。近來差不多它每次回轉都有地方觀測到它。一九二八年的回轉是第三十七次紀錄。

這顆彗星著名的特點是在它的軌道若干年來不斷減小，一直到後來它到太陽的平均距離

減少了一百萬哩的四分之一多。有人提出一種理論來說明，以爲它的運動受了圍繞太陽的某種介質的抵抗。有一些天文家都在這彗星的各次回轉中研究這一點。有時有了兩次回轉間遲延的證據，有時卻又沒有。

木星捕捉彗星

一八八六到一八八九年出了一樁可注意的事，一顆新彗星加入太陽系了。在後一年中勃魯克斯（Brooks）觀測到了一顆彗星，證明它的軌道週期只有七年。因爲這顆彗星很亮，便發生了何以從前不見的問題。這問題不久便有了回答，發現了在一八八六年這彗星曾從木星附近經過。木星的吸引竟大改它的軌道使它依現今的新軌道運行了。還有些週期彗星經過木星很近，它們也大概是同樣被木星捕捉了的。

於是又有了問題：是不是所有短週期彗星都真是這種來歷？這問題必得一個否定的答案，因爲哈雷彗就不接近任何行星。恩克彗也是如此，它並不接近木星到能被木星吸引成現在的軌道。

的地步，不過當它的軌道原先較大時，卻也許會有這種事的。

彗星的來歷

不久以前大家都還假定彗星是從恆星間的廣漠的空間中來到太陽系裏的。這種見解現在算是已經撇開了，因為事實上還沒有證明那一顆彗星的速度超過了一個界限，它們的速度允許它們由最遠的行星軌道之外飛來，但這距離雖大，卻還遠不及恆星的距離的。我們此後還要看到太陽自身也是在空間之中運行的。即使我們承認彗星是從太陽系之外的遠方來的，上述的事實也證明它們便是在太陽系之外時也隨着太陽系一同在空間中運行的。

根據對這全問題研究，現在似乎已經成立了的見解，便是認爲這些物體都有規則的軌道，和行星不同之點只在其軌道的偏心率太大。它們的公轉週期往往是數千年，數萬年，甚至於數十萬年。在這中間，它們飛越了行星邊界之外很遠很遠。如果在它們回到太陽附近時碰巧接近了一顆行星，便有兩件事可以發生：或則這彗星被推了一下，因而加高速度投到比前更遠的距離去，或甚

至遠不能再回來，或則它的速度減低因而軌道縮小。因此我們纔有這些週期不同的彗星。我們於是得到結論，認為我們所見的彗星現在都是太陽系的一員了。還有人提出一意見，而且那也並非不可能，便是說我們這些彗星的來源是當遼遠的古代太陽從一宇宙塵雲（暗星雲）中經過時得來的。

明亮的彗星

有時出現的極明亮的彗星是任何見到的人所最感興趣的。就我們的知識而言，它們何時出現還完全是看機會。所謂大彗星在十九世紀中只出現了五六顆。其中最可注意而且最明亮的出現於一八五八年，名字便是它的發現者意大利天文家多納第（Donati）。它的發現史便足以表示此類物體的變化。六月二日第一次見到它時還只是遠鏡中能見的很黯的星雲，正像天上的一小片白雲。那時既不見尾部，也毫無徵象可以知道它將變化到什麼程度。這樣直到八月中旬。那時纔漸生尾部。九月初旬肉眼便可看見了。此後它便以驚人的速度增長，每夜更大更亮。在一月以內幾

乎不見它大大移動，每夜只在西天遊蕩。約在十月十日達到最明亮程度。時時由哈佛天文臺的邦德 (G. P. Bond) 給它繪圖。我們有兩幅顯示其頭部情形，一是肉眼所見，一是遠鏡所見。十月十日以後它又很快消逝下去。不久便向南移動逃到我們的地平線下，由許多觀測者到南半球去追蹤。直到一八五九年三月。

在這彗星不見以前已有人開始計算其軌道了。不久便發現它並不是依正確的拋物線運行，卻是一道延長的橢圓。週期約爲一千九百年左右，不過也許有上下一百年之差。因此它在上一次回轉時應能被見，但基督紀元前一世紀中並無記載可以核定。下一次要等到第三十八或三十九世紀了。

還有一樁可注意的情形是一八四三年一八八〇年一八八二年的彗星差不多是在同一軌道中運行的。其中的第一顆是紀錄中最堪記憶的一顆。它離太陽竟近得要擦着太陽的邊；事實上它已經過了日冕的外層。約在二月末它極快的在太陽附近出現。白晝中也可見到它。更奇怪的是它湊巧出現在一個預言之後不久，那預言說世界末日將於一八四三年來到。受到這預言的警告

的使把這顆彗星看做即將降臨的大禍的徵兆了。

這彗星在四月中即已消失不見，因此它的觀測時間是比較短的。它的公轉週期於是成了很吸引人的問題。但我們發現它的軌道還與拋物線沒有顯著的差別，不過因為觀測時間太短，以致任何對週期的臆測都有些不可靠了。我們能說的只是它下次回來至少要在若干世紀以後。

然而三十七年以後卻有觀測者在南半球發現一顆彗星，幾乎與前者正在同一軌道中運行，於是不能不使人大大吃驚了。它出現的第一件信號便是它的長尾從地平線上露了出來。那時在阿根廷共和國，在好望角，在澳大利亞都看見了。直到二月四日纔見到頭部。它繞過太陽再往南去，未被北半球的人看見就消失不見了。

於是生出了一個問題：這難道能就是一八四三年的那顆彗星嗎？從前大家假定兩顆這種物體在同一軌道中相隔一長時期出現一定便是一顆。但在這一情形中那假定似乎與觀測的事實不相符合了。這問題到一八八二年便決定，因為又有第三顆彗星出現軌道也差不多相同。這無論如何不會是僅僅兩年多以前出現的那顆彗星了。於是有了了一樁可觀的景象：三顆明亮的彗星在

同一軌道中依不同週期運行。這一羣的彗星中我們還要加入一六六八年和一八八七年的兩顆。大概這些都是一顆大彗星在近日點時被太陽引力撕成的五部分。其中之一，一八八二年九月的大彗星的核便確乎在經過近日點之後不久碎爲四部分了。這四部分相隔各約一世紀，週期由六百六十年至九百六十年，回來時將是四顆不相連屬的彗星了。

看起來彗星的核大概是一大羣流星類物質的集合，其中大小相差極鉅，有砂粒也有像天上落下的隕石那樣的大塊。那麼賸的問題就只是何以經過彗星的這許多次迴轉後它們還能聚在一起了。彗星核離太陽近時常常改變形狀也足以證明上述假說較近真理。

這些彗星經過了分光的光譜很明顯的表示出它並不僅是反射太陽的光。其中主要的特色是三道明亮的輝線，這與碳氫化合物的光譜有極顯著的相似。這正是一種發光氣體也參加在彗星組織內的光譜。

至少在一大半情形中並不是太陽的熱使這氣發光的。這是太陽的另一種作用，正和那使我們上層大氣中有極光以及照明遼遠的星雲的作用是一類。

看來構成明亮彗星的物質無疑的具有揮發性。當一顆明亮的彗星經遠鏡細心考察時，有時常可見到有汽體緩緩從頭部向太陽昇去，以後再展開來離開太陽構成尾部。它的尾部並不是它拖帶着的附屬品像獸類拖帶尾巴一樣，那卻是類乎烟囱裏冒出的烟流。

常常一顆彗星開始出現時並沒有尾部。它漸近太陽時尾部纔漸漸形成。它離太陽愈近，它受的熱愈大，這尾部發展得也愈快。構成尾部的材料很快的向外運動。顯然的它受到了太陽輻射的有力的推動。因此彗星的尾部總是反對着太陽的。

第二章 流星

本書讀者一定都常見過所謂『流火』的東西——這是像星一樣卻在天上流射過去迅速消逝的。在天文學中它們有一屬名，叫做『流星』(meteors)。它們的光度相差不等，但愈明亮的愈稀少。一個常在外面過夜的人，一年中很少見不到一顆極亮的流星的時候。湊巧他還會看到一顆光足以照明全天的流星的。

差不多在一年中任何晴朗的夜晚，一個守望者都可於一小時內看到三四顆以上的流星。但有時它們卻異常的繁多，例如在八月十日至十五日之間就比平常多而且亮。歷史中有幾次它們數量的繁多竟使見者感到驚訝與恐懼。這類情形之可注意的幾次是一七九九年，一八三三年，一八六六—一八六七年。最後一次更利害，以致南方的黑人竟傳留下一種習俗保持這件回憶。

流星與隕石

流星的來歷直到十九世紀開始以後方纔知道。太陽系中除了已知物體——行星、衛星、彗星——外，還有無量數渺小得遠鏡中也看不見的流星在空間中環繞太陽運轉。其中一大半大概都比小石頭甚至砂粒大不了多少。地球在環繞太陽的路程中不斷的遇上它們。在地球運動路線上的速度可以有每秒數十哩；也許是十哩、二十哩、三十哩甚至四十哩。用這樣的高速度遇上了大氣，它便立刻加熱到極高的溫度，使它的質料不論怎樣堅固都要化做一道明亮的光輝散去。我們看到的便是這小東西在高層稀薄大氣中燒化的過程。

不用說一顆流星愈大愈堅固便會顯得愈明亮經時愈長久的。有時竟會既堅且大使它達到離地面數哩時纔完全散化。這時在它經過下面地上的人便見到一顆極明亮的流星。這種情形下，流星過去後幾分鐘內，可以聽到從它經過處發出一聲鳴礮一般的炸裂聲。這是由於爲這迅速飛馳所壓緊的空氣的震動而起的。

有時候流星竟大得到地面時還未完全化淨這時我們便有了所謂隕石。這是一年中地上總有若干次發生於不同地域的。

流星雨

我們現代對於流星方面的最大發現是和已提到過的每年某些季節發生的流星雨有關的。約在十一月中旬有一陣很可注意的流星雨；這陣雨中的流星稱爲『獅子座流星羣』(Leonids)，因爲它們視運動的路線都像是由獅子星座分散開來的。由歷史的考證，我們知道這流星雨約隔一世紀的三分之一時期一次，已這樣經歷了至少一千三百年。最古的記載是阿刺伯傳留下來的：『五九九年摩哈崙月(Moharren)的末日，羣星亂飛如大羣蝗蟲互相衝撞；人衆極受驚恐，都禱告至高無上的神；若非神使將至，不會有此現象；願爲他祝禱幸福與和平。』

詳細記載下來的這一族流星雨是一七九九年十一月十二日的那次。見者是洪保特(Humboldt)，當時在安底斯山(Andes)。他似乎把這認爲一件很可注意的天界表演，卻沒有正確研究

它的來歷。

下一次發生在一八三三年。天文家奧爾伯提議說這流星雨有三十四年的週期，並且預言一八六七年有可能的回轉，屆時果然應驗，而一八六六年也有。這兩年間觀測得較前更加仔細，結果遂發現流星與彗星間的關係。要解釋這一層，我們先要給流星的輻射點下一定義。

我們發現如果當一次流星雨時把每一流星的路線都用線在天球上畫出來，再把這線往回延長，我們便會見到它們在天上某一點上相遇。十一月份的流星雨中，這一點在獅子星座中；在八月份的流星中，這一點在英仙座。這便叫做這一流星羣的『輻射點』(radiant)。流星運動的路線都好像從那一點上向四面射出的，可是決不要以為所有的流星都聚在那一點上可以見到；它們可以在離這一點的九十度以內任何地方出現的；但一見到它們時，它們的運動路線就是由這一點出發的了。這便表示流星遇上我們的大氣時都在平行線上運動着。輻射點便是透視畫中的所謂消滅點 (vanishing point)。

彗星與流星

既知道十一月的流星雨的週期是三十二年，又已測定了它的輻射點的準確的位置，那麼我們便能夠計算這些流星的軌道了。在一八六六年流星雨後不久便由勒威耶動手做這件事。恰巧一八六五年十二月有一彗星出現，在一八六六年一月經過近日點。關於它的運動的研究結果證明它的週期是約三十三年。這是由奧坡才爾 (Oppolzer) 計算出來的，他把這發表了卻未注意到其與流星羣週期的相似處。於是由斯克亞巴列里發現了在奧坡才爾的彗星軌道與勒威耶的十一月流星軌道之間有完全的相似處。這兩者離得非常相近，竟使人不能懷疑它們就是一而二而一。顯明的事實便是產生十一月流星的物體在軌道中追隨着那彗星，因此得到一個結論：這些物體最先是彗星的一部分後來纔漸漸分開來的。當一顆彗星照上一章所說情形崩散了以後，其中未完全化淨的部分還成爲微小的物體繞太陽運行，漸漸又互相離散，因爲其間沒有充分的吸引力連絡，不過它們還在大致同樣的軌道中繼續一同前進。

八月的流星也發現了是同樣的情形。它們所循以運行的軌道也和一八六二年觀測的彗星的軌道很近似。這彗星的週期是一百二十三年。

第三個這一類的可注意的事件發生於一八七二年。我們已經提到過畢拉彗的消失了。這彗星的軌道差不多在地球當十一月末經過的軌道中一點上與地球軌道相交。從這彗星的觀測得的週期看來，它要在一八七二年九月一日經過這一點，地球通過這一點還要在兩三月以後。以別的相同情形的例子，便可斷定一八七二年十一月二十七日晚間會有一陣流星雨，而輻射點將在仙女星座中。這預言完全應驗了。這些流星叫做『仙女座流星羣』(Andromedae)，生了幾次美麗的流星雨，但自一八九九年以後，卻只看到了其中很少數的流星出現。

一八六六年的彗星應於一八九八至一九〇〇年再現，卻始終沒有見到。也許這次錯過去並非由於它的完全消滅，而是因為恰好它經過近日點的時候離地球太遠以致不能見到。此外，應在一八九九—一九〇〇年出現的流星雨也沒有大量出現。這種情形大致是因為這一羣又被行星的吸引改變了軌道，那是不斷發生的事。

我們也許會被引誘去做結論以爲這些無數萬顆星環繞太陽經過這樣長的時期，因而會把其中微小的碎片遺在後面，但碎片也還遵守同一軌道像軍中落伍者一樣，而地球遇上這些碎片時便產生一陣流星雨。然而這還是一個待決的問題，而且說所有流星都是彗星殘片也頗可致疑。流星闖入大氣中的速度往往超過了上章所說的拋物線的限度。看起來這些一定會是與我們系統毫不相干的無限恆星界中的流浪者的。

黃道光

這是一種非常柔和而微弱的光，包圍着太陽，差不多一直延展到地球軌道附近，而且幾乎正在黃道平面上。在赤道上可以在任何晴朗的晚間日落後一小時內見到。在我們北緯中部卻最好在春季晚間看它，約在日落後一小時半時，它永在西方及西南方出現，一直伸展到昴星團。這時看起來最方便，因爲它與黃道相對稱，因此這時與地平線成的角度較其他任何時爲大。秋季它可以在日出前看見，從東方升起，向南方展開。

正反對着太陽的地方也有一塊黯弱的光，這有個專名叫 (Jegenscheln)。這個字是德國字，意思是『對日照』(counter-glow)。這光太暗，只有在最有利的情形下纔可以看見。當它到銀河中時，銀河的光就像月光一樣會把它掩沒。

