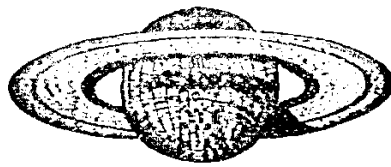


普通夫文學

新魯題



張雲編著



國立中山大學出版部印行

520.4
1110

26321

張 雲
普通天文學

中華民國教育部
圖書館

登記號 26321

類別號 _____

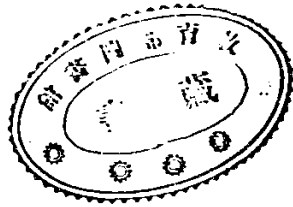
520.4

普通天文學

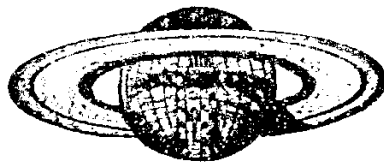
鄒魯題



張雲編著



呈繳之圖書



國立中山大學出版部發行

弁 言

普通天文學，爲本校天算系天文學功課之一，每季講授，均口述筆記，不存底稿。去年秋課，始編爲講義；今復依講義原底，增益而成是書，使適合於教本之用。

本校天算系，原有天文實驗功課，關於天象之認識，天圖之繪製，星體之觀測，及重要天文儀器之使用等，均可于天文實驗時領畧，故此書畧而不詳。至天體物理問題，本書亦只涉端倪，以示門徑，因本系課程復有天體物理學一門，此門取材既廣，理論又較繁，只宜另行編述。

本書最重要之點，爲敘述地球太陽太陰在空間之地位，太陽系本身之結構，恆星系及宇宙之構成與大小等，務使學者得整個的宇宙觀念；同時並介紹近代天文界最新學說，以引起學者對於天文問題研究之興趣。

編輯中最關重要者，爲地名人名之繙譯，通常坊間出版，最喜將不甚通行之人名或地名譯音，使學者滿腹吱吱咕咕，而莫名其妙；且因方言不同之故，譯音極易歧異，鄙意以爲勉強做成半通漢名，不如一仍原字，尙易得其真，不致誤會。再者此書出版，幸在今年（三月于南京）全國天文學會議之後，故一切天文名詞，均本會議所定翻譯，能收一致之效。

本書共分三篇：第一篇畧及天文儀器及天文實用諸問題；第二篇專敘述太陽系統，一切大小行星及彗星等，均專章詳爲說明；第三篇則及太陽系以外之恆星系統，尤注意于宇宙之整個的觀念。

本書付印倉猝，舛誤缺漏，在所不免，海內賢達，進而教之，不勝幸甚。又本書付印時，舉凡繪圖編目與較稿諸勞，均有賴于余君銘漪之助，謹誌數言，以伸雅感。

張雲識於廣州國立中山大學天文台

民國二十二年十二月

普通天文學目錄

節目	頁數
緒論·····	1
第一篇 實用天文	
第一章 天文座標系統	
1. 述語定義·····	8
2. 地平座標·····	9
3. 時角座標·····	10
4. 赤道座標·····	11
5. 黃道座標·····	12
6. 銀河座標·····	12
7. 地平座標與天體觀測之關係·····	13
第二章 天文儀器	
8. 天球儀及座標儀·····	16
9. 望遠鏡·····	17
10. 簡單折光遠鏡·····	17
11. 倍力及光度·····	18
12. 繞射與虛圓面·····	18
13. 透鏡之缺點, 球面與色像差·····	19
14. 攝影遠鏡·····	20
15. 目鏡·····	20
16. 反射遠鏡·····	21
17. 反射遠鏡與折光遠鏡之利弊·····	21
18. 赤道儀望遠鏡·····	22

19. 計時器	...	23
20. 子午儀望遠鏡	...	24
21. 自身差, 動絲測微器	...	26
22. 六分儀	...	27

第三章 天文觀測誤差

23. 一般觀測差	...	30
24. 或然差	...	30
25. 視直徑與距離之關係	...	31
26. 視差	...	32
27. 蒙氣差	...	33
28. 地平俯角	...	34

第四章 經緯度及各種時之測定

29. 緯度測定法	...	36
30. 時	...	38
31. 各種時之關係	...	39
32. 時制	...	41
33. 時測定法	...	46
34. 經度測定法	...	48
35. 一日之始	...	49

第二編 太陽系

第五章 太陽系概論

36. 太陽系組織	...	51
37. 大行星要素及 <u>波特定律</u>	...	52
38. 太陽系之大小	...	54
39. 太陽系在空間之位置	...	55

40. 行星與地之關係位置	57
41. 行星視運動	57
42. 行星運動周期	59

第六章 地球

43. 地球之形狀	62
44. 地球之大小	62
45. 地球之物理性質	64
46. 地球各種運動	66
47. 自轉運動	67
48. 公轉運動	68
49. 歲差與章動	71
50. 繞地月及太陽系重心運動	73
51. 黃赤道傾斜運動	74
52. 軌道離心率及近日點之變動	75
53. 極點運動	75
54. 攝動	77
55. 太陽系移動運動	77
56. 地球內部之組織	78
57. 地球之年齡	80
58. 年之種類	80
59. 曆法	81

第七章 月

60. 月視運動	84
61. 位相	84
62. 恆星月及朔望月	85

63. 月球運動... .. 86

64. 繞地運動... .. 86

65. 自轉運動... .. 87

66. 天平動 88

67. 軌道之各種變動 88

68. 月出與月落之遲遲... .. 89

69. 積月與狩月 89

70. 月之物理性質... .. 90

71. 月光及其溫度... .. 92

72. 月面之構成 93

73. 月面山 95

74. 月面環形山 96

第八章 日

75. 日視差及其距離 99

76. 日球本體... .. 101

77. 日球自轉及黑子 102

78. 日球之外觀 105

79. 光斑與黑子之存在... .. 107

80. 黑子之自行分佈及其周期 109

81. 黑子盛衰對於地磁及氣候之影響... .. 112

82. 分光儀 114

83. 各種光譜... .. 115

84. 光譜之成因——奇霍夫定律... .. 116

85. 杜伯那效應 117

86. 反變層之化學成份... .. 118

87. 分光儀中之色球, 日珥與日冕 120

第九章 日月蝕

88. 地影及其大小... ..123
89. 月蝕... ..124
90. 月蝕之觀測... ..125
91. 月影之大小... ..126
92. 日蝕種類... ..127
93. 日蝕時間之長... ..128
94. 日蝕現象及觀測... ..129
95. 日月蝕極限之計算... ..130
96. 一年內日月蝕之次數... ..132
97. 沙羅周期... ..133

第十章 天體力學大意

98. 中心力支配之運動... ..137
99. 刻卜爾定律... ..138
100. 奈端定律... ..139
101. 二體問題... ..141
102. 拋物線速度——逃速度... ..143
103. 面積速度及其應用... ..144
104. 輻射壓力及其效果... ..145
105. 潮汐現象及長潮力... ..146
106. 潮汐之主要現象... ..147
107. 攝動... ..148

第十一章 類地行星及小行星

108. 行星分類... ..153
109. 水星概觀... ..153

110. 水星位相及凌日	155
111. 金星概觀	156
112. 金星位相及凌日	157
113. 火星概觀	159
114. 火星之衛星	160
115. 火星之面像	161
116. 小行星發見史略	165
117. 小行星軌道	165
118. 小行星本體	166
119. 黃道光	167

第十二章 大行星

120. 木星概觀	169
121. 木星之衛星	170
122. 木星面像	172
123. 土星概觀	173
124. 土星環	173
125. 土星之衛星	175
126. 天王星概觀	176
127. 天王星之衛星	176
128. 海王星概觀	177
129. 海王星之衛星	178
130. 海王星以外行星之探究	178
131. 冥王星概觀	180

第十三章 彗星流星及日局起原

132. 彗星	184
---------	--------	-----

133. 彗星軌道	185
134. 橢圓運動彗星	186
135. 彗星理論	187
136. 哈雷彗星	188
137. 彗星族及群	189
138. 拋物線及雙曲線運動彗星	190
139. 彗星之構成及其大小	191
140. 彗星之物理性質	192
141. 地與彗星相撞之推測	193
142. 流星	194
143. 隕石	195
144. 流星群	197
145. 流星群之來源	198
146. 日局起原	199

第三編 恆星系

第十四章 恆星系概論

147. 恆星系之外觀	202
148. 星座之起原	203
149. 星座分野之一瞥	203
150. 恆星表	206
151. 星等	207
152. 恆星數	209
153. 黃道十二宮	211
154. 星座表	212
155. 恆星命名	217

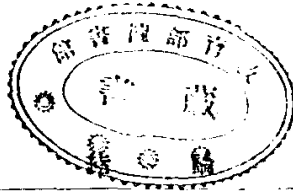
156. 恆星之分佈219
 157. 恆星光譜之特性221
 158. Draper 光譜分類222

第十五章 恆星之自行與視差

159. 自行之決定225
 160. 輻射速度之決定226
 161. 恆星視差之決定227
 162. 恆星距離之單位227
 163. 恆星在空間之運動... ..228
 164. 恆星與太陽之相對軌跡... ..229
 165. 移動星團... ..230
 166. 移動星團之距離232
 167. 太陽之移動232
 168. 恆星與太陽光度之比較... ..233

第十六章 雙星

169. 雙星類別... ..237
 170. 雙星命名及其發見... ..237
 171. 視覺雙星之識別238
 172. 視覺雙星之軌道239
 173. 視覺雙星之質量240
 174. 質量與絕對星等之關係... ..242
 175. 光譜雙星之速度曲線245
 176. 光譜雙星軌道之決定245
 177. 光譜雙星質量函數... ..248
 178. 光譜雙星之質量249



緒 論

法國天文學大家佛蘭瑪利翁 (C. Flammarion) 嘗言曰“異哉！地球上之居民也，自有生迄今，不為不久，但鮮有自知其所居為何處，及對於此燦爛盛大宇宙發生疑問者”佛氏之為此言，蓋有感於世人好奇心之薄弱，且表示其對於宇宙問題研究，有無窮興味也。

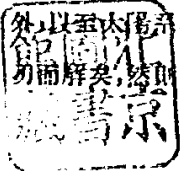
曷言乎不知其所居為何處？今試以下列諸問題，質諸途人，其能解答完滿者想必甚渺：——

- (1) 中國在亞洲之何部？
- (2) 亞洲在地球之何部？
- (3) 地球在太陽系中為第幾行星？
- (4) 地球太陽與月三者有何關係？
- (5) 地球與何行星為鄰？
- (6) 太陽系與何恒星為鄰？
- (7) 太陽系現在諸恒星中地位如何？
- (8) 太陽系將往何處而去？
- (9) 吾人宇宙之形狀及大小如何？
- (10) 吾人宇宙外，尙有幾許世界？

以上諸點均為吾人自身之空間問題，吾人日常不察，故一經質問，便瞠目結舌耳。

吾人入小學時，習鄉土地理，再進則習本國地理外國地理以至世界地理，以上問題之未能完全解者，蓋限于世界地理耳，今若按此研究程序而推廣之，及于地球以

外，以至太陽系之全體，恒星，星團，星雲及宇宙之構造等，則將見上述諸問題，不難迎刃而解矣，然則此學問為何？天文學是也。



(南) 06670

是所謂天文學者，範圍較廣之地理學耳，而地理學者，天文學中之小部份耳，今人一聞治天學及討論天體問題，輒搖首側目，視為虛誕不近人情，或詘為空中樓閣，其亦與小學生之笑人談外國地理，世界地理者等耳。

或謂科學定理之成立，全據實驗以證明，廣東之南，吾信其有瓊州島，太平洋之東，吾信其有美洲者，因吾人可至其處見其地以證明之也。而天文家所昭示吾人之事實則反是，遠至無疆而不能矚望，大至無限而不可思擬，如幻夢子虛，孰能證明。誰知世間真理及事物之真實存在，不經吾人用手觸摩，用肉眼親見方為真者，不知凡幾，例如堅塔之高，可本三角定理以推求，不必登塔頂用尺由上而下以測量方知其高。喜馬拉雅山之高，亦不必由巔鑿孔，自上而下，以線錘下量，方知其為若干萬尺，又如收無線電報者，坐一室之內，能知數千里外人之所欲言，亦不必親見其人，以耳接其口，始信其為真，又如細菌學家謂一滴之水，其中有生物若干萬萬浮遊其間，吾人亦不能用肉眼視力之所及以證明之也。今者數學，物理學，化學進步之速，一日千里；機械之精良，測量方法之奇妙，與日俱進，於是天文學所得結果亦愈與真相接近，豈邪說妄談者所可比擬？

近世從事天文事業研究之處所多矣，歐美文明國除各大學有天文一科並附設天文台外，其他政府更另設天文台以羅致天文家以研究天學者更不可勝數，其發達情形之可驚，實出吾人意料之外。然所謂天文台或觀象台者，英曰 Observatory，法曰 Observatoire，德曰 Sternwarte，意曰 Observatorio，所以研究日月彗星等天體之處所也。但世人一聞其名，每以為風雲雨露之事，亦斯台之職掌，今有以治天文學院於衆者，則必羣起而問之曰，明朝之晴雨如何，據者吾國類書，輒納風雲雨露於天文一類，其亦不思之甚矣，類風雲雨露之研究，全屬於氣象學 (Meteorology)，其範圍之所及，僅地球表面大氣 (Atmosphere) 物理之變化，與天文學研究者完全不同。考天文學西名 Astronomy 一字乃源於希臘，意謂研究天體之學，與實用氣象無關也。天體為吾人所熟知者，有日，月，行星（地球即行星之一），衛星，彗星，流星，恒星，星雲等，而天學研究範圍則約包下列數端：

- (1) 此等天體之實際運動及視運動，及所以支配此等運動之法則。

- (2) 其形狀,大小,質量及面狀。
- (3) 其性質,組織,及一切物理情狀。
- (4) 因其彼此間吸力,或別種勢力而發生之影響。
- (5) 推測各星已經過去之或然歷史,及未來之進化。

由是言之,所謂天文學者,研究天體之學也,日本學名,有稱天文學爲星學者,彼有以知其故矣。

現時天文學所研究之方面極多,所用之機械與方法,亦隨研究之對象而不同;如研究星球之遠近者,從前則純用三角術,星之近者以地球之半徑之長爲三角形之底線,遠者則以地球圍繞太陽回轉之軌道半徑爲三角形之底線,所得結果,頗有可記,但其爲數有限,弱小諸星不能及也。近年以來,已能由光譜線強弱之比較(此法爲 Adames 及 Raheschütter 於 1914 年由比較百餘已知距離星之光譜線強弱而得)間接求其距離,爲近日可驚之發明,足以助解決宇宙問題者不少。又如研究星球表面形態,或用攝影術,或用目視法,常有積十年數十年或一生精力之觀測,然後得有精確結果者,如月面火星木星等,其最有成績者也。又如研究星球進演學者,則先用分光術以定其星體之組織,再用攝影術及目視法以比較其光芒之大小,以定其顏色指數 (Color-index 卽由攝影與目視法二者觀測所得之星等差),由是可決其在進化途程中之階段。凡是種種皆隨機械及方法之進步而進步者也,空中樓閣云乎哉。

近世以來,光學化學數學等進步不已,而天文學亦隨之而進步不已,昔者在各科學未發達以前,所謂天文學者,日月星辰,氣象寒暑包括一切,今日則千頭萬緒,各趨專途,正如昔之談哲學者,社會學,倫理學,論理學等,無不俱包,時至今日,則各有專途,自成一科矣。

天文學之分類,在其本身言之,有專研究太陽以成太陽物理學者,有專研究太陽及諸行星之衛星,以考核其變化者,其他如行星,恆星,變星,複星,星團,星雲等一一皆成專家,爲畢生之事業。然在科學之系統言之,又可分之如下:

1. 天體力學 (Celestial mechanics). 一根據力學之原理,以求天體運動之原因,

而說明其運動之方法，及計算其軌跡位置等是也。

2. 天體物理學 (Astrophysics). — 論天體之物理學上諸性質，如光譜之強弱，及溫度輻射等是。
3. 敘述天文學 (Descriptive astronomy). — 僅記述天文學之事實，現象及其法則者，如星座之排列，星光之強弱等之敘述是也。
4. 航海天文學 (Nautical astronomy). — 用球面三角法及測量儀器，觀測天體位置，以指示航海之方向是也。
5. 實用天文學 (Practical astronomy). — 專論述儀器之應用觀測方法，及整理計算等，以適應天文學內各種之要求，視天文學為一種技術的科學。
6. 位置天文學 (Astronomy of Position 或 Astronometry). — 研究各天體彼此之關係位置距離，外觀，及實際運動等是也。
7. 宇宙原始論 (Cosmogony). — 利用物理天文學，及實用天文學所得結果，以論新星體演化，宇宙之形狀及其生成等問題。

總之今日之所謂天文學者，其內容已極複雜，吾人精力有限，斷非一二人棉薄之力可盡究其秘蘊。換而言之，今日之天文學，已非個人或國家的天文學，而為世界人類公共事業矣，歐美各文明國政府，雖出無限金錢，無限人力，以建設天文台，以為發展國家學術，然仍有種種關係，種種困難，不能在獨一天文台內將天文學各部份，盡行研究，必須與各國天文家聯絡，互相切磋，取長補短者。故現世各國偉大天文台，已多各有其專職，認定某種研究為該台之特長矣。

考天文學發達之程序，先天球衆星排列之敘述，然後及於太陽系日月蝕及行星相對相掩等記載，我國號稱天學先進國，在天文學史中佔優先地位。據典籍所載，西曆紀元 3200 年前，神農氏已有星象觀測；再後二百年在埃及，加爾地 (Chaldée, 其首都為巴卑崙) 中國等已有黃道十二宮之名稱，及決定春分點位置之觀測；再遲三百年，西曆紀元前 2698 年，黃帝定甲子，造曆法，並發現月行之輪迴週期 (19 年) 以定日月之相蝕法則；再後二百年，天象之觀測，已及於土星，木星，火星，水星等行星與太陽

相銜相合等現象。是天文學之發軔，比任何各種科學為早，但自是以後，則進步極緩，直至晚近二三百年，其發展始漸有可觀，蓋在 1609 年加里尼 (Galileo) 以前，一切天文學皆為肉眼天文學，夫肉眼天文學，其疆域有限，除敘述天文學，且為極狹隘之敘述天文學外，不能有所創見也。

自加里尼以還，光學儀器如望遠鏡，分光鏡及攝影術等，先後發明，於是天文學，無論任何部份，皆呈猛進現象，開一新紀元，以成今日之偉大獨立學科。然吾人可斷言者，在光學儀器未發明以前，天文學必不能有特殊發見，因吾人肉眼既短視，而觀測亦遠不及機械之精確，此天文學之發達雖早，而進步則極遲之故也。

天文學之發達，由肉眼天文學以至非肉眼天文學，由籠統且極狹隘敘述天文學以至個體物理化學天文學，途徑愈趨而愈專，範圍則愈趨而愈廣。然凡是研究，皆為超絕純粹科學問題，似與吾人實用問題無涉。今者由實用上觀之，天學研究，雖為航海及航空事業之重要科目，並為地理家之基礎知識，然此特天學範圍中之小惠，初非研究天學者之所及料，亦非天學本身之最終目的也。乃者有以天學為最無補民生相詆矣。然科學之所以為科學，其目的在真理之探求，發宇宙之蘊奧，以增進人類之知識，與實用目的不并行。但今日物質文明，有如許之燦爛，吾人得諸大物質文明之便利者，又何一非科學發達之效。

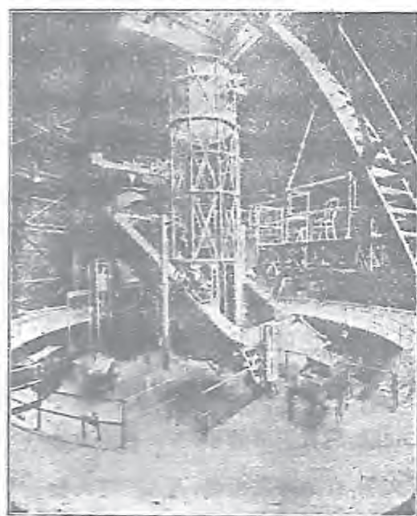


(圖一)

美國萊里士天文台四十吋折光鏡即現代最大折光鏡之一

賈兒華尼(Galvani)見以銅鈎所懸蛙肢觸鐵能自伸縮，乃發明接觸電氣，以成今日之電氣人間。瓦笛(Watte)見水沸時，鍋之蓋為蒸氣推開，乃發明蒸氣膨脹之力，今日利用之以成物質文明之母之蒸氣機關。但吾人可斷言者，當賈氏研究蛙腿伸縮時，祇聚精匯神，求此腿伸縮之故，其研究之對象，亦此蛙腿伸縮之故耳，絕不能想及有今日之電氣事業也。當瓦氏見水沸時，鍋蓋忽能自開，亦祇聚精匯神，求此鍋蓋忽能自開之故，其研究之對象，亦此鍋蓋忽能自開之故耳，亦絕不能想及今日之蒸氣機關事業也。而後人卒能用其理以成今日之電氣人間，發揚文明之蒸氣機關事業，又豈賈氏瓦氏當時之所及料？由是言之，科學家精神，科學家視線，只集於探求真理路上，明日之功利幾何，則又明日功利家事業矣。

抑天文學知識，對於人類思想影響之偉大，更有非其他科學所及者，蓋天學研究之對象，乃超出地球之範圍，其視線之所集，皆在浮雲以外，其所見，偉大之天體也，其所思，遙遠之冥空也。以悠悠之天空，龐大之星球，在在皆足以顯示地球之渺小，及人類在宇宙中之幾微，太陽全體對於宇宙之偉大實無足輕重，人類之附着于地球，更如泰山之蟻隊，一石之轉移，一木之搖動，皆足將全種族與生命變更，造物視之未嘗有所感恤，而人類者，尚日日以爭城爭地之戰，豆剖瓜分之謀，以豪其個人之大欲，不惜作無謂之犧牲，尋意外之苦惱，使全人類之生活，日日皆在顛沛盪搖中，為人類之大不幸；此蓋視線思想之所及，不出地球，地上之丘陵，皆視為鬪肉之可爭，人類滾地之禍遂終無已



(圖二)

美國威爾遜山天文台一百吋反射鏡為現代最大反射鏡之一

時耳，夫人之恒情，經蒼海者難爲水，天文知識之示吾人者：偉大可驚之星球也；遠而無極之天空也，握管窺天，燦然盛大之宇宙，皆在目前，任人玩賞，彼日日以攘地殺人爲能事者，偶一回思，能不將以泥丸之爭爲可笑而愴然自己乎。故或以人類之大同，將繫天文學之普及，非無因矣！

第一篇 實用天文

第一章 天文座標系統

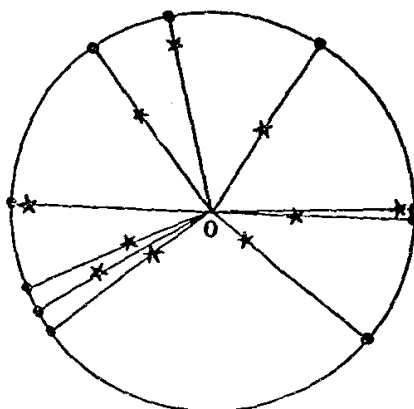
1. 術語定義

初習天文，最切要處，在能了解地球或觀測者在天空中所處地位，及決定天上各星對於地球彼此相關位置，故天文學中之座標，為初習天文學者之基本知識。

欲決定各種座標系統之構成，須先明各種應用術語之名稱及其定義，今分述之于下：

天球 (Celestial sphere) —— 晴夜仰望天空，見一切大小諸星似皆羅列在一球壳上，此球壳名曰天球，實際上星球之在空間遠近不一，吾人見其羅列于一球壳上者不過為一透視現象，無論遠者近者皆似與吾人有同樣之距離耳，如圖三，O 為觀測者，大圓為天球，O 外遠近衆星，均見其投射附着于天球上。

天頂 (Zenith)，天底 (Nadir) ——
觀測者用線錘，驗其地垂直方向時，則垂線向上引與天球相交之點，謂之天頂；向下引與天球相交之點，謂之天底。但由觀測者作直線過地心，向上引與天球相交之點，謂之地心天頂 (Geocentric zenith)，此地心天頂，與線錘天頂不同，切勿相混。



(圖 三)

地平 (Horizon) —— 在天頂與天底連結線中間，擬想一垂直平面，此平面擴大與天球相交之圈，謂之地平圈，此面謂之地平面，此地平面，即為觀測地點水平面之切面。

天球赤道 (Celestial equator) ——將地球赤道面擴大，與天球相交之圈，曰天球赤道。天頂與天球赤道之角度距，即等於觀測者之緯度(見 29 節)。

黃道 (Ecliptic) ——黃道者，見太陽每年在天球上由西向東所行一週之軌跡也。此黃道圈與天球赤道相交，約成 $23^{\circ}5'$ 角。

極點 (Poles) ——極點者，又名天球極點 (Celestial poles)，或曰自轉極點 (Poles of rotation)，蓋所以與黃道極點 (Poles of ecliptic) 有別也。此極點之在天球上，即每日天球視運動，東起西落時不動之點，或即地球自轉軸所指天球之點。

垂圈 (Vertical circles) ——凡經過天頂天底且垂直於地平者，謂之垂圈，此垂圈之數無窮。

天球子午圈 (Celestial meridian) ——經過南北極之垂圈，謂之天球子午圈；垂圈之與子午圈成直角者，謂之卯酉圈 (Prime vertical)；此圈與地平相交之點，謂之東點西點；而子午圈與地平相交之點，謂之南點北點，此四點謂之四方點 (Cardinal points)。

今依上述各種術語之定義，即可以推出各種基礎座標，更由此種座標，可以決定天上各種現象之位置及其運動。

2. 地平座標

地平座標者，以觀測者地平面為標準之座標系統也，其要素有二：

(a) 地平緯度 (Altitude)，天頂距 (Zenith distance)

星體距地平圈之角度 (Angular elevation) 謂之地平緯度，此高度可由地平起，在經過此星體之垂圈上量之，由 0° 至 90° 。

天頂距即在此垂圈上星體至天頂之距離，故天頂距與地平緯度之和為 90° 。

(b) 地平經度 (Azimuth)

地平經度者，即經過天體之垂圈與子午圈在天頂所成之角，可用二者與地平圈相交二點間之弧長量之；量時由南點起，向西為正，向東為負。譬如此點在東 50° 時，則記為地平經度 310° ，或 $50^{\circ}E$ 。

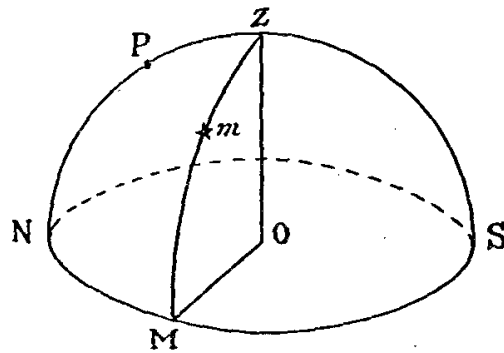
由上所言，若以地平為標準平面，則天體之位置可以地平緯度 (b) 及地平經度 (a) 表之。此種座標，謂之地平座標。然此種地平座標，因地球不絕自轉之故，時時刻刻皆在變化中，雖天體在天上之位置前後相同，但此刻之地平經度緯度，與彼刻之經度緯度異。故除特例以外，用以記載天體位置頗為不便，如圖四，Z 為天頂，O 為觀測者，P 為北極點，NPZS 為子午圈，NMS 為地平圈，mM 為 m 點之地平緯度，Zm 為天頂距，SM 為其地平經度。

3. 時角座標

時角座標者，以天球赤道及天體與子午線所成角度為標準之座標系統也，其要素亦有二：

(a) 赤緯 (Declination)

天球赤道乃南北極點中間垂直平面與天球相交之大圈，此外與赤道平行且在其兩邊之小



(圖四)

圈，謂之赤緯平行圈 (Parallels of declination)。大圓經過極點而垂直於天球赤道者，謂之時圈 (Hour circle)，如地球之子午線然。經某地之子午圈，謂之某地子午圈，經某星之時圈，謂之某星之時圈，在天球亦分二十四小時。

某星之赤緯云者，即與天球赤道之南或北邊距離度數，用所在赤緯平行圈度數或用子午圈之弧長量之。在北者為正，由 0 至 +90°；在南者為負，由 0 至 -90°。此赤緯又名傾角 (簡寫為 Dec.，符號為 δ)。

(b) 時角 (Hour angle)

某星之時角云者，即某時間中，某星時圈與天球子午圈在極點所成之角，可用二者與天球赤道二交點間弧長量之，由東向西為正，反之為負。一小時與 15° 相當，一分鐘與 15' 相當，一秒鐘與 15'' 相當；故如 21 時 20 分亦可謂之 320°，或反

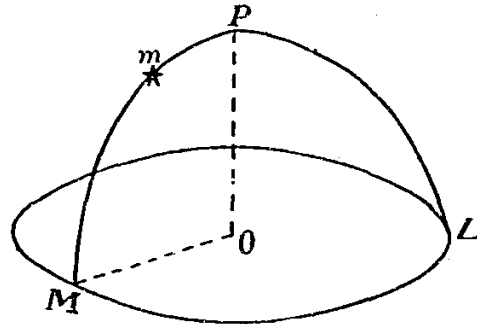
之 2 時 40 分 為 向 東 之 時 角；

由 上 所 言，如 以 天 球 赤 道 為 標 準 平 面，則 天 體 之 位 置，可 以 赤 緯 (δ) 及 時 角 (θ) 表 之，此 種 座 標，謂 之 時 角 座 標。如 圖 五，P 為 北 極 點，M L 為 赤 道，P L 為 子 午 線，mM 為 赤 緯，M P L 為 時 角。

此 種 時 角 座 標，除 其 赤 緯 常 為 一 定 外，時 角 之 大 小，亦 刻 刻 不 同。

4. 赤 道 座 標。

因 地 球 每 年 繞 太 陽 公 轉 一 週，故 外 觀 上 吾 人 見 太 陽 在 天 球 上 每 年 行 一 周，然 實 際 即 為 地 球 公 轉 軌 道 面，擴 大 與 天 球 之 交 線。



(圖 五)

黃 道 與 天 球 赤 道 相 交 二 點，常 稱 為 二 分 點 (Equinox)，太 陽 由 赤 道 之 南 趨 北 時 所 經 之 交 點 謂 之 春 分 點 (Vernal Equinox 或 First of Aries)，其 記 號 為 γ 。此 春 分 點 之 在 天 球 上，如 地 球 上 之 英 國 格 林 威 (Greenwich)，經 度 之 計 算，以 是 為 起 點 焉。每 年 約 在 三 月 二 十 一 日，太 陽 經 過 此 點，其 他 一 交 點 謂 之 秋 分 點 (Autumnal Equinox)。又 黃 道 對 於 赤 道 在 北 邊 最 大 赤 緯 一 點 (即 $+23^{\circ}\frac{1}{2}$) 謂 之 夏 至 點；在 南 邊 最 大 赤 緯 一 點 (即 $-23^{\circ}\frac{1}{2}$) 謂 之 冬 至 點。大 圓 經 過 天 球 極 點 及 二 分 點 者，謂 之 極 分 綫 (Equinoctial colure)，經 過 天 球 極 點 及 二 至 點 者，謂 之 極 至 綫 (Solstitial colure)。

以 上 之 座 標 既 明，則 所 謂 赤 道 座 標 者，即 可 以 赤 經 (Right ascension) 及 赤 緯 表 之：

赤 經 者 (簡 寫 為 R A，符 號 為 α)，即 某 星 時 圈 與 極 分 綫 在 極 點 所 成 之 角，或 用 二 者 與 赤 道 二 交 點 間 弧 長 量 之；由 春 分 點 起，向 東 為 正，向 西 為 負，用 時 分 秒，或 用 度 分 秒 表 之 皆 可；惟 普 通 多 用 時 分 秒。如 圖 六，E M E' 為 赤 道，e γ e' 為 黃 道， γ

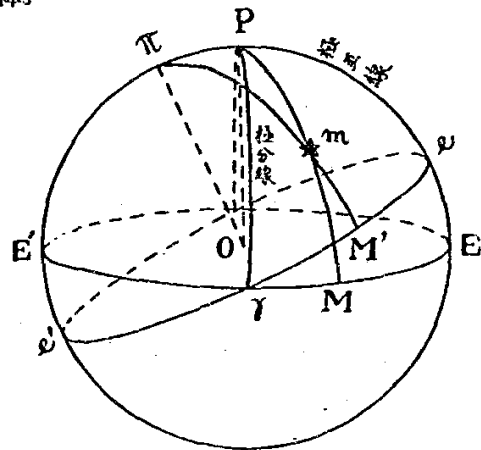
為春分點, γ' 為秋分點, e 為夏至點, e' 為冬至點, π 為黃道極點, γM 為赤經, $m M$ 為赤緯, 用赤經及赤緯所表之座標, 即為赤道座標, 其符號為 α 及 δ 。

5. 黃道座標.

歷來研究天體者, 多從太陽系各星起, 而太陽系內各天體運行, 多與黃道相近, 故用黃道為標準者, 比諸用赤道者為便. 所謂天球經度者, 即二大圓一經黃極及某星與一經黃極及春分點在黃道極點間所成之角也, 或用二者與黃道二交點間之弧長量之, 故又曰黃經 (Longitude). 由春分點起, 向東量為正, 向西為負. 天球緯度者, 在黃道之南北與黃道之距離也, 故又曰黃緯 (Latitude), 在北者為正, 在南者為負. 此黃經及黃緯, 常以 λ 及 β 表之, 謂之黃道座標, 在天球上亦有一定, 如圖六 γM 為黃經, $m M$ 為黃緯.

6. 銀河座標.

除上述數座標系統外, 在天文學實用上, 常有應用天河或銀河座標 (Galactic coordinates) 者, 此座標系統之標準面, 為銀河中線, 謂之銀道 (Galactic equator), 其北極在天球上之位置 (1920年) $\alpha = 190^\circ .6$; $\delta = 21^\circ .2$ (在后髮座 Coma Berenices 內), 其起點為天河



(圖六)

中線與天球赤道交點, 此點之位置, $\alpha = 272^\circ .52$; $\delta = 0$, 向東為正, 向西為負, 座標之要素為銀經 (Galactic Longitude), 由上述交點起, 向東量之, 由 0° 至 360° . 銀緯 (Galactic latitude) 由天河中線起至北天極為正, 由 0° 至 $+90^\circ$, 至南天極為負, 由 0° 至 -90° , 符號為 G, g .

今為明瞭起見, 將上述五種座標, 統括附表如下

座標名	標準面	起 點	趨 向	座標要素	符 號
地 平	地平圈	地平圈 上南點	向 西	地平緯度 地平經度	(h) (a)
時 角	赤 道	赤道與子 午線交點	向 西	時 角 赤 緯	(θ) (δ)
赤 道	赤 道	春分點	向 東	赤 經 赤 緯	(α) (δ)
黃 道	黃 道	春分點	向 東	黃 經 黃 緯	(λ) (β)
銀 河	銀 道	銀道與赤 道交點	向 東	銀 經 銀 緯	(G) (g)

7. 地平座標與天體觀測之關係

以上所言各種座標，最不安定者，為地平座標，次為時角座標，因地球時時刻刻由西向東轉，其標準面在天球之地位，時時刻刻不同，於是星體地平經度及緯度亦時時刻刻不同。且所謂地平者，又隨觀測者所在之地位而不同，一觀測者有一觀測者之天頂，一觀測者有一觀測者之地平，廣州之地平，與上海之地平異，而上海之地平，與相近之南京亦彼此不同，是可見徒謂某星在地平經度及緯度若干者，為毫無意義，而必須註明何時及何地，方可決定也。

設觀測者在地球赤道處(即緯度為 0°)，則將見天球赤道，即為此地之天頂，夜間天上一切星體，皆由地平東方垂直而起，與赤道平行，劃一半圓，垂直于地平之西而落，故天文學上謂如是觀測地點所見之天球，為垂直球 (Right sphere)。

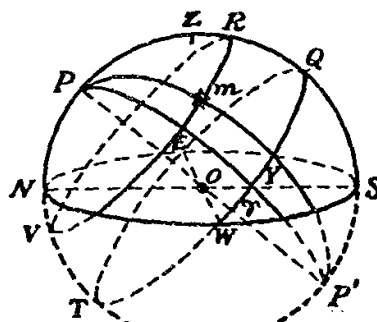
設觀測者在地球之北極(即緯度為 90°)，則將見天球赤道，即與地平圈相重，夜間天上一切星體，皆由左而右，繞天頂而轉，每星所劃之圈，皆與地平圈平行，東南西北，不克辨別，天文學上謂如是觀測地點所見之天球，為平行球 (Parallel sphere)。

設觀測者而在中緯度如廣州，其緯度為 $23^\circ 6' 23''$ ，則天球赤道即與地平斜交，

天上諸星之運動，對於地平，皆斜起而斜落，天文學上謂如是觀測地所見之天球為傾斜球 (Oblique sphere)。

如圖七，天頂 Z 介於赤道 (QT) 與極點 P 之間， P 遂在地平之上，而赤道則傾斜於地平，故天上一切天體視運動之軌跡，均與地平斜交。

總之，吾人所在地球之緯度愈愈，或愈近赤道，則天球赤道在天球上愈近天頂，而兩極愈近地平；反之，緯度愈高，或愈近兩極，則天球赤道在天球上愈近地平，而兩極幾乎變為天頂及天底。是故吾人見在天球上極點位置愈高，即表示吾人所在地之緯度愈高，量北極星之高度，即可約知觀測地之緯度也。



(圖七)

黃道與赤道交角不大 (約 $23^{\circ}5'$)，太陽每年循黃道行一週，故若觀測者之緯度極低 (近赤道)，則終年見太陽與天頂或卯酉圈相近；若緯度極高 (近兩極)，則終年將見太陽近地平線而行；夏至時 (約六月廿一日) 在傾角最大處，離地平最高 (以北半球言，在南半球者反是)，一年之中，有數月而日不落者；冬至時 (約十二月廿二日)，亦在傾角最大處，惟符號為負，一年內即有數月不見日出，或沿地平線而行者，春分 (約三月廿一日) 或秋分 (約九月廿二日) 時，太陽正在赤道上，其高度適當夏至與冬至時之中。

習 題 I.

1. 在天球上何點其赤經及赤緯皆為零？又此點之黃經及黃緯為幾何？
2. 如觀測者不在兩極，問天頂之時角及地平經度各為幾何，又天球赤道與地平圈在何點相交？

3. 由緯度 40° 處觀測，問天球赤道與地平圈相交之角為幾何？又在緯度 $10^\circ, 20^\circ, 50^\circ, 60^\circ$ 等處觀測，此角度又為幾何？
4. 由緯度 40° 處觀測，當春分點起于地平之東時，黃道與地平相交之角為幾何？又落于地平之西時，其交角又為幾何？
5. 在三月二十一及九月二十二等日，太陽所在之赤經 (α) 及赤緯 (δ) 約為幾何？
6. 在三月二十一日，太陽西落一時以後，有一星其赤經為 7 時，赤緯為 $40'$ ，試用地平座標表此星之地位，但觀測者在緯度 40° 。
7. 試用黃道座標，表天球北極之地位。
8. 當太陽之赤經為 6 時，求其黃經 (λ) 及黃緯 (β)；又若赤經為 12 時，此 λ, β 各為何值？
9. 廣州之緯度為 $23^\circ 6' 23''$ ，求夏至日太陽在子午線之高；又若在夏至日以後，太陽經子午線之地平緯度為 80° 時，求太陽之赤緯。
10. 問在北半球十月十日晚上約何時可見 mizar 星 (ζ —Ursa Majoris, R. A. 為 13 時 20 分) 經北極下之子午線？
11. 問黃道面與廣州地平交角何時為最大，及何時為最小？

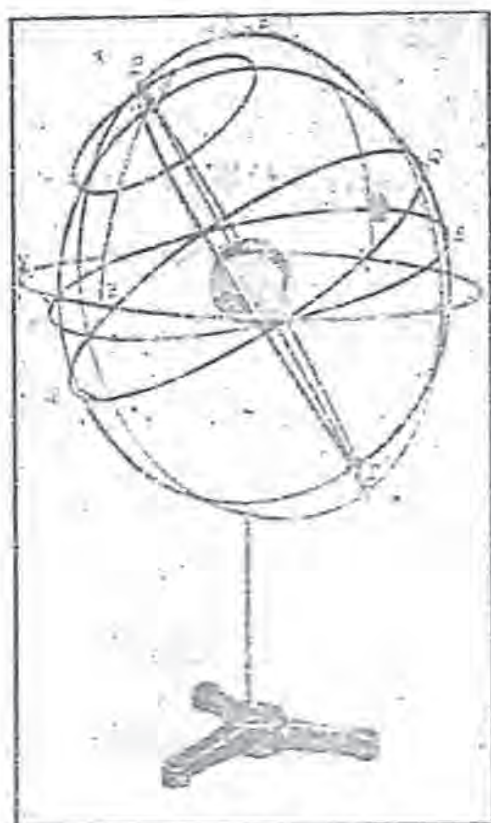
第二章 天文儀器

8. 天球儀及座標儀

所謂天球儀 (Celestial globe) 者，形如地球儀，將天上諸星，依其赤經赤緯度數及星等大小繪於球面上，令觀測者如在天球以外，遙望諸星點點附屬於天球表面也。天球多以木或硬紙片製成，裝置於金屬架或木架上，架中水平環，代表觀測者地平圈，垂直環代表子午圈如圖八。



(圖八)



(圖九)

水平環及垂直環上均刻有度數，前者用以量天體之方位角，後者可量天體經子午線時之地平緯度，及極高等。且天球儀能依地球南北軸方向而旋轉，旋轉時，即能代表天上諸星對於觀測者地平座標運動之真形，及每日太陽在天球上或星座間之位置，更由是可指出太陽在任意時角之地方恆星時刻。

所謂座標儀 (Coelsphere) 乃將天球上各種座標面，以圓圈表示其關係之儀器也，其形如圖九。

此儀以地球為心，以任意一緯度為觀測地，故天上赤道圈 EE' 傾斜于地平圈 HH' ，

而黃道圈 QQ' 更與赤道圈相交構成 $23^{\circ}.5$ 之角。此地平圈與一垂圈 ZZ' (普通當卯酉圈用) 相連, 可隨時取開, 必要時可作銀道圈之用, 依座標要素之幾何, 對於赤道圈斜置之, 以表銀道本身及其極點之位置, 除上述數主要圈外, 尚有二分圈及二至圈, 在北極 P 及南極 P' 正交, 且北極附近, 更有一小環, 所以表示黃赤二極之傾斜也。此儀器於指示天文上各種座標關係時極為便利, 學者可用之以供座標變換之簡畧計算。

9. 望遠鏡

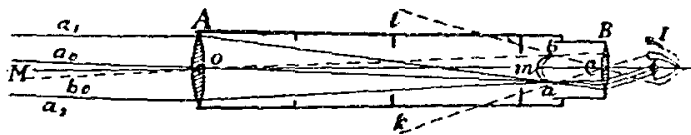
在天文儀器中最重要者為望遠鏡 (Telescope), 其主要用途有三:

- (1) 對於天體面像之組成可放大而測度或攝影之以得其真相。
- (2) 將天體射來之光線供別種儀器如光度計及分光儀之分析, 以研究其顏色及其合成。
- (3) 得精密觀測星之方位。

望遠鏡大別可分兩種, 曰折光望遠鏡 (Refractor 或 Refracting telescope), 曰反射望遠鏡 (Reflector 或 Reflecting telescope)。前者發明較早, 而用途較多, 但現時最大之儀器均為反射鏡。實則兩者之基礎原理相同, 在實用時, 將物鏡 (Objective) 焦點 (Focus) 射來實物之真像 (Real image), 由目鏡 (Eyepiece) 測驗而放大之也。

10. 簡單折光望遠鏡

普通簡畧之折光望遠鏡, 由兩個重要凸透鏡所成, 由物體射來之光, 經物鏡後而屈折, 更經目鏡後而放大之儀器也。如圖十, 一為物鏡 A , 其面積闊大而焦點距長, 一為目鏡 B , 焦點距短, 至兩鏡之距離幾與兩焦點之和相等。據凸透鏡成像之光學原理, 如用儀器對月觀測, 則所對頂點之光線, 經物鏡而成一焦點於 a 處, 其底點則成一焦點於 b 處, 其他各點均同, 如是所得者乃物鏡焦面 (Focal plane) 所成月球倒置之真像。若放照片於 $a b$ 焦面處攝影之, 即可得物像。



(圖十)

至圓之大小，隨物體之視直徑及照像 a b 離物鏡之遠近而定，其決定之法，如由物鏡之光學中心點 O 觀望，必見物體與像所張之角度相等。

11. 倍力及光度

吾人除近視外，若距離在十吋以內所見物像便不清楚，若用一時焦點距之放大凸鏡，物像只能在一吋之距離見之，則物像之直徑將放大十倍。故用目鏡焦點距除物鏡焦點距，即可得鏡之倍力 (Magnifying power)，其公式為 $M = F/f$ 。

若將目鏡任意更換，則望遠鏡之倍力亦隨而變更。如物鏡焦點距為四呎，目鏡為四分一時，則倍力

$$M = 48 \div \frac{1}{4} = 48 \times 4 = 192.$$

像之光度，與物鏡焦點距之長無關，但依其直徑大小 (面積) 而變，面積愈大，所受光愈多，且與直徑之平方成正比例。設瞳孔直徑為一時之五分一，則一時直徑望遠鏡所得星像之光，必二十五倍於肉眼直接所感受，由是而推，則 Yerks 天文台四十吋直徑之望遠鏡 (如圖一)，可得 40000 倍，除通過鏡身消失之光外，尚有 35000 倍。

故用大望遠鏡觀測，可將星之光度增加，同時別種微星不能由肉眼窺見者，亦可藉鏡之力窺見之。

月球行星等，與地球較近，在望遠鏡中所顯之圓面，其光度不能依上述倍數推算，蓋其光為物鏡收集後，又為目鏡倍率所分散，而使其倍數減小；惟恒星則不然，在望遠鏡中，無論如何，只現一銳點，不能將其擴大，但光度則見其大增，故肉眼不能見之恒星，可以望遠鏡見之，彼明亮之恒星，如窺以大望遠鏡，雖白晝可見焉。

12. 繞射與虛假圓面

所謂倍力者，原有一定限度，因光由一定波長之光所合成，一個光點之像，雖在一光學面完全儀器，所得仍非一光點，而變成一定直徑“虛圓面” (Spurious disk) 光輝朦朧，此面中部最光，邊緣較暗，且圍以一組同心環，逐次暗淡。此殆光線通過物鏡後，所生繞射 (Diffraction) 之作用也。

面像與環之大小可由已知光波之長，與透鏡之大小計算而得。通例透鏡愈大，星之虛圓面愈小；即謂虛圓面角直徑，與物鏡直徑成反比，而與焦點距無關。據 Dawes 公式為：

$$d = 4'' \cdot 5 / a,$$

式中之 a 為鏡孔之時數。

故用 9 吋透鏡觀測天體，所得像之直徑為 $0'' \cdot 5$ 。Yerks 天文台 40 吋透鏡，可得 $0'' \cdot 11$ 之直徑，由是可見若雙星之距離為半弧秒者，可用 9 吋透鏡分析之；十分一弧秒者，可用 40 吋透鏡分析之。是較大口徑之透鏡，其效用逾廣也。

但若增加鏡之倍力，超過像之散光度，即將一時口徑之鏡面放大五十以至六十倍，則必無所觀，而彼用較小倍力者，反遂其意。故實用時必不可用倍力超過所欲見之明瞭度也。

在大透鏡中，既如上言，由較大繞射效用，能見對象清楚，且能將接近雙星分離。但透鏡完全理論的分解力 (Resolving power)，當在天氣穩定時（但實際上極難得）方有實用的價值，天氣紊亂，則傷害大鏡之效用，較小鏡為甚。故在空氣惡劣之夜，常有在物鏡前置一閉口器，將鏡孔縮小者，即是故也。

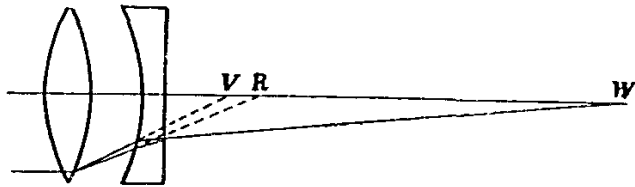
13. 透鏡之缺點，球面與色像差

單獨一個具球面透鏡，常受各種光像差影響，對於觀測上有所不便。此像差之主要者，有球面差 (Spherical aberration) 與色像差 (Chromatic aberration) 兩種。前者焦點之長度經過透鏡中心及邊緣之分，後者（尤為重要）焦點之長度透光之顏色而異。

因光通過透鏡即起分析作用，藍與紫色之光線較黃與紅色為曲折，並令其焦點較近。星之面像遂在透鏡內之中點及邊緣，環以各種色彩，一片糊塗。故簡單折光透鏡，殊非儀器之良者。

欲將色像差改正，可用不同類各種玻璃兩片（或兩片以上）製成物鏡。其一為凸透鏡，其一為凹透鏡。其凸者常用含鉛玻璃 (Crown glass) 製成，其凹者常用火石玻璃 (Flint glass) 製成，如是合成之透鏡，謂之消色 (Achromatic) 透鏡。同時若透鏡之曲度與距離安置適合，則球面差亦能消滅，所望之對象通過透鏡後可得一精確焦點。凹鏡之製成必須選散光力較大之玻璃（將紅與紫色分離），而與折

光力(光之全屈折)
成比例者,則所發
出之光線始不致各
自成爲一焦點,各



(圖十一)

現其本身色彩矣,如圖十一。

此種消色物鏡有各種形狀,從前所製小鏡,常用加拿大膠或一種透光膠質將其粘固,但現時精考製鏡匠,已能將凸凹二鏡分離頗開,且可令空氣流通于二鏡間矣。

14. 攝影遠鏡

藍色與紫色光線,對於攝影片感光效果最大,故一個經視覺修正之物鏡,絕不適于天文攝影之干片,因其不能將藍色與紫色光撮成一極佳焦點也。當所攝者爲一孤星或一行星時,可用較物鏡爲小已經修正透鏡置于目鏡一端以前數尺,使發出之光,聚于一焦點。彼鏡野較大之精良攝影器可不用修正透鏡,只用等光干片,並適在此干片前置一有色彩之蓋(此蓋乃由一平面玻璃片,塗薄黃色膠質而成,因黃色能吸收藍色與紫色光線之故),但感光時間須延長。

當用一遠鏡爲初步攝影時,其物鏡第一步即將一切藍色與紫色光線撮于同一焦點而紅黃色光線不能達到。如是之遠鏡,在視覺上幾乎無用,只可作較短促時間攝影之用。

15. 目鏡

觀測彗星或微小天體時,遠鏡中目鏡,可用一個單獨凸透鏡,對於觀測小物體,即可將其放大,但普通用于天文遠鏡之目鏡,常由二個或多個透鏡所製成,如是所見之視野(Field of view)比一單獨透鏡所見者爲大,且所見之全視野亦較清晰。在天文遠鏡中,由物鏡射來光線,其像成于目鏡之外者,此種目鏡,曰正目鏡(Positive eyepiece);像成於目鏡與透鏡之間者,曰負目鏡(Negative eyepiece)。前者並可供袖珍放大鏡之用。

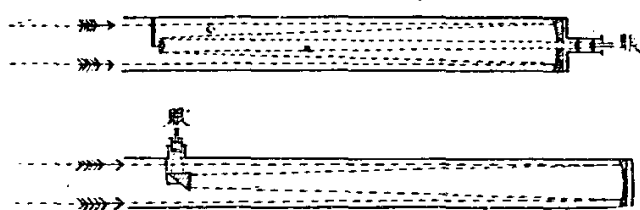
16. 反射遠鏡

折光透鏡之色像差，于 1670 年際，奈端由發現分光之結果而得），而反射遠鏡亦于是時發明。當時視為測星之重要儀器，歷用幾至一百五十年之久，迨十九世紀，折光遠鏡幾取而代之，但至二十世紀，又復重要之地位。

反射遠鏡之重要部份，為大反射鏡，能將星光撮于一焦點，其直接所得之像，在極不適宜位置，惟以各種方法，可使觀測便利。

奈端式之反射遠鏡，有一水平面反射鏡，對於反射光線成 45 度角，並置於光線未至焦點之稍前，如是可將光線反射于鏡筒外，是處適置一目鏡以為觀測之用。

蓋塞林 (Cassegrain) 式之反射望遠鏡，由一小凸反射鏡，亦置於同一位置，將大鏡射來之光線復反射，通過大鏡中心小孔，令其焦點成于大鏡之背後，則觀測者如用折光鏡，可令直接觀測之星，如在目前。其區別如圖十二。



(圖十二)

在兩者所得之真像，皆可攝影，但蓋式之焦點距，遠大於奈端式，故所得像亦較大。

現代大型望遠鏡，各因其宜，同一儀器可改用此式或彼式，但欲免除第二次反射光之消失，可直置一干片支持器於主要焦點處，以為按置干片之用。彼同時用兩式組成之望遠鏡，(如威爾遜天文台之 60 吋鏡可組合成四種形狀)不必鑽孔，於大反射鏡前，再置一反射鏡，將復反射來光線反于鏡筒之外，亦甚便利。

17. 反射遠鏡與折光遠鏡之利弊

光線經過透鏡，則此透鏡必為光學上的調勻 (Optically homogeneous) 方可。

然在反射鏡面，則只要為機械的調勻 (Mechanically homogeneous)，是所要求者為光線屈曲之有規則，條件甚非困難，但現時欲製造凸透鏡，如一反射鏡之偉大，則絕無希望。若反射鏡與折光鏡之面積同大者，則製反射鏡之費用可大為減小，且對於攝影與分光上工作之完全消色功用，利益尤大。

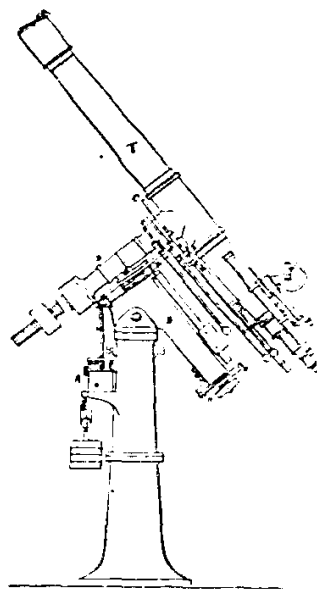
在他方面，折光透鏡在應用上所見之像，較為清晰，及有較大之明瞭視野，而觀測又屬便利。對於透鏡祇須加意保護，而反射鏡則在數月之間，必須鍍銀一次，以保其明瞭度。

現代在實用上，所有視覺觀測與測量，幾全用折光透鏡，至折光透鏡對於分光工作，有較大之利益；在攝影時則用反射鏡，具有較大光力，可將較弱天體，如星雲等攝取，供研究之用焉。

18. 赤道儀望遠鏡

以上所言者，關於望遠鏡本質上之分別，但無論該望遠鏡在光學上如何精巧，倘安置不適宜，對於應用上仍感不便。現時一切用為觀測星宿之大小望遠鏡，多為赤道儀式裝置，如是裝置之鏡，謂之赤道儀望遠鏡 (Equatorial telescope) 或只稱赤道儀 (Equatorial)。

如圖十三，此儀器有二主要軸，其一為極軸 (Polar axis)，其一為赤緯軸 (Declination axis)，前者固定於儀器之架上，如圖 B，兩端正對天球之南北，其一端備有一大刻度盤，垂直於極軸，即平行於赤道；如圖中之 H，在儀器上即稱為時角盤，所以指示望遠鏡正對天上之時角也。後者即繫于極軸之他端，而垂直於極軸者，如圖中之 D，且可繞極軸而回轉焉。在赤緯軸之一端，鑲望遠鏡 T，



(圖十三)

此遠鏡又垂直于赤緯軸，且能繞之而同轉，同轉之角度，可於赤緯軸他端之赤緯圈 C (Declination circle) 上讀取之。

當欲觀某一星時，須先知該星之赤經赤緯與地方恒星時刻，故用赤道儀觀測時，恒星時記時器，不可不備，所以指示望遠鏡應在之時角也。至于星之赤緯，可轉動望遠鏡令其適合於赤緯圈上之度數。

此外附屬于赤道儀，尚有一重要器具，即為運動鐘機 (Driving clock) 如圖十三中之 A，此鐘機普通與極軸相連，能令望遠鏡隨星宿之日週運動而旋轉，使欲觀測之星停留鏡野內，觀測者可無刻刻移動遠鏡追逐該星之勞。

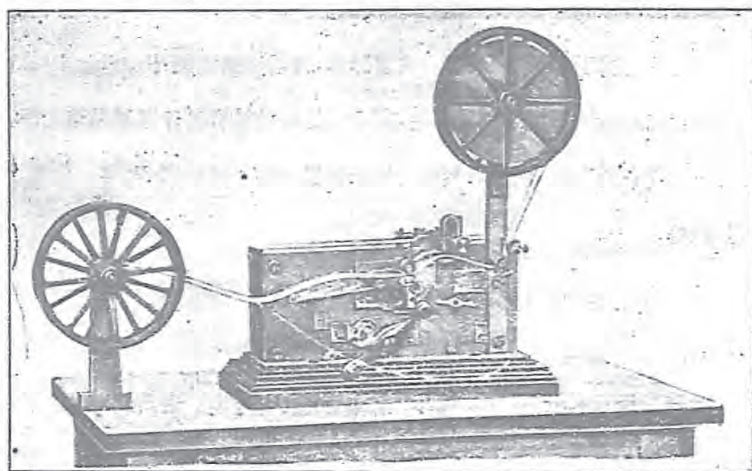
19. 計時器

天文中所用計時器，可大別為三種，一曰天文時鐘 (Astronomical clock)，二曰計時錶 (Chronometer)，三曰記時器 (Chronograph)。

第一種 **天文時鐘** 形如普通時鐘，所異者為擺錘，用鋼與鋅或銅與鎳合金製成，其長度不受四季之寒熱而變，每擺一次，適為一秒。鐘針旋轉運動速度，能極近一常數。如是精製之天文時鐘，常置於溫度變化極微（或竟不變）及極干燥之密封地窖內，免受空氣流動之影響。其更精緻者，則密封於玻璃箱內，箱內空氣，其密度常不變，因空氣密度變遷，能令鐘擺生偏差也。

第二種 **計時錶** 亦如普通之時錶，但較精密，所以補天文時鐘之不足者，因天文時鐘不能任意移動及振動，如日本及意大利等常見地震，及輪船飛機之飄盪，對於天文時鐘大有妨碍，故常須以錶代之，惟精密之度，遠遜于天文時鐘。

第三種 **記時器** 所謂記時器者，將鐘機所得之時刻，由電線利用擺輪之斷續，傳其記號於紙卷上，每秒鐘均可留痕跡于紙卷上之儀器也。利用此記時器，對於時刻之測量，可得極大準確度，鐘錶之差，可由紙卷上記號距離，而精察其為時秒之十分數，百分數，或千分數焉，其形如圖十四。



(圖十四)

20. 子午儀望遠鏡

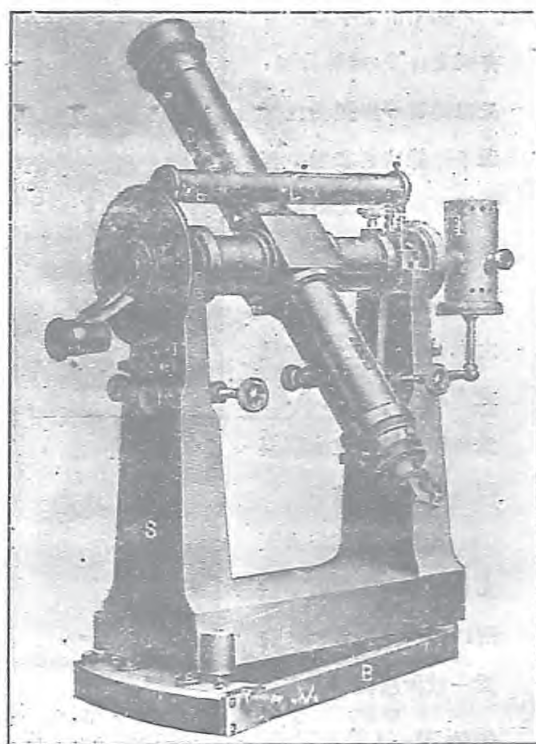
欲由天文觀測，以定星體之位置，以星體經過或極近子午線時為最適宜。因當此之時，折光差與視差（將來詳述）影響為最小，對於「時」不發生差異，故對於該星赤經之測量亦無影響也。

所謂子午儀望遠鏡者，即專為觀測星體經過子午線時而製之儀器也。子午儀最重要部份為一望遠鏡，及置於眼端目鏡前之絲絲盒，此望遠鏡裝于一與視線垂直之橫軸上，此軸兩端正對東西，放在一Y形架上而正垂直於子午圈（圖十五）。又於

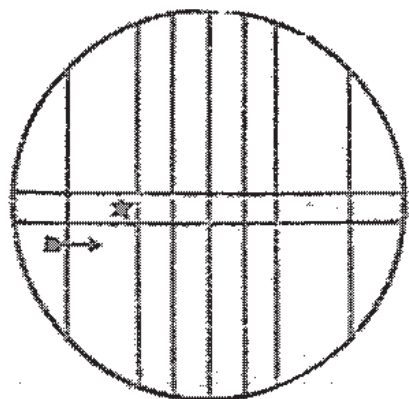
橫軸上，常置一精巧水準器，為輔件之重要者。所以定橫軸對於地平之微差也。惟實用時必須有一小刻度圈附于儀器上，以為測星地平緯度之用。此外更附一反轉機，令軸或鏡之全體易于肇舉，將軸之方向輕緩反置，不致振動。

在蛛絲盒內有垂線由五條至十五條，橫線兩條。(圖十六) 在晚上觀測時，欲視野清楚，必須另裝小燈，令其光射入蛛絲盒內。

此種儀器必須硬直，各部不宜寬鬆，或有振動，尤以物鏡及蛛絲盒之裝置為甚。再者樞軸兩端必須同為正圓而直徑相等，且彼此皆在一直線上，換言之，必須為一幾何的圓柱體也。



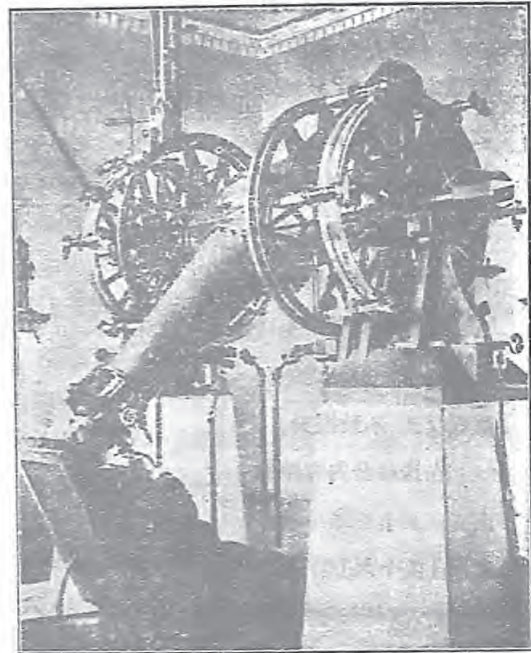
(圖十五)



(圖十六)

當儀器一切差誤皆修正時，則儀器之中線，即能代表不可見子午線之一部份。但儀器本身，能依軸迴轉無論子午線之何部，皆可相合焉。用如是儀器以測星體，則地方恒星時，即為過儀器中線之星之赤經。

故平常子午儀常附有天文時鐘，或計時器，及配時器等以觀測星體過子午線時刻之用，若當觀測時，天文時鐘之差為已知，則此鐘修正之時刻即為所觀測星體之赤經數。反之，若知星之赤經，則時鐘之差，即為所觀測星體之赤經與觀測時之時刻差。



(圖十七)

在較完備之宏大天文台所置之子午儀，常稱曰 Meridian circle，即為一較大及較精密之子

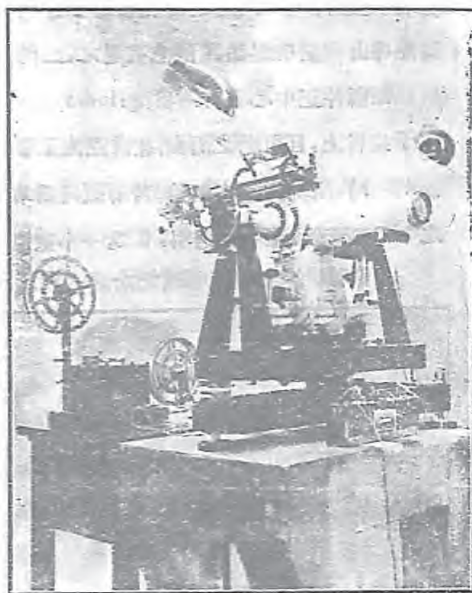
午儀，附一大緯度圈與軸相銜接，且可隨軸轉動。(圖十七)當星體射入鏡野內，可將該儀器慢動，令蛛絲盒之水平線平分所觀測星體，如是此星即循水平線而行，逐漸移近垂直之中線(代表子午線)，在鏡內由西向東而過，此子午儀劃度極精密，可測至緯度十分之一弧秒，故此圈上常置有數個放大鏡，以便觀看劃度之用。

21. 自身差，動絲測微器

凡觀測星體過蛛絲盒之實線時，無論觀測者如何熟巧，彼此所得結果，總發現其各有遲早之不同。此種差誤，曰自身差 (Personal equation)；(但用配時器觀測，此差常可小于一時秒) 隨觀測者本身物理上，環境上及星光度大小不同而

變。由星光大小所生差，弱小之星與亮星比較，常覺太遲，如是所發生之誤差，曰星等差 (Magnitude equation)。

現時應用動絲測微器或超人測微器 (Impersonal micrometer) 以觀測，此自身差已可大為減小，此測微器內除固定蛛絲外，另加一垂直游動蛛絲。此游動絲，可用一螺絲掣之旋轉，令其隨星體而左右移動。當螺絲掣轉至若干度時則有電記號，為自動的記錄于記時器之紙片



(圖十八)

附有超人測微器之中山大學天文台子午儀

上。(即在鏡野內，游絲與星體同時至某位置，可於電號上知之) 應用此儀器而略加實習，則觀測自身差，可減少而化歸為有焉。

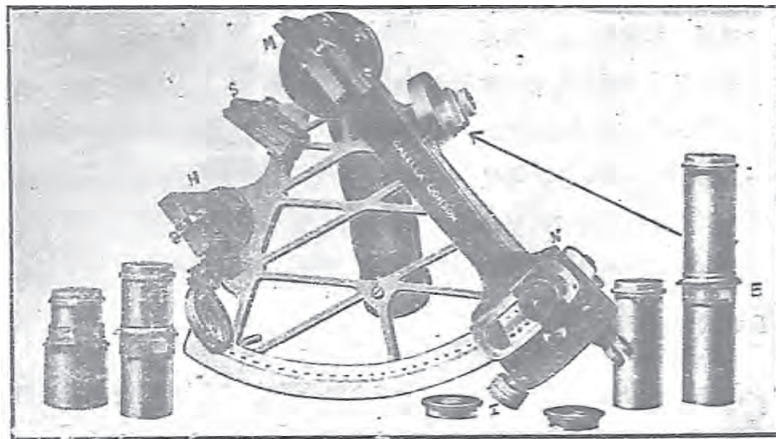
22. 六分儀

上述各種儀器，除計時錶外，必須安置於穩固地點，若在海面，時時振盪之船上，殊不合用。惟六分儀 (Sextant) 則為水手所尚，用時可測量兩點(如太陽及地平)之角度距，此儀器不必先由某點測定以後，然後轉至別點，可同時令兩點在一視野內相重，而直接可讀出其角度距之大小也。故善於觀測者，雖企立不甚穩定，其所測量結果，仍得正確。

六分儀中劃度弧片之長，正名副其實，等於圓周六分之一，(圖十九) 其半徑約六吋，弧片上每一劃度，等于半度，但事實上以整度名之。故所量之角度不能超

過 120° ，指臂 (Index arm) 可繞弧片中心而轉，並附一遊標尺 N，沿弧之邊移動，其位置可由一正切螺絲 T 隨意固定之，此儀器所測角度，最寬者亦不過 $10''$ 而已。

在弧片正中心上有一指鏡 (Index mirror) M，其面積長約二吋，闊一時半，固定于指臂上，且可隨之而動，並常垂直于弧片之平面。H 為水平鏡 (Horizon glass)，闊約一時，高約指鏡之兩倍。若游標尺為零時，則指鏡與水平鏡互相平行，水平鏡之下半部鍍銀，上半部透明，E 為一小望遠鏡，安置邊上，常直望水平鏡。



(圖十九)

若在觀測時，游標尺不正貼零點，則在望遠鏡內，直接所見之物，為兩分離像，若將游標尺移動，則所見之物像，一為固定，一為移動，其固定者，乃物體直接由水平鏡之非銀面射入。反之，其移動者，乃由兩種反射光線映出，即先由指鏡反射於水平鏡，再由水平鏡之下半部鍍銀鏡反映而得。若當兩鏡平行，而物體在較遠距離處，則兩像相重。

如游標尺不近零點，則通過水平鏡物體不只直接可見，且在同一物鏡內，其他別種物體亦可由反射鏡將其光線送入望遠鏡內。游標尺在弧片上所示之角，即表

示兩個物體，其像在儀器內相重時，對於儀器所成之角，此角為二鏡面所成之角，極易証明，為介於二物體間之角之半，及在弧片上所劃半度之數作為整度之數也。

若當鏡面平行，而由游標尺所在度數不適為零，則此六分儀所測得之值，非太小即太大，此指標之差誤，頗易決定，應用時應檢定修正之。

在海面上應用此六分儀時，觀測者用右手持儀器，用遠鏡望太陽垂直下之地平線，以左手移動游標尺，令太陽之像在鏡內適與地平線相合，如是在弧片上所得之角，再加各種差誤之修正(第三章)，即太陽對於地平線之真緯度。

習 題 II.

1. 若以手掌置于遠鏡之物鏡前，則由此遠鏡可見手掌否？
2. 若將遠鏡之物鏡遮掩半邊，問用此遠鏡望月，見月之景像有何不同。
3. 用某一目鏡配于5呎焦點距遠鏡，所得之倍力為60，若用此目鏡配于30呎焦點距遠鏡，應得之倍力為幾何？
4. 若用一24吋徑遠鏡，適能分離一圓雙星，問理論上此雙星二體之角度距為幾何？
5. 若子午儀東方Y座偏北，則對於觀測天頂以北及以南之星經子午線時，發生何種影響？又對於觀測此等星之赤緯有無變化？
6. 若子午儀西方Y座過高，則第5問各條件有何影響？
7. 試詳述六分儀，以六分一周之弧片，能測 120° 角距之理由。

第三章 天文觀測誤差

23. 一般觀測差

天文觀測中，無論若何精巧，常因觀測者環境及儀器關係，永不得絕對精確值，此種差，曰觀測差 (Error of observation)，為求觀測中準確度之極重要部份。

觀測差，通常可分兩種，(1)曰系統差(Systematic errors)在同一情形下反覆觀測數次而起。(2)曰偶然差(Accidental errors)，不由反覆觀測，而由偶然一次二次或數次而起。第二種，能令連續觀測同一量結果，彼此畧有差異，頗易發覺。至于第一種，其影響效果，似覺彼此均同，故必須在相異情形或用相異方法觀測，方可發見。

考第一種系統差之發生，其原因有數種：由觀測人本身者，如自身差；由不可免儀器之微小差誤者，如子午儀偏差；或由外界影響，如光受空氣之屈折等。故欲求觀測之高率精確度時，必須設法將此種誤差減免，如研究其產生之規則，然後由計算上以酌減之（例如折光差）；或妥排觀測次序，由最後之平均結果消去之（如經度測量中，觀測者變更其地點）；或於可能時，另置觀測法，俾該系統差減至極小（如遠鏡中另附測微器）。由是凡能影響觀測結果之誤差，而在可知之範圍者，均可由上種種方法免除。

至於第二種偶然差，大約由于多數細微影響所結合而起，其值大小隨各個觀測而異，且無法可預知者。雖然吾人由經驗所得，此種差誤之發生，仍有其一定通性，非完全無可捉摸，例如正負差（與真值相對兩面之偏差），在無論何種情形皆有可能發生之等均機會，其小誤差之發生，常較大者為多；及在各種之差誤數值間，有一定關係存在等是也。

普通欲求觀測結果之準確，必須作多次之觀測，然後取其平均值，由平均值以律各個之觀測，則每一觀測之偶然差不難立見。

24. 偶然差

如吾人已知一串觀測之偶然差，則必可得一數，大於偶然差中之半數，而小

於其他之一半；如是所得之數，稱為或然差(Probable error)。此或然差之大小，即可表示觀測之精確度。又有所謂平均差(Mean error)或標準偏差(Standard deviation)者，依統計研究之結果，即以 1.48 乘或然差所得之數也。

設有 1000 個觀測，其或然差為 γ ，依某簡單假說(詳於差誤專論中，不叙於此)可推得平均應有 500 個觀測，其差絕對值小於 γ ，323 個，其差介于 γ 與 2γ 間，134 個，其差介于 2γ 與 3γ 間，36 個，其差介于 3γ 與 4γ 間，祇得 7 個，其差之絕對值大於 4γ 者。由經驗所得，雖觀測數目甚小，此差誤法則，亦極能與事實相符。

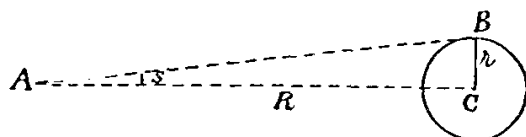
惟有應注意者，此差誤法則，絕不能將用于某一單獨觀測中差誤，告諸吾人。例如平均在 140 個觀測中，應有一觀測，其差誤超於或然差之 4 倍，惟無法能預知此最大差誤之觀測，究發現于何處。

在習慣上，或然差之前常冠以 \pm 號；例如，測得一數為 $10''$ ，或然差為 $2''$ ，則寫為 $10'' \pm 2''$ ；然倘有當牢記者，則觀測一數量之或然差，足以表示觀測之準確度者，祇當其觀測不為暗伏系統差所影響時為然。

25. 視直徑與距離之關係

外觀所見物體直徑之大小，常依距離而變，愈近則愈覺其大，愈遠則愈覺其小；故直接視覺所見實物之大小，如未知其距離時，不能遽行斷定其真值。

如圖二十，球之半徑為 $BC=r$ ，由 A 點望之，其視半徑(Apparent Semidiameter)為角 $BAC=S$ ，其距離為 $AC=R$ 。



(圖二十)

依幾何定理， AB 為 C 圓切線，則 B 為直角，故得 $\sin S = \frac{r}{R}$ ，或 $R = \frac{r}{\sin S}$ ；若 S

角極小時(如小於 5°)，則可應用正弦或正切展開級數而略去其第二項以後各小

值，寫 $\sin S = \text{tg } S = S$ 即 $S = \frac{r}{R}$ 或 $R = \frac{r}{S}$ ，此處之 S ，以本位弧(radians)表之，如將

其變為角度，則因 1 本位弧 $\Rightarrow 57^{\circ}.30(360^{\circ} \div 2\pi) = 3437'.7 = 206265''$ 。

故 $S^{\circ} = 57.30 \frac{r}{R}$; 或 $S' = 3437.7 \frac{r}{R}$; 或 $S'' = 206265 \frac{r}{R}$.

由是可見在小角度計算中，如欲將線長變為弧秒數時，則因 $\text{Sin } l'' = \frac{1}{206265}$ 之故，可選以 206265 或 $\frac{1}{\text{Sin } l''}$ 乘之；如 $\text{Sin } S = Pa$ 時，則可寫 $S'' = 206265''P$ ，或 S''

$= \frac{P''}{\text{Sin } l''}$ 。又由前式可見視直徑與線直徑 (Linear diameter) 成正比，與距離成反比，

例如月球

$R = 239000$ 哩， $r = 1081$ 哩。

故 $S = \frac{1081}{239000} \times 206265 = \frac{1}{221} \times 206265 = 933''$ 。

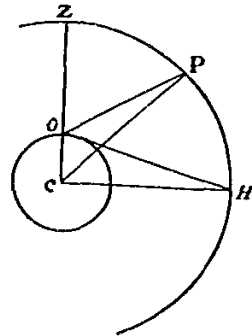
又航行者常用此法以估計離岸之遠近，如遠望燈塔視高度為 2° ，即可決定此船與燈塔之距離，為燈塔高之 $\frac{57.3}{2}$ 倍。

至平常測量圓面較潤之天體，如日月等圓面上邊或下邊之高度時，則必須將此等天體之視半徑加減之，方為此天體之真高度，因一切天體高度之測量，均以其中心為標準也。

26. 視差

所謂視差 (Parallax) 者，由兩觀測地點以觀測天體之方向差也。在天文學言，視差可分兩種：日週年視差 (Annual 或 heliocentric parallax)，由日與地所觀測天體之方向差也。日週日視差 (Diurnal 或 geocentric parallax)，由地心與地面觀測者所觀測天體之方向差也。

如圖二十一，C 為地心，P 為星體，O 為地面觀測



(圖 二十一)

者，P 之視差，即為 OPC 角，此角等于 ZOP 與 ZCP 二角之差，此視差在天頂 Z 處為零，在地平 H 處最大，是謂地平視差 (Horizontal parallax)。

如命 p 為地平視差，即可得

$$R = \frac{r}{\sin p}, \quad \text{或} \quad R = \frac{206265r}{p}$$

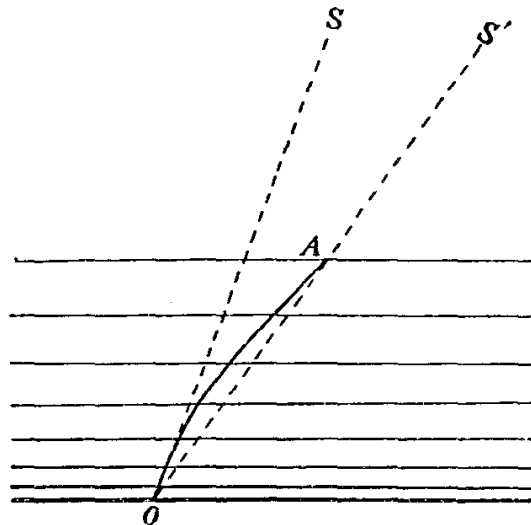
如觀測極遠之恆星，則日與地皆可以一點視之，此時 C 為日，O 為地，上圖之圓，即代表地球軌道，P 即為任意欲觀測之恆星，如是所得之視差 CPO，即為週年視差，此視差之與距離關係，亦與前式相當。

故當天體之視差已知時，即可以決定其距離，又如欲將在地面上所觀測結果，變為地心，或日心觀測時，須將週日或週年視差修正方可，如圖二十一，欲將由 O 點觀得 P 之視地平緯度，變為由地心 C 觀測真地平緯度時，必須加視差，即加 CPO 角；如 P 點之視地平緯度為 h 時，則 CPO 角即為任意地平緯度之視差，其值可由下式計算之： $CPO = p \cos h$ 。

27. 蒙氣差

光波在真空間進行時，其光速常不變，惟一經媒質如空氣時，則光速隨空氣之密度而減，當光波通過密度不均勻之媒質如空氣時，則光之一部經過密度較大空氣者，必比經過密度較小者為後到，故光線(垂直于光波者)常曲向密度較大處而折。

如圖二十二，O 為觀測



(圖二十二)

者, S' 為欲觀測之星, 光未入大氣層以前, 其方向為 $S'A$, 以後漸入, 則空氣密度漸大, 光速漸減, 光波方向, 變更漸大, 漸成一曲線, 今觀測者在 O 原來欲觀測 S' 者, 此 $S'A$ 方向, 遂變為 SO 切線方向, 此 SO 與 $S'O$ 之方向差謂之稜氣差 (Astronomical refraction). 是故凡星光由外界射入空氣者, 皆經如是之屈折, 吾人在地面所見星之地平緯度, 常比星之真地平緯度為大, 故凡觀測星體之地平緯度時, 必須將稜氣差修正之, 即將 $S'OS$ 角減去也。

稜氣差亦如視差, 在天頂處為零, 近地平處最大, 平均為 $34'50''$ 惟稜氣差之大小, 常隨空氣密度不同而變, 而與距離無關, 故稜氣差修正時, 常含有氣壓及氣溫之因子在內, 但在實用上, 常將其平均值預為算定 (附錄 IV), 以供臨時檢查之用。

28. 地平俯角

在海面上觀測天體地平緯度時, 必須顧及地平線漸向下傾, 此視地平常比真天文地平 (True astronomical horizon) 為低, 此低下之小角, 名曰地平俯角 (Dip of the horizon). 此角之大小, 隨觀測者離海面之高度而變。

如圖二十三, C 為地心, O 為觀測者之眼, h 為目與海面之高, 畫直線 OH 垂直于 OC , 此 OH 即為真地平, 切線 OB 即所見之視地平, HOB 角即為地平俯角, 與 OCB 角相等。

若將稜氣差加入計算, 視線當更向下傾, 如是俯角較小, 而地平圈距離較遠, 故欲將天體觀測得之視地平緯度, 變為真地平緯度時, 必須減去此俯角, 即 HOB 角方可。

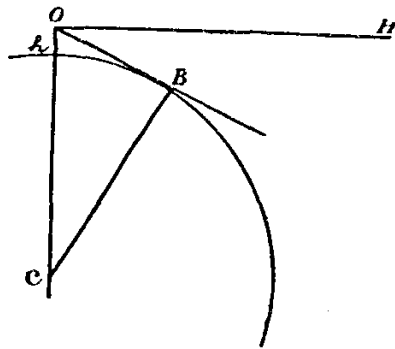
今若取稜氣差影响之平均數言, 吾人于實用上常採下之簡略公式:

$$(\text{俯角})' = \sqrt{h} \text{ (呎)}$$

或 $OB \text{ (哩)} = \sqrt{\frac{3}{2} h} \text{ (呎)}$

例如觀測者離海面高度 $h=9$ 呎, 則

俯角 $= 3'$; $OB = 3 \sqrt{\frac{3}{2}}$ 哩。



(圖二十三)

習題 III.