對日照當每年六月十二月時經過銀河，因此這兩月中不能見到。在一月和七月的上旬也不見得能看見。其他時候要在太陽沈下地平線很遠，天空極其晴朗，月亮也沒有，情形下纔可以尋找它。那時可以看見它是一塊極暗的光影，分不出清晰的輪廓來。觀測者要找尋它可以向正反對太陽的區域中察視。

通常相信黃道光是一些不斷環繞太陽的極少的物體（也許性質和流星相類）反射太陽的光。我們也可以很自然的將對日照用同一原因解釋，而流星類物質在太陽反對方積聚也有力的理由。還有人提出意見以為地球也像彗星一樣有尾部，而對日照只是向末端看去的這尾部而已。

第六編 恆星

第一章 星座

我們既已完成了對於我們所居住的這一部分宇宙的考察，現在便要轉向那輝耀諸天的羣星所佔據的更遼遠的空間了。

平常肉眼所能見到的全天星數約在五千至六千之間。其中只有一半可以同時在地平線上；這一半中又有許多太近地平因而被遠景以及那一方向更加濃厚的大氣所遮蔽。在晴朗無月的晚間平常肉眼可以立刻看出的星數大約是一千五百到兩千。肉眼可見的星稱爲『明星』(Lucid stars)，以與遠鏡助我們看見的極大批星相別。

當我們見到羣星在夜空閃爍時，我們很容易忘了它們並不同樣遠近這件事實，因爲看起來

它們似乎都有同等的距離的。我們可以假想它們是安在一大圓球的內部表面上，這大圓球使將地球完全包裹。這球在它偏斜的軸上旋轉的結果使星辰都出於東而沒於西。但在一個北緯中部的觀測者而言，環繞北極一圈中的星永不沈沒，而環繞南極一圈中的星卻又永不上昇。這大星球的向西旋轉每一恆星日一周，因此是約不到四分鐘一度。

大家都知道這是因為地球繞軸向東轉，使天上景物每天向西轉的。同時又因為地球繞太陽作公轉，太陽又看來彷彿在衆星間緩緩向東移動，每天差不多够一度，一年繞黃道一周。這種地球自轉的結果都在前面已經講過了。

由於太陽的向東移動，依地球自轉為準的恆星日一日便差不多比太陽日一日短四分鐘了。每夜的星辰都比前一夜早起約四分鐘；而在同一小時內也要較前偏西一度。四季輪流下去，因此所有的星辰都交替逐漸從夜天上經過。

星辰也並不是平均分佈在天上的。它們都聚成一團一團；其中有一些，例如北斗或飛馬座大正方形，都非常觸目使人一見不忘。古人也和我們一樣對於天上顯著的星羣非常熟悉。天的面容

在幾千年中是很少變化的，古人給這些星羣起了名字。因此開始有了星座。

我們的星座是遠自古希臘人傳下來的（其間當然有了修改和補充），而古希臘人又大概是從美索不達米亞（Mesopotamia）的居民處學來的。遠在紀元前第九世紀古希臘詩人荷馬（Homer）就提到了大熊座、獵戶座及其他著名的天上形象。古代星座（約共五十）的最早最完全的描寫可以在馬其頓（Macedonia）王的宮廷詩人亞拉圖斯（Aratus）作的 *Phenomena*（紀元前二七〇年所著）中找到的。星座的名稱都是神話中英雄和鳥獸的名字，也都與一些很熟悉的故事有關連。

現在公認的星座有八十八座，其中有十八座環繞南極，在北緯中部不能見到。這些原有星座的補充是用來填古代星座之間的空白，還有些天南極附近星座為古希臘人所看不見的。

天文家仍保存了星座的拉丁舊名字，但舊有的英雄及鳥獸的圖像卻不見於現代星圖中了。爲了實際的方便，星座成爲天上的包括不同星羣的區域，有我們任意定下的疆界，正如同地上的國界一樣。由國際間的共同規定，星座的疆界都要對地球赤道平行或垂直。所有在一星座疆界內

的星都屬於這一星座；而任何時候若有行星或太陽或月亮在其中時，也說它是在這星座中。

因爲月亮和行星以及太陽大都不會離開黃道太遠，它們便常常和依循黃道的黃道帶上十二星座連在一起了。這十二星座的名稱是：白羊（Aries）、金牛（Taurus）、雙子（Gemini）、巨蟹（Cancer）、獅子（Leo）、室女（Virgo）、天秤（Libra）、天蠍（Scorpio）、人馬（Sagittarius）、摩羯座（Capricornus）、寶瓶（Aquarius）、雙魚（Pisces）。黃道帶是環繞地球一道十六度寬的帶子，黃道正在其中，分爲十二平均區域便是黃道十二宮，從春分點向東數起。十二宮的名字便是那十二星座的名字。兩千年前每一宮都正包括所屬星座。但因爲有歲差的原故（我們已經說過的），黃道十二宮已向西移動，因此十二宮已不與同名的十二星座完全相符合了。

本章的目的是幫助讀者認識在北緯中部一年之間可見的主要的星座。其中大半都有特殊形狀的星的連合，例如正方形、十字形、杓子形，都很容易依據圖和解說從天上認出來。每一季都有自己的夜天星座。從那一季開始認起是無關緊要的。不論是誰只要開始認起星座大概總會繼續下去直到一年中認識全天的，因爲不斷的有熟星座向西方消逝而新星座由東方出現。

爲方便起見我們把天上可見區域分爲五區。首先是北天星座，環繞天極永不沒落，因此在北緯中部終年可見。其餘四區的星座都有出有沒而且大半經過天頂之南。我們現在劃定每一季中下午九時經過子午圈的星座。星圖中我們大半只畫出較明亮的星，爲的是避免混淆；也因此免除了星座的疆界。

北天星座

北天星座的圖卽本書第一編中第二圖。圖中心是天球北極，星辰環繞它依反時鐘針的方向旋轉，每一日欠四分一周。每夜同時中星前進約一度。要星圖正合晚九時的天空，可把圖轉動使本月份現於頂上。

首先是大熊座 (*Ursa Major*)，其明星合成我們熟悉的杓子形。這一羣星終年可見，只有秋季太近地平或許不能看到。注意杓子前進一邊的兩顆星。這便是所謂『指極星』 (*pointers*)，因爲這兩星形成直線直指北極星。北極星 (*polaris*) 靠近圖中心，離極在一度以內，因此正好做天上極

的位置的大致不差的標誌。

極星屬於小熊座 (Ursa Minor)。正在杓柄的末端，座中除杓邊二星外都很微弱。那兩顆星併為極的守衛，因為它們不息的繞着極旋轉。

如果不見指極星時，尋極星可以直向北方望去，它離地平的角度正和觀測地點的緯度相等。因此在北緯四十五度地方，極星正居於天頂到地平的正中間。

在極的另一邊，方向正和大熊座相反，距離極也大致和大熊座相等的是仙后座 (Cassiopeia)。有五顆明星形成一個W或M字母。再加兩顆較暗的星便成了仙后的寶座；座背非常彎曲，要填上一個座墊纔能舒服。

每日繞極旋轉中在仙后座前方的是仙王座 (Cepheus)。有人看它像教堂的尖頂，尖衝着極。在仙王座之前，差不多在極跟大熊座之間的是天龍座 (Draco) 的V字形的頭部。這龍的身軀都是些較暗的星，可以依圖找到。它圍繞着北天黃極，這黃極約在從北極星到龍頭的三分之二的地方。這一點上沒有明星，它卻正是天極因地球自轉的歲差而極遲緩的畫着大圓的中心。

以上是北天五大星座。認識了它們以後，我們便轉身向南，選擇合我們觀測季節的星圖。姑且假定是在秋季。

秋季星座

第三十九圖表示秋季點綴南天的主要星座。垂直看來，月分下方是本月晚間九時經過子午圈的星羣，從天頂（靠近上邊）到南方地平（靠近下邊）。圖中水平線表示天球赤道的一段。斜線為黃道的一段。

飛馬座 (Pegasus) 的大正方形是秋季天空最易認識的符識。秋初它出現於正東方。十一月一日前後晚九時它在南天最高處。這大正方形是由四顆二等星合成，每邊約十五度。正方形東北角的東北方是仙女座 (Andromeda) 的大星雲。這是最明亮的遠在銀河以外的旋渦星雲，以後要講到的，在肉眼看來它彷彿是一塊長的霧狀光斑。如果我們假想飛馬座大正方形是杓子的斗，東北方的仙女座的明星便成了這杓子把柄。但把柄末梢的星卻是另外一星座的星了（英仙座）。

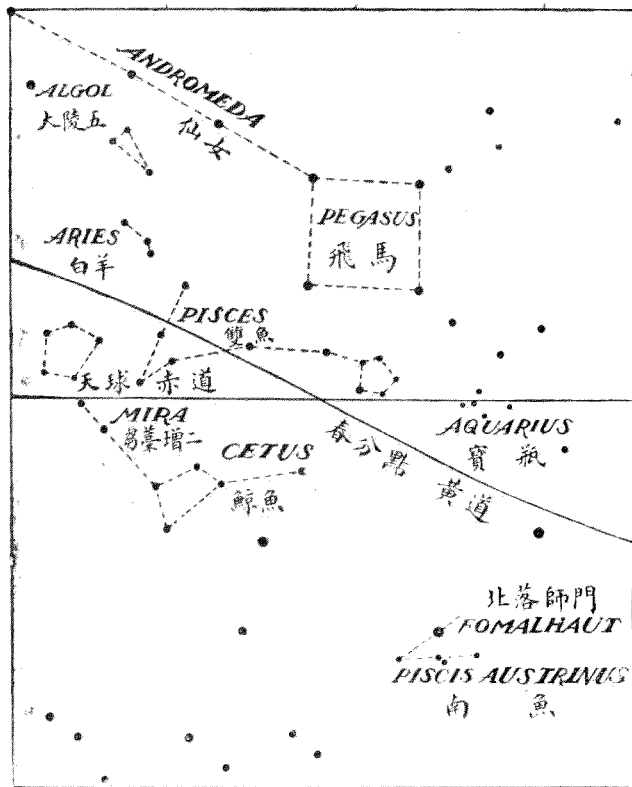
英仙座 (Perseus)

正在銀河中，星組成箭頭狀，對着仙后座。在這兩星座之間我們見到一塊雲狀光斑，用小遠鏡甚至雙眼鏡都可把它分為兩個星團。這便是所謂英仙座二重星團。箭西邊有一排三顆星。中

十月一日

十一月一日

十二月一日



第三九圖 秋季星座

央一顆最明，便是變星 *Algol*（中名大陵五）是蝕雙星的代表。

我們現在所考察的區域內有黃道三星座：寶瓶座、雙魚座、白羊座。黃道赤道相交處的春分點（太陽於三月二十一日在此處）差不多在飛馬座正方形的東邊線延長一倍的地方。兩千年前春分點還在東北方白羊座中。白羊座主要的星成爲一扁三角形。

雙魚座之南是大星座鯨魚座。這星座以其中紅色變星 *Mira*（中名菟藁增二）著名。這顆星肉眼平常不見，一年中只能見到一兩個月。秋季星座這一部分我們已征服了。其中只有一顆一等星；這便是南魚座（*Piscis Austrinus*）中的 *Fomalhaut*（中名北落師門）它約在十月中旬晚九時經過子午圈。

冬季星座

第四十圖示冬季星座，這是全天最光輝顯赫的一部。其中明星當淒冷的漫漫長夜中閃爍成各種顏色，彷彿要補償這一季中日光的缺少似的。

獵戶座 (Orion) 是所有星座中最輝煌的。四顆星構成一長方形，我們看來它正直立於南方。紅色巨星 Betelgeuse (中名參宿四) 在上方東角，藍色的 Rigel (中名參宿七) 在下方西角。橫在長方形中部的三顆明星成了這位英雄的腰帶，而下面三顆黯星做了他的佩刀。三顆黯星的中央一顆其實並不是星，只是一個最美麗的星雲，獵戶座大星雲，是遠鏡中的偉觀。

獵戶的腰帶引觀者的眼到南方 Sirius (中名天狼) 上去。這是全天最明的恆星。它屬於大犬座 (Canis Major)。獵戶座東方，與天狼及參宿四形成等邊三角形的是一顆一等星 Procyon (中名南河三) 這星在小犬座 (Canis Minor) 中。

順獵戶腰帶上溯，我們便見到了 V 形的畢宿星團 (Hyades)，再過去便到更緊密的『七姊妹』昴星團 (Pleiades) 了。兩者都是疏散星團的例證，以後我們要講到的。畢宿星團在金牛座的頭部。紅色明星 Aldebaran (中名畢宿五) 是牛眼，而東邊另兩顆明星便是角尖。這兩顆星上面是御夫座 (Auriga) 其中黃色大星 Capella (中名五車二) 是北半天球三顆最明的星之一。

金牛座、雙子座、巨蟹座是本區中的黃道三星座。本區中黃道是最北的一部分。

雙子座形

狀也是長方形，

東邊一端有兩

明星 CASTOR

(中名北河二)

和 POLLUX (中

名北河三) 一

九三〇年發現

冥王星便在本

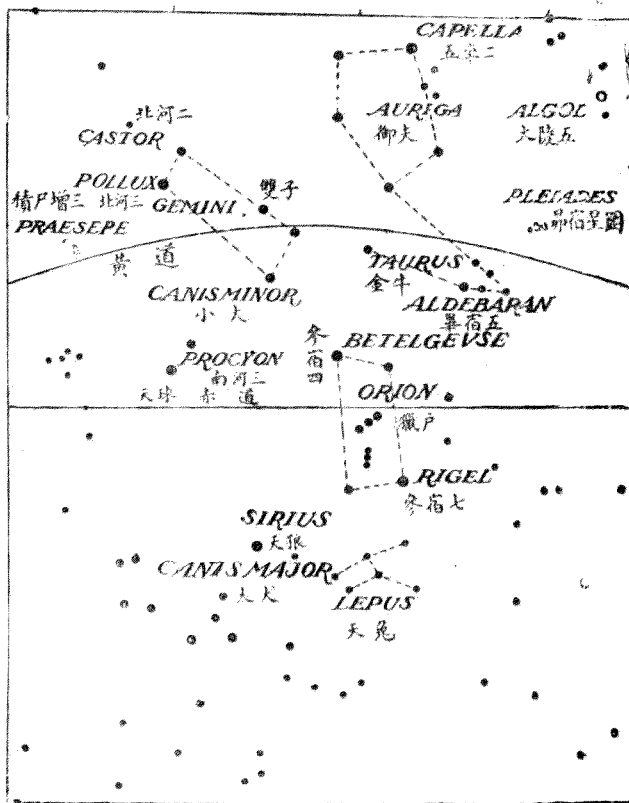
座中。名稱代表

北回歸線的巨

蟹座倒是不大

三月一日

二月一日



第四〇圖 冬季星座

明亮的。其中最有趣味部分乃在肉眼看來像雲斑的 *Praxippe* 星團（中名積尸增三）雙眼鏡也可看出它是一疏散星團。

冬季星座區中也包括一部分銀河，這也使一個晴朗的夜間星空增加美麗，雖則它並沒有我們在夏天所見的那一部分那樣明亮動人。

春季星座

當冬季這些明亮的人物消逝到地平線下的時候，便有另一些比較欠顯赫的春季星羣來代替。獅子座是這一區天空的領袖。它在傍晚的東天出現，在許多民族看來都是春天將到的先驅。四月中它當晚九時前後高高懸在南面天空。