1. 由海船上高 30 呎，觀測日在子午線地平緯度(南點)為 $30^{\circ}15'$ ，求日之真地平緯度。
2. 月在子午線時，其圓面下邊 (Lower limb) 之視地平緯度為 $49^{\circ}37'$ ，視半徑為 $15'.0$ ，地平視差為 $55'.2$ ，觀測者目高為 40 呎，求月之真地平緯度。
3. 問在海面上 900 呎高處，所見之平地俯角為幾何？地平圈之距離為若干哩？
4. 若由山頂所見之地平俯角為 2° ，山之高度為幾何？
又由此山頂所見地平圈之距離為幾哩？
5. 甲觀測者在赤道之海平面上，乙觀測者乘飛機在甲之 10000 呎，同時觀日落，問乙見日落時間比甲見者延長若干？
6. 設日之地平視差為 $8''.8$ ，問當火星最近吾人時其地平視差為若干？
但此時火星與吾人距離，為 0.378 天文單位。注意：一天文單位 (Astronomical unit) 為地與日之平均距離。
7. 當木星距離在六個單位時，其地平視差為若干？

第四章 經緯度及各種時之測定

29. 緯度測定法

前章所述為天球上各種基礎座標，所以定天體之位置者，本章乃就地球表面而言，其座標為經度緯度，所以定地面上各點者，蓋觀測天體，常因觀測者所在地不同而生差異，故觀測地點之決定，實天文學最先決之問題。

因地球非正圓形，又非幾何的旋轉橢圓體，所謂地面緯度者，雖由赤道起為 0° ，最至北極為正 90° ，至南極為負 90° ，然在地面上各點因量法不同，而有種種區別：

- (1) 地理緯度 (Geographical latitude) —— 為地面一點水平面之正垂線，與赤道面之交角。
- (2) 地心緯度 (Geocentric latitude) —— 為地面一點及地心連結綫，與赤道面之交角。
- (3) 天文緯度 (Astronomical latitude) —— 為地面一點重力綫錘方向，與赤道面之交角。

由是可見緯度大小，雖常以與赤道距離為斷，惟地球不為正圓形，地面各點緯度一度之長遂不能相等，吾人此處所論者，為第三種緯度，此種緯度與第一種相差極微，但在山嶺極大區域，如 Alps 及 Caucasus 等地，其差可達 $29''$ ，與第二種緯度差，則隨緯度高低而異，在赤道及兩極處為零， $\pm 45^\circ$ 處為最大，約等於 $12''$ 。

今述第三種緯度各種測定法如次：

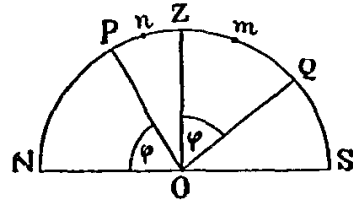
(a) 繞極星觀測法

此法為測地方緯度之極常用者，先選定一近極且過地方子午綫之星，用儀器測其地平緯度，次經恒星時十二時後，在極點之下，再測其地平緯度，如是兩次之平均數（每次均要將蒙氣差修正），即為觀測地之極高，亦即該地之緯度。但此法不適宜於測量近赤道各地之緯度，因其地之極點太近地平，第二次之觀測，不能施

行也。實行此法所用之儀器，以子午儀為最佳，在不得已時用六分儀或經緯儀 (Theodolite) 亦可，但不若前者之精確。

(b) 觀測已知赤緯星體經子午綫之地平緯度或天頂距

如圖二十四， $SQZPN$ 為某地子午綫， Q 為赤道， P 為極點， Z 為觀測者之天頂， QZ 為天頂赤緯，即觀測者之緯度，命為 φ ，今選一 m 星，其赤緯為 δ_m ，當其經子午綫時，測其天頂距得 Z_m ， Q_m 即 δ_m ，為已知之赤緯，由是



(圖二十四)

$$QZ = Z_m + Q_m, \text{ 即 } \varphi = Z_m + \delta_m。$$

若星體在天頂與極點間 n 位置，其赤緯為 δ_n ，天頂距為 Z_n 時，則天頂距為負，亦得同樣結果， $\varphi = \delta_n - Z_n$ 。

若吾人用子午儀觀測時，可選一星體與天頂極近，蒙氣差減小，最佳者，施行實際測量時，選多數星體，有在天頂之南者，有在天頂之北者，如是將所有得數而平均之，即可消去蒙氣差矣。

又航行者在海洋面，或旅行者在無鐘錶記時地域而欲測量其地緯度之大概時，可預為查知是日太陽赤緯之大小，于將午之前後，每兩三分鐘觀測太陽之地平緯度一次，取其最大值以推求之，因在午前太陽之高度漸大，午後則漸小，觀測者不難用曲綫圖解法以求其最大地平緯度也。如命最大值为 h ，太陽是日赤緯為 δ ，則緯度 $\varphi = 90^\circ - h \pm \delta$ 。

(c) 天頂距差法

此法必須用天頂望遠鏡 (Zenith telescope) 方可施行，以量定近且約與天頂等距二星之天頂距差，此二星在數分鐘前後經過觀測者之子午綫，一在天頂南，一在天頂北。

觀測時，先將望遠鏡較定相當高度，當星體經過子午綫時，即用鏡內測微器

中縱綫對準觀測之星體，後即將望遠鏡回轉 180 度，以觀測在天頂他方之星，當二星經子午綫時，即可在測微器內測量其與橫中綫相距之度，得此二星天頂距極精確之差數，以算知觀測者之緯度，其理如第二法。

$$\text{設星在天頂之南時} \quad \varphi = \delta_m + Z_m$$

$$\text{設星在天頂之北時} \quad \varphi = \delta_n - Z_n$$

二者相加，再以 2 除，即得

$$\varphi = \frac{\delta_m + \delta_n}{2} + \frac{Z_m - Z_n}{2}$$

式中 $\frac{\delta_m + \delta_n}{2}$ 值，為已知二星赤緯之和之半， $\frac{Z_m - Z_n}{2}$ 即由測微器所測橫中綫相距數之半也，用此法時，蒙氣差自然消滅，因二星皆與天頂相近，且分佈于天頂之南北也。

30. 時

所謂時 (Time) 者，表示經過久暫之一種量，在天文學中，有三種時：曰恒星時 (Sidereal time)，視太陽時 (Apparent solar time) 及平均太陽時 (Mean solar time)。第一種以用于天文測量為主，其他少用，第二種又曰真時，在無鐘錶之地用之，至于第三種，即吾人日常所用之時也。再詳論之。

(a) 恒星時以星體在天球上位置決定之，時之起點，以經過春分點之時圈（即二分綫）為標準。標準時圈繼續經過某地子午圈兩次之時間，為一恒星日 (Sidereal day)；某地方恒星日始點，即為標準時圈經過觀測者子午綫之時。恒星時即子午綫與標準時圈所成之時角，亦即與在子午綫上時圈之赤經數相等。時之長短，以恒星時鐘記之。恒星日之始，為零時零分零秒。

(b) 視太陽時即如恒星時，但此則以子午綫與太陽所成之時角量之，以太陽經子午綫時為正午。曰視太陽午，或真太陽午。

因地球繞太陽公轉之故，太陽即似沿黃道向東行，一年一周；每日之正午，太陽在黃道向東約行一度，故任意一地子午綫，每日須遲四分鐘方追及太陽。換言

之，太陽日長于恒星日約四分鐘：一年中適差一日，得 $366 \frac{1}{4}$ 個恒星日。

但太陽之向東移，並非均勻運動，故視太陽日之長，亦每日不同。例如十二月二十三日，由今日之正午至明日之正午，其時間即長于九月十六日者約五十秒（以恒星時鐘量之）。由是言之，視太陽時，雖為自然之真時，但每日之遲疾不同，不足以供科學上之應用，且無機械可令其進行遲速，與之適合當鐘錶用者。

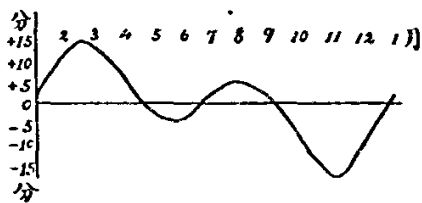
(c) 平均太陽時，吾人懸擬一假太陽 (Fictitious sun)，沿赤道由西向東行，但運動為均勻運動，每年適在赤道行一周，故一年之內，真假太陽之時數相等，日數亦相等。此假太陽，即為平均太陽時記時之用。當此假太陽經過子午線時，即為平均太陽午 (Mean solar noon)。平均太陽日 (Mean solar day) 即假太陽繼續經過子午圈兩次時間，每日之長均相等，且又等於視太陽日一年之平均數。平均太陽日比恒星日長 3 分 55·秒 91 (平均太陽時之分秒)，而恒星日則比太陽日短 3 分 56·秒 55 (恒星時之分秒)。恒星時對於社會事業上，絕少應用，因其對於任意一地之午時，日日不同也，視太陽時亦然，每日及每時之長皆有變化；至於平均太陽時，其時之單位，一定不變，可以鐘錶等計時器量之。故平均太陽時，對於日常應用極為方便。

31. 各種時之關係

平均太陽時與視太陽時之差，謂之時差 (Equation of time)，每年每日之時差，大約相同。如命 E 為時差， T_m 為平均太陽時， T_a 為視太陽時，則時差之關係，可以下式表之

$$E = T_m - T_a$$

圖二十五，即民國二十年時差 E 之變化，0 橫線在中，在此線之上，其值為正，線下為負。由一月一日起至十二月三十一日止，逐日變化不同。圖上左縱線之數，即為時差之分數，



(圖二十五)

用平均時減真時，若得數爲正，即在 O 橫線上，則平均時 12 點，真太陽尙未達到子午線。與 O 橫線相交者，卽表是日真假太陽能同時達到子午線，或二者同經也。在 O 橫線下者，卽是日平均時比真時遲，平均時在 12 點，真太陽已過子午線矣。

由圖二十五而觀，計一年之內，時差爲零（卽曲線與 O 橫線相交）者有四次，此四次爲四月十六日，六月十五日，九月二日，及十二月二十五日。絕對值最大者亦有四次，二月十二日爲十四分二十二秒，五月十五日爲三分四十七秒，七月二十七日爲六分二十二秒，及十一月四日爲十六分二十二秒，而以十一月之值爲最大。

平均太陽時與真太陽時之關係既知，今再述恒星時與真太陽時之關係。恒星時以天球上固定之點(γ)，或某星時圈經吾人子午線爲標準，既如上言。例如十八時十六分十七秒之赤經經吾人之子午綫時，吾人之恒星時鐘，亦應正爲十八時十六分十七秒。反之，恒星時鐘所示之時刻，卽與天球上經吾人子午線之赤經數相合。今真太陽在天球黃道上每日所在之位置，赤經幾何，赤緯幾何，皆可算知；由是只知真太陽是日之赤經數，在恒星時鐘上，卽可指示真太陽何時經吾人子午線（爲真太陽午）；或現在真太陽在子午線之東或西，時角之大小，甚爲簡單也。例如今日正午真太陽赤經爲十六時十七分十八秒，而現在之恒星時已爲十六時十分八秒，則可知約再候七分十秒，本地時刻，便爲真太陽午，再由真太陽午，加是日時差，卽可得平均正午（卽鐘錶十二點）。反之，由平均時，亦可以求真太陽時，真太陽時既得，再查天文曆書，是日太陽之赤經爲若干，則太陽經子午線時，恒星時鐘所指，應與此赤經數相合，亦頗簡便。三種時實能互相通用者。且太陽在天球上視運行，每年經三百六十度，卽每月經三十度，此三十度者，卽與赤經二小時相當。由是而言，每差一個月，平均時與恒星時相差約兩小時；今假定九月二十三日，太陽所在之赤經爲十二時，而太陽經子午線又爲平均時之十二時，則此時之恒星時鐘數，與平均時鐘數相合，迨至十月二十二日，恒星時已比平均時快二小時，再至十一月二十二日，快四小時矣，其餘以此類推。明乎此，則察吾人之平均時錶亦可約畧知該地之恒星時爲幾何，及是日真太陽所在之赤經爲幾何矣。

又因地球繞日，365·2421 太陽日而成一年，而恒星日則須多一日，故任意時間內恒星時長短，與平均太陽時長短，有下式之關係：

$$\frac{\text{任意時間內恒星時之秒數}}{\text{同時間內平均太陽時之秒數}} = \frac{366 \cdot 2421}{365 \cdot 2421}$$

若命 A 為恒星時之秒數，B 為同一時間內平均太陽時之秒數，則二者交易時，可由下式算出：——

$$\frac{A}{B} = 1 + \frac{1}{365 \cdot 2421}$$

$$\text{即} \begin{cases} A = B \left(1 + \frac{1}{365 \cdot 2421} \right) = B + 0 \cdot 002738 B \\ B = A \left(1 - \frac{1}{365 \cdot 2421} \right) = A - 0 \cdot 002730 A \end{cases}$$

32. 時制。

以上所述，只就時之性質上言，可分為三種：曰恆星時，曰平均太陽時，曰真太陽時。前二者均屬不變，可用機械的鐘錶量之，後者或快或慢，只能將平均太陽時，加每日之時差得之，故民生日用，只可用平均時，比較簡便也。昔者未有鐘錶以前，每日之時刻，無相當精密記時器以為測定；故所用之時，均為真太陽時；用日晷儀以定每日之正午，及真正之太陽時刻。即今日山鄉僻壤，交通未便，尚無鐘錶使用者，如鴉苗部落，仍多用日晷測時，以真太陽時刻為準也。

然時之類別，在應用上言，尚不只此；前不言乎，平均太陽時，乃用真太陽經所在地子午線時刻加該日之時差而得。然地為球形，渾圓無極，子午線者，由南極而北極之經線也。球面幾何指示吾人，凡經球上兩點之大圓，為數無限，於是經線之數亦無限，即各地有各地之子午線矣。東西遠隔之地，如上海與成都，固上海有上海子午線，成都有成都子午線；即近而城市之內，如廣州市，亦西關有西關子午

線，東山有東山子午線，西門有西門子午線，東門有東門子午線也。因地球每日對太陽自轉一週之故，太陽視運動，每日由東起而西落，在東者子午線先經，在西者子午線後經，而東西地之時刻，遂無時相同矣。今者在一城市內，兩經線度數之差極微，時刻差異，尙不甚顯著，然相隔遠者，如倫敦與廣州，相隔約一百一十三度，廣州在倫敦之東，廣州時刻遂比倫敦約早七時半。如是凡用太陽經各地子午線，以定各地時刻者，此種時吾人稱爲地方時 (Local time)。

可見地方時者，凡東西相異之地，在不同子午線上各點，無論遠近，時刻皆不同，小而在一城市，大而在一國家，莫不如此。東京至西京，彼此同說某時，而某時之所以爲某時，彼此有異，再精確言之，即東門之甲，探西門之乙，彼此約云上午六時者，亦不能一致，非預先聲明爲甲處六時，或乙處六時不可。

當太陽經子午線時，其時角爲 0，從前天文家，咸以是時正午爲一日之始，定爲 0 時，是之謂天文日 (Astronomical day)。但自 1925 年後，天文聯合會會議結果，將一日時刻，提早 12 時，與普通民用時刻一致，正午定爲 12 時，是之謂民用時 (Civil time)，如是一日謂之民用日 (Civil day)。某地方之地方時刻，如以正午爲 12 時計算者，曰地方民用時 (Local civil time)。

由是而言，地方時刻，雖爲應用時之最自然者，但在今日交通極速，及事業頻繁之社會，如鐵路火車，電報，輪船及飛機等，瞬息數里數百里或數千里，若仍固步自封，各用地方時，則時刻計算，隨處將見其不便；是地方時刻除若干閉塞交通不便社會，或科學實用如氣象觀測等，仍用地方時外，已不適用，而必須改用他種時制，以求交通之利便矣。

他種時制何？即將某區域內時刻劃一是也；在過去之歷史言，將某區域內時刻劃一者，以法令時 (Legimate time) 爲最早。此種時乃以國家之法令規定，令全國之時刻一致，並以國內某地子午線爲標準也。在習慣上言，多以一國京都所在地之子午線爲標準，如法之巴黎，意大利之羅馬是也。此種時自政令規定以後，全

國之鐘錶，即須一致，不得或異，而國內之交通便矣。

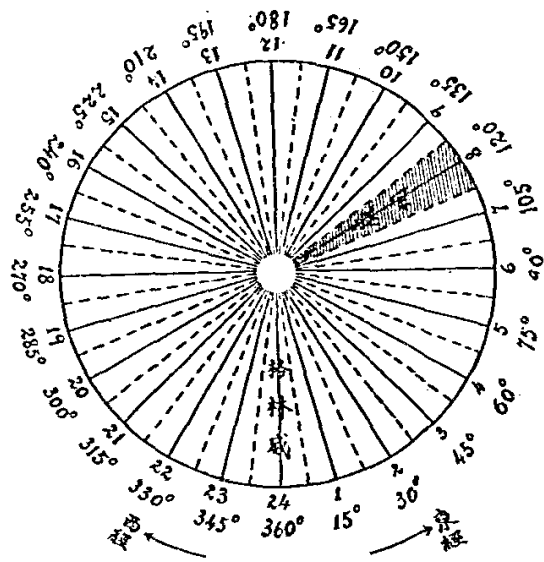
然此種法令時，須全國時刻一致，在國家幅員偏小，如瑞士，如意大利；如亞根廷等尙可應用，若在龐然大國東西經度相差數十度，如中國，美國，印度及俄羅斯等即不合用。在中國言，東西經度約差六十度，時刻差達四小時以上。如在地方時言，長白山下午四時，而昆崙山附近，尙未及午，若必將其時刻劃一，將令全國人歷來早晚之時刻習慣攪亂，是此種時刻之不適宜於大國，又彰彰也。

現在世界時刻之最便利而普及者，厥爲標準時制 (Standard time)，乃於 1880 年由美國所創用，此種時制，又名世界標準時 (Universal standard time)，以經過英國格林威子午線爲標準。太陽經該地子午線爲日之午，相差一百八十度者爲日之始。格林威之東西七度半以內，其時刻均同，餘則向東西推進，每十五度爲一區，相鄰之區，相差一小時，謂之時區，同區以內各地，時刻相同，全地球共分爲二十四時區。現在歐洲西部各國，已全採用此種時制，以格林威爲標準，歐洲中部則比格林威早一小時，在歐洲東部 (除俄羅斯外)，如南非洲埃及等則早二小時，餘以此類推。

自標準時制推行以後，電訊航行及火車之交通，極形利便，如某處來電，謂上午或下午某時所發，吾人若知發電處所在時區與收電處所在時區差，即可知二者相當之時刻，又如輪船航海，由西向東行，則只係每行十五度，乃將其鐘撥早一點，即與該處附近海岸時刻相應，不必時時刻刻繼續更正之也。

欲知某處之標準時刻，須先知其地在格林威之東或西經若干度，看其位於下圖二十六某時區內，即將其地方時刻，加或減其經線與時區中線差之時刻即得。此加或減之決定，在中線之西者加，在東者減：如廣州在格林威東經一百一十二度五十三分，此經線位於第八時區內，在區內中線之西，七度七分，即約二十八分鐘，故只將廣州地方時，加二十八分鐘，即爲標準時刻。

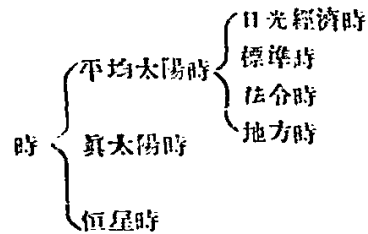
時之應用，至標準時制，已頗能補救地方時之弊。然除此外，歐美工業經濟發達國家，尚有另選一種時制，依年中季節之不同，令全國時鐘完全撥早一小時者，是謂日光經濟時 (Day light-saving time)，因緯度較高（如北緯四十四度左右）之國，夏冬兩季，晝夜長短，相差極遠；冬日上午八九時始天亮，而下午四點鐘左右便黑。反之，夏日



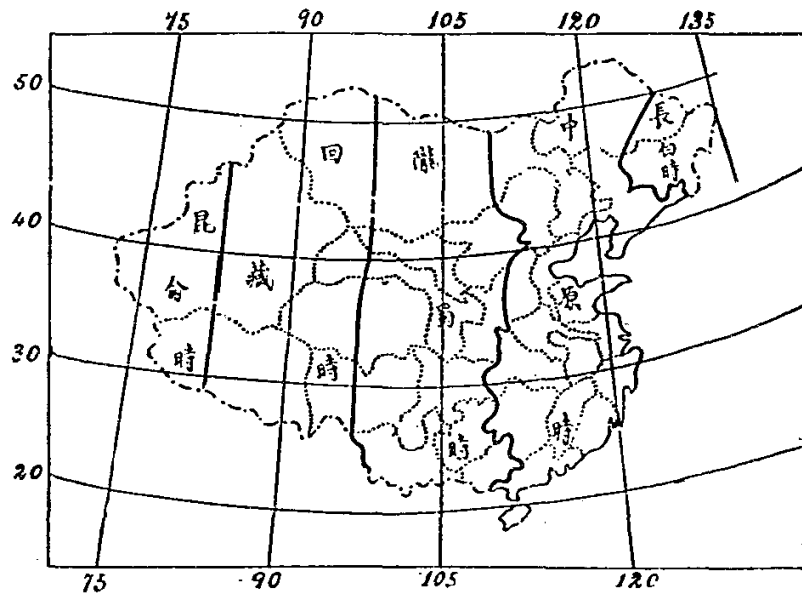
(圖二十六)

上午三時左右天明，至夜九點餘鐘方黑。夏日太陽光經過時間甚長，故利用之以節省電燈或汽燈之消耗費。惟吾人之習慣，睡眠時刻，頗有一定，如平常習慣十點半熄燈就寢者，即每晚將近此時刻，即覺眼疲欲睡。其餘各種事業機關或工廠須開至夜間若干點鐘方停工者，若至夏季將鐘錶時刻撥早一小時，全國人民亦自然仍依習慣鐘錶時刻，或作或息，而全國之電力或汽燈之消耗，可以每戶每晚減少一小時矣。此種時制，所以能名符其實也。

統上所言，時刻類別，可列表於下，以明彼此關係焉：



考我國最近定時之沿革，自 1901 年，海關始採用世界標準時，以東經第八區時刻，為沿海各關通用時刻，名曰海岸時。後內地各鐵路如京奉京漢津浦各線與長江一帶地方，亦一律採用。惟我國幅員廣大，東西地方時相差四小時，若只用一種標準時，即有如法令時之不便，民國八年，中央觀象台始定標準時區，分全國為五區：用東經一百二十七度半之時刻為標準時者，謂之長白時區；用東經一百二十度之時刻為標準時者，謂之中原時區；用東經一百零五度之時刻為標準者，謂之隴蜀時區；用東經九十度之時刻為標準者，謂之回藏時區；用東經八十二度半之時刻為標準者，謂之崑崙時區；各時區如下圖二十七所示。



(圖二十七)

顧中國五大時區之劃分，其邊界非截然為直線，此殆因有若干處遷就省界之故，有極微出入，無傷也。在美國言，因幅員廣大之故，亦如吾國劃分為五大時區，名曰 Atlantic, Eastern, Central, Mountain, Pacific, 譯之為大西洋區, 東區, 中區,

山區及太平洋區是也，其時區之劃分，亦不截然整齊，多以火車鐵道之終點為準，蓋亦取便利交通耳。

33. 時測定法

吾人用計時器以紀時，本為極簡便之事，但計時器每因自身構成及外境寒暖變遷之影響，常生差異，故欲得正確之時，必須有一定方法，以定其標準，以避計時器之誤，平常用以決定時之標準者，約有下數端：——

(a) 子午儀觀測法

此法以已知赤經之星體為標準，當其經過子午線時，用子午儀測之，觀其過子午線時，即察恆星時計時器所指之時刻為若干。設所指之時刻適為該星之赤經時刻，則此計時器所指之時為不差，否則即須修正；如命 Δt 為時鐘之差誤， a 為星之赤經， t 為時鐘所指之時刻，則 $\Delta t = a - t$ 。

通常時鐘之修正，須觀測數個星取其平均數，因每次之觀察，有每次之差誤，或為儀器的，或為觀測者自身的，故必不能僅用一次以為準也。

吾人既將恆星時時鐘修正以後，即可因此以求相當之視太陽時，再用視太陽時，查太陽日曆表，將時差加入，以得平均太陽時。

至恆星時之測定，本亦可由已知之太陽赤經，由真太陽午以算知之，惟普通多用已知赤經之恆星經子午線法，因恆星之光為一銳點，經測微器中線時極為明顯，觀測者易于於判別。反之，太陽圓面太闊，中心位置不易估定，且太陽光線太強，對於觀測者目力頗有妨礙，雖用黑玻璃片將其遮隔，然仍不及恆星銳光點之妥適也。

(b) 等高度法

未過子午線以前，任選一星以觀測，記其地平緯度若干，同時注意計時器，或鐘錶之時刻，當星過子午線以後達同一地平緯度時，亦記其時刻，則兩次時刻之平均數，即為此星經子午線之時刻。

若吾人用此法以觀測太陽，上午一次，下午一次，則視太陽午時，與兩次所得平均數畧差，因當兩觀測時間中，太陽之赤緯微有變動，故欲得精確時刻，必須按太陽赤緯運動表以改正之。

此法用以決定時刻，頗為利便，因如此觀測，則儀器劃度之差誤無影響，且觀測者緯度，只知其近值足矣。

但此外有不便者，則第二次觀測時若遇來雲，則觀測無効，其次則前後觀測之地點必須不變，在輪船飛機中不能適用。

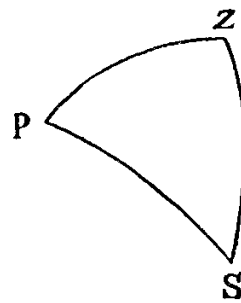
(c) 航用法

以前二法，不能施之航行時，故須求他法以補救之。當太陽上升下降極速時（不近午時），太陽之地平緯度，可用六分儀測定，其相當時刻，由精確計時器得之。

如是依弧三角公式，可以求出太陽之時角，此時角由時差改正以後，即為觀測時之平均太陽時。由此時刻與計時器所指時刻比較，即得計時器對於地方時之誤。

如圖二十八，三角形 ZPS 中；Z 為天頂，P 為北極，S 為太陽，其三邊皆為已知之數：—PZ 者緯度 φ 之餘角也 ($90^\circ - \varphi$)，PS 者太陽赤緯 δ 之餘角也 ($90^\circ - \delta$)，ZS 者即為觀測時所得太陽地平緯度 h 之餘角 ($90^\circ - h = \zeta$)，依三角公式，太陽時角 θ ，可由下式算之：

$$\sin \frac{\theta}{2} = \sqrt{\frac{\sin \frac{1}{2}[\zeta + (\varphi - \delta)] \sin \frac{1}{2}[\zeta - (\varphi - \delta)]}{\cos \varphi \cos \delta}}$$



(圖二十八)

依此式計算時，則觀測時刻，最佳為太陽在卯酉圈時，否則近子午線之地平緯度雖有極微之差誤，可令時角計算相差極遠。

如地平緯度之決定，由數次之觀測而得，則宜由下公式計算，較為簡便：

$$\cos \theta = \frac{\cos \xi}{\cos \varphi \cos \delta} - \lg \varphi \lg \delta$$

因有便第一項之分母及第二項皆為常數，對於分別計算時，可省許多重複時間也。

31. 經度測定法。

在地球上一地之經度，為由標準子午線及經過該地子午線在地極所成之角，或以此二子午線與赤道相交二點間之弧長量之。

現時萬國所採定者，以經過英國格林威天文台經線為標準子午線，在此線之西者為西經幾度；此線之東者，為東經幾度。又因地球每日自轉為均勻運動，故常可以時間代角度，一小時為十五弧度，一時分為十五弧分，一時秒為十五弧秒，此吾人所熟知者。關於經度之測定，有下列數法。

(a) 電報法

當兩地之鐘錶改正之後，則兩地時刻差，即為該地之經度差，設兩地之中，其一之經度為已知，則其他之經度，即可由兩地電報相通，求其鐘錶差而得。

用此法以決定經度時，若能將時鐘之差誤，觀測者之自身差 (Personal equation)，及電報來往所需之時間等，一一加入計算，則兩地間之經度，其差誤可小至五十分之一秒；如在北平之緯度 ($39^{\circ}55'3''$)，則經度之差誤，約可小至二十尺。

(b) 計時器測定法

此法可通用於海洋面，如輪船在未開行以前，而將計時器校正格林威標準時刻，由是在航行中，船上人即可觀測太陽高度，以定地方時，地方時與計時器所指格林威時之差，即該地之經度。

但計時器一物，並非一經較準，即無差誤者，故平常航行者必帶數個(最少三個)，以便偶一有誤時，尚可斟酌採其一致者。

計時器之差誤率與時而增，倘航行時間在兩月以上而不與岸接觸以重正其計時器者，則用此法以定經度，已不可靠矣。但年來航海大船，已皆裝設無線電機，雖在航行中，亦可直接接收各地報時音號，以修正其鐘錶。

(c) 以月為時鐘法

在計時器未實用以前，航海家及天文家多用月之位置以定其標準時刻，因月之運行法則，吾人已可準其分秒，其每日所在之赤經幾何，赤緯幾何，皆于三四年以前，以格林威時為標準，預為計算，刊之成書；如美國之 *Nautical almanac*，法國之 *Connaissance des temps* 等，皆所常用者也。故無論在何夜，倘月在天球中之位置可以測定時，即可得格林威之時刻。

觀測月時，最佳者，為月掩星之瞬間，其位置更易精確測定，其他與此相類之法；如木星之衛星，其在天球位置，亦每日皆為算定，刊之于書，可隨時檢查而得，為測量經度之用。

35. 一日之始。

地為球形，且自轉不息，故刻刻皆有正對太陽而為正午之地，亦刻刻皆有正背太陽而為正子夜之地，然則究竟何處子夜為日之始，何處子夜為日之終，今日交通紛繁，吾人所宜歸定而齊一之也。

例如航行者于星期一正午由格林威起程，沿緯度之平行線，以二十四小時行地球一週之速度向西行駛，則航行者無論在任何經線上，刻刻皆為正午。然則所謂正午者，究為何日之正午？當起程時無疑為星期一日之正午，但當其經二十四小時返回倫敦以後，已為星期二日之正午矣。在航行者其正午為連續之正午，而不知二十四小時以後，已由星期一之正午，變為星期二之正午矣。

現時一般航行者，對於日子之變更，彼此已有一致之採納，即凡經格林威第一百八十度經線時，即變其日子也。

當船由東來而經此線時，應增一日，如星期一下午翻經此線時，即變為星期二日下午。反之，如船由西來，經過此線時，則計此日兩次由星期二退回星期一

以後再經一次星期二。然則所謂今日一去不復返者，亦可以今日科學方法補救之耶！

習 題 IV.

1. 經過平均太陽時 10 小時 30 分鐘，問相當于恆星時若干時刻？若恆星時鐘與平均太陽時鐘同時使其運行，問經平均太陽日一日後，恆星時鐘為幾點鐘？
2. 某船由金山起程時，為十月十二日即星期二早，經十六日以後，船到橫濱，問此時為十月之何日，及此日為星期幾？
3. 在西經 65° 處，地方民用時為上午 2 時 40 分，求此時格林威之民用時。又在東經 57° 處，地方民用時為上午 2 時 10 分，此時格林威之民用時為幾何？
4. 問格林威五月十二日下午十時之地方恆星時約為幾點幾分？
5. 問 Arcturus (α -Bootis, $\alpha = 14$ 時 12 分; $\delta = 19^\circ 31'$) 星，八月一日經格林威子午線約為何時？
6. 三月二十一日正午，船至某地時，測得太陽在其地平線北部上，地平緯度 66° ，同時並接即日電報，知格林威此時為下午三點鐘，求某地之經緯度。
7. 當某星經子午線時，在北極上之地平緯度為 $55^\circ 48' 6''.0$ ，在北極下為 $24^\circ 58' 56''.4$ ，求觀測地之緯度，及此星之赤緯。但上述觀測結果，均未經蒙氣差之修正。
8. 設由廣州觀測 Arcturus 星，得其地平緯度為 $33^\circ 29'$ ，求廣州此時之地方恆星時。

第二編 太陽系

第五章 太陽系概論

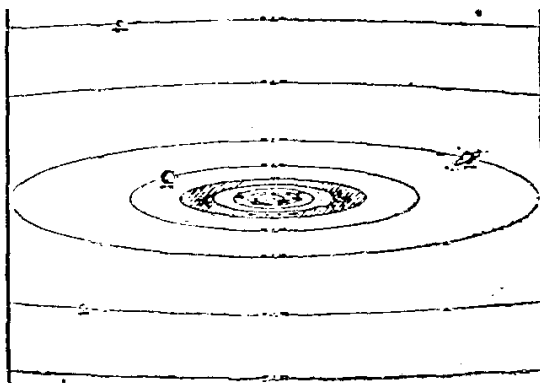
36. 太陽系組織。

太陽系 (Solar system) 者，以太陽 (Sun)，行星 (Planet)，彗星 (Comet)，衛星 (Satellite)，及流星 (Meteors) 等組織而成，太陽居太陽系之中心，羣星繞之成一系統。

太陽系中最主要星體為行星，即以一定週期，一定軌道繞太陽旋轉其物質較密之星體也。此等行星可分兩種，曰大行星，曰小行星。大行星之數，歷來吾人所知者為數有八，曰：水星 (Mercury)，金星 (Venus)，地球 (Earth)，火星 (Mars)，木星 (Jupiter)，土星 (Saturn)，天王星 (Uranus)，海王星 (Neptune)。

但近年經美國 Lowell 天文台之研究，于 1930 年發表，知海王星以外，尚有一大行星，此星之光度極小，當時所見者，約近十五等星，名曰 Pluto，吾人譯為冥王星焉。

小行星介於火星與木星兩軌道之間，成一
小行星帶。今日已知者，
數逾八百，其小而不可
見者尚不知凡幾；如圖
二十九，中央為太陽，第
四與第五同心圈間之黑
圈片，即小行星帶也。



(圖二十九)

大小行星圍繞太陽公轉，皆各循一定之軌道，以太陽爲其軌道曲線之一焦點，其軌道平面之傾斜，彼此所差不甚遠，但其軌道曲線之離心率，在小行星中有相差頗大者。

彗星爲太陽系中一種特別星，亦各循一定之軌道，旋繞太陽，惟其本身組織與前述行星大異，彗星本身組織之特性，爲有核，核之周圍，蒙以極輕鬆氣體，成圓形，然行近太陽時受太陽光壓力之故，射出一尾成一帶笏形，故俗又稱爲掃把星。彗星軌道平面與地球軌道平面，常相差甚遠，最大者可成直角，彗星軌道曲線，普通成極長之橢圓形，或拋物線，太陽居其焦點之一，其橢圓離心率極大。

衛星者，回轉於其各行星之周圍，復隨其各行星以回轉於太陽之周圍，太陰其一也。衛星之數，依行星之不同而異，有兩三個者，有八九個者，地球只有一個。衛星繞行星回轉之軌道面，與諸行星繞太陽公轉之軌道面相近，故行星之有數個衛星如木星者，在地球上望之，其排列若在一直線上。

流星在晝夜之時，往往見之，入空氣中，與空氣摩擦發熱發光，其數不可限量。依 J. A. Newton 研究，謂此種天體每日向地球墜落者爲數八百萬顆，其焚燒不盡者，墜落地面，卽爲隕石 (Meteorites 或 Aerolites)。

37. 大行星要素及波特定律。

大行星既爲太陽系之主要星體，吾人只將此等大行星在太陽系之排列，及其體量大小等明瞭，卽可以知太陽系在空間存在情形，及地球之所以爲地球者，在太陽系中地位之不足輕重。

今除新發現冥王星，其性質尚未大定，無肯定要素外，其餘原有八大行星性質，皆已確定，今爲易于明瞭故，將八大行星各肯定要素，列表于下：

行星比較表

(以地球為單位)

符號	行星名	平均直徑	質量	平均日距	公轉週期	自轉週期
♁	水星	0.39	0.01	0.3871	0.2408	89.日 2493
♁	金星	0.973	0.81	0.7233	0.6152	1.0013
♁	地球	1.000	1.000	1.000	1.0000	1.0000
♁	火星	0.531	0.108	1.5237	1.8808	1.0288
♁	木星	10.95	316.94	5.2028	11.8619	至 ^{0.4113} 至 _{0.4143}
♁	土星	9.02	94.9	9.5388	29.457	至 ^{0.4281} 至 _{0.4446}
♁或♁	天王星	4.00	14.66	19.1910	84.013	0.4369
♁	海王星	3.92	17.16	30.0707	164.783	0.62673
☉	太陽	109.1	331950			28

地球 { 平均半徑.....6371230.....公尺
 平均日距 14945000000.....公尺
 公轉 365 日 5 時 48 分 46 秒 (=365 日 2564)
 自轉 23 時 56 分 4 秒 02 (平均太陽時)

可見地球在太陽系中為第三個主要行星，內鄰為金星，外鄰為火星，質量大小及自轉週期等與金星極相似。

照上表研究，各行星與太陽之距離，似頗有一定之關係，照波特 (Bode) 研究，有知下列之法則，此法則謂之波特法則：

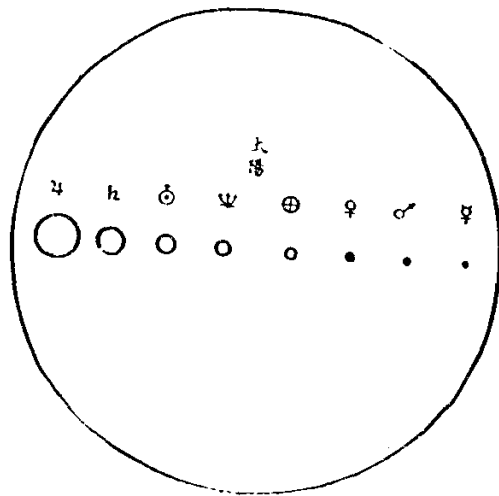
先寫 4 字一排九個，次于第二個 4 加 3，又次於第三個 4 加 $3 \times 2 = 6$ ，再次于第四個 4 加 $3 \times 2 \times 2 = 12$ ，以此類推得。

4	4	4	4	4	4	4	4	4
—	3	6	12	24	48	96	192	384
4	7	10	16	(28)	52	100	196	388
♃	♀	♁	♂	☉	♃	♁	♁	♃

可見上列各數與上表第五柱各數之差為數甚微，最大者為海王星，其數達 $38.8 - 30.071 = 8.7$ 。至於第五項(28)者，則介於火木二星之間，似另有一行星存在，然此實為諸小行星之平均距離。蓋依計算結果，諸小行星與日平均距離為 2.65，二數之差不過 0.15。故有謂現在諸小行星，乃由從前一大行星爆裂而成，非無因矣。至新發現之冥王星，若真為海王星外之一大行星，則依波特定律，其距離應為 $77.2 (= 4 + 38.4 \times 2)$ ；但最近依 Bower 及 Whipple 核算，得數為 39.6，公轉週期為 249.1661 年，是波特定律不適用於海王星以外矣。(天文台兩月刊第三卷第五期 133 頁)

38. 太陽系之大小。

再自上表研究，可見地球體積之大小，在行星系中，僅居第五，而太陽本身之體積(1300 000)，為全行星系體積之和之六百零二倍。如以圖表法，比較太陽系各行星體積之大小，可



(圖三十)

以上列直徑數，以一公厘爲單位，畫成圓形，即得上圖三十。

故以地球比太陽，實不過太陽上最小一斑點，至於火星水星月球等，其量更微，在此圖上幾乎不見其存在矣。

再者，太陽系行星之分佈，其間彼此相距亦極遠，設以直徑 109 公尺之球代表太陽，則依比例，地球之直徑應爲 1 公尺。今如將此大球置於廣州市中央公園，則地球應置於 11 公里以外，即應置於石牌以外；至於最後海王星，其直徑爲 3.8 公尺，則須置於 348 公里以外，與廣州灣相近矣。

今者火車特別快車之速，每時不過 100 公里，而由太陽至地球，其實際距離爲 149×10^6 公里，如太陽與地球間有鐵軌相通，則由地球乘車往太陽，要經過 149×10^4 點鐘，即要六萬二千零六百二十日，或一百七十三年方可到。吾人由生至死，上壽不過百年，若由誕生之日起，即乘火車往太陽，則將輪迴二世，方可達目的地！至于由海王星乘特別快車往太陽，則約需此時之三十倍，即要五千二百年矣！噫嘻！太陽系地盤之廣闊也！

再如上言，由海王星乘特別快車往太陽，要五千二百年，以吾地球上人類觀之，可謂廣闊之極，但在其他一星球觀之，則全太陽系之表現，正如吾人由地球上觀測恆星，僅得一點。

吾人已知與太陽系最近之恆星，爲半人馬座 (Centaurus) 之 α 星，其週年視差爲 $0''.75$ ，即約一弧秒之四分三。今太陽中最遠海王星，與太陽距離 30 倍于地球，若由此星望海王星軌道，其視直徑應爲 $0''.75 \times 30 = 22''.5$ ，仍不及半弧分。今以月球之大小較之，月球之視直徑爲 $31'8''$ ，可見由最近恆星視海王星軌道之全體，僅爲月球視直徑之八十五分之一，其小可知。

但半人馬座之 α 星，爲一切恆星之與太陽最近者，其他遠者，更千倍萬倍於此，由此等星視太陽系，必更小於此數千倍萬倍，渺乎不可見矣。所謂地盤廣闊云者，亦相對的言之耳。

39. 太陽系在空間之位置。

地球除每日自轉一周外，每年又繞太陽公轉一周，前者謂之自轉 (Rotation)，後者謂之公轉 (Revolution)，公轉方向與自轉同，即由右而左，或吾人居北極上，下瞰赤道，見其旋轉方向，與鐘錶指針運動方向相反也。公轉速度為每日 2563000 公里，即每小時 106000 公里，或每秒 29 $\frac{1}{2}$ 公里，約為近世大砲放射之七十倍。故地球在空間，無論與任何大固體相撞，皆可立刻炸碎，發熱為烟為火，再成自己發光之新星球。

不特此也，太陽系諸行星彗星等繞太陽旋轉外，而太陽本身，則又以一定之速度向一定方向前進，其狀如犁走馬燈，大將小卒，既繞燈轉，復隨燈而行。照現時研究結果，知太陽本身進行之速，每秒 29 $\frac{1}{2}$ 公里，其進行目標，與室女星 (Vega，即 α -Lyra) 相近，(參閱科學雜誌第十卷第十一期第 1318 頁，或自然科學第一卷第一期 199 頁) 決定此目標在天球上之位置，其法有多種，但其平均數為：

$$\alpha (\text{赤經}) = 270^\circ, \quad \delta (\text{赤緯}) = +34^\circ.$$

若太陽之進行，其軌道為直線，則太陽系與織女星為鄰之時，必在幾萬萬年後，恐太陽本身，已成冰冷無光之固體矣。賴織女星之視差為 0 $''$.16 若以公里表示之，其距離應為 24×10^{13} 公里，今若以太陽系為中心，天空諸星與吾人之距離，其遠近之差，為數極大，近者如半人馬座之 α 星，其視差為 0 $''$.75，約為 378×10^{11} 公里，其遠者則無窮無盡，吾人倘未能以現代科學方法測其究竟。

照現時統計結果，一切肉眼所可見之星與太陽系距離，其平均數約為 3×10^{15} 公里，然則太陽系在天空中之孤寂可想而知。彼恐太陽與某一恆星體相撞，令太陽系速歸末日者，亦可勿抱杞憂矣。

莊周曰：“東海有虫，巢於蝨腿，命曰焦冥，焦冥之腿，又有巢者……”此小知之未可究竟也，今吾人以生以息，馳驅於此地球上，以為堅穩可靠，誰知此地球以每秒 465 公尺之速度(在赤道上言)，每日自轉一周，同時又以每秒 29 $\frac{1}{2}$ 公里之速度繞太陽公轉；而太陽者，空中之彈丸也，以每秒 19 $\frac{1}{2}$ 公里之速度，向此廣漠無涯之太空發射，然則吾人所居平穩可愛之地球，亦狂風巨浪中可憐之一小萍耳。且太陽本身進行，亦不敢謂其為絕對運動，或者冥冥之中，更繞第二系星體旋轉，而

此第二系星體，又更繞第三系星體旋轉，亦未可知。茫茫太空，無盡無窮，吾人由何處而來，吾人由何處而去，前程渺渺，一任自然，此又大知之未可究竟也。

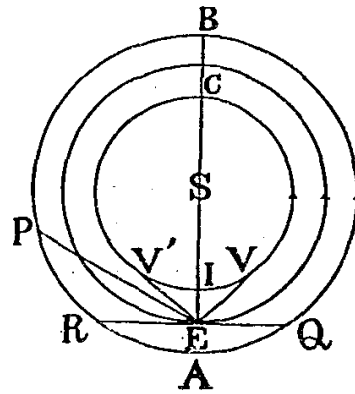
40. 行星與地之關係位置。

地球在太陽系中，由內向外數，佔第三位。照全局言，並不佔特殊地位，惟吾人在地球上研究其他星體，必須以地球為主，假定地為不動，及在天球中心，作主觀的視察，乃得方便；此種觀測，吾人常稱為地心 (Geocentric) 的觀測。

在地球以內行星，如水星金星，吾人稱為內行星 (Inferior planets)；其在地球以外者，稱為外行星 (Superior planets) 如火星，木星等是也。

吾人觀望行星時，夾于太陽與行星視線間之角，稱為距角 (Elongation)，如圖三十一，S 為日，E 為地球，行星 P 之距角，即為 $\angle SEP$ 。

在外行星言，距角可由 0 度變至 180 度；在內行星言，此角有一最大值，謂之大距角 (Greatest elongation)，且常小於 90 度。如圖 V 為金星，ES 與由 E 引金星軌道切線 EV 所成之角 $\angle VES$ 及 $\angle V'ES$ 即其大距也。



(圖三十一)

當此距角為 0 時，謂之合 (Conjunction)，行星介於日與地之間者，謂之內合 (Inferior Conjunction)，如圖 I 點；在日之外邊者，謂之外合 (Superior Conjunction)，如圖 B 及 C 等點；當距角為 180 度時，吾人謂之衝 (Opposition) 如圖之 A 點；當距角為 90 度時，謂之方照 (Quadrature)，如圖 Q 及 R 二點是。

41. 行星視運動。

地球既繞日而行，各行星亦繞日而行，然無論如何，吾人總覺地不動，而諸行星則在天球上逐日潛移，環地而轉，此實為相對運動 (Relative motion) 之結果。吾

入稱之爲視運動 (Apparent motion)。如吾人向前行，則覺其與吾人漸近，向南行，則覺其漸移向北，且除吾人運動外，行星本身亦與地球同，用同一方向繞日而轉，故所謂視運動者，實爲此兩種運動所合成。

在內行星言，其繞日周期皆小於一年（即地繞日週期），故由地上觀察，即覺其在太陽之左右擺動，或在太陽之西，或在太陽之東；在太陽之西時，即先太陽而起，是爲朝星 (Morning star)，在太陽之東時，即後太陽而落，是爲晚星 (Evening star)，古人不察，常視爲兩個不同之星，如金星其最著者也。又當內合向西移時，其速度應比外合向東移爲大，迨至兩邊大距時，即變其方向復向日而趨；由是週而復始，即覺其在日之左右擺動。此大距之值，金星爲 47° ，水星由 18° 變至 28° 。

在外行星言，其繞日週期皆大於一年，地球繞日一周後，彼只在天球上劃弧長若干度，故若對於日在天球上位置言，彼即常向西移，逐漸增大其西距角，或逐漸減小其東距角。且此種對於日向西移之相對運動，並非均勻 (Uniform) 運動，當其在外合時，即見其與日運動同方向前進，速度爲最小；在衝時即與日運動反方向而後退，速度爲最大。

如行星由外合起算，漸向太陽之西移，此時與地距爲最遠，日在當中，星爲日所掩，地球上人不能望見，但不久即見其先太陽而起，是爲朝星。繼漸離漸遠，至子夜方起，達西方照，以後即移至相衝地位，此時爲星與地最近，且星光亦最亮；當太陽西落時，星由東方起，再遇復退後，達東方照，日落時星在子午線上，以後變法如前，周而復始，再回相合地位。

以上所言者，乃行星對於太陽位置之運動，若以地球上觀測者之感覺言（因觀測者不覺自己之運動），則因地球運動時，對於該行星之關係，一進一退，一左一右；當地球進時，覺該星向前來，退時，覺其向後退，左時覺其向右，右時覺其向左，而行星本身又以同一方向運動，故總外觀之結果，行星在空間運動軌道，似成圈套形，一前一後，一左一右，今若以木星言之，則可得下圖三十二。

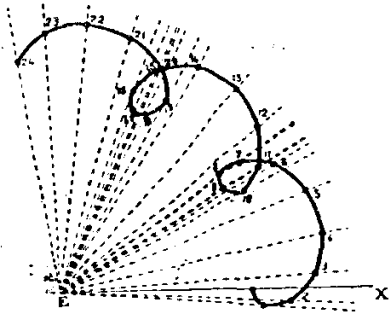
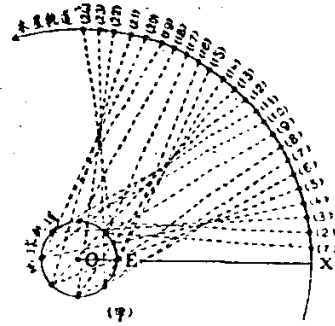
緣木星之公轉周期為 11.86 年，與日平均距離為 5.2 單位，故可於紙上取任意一點 O ，表日之位置；任意單位為半徑作一圓，表地球軌道；5.2 倍此單位為半徑作一圓，表木星軌道（如三十二圖甲），由是地球公轉一周後，木星在其軌道上約行其軌道全長之十二分一。今將地球軌道分為八等分，及將木星軌道十二分一弧長，亦分為八等分（假設地球與木星由衝點起共同出發），最後將二者相當之等分點，連以直線，如圖中之(1)(2)(3)……等，此等直線，即所以表地球與木星在任意時間內之關係方向與距離也。

次再于紙上任取一點 E ，表地心，由 E 作與 (1) (2) (3)……等平行且等長直線（如三十二圖乙），連結此等線之終點所成之曲線，即為木星對於地球運動之關係軌跡。

若行星軌道平面與地球軌道面一致時，則由地球上望該星在天球上所畫之弧線，必如蝸牛上竿，進而後退，退而後進，一進一退，沿一大圓行。若二軌道面不一致時，則所畫之線成又字形，並同時漸向東移動。

42. 行星運動周期。

行星運動週期，普通有兩種，曰恆星周期 (Sidereal period)，曰會合周期 (Synodic period)；前者為星繞日一周，由某恆星起回復某恆星所經之時間。換言之，以日為觀測點，見其繞日一周之時間也。後者為由地觀測，見其與日之關係位置，二次相同之時間也。



(圖三十二)

假設吾人在口上觀測，各行星用各種不同速度繞之而轉，若地與某行星同時出發，則地經一回轉之後，與外行星同經，僅得一次，而與內行星同經，則有數次。總之，地與行星兩次同經時間之長，謂之會合周期。水星之行也極速，與地同時出發後，不久，不待地繞其軌之三分之一，即又追及，故其會合周期短。海王星之行也極緩，當地回轉一周時，彼只行約兩度，故重追及之時間，為 367.5 日。至火星與地球，相重複相重之時間，約需兩年。

設 S 為行星之會合周期， E 與 P 為地與行星之恆星周期，則 $\frac{1}{P}$ 為行星每日所行軌線之分數， $\frac{1}{E}$ 為地每日所行軌線之分數，二者之差，即為每日二者超過之分數。今會合周期為 S 日，故每日超過之分數應為 $\frac{1}{S}$ ，由是得重要關係式：

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

惟在外行星言之，則須寫為： $\frac{1}{S} = \frac{1}{E} - \frac{1}{P}.$

總之上二式可寫為： $\frac{1}{S} = \pm \left(\frac{1}{E} - \frac{1}{P} \right).$

由此，如恆星周期已知時，即可算其會合周期。反之，如會合周期已知時，亦可算其恆星周期。

習 題 V.

1. 試應用波特定律，求第九及第十個行星與口之距離，並以公里數表之。
2. 試以地為中心，繪金星關係運動之圖形。
3. 同理以火星為中心，試繪土星關係運動之圖形。
4. 如地球之恆星周期為 365.25 日，火星 687 日，若由太陽觀望，問地球平均每日超過火星若干度？
5. 若金星之恆星周期為 225 日，求其會合周期。
6. 若某行星之會合周期為三年，其恆星周期為若干年？

7. 若某行星之恆星周期與其會合周期相等,其恆星周期應為若干日?
8. 問外行星在何時為早星,在何時為晚星?
9. 問行星之會合周期,大於其恆星周期者有幾?試列舉之,並以何星之會合周期為最大?

第六章 地球

43. 地球之形狀

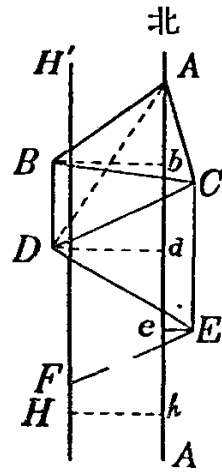
地為太陽系八大行星之一，在全體宇宙中，本無位置，惟其與吾人有極大關係，且研究又為直接，故研究宇宙者，當從地球起。

地為球形，証據極多，無容贅述，然能由吾人直接可見者，其例亦正不少：如當月蝕時，其影投射于月面，乃為一圓；又如海面望來船，先見船桅，後見船身，皆其最著者也。吾人能置身于月球以望大地，則當見地球為一種平滑之球有過于吾人由地望月者。何則？地球之半徑為 3960 哩，而地面最高之山為 5 哩餘，最深之海約 6 哩，其凸凹之平均數約為 5.55 哩。吾人若以半徑 1 哩之球以例地球，將見其凹入或凸出僅為 $\frac{1}{792}$ 哩，即 73 呎（1 哩 = 5280 呎）。若以一呎為半徑所成之球，其凹凸僅為 $\frac{1}{792}$ 呎，不過 $\frac{1}{60}$ 吋而已。吾人若將此呎徑之球面油漆，則待漆乾時所現縐紋之凹凸，即能代表地球之海洋及山嶺。是地面之平滑，于此可見。至於地球赤道圈之半徑，依 Hayford 1909 年所算為 3963.34 哩，兩極與地心距離則為 3949.99 哩；二者之差為 1335 哩。若命前數為 a，後數為 b，則地球之扁率 (Oblateness) $f = \frac{a-b}{a}$ 值為 $\frac{13.35}{3963.34} = \frac{1}{297}$ 。若以半徑一呎之球為例，則極點低下之度，僅為 $\frac{1}{297}$ 呎，即約 $\frac{1}{25}$ 吋而已，其不足以損球之圓又可見也。

44. 地球之大小

地球之大小由上節 a b 二值表之，已甚確切，今再述其實施測量法之最簡便者如下：

(a) 測子午線弧長法，測子午線弧長時，在地學上應用者為三角測量法 (Triangulation)。如圖三十三，在 A, H 兩站之間，取 B, C 兩點，令 A, B, C 三點，可兩兩望見，則在 ABC 三角形內，BC 為底，其長可用精密方法測定，務使其十哩間之差誤不過一時，而 BC 兩角亦可用儀器



(圖三十三)

精密測定，於是三角形 ABC 全定， AB 一邊既知，再選 D 點，連 DBC 點亦如前法可測 BD 之長，如是漸進，繼續選 E, F, \dots 等點，最終為 H 。逐次測各三角形各邊之長，各邊之長既知以後，即經 A 點作南北線 AA' ，使由各邊之已測定者，投影於此線上，得 b, d, e, \dots, h 各點，於是 Ah 之長，即為 $Ab + bd + de + \dots$ 之結果。以若是方法，測定子午線之長，其精確者一百哩間，不應有三呎之差誤。迨一子午線之長既得，同法可測量數個子午圈，取其平均值，即得子午圈全線之弧長。現時由此法測量得者，為每度 69.1 哩，全長為 24876 哩，故平均直徑為 7918 哩。

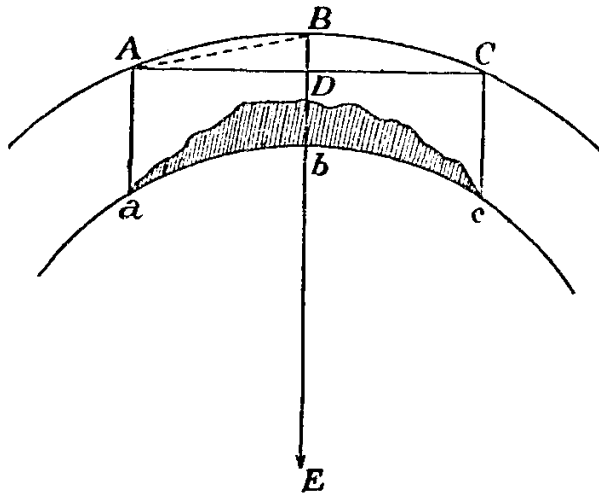
然地球為狀，南北畧低，故經綫一度之長，應隨緯度而略變，據現時測量結果，知經綫每度之長，隨緯度高低而變者，其值如下表：

在赤道處一度長 68.704 哩	在緯度 60° 一度長 69.230 哩
在緯度 20° ,, 68.786 哩	,, 80° ,, 69.386 哩
,, 40° ,, 68.993 哩	極點 ,, 69.407 哩
,, 45° ,, 69.051 哩	

(注意) 近極點處經綫之長，乃由較低緯度處測量結果所推得，非直接測量之數值。

(b) 測地面曲率法

如圖三十四，在同一水平面上豎三柱 Aa, Bb, Cc 。柱之長彼此相等，且同在一大圓面上（如以海平面為準），彼此距離為一哩。若地為球形，則在 A, C 兩點，用測量器觀望，其視線不過 B 點



(圖三十四)

而過 B 點之下一點 D. 照現時測量結果, 並將蒙氣差修正時, 如若 A, B, C, 彼此相距一哩, 則 BD 之值為 8 吋. 設將 A, B, C, 之圓周完成, 並將 Bb 線伸長, 可與此圓 B 相對一點 E 相交. BE 即為地球之直徑 ($=2R$), 由幾何公式得:

$$BD:AB = AB:BE \text{ (或 } 2R)$$

$$\text{故} \quad R = \frac{AB^2}{2BD}$$

如 $AB=1$ 哩, $BD=8$ 吋 $= \frac{2}{3}$ 呎, 即 $\frac{1}{7920}$ 哩; 則 $2R=7920$ 哩。

45. 地球之物理性質

地之形狀既極近球形, 若以地球之平均半徑為球形, 以算其面積 (Surface), 或容積 (Volume), 則所得數與真數當極相近. 然所謂地球平均半徑者, 其值不為 $\frac{a+b}{2}$, 而為 $\frac{2a+b}{3}$; 因地為扁橢圓體, 經地球中心之三直角軸, 只有一軸與旋轉軸相合, 其他二者, 乃赤道之直徑也. 今用此式計算, 則地球平均半徑 (R) 為 3958.83 哩, 再由此值以算其面積 $4\pi R^2$, 可得 196944000 方哩. 由是容積 $\frac{4}{3}\pi R^3 = 260000000000$ 立方哩。

所謂質量 (Mass) 者, 即物質之分量也, 可以斤兩數表之. 然最近之量質量者, 多以慣性 (Inertia) 測之, 即于已知時間內, 令物體得一種速度所須之力以量之也. 如所謂一達因 (Dyne) 者, 即于一瓦 (Gram) 質量之物體, 于一秒鐘內移動一公分 (Centimeter) 距離所須之力也。

依奈端引力定律, 宇宙間一切物體, 彼此皆能互相吸引, 其吸力之大小與兩物體之質量相乘成正比, 與兩體重心距離之平方成反比. 如有兩物體其質量各為 M_1 及 M_2 , 距離為 d , 則其吸力為:

$$F = G \frac{M_1 \times M_2}{d^2}$$

式中 G 謂之引力常數 (Constant of gravitation), 依 Boys 1894 年之測定, 其數為 0.00000006657 或極近於 $\frac{1}{15000000}$, 如 $M_1=1000$ 瓦, $M_2=2000$ 瓦, $d=10$ 公分,

則 $F = \frac{1}{15000000} \times \frac{2000 \times 1000}{100} = \frac{20000}{15000000} = \frac{1}{750}$ 達因。

今地上一切物體，皆有重而向下墜，其墜下所生之加速度，即物體與地球間吸力所致也，地球之質量，則根據此理而測定之，如圖三十五，以線吊一棍，棍之兩端有小球 a 與 b，其質量皆為 m，又于 a 與 b 小球之旁置兩大球 A, B，則 a 與 b，必因引力之關係，將吊線扭轉，並排除空氣之抵抗移動至 a', b' 位置，移定以後，即將大球轉至 A', B' 位置，則小球又以同理移至 a'', b''。由此變位之大小，即可測知其移動之距離，同時其吸力之大小，亦可算出。

設如 B 為大球之物質，m 為小球之物質，d 為 B b 之距離，f 為二者間之吸力，由是

$$f = G \frac{B \times m}{d^2} \text{ 或 } B = \frac{fd^2}{Gm} \dots\dots\dots(a)$$

同理如命 E 為地球之物質，R 為其半徑，W 為物體 m 之重，則

$$W = G \frac{E \times m}{R^2} \text{ 或 } E = \frac{WR^2}{Gm} \dots\dots\dots(b)$$

以 (a) 式除 (b) 式，G 與 m 可消去，得

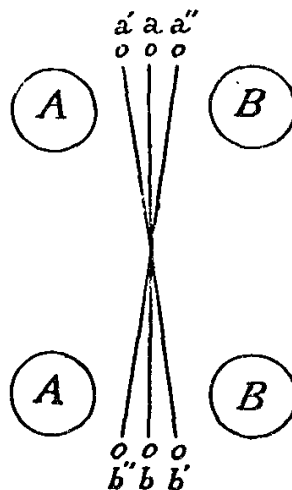
$$\frac{E}{B} = \frac{w}{f} \times \frac{R^2}{d^2}, \text{ 或 } E = B \frac{w}{f} \times \frac{R^2}{d^2}.$$

此即地球之質量可以大球 B 質量稱之也。依 Wood Ward 實驗平均結果，謂地球之質量為 5.974×10^{24} 公斤。地球之質量既知，則地球之密度 (Density) 可求，即

$$(\text{密度}) = \frac{(\text{質量})}{(\text{容積})}.$$

依精密計算，知地球之密度，若以水為標準，其數為 5.53 即謂以同樣大小之球盛水，則地球重于水球 5.53 倍也。

又如命 B 大球之密度為 S，地球之密度為 S'，則前式 (a), (b) 可寫為



(圖三十五)

$$B = \frac{4}{3} \pi R^3 S; E = \frac{4}{3} \pi r^3 S' \quad (r \text{ 爲大 } B \text{ 球半徑})$$

$$\text{則 } \frac{4}{3} \pi r^3 S' = \frac{fd^2}{Gm} \dots\dots\dots (c)$$

$$\frac{4}{3} \pi R^3 S = \frac{WR^2}{Gm} \dots\dots\dots (d)$$

以 (c) 式除 (d), 則

$$S' = S \times \frac{w}{f} \times \frac{r}{R} \times \frac{r^2}{d^2} \text{ 亦可直接算出其密度, 不必先知其質量也。}$$

現時知地球之外壳, 其平均密度不重于水 3 倍, 但地球之全體, 平均密度超過 5. 可見地心之密度遠過于地壳——大于水 8 倍或 10 倍——其必爲重金屬物質無疑, 說者謂因地球初成時爲流體, 凝結之初, 重物體皆集于中心之故。

46. 地球各種運動

地球之運動, 最顯著者爲其自轉及公轉兩種; 但詳加研究, 知地球之運動種類甚多, 條舉之有下列十二種:

- (1) 自轉運動
- (2) 公轉運動
- (3) 春分點逆行(歲差)
- (4) 章動
- (5) 繞地月重心運動
- (6) 繞太陽系重心運動
- (7) 黃赤道傾斜運動
- (8) 公轉軌道離心率變動
- (9) 公轉軌道近日點運動
- (10) 極點運動(緯度變化)
- (11) 攝動
- (12) 太陽系移動運動

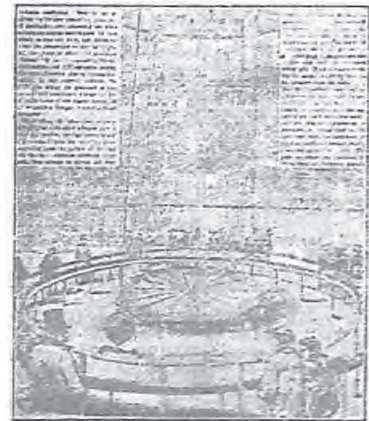
此外微細運動，為吾人不易測量者姑不具述。即以大者而言，吾人全宇宙是否更繞其他宇宙而轉，似亦非為一虛擬之疑問。但現時為能力所限，未能斷定其值之大小，及運動之方法耳。總之，茫茫宇宙，相斥相引，無有已時，何處為絕對寧靜之所，恐不可得也。

47. 自轉運動

自轉運動轉之証明，最顯著者，為晝夜遞變，及天體由東起西落之現象。然天體東起西落現象，從前以為因諸星附于天球球壳上。此天球之壳包裹地球，每日繞地旋轉一周者。在後遠鏡發明，見日月及若干大行星亦能自轉，于是地球自轉之說始信為真。

近世以來，對於地球自轉，已能應用機械直接証明，如佛科 (Foucault) 振子，其最著者也。

佛科實驗，1851 年在巴黎國葬院 (Pantheon) 舉行之。其振子為一直徑盈尺之鐵球，及一長 200 尺之線所成。振子之下，置一直徑 12 尺之圓橋，橋上置細沙，球下置鐵針，令振子每擺一次，鐵針即留一痕在沙上(圖三十六)。



(圖三十六)

此振子開始運動以後，吾人留意，即可見其振面，每次之地位不同，漸漸向右偏，即循鐘針運動方向（但在南半球則反是）移動。若此振子運動不息，

在巴黎緯度 ($48^{\circ}50'11''$)，其運動一周之時間，為 32 小時；如在兩極，當為 24 小時；在赤道處無窮大，即完全不變；其餘各緯度，則介乎此三者之間。

振子之振面有如此運動者，因振子懸於空中，不隨地球自轉而動，故當地球自轉時，即覺振子振面移動，其實乃地球自轉，而非振子運動之偏也。故振子實

驗，吾人不能直接見地球之自轉，與由地球遠矚火星之自轉無異。板子板面之偏，在兩極處每小時應為 15 度；其他緯度，為 15 度乘緯度之正弦數。若緯度為 φ ，則每小時應偏 $15 \sin \varphi$ 度，如在廣州，則每小時約偏 $5^\circ.9$ 。

此外足以證明地球自轉者，尚有証據數種，舉列如下：

(a) 砲彈由極向赤道射之彈道，在北半球者向右偏，在南半球者向左偏，此種現象，久為試驗大砲者所注意，然其理則與佛科振子同。

(b) 物體在空間運動時，因地球自轉所生離心力作用，微向東傾(參攷 Appcl -- Précis de mécanique rationnelle P. 342.)。

(c) 迴轉儀 (Gyroscope) 之軸不變，亦可直接見地球之自轉，其方向及速度，皆能表出。

地球自轉運動，為每 24 恆星時一周，除發生晝夜最顯著之現象外，其他如海流之環迴，大氣之流動，成各種貿易風，反貿易風及旋風等，皆地球自轉運動為之因。此 24 小時一周之運動，似不甚速，然在赤道上言之，則已每小時行 1000 哩，或每秒 1500 呎，比任何人工製成之運動速率大矣。

此自轉運動，據近年研究結果，知非為常數，而有漸緩之傾向，依英國牛津大學 Fotheringham 之研究，謂由古今日月蝕之比較，可察知地球自轉，每隔一世紀，一恆星日增長 $\frac{1}{1000}$ 秒云。

此自轉漸緩之原因，或謂一部為海潮之磨擦，一部則因隕石墜地，令地球直徑增大；是地球自轉速率之減小，乃力學原因之不可免者，吾人觀諸月球之自轉，約二十七口而一周，亦可豫想地球自轉之將來矣。

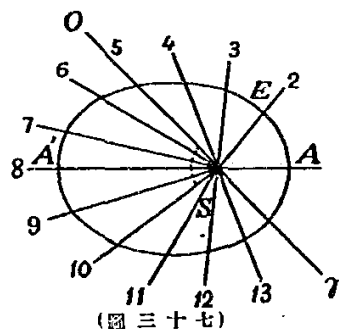
18. 公轉運動

地球繞日轉，每年一周，此事實之最顯而知之最早者，則為日在天球上視運動。如觀測者在北半球，春分時見其由赤道起向北移動，其地平緯度每日漸大；三個月而後，到夏至時為極，以後漸小；至秋分，地平緯度與春分時同；以後仍繼續漸小，向南移動，到冬至為極；以後又復增，循環不息，一年一周。不特此也，太陽

除南北移動外，更在諸星宿間向東移動，沿黃道而向左行，如在春季日落時，地平線東方上升星座，與夏季或冬季所升者不同：在春季所見者為獅子 (Leo) 及牧夫 (Bootes) 等座，在夏者為蛇夫 (Ophiuchus) 及天平 (Libra) 等座，而在冬則為金牛 (Taurus) 及獵戶 (Orion) 等座，凡此皆表明地球繞日轉時，日之視運動也。

近年以來，得遠鏡之助，知 (1) 光行差，(2) 恆星光譜線之移動，及 (3) 恆星周年視差各種現象，亦由于地球之公轉，為能證明地球公轉之極有力者，後再詳之。

至地球運動軌道之決定，其理甚簡，可由下法得之。如圖三十七，在紙上取一點 S 為太陽，並作 S γ 線，指春分點。一切天體經度，皆由此線起量之。今吾人在地球，只見太陽之向東移，不見地球之公轉；故地球每日運動所在之經度，可由每日太陽所在之經度加 180° 而得。如能日日記錄無間，則



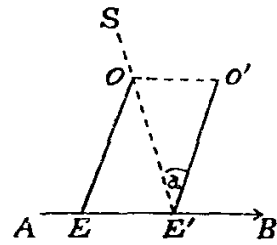
一年中地球對於太陽之位置，可由觀測所得方向與 S γ 線交角定之。如圖上之 1, 2, 3, …… 等線是也。

至地日每日之距離，可由每日觀測日視直徑之變化而知，因此值與距離成反比例也。倘日之真直徑哩數為已知，則不難計地日之真距離。但吾人此處所要求者為地軌之形狀，故只需其相對距離便足。如命 206265 為日真直徑，d 為視直徑，則距離 $D = \frac{206265}{d}$ 。若每日觀測無間，則每日 d 之值不同，所得之 D 亦不同。由是將 D 之值在前得經度 1, 2, 3, …… 之方向線上截取各點，再將各點以曲線連之，即得地球軌道真形矣。如是所得者，軌道為橢圓，且太陽 S 不在中心，而在焦點之一，其離心率約 $\frac{1}{60}$ 。再由圖觀，在軌道上與 S 最近之點如 A。謂之近日點 (Perihelion)，最遠之點如 A' 謂之遠日點 (Aphelion)。A 與 A' 相連之線之半，謂之半長徑 (Semi major axis)，又 S 與地球相連之線，謂之動半徑 (Radius vector)，如 S E。

地球之運動，由上觀測所得，又可見其速度時時不同，在 A 點之運動最速，A' 處最緩，其變化法則，于 1609 年已由刻白爾 (Kepler) 發見，謂之刻白爾法則。法則云：“地球繞日轉時，其動半徑所劃之面積與時間成比例”，是又謂之面積定律 (Law of area)。在近地點處，動半徑短，遠地點處，動半徑長，若在同一時間內要劃同一面積，如是半徑短者須劃較大之弧，半徑長者劃弧較短，此地球運動，近地點速于遠地點之故也。又由地球之橢圓運動，發生有重要之結果幾點，畧敘之如下：

(a) 光行差

所謂光行差 (Aberration) 者，乃由光速與地球速之結合，發生一種天體位置變化之現象也。如圖三十八，A B 為地球進行之方向，O 為遠鏡之物鏡中心，E 為其目鏡中心，S 為天體，S 之光至 O 時，遠鏡之位置為 E O；及光達目鏡 E 時，遠鏡已隨地球運行至 E' O'。故本來 S 之方向為 E' S，今用遠鏡觀測，已變為 E' O' 矣。此 E' O' 與 E E' (或 O O') 之比，即為光速與地速之比。



(圖三十八)

此 $\angle E' O' O'$ 角，曰光行差。如命光速為 V ，地速為 U ， $\angle E' O' O' = a$ ，則 $\text{tg} a = \frac{U}{V}$ 。由無數觀測結果，知 a 值為常數，等於 $20''.47$ ，謂之光行差常數 (Constant of aberration)。一切位置天文學測量，必須經此值之修正也。又上式中 a 既為一已知常數，而 V 值依 Michelson 實驗結果，為每秒 299796 公里 (或 186285 哩)。故由此可算地球每秒之速為：

$$U = 299796 \times \text{tg} 20''.47 = 29.75 \text{ 公里 (或 18.49 哩)}$$
。若視地軌為圓形，則以一恒星年之秒數乘 18.49，復以 2π 除之，即得地軌之半徑，或日之平均距離。此距離常採為天文距離之單位，故又曰天文單位 (Astronomical Unit)，其值為 9290 000 哩。

(b) 時差

時差者，視太陽時與平均太陽時之差也，前已言之，然所以成此時差者其故有二，今分述之：

(1) 太陽不在地球軌道中心之故

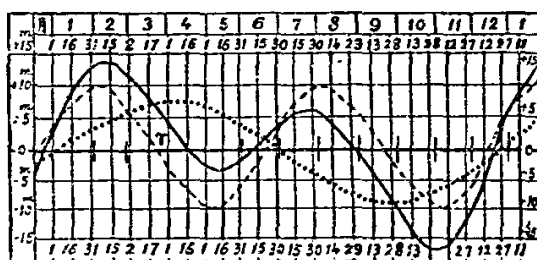
太陽在黃道上向東運行，時時變動，在近日點時，依刻卜爾面積定律，移動速度最大，進行較平均太陽為速，此時真太陽在平均太陽之前（或東），于是與子午線相合較遲，反之在遠日點時，移動速度較小，進行較平均太陽為慢，此時真太陽在平均太陽之後（或西），于是與子午線相合較早。

(2) 黃道傾斜之故

假定太陽在黃道上之運動，為均勻運動，但對於赤道則時時有變，而平均太陽者，乃假定在赤道上為均勻運動之太陽也，故二者在二分點及二至點雖能相合，而在其他各點，則因黃道之傾斜，即有差異，于是平均太陽與真太陽至子午線時或遲或早。

由是而言，吾人從前所得之時差曲線，即由此二曲線所合成，如圖三十九。

圖上圓黑點線為繫於離心率所得之時差曲線，長點線為繫於黃道傾斜所得之時差曲線，其中全黑線，即二者合成之時差曲線也。



(圖三十九)

此外如地之四季長短不齊，南北半球受熱或多或少，令地面空氣，起各種寒熱風雨之現象等，皆與地球橢圓運動有直接關係，然此乃關於氣象問題，茲不贅述。

49. 歲差與章動

春分點為黃赤二道交點之一，然此點之在天球上並非固定，經較長時期觀測，

知其慢慢向西移動。此現象已于西歷紀元前 125 年為依巴谷 (Hipparchus) 所發見，能令季節年 (Year of season 即太陽由春分點起再回春分點之時間) 縮短，以成所謂歲差 (Precession) 現象。蓋春分點向西逆行，每年與太陽相遇，比原春分點為早也，依 Newcomb 計算，1925 年歲差為 $50'' \cdot 2619$ ，若取其平均值 $50'' \cdot 2$ 以除 360° ，則得春分點逆行周期 $P = \frac{360 \times 60 \times 60}{50 \cdot 2} = 25560$ 年。但又因黃道傾角有變化之故，能令此周期畧為延長，如下 (b) 節所述，其結果應為 25765 年。顧春分點為黃赤二道之交點，此交點之移動，即表示黃赤二道平面或黃赤二極之有變動，吾人比較數千年來之觀測結果，知赤道極點之移動比黃道極點大，故春分點之移動，以赤道面傾斜運動為主因，而赤道面所以移動者，則全關乎日與月之吸引，由此種運動所致歲差，又名日月歲差 (Luni Solar Precession)。由黃道面移動所致者，名曰行星歲差 (Planetary Precession)，二者之和曰總歲差 (General Precession)，今更分述之：

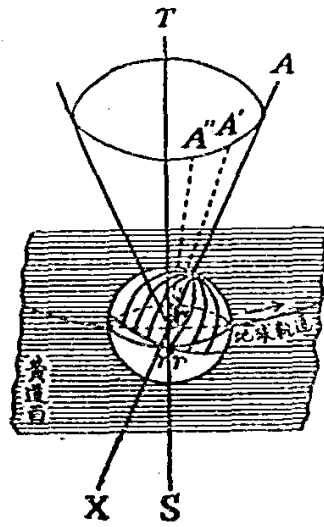
(a) 日月歲差

設黃道極點不變，而赤道極點以一定之速率回繞旋轉也。當赤極繞黃極旋轉時，黃赤道二軸交角不變，而黃赤道交點 (即春分點) 則以一定速率向西移動。

如四十圖，C 為地心，地之一半在黃道面上，SCT 為黃道軸，ACX 為地軸，繞 SCT 軸作旋轉圓錐面運動，其極點則在天球繼續指 A, A', A'' 等位置，而 ACT 角不變，于是春分點方向亦由 CY 變為 CY' 等，繼續在黃道面上移動。

(b) 行星歲差

行星歲差，即黃道面或黃道極之運動，其速度僅及前者 $\frac{1}{400}$ ，但其運動結果，與前者相抵消，令春分點向東移，每年 $0'' \cdot 11$ 。



(圖四十)

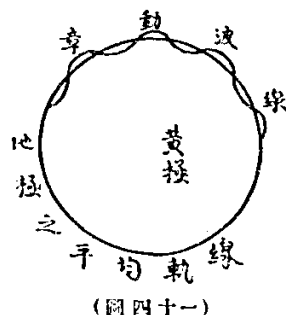
由是可見黃極之移動極緩，每六百年，僅行一弧分，對於觀測影響不大。至于赤極運動，則甚顯著，數百年前所觀測之星宿位置，與今日觀測比對，已相差數度，如北極星 (Polaris 或 Polestar) 之變遷，在天文歷史上成爲美談。4600 年前之北極星，爲龍座 (Draco) 之 α 星；12000 年後則爲北半球最亮之織女星 (見前 39 節)；現在小熊座 (Ursa minor) α 星之爲北極星，不過十世紀間事耳 (詳自然科學第一卷第三期 110 頁)。

在天球之近黃道部分言之，春分點之移動逐漸由此一星座移至他一星座，如二千年前，春分點所在爲白羊宮，故常以白羊宮爲十二宮之首座，因春分點向西移，現已在雙魚宮矣。今日雖循舊習，仍以白羊宮爲首，春分點記號，仍記一羊頭 γ ，但實際上已移至雙魚宮，白羊應不居首矣。

當地軸以二萬五千餘年一周繞黃道轉時，同時並受月球之影響，更有一種小顫動。設地軸而無歲差運動時，則此種小顫動即對於黃道軸或離或合，繞本身平均位置在天球上畫一小橢圓；此小橢圓之長半徑最大時爲 $9^{\circ}21'$ ，小半短徑爲 $7'0''$ ，畫此小橢圓一周期爲十八年半，其長徑方向正對黃極，此種運動名曰章動 (Nutation)。

然地軸之運動，歲差及章動係屬同時，故地極之在黃極周圍所畫之曲線，當爲一種正弦曲線。其形如下圖四十一。

此種運動雖極微小，然影響于天體視位置則極顯著，故造恆星表者必加以修正。



50. 繞地月及太陽系重心運動

月球繞地球週轉，每太陰月一周，然地非固定者，因月之週轉，地亦受其牽動而轉。地月在空中情形，正如受偶力 (Couple) 運動之兩質點也。月之重小於地八十倍，故偶力中心，與地心距離，比月心近八十倍，即與地心距爲 4680 公里。每一太陰月，地與月皆繞此中心旋轉一次，朔時月在地與日之間，地與日最近；望時反

是，與日畧遠；上弦時，地進行畧遲，因受月牽制之故；下弦時，則反之，行畧速，因受月拖前也。

此種運動，能令日之視位置及視直徑有周期的變化。朔時之視直徑當比望時大；當上弦與下弦時，其視位置之變化約等于視直徑 $\frac{1}{290}$ 。故測量太陽視直徑時，當加以修正。

地除繞地月重心運動外，仍同時繞太陽系重心而轉。蓋當太陽系一切行星在太陽一邊時，則全數行星同時將太陽吸引，有將其拖過一邊之傾向。此時太陽系重心，即不與太陽本身中心相重，而地球每年繞太陽一周者，不過繞其重心，而非太陽中心也。據研究結果，此全太陽系重心，不在日球內，而在日球外焉。

51. 黃赤道傾斜運動

黃道軸對於赤道軸之傾斜，現時約為 $23^{\circ}27'8''$ ，但三千餘年前，我國黃帝時天官所測，其數為 $23^{\circ}54'$ 。西歷紀元前 350 年，Pytheas 在法國馬賽 (Marseille) 所測，則為 $23^{\circ}49'$ 。近世以來，用其精儀器之測量，雖在較短時間，亦能証明此傾角之漸減。今依歷來觀測統計，可知三千年間，減小 $27'$ ，每百年減 $47''$ ，或每 125 年減 $1'$ 。若此減率為常數時，則 7500 年可減一度。177000 年以後，黃赤二軸相合為一矣。當是時也，太陽行于赤道，地球無寒暑變化，青春長留，歲月不老，殆吾人黃金之時代歟！但天體力學昭示吾人，謂此種變化為一種擺動，其擺幅不能過兩度三十七分。今傾角雖仍繼續漸減，但至若干時日後，此漸減傾向必當停止，停止以後，于是又開始復增，增而後減，減而後增，天道循環，正所以使大造之調和也。

今將近百年間，此傾角變化情形表列于下，以見一斑：

1800.....	$23^{\circ}27'55''$	1880.....	$23^{\circ}27'18''$
1850.....	$23^{\circ}27'31''$	1890.....	$23^{\circ}27'13''$
1870.....	$25^{\circ}27'22''$	1900.....	$23^{\circ}27'9''$

Newcomb 謂此值變化，可以下式表之：

$$23^{\circ}27'8'' \cdot 26 - 0'' \cdot 4684 \times (t - 1900), \text{ 此 } t \text{ 爲西歷紀年數。}$$

52. 軌道離心率及近日點之變動

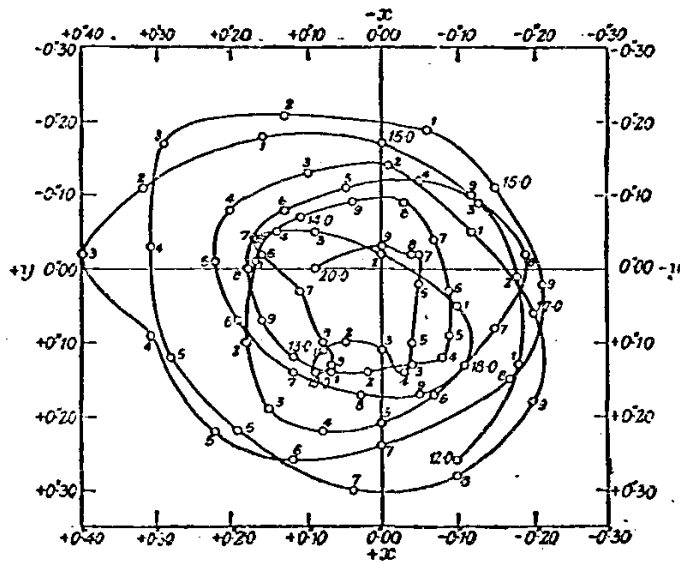
地球之軌道為橢圓，然此橢圓之形狀，有時稍長，有時稍短，非歷久不變者。因其離心率有周期的變化故也。此離心率之值，現時為 0.0168。十萬年前，其值三倍於此，即為 0.0473。在 24000 年以後，則達最小值為 0.0033。此時之軌道，幾乎為圓。此後則又繼續增大，至最大時為 0.07，如是周而復始。又當 24000 年以後，因軌道幾為圓形之故，即無所謂近日點及遠日點。而吾人地球，南北半球可受相等熱量，四季之長短，亦不致彼此有異。此離心率變動周期，可由上述事實，得其近值為 41 萬年。

至軌道中近日點及遠日點連結線，在天球上方向，亦非永遠固定，在其軌道平面上，常繼續向東移，由年月寒暑變更之長期觀測可以知也。西歷紀元四千年前，地球在其近日點時，為九月二十一日，即在秋分點處。至紀元後 1250 年時，地球經此點，已為十二月二十一日，即為冬至日。此時之冬季，與日最近，當為冬日之最暖時代。同時夏季與日最遠，當為夏日之最涼爽時代。因此時近日點與遠日點距離之差，其數約一百萬哩，所受熱量之差達十五分一。現代地球經近日點為一月一日，吾人之冬日當漸以寒，夏日漸以熱，至 11900 年時，即約一萬年以後，吾人冬日當為最寒，夏日當為最熱矣。最後至 17000 年時，近日點即回復紀元四千年前同一地位。依天體力學計算，此近日點向東移動速度，每年為 $11''25$ ，周期為 115200 年。而春分點之向西移，每年為 $50''3$ 。故此點與春分點之距離，每年達 $61''$ 以上，而四季與遠近日點之共變周期遂為 21000 年，因此之故，有不少地質學家，以為當此一周期間，地球上一切生命，另換一新紀元。故地質之搜查，常緣此假設以為指導之標準。

53. 極點運動

此種運動，又曰緯度變化 (Variation of latitudes)，為地球本身一種自轉軸變動。乃由測量緯度之變化而知。因吾人久已疑惑，吾人所在地球各地緯度是否永久不變，果其有變，則地球自轉軸，在地球內部，必時時移動，然在事實上，地球各

部因結冰及火山爆烈潮汐等關係，地球自轉軸，理論上必非固定者，但向來無法証明之，直至 1889 年，始查出其實據，第一個成功者為柏林之 Küstner，于 1888 年及 1889 年間，在德國境內，由多數之觀測以證明，此後更得各處天文台合作之証明，已知地軸之運動，乃由兩種運動所合成；其一為每年之巨繞運動，運動軌道為一橢圓，其徑長約 30 呎，但其潤度及位置時時有變（因氣象要素有變，如積雪及融雪等），又其為一圓周運動，徑長 26 呎，週期 433 日，兩種運動均與鐘針運動相反，其合成之結果，頗不均一，且每年不同，其軌線圖形，各地專門天文台皆有報告，如英之 Royal observatory，美之 Washington Naval observatory，日本之 Iwata-Ken International latitude observatory，皆其著者也。附近年地軸移動軌線圖如下，以見一斑。



(圖四十二)

上圖爲由1912·0年至1920·0年止之地極運動曲線，座標之原點爲極之平均位置，依X軸正方向之變位，乃指示沿格林威子午線之運動；依Y軸變位，乃垂直于此方向之運動也。曲線上之小圓，表示十分一年之變位每年所畫之圈套，由是皆可見其爲開口圈套，且不足度360度。當運動兩分速同一位相，如1916年者，其運動之合成較大，反之，在相反位相如1919年者，其運動之合成較小，圖上角速度 $0'·01$ 始相當于地面一呎，並可見其運動範圍，非甚廣濶也。

54. 攝動

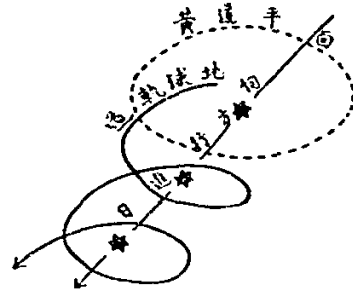
所謂攝動 (Perturbation) 者，地球受各大行星，恆星等吸力影響而運動也。此種運動在天體力學中，爲一極重要問題；如海王星及冥王星等之發見，則全由此種攝動爲基礎者。緣天體引力定律，與兩體質量相乘成正比，與其距離之自乘成反比。質量愈大，引力亦愈大，而距離愈大，引力反愈微。太陽系中除太陽質量爲最大外，其次爲木星，與地球距離最近時爲600000000公里。當此星經近地點時，地球運行，必出常軌。據研究結果，知其移動，不過數公尺而已。但此種引力，連綿不絕，由強減弱，由弱增強，以漸而變，無反常之痕跡。當木、土、火等行星同在一直線時，吸力方向相同，合力最大，則地球之變位，必不止此數。總之，地球在空間運行，無時無刻不受外力之干涉，此外力之或大或小，或爲相長或爲相消，要視其地位如何而定。

55. 太陽系移動運動

地球繞日而轉，然日非固定者，亦以一定速度向天空一定方向運行，前已言之矣。故地球除繞日而轉外，仍隨日向一定方向而去，此事實可由恆星之視逆行而知。如吾人乘火車，見車外山川林木均向後退，其實非山川林木之能自動，乃人乘火車向前行，乃覺其動耳。

關於太陽移動之研究，近年所得結果極多，但彼此所用方法不同，得數亦畧異，吾人前述之數，特其平均值耳。

太陽進行，其速度每秒為 $19\frac{1}{2}$ 公里，其進行目標在天球上之點，為赤徑 $\alpha = 270^\circ$ ，赤緯 $\delta = +34^\circ$ 。由是可見，地球在空間運行，其軌道絕非在一平面上，如以圖表之，則必如有四十三圖，成一螺旋形：



(圖四十三)

以上所述乃地球在空間運動之已証實且最顯著者，此外如銀河系之運動，及全宇宙之大運動等，皆可算入為地球之一種新運動。惟確實之証明，不能不有待於將來耳。

60. 地球內部之組織

由各種天學測量，吾人知地球內部情狀之最要點，約有三端。

(I) 地球內部之密度較大

前已言之，地球平均密度為 5.52，而近地面層密度則為 2.71。由是可見地心密度必大於平均密度 5.52。至地心密度較大，在實驗上或理論上，皆可証明，茲述兩端如下：

(a) 壓力影響：地球為固體，並由岩石及泥土堆積而成，堆積愈厚，壓力亦愈大。據實驗之推測，在 100 哩深處，已受上層岩石壓下之重，每平方吋已有 300 噸。雖重力之大，愈近地心則愈減，但其壓力在較深處，一定極大，可以斷言。且物質因壓力愈大而密度愈增，故地心密度必極大。

(b) 重力影響：地球之構成，原始為氣體，再冷為流體而固體，已無疑義。當地球尚為流質或粘液質時，密度較大物質，因重力之故，必向心流入，故近心處之物質，其密度必較外層為大；正如熔鐵匠之鑄鍋，浮于上層者為渣滓，沉於鍋底者純鐵，因鐵較渣滓為重也。

吾人由隕石攷究，知其本質多為鐵類金屬。地與隕石同為太陽系一分子。故地球內部較大密度之物質，當亦為鐵質，或鐵與鎳之混合物。倡此說者，首為 1897

年之 Wiechert, 最近更推知, 此金屬體之直徑約 4000 哩 (即約地球全徑之半)。其密度約十倍以至十二倍於水。又 Adams 與 Williamson 謂鐵與岩石之混合層, 其厚約 1000 哩, 包圍內部之金屬體。至 1926 年 Jeffreys 謂此鐵與岩石混合層以外, 即為極重之岩石, 其密度約為 4。至於近地面之最外層, 其密度僅為 2.7, 厚 40 哩云。茲附地層解剖圖如右:

(II) 內部為固體其硬度極大

為此証明者不只一端, 今僅述其最著者如次:

(a) 地震時顫動之傳播, 經地心而達於極遠點。由是推究, 知地球之堅硬遠超於鋼。但至 1906 年, Oldham 謂地內金屬體, 不能通過橫顫動, 其硬度或不甚大, 然 Jeffreys 則謂此金屬體現仍為流質, 而巖石層則極堅硬。

(b) 由緯度之變化, 凡似地之一切物體, 若其質量對於其軸為對稱, 且令其繞此軸迴轉時, 則除有外力驟加外, 其迴轉必極均勻; 但若在初迴轉時, 其轉軸傾斜於對稱軸, 則必慢慢變其位置, 繞對稱軸成迴繞運動。若此物體愈近球形, 此種運動之周期愈大。至若如地球質量大之物體, 其周期應為 305 日。現時地球緯度之變化, 即為此類運動。但據實際考查, 此周期為 433 日, 可見必另有他原因。依 Newcomb 與 Hough 研究, 謂緯度變化, 若更加自轉離心力之影響, 其周期當更較此為長, 惟若其質堅硬如鋼時, 其周期當如上述觀測之數, 為 433 日云。

(III) 地球內部溫度極高

由已開挖之深礦床, 或深孔穴測量, 知溫度與深度而增, 其平均數每百呎增一度 (c)。吾人雖不知此增進率到何處為止, 但五十哩以內深之巖石一定極熱。地之內熱。雖漸漸由傳熱作用向外散失; 但現時知因地球漸冷所失之熱極少; 其熱



(圖四十四)

可由輻射作用 (Radioactivity) 而維持。Jeffreys 謂由地內之熱輻射作用而來者佔百分之八十三。若地球全體含有鈾 (Uranium) 及釷 (Thorium) 元素數量，如在地面層所得者，則所生之熱，應比所失者多；由是地球內部，反以漸熱，但由漸深溫度漸增率攷查，知輻射作用在近地面層為最盛，至 50 公里深似不存在。又 Jeffreys 謂地球因冷而凝固，在 300 公里處，溫度介於 200° 與 300° 間，至 700 公里處，則不至受冷云。

57. 地球之年齡

此問題本為地學問題，但近年來大部已轉入物理及天文學問題矣。此問題解決之最有力者為輻射作用之研究。由最簡單理論言之，較重元素之鈾及釷等能漸漸分散，分散以後，即變成相異原子如錒 (radium) 是，最後則變成鉛，鉛之由鈾變者，其原子重為 206；由釷變者為 208，但普通之鉛則為 207，小心分析之，即可見其異。是鉛之來源如何，極易辨別也。今吾人由鈾礦所得之鉛，知其皆由鈾輻射作用變來者。惟由鈾變成鉛必須經極長時日，依研究結果，終須 66000000 年始變其百分之一。由此推論，更由地球各部研究，知最下層之最古地質巖 (Pre-cambrian 巖)，其生成年代，當在 1200000000 年以前。而地壳全體更應較此為老。換言之，地壳之最大年齡，可由鈾及釷及鉛三者分量混成之比例斷定之。照現時研究，知所有存在之鉛由鈾及釷變成者，當在 3000000000 年以前。此等年代，並非一切物質構成之日，不過為現在之地壳所成時代耳。又同時知地球有生物之存在，在 1000000000 年以前。以上所述各數目，或能由其他原因或理論而致變更；惟其原因，至今尚未發覺，在科學知識未達到以前，則咸認此為最可靠耳。

58. 年之種類

年為地繞日周期之自然單位，惟因計法之不同，則復分恒星年 (Sidereal year) 回歸年 (Tropical year) 及近點年 (Anomalistic year) 等，長短彼此不一致，今分別言之：

所謂恒星年者，見太陽在天球上劃一圓，由任意一星起，回復此星位置所需

之時間也。其長為平均太陽時 $365 \text{ 日 } 6 \text{ 時 } 9 \text{ 分 } 9 \text{ 秒 } \cdot 5 (= 365 \text{ 日 } \cdot 25636)$ 。由力學上言之，此種年可謂為真年 (True year)，即地球繞日轉，由空間一定方向起，再回復此方向之時間也。

所謂回歸年者，見太陽由春分點起行，回復春分點所需之時間也。然由歲差運動計之，春分點每年逆行 $50'' \cdot 3$ ，故回歸年應比恒星年短，其長為平均太陽時 $365 \text{ 日 } 5 \text{ 時 } 48 \text{ 分 } 46 \text{ 秒 } (= 365 \text{ 日 } \cdot 24220)$ 。昔人用日晷以測量日影，取午時日影最長及最短為二至日，常定回歸年之長為 $365 \frac{1}{4}$ 日，只得其近值耳。

又因四時之序，以日對於二分點之距離為斷，故回歸年為普通日曆之年，為民政所採用者。然在分類上言之，所謂年者，約有數種；若平常所謂年而不加特別注明者，即指回歸年而言。

第三種年，曰近點年，為地球兩次經過近日點所需之時間。但依前所述，近日點每年向東移動，其速為 $11''$ ，此種年遠比恒星年約長五分鐘，即 $365 \text{ 日 } 6 \text{ 時 } 13 \text{ 分 } 53 \text{ 秒 } (= 365 \text{ 日 } \cdot 25964)$ 。但此種年應用極少，在天文學上僅存其名耳。

59. 曆法

時之自然單位為日，月及年。然日與月用以記長期事績者，常嫌其太短——如人之一生之類——。故普通記長期事績者，多用年。惟向來在宗教上，與天體觀測上多與月圓月缺發生關係，故歷來記事多參用月法。所謂月 (Month) 者，即太陰運行一周所需之時間也。其數對於年之長短，無公倍數；一年之中，不能定為幾個整月，此近世治曆法者，捨月法而不用也。現時一年中雖仍分為所謂十二個月，然每月之長短不同，或為三十日，或為三十一日，且與月圓月缺無關；是所謂月者，不過為習慣之名詞，與太陰曆所謂一月者，其意義大異矣。

現時所通行之曆法，乃由下述兩種曆改革而成：

(a) 儒略曆 (Julian calendar)

當 Julius caesar 主權羅馬時，即覺羅馬曆混亂不可用；乃採亞力山大天文師 Sosigenes 計算，創儒略曆 (西曆紀元前 45 年)。不以月為標準，採 $365 \frac{1}{4}$ 日為一年

之長；於是每第四年命爲 366 日，餘均 365 日。此第四年 366 日謂之閏年 (Leap year)，在三月份前第六日重登之。當時並將一年之首放在 January 月第一日，即現時之一月一日。惟因向來一年之始，在三月一日，月序名稱不便更改，只將原有月名以次退下兩月，如今仍用從前之七月爲九月 (September)，八月用爲十月 (October) 等是也。

Caesar 並將當時第五月 (Quintilis) 代以己名，以成今之七月，命曰 July，所以自爲紀念也。其嗣 Augustus 亦倣父法，將第六月 (Sextilis) 代以己名，故今稱八月爲 August，亦所以自爲紀念也。且向來曆法，一年內之月大月小，兩兩相間；月爲雙數者 30 日，單數者 31 日；依次八月爲雙，應得 30 日；但 Augustus 將二月減少一日，補入八月，俾七八兩月之大小相同。此現行曆之二月爲二十八日，閏年爲二十九日，而七八兩月均爲 31 日之故也。

(b) 克里曆 (Gregorian Calendar)

回歸年之長，原不適爲 $365\frac{1}{4}$ 日，而爲 365 日 5 時 48 分 46 秒 0。由是而言，儒略曆 每年長於回歸年 11 分 14 秒 0；積四十年應長 0.3 日，四百年長 3 日。職是之故，在儒略曆 中春分點之來，年早一年，氣節潛移，與年俱增。考春分於西紀元 325 年時，本爲三月二十一日，迨至 1582 年時，已退至三月十一日。當時羅馬教皇 Gregory XIII (1572—1585) 乃依天文師 Clavius 計算，將儒略曆 加多十日，令氣節與曆法能與天行相合。乃於 1582 年由十月四日起，明日即命爲十月十五日，使曆法驟前十日。且當時改曆，並具一勞永逸，免將來多事更改之故，乃令西曆紀元數能用 4 除盡者爲閏年外 (如 1928 及 1932 爲閏年)，凡世紀用 4 不能除盡者，不爲閏年，如 1700, 1800, 1900, 2100 等非閏年，而 1600, 2000 爲閏年。如是規定，四百年只得九十七閏。而曆法之與天行，遂可歷久而不生大差。

此曆改後，當時即爲奉天主教各國所採納，但希臘教堂 及新教 (Protestant) 各國，則一律拒而不用；然以此曆之更改，極爲精確之故，1751 年英國議院 乃通過採用，于 1752 年以 January 一日爲歲首，不復從三月廿五日起年矣。

現時世界各國，大多已採克里曆，我國則從民國元年始行採用，所以合天行，而與國際一致也。

儒略曆年法雖不合天行（現時與克里曆相差已達十三日），但以其有長遠歷史之故，若能以其日法記載各種現象，頗能省計算之麻煩，故現時天文記載中仍多採用其日法，是謂儒略日 (Julian Day)，此乃于 1582 年為 J. Scaliger 提議採用者。命儒曆紀元 (Julian era) 第一日為紀元前 4713 年一月一日。由是日起計，則 1700 年 1 月 1 日為儒略日 2341973；而 1925 年 1 月 24 日之日德，為儒略日 J.D. 2424175 日矣。用此法記載，只計日序，不管年月之數，極為利便也。

習 題 VI.

1. 問在廣州試驗佛科原子，其撥面轉一周之時間為若干時？
2. 若現時地軌離心率為 0.0168，試比較地球在近日點及遠日點之速度。
3. 試用 1 公厘表 1' 弧度，繪出因歲差與章動之故，地軸在天球上運動真軌跡之一部份。
4. 問地球各種運動中，何種運動能令他球氣候生變化，其變化之情形如何？
5. 設地軸正垂于其軌道面，地軌為正圓形及日在圓心時，試述由地面上可見各種與現時不同現象。
6. 若在十一月之時差為負 16 分，問是日由日出至正午 12 點時間之長，與由正午 12 點至日落時間之長有何差異？
7. 現時之克里曆對於天行精密之度為何如，到若干年後始與天行有一日差異？
8. 1880 年二月內有五個星期日，問該年以前何年有此機會，及該年以後，何年再有此機會？
9. 問 1605 年二月十三日為儒略日幾何？
10. 問 1476 年七月二十七日為儒略日幾何？

第七章 月

60. 月視運動

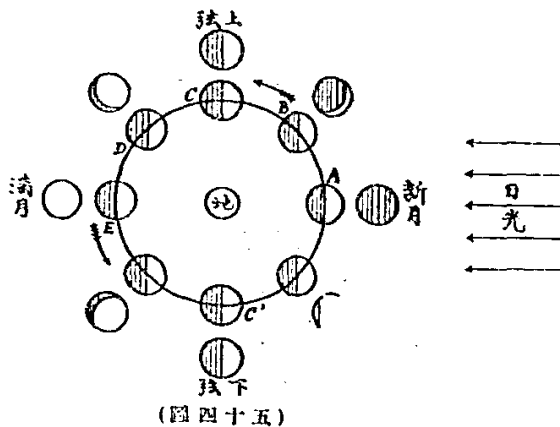
月為一觀測最早，最得人類賞玩而有無窮興味之天體。在整個太陽系言，月非佔重要位置，但與吾人極近；且因除日而外，其光輝又比一切星光為亮也。

觀測月時，最令人注意者，為其向東運動；如吾人今夜見其與某星相近者，明晚復觀，則已在此星之東隔 13' 矣；後晚再觀之，其向東移如故，仍為 13'。吾人若注意觀測，則必見其由某星起回復某星之時間，約為 $27\frac{1}{3}$ 日，是即為月繞地之恒星周期。換言之，月用此時間繞地球一周，復隨地球每年繞日一周。

因月在天球向東視運動遠快於日，故其對於日之位置關係，忽而在日之左，或在日之右，或在日之對面。而月者，其本身無光，乃反日之光而光；故所生之位相 (Phase)，亦隨與日相關位置而時有不同。當月與日在同一經度上時 (合)，是為新月，或曰朔月 (New moon)。與日經度差為 180° 時 (衝)，是為滿月或曰望月 (Full moon)。當日距角 90° 時 (弦)，即所謂上弦或下弦時也。又由新月以回復新月之時間，吾人普通謂之一月，即太陰曆採用以為一個月之長者；在天文學上言，此種月謂之朔望月 (Synodic month)。

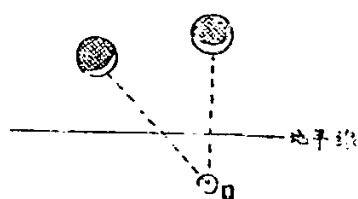
61. 位相

月光既為日照之反光，吾人所見月之光面，其情形遂與看鏡面相同，此鏡面如以背向地球時，則完全晦而不見，即所謂朔 (或晦) 是也。如圖四十五，地在中央，日光從右射來，月循軌反鐘針運動方向，繞地



而轉，吾人在地上所望見之光面，逐時時不同；如圖上之(A)，乃月在地與日之間，以光之背面向地，月面完全不見，即為朔之時。當月與日正對時，其光面正向地球，是為滿月，即所謂望是也，如圖之(E)。介乎朔與望之間，僅見光面之半，所謂弦(上弦或下弦)是也，如圖之(C)及(C')。當朔與弦之間，如圖之(B)，則所見光面不及一半，即蛾眉月(Crescent)是也。又當望與上弦之間如圖之(D)，則所見光面大於一半，即凸月(Gibbous phase)是也。

月面暗部與明部之界，謂之明暗界線(Terminator)；此明暗界線，因為斜看半球之故，常為半橢圓形。如以直線連結明暗界線之兩端，則此線必垂直於日月兩心之連結線。故蛾眉月時，兩端之角應常背日，如圖四十六。



(圖四十六)

其精確之位置，可用幾何方法，因日月地之關係算知。但普通美術家常不注意，當其繪夜景時，常將蛾眉月之兩角向下，殊為可笑。

62. 恒星月及朔望月

所謂恒星月者，月由一定恒星起，繞地而轉，回復同一恒星之時間也，其平均數為27日7時43分11秒47(或27日·32166)。但因攝動之故，此數值變化可達七小時。由恒星月之時間言，可見月繞地每日平均運動為 $360^\circ \div 27 \cdot 32166 = 13^\circ 11'$ ；在力學上言，恒星月乃為真月。

所謂朔望月者，月兩經次合或衝之時間也，其平均數為29日12時44分2秒78(或29日·53059)。但因月軌離心率與時移易，此數值變化，可達十三小時。此朔望月，即吾人平常陰曆所謂一月之長者。

如命M為月之恒星周期，E為恆星年之長，S為朔望月之長；則 $\frac{1}{M}$ 為月每日運動所經軌道周線之分數， $\frac{1}{E}$ 為日每日視運動所經軌道周線分數，其差即為月每日追過日之周線分數。現時在一朔望月內月追過日適完全一周，故月每日應追過

日周線 $\frac{1}{S}$ 。由是如前43節所述，得同樣公式如下：

$$\frac{1}{M} - \frac{1}{E} = \frac{1}{S}$$

是謂會合運動公式 (Equation of synodic motion)，由是可得 $S = \frac{EM}{E-M}$ ，及月每日向東追過日之度數 $360^\circ \times \frac{1}{S} = 12^\circ.2$ 。

又注意在一恒星年內，恒星月之數應多于朔望月一個月，其數目各為 $13 \cdot 369 + \dots$ 及 $12 \cdot 369 + \dots$ 。

63. 月球運動

月球運動，極為複雜，除依地球各種運動皆有外，尚有繞地旋轉及自轉等運動，吾人若更將其詳細分析，其運動方法之不同，約達六十種以上，故研究月之運動，極不容易，今只將其重要且極顯著者畧述于下，以明其大概：

- (1) 繞地運動
- (2) 自轉運動
- (3) 天平動
- (4) 近地點運動
- (5) 黃白二道交點運動
- (6) 黃白二道傾斜運動

除此而外，尚有離心率差，攝動差等，可將其包括于上述數種運動內，不另說明。

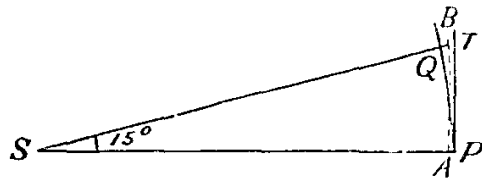
64. 繞地運動

繞地運動即為月之公轉運動，其周期之大小，或以恒星為標準，或以相銜相合為標準，既詳述于前矣。今所欲言者，為軌道之形狀，大小及其在軌道上運動之速度等也。

月球之公轉軌道，吾人稱為白道，所以與黃赤二道有別也。白道之決定法，與

前決定地球軌道法同；在每月之內，可注意月球在天球上之位置，及視直徑變化得之。月之視直徑最近時為 $33'30''$ ，最遠時為 $29'21''$ ，平均為 $31'25''.5$ 。白道之離心率變化極大，由 $\frac{1}{15}$ 以至 $\frac{1}{23}$ ，其平均數為 $\frac{1}{18}$ ，或 0.055 ；此數比地球軌道離心率大，即與圓形相差愈遠也。在白道上，與地距最近之點謂之近地點 (Perigee)，最遠者謂之遠地點 (Apogee)。月之地平視差為 $57'$ 。月球繞地旋轉時，亦如地繞日轉，依面積定律而變。在遠地點時，其距為 405000 公里，近地點時為 363000 公里，其差為 42000 公里，平均為 384000 公里，或 238857 哩，即約地球赤道半徑之 60.267 倍，或地日距之四百分一。依此平均數而言，月球每小時之速約為 2287 哩，或每秒 2350 呎。又角速度之大小，每小時 $33'$ ，此數與其視直徑大小相近；即謂每小時，月在天球上變位之大小，約與其視直徑相等也。

月與地既遠較地日為近，且繞地周期，又比較甚長，故月軌道常以凹部向日。如圖四十七，月由衝以至合，即由 A 至 B，約經 14 日；當此之時，月對



(圖四十七)

於日距離，約增 480000 哩；而地則同時在其軌道上行 15° ，即由 P 至 Q，與 P 點切線 PT 相離 3000000 哩，即謂 14 日間，月行向日，與地運動之原始線相較差

$$3000000 - 480000 = 2520000 \text{ 哩。}$$

故其軌道上，無論何點，皆表示其以凹部向日，如圖上之虛點線也。

65. 自轉運動

自加里尼發明望遠鏡以來，由精確觀測，知月球向地球之光面形狀，由加里尼至今，未嘗或變，由是可見月必隨公轉而復自轉也。但每一恒星月，月球繞地一周，故若以此光面對于空間而言，則每一恒星月即自轉一周，即謂月之自轉周期與公轉周期相等，同為 27 日 7 時 43 分 11 秒 $.47$ ，或 27.32166 日也。此理可于 61 節四十五圖明暗界線與光面關係之變化明之。因此之故，月球光暗二面之變化，約每

十四日一次，且月球之空氣極薄弱，又常無雲翳遮掩，可知其光暗二面溫度差，必極懸殊。據 Dietzius 計算，謂光面溫度最高時可達 110° (c)，而暗面最低時至 -80° (c) 云。

66. 天平動

所謂天平動 (Libration) 者，即月之本身上下左右擺動，如天平兩盤彼此起伏之狀也，此種擺動，又可分三種：(a) 俯仰動：月球南北極對於地球或俯或仰，上隱下現之振動也，此種運動又曰“緯度天平動” (Libration in latitude)；(b) 搖擺動：月球東西兩側對於地球左右搖擺，左隱右現之振動也，此種運動又曰“經度天平動” (Libration in longitude)；(c) 旋擺動：月球近地平線時，月球上部邊緣，逐日畧有變化之旋動也，此種運動又曰“日周天平動” (Diurnal libration)。

故日球對於地球之半面，大致雖歷久不變，要非絕對不變者，而吾人畢生所見，自必不止半面，不過此種變動甚微，非經精密觀測，無從發覺耳。據天文家報告，謂永見部份，佔全面積百分 41，永蔽部份亦佔百份 41，其餘百分 18 則半隱半現，因時而異。

67. 軌道之各種變動

月軌道在空間位置，其不安定情形，遠超過地球軌道，其中最顯著者，如近地點運動，此近地點運動，與地球軌道近日點之運動同，其運動方向且與月球運動方向一致，由西向東，但其速度則比近日點運動為大，每 3232 日一周，約為 9 年；而地球之同類運動，則為 21000 年。今日日蝕情形，每約 9 年，必有一部分相似者，驗是故也。

其次黃白二道非平行，其傾角約為 5° ；二者相截之點，謂之交點 (Node)，月由南向北所經黃道之點，謂之升交點 (Ascending node)；反之，由北而南所經者，謂之降交點 (Descending node)。此二者連結線曰交點線 (Line of nodes)，此線在黃道上常向西移，與春分點之移動同；但其運動速度較大，每 6793 日一周，即約 $18\frac{2}{3}$ 年。月球繼續兩次經過任一交點間之時間，謂之交點月 (Nodal month 或 Draconitic

month), 周期為 27·2122 日, 此數對於日月蝕研究時, 極為重要, 後當詳之。

至黃白二道傾角, 亦非一定, 平均為 $5^{\circ}8'48''$, 但此數之變化, 由 $5^{\circ}0'1''$ 至 $5^{\circ}17'35''$, 其周期為 173 日。顧此值變化雖微, 僅為 $17'34''$, 但頗能影響于日月蝕時間之長短; 因日或月球之視半徑, 尙比 $17'$ 為小也。

若黃白二道同在一平面上, 則每月應有日月蝕各一次, 月蝕在望, 日蝕在朔, 極有規則。今因此二道有 5 度餘之傾角, 故日月之蝕, 僅在朔望而月復經近黃白二道交點時, 此外不能有蝕。

68. 月出與月落之退遲

月在天球向東移動每日約 13° , 故每日月經子午線時刻, 逐漸退遲。若吾人稱月連續二次經過子午線之平均時間為太陰日 (Lunar day), 則一個朔望月內, 太陰日之日數, 必比朔望月之日數 (29日·5306) 少一日, 故一太陰日之長當為:

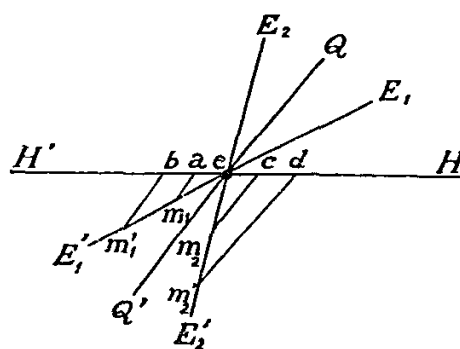
$$24 \text{ 時} \times \frac{29 \cdot 5306}{28 \cdot 5306} = 24 \text{ 時 } 50 \text{ 分 } .47$$

即謂太陰日比太陽日每日約長 $50\frac{1}{2}$ 分鐘, 但此數因月球運動有各種變化, 故時時不同; 據核算結果, 其變化之數介于 38 分與 66 分之間。同理每日月出或月落所遲之時間, 應與上同, 為 50 分·47; 但因觀測者緯度不同, 其退遲之變化, 異於上述之數。如在緯度 40° 處, 其變化之數介于 13 分與 80 分之間; 緯度愈高, 此變值愈大, 若在緯度 $61^{\circ}20'$ 處, 而月又在最大赤緯 $28^{\circ}44'$ ($23^{\circ}27' + 5^{\circ}17'$) 時, 則月將變為拱極 (Circumpolar), 終夜不落地平下矣。

69. 穫月與狩月

當滿月而近秋分時, 則此月謂之穫月 (Harvest moon), 次一月謂之狩月 (Hunters moon)。穫月之特點, 為月球上升之退遲, 比一年中其他每次滿月時小 (在北半球言); 即在是時有數夜之間, 月出只比昨晚畧遲。如在緯度 40° 處, 其平均數僅為 22 分鐘 (即退遲 $5^{\circ}5'$), 是即謂有數夜月光照耀吾人較早也。此種現象, 在緯度愈高, 愈形顯著。

當太陽近秋分點時，此滿月在東方上升應與春分點相近，此時之黃道（白道亦然，因黃白二道交角不大之故）對於地平之傾角最小，黃道一半在地平線上者，在赤道之南；故月球每日在其軌道上運動，能令上升之遲遲最小。如月軌之升交點，同時與春分點



(圖四十八)

相重，則白道與地平傾角更小。此種月現象，當更為顯著。

如圖四十八， $H H'$ 為地平， $Q Q'$ 為赤道， $E_1 E_2$ 為白道（與黃道相近）。若滿月時為九月初或十月初，而月由東方 e 點起，上升時刻為 6 時，則明晚 6 時，月之位置與 e 點相距 $12^\circ 2'$ 處之 m_1 ，經 $m_1 a$ 線而達地平線。此 $m_1 a$ 平行于 $Q Q'$ ，且比 $m_1 e$ 為小。在緯度 40° 處，上升時刻為 6 時 22 分，再後晚 9 時，月退至 m_1' ，達地平線時，須經 $m_1' b$ 線，上升時刻為 6 時 44 分。反之，在三月時，白道在 $E_2 E_2'$ 位置，與地平交角最大，於是月之上升遲遲亦最大，如上圖，月上升時，須經 $m_2 c$ 及 $m_2' d$ 等線，此等線均比 $e m_2$ 及 $e m_2'$ 等線為長也。

70. 月之物理性質

月之平均視直徑為 $31' 5''$ ，今知其距離為 238857 哩，則其實在直徑可知為 2160 哩（依 Ross 計算為 2159.86 哩，或 3475.9 公里），約為地球直徑之 0.273 倍，即略大於地之四分之一。

球之面積與直徑平方成正比，而體積則與其立方成正比，故月面積為地之 0.0744（或 $\frac{1}{14}$ ）倍，體積為地之 0.0203（或 $\frac{1}{49}$ ）倍。現時由觀測結果，知其他行星之月，均遠小於其主星；惟地球之月，則約為地之四分之一，比較上為極大衛星；故若由遠處觀地月之在空中，其情形頗與雙星同。

月雖近，然決定其質量則比決定較遠之天王星或海王星者尤難，今述其決定

法之最佳者如下：

地球公轉之軌道，實為地與月重心所經之軌道。每一朔望月，地與月均繞此重心一轉；當週轉時，地與月所劃之相對軌跡，形狀雖同，但大小則異。地之質量愈大于月，其所劃之軌跡愈小，因是之故，地心每月運動之結果，即生一種所謂月行差(Lunar equation)，即每月中天球上各星位置，由地觀之，見其左右擺動也。在恒星或較遠之行星，此種擺動不顯著；但對於太陽，或較近之行星如火星水星，及近世(1898年八月)發見之小行星如愛神星(Eros)等與地最近時，此種擺動，極易觀測。據由上法觀測太陽擺動，知為 $6''.1$ ，今日與地距離既知，則可由此擺動數計算，得地心與地月重心之距離為 2886 哩，若命 E 與 M 為地及月之質量， r 為地月兩心之距離，則依力學定理，可得 $2886 E = (r - 2886) M$ ，但 $r = 238857$ 哩，

$$\text{故} \quad E = 81.8 M$$

大概言之，可謂地之質量，約八十倍于月。

月質量亦可由歲差及章動常數知之，其計算雖困難，但其結果則精密。最精確之結果，為 Hinks 由觀測愛神星之擺動，彼曾總合各種已得結果，得地與月質量之比如下：

Newcomb	由日與行星之觀測	得 81.48 ± 0.20
Newcomb	由歲差及章動常數	得 81.62 ± 0.20
Gill	由小行星觀測	得 81.79 ± 0.20
Hinks	由愛神星觀測	得 81.53 ± 0.25
平均值：		81.56 ± 0.01

質量既得，密度則為容積除質量，今若以月之密度與地比較，僅為地密度之 $\frac{1}{81.56} \times \frac{1}{0.00203}$ 。照 Ross 計算，謂其精確結果應為 0.6013 ± 0.0003 倍于地球密度，或 3.33 ± 0.01 倍于水；此數適與地球表面下岩層之密度相等。由是而言，若月乃由地球所分出，則分出之時間，應在地心較重金屬球凝聚以後。

至于月之表面重力 (Superficial gravity), 如以地球為標準, 依力學法則, 應與 $\frac{\text{質量}}{(\text{半徑})^2}$ 相等, 即謂等于 $\frac{1}{31.56} \times \frac{1}{(0.273)^2} = \frac{1}{6}$ 倍地面之重力; 若以地球六斤重物體, 在月面稱之, 僅得一斤矣。

月面之吸力, 如其小, 假月裏其有火山則月裏火山之噴出, 必遠高于地面之火山。假月面其有空氣, 則此等空氣必因自轉離心力之故, 而向外逃散矣。

71. 月光及其溫度

月球上物理狀態, 經歷來觀測, 如日蝕時, 口面上月面邊緣之黑而分明, 及月掩星時, 一現一隱, 均極明顯等, 皆可以証明月面之無空氣存在, 雖有亦不過極稀薄, 僅得地球大氣壓力十萬分之一而已。月球不特無空氣, 且無水, 不因蒸發作用而成雲, 故月球之光, 完全由岩石反射日光而來。又月光之性質可藉分光儀研究, 知其與日光完全相合, 是月光來源, 完全由日光反射, 更無可疑。

滿月時月光究竟相當于日光幾分之幾, 頗難精確決定; 照最可靠之數, 約為 465000 分之一, 但其值常因月之距離而變, 變化之度達百分之三十。如用人工法比較之, 則滿月時之月光, 約相當一標準燭光置于一公尺遠處所發光之四分之一, 或相當于 0.24 “公尺燭光” (Meter-Candle)。

滿月以後, 隨日距角之小而變, 其光銳減, 其減率如下表所示:

日距角:	180°	160°	140°	120°	100°	80°	60°	40°	20°
月光:	100	65	41	26	15	7.5	3.2	1.0	0.1

由此表觀之, 上下弦時之月光, 僅為滿月時九分之一, 此因日光遠明暗線時, 其光線傾斜, 其次則月面極崎嶇不齊, 低部常被高部之影所遮而暗黑; 此種高山之影, 吾人可用望遠鏡窺見之。又量天體之光度, 在天文學上有所謂反光率 (Albedo) 者, 即物體受日光與反射光之比值也。月之反光率, 其平均數約為 0.073, 即謂僅將所受之光以其百分之七反射而出, 其餘均被其表面吸收變為熱。若月之表面光滑平整, 而無陰影遮暗時, 則此值畧大, 約達百分之十。在實際上言之, 月面

各部份之反光率，隨處不同，以上所述，其平均值耳。

至月球之輻射熱變為幾何，頗難測定，最近用特殊方法，始量得月球之輻射熱約為太陽達地球表面十七萬分之一。

因月球以一月之長為一晝夜，故其表面約以十四日為晝，以十四日為夜。且月因無水無雲，岩石暴露於無雲之陽光下連亙十四日，故必達極高溫度。據 Dietzius 計算，謂月球赤道正午時可達攝氏表 110° ，日落時即降至 -10° ，最低時為 -80° 云。

72. 月面之構成

在新月後六七日，用六吋以至十吋徑遠鏡，則可見月面之形狀極清楚。若此等遠鏡倍力為 250 以至 500；即可將月球距離縮小為 1000 以至 500 哩。在此距離



(圖四十九)

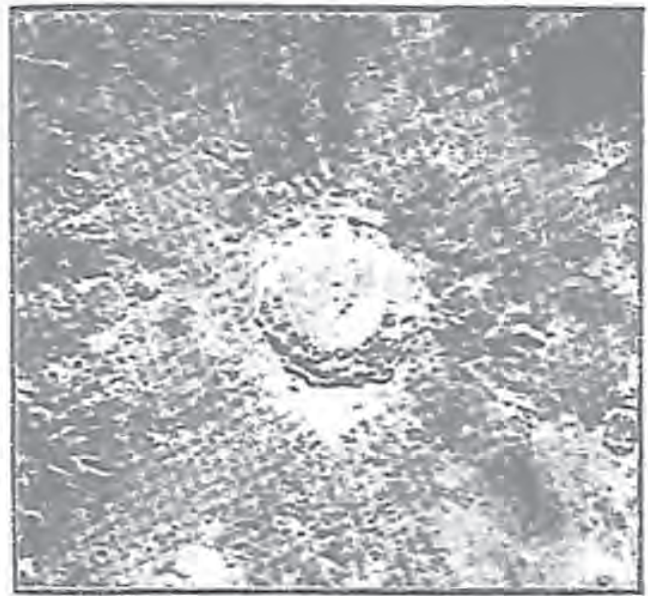
之物體，則半哩之長約相當於視角度 $0''.43$ ，故雖月面四分一哩濶之湖沼或長堤，亦可辨別。照觀測所得，知月面高下不齊，遠甚于地面；其斷續之處，或由連綿之山脈，或由孤立之高峯，或由無數之雲形山 (Crater) 等；交相錯亂，以成其斑雀可數之醜陋表皮。其中亦有若干較大而較平面積，由加里尼及較早天文家所稱為海 (Maria) 者；現今雖用極大遠鏡証明，此種所謂海，既無積水，且極粗礫不平，但仍以海呼之，不加更易也。此種較平面積，如用肉眼或小遠鏡窺之，可見其色較灰黑，如上圖四十九，為月裏 $9\frac{3}{4}$ 日之象，經 Yerkes 天文台所攝影者。

圖五十，為月圓時所攝，在此圖之下，畧近心之左部，有一明顯之黑塊，即所謂 Serene 海 (或 Mare Serenitatis) 也，由此黑塊向右趨，有一較亮斑紋者，所謂 Apennine 山脈也。此山脈之盡處，有一大光點，所謂哥白尼雲形山 (Copernicus crater) 也。此哥白尼雲形山，如以大攝影鏡攝影，可得其放大之象，如五十一圖所示：



(圖五十)

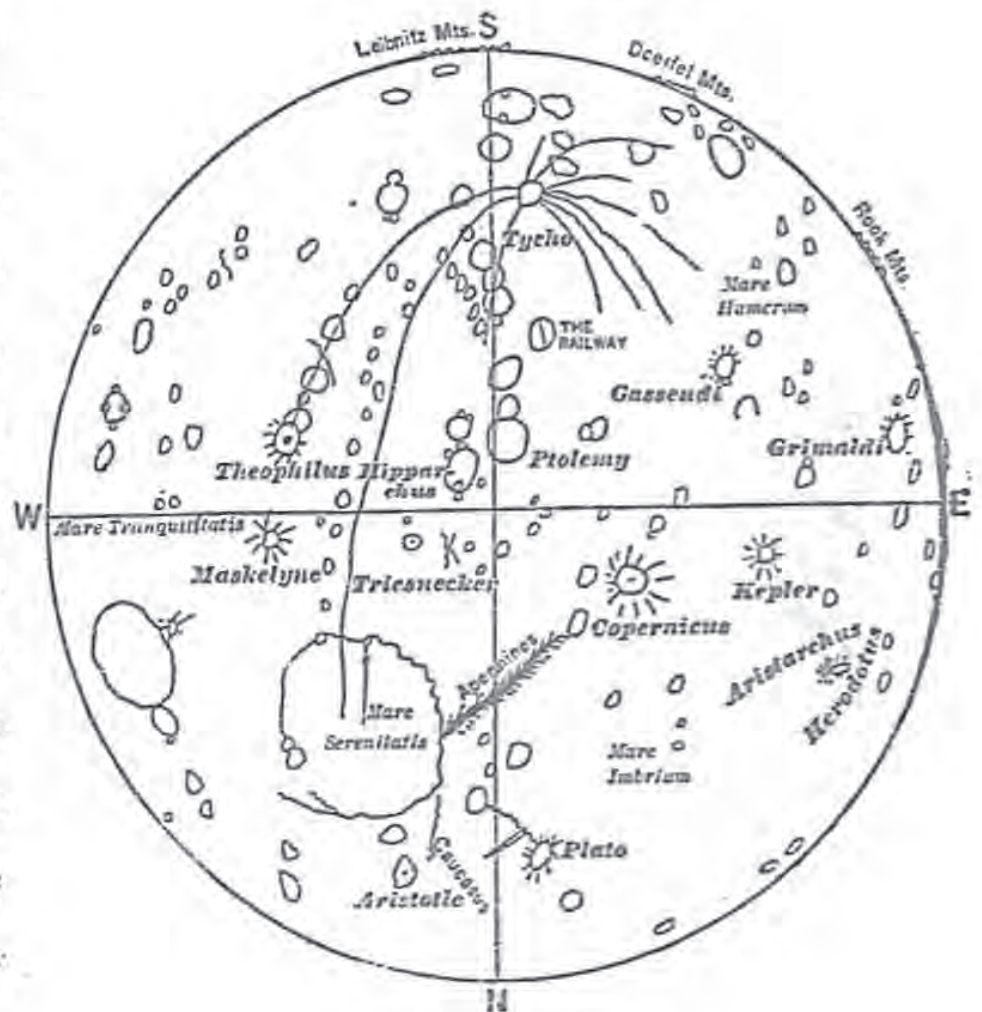
總之，月面斑紋之顯著者，已盡有專名或給以發見者之名，或因紀念某重要天文家而特別以其名名之者，不一而足。下圖五十二，只示月面各重要部份之專名，可與五十圖互相對照而得。其他較微小部份，可參攷月面專名錄，茲不贅述。



(圖五十一)

73. 月面山

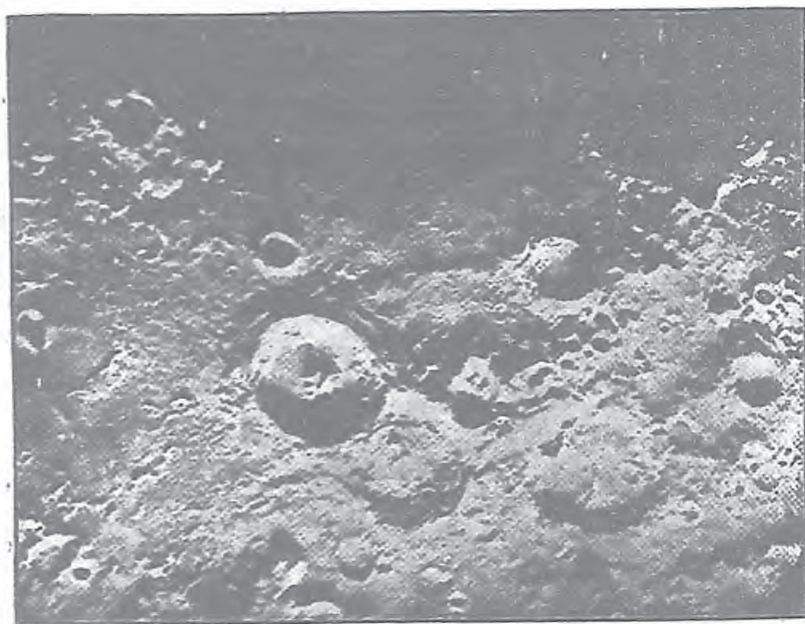
由地向月望，則月面可見之山脉，其數有十。此等山多孤立，鮮有如地面之喜馬拉雅，及安第斯山，連綿極長者，山峰極高，常達 20000 呎以上，如以地面較大之比例言，則此等山之高，應達 15 哩，此等山能達若是高度，無疑最少一部份原因，由于



(圖五十二)

月面重力之減小，其次則由於月面無空氣及水浸盪也。

月面山之高度，可由其投射日影之長度以決定之，如圖五十三，在圖中心略下，爲 Theophilus 環形山，此環形山內，復有三孤立之峰，其尖銳之影，向左投射極爲分明。今月本身及影片之比例尺既知，其次山影之長，及此時日光對於月面之傾斜，亦極易求知，而山之真高度更不難計算矣，此 Theophilus 山內之峰，據計算得其高約達 16000 呎。



(圖五十三)

74. 月面環形山

月面外形，其最顯著者，爲環形山，狀爲圓形或橢圓形，不一而足，連亙甚濶。其最大者，直徑在 100 哩以上，其次爲 50 以至 60 哩，其小者由 5 哩以至 20 哩，不可勝數，然在地面上最大噴口不過 6 以至 7 哩而已，此等環形山數目甚多，月面

版圖之已製成者，其數已愈 30000 矣。

寰形山普通爲圓形，圓周爲高山，常高至 1000 以至 20000 呎，然亦有無高山圍繞者，只見其中央低陷而已。且此等寰形山，極似火山口，如地面之 Vesuvius。但究竟卽爲月面之火山噴口。抑由其他原因所構成，尙屬疑問。若其真爲火山之噴口，則必爲古代之火山所噴成，因現時已絕跡無火山活動之表現也。

至由其所佔廣大面積而觀，則似不能謂由火山噴射所致，如多祿某寰形山，其直徑 115 哩，Theophilus 寰形山，直徑 64 哩，深 19000 呎。在地面上，無論如何，不能得相似比例，火山理論，無法解釋之也。

或以爲月面構成時，爆出多量氣體，迨月本身收縮時，此種氣體，卽逃散空中，遺一大窟。但此假說最不易解釋者則有不少寰形山，其中部尙有孤立山峯之存在。

依 Gilbert 意見，以爲此種寰形山，乃由極大隕石墜下撞擊 (Impact) 而成。並假設此種隕石之墜于地球及月上者，數百萬年前，其體積遠較現在爲大，當其撞月面時，以 50 以至 100 倍現時砲彈之速墜落。以如是大速度，及數百萬噸重物體，雖月面岩石堅硬如現在所見者，亦能將其爆碎，變爲流體飛散，成一大阱口也。寰形中部之孤立山峯，殆由于激動飛起淤泥之回復，或由于撞擊時發生之熱所致。蓋在地球投擲重物體於爛泥時，其表面所起之現象，極與月面寰形山相似也。

對於隕石撞擊假設之反對論者，以爲月面寰形山，若由隕石撞擊而成，則地面應有同一現象發生，因月與地爲同一系統，此種偉大隕石，必不僅投向月球而已也。但吾人在地面上查考，並不見有此種寰形山之存在，可見其說之不易輕信。但說者以爲在幾百萬年以前，地面亦有相似之寰形山，後經長時間之雨水，積雪及空氣等之消磨，桑田滄海，陵谷互變，遂失其真形耳。

習 題 VII.

1. 若恆星月一月爲 60 日，問一朔望月爲若干日，一太陰日爲若干時？
2. 若星期三日出時爲 23 時 45 分，問下一次星期三日出約爲何時？

3. 如以儒略曆為標準,約在若干年後,在一年中同一日,月有同一位相?

(注) 此周期名曰默冬章(Metonic cycle),於紀元前 433 年為默冬(Meton)所發見。

4. 問蛾眉月兩角,約何時見其向下?

5. 問在何種條件下,稜月下降之退遲為最小?

6. 試比較稜月與符月現象之異同。

7. 有一物體在地球上稱之為六十磅,問在月上稱之,其重為若干磅?

8. 若閣下能置身於月球上,試詳述一個月內,在月面之所見及經驗。

9. 若地面反光率大於月面四倍,試比較及於月之地光,與及於地之月光之強度。

10. 問北半球晝長,何故夏至後漸短,冬至後漸長?試繪圖說明之。

第八章 日

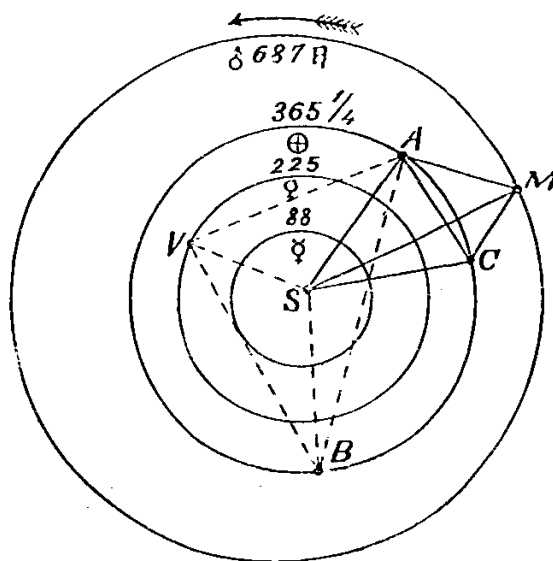
75. 日視差及其距離

日視差(Solar Parallax)者,日之周日視差也;其所用以量日之距離者,爲日之平均赤道地平視差(Sun's mean equatorial horizontal parallax).因地日距離,一年之中,日日不同,其值必取平均,方有標準;又由地心觀日,及由地面一點觀日,其視差亦隨時隨地不同,故亦必規定由赤道上觀測日在地平時以爲標準.由如是情形觀測,吾人所得之日視差,爲一常數;再由此數以得日之平均距離,爲天文距單位。

決定日視差法甚多,今畧舉其重要者如次:

(1) 幾何法(Geometrical method)——當一行星或小行星由其軌道上某一點開始運動時,由地觀測之,而得地與星之方向線,迨此星完全運動一周,回復原始位置時,再由地觀測之,而得

第二方向線,由此二線以成之幾何三角形,即可決定此星對於日距爲若干倍單位,然後精密測此星在衝或合時之視差,以定其距地距離,再由此數以覆算地日距離.如圖五十四, S 爲日, V 爲金星, A, B, C 爲地球在其軌道上各觀測點, M 爲火星,由各三角形關係,皆可決定 S V 或 S M 爲若干單位。



(圖五十四)

(2) 重力法(Gravitational method)——依力學定理,吸力之大小,與物質成正比,與其距離平方成反比,當地繞日公轉時,受一種有周期攝動(Periodic perturbation),此攝動之大小,亦與物質成比例,故若地日吸力大小及地日質量之比為已知時,即可推算其視差(詳後)。

(3) 光速法(Method depending upon the velocity of light)——此法於前述光行差(48節)時言之,因地球公轉之速度既知,則地軌半徑亦可以算出。

今將此三法求得日視差值,列表于下:

方 法	視 差	或 然 差
<u>幾何法</u>		
1889—1890 年 Gill	8' 802	±0''005
1900—1901 年 Hinks	8''806	±0''004
1900—1901 年 Hinks	8''807	±0''0027
1924 年 Jones 與 Halm	8''809	±0''005
<u>重力法</u>		
1924 年 Jones	8''805	±0''005
1921 年 Noteboom	8' 799	±0''001
<u>光速法</u>		
1912 年 Hough	8''802	±0''004

平均: 8''803 ±0''001

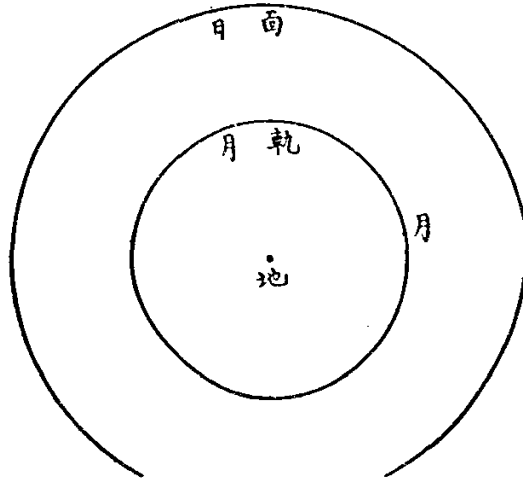
由此,依 Hayford 計算,知地軌平均半徑,為 149450000 ± 17000 公里,或 92870000 哩。

由 1900 年起,各國航海曆書,已一致採日視差常數為 8''80,以此距離為標

準，並假定地軌為圓形，則以一年時間之長除此周線，得地公轉每秒 18 $\frac{1}{2}$ 公里。近世速度最大砲彈，每秒不過 3500 呎。若以此砲彈向日球擊射，則需四年半始達；而光由日達地球，僅需時 499 秒，畧大于 8 分鐘。

76. 日球本體

依 G.F. Anwers 測算，知日球平均視直徑為 $31'59''\cdot3 \pm 0''\cdot1$ 。但在地日距離，每弧秒應與 450·23 哩（等于 $92870000 \div 206265$ ）相當，故其真直徑為 864100 哩（或 1390600 公里），或 109·1 倍于地球直徑。若將地球置于日心，則月球所行軌道，僅逾地與日面距之半。因白道半徑約 239000



(圖五十五)

哩，而 $432050 - 239000 = 193050$ 哩，所餘尙幾及半也。如圖五十五。

球之面積與球半徑平方成正比，故日球面積應大於地球面積 $109\cdot1^2$ 倍，或 12000 倍；或 $6\cdot075 \times 10^{12}$ 平方公里。

球之體積與球半徑立方成正比，故日球體積應大于地球體積 $109\cdot1^3$ 倍，或 1300000 倍。

計算太陽質量，最便且精確之法，為求太陽吸力及于地球所生之運動。

如命 A 為地軌平均半徑， T 為一年之長， V 為地在軌道上平均速度，依力學中心運動公式，向心加速度為 $\frac{V^2}{A}$ 。如命此加速度為 a ，則 $a = \frac{4\pi^2 A}{T^2}$ 。

$$\text{但 } A = 1\cdot4945 \times 10^{13} \text{ 公分}, T = 3\cdot1558 \times 10^7 \text{ 秒.}$$

$$\text{故 } a = 0\cdot59243 \text{ 公分/秒}^2.$$

在又一方面言之，地面上物體墜下加速度為重力 g ，此數吾人已知為 981.993 公分 / 秒²

今如命 S 及 E 為日及地質量， G 為吸力常數， r 為地球平均半徑 ($=6.3712 \times 10^8$ 公分)

$$\text{則 } a = G \frac{S}{A^2} \text{ 及 } g = G \frac{E}{r^2}$$

$$\therefore \frac{S}{E} = \frac{aA^2}{gr^2} = \frac{4\pi^2 A^3}{gT^2 r^2}$$

如將各種數值代入，得 $S = 331950 E$ 。

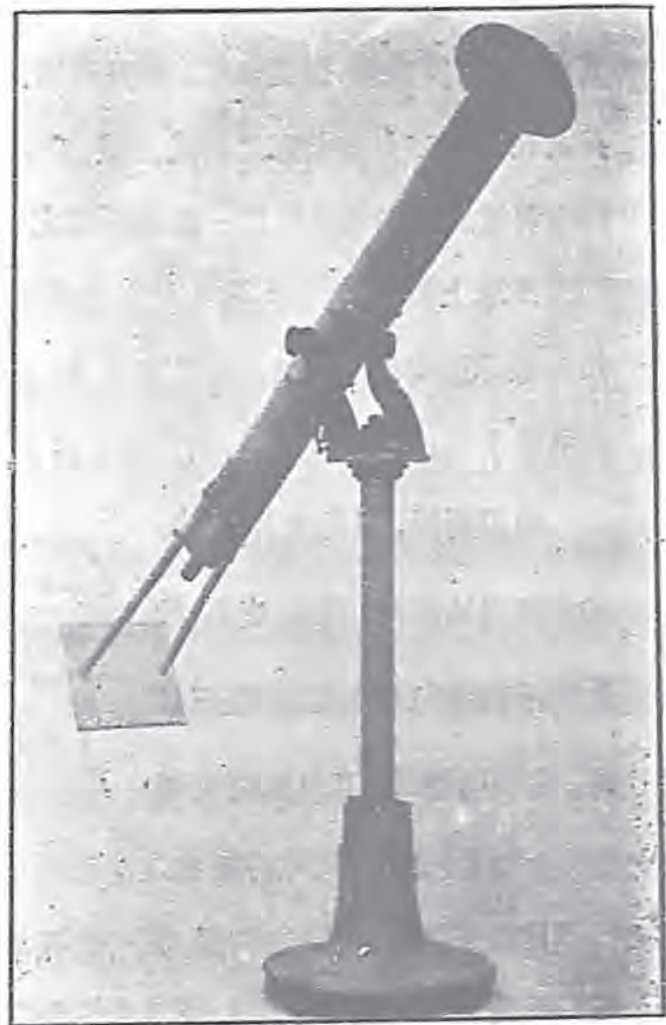
照上式言， S 與 E 之比值，含有 A^3 ，是 A 之變化雖小，而影響于 S 極大（設日視差之變更僅為 $0''.001$ ，而 S 之變更，可達 $113E$ ），故 A 之為數，不可不十分精確測定。

太陽密度，如與地球比較，則只將其大于地球質量，以大于地球體積相除即得，其數為 $331950 \div (109.1)^3 = 0.256$ ；如與水比較，則以 5.52 乘此數，得 $0.256 \times 5.52 = 1.41$

77. 日球自轉及黑子

日球自轉，可由每日觀測日面斑點位置証實之。吾人由地面觀察，知日球表面，常有黑點存在，為數時多時少，其大小亦常不一定。此種黑點，即名太陽黑子 (Sun Spot)。我國通鑑所載，謂日中有黑子者，即指此也。此等黑子之存在，吾人若小心注意，更可見其在日面位置，日日不同，常由東向西移動。由此移動速度之大小，即可推知日之自轉周期，約四星期。但此周期乃由地直接觀測者，為會合周期。其真實周期或恒星周期，可應用前述朔望月同樣公式計算之。

太陽黑子觀測，其大者雖可直接用肉眼窺望；惟小者必須用望遠鏡方可見。用望遠鏡觀測黑子，最便利者，令日光由物鏡射入，經目鏡放大以後，即投射于垂直鏡軸之白紙上，此紙上即顯日象成圓形其裝置如圖五十六。日面所有之黑點或黑塊，皆可于紙上顯之，由是以鉛筆依黑點或黑塊形狀及大小鈎畫紙上，記其時日及在日面之位置。每日如此，即可見黑子之形變及其移動。

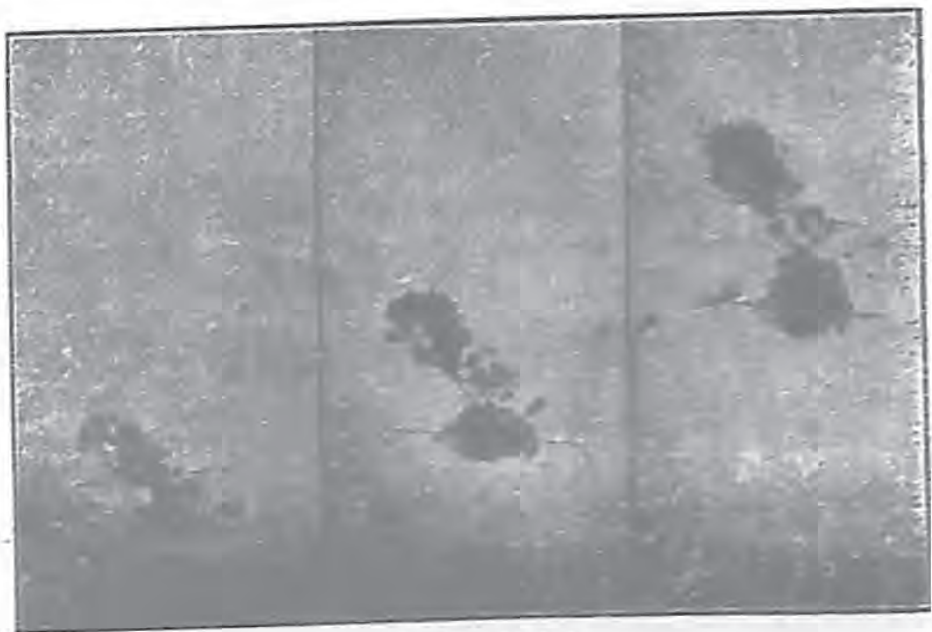


(圖五十六)

近世以還，精確之觀測，多用攝影術行之。下圖五十七，為

美國威爾遜山

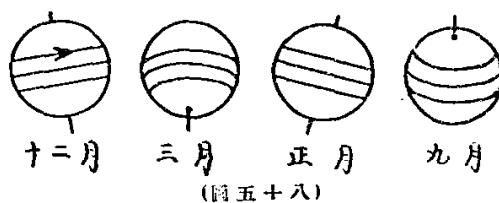
天文台 1917 年
2 月 12, 13 及
14 等日所攝
日面圖，圖中
黑子二塊，所
佔面積頗大，
移動亦甚顯著
焉。



(圖五十七)

又對於黑子研究，如經長時期觀測，可知此等黑點在日面所劃軌跡，有時為直線，有時為曲線，循環變化，頗有規則。在三月初旬及九月初旬見其為最曲，六月初旬與十二月初旬則見其成直線。此即所以表明日之自轉軸不垂直于黃道面。同時黃道面對於地上任意一點地平面之交角，一年中時時變換，周而復始。故日斑在日球上所行之軌跡，遂見其或高或低，或為直線，或為曲線也。由極精細觀測，知日球赤道與黃道傾斜，成 $7^{\circ}10'5''$ 角。其昇交點為黃經 $73^{\circ}47'$ 。下圖五十八，即表明黑子在日面上，各月所劃之視軌跡也。

由圖而觀，可見九月時，日之北極向地而傾，成 7 度角，故見黑子軌跡向南極而曲，在三月時，南極向地球，見軌跡向北極



而曲，六與十二月，地球行至日之赤道面，故只見其橫過日面，跡軌為直線。

且黑子移動，若詳加觀測，更可發覺其在日面速度，隨處而異。依長期觀測，及最近研究，知其移動速度，隨日球緯度而減。換言之，其周期之長，隨緯度而增，在日球赤道上者為最短。上言由日面斑點觀測，以得日球自轉周期約四星期者，特其平均數耳。依 Maunder 研究 (1879 至 1904)，知黑子

在赤道移動者，平均恒星周期為	24.65 日
在緯度 20° 者，平均恒星周期為	25.19 日
在緯度 30° 者，平均恒星周期為	25.85 日
在緯度 35° 者，平均恒星周期為	26.63 日

惟在 35° 緯度處，黑子已極少，過此罕見有存在。

但近年 Adams (1903) 由分光儀觀測，日球無論若何部份之移動速度，皆可測知。其結果為：

緯度 40° 者	周期為	27.48 日
緯度 60°	,,	30.93 日
緯度 75°	,,	33.15 日
近兩極者	,,	34 日

此種不同速度運動，實緣日球非為固體，旋轉情形，遂與地球不同。且日球組織，在表面言之，吾人已可將其分為數層，每層氣體運動速度，當亦彼此有異。

關於赤道加速度 (Equatorial acceleration) 解釋，歷來理論紛紜。最近有以為由日球內部熱向外衝出所影響者；有以為日局原始構成時，由無數射出之剩餘物體，向日球墜落，而墜落部份即集中赤道，故能令此部份之運動加速。總之，現尙未能知其究竟。惟吾人可以斷言者，在若干千萬年後，可因內部磨擦力之逐漸增加，球體之逐漸縮小，能使各部份運動速度趨於一致也。

78. 日球之外觀

用望遠鏡研究日球時，吾人可得而分別者，約有三端。

(1) 光球

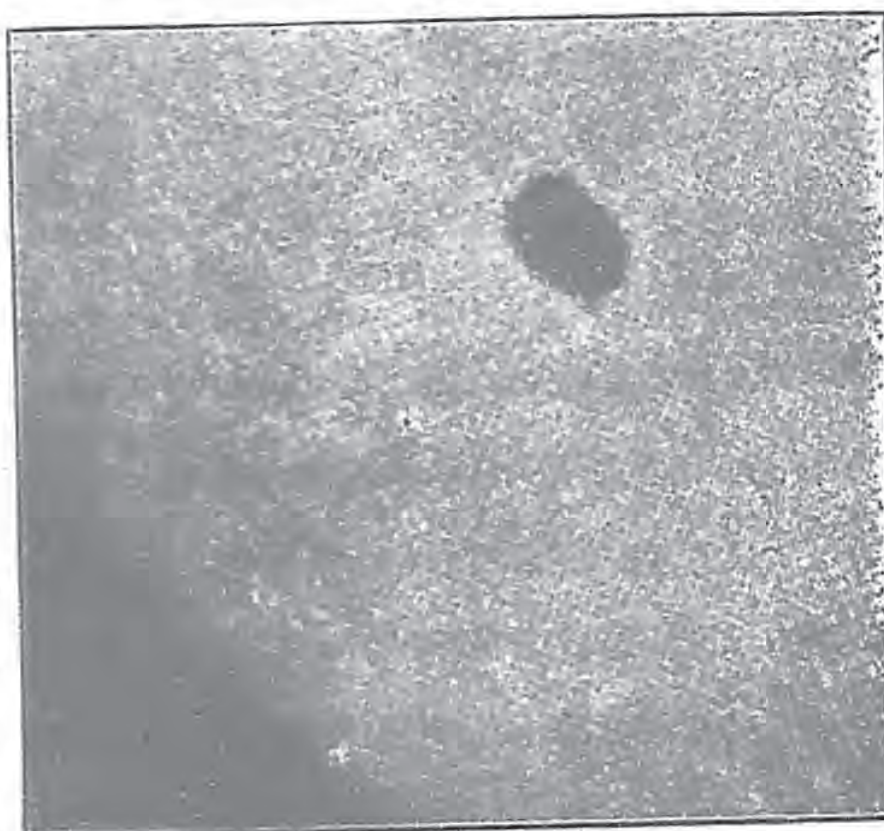
所謂光球 (Photosphere) 者，吾人用目直接見日球之光面，如一圓盤之部份也。一切斑點及可見之特別現象，皆在此面見之。

此光球為吾人見日之最內層，日球內部一切現象，皆為此層所蔽。此光球由肉眼窺視，似極平滑，然用望遠鏡窺之，即見其粗糙如馬糞紙。如望遠鏡倍力較大，則表面更粗，如散雪花於灰布上，光點凸起如米粒 (Rice grains)。其在日面之濶，常達 400 以至 600 哩，如倍力更大，則此小粒更裂開成較小之粒。在普通言之，粒狀之長濶畧相等，惟在黑子附近者，則多成條狀。其在日面各處者，或隱或現，形狀時時變化。

光球邊緣之色，較中心為紅，且光較弱，故對於攝影片所感光不及中心強，所得之像，常比較中心為黑暗。

(2) 日球大氣

日球大氣(Sun's atmosphere), 浮于光球之上，幾為透明體，當日全蝕時，可用遠鏡窺見之，但用分光

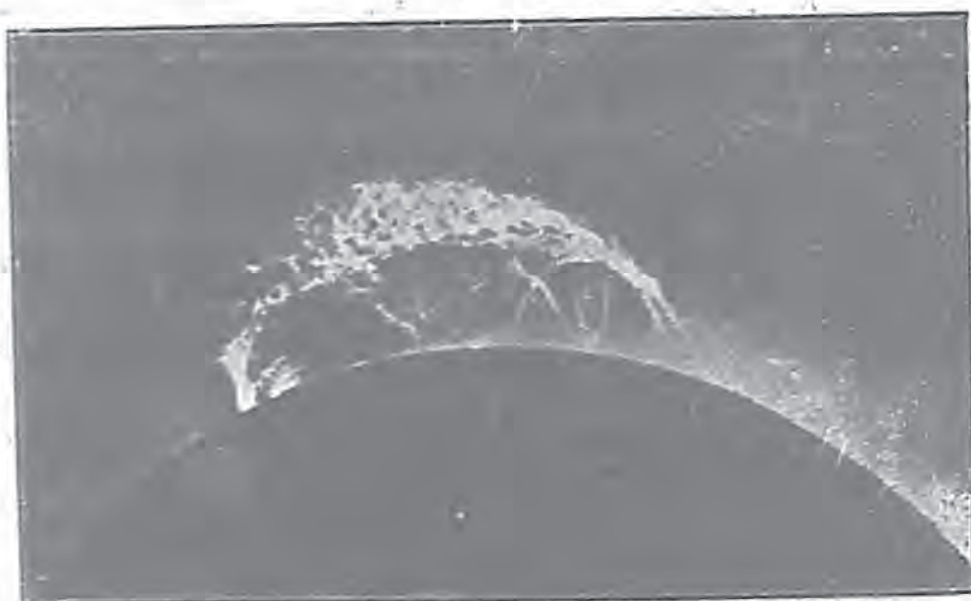


(圖五十九)
攝影片中日面之一角及其斑點

儀則隨時可研究，以知其組成及各種物理性質，依研究結果：此大氣可分為兩部：

(a) 反變層 (Reversing layer). —— 此層在光球面上高數百哩，由地球極普通元素蒸氣所構成。

(b) 色球 (Chromosphere). —— 此球在反變層之上，多由較輕之氣體所構成，如氫及氦素等，擴張至數千哩高處。由此發出各種日珥 (Prominence)，狀如火簇，由光球起，其高度常有達數十萬哩

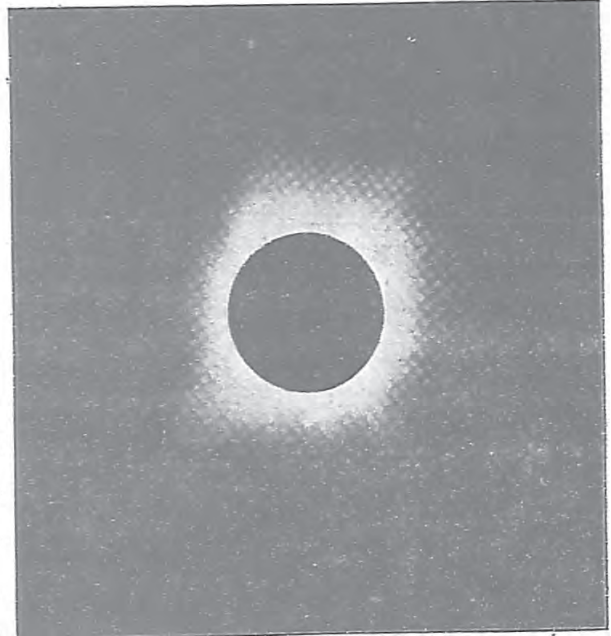


(圖六十)

者。如上圖六十，爲高出日面十餘萬公里之日珥。

(3) 日冕

所謂日冕(Corona)者，爲日之最外層，密度極小，只於日全蝕時可見，由日之四周射出，如我國國旅之日輝，白氣散射，遠達數百萬哩，如圖六十一，爲1898年1月22日，日全蝕時所攝取之日冕。日冕



(圖六十一)

形狀，大約隨黑子之增減或太陽之活動情形而變。當黑子極盛時，日冕對日四周平均相配似一孤星狀，黑子漸減，日之南北極日冕消滅，當黑子最少時，日冕只在赤道四圍發射，迨黑子漸增，則又逐漸向南北極伸張。

79. 光斑與黑子之存在

日面觀測，近年以來，已能由望遠鏡觀測，進而爲攝影術觀測；由攝影術觀測，進而爲分光術觀測。因觀測方法之進步不同，日面所露之現象，已不只一種。以上所述之黑子，特日面最顯著現象之一耳。據實在考查，除黑子而外，有同等重要者，厥爲光斑(Faculae)。所謂光斑者(如圖五十九)，爲顯露于光球面上之光紋，其在太陽之邊緣者，較在中部者爲顯著，殆無疑爲日球表面之凸出物。據分光儀之檢查，

知爲屬於鈣素原質，是必由鈣素蒸氣懸浮於光球面上而成也。

黑子普通形狀，可分內外兩部，內部爲本影 (Umbra) 較黑，外部爲半影 (Penumbra) 較明淡。本影在半影內部如核然。半影之內，常有聚數個本影者；且本影不常在中心，或左或右，頗爲任意。如圖六十二，爲 1917 年 2 月 8 日之大黑子羣 (Sun spot group)，由威爾遜

遜山天文台所攝影。圖之

左下角黑圓點，爲地球依比例尺縮小者，所以表黑子在日面所佔面積之度也。普通在一黑子周圍，光球常呈擾亂狀態。每在黑子未發現以前，該處先現光斑，黑子既沒，光斑又繼之，如是互爲消長。



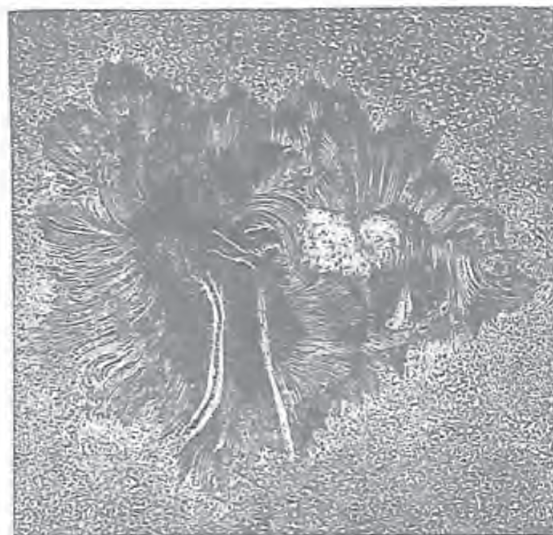
(圖六十二)

黑子在日面，所佔面積極廣，以本影言，其直徑由 500 哩以至 40000 或 50000 哩皆有；半影之最大者，常達 150000 哩，黑子之大者，當日落或大霧時，用肉眼可見，近午時，用黑玻璃片隔日光，亦可窺見。

黑子之存在，爲時頗短，由格林威天文台歷年所有黑子影片言之，其中四分之一生命僅有一日，其餘則由兩日以至四日。然此特就小者而言，其大者，生存時期，遠長於此。照該天文台觀測結果，三十三年中，得黑子 6000 羣，其中只有 468 羣，能延長至第二次日面回轉以後，115 羣至第三次，25 羣至第四次，12 羣至第五次，只有一羣至第六次。最特別者，爲 1840 至 1841 年記載，其中有一羣延長至十八個月。

光斑存在時期較久，且光斑發現處，常由是現出黑子，是黑子之造成，無疑由

當地擾亂而起；其生成時期，長者數日，短者數小時，初由一小黑點漸漸擴大，其四周光球，即變成梳狀，以成半影，中部較黑即為本影，右圖六十三，即表黑子生成之詳實情形，為 Langley 所擬繪者，黑子四圍之白點，即上文所述光球面上



(圖六十三)

之米粒，而侯夫勒 (Herschel) 所稱為 Nodules 者也。

最近由威爾遜天文台研究，黑子之羣，成雙者比單獨者，其數目約多二倍；然大者，常裂成數個；當其裂開兩部份分離時，其速度極大，每小時達數千哩。

80. 黑子之自行分佈及其周期

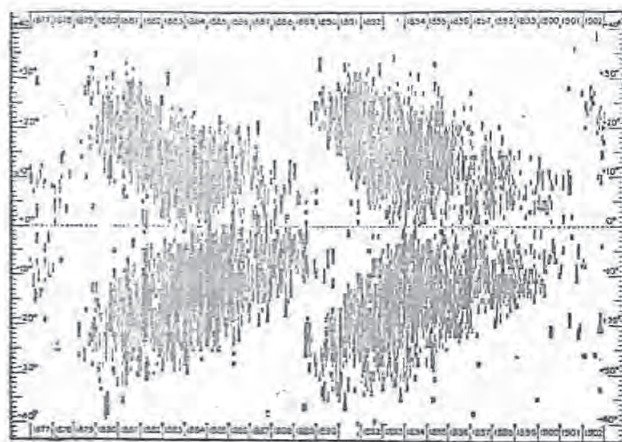
以前所言黑子之移動周期，乃一平均值。然每一黑子在日面之遊行，常有其特別途徑。在日面移動之方向，沿日面經度 (Heliographic longitude) 方向移動者，常大於沿日面緯度 (Heliographic latitude) 方向兩倍。照 Ahesson 研究，知每日沿經度方向平均 $43'$ ，沿緯度方向者約 $24'$ 。此二值在日面相當 5400 哩及 3000 哩。且小黑子移動速度，常大於大黑子。總之，黑子運動方向及速度，每日不同，頗無一定。

黑子存在區域最多者，介於 5° 與 40° 帶內（南北各一），在日球赤道上，惟黑子達最多時始有之，在 45° 以外，則幾乎不見有存在。

照平均言，南北兩帶存在數目，應彼此相等，但據實測結果，由 1672 年以至 1704 年間，北半球無一黑子存在，至 1705 年始有數羣發現。

最近五十年間，南半球仍多於北半球五分之一，且當黑子最少期，黑子散佈漸趨兩極；迨達最大期則相反，向赤道密集。吾人若以年為橫軸，日面緯度為縱軸，依黑子分散之緯度點於紙上，則各點圍集所顯示如蝶形，頗為美觀，（見 Monthly Notices 1923 No. 2096）此種差異理由，至今仍無法解釋，如圖六十四。

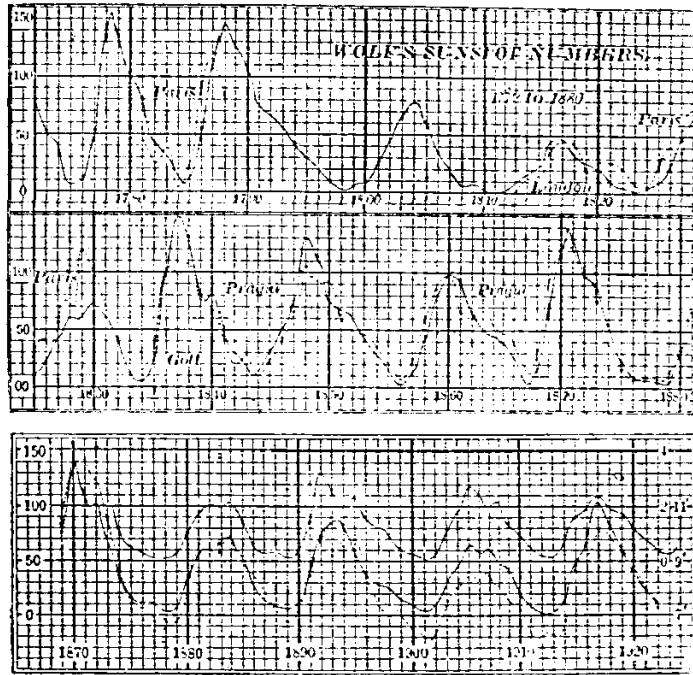
黑子數目
變化，每年而
異，然大致有
一極準確之 11
年周期。此周
期最先發現者
為 Schwabe，
時為 1843 年。