認識獅子座可以注意它的七顆星所成的鐮刀形；其中最明亮的一顆是鐮刀把末端一顆一等星 *Regulus*（中名軒轅十四）鐮刀之東是一直角三角形，三角形的最東一顆是 *Denebola*（中名五帝座一）有的人便由這星座中的星想像出一隻獅子的輪廓來。

從五帝座一引一直線到大熊座杓子柄末端，中間經過兩個不顯著的星座：后髮座（Coma Berenices）及獵犬座（Canes Venatici）。前一座中有一星團，其中有的星可以被肉眼看見。這一部分天空對有大遠鏡的觀測者是極有興趣的，因為其中擠滿了旋渦星雲和我們星系以外的非常遙遠的系統。

最長的星座長蛇座（Hydra）橫在春季的南天像一道由星排列成的不規則的線，從巨蟹座南一點差不多直到天蠍座。在它的中部附近有兩個很有興味的星座：一是巨爵座（Crater）像一隻杯子，一是烏鴉座（Corvus）現為由相當明亮的星組成的四邊形。

暫時再回到北天一下。本季中大熊座高於北極而且杓形倒轉來了。依杓柄的曲線向南延長。不久便碰到一顆很明亮的橙色的星，再依曲線引長下去約再過這樣遠便又遇上略欠光彩的另一顆藍色明星。前者是牧夫座（Boötes）中的 Arcturus（中名大角）；後者是室女座中的 Spica（中名角宿一）。牧夫座像個風箏，大角是正在繫尾巴的地方。

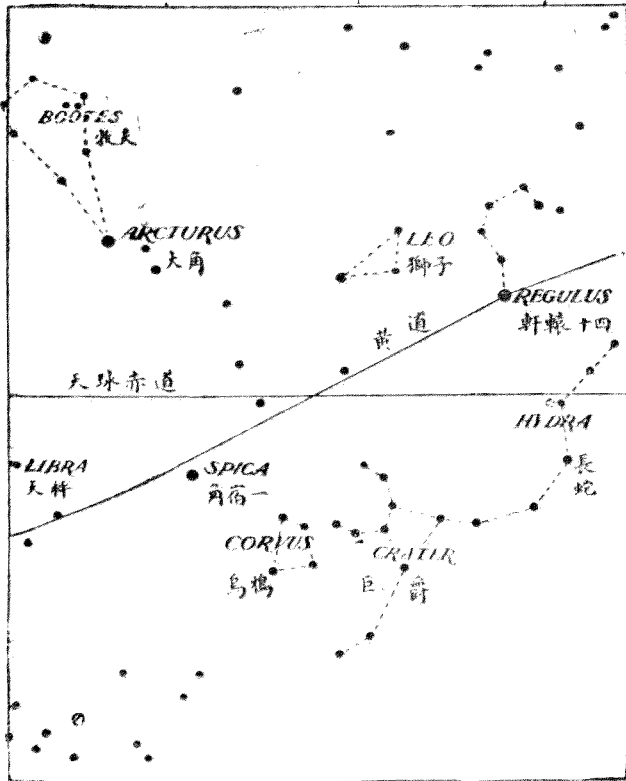
室女座是黃道星座中較大的一座，但其中的星沒有組成可以使我們記得的一定形態。角宿

一和五帝座一和大角形成一大等邊三角形。從角宿一引到軒轅十四的線便差不多表示本區天空上的黃道一段。而在這根線上五分之二的地方也便差不多就是秋分點，太陽在九月二十三日要從地球上這

六月一日

五月一日

四月一日



第一四圖 春季星座

一點經過。

夏季星座

最多變換而且最富興趣的天界景物是在夏季。牧夫座東面緊鄰便是北冕座 (Corona)，很可立刻認出。這是一羣星組成的半圓形，缺口對着北方。

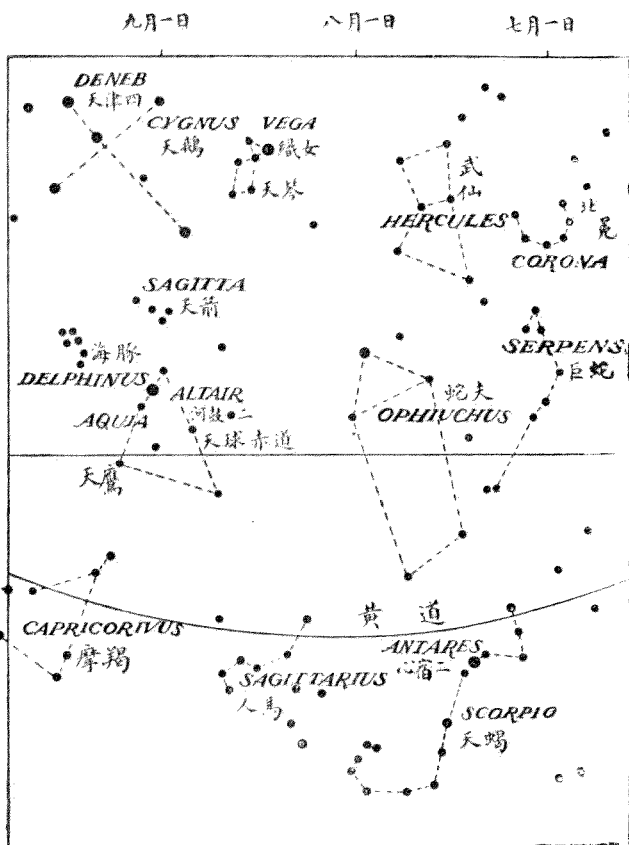
再向東去便是武仙座 (Hercules) 的一部分，有的人看來覺得像一隻展開翅子的蝴蝶的。此處有一個恰好爲肉眼所見的球狀星團，在遠鏡中卻是壯觀之一。這一個恆星組成的大球是在北緯可見的這一類東西中最壯麗的。武仙座東部中便是『太陽頂點』 (Solar apex)，以全星系眼光看來太陽系全體都正向這一點運動。

武仙座之東便是天琴座 (Lyra)，其中有藍色明星 Vega (中名織女)。再往東便是北方大十字形，中軸正順銀河。這是天鵝座 (Cygnus)，其中最明星是 Deneb (中名天津四)，正在十字形之頂。此處銀河分爲平行的兩支流。我們且順流而南下看看。

我們經過兩小星座之旁：一是大箭座 (*Cassiopea*)，一是海豚座 (*Delphinus*)。再過去便是較大些的天鷹座 (*Aquila*)。其中最明亮的星 Altair (中名河鼓二) 和兩顆較暗的星成一直線。銀河的西支流直到現在都是較亮的，在此卻暗淡消隱，到南方再重新顯現。同時東支流變得亮起來了，在人馬座中匯成了許多大的星的雲。這一黃道星座的特色是其中的六星組成的倒轉的乳杓。

人馬座之西又是一黃道星座，天蠍座，這是最動人的夏季星座之一。它約在七月晚九時經過子午圈。其中最明亮的星 Antares (中名心宿二) 是無疑的紅色；這是已知的最大恆星，直徑約有太陽的四百倍以上。在南北低空的天蠍座與此時將近天頂的北冕座之間的一大塊空自由兩星座填補：巨蛇座 (*Serpens*) 和蛇夫座 (*Ophiuchus*)。

認識著名星座非常容易而且極有利益。不僅是這些形像本身已饒有興趣，而且當夜的天空不再是星辰的無意義的堆積而有了熟稔的面貌時，我們就常常去仰視天空了。這時大概很容易吃驚到竟有那麼多有趣事件在天上不斷出現而從前居然完全沒有知覺的吧。



第四二圖 夏季星座

第二章 恆星的本性

從來人類守望星辰都有一大半時代是只把星當作點綴夜天的閃爍的光點的。很早就有古人注意到星辰集成種種顯明的形相，尤其是星空能告訴夜間時刻和季候更爲古人所不忘利用。天文學這種科學發達以來，好些世紀中差不多都還只限於直接圍繞地球周圍的天體，就是說太陽、月亮、明亮的行星。這些物體的特殊光明以及它們在星的天球背景上的運行都使它們贏得特別的注意。遠處的恆星似乎是固定不變而且不可思議的。但它們卻可做很適當的界標可以標示出那些浪遊者的行蹤。最先是因這原故纔會很古就有了星圖。

在哥白尼把太陽安放在它理應有的行星系統的中心統治者地位以後，漸漸大家纔明白了我們的太陽也只是一顆恆星，亮得多只因爲距離近得多。於是恆星也漸漸被看做遙遠的太陽，看做極大極熱而且也許有行星衛星輔弼着的物體。直到現在我們還不能決定這猜測的是否；因爲

一個像我們這樣的行星系統即使在最近一顆恆星上也還不能爲我們現有遠鏡看見的。

我們研究得的太陽的一切大概也都可以應用在恆星上。它們都是極熱氣體結成的極大的球形，有光球、色球、日珥、日冕之類。它們不住的向空中傾注極多的能量，來源也還是誰也不知道。但是即使肉眼也可以看出恆星並不都是太陽的準確複製品。其間有藍色星、紅色星以及像太陽的黃色星。

除了幾件顯著的特色以外，遠鏡並未增加我們對恆星本性的認識。不用說遠鏡使我們多見到許多肉眼看不到的星。但是最大的遠鏡也還不能把一顆恆星展成一個圓面，以便我們研究其表面的。只是在幾種特殊儀器發明了應用了以後，恆星自身的現象纔被我們觀測到。最先應用而且今日爲研究恆星最有效的遠鏡屬品的是分光儀。

星光的分析

天文學中應用的分光儀是分析天體的光的儀器。這是藉助於一枚或若干枚稜鏡，或另外加

「光柵，把光分散爲一道色帶，卽『光譜』(spectrum)，其中的顏色和虹一樣。從可見光譜的一端到另一端次序是紫、藍、綠、黃、橙、紅，其間還有漸次的等級。

用兩小遠鏡對着稜鏡。第一遠鏡從平常放眼睛的一端受光。此處的目鏡以一道狹光縫替代。當分光儀連上遠鏡時，這光縫便在其目鏡的焦點上。光通過了光縫之後由第一小遠鏡（視準管 collimator）的透鏡造成平行，由此通過稜鏡。這樣成了的光譜使用第二小遠鏡來看，但常常是攝影的。利用放在一部分光縫上的返光遠鏡，又可以隨着天體的光譜攝得一已知物質（例如氫，鐵等）的光譜。這種比較光譜只有用上述的光縫分光儀纔可能，但這卻有一樁不方便，就是一次只能顯出一顆星的光譜。

另一種物端稜鏡分光儀卻有可以同時顯出許多星的光譜的好處。這不過是一具遠鏡在物鏡前加上大稜鏡而已。這樣攝得的照片是遠鏡所指的天區中星的光譜，一短光譜表示一顆星。

天體的光譜分析實際上是由夫牢因和斐開始的（我們已經把他當作製大遠鏡的先驅介紹過了。）夫牢因和斐在一八一四年用自製分光儀考察日光，第一次見到許多細暗線經過光譜。

他把光譜中從紅色到紫色上面的顯明的暗線用字母作符號，這系統至今還保留着。這樣黃色區中兩暗線相緊連便是D線。

一八二三年夫牢因和斐又第一個考察恆星的光譜。他也在其中發現了種種暗線花樣，這些花樣隨着星的紅色程度而增加複雜。這便要等到物理學家克希荷夫（Kirchhoff）來用他的著名定律解釋這些暗線的意義了。我們試述這定律的結論如下：

一種發光氣體的光譜平常是黑暗背景上各種顏色的輝線的花樣；花樣也使由構成這氣體的化學元素的不同而各有特色。正像一座無線電臺用各種不同的波長播音都可以調諧考驗出來，發光氣體中每一化學元素也可以由它發射的選定的光的波長認出來。

一發光的固體、液體、甚至氣體在某種特殊情形下發出連續光譜；就是說它發出各色的光——白光。如果有較冷的氣體夾在我們與這光源中間，它便會從白光中吸收去恰與它所發相等的波長。這聯合的光譜便是在原先的各色連續帶上的暗線花樣。這暗線花樣便告訴我們加入干涉的氣體的化學組織。恆星的暗線光譜的意義便是有些種選定的波長已被恆星大氣從恆星

光球所發的白光中篩去了。

恆星光譜的花樣

恆星光譜的攝影研究已在哈佛天文臺及其祕魯的亞列魁巴 (Arequipa) 分所 (現已移南非洲麻塞爾坡爾) 進行了差不多五十年。這工作中用的是物端稜鏡。全天各區的萬千照片都妥善保存並且小心研究過了。這種精勤不倦的工作結果遂使二十五萬顆以上的恆星光譜都知道。只要查考一下 H. D. 星表 (The Henry Draper Catalogue) 便可以得到其中任何一顆星的亮度與光譜品 (Spectral class) 後一名詞需要一點解釋。

在所有研究過了的恆星光譜中，線的花樣除了少數例外都可歸併成一相連的程序。下一顆待研究的星的光譜幾乎一定配上這程序中的一處。這些花樣都平均隔開並用任意的字母 B A F G K M 代表。其中間相隔處都分爲十部分。譬如說，我們研究一顆恆星的光譜，發現它的線紋花樣正在標準花樣 B A 的正中間，這顆恆星的光譜品便是 B 5。這種表示恆星光譜的方便辦法是

哈佛天文臺開端用起的。這稱爲杜拉伯分類法 (Draper classification)。

B型恆星光譜中氦線佔優越地位。這種充滿飛船氣球的氣體第一次由太陽光球中發現，因爲在光譜中見到了生疎的線。氦星的例子是獵戶座腰帶三星正中一顆。

A型光譜，例如天狼織女的光譜，有顯著的氫線。最輕的元素氫是各型中都有的。這型星都是藍色的。其線紋花樣的連續也是從藍到紅的顏色的漸次排列。

F型星，如北極星及南極老人星（西名 Canopus），都是帶黃色星。其光譜中氫線較遜，而鈣、鐵等金屬線則甚繁多。

G型星中太陽是足爲代表的。它是一顆黃色星，光譜中有數千道金屬線。大角星屬於K型星，其光譜中金屬線更爲顯著。這一型之末以及M型星的紅星，例如獵戶座的參宿四及天蠍座的心宿二，其光譜中寬帶褶紋及許多暗線都可看見了。

以上是光譜序中的主要部分。此外還公認了四型星，但其中的星合起來還不够全星數的百分之二。從前大家以爲這一程序由藍色星到紅色星便表示恆星的生命史。於是藍色星便在幼年，

太陽一類的黃色星在中年，而紅色星便註定要越來越紅越暗以至於最後消滅。一種較新起的學說卻主張紅色星中一羣代表恆星的童年時代。恆星漸老便漸變黃變藍，最後又反轉來變紅，這又是老年了。還有其他的關於恆星演化的學說出現。現在我們還不能知道恆星如何產生，而產生後又如何長大的。

恆星的溫度

一塊金屬物在熱得發藍色時的溫度比熱得發紅色時要高的。我們也可依此推斷藍色星的大氣溫度比紅色星的高。相當的研究證明了我們的推測不錯，光譜序確也代表溫度低降的次序。恆星光譜的測驗不僅成立了這樁事實，而且得出了各光譜型的恆星的溫度值。還有，近年來又能夠測出恆星所發的熱量。

在論太陽一章中，我們曾指出測定太陽的溫度可以用一片水在日光中，觀測水的溫度的昇高而做一些計算。這種粗略的辦法顯然是不能適用於恆星的。帕第特 (Petit) 與尼可孫 (Nichol-

on) 用另一種方法也得到了同樣的結果。他們利用威爾遜的一百吋遠鏡將一顆恆星的光集在極小的熱電偶(Thermocouple)上，再由電流計(calvanometer)的偏轉而觀察其熱效應。用這種方法他們可以測出一顆比肉眼能見的程度暗數百倍的星的熱，因此測出了星的溫度。他們還用這方法測定行星以及月表面各部分的溫度。

直接在藍色星的光球之上的溫度約自攝氏一萬度到兩萬度，或則還要高。黃色星的表面溫度約在攝氏六千度上下，而最紅的星的表面溫度卻只有兩千度上下了。但即使最冷的恆星也還是極熱的。

光球之下的恆星溫度隨深度而大大增高，中心也許到了千百萬度。關於恆星內部情形，各專家所得的結論現在還都是意見紛歧莫衷一是。使恆星維持發光的能量從何而來，這無窮的星光又向何而去，都是另一些極有興味卻尙待深究的問題。

巨星與矮星

恆星的實際亮度或說『發光本領』(光度 *luminosity*) 是互相差極大的。假如我們能把它們和太陽排在同等距離的一行上，就會發現它們的亮度有從太陽的萬分之一到萬倍以上的相差。實際上天文家只觀測恆星如果在某標準距離上應有的光輝。至於它們距離如何測定卻要等下章說明。

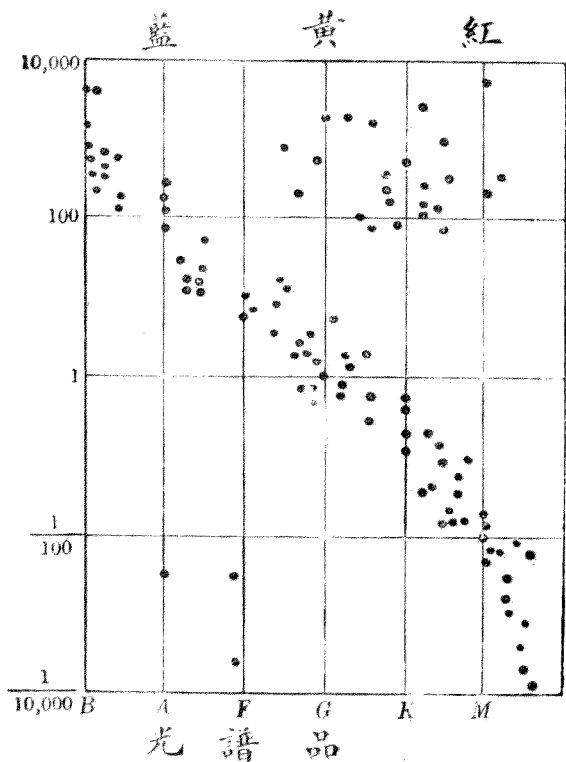
我們且在一張方格紙上把一黑點在一相當地方代表一顆已知其發光本領及光譜品的恆星。第四十三圖便是這一類的『光譜光度簡圖』。其中垂直線代表不同的光譜品，自左而右，從藍色星到紅色星。水平線代表不同的實際亮度，以太陽亮度為單位，自下而上逐漸升高。代表太陽的一黑點在圖的正中心，屬 G 0 型。

代表大部分恆星(中有太陽)的黑點都傍着自左上方到右下方的斜線。這便是『主要程序』(*main sequence*)。順這斜線向右，星漸冷，也使漸紅漸暗。斜得峻急也表示其漸小。

在主要程序之上有兩羣黑點代表的星。這便是發光本領平均在太陽百倍左右的『巨星』(*giant stars*) 以及比太陽亮數千倍的『超巨星』(*super giants*)。我們且考察某一特殊型的星，

例如紅色M型星既然它們顏色相同，表面溫度也相同，而它們的表面亮度每平方碼也必相同。這一型星中任何一顆的表面一平方碼的亮度一定與另一顆同型星上同大小的表面亮度相等。巨星與超巨星之能比同型的主要程序星亮若干倍，這便表示其表面要更多

發光本領 (太陽=1)



第四三圖 光譜—發光本領圖解

若干平方碼了；它們亮那麼多倍只因它們大那麼多倍。

圖中還有另一小羣黑點分開在左下角。這便是那種「白矮星」(white dwarf stars)。其中最著名的是天狼星的暗弱的伴星。它們既比尋常白色星暗到千倍以上，自然也必更小千倍以上了。白矮星確乎不比主要程序星中紅色星更暗，但要比它們更小；因為白色星的每一平方碼要比紅色星爲明亮的。白矮星是已知的最小的恆星。

恆星的大小

稱恆星的方法和稱行星的方法大致相同，也是利用它們加在鄰近物體上的吸引力。我們已經說過，要精確測定一顆沒有衛星的孤立的行星（例如水星）是很困難的。可是若有了衛星，問題便簡單多了。要測定一顆單獨的恆星的質量是更困難得多的。分離恆星的空間大得使一顆恆星加在另一顆上的引力效應不能觀察出來。

幸而爲了完成這種稱量，遠鏡發現了數千對星——雙星，其中有許多都是相互旋轉的。分光

儀又顯出了許多更接近的雙星。在某特定距離上，公轉週期若更短，兩星合併的質量也更大。只要把平均的分離距離及公轉週期測定以後，計算這合併的質量就很容易了。而且，有時還能測定這雙星系中單獨的星的質量。

這種雙星研究的驚人的結論是恆星的質量差不多都很平均。幾乎都只是從太陽的五分之一到五倍那樣的相差。這建築宇宙的磚瓦的質料差不多都大致相等，而太陽也是其中很恰好的中等。它決不是一顆二流以下的星，如有些人要我們相信的。因此我們很可以有一點合理的驕傲了。

我們考察第四十三圖時，已經得到了一些關於各類恆星的大小的知識了。那時會看出主要程序星中比太陽較藍的要較大，較紅的要較小。白矮星要小得很多。巨星要大得很多，而紅色超巨星是所有星中最大的。根據我們由圖表所得的情形而做的計算也達到上述的結論，而且還得了單個的星的直徑的大致可靠的值。直接測量一顆恆星的大小，像測量月和行星的直徑一樣的方法，是不可能的，因為在即使是最大的遠鏡中也沒有一個恆星能現為真正的圓面。如果我們記得

這一點，那就難免要驚異天文家的聰明居然能從我們叫做星辰的光點中搜尋出那麼多的意義來了。

最近自一九二〇年以來，邁克爾孫 (Michelson) 式測量恆星直徑的干涉儀已在威爾遜山應用了，起先和百吋返光遠鏡連接，後來分離。這種方法有些繁複。我們只說干涉儀測量有些恆星的直徑結果極可滿意就夠了。直到現今所測過的最大的恆星是心宿二，其直徑為四萬萬哩。參宿四是第一顆被測量的，約有它一半大。這些紅巨星的體積都是大得不可思議的。

既然恆星的質量大致平均，既然其中質料所佔的空間卻又大小相差如此之鉅，恆星的密度也自必互相有極大不同了。在紅巨星中質料的分佈非常稀薄。例如心宿二就只有我們周圍空氣密度的三千分之一。

在另一極端，白矮星卻又緊密得不可思議，其密度在數年前還被認為不可能的。在大小一方面，它們很像行星。在質料的量的方面，它們卻可以和太陽相比。天狼星的暗弱的伴星的平均密度約為水的三萬倍。有人認為那星中的原子在那極高的溫度下差不多全粉碎了，因此能有地球上

不能得到的緊密的物質。

雖然有似乎不可否認的證據，這一層還未完全經所有的天文家與物理學家的承認。確乎大家還可以不相信天狼的伴星能比水更密三萬倍的——換句話說，這星中一尋常玻璃杯材料就有七八噸重——假如沒有獨立的證據來支持的話。依照相對性原理說，非常緊密的恆星的光譜中線紋定要大向紅方移動。天狼伴星的光譜中的這種移動已在威爾遜山又在立克天文臺兩處觀測到了。

脈動星

大多數恆星的光輝都是毫無變化的。當我們想到這極大的能量由恆星光球流出的時候，我們定要驚異於恆星內部的有效的作用居然能够一秒一秒，一世紀一世紀，毫不變定量的供給能量給光球。但是有許多恆星的輻射產量卻並不經常不變。這種星叫做變星。我們姑且把因蝕而變光的星留到後面再講。

鯨魚座中的 *Mira* (葛藁增二) 是遠在一五九六年第一顆認為變星的。有時它只在遠鏡中看成九等星。有時它加亮了百倍以上，竟在肉眼看來也是一顆明星。這上下往復約十一個月一週。葛藁增二是許多的『長期變星』(long period variables) 一類的例子。這些都是紅巨星或超巨星。許多別的紅巨星，例如參宿四，變光很小而且極不規則。有幾羣星的變光卻又一部分可以預測。

『造父變星』(Cepheid variable stars) 是現今討論得最廣泛的一種星；它們也確有極大價值，這在下章就要說明。這名稱是從仙王座 δ 星 (Delta Cephei) 來的，那是這種變光的最初例證之一：標準的造父變星都是黃色超巨星。它們的變光在時期和方式兩方面都極有規則，週期大半在一星期左右，雖則全數排起來要從一天到五十天。這些星的變光不僅在量而且在質。在最亮時它們要比最暗時加藍約一全光譜品的程度。

造父變星中約有一半並不如上述那樣標準。它們一面與其餘星有許多同點，卻一面又有大的異點。因為它們常出現於大球狀星團，所以叫做『星團式造父變星』(cluster type cepheids)。

它們都是些藍色星，變化週期約半日左右。其中沒有一顆可以爲肉眼所見。

通常假定造父變星（也許連所有的其他真變星都在內）的光的變化是起於這些星的脈動。最簡單的說來（或許又太簡單了）這學說認爲變星是很規律的一漲一縮的。內部熱的多產使星亮起來藍起來。它漲大，於是冷下去，因此又暗下去紅下去。這調整一過火，星又冷得不能不變了，於是再收縮。這種脈動一經開始，便要繼續一個長時期。這簡單學說的一個明顯的而且不易立刻通過的困難，便是事實上造父變星的最亮時並不在它最緊縮的時候，卻在這以後的週期四分之一的時候，那時它向外膨脹得頂利害。顯然這恆星變光問題是與恆星本性的整個問題有密切關係的。

新星

『新星』是一切星中最驚人的，而且也實在是一切天界現象最驚人的。它們被叫做『新星』(nova)，其實並不是新生出的星，只是表面和大多數星一樣永恆的暗弱的星以我們未知的原

因突然炸裂了而已。在幾小時之內，它們由不可見而一直昇到不知若干倍的明亮。在它們暫時的光芒絕頂時，它們有時可以比上最亮的恆星，而更稀少的時候竟可比上最亮的行星的。以後它們又較遲緩的沈入比較의 黑暗中去。

最美的新星在一五七二年出現於仙后座中。它常被引爲『第谷星』(Tycho's star)，因那位著名天文家雖非這星的第一個發見者卻是第一個觀測者。那星突然昇到和金星相等的亮度，以後暗淡下去，約六個月以後消失不見。蛇夫座中的『刻白爾星』(Kepler's star)比木星還要明亮。這星在一六〇四年出現於天空，整整一年半都可爲肉眼所見。當時還沒有遠鏡可以繼續看下去。

本世紀中有四顆很亮的新星出現。英仙座新星出現於一九〇一年，比五車二亮一點。天鷹座新星出現於一九一八年，是三百餘年來最亮的一顆，超過所有的恆星，只除了天狼。在兩三天內它增加了差不多五萬倍的亮度。天鵝座新星在一九二〇年幾乎和天津四一樣亮，在這北方大十字(天鵝座)之頂。繪架座新星(Nova pictoris)現於一九二五年，最亮時達到一等。

這些都是特出的明亮新星。有許多新星最亮時也不能爲肉眼所見的。其中有的是藉攝影而得。無疑的還有許多昇起衰落而未被人望見的。有人推測每年有至少二十顆可爲小遠鏡看見的新星在我們周圍恆星中突出，而此外還有無量數在我們的銀河系以外。

總之，新星並不是非常稀罕的。在恆星的悠長的生命中大概每一顆都可以有這樣特別炸裂的時候的。但一想起我們的太陽也許有一天會這樣炸裂，那就更有興趣了。這樣的事件毫無疑問的要成爲地球上生命的最大的災難。我們很驚奇在恆星的平常和順的動作中何以能生出這樣的炸裂來。雖然天文家利用遠鏡、分光儀、照片得到了不少關於這種突興的材料，其中原因還是沒有找出來。一旦知道了這原因，我們對於恆星本性的了解也就大大進步了。

現在已把我們所知的恆星各種特點考察了一遍，我們可以問一下本章題目所含的問題而加以簡捷總括的答覆了。恆星是什麼？那位寫『小星！小星！眨眨眼睛，我真驚奇，你是什麼東西？』的詩人是只安於驚奇的。天文家也一樣驚奇，但同時卻堅決的要努力發現其中道理。當然這也便是

他的職責所在。他在這可以有效地探索的短時期中所得成績如何，我們已經看到了。

恆星是宇宙的儲力場所，是大自然建立複雜而巨大的工程的磚塊。它們都是極其熾熱的氣體的球。其中所含的氣體的量各星相差並不太遠。但在大小一方面卻有極大的不同；其直徑排列起來要從紅色超巨星的幾萬萬哩到白矮星的幾萬哩。前者平均比空氣輕幾千倍，後者卻比水還重幾萬倍。在其中，至少密度是極大而溫度也高得不可思議。有的恆星變光，使人想到脈動。有的會炸裂。如是如是便是所謂恆星。

第三章 恆星的距離

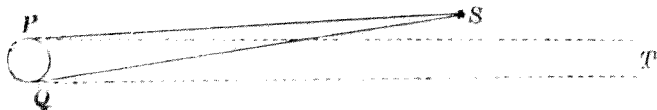
測量天界距離的原則已在論太陽系的比例尺一章中解說過了。測量月亮行星及其他鄰近的物體，我們用的基線是地球的半徑，或在實際上用連接地球表面上兩觀察點的線。但是要測量的即使是最近的恆星的距離，這根線也太短了。因此我們使用地球軌道的半徑作基線，或在實際上用連接地球軌道近兩反對極端處的線作基線，來測恆星的距離。便是用分離多出這麼許多的兩觀測點，得到的恆星位置的移差還是極其微小的。

設第四十四圖中左邊小圓代表地球軌道。設S為我們想測量的較近的星。設虛線為實際不變動的遙遠的星T的方向。當地球在軌道一邊的P點時，我們測定兩星之間的 $\angle SPT$ 角。當地球到了另一邊時，我們再測定相當的 $\angle SQT$ 角。兩角之間的差， $\angle PSQ$ 角用二除便得到那星的「視差」(Parallax)了。嚴格說來，這只是觀測到了相對的視差。因為那遙遠的星也會有少許移動的。