（圖六十四）

至 Zurich 之 Wolf 曾將 1880 年以前黑子數目統計，繪成曲線，又同時將日面被黑子所佔面積，命為分數，亦繪成曲線，此二曲線形狀極相類似。

大約當黑子最多期，每日皆可見其存在，有時為數多至成百。當最少期，有時數星期或終月不一見者。



(圖六十五)

照 Newcomb 計算,平均周期為11.13年,且曲線之上升,比較下降為速,前者只須4.62年,後者則須6.51年。二十世紀以來,最少期為1901年,最多期為1905年,又最少期為1913年,最多期為1917年。最近最少期為1933年,而最大期應為1939年也。

下列之表為 Iowa, Alta 天文台三十八年來黑子觀測結果,由1891年起,至1928年止,與上 Wolf 曲線,適隔一周期時間,但此表數目,則以黑子羣為單位,吾人如根據此數目以繪曲線,亦可見黑子盛衰之周期。

年	年平均羣數	年	年平均羣數	年	年平均羣數
1891	2.9	1904	3.1	1917	7.3
1892	5.6	1905	4.0	1918	5.7
1893	6.6	1906	3.8	1919	4.5
1894	5.6	1907	3.8	1920	2.4
1895	5.2	1908	3.4	1921	1.8
1896	3.2	1909	2.9	1922	1.0
1897	2.2	1910	1.3	1923	0.6
1898	2.1	1911	0.62	1924	1.23
1899	1.1	1912	0.36	1925	3.13
1900	0.7	1913	0.14	1926	4.4
1901	0.25	1914	0.95	1927	4.7
1902	0.37	1915	3.0	1928	6.5
1903	1.65	1916	4.5		

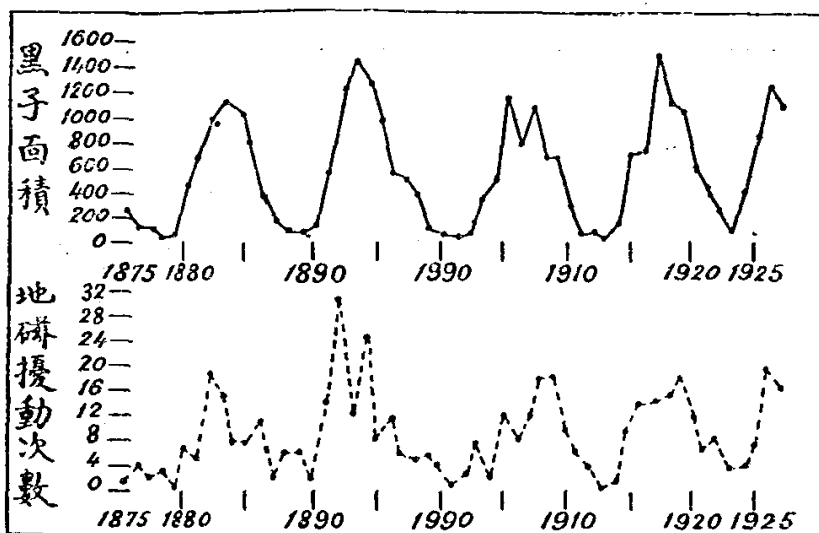
81. 黑子盛衰對於地磁及氣候之影響

黑子發生之原因及其變化周期，至今仍未得真確之解釋。但現由分光儀及各種觀察結果，則知有黑子之部份，即為日球表面最擾亂之部份。照 Hale 研究，以為此種擾亂，乃由光球內較深層之擾亂而起，使光球表面成一大旋渦，深穿而黑，即此黑子也。此光球發生擾亂之根源，或以為起於大行星之吸引，其盛衰周期，可以大行星之公轉周期考証之（見中山大學天文台兩月刊第一卷第六期）。

隨黑子盛衰而有同一周期者，則為光斑，其次為太陽之輻射熱，由是可見黑子增減，為太陽活動力增減之表示。年來 C. G. Abott 及 H. H. Clayton 等，對於太

陽輻射熱與黑子盛衰關係，曾作分析及統計的研究，得極確實斷論。謂黑子增加即所以表示太陽活動強盛，故輻射熱亦能同時增大；反之，黑子減少，即為太陽沉寂休息時期，而輻射熱亦隨而減小。

又隨黑子增減而發生影響者，則為地球磁力之變化。地球之磁場方向與強度，吾人已知其非一定不變者。地磁方向之變動，其甚者在每一分鐘內，指南針可變更至三度。此種劇烈變動，吾人稱為地磁擾動 (Magnetic storms)。此種地磁擾動，有地電流 (Earth currents of electricity) 隨之而生。此種地電流之強，常足以干涉電報，而起特殊變化。至於南北極光 (Aurora australis and aurora borealis) 之變化，亦與黑子周期相同。極光數目之變化，其極大及極小，與黑子曲線極大及極小相匹。今將 1875 年，至 1925 年五十年間，黑子盛衰與地磁擾動發生次數之關係，圖表於次，以見其相生之密切焉：



(圖六十六)

夫黑子增減，既為日面擾亂之表示，而日面之擾亂，則能直接影響于地球氣象之變化。近世以來，關於此點，頗引起一般氣象學者之注意，於是旁推側考，力

求二者變化之關係。俾黑子多少，成研究氣象要素變化之好材料。據近年來研究所得，謂黑子最多時，地球氣溫較低。每黑子之數目，變更一百時，則氣溫之變化，達攝氏寒暖計半度以至一度。至於此外之雨量及其他氣象要素之變化，亦似與黑子多少有關（參攷中山大學天文台兩月刊第二卷第一期），故一般統計學家及經濟學專家，更推波助瀾，造成種種臆說。且謂黑子之變化，與商品物價指數及豐年饑饉有關係。而營食料商品者，更可因黑子之多寡，施其操縱手腕，以圖什一之利。大矣哉！太陽黑子與地球民生之關係也。

82. 分光儀

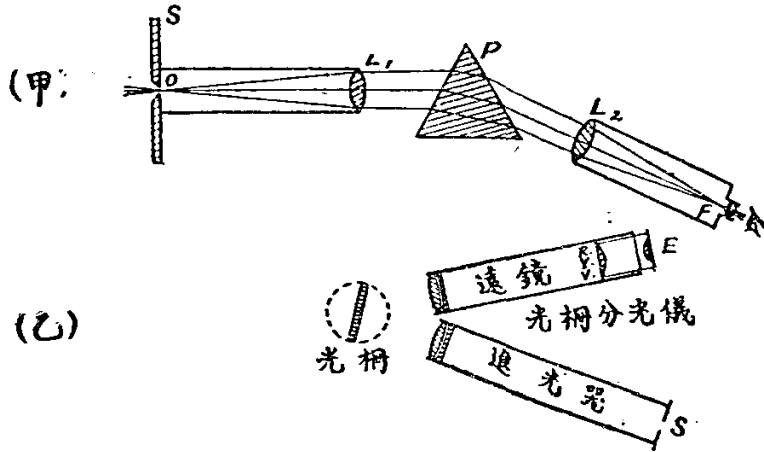
所謂分光儀(Spectroscope)者，能將輻射體發出之光，依各波長(Wave length)不同，分析為各種顏色，以便研究此輻射光體，物理及化學性質之儀器也。此儀器於1860年際，始應用於天文方面，時至今日，其在天文上之價值，已與遠鏡相埒。凡極遠天體所來之光，而可用分光儀分析者，則此天體之化學成分及物理狀態，皆可判定。即天體在空間之運行，對吾人無論為向為背，為遲為疾，亦可藉此儀器以測算其方向與速度，以探宇宙之大旋轉。近年以來，更將其改善，太陽上不常見之現象，如日珥者，亦可用分光儀見之。此得力之儀器，益助以攝影術之功能，則許多向所未決之天文難題，於此乃得迎刃而解，開近世物理天文學之新紀元。

分光儀之主要部份為稜鏡(Prism)，或一吋長玻璃片刻有10000至20000平行條紋而成之光柵(Grating)。蓋光線通過稜鏡或光柵時，因各波長之大小，各依一定方向而屈折，分散之光，為吾人肉眼所能見者，僅由赤以至紫之七色，其波長較赤色為大，及較紫色為小者，均不可見。此兩端之光，吾人稱之為赤內線(Infrared rays 或 I-R.)，及紫外線(Ultra-violet rays 或 U-V.)。屈折之後，分別而成五彩。彼波長最短之紫色(0.00004公分)屈折最甚，最長者為赤色(0.00008公分)，屈折最小。介於紫與赤



(圖六十七)

變，以成五彩之光譜 (Spectrum)，頗為美觀，如圖六十七。凡光如是通過稜鏡，而成色彩者，稱曰光之分散 (Dispersion)。分光儀之裝置，如下圖所示：



(圖六十八)

上圖 (甲) O L₁ 為進光器 (Collimator)，光由 S 光屏 (Screen) 之縫 (Slit) O 射入，經 L₁ 凸透鏡後，光即平行而出，通過稜鏡 P 後，即屈折分散而成七色，但人目不易辨別，故另裝一小遠鏡 L₂ E，以便明視，或裝一攝影機，將其攝影。

此儀器中之稜鏡，有時不只一個，或由數個連絡而成，以增強其分散力。至由光柵所成之分光儀，則如六十八圖之 (乙)。

83. 各種光譜

凡以白色之光通過分光儀後，即分散而成七色光譜。但設由光縫射入之光，只為單純黃色光，則光譜上只于黃色處現像，同時置單純紅色光，則同時于紅色處現其像，再置單純紫色光時，則同理像生於紫色處。如是所生之現象，在光譜上只現輝線數條者，謂之輝線光譜 (Bright-line spectrum)。反之，若發光體為一蠟燭光，則見無數光縫之像，銜接成帶，由紅至紫，遞變而成，此種現象，謂之連續光譜 (Continuous spectrum)。若發光體，為日月或一恆星，則所得之光譜，七色雖仍似連續，但將其放大而細察之，則可見光譜之中，有無數黑線，將各色光分離，成碎紋

之光譜，此種現象，謂之吸收光譜(Absorption spectrum)。此種黑線，謂之法郎霍伐線(Fraunhofer lines)，蓋由法郎霍伐研究太陽光譜時所發見也，(如上圖六十七印為日光譜之一部)。此無數黑線中之重要者，用英文字母表之，如光譜赤色最強之線為 A，居中之赤線為 C，黃色中之線為 D，紫色中之線為 H。

84. 光譜之成因——奇霍夫定律

光通過分光儀後，所以成各種光譜者，其原因各有不同，依奇霍夫(Kirchhoff 1859)解釋，以為：

(1) 凡輻射固體，液體，或受高壓力氣體可呈連續光譜，此光譜中最大強度之位置，隨光源之溫度而變。反之如光譜為一連續光譜，則光源必為一固體液體或受高壓力之氣體，其最大輻射之位置，可以定光源之溫度。

是之謂光譜分析第一定律 (First law of spectrum analysis)，蓋由於物體分子受極熱，或在高壓力下時，電子(Electrons 或 Corpuscles)振動失其常態，互相干涉，以發出各種波長之結果。

關於最大輻射與溫度關係，依 Wien 氏定律，則為：

$$\lambda = \frac{0.289}{T}.$$

式中 λ 為波長，以公分量之， T 為絕對溫度 (Absolute temperature 由攝氏零下 273 度起計)，現由實測，知太陽最大輻射之波長 $\lambda = 4.70 \times 10^{-5}$ 公分，由是可計得日面溫度 $T = 6150^\circ$ 。

(2) 在低壓力下之氣體，其所呈者為輝線光譜。輝線彼此關係及位置，隨氣體之性質而變(如溫度，密度，及電與磁等性質)；反之，若光譜為輝線光譜，則此光源必為在壓力下之氣體，而氣體之組成，可由光譜中輝線彼此關係及位置而定。

是為光譜分析第二定律 (Second law of spectrum analysis)，蓋物體分子在低壓力時，電子處平常狀態，依一定周期振動，故能發出一定波長(隨分子之構造而變)之輻射，此一定波長之輻射，即所以生一定之輝線也。

(3) 白光由固體、液體或在高壓力下氣體發出，通過一溫度較低氣體時，則所呈者，雖為連續光譜，但有一部份顏色光，為其吸收，而成黑線，所吸收者，與比較冷氣體自身所發之色光相同，反之，若光譜為一連續光譜，但其中間以黑線，則光源必為固體、液體或處高壓力下之氣體，且通過較冷之氣體而來，此種較冷氣體之性質，可由此等黑線在光譜中互相關係，及位置而定。

是為光譜分析第三定律 (Third law of spectrum analysis). 此殆極明顯，光譜中黑線，乃被較冷氣體吸收而成，此類光譜故又稱為黑線或反變光譜 (Dark line or reversed spectrum), 在天文上最為重要，如上圖六十七，為兩種光譜之比較，上部為錯索之輝線光譜，下部為日反變光譜之一部，其位置兩兩相符。

85. 杜伯那效應

近代天文發展中，著驚人成績者，其為無限遠之天體運行，及宇宙旋動之大問題乎。然對此問題研究，能予以非常助力，使一切難關，逐漸攻破者，則以杜伯那效應 (Doppler effect) 為主焉。所謂杜伯那效應者，即為光譜分析第四定律 (Fourth law of spectrum analysis), 首發見者為杜伯那，而為之施於實驗者，則為費佐 (Fizeau)。此定律又常稱為杜伯那原理 (Doppler principle)，或稱杜伯那費佐定律 (Doppler-Fizeau law)：

若光源 (能發輝線光譜之輻射氣體，及以能發吸收光譜較冷氣體居間而成) 與受光者，互相為相對的接近或分離時，則光譜線向紫色或赤色方向變位，其變位之大小，與二者相對的接近或分離速度成比例。反之，若光譜線向紫色或赤色方面變位時，則光源與受光者必為相對的接近或分離，其相對的接近或分離速度，可以光譜線變位大小決定之。

此光譜線變位原因，由於光源與受光者相對運動，理由頗易解釋。蓋當光源靜止時，則發出之光波，各有一定間隔；若光源向受光者運動，則每一光波間隔即為縮小，即謂波長因此變小，故光譜線向紫色方面變位，同理，若光源離受光者而去，則波長增大，光譜線遂向赤色方面變移。

光譜線變位公式如下：

$$\Delta \lambda = \frac{U}{V} \lambda$$

式中 $\Delta \lambda$ 為變位量， λ 為問題中之波長， U 為光源與受光者之相對速度，及 V 為光速。設 U 為每秒 18.6 哩；則因光速 V 為每秒 186000 哩；及可見光譜中，最大波長大於最小波長二倍之故（見 82 節）。此變位之大小，約為可見光譜兩端間之長之萬分一。

實驗時，先將遠距離射來光源之光譜攝影，乃于實驗室內製定與此光源相同之光譜，則此人工製成光譜，其中線紋必各在其標準地位。而此遠處射來光源光譜線之變位，遂可由是比較用顯微鏡觀測而得。

當天體發來之光，可用分光儀驗其光譜線變位時，則此天體對於地球相對的向背速度，——是謂輻射速度 (Radial velocity)，即能極精確決定之，其差誤可小於每秒十分之一哩。

86. 反變層之化學成分

日反變層在光球之上，其化學成分如何，可于日光通過反變層時，發生反變光譜以研究之。太陽光譜中，黑線極多，用精良分光儀觀之，為數逾千。其中主要者以英文字母表之：如上 83 節所述 A, C, D, H 等是也。

在 1895 年時，Rowland 有日光譜波長表 (Preliminary tables of solar spectrum wave length) 發表，表中包含光譜線 14000 條。但後經長期研究，知此 14000 黑線中，有三分一由地球大氣 (Atmosphere) 吸收而致，如氧及水蒸氣黑線是，此種線謂之地上線 (Telluric lines)。其餘則由日中反變層及色球而來。

欲知中日原質，須將光譜黑線，與地上各種原質所發輝線，逐一比較，倘某黑線部位與某原質輝線一致，即知日中含有該原質矣。實驗時，在光縫下半部裝一比較稜鏡 (Comparison prism)，使日光反射而入進光筒。光縫上半部，以任一原質所成之火燭或電花，直接射入。如用電花以驗鐵質者，陰陽二極，皆以鐵質製成。裝

置既妥，乃在遠鏡前窺之，見光譜有上下二部，上部為鐵輝線譜，下部為日光譜，其情形與 67 圖同，如見輝線部位與多數黑線一致，則知太陽中有鐵原質焉。

由上方法以驗日中元素，可知有元素 38 種，無疑存於日面者，但 Rowland 線譜中，仍有 6000 線，尙未能解明其屬於何種物質者。

各種元素中所呈輝線，以鐵為最多，逾 2000 條，其次之逾 200 條，鈣 75 條，鈦 20 條，鈉 11 條，銅 2 條，最少為鉛，僅得 1 條。下表所列，即在中日發見之元素也：

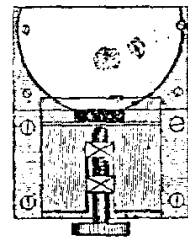
元 素	符 號	原 子 量	元 素	符 號	原 子 量
氫 Hydrogen	H	1	銅 Copper	Cu	64
氦 Helium	He	4	鋅 Zinc	Zn	65
鈹 Glucium	Be	9	鍺 Germanium	Ge	72
碳 Carbon	C	12	銻 Strontium	Sr	88
氧 Oxygen	O	16	鈦 Yttrium	Y	89
鈉 Sodium	Na	23	鈳 Zirconium	Zr	91
鎂 Magnesium	Mg	24	鈹 Niobium	Cb	93
鋁 Aluminum	Al	27	鉬 Molybdenum	Mo	96
矽 Silicon	Si	28	銲 Rhodium	Rh	103
鉀 Potassium	K	39	鈀 Palladium	Pd	107
鈣 Calcium	Ca	40	銀 Silver	Ag	108
鈾 Scandium	Sc	44	鎘 Cadmium	Cd	112
鈦 Titanium	Ti	48	錫 Tin	Sn	119
鈺 Vanadium	V	51	鋇 Barium	Ba	137
鉻 Chromium	Cr	52	釷 Lanthanum	La	139
錳 Manganese	Mn	55	鈾 Cerium	Ce	140
鐵 Iron	Fe	56	鐳 Neodymium	Nd	144
鎳 Nickel	Ni	59	鐳 Erbium	Er	168
鈷 Cobalt	Co	59	鉛 Lead	Pb	207

由上表而觀，重金屬如金，水銀及白金等，不存在于反變層，或因重力關係，沉聚于日球較深處，彼較輕元素，則能化氣上浮，達數百哩之上層也。

87. 分光儀中之色球，日珥與日冕

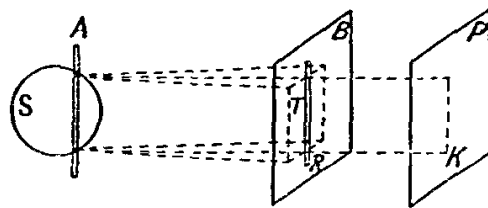
色球之光，永為光球所奪，不常能見之。卽在日全蝕時，窺以遠鏡，亦僅見數秒鐘。當 1868 年日蝕時，Janssen 用分光儀見日珥光譜中有極強氫線，彼以為可于晝間見之。於翌日果如所期，彼當時並將儀器改善，俾可見日珥之構成與形狀。此時數日之後，英倫 Lockyer，有同樣之發見，並認定日珥為物，由包圍日球之氫素層所展成，而此氫素層，卽為 Lockyer 當時所命為色球者。

日珥與色球平常所以不能見者，原由光球光度太強之故，設日像邊緣，能令其循切線之分光儀縫而通過(如圖六十九)，此處若有日珥存在，則可見有雙重光譜發生，其一為日光譜，其一為日珥本身，重疊此背景之上。此日珥光譜，卽由輝線而成，或若縫口畧為增闊，則由日珥各部落于光縫內之光像而成。且輝線之光度與光像與分光儀之分析力無關；若增大其展開力，只令其像彼此分離，而不能令其變弱。惟日光之連續光譜，通常現法郎德伐線，此光譜展開時，卽能變弱。



(圖六十九)

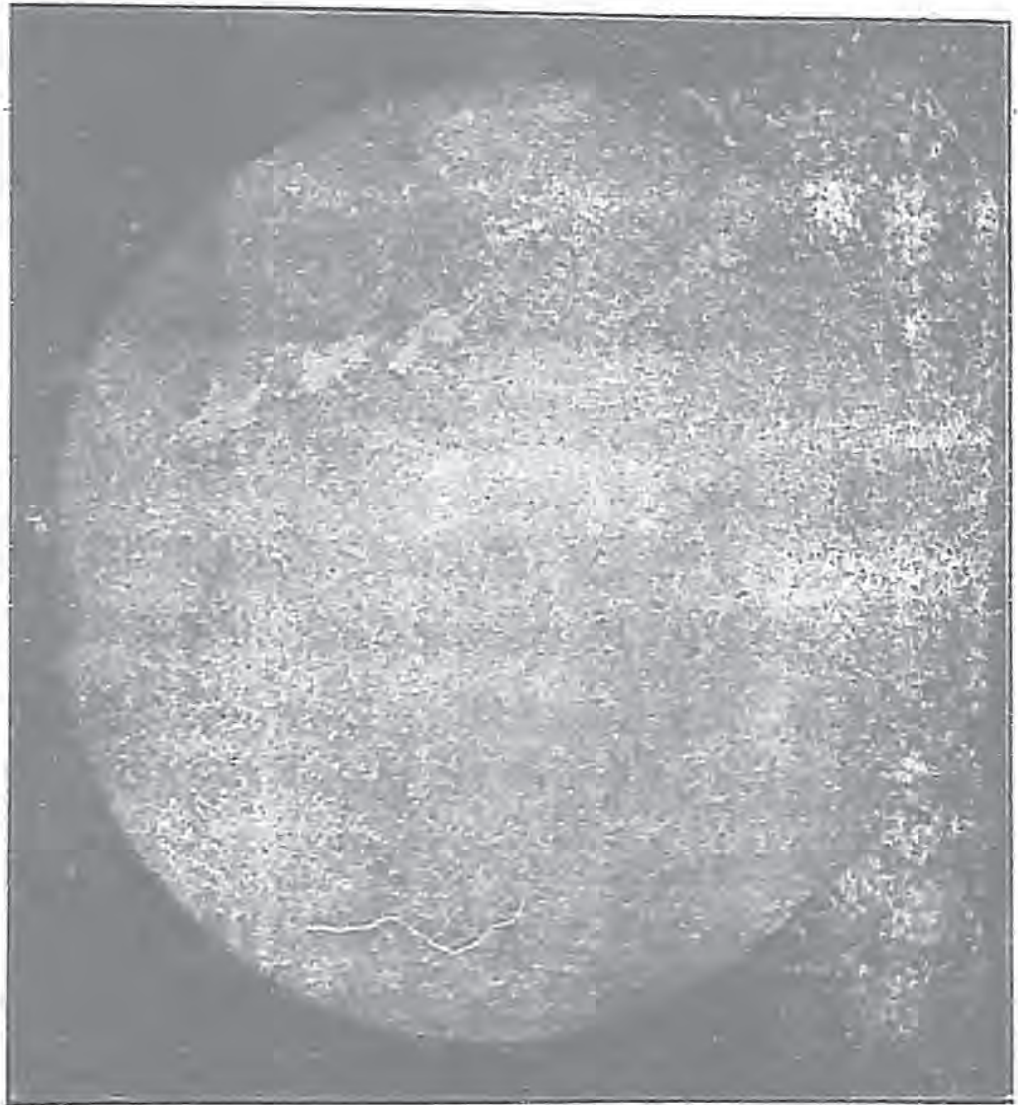
關於研究日珥或日球外部之重要儀器，謂之太陽分光攝影儀 (Spectroheliograph)，于 1890 年為 Hale 及 Deslandres 所發明(獨立的)。此儀器可取任意波長之光將日面攝影。其重要部份，乃在分光儀內攝影干片前置一第二光縫，此光縫只許選定之單色光通過，令干片感光。如圖七十。



(圖七十)

S 為在遠鏡內焦面之日像，A 為分光儀之光縫，T 為投于 B 幕上之光譜，R 為在 B 上第二光縫，只令單色光或某原質輝線通過，而投射 P 攝影干片上，實

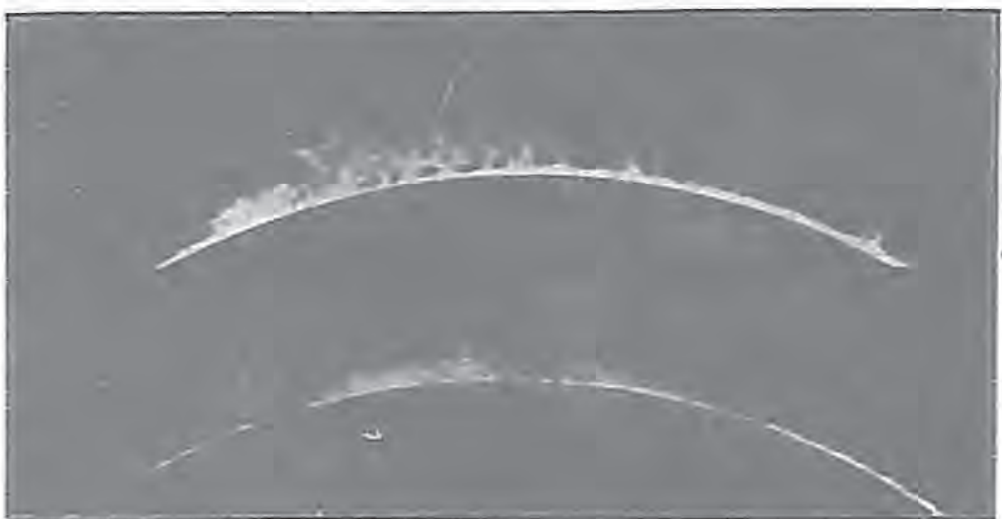
行攝影時，此光縫 A 移動橫過太陽 S，而 R 同時移動，令所有同類光線繼續投于干片各部上而成太陽某類線之影。如圖七十一，即由此種儀器，將鈣素 K 線 (K-line) 投射所攝之日像也。



(圖七十一)

欲攝影日珥，先將日之光面以黑片遮蓋，然後將第二光縫對準日珥光譜中之最強輝線，如是隨日邊緣運轉，即得某日全日珥之像，如圖七十二，為1910年三月十七(上部)及十八(下部)所攝得之日珥也。

日冕在分光儀中，有顯著之綠色輝線，其位置與



(圖七十二)

奇羅夫分光譜圖中 1474 號輝線相合，因疑此線為鐵質所生，但日冕在色球之上，色球之成分，以氫為主，鐵類重元素，不能存在于色球上之數百萬里。迨 1896 年日蝕時研究，乃知綠色輝線在 1474 號輝線附近，並不相合，且于紫色部及紫外部中，發現他種輝線，概為前所未見，故日冕中必有新原質在，此種原質，尤輕于氫，而未見其存在于地上者，今暫名之為氦 (Coronium) 焉。

習 題 VIII.

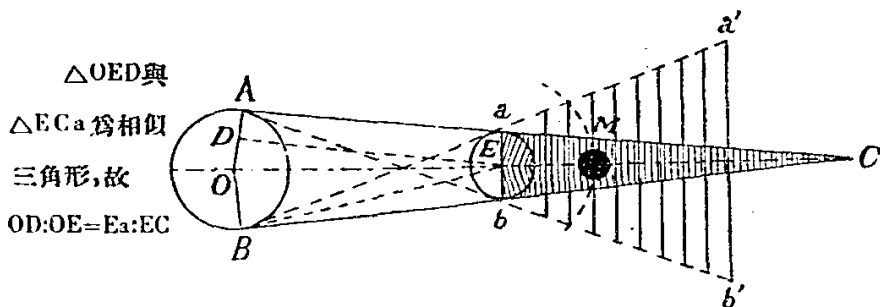
1. 若日球直徑增大一倍，而密度不變，日面重力為幾何？
2. 若日球漲大成一密度均勻之球體，其半徑等於地日之平均距離，其質量不變，則日面重力為幾何？
3. 若日之視差增十 $0''\cdot005$ ，問地日平均距離變化為幾何？又日之視直徑變化為幾何？
4. 問日球北極所指天球上黃經及黃緯各幾何？
5. 問在日球赤道上一斑點，與緯度三十度處斑點兩次同經（日面經度）之時間為若干日？
6. 試依據 80 節圖表，推究民國 28, 51 及 82 等年日中黑子盛衰之概況。
7. 某星自轉極速時，問對於其光譜線有何影響？
8. 設觀測者考驗日西邊及日東邊之光譜時，此兩邊之光譜線有何不同？又如何可以將地上線分別而出？
9. 日之視直徑平均為 $32'$ ，問日冕色球，及反變層大約有幾厚（以弧分表之）？

第九章 日月蝕

88. 地影及其大小

地繞日行，而月又繞地行，地在日與月間，月面被地影掩蔽者為月蝕 (Lunar eclipse)，月在地與日間，日面為月面掩蔽者為日蝕 (Solar eclipse)。然日月地三體皆為球狀；三者之中又以日為最大，故地及月因日光所成之影，當皆為圓錐狀。圓錐之軸，即為日地或日月二心之連結線。此圓錐影之長，隨與日之距離而變，今先述地影之計算如下：

如七十三圖，O 為日心，E 為地心，M 為月心。作日與地球之公共切線 AaC 及 BbC，則 aCb 為地影，因地為球狀之故，成圓錐形。由 E 作 ED 線與 AC 平行，則



(圖七十三)

OD 為日與地之半徑差，如命 R，與 r 為日與地球半徑，則 OD 等於 R-r，而 Ea=r，OE 為地日之距離，如命為 D，則

$$EC = D \frac{r}{R-r} = \frac{1}{108.1} D \quad (\text{因 } R = 109.1r)$$

在日地之平均距離時，D 為 92870000 哩，則 EC=859000 哩。但地軌為橢圓形，與日之距離時遠時近，故 EC 大小，隨地球軌道上地位不同，其變化達 14000 哩。且又因地球大氣之影響，影錐大小，亦畧有變更，因日光通過大氣時，光線向

內折，錐長較短，但若大氣下層極濃厚或有密雲時，則地球直徑為之增大，又可使錐長增加十哩，故欲精確計算地影之長短，須隨時加以各種修正。

地球之影可分兩部，在 aCb 圓錐內者，曰本影，在圓錐外者，曰半影如 a'a, C, 及 b'bC 是。但因地球大氣影響，常令本影之邊緣糊塗，不易與半影截然分開。

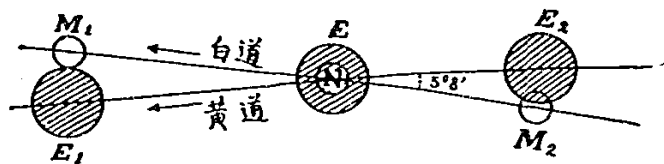
89. 月蝕

地影常在日之正反對方向，故月蝕必在望而入地影以內時，但白道與黃道平均交角為 $5^{\circ}8'$ ，此值大於月視半徑，與月處地影橫切面視半徑之和，故月蝕不常有，且一年中鮮有過二次者。

所謂月蝕者，約有兩種；曰全蝕 (Total eclipse)，曰偏蝕 (Partial eclipse)，前者月之全面入于地影內；後者僅月面一部份被地影掩蔽，如上七十三圖，EC 之長，平均為 859000 哩，而月與地平均距離為 239000 哩，故所除 CM 約 620000 哩，此處地影橫切圓面之平均半徑，應為 $\frac{620}{859}$ 倍於地之半徑；即 2858 哩，兩倍之得 5716 哩，為此處地影橫切圓面之直徑，約為月直徑之 $2\frac{2}{3}$ 倍。

如圖七十四，E

為地影之橫剖面，
M 為月，N 為黃白
二道交點，當 E 與
M 同時近 N 時，則



(圖七十四)

月蝕為全蝕，若距離稍遠，在白道與黃道距離，大於地影及月面視半徑之和，如 $M_1 E_1$ 處，則無蝕，在無蝕與全蝕之間，各地為偏蝕，如 $E_2 M_2$ 之關係是也。全蝕時間，由始至終，約達 100 分鐘，可由月之視運動，及地影橫切圓面大小以計算之，但由初虧 (First contact) 以至復圓 (Last contact) 時間，約兩小時，然亦隨月經過地影各部份不同而異。

圖上 NE_1 之長，謂之月蝕極限 (Lunar ecliptic limit)；即在月蝕可能範圍內，地影與交點最大距離也，此極限常隨白道之傾斜及地月之距離而變，故此極限，又有大極限 (Major limit) 與小極限 (Minor limit) 之別。

望時地影與交點之距超過大極限，則月蝕為不可能，若不及小極限，則月蝕為必不可免，大極限為 $12^{\circ}15'$ ，小極限為 $9^{\circ}30'$ 。地影通過大極限，需時約十三日，故一年有二次，每次經時二十六日，(即地在軌道上行 $2 \times 12^{\circ}15' = 24^{\circ}.5$)，有月蝕之可能，此二十六日內，最少有月蝕一次，多則二次，且黃白二道有升降二交點，各相隔 180° ，故此二次相隔時間，約六個月。

0. 月蝕之觀測

當月蝕時，月先入地之半影部，次入本影部，然由半影以入本影時，因地球大氣令日光屈折之故，交界處常呈紅銅色，故不能截然判別本影與半影之界線。

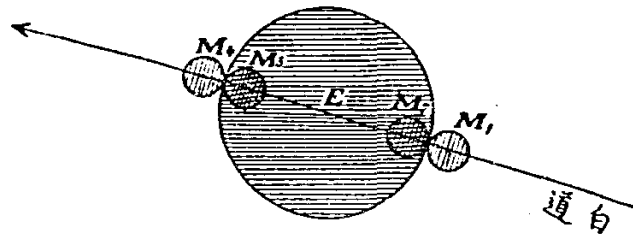
如圖七十五，為1932年3月22日，月蝕之攝影(美國 Chamberlain 天文台)，左圖與右圖攝影時間，相隔 45 分鐘，左圖地影邊界之模糊比右圖為甚。



(圖七十五)

月蝕觀測時(日蝕亦然),如此蝕為全蝕,則宜注意其四接觸點之時刻,如圖七十六, E 為地影,月循白道行,初與地影接觸者 M_1 , 為第一接觸點,即名初虧;次完全入地影以後 M_2 , 為第二接觸點(Second contact);將離地影時 M_3 , 為第三接觸點(Third contact);

惟在偏蝕時,則無此第二與第三接觸點,如是須記取其最大蝕量 (Magnitude of



(圖七十六)

the Eclipse 即以月直徑為一,被蝕部份之分數)之時刻,此時之蝕又名曰蝕甚。未完全離開地影 M_4 , 為第四接觸點,又曰最後接觸點,或復圓。如是之四接觸點之時刻,必須詳為記載,以備研究之用。

又月蝕觀測所發生之意義,雖不及日蝕之重要,然亦有兩點所宜注意者:

- (1) 觀測月掩星 (Occultation)——因平時月光太亮,除月蝕時間外,在月旁恆星,不易觀測,但在月蝕時,掩星極為分明,故由星被掩精確時間,可以計算月之大小,視差及月行精確之位置。
- (2) 當月為各種蝕時,可以研究月面各部輻射熱,以計算月面之溫度及熱之吸收率。

91. 月影之大小

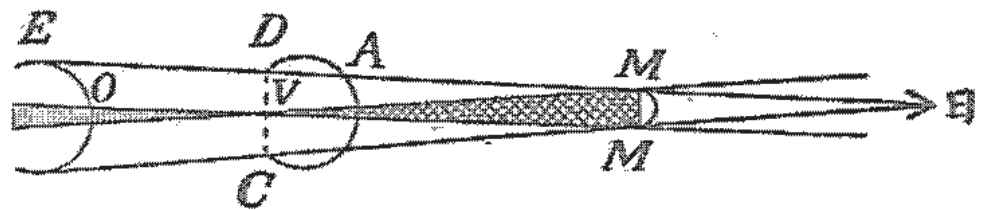
日蝕者月掩日之謂,亦即觀測者在月影內之時;故月影之長短,及其與地面相交時切口之大小,與研究日蝕,有絕大關係。月影之求法,亦與上月蝕求地影法同。現時吾人已知月影之長,約為月與日平均距離四百分之一,在新月時平均為 232100 哩,但每日之變化達 4000 哩;此數變化,介于 228200 與 236000 哩之間。

因月影長之平均數,小於月與地距之平均數 (238900 哩),故普通言之,月之本影,不能達到地面。但因白道離心率頗大之故,月與地距離,多小於此平均數。

月與地最近時，與地心距只 221700 哩，即與地面距為 217740 哩（以地平均半徑 3960 哩計），若在此時間，而月影又為最長時（即地球行至近日點時），則月影之尖，可深入地面 18260 哩，地面正割影錐之切口，直徑約達 167 哩，是為最大切口。若斜割時，則切口不為圓形，而為卵形，其最大軸直徑，應比 167 哩大。

因月與地心距最大為 252460 哩，即與地面距為 248440 哩，而月影之長，則為 228200 哩，故地與月影之關係，普通如下七十七圖，M 為月，E 為地，月影之錐尖

為 V，此點與地面距離，當為 20300 哩，地面與月影相交于 O，此處切口之直



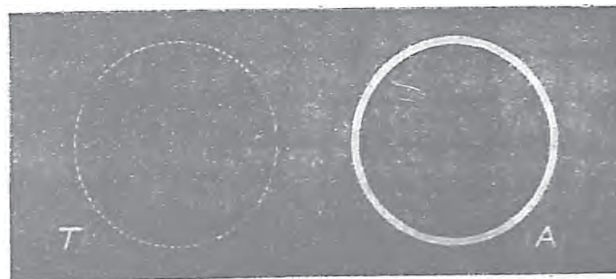
(圖七十七)

徑達 192 哩，當月影斜射于地球邊緣時，則切口之濶 230 哩。

92. 日蝕種類

當觀測者，介於月影錐尖與月之間時，即在 VM 之間，則日蝕為全蝕；若觀測者在月影錐尖之對方如 VO 處，則所見月面小于日面，是為環蝕(Annular eclipse)，即日面有一外環，不為月掩也。如圖七十八，(T) 為全蝕，(A) 為環蝕之像。依前述之理，此環蝕應比

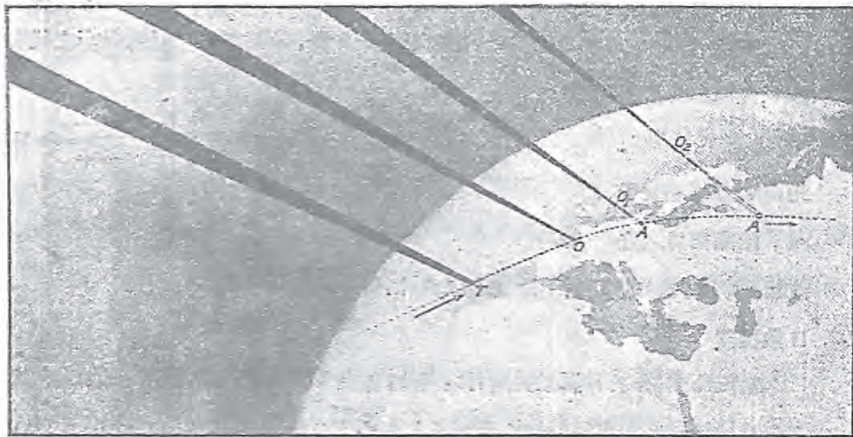
全蝕為常見。若在本影以外而在半影(MDCM')以內者，則所見為偏蝕。此半影在 C,D 處之大，約兩



(圖七十八)

倍於月之直徑。全蝕或環蝕時，本影在地面所割之帶，不過百餘哩，而偏蝕時則，半影所割者，達 4000 哩。故地球上居民，見偏蝕多而見全蝕少。

下圖七十九，為 1912 年四月十七之日蝕圖。月影射于地上，因地自轉及月公轉之故，循虛線軌跡而行。在大西洋 T 處為全蝕，直至 O 處，為全蝕極限終點。此點為月影錐尖適刺地面處。O 點以後，錐尖與地面漸遠，如是在月影下 A 點所見者，均為環蝕焉。



(圖七十九)

93. 日蝕時間之長

若地不能自轉，則月影在地面移動速度，每時平均 2100 哩，但地能自轉，且方向相同，在赤道處言之，其速每時約 1040 哩。若觀測者在赤道上，月之遠為平均距離，且當蝕時月近天頂，則月影經過之速，每時 $2100 - 1040 = 1060$ 哩，即每秒 1600 呎。在高緯度處，自轉之速度較小，影行之速度較大，若當月影斜射，如日出或日落時，則月在地面移動之速極大，每時可達 4000 或 5000 哩，蝕之現象轉瞬即過。

日全蝕而觀測者又在赤道附近時，則情形最佳。全蝕時間，可亘 7 分 40 秒鐘。在緯度 45 度處，值為 6 1/2 分鐘。又月視直徑減日視直徑之差，最大時為 1' 19"。若環蝕而又在赤道處觀測，則最久時可亘 12 分 24 秒（因月之運行將近遠地點，其行較緩）。環蝕最大時為 1' 35"。

日蝕時間之長，若以全地球言，則畧大于四小時，下圖八十；爲1905年八月三十日，地面見日蝕之軌線，圖中虛線範圍內，所見者爲偏蝕，居中黑線，爲見全蝕之地帶，乃由11時50分起，至14時43分止者。



(圖八十)

94. 日蝕現象及觀測

日偏蝕現象，令不蝕之部分，成蛾眉月形，對於觀測上，不甚重要。如圖八十一，爲日偏蝕逐漸侵蝕之現象。自有而左，日餘部份，漸成蛾眉月形。惟日全蝕，則對於觀測，有極重要價值。當全蝕時，如日冕，色球，及日珥等，皆可窺見；此外如較大之行星，及一二或三等恆星，亦如夜間，肉眼可見。若蝕之時間甚短，即謂月影之橫剖面甚小。

則週圍空氣反來之光甚強。如此日蝕，地面尙不覺其黑，平常手錶，尙



(圖八十一)

可見其為幾時幾分；若蝕時甚長，如五分或六分鐘，則覺甚黑，有時須用燈火，方可辨物。觀測日蝕，亦有四接觸點，其意義與月蝕觀測中所述同。

至于日蝕觀測，足以供科學研究者頗多，今述其重要者如下：

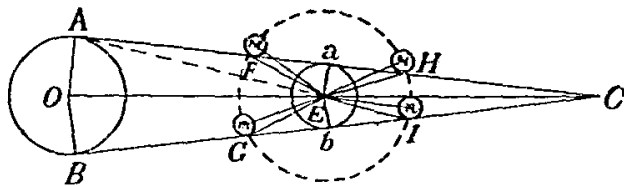
- (1) 決定日與月之相對位置，此種觀測，應注意其四接觸點之時刻，月影在地上之界線，及將其偏蝕面攝影。
- (2) 將近太陽處之天空攝影，以求能否在水星內有行星之發現，並觀察星光經過太陽邊時之曲折，以供普通相對論之研究。
- (3) 直接將日冕及日珥攝影。
- (4) 反逆射，光球及日冕之分光鏡的觀測。
- (5) 用量光器測量日冕及偏蝕面之光強。
- (6) 用熱量計以測量日冕之輻射熱。
- (7) 其餘當日蝕漸深時月影帶下各種氣象要素之變化，磁石之影響，及無線電浪之影響等，皆宜觀測。

95. 日月蝕極限之計算

地球上居民，欲見日月蝕，必須月行入含日與地之圓錐內，如圖八十二之 AaB 及 aCb ，此圓錐之正切面，在 F, G 即月在日地之間處，直徑約 10000 哩；在 H, I 處，前已言之為 5716 哩。

圖中 O 為日， E 為地， ACB 為外切日與地之圓錐，今先觀(1)與影圓錐外切之月 M ；若日起偏蝕現象，必待 M 侵入影圓錐內，如是朔時月之黃緯，必須小於 $\angle MEO$ 。(2) 欲見日全蝕現象，必月在影圓錐之內，如圖中 m ；如是朔時月之黃緯，必須小於 $\angle mEO$ 。(3)

留時月侵入影圓錐 N ，始有月偏蝕；其時月之黃緯，不得過於 $\angle NEC$ 。



(圖八十二)

(4) 月之全蝕，必月全體沒入地影之裏如 n ；望時月之黃緯，必小於 $\angle nEC$ 。

今苟以 S 表日之視角半徑， s 表月之視角半徑， P 表日之地平視差， p 表月之地平視差，日月蝕可見與否之條件，換言之，即期望時月之黃緯最大限度，可以此四量表明之，其計算式如下：

$$\begin{aligned}\angle MEO &= \angle AEO + \angle MEF + \angle FEA \\ &= S + s + \angle FEA \\ &= S + s + \angle EFa - \angle EAa \\ &= S + s + p - P.\end{aligned}$$

做此 $\angle mEO = S - s + p - P$ 。

$$\begin{aligned}\angle NEC &= \angle NEH + \angle HEC = s + \angle HEC \\ &= s + \angle AHE - \angle aCE = s + P - \angle aCE \\ &= s + p - (\angle AEO - \angle EAC) \\ &= s + p - S + P.\end{aligned}$$

做此 $\angle nEC = -S - s + p + P$ 。

故在朔月之黃緯小於 $p + s + (S - P)$ 始有日偏蝕，

在望月之黃緯小於 $p + s - (S - P)$ 始有月偏蝕，

在朔月之黃緯小於 $p - s + (S - P)$ 始有日全蝕，

在望月之黃緯小於 $p - s - (S - p)$ 始有月全蝕，

因日月離地遠近有變遷，日月之視角半徑及視差，亦與時移易，故日月蝕黃緯之最大限度亦不能有一定之值，今將各量高低之限，鈔錄於此，以示變更之大概。

	最高值	最低值	平均值
日之視角半徑 = S	16'18"	15'46"	15'59"·6
月之視角半徑 = s	16'46"	14'43"	15'32"·6
日之地平視差 = P	8"·9	8"·7	8"·8
月之地平視差 = p	61'28"	53'55"	57'2"·7
白道之傾角 = i	5°19'	4°57'	5°8'43"

此乃就朔望時月之黃緯，以推算日月蝕者，然以朔望時月之黃經與交點處經度差，亦可作推算日月蝕否之標準，於計算上且較為利便。

蓋若知白道與黃道之交角，及日蝕時日與月視半徑之和，即可以計算蝕限，如是所計得之極限，即為日蝕時月黃經，與交點經度相差之最高限度也。用上表所列適宜之數值，日月蝕最高與最低限可計算而得：

	高蝕限	低蝕限
日偏蝕	18°31'	15°21'
月偏蝕	12°15'	9°30'
日全蝕	11°50'	9°55'
月全蝕	6°0'	3°45'

上表之意義，可就日偏蝕之高低二限說明之，苟在朔月與交點經度之差，大於 18°31' 者，必無日蝕之發生，若其差小於 15°21'，則日蝕不可免。若月與交點經度差，適在高低二限之內，則日之蝕或有或無，不能遽行斷定，必引用該時日月半徑視差及傾角特有之數值，以算出日蝕之限，以之與月朔及交點經度之差相比較，則日蝕發生與否之問題，可立行解決。凡此應用之數值，均可從各國頒行之天文曆書查出，如美之 American Ephemeris and Nautical Almanac；德之 Berliner Astronomisch Jahrbuch；法之 Connaissance des Temps，等是也。此等書均在兩三年前，預為算出，刊行發售。吾人欲知明後年日月行星等運行各要素如何，日月蝕情狀如何，皆可于一二年前，預先查知。

96. 一年內日月蝕之次數

一年內日月蝕之最少者為兩次，皆為日蝕；最多者為七次，日蝕五次，月蝕二次，或日蝕四次，月蝕三次。最普通者，則為一年四次，日月蝕各二。發生日月蝕，在一年內，常在兩個相對時期，此兩時期，或謂之蝕月 (Eclipse month)，即日行近黃白二道交點時也。此交點在黃道上常向西移動，19 年一週。太陽由一交點起，再回至原交點時，僅 346.62 日，此時間之長，謂之蝕年 (Eclipse year)。

在一個蝕年內，只有月蝕兩次，因月蝕最大限之兩倍 ($2 \times 12^\circ 15'$)，小于一朔望月內日在黃道上移動之距離 $29^\circ 6'$ 。故太陽在連續兩次滿月時，不能兩次皆與交點相近。

在平常一年內 ($365\frac{1}{4}$ 日)，可有月蝕三次，因若太陽在某年之一月經黃白道一交點時，則至十二月必再經一次，其他一箇交點，則在六月杪經過，故近此三交點時，即有三個月蝕，如 1898 年及 1917 年是也。

至于日蝕，因其極限比月蝕為大，故每次日經交點時，最少有日蝕一次。此時為月朔；或有兩次，一在月朔前，一在月朔後，如是一蝕年可有日蝕四次。當同一交點而有日蝕兩次時，則必有全月蝕在二者間之滿月時發生。在平常年內，若第一個日蝕在一月發生，則是年可有日蝕五次，連月蝕二次，共計蝕有七次，如 1917 年及 1935 年是也。

由上言之，一年內日月蝕之次數，約為三與二之比，但日蝕之能見者，僅在日蝕帶內，其他部份不能見，而月蝕之可見者愈地球之半。故在一地域言之，見月蝕之數遠多於日蝕，其次數不只 3 與 2 之比。因日蝕帶在地面甚窄，其平均值僅得 60 或 70 哩。由歷來日蝕統計言之，一地域內，每 360 年始有全日蝕一次。

97. 沙羅周期

上古 Chaldean 民族 (希臘歷史家稱為巴比倫 Babylone) 對於日月蝕觀測，已知其發生有一定周期，此周期為 18 年 $11\frac{1}{3}$ 日，當時稱為沙羅 (Saros) 周期。

此周期即蝕年，朔望月，近點月 (Anomalistic month 經近地點兩次之時間)，及交點月四者最小公倍數也，今將此四種數巧合之關係，分列如次：

$$19 \text{ 蝕年} = 19 \times 346.62003 = 6585.7806 \text{ 日}$$

$$223 \text{ 朔望月} = 223 \times 29.530588 = 6585.3211 \text{ 日}$$

$$247 \text{ 交點月} = 247 \times 27.212220 = 6585.3572 \text{ 日}$$

$$239 \text{ 近點月} = 239 \times 27.554550 = 6585.5374 \text{ 日}$$

設今有日蝕於此，十八年十一日後（設其間有五閏年，則等于十八年十日），太陽將復返黃白二道交點，以其間適為十九餘年，其時將復為新月（朔），且其間適容223朔望月，故月亦必返于黃白二道之交點，同時中間又正歷247個餘月。故三者必復處于一直線上，而日蝕再見矣。

又一周期之長，畧等于239個近點月，則十八年前，日地之距，今次相差亦至有限，是以前後兩次日蝕，射地月影之大小，無大變化，日蝕情形。亦甚類似。惟相隔一周期前後所見之兩日蝕，則非絕對一致者，因

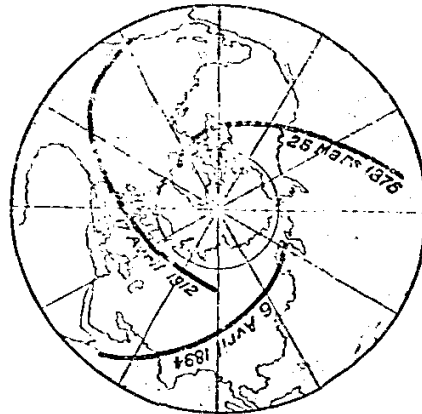
(1) 起于19個餘年與223個朔望月，有0.4595日之差。在此時間中，日于黃道上可行 $28'$ 。苟上次月朔時，日正在交點，則十八年十一日後，月朔將見于交點西 $28'$ ，再隔一周期之久，月朔時日之方位將愈西移，若日蝕見于昇交點，月經黃道自南越北，每隔一周期後，月之方位，依次南退。故日蝕之見于昇交點者，月影先過地球之北極，每一周期之後，月蝕再見，而月影南移，直至朔時日月黃經，行出日蝕極限外，然後月影離南極而去，不復接觸地球。此一周期內可見日蝕之總數，約六十八以至七十五次，其中偏蝕二十五次，環蝕二十七次，全蝕十八次。

苟日蝕發生于黃白二道之降交點，月行經此，乃自黃道之北而向南，由每一周期日月經度西移之結果，月之方位，逐漸向北，如是則日蝕當初見于南極，漸移向北，至月影離開北極，一列周期，始行告終。

(2) 每一周期日蝕可見之地點，不特南北有移易，由東向西亦有一定之行動。因一周期內223個朔望月，合 $6585 \cdot 3211$ 日；今有日蝕，在地球甲處見于正午，一周後，日蝕再見時，地球共自轉 $6585 \cdot 3211$ 周，此次能於正午見日蝕之地，必在甲之西約八小時，即三分之一周。換言之，一周後能於正午見日蝕之地點，須在三周期後，地方自轉一周而復于正午可見。但每一周期後，月影有南北之邊移，日蝕因此不獲復返其出發點。如是又非再經數百年後，俟月影再來，不復可見日蝕矣。依

計算結果，若日蝕時月影射地之直徑，平均為一百哩，則地上指定某地可見日蝕之機會，每三百六十年一次。

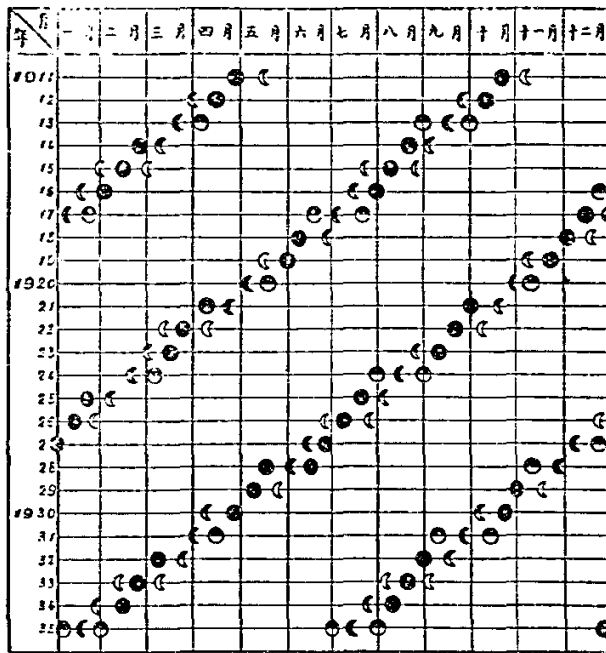
如圖八十三，為 1876 年三月，1894 年四月及 1912 年四月三次日蝕經過地點。此三次日蝕相隔時間，適為一沙羅周期。每次見蝕地點，約隔地球經度 120°。



(圖八十三)

至關於月蝕，亦隨此周期有類似

之循環，因日蝕前後，必極近黃白二道交點，而月蝕最大極限，可歷二十六日。故通常日蝕前後，多有月蝕伴之而生，今將 1911 年至 1935 年，日月蝕循環發生關係，用圖表之；則雖數十年後日月蝕之發生，亦不難按圖而得其概矣：(參攷自然科學第一卷第一期 69 頁)



● 日全蝕或環蝕 ○ 日偏蝕
 ☾ 月全蝕 ☽ 月偏蝕 ☾ 月半影蝕
 (圖八十四)

習 題 IX.

1. 問何故每一朔望月不皆有月蝕發生,及何故見月蝕次數多于日蝕?
2. 若今年八月有月蝕發生,問明年六月及十月有無月蝕?並試言其有無之故。
3. 問月蝕時月能否掩金星或木星?試言其可能或不可能之故。
4. 問子夜時能否見日全蝕?及地方時為正午,能否見月蝕?
5. 問日全蝕或月蝕時,在月球上遠望地球其外觀為何如?
6. 問一個月內有無兩次日蝕之可能?並試言其可否之故,及蝕之種類。
7. 試畧研究月之半影蝕,及該處地球半影之大小。
8. 若連續兩次月蝕間夾一日蝕,則此種日月蝕為何種蝕,並說明其故。
9. 問民國三十年,日蝕幾次,月蝕幾次,及其蝕之情形如何?
10. 由民國二十一年起至三十年止,共有日月蝕多少次,試分類而統計之。

第十章 天體力學大意

93. 中心力支配之運動

宇宙間一切運動，均可謂受力之支配，其力之性質，則各隨環境而異。然支配天體 (Heavenly bodies) 運動者，則以中心力 (Central force) 為主焉。所謂中心力者，作用於質點而常通過一定點之力也，此定點名曰力心 (Center of force)。力之方向，或正或負，要視力之性質——斥力或吸力——而異。一切天體之體質雖大，但其受力之點，概可以其重心 (Center of gravitation) 為代表。故實際天體無論若何龐大，皆可以一質點受中心力支配運動視之。依奈端法則，凡質點受中心力支配之運動，而此力又常向力心時，則軌跡為一曲線，此曲線以凹部向力心，並必在通過此力心之平面上。此外吾人更已證明，動體與力心連結線之動半徑 (Radius Vector)，在相等時間內，劃相等之面積，此定律為刻白爾 (John Kepler) 發明，謂之等面積定律 (Law of equal areas)，是皆中心力支配運動中最重要之性質也，後再詳之。

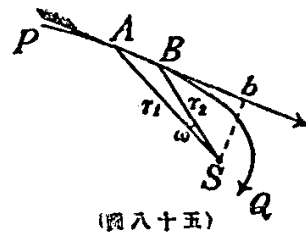
凡物體在單位時間(如一秒鐘)內運動距離之長，謂之線速度 (Linear Velocity)，對於中心所劃角度之大小，謂之角速度 (Angular Velocity)，動半徑所劃面積之大小，謂之面速度 (Area Velocity)。如圖八十五，AB 為物體在單位時間內所劃之弧長，謂之線速度，以 V 表之。ASB 所合角為角速度，以 W 表之。ASB 所含面積為面速度，以 C 表之。依刻白爾定律，此 C 為一常數 (Constant)。

如命 AB 垂線之長 Sb = X, 則

面積 $C = \frac{1}{2} AB \cdot x = \frac{1}{2} VX,$

或 $C = \frac{1}{2} r_1 \cdot r_2 \sin w,$

故 $V = \frac{2C}{X} \dots\dots\dots(a)$



(圖八十五)

或 $\sin w = \frac{2C}{r_1 r_2} \dots \dots \dots (b)$

但在短時間內, w 為角極小, 同時 r_1 與 r_2 相差亦極微, 故

(b) 式可寫為 $w = \frac{2C}{r^2}$ 。

總言之:

- (1) 面速度無論在軌跡之何部, 恒為常數(刻卜爾定律)
- (2) 線速度與由力心至運動方向之距離成反比例 (a)
- (3) 角速度與動半徑之自乘成反比例 (b)

再由 (2) 與 (3) 言之, 若由力心至運動方向之距離及動半徑等皆為常數時, 則此種運動為圓周運動 (Circular motion). 由是可見, 若運動為圓周運動時, 則線速度與角速度皆為常數. 此時之中心力若命為 f , 則依圓周運動性質, 加速度為 $\frac{V^2}{r}$, 可得 $f = m \times \frac{V^2}{r}$,

又圓周運動時, $V = \frac{2\pi r}{t}$, t 為圓周運動一周之時間, 故上式可寫為

$$f = 4\pi^2 m \frac{r}{t^2}$$

由是可見圓周運動時, 力之大小, 與一周時間長之平方成反比, 與半徑之長成正比. 此力之形式, 可寫為 $f = kr$, 與下述奈端力之法則不同, 學者宜注意之. 但在太陽系內大行星運動言, 其軌跡多與圓形相近, 故實用上概畧計算時, 常以圓周運動視之。

99. 刻卜爾定律

刻卜爾者, 德之天算大家也, 生于 1571 年十二月二十七日, 總合第谷勃拉 (Tycho Brahe, 生于 1546 年 12 月 13 日) 歷年行星觀測之結果, 用數學演算, 發見其運動定律有三, 數百年來, 凡治天算者, 皆奉為金科玉律:

- (1) 行星之軌跡皆為橢圓, 太陽居其焦點之一。

(2) 行星以其動半徑，在相等時間內劃相等面積。

(3) 行星運動周期平方，與其平均日距立方之比為一常數。

上述第一定律，可如前述地球對於太陽運動軌跡而得其概念。第二定律，即上述之等面積定律。第三定律，又曰調和定律 (Harmonic law)，如命 a_1 及 a_2 為任意二行星與日平均距， t_1 及 t_2 為二者之繞日周期，則第三定律可用下式表之，

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

今為明瞭第三定律起見，更舉數例如次：

(1) 某行星對日之平均距為單位距一百倍，求此行星之運動周期。

命所求周期為 X 年，則

$$1^3 : 100^3 = 1^2 : X^2$$

$$\therefore X = \sqrt{100^3} = 1000 \text{ 年}$$

(2) 某行星運動周期為 125 年，求與日之距離。

命 X 為所求距離，則

$$1^2 : 125^2 = 1^3 : X^3$$

$$\therefore X = \sqrt[3]{125^2} = 25 \text{ 單位距。}$$

(3) 若某衛星切近地面而繞地旋轉，求其旋轉周期。

命 X 為所求周期，並以地半徑及月行周期為標準，則

$$(\text{月距})^3 : (\text{衛星距})^3 = (27.3 \text{ 日})^2 : X^2$$

$$\text{即 } 60^3 : 1^3 = 27.3^2 : X^2$$

$$\therefore x = \frac{27.3}{\sqrt{60^3}} = 1 \text{ 時 } 24 \text{ 分。}$$

100. 奈端定律

奈端為英之天算大家，近世天文學力學物理學之先導者也，生于 1642 年十二月二十五日(或謂 1643 年一月四日)，其發見定律之最重要有影響于天文學及

力學者，爲萬有引力定律 (Law of Universal gravitation) 。此定律能支配一切天體之運行，並能解釋刻白爾定律之所以然。然由數學推究，亦可由刻白爾定律引導而出。其定律曰：

凡物體一切質點，彼此間皆有吸力互相吸引。此吸力之大小，與質點之質量相乘成正比，與兩質點之距離自乘成反比。

如命 M 及 m 爲二體之質量， r 爲二體重心距離，則此定律可以次式表之：

$$f = G \frac{Mm}{r^2}$$

G 謂之引力常數 (Constant of gravitation)，即謂無論對於何種物體，其值常不變，如以 c. g. s. 單位系統言，其值爲 6.673×10^{-8} 。即謂兩質點之質量爲一瓦，彼此距離爲一公分，則彼此間所生引力爲 6.673×10^{-3} 達因 (dyne)，或一千五百萬分之一達因。

當 1665 年奈端發明此萬有引力定律後，即應用之以試驗月之運行。因月與地距離，約地半徑之六十倍。若其定律爲不錯，則月之運行，每秒鐘應向地球墮落 $\frac{1}{60^2} \times 193$ 吋 (即地面每秒鐘物體墮落之距離)，即 0.0535 吋。

依中心力法則，並假定月之軌跡爲圓形，半徑爲 ρ ，則月之運動加速度

$$a = \frac{V^2}{\rho} = 4\pi^2 \frac{\rho}{t^2}$$

但依墮體運動公式，如初速爲零，則此體一秒鐘向地墮落數，僅爲此值之一半，即 $2\pi^2 \frac{\rho}{t^2}$ 。

若以各真值代入， $\rho = 238840$ 哩變爲吋， t 爲恆星月之日數變爲秒，則 $2\pi^2 \frac{\rho}{t^2} = 0.0534$ 吋，此數與奈端定律推算者，僅差萬分之一吋，亦可見萬有引力定律之價值矣。

此引力定律，既能解釋各行星及地月運行之故，倘根據此定律由數學之引伸，

更可以推求動體運動之種類。依研究結果，知凡物質受此力法則而繞力心運動者，其軌跡必為錐線 (Conic)，此錐線之為橢圓 (Ellipse)，拋物線 (Parabola)，或雙曲線 (Hyperbola)，要視其最初條件而定，此之謂奈端反逆問題 (Inverse Problem)。

近百年來，更有研究奈端定律；是否能通諸太陽系以外極遠之恆星者，是謂之 Bertrand 問題。據由數學演算結果，知凡一星體圍繞他一星體旋轉，而其軌跡只須為一閉曲線時，則此動體所受力之法則，或為 $G \frac{Mm}{r^2}$ ，或為 $GMmr$ 云。此第一法則即為奈端定律，而第二法則，即上節所述圓周運動時力之法則，吾人若假設吸引力之大，在無窮遠處為零，則所存力之性質僅奈端引力法則而已。此奈端定律可稱為宇宙引力定律也。

101. 二體問題

有二體存在，即有引力發生於其間；此引力所及之點，即為二體之重心。故二體之運動，可視全體質量聚於重心一點，而研究其兩重心點之運動。然此兩重心之間，同時又有二體公共重心之存在。據研究結果，二體運動時，此公共重心之運動，為直線且等速運動，與二體間引力大小無關。

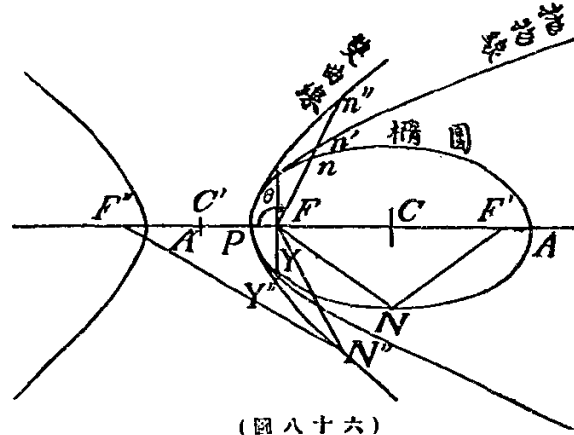
此公共重心運動時，同時此二體亦繞此重心而運動。故對公共重心言，二體所劃之軌跡，其形相似，而大小則與二體質量成反比，與速度之大小成正比。今若有大小二體，其質量為 M 與 m ，彼此之距離為 r 時，則由一般運動方程式之推演，可得二者之相對速度 (Relative Velocity)，為

$$V^2 = G(M+m) \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) \dots\dots\dots (c)$$

a 為一常數，在此處乃表軌跡之半長軸，此方程式謂之德力方程式 (Equation of energy)。以下所述各種研究，多由此式推演而得，所謂相對速度者，假定二體之一為力心，他一體對其運動所生之速度也。依上節奈端反逆問題，知此二體相對運動之軌跡為一錐線，此錐線之性質如何，可依 a 量之性質而定。

如圖八十六，其中閉口曲線為橢圓，曲線上任意一點 N 與二焦 (Focus) F, F' 距離之和，常等於橢圓之長徑，即 $FN + F'N = PA = 2a$ 。

雙曲線不為閉口曲線，其 PN'' 及 Pn'' 二枝，直達無窮遠，愈遠愈與直線相近，此二直線相交，為一定角。在雙曲線上任意一點 N'' 與二焦點 F, F'' 距離之差，常等于雙曲線之長徑，即 $F''N'' - FN'' = PA'$ ，但雙



(圖八十六)

曲線其他一焦點 F'' 常與橢圓他一焦點在反對方向。

拋物線亦如雙曲線，為一開口曲線，其二枝雖亦漸趨分離，但愈遠則愈與平行線相近。此種曲線只有一真實焦點，其他一焦點，則位于無窮遠。故拋物線亦可視之為有一焦點在無窮遠處之橢圓，其長徑為無窮大。

由是可見，在拋物線運動時， a 為無窮大， $\frac{1}{a} = 0$ 。此時若命其相對速度為 U ，則 U 謂之拋物線速度 (Parabolic velocity)。由 (c) 式可得

$$U^2 = 2G \times \frac{M+m}{r} \dots \dots \dots (d)$$

今將 (d) 減 (c)，則得

$$U^2 - V^2 = \frac{G(m+M)}{a}$$

可見若 $V > U$ ，則 a 為負數，其軌跡即為雙曲線。若 $V < U$ ，

則 a 為正數，軌跡即為橢圓。

至定二體相對運動之軌跡，亦可以錐線之偏心率 (Eccentricity) 決定，如命此

偏心率為 e ，則在橢圓中 $e \left(= \frac{FC}{PC} \right) < 1$ ；雙曲線 $e \left(= \frac{FC'}{PC'} \right) > 1$ ；

拋物線 $e = 1$ ；在圓周 $e = 0$ 。

由是錐線方程式又可以極座標表之： $r = \frac{p}{1 + e \cos \theta}$ 。式中 r 為曲線上一點 n 與焦點距離， $\theta = PFn$ ，常稱為真近點角(True anomaly)， p 為 FY 距離，名曰錐線之半通徑 (Semi Parameter)。曲線之性質如何，全視 e 值而定。

102. 拋物線速度——逃速度

拋物線為一開口曲線，物質循此曲線行，可一去不復返。此拋物線速度一量，可以判斷物體投射時有無回復原位之可能。故拋物線速度，又常稱為逃速度，(Velocity of escape)。即謂物體投射時，其速度僅達到拋物線速度，即不能回復原位矣。

計算逃速度之大小，如畧去動體之弱小質量不計時，更為容易。如令 M 為地球質量， r 為地球半徑，動體為近地面之一石，則石之質量對於 M 為量極微小，可以畧去。今知 $M = 5.97 \times 10^{27}$ 瓦， $r = 6.37 \times 10^8$ 公分， $G = 6.67 \times 10^{-8}$ ，則 $U = 1.13 \times 10^6$ 公分/秒，或 11.3 公里/秒，此即地面之逃速度也。

在太陽表面時， M 為地之 332000 倍， r 為 109 倍，則 $U = \sqrt{332000/109} = 55.2$ 倍，即 622 公里/秒。同理在月面時， $U = 2.4$ 公里/秒，或 8000 呎/秒。故若在附近月面拋射物體，其速度大於此數，則物體永不回返，即永離月球而去。然則月面空氣之不能存在，此其故歟？

又若將上 V, U 二式內之 $G(M+m)$ 消去，則

$$V^2 = U^2 \left(1 - \frac{r}{2a}\right), \quad a = \frac{r}{2} \times \frac{U^2}{U^2 - V^2}$$

由 a 式觀之，可見 $V < U$ ，則 $a > 0$ 軌跡為橢圓
 $V > U$ ，則 $a < 0$ ” 雙曲線
 $V = U$ ，則 $a \rightarrow \infty$ ” 拋物線

如軌跡為圓形，則 $a = r$ ，即謂須 $V^2 = \frac{1}{2}U^2$ 是圓周運動速度為拋物線速度之

$\sqrt{\frac{1}{2}}$ 倍也。在地與日之距離，此圓周運動速度為 29.76 公里 / 秒，或 18.47 哩 / 秒。而拋物線速度則 $\sqrt{2}$ 倍于此，即 42.09 公里 / 秒。

再者，行星之軌跡，盡為橢圓，由上所言，行星在其軌道上運動之周期，亦可算出。若行星運動至半短徑之一端時，則 $r = a$ ，由前(c)式

$$v = \sqrt{\frac{G(M+m)}{a}}$$

又由前面積定律公式 $C = \frac{1}{2} vX$ 。

X 為由焦點垂直於半短徑一端處之切線距離，即等於半短徑 b ，故

$$C = \frac{1}{2} b \sqrt{\frac{G(M+m)}{a}} \dots \dots \dots (e)$$

又橢圓全面積為 πab 故 $C = \frac{\pi ab}{T}$ ， T 為周期，即

$$T = \frac{\pi ab}{C} = 2\pi a^{\frac{3}{2}} / \sqrt{G(M+m)} \dots \dots \dots (f)$$

由是可見，一切行星運動周期，只與其質量及半長徑有關，與軌道之離心率大小無關。

又將 (f) 式兩邊自乘，並以 a^3 除兩邊，則得

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G(M+m)}$$

此式之左為周期二方與半長徑三方之比，右為一常數，即刻白爾之第三定律也。但此常數中含有行星之質量 m ，可見此常數仍隨行星之不同而畧異，而刻白爾第三定律，不過指示其大概耳。

103. 面積速度及其應用

在力學中用解拆法，極易證明面積速度為一常數。今更可用幾何圖形表示之。

如圖八十七為一橢圓軌跡。

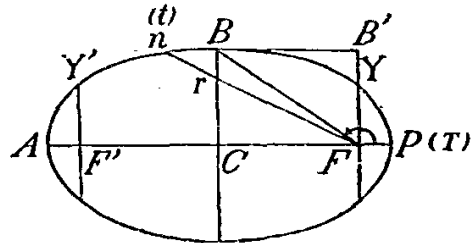
太陽在焦點之一 F,

$$FB=PC=a$$

$$FB'=CB=b$$

$$F'Y=FY=p$$

$$\frac{FC}{PC}=e \text{ 離心率 } (<1)$$



(圖八十七)

所謂動半徑 r 者,即 F 至軌道上任意一點 n 之連結線也。運動之方向,如箭矢所示。依幾何性質 $b=a\sqrt{1-e^2}$, $p=a(1-e^2)$,故 $p=\frac{b^2}{a}$, $FC=ea$ 。

而所謂 C 者,即 r 在 t 時間所劃之面積也,上圖如由 FB 起至 Fn 所須之時間為 t ,則 C 即為 BFn 之面積, $\frac{C}{t}$ 一量,恆為常數。如以半通徑表之,則上節(e)式可寫為:

$$C = \frac{1}{2} b \sqrt{\frac{G(M+m)}{a}} = \frac{1}{2} \sqrt{p G(M+m)}$$

即謂面積速度與半通徑平方根成正比例。反之,若質點劃同一通徑軌跡時,其面積速度常相等。

又根據等面積定律,可見在橢圓運動中動體之速度,時時不同,與 F 近者,則 r 小,但在單位時間內須劃相等面積,故其行速,與 F 遠者,則 r 大,在單位時間內亦須劃相等面積,故其行緩,如上八十七圖,在近日點 P 處行最速,遠日點 A 處行最緩,此亦地球在軌道上運動時,四季長短不相等之故也。

再者由等面積定律,更可以定在任意時間 t 及動體在其軌道上之位置。設軌道之形狀,面積速度 C ,及動體經近日點之時間 T 為已知,則動體在其軌道上之位置,亦可以知,因 $C(t-T)$ 為已知時,則 F_n 與 FP 間所夾之面積可知,而 F_n 動半徑之位置亦可知也。

101. 輻射壓力及其效果

太陽及于一切小星體之吸力,每因輻射壓力 (Radiation Pressure) 而有更變。

凡光束投射于物體上時，即沿投入之方向生一種力，此力之大小，與光強度及物體與光束相交切口大小成比例。一切物體，為太陽光所及者，皆畧受太陽輻射之推力。設 A 為日光所及物體切口之面積，以平方公分計，則在地日之距離，此推力等於 $4.5 \times 10^{-5} A$ 達因，而吸力則為 $0.59 m$ 達因 (m 為物體之質量，以瓦計。) 故此物體，所受二力之比為 $7.6 \times 10^{-5} A/m$ 。

設有極小圓球，其半徑為 r 公分，密度為 ρ ，則球一面受光之面積 $A = \pi r^2$ ，質量 $m = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho$ ，於是 $\frac{A}{m} = \frac{3}{4 \rho r}$ ，上述比值即變為 $7.6 \times 10^{-5} \times \frac{3}{4 \rho r}$ 。

此比值之大小，要視體積而異。若以極小之流星言，其對於日光之輻射壓力仍極小，可畧而弗計。惟以極小之微塵質點言，其質量之減小，比面積之減小為速，此時之推力常與吸力相等，或較吸力為大。故空中一切極小微塵，受太陽推力作用特別顯著。

此種微塵所行之軌跡，為雙曲線，其凸部向太陽，所有面積定律及能力定律皆可適用。惟常數 G 則必須另換一值，此數合二力之差而定，並隨質點之大小而變。在一切天體中，此輻射壓力作用之最顯著者，如彗星之尾是也，後再論之。

105. 潮汐現象及長潮力

潮汐者，地面上流水一升一降之現象也，此現象之發生，通常一日有兩次，朝日潮，晚日汐，由於日月之吸引，其高可達數尺。

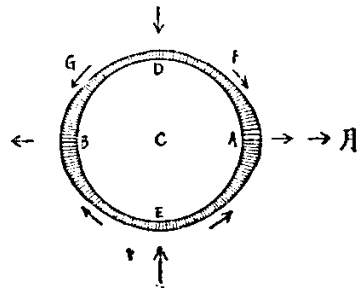
水面升高時，謂之長潮 (Flood tide)，降低時謂之退潮 (Ebb tide)，又有所謂高潮 (High water) 者，指水面最高時言。所謂低潮 (Low water) 者，指水面最低時言。高潮連續兩次之時間，約十二小時半。精確言之，在相連兩晝間，高潮連續兩次時間，平均為 24 時 51 分。此即月連續兩次經過子午線時間也。

當朔或望時，潮水長退，比平時為大；高者愈高，低者愈低，是謂大潮 (Spring tide)。當月在上下弦時，潮水長退最小 (常小於大潮之半)，是謂小潮 (Neap tide)。

潮汐之原，大半繫於月，當月在近地點時，潮水長退之度，約大於遠地點時百分之二十。故潮水長退之最大度，以新月或滿月適遇于近地點時。

長潮力 (Tide-Raising force), 由於日月之吸引, 今可分析言之, 如圖八十八, C 為地心, A 為受月吸引最近之海, 此處之海水, 遂直向月之方向而趨, 其力大於吸地之固體, 由是令兩者分離, 在 B 點處, 為最遠之海, 所受吸力, 小於地之固體, 仍令兩者分離, 以是之故, 地面之水遂向兩方面長高。

在 D 與 E 處, 月之吸力, 拖地與水, 沿綫合線 (Converging lines) 而行, 將其拉低, 在 G 與 F 等處, 各行相當之方向, 如圖中之矢所示。



(圖 八 十 八)

計長潮力, 本甚微小, 演算之如次:
設 M 為月之質量 (以地球為準), R 為地月之距離 (以地半徑為準), g 為地面之

重力加速度; 由是月吸力之及于 C 者, 其加速度為 $g \frac{M}{R^2}$, 及於 A 者為 $g \frac{M}{(R-1)^2}$.

則長潮力 (以單位質量為準) f 即為此二者之差, 即

$$f = g \frac{M(2R-1)}{R^2(R-1)^2}$$

但 R 為數, 比諸地球半徑, 其值頗大, 故可用 R 以代 R-1, 2R 以代 2R-1. 由是

$$\frac{f}{g} = \frac{2M}{R^3}$$

此式即表明長潮力與吸引體之質量成正比, 與距離之立方成反比。

以月言之, $M = \frac{1}{81}$, $R = 60$, 則 $\frac{f}{g} = \frac{1}{8800000}$, 此為最大長潮力, 依計算結果言, 此力之及于 D 者, 為此數之半, 在 F 則為此數之四分三, 即 $g \frac{1}{11700000}$.

以日言之, $M = 332000$, $R = 23400$, 則

$$\frac{f}{g} = \frac{1}{19300000}, \text{ 可見日之長潮力為月之長潮力之 } \frac{5}{11} \text{。}$$

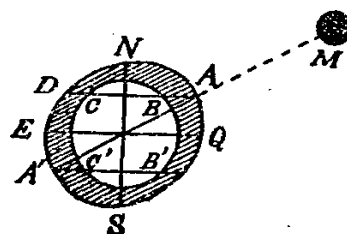
106. 潮汐之主要現象

潮汐之原，多繫于月，而日次之，故潮汐之消長，視月所在之位置不同，消長之程度大異，今分數點言之：

(1) 潮之長在朔及望時為最高，若月在上下弦時，則日之高潮與月之低潮相合，如是潮之長落所差最小，此大潮與小潮之所由成也。大潮與小潮之比，應為(11+5)比(11-5)，即8比3，但實際考之，比值較此畧小。

(2) 當月在近地點時，約比在遠地點時近百分之十，長潮力約大百分之三十，故以近地點之潮長落為最大。

(3) 如圖八十九，EQ為赤道面M為月。當月離赤道以北最遠時，潮頂為A與A'，則在北半球B處，當月經子午線時，潮為大潮，是時在南半球相對位置B'為小潮。迨經十二小時以後，因地球自轉，將B移于C，B'移于C'，于是在北半球者潮小，而在南半球者潮



(圖八十九)

大，此一日中，潮長大小不相等之故也。故地上各點，凡較B近于極點者，一日中祇有大小潮各一次，在赤道處如E及Q者，則一日中，有相等之兩潮。

(4) 當月在天球赤道上時，AA'二點即在赤道上，則一日之中，地球各處皆有相等之兩潮。

以上所言，只就純理論上言之，若由實際考之，或近赤道而有不等之兩潮(如Manila)；或在高緯度而兩潮所差極小(如北大西洋)；或有此處比彼處之潮大數倍，消長極不規則者，此蓋由于各處海水之深度不同；或由海岸邊界彼此有異，或由地球自轉極速，同時長潮力變化亦極速，潮退不能趕及等原因所致。誠是之故，潮汐之計算，遂極複雜矣。

此外關於潮之測量，長潮力之測量，潮與氣候之影響，潮磨擦力對地球自轉之影響，對於月軌之影響等，亦極重要，學者可參攷專書而自得。

107. 攝動

前論二體運動時，只假定單純由二體吸力支配而運動者，論理至為簡單，然事實上，如在太陽系內，各行星除受太陽大吸力外，常受其他鄰近行星或衛星等吸力干涉，於是運動情形，即極複雜，而為三體或 n 體之運動矣，故通常每一行星皆可假定其依橢圓軌道，繞太陽而運行，但常受其他行星引力所牽制，其位置及軌道等乃受異常之變動，由各種變動結果所合成，謂之攝動 (Perturbation)。

行星在太陽系內，既必受鄰近星體吸引，以變其二體運動之理論位置，則其真實運行之複雜，有非吾人所可想像者。今僅將其類似之變動分為兩種，以便研究焉：

(1) 行星之軌道並非固定，其離心率及傾斜度等，常漸次變更，但其變動甚緩，每一週轉，僅受極微之變化。

(2) 一行星之運行，並非完全依照刻卜爾定律，然與理想中按此定律運行之行星比較，仍無大差，只對於太陽，或進或退，或向或背，及在其軌道平面上下，一來一往連續移動而已。

第一種變動，吾人稱之曰長期攝動 (Secular perturbation)，依各行星軌道之相對位置而異，第二種變動，謂之周期攝動 (Periodic perturbation)，依各行星在其軌道上之位置而定，且吾人可以周期項數之總和表示之，此等周期，多為較短周期。

四個內行星之周期攝動甚小，對於黃經之攝動，最大不過水星為 $15''$ (由太陽上見)，金星為 $30''$ ，地球為 $1'$ ，火星為 $2'$ 。其外行星之周期攝動比較稍大，木星約達 $30'$ ，土星 $70'$ ，天王星 $60'$ ，海王星 $35'$ ，又其中最大項，周期較長者，如木土二星，為 913 年。

此等周期攝動值與其攝動行星之質量成正比例，若前者由觀測求得，則後者可由計算而決定，此乃為求水金二星質量之唯一方法，亦為求他行星質量之真法也。

以上所言行星之質量，乃為行星及全體衛星之總質量，此種特性，在地球與月更為重要。當地球與月總質量由此法求得時，則太陽視差即可決定矣。

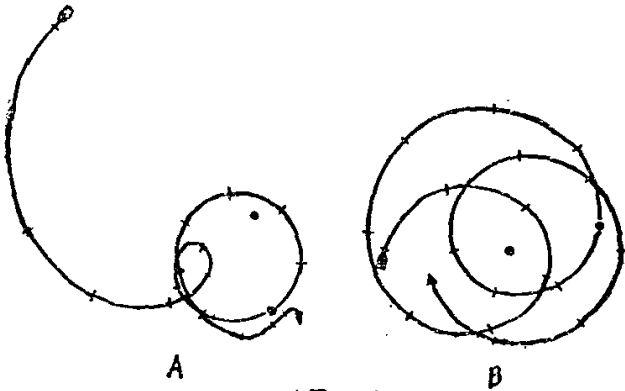
軌道之長期攝動，因其時期甚長故名，又可由長期之周期項數之和表示之（由五萬至二百萬年），約在一世紀之前，拉伯拉斯 (Laplace) 與 拉格朗治 (Lagrange) 證明此變動雖大，但終不能改變太陽系之普通組織。

行星軌道之長軸及周期，普通不受長期攝動之影響，至離心率變動，則頗無規則，但亦不致過大，惟其近日點則全數前進，間或有逆退者，同理軌道交點亦能變動，其變動雖無常規，但普通為逆退，至傾斜度之變動，常為擺動，但永不極大。

行星之軌道，常近似圓，故其長期變動，亦可假定由一固定半徑之圓而發生，其同心漸漸移動而成亂雜之曲線。但此心常與日相近，且與其他各圓之平面在一方或他方擺動數度，但常保持其近於平均位置。如圖九十，為地球軌道中心，在其軌道面上，由計算而得二十萬年間移動之軌線 (A)，而黃道極點在天球上之移動，則如軌線 (B)，相隔一萬年時間之位置，記以短線號，現時之位置，則記以小圈，在 (A) 之黑點，代表太陽，在 (B) 孤立之圈，代表不變平面 (Invariant plane) 之極。地球軌道若依 (A) 比例，則直徑約為 40 吋，軌道離心率，現為 0.016，但此值繼續減小，將於二萬四千年後，降至 0.003 之最低值，不變平面對於黃道面之傾角現為 $1^{\circ}26'$ ，但此值亦繼續減小，將於二萬年後，減至 $47'$ 之最低值。

此不變平面，為太陽系全體最安定之面，太陽系全體運動之角能率 (Angular momentum)，對於此

面之垂直軸為最大，此面于 1850 年對於黃道面之傾角為 $1^{\circ}35'8''$ ，升交點在黃經 $186^{\circ}9'$ ，介於木星與土星軌道面之間，而以與木星軌道面為較近。



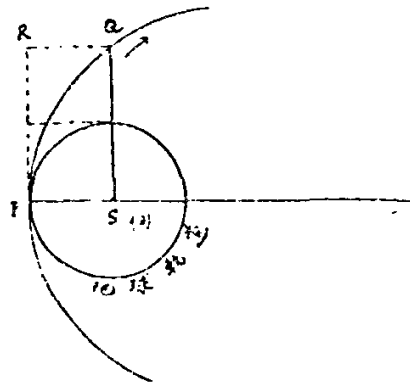
(圖九十)

習 題 X.

1. 某彗星運動軌道為橢圓，其軌道離心率為 0.5，試比較在近日點及遠日點處之線及角速度。
2. 同前問題 1，如離心率為 $\frac{1}{3}$ 及 $\frac{3}{4}$ ，其結果各為如何？
3. 今有一小天體，在日面上繞日而成圓周運動，求其運動周期，及其速度。
4. 若地球有一衛星，其繞地周期為 8 個月，則此月應與地距離為若干？
5. 欲大炮之彈丸向空發射，一去不返，然則此彈丸初速之最小限度為幾何？
6. 若木星本體變成一小質點，而與日距離不變，則其繞日周期延長若干？但木星質量為 $\frac{1}{1048}$ (太陽質量)，原周期為 4332.6 日。
7. 若地球本體變成一小質點，而與日距離不變，則一年應增長多少日？
8. 若日之質量增大一百倍，求在日地距離處，拋物線速度之大小。
9. 若日之質量，變小百分之五十，問題 8 之結果又如何？
10. 若某彗星之軌跡為拋物線，其近日點之距離為一單位，問由近日點起行至與近日點距 90 度處所需時間之長為若干？(如圖九十一，由 P 至 Q)

(注意) 在近日點 P 處，彗星速度大于地速大于地速 $\sqrt{2}$ 倍。
又依拋物線性質 $QS=2SP$ 。

11. 如上題 10，其近日點距為 q 時，則需時為 $109.61q^{\frac{3}{2}}$ 日，試證明之。
12. 問地面向月與背月兩地之長潮力孰大，其差為幾何？
13. 問滿月與新月時之長潮力孰大，其差為幾何？



(圖九十一)

14. 若月面爲水所包，問地及于月與月及于地之長潮力孰大，其差爲幾何？
15. 試研究月在北緯四十五度時，地球各地潮汐消長之狀況。
16. 問地面重力何故向兩極漸增？又若某物體在赤道上稱之爲589斤時，問在兩極稱之，其重爲若干？
17. 有一小行星，繞日之周期爲8年，問此星距太陽有若干單位？
18. 地球平均公轉速度爲每秒18.5哩，試用刻卜爾第三定律証其他行星之公轉速度爲每秒 $\frac{18.5}{\sqrt{\text{日距}}}$ 哩。

第十一章 類地行星及小行星

108. 行星分類

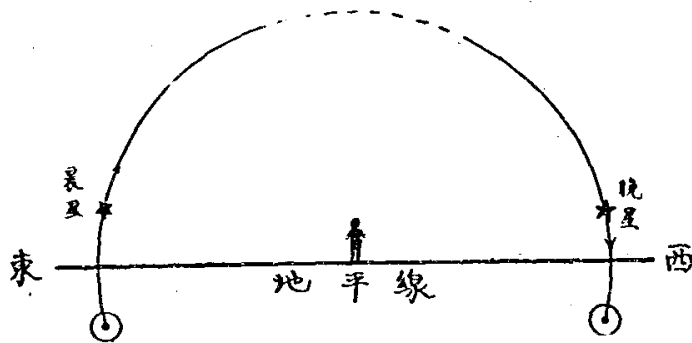
就太陽系全體言，星別之最著者，曰行星，彗星及流星。因研究便利之故，常稱地球以內行星，曰內行星 (Inferior Planets)；如水星，金星等。地球以外行星，曰外行星 (Superior Planets)；如火星，木星，土星，天王星及海王星等。又除依日距之不同分類外，在天文學上，常因星體之大小，將其分為三類，曰類地行星 (Terrestrial Planets)，指體質與地球相似諸星而言，如水星，金星，地球，火星是也。曰小行星 (Minor Planets)，指介于火星與木星間之小行星而言，其數無限。曰大行星 (Major Planets)，指體質遠大于地球者言，如木星，土星，天王星，海王星是也。

109. 水星概觀

水星發見之年代甚早，在西紀元前 264 年已有觀測，至今仍認為與太陽最近之星，水星因極近太陽之故，眼見之機會極少，日距角最大時 (28°)，始可得見，星光為紅色，光度與一等恒星相埒。

因水星亦繞太陽而轉，由地球上望之，有時見其在太陽之西或在太陽之東，于是水星之被吾人見者，或在早先日而出，或在晚後日而落，昔希臘人常將其別為兩星，早見者曰 Apollo，晚見者曰 Mercury，後者即為現時水星之西名。晨星與晚星之別，如圖九十二所示：

水星各要素，若一一為之敘述則費文多而不便記憶，今只擇其公轉軌道及力學物理諸重要性質，條列于次，以便查閱。



(圖九十二)

(甲) 軌道：

與日平均距 35950000 哩， 離心率 0.206，
 日距變化約五百萬哩， 遠日點速度 24 哩/秒，
 近日點速度 36 哩/秒， 遠地距 136000000 哩，
 近地距 50000000 哩， 會合周期 116 日，
 公轉恒星周期 88 日， 軌道與黃道交角約 7 度，
 大距角由 18° 至 28° 。

(乙) 水星本體：

視直徑由 $5''$ 至 $13''$ ， 真直徑約 3100 哩，
 面積為地之 0.15， 體積為地之 0.06，
 質量為日之 $1/8000000$ ，或地之 $1/24$ (但錯誤達 25%)，
 表面重力為地之 0.27， 密度為地之 0.70，或水之 3.8 倍，
 自轉周期 88 日，常以同一面向日 (1889 年為意大利天文家 Schiaparelli
 所發見。)，
 表面逃速度 3.6 公里/秒，比月(2.4)畧大，
 反光率 0.07，比月(0.073)畧小，
 向日面之溫度 350° 。

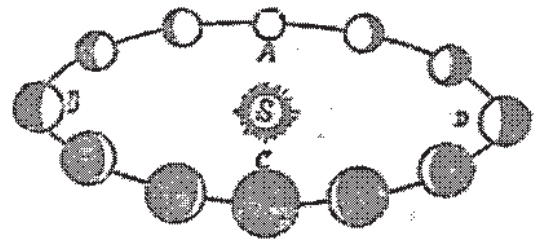
水星至今未能發見其有衛星，即使有衛星，亦必甚小，不能窺見。

水星表面之逃速度頗小，比月只大 1.2 公里/秒，故水星表面情形，當與月面相似，無空氣存在，雖有亦必極稀微。惟據 Huggins 及 Vogel 報告，謂水星光譜中，除通常黑線為日光反射所生外，更有蒸氣之粗黑線，乃知水星大氣中，仍有水蒸氣存在云。

水星表面反光率比月仍小，即表明其表面為固體，且峰谷高下，粗礫與月面同也。

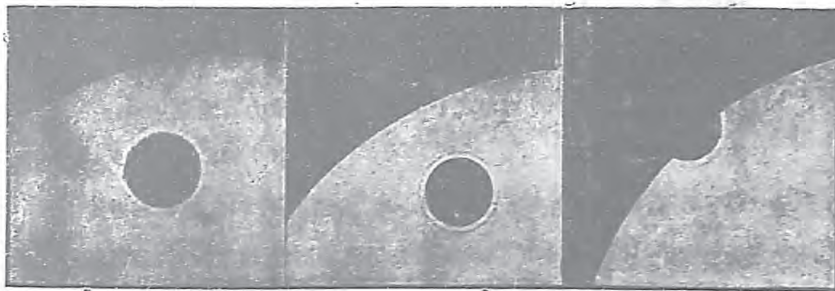
110. 水星位相及凌日

水星對於吾人之表現，亦如諸恆星，僅現一點；惟若以遠鏡窺之，則如小月，呈盈虧之象，如圖九十三，S 爲太陽，水星循軌繞之而轉。在內合時，黑暗之半面向地球，如圖中之 C；在外合時，則以光半面向地球，如圖中之 A；在大距角如 B, D，則形如半月；介于外合與大距角時，形如凸月；介于內合與大距角時，形如蛾眉月；其漸變之象，由九十三圖觀之自明。



(圖九十三)

因水星軌道與黃道相交成七度角，此角遠大于日與水星視半徑之和，故在內合時，往往經過日之南北。惟當水星經二交點附近，與日地成一直線時，方能見其經過日面。此種現象，曰水星凌日 (Transit of mercury)，當凌日時，與日蝕現象相似，在日面上，現一黑點。惟此黑點甚小，須用遠鏡始能窺見。又地球經過水星交點線，常在五月七日 (遠日點) 及十一月九日 (近日點)。故凌日現象，必在年中該兩日附近方可發生。且因蝕之極限，前者爲 $2^{\circ}40'$ ，後者爲 $4^{\circ}45'$ ，故凌日次數，以在十一月爲較多 (約一倍)。



(圖九十四)

上圖九十四爲 1907 年 11 月 14 日，水星凌日時之像。其時水星在太陽面上成一黑圓點，四周有光圈圍繞，似爲水星有蒙氣之証。但亦有認爲幻象者。

111. 金星概觀

金星亦爲內行星之一，由地球所見，亦或在日西或在日東。在西時先日而出，晨早可見，吾人向來稱爲啓明星，希臘人稱爲 Phosphorus。在東時後日而落，旁晚可見，吾人向來稱爲長庚星，希臘人稱爲 Hesperus。古來誤金星爲兩星，中外皆同。

金星之軌道及力學物理諸重要性質，約如下述各條：

(甲) 軌道：

與日平均距 67170000哩，	離心率 0.007，
距日變化達一百萬哩，	
公轉平均速度 22 哩/秒，	公轉恒星周期 225 日，
公轉會合周期 584 日，約一年又七個月；	
大距角 47° 或 48°，	軌道與黃道交角約 3°24'，
近地距 26000000哩，	遠地距 160000000 哩。

(乙) 金星本體：

視直徑由 10" 至 64"，	真直徑 7600 哩(或 7700 哩)，
面積爲地之 0.95，	體積爲地之 0.92，
質量爲日之 1/410000 或地之 0.81，	表面重力爲地之 0.85，
密度爲地之 0.88，	反光率 0.59，比地(0.45)略大。

自轉周期，尙未完全決定，或謂 24 小時，或謂小於 20 日。但因赤道直徑與南北直徑所差極小(最近時爲 0".2)，故多謂金星自轉周期，除水星外，比其餘各行星爲大。又金星之反光率與土星相仿，且較木星天王星稍大，約爲月之三倍，水星四倍，

多數天文家以爲金星表面被雲霧所覆，故反光率甚強，普通岩石土壤不能致也。

金星表面有空氣，可於金星爲蛾眉狀時，其兩端尖角之延長測得之，但氧氣僅爲地面大氣中氧氣 $1/1000$ ，生物難發展，無衛星。



(圖九十五)

上圖之左爲地球，右爲金星，二星之球直徑，大小畧相等，故天文家常稱地球與金星爲姊妹星焉。

112. 金星位相及凌日

金星光芒極盛，晨之在東或晚之在西，如熾熱之火球，一望即知其非普通之恒星。惟以其光芒輝耀之故，窺以遠鏡，表面反不甚清楚，故自轉周期，難于決定。其位相變化，亦與水星相倣。西曆 1610 年，加里尼發見金星位相之遞變，益信哥白尼 (Copernicus 1473—1543) 天定地動說之不謬。如圖九十六，爲金星位相之變化，由左而右，而像由圓變爲蛾眉月形。在內合之前或後，三十六日，視面積最

大，光度最強。當其大距角為 39° 時¹，而像已如月朔後五日之像。至其光度隨位相角 (Phase angle)，——即由金星望日與地視線間夾角——之變化，依Müller 觀測，有下表之關係：

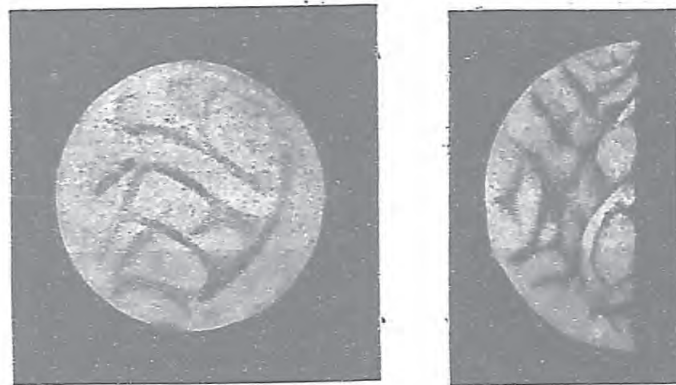


(圖九十六)

位相角	0°	30°	60°	90°	120°	150°
光度	100	69	45	25	12	4.3

金星在內合時，必掠過日面，而生黑點於其上，肉眼可見。黑點經太陽中心附近，由東至西，共需八小時，經過太陽邊緣附近者，需時較短。地球經過金星軌道二交點，一近六月五日，一近十二月七日。故金星凌日，總與此二日相近。然此時期中，金星未必在內合位置，故未必每年皆能凌日也。今將金星已凌及未凌日時間列表於下：

- 1631 年 12 月 7 日
- 1639 年 12 月 4 日
- 1761 年 6 月 5 日
- 1769 年 6 月 3 日
- 1874 年 12 月 9 日
- 1882 年 12 月 6 日
- 2004 年 6 月 8 日
- 2012 年 6 月 6 日



(甲) 金星全面象

(圖九十七)

(乙) 金星半面象

113. 火星概觀

與水金二星同，發見極早，其色赤如火故名。今將其軌道及力學物理各要點述之如下：

(甲) 軌道：

與日平均距 141500000 哩，	離心率 0.093，
距日變化達 26000000 哩，	衝時與地平均距 48600000 哩，
近日點距 34600000 哩，	遠日點距 62900000 哩，
合時與地平均距 234400000 哩，	軌道與黃道交角約 $1^{\circ}51'$ ，

公轉恒星周期 587 日，會合周期 780 日；此 780 日中，710 日見其東行，70 日向西。

(乙) 火星本體：

視直徑由 $3''5$ 至 $25''1$ ，	真直徑 4215 哩，
面積為地之 0.283 倍，	體積為地之 0.150 倍，
質量為日之 $1/3035000$ ，或地之 0.1076 倍，	
密度為地之 0.72 倍，	表面重力為地之 0.3 倍，
表面逃速度 5.04 公里/秒，	反光率 0.154，

自轉恒星周期 24 時 37 分 22.58 秒。

赤道面與軌道面傾斜，依 Struve 為 $25^{\circ}10'$ ，依 Lowell 為 $23^{\circ}30'$ 。

球體扁率，依 Lowell 為 $\frac{1}{190}$ ，比地球 ($1/297$) 為大。

依極可靠觀測，知火星無疑有空氣，雲及霧等之存在，但均較地球為稀少，其密度僅與地面大氣四分之一相當。午時近赤道處表面溫度約 10°C 。



(圖九十八)

上圖為火星與地球體積之比較，左為地球，右為火星。

114. 火星之衛星

火星有二衛星，一曰 Deimos，一曰 Phobos，均于 1877 年在 Washington 為 Hall 所發見。

Deimos 與主星中心距 14600 哩，週轉周期 30 時 18 分，Phobos 與主星中心距 5826 哩，週轉周期 7 時 39 分，週轉運動方向，二者均與主星繞日方向相同。

軌道與主星赤道傾斜，前者為 $1^{\circ}44'$ ，後者 $6^{\circ}57'$ 。離心率，前者 0.003，後者 0.017 二者直徑甚小，難用測微器直接測量。惟若假定其表面反光率與主星相同，則可由其光度之大小以估定之。

據近年測量結果，知 Deimos 直徑為 5 哩，Phobos 則為 10 哩，但二數極難準確，其他天文家測量之得數，有與此相差頗遠者。

115. 火星之面像，

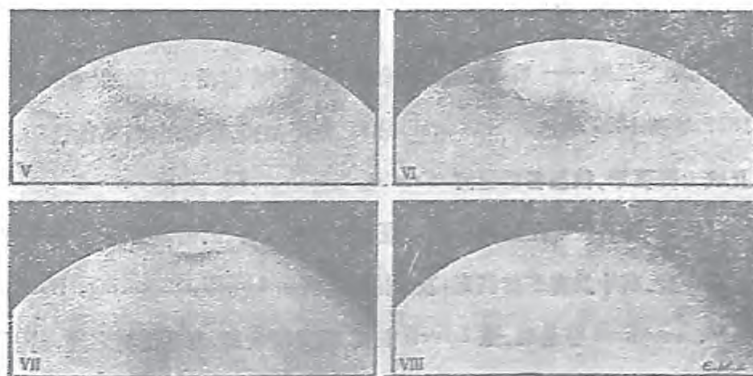
火星距地最近時，比其他一切行星近，故由地球觀測天體，除太陽以外，以火星為最明晰，當其經近地點時，光芒輝爛，顏色深紅，可比於蠟燭之鐵球。

火星軌道在地軌以外，其位相之變化，遂與水星金星及月等不同，惟在衝與合間時，則位相酷似凸月，至近地點時，光度驟增，與滿月時月光驟增同理。

當此之時，若用大遠鏡窺之，則火星面像之特點，約有下列數端：

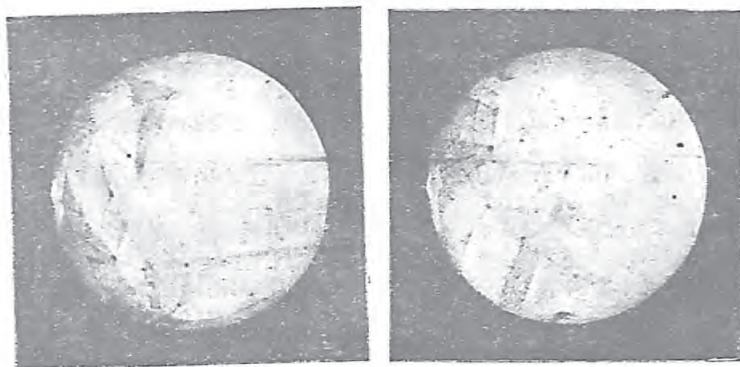
(甲) 極冠——近南極或北極處，見有白片一塊隆起，如蒼雪帽，此白片面積之大小，隨火星四季而變，當北半球向日時，北極冠縮小，南極冠漸大，當南半球向日，則變化現象，適得其反，一般天文家，遂斷其為積雪及融雪之現象。

如圖九十九為 1924 年火星南半球，由冬而夏時，南極冠之逐漸融雪像，雪區面積由廣而狹，極為顯然。



(圖九十九)

(乙) 黑色區——此種黑塊，多現于南半球；其次則近赤道處，色暗而灰，從前天文家多以之為海洋。但近年以來，已証其非，因此種面積之大小及顏色，似亦隨火星四季而變。冬至以後，由青藍變為棕；迨近春分，則又漸漸恢復前狀；至夏則色澤最深濃，面積亦似較冬寒為廣。年來經許多天文家証實，認為火星上植物區，隨四季而榮枯者。如圖一百，極冠分明，其次黑色區，散佈於極點附近，作各種形狀，其色比較相對極點處各部為黑暗：



(甲)

(圖一百)

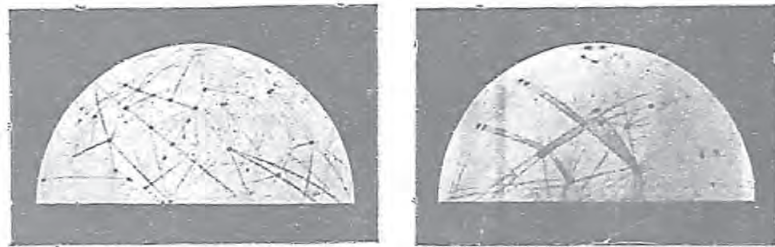
(乙)

(丙) 黑線——為火星表面極顯著現象，錯雜縱橫，其數隨遠鏡之大而增。1877年及1879年已為 Shiaparelli 發現。此種細綫，當發現時，為數已極多，色黑且成大圓弧形，彼即名為運河 (Canals)。

此種黑綫，近年經無數觀測，已証其有確實之存在。惟繪圖敘述，則人有不同，未曾一致。其中為有系統研究，及成績卓著者如 Lowell, Pickering, Hamilton 及 E. M. Antoniadi 等是也。據 Lowell 觀測，謂最清楚時，可見運河之闊，為 15 哩以至 20 哩。兩岸完全齊整，成直綫，在火星表面成綫網狀，且具精細的幾何意義。每

數運河相匯，有一黑圓塊，其直徑由 75 以至 100 哩。運河全數約 400，黑圓塊約 200，在 Lowell 天文台皆一一為之命名，據錄可考。

如下圖一〇一，即 Lowell 精繪火星球所攝之影也，(I) 為 1909 年所繪，表南半球，(II) 為 1903 年所繪，表北半球：



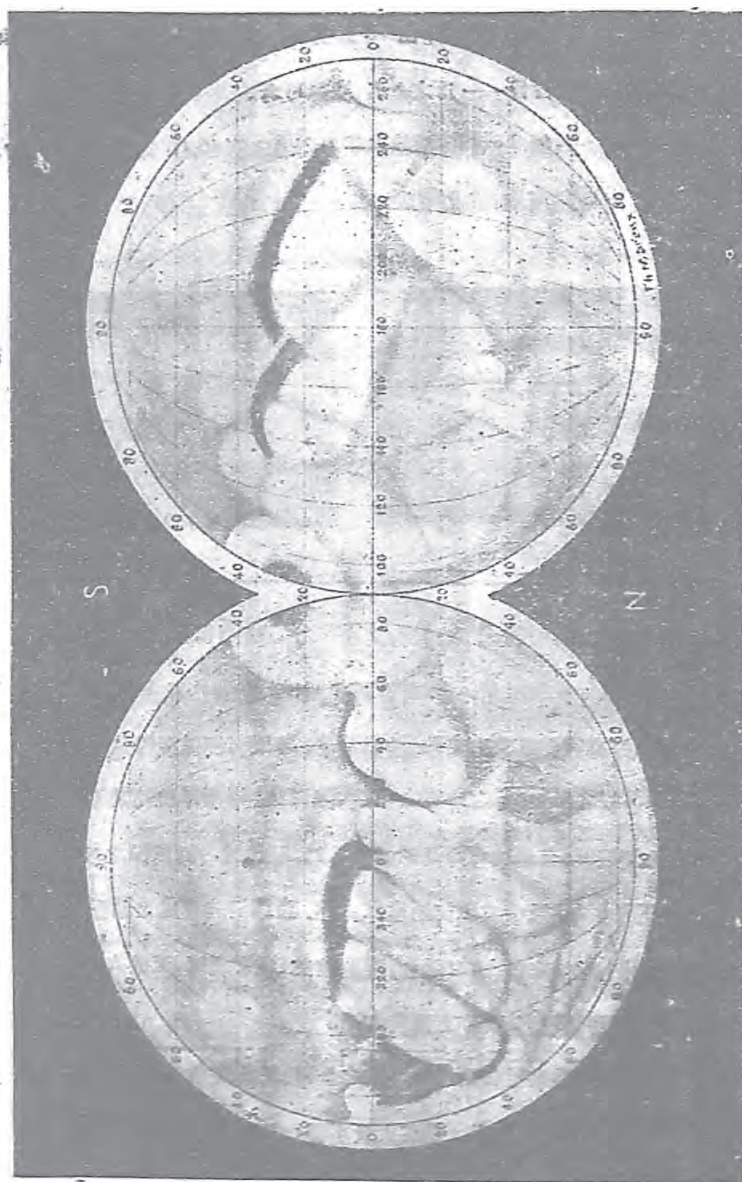
(I)

(圖一〇一)

(II)

此等細綫，究為何物，學說紛紜，迄未確定。有謂由於遠鏡焦點不正，觀測錯誤；或謂由於其他光學現象，與星球實體無關。惟 Lowell 及 Hamilton 等，則力主為火星上高等動物有意識之工作。洩為運河，所以導極冠積雪融化時之水，流入內地，以為灌溉之用者。每當春夏之交，雪融以後，則兩岸植物繁滋，綫紋顯示漸寬，顏色亦漸濃厚。且黑綫有時見其裂而為二，顯然為一河兩岸之景。是吾人所見者，雖非運河本身，最少為運河兩岸之森林。諸運河相會處之圓點，或為交匯湖沼，或亦為林木繁植之區，春日融和，青蔥幽美，憑管窺望，至撩人遐思。然則彼以世外桃源為無尚仙境者，其亦有意於斯乎。

下圖一〇二，為火星表面顯著斑紋之全圖。此等斑紋，雖或有時變換，或濃淡不一。然經長期之觀測，已能證明其大致不變：



(二〇一圖)

116. 小行星發見史畧

小行星介於火星與木星之間，侯失勒名之爲 Asteroid，意謂其似恒星也。自 1772 年 波特定律 發見以後，對於小行星解釋，認爲由一大行星破碎而成。迨 1781 年天王星發見以後，對於 波特定律 証明，更爲有力。

小行星之發見，最初爲西細里 (Sicily) 天文家 Piazzi，時爲十九世紀之第一晚 (即 1801 年 1 月 1 日)。第一顆星發見者，當時名曰 Ceres (或譯作穀神星)，至 1802 年 Olbers 因研究 Ceres 之故，又發見 Pallas (或譯作智神星)。以後 1804 年 Harding 發見 Juno (或譯作婚神星)，1807 年 Olbers 發見 Vesta (或譯作衛神星)，1845 年 Heneke 發見 Astraea (或譯作義神星)，迨後發見，日多一日；1847 年時，數逾一百；1924 年，已逾一千。至近日其小而能用遠鏡可見者幾達一千矣。但以後所發見者，皆不給專名，僅以號數表之，舊有者有專名，兼有號數，其號數之大小，亦隨發見之先後而定，例如 Ceres 爲「1」，Thule (或譯作北地星) 爲「279」等是也。

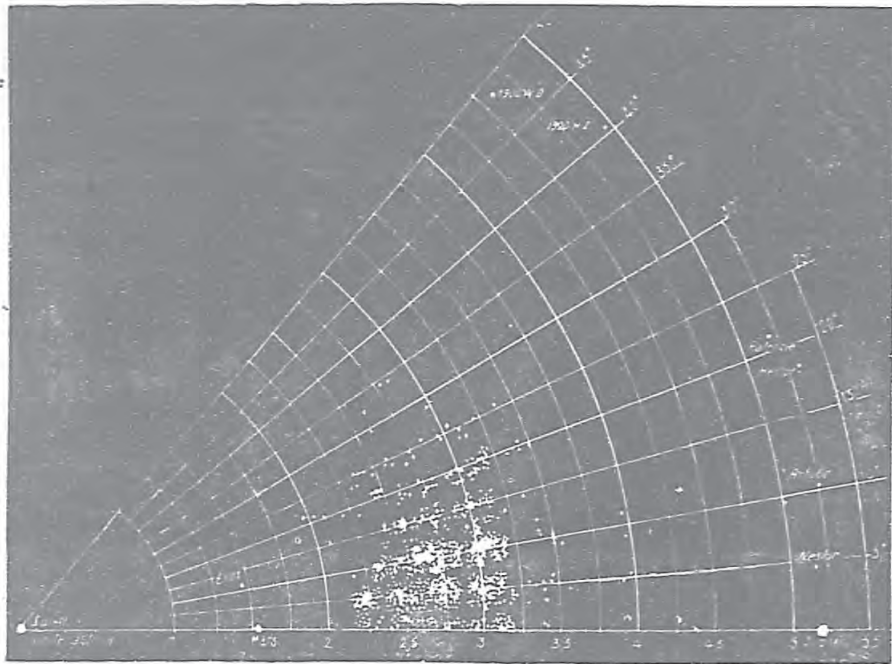
117. 小行星軌道

小行星與日之距離，現時知其最近者爲「133」Eros (即愛神星，1898 年爲德人 Witt 所發見)，及「434」Hungaria 二星。其平均值；一爲 1.46，一爲 1.94 單位。公轉周期；一爲 1.76 年，一爲 2.71 年。最遠者爲「944」Hidalgo，平均距爲 5.71，公轉週期爲 13.7 年，此外八分之七，其距離介于 2.3 與 3.3 之間，而公轉周期則介于 2.3 與 6 年。

軌道面之傾斜，平均爲 $9^{\circ}30'$ ，離心率爲 0.15，然小行星之大者；如「944」Hidalgo，其傾角爲 43° ，「2」Pallas 爲 35° ，與平均數相差極遠。又如「887」Alinda 離心率爲 0.53；「719」Albert 爲 0.54；「944」Hidalgo 爲 0.65；亦非普通行星所有也。

其中比較特別者爲愛神星 (Eros)，日距既小，離心率又極大 (0.22)，故在遠日點時，軼出火星軌道以外。在近日點時，居地球軌道以內 13500000 哩，僅爲金星與地球最近距 (26000000 哩) 之半。故當其趨近地球之際，光輝極強，肉眼幾乎

可見，為小行星中最引人注意者，此星于 1931 年時曾有此機會，當時天文家對其自轉周期及星光變化等，多為之測定焉。



(圖一〇三) 小行星會聚之區

(橫行之距，為小行星距日之單位數，斜行之度，為小行星軌道對黃道之交角。)

118. 小行星本體

小行星體積，普通極小，其較大而已測知直徑者為：Ceres, 480 哩；Pallas, 304 哩；Juno, 120 哩；Vesta, 240 哩；Eros, 僅得 20 哩。反光率：Ceres, 0.06；Pallas, 0.07；Juno, 0.12；Vesta, 0.26；故 Vesta 體積雖小，其光則大于 Pallas 兩倍，大于 Ceres 百分之二十。

此外直徑之介于 100 與 150 哩者數逾一打，零大于 50 哩者，數逾一百五十，

其餘小於 50 哩者，不可勝數。

據近年觀測結果，其平均密度，與地殼或月球之密度相近，照此推算，則 Ceres 質量僅為地之 1/8000，表面重力為地之 1/30 而已。

又因小行星表面光度變化之故，由觀測結果，可推知其自轉周期，其中最顯著者：「7」Iris，6 時 12 分；「15」Eunomia，3 時 2 分；「116」Sirona，9 時 40 分；「345」Tercidina，8 時 47 分；「433」Eros，5 時 16 分。

119. 黃道光

在清明無月之夜，薄明現象正消滅以後，吾人可見西方現談弱光一道，沿黃道而向上。近地平處，其濶度大於天河，但漸高則漸狹，此所謂黃道光 (Zodiacal light) 也。

此現象在春日所見尤顯，因是時黃道，最近地平垂線之故，又當日出之前，在東方地平上，亦有同一光芒發生，但以秋日為最顯，此光之分散部份，隨日沿黃道而變，吾人所見者，無疑為繞日光芒之一端。由觀測所得結果，秋中夜半，此光由太陽之北，伸張至 45° (向南應亦有同一現象)，而沿黃道方向，則常伸張至 90° 者。在極清明之夜，尤為在熱帶，其光之兩端，似沿黃道作一環，其與日正對之微光部分，寬可 10° ，此部分名曰 Gegenschein，即所謂對光 (Counter glow) 是也。

黃道光以離日 30 或 40 度處，最為顯著，其近日部份常為薄明所掩，反不易見。

由黃道光之光譜研究，知黃道光之性質與日光相同，是所謂黃道光者，乃由空間極微質點，反射日光而成也。依 Van Rhijn 在威爾遜山天文台之研究，知黃道光之存在，並不限於黃道圈，實能伸張及於全天空。在無月光之夜，天上之光，百分之六十，由此而致；其百分之十五，由於地球之空氣受甚微極光 (Aurora) 所影響。吾人如能將此二種光完全消滅，則夜間天空必更黑暗，而天河亦將愈顯明。

由觀測結果，知反射日光而成黃道光之微質點，乃散佈空中，其狀如凸透鏡，或如扁平之旋轉橢圓體，其半長徑與黃道面極近，並伸張至地球軌道以外。此種

質點，除小至能被太陽輻射壓力干涉外，每一質點各有其繞日運動之軌道。然此種質點之能令天空發光者，其質量實極微。依計算結果，如在地球軌道內言，則每個質點之直徑為一公厘，反光率與月相同。每個質點之距離亦必為 5 哩，或不然，而為氣體分子發散之光，則此種氣體亦極稀薄。蓋若加以地面大氣壓力之重，雖此種氣體之厚為二萬萬哩，亦可將其壓扁，令其厚變為一公分云。

由是觀之，此種物質極為稀疏，雖行星或彗星之運動，通過其間，亦不至感覺受何種影響。其全體質量所發生之吸力，亦不足干涉一切行星之運行也。

習 題 XI.

1. 試研究見水星凌日之周期。
2. 試憑所知，推想火星動物生存之可能性及其與地球動物相異之點。
3. 問 Deimos 及 Phobos 二衛星，由火星表面上窺望之，其視直徑孰大？
4. 試研究在火星表面上觀二衛星出沒情形，及二者相銜相合之現象。
5. 試研究由地球觀測金星位相之變化。
6. 問由地球能見火星凌日否？
7. 有一小行星，每 8 年繞行太陽一周，問此星距太陽幾何？

第十二章 大行星

120. 木星概觀

木星吾國古稱歲星，因公轉周期約十二年，每年在天上移動黃經數，與日月移動之度數相當也。此星在天上光芒極盛，除金火二星最近時外，以木星光為最強，因其體積及反光率均甚大之故。今述其各要點如下：

(甲) 軌道：

與日平均距 5.20 單位 (或 483200000)， 離心率 $\frac{1}{20}$ ，

與日距變化達 47000000 哩。

合時與地平均距 390000000 哩， 衝時 576000000 哩。

與地最近時 367000000 哩， 最遠時 600000000 哩。

公轉恒星周期 11.86 年， 會合周期 399 日。

(乙) 木星本體：

視直徑：合時 50"，衝時 32"， 赤道真直徑 86720 哩 (10.95 倍于地)。

面積為地之 120 倍，體積 1312 倍，質量 316.94 倍 (或日之 $\frac{1}{1047.40}$ 倍)。

密度 0.242 倍 (或水之 1.34 倍)， 表面重力 2.64 倍。

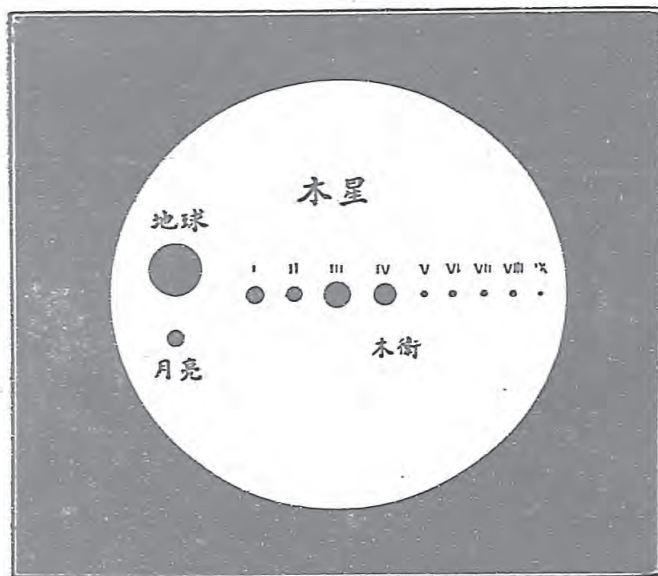
反光率 0.44。

赤道面與軌道面傾斜只三度，故一年中無季節可分。

自轉周期平均 9 時 55 分，且旋轉與日同，以在赤道處為最速，餘隨緯度而異，但此等速度似又隨時增減，非永久一定者。

赤道面與軌道面，相差僅 3°。表面為雲所包，然所謂雲者，或由凝固小質點所聚成，有厚空氣層，游散甚廣，遠鏡所見種種形狀，全係大氣作用。表面所發之光，由分光儀考察，與太陽所呈者極相似，或完全為日之輻射光也。但表面形狀變化極速，應具極高溫度。然依 Coblentz 1914 年及 1922 所測，謂其表面溫度僅為 -140°(c) 云。

木星本星, 衛星與地及月體積之比較:



(圖一〇四)

121. 木星之衛星

依現時所知, 木星之衛星有九, 如圖一〇四所示; 四大五小, 大者于1610年一月為加里尼最初試用其創製遠鏡所發見。餘五者均極小, 或以攝影或以極大倍力遠鏡始見之。此四大衛星常稱為加里尼衛星 (Galilean Satellites), 並由最近主星起, 給以號數 I. II. III. IV. 其專名為 10. Europa, Ganymede, Callisto, 但極少應用。其公轉周期各為 $1\frac{3}{4}$, $3\frac{1}{2}$, 7, $16\frac{2}{3}$ 日。與主星距離各為 261800, 416600, 664200, 1168700 哩。軌道幾乎皆圓形, 且與主星赤道面一致。其質量如以月為標準, 各為 1.0, 0.65, 2.10, 0.58。直徑各為 2460, 2000, 3540, 3350 哩 (前二者與月相近, 而後二者, 且大于水星)。密度各為 0.88, 0.87, 0.65, 0.17 倍于月, 或 2.9, 2.9, 2.2, 0.6 倍于水。與主星最近之衛星, 命為第五(V)。1892 年為 Barnard (Lick

天文台)所發見。與主星距為 112600 哩，公轉周期 11 時 57 分 22.70 秒，直徑 75 哩。

除第六第七兩衛，於 1904年十二月，及1905年一月為 Perrine (Lick 天文台)所發見。前者直徑 100 哩，後者 40 哩。公轉周期，一為 250 日，一為 260 日。平均距離 7100000 哩，及 7300000 哩。其軌道面對於主星軌道面頗傾斜，一為 29°，一為 28°。第八衛星于 1908 年二月為 Melotte (格林威天文台)所發見。公轉周期約兩年 (由 713 以至 763 日)。但最可注意者，其運動為逆行 (Retrograde motion)，其平均距離為 14600000 哩。但因其有大離心率之故，其距離由 9100000 哩變至 20000000 哩。軌道面與主星軌道面相交成 32° 角 (或 148°，因逆行故也)。

第九衛星，于1914年七月，為 S.B.Nicholson (Lick 天文台)所發見。直徑25哩，亦如第八衛星逆行。平均距離 15000000 哩，離心率 0.25，公轉周期為兩年又兩月。軌道面與主星軌道面傾斜為 156°。

今為便于檢查故，將各衛星要素列表于下：

名稱及號數	發見者及年代	恒星周期	距離(哩)	直徑(公里)
V	Barnard 1892	11時57分22秒70	112600	160?
I Io	Galileo	1日 18 27 33 51	261800	3730
II Europa	"	3 13 13 42.04	416600	3150
III Ganymede	"	7 3 42 33.35	664200	5150
IV Callisto	"	16 16 32 11.21	1168700	5180
VI	Perrine 1904	250.68	711400	130?
VII	" 1905	260.06	7292000	40?
VIII	Melotte 1908	738.9	14600000	25?
IX	Nicholson 1914	745.0	15000000	25?

122. 木星面像

用六十倍遠鏡，觀望木星，則可將木星放大如月。若倍力增大，則表面之形勢畢露；顏色濃艷，且隨木星之自轉而變。面上大部份之標記，均排列成帶，幾與赤道平行。且此種帶紋之數目及大小位置等，亦逐年而變。上述各標記之表現，為時俱短，長者數星期，或數月。由是而觀，則木星表面，無疑為雲狀之大氣所包也。

木星面光度不勻，邊緣較中部為弱，各帶兩側，不甚清晰。木星面標記，最有持久性者，厥為大紅斑 (Red Spot)。此斑於 1878 年發現，長約 30000 哩，寬約 7000 哩，現紅磚色。初發現時，數年之內十分顯著，今則顏色變淡，漸成圓形矣。此斑初發現時，八年之中，常倚之以測木星自轉速度，前後之差約六秒鐘。最小為 9 時 55 分 34.9 秒，最大為 9 時 55 分 40.2 秒。因知大紅斑與木星表面不相連，天文家對此奇景，正與火星上之運河，同一懷疑，如圖一〇五。



(圖一〇五)

123. 土星概觀

土星為古代發見行星之最遠者，其週圍除九個衛星外，尚有一大環，為一最
美觀之天體，今述其各要點於下：

(甲) 軌道

與日平均距離 885900000 哩， 離心率為 0.056。
與日距之變化達 100000000 哩， 與地最近為 745000000 哩，
最遠為 1025000000 哩， 公轉恆星周期 $29\frac{1}{2}$ 年，
會合周期 378 日， 軌道面與黃道面交角 $2^{\circ}\frac{1}{2}$ 。

(乙) 土星本體

扁平率達 $\frac{1}{9.5}$ (Struve)，

赤道直徑 74100 哩， 自轉軸直徑 66300 哩， 平均 71500 哩。

面積為地 81 倍， 體積 734 倍， 質量 94.9 倍，

平均密度 0.13 倍 (0.715 倍於水)，表面重力 1.17 倍；但兩極與赤道處之差達
百分之三十。

自轉情形與木星同，隨緯度而異：

依 1876 年 Hall 觀測，赤道處周期 10 時 14 分 22 秒，

1903 年依 Barnard 觀測，北緯 36° 處，周期 10 時 38 分。

赤道面與軌道面傾斜 $26^{\circ}45'$ ， 反光率 0.42，

表面與木星同為氣體，並有極厚空氣層。依 Coblentz 計算，其溫度為 -150° (C)。

124. 土星環

土星最特別者，為在赤道面上所圍繞之環 (如圖一〇六)，環可分為三部，曰 A、

B, C. A 部爲最外環, B 在中, C 在內。土星環由加里尼小遠鏡所見者僅爲一環, 十七世紀末, Cassini 始見其爲二, 中以黑線間之。至 1850 年 Bona (哈佛天文台) 發見第三環, 此環爲微塵體 (Dusky) 介于星體與外二環之間。外環 A, 依 Lowell 之測量, 外邊

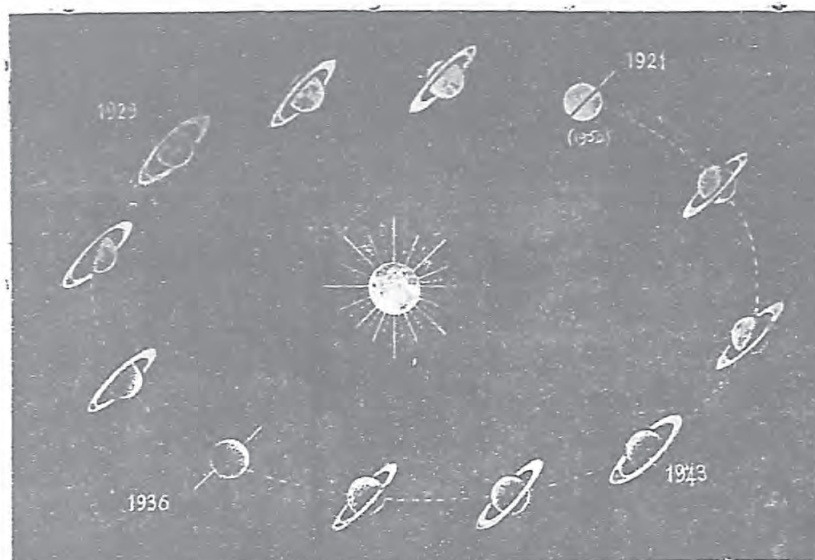


(圖一〇六)

直徑爲 171000 哩, 環之濶 10000 哩, Cassini 發見, 介于 A, B 二環間, 黑線之濶 3000 哩. B 環之外邊, 其直徑爲 145000 哩, 濶 16000 哩, 比 A 環爲光. 依 Lowell 觀測, 謂 B 環與 C 環間, 仍隔 1000 哩. 內環 C, 濶約 11500 哩, 內邊與主星赤道距約 7000 哩. 環之厚, 不及 10 哩. 依近世之觀測, A 與 B 兩環上, 仍似有同心圓之黑線, 在 A 環上者謂之 “Enckes division”, 在 B 環上者乃最近由 Lowell 所發見。

土星環既與赤道面相重, 故可依其公轉運行之位置, 一周期中, 吾人有兩次經其交點. 是時所見之環, 成一直線狀, 與土星合觀, 如針穿明珠. 如圖一〇七, 一爲 1921 年, 一爲 1936 年是. 其他兩次經赤道最遠點 (約 27°) 者, 則見環之面爲最濶. 如 1929 年及 1943 年是. 前二者現于獅子及寶瓶 (Aquarius) 二座. 後二者, 一在金牛及雙子 (Gemini) 座間, 一在人馬 (Sagittarius) 座。

至於環之構成, 依歷來觀測及研究結果, 知環之光多由主星之反射. 環之本身爲微小質點, 或稱爲小月 (Moonlets), 各有一定軌道, 繞星而行. 依 Keeler (1895 年在 Allegheny) 計算, 環外邊迴轉速度應比內邊爲小; 後由觀測所得, 知內邊速度每秒 20 公里, 外邊爲 16 公里. 依 H. Struve 計算, 環之全質量, 僅及主星質量 $\frac{1}{27000}$, 或月之 $\frac{1}{4}$, 其稀疏可知。



(圖一〇七)

125. 土星之衛星

土星之衛星，照現時所知，其數有九。最大者名曰Titan，於1655年為 Huygens 所發見。其中有四個，於 1789年為侯失勒所發見。第八個，於 1848 年為W.C.Bond 所發見。最末第九個，則 1898年，W.H.Pickering 用攝影法所發見者。其運動為逆行，軌道面傾斜為 $5^{\circ}.3$ (或 $174^{\circ}.7$)，離心率 0.17 。今將其衛星系統各星名稱遠近大小等列表於下：

<u>發見年期</u>	<u>名稱</u>	<u>距離(哩)</u>	<u>恒星周期</u>	<u>直徑(公里)</u>	<u>質量(月=1)</u>
1789	Mimas	115300	22時31分5.秒25	650?	$\frac{1}{2120}$
1789	Eneeladus	147800	1日 8 53 6.82	800?	$\frac{1}{520}?$
1684	Tethys	183000	1 21 18 26.14	1300?	$\frac{1}{119}$

1684	Dione	231400	2	17 41	9.53	1200?	$\frac{1}{69}$
1672	Rheo	327300	4	12 25	12.23	1750?	$\frac{1}{30}$
1655	Titan	758800	15	22 41	26.82	4200?	1.86
1848	Hyperion	919700	21	6 38	24.0	500?	$< \frac{1}{60}$
1671	Lapetus	2210000	79	7 56	24.4	1800?	$< \frac{1}{13}$
1898	Phoebe	8034000	550.44			250 ?	—

126. 天王星概觀

天王星為近世發見大行星中之第一個。最初發見者為侯失勒，時 1781 年三月十三日也。當時彼以為所見者，乃彗星之一種，並不擬想其為新行星。其後由 Lexell 計算之證明，始知乃循圓周軌道運動土星以外之行星。太陽系遂由六大行星，變為七大行星矣。今述其各要點如下：

(甲) 軌道

與日平均距離 1782300000 哩，離心率 0.047。
 與日距變化遠 84000000 哩，軌道面與黃道交角 46'。
 公轉恒星周期 84.01 年，會合周期 369.16 日，公轉速度每秒 $4\frac{1}{4}$ 哩。

(乙) 天王星本體

平均視直徑 3"75，真直徑 32400 哩。
 扁平率 $\frac{1}{12}$ ，惟依 Bergstrand 研究，則謂為 $\frac{1}{18}$ 。
 面積為地之 16 倍，體積 64 倍，質量 14.7 倍，密度 0.23 倍(或水之 1.27 倍)，表面重力 0.92 倍，反光率 0.45，與木土二星相似。其他物理性質，雖未能精確測定，但可設想其與木土二星有相似之點，表面尚為氣體狀態。
 自轉周期 $10\frac{3}{4}$ 小時(Howell 與 Slipher 測定)，赤道面與軌道面幾乎一致。

127. 天王星之衛星

天王星有衛星四，曰 Ariel，Umbriel，Titania，Oberon 以 Titania 為最光，約

與十四等星相當, Umbriel 最小, 此星與 Ariel 非用極大遠鏡不可見, 其衛星系統之組織, 觀下表自明:

名稱	發見者及年代	恒星周期	距離(哩)	直徑(公里)
Ariel	Lassell 1851	2日12時29分20·秒3	119100	900 ?
Umbriel	Lassell 1851	4 3 27 3·67	165900	700 ?
Titania	W.Herschel 1787	8 16 56 26·7	272200	1700?
Obcron	W.Herschel 1787	13 11 7 3·5	364000	1500?

此外有一最可注意之點, 為諸衛星之軌道與黃道傾斜極大, 為 $82^{\circ}2$, 且運動皆為逆行, 故又可謂其傾斜為 $97^{\circ}8$, 對於主星軌道之傾斜為 $98^{\circ}0$ 。

128. 海王星概觀

(甲) 發見史略

自奈端以來, 算理天文學中, 著驚人之成績, 無過海王星之發見。自 1781 年天王星發見以後, 即有 Lemonier 及其他極多天文家察知天王星運行軌跡, 與向來觀測結果不符, 雖極力將木星土星等攝動差修正, 仍無法使其理論與實際觀測結果相合。迨後為時逾久, 其差逾大, 至 1845 年, 此差已達兩弧分。自是天文家多認其由一意外大吸力干涉所致, 始從事此無名大吸力之探究, 以求解決天王星逾軌運行之原因。

Leverrier 者, 法之少年極有天才天文家也, 一日將其計算結果致一函于柏林天文台 Galle 天文師云:

“請將閣下遠鏡, 對準黃道寶瓶宮黃經 326 度處, 閣下可在此處一度以內發見一新行星, 此星有特殊之圓面, 其大小約與九等恒星相當”。

由是此星即于 1846 年 9 月 23 日在柏林發見, 其位置與 Leverrier 所言者僅差 $52'$ 。

然同時與 Leverrier 分其發見光榮者, 有英之 J. C. Adams, 觀測者為劍橋天

文台之 Challis. 當時 Adams 由算式發見, 且比 Leverrier 為早, 惜 Challis 之觀測, 因缺乏精細天圖, 對於新行星之位置, 不能立刻指出, 其發表遂在 Galle 之後. 炫學爭風, 至今成為美談。

惟 Leverrier 與 Adams 計算, 當時俱受波特定律影響, 致所決定之軌跡各要素及質量等, 皆有錯誤. 吾人現時所得之較精確知識, 皆後來據較精確觀測, 重新推定者也。

(乙) 軌道

與日平均距 30.07 單位, 或 2792700000 哩 (但波特定律預示 3600000000 哩)。

軌道極近圓形, 離心率 0.0086. 與日距變化達 4800000 哩,

公轉恆星周期 164.8 年 (但 Leverrier 計算, 為 217 年)。

公轉速度每秒 3 $\frac{1}{2}$ 哩, 軌道面與黃道傾斜 1°47'。

(丙) 海王星本體

視直徑 2".3 (Abetti) 真直徑 31000 哩, 或地直徑之 3.92 倍。

質量為日之 $\frac{1}{19350}$, 或地之 17.16 倍. 密度 0.29 倍 (或水之 1.6 倍),

表面重力 1.12 倍. 反光率 0.52.

自轉運動及扁平率, 皆因觀測困難之故, 未能完全確定。

以上所舉, 皆為大概數值, 然已可謂其與天王星多有相似之處, 為一對兄弟行星, 與地球金星一對姊妹行星, 內外輝映矣。

129. 海王星之衛星

海王星僅有衛星一, 主星發見一月以後, 即為 Lassell 所發見. 軌道為圓形, 半徑達 219800 哩. 繞主星周期 5 日 21 時 2 分 38 秒, 運動亦為逆行. 軌道面與主星軌道面傾斜 139°49', 與主星赤道面傾斜 20°. 軌道與赤道交點運行一周, 周期 580 年 (Eichelberge and Newton 1926), 直徑 5000 公里。

130. 海王星以外行星之探究

海王星外 (Ultra-Neptune), 尙有行星否, 久已成海王星發見後之一重要問題。近年以來, 一般天文學家, 已多認海王星外尙有行星存在, 因由天王星海王星之攝動差, 或由帶彗星之關係, 及檢查攝影片等方法, 均有蛛絲馬跡之可尋也。

由攝動差法言之, 若該星在海王星外側, 則對於海王星之攝動必比天王星爲大, 惟以海王星之發見爲時比天王星短, 其軌道要素之決定, 比天王星爲欠精密。故用天王星攝動以推究, 似又以此用海王星者爲佳。一般天文家遂多用天王星之攝動差, 以推定海王星外未知行星之位置, 如1877年之 D. P. Todd, 1901年之 H. Lau, 1909年之 A. Gaillot, W. T. Carrigan, T. J. J. See, W. H. Pickering 及1915年之 P. Lowell 等, 皆其最著者也。

1928年時 Pickering 更參用海王星攝動差以推究, 其結果謂海王星外有行星三個, 暫名之爲 P. S. O. 此三行星之各要素如下:

(a) 行星 P.

公轉 556.6 年, 日距 67.7 單位, 質量 1.16 倍于地, 密度 1.53, 星等 11.0 (1929.0)

(b) 行星 S.

公轉 333 年, 日距 48.0 單位, 質量 5.32 倍於地, 密度同海王星, 星等 10.5 (1929.0)

(c) 行星 O.

公轉 209 年, 日距 35.28 單位, 質量 0.5—0.75 倍于地, 密度同海王星, 星等 11.5 (1928.7)。

至由彗星軌道及其繞日周期, 以推算海王星外之行星者, 乃統計學上一種適遇數。因現時已知某行星軌道內常有彗星數個, 或十餘個, 其中最顯著者, 如木星族彗星, 此類彗星之軌道, 皆集于木星軌道附近, 而周期由四五以至七八年皆有, 又如土星族彗星, 此類彗星之集于土星軌道附近者, 其周期爲十以至二十年。此外如天王星亦有天王星族彗星, 其周期爲三十以至四十年。海王星族彗星, 周期爲六十以至八十年。至周期在八十年以上, 由一百二十年以至百四十五年者

倘有彗星三個。其他周期更長者，均在二百年以上，而此三彗星之遠日點距，介于 48 以至 55 單位之間。根據此點，一般天文家遂多推想日距 50 單位附近應尚有一大行星，此三彗星即屬於此未知之行星族。

三年以前，天文界忽宣佈驚人消息：謂第九大行星，已為吾人所窺見。于是數十年來（自海王星發見以後 84 年），天界沈悶空氣為之洞開，發見熱狂，頓得償乎所慾，于是數理戰勝偶然，又告一次凱旋矣。

131. 冥王星概觀

所謂冥王星 (Pluto) 者，即最近發見太陽系第九大行星也。此星居海王星以外，在未發見以前，吾人常稱為海外行星 (Transneptunian Planet)。

此行星之發見，乃依故 Lowell 博士數理推算之指示，循海王星發見之古道，從事為實測探究者也。此星之發見，為 1930 年三月，現經各地天文台之研究，已能確認其本體。但此星發見時，Lowell 已不能及身而見，可引為大憾耳。

此星距太陽極遠，而星光又極弱，從事觀測殊覺不易，其本性及運行如何，一時未能確定。近年以來，各地天文台除一面不斷實測外，同時並按索追求以前黃道附近舊照片，以資參攷。故對於此星之軌道運行，已可逐漸明瞭。其中結果，雖各家互有不同，然鑽研愈深，則真相亦愈暴露。得數亦不致相差太遠。



(I)

(圖一〇八)



(II)

此圖為冥王星發見後數日在天空中之位置，(I) 為 Heidelberg 天文台 Max Wolf 博士所攝影，時為 1930 年 3 月 19 日，圖中最大之星為雙子座 δ 星 (δ Geminorum)，箭矢所指處，即冥王星所在也。

(II) 為巴黎 Juvisy 天文 M. F. Quenisset 所攝，時為 1930 年 3 月 20 日，但此圖視野較小，故見各星較逼近。

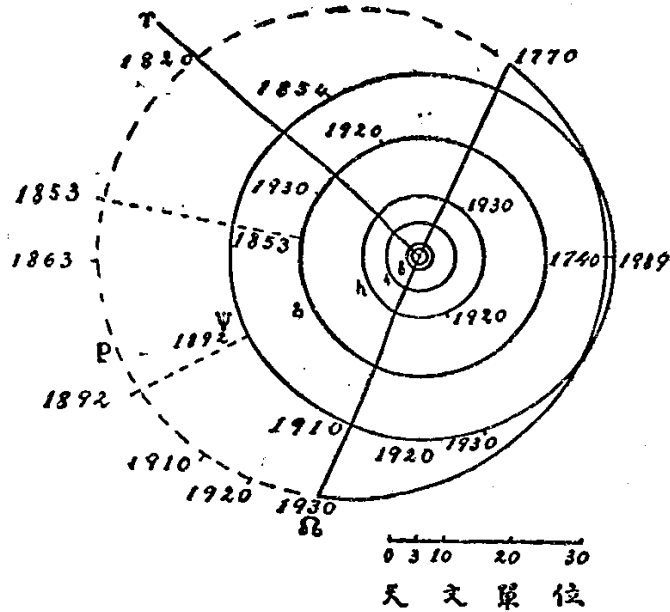
(甲) 軌道

關於冥王星軌道之計算，除當年 Lowell 預算以外，已不下數十家，然其中為一般天文家所認為較滿意者，則首推 Bower 與 Whipple 要素，茲將其結果表列于下(天文台兩月刊第三卷 133 頁)：

	<u>Bower 與 Whippe</u>	<u>Lowell 預示</u>
與黃道面傾斜	17° 9'	10'
公轉周期	248—252 年	282
近日點距	29 (A. U.)	34.3 (A. U.)
半長徑	39 (A. U.)	43.0 (A. U.)
離心率	0.25—0.26	0.202
過近日點時間	1987 年或 1989 年	1991.2 年

由表而觀，可見 Bower 與 Whippe 據實算得各值與 Lowell 預示者，均不甚大，吾人至是不能不承認 Lowell 數理天文之成功，為 1846 年後，繼 Leverrier 及 Adams 而與之第一人。

如將冥王星軌道與其他大行星在天空運行比較，可得下圖一〇九：



(圖一〇九)

(乙) 冥王星本體

欲求冥王星本體之物理性質，則比軌道要素推求，難逾倍屢。蓋以其距離極遠，星光極弱，無論用何方法，所得數值，絕難信其可靠也。下表所列者，為由視星等法推得之結果，亦不過為試驗之估算值耳：

假定之反光率	0.07	0.24	0.60
冥王星直徑 (⊕=1)	0.80	0.40	0.24
冥王星容積 (⊕=1)	0.51	0.60	0.01

可見冥王星之直徑，僅為地球之 0.24-0.80 倍，而容積則為地球之 0.01-0.51 倍。至其質量之大小，最大限約為地球之 0.5 倍。此外更根據他種方法之推算，亦覺冥王星之體質，均比地球為次，而與附近之海王星，相差更遠也。

習 題 XII.

1. 問行星之視運動何以有進退，又此種進退視運動，內行星與外行星有無區別？
2. 試用精確比例數，繪畫土星系（連衛星在內）圖一幅。
3. 問八大行星，何星之運行與刻白爾第三定律最能適合，試根據各已知數，逐一推求而與平均值 $\frac{T^2}{a^3}$ 比較之。
4. 問各行星反光率，與日距，星體質量及密度有無一定關係，試統計而研究之。
5. 問由木星望地球經凌日時，其視角直徑為若干？
6. 當見木星之衛星過其表面時，問衛星之影居前乎，抑隨後乎？
7. 試根據冥王星本體諸要素，將其視直徑寫出，又繪一圖比較地球，水星，金星，月及冥王星五者體積之大小。
8. 問冥王星本體與 Pickering 所預示三星之何星最相似？

第十三章 彗星流星及日局起原

132. 彗星

彗星 (Comet), 爲太陽系中一種特異星體。西文名詞, 原於拉丁文 Coma, 卽頭髮之意; 以其行近地球, 能爲肉眼可見時, 其狀如髮束故也。吾國人以其似掃帚之故, 又常稱爲掃帚星。

一切彗星, 多具一核 (Nucleus), 外包以雲霧氣體。當其爲肉眼可見時, 核光極強, 大小如月。所拖之尾, 大小不一, 其中最長者, 可由天頂以達地平線上。但此種彗星, 常不多見, 數十年或數百年方有可見機會。如圖一一〇, 乃 1907 年大彗星, 爲 Herkes 天文台于該年 9 月 8 日所攝影者。



(圖一一〇)

通常在天空發見之彗星均極小，須用遠鏡方可窺見；且多作圓形，與星雲無別（如圖一一三 Encke 彗星），只能于攝影片上或測微鏡內觀其移動與否以斷定之。

在天空已發見之彗星，為數極多，計截至 1925 年，已達九百，其中四百，在 1609 年遠鏡未發明以前，已有記載，俟後隨遠鏡之進步，發見日多，計十八世紀之下半，每年平均發見一個，1880 年以後，每年平均多于五個，最多者為 1925 年，此年發見共十一個，其餘較小或較遠，出遠鏡範圍以外者，尚不可勝數。

彗星之命名，常取發見者之名以名之：如 Halley, Encke 及 Donati 等彗星，其最著者也。又有按該年發見之次序，而以英文字母表示之者：如 1895 a, 1899 b 之類是也。但現時常將該年發見之次序，及發見者姓名並寫，如 1930 年 Milk 發見之彗星，寫為 1930 c (Milk), Forbes 發見者，則寫為 1930 e (Forbes) 是也。彗星記錄，間亦有用羅馬數字，記該年經過近日點之次序以為識別者：如 Donati 彗星，原記為“彗星 1858 f”又可記為“彗星 1858 VI”。又彗星之名，亦有雙重者：如 Pons-Brooks 彗星，于 1812 年為 Pons 所發見，于 1883 年回復時，為 Brooks 所發見，及 1930 年之 1930 b (Schwassmann-Wachmann) 等是也。

123. 彗星軌道

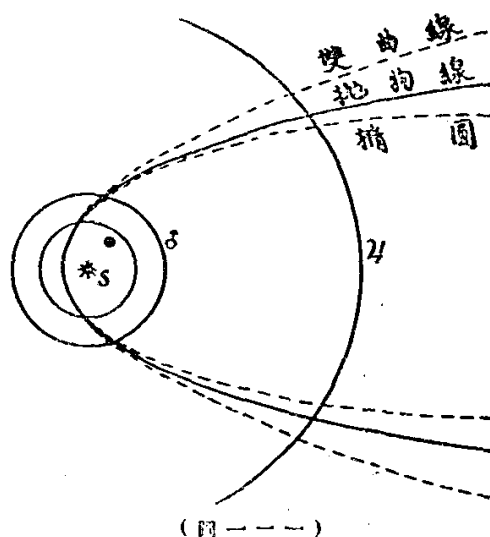
彗星軌道，多為拋物線，次為橢圓，最少者為雙曲線。在 1910 年統計，四百彗星中，軌道為拋物線者，佔三百，橢圓者約一百，而雙曲線之近拋物線者，僅有二十。

以上所言之軌道，為一極大概情形，實際所謂拋物線者，並不完全為幾何的曲線。因吾人所算之軌道，皆以彗星於能見時之觀測為基礎，並假定其運動為循定軌的運動。但彗星之能為吾人見者，僅彗星行近太陽與地球時。若彗星之軌道極大，則此時所旅行之途程，與全軌道比較，為極小部份。此極小部份之為橢圓，為拋物線，抑為雙曲線之一部乎，實難肯定，故易陷錯誤也。如圖一一一：

三者之軌道極大，而觀測之部份極小，則所得結果，似覺三種曲線皆能滿足，但通常軌道計算時，以拋物線計算為較易，結果遂多得拋物線。反之，彼彗星運行中，可見之時間較久，觀測部份較長者，則所得結果，恆易得橢圓或雙曲線軌道。

且當計算時，計算者，祇計及太陽之引力，常將各行星引力畧去，如是所算出之軌道，不

受攝動影響，謂之接合軌道 (Osculating orbit)。但在實際言之，行星引力，實能時時干涉彗星之行動；有時且能將其軌道變更，由橢圓變為雙曲線，或由雙曲線以變橢圓，是故觀測之部份有不同，所得曲線亦異。



134. 橢圓運動彗星

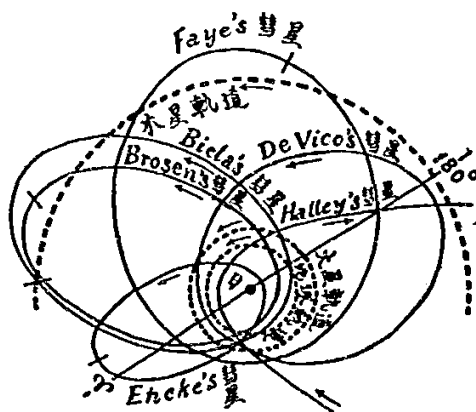
橢圓運動彗星，為三種曲線運動中之有周期者。至 1925 年時，已知其周期短于百年者為數五十有四；介于 100 及 1000 年者，為數二十；介于 1000 及 10000 年者，為數三十。此種長周期彗星，當其回復時，常易錯認其為新彗星。因普通彗星既無特別形狀以資認識，或從前觀測或未能詳實記載，以資後人比較。或當其回復時，本身形態，有所變更，廬山面目，遂不可復識。于 1925 年查攷，知周期之短於百年者，有五十四個，此五十四個中有四十一個周期介於三年與九年。又此四十一個中有三十六個，周期相差更小，介于五年與七年半。此種短周期彗星，細者似自成一族。其運動方向，與行星系同。其軌道對黃道傾斜不大，平均只為 14 度，且體質皆極小，又不常行近地球，故非肉眼可辨。其中有小部份展成一短尾，除多數無尾，成圓片狀。又此類短周期彗星，其軌道之遠日點，皆與木星軌道相近。且以其中二

軌道面交點之一為尤近，其中有二十四個，軌道在木星軌道內 15000000 哩；十一個 50000000 哩；餘六個最近時介於 51000000 與 85000000 哩間。但平均數 22000000 哩。

如圖一一二，即示短周期彗星，其遠日點及軌道交點之一與木星軌道相近者也。此等交點，在圖上均以短畫線記之。

135. 羈留理論

上述短周期族彗星，似與木星極有關係，依拉伯拉斯之解釋，謂由于木星將其捉拿，倡羈留理論 (Capture theory)。即謂此等彗星原為拋物線或近拋物線運動，當其行近木星時，受木星引力影響，將其拋物線運動改變，變為橢圓運動，此彗星遂受羈留，永遠在



(圖一一二)

木星軌道範圍內，繞日旋轉，為有周期運動。此等彗星，名曰木星族彗星 (Jupiter's family)。

例如 Brooks 彗星，(1898—V) 為一弱小彗星，其繞日周期為 7.10 年；于 1896, 1903, 1910 及 1925 等年皆見之。但由 Chander 及 C. L. Poor 計算，謂 1886 年七月二十日，此彗星行近木星，與木星表面距僅 55000 哩 (在木星第五衛星軌道內)。由此時起，遂被羈留。此彗星在未羈留以前，其周期為 29.2 年，近日點距 5.5 單位云。現時由觀測上，知其遠日點實與此數相近，而公轉周期，則變為 7.10 年。

Encke 彗星，如圖一一三，為發見木星彗星族之第一個彗星，其周期極短，為 3.3 年；且每次回轉，因阻力關係，更畧為縮短，約兩小時。此小彗星在木星族中，極著聲譽，為無尾彗星之代表，惟羈留年月，則無可稽考矣。

其他如土星，天王星及海王星等，亦各有其彗星族，殆亦全由空間捉拿而來。根據此理，若能測量其帶彗星之遠日點距，即可估度此行星距日遠近之大概。近年來常以有期彗星軌跡之測量，為探究新行星之工具者，職是故也（見130節）。



(圖一一三)

136. 哈雷彗星



(圖一一四)

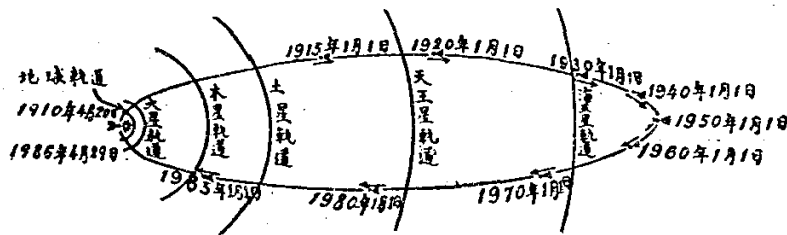
哈雷 (Halley) 彗星，為最著名彗星之一。先由 Halley 發見其有周期性以得名。當 Halley 發表此彗為一周期彗星時，謂 1682 年之彗星，與前 Kepler 及 Apian 在 1607 及 1531 年所觀測者同。再推而上溯，即 1456, 1301, 1145 及 1066 等年所見之彗星，亦即此星。

此星最近在 1910 年四月二十日經過近日點，當時尾長達 60 度，橫亘天際，

種爲奇觀，如圖一一四，爲 1910 年 5 月 13 日 Lowell 天文台所攝影，攝影時間達 35 分鐘；圖右下角爲金星，彗星之全長佔 52° 。此星初見時，爲 1909 年九月十一日，先由 Wolf (Heidelberg) 所攝得，此時與日距尙爲 310000000 哩，以後日顯一日，至 1910 年四月時經近日點，體積最爲偉大，以後又逐漸縮小，直至 1911 年八月始不可見。

哈雷彗星運動周期，受攝動而變化，其變幅約五年，在西紀元 530 年時，其周期爲最長，至 1910 年爲最短，平均爲 77 年，如是在二十世紀末年，此偉大之哈雷彗星，又與吾人相會矣。

此種偉大彗星，當其發現時，天空頓呈怪象，橫掃天空，故古來國無中外，咸認之爲兇星，觀此星之發現，卽疑天災大禍之將至，爲警告朝野修德之最好預兆。在我國言，此次哈雷彗星之發現，與辛亥革命並至，中原鼎沸，清社傾覆，此雖迷信之預言，然亦可謂極巧驗矣。



(圖一一五)

哈雷彗星之回歸

137. 彗星族及群

短周期彗星之能成族，于前述木星族彗星可以見之，此外由觀測結果，如土星，天王星及海王星等，亦能羈留彗星，各自成族，惟其數遠不及木星之多。

又此外尙有無數彗星，其性質相似，而循同一軌道運動，自成一羣者，是謂彗星群 (Comet groups)。此等彗星羣，最初發見者爲 Utrecht 之 Hock，時爲 1865 年。

彗星群最顯著者，爲 1668, 1843, 1880, 1882 及 1887 等年之大彗星羣，其近

日點距極小，僅 510000 以至 720000 哩，與日面距則在 3000000 哩以內。經此點時，穿過日冕，速度每秒達 500 公里。其軌道極扁長，當其初入太陽時，幾乎為直線運動。此等彗星，其軌道面雖彼此畧有不同，然皆似平行而循同一方向運動。

此五彗星羣中，以 1843 及 1882 二年者為最亮，周期頗大，前者介於 400 與 800 年；後者介於 800 與 1000 年。至 1880 及 1887 年彗星羣則極弱，尾大而頭不顯明，軌道未能精確決定；或謂其中之一，即為 1668 年彗星羣之前身，因彼此頗相類似也。此等彗星羣，最少由四個不同彗星所構成。此數個不同彗星，似由一大彗星爆烈所致；如 1832 彗星，當其經近日點時後，已見其有五核；然不久，由 Barnard 及其他天文家所見，則謂其附近有六個以至八個似彗星體，循平行之軌道運動云。

138. 拋物線及雙曲線運動彗星

彗星之運行，多循拋物線；其軌道面之傾斜，及近日點之距離，皆極不一致。依統計結果，軌道面之傾斜，由 0 度起，以至近 90 度者皆有。近日點之距離，小於 1 單位者，佔百分之六十三；介於 1 與 2 單位者，佔百分之三十二；介於 2 與 3 單位者，佔百分之四；大於 3 單位者，僅百分之一，其他更遠者，不易發見，為數不多。現時發見最遠者，一為 1729 年彗星，其距離為 4.05 單位，一為 1925a 彗星，其距離為 4.18 單位。

彗星之循雙曲線運動者，為數無多，現時查知其軌道近雙曲線者，為數約二十。將來或可因觀測精確而增加。至其軌道面之傾斜，近日點距離等性質，多與拋物線彗星相似。彼與拋物線彗星相差最遠者，為 1886 III 彗星。軌道離心率為 1.0130。但此彗星觀測之時間僅 33 日，此數或未能十分精確可靠。至 1914 年時，據 Stromgren 研究，謂其中有八個，確與拋物線不同，無疑其為雙曲線彗星。但此等彗星，軌道亦為一種接合軌道（見 133 節）。當經近日點時，常因受土木等星吸力影響，而增加其軌道上運行之速度，吾人由觀測上以定其軌道性質，則常以此為雙曲線軌道運動之裁判云。

139. 彗星之構成及其大小

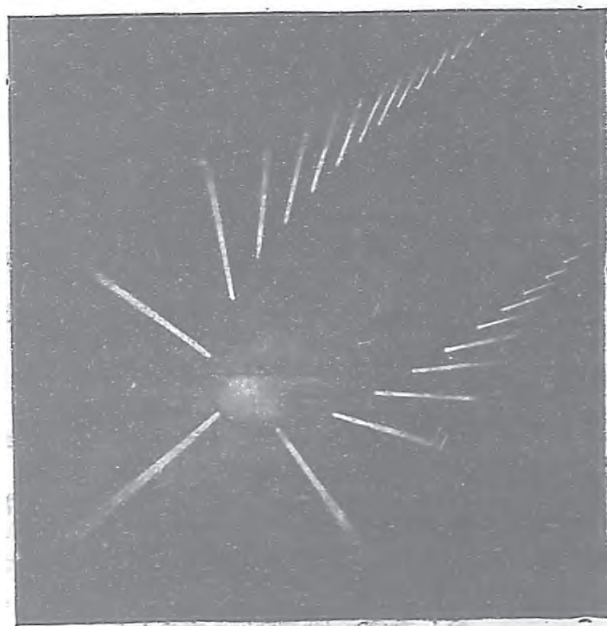
彗星之構成最大部分爲其髮 (Coma) 部，此部分物質，爲微光透明之雲氣，外觀成圓形，或卵形，然非永久不變者。

彗星常有一核，爲較光似普通星體之一部，位于髮部中央，觀測時常用以定彗星位置者。彗星之無核者，其位置則以髮部密度最大處定之，然亦有一彗而有三核或三核者，如 1882 年之大彗星是也。

彗星近太陽時，常將極疏髮部，展成一尾，尾之方向與太陽相背，以其核向太陽。由此即可證明彗星之尾必爲極稀疏之物質，因其能受太陽光輻射壓力之故 (見 104 節)。如圖一一六：

彗星之體

積常極偉大，普通彗星之頭(即繞核之部份)或髮部，直徑常達 30000 以至 150000 哩，平均 80000 哩。其小于 10000 哩者則不常有，因直徑小于 10000 哩者，已不易觀測矣。最大者爲 1811 年之彗，



(圖一一六)

其直徑約一百萬哩，遠大于太陽本身。至繞彗星頭之外層雲部，在 1909 年十二

月所見之哈雷彗星，直徑 550000 哩。1892 年之 Holmes 彗星，直徑 1400000 哩。

惟彗星頭之大小，又常隨日距而異。通常在近日點時，較在遠日點為小。而可見之部份，則超過相當距離後，又愈遠而愈小。如哈雷彗星，1909 年九月時，與日距為 290000000 哩，只見一大輕鬆之核無尾，直徑為 14000 哩。至十二月時，日距為 180000000 哩，直徑為 220000 哩。1910 年四月，在近日點時，日距為 55000000 哩，直徑為 120000 哩。至是年六月，大於此數兩倍，其直徑又增至 320000 哩。至 1911 年四月，距離為 400000000 哩，直徑則反減為 30000 哩，以後漸遠漸小。

核之直徑，普通皆極小，如哈雷彗星，近日點時，亦不過 500 哩。1911 年之 Brooks 彗星 750 哩。1858 年之 Donati 彗星 900 哩。1882 年大彗星，為彗星中最大者，亦不過 1800 哩。

彗星之尾，普通極大，能為肉眼可見者，多長于 50000000 哩，或 100000000 哩。其長之介于 30000000 及 500000000 哩者，為數不少，其大者常至 100000000 哩。

140. 彗星之物理性質

彗星之體積雖極大，然質量則極小，全量之和，常不及一最小行星。故當彗星之行近任意一行星時，只見行星之吸力影響于其軌道之運動，而絕少有行星之運行受其影響者。如 1770 年 Lexell 彗星，極近地球時，因受地球吸力影響，其周期縮短 $2\frac{1}{2}$ 日。而彼吸力之影響于地球者，依計算結果，非彗星之質量增至地之 $\frac{1}{13000}$ ，不能令地球運行，一年有一秒之差。又如 1886 年 Brooks 彗星，受木星之影響，其周期由 29 年縮短為 7 年。而木星周期之變動，曾不逾兩三分鐘。因此彗星之質量，不及地之 $\frac{1}{10000}$ 也。照現時所知，普通所謂大彗星，其質量尚比地之 $\frac{1}{1000000}$ 為小，即謂比 6000000000 噸為小也。

彗星之體積如其大，質量如其小，則彗星密度之小，亦可想見。以尋常體

積，彗星頭之直徑為 80000 哩者言，若其質量為地百萬分之一，則其密度亦不過地球表面空氣密度 $\frac{1}{230000}$ 。此種密度，若在試驗室求之，只能用極精真抽氣機，始能達到。至於彗星之尾，其密度更比此小，非人工製造所能達到之真空。如 1910 年之哈雷彗星，依 Schwarzschild 計算，謂其尾之密度，2000 立方哩內所有物質，比一立方吋內所有空氣物質為小，其稀疏可知矣！

彗星之光，多原於日光之反射。光之大小，又繫乎星內部組織之變化，離日及地之遠近。故彗星光之變化極迅速，且又與時不同。有此次經近日點時，光芒極盛，下次至近日點時，有用大遠鏡尚不能見者。如 1882 年之大彗星是也。

若彗星之光全由日光之反射，如一切之行星，則其光度之變化，應與 $\frac{1}{R^2 \Delta^2}$ 為比例，式中 R 為日距， Δ 為地距。

在實際言之，弱小且距日極遠彗星，其光之變化，尚能依比例法則。但大部分偉大彗星，其光之變極為迅速，似與 $\frac{1}{R^n \Delta^2}$ 為比例。式中之 n 等於 3 或 4, 5, 6 等數。其平均值為 4。然不甚規則處仍甚多，未可一概論者。

141. 地與彗星相撞之推測

彗星之體積極大，而質量極小。其密度之小，更不待言。照現時估計，哈雷彗星密度，大約一立方公里空間，只合直徑一公厘球三個。若此球之密度如普通之巖石，則每立方哩空間物質，其重僅達半安士 (Ounce = 28.35 gr.)；總彗星之全量，不過 25000000 噸，其小可知。而彗星之尾，質點更稀疏；依 Schwarzschild 計算，若此尾由極細微塵埃所構成，其全重不過 1000000 噸。若由氣體分子所構成，則不過一百噸，其稀薄又可知。若以地球與彗星相遇之機會言之，自地球有生以來，當為必不能免之事實。若以小而運動極速物體言，依計算結果，彼與日距為一單位者，約 400000000 個中，有一個能與地球相撞。以平均言之，大約每年中，有彗星五個，與地球相距為一單位。彗星核之能與地球相撞者，約 200000000 年一次。而與其頭之外部及尾相遇者，為數較多。但此彗星尾部密度極小，假定其能與地相觸，則在地上所受影響，必不至有碍動物之生命也。