如果這一點移動也能測定了加入一算，最後的結果便是欲得的絕對視差。

實際上，一顆星的方向只觀測兩次是不夠的。看起來恆星都永恆不動，其實它們都在極迅速的運動着，因此也都在不斷改變方向的。這種『自行』(proper motion)若用遠鏡望起較近的恆星來尤為顯著。因此在隔了六個月的兩次觀測中，我們不能確定所測得的移差有多少。由於該星的自行，有多少真是我們自己改變位置所生的視差。爲了分別這二者，觀測必須繼續到兩三年以上。

現代的視差測定，用的是攝影法。一長遠鏡對着包括欲測的恆星的區域，底片在遠鏡焦點處露光。隔了六個月以後，再用別的底片攝這同一區域。這星在照片中的位置，便根據別的較暗而大致較遠的星，而精密測定；那些別的，便叫做比較星。這種工作是異常精細縝密的，因爲最近恆星的移差也只是一弧秒半。這就是一個直徑一吋的物體在兩哩多路以外所觀測得的對角。大多數這樣測出的恆星的視差都是更要小得多的。



第四四圖 恆星視差的測量

當視差的數量測定了以後，計算這恆星的距離便很容易了。於是輪到選擇表現這數目的方式。要得到這距離的天文單位數（天文單位是地球到太陽的平均距離），要用視差除 $206,265$ 。曾久被認為最近恆星的半人馬座 α 星的視差是 $0''.76$ 。因此它比太陽遠二十七萬倍，就是二十五萬萬哩。這數目大得不方便了。天文家便採用另一種更大的單位，光年或秒差距。

【秒差距】(Parsec) 是視差等於一弧秒的距離。實際上沒有一顆恆星有這樣近的。要得以秒差距為單位的距離，以視差除一。半人馬座 α 星的距離因此便是 1.3 秒差距。

【光年】(light-year) 是光在一年之間所行的路程。以哩數表示，光每秒速度 $186,284$ 哩，用一年所有的秒數（約為三千一百六十萬）來乘，約六萬萬萬哩。一秒差距約等於三又四分之一光年。半人馬座 α 星的距離是 4.3 光年。

最近的比鄰星 (proxima) 比半人馬座 α 星近百分之三，離太陽四又六分之一光年。這是一顆遠鏡中可見的十等星，在天上位置離半人馬座 α 星約兩度多，大概與那明星有物理的關連，碰巧在對着我們這一邊的。依遠近次序排的星表中的第三第四第五星都是遠鏡中的星。假如我們

不曾說過恆星的真實亮度大不相同的話，這最近五顆星中竟有四顆肉眼看不見，就不免會使我們吃驚了。

全天最明的天狼星是這表中的第六顆。它的距離是 ∞ 光年。其大光明的一部分是由於離得近；但只是一部分原因，因為它自己的本有光輝也是太陽的二十六倍。最明亮的恆星中還有四顆距離在三十光年以內的，依遠近次序說是南河三、河鼓二、織女一、北落師門。

直接視差測量法對於知道附近恆星距離是非常有效而且極有價值的。約有兩千恆星視差是這樣求得的。但這種方法的精確性隨着距離的增加而漸減，到約二百光年距離外，我們從地球軌道兩邊所見的恆星方向的變動就小得不能為今日遠鏡確切察出了。既然我們的基線太短，只要可能，當然是再找一根很長的了。說起來倒頗有趣味，在最遠行星冥王星上的天文家（那行星軌道要比地球寬大四十倍）可以用直接視差測量法測得八千光年的距離。然而便是這麼遙遠的路程在衆天體存在的大空間中也只是一步之遙罷了。

太陽進路

我們要選擇一更長的基線，以便觀測更遠的恆星方向的變動，結果引出一問題：地球是否還把我們帶到環繞太陽以外的地方去呢？答案是讀者已經知道了的，但爲什麼更長的基線還不能用來測定距離卻未必是已經懂得了的。

三百多年以前，天文家得到結論，認爲恆星也並不固定卻是在空間中運動着的。這種事實最後由哈雷揭穿，時在一七一八年。這位以其彗星爲我們熟知的著名天文家，觀測到了一種情形，便是有幾顆明星在從多祿某 (Ptolemy) 造恆星表以來的一千五百年內確曾移動了位置，移動量約與月的視直徑相彷彿。既然恆星是運動着的，而太陽又是恆星之一，太陽也一定在對周圍恆星說來的運動之中了。

威廉·侯失勒在一七八三年第一個測定『太陽進路』(sun's way)，就是說太陽運動的方向。他推論如果太陽（當然全行星系統也在內）在空間中依直線進行，那麼恆星一定看來彷彿

佛向反對方向移動。恆星的這種『視差動』(parallax motion)是和它們的『本動』(peculiar motion)相混的。但大體說來，在我們前面的星一定要從我們運動方向那一點向四面散開，而在我們後面的星又一定要向那天上反對的一點聚攏。俟失勒將前面一點，即所謂『太陽頂點』(solar apex)置於武仙座中，離明星天琴座中的織女一不遠的地方；而以後的研究也把這一點放在那附近處。

恆星的這種眼見向後運動只告訴我們太陽向那一方運動，卻未告訴我們其運動的速率。這要等分光儀出來答覆的。我們已經知道，恆星光譜是一道虹色的彩帶，上面通常有暗線亘於其中。依都卜勒(Doppler)約百年前發表而後經菲左(Fizeau)特別補正的原理，光譜線告訴我們恆星如何在視線中運動。如果恆星是相對的靠近來，其光譜線便向紫色一端移動；如果它向後退去，線便向紅色一端移動。這移動的多少隨其運動速率而增加。

顯然的，太陽系運動方向的那一區天空上的星都一致的要以最大速度靠近來的。在天空另一反對方向的星也就彷彿要以最大速度離開我們。依研究全天恆星光譜垂三十年而今由立克

天文臺天文家完成的結果，我們遂得到關於太陽運動及測定其運動速度的更進步的知識。

從我們周圍的恆星一方面講，太陽系是向天上極近武仙座O星的一點運動，其速率是每秒15哩。從這些恆星方面講，地球便是在螺旋線中運動，一方面環繞太陽，一方面分擔太陽的向前運動。

地球在其追隨太陽的運動中，帶着我們經過其軌道兩倍的距離。所有的恆星向後移動的量都比它們由地球繞太陽而生的移動加一倍。一世紀中便大了二百倍。這由太陽向武仙座運動的而生的基線乍一看似乎可應我們測量恆星距離的要求了。視差動依恆星距離而定，由其總量可得到這距離的大小。然而不幸我們平常並不能決定我們觀測得的移動有多少屬於視差動，又有多少屬於恆星本身的移動，因而也不能利用這方法量度恆星距離而得成功。這種方法決不適用於單個的星。

恆星的絕對星等

恆星正如我們所觀測是在光度方面大相歧異的。假如恆星都有同等的實際亮度——假如它們在同距離地方都同等光明，那麼天界的距離就只是一個簡單的問題了。我們且依這假定來考察兩顆眼見亮度不等的星。較黯的星是較遠的一顆；因為一光點的觀測得的亮度正與其距離的平方成反比，所以我們也便很容易測定較黯的星比較明的星遠多少了。但是我們知道恆星並不是同等明亮的。我們的問題便改成了下面的一句問話：我們能不能有法決定一顆不知距離的恆星的絕對星等呢？如果能，我們便很容易由其絕對亮度與觀測亮度之差求出它的距離來了。最近的發現使這種方法有了可能性。我們先辨認一下何謂『視星等』(apparent magnitude)與『絕對星等』(absolute magnitude)。

約在兩千年前，古代天文家將肉眼所見明星分爲六等，依亮度大小爲次序。一等星中約包括二十顆明星。不在最明亮之列的顯著的星（其中有北斗七星之六星）劃爲第二等。如此繼續推到六等，這便是肉眼僅能看見的星了。這便是所謂『視星等』指觀測得的亮度而言。

在遠鏡發明之後，星等便一直伸張到遠鏡能及的暗星了。暗到二十一等的星也可以由百吋

遠鏡望見分等的辦法也改得精確了，定律是兩等星之間的準確比例為 2.512 倍。因此一等星的光度恰為二等星的兩倍半。有幾顆非常明亮的星光度太大也就必須重新編等了。例如織女一便成為零等星，而全天最明恆星天狼便是 -1.6 等。太陽的視星等是 -26.7 等。

以上是肉眼直接觀測或肉眼在遠鏡前觀測的『目視星等』。目視星等相同而顏色不同的兩顆星通常在照相底片上紅色星要暗些。『攝影星等』與目視星等不同，尤其是在紅色星一方面。此外還有其他星等系統，依所用工具而定。

絕對星等是一顆星在恰好十秒差距處——那兒它的視差將是十分之一弧秒——所應有的星等。於是心宿二的絕對目視星等便是 -4.0 ，天狼的是 $+1.3$ ，太陽的是 $+4.8$ 。在十秒差距的標準區域，心宿二將敵上要到最亮時的金星，天狼將是一顆一等星，太陽則為一暗星。

簡單計算一下就可知道如若太陽到了二十秒差距以外（約相當於一等星畢宿五的距離）就不能為肉眼所見。如若太陽到了六千三百秒差距或兩萬光年以外（比武仙座球狀星團的一半距離多一點）就連最大遠鏡也看不見它了。

要測定那些出了直接視差觀測範圍的遙遠的天體的距離，現代的方法是決定其絕對星等。而決定還不知其距離的星的絕對星等的方法，我們現在可提出兩種來說。其一是利用對恆星光譜的特殊研究；其二是利用造父變星的觀測。

藉分光儀得出的距離

平常我們並不以為分光儀是測量距離的儀器。它的用途首先是分析光。但在一九一四年威爾遜山天文臺的天文家卻發現了一種方法，可以從光譜中某些線紋考察出星的絕對星等。同時，數千顆星的『分光視差』(spectroscopic parallaxes)也在這天文臺和其他天文臺求了出來。在前面說光譜序的時候，我們曾指出這種由藍星到紅星的次序是從漸次低降的表面溫度而生的。正如同鐵的沸點比水的沸點高一樣，恆星大氣中的不同化學元素也各在不同溫度中最有效的吸收其特殊線紋花樣。於是花樣便隨着光譜序而改變。所有同光譜品的恆星都有相差不多的表面溫度，因此也在光譜中有相差不多的線紋花樣。

此外還有一要件我們直到現在沒有注意的，這便是壓力。正如同水的沸點當壓力減小（例如在山頂）便要降低一樣，化學元素也在壓力較小處能在較低溫度中同樣表示其光譜線。而某一光譜品（例如M O）的星的表面壓力是依第四十三圖中向上昇（即向更大的星算去）而減低的。要保持同一線紋花樣，溫度便也逐漸減低。於是稀少的紅巨星就比主要程序中的紅色星要冷一些了。

這種溫度與壓力的調和並非對於所有化學元素都有同樣影響的。一方面花樣相差不遠，一方面有的線漸增強，有的線卻漸減弱。上述的方法就支持在這種關係上。考察一顆恆星的光譜中這種敏感的線的強度，結果便可以說出這顆星的絕對星等，由此也就可以知道這顆星的距離了。

造父變星的距離

我們已經知道造父變星是很規則的變光星，其變光週期由幾小時到幾星期不等。它們有兩大類：星團式造父變星週期約半日左右，標準造父變星週期大半在一星期左右。前者是藍色星；後

者是黃色超巨星。兩者的變光程度都約有一星等，而且顏色都隨亮度變。大家相信它們都是脈動星。但現在我們要論的它們的價值卻與任何牽涉到其變光原因的理論毫不相干。造父變星由於其變光週期及絕對星等間的確立了的關係，遂在考察宇宙一方面佔了極其重要的地位。

這種關係是經哈佛天文臺的利維特女士 (Miss Leavitt) 在一九一二年第一個注意的。她在研究小墨氏騰尼雲（這是在下一章中就要詳說的遙遠的星的聚集）的造父變星時，發覺了變光週期很簡單的隨着星的視星等增加。因為這雲中各星相互間的距離之差比起全羣對我們的距離來小得多多，這些星的視星等間的關係也就和它們的絕對星等間的關係差不多了。數年以後，夏卜萊 (Shapley) 把這種關係更弄得詳密。他畫一曲線表示週期如何隨平均絕對星等而增加；平均星等就是說一星的最明時與最暗時的平均等次。

如果變光週期是半日，平均絕對攝影星等便是 0.0；如果是一日，星等是 1.0；二十日是 1.5；一百日是 1.8。這便是這曲線中的幾個數字例子，這可以應用到任何處的造父變星上，不論它有多麼遠。進行方法也極簡單。先找到一顆變光依我們前述特點的造父變星。每夜觀測它，將它的變

化週期測定。從那曲線中找出相當的絕對星等。再從觀測中決定其平均視星等。於是根據這兩者算出其距離。

這方法的第一步是找到造父變星。可是這種變星是很稀少的。也許一百萬顆星中只有一顆是可以應用那曲線的標準造父變星。幸而黃色造父變星是超巨星，是在絕對說來的最明星一類之中的。我們可以在極遠處見到它們，甚至百萬光年以外還一定可見。它存在於我們銀河系的各部，在本系邊界上的球狀星團之中，而在銀河外的其他銀河系中也有。不論何處發現了造父變星，它的距離就可以測定，而它所屬的大團體的距離也因之可定了。

星團式造父變星對於發現距離也同樣有用。對它們的較短週期而言，夏卜萊的曲線成爲在絕對星等等處的水平線了。這便是所有這一類變星的值。測定它們的距離甚至比前面的方法還要簡單些。就是藉造父變星爲主以及其他發現絕對星等的方法之助，今日的天文家纔能考察我們周圍的恆星系以及這以外的更遠的別的星系，而這考察的精密程度在數年以前還是要認爲不可能的呢。

第四章 恆星系統

恆星在選擇長途旅行的伴侶一方面和人類有些相似。有的單獨依直線進行，不變速率，實際也不受他人影響。有的成雙成對的旅行，或者並肩攜手，或者互相旋繞作永無休歇的跳舞。這一種便是『雙星』(binary stars)。還有一些集成小羣，這便是『聚星』(multiple stars)；還有一些集成大隊，便是『星團』(star clusters)。不過不論它們是單人也好，是結伴也好，它們都被包括在星辰社會中的各大區之內，那便是『星雲』(star clouds)或稱『銀河系』(galaxies)。羣居正是天體的顯著的特徵。我們且考察一下這些恆星相聚的各種系統。

目視雙星

北斗柄的中間一顆名開陽，西名 *Mizar*，是著名的雙星。很小的遠鏡也可以把它分為兩

顆光不相等的星。這事實遠在一六五〇年就已有紀載了。以後又有一些別的星肉眼看來是一顆，用遠鏡看來成爲兩顆的。但當時並無人懂得其中意義，也幾乎沒有人注意它們。不錯，我們可以想像以爲在全天這麼多星中，當然常有兩顆雖相離很遠卻在很逼近的一方向，因此會看成一顆的。但是略一計算便知道這種『視雙星』(optical double stars)要比觀測到的雙星少得多多的。因此看來大概它們便真是連在一起的了。這一對之間相距的角度愈小，它們有物理聯繫的大概性愈大。遠鏡中發現出的這種雙星稱爲『目視雙星』(visual double stars)。