然或有以爲當地球與彗星相遇，則地球大氣與彗星氣體相混，至成毒氣，危害地面生物者，但以彗星上氣體之薄弱，其混入空氣間之分量，亦必不多，如是亦不致有害，如 1861 年之大彗星，及 1910 年之哈雷彗星尾，皆已橫掃地球，然兩次皆不見有若何影響，可見地球與彗星相遇，非極危險事，吾人亦可不必抱杞憂矣。

142. 流星

夜晴時見天上有星由一位置移至他一位置，其行急速，其表現轉瞬即滅者，統名曰流星。但其中星光較弱，表現時間不及一秒者，常別稱爲飛流星 (Shooting stars)；其中較大較光留痕較久者，常稱爲火流星 (Fire balls 或 Bolides)，如圖一一七：

大流星經過後，常留一光痕，大者至數分鐘始消滅，移動方向，有時向此，有時向彼，極無規則。此等流星，不分日夜，常在天空移動，惟日間陽光過強，遂不可見。

此等流星外觀上運行極速，由是可知其與吾人距離必不甚大，其距離之幾何，可由地面上相異兩點，用經緯儀共同觀測流星初發現處，求其視差角而得也。依觀測結果，流星之可見者，其距離在一百哩以內。



(圖一一七)

此種流星，乃由空間以極大速度飛來之小物體。入空氣層以後，因摩擦而生熱生光；達極熱時，常變灰燼以致消滅不可見。其體積較大，焚燒不盡墜於地上者，稱為隕石 (Meteorites)。

夜間觀測流星，以單獨一觀測者言，平均每小時，可見四個以至八個。若日久習熟，在無月光之夜，其可見之數，約增一倍。但一觀測者在地面上，其地平視線之距離，約七哩，地平圈內面積，不過一百五六十方哩。以地球面積之大，在二十四小時內，流星之入于地球空氣範圍內者為數必在數萬矣。但此猶以肉眼所見者言，若用遠鏡觀測，則可見之數，又必倍蓰于是。何物流星，竟爾滿佈天空，令吾人有槍林彈雨之感乎。

又因地球自轉運動，由西向東旋，故向前一部，所遇流星，應比隨後一部為多，即夜間觀測，下半夜應比上半夜為多，而下半夜流動之速，亦懸大於上半夜，正如人冒雨前行，前面受雨，必比後背受雨為多，且點滴有力也。

流星之高度，依觀測結果，其小者為飛流星，初發現點之高，平均 70 哩，消滅點平均 50 哩，其大者如火流星，其相當高度為 85 哩及 30 哩。經留之痕，平均長約 200 哩。

移動速度，飛流星體積較小，空氣抵抗力因而亦小，故其速度較火流星為大。惟因其極速之故，觀測反不及火流星之精密。流星移動之速度，最小者每秒 15 公里，最大者每秒可達 75 公里。惟初入空氣時速度較大，以後空氣抵抗力漸大，速度亦因而漸減。

流星體積及重量之大小，至不一定，由最小之飛流星數公厘，以至最大之火流星數公斤皆有。惟以其極多之故，日積月累，為數必鉅，對於地球體積之增加，及地球自轉之速度，必有相當影響也。

143. 隕石

隕石之墜落，歷代皆有，然以地面之廣濶，海洋山谷無人烟無從調查者，不知凡幾，是隕石確數有幾何，無由知之。

隕石墜下時，有時為單獨一塊，但通常所見者或數塊，或多至數千塊。1869年在 Pultusk (波蘭) 所墜下之隕石，為數多至十萬塊，但體積極小。吾人所知歷來最大之隕石，為由 Greenland (北美洲) 之 Melville 灣得來，現存於紐約美國自然歷史博物院 (American Museum of Natural History) 者；三隕石中最大一塊，其重為 $36\frac{1}{2}$ 噸，其體積為 $10.9 \times 6.8 \times 5.2$ 立方呎。

隕石之外表，常呈薄層黑皮，狀如膠漆，此乃由空氣摩擦被焚燒之焦面。又表面常呈深陷小孔，如用拇指按壓而成，此乃隕石之含特別易于焚燒物質，先被燒去之故。如圖一一八乃存於巴黎自然歷史博物院之二隕石。右石之重 5360 公斤，左石之重 591 公斤，大者得自 Bresil 之 Bendego，小者得自埃及之 Caille。



(圖一一八)

隕石之主要成分，為(1)石類，大多為矽及酸化等物；(2)鐵類，大概為金屬。其平均成分，鐵佔百分之 72；氧百分之 10；鎳百分之 6.5；矽百分之 5；其餘尚有鎂、硫、鈣等佔百分之五 (科學雜誌 13 卷 9 期 1204 頁)。總之，在隕石內所有原素，為數約三十，然尙未能發見某種原素，為地球上所無者。

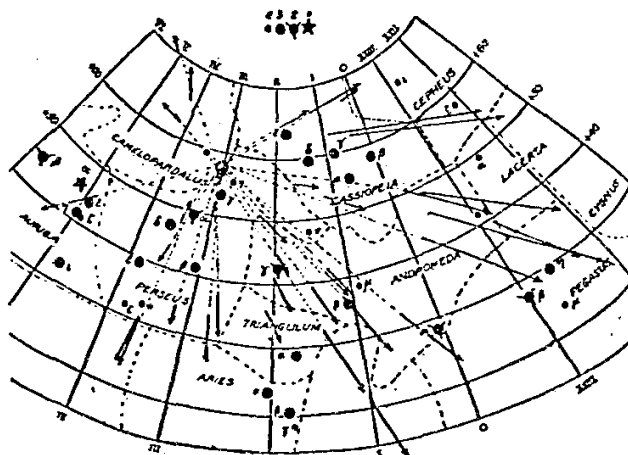
石類隕石，其構造每顯顆粒及小球，此種顆粒及小球名曰長珠 (Chondri)；長珠之大小，或細如灰塵，用顯微鏡可見；或大如胡桃，肉眼可見；惟多數大如黍實，斑斑可數。

鐵類隕石，其鐵有一定結晶構造，若將該鐵切片之表面磨平，以酸類侵蝕之，則更明顯，此種侵蝕所得形象，普通名曰Widmanstätten 線，蓋以研究此形象之人而得名，是則與地球上之鐵有不同也。照研究結果，隕石平均密度，其數為 3.65，與地球之平均密度 (5.515) 相差頗遠，惟與月球密度 (3.33) 則甚相近。

144. 流星羣

當一年中，有若干時期，見天上流星，其發出方向似有一定，其數逾千，其狀如下雨者，此種現象曰流星羣 (Meteoric Shower)，其所從發出之點，曰發射點 (Radiant)，此點可由流星軌跡延長線得之。如圖一一九：

此發射點之在天上，位置常有一定，依所在星座範圍不同，其名亦異。其中最著名者，如由獅子座所發出之流星羣，名曰獅子座流星羣 (Leonids)；在仙女座者曰仙女座流星羣 (Andromedes)；在英仙座者



(圖一一九)

曰英仙座流星羣 (Perseids)；在天琴座者曰天琴座流星羣 (Lyrids) 等是也。

此發射點，原為透視之結果；流星之運行，彼此頗近平行線，吾人所以見其散

開者，如俯身斜望火車軌道，愈遠愈聚成一點耳。此等流星羣之來，原為在空間同方向運動之物體，地球每年公轉運動時，遂在軌道上一定地位與之相遇。故吾人在地球上期望，每年在天上皆如由同一之點發出也。

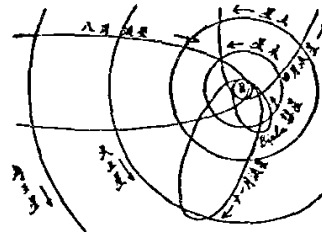
流星羣中最著名者，為1833年十一月十二日獅子座流星羣，當時一小時內發出流星多至200000，如是者連續五六小時之久，此後每年之同一日，仍繼續發現，惟不及該年之盛。至英仙座流星羣，其發現時間，為每年之八月十二日；且活動現象，似年年相同。其他則或盛或衰，有一定周期，此蓋由于流星羣之本體，為微小質點，亦繞日而轉，聚成環形，平均散佈于其全軌道，故每年與地球相遇處之密度相等，活動現象年年相同，如英仙座流星羣是。若流星羣本體各部之密度不同，於是活動現象，一盛一衰，有一定周期，如獅子座流星羣是。依 Olivier 觀測結果，至1920年，流星群之數已達1200。今將其最著名者及每年發現時日，列表于下：

龍座 (Draconids)	1月 2日	天琴座 (Lyrids)	4月 20日
寶瓶座 I (Aquariids I)	5月 6日	寶瓶座 II (Aquariids II)	7月 28日
英仙座 (Perseids)	8月 12日	獵戶座 (Orionids)	10月 20日
獅子座 (Leonids)	11月 14日	仙女座 (Andromedes)	11月 24日
雙子座 (Geminids)	12月 10日		

其中四月，八月及十一月各流星群本體，在太陽系內運動情形，如下圖一二〇所示：

146. 流星群之來源

自 H. A. Newton 及 J. C. Adams (海王星發見者) 對於獅子座流星群之研究發表後，不過數星期；Schiaparelli 即發表其英仙座流星羣之研究，彼謂此流星群運動與 1862 年 Tuttle 大彗星同軌道。同時 Oppolzer 亦發表謂 1866 年 Tempel 彗星與獅子座流星群同軌道。

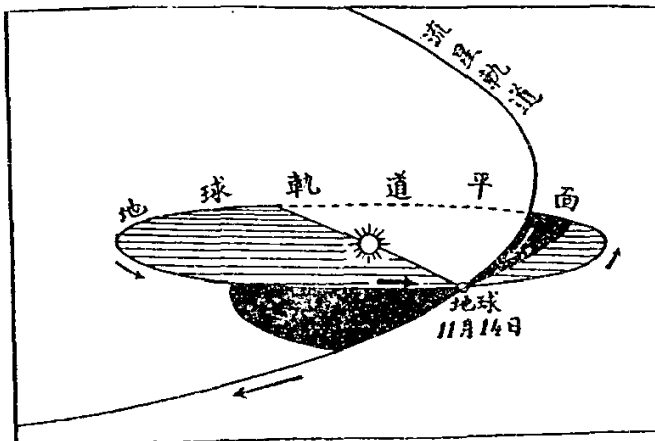


(圖一二〇)

五年以後，仙女座流星群與 Biela 彗星同軌，五月之寶瓶 I 流星群之軌道

與哈雷彗星軌道平行。1916年流星群與 Winnecke 彗星有關係等，皆能相繼發見，證明流星群與彗星大有關係。因是之故，一般天文家咸以流星群即大彗星多山之一部，且其物質分散于其軌道上，自成環形，地球遇之，能有周期也。今將天文家擬想十一月十四日獅子座流星群軌道與地球軌道相交情形，圖表于下：

1861年時
H. A. Newton 曾
將從前觀測結果
推算，加以 J. C.
Adams 之修正，
謂十一月有極大
流星群，其周期
為三十三（或三
十四）年，應于
1866年十一月十



(圖一三一)

三或十四兩日發現，後果如預言。但當時只在歐洲方面得見。又此流星群若如 H. A. Newton 所言之周期，應于 1899 或 1900 年回復。但依經過事實，知該二年內未嘗或見，反于 1898 年十一月十四與十五兩日，及 1901 年十一月十四與十五等日見之，為極盛之獅子座流星羣。此種錯誤，經 Downing 及 Stoney 計算，謂由於木土及天王星之擾亂云。

此種或盛或衰流星群，顯然由極不平均且為簇聚形物質，循軌運行所致。其在空間存在情形，可譬喻于珠石戒指，近珠石處，其物質較偉大，地球遇之，得強盛流星群，當此物遠去，地球與之相遇者為較小之環，故流星羣亦較弱。如是旋轉遂成有周期之流星群也。

146. 日局起原，

日局以內，向之忽然而來，其本質與日局內各星特別殊異之星體。夫日局本身，在吾人觀之，似甚偉大，但在空間之存在，則又孤寂萬分。日局最遠之行星，與日距離，雖逾三百萬萬哩，然比最近恆星，尚不及萬分一。是第二系星球縱有特殊物質向外輸送，亦不易達吾人存在空間渺小之日局。又以日局之排列，及各星體運行言，則亦似極有規則，如出一轍。今將日局內各種相似之點，統括條列如下：

(甲) 關於行星軌道者

- (1) 一切行星公轉運動，其方向相同。
- (2) 一切行星軌道，約皆在同一平面上(除若干例外小行星)。
- (3) 一切軌道，皆近圓形(除若干例外小行星)。
- (4) 行星與日距離有一定法則，如波特定律。
- (5) 太陽自轉方向與一切行星公轉同。其赤道對於行星軌道之傾斜極小。

(乙) 關於行星本身者

- (6) 質量愈大行星，密度愈小。星體愈大，自轉愈速，且旋轉方向，與公轉及日自轉同。
- (7) 四行星赤道，對於軌道之傾斜，與日距之減而漸減。

(丙) 關於衛星者

- (8) 衛星繞主星運動，其方向與主星自轉同。
- (9) 軌道皆近圓形，且與主星赤道面相近。

此(8)(9)兩條，對於土木二星最遠衛星及天王星海王星各衛星皆有例外。此等逆行衛星，或為太陽系流動星體之被吸力拘留者。

由是而觀，日局全體，似由一大團物質，由西向東轉動而成。近赤道處，離心率最大，故有若干物質與之脫離，獨立旋繞，以成各行星及衛星者。

日局究竟如何起原，為之解釋者，理論頗不一致。其最著者，如十八世紀之 Swedenberg 及 Kant 等倡星雲學說 (Nebular Hypothesis)。百餘年來，頗得科學界之信仰。至 Laplace，則更引伸之為數學證明，星雲說遂更獲強力之擁護。彼等

主張，以日局原始狀態為一極稀疏廣大能自轉之星雲，以後漸冷並受中心吸力影響，漸漸收縮，體積愈縮小，旋轉愈速；旋轉愈速，則赤道附近物質伸張，漸與表面分離，成各種環，更由此等環漸漸收縮以成行星，中央所遺大物質，即凝結而成太陽，各環凝結剩餘物質，即為各行星之衛星。

近二十年來，星雲學說之外，另創新說；謂太陽原始，即為一孤立恆星，但當時另有一恆星，遊行空中，與太陽相近，當此二星相近時，太陽即受吸力影響，起長潮力作用，于是有大部份物質由太陽射出，此等物質射出時，並受此遊行恆星吸力影響，繞太陽運動，即成現時之行星系，此所謂力遇假說 (Hypeth sis of Dynamic Encounter) 是也。倡此說者，以 Chamberlin 及 Moulton 等為最有力，其他與此相類之假說，主二元論 (Origine dualiste des mondes) 者，如法之 Belot，亦能自完其說，頗為時人所注意；彼謂太陽系乃由兩個星雲相衝拚而成，其一如一管狀旋渦，以極大速度進行；迨與他一星雲相撞時，即起振動，展開而成喇叭形之幕，再由此等幕自轉分離而成各行星云。(E. Belot 著 Origine dualiste des mondes)。

習 題 XIII.

1. 1882年大彗星近日點距離為0.00775單位，若其運動周期為769年，問近日點處速度V為若干？
2. 若其近日點距離不變，而周期為875年，則其速度應增加若干？
3. 若每二十四小時，有20000000流星與地球相遇，問每一千立方哩空間內平均有流星若干？
4. 相傳由地面觀流星運動，只見其下行而無上行，其說然否，並試言其故？
5. 問觀測流星，何故下半夜多于上半夜，並繪圖以表明之。
6. 試根據吾人已得之天文知識，批評星雲說及力遇假說之得失。

第三篇 恒星系

第十四章 恒星系概論

147. 恒星系之外觀

吾人由地球以觀太陽系，可謂廣博無垠；但由其他恒星視之，則與吾人觀測天空任何一星無異，僅得一點，毫不重要。再由太陽系之地位言，天上諸星羅列，每日自西徂東，環拱地球，似與吾人極親切而含有特別意義者。孰知天上諸星之與吾人相距，極其可驚，吾人在天空中之孤寂，更有不可思議者。現知天上衆星之與吾人最近者約二十七萬單位距，其遠者更不知幾何倍於此。吾人由地球觀恒星之大小如此，由恒星觀太陽系之大小亦如此。總之，一切恒星，皆若吾人之太陽，彼與吾人近者，光點較大，遠者較小，更遠者則渺小不可見耳。

夫星光之大小，與星本體之大小，固有關係；而與距離之遠近亦有關係。星體大者，若其距離遠，則見其小。反之若星體不甚大，但與吾人極近，則見其反大。太陽系中，月球雖小，但吾人見月比任何一星大，因月與吾人極近故也。地球之大，僅如太陽中之一小斑點，但月球體積，僅為地球體積百分之二。若將月球置於太陽同遠之處，則吾人須用近世極大遠鏡，方可窺見。但今見其面積之大如太陽者，則月近而日遠也。然則羅列滿空，光輝如豆之星辰，其體積之巨如太陽者不知凡幾，比太陽大幾十百倍者，又不知凡幾矣。

空中諸恒星，其大小與距離，實際上雖相差極遠，但由太陽系望之，則一一皆似羅列於一球面上，其距離似相等，其光輝相差甚微者，此透視之故也。吾人出野外遊行時，望極遠之群山，則見其峰巒起落，如繪于紙上，但吾人一到其地，則峻嶺重疊，迂迴不盡者，其理正同。

一切恒星之存在空間，其實際雖遠近參差，外觀則如在一球面上。今為研究星宿排列及認識之便利起見，假定諸星皆投射一在球面上，此球稱之為天球，其

定義已見于第一章第一節。

148. 星座之起原

諸星排列在此天球上，多寡至不平均。有一部分極稀疎，寥寥可數者；而他一部分則重疊堆積，亂雜不分，僅現白光一片。換言之，天球諸星分佈之密度，極不平均，而排列又極不規則。

在排列之外觀上言，有此一部分零星散落，不知所謂；而別一部分則似井然有序，邊界分明者。古人觀察，常以個人意想，附會其為龍蛇虎豹人物用器等形象，造物無心，配合偶然，至此遂皆變為有神妙之意義。吾國古時，且以此種配合各星之明暗，以占國運之興替，君臣之得失，成古代天人相應之占星學 (Astrology)。惟此種龍蛇虎豹人物用器等之擬像，常隨人而異，觀測者之用意或着眼不同，其分配之方法亦異。有甲以為此星與某星等相聯以成某種形狀，而乙則將此星屬於附近之其他羣星，又得一種相形異狀者，天文史載，國無中外，此例極多。我國天文學發達極早，其所研究皆為獨立的創造，故其分配方法，與近世通用源自希臘羅馬者不同，而與埃及印度等亦異。

此種恆星排列方法，在今日為研究便利起見，已皆有一定疆界及一定名稱，所謂星座 (Constellation 或 Asterisme) 者是也。現時通用之星座，為數八十八，其中四十八座，于西曆二世紀時，已為希臘天文家都祿某所創用，餘則為 1600 年後，歷代天文家所擬定者。

今日研究天象學者，幾如研究地理學，在某一組中，不特因其較明諸星排列之形象，給以名稱，且劃以疆界，並將星座附近一切小星，皆列入此星座內，以成一系統，如地球上之劃分國界省界然。現時地球上無論何人，執而問之，皆有所屬之領土。在天學言之，其情形亦同，無論天球上何部之星，或極小不足引人注意之小星，皆有一定星座之所屬，及一定之位置，列成一表，以便研究焉。

149. 星座分野之一瞥

星座分野，乃將星座所占天球區域劃定，以考星之所屬也，我國天學，向有二

十八宿(附表V), 北斗, 勾陳等之分。然星位與宿界, 迄無一定, 研究者苦之。泰西星座分野, 源于希臘, 初雖以神話為基礎, 然經歷代天文家實用之改進, 逐漸趨于一致, 近更經國際天文會議之決定, 已為國際間所通用矣。

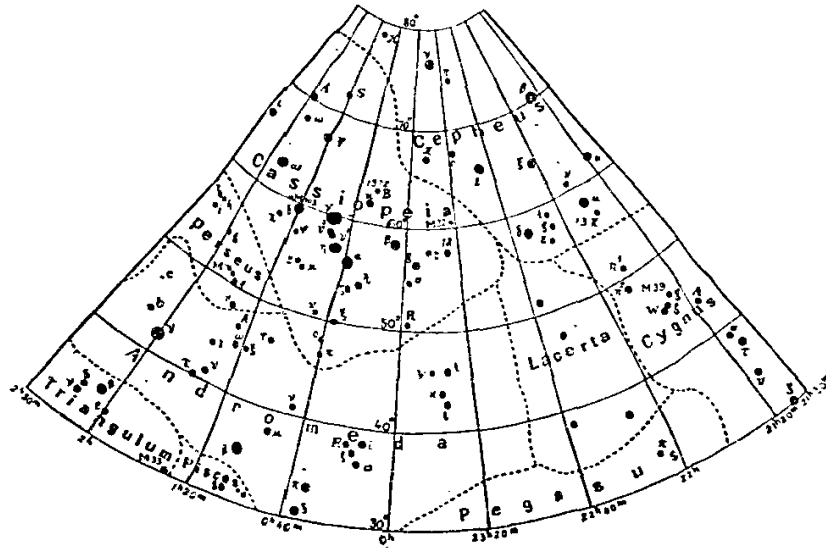
然星座為數, 八十有八, 若各取而論述, 殊覺煩而無謂。今僅取天球北極附近, 合有顯著星座之一角, 圖而表之, 以見改進經過之一斑焉:

下圖一二二, 即北半球仙后(Cassiopeia), 仙女(Andromeda)及英仙(Perseus)等三座。圖中所繪, 乃表希臘神話之人物, 均依各星排列, 意擬附會而成。仙后安然高座; 仙女被鎖於石上, 為海怪所困; 英仙耀武揚威, 舉刀有復仇之意。然畫中情節, 頗為細碎, 自有專籍可查, 不必贅述于此。(採自佛蘭瑪利翁著Les Etoiles第49頁)。



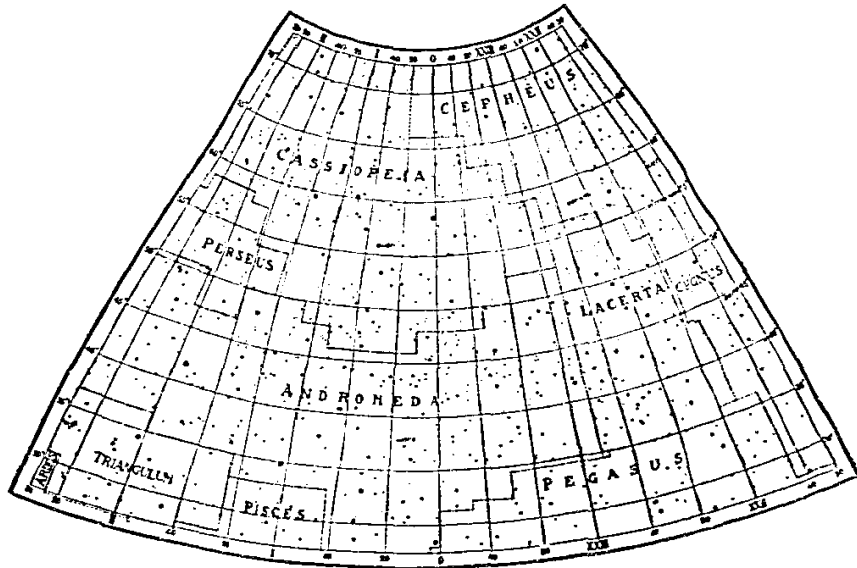
(圖一二二)

下圖一二三, 即上圖同一部分而畧偏, 為近代天文家實用之所劃分。各星座邊界參差, 伸出凹入極不整齊 (Himmels Atlas von Schurig-Gotz Tabl. I)。



(圖一二三)

下圖一二四，亦與上二圖同一部分，經國際天文聯合會議定，由1930年起施行者，星座邊界，均依赤經赤緯圈之所限，劃然整齊，對於迫近邊界諸星，尤易依其赤經赤緯數目，以定所屬之星座焉。



Grandeur des Etoiles 2 3 4 5 6

(圖一二四)

150. 恆星表

所謂恆星表 (Catalogue of stars 或簡稱 Catalogue) 者，將天上各星，依其赤經赤緯或黃經黃緯次序列成之星表也。表內除註明星之位置外，常附記星之光度或星等 (Magnitude)。其詳細者，更記以星之自行及光譜焉。

世界最古恆星表，首推西紀元 137 年都祿某之恆星表 *Almagest*。此表依黃道座標排列，共載星 1025 顆，或謂更古者，為西紀元前 129 年依巴谷 (Hipparchus) 之恆星表，然已失傳矣。此後則為第谷 (Tycho Brahe) 恆星表，共星 1005 顆，成於 1580 年。此皆遠鏡未發明以前之恆星表也。近世以來，恆星表極多，然亦可因其精密之度，及應用目的之不同，而分為數種：

(1) Durchmusterungen 恆星表

此種表記載星之位置及星等，頗為精審，並附有星圖，圖上之位置，皆依表之位置及星等大小點上，能助觀測者比較彗星之位置，及變星光等之用。此表之屬於北天球，為亞基浪德 (Argelander) 所著 *Durchmusterung* 者，於 1862 年在 Bonn 天文台完成，極為著名，應用亦廣，簡稱曰 B. D. 此表之星，由南緯二度起至北極，共星 324000 顆有奇。Schonfeld 氏繼續研究至南緯 23 度，約增 133000 顆。復經 Thome 氏在 Cordoba 天文台繼續測量者，至南緯 -61° ，所得之表，簡稱曰 C. D. M. 約載星 580000 顆。其後 Cordoba 天文台，更將此表推廣，以至南極。又 Cape Photographic *Durchmusterung* (C. P. D.) 表，亦由南緯 -18° 起至 -90° 之間，約共得星 455000 顆。此 *Durchmusterung* 表所載之星，均列至十星等而止。此等星在表內依赤緯一度闊之帶 (Zone) 而排列，其號數則按赤經次序而編於每帶之內。
例：B. D. +30°3639 一星，即表北緯 30° 至 31° 帶內，號數為 3639 之星也。

(2) 精確恆星表

所謂精確恆星表 (Catalogue of Precision) 者，表內星之位置，較平常星表特別準確也，此等表可分兩種。

(a) 基礎恆星表 (Fundamental Catalogue)：僅含數百或數千星，各星位置，散佈極

為適宜，用最高精密度審定，可以為標準者。

(b) 微差恆星表 (Differential Catalogue): 以基礎星之位置為標準，其他各星位置用微分差以定其赤經赤緯也。此等星多在同一緯線帶內，該帶之狹度，僅與遠鏡之視野相當。

精密觀測 B. D. 各星(至 -23° 傾角)，係由 1863 年起，為德國 Astronomische Gesellschaft 所主理。此等偉大研究，必須由各緯線之天文台合作。現除 -18° 至 -23° 帶外，所有星表均已印就。Cordoba 及 La Plata 表，用攝影法繼續測量南天球，星之位置更較精確。

近年來所製之攝影星表 (Astrographic Catalogue)，為十八個天文台合作而成，由 1887 年起，現已完成一半，為近代編恆星表最偉大之工作。該表列載三百至四百萬星，其位置由 44000 張感光片歸納而成。許多印就之表，只載感光片上測得之星位，如須用赤經赤緯時，可由附表計算之。

Yale 天文台從事於用攝影法，再觀測 A. G. 帶，現已印就數本。彼耗費於觀察之工作及金錢，將較舊法為少。但普通定基礎星之位置，仍必用子午儀。

(3) 普通恆星表

此等表乃校對極準確星表之結果而成，特別注意於系統差及自行 (Proper motions) 之修正。最近成就者，有極著名之 Boss's Preliminary General Catalogue，包括 6188 星，凡肉眼所能見者，幾盡載表內。

(4) 特別恆星表

此種表所記載者，多為星之某種特徵，如光明度 (Photometric brightness) 及光譜型 (Spectral type) 等。或特種星，如變星及雙星等。前者如 H. Draper Catalogue；後者如 G. Muller und E. Hartwig 之 Geschichte und Literatur des Lichtwechsels，皆其著者也。

151. 星等

所謂星等 (Stellar magnitude) 者，僅以星表現光度之大小言，不管其真直徑之

大小、星等分別之起原，時代甚古，當依巴古及都祿某時，已將一切肉眼能見之星，分爲六等，其最大者爲一等，最小者爲六等。餘介于一與六等間者，平分爲二三四五等，但何以不爲十等或八等；因所分之等級，以吾人目力能區別之差異爲準也。天上諸星屬於一等星者，如 Aldebaran (牛眼，金牛座之 α 星)及 Altair (天鷹座之 α 星)等是。以後遠鏡發明，所見星愈小，星等數目，亦因以推廣。然星等之決定，常因個人目力之不同而異，如侯失勒當時所謂 20 等者，僅與現時所用 Duschmutterung 表之 13 等相當。

星等劃分，整數之外，現時更用分數，以表示幾近二星分數之等別。通常相鄰二星等間，將其分爲十小等，如 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 4.0……等星。又正數之外，更用負數，如 Sirius (天狼星) 爲 -1.6；月爲 -12.5；日爲 -26.7 等是。蓋此等天體表示之光度，比一等星還強也。1830 年 John Herschel 將一等與六等星比較，定爲一等星之光比六等星強 100 倍，故每相連星等之光度差，約爲 2.5，或 $\sqrt[5]{100} = 2.512$ 。如命 b_m 爲 m 等星之光， b_n 爲 n 等星之光，則得

$$\frac{b_n}{b_m} = 100^{\frac{1}{5}(m-n)}$$

$$\text{故 } \log \frac{b_n}{b_m} = \frac{2}{5}(m-n) = 0.4(m-n)$$

由此可得基礎公式， $m-n = 2.5 \log \frac{b_n}{b_m}$ 。

如命 $n=0$ ，則 $m = 2.5 \log \frac{b_0}{b_m} = -2.5 \log \frac{b_m}{b_0}$ ，

及 $b_0 = (2.5)^m b_m$ 。

由此式計算，則 0 等星之光必爲

$(2.512)^1$ 或 2.512 倍于 1 等

$(2.512)^2$ 或 6.30 倍于 2 等

$(2.512)^3$ 或 15.84 倍于 3 等

$(2.512)^4$ 或 39.8 倍于 4 等

$(2.512)^5$ 或 100.0 倍于5等

$(2.512)^6$ 或 251.2 倍于6等

例如有一變星，其星光由最小變至最大時，其差七等，則其光度之增加，可由前式計算

$$\log \frac{b_m}{b_n} = 0.4 \times 7 = 2.8, \quad \text{得 } b_m = 630 b_n \text{ 矣。}$$

152. 恆星數

天上諸星能為肉眼可見者，其數非無盡窮。在最黑暗明淨之夜，全天星宿，為平常肉眼所可見者，為數不過六千以至七千。晦明之夜，其數尚遠不及此。但星數之增加，與遠鏡之大而增極速。如以普通雙眼遠鏡言，能見之星數，已約十倍于肉眼。常亞基泐德之製 *Durchmusterung* 恆星表時，僅用 2 吋半口徑之遠鏡，由南緯 2 度起，至北極止，所見之星至 9 等半，而所有星之總數，已達 324000 矣。Yerkes 天文台，其遠鏡口徑之大，為 40 吋，星之可見者為一百萬。因遠鏡收集之光，與其鏡面積（即直徑之平方）成正比，故欲某一遠鏡所見星，比別一鏡所見者弱一等時，則此二遠鏡口徑應有 $\sqrt{2.512}$ （或 1.59）之比例。即謂此遠鏡之口徑，應增 1.6 倍也。

如一時潤口徑遠鏡能見星之最低限為九等，則任意口徑遠鏡能見星之最低限，其星等可由下式計算之

$$m = 9 + 5 \log (\text{口徑吋數})$$

茲將二者之關係，列表如次：

星 等:	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
口徑吋數:	0.4	0.6	1.0	1.6	2.5	4.0	6.3	10	16	25	40	63	100

但普通遠鏡口徑愈大，鏡身愈厚，能將通過之光一部分吸收，其透望倍力，遂不能依上理論表而增。

又依 *Durchmusterung* 恆星表統計，知 1 等與 2 等星，或 3 等與 4 等星總數之比，

其值約為3.15以至3.28。此後星等漸增(即星光漸弱),比值漸小,是星等雖增,而星數之增加率,非一定值也。近年依 Kaptayn 統計,星等增大,由一以至十七,而其比值,則由3.7減至1.9。後再經 Seares 修正,統計至21等星,成一極精確之恆星統計表焉,今將其統計結果,依星等之漸進次序,列表于下:

星等	星數	比值	星等	星數	比值
1	12	3.33	11	431500	2.54
2	40	3.00	12	1097000	2.47
3	120	2.98	13	2710000	2.39
4	358	2.88	14	6471000	2.31
5	1030	2.84	15	14930000	2.22
6	2938	2.81	16	20890000	2.12
7	8421	2.75	17	70310000	2.03
8	22800	2.72	18	142600000	1.93
9	62090	2.67	19	274800000	1.84
10	165600	2.61	20	505800000	1.76
			21	889200000	

表內星等乃指攝影新星等言,星數雖與星等數俱增,但比值則逐漸減小,可見星數之增加非無限量,而星之總數,似亦有一定極限也。若全天之星,散佈均勻,則比值應為一常數,等於3.98(見下156節)。今比值漸減,即表明距離愈遠,密度漸小也。

吾人如用外插法 (Extrapolation), 以星等為函數以計算達該星等之星數,直至60攝影星等止,可得全天星共三百萬萬 (3×10^{10}) 顆。

153. 黃道十二宮

天球星座之最足令人注意，及歷史上最為位置者，則為黃道星座 (Zodiacal constellations)，其數有十二，故又稱黃道十二宮。所謂黃道者，太陽視動之軌道也，在天球上與赤道約成二十三度二十九分交角，而所謂黃道十二宮者，即此黃道左右八度內所有十二個星座也。

因地球每日自轉之故，天球上一切星體，太陽，太陰，行星等，皆由東起向西落。但地球除每日自轉一周外，每年繞太陽公轉一次，其運行方向，與時鐘指針相反，故若以地球為中心時，太陽在天球上之視動，其方向亦與時鐘指針相反。今一年分為十二個月，故每月太陽在天球上位置，約佔相當一個星座(或宮)。

黃道十二宮之排列次序，亦由西向東，順太陽視動之次序。地球上各古文明國，如埃及，中國，希臘等曆法之起原，皆以太陽所在此十二宮位置而定。

黃道十二宮之名稱如下：

<u>黃道十二宮</u>			
<u>中文名</u>	<u>學名</u>	<u>法文名</u>	<u>埃及符號</u>
1. 白羊	Aries	Belier	♈
2. 金牛	Taurus	Taureau	♉
3. 雙子	Gemini	Gemeau	♊
4. 巨蟹	Cancer	Cancer	♋
5. 獅子	Leo	Lion	♌
6. 室女	Virgo	Vierge	♍
7. 天秤	Libra	Balance	♎
8. 天蠍	Scorpius	Scorpion	♏
9. 人馬	Sagittarius	Sagittaire	♐

10. 磨羯	Capricornus	Capricorne	♄
11. 寶瓶	Aquarius	Verseau	♁
12. 雙魚	Pisces	Poissons	♊

又春分點在天球上沿黃道逆行，其周期為 25765 年，此種移動，即名歲差，故春分點在天上位置，每年不同，今年一月與明年一月，太陽座標亦不同，依中國在西曆紀元前 2357 年觀測所載，其時春分點在金牛座中昴宿 (Pleiades) 之 γ 星，而現在春分點，已退至雙魚座矣。

總之，黃道十二宮起原，所以表記太陽及其他行星等視動之位置，故一切星座之起原，以黃道十二星座為最早。

154. 星座表

黃道十二宮，為沿黃道之十二個星座，除此以外，向南以至天球之南極，或向北以至天球之北極，尚有星座極多，此種星座之分配及名稱，由歷史上研究，變換極多，且亦國有不同，已如前述。

又從前所定星座，及天上較大星，因其配合之偶然，乃擬像為各種動物或帝王妃后等人物之表現，附會成名，其數有限，及後研究者日多，研究方法較精密，研究範圍較廣，於是較小之星，亦聯合之以成獨立一星座，其數因以漸增，然名稱及分配至不一定，晚近因研究便利故，始有統一之規定耳(如圖一二四)。

星 座 表

(a) 北 半 球

號數	名 稱	原物位	漢譯名	簡寫	備 考
1.	Andromeda*	Andromedae	仙女	And.	
2.	Aquarius	Aquarii	寶瓶	Aqr.	南北皆有
3.	Aquila*	Aquilae	天鷹	Aql.	
4.	Aries*	Arietis	白羊	Ari.	

5.	Auriga*	Aurigae	御夫	Aur.	
6.	Bootes*	Bootis	牧夫	Boo.	
7.	Camelopardalis	Camelopardalis	鹿豹	Cam.	
8.	Cancer*	Cancri	巨蟹	Cnc.	
9.	Canis Venatici	Canum Venaticum	獵犬	Cvn.	
10.	Canis minor*	Canis Minoris	小犬	CMi.	
11.	Cassiopeia*	Cassiopeiae	仙后	Cas.	
12.	Cepheus*	Cephei	仙皇	Cep.	
13.	Cetus*	Ceti	鯨魚	Cet.	南北皆有
14.	Coma Bereneces	Comae Berenices	后髮	Com.	
15.	Corona Borealis*	Coronae Borealis	北冕	Cr B.	
16.	Cygnus*	Cygni	天鵝	Cyg.	
17.	Delphinus*	Delphini	海豚	Del.	
18.	Draco*	Draconis	天龍	Dra.	
19.	Equuleus*	Equulei	小馬	Equ.	
20.	Eridanus*	Eridani	波江	Eri.	南北皆有
21.	Gemini*	Geminorum	雙子	Gem.	
22.	Hercules*	Herculis	武仙	Her.	
23.	Hydra*	Hydrae	長蛇	Hya.	南北皆有
24.	Lacerta	Lacertae	蜥虎	Lac.	
25.	Leo*	Leonis	獅子	Leo.	南北皆有
26.	Leo Minor	Leonis Minoris	小獅	LMi.	
27.	Libra*	Librae	天秤	Lib.	南北皆有
28.	Lynx	Lyncis	天貓	Lyn.	
29.	Lyra*	Lyrae	天琴	Lyr.	

30.	Musca	Muscae	蒼蠅	Mus.	
31.	Ophiuchus (Serpentarius)*	Ophiuchi	蛇夫	Oph.	南北皆有
32.	Orion	Orionis	獵戶	Ori.	南北皆有
33.	Pegasus*	Pegasi	飛馬	Peg.	
34.	Perseus*	Persei	英仙	Per.	
35.	Pisces*	Piscium	雙魚	Psc.	南北皆有
36.	Sagitta*	Sagittae	天箭	Sge.	
37.	Serpens*	Serpentis	巨蛇	Ser.	南北皆有
38.	Sextans	Sextantis	六分儀	Sex.	南北皆有
39.	Taurus*	Tauri	金牛	Tau.	
40.	Triangulum*	Trianguli	三角	Tri.	
41.	Ursa Major*	Ursae Majoris	大熊	UMa.	
42.	Ursa Minor*	Ursae Minoris	小熊	UMi.	
43.	Virgo*	Virginis	室女	Vir.	南北皆有
44.	Vulpecula	Vulpeculae	狐狸	Vul.	

(b) 南半球星座

1.	Antlia	Antliae	唧筒	Ant.
2.	Apus	Apodis	天燕	Aps.
3.	Ara	Arae	天壇	Ara.
4.	Caelum	Caeli	雕具	Cae.
5.	Canis Major*	Canis Majoris	大犬	CMa.
6.	Capricornus*	Capricorni	磨羯	Cap.
7.	Carina	Carinae	船底	Car.
8.	Centaurus*	Centauri	半人馬	Cen.
9.	Chamaeleon	Chamaeleontis	蜥蜴	Cha.

10.	Circinus	Circini	圓規	Cir.
11.	Columba	Columbae	天鴿	Col.
12.	Corona Austrina	Coronae Austrinae	南冕	CrA.
13.	Corvus*	Corvi	烏鴉	Crv.
14.	Crater*	Crateris	巨罈	Crt.
15.	CruX	Crucis	南十字	Cru.
16.	Dorado	Doradus	劍魚	Dor.
17.	Fornax	Fornacis	天爐	For.
18.	Grus	Gruis	天鶴	Gru.
19.	Horologium	Horologii	時鐘	Hor.
20.	Hydrus	Hydris	水蛇	Hyi.
21.	Indus	Indi	印第安	Ind.
22.	Lepus*	Leporis	天兔	Lep.
23.	Lupus*	Lupi	豺狼	Lup.
24.	Mensa	Mensae	山案	Men.
25.	Microscopium	Microscopii	顯微鏡	Mic.
26.	Monoceros	Monocerotis	麒麟	Mon.
27.	Norma	Normae	矩尺	Nor.
28.	Octans	Octantis	南極	Oct.
29.	Pavo	Pavontis	孔雀	Pav.
30.	Phoenix	Phoenicis	鳳凰	Phe.
31.	Pictor	Pictoris	繪架	Pic.
32.	Piscis austrinus*	Piscis austrini	南魚	Ps A.
33.	Puppis	Puppis	船尾	Pup.
34.	Pyxis	Pyxidis	羅盤	Pyx.

南北皆有

35.	Reticulum	Reticuli	線網	Ret.
36.	Sagittarius*	Sagittarii	人馬	Sgr.
37.	Scorpius*	Scorpii	天蠍	Sco.
38.	Sculptor	Sculptoris	玉夫	ScI.
39.	Scutum	Scuti	盾牌	Sct.
40.	Telescopium	Telescopii	遠鏡	Tel.
41.	Triangulum Australe	Trianguli australis	南三角	TrA.
42.	Tucana	Tucanae	杜鵑	Tuc.
43.	Vela	Velorum	船帆	Vel.
44.	Volans	Volantis	飛魚	Vol.

(注意)

(1) 原物位係與字母或數目字並用,以指明一特別星者,如在小熊星座中最亮之星為 α 星,則寫為 α -Ursae minoris (α UMin) 在十字座中之 β 星,則寫為 β -Crucis (β Cru) 是也。

(2) 表內第五項星座名簡寫,為萬國天文聯合會議定,因其排印時省篇幅之故。

(3) Puppis, Vela 及 Carina 等星座,舊日附屬於 Argo-Navis 星座,但現已公認為獨立之星座矣,惟字母之順序 α, β 等仍只用一次以貫該三星座。

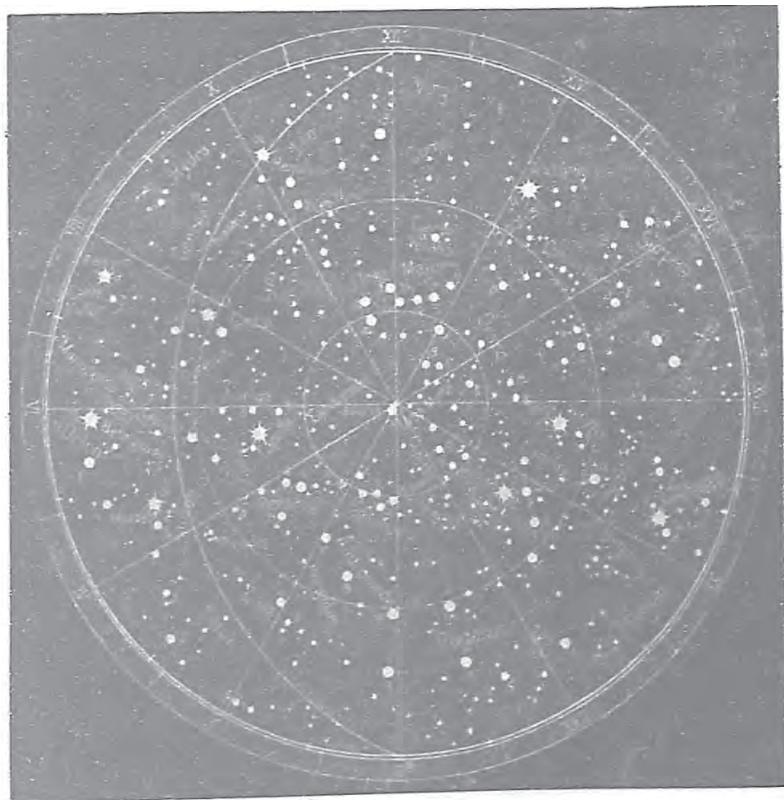
(4) 星座右肩記一星號*者,指該星座為從前都祿某之星座。

155. 恆星命名

如前所述，星座之得名，常由天球某部份較大星，外表上有一種特別象形，聯結之以成星座。然向來研究星學者，又常將此等較大之星給與專名，俾易認識。

星座內較大星之命名法，可分三種：

(1) 亞刺伯名。——此種名稱，沿襲亞刺伯人舊時所用名稱，或拉丁名字。如 Sirius 為大犬座 α 星，其意謂天上最明之星；如 Aldebaran 為金牛座 α 星，其意謂牛眼；又如 Algol 為英仙座次大 β 星，或為英仙手中最光之星等。現在通用者

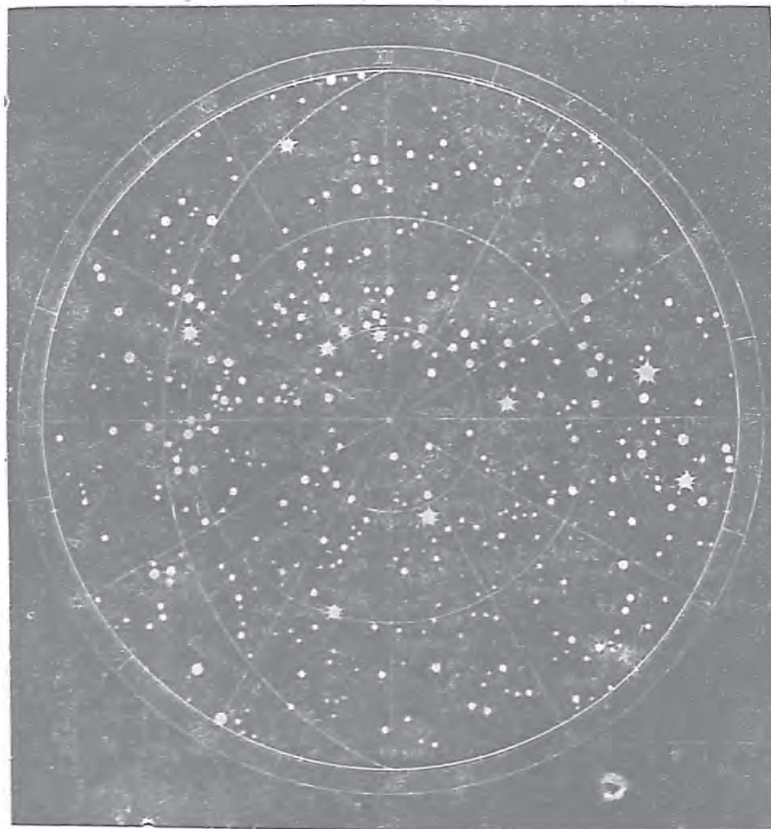


(圖 一 二 五) (甲) 北半球星座圖

為數仍甚多 (附表 VII)。

(2) 希臘字母表示法。——此種表示法，為現時稱呼恒星專名之最普通者。
希臘字母為數二十有四(附表 VI)。

在一星座內，最大一星，常命為 α ，其次為 β ，又其次為 γ ，順字母之次序，如英仙座最大之星，則寫為 α -Persei，次大為 β -Persei (即 Algol)，又次為 γ -Persei 等，以此類推。



(圖一二五) (乙) 英仙座星圖

(3) 數字表示法。——此法用以補前法之不足，因希臘字母為數有限，大星座內較光之星極多時，即不足用，須以他法補足之。但此種數字表示法，常混用 A B C 或 a b c 英文字者。現時習用大字母 A B C …………… 表示變星，小字母 a b c 則與 $\alpha \beta \gamma$ …………… 功用同，依星光遞減之次序；其寫法與前相仿，如 2—Aurigae, 16—Aurigae, a-Ursae majoris, b-Ursae majoris 等是。

除此以外，在星座內較小之星，常用某恒星表號數表示之。如小熊座內某小星，其星等為 4.8 (1880 年觀測)，尚無專名。而在 Flamsteed 恒星表內其號數為 5，故此星可記為 Fl. 5；又如某顆，其大小為 5.2 (1880 年觀測)，亦無專名，但在英國天文學會恒星表 (British Association Catalogue) 內，其號數為 4949，則記為 B.A. C. 494)。此外如在 Lalande 表內，則寫為 Lal；在 Hevelius 表內，則寫為 Hev；以此類推。

156. 恒星之分佈

恒星在天球上分佈，既無規則，而密度又隨處不同，秋夜晴朗，仰望天空，吾人極易見銀河 (Milk way 或 Galaxy) 部分，星叢最密，漸遠則漸稀疎，似天上諸星，樂於聚集銀河者。Seares 及 Rhijn 曾將天球上每一平方度內平均星數，依銀河緯度及星等次序列成一表，表中橫軸度數為銀緯，縱軸為星等。銀道 (Galactic equator) 與銀極 (Galactic pole) 上相等面積內同星等之星數比，謂之銀河密率 (Galactic Concentration)，如以五等星言，在 0 度處平均星數為 0.045；90 度處同面積內平均星數為 0.013，此兩數之比為：

$$\frac{0.045}{0.013} = 3.4. \text{ 但以二十一等星言，其比值為 } \frac{73600}{1670} = 44.2.$$

除各星等之銀河密率，如下表所示：

星等極限	0°		20°		40°		90°		全天球		銀河密率
	星數	增加率	星數	增加率	星數	增加率	星數	增加率	星數	增加率	
5.0	0.045		0.028		0.0175		0.013		0.025		3.4
		8.0		7.9		8.0		7.9		8.0	
7.0	0.36		0.22		0.14		0.103		0.20		3.5
		7.8		7.6		7.7		7.0		7.6	
9.0	0.80		1.67		1.07		0.72		1.51		3.9
		7.4		7.0		6.8		6.0		6.9	
11.0	20.8		11.6		7.3		4.3		10.5		4.8
		7.0		6.4		5.8		5.0		6.3	
13.0	146		74		4.2		21.4		66		6.8
		6.2		5.4		4.7		4.1		5.5	
15.0	910		400		199		8.7		362		10.4
		5.3		4.5		3.7		3.3		4.7	
17.0	4780		1820		744		288		1710		16.6
		4.3		3.7		2.9		2.7		3.9	
19.0	20750		2860		2180		770		6670		27.0
		3.7		3.2		2.3		2.2		3.2	
21.0	73600		21200		5000		1670		21600		44.2

由此表推究，可知恒星在天球上分佈之不均勻，及與日局距離遠近之不一致。何以知其然耶？如用平均計算法，命D為某m等星之距離，則別一星體，同大星之距離為2.512D者，必以 $\frac{1}{(2.512)^2}$ 倍之光傳達吾人（因吾人所受之光，與距離之平方成反比例），由是此等星之大小，變為m+2。

若將所有之星其光等介於m及m+2者，各列成一表，則表內之星，將必各在D與2.512D距離內，或即各在以日為心用此二值為半徑所劃之球壳內。此二球體容量之比應為1:2.512³或1:15.86。故若衆恒星在天空之排列為均勻，則第二表內所有之星必約為第一表之十六倍。今若取他種光度之星研究時，則相當之距離D亦異，然結果第二表內之星數仍為第一表之15.86倍。是故若恒星在天空分佈均勻，則每差2星等之星數比，必為15.86，或相差1星等之星數比，為 $\sqrt{15.86}$ ，或3.98矣。然由上表觀之，光度較強星數之比為3，而最弱星之近銀河者為3.7，近

銀極者為 2.2。是可見恆星在天空分佈之不均勻，而遠距離處分佈密度之減少，在天河二極方向比在天河者為尤速矣。

157. 恆星光之譜特性

恆星光譜 (Stellar spectra) 之研究，為近代天文學發展之重要基礎。因一切星體之組成，演進之遲早，皆可如太陽研究，依其光譜性質，以定本體之化學成分，及物理性狀也。

考恆星光譜之觀測，始於 1824 年時之法郎霍伐。迨分光原則發表以後，Huggins 與 Secchi 於 1864 年乃從事為大規模之研究。當時 Huggins 所研究者，只取少數較亮之星，以極大注意力，從事於鈉、鎂、鈣、鐵、氫等線之認識。而 Secchi 則選取前所未經研究之星，為數約四千，一一觀測，作光譜分類之基礎。查當時所得重要結果，約有三端：

(1) 凡恆星光譜，與日光譜相似，重要部分，為暗線光譜。是即表明恆星亦具有極強白熱光球，外裹以大氣媒質也。其中雖有極少量星(不足百分一)，光譜表現輝線；但此種輝線，在全體光譜內，佔極小部分。

(2) 一切光譜線，多可辨出其由于已知原素所致。其中重要之線，現時尙未認出者，為數極少。但此種無法辨認之線，只在極例外之星方有存在。

(3) 天上恆星，雖極繁多，然其光譜表現，皆可因類似而集之為羣，再為詳細的分類。依 Secchi 研究，認定由彼所觀測恆星光譜，幾盡可歸納于下述之四類：

(a) 呈極盛氫素之暗線者。

(b) 吾稍弱而為數極多之金屬線者。

(c) 趨近紅端有極分明光譜帶(Band) 者(現知由于氧化鈦所致)。

(d) 趨近紫端有極分明光譜帶者(由于碳或碳化物所致)。

近年以來，尤其是哈佛天文台，對於恆星光譜研究，有極偉大成績。一切恆星光譜，幾可將其列成一連續光譜序 (Continuous sequence of spectra)。此即表明星球演進，無論在何階段中，皆有存在也。

158. Draper 光譜分類

近年來，分光觀測，多以攝影行之，如 Lick, Dominon, Yerkes 及威爾遜，哈佛等天文台，均已獲極大成績，然在哈佛天文台，Pickering 教授指導工作，成績尤偉。當時經其觀測者，得攝影片多至數千，經觀測之星，多至二十餘萬。後彙集整理，成一極大星表，名曰 Henry Draper Catalogue，所以紀念美國恆星光譜觀測第一人，此星表共九冊（1918—1924年間由哈佛出版），星數 225300，亦云盛矣。

Draper 光譜分類，以 O, B, A, F, G, K, M, R, N, 及 S 等文字表之。依此文字排列次序，似極不規則，實因原用文字中，有若干缺去；及當時先已用某文字表示者，後來間隔增添，不復更改故也。

光譜品由 B 至 M，成一連續光譜序；其中介于二文字間之光譜，則以光譜之十分數表之，如 B₅ 即表此星光譜品，適介於 B 與 A 間；F₅ 表其光譜品介於 F 與 G 間，但與 G 較近；而 K₀ 則指正 K 矣。至在 B 前之 O，由最初研究者公佈，其部分數以 O_a, O_b... 等表之（但若干此類星，亦有用 O₅, O₆...O₉ 等表之者）。至 R 及 N 等，似與 S 一類，同由近 K 處分歧而出，成三叉之光譜序，其排列如次：

$$O \ B \ A \ F \ G \ \begin{cases} S \\ K \ M \\ R \ N \end{cases}$$

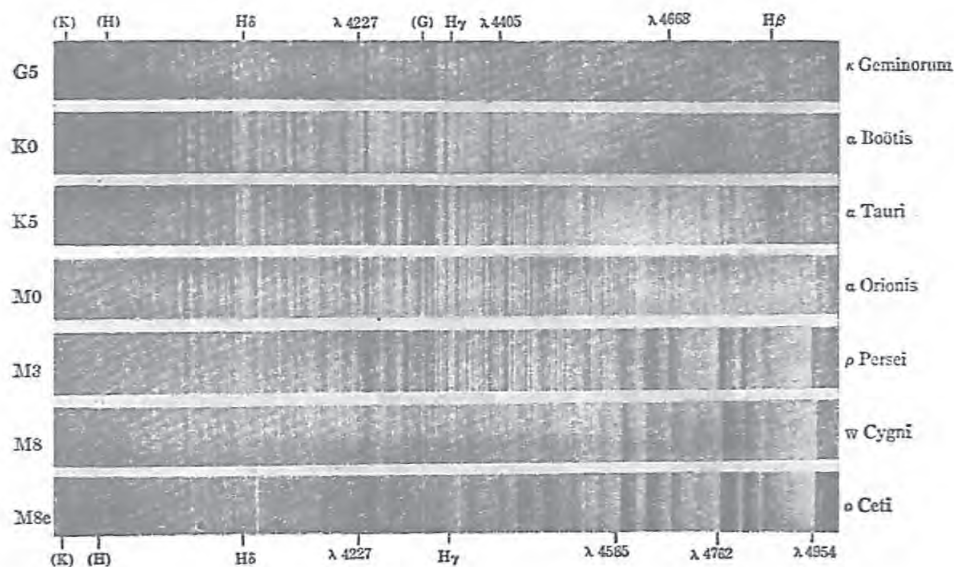
此 Draper 分類，與 Secchi 法原無不同，只前者較詳盡，後者較概括。如以二者並行比較，即知 Secchi 之第一類，乃包含由 B 以至 F₂；第二類，由 F₃ 至 K₂；第三類，由 K₃ 至 M；第四類，為 N 與 R。最末之 O，有時稱之為第五類。

凡光譜品趨近於上述光譜序首端者，常稱之為“早”（Early），近末端者曰“遲”（Late）。但此處所謂早遲者，只示光譜品在光譜序之先後，非表星球年齡之老幼也。

現時對於恆星光譜之類別，多採 Draper 法。其中雖有樹異，在 Draper 分類範圍外者，乃緣於研究成績之改進，大致仍譜 Draper 系統。

如圖一二六，為 K Gem (G₅), α Boo (K₀), α Tau (K₃), α Ori (M₀), ρ Per (M₃),

W Cyg (M_0) 及 α Ceti (M_0e) 等星光譜。



(圖 一 二 六)

此等星光譜，多為金屬線。波長 λ 4405 (波長單位 λ 為一 Angstrom, 等于 10^{-8} 公分) 處屬低溫鉄線; 而 λ λ 4585, 4762, 4954, 等處所表之帶, 乃緣于氧化鈦所致。最末以 “e” 字表示者 (M_0e), 謂有氫素發射輝線 (Bright emission lines of hydrogen) 之存在。又 M_0 , M_3 , M_8 等光譜品, 從前亦有命為 Ma , Mb , Mc 者。

習 題 XIV.

1. Nova Persei 星, 于 1901 年 2 月, 由 20 日起至 22 日止, 其光度增 25000 倍, 問其光等差為若干?
2. 知 α -Centauri 雙星之主伴星等, 一為 0.33, 一為 1.70. 今由肉眼見之, 僅

合成一顆，問所見星等應為幾何？

(註) 若二者所發之光為 b_1 及 b_2 ，則

$$\log \frac{b_1}{b_0} = 9.868 - 10 \text{ 及}$$

$$\log \frac{b_2}{b_0} = 9.320 - 10, \text{ 而 } b_1 + b_2 \text{ 可求。}$$

3. 若 γ Andromedae 雙星之主伴星等各為 2.28 及 5.08，今由肉眼見之僅合成一點，問此點之星等為幾何？

4. 試依 Seares 統計表，計算由一等至二等星全體星光度之總量，但可視其星等平均為 6。

(註) 每一 6 等星對於 0 等星光度比為 $\log \frac{b_6}{b_0} = -0.46$ ，由此可得 b_6 為 b_0 之倍數。

5. 同 4 題，求 15 與 16 等星間，星之全光量。

6. 依 Seares 統計表，試推算至 30 等星止，全天球之星數。

7. 依銀河密率表知恆星在天空分佈之不均勻，試根據此表數值，以圖解法表示衆星在空間分佈之真狀。

第十五章 恒星之自行與視差

159. 自行之決定

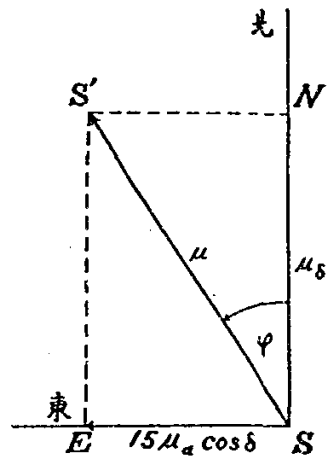
所謂恒星 (Stars) 者，對於行星言，以其似固定不變位也。但仔細研究，知一切恒星，多能移動，非絕對固定者，特在短時期內，不覺其變位耳。

恒星在天球上之變位，謂之自行 (Proper motion)，可由長時期觀測其赤經及赤緯變化以定之。在表面言，兩不同期間，觀測之赤經及赤緯差常極大；但此差大部份繫于坐標系統之變化，如歲差，章動差，光行差等。故必須先將此種差修正，結果方為星之自行。在實際言，所有各種恒星表內星之位置，皆已將歲差等修正，故只求兩不同期間某星前後之坐標差，即為其自行之數。

恒星自行，在天球上常分為兩個方向，曰赤經自行 (Proper motion in right ascension) 常以 μ_α 表之；曰赤緯自行 (Proper motion in declination) 常以 μ_δ 表之；二者合成，以 μ 表之，謂之總自行 (Total proper motion)，此自行之位置角 (Position angle) 以 φ 表之，如圖一二七：

自行發見，除如上述，比較恒星表法外，現時最易發見且最普通者，為攝影法。即將兩不同時間，在天球同一部份所攝照片，比較而得也。但在此照片上，必須有數個星，其位置不變，或其自行之值，已由子午儀測得者，為標準方可。

星之自行，由照片發見者，比由比較恒星表發見者準確，且需時較短。因恒星表內星之位置，多用于午儀由肉眼觀測而得，準確之程度，遠遜於攝影法。且兩次觀測，非隔長期間，不能發見其真實位置之差異。若用攝影法，更副以閃



(圖一二七)

視鏡 (Blink microscope) 之檢查，則星之自行，雖十分一弧秒，亦可發見。近年以來，研究恒星自行者，多用攝影法，苟假以較長時日，則天上一切恒星之運行，及宇宙全體之旋動等，不難逐漸發其蘊秘矣。現時已知恒星自行最速者，為 Barnard 用攝影法發見一近十等 (9.4) 小星 (Munich 15040)，每年 $10''.25$ 。其次為由 Kapteyn 發見者，為一八等小星 (Cordoba Zones, 5h no. 243)，每年 $8''.75$ 。其餘已知每年自行超過 $2''$ 者有 50 個，超過 $1''$ 者有 200 個。在平均言，一等星自行，每年約 $0''.56$ ，六等星每年 $0''.06$ ，此殆由於星光愈大者，與吾人愈近，故外觀上其自行愈大也。

160. 輻射速度之決定

以上所言之自行，乃是在天球上之視動，但星球真實運動方向，未必垂直吾人視線；彼與吾人漸遠者，與視線方向同，反之，漸近者與視線方向相反。而自行者，不過星在空間運動中，對於視線垂直方向之投影耳。

星之運行對於吾人或背或向之速度，謂之輻射速度 (Radial velocity)。此種速度，亦即星在空間運行，在視線上之投影也。此運動速度，可應用杜伯那原則 (85 節) 以測定之。若星之運行與吾人漸近時，則光譜線漸向紫色方面傾；反之漸遠時，則向赤色方面傾；由是因所傾程度之大小，即可定其背向吾人之速度。

年來威爾遜天文台，雖極小之星，如十等或十一等星，亦能測其輻射速度。若星光譜線極明顯，則所測定者愈為精密，其差誤可小至 ± 0.5 公里/秒云。

如是所決定輻射速度，乃在地球上測得之相對速度言。其實地球之在空間，既能自轉，又同時繞日公轉。前者影響尚小，後者頗大，必須修正，令此相對速度，變為對於太陽之相對速度方有標準。

現時已測得輻射速度之星，為數約 3000。其中速度，以每秒由 10 至 30 公里者為最普通，超過 100 公里者頗少。現時已測知，在空間運動之星，速度最大者，為 RZ Cephei 變星，其實在速度，為每秒 1100 公里 (天文台兩月刊第四卷第三期)。次為 RZ Lyrae 變星，輻射速度每秒 385 公里！

161. 恆星視差之決定

恆星之距離，可以視差表之，現時所用以測星體距離者，近如太陽系諸星，可以地球半徑為標準，所得視差曰周日視差（第26節）；惟地球半徑太小，對於較遠恆星，即不感覺其有視差，故不得不用較大之地球軌道半徑為標準，如是所得視差，謂之周年視差。因地球每年繞日公轉一次，某時間地球所在位置，六個月後，則移於其軌道上相對地位，此兩地位之距離約為186000000哩。如令 D 為日與星之距離， R 為地軌半徑， p 為視差，則

$$D = R / \sin p = 206265 R / p,$$

視差之決定，通常依地球公轉關係，每隔六個月觀測一次，連續觀測三次，即可將此星之視差求出。

但在實際言之，視差之觀測，非常精細，恆星視差之極大者，多小于一弧秒，偶遇錯誤，即比所欲求之視差大，故實際上直接觀測其赤經及赤緯方法，常無結果，且觀測上之錯誤，往往又隨季候而變，在一年中有一定周期，常易將此錯誤與欲測之視差相混。

現時常用者為微差觀測法 (Differential observations)，用較弱小之星以為比較，將一年中所測兩星(或數個)位置差以求之。此等比較星(Comparison stars)，雖亦有其視差，且與欲測之星同方向；但前者移動極微，後者較大，其差不難觀測而知。

如是所得之視差，非絕對視差，乃與諸比較星平均視差(Mean parallax)較得之差。此等比較星之平均視差，通常小至數千分一弧秒，雖不改正，亦不失為精確。

近年以來，微差觀測法，已多用攝影法以代。蓋用肉眼以估定比較星之位置差，終不及將其攝于照片上，以機械量之也。由此法以觀測視差，用極精良儀器，其差誤可小至 $\pm 0''\cdot 009$ 。如經數次觀測，則其平均差誤可小至 $\pm 0''\cdot 005$ ，亦云極精密矣。

162. 恆星距離之單位

研究太陽系，常用日地之距離為單位。但在恆星系言，此單位仍太小，必另擇較大單位，始足敷用。較大單位為何，即視差單位及光年(Light year)單位是也。視差單位曰秒差 (Parsec)，即星體距離其周年視差為一秒也。此秒差應為日地距之 206265 倍，等於 3.083×10^{13} 公里，或 1.92×10^{13} 哩。所謂光年單位者，光行一年所經之距離也。今知光速每秒行 2.999×10^8 公里，一年內之秒數為 3.156×10^7 ，兩者相乘，得 7.461×10^{12} 公里，或 5.88×10^{12} 哩。

由是言之，一秒差 = 3.258 光年。

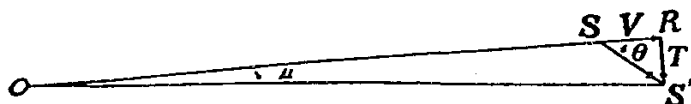
若如前命 D 為距離， p 為視差，則 $D = 1/p$ 秒差 = $3.26/p$ 光年。

163. 恆星在空間之運動

如圖一二八， O 為觀測者， S 為某時間星所在位置， S' 為此星在一年後所在位置。

SS' 為星一年間在空間進行速度，然 SS' 可如圖分為兩個方向；一為 SR ，為輻射速度，與

視線相合，命為 V ；一為 RS'



(圖一二八)

為切線速度，與視線相垂直，命為 T 。至 ROS' 角，即每年直接見星在天球上之自行數，所謂總自行 μ 者是也。

欲求 RS' 之真長，必先知距離 OS ，或星之視差方可。依定義若命星之視差

為 p ，地日距離為 1，則 $RS' = \frac{\mu}{p}$ ，此即以地日距為單位，每年之切線速度也。

若將其速度變為每秒公里數，則因

$$\frac{\text{一單位距}}{\text{一年}} = \frac{149450000 \text{ 公里}}{31556926 \text{ 秒}} = 1.738 \text{ 公里/秒}$$

即謂只以 1.74 乘 RS' ，即得切線速度 $T = 1.74 \frac{\mu}{p}$ 公里/秒。

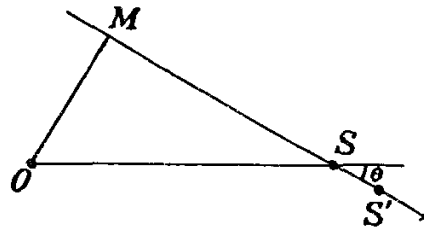
至于輻射速度 V ，可由分光儀觀測求得，二者既得，則星在空間運行之真速度 v ，可由 $v^2 = V^2 + T^2$ 計算之，若命 $\theta = \widehat{RSS'}$ ，則

$$V = v \cos \theta, \quad T = v \sin \theta;$$

再由 $\theta = \frac{T}{V}$ 而 θ 可算矣。

164. 恆星與太陽之相對軌跡

如圖一二九， O 與 S 為日與星， MSS' 為星在空間所行之方向， M 為在 $S'S$ 方向延長線上與日最近之一點，現時所欲研究者：



(圖一二九)

(a) 何時此星方在此點?

(b) 何時此星已經此點?

(c) 此時星之視差，自行及視星等 (Visual magnitude) 等為幾何?

同前設在 S 處之角為 θ ，

$$\text{則 } MS = OS \cdot \cos \theta, \quad OM = OS \cdot \sin \theta.$$

若此星之視差為 p 時，則 $OS = 206265/p$ ；若 p' 為 OM 距離之視差，則 $OM = 206265/p'$ ，

$$\text{故 } p' = \frac{p}{\sin \theta}$$

設 A 為星之絕對星等 (Absolute magnitude)，[經 1922 年國際天文聯合會議決，取 10 秒差為標準距離，所謂絕對星等，即星體置於 10 秒差距離處應有之星等也]。

B 為在標準距離時星之光度，依前章公式 $m - n = 2.5 \log \frac{bn}{bm}$ ，如命 $n = 0$ ，

$$\text{則 } m = 2.5 \log \frac{bo}{bm}, \quad A = 2.5 \log \frac{bo}{B};$$

$$\text{由是 } A - m = 2.5 \log \frac{bm}{B}.$$

此 $\frac{bm}{B}$ 為星現在距離光度與標準距光度之比，此光度之比，應與距離之平方成反

比例，如命 D_0 與 D 為兩者之距離， p_0 與 p 為兩者之視差，則 $\frac{bm}{B} = \frac{D_0^2}{D^2} = \frac{p^2}{p_0^2}$ ，

故 $A - m = 5 \log \left(\frac{p}{p_0} \right) = 5 \log p - 5 \log p_0$

今令 $p_0 = 0''.1$ 即標準距離時之視差，則上式變為

$A = m + 5 + 5 \log p$

同理 $A = m' + 5 + 5 \log p'$

故 $m' = m + 5 \log p - 5 \log p' = m - 5 \log \sin \theta$ 。

又命 T' 及 V' 為 M 處之切線及輻射速度，則

$V' = 0, T' = v = 4.74 \mu' / p'$

故 $\mu' = \frac{v p'}{4.74} = \frac{1}{4.74} \cdot \frac{T}{\sin \theta} \cdot \frac{p}{\sin \theta} = \frac{\mu}{\sin^2 \theta}$ 。

又命 t' 為星體以前在 M 點之年數，則因沿 MS 線度，每年行 $v/4.74$ 單位距，故 $t' = 4.74 MS/v$

但 $MS = (206265 \cdot \cos \theta) / p$ ，及 $v = \frac{T}{\sin \theta} = \frac{4.74 \mu}{p \sin \theta}$ ；將此代入，得

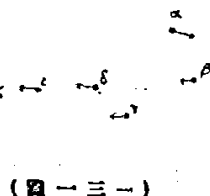
$t' = \frac{206265}{\mu} \sin \theta \cos \theta = \frac{206265}{\mu} \times \frac{VT}{V^2 + T^2}$ 。當輻射速度 V 為負時， t' 亦為負，即謂此星在若干年後，方與吾人最近也。

165. 移動星團

恒星在天空間運動，本極錯亂而無規則，雖在同一星座內，彼此所趨方向及速度，亦全無共同性質，如北極星是也，如圖一三〇，即表北極星內各星108000年間自行方向及速度者，圖中箭矢長短，與速度大小成正比，矢頭方向，即各星自行之方向。

但近年來，將有自行運動各星座詳加研究，則又有若干星群，其運行方向及速度，似有一定者，

如圖一三一所示之大熊座是也。（圖一三〇）



由圖而觀，大熊座內除 α 及 γ 二星外，餘皆似用同一方向及速度而行，各星附以運動之向矢，則如天空雁陣，羣首集於同一方向，極為有趣。

此種有公共自行之星團，在天球上各處皆有存在，如與吾人距離 400 光年之昴宿(Pleiades)，全座向東南行，每世紀 $5''.5$ 其最著者也。此種星團，謂之移動星團(Moving clusters)。全座各星運動，取一致行動。

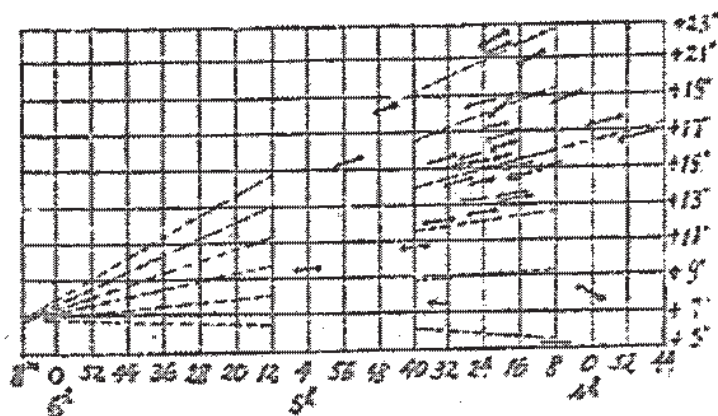
此昴宿之全座由肉眼窺望，平常只能見七個以至八個星，但在極良好天氣時，可分別出十一個或十四個。惟若助以小望遠鏡，則在此團內所見之星可增至二十，現時更用攝影機經長時間攝影，在此小區域內已能發見二萬五千星矣！



又若將在天球上廣佔面積星團中，各星自行情形仔細研究，則

(圖一三二) 昴宿全圖

見其方向非適可平行；依實測結果，若將方向線延長，各線實同集于一點，此點常謂之會聚點 (Convergent point)。下圖一三三，即表示昴宿五萬年間各星自行大小方向及其會聚點也。



(圖一三三)

吾人若知此會聚點與各星自行方向之關係，即可知此等星與吾人之相對運動。蓋星團之行，直趨一會聚點時，則此等星當與吾人漸遠，輻射速度為正。反之如由一點發散時，則與吾人漸近，輻射速度為負。如一三三圖中，與收斂

點較遠各星，其自行速度較大，亦以其與吾人較近故耳。

166. 移動星團之距離

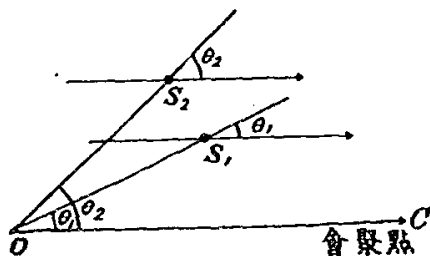
在一移動星團內，若有一個或數個星之輻射速度已測定時，則在此星團內每個星之視差或距離皆可求知，因星在天球上之視運動其會聚點與日相連之線，必與星團對於日運動方向平行，且介此會聚點與天上任意一星間之角距等於 θ 。此即為上162節圖一二八中之 θ 角，而162節中各方程式，又可寫之如下：

$$v = \frac{V}{\cos \theta}, \quad p = \frac{4.74 \mu}{v \sin \theta}$$

當星團中有若干星之輻射速度已知時，則可由上式算出各個 v 而取其平均值。至各個星之視差，可由 p 式算得。例如 δ Tauri 星， $\mu = 0''.115$ ， $V = +38.6$ 公里/秒， $\theta = 29^\circ.1$ ，則 $v = 44.0$ 公里/秒， $p = 0''.025$ 。

金牛座畢宿 (Hyades) 星團中，已知之星，為數達八十；其光度由四等以至十等，並知此等星所形成者，為球狀星團 (Spherical cluster)，其中心之距離為42秒差 (135光年)。多數之星在此中心5秒差距離以內。如圖一三四， C 為會聚點，可直接觀測而得，則任意一星與此點間在天上之角度 \cos 可以知。圖中之 θ ，即上二式中之角。

此外之由同一方法算出者，如大熊座羣 (Ursa major group 圖一三一)，各星之距離由70以至80光年。天鵝座群 (Scorpius group) 之平均視差為 $0''.009$ ，皆其著者也。



167. 太陽之移動

太陽之在空間，原非靜止，常以一定速度，向天空一定點進行。由是而言，前述恆星之自行，不過對太陽系一種相對速度耳。

太陽運動所向之點，吾人稱為日頂點 (Solar apex)，與此點相對者，稱為日

底點 (Antapex). 又對於太陽運動言, 恆星自己之運動, 常稱為本動 (Peculiar motion). 以前所述之自行及輻射等運動, 乃太陽運動及本動所合成. 如是由太陽運動而生之恆星自行, 常稱為視差動 (Parallactic motion)。

由上所言, 太陽在空間運動, 為造成自行及輻射運動之一原因. 可見研究太陽運動者, 只將恆星自行及輻射運動詳加研究, 即可由是求得. 夫太陽之在空間, 猶巨海洋中之輪船. 吾人夜乘輪船, 見海中點點紅光, 左右前後往來者, 本船以外之船之燈火也. 吾人之船靜止不動時, 則見海上燈火, 一往一來, 一左一右, 極無規則. 若船向前移, 則海面之船, 雖仍左右前後往來, 但同時即覺在吾人左右之船, 有共同漸趨船尾之移動. 若船行速度, 比其他一切船行速度大, 則燈光之趨船尾方向者愈速. 否則必覺仍有若干之船, 漸漸前進, 終突過吾人之船頭, 直奔而去. 但究其實, 近船頭或船尾之船, 其運動方向, 仍極不規則, 吾人所以覺其有一致運動者, 因本身有運動故耳. 根據此理, 吾人若將天上各星自行速度及方向總合而統計之, 即可發見太陽運動速度及頂點。

關於太陽運動速度及頂點之研究, 為近世天文學興緻最濃厚之一部, 且所得結果亦極多. 但以所用方法不同, 結果頗不一致 (自然科學第一卷第一期第 196 頁, 及第四期第 34 頁; Bulletin de l'observatoire de Lyon 1930, no.10 及 11 等) 如 Campbell 及 Moore 于 1925 年由 2034 個星研究所得結果為:

速度: 每秒 19.0 公里

頂點坐標: $\left\{ \begin{array}{l} \alpha = 17\text{時}54\text{分(或}268^{\circ}10') \\ \delta = +27^{\circ}2 \end{array} \right.$

但 H. Mineur 之由無數星體, 依其光譜不同而研究者, 得平均結果為:

速度: 每秒 20.3 公里

頂點坐標: $\left\{ \begin{array}{l} \alpha = 272^{\circ}6 \\ \delta = +29^{\circ}6 \end{array} \right.$

以上二者, 為近年研究太陽運動問題之較重要者, 結果尚不致相差太遠。

168. 恆星與太陽光度之比較

用量器測量太陽光度, 其光度相當於—26.72 等星. 而依前求太陽絕對

等公式 $A - m = 5 \log \frac{D_0}{D}$ ，可令

$$\frac{D_0}{D} = 2062650, \quad \text{得 } A - m = +31.57.$$

令 $m = -26.72$ ，故 $A = +4.85$ 。

即謂將太陽置于 10 秒差遠處，太陽只表現星光一點，其大小為 4.85 等，晴朗之夜，肉眼僅可窺見。

又若命 \odot 為太陽光度， L 為任意一 A' 等（絕對星等）星之光度，則由

$$A' - m = 2.5 \log \frac{bm}{L}, \quad \text{與 } A - m = 2.5 \log \frac{bm}{\odot} \text{ 二式之聯合，可得}$$

$$\log \frac{L}{\odot} = 0.4 (4.85 - A')$$

是即以太陽為標準，求任意一星光度之式也。

例(1). Sirius 星先由 $m = 1.58$, $p = 0''.371$, $A' - m = 5 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)$ ，求得

$$A' = -1.58 + 5.00 + 5 (9.570 - 10) = 3.42 + 5 (-0.430) = +1.27_{\odot}$$

$$\text{由是 } \log \frac{L}{\odot} = 0.4 (4.85 - 1.27) = 1.43$$

$$\therefore L = 27_{\odot}$$

例(2). Antares (α Scorp.) 星, $m = 1.22$, $p = 0''.009$ 。

$$\text{同前 } A' = 1.22 + 5.00 + 5 (7.954 - 10) = 6.22 - 10.23 = -4.01.$$

$$\text{故 } \log \frac{L}{\odot} = 0.4 (4.85 + 4.01) = 3.54$$

$$\therefore L = 3500_{\odot}$$

現時知光度最強之星為 Rigel (β - Orionis), 此星之 $m = 0.34$, $p = 0''.0069$ 。

依上法可知 $A' = -5.5$, $L = 14000_{\odot}$ 。

現時由統計結果，知一切肉眼可見之星與吾人之距離，多在 100 秒差以上，且其光度多比太陽為強，其星等大於 6 者，平均視差多近千分之幾弧秒，觀下表即可知其梗概矣。

星等m	1	2	3	4	5	6	7
平均 視差p	0".083	0".056	0".038	0".026	0".018	0".0120	0".0082

8	9	10	11	12	13
0".0056	0".0039	0".0027	0".0018	0".0013	0".0009

上表為近年 Seares 統計全地球各星之平均值。惟若只就銀河各星言，則平均視差比此值畧小百分之十二。若只就銀河兩極言，則平均視差較此反畧大百分之三十五。此銀河系全體為扁平狀說之所由來也。

習 題 XV.