大部分的目視雙星都相並而行，並不見有互相旋繞的情形。有許多其餘的星卻是相旋繞的系統，正如同地球和太陽，不過兩者之間的距離和旋轉週期都更大罷了。小馬座 δ 星便以最短的週期——不到六年——而著稱；其兩星間的距離比木星到太陽的距離還要小。別的旋繞系統的例證有半人馬座 α 星，週期約八十年，兩者平均距離約比天王星到太陽大些，還有北河二（西名Castor），兩星相繞週期約三百年，平均距離約爲冥王星到太陽的兩倍。實際上北河二是第一個被察出迴繞的雙星系統。威廉·侯失勒在一八〇三年就注意到兩星間的線，從在他約百年前勃拉

德萊 (Muller) 的紀錄看來，確曾改變了方向。這發現是很要緊的。直到當時的天文家，連侯失勒也在內，都只把遠鏡中雙星當作視雙星的。這時纔看出來其中至少有一些是實際的物理的系統了。從此開始了對於目視雙星的發現與研究，這工作一直很有力的繼續到現在，而近來並且一直伸展到了南天極區域，那兒是早期觀測者大半看不到的。

立克天文臺的艾特根 (Eitner) 是公認的當今日視雙星研究的權威。三十餘年以前他便擠起把他的遠鏡能充分看到的九等以上的星都逐一考察一遍。這工作進行中一大半時間都是他一人單獨努力，直到一九一五年纔告完成。結果發現了四千三百目視雙星。艾特根最近發表的距北極百二十度以內的已知目視雙星表，其中包括了一萬七千顆以上。他的結論說平均十八顆九等以上的星中有一顆雙星的話，照最近的南天的發現看來也同樣適用的。

這種雙星的觀測往往是用眼在遠鏡邊看的。在目鏡地方換一測微計 (micrometer)。這儀器有一蛛網可以移動得在視野中自身平行，還可以旋轉，這都由精密的標尺來量定的。觀測工作便是用測微計量出兩顆星的分離角度和較暗星（稱爲較明星的伴星）的方向。當這測量繼續

到伴星繞了一整圈或繞的路程已足表示其餘的時候就可進行計算軌道了。這相對軌道的要素，有七，例如大小、偏心率、交角等，這便可因而決定其軌道。但常常不能根據這些來決定軌道那一邊對着我們。這些軌道對天的平面的交角是各不相同的。大致說來，它們都是比行星軌道較扁的橢圓。

大犬座小犬座中兩顆星，天狼與南河三是特別值得注意的目視雙星的例子。它們都在離我們最近的恆星之列，距離一是 8.8 光年，一是 10.4 光年，都有顯著的恆星間的運動。約百年前，就確定了這兩顆星並不走單獨星所應有的直線。它們的路線卻反而是波狀的，這就證明它們都有一顆較暗的伴星一面旋繞一面前進了。正和海王星一樣，也許正和最近發現的冥王星也一樣，這兩大星的暗伴星也在並未見到時就確知其存在了。天狼的伴星第一次用遠鏡見到時在一八六二年；南河三的伴星直到一八九六年纔看見。

分光雙星

正像有許多星在肉眼看來是一顆，而遠鏡卻能分成兩顆一樣，還有許多在最大遠鏡中也只看成一顆，卻被分光儀分開了。除非是那環繞的軌道平面對着我們，否則那一顆星便要有時接近我們，有時又遠離我們的。當它接近來時，其光譜中的線紋便向紫色一端移動；當它離遠去時，線紋又向紅色一端移動。這就是著名的都卜勒效應。於是一顆恆星的光譜中線紋的規則的來回移動，如果不能歸之於地球的公轉的話，便證這顆星屬於『分光雙星』(Spectroscopic binary)。這類了；而來回移動的週期便是其迴轉的週期。如果那顆伴星也有相當的亮度，光譜中也就會有它的線紋。如果兩顆星都屬同一光譜品，這兩相似的花樣就以相反的情況來回移動，因此有時線紋是雙的，有時卻是單的，當它們兩者相重疊的時候。

北斗星中的開陽又是第一顆認出的分光雙星。這真是希奇得很的事，因為它也是開目視雙星紀錄的第一顆。一八八九年首先在哈佛天文臺看出這一對目視雙星中較亮一顆的光譜，在有的照片中是重複的，在另一些照片中又是單的。這兩顆星卻不能用遠鏡分出來。它們在二十日半的週期中互繞一周。它們的平均距離約比天王星到太陽的距離遠一點。

同時又發現了一千顆以上的分光雙星，其中有幾顆最明亮的星例如五車二、角宿一、北河二。五車二含有兩顆差不多亮度相等的黃色星，週期爲百零二日。角宿一的兩顆藍色星相距更近。其旋轉速率爲每秒八十哩，百三十哩，約四日一周。遠鏡分出的北河二的一對星，每顆各是分光雙星，肉眼看來是一顆的總共有四顆星。這種雙星就有很多的變化了。其中有的幾乎連在一起，週期只有幾小時。又有的要數月纔能一周，竟似乎可以由將來的大遠鏡分爲目視雙星。

許多這種互轉星的光譜中有三暗線不隨其他線移動。這些便是夫牢因和斐譜線的紫色中的H及K鈣線，和黃色中的雙的D鈉線。有人相信這些暗線是在星光到地球的途中被空間中極稀薄的氣體吸收了的。

雙星是非常之多的。大概每四顆星中就有一顆是雙星或聚星。有的天文家竟持一種意見，以爲像我們的太陽之類的單個恆星是居於少數地位的。關於恆星本性的完滿的敘述也許會告訴我們何以有這麼多雙星的。雙星形成的分體學說受到不少的注意。這學說認一星可由迅速旋轉分裂爲二。甄思還想像着造父變星的脈動也起因於分體的過程中。這兩星一分體，便成爲接近的

分光雙星。由互相吸引的浪潮的力量，這分離和旋轉週期可以增加起來，但又不見得能增加到成爲相距那樣遠的目視雙星的地步。

暫把這些論撇開不管，雙星系統的最主要的價值在能藉以測定恆星的質量。目視雙星的這一方面的算法又異常的簡單。以弧秒爲單位的兩星間平均距離的立方，用以秒爲單位的視差的立方與以年爲單位的週期的平方的乘積來除，便得出兩星質量的和。這種質量以太陽質量爲單位來表示。我們已經說過，單個的恆星的質量與太陽質量比起來是相差不遠的。不錯，如果我們把二作爲這法則中質量的和（這要依雙星的種類而有增減），再計算雙星的視差（稱爲力學視差）便可得出相當準確的距離。

蝕雙星

分光雙星的軌道如正以邊對着我們或兩星距離極近時，便是『蝕雙星』或『蝕變星』。這一大羣星中最先發現的英仙座中的『妖星』 *Alseol*（中名大陵五）同時也是最著名的。這星

的變光時期非常準確的隔約二日二十一小時一次。在兩大半的時光中，大陵五的亮度並無變化。只有最精密的測量纔能發覺一點變動。以後的五小時內就漸暗下來，直暗到只有平常亮度的三分之一。再過五小時，它又恢復常態了。

在這顯著變光的十小時內，這明星是被其暗弱的伴星蝕去了一部分。我們知道這是偏蝕，因為它光的恢復立刻接着其衰落。假如是全蝕的話，光會當全蝕時保持其最小光度的。假如是環蝕的話，就是說，假如前面的星完全投影在後面星的圓面上，卻又不完全遮掩的話，也會有經常的最小光度而光的衰落與恢復性質也有點不同。別的蝕雙星有的是全蝕和環蝕的例證。

在兩主要蝕相隔的期間中，光也並不經常不變。有時其變化也很顯著，尤其是約近一半，當明星被明星蝕去的時候。除了蝕之外的變化便是兩星的不成球形。一方面它們因自轉而得兩極的扁平化，一方面它們又互相對着起浪潮而有長形。

在蝕雙星的變光全過程中精確測量其光度，特別又加以觀測其光譜，這兩星及其軌道的一切就差不多全可由此而知了。這樣算出的恆星大小與形狀是有最大價值的數據（三三）。大陵五

以外的肉眼可見明星中，是蝕雙星而變化程度又大得容易觀測的有天琴座 β 星，金牛座 λ 星，武仙座 σ 星，天秤座 δ 星。

蝕星系是分光雙星的特殊情形。其軌道都差不多以邊對着我們。若從恆星系統的別一部分看來，這些星便會毫無變化，而別的我們看不出變化的相近的雙星卻會因交蝕而生變光的。

星團

星團並不是天界路程中的偶爾的聚集。它們都是在一起很有秩序的旅行天空的星之羣。它們有兩類：一是『疏散星團』(open clusters)，有時叫做『銀河星團』(galactic clusters)，因為它們都集中於銀河內，一是『球狀星團』(globular clusters)。

在幾個較近的星團中，最明亮的星都很可為肉眼所見。昴星團 (Pleiades)——或叫它做七姊妹——便是這種情形。那是七顆肉眼可見的明星在秋冬的晚天上形成一把短把的杓子。銳利的眼可以從這星團中看出九顆或十顆來，但遠鏡中卻可以看出更多。昴星團之南又有一顯著的

疏散星團，也屬於同一的金牛座，便是畢宿星團（Hyades）。這是指示天牛之頭的V形的一羣，其中還有帶紅色明星畢宿五，雖然這明星並不確屬這星團本身。

疏散星團的團員都在空間中有一致的行動。但其中有的卻離得很近以致可以明察出它們的運動，這些稱爲『移動星團』（moving clusters）。畢宿星團便是一個很好的例子。這V形星羣（除開畢宿五不算）及鄰近的星都一致趨向東方。它們的道路並非恰好平行，卻正像遠遠望來的許多道路一樣向遠方聚集，這又表示它們還在退後。約百萬年前這星團離我們約六十五光年。現在已加了一倍遠了。不到萬萬年以後，這星團要擠縮成一遠鏡中的暗淡物體，到離獵戶座紅星參宿四不遠的地方去了。

我們現在正處於這樣一個移動星團之中，但我們的太陽並非其中的一員。這星團中的一部分現於北天，形成北斗，但要除去柄末一顆和指極星的上一顆。到南天有天狼，天空其他部分還有些散得很遠的明星，都屬於這一星團。過許多時候以後，它們就要把我們去在後面，遠遠離開成爲一個疏散星團的平常的狀況了。

有些疏散星團在肉眼看來像一塊霧斑。也叫「蜂巢」的 Praesepe（中名積屍增三）便是著名的例子。它在獅子座的鐮刀形兩邊一點，屬於黃道帶中的巨蟹座。連一具雙眼鏡也可以將這黯淡的光斑分析成粗略的星團。另一塊雲狀光斑正在銀河中，屬於英仙座，離仙后的寶座也不遠。小遠鏡可以看出那兒有兩個星團，這便是平常稱爲英仙座二重星團的。我們用遠鏡順着銀河找過去的時候，還會遇見別的一些美麗的疏散星團。我們也許可以想到這些星團中有些最近的看起來還遠在天上這道光帶以外的。在獅子座與牧夫座之間的后髮座星團靠近了銀河的北極。

對於測量遠近極有價值的造父變星和星團式變星卻沒有在疏散星團中發現。事實上在任何這類星團中也沒有發現任何變星。天文家想出了別的方法來測定這些星團的距離。立克天文臺的特蘭勃勒 (Trumpler) 最近測出了一百以上星團的遠近和大小。頂奇怪的是這種星團的直徑好像跟着它們到地球的距離一同增長。

這一類事實的有系統的結果必須加以解釋。我們是不大能够相信地球竟有這樣重要。能使那些星團很均齊的對它排列起來。看起來大概這種大小的逐漸增長，可以歸之於觀測或計算的

特殊情形。測量距離的時候，大家認為空間中是完全透明的。且假定其中有很稀薄的霧充滿着。於是遠處星團透過這重中間物便要顯得暗些，因而也顯得比真實距離遠些了。要補足它所造成的角度，它的大小也就更大得多了；而這增算的結果就一定要使更遠的星團變得更大。

特蘭勃勒爲了解釋疏散星團的測得距離的不斷增長，假定有一層幾百光年厚的能吸收物在銀河平面上。距離三千光年的一顆星，完全透過這吸收層去望它時，亮度要減少百分之五十。這種層對於位置離銀河遠的天體沒有什麼妨害。集聚在銀河平面上的疏散星團可就顯然受了影響了。因此那些形成銀河的恆星雲也必受其影響。透過這層霧狀中間物去看時，它們都要顯得比較暗，因此也顯得比真實距離遠得多了。全銀河系統於是便從通常承認的直徑約二十萬光年縮小到約只有三四萬光年了。以上是特蘭勃勒根據他的疏散星團的研究而得的結論，這結論卻還必須仔細的研究一下。

球狀星團

第二類星團包括較大且較偉觀的球狀星團。這種大的恆星的球離開了銀河本身積聚的區域；它們位置在我們系統的邊境上，那兒的星本是很稀少的。這系統中已知者有九十三個。有十個在墨氏鵝尼雲中發現。

最近最明的球狀星團是半人馬座 ω 和杜鵑座四十七號(47 Tucanae)，兩者都不能被北緯中部的觀測者所見。它們的距離約有二萬二千光年，現成雲狀的四等星，因此很可爲肉眼看見。遠鏡中看出它們都是恆星集成的球，確然是略扁的球，這證明它們是正旋轉着，兩極略扁，正如地球。長時間露光的照片示出它們有若干顆星，不過中心部分聚得太密，計算不大可靠。

武仙座大星團梅西耶十三號(Messier 13)是北緯中部有遠鏡的觀測者能見的最美球狀星團。它約在夏末的傍晚差不多從頭頂上經過。把武仙座看成一隻蝴蝶的人，可以在從蝴蝶頭部到北方翼端三分之二處發現這星團。最合適的時候，它也可彷彿爲肉眼所見。但是用遠鏡看來，尤其是看起遠鏡攝得的照片來，這纔真是壯觀。

這星團距離有三萬四千光年，因此只有其中的較明的星可以看出來了。不比我們太陽更明

的星在那中間便是用最大遠鏡也看不見的。可看見的卻已有了五萬顆——比肉眼同時在全天
上能見的星數多出二十倍。武仙座星團的團員全數一定要在數十萬以上的。最密的部分直徑約
有三十光年。星團中大部分的星都在六七十光年的區域以內。在和太陽周圍同樣大的空間之內，
星數卻要大得多的。如果我們住在這星團的中心部分，我們的天空星座定會比現在格外光輝多
少倍的。

夏卜萊在威爾遜山和哈佛研究球狀星團的結果，把它們的距離都定得大致可靠了，約從二
萬二千光年到十八萬五千光年之間。這些星團離開了銀河的中央平面，但它們卻很均稱的分配
在其兩邊，這便表示也和其中恆星雲的系統有連帶關係。球狀星團分佈於二十萬光年直徑的空
間之上，這空間的中心離地球約五萬光年，正在人馬座的方向中。如果我們假定這些星團構成了
銀河系的大輪廓，那麼我們這系統的直徑便是二十萬光年，而其中心便在人馬座的方向中，離我
們在五萬光年以外。