1. 求 α -Centauri 星與太陽最近之時期，並求該時之視差，自行，及肉眼所見之星等。

但知 $V = -22$ 公里/秒， $T = 33$ 公里/秒，

$$p = 0".758, \quad \mu = 3".68.$$

2. 今知(1) α -Centauri 星之 $m = 0.33$, $p = 0".758$;

(2) α Lyrae 星之 $m = 0.14$, $p = 0".124$;

(3) α Virginis 星之 $m = 1.21$, $p = 0".014$,

問以上各星之光度各為太陽光度幾倍？

3. 問 2000 年後 α -Centauri 星之自行及視差各為幾何？

4. 問 2000 年前 α -Centauri 星之自行及視差各為幾何？

5. 今知一標準燭光置於一公里遠處，所見之光與十 0.8 星等相當，問此燭光相當於絕對星等為若干？

6. 設有相隣 a, b, c , 三星之視差各為 $0''.042; 0''.086; 0''.104$, 試求此三星之平均視差及平均真距離(以光年為單位)。

7. 又如上題 6 三星之自行各為

$$0''.042; 0''.086; 0''.104.$$

試求各星自行之切線速度(以公里為單位)。

8. 又如前題 6 及 7, 三星自行之輻射速度各為每秒 42; 86; 108 公里, 各星與日頂點之距離, 各為 $42^\circ; 86^\circ; 108^\circ$, 試求各星在空間運行之真速度及方向, 又各星本動之分速度, 各為幾何?

9. 問假太陽於若干秒差處, 則其光度表現為一等星或六等星?

第十六章 雙 星

169. 雙星類別

天星羅列，本極任意，有彼此相隔甚遠者，有相連甚密切者，其中有由兩星合成，須用遠鏡始能析其為二者。此種相隣極切兩星即名曰雙星 (Double stars)。彼由三個星合成者，常稱為三合星 (Triple stars)，由四個合成者曰四合星 (Quadruple)；再多由四個星以上合成者，總稱聚星 (Multiple stars)。然雙星為數較多，較為重要，充類研究，多以之為代表焉。近世以來，雙星發見，為數已達二萬餘對 (Pairs 或 Couples)。倘再假以時日及儀器改良，他年編號，當必不止此也。

如是定義雙星，吾人可得性質不同者兩種：設有二星于此，外觀極切近，佈列天球，幾聚成一點，但實測其距離，則彼此相差極遠，是無疑二者位近同一視線。故投射於天球上，僅得一點，如圖三極右之聯星焉。此種雙星名曰光學雙星 (Optical pairs)。反之，位置既極近而距離幾相等，且彼此互繞旋轉者，名曰物理雙星 (Physical pairs)。此類雙星，為真力學組成雙星，正吾人所欲研究者。

此類物理雙星，常因彼此距離程度不同，又可將其為分三種：(1) 當二星迴繞旋轉時，能用肉眼在遠鏡內辨別者，曰視覺雙星 (Visual binaries)。(2) 有二者極接近，用極大倍力遠鏡亦不分離，只由互繞所生輻射速度，用分光儀辨別者，曰光譜雙星 (Spectroscopic binaries)。(3) 有彼此旋繞軌道面通過太陽，由其旋轉時互相遮掩，令星光發生變化者，曰蝕雙星 (Eclipsing binaries)。

170. 雙星命名及其發見

雙星之發見，最早者為 ζ -Ursae majoris，于 1650 年為 Riccioli 所發見。以後遠鏡倍力日增，雙星發見亦日多一日。如威廉侯失勒 (1782—1784) 用其遠鏡發見 700 對。後于 1827 年，由 Wilhelm Struve 發表 3110 對。最近 Aitken 及 Hussey 用 Lick 天文台 36 吋折光鏡觀測，得 4300 對，皆其最著者也。至 1906 年，由 Burnham

總其成，編雙星表，已得 13665 對矣。

雙星之命名，多以發見者姓名，及較于其雙星表上號數表之。如發見者為 W. Struve，則以 (Σ) 記號表之；如為 Otto Struve，以 O Σ 表之；如為 Burnham，以 β 表之；如為 Hussey，以 Hu 表之；如為 Aitken，以 A 表之。設有雙星記通 Σ 2398 者，則指 Struve 雙星表內第 2398 號雙星；O Σ 79 者，指 Otto Struve 雙星表內第 79 號雙星；如 β 1077，則指 Burnham 表內，其號數為 1077 者是也。又雙星內兩星，其光大小不同，則常附 A 字表其較亮者，以 B 字表其較暗者。若不只兩星時，則順次以 C, D……等字表之。如 β 648A 及 70 Ophiuchi B 等是也。

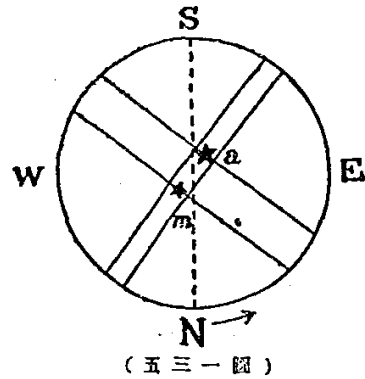
171. 視覺雙星之識別

天上星宿極多，然非彼此相近者，即為雙星。蓋由視線位置相近，非真物理雙星也。物理雙星，最少具下述之兩條件：

(1) 有軌道運動(Orbital motion)者；(2) 有公共自行(Common proper motion)者。然欲為此二條件之證明，非朝夕可辦。故雙星之發見，必須有長期間之觀測。

今以肉眼可見之星，能兩兩相聚之適遇言，可知雙星為數必不甚多。蓋全天肉眼可見之星，不過近 6500，而全天面積，與 52500 個以 1° 為直徑所劃圓之面積相等。是兩星有 30' 距離者，平均不過 52500 分之 6500，即 8 分之 1，為數不過 800 (= 6500 ÷ 8) 對。若距離為 3' 者，則所佔面積約為上述者百分一，其適遇數，遂由八分一，變為八百分一，即全天球只有 6500 ÷ 800 = 8 對而已。距離更小者，其數愈寡。可見以平均之適遇數言，天球上肉眼可見雙星，為數不多也。

吾人測量雙星，最重要者為二星之距離 (Distance)，及二星之位置角 (Position angle)。前者以弧秒表之，後者為主星與伴星連結線，與南北線所成之角。如圖一三五，為在測微器內可見雙星像；SN 為南北線，a 為主星，m 為伴星，其距離 $d = am$ ；其位置角，則為 $p = \angle Nam$ 但順箭矢方向，依 NESW 次序量之。雙星距



離，通常極小，最大者為 α -Centauri 星，亦不過 $17''$ 。其他小於 $2''$ 者佔百分八十三；小於 $1''$ 者佔百分六十五；小於 $0''\cdot 5$ 者佔百分二十九。今由 36 吋大遠鏡，只能見至 $0''\cdot 11$ 。若距離較此為小，則非肉眼可辨矣。

172. 視覺雙星軌道

依上雙星觀測法，將伴星對於主星旋繞所得相對位置，點於紙上，即可得其運動之視軌道 (Apparent orbit)。由統計結果，知此種軌道常為橢圓形，但主星每不在其二焦點之一，因真軌道 (True orbit) 對於吾人視線有種種不同傾角之故。

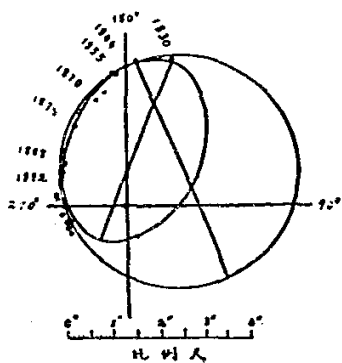
雙星運動，亦受面積定律支配，即在等時間內，動半徑劃相等面積。此面積由真軌道投射於天球切面 (Plane of the sky 即切於天球且與視線垂直之平面) 上面積判定之。吾人從事之雙星觀測與計算，應以決定此平面上軌道要素為最要目的。

雙星軌道，約含下列各要素：

- P 週轉周期，以年表之，
- T 經近星點 (Periastron) 時間，
- e 離心率，
- a 真軌道之大軸半徑，以弧秒表之，
- Ω 軌道與天球切面交線之位置角 (常小於 180°)，
- ω 近星點對交線之距離，依運動方向量之，
- i 軌道面對於天球切面之交角，
- μ 平均運動 (Mean motion)，以一年所行度數表之 ($=360^\circ/P$)。

現時肉眼見雙星有極精確軌道者，為數約一百對，其週轉周期，由 5.7 年 (δ -Equulei)，及 6.9 年 (13-Ceti) 起，以至 100 年皆有，其中零小於 25 年者，約十二對，介於 25 年及 100 年者，約五十對。此外周期太短，主伴二星距離太近者，遠鏡無從分辨。周期太長，運行太緩者，如觀測時間不甚長，則得所軌線太短，又不易精確也。如圖一三六為雙星 $\Sigma 1785$ 軌道之決定，時愈半世紀，尙未能考其究竟。因此雙星周期極長，而觀測時間自 1830 至 1892 六十年間，尙未及其周期之

半，由是所得觀測各點，用大圓弧或用小橢圓連成之視軌道，似均能適合也。



(圖一三六)

惟自 1892 年以後之觀測，如圖中小圓所示者，則視軌道似與橢圓相離，而與大圓相合。

雙星軌道，離心率常極大，平均數近 0.50，小於 0.20 者不過百分之十，大於 0.85 者亦佔百分之十。其最大者如 γ Bootis，大於 0.96 (與哈雷彗星等)，及 γ Virginis (Σ 1670) 為 0.89。可見與行星運行情形不

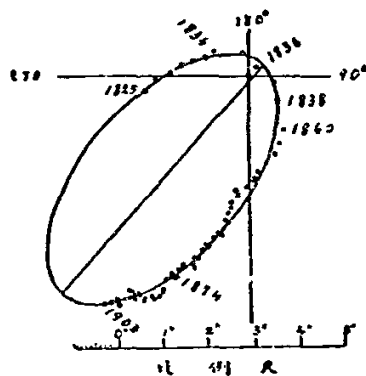
同。如圖一三七，即 γ Virginis 雙星之軌道：

173. 視覺雙星質量

依刻卜爾定律，凡雙星質量，皆可以下式求之，

$$\frac{m_1 + m_2}{\odot + E} = \frac{A^3}{P^2}$$

式內 m_1 及 m_2 為雙星質量， \odot 及 E 為太陽及地球質量， A 為雙星彼此真距離，以天文單位表之， P 為迴轉周期，以年表之。



(圖一三七)

又設 a 為二星視距離，以弧秒表之， p 為視差，則雙星與吾人真距離為 $\frac{1}{p}$ (天文

單位)。故 $A = \frac{a}{p}$ ，

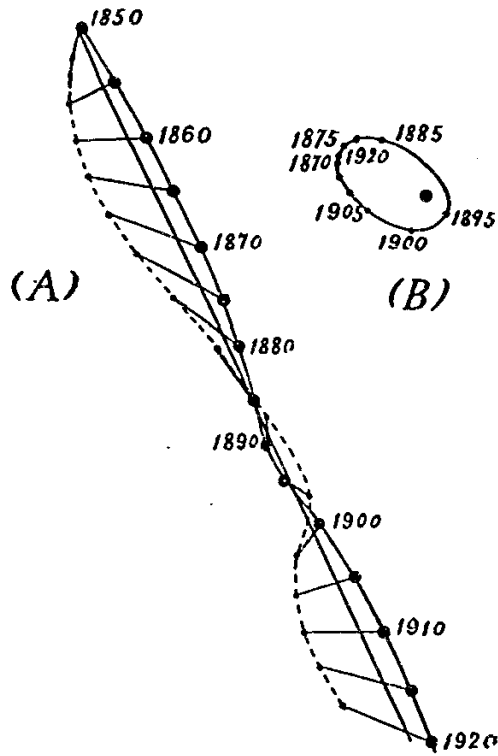
將 A 值代入上式，並將地球質量畧去，得

$$\frac{m_1 + m_2}{\odot} = \frac{a^3}{P^2 p^3}, \text{ 或 } m_1 + m_2 = \frac{a^3}{P^2 p^3} \odot .$$

由此即可算出雙星共同質量為太陽質量之倍數，依統計結果，一切雙星質量，與太陽質量比較，相差不甚大。如最近之 α Centauri 星，其全體質量 $m_1 + m_2 = 2.04$ 倍于日之質量，其中比較最大者，如 k Pegasi，二星總質量，亦不過 11.1。惟用此式計算時，視差 p 須十分精確方可，否則畧有差誤，影響即大。如 k Pegasi 一星，用 $a = 0''.29$; $p = 0''.026$; $A = 11.2$; $P = 11.35$ 年計算，可得 $m_1 + m_2 = 11.1$ 。然若將 p 誤增為 $0''.031$ ，則 A 將為 9.3，而 $m_1 + m_2$ 變為 6.3 矣。又上式所算者，為雙星之共同質量；因吾人所得，僅伴星對於主星相對運動之故。若觀測時，另以附近一星為比較，則必可得二星對公共重心絕對運動，由是可得二星質量之比值；蓋二星繞重心運動時，重心距與質量成反比也。

如天狼星，向來只見其為孤星，而非雙星；但依 Bessel 觀測，極早以前，已發見天狼星在天空運行，成波狀線，如一三八圖 (A)，在一直線左右擺動。此星左右擺動之原因，無疑繫于天狼星之為雙星，主星受暗體伴星旋繞，遂增繞公共重心運動，外觀上成波線狀軌跡。近依長期觀測，已能證明伴星之週轉周期為五十年。至 1862 年時，Clark 依雙星說之暗示，卒發見其暗體伴星，于是天狼星之運行，乃得正確之解釋。

根據重心距與質量成反比定理，及主星波狀軌



(圖一三八)

跡運行事實，即可以証明天狼星主伴二星質量之比。據實際查考，知此二星質量之比，相差甚微，其值僅為二與五。但照現時所知，天狼星主伴二體之光，相差極大，為一與一萬之比，天上各星，罕有其例。此種性質，即表示伴星體積之極小，密度之極大。近年以來，對於天狼伴星研究，已為天文學中最有趣之一頁。據 Eddington 發表，謂其真實密度，大于水六萬倍，每一立方吋體積之重，約有一噸云（星球和原子 29 頁）！

174. 質量與絕對星等之關係

雙星之運行，普通極緩，與吾人距離又極遠，欲將其軌道要素，星光及質量等，完全決定，殊非易事，下表為近年來已決定此種性質之雙星，為數二十有八，表內各星先後，乃依周期漸增次序，其中要素，以短周期者為較確實，因其觀測，已經多次之廻轉也。

表中 μ , P, e... 等符號，均如前節所述，而 A 為二星平均距之天文單位，其值與 a 同，但 a 所表者為弧秒數，與視差 p 三者有下式之關係

$$A = \frac{a}{p}$$

星名	星等	μ	P	e	i	a	p	A	$m_1 + m_2$	$\frac{m_1}{m_2}$	絕對星等
α	Aur 0.8 1.1	0.44	5.7 0.285	0.01	± 40	0.054	0.063	0.85	7.5	{ 4.2 3.3	{ -0.2 0.1
δ	Equ 5.2 5.7	0.31	5.70	0.39	± 81	0.27	0.060	4.5	2.8	---	{ 4.1 4.6
κ	Peg 4.8 5.5	0.03	11.35	0.49	± 77	0.29	0.026	11.2	11.1	---	{ 1.9 2.6
ϵ	Hya 3.7 5.2	0.20	15.3	0.65	+50	0.23	0.020	11.5	6.5	{ 3.5 3.0	{ 0.2 1.7
42	Com 5.6 5.6	0.45	25.9	0.52	± 90	0.66	0.063	10.6	1.8	---	{ 4.6 4.6
85	Peg 5.8 11.3	1.29	26.3	0.46	± 53	0.82	0.092	8.9	1.0	{ 0.35 0.65	{ 5.7 11.2

Σ	3121	$\left. \begin{matrix} 7.9 \\ 8.2 \end{matrix} \right\}$	0.51	34.3	0.33 ± 75	0.67	0.056	12.0	1.5	—	$\left\{ \begin{matrix} 6.7 \\ 7.0 \end{matrix} \right\}$
ζ	Her	$\left. \begin{matrix} 3.0 \\ 6.5 \end{matrix} \right\}$	0.60	34.5	$0.46 - 48$	1.35	0.111	12.2	1.6	$\left\{ \begin{matrix} 1.1 \\ 0.5 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} 3.2 \\ 6.7 \end{matrix} \right\}$
α	CMi	$\left. \begin{matrix} 0.5 \\ 13.1 \end{matrix} \right\}$	1.24	39.0	0.32 ± 14	4.05	0.312	13.0	1.5	$\left\{ \begin{matrix} 1.1 \\ 0.4 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} 3.0 \\ 15.5 \end{matrix} \right\}$
β	416	$\left. \begin{matrix} 6.1 \\ 8.1 \end{matrix} \right\}$	1.20	42.2	0.55 ± 50	1.83	0.169	10.9	0.7	$\left\{ \begin{matrix} 0.4 \\ 0.3 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} 7.2 \\ 9.2 \end{matrix} \right\}$
μ	Her BC	$\left. \begin{matrix} 10.0 \\ 11.0 \end{matrix} \right\}$	0.82	43.2	0.20 ± 63	1.30	0.111	11.7	0.9	$\left\{ \begin{matrix} 0.5 \\ 0.4 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} 10.2 \\ 11.2 \end{matrix} \right\}$
Krüger 60		$\left. \begin{matrix} 9.7 \\ 11.3 \end{matrix} \right\}$	0.89	44.3	0.38 ± 26	2.46	0.257	9.6	0.45	$\left\{ \begin{matrix} 0.27 \\ 0.18 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} 11.8 \\ 13.4 \end{matrix} \right\}$
ξ	Scor	$\left. \begin{matrix} 4.8 \\ 5.1 \end{matrix} \right\}$	0.07	44.7	0.75 ± 29	0.72	0.040	18	2.9	—	$\left\{ \begin{matrix} 2.8 \\ 3.1 \end{matrix} \right\}$
Σ	2173	$\left. \begin{matrix} 5.9 \\ 6.2 \end{matrix} \right\}$	0.21	46.0	0.18 ± 81	1.06	0.052	20	3.9	—	$\left\{ \begin{matrix} 4.5 \\ 4.8 \end{matrix} \right\}$
τ	Cyg	$\left. \begin{matrix} 3.8 \\ 8.0 \end{matrix} \right\}$	0.47	47.0	0.22 ± 43	0.91	0.050	18	2.7	—	$\left\{ \begin{matrix} 2.3 \\ 6.5 \end{matrix} \right\}$
α	CMa	$\left. \begin{matrix} -1.6 \\ 8.4 \end{matrix} \right\}$	1.30	50.0	$0.60 + 43$	7.57	0.371	20.4	3.4	$\left\{ \begin{matrix} 2.44 \\ 0.96 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} 1.3 \\ 11.3 \end{matrix} \right\}$
β	648	$\left. \begin{matrix} 5.2 \\ 8.7 \end{matrix} \right\}$	0.24	56.6	0.23 ± 66	1.25	0.064	19	2.3	—	$\left\{ \begin{matrix} 4.2 \\ 7.7 \end{matrix} \right\}$
ξ	UMa	$\left. \begin{matrix} 4.4 \\ 4.9 \end{matrix} \right\}$	0.73	59.8	0.41 ± 53	2.51	0.146	17	1.4	$\left\{ \begin{matrix} 0.7 \\ 0.7 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} 5.2 \\ 5.7 \end{matrix} \right\}$
ρ	Her	$\left. \begin{matrix} 5.2 \\ 10.5 \end{matrix} \right\}$	0.11	63.0	0.76 ± 25	1.00	0.012	24	3.4	—	$\left\{ \begin{matrix} 3.3 \\ 8.6 \end{matrix} \right\}$
α	Cen	$\left. \begin{matrix} 0.3 \\ 1.7 \end{matrix} \right\}$	3.68	78.8	$0.51 + 79$	17.65	0.758	23.3	2.04	$\left\{ \begin{matrix} 1.10 \\ 0.94 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} 4.7 \\ 6.1 \end{matrix} \right\}$
70	Oph	$\left. \begin{matrix} 4.3 \\ 6.0 \end{matrix} \right\}$	1.13	87.7	$0.50 - 59$	4.50	0.192	23.5	1.7	$\left\{ \begin{matrix} 0.9 \\ 0.8 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} 5.7 \\ 7.4 \end{matrix} \right\}$
γ	CrB	$\left. \begin{matrix} 4.0 \\ 7.0 \end{matrix} \right\}$	0.11	87.8	0.42 ± 84	0.73	0.022	33	4.7	—	$\left\{ \begin{matrix} 0.7 \\ 3.7 \end{matrix} \right\}$

0	Σ	79	7.1 } 7.9 }	0.10	88.9	0.63 ± 56	0.57	0.027	21	1.2	—	{ 4.3 5.1
ξ	Boo		4.8 } 6.7 }	0.17	152.8	0.51 ± 38	4.83	0.168	29	1.0	{ 0.53 0.47	{ 5.9 7.8
Σ	2052		7.8 } 7.8 }	0.53	153.2	0.92 ± 51	1.62	0.055	29	1.1	—	{ 6.5 6.5
o ₂	Eri BC		9.7 } 11.4 }	4.08	248	0.40 ± 72	6.89	0.203	34	0.64	{ 0.44 0.20	{ 11.4 12.9
α	Gem		2.0 } 2.8 }	0.20	306	0.56 + 67	6.06	0.076	80	5.5	—	{ 1.4 2.2
η	Cas		3.7 } 7.4 }	1.25	346	0.33 ± 39	10.1	0.182	55	1.4	{ 0.8: 0.6:	{ 5.0 8.7

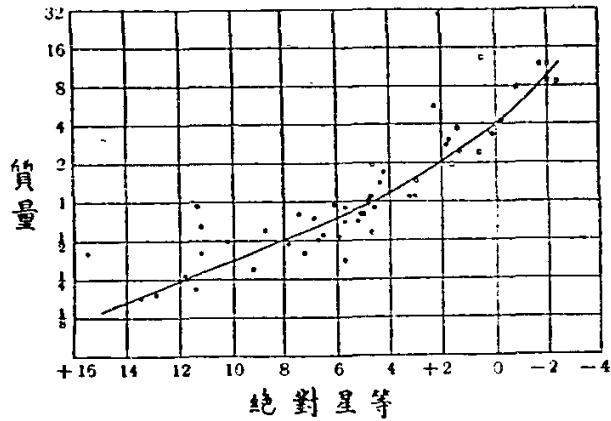
吾人細察上表，每星質量 ($m_1 + m_2$) 之差異，彼此均不甚大；最大者為 k Peg (11.1)，最小者為 Kruger 60 (0.45)，餘均在此二者之間。至其他各要素，則彼此多相差甚遠。此種質量之差異，初尚以為隨光譜品而變，但依近年研究，已知其與真實光度 (Real brightness)，或絕對星等有密切之關係。吾人如以質量為縱軸，絕對星等為橫軸，將上表各星具有之值按圖繪上，吾人必可得二者變化有極密切之關係圖。下圖一三九，即表其互從變化曲線，極著名之質光曲線 (Mass luminosity curve) 也：

圖中黑點所示者，為視差值之誤差小於百分十，而質量比值又十分決定之星。此外則均以圓圈表之。至用小方形表示者，則為光譜變星或蝕變星中質量及絕對星等已決定者。此種變星，下文再詳述。在圖中部有四角星號者，為相當於太陽之位置。

由此圖曲線觀之，可見變星質量愈大者，其真實光度亦愈大。按曲線推求，二量之中如一為已知，即可推知其他數值之大概矣。

175. 光譜雙星之速度曲線

自 1889 年以後，從前極接近，由遠鏡不能分解雙星，多能用分光儀發見之。因此等星之輻射速度，除觀測者自身運動外，仍覺其或前或退，為有周期變化。以是可知其為極接近雙星，互相旋繞所致也。此等



(圖一三九)

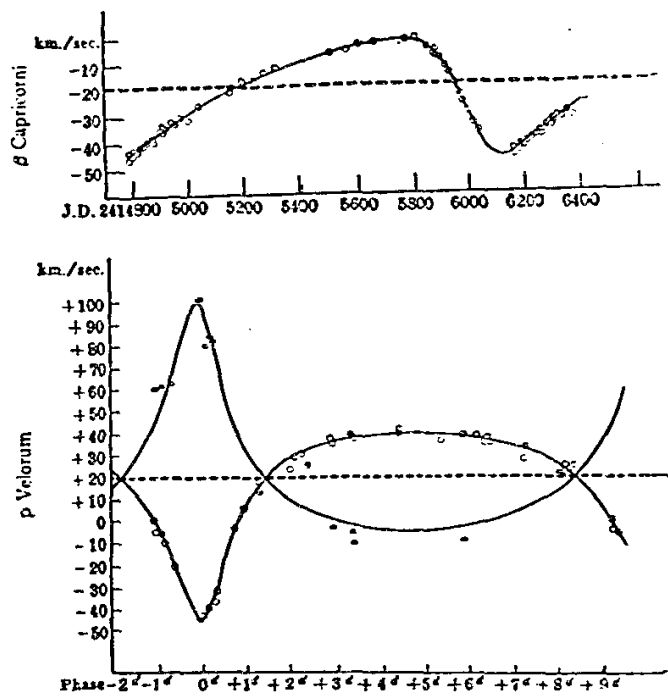
雙星運動周期皆甚短，由半小時或十五分鐘起(如 γ Ursae Min.) 以至十五年(如 ϵ Hydrae) 皆有。

吾人觀測此類星輻射速度時，常見在周期之倍數時間中，其輻射速度之大小及方向相同。以是吾人經長期間觀測，將其速度大小表以縱軸，時間表以橫軸，彙而整理之，即可得一有規則平均曲線，此種曲線名曰速度曲線 (Velocity curve)。

又同一星中，用分光儀觀測，有呈兩曲線者，則無疑由兩個伴星運行，一前一後所致。下圖一四〇，為速度曲線中之一兩個形式；(a) 為 β Capricorni 速度曲線，(b) 為 β Velorum 速度曲線。後者即表示兩個伴星運行，發生雙重曲線也。

176. 光譜雙星軌道之決定

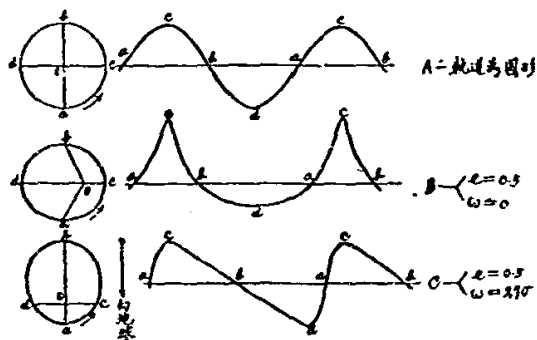
前述視覺雙星時，其相對運動之軌道如何，皆可由其投射于天球切面之視軌



(圖一四〇)

跡決定，惟光譜雙星，因不見其雙星之互轉，遂無視軌跡之可言，是光譜雙星軌跡之決定，不能不有賴他種觀測事實以為基礎也。

光譜雙星表現最顯著事實，無過于其輻射速度之變化，由是此種雙星軌道之決定，即可由速度曲線形狀以斷定之。因雙星輻射速度之發生，全由軌道運動而起，若軌道形狀不同，運動時輻射速度所生之變化亦異，此種關係，可由下數例表明之：



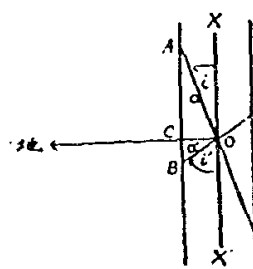
(圖一四一)

如圖一四一，左為軌道之真形，右為速度曲線。圖中水平線，表兩星重心速度，a, b 為軌道與此線之交點，與軌道上所注 a, b 兩點相當，達此二點時，星之運動方向，與視線垂直，輻射速度為零。c, d 為最大及

最小速度，與軌道上 c, d 兩點相當，此兩點連結線與視線垂直。介於 a 與 c 時，星之運動漸遠吾人，在 c 處速度為最大。介於 a 與 d 時，星之運動漸近吾人，在 d 處速度為最大。

若軌道為圓形如 A，則介於 a, b, c, d 四點間時間相等，速度曲線遂為簡單正弦曲線；否則如 B 與 C，離心率 e 不等於零，運動時間之長，與 Oac, Ocb 等面積成比例，其最大及最小速度亦不相等（除非如 C，其近星點向地球時，來與去之速度，可彼此相等）。由是而觀，可見軌道各要素，如離心率 e ，近星點之角 ω （由交點量起），及經近星點時間 T 等，均可由輻射速度曲線推算而知，惟交點之位置角 Ω ，及傾角 i 等，尚不能決定；因輻射速度，只與觀測者距離之變化有關，對於小軌跡有大傾角，或大軌跡有小傾角之雙星，此距離之變化完全相同也。

如圖一四二，縱線 XX' ，垂直於視線而切於天球之平面， OA 與 OB 表兩不同大小軌道面。二面對於 XX' 之傾角，一為 i ，一為 i' ；其半長徑一為 a ，一為 a' 。由圖而觀，可見 a 與 a' 之長相差甚遠，但雙星循軌運動時，對於地球距離之變化，皆可以同一 OC 量表之，即 $asini$ 。此量之大小，雖可由分光儀觀測以決定，惟此量含有二變數 a 及 i ，



(圖一四二)

普通情形下，不能分離決定之也。

177. 光譜雙星質量函數

設 m_1 與 m_2 為二星之質量， a_1 及 a_2 為二星對於重心之平均距離， a 為二星之平均距離，則

$$\frac{a_1}{a} = \frac{m_2}{m_1 + m_2}, \quad \frac{a_2}{a} = \frac{m_1}{m_1 + m_2}.$$

$$\text{又依刻白爾定律, } m_1 + m_2 = \frac{a^3}{P^2}$$

此處之 a 以天文單位量之， P 之單位為年。若吾人祇知其中一星 m_1 之周期及 $a \sin i$ 時，則 $\frac{(a_1 \sin i)^3}{P^2}$ 一值即以質量為函數，且計算極易。因由上各式結果可得：

$$(m_1 + m_2) \sin^3 i = \frac{a^3 \sin^3 i}{P^2} = \left[\frac{a_1 (m_1 + m_2)}{m_2} \right]^3 \frac{\sin^3 i}{P^2},$$

$$\text{故 } \frac{(a_1 \sin i)^3}{P^2} = (m_1 + m_2) \frac{m_2^3 \sin^3 i}{(m_1 + m_2)^3} = \frac{m_2^3 \sin^3 i}{(m_1 + m_2)^2}.$$

如是之式曰質量函數 (Mass function)。式中之 $a_1 \sin i$ ，乃由其中一星 m_1 光譜觀測以決定之。若兩星之光譜皆可見時，則 $a_2 \sin i$ 亦能用同法計算，得

$$\frac{(a_2 \sin i)^3}{P^2} = \frac{m_1^3 \sin^3 i}{(m_1 + m_2)^2}.$$

$$\text{由是 } \frac{(a_1 + a_2)^3}{P^2} \sin^3 i = (m_1 + m_2) \sin^3 i$$

此式之左均為已知數，故 $(m_1 + m_2) \sin^3 i$ 可完全決定，又因

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{a_1 \sin i}{a_2 \sin i}$$

關係，故 $m_1 \sin^3 i$ 及 $m_2 \sin^3 i$ ，皆可單獨求出。

若 $a \sin i$ 用百萬公里 (Millions of kilometers) 數表之， P 之單位為日數。則

上式可寫為：

$$(m_1 + m_2) \sin^3 i = \frac{(a_1 + a_2)^3 \sin^3 i}{25.0 P^2}.$$

(此式之証明,爲學者之極好習題)

由此等式算出之質量, m_1, m_2 或 $m_1 + m_2$ 均含有 $\sin^3 i$ 因子, 是 i 值之大小, 影响于質量計算極大. 夫所謂 i 者, 介于軌道平面垂線與視線間之角也. 此角之變化, 可由 0 至 90 度, 而 $\sin i$ 爲數則由 0 至 1. 但當 i 值爲 0 度時, 輻射速度亦爲零. 此種情形, 已出觀測範圍外, 無可計算. 故以同一角度極限言, 此類雙星 i 值之介于 80° 與 90° 間者其適遇必比介于 0° 與 10° 間者爲大. 以是類推, 則 i 值介 45° 至 90° 間雙星, 必比介于 0° 至 45° 間雙星爲多, 即謂 $\sin i$ 值, 應比其平均值大, 由是所算得之質量, 不致與真值相差極遠也。

178. 光譜變星之質量

由前節末式而觀, 當兩個星之光譜皆見時, 雙星質量之最小限爲 $m \sin i$, 依 174 節之表, 知彼等質量通常與太陽相近, 或有時較大. 如麒麟座內一個六等星 (即十 6° 1309), 由 Plaskett 研究, 知 $m_1 \sin^3 i = 75, m_2 \sin^3 i = 63$, 爲現時已知星體質量之最大者, 餘最大者不過近十倍數, 小者兩三倍而已. 今由 Lick 天文台 1924 年七月出版之第三光譜變星錄 (Third Catalogue of Spectroscopic Binaries) 中抽出 63 個變星, 依其光譜種類列成一表, 以見一斑。

光譜	星數	$m_1 \sin^3 i$	$m_2 \sin^3 i$	二質量比值
O ₈	1	75	63	0.84
B ₀ 至 B ₂	8	12.2	9.4	0.77
B ₃ 至 B ₅	8	4.9	3.5	0.71
B ₆ 至 A ₁	22	2.3	2.0	0.87
A ₂ 至 F ₃	12	1.4	1.1	0.79
F ₄ 至 G ₅	12	1.2	1.1	0.89

由此表而觀, 無疑星體在同一物理情形下, 其質量爲常數, 迨星體愈熱 (即光譜品愈前), 則質量愈增.

至二質量之比, 平均爲 0.8, 而此比值 0.8, 在一三九圖上相當于星等差爲

0.6. 此 0.6 等差, 能與視覺雙星實測平均結果相差不遠也。

光譜雙星表

星名	星等	光譜品	周期	e	軌道速度 上	asin i (百萬 公里)	$\frac{m_1 \sin^3 i}{m_2 \sin^3 i}$	$\frac{m_2^3 \sin^3 i}{(m_1 + m_2)^2}$	視差	絕星 對等
+6°1309	6.36	O8	14 ^h 41 ^m	0.04	206	40.9	76.	13.2		
					247	48.9	63.			
η Ori..	3.44v	B1	7.99	0.02	145	15.9	11.2	2.51	0'' .0057	-2.0
					152	16.8	10.6			-2.0
β Sco..	2.90v	B1	6.83	0.27	126	11.4	13.0	1.26	0 .0085	-1.7
					197	17.8	8.3		\pm .0014	-1.7
ψ Ori..	4.66	B2	2.53	0.07	144	5.0	5.5	0.78	0 .0057	-0.8
					190	6.6	4.2			-0.8
α Vir..	1.21v	B2	4.01	0.10	126	6.9	9.6	0.83	0 .014	-2.6
					208	4.4	5.8		\pm .003	-2.2
ζ Cen..	3.06	B2	8.02	0.50	312	29.8			0 .0217	+0.5
							16.4		\pm .0014	+0.5
μ Sco..	3.09v	B3	1.45	0.05	480	9.5			0 .0074	-2.2
							16.5		\pm .0017	-1.8
β Aur..	2.07v	A0	3.96	0.00	109	5.93	2.21	0.55	0 .034	+0.6
					111	6.04	2.17		\pm .006	+0.6
ζ UmaAS	2.40	A2	20.54	0.54	69.2	16.4	1.67	0.41	0 .045	1.4
					68.8	16.4	1.66		\pm .002	1.4
\circ Leo..	3.76	F5	14.50	0.0	54.0	10.8	1.30	0.24	0 .026	1.6
					63.1	12.6	1.12		\pm .007	1.6
α Aur..	0.21	G0	104.02	0.01	25.8	36.8	1.19	0.18		
					32.5	46.4	0.94			
29 CMa..	4.90	Oe	4.39	0.16	218	13.0		4.58	0 .0071	-0.8
ι Ori..	2.87	Oe5	29.14	0.75	110	28.9		1.14	0 .0051	-3.6
β Per..	2.1v	B8	2.87	0.04	44.1	1.73		0.025	0 .027	-0.7
			688	0.13	10.0	93.0		0.070	\pm .010	

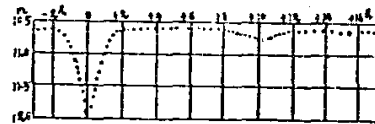
β Ari	2.72	B5	107.0	0.28	32.6	22.9	0.042	0.064	1.7
								± 0.006	
β Cap	3.25	G0	1375.3	0.44	22.2	377	1.13		
K PegA	4.8	F5	5.97	0.03	40.5	3.36	0.040		
ξ UMaA	4.41	G0	665	0.41	7.0	58.3	0.018		
α GemA	1.99	A0	9.22	0.50	136	1.49	0.0015		
α GemB	2.85	A0	2.93	0.01	31.8	1.28	0.0097		

179. 蝕雙星之光曲線

最早在1670年時, Montanari 已發覺大陵星(Algol亦即 β -Persei)其光有時較平時為弱, 至 1782 年時, Goodrick 即發見其光之變化, 有一定周期, 此周期為2日 20時 49分, 其中有2日 11時, 光停留不變, 餘五小時光漸減弱, 後以五小時再復原來光度。自後關於此類光變之星研究漸多, 至現時已發見有 200 餘個, 其光變情形與大陵星相似, 統歸于大陵型變星類, 今若以星光之變化為縱軸, 以周期之長為橫軸, 將相當期間星光變化大小點於紙上, 即可得此等變星之光曲線(Light curve), 下圖所繪, 即屬大陵型變星之 R T Persei 光曲線也:

$$\text{周期 } P = 0^{\text{日}} 20^{\text{時}} 23^{\text{分}} . 2$$

此類曲線通常有兩個極小, 如右圖在 0 時及 +10 時處各有一次極小; 前者較深, 約達 1.33 等, 後者較淺, 約 0.16 等; 前者曰主極小 (Primary minimum), 後者曰副極小 (Secondary minimum), 餘皆似停留不變, 光有恆度。



(圖一四三) R T Persei 平均光曲線

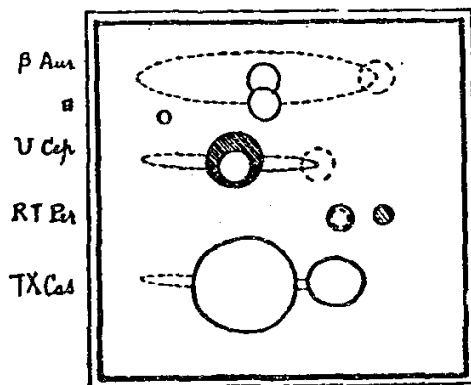
此 R T Persei 光曲線, 僅為蝕雙星之一例, 餘或有呈他種形狀者(參攷下章變星第五類), 亦能証其屬於蝕雙星類, 此蓋隨兩星之相對光度, 本體半徑之比, 及軌道面傾角之不同, 曲線形狀遂不一致也。

180. 光變原因

此種星光變原因，現時皆知為由雙星之旋繞，成日月相蝕現象，而回轉軌道面之傾角又極近90度也。今有雙星于此，當伴星回轉至將掩主星時，則星光漸弱，遠離時漸強。若傾角與90度相差極大，則伴星掩主星時，為偏蝕，光之極小在蝕之中，以後即繼續增強。若傾角近90度時，則蝕為全蝕或環蝕，此時即有停留不變部份。

下圖一四四，即所以示若干著名蝕雙星之相蝕，其相蝕情形，由主伴二體之大小，軌道之圓扁及傾斜度等，即可決定。當二星光面大小相等，如 β Aurigae 時，則光曲線上二極小，應有相等深度；否則二極小所成，乃由大星掩小星，及由小星掩大星，其深淺即不一致。

若軌道為圓形，則蝕之部份，在兩主副二極小間時間相同，其主極小，即為全蝕之時。否則伴星由主星背後向前來時間，與由主星面前向後退時間，即不相等。主副二極小在光曲線上之位置，亦不對稱。



(圖一四四) 圖中各星大小，均依太陽為標準繪成。

此類雙星，本與上述兩種無別，其特異處在其互相同轉之平面與吾人視線相近，由其光度之變化以推斷之耳。此光度之變化，全由第二星之相蝕，然亦可由分光儀之觀測，得速度曲線以證明，因此兩種曲線形狀，由實測結果彼此有因果關係也。

181. 光曲線性質與週期之決定

由上舉 RT Persei 光曲線觀之，可見大陵變星之光曲線，其特徵為有主副二極小同時存在。此主副二極小之深度，隨主伴二星相對之光度，球體半徑比值，及

其傾角等之大小而變。此類雙星主伴二星表面光度，通常相差極大，有時為二十比一，或竟至五十比一者。因二星之光度既如是懸殊，故光曲線上主極小之發生，當即為暗體在光體之前，副極小為暗體在光體之後，而停止不變時（或極大時），即二星對吾人平列時也。

伴星繞主星之軌跡，若為一狹窄橢圓，而傾角又為 90 度時，則視軌跡變為一直線，伴星遂經主星之中心而過，主星被掩時間之長，為全周期之分數，且隨二星半徑之和，對軌跡半徑之比而變，惟平均言之，偏蝕機會多於全蝕，故普通主極小之時間所佔甚短。

在光曲線上，吾人所欲決定者，約有數端，最要者為周期 P 。次為主極小之時期 T_0 ，此時期常稱為基始時期 (Initial epoch)，餘如最亮及最暗時星等 M 與 m ，蝕時之長及停止不變時期之長等，亦皆宜決定。由是凡任意一主極小之時間 T ，皆可由下式表示之：

$$T = T_0 + PE.$$

E 為一整數，由基始時期起，伴星回轉之次數。此類雙星周期之決定，常以主極小中間所發生之時間為斷，因在曲線上，此部份表示極尖銳，時間之推究，較易準確。兩個相連主極小時間之長即為周期 P 也。在一次觀測所得曲線或未準確者，可由多數曲線以取其平均值。及 T_0 之時期，常用儒略日表之，如 $R V Ophiuchi$ 一星， $P = 3.68713$ 日， $T_0 = 2416604.701$ ，由是任意一主極小之時間，可由下式得之：

$$Min = 2416604.701 + 3.68713E.$$

182. 蝕雙星表

下表(甲)為本體極肯定蝕雙星；其速度曲線，及光曲線，均已由觀測，為確實的決定者。次表(乙)乃選各種型式雙星，其光度測量，認為滿意，其中有若干較光星體，更已經分光儀觀測者。

兩表中，(1) 項為星名；(2) 項為周期；(3) 項為光譜品；(4) 項表極大光之星等；(5) 項分上下兩層，上層為極大光至主極小之變幅，下層為至副極小之變

幅,均以星等表之,其中附記號T者,表全蝕;An表環蝕;P表偏蝕,大星在前;p亦表偏蝕,惟大星在後;至pq則表相等二星之偏蝕;G表微蝕,大星在前;g亦表微蝕,惟大星在後。(6)項為軌道面傾角*i*;(7)項為橢圓率,或每星赤道短軸對於長軸之比;(8)項中Lb為大星之光,lf為小星之光,以二者聯合光之和為單位。

自(9)以下,二表各項性質不同,(甲)表中之(9)項表二星半徑之比;(10)項為其密度;(11)項為質量,均以太陽為單位,末(12)項為二星中心距——相對軌道之半徑——以百萬公里為單位。

(甲) 表

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
V Pup	^B 1.45	B1p	4.1	^m 0.64p	74°	0.88	0.60	8.45	0.044	19.4	8.83
		B3		0.53			0.40	7.70	0.058	19.4	
Y Cyg	2.996	B2	7.1	0.60pq	85		0.58	4.6	0.17	16.6	19.25
				0.40			0.42	4.6	0.16	15.3	
u Her	2.05	B3	4.6	0.71p	74	0.93	0.71	4.56	0.095	7.66	10.29
				0.24			0.29	5.35	0.022	2.93	
ε Aql	1.95	B3	5.2	0.18pq	72	0.96	0.57	3.56	0.15	6.19	10.22
				0.15			0.43	3.56	0.12	5.14	
Z Vul	2.45	B3	7.3	1.65G	89	0.92	0.75	4.23	0.085	5.24	10.49
				0.34			0.25	4.16	0.033	2.36	
U Oph	1.68	B8	6.0	0.69pq	84	0.94	0.54	3.23	0.18	5.36	8.90
				0.59			0.46	3.23	0.16	4.71	
TV Cas	1.81	B9	7.4	1.05p	74	0.97	0.84	2.50	0.12	1.83	6.19
				0.09			0.16	2.83	0.048	1.01	

RS Vul	4.48	B8	6.9	0.96p	79	0.98	0.80	4.27	0.060	4.59	14.46
				0.08			0.20	5.58	0.009	1.44	
β Aur	3.96	A0p	2.1	0.09pq	77	0.99	0.50	2.81	0.11	2.40	12.31
				0.09			0.50	2.81	0.11	2.36	
TX Her	2.060	A2	8.1	0.70p	87	—	0.64	1.58	0.52	2.06	7.41
				0.34			0.36	1.58	0.45	1.77	
S Ant	0.648	F0	6.3	0.44p	62	0.75	0.67	1.66	0.31	0.75	2.30
				0.40			0.33	1.29	0.38	0.42	
Z Her	3.99	F5p	7.1	0.81P	82	—	0.57	1.77	0.29	1.6	10.49
				0.12			0.43	3.29	0.04	1.3	
WU Ma	0.334	G0	7.9	0.60pq	76	0.85	0.50	0.78	2.1	0.69	1.53
				0.60			0.50	0.78	1.5	0.49	
α GemC	0.814	M	9.0	0.54pq	86	—	0.50	0.58	2.60	0.52	2.58
				0.54			0.50	0.58	2.60	0.52	

(乙)表中 (9) 項表二星之半徑，但以相對軌道半徑為本位；(10) 項為密度，由質光曲線定律求出；(11) 項表較亮星軌道半徑，以百萬公里為單位，但只有三個。

至二星光面之比 $\frac{J_b}{J_f}$ ，可由其光之比值 $\frac{L_b}{L_f}$ ，以其半徑比率平方數相除而得。如 β Persei 星

$$\frac{J_b}{J_f} = \frac{0.93}{0.07} \div \left(\frac{21}{24} \right)^2 = 17$$

(乙) 表

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
IH Cas	日 6.07	B3	4.9	0.13 An	85°	1.00	0.97	0.19	0.04	10 ⁵ 公里 4.94
				0.032			0.03	0.066	0.25	
TX Cas	2.93	B3	9.3	0.55 An	88	0.93	0.83	0.57	0.0063	
		B5		0.32			0.17	0.30	0.023	
β Per	2.87	B8	2.3	1.23 P	82	0.99	0.93	0.21	0.13	1.76
				0.05			0.07	0.24	0.03	
U Cep	2.49	A0	6.9	2.28 T	86	0.96	0.84	0.20	0.14	
				0.09			0.16	0.32	0.034	
RW Tau	2.77	A0	7.9	3.47 T	90	—	0.96	0.19	0.21	
				[0.02]			0.04	0.25	0.02	
S Cnc	9.43	A0	8.2	2.12 T	85	1.0	0.86	0.10	0.10	
				0.05			0.14	0.18	0.009	
RZ Cas	1.20	A0	6.4	1.59 P	82	0.99	0.92	0.28	0.33	1.15
				0.06			0.08	0.29	0.11	
RT Per	0.85	F?	10.6	1.33 An	89	0.99	0.88	0.32	0.40	
				0.16			0.12	0.26	0.34	
W Cru	198.5	G0p	8.7	0.62 g	76	0.91	0.90	0.61	1.3 × 10 ⁻⁶	
				0.28			0.10	0.34	3.1 × 10 ⁻⁶	
SW Lac	0.32	G2p	8.6	0.78 P	73	0.78	0.54	0.42	1.62	
				0.68			0.46	0.46	1.16	
RZ Oph	262.0	cG0	9.7	0.83 T	87	—	0.53	0.046	0.001	
				[0.07]			0.47	0.15	3 × 10 ⁻⁵	

習題 XVI.

1. 若 α Aurigae 二星質量 $m_1=4.2$ $m_2=3.3$
 ϵ Hydrae $m_1=3.5$ $m_2=3.0$
 85 Pegasi..... $m_1=0.35$ $m_2=0.65$
 求各星 a_1 與 a_2 (二星與公共重心距離)之比值,
2. 若上題 1 中各星之自行 μ 及視差 p 各為
 $\mu=0''.44; \quad 0''.20; \quad 1''.29,$
 $p=0''.063; \quad 0''.020; \quad 0''.092,$
 求各星自行之切線速度, 及各星與吾人之距離(公里數及光年數)。
3. 若前題 1 三星中伴星迴轉運動軌道之離心率 e 各為 $0.01; 0.65; 0.45$; 及近星點 ω 各為 $90^\circ; 180^\circ; 270^\circ$, 試繪各星輻射速度曲線之圖形。
4. 若前題 1 三星質量各增 1, 2, 3 倍, 試按質光曲線求出各星絕對星等之近值。
5. 若三星之質量只按前題 4 比例增加, 餘均不變; 問各星軌道面之傾斜 i 變化幾何?
6. 試按本章所舉雙星表, 用圖解法, 表示各星周期 P 與絕對星等 A , 及視差 p 之關係。
7. 求 RZ Cas, RT Per 及 RZ Oph 各雙星二星光面之比值。

第十七章 變星

183. 變星之發見

天空星辰變易之象，最顯著者太陽系諸星體，其行或前或後，其光或暗或明；彗星則來去無常，大小不一；流星隕石，或多或少，發現部位與時不同，其次為太陽系外，屬於恆星系變星 (Variable stars)，此等變星散佈天上，隨處皆有，顏色或紅或白，光度或暗或明；光之變化大者，隱現無常，令人莫測。從前造恆星表者，因變星明暗無定之故，常覺今年所造星表，明年即有欠缺，或從前所造星表，現時有許多星，無處稽查；但再待一二年後，又覺有許多星原形復現，如是變幻無常，忽隱忽現奇怪現象，不知凡幾，吾人披天文史一閱，此種記載，幾乎無代無之。

變星發見最早者為新星 (Temporary stars 或 Nova)，據史所載，最早注意新星發現者為希臘著名天文家依巴谷，時為西紀元前 134 年，新星之發現乃在天蝸座，此星初現時，光度極強，為向來所未見。自此星發見以後，依巴谷遂以為天上諸星，皆能忽生忽滅，因此試繪星圖，統計肉眼可見之星數，以研究星球生滅之究竟。自此以後，此種現象益多，注意觀測者，亦相繼不絕；如西紀 123 年在武仙座；173 年在半人馬座；336 年在人馬座；393 年在天蝸座等皆有同樣新星發現。以後最著名而記載較詳細者為第谷所發見新星，此星在仙后座，於 1572 年 11 月 11 日發現。當時光度比織女星天狼星及木星等更強，且白晝可見，但不久，其光度漸減，至十二月時，與木星相等；至 1574 年三月此星已隱沒，不可復見。此星存在時期，約十七個月。三十年後 1604 年七月七日，忽有一新星在蛇座發現，其光度雖比木星略強，但不及前者光輝，于白晝可見，此星只存在十五個月，此後亦永不復見。近世觀測方法及觀測器械逐漸改良，於是光度比較微弱新星發現亦日多，十九世紀中葉，此類星發見有九個，其光度最強者由一等以至五等。以後新星最光者為 1918 年六月七日在天鷹座新星，其光度初時弱於織女星，但兩日以後則較織女星強，迨達到極大光度以後，其光輝退減極速，到九月時，已變為五等星，又

此後其光度反增，至 1920 年八月二十五日，其光與 γ Cygni 相等，約為二等三；但至二十八日又變為三等，比二十五日弱十分之七等。

又 1917 年十月至 1918 年十月時，威爾遜山天文台 攝影片，在仙女座星雲中發見極微新星十一顆，再遲 1920 年，在天鵝座所發見新星亦極著名，無庸贅述。

至於普通變星（光變有周期或雖有周期而尙未能決定者）最著名而發見最早者為 1596 年八月十三日，由 David Fabricius 在鯨魚頸上發見一星，其光度為三等。當時考查此星，不存在於任何恒星表內，但最奇者，以後此星逐漸變弱，至十月時，已不可見。後至 1603 年 Bayer 再見其在同一位置出現，其光度為四等，因即名之為 Omicron 星。至 1638 年，Holwarda 又見其變為三等星。但至 1639 年，全夏季皆不見，直至十一月九日又見其發現。以後因其光變漸著名，觀察者漸多：其中如 Heyelius 曾由 1648 年至 1662 年，觀測不絕，並名之為 Mira-Ceti（意謂鯨魚之美）。此星光變，不完全有規則，光變周期，常在 320 以至 370 日間。其最大光度，亦不相等，常在二等以至四等間；最小光度，或為八等，或為九等，亦不一定。

又 Mira—Ceti 以外，極著名而似普通變星者為 η —Carinae 星，其光度最強時（1843 年），光等為負 $-(-1)$ ；最弱時，（1886 年）光度七等七；Macleary 及 Thome 等皆有長期觀測。

此外普通變星極著名者，為前述之大陵星，在 1669 年，為 Montanari 所發見，此星光變規則常有一定，與 Mira-Ceti 及 η —Carinae 等不同，周期亦無變，常為兩日又二十一小時，光度最大時為二等五，最小時為三等五；其特性如何，前既言之矣。

自此以後，天空攝影術日漸精密；變星之發見亦日多，從前所發見者，僅為光度極強，及光變極大之星。現時星光變度，雖極微小，如現時北極星其光變只由二等一變至二等三，周期為 3.963 日，亦可精確測定。最近光度極微星，在星雲中之 18 等及 19 等小星，亦能測得其光有變焉。

184. 變星命名法

變星本即恒星中之特別者，故其得名，應即為恒星原有之名，如 δ -Cephei η -Aquilae, ζ -Geminorum……等星。

惟恒星大小不一，大者雖有專名，小者僅用位置座標以示區別，由是小恒星而為變星者，常覺以本星之座標稱呼，頗不便利，乃始為之製定專名，俾一望可知此星之是否為變星類。

計變星之命名法，約分兩種：

(甲)以一星座內變星發見之先後，給以號數者，如天鷹座內，變星發見居第十八者，則寫為 V_{18} -Aquilae；仙王座內變星之發見居第五者，則寫為 V_5 -Cephei；若此星為新星，則以 Nova 一字為冠，如 Nova-Cassiopeiae。如同一座內，不只一新星者，則于星座字下，加一數字；如蛇夫座第三新星，常記為 Nova-Ophiuchi. no. 3 或于星座字下加發見之年份，如天鷹座第三新星，乃于 1918 年發見，則記為 Nova Aquilae 1918 是。以此類推。

(乙)以英文字母之配合名之者，其先後次序，有如下表。

- R, S, T, U,……………Z,
- RR, RS, RT,……………SS, ST, Su,……………ZZ,
- AA, AB, AC,……………BB, BC, BD,……………GG.

如 R-Aquilae, RS-Pegasi, RZ-Orionis 等是。

現時吾人所製之變星觀測小冊，常將(甲)(乙)二法並寫，如 V_2 -Cephei，即為 S.Cephei，可寫為 $V_2=S$ Cephei。又 V_{20} -Ursae Majoris 即為 ST-Ursae Majoris，可寫為 $V_{20}=ST$ Ursae Majoris 等是。

然現時變星之發見極多，名稱亦因而多不可記憶，故變星除用上二法記以專名外，常將變星 1900 年赤道座標編成六字號數，以便檢查。此六字號數之編法，先以赤經之時數兩字居首，次以分數兩字居中；赤緯只用度數，亦僅兩位居末，此即所謂 Pickering 號數是也。如 $V_2=S$ Hydrae 變星，其 1900.0 年平均位置：

$\alpha = 8^{\text{h}}48^{\text{m}}$, $\delta = +3^{\circ}27'$, 則記爲 084803 $V_2 = \text{S Hydrae}$; 又如 $V_3 = \text{V Ophiuchi}$ 變星, 其 1900.0 年平均位置: $\alpha = 16^{\text{h}}21^{\text{m}}$, $\delta = -12^{\circ}12'$ 則記爲 162112 $V_3 = \text{V Ophiuchi}$, 因赤緯爲負, 故號數之下加一橫線, 以示區別, 其餘類推。

185. 變星分類

現時變星發見日多, 其光變規則, 亦各有特性, 能自成一類, 變星分類方法, 或依光變周期, 或依光變規則, 約可分爲有周期變星 (Periodic stars); 及無周期變星 (Non-periodic stars) 兩類, 但現時爲一般天文家所公認者, 仍爲前哈佛天文台台長 Pickering 教授分類法; 依星光變化規則, 將一切變星分爲五大類:

I. 新星 Nova

此類星, 並非普通所稱變星, 因其自身發現只有一次, 而其光變, 又無周期, 其出現爲忽然存在, 以後光度漸減以至消滅, 不復再見; 但無論如何, 其光有變, 故仍入變星類, 如上述 1604 年蛇座及 1918 年天鷹座新星是也。

II. 無規則或尙未考定變星 (Irregular variables 或 Unknown)

此類變星, 不管其光度強弱, 但知其光變周期無定; 或雖以爲有定, 其實未定者, 總之無論因周期尙未認識, 或因周期確無一定, 吾人皆將其歸入此類, 如 $\alpha \text{Herculis}$, $\alpha \text{Orionis}$ 及 RCoronae borealis 等是。

但將來經長期觀測, 確定其周期以後, 或可歸諸下述三類相當之一。近年以來, 不少天文家, 從事專研究此類變星, 數年不歇, 但極難得良好結果, 如 RS-Camelopardalis 一星, Martin 君曾由 1909 年十月起, 觀測至 1914 年四月止, 共一千六百餘日, 但所得結果, 仍紊亂不能捉摸其究竟, 觀下一四六圖, 此星之光曲線自明, 此外如 SS Aurigae , RS Cuti 等皆屬此類。

III. 長期變星 (Long period variables)

此類變星, 有兩特點:

(甲) 周期大致有規則, 周期之長約由兩三個月以至兩年, 其中小於 100 日或

大于六百日者甚鮮，大概百分之五十以上介于 250 日及 400 日之間。

(乙)其極大及極小光度有變，但其變極無規則，如前述 Mira-Ceti 是也。

此類星光之變幅，常達四等以上；其甚者，可至八等或九等。光度之增加，常速于減少，所佔時間之長，大約為二與三之比，觀下一四七圖自明。

IV. 短期變星 (Variables of short period 或 Cepheids)——此類變星周期，由數小時以至數日或數十日。然短期變星，又約可分兩組：

(甲)周期短于一日者，曰星團變星 (Cluster variables)，因此組變星大多數在球狀星團 (Globular star clusters) 內發見。

(乙)周期與一星期相近者，此組星又常別稱為造父變星 (Cepheids)。蓋其光變規則，通類似 δ Cephei 變星之故。此造父變星在變星中研究極豐富，一切性質均比較其他變星明瞭；故短期變星，常概以造父變星稱之。其光變情形，如下一四八圖所示。

V. 蝕變星 (Eclipsing variables)

此類變星如前章之研究，已知其為雙星。二星一明一暗，暗者繞明者旋轉，其軌道平面通過或極近太陽，光度由相蝕而生光暗，周期極有一定。此類變星，因其光變規則之不同，又可分為下列兩種：

(甲)以大陵變星為代表，在光變一周期中，有兩次不相等極小，又介於此相連二極小光度間，有兩次相等極大。

(乙)以 β -Lyrae 變星為代表，在光曲線兩極大處，成圓弧形，與大陵變星該處成直線者有異。如下一五〇圖。

以上分類法，雖為現時一般天文家所採用，但究竟極為大概。因在光變上言，現時未經觀測之星尚多，固不能歸成一類。但因觀測方法不精密，或觀測時間不足，前所斷定者，以現時考之，或完全錯誤，亦所常有。又在原因上言，只將第五類星光變原因，歸於互蝕，或亦不適當，因依現時研究結果，前數類長期短期等變星，不少天文家，亦謂其為互蝕故也。近年來在五大類中，更因光曲線形狀不同，細

分小類甚多；次如介于有規則及無規則間，又有所謂半規則 (Semi-regular) 變星者，如 RV Tauri 星，其中之代表也。

186. 變星光曲線

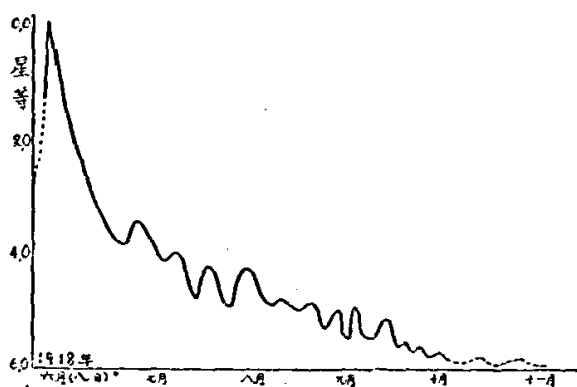
變星光曲線，因星光變化種類之不同，可分兩種，一曰單曲線二曰平均曲線，今分別述之：

(甲) 單曲線

此種曲線，以觀測時日為橫軸，光等或光度大小為縱軸所繪之光曲線；時日逾長，所得曲線逾長，不相重疊。對於表示第一類新星，第二類無規則變星，及第三類光變極限不常相等長期變星，必須採用。因此等星既無一定周期可以回復，縱有周期，若光變極限不常相等，亦不能重疊也。今將各類星光變曲線，各舉一例，以見一斑：

(一) 新星光曲線

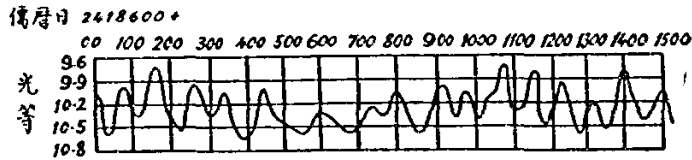
右圖為天鵝座第三新星曲線，發見時日為 1918 年六月上旬。此曲線由 Guthnick 及 P. Hugeler 二人將其觀測結果整理而得，在德國天文雜誌 *Astronomische Nachrichten* 第 5036 期



(圖一四五) Nova Aquilae 1918.

發表者。今由圖一望，即可知此星初發見時，其星等為零，以後漸漸減小，五個月以後，已弱於五等，但自 1918 年十月以後，星光減小率，亦逐漸不如前之速，再遲三兩年，已幾乎變為恆星矣。

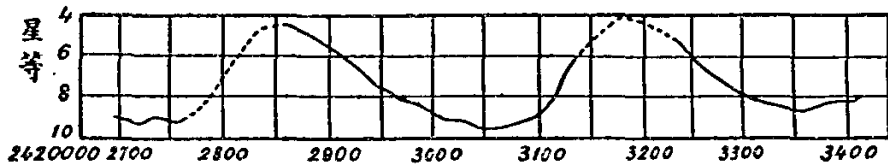
(二) 無規則變星光曲線



(圖一四六) RS CAMELOPARDALIS

此曲線為 C.Martin 及 H.C. Plummer 二人用攝影觀測而得，由1909年十月二十日起至1914年四月十五日止，共一千五百餘日，在 Monthly Notices 雜誌第76卷(1916)第612頁上發表。吾人由圖一看，即知其光變極限，常在9.6等與10.8等之間。又觀測時日雖長，但曲線進行情形，與時而異，不顯重複。可見無規則變星研究之不易。但近年研究，已將此星歸入半規則變星 RV Tauri 類，謂其周期為170日矣。

(三) 長期變星光曲線



(圖一四七) Mira Ceti

此曲線，乃集合法文變星觀測會(里昂)，英文變星觀測會(哈佛)及英國各處由1921年至1922年間對於 O-Ceti 一切觀測結果所繪成。觀測次數共477；觀測時日共700日(由儒略日2422700至2423400)；光之變化，由四等至十等。此曲線曾在里昂天文台月刊，第6卷第146頁發表。曲線中用點連接之處，為477個觀測所未及之部份。

此曲線大致可謂為有規則，但表現之三個極小光等不相同；第一個為9.5等，第二個為9.6等，而第三個則為8.6等，比前二者光強一等。至於光之變化規則，由弱變強，所需時間，比由強變弱所需時間短，頗為明顯。

(乙)平均曲線

此種曲線乃將多數單曲線重疊而得，只適於研究周期及光變極限大致有規則之變星，如第四，第五類，及少數之第二類變星皆可。

吾人觀測時，既如前述，極易發生錯誤；又因天氣或晴或雨之關係，觀測時間，常常中斷；故對於某一變星為精確嚴密之研究時，斷不能只憑少數之觀測以為準，且第四第五類變星周期，普通極短；今晚觀測，與昨晚觀測未必同在一周期內；即同在一周期內，但最少已隔十餘小時，故欲得精確曲線，以表示某變星光變之真確規則時，不能不將一切觀測結果，集在一周期內，然後根據一切之點，畫一平均曲線。

畫平均曲線時，既要將一切觀測結果，集在一周期內；故在未畫平均曲線以前，有不可不知之要素兩個：(一)周期之長，(二)周期起原。

決定周期之起原，或用任意一極大光，或任意一極小光發生之時日皆可，隨變星之種類與特性而異。

今如有變星 A，其周期為 P，某一次（任意選定）極大光所發生之時日為 1923 年十二月十六日下午三時十五分（格林威平時），若用儒略日表示，其周期起原可寫為：

$$(A) \text{ Max} = 2423770.64$$

如是以此一極大光為標準，即可計算以後之觀測，為在第幾周期內，並在此周期內之位置。設某一觀測在儒略日 2423916.75 時，此觀測與周期之起原相隔 $2423916.75 - 2423770.64 = 146.11$ 日。若 $P = 1320$ 日，試用 11 乘 P 得 $11 \times 1320 = 145.20$ 日。

今觀測時日與周期之起原隔 146.11 日，因此即知此次觀測乃落在第十二個周期內之又

$$146.11 - 145.20 = 0.91.$$

此即得在十二個周期內距極大光時日也。此相距時間，名曰時幅 (Phase)。

其餘一切觀測，皆可依此計算以求其時幅，時幅求得以後，即可知此等觀測在一週期內之位置，如：

(四) 短期變星光曲線

今取造父變星族極著名變星 δ -Cephei 為例，以說明平均曲線之作法。

下例為法國 Montpellier 大學教授 M.Moye 由 1924 年一月一日起至是年十二月三十一日止 δ Cephei 變星之觀測，觀測次數九十有七，其觀測結果與曲線，皆一一載在里昂天文台月報第 7 卷 (1925) 第 85 頁上。今只述其結果：

依 Luizet 研究，知 δ -Cephei 極大光時日與周期，可用下式表示：

$$\text{Max.} = 2393659.856 + 5^{\text{H}} \cdot 366387\text{E}$$

但 Moye 觀測時日，乃由儒略日 2423786.3 起 (第一觀測時日)，至 2424151.3 止 (最後一觀測時日)。此兩時日中數值，約與 Luizet 公式隔 5647 (=E) 周期，欲令 δ -Cephei 之極大光時日，落在 Moye 所觀測時日間，應將 5647 數乘周期，再加 2393659.856，即得：

$$\text{Max.} = 2393659.856 + 5^{\text{H}} \cdot 366387 \times 5647 = 2423763.84$$

此時日相當於 1924 年六月廿六日又百分之八十四日。今以此時日為標準，將一切觀測排列，集在 2423763.84 以後一個周期內，然後再以 $0^{\text{H}}.50$ 為單位，將此星之周期劃分 $5.366387 \div 0.50$ 得 11 個區分。由是再將每個區分內觀測值平均，得 11 個平均點，各點之值，如下表所列：

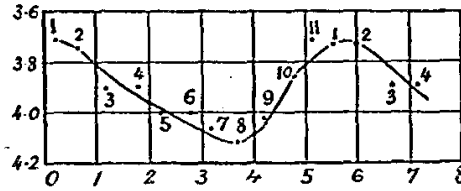
點 平均值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
觀測次數	7	10	8	8	9	10	10	9	7	8	11
時 幅	0.07^{H}	0.61	1.21	1.71	2.23	2.71	3.14	3.77	4.20	4.83	5.10
光 等	3.73	3.74	3.89	3.87	4.00	4.00	4.08	4.14	4.03	3.57	3.92

根據此表數值，即可得下之平均曲線：

由此曲線研究，可得下注意

諸要點：

1. 極大光時幅 $5^{\text{h}} 50$ ，其光等 3.72 ；
2. 極小光時幅 $3^{\text{h}} 61$ ，其光等 4.14 ；
3. (極大光時幅) - (極小光時幅) = $1^{\text{h}} 84$ ；
4. (極大光光等) - (極小光光等) = $0^{\text{m}} 42$ 。



(圖一四八) δ Cephei

今由觀測所得極大光所在時日為

$$2423963.84 + 5 \cdot 50 = 2423969.34;$$

而依 Luizet 公式計算為 $2423963.84 + 5 \cdot 37 = 2423969.21$ 。

由此可見由 Meye 觀測結果，其極大光所在時日，比 Luizet 公式遲 0.13 ($2423969.34 - 2423969.21$) 日。

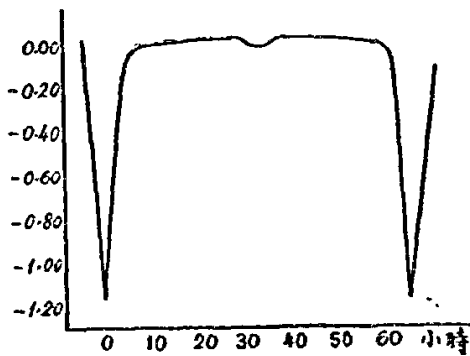
(五) 蝕變星光曲線

蝕變星曲線，可分兩種：第一以大陵星為代表；第二以 β Lyrae 星為代表。此類曲線之特性，每一周期中有兩個極小，一高一低，兩個極大，其高低相等。又此類變星，周期大約極短且極有規則，故可用平均曲線表示。平均曲線作法，與上述

相同，今僅各舉一例，以見一斑：

(甲) 大陵型變星光曲線

左圖即為大陵變星光曲線，乃 T-Stebbins 由 1919 至 1920 年用電影法 (Photoelectric) 觀測而得，在 *Astrophysical Journal* 第 53 卷 (1921) 第 105 頁發表者。

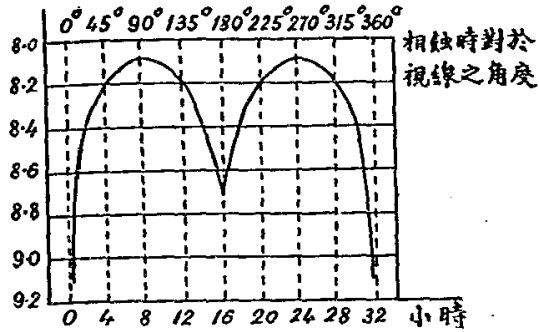


(圖一四九) Algol

(乙) β Lyrac 型變星光曲線

此為 TT Aurigae 蝕變

星，乃由哈佛天文台 Leavitt 女士用檢查照片法發見 (Circular of Harvard College Observatory 第103號)，並知其屬於 β Lyrac 類者。



(圖一五〇) TT Aurigae

此曲線乃由 C. Martin

及 H. C. Plummer 在 Dunsink 天文台，用攝影法由 1914 年二月十九起至 1916 年正月七日止，經 83 觀測而得。在 Monthly Notices 雜誌第 76 卷 (1916) 第 395 頁發表。曲線之形狀與 β Lyaac 相似，極有規則，周期亦有一定。

187. 變星要素

變星光曲線，既經精密決定以後，即可由此以明白光變情形及決定光變要素，平常所謂變星要素，乃指下列四點而言。

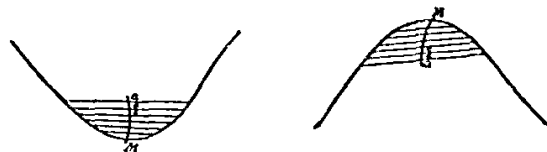
1. 周期之長
2. 極大光或極小光所在時日
3. 極大光及極小光相距時日
4. 極大光及極小光之光等

以上四點，均可由光曲線決定；但較困難而較重要者為第二點。因極大極小光所在時日能決定，周期之長，即為兩極大（或極小）光間之時間。而極大光與極小光相距時日，亦可由此二者相減而得。至極大光與極小光之光等，可在極大光與極小光處，用平行線對準光等縱坐標而檢讀之。

決定極大光或極小光所在時日，其方法隨曲線性質而異。設在極大或極小處，曲線屈折成銳角形，則此角尖之一點所在，即為極大光或極小光所發生時日，由

橫坐標檢讀即得。設在極大或極小處，曲線變化極緩成圓弧形，如是欲決定極大光或極小光發生之確實時日，便不容易。關於決定此種曲線極大與極小，現時多採用 Pogson 方法，畧述如下：

先在近極大或極小處，作橫線五六條平行于橫坐標，割曲線成弓形，由下而上或由上而下，以至極處。其形如圖一五一。



(圖一五一)

次用尺將此等橫線量準，在橫線中點，得 a. b. c. d. … 等點，然後再用曲線將此等點連成一線，則兩曲線所交之點 M，即為極大或極小位置矣。

置矣。

此方法對於決定第二第三及第四等類變星曲線之極大及極小均極適用。在普通上言，大約多採用極大光所在時日為標準，兩個相連極大光時間，即為周期。但在特別時，其曲線之極大光處成圓弧，反之在極小處成極銳角。如是應採極小光為標準。兩個相連極小光時間，即為周期。如第五類大陵星族光曲線，其曲線在極大光處成平行線，在極小光處則極尖，成十度或五度銳角；而屬 β Lyrae 星族者，極小光處亦極尖，極大光處，則成極大圓弧。如是即應採極小光所在時日為周期之起原也。

此外對於研究第三及第四類變星曲線時，倘有一極應注意之點，厥為曲線之歪。即曲線成對稱形或向左或向右歪也。此要素可由 (1) 與 (3) 兩要素之合成，用 $\frac{M-m}{P}$ 分數表示之 (M 為極大光，m 為極小光)。如此分數之值等於 $\frac{1}{2}$ 時，即表曲線形狀對稱，極大在兩極小中間，如 ζ Geminorum 光曲線是；如此分數大於 $\frac{1}{2}$ 時，曲線即向右歪，如 RV Tauri 光曲線是；如此分數小於 $\frac{1}{2}$ 時，曲線即向左歪，如造父變星類是也。

188. 變星表

變星為數極多，益以近年不絕發見，更與日俱增，依 1925 德國天文學季刊 (Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft) 第 60 期發表，普通變星總數約近三千(2910)，而較弱之星團變星不在內。至 1932 年時，柏林大學天文台 (Universitat sternwarte zu Berlin-Babelsberg) 發表之變星錄 (Katalog und Ephemeriden Veranderlicher sterne fur 1933)，為數已增至 5826，比前表多一倍。但此錄已將星雲及星團中小變星 (小至 18 等)，擇其較確定者採入一部份，為晚近變星錄之最完全者矣。

茲將各類星之較亮而較著名者，分表擇錄于下，以示其性質之大概：

(甲) 新星表

新星方位	發見者	發見年份	最大星等	赤經	赤緯
仙后座	Tycho Brahe	1572	> 1	0 ^h 18 ^m	+63°
蛇座	Fabircius	1604	> 1	17 23	-21
狐狸座	Anshelm	1670	3.0	19 43	+27
蛇夫座	Hind	1848	5.5	16 53	-12
北冕座	Birmingham	1866	2.0	15 55	+26
天鵝座	Schmidl	1876	3.2	21 37	+42
御夫座	Anderson	1891	4.5	5 24	+30
人馬座	Mrs. Fleming	1898	4.7	18 55	-13
英仙座	Anderson	1901	0.0	3 23	+43
天鷹座	Luizet	1918	-0.2	18 41	+00

(乙) 無規則變星表

星 名	赤 經 赤 緯	最大光等	最小光等	光譜品
	h m			
RS And	23 48+47°	7.0	9.0	Mc
U Ant	10 29-38	5.7	6.8	Nb
V Aql	18 56-5	6.7	8.2	Np
TW Aur	5 46+45	7.3	9.2	Mc
ST Cam	4 36+67	6.9	8.3	Mb
α Cas	0 32+55	2.1	2.6	G ₂
Y Cen	14 23-29	7.7	8.8	Mc
RW Cep	22 17+55	6.8	7.5	Ma
R CrB	15 42+28	5.8	<13.8	—
RV Cyg	21 37+37	7.1	9.3	N
S Dra	16 39+55	7.5	10.0	Mc
Y Gem	7 32+20	8.5	10.0	M ₂ e
RW Hec	17 59+22	9	13.8	—
U Hya	10 30-12	4.8	5.9	Nb
S Lep	6 0-24	6.5	8.0	Mc
T Lyr	18 27+36	7.8	9.6	N?
S Per	2 12+57	7.2	12.2	M ₃
SS Sco	16 47-32	7.5	9.5	K ₂
Y Scu	23 2-30	7.8	8.9	Mb
Y UMa	12 33+56	7.7	9.3	Mcp

(丙) 長期變星表

星 名	赤 經 赤 緯	周 期	最大光等	最小光等	光 譜 品
	h m	日			
R And	0 16 +37°	409. 1	5.6	14.7	Se
R Aqr	23 36 -16	358. 3	5.8	10.8	M ₆ ep
R Aql	18 59 + 8	309. 7	5.5	11.8	M ₆ e
U Ara	17 43 -51	226. 8	7.8	14.1	M ₁ e
RU Aur	5 30 +37	468	9.5	<14.0	—
R Boo	14 30 +27	225. 5	5.9	12.8	M ₁ e
V Cam	5 43 +74	527. 2	8.2	15.5	M ₇ e
T Cnc	8 48 +20	486	8.0	10.2	N ₃
S CMi	7 24 + 8	337. 6	7.0	13.0	M ₇ e
W Cap	20 5 -22	209. 5	10.0	<14.5	—
Z Car	10 9 -58	380. 8	10.4	15.3	M ₆ e
X Cas	1 46 +58	423. 3	8.4	13.1	N
RS Cen	11 15 -61	161. 0	7.6	13.6	M ₃ e
R Cep	21 36 +77	478. 3	7.0	12.9	N ₈
O Cet	2 12 - 3	329. 5	2.0	10.1	M ₅ e
R Cyg	19 32 +49	428. 4	5.6	14.4	Se
χ „	19 45 +32	412. 9	4.2	14.0	M ₇ e
R Gem	6 58 +22	370. 1	6.5	14.3	Se
η „	6 6 +22	235. 4	3.2	4.2	M ₂
R Leo	9 39 +12	314. 8	5.0	10.5	M ₇ e
V Mon	6 15 - 2	332. 7	6.0	14.0	M ₆ e
R UMa	10 34 +69	300. 6	5.9	13.6	M ₄ e
S Vir	13 25 - 6	376. 9	6.0	12.9	M ₆ e

(丁) 短期變星表(造父星類)

星 名	赤經赤緯		周 期	最大光等	m-M (星等)	M-m (時間)	光譜品
	h	m					
U Aql	19 21	-7°	7.02418	6.32	0.69	2.3	G ₀ -G ₅
γ „	19 45	+0	7.17652	3.69	0.71	2.27	F ₂ -G ₉
Y Aur	5 18	+42	3.85950	9.78	1.14	1.25	F ₂ -G ₅
RT „	6 19	+30	3.72828	5.35	1.25	0.89	F ₁ -G
RW Cam	3 42	+58	16.41176	8.95	1.41	5.6	G ₄
RV CMa	6 54	-14	30.4	10.3	0.8	4.6	—
U Car	10 52	-59	38.750	6.8	1.2	7.7	L ³ -K ₅
SU Cas	2 39	+68	1.94927	6.05	0.38	0.90	F ₂ -L ₉
V Cen	14 23	-56	5.49411	6.32	0.96	1.72	F ₅ -G ₇
δ Cep	22 23	+57	5.36639	3.71	0.72	1.7	F ₄ -G ₆
R Cru	12 16	-60	5.82586	6.58	0.73	1.76	F ₈ -K ₀
X Cyg	20 37	+35	16.38568	6.53	1.56	5.7	F ₈ -K ₀
W Gem	6 26	+15	7.91499	7.05	0.94	2.5	F ₆ -G ₅
ζ „	6 55	+20	10.15353	3.73	0.37	5.03	cGIV
SV Mon	6 13	+6	15.23256	8.2	0.8	5.3	F ₈ -K ₅
SV Per	4 39	+42	11.12832	9.36	1.13	4.9	F ₈ -K ₀
α UMi	1 6	+88	3.96815	2.54	0.17	1.98	F ₇
T Vel	8 33	-46	4.6392	7.65	0.85	1.40	G ₀ -G ₅
Γ Vul	20 45	+27	4.43557	5.45	0.87	1.32	F ₅ -G ₅