第四五圖 武仙座球狀星團（威爾遜山天文室攝）

銀河中的恆星雲

北緯中部觀測者所見的最美的一部分銀河，要在夏末和秋天的傍晚來看。它正像一道發光的帶子從東北到西南橫過中天。在晴明無月的夜間，在沒有人工的光攪擾的地方，這正是肉眼所見的最動人的景色之一。

我們從東北方地平順銀河之流上溯，便經過英仙座、仙后座、仙王座，到北方大十字區（天鵝座），這兒在秋初傍晚已近天頂了。銀河由此分爲兩支流平行下去，約一直分支到南十字座。這種大分支和其他小分支都不是銀河真分裂了，卻是一些黑暗的宇宙塵雲把外面的星遮住了，這在下一章中我們要更特爲加詳說明的。

從天鵝座向南，西支流漸暗，但在到地平之前又亮了起來。東支流經天鷹座時更明，過這星座以後便聚集成爲壯觀的盾牌座（Sagittarius）和人馬座的恆星雲了。此處與附近的蛇夫座和天蠍座的區域都是頂容易又頂可注意的銀河區，不管我們有遠鏡也好，或只用肉眼望去也好。用短焦距遠鏡攝的照片很清楚的表示其詳細情形。巴納德的此處及北緯中部可見的銀河其他處的照

片都是最美麗的。他用十吋的勃魯斯遠鏡在威爾遜山做了一部分，又在葉凱士天文臺完成了其餘的工作。

在南方地平線下，銀河經過了半人馬座，那兒分支纔告結束，又經南十字座，那兒離天球南極最近。以後又往北去，在我們的冬季天空現成一道寬的河流。這一部分銀河不如夏季看見的一部分明亮，而且也不那麼顯著的聚成恆星雲。在仲冬月我們隨這河流經過兩顆犬星和獵戶座，經過雙子座和御夫座（已近天頂）再入英仙座。

從銀河中我們見到的是我們銀河系的恆星雲在天上成一圓圈的投影。顯然的這通過此發光帶中心的一道圓便指示這扁平系統的主要平面。我們的問題便是據此投影繪出一幅該系全圖。在本書最後一章中，我們要說到描繪此圖的進步，還有天文家到此系疆界外探險所得的外銀河系的發現與研究。

星雲，不論是明的是暗的，都在銀河系的構成中占重要的地位。我們最先要注意到我們本銀河系中的星雲。

第五章 星雲

從前時候，除了銀河中的恆星雲以外，所有天上的暗淡的光斑都叫做「星雲」。其中有幾個可以爲肉眼所見，用遠鏡看來卻又發現了無數。侯失勒氏一家幾個天文家（按有約翰·侯失勒、威廉·侯失勒及加樂林·侯失勒女士）對於許多星雲做了發現、紀錄、編排等工作。

有的星雲有特殊名稱，例如獵戶座大星雲、北美洲星雲、三葉星雲（Triad Nebula）。較明亮的星雲的名稱常常用梅西耶（以發現許多彗星著名的）在百五十年前做的一百零三星雲表中的號頭。由一個用小遠鏡的觀測者看來，這些物體很容易被誤認爲彗星。例如梅西耶三十一號（在仙女座中）。不過星雲現在大概都用德萊耶（Dreyer）的新表（New General Catalogue）中的號數了。那星表共有兩部，中含一萬三千星團和星雲。仙女座大星雲是 N. G. C. 223（新表二百二十三號）。

早期天文家的關於星雲本性的意見各人大不相同。康德 (Kant) 揣測它們是遙遠的星系——島宇宙——得到很不錯的結果。威廉·侯失勒的結論是說其中有一些本性並不與恆星相同，卻是一種發光的流體。拉伯拉斯的著名的星雲假說以為太陽系便是由一團氣體星雲凝縮而成的。但是認星雲為氣體的觀念卻似乎被更大的遠鏡所否認了。能分析成一些恆星的星雲越過越多了。到十九世紀中葉時，羅斯爵士的六呎返光遠鏡，當時及後來許多年中的最大遠鏡，非常有效的把所謂『星雲』的雲顯露為遙遠的聚集的星。

然而並非所有星雲都是恆星的團聚。英國的赫金斯 (William Huggins)，在天文學中應用分光儀的先驅者，確立了侯失勒以為有的星雲是『發光流體』的推測的真實性。在一八六四年赫金斯把他的分光儀對着天龍座星雲察視，見到了一種明線的花樣——這正是一種發光氣體的光譜。現在已真相大白，知道有一些星雲是氣體的了。但還有一些星雲雖有近似恆星光譜的暗線花樣，卻並無能析成恆星團的痕跡。星雲中依然有些尚待解決的神祕之處。

所有我們銀河系中的星團現在都已顯然與星雲區分出來了。此外，最近的研究並證明許多

從前認為星雲的物體實在是遠在我們銀河以外的遙遠的銀河系，它們的情況要到下章中描寫。嚴格說來的星雲，在我們的銀河系中以及在外銀河系中的都算在內，大致分爲兩大類：明的和暗的瀰漫星雲，行星狀星雲。

明亮的瀰漫星雲

獵戶座大星雲（第四十六圖）是最著名的明亮瀰漫星雲。肉眼看來，它是獵戶佩刀三星的中間一顆，在腰帶較明三星的稍南一點。用遠鏡視察時，它現成一塊粗略的三角形的發微弱光輝的質料。表面看來，這星雲面的距離約爲滿月的二倍。實際上卻是十光年——一塊極大的雲。用闊度透鏡並經長時期露光攝得的照片中，可以看出全獵戶座的大部分都爲一層更暗的星雲所籠罩。

人馬座中的三葉星雲是明亮瀰漫星雲的另一好例。乍一看來，許要以爲它分成三片或三片以上，因爲有寬闊的黑暗的裂紋在上面。那些實際上是許多道暗星雲，常常和發光質料連在一起。

的。昴宿星團中的最明幾顆星都裹在雲中，使這星團的照片增加很多興味，不過肉眼從遠鏡邊看來，平常還是只看到一些星。常常有照片中很觸目的星雲在最大的遠鏡中也絕不能為視覺所感到。

北美洲星雲便是如此。海德堡的吳爾夫給它起這名字是因為它像北美洲。它的位置在天鵝座中北十字頂上明星的近旁。它是照片中觸目的物體。同星座中還有一卵形環狀星雲在逐漸膨脹。於是引出了一種揣測以為這是一顆恆星爆炸的結果。如果這解釋是正確的，如果它的膨脹率不會改動，這新星的強烈的爆炸必發生於十萬餘年前。這環中最明部分稱為網狀星雲和絲狀星雲，都有與其名稱相應的組織。

這些都是明亮的瀰漫星雲的例子，在遠鏡中尤其是在照片中發現了不少這類星雲。它們都在銀河以內或附近，也在外銀河系中。事實上已知的最大的這類星雲在銀河本身以外；這便是大墨氏瀰漫星雲。稱為劍魚座三十號 (30 Doradus) 的這星雲的直徑有一百光年以上。

瀰漫星雲是極大的氣體與微塵的雲。它們在許多方面都使我們想到彗星的膜狀尾部。其中

材料散佈的稀薄竟比實驗室中所得的最好的真空密度還小。只是因爲其雲層之厚纔使我們能夠看見它們的。而它們的光也暗得正像現在由遠處所見一樣。假如我們住在北美洲星雲中，我們平常是不能覺察到它的存在的。

星雲的光

什麼東西使這些星雲發光？不用說這樣稀薄的質料是斷不能熱得發光的。這許多年來煩擾天文家的問題經赫伯爾（Hubble）做成了答案。這是他用威爾遜山的大返光遠鏡充分研究星雲的結果。星雲之發光是藉助於鄰近的恆星。差不多每一這種星雲的發光都可以由鄰近或其中的星來負責的。而且，這顆聯屬的星愈明，這雲狀光所及的範圍也愈大。但星雲的光也不全是簡單的星光的反映；至少不是全體星雲都如此。

分光儀的研究發現了星雲的光與其聯屬星間的有趣的關係。所有的星（除了最熱的一鄰近的星雲光和星光相似。兩者都有同樣的暗線光譜，同樣的暗線花樣。昴星團周圍的星雲便是

這種相似的例子。另一方面，獵戶座大星雲以及其他與最熱星相連的星雲的光卻與此不同。它們的光譜是明線花樣，不像恆星光譜。我們又可從這種關係得出什麼結論呢？

天文家關於第一類的意見並不完全一致。有的相信那些星雲只是簡單的反映星光。但是有明線光譜的星雲的光顯然不是星光了。不過其聯屬的星仍然負着照明的責任。我們由此想到極光，那也並不是日光的反映。彗星的光也有相彷彿的問題，我們的結論便是獵戶座星雲和其他類似者的發光同我們的極光是一類，是由於附近熱星的影響。

許多年來，科學家都為星雲光譜中的明線所煩惑。這些線中有的一定無疑的是熟知的是氫元素。它們中間並無神祕。但星雲光譜中還有一些明線是在實驗室中從來未見過的。難道能有地球上沒有的元素存在於星雲中嗎？這種元素暫時便叫做「氫」(nebulium)，正如同從前為太陽起了氫的名字一樣，因為那元素也是先在太陽光譜中發現後證實於地球的。然而「氫」並不是一種元素。星雲光譜中這種使人煩惑的明線是由尋常的氧氮元素在該處的非常情形中產生的，那種情形卻絕不能在實驗室中複製。因此這奇異的明線問題便算解決了。

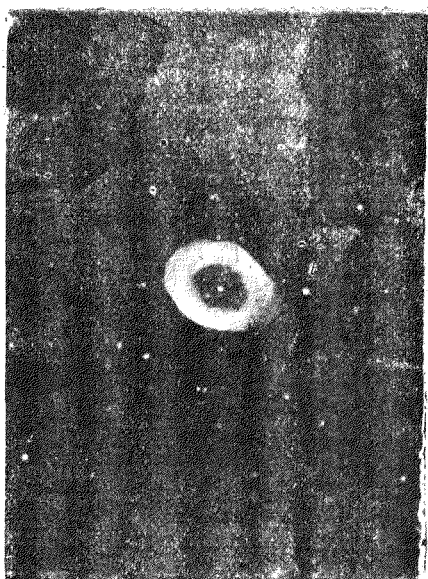
行星狀星雲

行星狀星雲與行星絕無相同之點。這名稱是因爲在遠鏡中它們現成橢圓面。它們是很扁的球形星雲質料，比行星大出極多，甚至比全太陽系還要大。扁的原故是它們的自轉，這由分光儀就可以單獨證明。不錯，有的也現成真正圓形面；但顯然其中的軸是差不多對着地球的。它們的自轉週期要以千光年計。

現在已知的行星狀星雲有一百以上。它們大概都有同樣的大小；看來大小不同只是因爲遠近不同。寶瓶座中的螺旋星雲 *N. G. C. 7993* 大概許是最近的一個，看來約比滿月的三分之一大一點。最遠的用遠鏡看來都不見得能與恆星相分別，不過用分光儀卻很容易把它們認出來。

行星狀星雲面上的明暗不同使它們各有特徵。『梟星雲』在大熊座中，是最近的一個因而也是遠鏡中現得最大的一個，得名由於它的兩黑塊可以想像爲梟的兩眼。狐狸座中的『啞鈴星雲』的橢圓長軸兩端黑暗，（這倒是常有的情形，）因此現得像啞鈴。行星狀星雲中有一個有些

第四六圖 (上)天琴座環狀星雲



(下)獵戶座大星雲(威爾遜山天文臺攝)



像土星及其光環，光環卻幾乎以邊對着我們。別的又有一些同中心的環。還有些有厚環，圓面中部便遮黑了。

天琴座中環狀星雲是用中等遠鏡看來最美麗的行星狀星雲。它位置在天琴座的南部，在蝕變星 β 及其鄰星 γ 之間，是肉眼和小遠鏡看不出來的。用大一些的工具看，它便像一塊有些扁的發光小餅。在照片中這環就現出複雜的細結構，中心還有一顆星。這中央星，一顆非常之藍的星是行星狀星雲的特徵，差不多沒有例外；這顯然是它們的光明來源。

至於行星狀星雲和其他天體間關係，我們現在還沒有確切的知識。大概也可假想它們和新星有相類處。新星也和行星狀星雲一樣很強烈的向銀河集中。新星在最後階段時與行星狀星雲的中央星並無不同，有的新星周圍也見到有氣體包裹。在一九一八年爆發的天鷹座新星四周就有一層雲狀殼，這殼以每日五千萬哩的速率膨脹。

暗星雲

我們已經知道，星雲之發光是倚仗着鄰近的星。沒有這種星的時候，它們便黯然無光，只因爲把更外面的明亮天界遮蔽住纔能使我們知道了。正像我們銀河系中的明亮星雲一樣，這些黑暗塵雲也強烈集中於銀河部分。這是很幸運的佈置，因爲有天上那道明亮帶子襯着，可以很清楚的看出它們來。

銀河中最顯明的這種「空白地帶」是那一大道黑暗裂紋，差不多從北十字開始到南十字終結，把經過全天的銀河的三分之一隔成兩道平行的支流。北十字的北邊有一道橫過的裂紋很容易看出來。南十字的附近，有一黑塊差不多和這十字一樣大，其中只能見到很少的星。這明亮的恆星雲中的大洞很久以前便得名爲「煤袋」，這是古代水手給它起的名目。

直到最近不久，大家都把銀河中的暗裂認做空隙，以爲由此看到了外面的黑暗空間。不用說這種解釋是難於十分令人滿意的。如果恆星雲很厚，這些洞隙便要成爲地道了。爲什麼這些地道要對着地球呢？這就很不容易解釋。而且這些地道周圍的星羣都向各不同方向運動，何以這些地道卻永不見移動呢？葉凱士天文臺的巴納德便是首先認這些裂紋爲黑暗塵雲的人中的一個。

要充分知道暗星雲的數目之衆多與形狀之複雜，只要去考察那些不難得到的精美的銀河照片就够了。這道光之流的全程中都充滿得使人迷惑。尤其是在蛇夫座區域中，那兒有一些最驚人的形狀陳列着。這種暗雲的大多數都在我們的本星系中，離地球只有幾千光年。在外銀河系中也有，下一章中就要說到。

暗星雲與明星雲一樣是氣體與塵埃的大雲。它們或許也會含有較大的固體塊。彗星與流星羣也有相似的組織。確有人提出意見來，說環繞太陽的這些彗星流星就是數百萬年前太陽系經過一暗星雲時檢來的東西。

星雲假說

從前把宇宙演化的理論看得比現在嚴重些的時候，大家相信星雲是宇宙間最原始的材料形態。星雲又怎樣產生卻不能明白了。星雲便是最初的混沌，有秩序的恆星行星之羣都由此而出。約二百年前，哲學家康德提出第一個星雲假說。他選定星雲做第一階段，因為他看來這是不能承

繼別物的最簡單的形態。在他看來，演化過程便是由簡趨繁，這種觀點在後來的學說上也大致傳留了下來。拉伯拉斯的關於宇宙演化的星雲假說是其中最著名的一個，他把太陽系的發展特別研究了一下。

直到最近，大家還大致假定恆星的發展是由於明亮星雲（例如獵戶座大星雲）的凝縮。而且大家相信不同顏色的星便代表不同的年歲。年輕的星最熱，因此是藍色星。它們逐漸冷卻凝縮便成爲太陽之類的中年黃色星。到老年更冷了，便成爲紅色。它們的光又逐漸變紅變暗最後便消失了光芒。這古典理論並不是一盡美盡善的。我們不能明白何以最熱的星能够是冷的星雲的第二階段。可是藍色星與明星雲的親密的聯結似乎又證明它們都極其年輕，例如昴宿星團中的藍色星就裹在星雲之中。但我們已知道這聯結現在有了與前此不同的含意了。星雲的明亮只因爲附近有熱的恆星。

恆星演化的原來的學說是一條路線的過程，從稀薄的星雲到密而暗的星。但在一九一三年，羅素（Russell）指出從藍星到紅星的程序有兩支。一支包含比太陽更大更明的巨星與超巨星；

其中的紅色星是最大最稀薄的。另一支包含較小的主要程序星（有太陽在內），這些星愈紅便愈小愈密。爲解說這新論據，又有恆星發展的新說出來，在其後十年間廣受採用。恆星由暗星雲凝縮而成。起初是大的紅星，冷而且表面每一方呎都並不亮；可是因爲它們太大所以也就成爲最明的星了。年紀一大，這些星就變小。有一時期它們由凝縮而生的熱比輻射出去的多。它們越過越熱，從紅到黃又到藍一直變色。此時凝縮減慢了。熱量得到的比放出的少了。星又漸冷卻，顏色由藍而黃而紅。最後停止發光。

兩種學說都是以星雲始，以暗星終。兩者都以凝縮爲要點。考察這些學說時，我們倒要知道是否將來有一時期中全沒有星雲而且一切星都消失不見。不過我們要記得這是論到一個極煩雜的题目的先驅學說。宇宙發展過程極慢，因此也極難追求蹤跡，我們又沒有確切證據證明恆星在不斷的凝縮。

現在我們便從這些對宇宙遠古及將來的猜測轉到宇宙現今的狀況去。恆星與星雲都聚成一些極大的銀河系，這是值得我們注意考察的。

第六章 銀河系

我們在描寫銀河的一章中已經提到過恆星雲了，例如人馬座大恆星雲，中心離我們有五萬光年以外，還有較小較近的盾牌座雲。依夏卜萊新近的意見，這些恆星雲都是『銀河系』(Galaxy)，就是說恆星和星雲的大集團。它們的平均直徑有一萬光年。有的小得多，有的卻直徑大出三四倍。

我們的太陽所屬的銀河系稱爲『本星系』(local system)。這是一個約中等大小的很扁的集團，其中包括我們的星座中肉眼可見的明星，中等遠鏡中可見的數百萬星的大部分，許多疏散星團，以及所有依銀河密集的明暗星雲。從大銀河系統的別一部分來看，我們的本星系便成爲恆星雲之一。在本星系中太陽差不多居於中心；真中心是在三百光年外南天星座船底座 (Carina) 的方向中。

這些恆星雲幾乎都聚集成一平面，在我們叫做大銀河系統的超銀河系中。過去百五十年間，天文家曾試求精確測定這大系統的形狀和大小。這系統的主要特色便是我們見到天上投影的銀河。這問題很難，因為我們自身便處於這系統中；假使我們能從系統之外來望一眼，那就要簡單得多了。這個困難從前更甚，因為在不久以前還毫無辦法測定比本星系中環繞我們的天體更遠的天體的距離。

研究這大銀河系統的構造有兩種方法。第一種是在天上各處數同大小的區域中的星；這星數便成了統計研究的數據。這方法的第一個應用的人是威廉·侯失勒爵士，他數過他的遠鏡能見的全天三千以上區域中的星數。先假定某一方向星數多便是某一方向的範圍廣遠，侯失勒於是得到結論說，大銀河系統的形狀如磨盤，軸與銀河平面成直角，直徑依當時能用的比例尺是約六千光年。侯失勒的系統太小，因為他的十九吋返光遠鏡只能使他見到較近的星。這是第一次有計劃的企圖考察大銀河系統。這種統計方法此後又應用了許多次，在遠鏡與方法兩方面都有一些改善。這種計算現在是用在天空代表區域的照片上。最新的結果由威爾遜山天文臺的西勒

斯 (Sartorius) 在一九二八年宣佈。

第二種研究大銀河系統構造的方法是測定全系統中各處物體的距離。很明顯的，如果我們得到了全系統中許多處的方向與距離，我們就可以造出一個代表它的形狀和大小的模型來了。我們已知道不論何處出現了造父變星，就可測定其距離；而這種有用的星卻散佈滿了全銀河系統。藉造父變星之助，又利用一些天文家新近發明的方法，大銀河系統的考察現在進行得很快，哈佛天文臺和別處許多天文臺都做這工作。約十多年後我們對於大銀河系統的形狀和大小就可以有差不多完全的知識了。此刻大家的意見還有許多的分歧。

前而我們已經提到過球狀星團系統的一個可靠的模型了。這些星團都對銀河平面很均稱的分配着，所包裹的空間直徑約有二十萬光年以上。如果我們假定球狀星團正做了大銀河系統的輪廓，那麼這系統的直徑就有了二十萬光年了。其中心在人馬座大星雲的方向中。

起先有許多天文家認定全大銀河系統只是一個單獨銀河系。而因為有許多外銀河系都是漩渦星雲狀，所以也很容易想像我們的也是漩渦式的。這樣認定時，人馬座星雲便是這漩渦各支

所從的出大核；我們的本星系只是一支中的較小集團，約在從中心到邊界的中途。

最近的觀測似乎證明大銀河系統和遠處漩渦星雲一樣旋轉。我們既也在這大旋轉中，便也要以每秒二百哩的速率運動，現在的方向是仙王座。這種證據大概可以用來支持那種認大銀河系統爲一單獨漩渦銀河系的見解。如果是這樣，它便是已知銀河系中之最大的，比其他中間最大的還要大五倍。這種相差很使人起疑。

夏卜萊在一九三〇年提出的見解卻與此不同。大銀河系統是一個超銀河系，恆星雲纔是個個銀河系。全系統並非漩渦狀，但有些銀河系也許是的。這便是我們暫時採取的見解。我們周圍的本銀河系和大銀河系統中其他銀河系的大小與外銀河系的大小都相彷彿。這種符合便使這學說得人贊許。但是我們的超銀河系的直徑只有百萬光年的五分之一，卻比遙遠的超銀河系爲小。不過如果能發現不在銀河平面的鄰近銀河系也仍屬於我們的超銀河系時，這一點差異就會消失的。

兩墨氏騰尼雲雖離銀河很遠，卻比許多球狀星團近。因它們在近天的南極處，北緯中部的人

便看不見它們升到地平線上。大雲約有八萬六千光年遠，直徑有一萬光年以上。小雲略遠一點，距離有九萬五千光年；直徑是六千光年。兩者都可被肉眼看成天上的光斑。用遠鏡看來便發現它們都包含星、星團、星雲，以及其他我們本星系中所有的熟悉的狀貌。在大小一方面，它們也像銀河中的恆星雲。假如它們在銀河平面的話，我們就無從把它們從銀河恆星雲中區分出來的。它們的運動也使我们想到它們是和我們的大銀河系統屬於同一超銀河系的。

在侯失勒開始做他著名的天界考察的前二十餘年，英國的萊特 (Thomas Wright) 已發表一種學說，以爲這大星系的形狀像一平扁圓盤。哲學家康德在一七五五年發表更進步的意見。他猜想星雲是我們銀河以外的遙遠的銀河——依這見解曾把它們叫做『島宇宙』。但在當時，而且一直到不久以前，都沒有方法測定這些物體的距離，因之也不能證實或否認這種見解。

從前叫做星雲的模糊物體，除了已證明爲星團的以外，很清晰的分爲兩大類。第一類向銀河一帶聚集；這些都是『銀河星雲』或者說是真正的星雲，已在前章中敘述過了。第二類散佈全天，只除卻銀河附近沒有，因爲那兒它們被暗星雲和銀河平面中其他吸收物質遮蔽了。這些星雲，濺

渦星雲也在內，稱爲銀河外星雲。在過去二十年間，有一種復活「烏宇宙」說的運動，便是把這些銀河外星雲當作烏的。但在這些物體的距離未知時，這運動也很少進步。

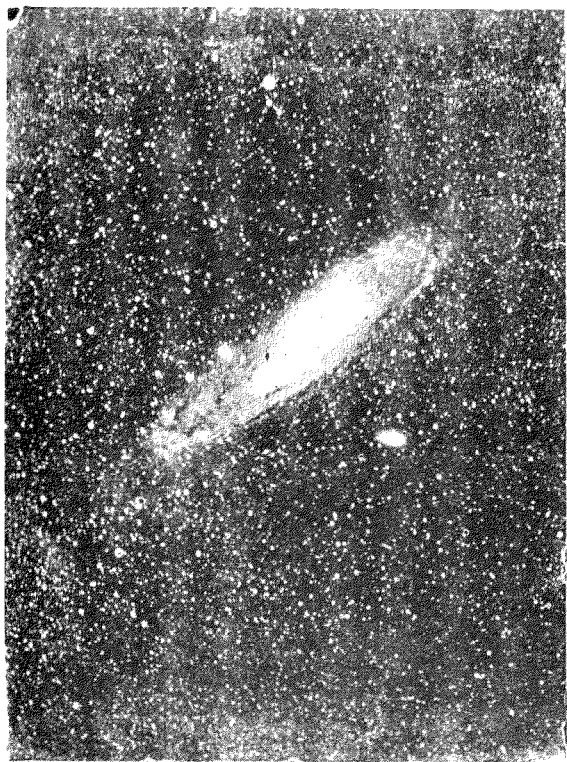
關於銀河外星系的確切知識是由哈佛的夏卜萊在一九二三年開始的。他證明天文家熟知爲 *N. G. C. 6822* 的恆星雲比銀河系統的任何部分都遠得多。於是至少有一個「烏宇宙」成立了。這一銀河系距離有 $625,000$ 光年，和墨氏騰尼雲相似。

第二步進展是赫伯爾爲最近漩渦星雲中單個恆星攝影的成功。他用威爾遜山百吋遠鏡攝得的這些恆星照片中就發現了造父變星。它們的距離，因之連它們所屬的漩渦星雲的距離也一起在內，都可以測定了。必要的事只是要常常爲這些漩渦星雲攝影以便確定造父變星的週期。赫伯爾用這種方法進行以後，在一九二五年宣佈了漩渦星雲是遠在銀河以外的銀河系。

『仙女座大星雲』是漩渦星雲中最明亮的，也是其中唯一能被肉眼清晰看見的。在秋冬的夜晚天空上，一個熟悉飛馬座大正方形的人都容易找到它。且假想這正方形，勺子，杓柄向着東北。在杓柄第二顆星的東北一點，這大漩渦星雲在肉眼看來便現成天上的長長的微弱光斑。用

遠鏡也看不出它的構造，可是照片中卻很清楚的表示了出來。這是一平扁漩渦星雲，它的邊向我們約作十五度的倚側。肉眼看見的明亮核周圍還有較暗的盤面。仙女座漩渦星雲的距離是八十萬光年。這是巨人銀河系。

在鄰座三角座中，最近的漩渦星雲梅西耶三十三號差不多不能為肉眼所



第四七圖 仙女座大漩渦星雲（葉凱士天文臺攝）

見了。雖然這星雲比仙女座星雲近了百分之五，它卻更小些，因此也更暗些；它的直徑是一萬五千光年。三角座漩渦星雲比較更以平面對着我們，因此它的構造顯得很清楚。從核的相反方面伸出分支向同一方向在同一平面上屈曲。

估量起來，約有二百萬銀河外星系可以亮得爲百吋遠鏡看見；其中大部分都是漩渦星雲。它們的距離從不到百萬光年到一萬五千萬光年。漩渦星雲的直徑平均約從五千光年到一萬光年，這要看它們彎曲得緊不緊。它們對我們的狀況也互不相同，有的以面對着如北斗附近的獵犬座的漩渦星雲，有的以邊對着。

以邊對着我們的漩渦星雲像個紡錘。它的特色是一道暗帶順着紡錘有時彷彿已把它分爲兩半。漩渦星雲的這種中部暗帶使我們想起我們自己的銀河系中的黑暗塵雲，尤其是銀河中那道長的暗裂紋。用分光儀考察時，這些多少以邊對我們的漩渦星雲都在旋轉着，正像我們由其平扁而推測出的情形一樣。仙女座漩渦星雲核的自轉週期約一千六百萬年。

並不是所有銀河外星雲都是漩渦狀的。有一小部分這種銀河系是像墨氏騰尼雲的。還有

「橢圓星雲」未曾分爲單個的星。它們的盤面有的幾乎圓了，有的成爲很扁的橢圓形；而最扁的長軸兩端竟拉長得像以邊對我們的雙重凸鏡。

銀河系也像單個恆星一樣相聚成羣，那便是超銀河系。已知的有四十個超銀河系，其中包含的銀河系數目，有的只幾個，有的有幾百。在室女座鄰近有一些好例。最近在哈佛天文臺研究的半人馬座大超銀河系，其中包括了一些可與仙女座大星雲相比的巨人銀河系。飛馬座中一羣銀河系，曾被認爲與我們的大銀河系統相似。

在承認了外銀河系以後的數年來，關於它們的情形已經知道不少了。不知道的也還是不少。實際上所有恆星引出的問題在星雲上都又出現了。正像我們周圍的星都聚集於銀河系中一樣，我們可以假定銀河系和超銀河系也都屬於更大的組織系統，一個超超銀河系，但它的形狀與大小卻除非到造出更有力的遠鏡可見其邊界時不能知道。此外又有什麼呢？別的超超銀河系嗎？這些系統又形成一更要廣大的系統嗎？現在對這些問題我們只有猜測冥想而已。

在近年來關於外銀河系的種種可注意的發現之中，最可驚的莫過於它們好像離我們遠去

的速度。這證據是由對它們的光譜的研究，觀察其光譜線的移動推演出來的。把我們自己的運動影響除去，外銀河系都用極大速率脫離我們遠去，其速率又隨距離一同加大。威爾遜山的天文家宣佈大熊座中一暗弱銀河系離我們遠去的速率為每秒七千哩。當分光儀能觀測更遠的銀河系時，退去的運動無疑的要更加迅速。

若干年前愛因斯坦的結論是：空間如無物質定是無限。空間既有物質，也便有限了。而宇宙間質料愈多，空間的半徑愈短。有的科學家的意見是宇宙間物質總量正逐漸一直減少下去。他們假定恆星為保持其輻射便不住減少其質量。如果這是真實的，一個太陽便要在每秒鐘內把二百五十萬噸的質量化為陽光散佈出去。質料減少，空間便膨脹起來，若依我們上述理論的話。比利時的勒梅特(Lemaître)展成了一個表示膨脹的宇宙的數學公式。在這樣的一個構造中，遠處物體一定要很迅速的離我們遠去，正像我們觀測到的外銀河系的情形一樣。