關於蝕雙星,本亦屬短期變星類,但已見于前章,不必再舉。

189. 新星之成因及其氣壳

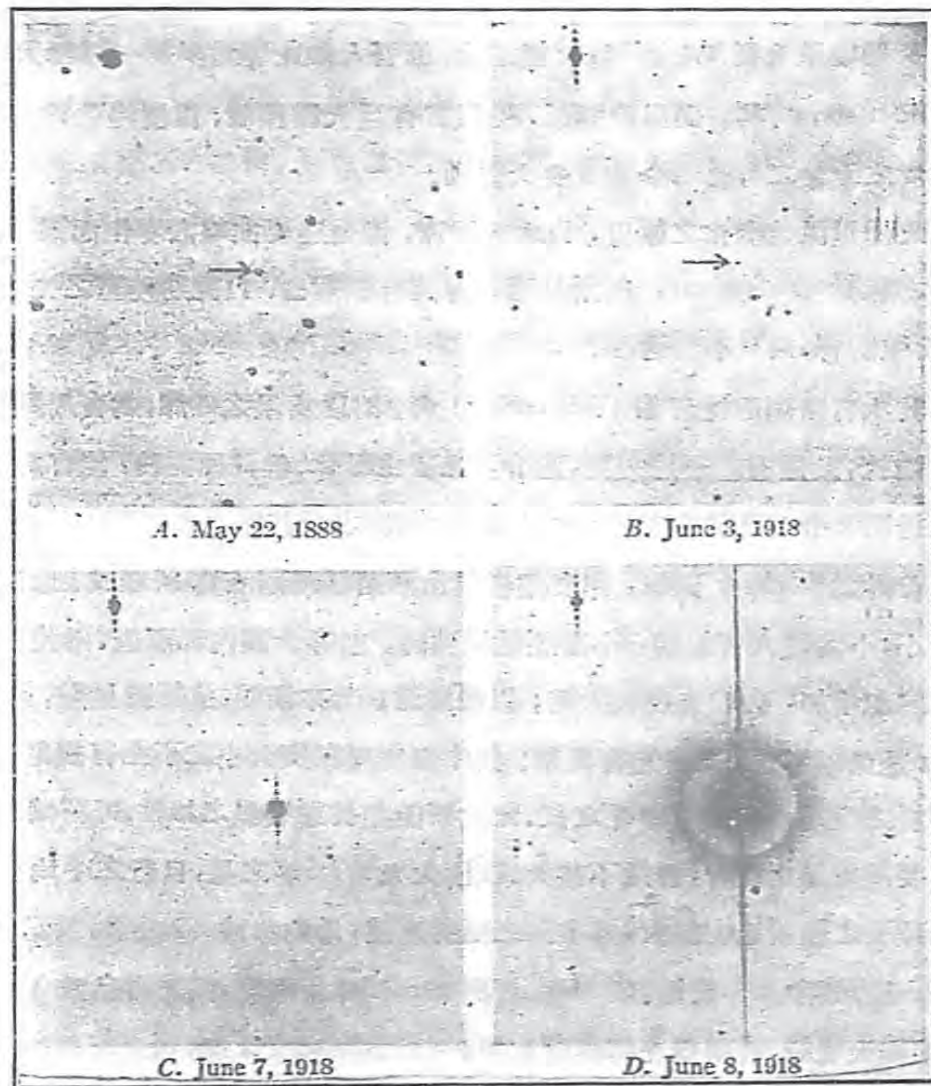
自 1918 年 Nova Aquilae 新星發現後，吾人由觀測結果，知其中最特別者，爲其有潤而光之帶狀光譜。此帶不發自星之本身，而發自星周圍之氣壳 (Shell of gas)。此氣壳在星發現後六個月內，尚可用遠鏡窺見，爲一弱而色微青之雲氣。此雲氣在星爆發時，膨脹其體積，每年平均 2 弧秒，四年以後，此潤而光之片塊，在光譜中已不存在。但此氣壳至 1926 年仍可窺見，其直徑達 19 弧秒。又由氣壳伸張時所發生之輻射速度研究，知此氣壳乃由兩層所構成。其伸張速度，一爲 1700 公里/秒；一爲 2300 公里/秒。與 Nova Aquilae 相類新星，如 1920 年之 Nova Cygni，其中可分五種速度不同氣層，速度之大，每秒由 800 以至 1800 公里。其他新星，雖不如 Nova Aquilae 可以遠鏡窺其氣壳，但在分光儀內所發生之現象，極相類似。由是可證明新星發生之原因，亦必相同，由一星體爆發而成也。

此新星 Nova Aquilae 之輻射速度，每秒 1700 公里。如以日計，每日可達一單位距，或一年 360 單位。在又一方面言，此星之角度增加率，每年 2 弧秒，由是可算知此星之視差爲 $0''\cdot0028$ ，即距離爲 1200 光年。最大光度時，其絕對光等爲一 8.8，約 300000 倍太陽之光！

下圖一五二爲 1918 年 Nova Aquilae 發見時之攝影，在 6 月 3 日時，此星尙爲 11 等。至 7 日已增爲 6 等；當是時每半小時約增半等，至翌日此星已變爲一等，光芒極盛，肉眼可見矣。

新星之爆發機會本不甚多。如在銀河區域內，每年平均十個，而可以爆發爲新星之恒星爲數一百萬萬(約十倍最大遠鏡可見之星數)，是每星平均爆發機會，須十萬萬年矣。而恒星年齡，多長於此，可見現時天上恒星，從前已經過新星階級者，亦恐不少。

能令星體爆發之原因，據現時假設，可有兩種：第一以爲由於兩星相撞，故在極短時間內，光與熱能增加極速。但依統計結果，兩星相撞，機會極少，其數比諸較大新星之發現，尙差一百萬倍；故此種星體相撞假設，與事實尙未能符合。第二爲



(圖一五二)

能力放射說。由於蘊藏星球內部原子能力之劇烈發動。蓋此種能力可令星之氣體發熱，至若干高度時，即向四圍猛烈射出，射出之速度極大，能抵抗星體中心吸力，不易復回原位也。此種放射，乃忽然而生；或由於內部之特種物理條件；或由於如 W. H. Pickering 所說，藉一細如小行星之外來天體所引動云。

190. 長期變星之成因及其自行

長期變星光變何由而起，尙無定論。惟吾人知此等星多為一種極大球體之巨星 (Giant stars)，其表面溫度頗低。然以其有巨大體積故，溫度變化雖小（如平均 2000 度之十分二），已足令光度生大變動。

此種星溫度變化之原因，尙未大明瞭，惟由速度曲線之變化而觀，則似由於星體之脈動 (Pulsation)，即謂星體本身能自漲縮也。但長期變星之光變，頗無規則，此種解釋，似又不盡適合。

其次有所謂遮掩理論 (Veil theory) 者，則以為星之外部，為有周期的不透明雲層遮掩，此種雲之一掩一開，遂令星光發生變化。惟何種雲物，能有此大力令星光不透明及令其光發生有周期極大變化，則尙未得其解也。

此外為 Lockyer 假說，謂長期變星由兩國稀薄隕石質所組成。此二質團，一大一小；小者繞大者旋轉，小團經近星點時，即穿大團內部而過，兩體相摩擦，熱與光遂忽增加，即為光度極大時；以後漸遠，光亦漸弱，迨經遠星點，即為光度極小；如是循環不息，光變遂有周期。其中光度周期與大小之不全有規則者，則因二團物質之距離與密度有變化之故。此說頗能盡長期變星之特性，可稱較近是者。

長期變星之自行，普通不甚大。在極大光為 7.5 等之星，自行之平均值為 $0''.03$ 。惟此種星之輻射速度頗大，其本動之輻射速度，平均每秒 35 公里，其最大者如 *S Librae* 星，每秒 385 公里。依 Merrill 與 Stromberg 研究，謂光譜品為 M 之長期變星，在極大光時，其絕對光等與零相近。

OCeti 變星輻射速度，在光變周期內，有一定之變化。因此星現時已知為雙星，其伴星為十等；距離為 $0''.9$ ；自行為 $0''.23$ 。軌道運動中， $Asini = 28000000$ 公里；速度曲線中，退後之最大速度，與最大光時間相近云。

191. 造父變星之特性

造父變星特性之可得言者，約有下列數端：

(1) 光之變化，除極少數例外，頗有規則，其周期與光曲線形狀，無大變易。

- (2) 光變連續且平勻，光曲線與光譜變星之輻射速度曲線相似；光曲線上升速于下降，且以星團變星類為尤著。
- (3) 光之變幅，少有超過 1.5 等，且以不及一等者為多。
- (4) 攝影測量之光曲線，與肉眼觀測者相同，但光之變幅平均大百分之五十。此即謂星在極小光時遠紅於極大光時也。
- (5) 光譜線變化，循光變之周期而變。
- (6) 光譜品，與周期有一定關係。大概周期近半日者為 A；四日者為 F5；八日者為 G₀；餘大于二十日者 G5。
- (7) 輻射速度變化周期，與光變一致，其變幅隨光變幅之大小而變。向前最大速度之發生，與最大光度同時，而退後最大速度，則在光度最小時。

至原來造父類與星團變星，在若干方面考察，亦有各種相異之點。因前者包括若干光度較強之星，如 δ Cephei, η Aquilae, 及 ζ Geminorum 等，平均為四等及八個由肉眼可見之星。此類星多聚集于銀河附近，自行不甚大，平均視差亦極小；其中五等星之平均視差，不過 $0''.004$ 。而絕對光等，由是計算為 -2；此即表明各星之光度極強也。依 Stromberg 研究，彼等本動速度頗小，每秒不過 12 公里。

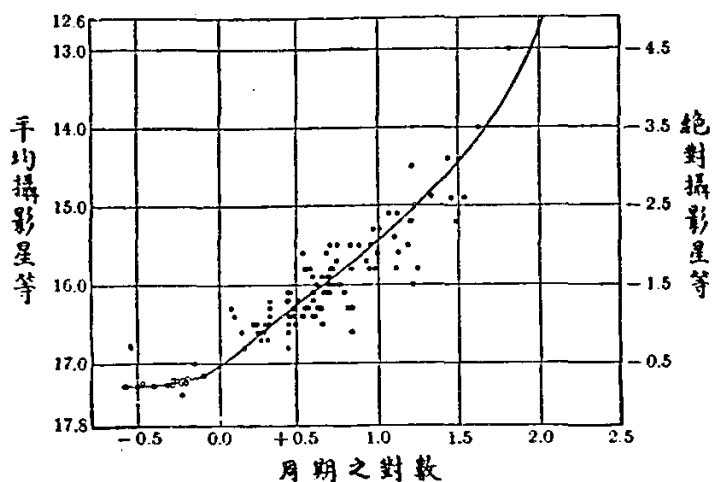
至星團變星，光輝頗弱，其中光度最強者為 R Muscal 及 RR Lyrae 二星，亦不過七等。此類星不聚集于銀河，而均勻分佈于全天。自行之已知者，為數雖少，但以同星等比較，遠大于原來之造父星類。此等星本動頗大，平均每秒達 40 公里。視差之決定雖只得大概，但在十等星言，平均為 $0''.001$ ；由是計算，可得絕對星等為 0。

1895 年 Bailey 曾在球狀星團發見不少變星，及後知此種星團能發見有變星存在者，為數達三十個。此種變星，周期大都與半日相近，每星團內變星之平均星等 (Median magnitude 即極大與極小值之平均)，幾完全相同；此即表明每團內之變星，與吾人距離相等也。由是可謂每團內之變星，其絕對星等亦相同。原來造父星

雖亦有在球狀星團內發見者，但必較同星團內星團變星之光為強。

192. 周期光曲線

在南天球，有極大著名之孤立星雲，曰馬騎郎雲 (Magellanic clouds) 者(如圖一五九及一六〇)，此類雲與吾人銀河同性質，包含變星極多，哈佛天文台 Leavitt 女士曾由是而發見1800個。在小雲中，其中有百餘變星之周期與光曲線皆已決定。彼等周期之長，由十五小時以至一百日，而光曲線性質，則絕似造父星類，其平均攝影星等 (Median photographic magnitudes) 與周期有共變的關係。如圖一五三，橫軸為周期之對數，豎軸左為平均攝影星等，右為絕對攝影星等，曲線表示光度與周期並增，此即極著名之周期光曲線 (Period-luminosity curve) 也。圖中黑點所示者，為馬騎郎雲之變星；圓圈所示者，為在各種球狀星團內之變星。



(圖一五三)

由是可見，如同--周期變星，其視星等與絕對星等，亦必大約相同。故任意一造父星，或任意一小組變星之絕對星等已決定時，則周期光曲線之零點 (Zero Point) 亦可決定。是每一造父星之周期已知時，其絕對星等為若干，可由此曲線求得

也。更可見原來造父星之長周期者，其本身光度必甚大。例如周期為100日，則絕對視星等相當于-6；其光度已大于太陽20000倍矣。

此周期光曲線之是否準確，雖仍有待逐漸實驗考察之修正。但由應用上觀之，已有極大價值。因若造父星及星團變星之性質已知，則其在空間之位置及距離，可由此曲線直接計算而得。Shapley教授曾由是計算原來造父變星之距離，結果為60以至6000秒差。再進一步言，凡有造父類星存在之團星或星雲，雖距離極大，皆可由是間接計算其距離之大概（見下章198節）。近世天文家有此造父類星為量天尺者，真非無因也！

193. 造父變星之成因

造父變星如何成因，理論紛紜，極難輕信，然近十年來，研究結果，已頗能漸趨一致。因依觀測結果，知此類星光度之變，尚有顏色與光譜等共變關係。此種共變情形，頗能指明其變化原因，乃繫于星球表面溫度之變化，或至少繫于對吾人可見星面部份之變化。

解釋造父星光變原因，昔者多歸之于兩星之互蝕。但據近說之探究，知兩星互旋軌道半徑，比主星本體半徑為小。其次如命 P 為光變周期， ρ 為該星之密度，則發覺 $P\sqrt{\rho}$ 值極近常數。凡是種種，均與雙星假說相背謬。此雙星互蝕假說，所以失其根據也。

至其光變速度之大（一團星團變星，在兩小時內，可增加太陽全體光之五十倍，而在六十小時內，能盡量消失。）似可表明由于星內熱能之變化，在一短周期內變為他種能，但不久由輻射之消失，又恢復原狀。由此種有規則擺動，似可見所謂他種狀態能者，或即為星體本身之重力能(Gravitational energy)。

由以上各種事實及輻射速度之觀測，是造父變星之原因，似可以脈動理論說明之。主張此理論最力者為 Shapley 及 Eddington 等。而 Eddington 更以物理及力學等理論為根據，用數學推算以證明之（見 *The internal constitution of the stars* 一書，或天文台兩月刊第四卷第三期），彼等謂由星球重力及氣體彈性之聯合作

用，可令星體爲有周期之脹縮，由星體之一脹一縮，星光遂呈明暗之變化。

根據此理論，則輻射速度之變化，必由于星體之脹縮，令其表面對地球有進退關係而生。當星體收縮時，星球內部溫度增高，但因星球表面各層，受壓縮之影響少，內部之熱要待若干時間，始達表面，故當星體脹極速時，表面最高溫與最大光度之發生，均應畧遲，凡此均能由觀測事實以證明者。同理，最低溫之發生，應當星體正在收縮時，又脹縮率愈大者，則光與速之變化亦愈大，此亦能與觀測結果相符。

Eddington 更由數學上證明，謂當變幅較大時，則由收縮最速至膨脹最速間所經之時間（即謂由最小光到最大光），應比由最大至最小之時間爲短，此殆對於光曲線之歪狀，又能下正確之解釋矣。

此脈動理論，幾能解釋造父變星一切特性，而爲近世天文家所一致採納者。至若干光曲線上升極速之星團變星，及周期與光度之顯著關係等，似尙未能證明。餘由 Michigan 大學觀測，知各種光譜線有不同輻射速度，則似由星之大氣各層，發生各種不同變幅及時幅之擺動而來，此種特異現象，尙有待吾人將來考定也。

除脈動理論外，或有謂造父變星之成因由於星體自轉者，其自轉軸較短，赤道半徑較長，成一扁長橢圓體。在旋轉中，此橢圓體或扁或圓，來去擺動，故光生變化，是謂轉氏定理 (Jean's theory)。此外對造父變星之解釋，前人立說甚多，然多似成陳跡，無人唱道矣。

19.1. 變星觀測法

當某一變星發見後，即須由觀測以定其光曲線形狀，及光變周期。假使二者已畧知梗概，仍須不斷觀測，以窺其變，以確定其性質。

普通變星觀測，或用目視 (Visual)；或用量光器 (Photometer)；或用攝影 (Photographic)；各從其設備而異，然無論用何種方法，必須選用一定比較標準，或用真星，或用假星 (Artificial star)，以資比較，方易決定其變化之程度。如是選用之

星，名曰比較星 (Comparison stars)。此種比較星有時不只一個，視需要不同，或有用至一二十個者。若變星變幅甚大(如長期或無規則變星)，由三四等變至十餘等者，則須多選比較星，使光度由極弱以至極亮，皆能有星以資比較。若用假星觀測設備觀測時，每次可用機械的節制，令假星光度任意變更，使其光之大小與變星之光度相等，由是經長期間觀測，即可得此星相對的光度變化，而光曲線可得矣。

若用數個比較星觀測時，最普通者為 Argelander 法，畧述之如下：

命 V 為變星星等， $a b c \dots$ 等為已知之比較星等；此等比較星之選擇，通常與變星位置極近，在遠鏡視野中或攝影千片上，均須同時存在。吾人目的，即求變星光度與比較星之光度差也，此法以吾人肉眼能辨至最小差(隨人而畧有不同)，名曰“度”(Degree或step)，為光度差單位。如觀測結果寫為 $a 4 V 3 b$ 者，即謂變星光弱于 a 星 4 度，而強于 b 星 3 度也。又如寫為 $b V 2 d$ ，則謂變星光與 b 星相等，而強于 d 星 2 度也。是 $a b c \dots$ 等比較星星等已知時，變星星等為幾何，即可按此比例以求知矣。吾人如能熟習此法，則變星光度雖變更極微——如十分之一等，亦可觀測而得。

習 題 XVII.

1. 設下列各星之極大光或極小光與周期，可用下式表示：

- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| (a) U X Persei | Max. = 2420486.4 + 4.6E. |
| (b) YZ Aurigae | Max. = 2417326.5 + 18.3563E. |
| (c) RV Camelopardalis | min. = 2422177.78 + 22.187E. |
| (d) Z Leonis | Max. = 2478060 + 56.36E. |
| (e) T T Ophiuchi | min. = 2419234 + 61.12E. |

而各星觀測時日各為

- | | |
|-------------------|-----------|
| (a) 1930年8月5.86日， | 10月7.92日， |
| (b) 1930年7月7.74日， | 12月6.53日， |

- (c) 1931年1月8·20日, 3月6·43日,
 (d) 1931年1月7·72日, 2月4·31日,
 (e) 1931年4月8·99日, 5月24·91日,

求各星每次觀測之時幅。

2. UX Persei, YZ Aurigae, RV Camelopardalis 各種光曲線之歪 $\left(\frac{M-m}{P}\right)$ 各為 0·21; 0·38; 0·42; 試將各星光曲線之圖形繪出。
3. R S Camelopardalis 光變周期, 有謂其由于960日, 160日, 介于80日與100日, 及介于60日與40日間數周期合成者, 試依一四六圖推究, 問以何周期表現為最分明。
4. 如將 δ -Cephei 曲線(圖一四八)各平均觀測點以曲線連結, 所得曲線與原曲線有何不同?
5. 試詳言造父變星之成因, 雙星假說之缺點。
6. 設某變星觀測結果, 可寫為 a2 V1 b; a1 V2 c 及 b2 V1 c, 而 a, b, c 三星之星等各為 6·4, 7·1, 8·0. 求每次觀測時, 變星之星等。

第十八章 星團與銀河

195. 星團種類

星球在天空分佈，本極隨意無定；但有極多部份，常見星宿密集，表示特別團結者。此種團集之星堆，名曰星團 (Star clusters)。其中用肉眼可見，古代已著名者，如金牛座中之昴宿 (圖一三二) 及畢宿 (Hyades 形如 V 字) 星團；后髮座之本身及巨蟹座中之 Praesepe 是也。前三者，雖以肉眼，亦可辨別其中星點；惟後者必用遠鏡，否則只見其呈灰白斑點一塊而已。晚近以來，小星團之為遠鏡所發見者，為數達數百，然皆可在團中分辨其獨立星點。

除此而外，在天空中尚有面積擴張至數度之光痕，用極大倍力遠鏡或長時間攝影片，始能將其極弱星點分出者，如星之星堆，常別稱為恆星雲 (Star-clouds)；此種恆星雲，多發見于銀河域內，如在人馬座內極精緻之雲；及離銀河南 45 度及距南極 20 度處，兩塊孤立之雲；為吾人已知之馬騎郎雲 (圖一五五及一五六) 者，在南緯度各地，雖用肉眼，亦能窺見。

星團常依其形狀之不同可分為兩種：曰疏散星團 (Open clusters)；曰球狀星團 (Globular clusters)。前者常由數百或數千星集合而成，形勢散漫，用遠鏡可見其各個星分立存在；後者常由弱小星數千堆疊而成，呈圓球狀，雖用極大遠鏡，亦只見其叢集成堆，不能分開也。下圖一五四，即武仙座中之球狀星團也。

星團命名，常以某種星表內之號數稱之，如：Messier's Catalogue (簡寫為 M.)，其中有星團及星雲 (Nebula) 103 個，于 1748 年出版。下武仙座球狀星團，編列 13 號，常寫為 M. 13。又如 Dreyer's New General Catalogue (簡寫為 N. G. C.) 于 1827 年出版，號數多至 7840；後再擴充為 Index Catalogue (簡寫為 I. C.)，由 1894 及 1908 年兩部所合成，增加 5386 號，皆其最著者也。



(圖一五四)

196. 疏散星團

疏散星團之現時已知者，為數 334。此種星團，多為肉眼所能見，如英仙座中之雙星團 h 及 x (h 及 x Persei)，及人馬座與天蠍座間之星團 (M. 7)，皆其最著者。

疏散星團，多屬銀河星團，因其多存在銀河區域內。惟后髮座，則頗特別，而與銀河之北極相近。彼等所屬之星，星等相差頗大，即以向心聚集一點而論，亦相差極遠；有極密集如昴宿者；有極稀疏如后髮座者；更有星散極遠，只有共同自行運動可以認識，如大熊座及天蠍座者。由近年研究結果，知此等稀疏星團，為數極多。

疏散星團之距離，普通極近。據近世測量，知昴宿為一最近星團。然其距離已遠至 37 秒差；餘如后髮座 81 秒差；昴宿 150 秒差；Praesepe 180 秒差。依 Trumpler 推究，知大多數星團之距離，均介於 500 與 2000 秒差之間。至其中最弱小而最遠

者，約在 3000 秒差以外，即約 10000 光年。

至星團本身之直徑，因其邊界不甚分明之故，其數值幾何，不能確定，大約畢宿星團視直徑 7° ，真直徑達 10 秒差，而昴宿星團直徑，亦與此相近。

各星團密度之大小，彼此雖大相懸殊；但由星團之距離及直徑推算，則星團本身之密度幾何，亦可大概斷定。如在銀河區域內，M. 11 小星團，由 Trumpler 推究，知近中心處，每立方秒差空間，包含星球 80 個；此種密度，已比太陽附近之空間，大一千倍矣。

197. 球狀星團

球狀星團之現時已知者，為數九十有三。此種星團，由其圓形外觀之表示，與中心簇聚之豐富，極易分辨。此種星團中光度最強，對於肉眼可見如四等星光者，如 ω -Centauri；此星團在赤緯 -47° ，北半球遠離赤道各地，不能看見。其次光度較小者，如 47 Tucanae，在赤緯 -73° ；餘則尚有三四個，僅由肉眼可見，如武仙座中之 M. 13 (圖一五四)，乃北緯度中最可觀之球狀星團也。

此種星團內所含之星，大概多在一萬顆以上，但因互相重疊之故，極難計算其數值，即將其照片放大，切實估計，然所得之數，必比真數為少。又此種星團在空中分佈，頗為特別，因彼等似樂居于銀河內者。依 Shapley 球狀星團表，86 個星團中，只有四個其距離與人馬座中一點 (現時推得之銀河系中心，R.A. $17^h 30^m$ ，Dec. -31° ；或 G. 325° ， $g-2^\circ$.) 遠隔 90° ，而有 44 個在此點 30° 內。

在球狀星團內所有之星，其光均甚弱。如 ω -Centauri 內最光之星，在照片上量度，亦僅得 12.3 等；而在 M. 13 內者則約 13.5 等；至在極弱星團，如 N.G.C. 7006 (在海豚座內) 內，並無一星強於十七等者。

至球狀星團內之變星，已如前述，幾盡為造父類及星團變星 (惟在 47 Tucanae 內有若干例外，為長期變星)，此即吾人用為決定周期光曲線之變星也。由是而言，凡球狀星團之有造父變星者，只將其光變周期及光等決定以後，即可知其距離。Shapley 曾由是將 19 個星團之距離決定。

198. 星團距離之決定

如命 m 爲視星等, M 爲絕對星等, 則 $(m-M)$ 一值常稱爲絕對率 (Modulus), 而視差 p 可以下式計算之 (見 164 節):

$$\log p = -1 - \frac{1}{5} (m - M)$$

普通求一星團內各星之視星等, 多就其若干較強星, 取其星等之平均值。

例在 M. 3 內, 短周期變星之平均攝影星等爲 15.50, 依 Shapley 曲線, 平均絕對星等爲 -0.23 , 由是絕對率爲 $+15.73$, 故

$$\log p = -1 - 3.14 = 5.86 - 10,$$

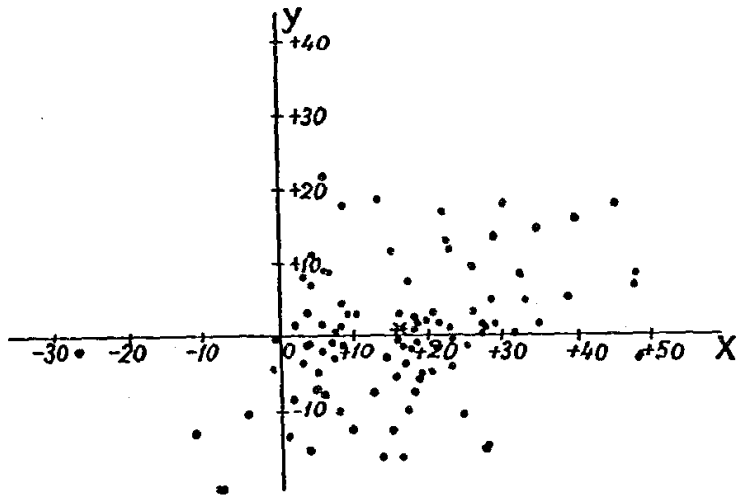
$p = 0''.000072$, 卽 14000 秒差, 或 45000 光年。又如 N.G.C. 397 (在祭台座內) 及 ω Centauri, 爲球狀星團之最近者, 其視差一爲 $0''.00018$, 一爲 $0''.00015$, 卽距離一爲 5600, 一爲 6500 秒差, 或 18000 及 21000 光年。至 M. 13, 爲北半球之最光星團, 距離爲 11000 秒差。此外星團之距離, 常大於此兩倍或三倍者。現時已知最遠之星團, 爲 N. G. C. 7006, 約 56800 秒差, 卽 190000 光年! 皆由此法推算也。

此等星團之遠如此, 則其直徑亦必因而極大。卽以其中心密度最大部份言之, 其直徑亦有 5 秒差。至其外邊密度較小處, 直徑最小爲 100 光年, 或超過此數。

199. 星團之分佈

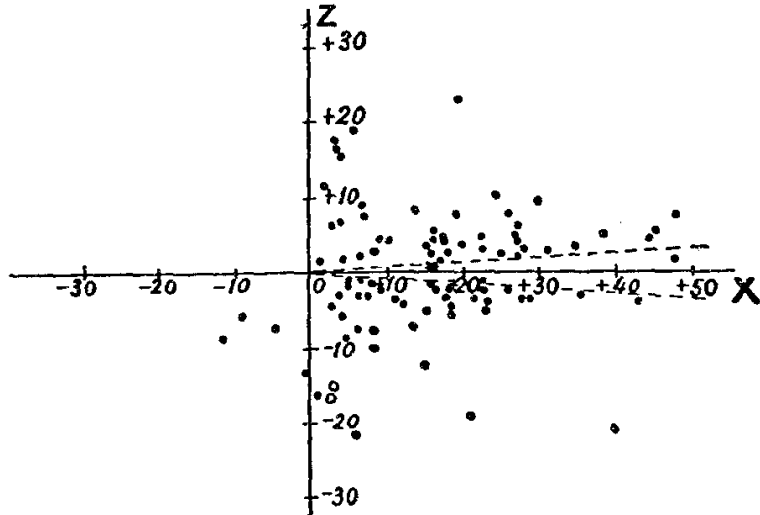
一切星團爲構成吾人銀河系統之要素, 其分佈如何, 與探究吾人宇宙真相極有關係。據由分析的研究, 將球狀星團依銀經之分佈而觀, 知其幾全集于 290° 與 360° 之間, 平均最密集處近 325° (或 327° , 在人馬座內)。而依銀緯分佈者, 在 $+8^\circ$ 及 -8° 處, 密度最大; 近 0° 度處極小, 幾乎爲零, 似爲全緯度分佈之對稱中心。此球狀星團在銀河系所以如是分佈者, 無疑銀河系中心位于銀經 325° 處, 而太陽則在此心之外。其次球狀星團本密佈于銀河內, 但銀道面上有不少黑暗物體存在, 障礙吾人之視線, 故反見其少也。

下圖一五五乃以銀道面為平面，表示球狀星團分佈者，太陽位於*處，橫軸 OX 指正銀經 325° ，每一點表投射于銀道面上一星團，單位之長為 1000 秒差，即約 3300 光年，由圖可見，此等星團所成之大系統，其半徑約近 30000 至 40000 秒差，其中心與太陽距離約 15000 秒差。



(圖一五五)

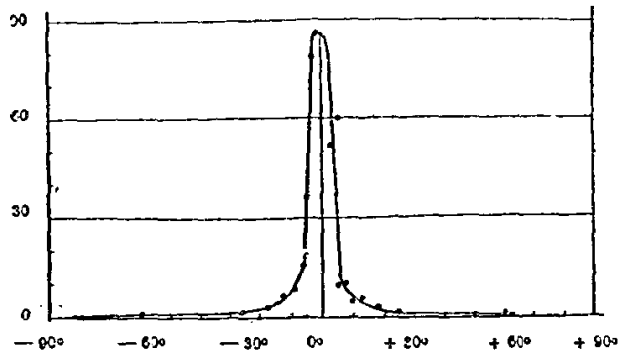
若再將球狀星團，依銀經 325° 之經線而投影，則可得下一五六圖，此圖之 OZ 軸，指正銀極：



(圖一五六)

由圖可見球狀星團對於銀道面(依 OX 線)之分佈,頗為對稱;此系統中心之近 OX 軸者,與太陽距 15000 秒差;其次以 OX 為分角線之 7° 角內,不見有星團存在,即表明此平面內有黑暗物質之存在也。

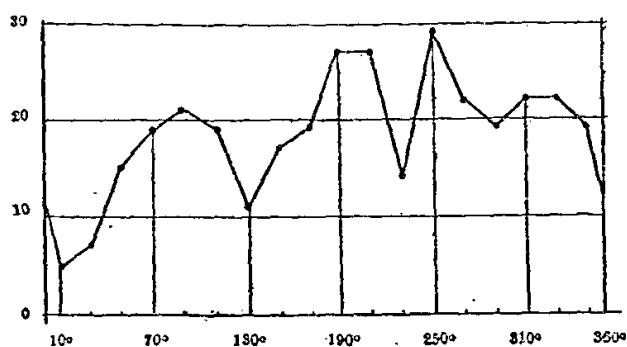
至疏散星團之分佈,亦可依銀經及銀緯之座標表示之:如圖一五七,乃疏散星團依銀經而分佈者:圖之橫軸表銀緯,縱軸表每千平方度內之星團數。



(圖一五七)

由圖可見星團對於銀道面分佈極為對稱，且集中于銀道面。

下圖一五八，為疏散星團依銀經之分佈圖：橫軸表銀經，縱軸表星團數，可見 $l=240^\circ$ 處為曲線之極大，此方向似即表示疏散星團系統之中心也。

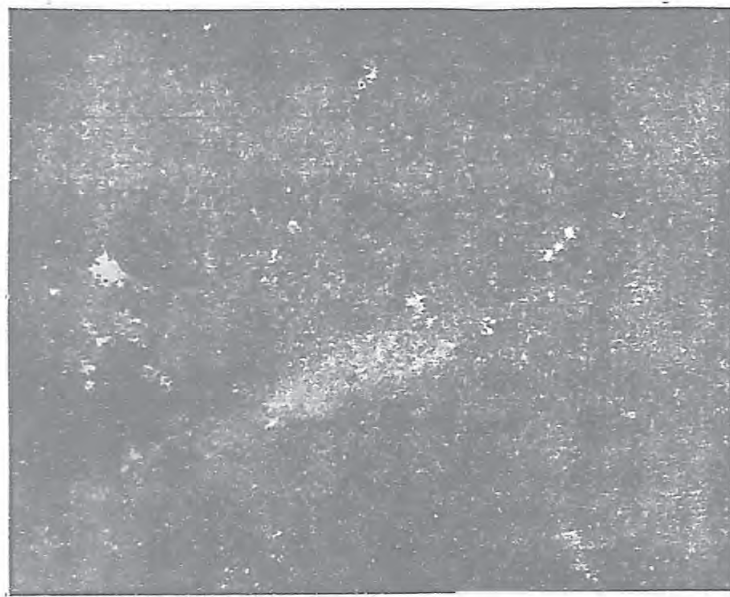


(圖一五八)

依近年研究結果，疏散星團全體，似自組成一依銀道面而扁平之系統，其半徑為 1000 秒差，其中心與太陽距為 350 秒差，在船底座內，銀經為 247° 云。然此只由表面事實推究之結果，其實際分佈，必為存在于銀河內黑暗物質之障礙而改變，又可斷言也。

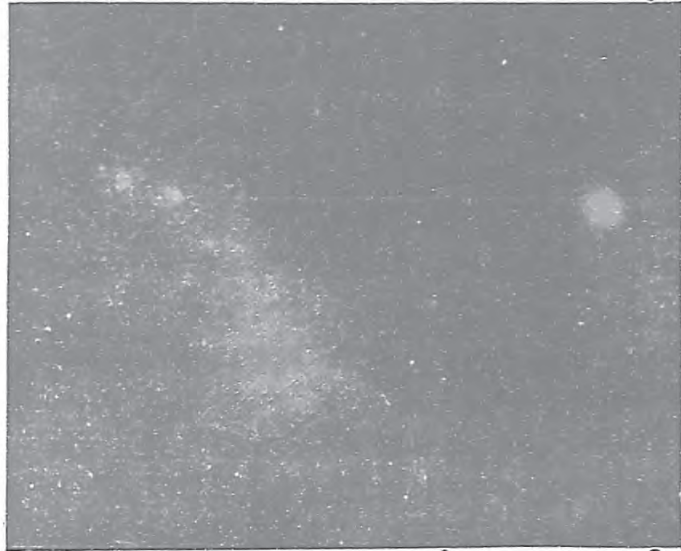
200. 馬騎郎雲

馬騎郎雲為天體中之最有興趣者，此雲分大小兩塊；大雲在鱒魚座內，其中心位置為 R.A. $5^h 26^m$, Dec. -69° ，其密度較大部份約佔面積 $3^\circ.6 \times 1^\circ.2$ 。然其最大視直徑，可增大至 $7^\circ.2$ ，全面積約佔四十平方度（如圖一五九）。至小雲則在



(圖一五九)

杜鵑座, 中心位置爲 R. A. $0^{\text{h}}56^{\text{m}}$, Dec. -73° , 內部面積佔 $1^{\circ}8' \times 0^{\circ}9'$, 外邊直徑達 $3^{\circ}6'$. 全面積約佔十平方度 (如圖一六〇). 大小二雲與南極約可聯成一個二等邊三角形, 故南半球居民或可因此以定南極之大概位置, 兩雲間之實際距離達 40000 光年, 約三倍于大雲本身之直徑。



(圖一六〇)

雲之重要成份爲弱小星，其星等均在 11 等以下；由 Shapley 估計，謂小雲中光度強于十八等者，共有星 500000 個，其中光度強于太陽一百倍者，260000 個，其他更小不能觀測者爲數無限。然因彼等距離吾人極遠，若以吾人之太陽置于是間，則僅變爲二十三等星，吾人近世大遠鏡所未能窺見也。

大小馬騎郎雲中，包含變星極多；此種變星均極弱小，在 11 等以下，且多爲造父變星，餘尙有少數之長期或無規則變星。此等短期變星周期，已証其能與周期光曲線相合，平均只差 0.23 等。

由 Shapley 計算，知大雲之絕對率爲 17.70，此值相當 34500 秒差，即 112000 光年。同時只由大雲中之球狀星團計算，所得距離數值，亦與此一致。至小雲之絕對率爲 17.55，相當 32000 秒差，兩雲中心之距離，約 12000 秒差。

大雲外邊直徑之大，約 4300 秒差，小雲爲 2000 秒差，大雲中心密度較大部

份之面積佔 2100×700 (秒差)²，小雲則爲 1100×500 (秒差)²。

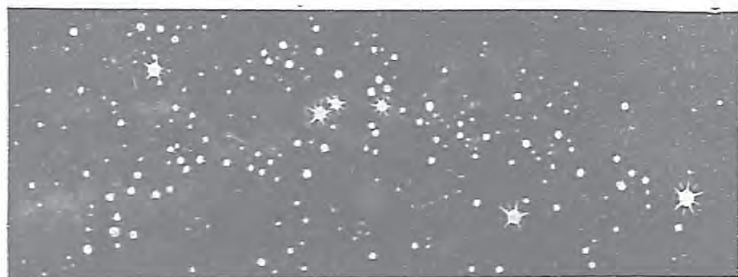
馬騎郎雲之輻射速度，可由雲內氣星雲 (Gaseous nebulae) 之速度決定之。計由大雲內十七塊星雲之平均速度，知大雲退後之速度極大，平均每秒 + 276 公里；至小雲則每秒僅得 + 170 公里。至雲內存在各星，其絕對光度均甚大，如在大雲中光譜品爲 0 之星，其絕對星等介於 -8 與 -3 之間，平均爲 -5.1 等。最光者爲無規則變星 S-Doradus，其光變介於 8.2 與 9.4 等 (攝影)，而其平均絕對星等則爲 -8.9。由是計算，在最大光時，其光度之強，大於太陽 500000 倍！

至在小雲中，能將各星分出者，約 10000 個，其光度之大，亦千倍於太陽，其中有 400 個，且強於太陽一萬倍；其中最光者，約強于太陽 200000 倍，然仍比 S-Doradus 爲遜。

依 Shapley 研究，謂雲中有若干氣星雲，其絕對光度爲 -10 等。其中最大者，爲 30 Doradus (環狀星雲)，直徑達 40 秒差云。

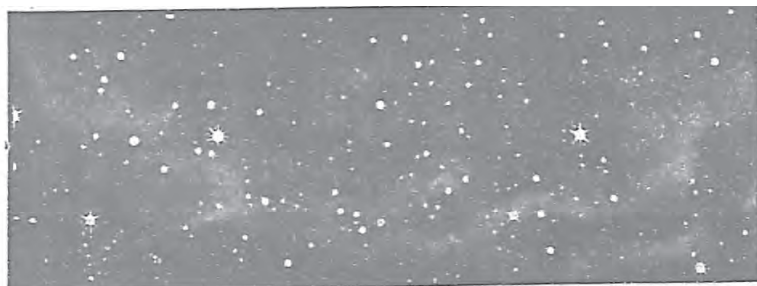
201. 銀河

夏秋兩季，晴明無月之夜，但見天上無數小星，集成成帶，邊緣破碎，如瀉地之乳道，橫亙天空者，所謂銀河是也。此銀河全體，常總稱曰銀河系。此銀河在地球上幾依大圓繞成一圈，此圓在地球上幾何位置，已詳于第六節之銀河座標。其在天上所經區域：爲仙后，英仙，御夫，麒麟，船底，十字架，半人馬，天蠍，人馬，天鷹及天鵝等星座。全道之光度，隨處不同，由半人馬座至天鵝座約佔全道長三分之一。



(圖一六一)

(甲) 南半球銀河



(圖一六一)

(乙) 北半球銀河

處，分作平行兩枝，中夾一無規則之暗帶。除此而外，其光度頗強，比相對部份，如御夫及麒麟等座各處為明顯。如圖一五七，即銀河全體外形，其組織如何，極易分析而知。

銀河全部，幾盡由弱小非肉眼可辨之星所構成。乳白愈明顯處，即小星堆擠愈密。至銀河中線，雖不能精密確定其地位，惟由密度最大處，用線連結之，則位置存在，殆有一定。依研究結果，知此連結線，乃近一大圓，對於天球赤道，約有63度傾角。其兩極地位，即所謂銀極，各家決定數值，頗不一致，依哈佛天文台統計結果，謂一為 R.A. $12^{\text{h}} 40^{\text{m}}$, Dec. $+28$ ，在后髮座；一為 $0^{\text{h}} 40^{\text{m}}$, -28° ，在玉夫座。惟1912年 Hertzprung 則謂北極位置為 $12^{\text{h}} 43^{\text{m}}$, $+27^{\circ} \cdot 2$ ；而1920年 Graff 則謂為 $12^{\text{h}} 49^{\text{m}}$, $+26^{\circ} \cdot 8$ 云。

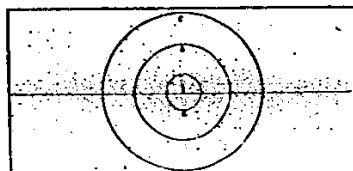
惟銀河中線，由觀測而得者，似不適與銀道相重，平均乃位於銀道以南約一度處。此無疑由於太陽位於銀道平面，以北所致，此銀道平面，即各種星團中心之所在也。

202. 銀河系形狀及其大小

由侯失勒時代，已知銀河系形成，乃由無數星體之所團集。彼存在空間之全體，狀扁如時鐘。在銀道面伸張之範圍，遠廣大於其兩極。如圖一六二，即銀河系之橫切面。在此範圍以外，星體之散佈稀微。圖中有十字記號處，即表示太陽之所

在，與銀道面切近而畧偏北。

圖中各圈，乃以太陽為中心之同心圓，在第一小圓 a 內，一切星體均近吾人，在無論若何方向，存在星數幾乎相同。依現時統計，凡自行較大星體，殆全在 100 秒差內，為一極好証例。反之，如取某一類星體，而有大距離者



(圖一六二)

(如在 b 與 c 圓之間)，則立見彼等只聚集銀道內，在此面之垂直方向者極少。此銀河系之為扁形，又彰彰易見。

銀河系範圍究竟幾何，似可由球狀星團及馬騎郎雲之研究以知其大概。依 Shapley 結果，已知長期造父變星，在銀道平面散佈者，其距離大于 5000 秒差。而彼等與此平面之平均距離，則僅為 150 秒差。至短期造父變星則反是，在此平面上散佈者，其平均距離為 960 秒差，而與此平面之平均距離為 6000 秒差，然此等距離實未能表示銀河系統之極限，因由較弱變星之推究，知人馬座中星雲，伸張之距離，達 10000 秒差。近年以來，研究結果，更謂銀道面半徑，可達 40000 秒差，而向銀極半徑則為 10000 秒差。是可見銀河系統之大，倘隨研究方法之進步而愈廣。至其範圍之極限，究竟為幾何，倘未能精確指出也。

203. 本星系

所謂本星系 (Local system) 者，乃指與吾人相近，而太陽約居中心之恆星系統，或星之集團也。十數年前 Gould 曾指出有一部份光度頗強之星，集于一狹小之帶內。此帶無疑自成一獨立系統，為銀河系統內之一集團。且此系統面對於銀河有若干傾角，而通過獵戶，大犬及天蠍等星座。近年更依 Shapley 研究，知屬 B 品而強於六等星，不集于銀道，而集于一大圓圈。此圈傾斜於銀道約 12° ，而在銀經 70° 及 250° 兩點相交，此殆即 Gould 狹帶所經之處。至 B 品星而弱于 7.5 等者，則沿銀道而存在。彼星等之介於此二數值者，則散佈於此二面之間。此即指明 B 品較光之星，多屬於吾人之本星系星團。

現時已知此星團本體為狀扁平，其對稱面與銀道相交成 15° 角。此對稱面又稱為副銀道面 (Secondary galactic plane)。此系統除包含一切肉眼可見星及較強 B 品星外，尚含有不少之 A 品星，及疏散星團之大部份，其他如進化較遲各品星，及十等星之一半，十八等星一小部，亦屬於此星團內，其總數約三百萬以至一千萬。

又依 Charlier 對於 B 品較強星分佈之研究，知此本星系內星團，實為一扁球體。密度較大部份，其赤道直徑約達四百至一千秒差；其厚約此值之三分之一。太陽與其中心距離(對稱面上)約一百秒差，而太陽在此時對稱面上(北邊)亦約一百秒差。其赤道座標為 R. A. $7^h 40^m$, Dec. -55° ，或銀經 240° ，而在船底處內。是即 Shapley 所稱本星系統者也。

201. Kapteyn 宇宙

宇宙之真相如何，或全體星球在天空排列及分佈之情形如何，最足引起天文家之注意，且為一般玄學，哲學家所認為最有興趣之點。關於此問題之討論，經一般天文家所研究者，方法頗多，如根據星等不同極限內星數之統計；不同星等各星平均視差之統計；及有一定極限由自行與星等關係統計等，皆為近世探究宇宙真相之極重要工作。

Kapteyn 為星球統計學專家，由彼統計工作結果；知所謂銀河系者，實為一偉大之星團，其狀為一扁旋轉橢圓體。直徑之大，約五倍於其厚。天空星球多聚集于其中心，近邊則密度漸小，且無一定之邊界。其密度沿轉軸漸減率，約每 550 秒差，減 $\frac{1}{10}$ ；而沿銀道面者，則每 2800 秒差減 $\frac{1}{10}$ 。故 $\frac{1}{100}$ 中心密度處，與中心之距離，必各為 1700 及 8500 秒差。又知近中心處，每一千立方秒差空間，有 45 星。是由上漸減率核算，可得此系統全體之星數約 47 000 000 000。此得數乃由星密度漸減率所推得，如更根據各種不同星等之星，以作各種統計，則對於銀河系真相，不難明瞭矣。

如是所得之銀河系概念，僅為一平均之大概情形。因本星系內星團，恆星雲及沿銀河平面各方伸出之各種特別情狀，尚未加入計算也。

再由 Kapteyn 統計，及力學推演，知近中心處，每一秒差立方空間所有物質，約太陽物質之十分一；而太陽與中心距約 650 秒差（此中心位置之由 Kapteyn 決定者，謂近于銀經 257° ，且在船帆座內）。

全宇宙每個星之平均物質，由 Kapteyn 計得者，約為太陽物質之 1.6 倍，此結論頗為重要，因由是可以指明天空間存在之黑暗物質，不能大過完全可見之星體也。對於由計算而得全系統之大小及密度等值，容或可令此等數值更變，然對於此種結論，則似不能推翻。

又各星由銀河系中心向外逃出之速度，依 Kapteyn 計算，平均每秒 100 公里，其中有一種大星簇，其速度較此為小，或尙可視為 Kapteyn 宇宙內之物，然其中有運動極速，且進行似有一定方向者，則必為外來之遊星團矣。

此種極高速度之星，似屬另外一大系統所有物，此系統密度比 Kapteyn 系統為小，範圍則較大；而 Kapteyn 系統，或亦即其中星團之一，如吾人之本星系然。

然則宇宙全體真狀究竟如何，吾人尙未敢輕斷，因理論上所示概念，常隨實測結果而變，今年所得與明年所得未必一致，甲乙着眼不同，主張結果亦異，吾人現時惟一重要工作，大約為各星團內極弱造父變星之測量，異日探天結果之完成，將必以是為重要因數也。

習 題 XVIII.

1. 如天上可見之星，盡屬于銀河系統內，則由各星自行之觀測，能證明銀河之旋轉否？
2. 設在本星系內星團與日距離 5 秒差內，有星 30 顆，問相隣二星之平均距離為幾何？
3. 若由地上見二星團之移動，則各星團移動所在二大圓相交之點，與地球之聯結綫，即所以表二星移動之方向，試繪圖說明之。

4. 若銀河系之垂直半徑為 1100 秒差，問以太陽現在之速率移動，由銀河系中心起行至邊界所需之時間為幾何？
5. 若 Groombridge 1830 一星，由銀河系中心起以每秒 200 哩之速度移動於某距離，在此距離處見銀河系全體表現，僅為一度直徑之光塊，問此星移動所需之時間為若干？
6. 如空間存在有若干個銀河系統，彼此距離對於其本身大小之比，適如星平均距離(問題2)對於星本身大小之比，然則此 Groombridge 1830 星以現在速度，由吾人銀河系達到隣系所需之時間為幾何？

第十九章 星雲

205. 星雲及其分類

星雲在天空表現，爲一微弱淡光之雲，其面積有時極大，有時小至與一小星等。最光星雲由肉眼可見者殊少，但窺以小遠鏡，則可見較多，而大部份之弱小者，則須藉攝影術方可研究焉。

星雲在天空中，爲數極多，據 Seares 估算，謂以六十吋反光鏡，攝影時間爲一小時，則全天可照得星雲三十萬！現時較光星雲之命名，多以星雲表中之號數表示，而較暗者，則以照片之位置定之。

星雲分類，以 Hubble 法爲最佳。彼將星雲分爲兩大類：曰銀河系的；曰外銀河系的 (Extra-galactic)。前者向銀河聚集，無疑爲銀河系統之一分子，而與銀河衆星較近，關係亦特多。後者與銀河相隔甚遠，可謂完全非吾人之系統物。此兩種星雲之表現與特性，相差頗遠。平常任意一星雲，因其形狀與大小，極易指出其屬於某一類。兩種星雲中，以外銀河系星雲較多，在數千星雲中，僅有數百屬銀河系類耳。

依 1867 年 Huggin 氏之發見，知一切星雲又可依其光譜之不同分爲兩組：其一爲有連續光譜者（惟當仔細觀測時，常見其含有黑線）；其一則有孤立明顯輝線之光譜，與由稀薄氣體所產生者相同。故後者常稱爲氣星雲，完全爲銀河系類。然其中亦有小數銀河系星雲，與一切之外銀河系星雲一樣，亦發現連續光譜者。同時氣星雲亦偶然有時見於銀河系星雲間，然爲數無多。氣星雲有時又稱爲綠星雲 (Green nebulae)，其中有連續光譜者，曰白星雲 (White nebulae)。因當星雲極亮時，常表現此種顏色也。

206. 銀河系星雲之型

銀河系星雲，依其形象之不同，可再分爲三大類：

- (a) 行星星雲 (Planetary nebulae), 一此種星雲成圓形, 邊緣有一定, 以一小望鏡窺視, 常見其類似一弱小行星;
- (b) 瀰漫星雲 (Diffuse nebulae), 一此類星雲外形與邊緣均無規則;
- (c) 黑暗星雲 (Dark nebulae), 一此類星雲不能發光, 吾人所以能發見之者, 以其能掩遮衆星, 使不透明之故。

所有行星星雲與少數之瀰漫星雲皆有氣體光譜, 但普通言之, 瀰漫星雲除少數表現氣體光譜外, 餘均表現連續光譜, 茲為研究便利起見, 錄最近星雲發現次序, 逐一討論之如次:

207. 黑暗星雲

在銀河許多部份, 常見有不少之黑片, 望之如極小雲片者, 此無疑為天空之永久現象, 其中最顯著者, 為在南十字座之黑色物(介于南緯 55 度至 65 度, 赤經 12 時與 13 時間), 凡航行于該處水手, 常稱之為“煤袋”(Coalsack), 此等黑暗處, 即為黑暗障礙物, 將較遠之星隱蔽, 故吾人只見其處黑暗, 而不見有星也。

Barnard 於此, 曾作長期小心研究, 且繼續發現相類之天體, 在其星表中得一百八十二號, 總之, 介于吾人與銀河衆星間, 現時確存有不少黑雲, 其面積有時頗小而邊緣有定; 有時則範圍擴大, 如蛇夫座之黑徑 (Dark lanes), 其最著者也, 在大部份黑暗星雲, 亦有少數之星在雲中發現者, 則無疑此等星乃居于雲之前, 其光不為黑雲所掩, 但有時在某種情形之下, 望之如在雲之後方者, 則此等雲僅為朦朧之雲, 而不能全隱沒雲後各星之故, 彼黑雲中之大者, 可在金牛, 獵戶, 蛇夫, 天鵝及十字等星座間得之, 其小者則皆沿銀河而存在, 為數極多。

圖一六三為獵戶座中 ϵ —Orionis 星南部之黑星雲, 名曰黑海灣 (Dark bay), 狀如馬首, 頗為奇觀。

又在天空中, 常見有若干極大黑雲與明亮之星相聚者, 則無疑此等黑雲乃與此等星極相近, 或彼此相混之故, 在 ρ Ophiuchi (在黑徑之西) 及 ν Scorpii 等星之鄰, 常見黑暗處透光, 至今此等星雲變為可見之雲, 狀為圓形, 繞星以為心核, 此



(圖一六三)

即表明黑雲鄰星之光以顯耀者。由是可見，在天蝎與蛇夫等座之黑雲，應與天蝎座星團內衆星在同一之距離也。其在金牛座之少數星雲，與昴宿相連，而在獵戶座者，則與座中較光之星相連。據實測結果，此等星雲之距離；在天蝎座者，由100至150秒差；在金牛座者約100秒差，在獵戶座者則由150至200秒差。

以上所述，爲黑雲中之最大者，或即爲最近之黑星雲，其中有許多較小者，則距離較遠。由是可見，彼等不獨存在銀河系統內，且屬其中較近之部也。

此種雲之容積必甚偉大，如在蛇夫座中之黑徑，長約七度，闊半度。依 Kapteyn 研究，知 ρ Ophiuchi (顯與星雲相連) 之距離，爲170秒差，由是可算出黑暗之團塊，長可二十秒差，闊約一個半秒差。此外黑雲中之更大者，如由天鵝座至人馬座間之銀河，約佔120度經度。其中以一極不規則闊度之黑帶，分爲兩枝流。此黑暗之帶，幾與非銀河天空之黑度相等。

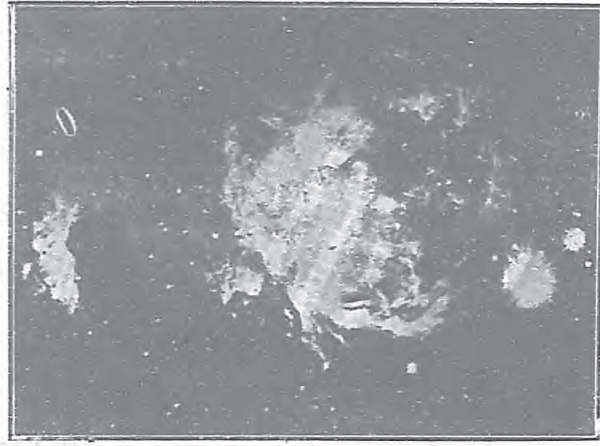
黑星雲之體質究爲何物？有謂其主要黑部，乃由微塵所致者，則似無大可疑。蓋如是云云，不必謂此種雲盡由如地上之所謂微塵所成也。此種雲所構成之物

質，可由最小之分子以至較大之星體皆有，但同一分量之物質，在微塵狀態時，其阻光力常比大團塊之阻光力大。今設有黑暗物質一立方吋于此，若再將其分為每邊 $\frac{1}{100}$ 吋之小立方體，則此等小立方體，為數有一百萬顆；切面之面積，平列之可有一百平方吋，故其對於原有立方體之阻光力，將變為一百倍。由是推論，若以此增暗之力，再行繼續分析，至此小物體變與光波長度相等（再過此限度，則光波不致受阻，而黑暗力之消失極易），則在此定極限大小之微塵（直徑約為數百萬分之一吋），有特別黑暗力量矣。以如是細小之物體，如在一平方公分面積上雖有極少量微塵，重十分之一公厘成為薄層，則不拘其厚為如何，亦可令此部面積完全黑暗。根據此理，並以在蛇夫座大雲，所有微塵之容量而推算之，其質量之大小，約與太陽質量十二倍相等。又此種微小物質之雲能呈特別黑暗力者，可以煙或稠密蒸氣成數吋厚層時能致極暗之現象解釋之。至普通小黑星雲之有齊整邊緣者，大概乃由一種力之所集合（大概由自己重心引力而成）；而同時則因此種細小物質移動迅速之故，阻止其向中心聚集。在如是之雲內，其間物質，必至常相撞擊，使大塊碎成小塊，由小塊以成微塵。故雲之原始狀態，雖不必為微塵，然經時既久，亦可因此撞擊以成微塵狀態。

208. 銀河系瀾漫星雲

銀河系瀾漫星雲，為狀至無規則。其大小與光度亦然，其弱小者，須攝影方可窺見；其光大者，如獵戶座星雲（圖一六四），面積之大逾於滿月，肉眼可見。此種瀾漫星雲，多屬於吾人銀河系，其大者且存在於本星系之平面上，此外亦有若干存在馬騎郎雲內者；故普通天文家，常以馬騎郎雲乃銀河系分出之一部，實非無因。

近世以來，依 Hubble 研究，以為銀河系瀾漫星雲，除一二特例外，常有一顆



(圖一六四)

或數顆星與之相連。此等相連之星，並似實際與星雲相結合，而供給光輝令星雲發光者。

此等與星雲結合之星，由一等以至十三等，而光譜則由 O 以至 K 8 皆有。星之為一等者，可令星雲發光達數度以外；小如十三等者，最小有半弧分。

現時大概知一切瀾漫星雲，亦不能由其自己內部能力而自發光。吾人所以能見者，全由鄰星反光而來。若此等星與之相距過遠，則此等星雲將全黑暗，否則至少須有若干大星在其後邊，令其面影浮出，方能表現其存在也。總之，銀河系星雲之大部份，皆為黑暗。其中之能發光可見者，殆為黑雲散開之一部份，為隣星之光所反射而來。

209. 瀾漫星雲之距離及其物理性質

瀾漫星雲既假鄰星之光以為光，則其距離之大小，當與隣星完全相同。在若干星雲中，此等星之距離可以量知者：昴宿 100 秒差；獵戶座 180 秒差；最大者為 N.G.C. 6822 星雲 200000 秒差！

星雲之體積，普通亦極偉大。如獵戶座星雲，外觀橫約一度，實際可相當於3秒差，(或10光年)；昴宿星雲，外邊緣約伸張至5度，相當於17秒差。現時天上星雲最大者，為大馬騎郎雲中30 Doradus，所謂圈套星雲(Looped nebula)是也。依Shapley計算，謂此星雲直徑約40秒差(幾與獵戶座全體相等)。

瀾漫星雲之自行，因其本身無定形故，頗難決定。現時吾人能為之測定者為數無幾。如金牛座中之螭蟻星雲(Crab nebula)，其中雲氣由中心向四方移動速度，平均每年 $0''.13$ ；又如天鵝座中之網狀星雲(Network nebula)，其運動方向，正垂於其本身，平均每年 $0''.05$ ；由圖一六五而觀，此星雲全體運動趨勢由右向左，且以下方狹部為最速焉。

至氣星雲之輻射速度，其光雖微，但能精密測定；因可將其全部之光，聚于一二光譜線上也。

Campbell與Moore曾取五個瀾漫星雲研究，知其輻射速度甚小，平均每秒僅11公里(除太陽運動不計)。惟在馬騎郎雲中之瀾漫星雲，則輻射速度甚大；如前章所述，小雲中，每秒+170公里以至大雲中+276公里。

至獵戶座中之大星雲(圖一六四)，其中輻射速度，隨處而異，情形極複雜，平均每秒退却17.5

公里。但其中有幾部份，則對於平均速度每秒退却4以至7公里。其自行速度，則以太小之故，未能尋出焉。



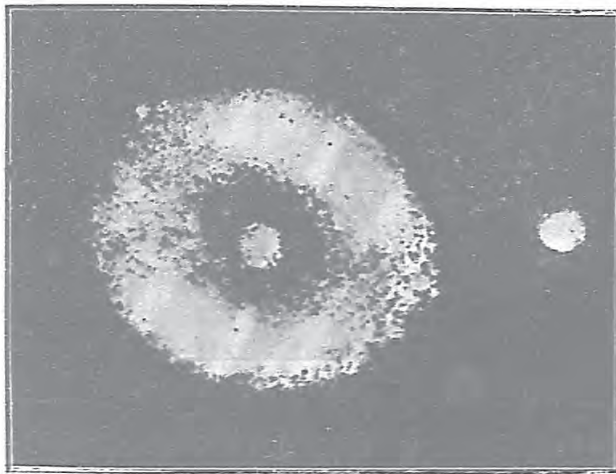
(圖一六五)

此等星雲之本體，既如其大，其物質之密度必極小。依 Kapteyn 研究，知獵戶座星雲之視差為 $0''.0055$ ；其最光部份之直徑約一秒差；最邊緣部份與中心距，約 100000 天文單位。若所觀測之輻射速度乃循軌道之運行而生，則其公轉周期應為 300000 年。星雲全體之質量，依 Kepler 定律，應為太陽之一萬倍。夫此物質之量雖大，但以之分配於星雲之全體，則其密度之大，僅為太陽之 10^{-8} 倍。就此密率言，以海王星軌道半徑作球體而充實之，其中包含物質，仍不及地球質量十分之一。

星雲密度，雖比任何人工製造完全真空之密度為小，但以其本體極大之故，其中物質總量仍甚偉大。此等物質如能互相團結，各成較大之星球，則每一個星雲之質量，即足以形成一組小星團。

210. 行星星雲

行星星雲，在天空中存在，為數約一百以至一百五十。因其氣體光譜，極易認識，故此類星雲之在吾人星表中者，大約已頗完全。此類星雲之表現，殆皆為圓形或卵形，光甚微弱；且其中心幾必有一恆星存在，如卵內之核焉。下圖一六六，即



(圖一六六)

天琴座中之環狀星雲 (Ring nebula), 面積 $83'' \times 59''$, 中心恆星之光度，由攝影片斷定為 13 等(視覺則為 15.4 等)。

普通行星星雲，多似由數重同心光亮所包成；整個成環形

者甚少，其中心部份之光譜較弱，或竟至黑暗。此殆無疑由於星雲外部有強光反射，每層之光亮透明，至中心遂漸弱而暗也。

行星星雲面部之潤，直徑介於 3' 以至 12' 者甚少，多數小於 1'，餘則更小；如不用極大倍力遠鏡，則見與普通恆星無異。故大部份此類星雲之發見常先以其光譜之認識為基礎，然後從而研究其真相焉。其中心存在之恆星，通常極弱，多在攝影 11 等以下；且對於肉眼，其光更小，因光多近藍白色之故。此類星雲光譜品全為 0，且有氫素及電離氫素黑線存在。

行星星雲之較大者，多與銀河系距離極遠；小者則幾全集於銀河，更小者則纏聚於人馬座內。是即表示此等星雲之大小，幾彼此相同；其外觀較大者，與吾人較近，而不存在於銀道平面內；其小者則較遠，吾人遂見其存在於銀河系統內也。

211. 行星星雲之距離及其物理性質

由威爾遜山天文台，Van Maanen 研究，曾決定 23 個星雲中心恆星之視差。其中最大者，為寶瓶座之巨星雲 (Giant planetary N.G.C. 7293)，其視差為 $0''.040$ ；直徑為 12'；是殆星雲中之最近者。其餘小者，平均視差為 $0''.008$ ；平均直徑為 54''；及平均攝影星等為 12.5。

此類星雲之輻射速度，由 Lick 天文台決定者，約一百個，並由此指出太陽移動速度，每秒 23 公里。星雲之平均本動，每秒 ± 37 公里。其中有六個極小者，速度極大，每秒逾 100 公里。然其餘總合平均，則每秒約 ± 30 公里。

此類星雲之自行極小，鮮有為之精密決定者。最近由 Van Maanen 研究：知其中有九個星雲之平均自行為 $0''.022$ ；而由觀測輻射速度結果，得切線速度，約 1.6 倍大於此值，或每年 10 天文單位。是即表明此九星雲之平均視差為 $0''.002$ 也。

行星星雲體積極大，由視差研究結果，知普通行星星雲直徑，可達 7000 天文單位。由自行研究結果，其概值大至 25000。總之，此中星雲之最小者，亦比吾人

太陽系全體為大。

中心恆星之平均絕對星等，在視差之較大者為+7；小者為+4。然普通0品之孤立恆星，其平均絕對星等為-4，此中差別緣因，至今尙未能解釋。

行星星雲，既以其扁而成圓狀得名，然其本身，普通又能自轉。依 Campbell 與 Moore 研究，知二十三個星雲中有十九個，其自轉頗為簡單；餘四個則甚複雜，自轉時速度，最外部份較中部之環為小，此殆因中心部份，如固體自轉，而外部則為疏散之質點，其情形與土星相類之故。自轉速度，每秒由 1.4 以至 18 公里，而距中心 $5''-7$ 之中部，其平均速度則每秒 5.3 公里。

行星星雲之自轉周期，均甚長久，如以上述各例言，由較大視差以計算，可得 4000 年；由較小者計算，可得 15000 年，其平均密度極小；按理論中之較大者，亦不過為太陽之 6×10^{-10} 。此密度之大小，僅比一立方哩空間含一立方吋空氣之密度為稍強，其稀疏可知。雖然，說者謂已遠濃厚於獵戶座之星雲矣。

212. 銀河系星雲概觀

銀河系星雲，除特別外，已知其皆不能自發光，僅借鄰星之光以顯露。當鄰星之熱度不甚大時，則其光之來只由于反射。若鄰星為一極熱星，則星雲中一部份物質之原子，可由是而引起輻射。如星雲之隣，無一光星，則星雲為一黑暗星雲，吾人所能窺見者，以其遮掩銀河一部份之故。

行星星雲，其大可數百倍於太陽系全體，其中心恆星，為一熱度極高之星球。星雲質量之全體，約與一極大星球相等，而密度則極小，其外觀形狀，因本體迴轉運動極緩之故，似能保留不變。

銀河系瀾漫星雲，如以獵戶座大星雲為例；似由一種雲及一種掃蕩運動物質所構成。若以其輻射速度平均率考之，則此種掃蕩物質，完全橫過其表面，似需時數十萬年，但在事實上，恐以其中心吸力甚大故，能將此物質吸回，不致一往無歸耳。獵戶座星雲之全體，殆盡為黑暗雲，彼向吾人表現之部，乃此雲氣體表面層為極熱星球所照耀而顯者，非雲之本身光輝也。

銀河系星雲，除上述數種外，尚有一種變星雲 (Variable nebulae) 者，其形狀及光度皆有變化之星雲也。此種星雲之最顯著者，如在麒麟座之 N. G. C. 2261，及南冕座之 N. G. C. 6729 是。此種星雲，形如彗星，有首有尾，首部有核，為一無規則變星。此等變星，有特種光譜，如第一種之 R Monocerotis 極似新星；第二種之 R Coronal Australis 則為特別有光線之 G 光譜品焉。兩種變星雲之光譜，皆為連續，並有微弱重複之光線，且與其核之變星所有者相同。

此種星雲之變化極速，周期多不過一日，或數日。惟彼變化原因，至今未明。又此種星雲距吾人或不甚遠，依 Hubble 估算；N. G. C. 6729 距離，約 100 秒差云。

213. 外銀河系星雲通論

外銀河系星雲為數極多，現已知者數十萬。彼等與銀河距離極遠（在銀河左右 20 度內者甚少），而以近銀河極二點處為最多。依 Curtis 研究，僅在后髮座內 $50' \times 40'$ 面積一張攝影片上，為數已逾三百。此等天體，普通均極微小；其中最大而最光者，為仙女座中有名之大星雲（圖一六七），肉眼可見，約如四等星大之光片。然在攝影片上，其直徑可達 3 度。

此種星雲之由視覺發見者，為數確有幾千。但其實際性質則多不甚明晰。彼等對於視覺所表現者，多有一較光之中央部（核）；有時有黑線橫過其間，或有二三個成螺旋形者。



至用攝影術發見者，已呈大進步。其數固比視覺發

見者，不知突增若干倍，而實際形狀，尤能顯微於隱，使吾人有將其分類之可能性焉。

214. 外銀河系星雲之分類

外銀河系星雲之分類，仍以 Hubble 法為主，其類別如下：

(1) 有規則星雲 (Regular nebulae)

凡星雲能依一固定核（不必為一恆星），以對稱形式旋轉者，皆屬此類，現時知外銀河系星雲，約百分之九十七為有規則星雲。

有規則星雲，為狀亦有種種；依其進化之不同，由球狀不可分之物質，以至開口螺旋狀其臂為原星質與恆星相混者皆有。至此吾人遂可將有規則星雲，再析為二矣，曰：

(a) 橢圓星雲 (Elliptical nebulae)

此類星雲，為一種不可分解之團結物，中心光度最強，並依一定法則，漸近邊則漸弱；其視直徑大小，隨攝影時間而增。此類星雲，由圓形以至尖長之橄欖形皆有，此殆因星雲以種種不同位置正對吾人，故外觀上遂呈各種形狀也。

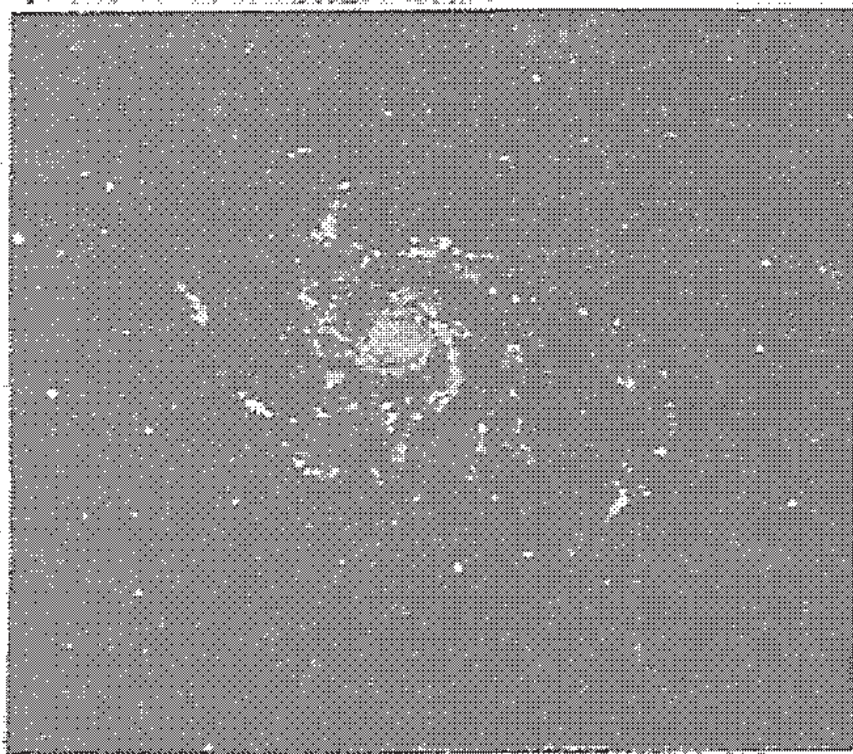
(b) 螺旋星雲 (Spiral nebulae)

螺旋星雲為一扁而潤之大雲，吾人所見者，有時只見其邊，有時則可直見其正面，此類星雲中心多有一較明亮部份，可稱為核者，由核向外伸張，即漸散開成臂，繞核而轉，故對此類星雲研究時，常由其各臂之開散程度，以為排列次序之根據，如圖一六八，即為一臂肢極內纏，將心核圍繞嚴固之星雲，吾人由地球望去，見其側面，故中部現一黑線者：



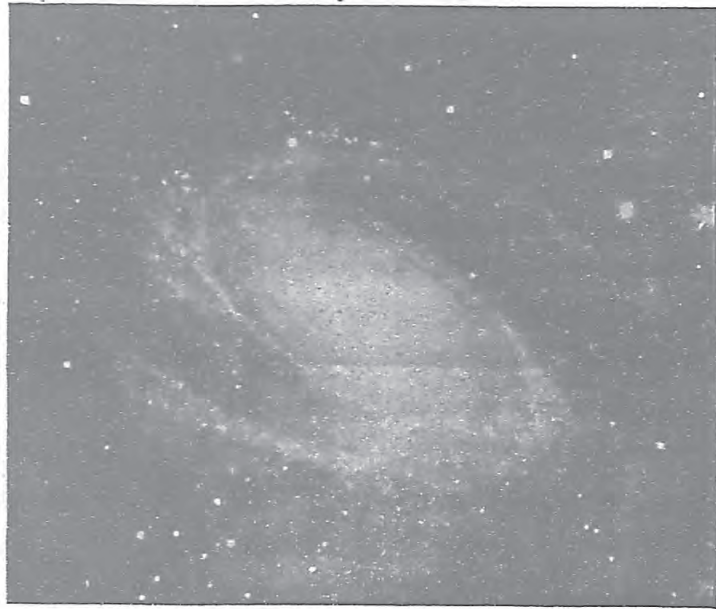
(圖一六八) (N.G.C.4594)

至如圖一六九，則為臂肢極開散之星雲，吾人所見，乃其正面之形狀者。此星雲在大熊座，N. G. C. 號數為 5457 (M.101)。



(圖一六九)

由螺旋星雲各臂肢之運動而觀，此類星雲似漸趨漸散開，有與其中心漸遠之趨勢，至大星雲之由觀測上推斷，似可謂由恆星所聚或星團所聚而成，因在較小密度臂肢上，仍見星光點點，斑然可數也。



(圖一七〇)

圖一七〇，為大熊座之旋轉星雲，其旋轉姿勢之活潑，及臂肢上之星光，極為明顯。

(II) 無規則星雲 (Irregular nebulae)

此類星雲為數較少，且其狀有類於馬騎郎雲(近年來已將其歸入星雲表內)。其中光度較強者，由攝影片上已可將其分出為各個恆星。因是之故，近年來幾已認其為較遠距離之星團，同時 Hubble 則又認馬騎郎雲為最近之無規則外銀河系星雲矣。

215. 外銀河系星雲之運動

外銀河系星雲之輻射速度，由觀測結果，知其大逾尋常。據 Slipher 第一次所得，謂其速度之大，前所未見。即如仙女座之大星雲，其輻射速度為每秒 300 公

里。然依最近研究，其他之星雲運動，尙有遠大於此值者。此類星雲之觀測，因其太遠及光度太小故，極爲困難，每一光譜攝影，常須連貫數夜。然時至今日，此類星雲輻射速度之已知者，爲數已逾四十；其中大部份，乃由 Slipher 所發表。由統計結果，知此類星雲輻射速度之平均值，爲每秒 620 公里。其中最大者，爲鯨魚座星雲 (N. G. C. 584)，每秒 +1800 公里。此類星雲之運動，尤其是最速者，八分之七爲退後，卽與吾人漸遠也。

螺旋星雲之自行運動，極難決定。向來所得之大概結果，平均每年爲百分之幾弧秒。以此種大速度言，可知其距離最小爲數千秒差。

由螺旋星雲，橄欖狀或卵狀星雲之外形而觀，可知此類星雲之必能自轉；且由分光儀之觀測，更可完全証明。星雲自轉，第一個發見者爲 Wolf，次爲 Slipher。而能精密測定其速度者，則爲 Pease。常用分光儀之縫隙與星雲之長軸對正時（卽與星雲之赤道面平行），吾人可窺見一邊之運動與吾人漸近（對於其心核言），其他一邊則與吾人漸遠。反之，如縫隙對正星雲之短軸時，則見全部之速度一致。且在赤道面之速率言之，其速度與中心之距離而漸增，殆表示中心部份，如固體自轉也。

此種自轉速度之已知者，比較上頗大；如在仙女座中之大星雲，與中心距離 150'' 處一點，自轉之速，每秒 72 公里（如將星雲之傾斜度修正，其速可增至 75 公里）。至近臂部與中心較遠點，其速度更大于此。又如在 N. G. C. 4594（圖一六八）星雲，彼與中心距離 120'' 之點，其速度大至每秒 330 公里。

216. 外銀河系星雲之距離及其物理性質

年來在外銀河系星雲中，發見有變星不少。卽如在仙女座大星雲，由 1909 以至 1926 年間，已發見新星六十七顆。其他有周期，如短期或造父變星存在星雲內者亦甚多。此類造父變星，周期由 18 日以至 50 日，曲線之上升遠速於下降，其極顯著造父變星之特性焉。

又造父變星之存在於外銀河系星雲者，其周期與光度，極能適合周期光曲

線，故外銀河系星雲之有此類變星者，即可間接測定其距離，惟此類變星光度極弱；如在仙女座或 M. 33 星雲，其中最光之星，雖在極大光時，亦不過十八等；周期 40 日；由絕對星等比較得絕對率為 22.15；由是可得距離為 270000 秒差，或 870000 光年！然是二星雲者，為天空最大，最光，並擬為最近之物體，其他小而弱者，其距離之大更不知幾何倍於此。

依 Hubble 研究，知 M. 33 星雲中最光之星，其絕對星等為 -7。此值與在馬騎郎及銀河系統內各星比較，似頗相近。至在仙女座中大星雲者，一切新星之平均絕對星等為 -5.3，此則又與銀河系統內新星相一致。

仙女座大星雲，如用長時間攝影，可得視直徑之大為 3° 。由是推算，其真直徑之大，當為 14000 秒差，至 M. 33 則比較小，視直徑為 1° ，僅 5000 秒差。

仙女座大星雲，全座光之感於吾人視覺者，約如四等星光，故其真實光輝，應與絕對星等 -19 相近。即謂全座之光，約大於太陽一千五百兆 (15×10^8) 倍。

如此星雲內部吸力與離心力平衡，則其自轉周期，當為 17000000 年，而在中心 $5'$ 視直徑以內球體之質量，當為 270 000 000 倍於太陽。至星雲之全體，則必更大於此數矣。

217. 島宇宙

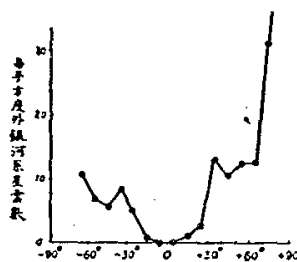
如上所述外銀河系星雲，大約全為距吾人銀河系宇宙極遠之偉大系統，其中無規則星雲，如馬騎郎雲者，似與銀河系中本星系統之大小相似——或較大，然其光度之大已百兆或十兆倍於太陽矣。

彼螺旋星雲，則較此仍大。如仙女座大星雲，其直徑約等於 Kapteyn 宇宙直徑四分之三，其光量之全體，可與 Kapteyn 宇宙內一切星光總量相抗衡。故螺旋星雲，實可以吾人銀河系統相看待，除相似之點，如銀道面內之黑暗星雲，此星雲將銀河分為兩支流，令銀河中間現一黑徑。今由側面望螺旋星雲，亦常見其中部有一黑紋相間者（圖一六八），此殆吾人銀河系之黑徑類耶？又由統計結果而觀，距銀道平面 20 度內，外銀河系星雲特少，更可為此帶內有偉大黑雲存在之明証也。

關於螺旋星雲與銀河系統相異之點，亦頗不少。今更分析言之：螺旋星雲其心部之密度（如一核），遠大于漸近邊部，而此種膠聚心核，似不存在于銀河系統。螺旋星雲內部之表面光輝，依 Seares 之研究，知遠強于（約一百倍）銀河系相當部份之由遠處觀望者。發光物質（星）在螺旋星雲中部之散開，遠速於吾人之銀河系。再者銀河系統全體，由球狀星團或弱小銀河系變星觀測之結果，知其直徑遠大于仙女座星雲。總之，螺旋星雲之大小，外觀與光度等，不必一一盡似吾人之銀河系，但設想其為銀河系宇宙外之獨立宇宙，了無可疑。

此“島宇宙” (Island universe) 名詞，用以表述螺旋星雲者，似頗洽當。Shapley 君戲言曰：“如吾人名之為島，則銀河系當為大陸矣”。

有一七一為島宇宙依銀緯度之分佈圖：橫軸表銀緯度數；縱軸表相當銀緯處每平方度之星雲數。乃 Seares 利用 Fath 統計法，及用威爾遜天文台由 1.50 公尺遠鏡，攝影時間為一小時，干片上所得之星雲平均數值 (Contribution of the Mount Wilson observatory, 297)。



(圖一七一)

計威爾遜天文台由攝影干片上所得之星雲，為數已近 1000。惟此等干片只佔全天空面積 $\frac{1}{300}$ ，由是推算，可見島宇宙之為數，約近 300 000，倘無銀河系黑暗物之存在，應可增至 1000 000 云。

由是而言，銀河系者，諸宇宙中之太倉一粟也。太陽者銀河系中衆星之太倉一粟也。渺小地球，更何足道，直宇宙中之微塵，滄海中之涓滴耳。而人類者，方誇地球，又不過顯微鏡下，滴水中之微生物。袞袞諸公，霸夢正濃，方欲以人力勝天造，據鼠竇以稱豪，其亦不思之甚矣！

習 題 XIX.

1. 問星團與星雲有何區別，並何故銀河內少見星雲，而銀河外少見星團？
2. 試舉銀河系與螺旋星雲相似之點。
3. 試以太陽系全體之大為單位，繪銀河系及若干已知星雲之大小。
4. 如銀河系與仙女座大星雲為雙星雲，試以一任意量為單位，繪圖以表其距離及大小，並研究其回轉周期及公共重心之所在。
5. 太陽視面積，約與獵戶座星雲密度較大部份相等。而太陽光度約三十倍于星雲。如彼等輻射光之總量與絕對溫度之四方成比例，然則星雲之溫度為若干度？如其真直徑為太陽之二十兆倍，其質量又為幾何？

附 錄

I. 地 球 大 小

(依 Hayford 1909 年精算數值)

赤道半徑 $a = 6378.388$ 公里 $= 3963.34$ 哩極 半 徑 $b = 6356.909$ 公里 $= 3949.99$ 哩平均半徑, $\frac{1}{3}(2a+b)$, $= 6.37123 \times 10^3$ 公分 $= 6371.23$ 公里 $= 3958.89$ 哩

$$\text{扁率 } \frac{a-b}{a} = \frac{1}{297.0}$$

 φ 緯度處每度間 $= 69.0569 - 0.3494 \cos 2\varphi + 0.0007 \cos 4\varphi$ 哩經綫每度 $= 69.2316 \cos \varphi - 0.0581 \cos 3\varphi + 0.0001 \cos 5\varphi$ 哩。

II. 天 文 恒 數

一 日 之 長

恒星日 $= 23$ 時 56 分 4.991 平均太陽時平均太陽日 $= 24$ 時 3 分 56.555 恒星時

一 年 之 長 (平均太陽為單位), 1900. Newcomb:

回歸年 $= 365$ 日 $24219879 = 365$ 日 5 時 48 分 45.98 秒恒星年 $= 365$ 日 $25636042 = 365$ 日 6 時 9 分 9.54 秒近點年 $= 365$ 日 $25964134 = 365$ 日 6 時 13 分 53.01 秒恒星年之長為 31558149.5 秒

太陰月之長 (平均太陽為單位), Brown:

朔望月 $= 29$ 日 $530588 = 28$ 日 12 時 44 分 2.8 秒恆星月 $= 27$ 日 $321661 = 27$ 日 7 時 43 分 11.5 秒節 月 $= 27$ 日 $212220 = 27$ 日 5 時 5 分 35.8 秒

$$\left. \begin{aligned} \text{黃道傾角} &= 23^{\circ}27'8''\cdot26 - 0''\cdot4684(t-1900) \\ \text{總歲差} &= 50''\cdot2564 + 0\cdot000222(t-1900) \end{aligned} \right\} \text{Newcomb}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{章動差恆數} &= 9''\cdot21 \\ \text{光行差恆數} &= 20''\cdot47 \\ \text{日視差} &= 8''\cdot80 \end{aligned} \right\} \text{星表用數, 採自 1911 年巴黎會議}$$

光行速度 = 299,796 公里/秒 = 186,285 哩/秒 (Michelson, 1926)

重力常數 $G = 6\cdot673 \times 10^{-8}$ c. g. s. 單位

重力加速度 g (以公尺為單位) = $9\cdot8060 - 0\cdot0260 \cos 2\varphi - \frac{2}{R} \frac{h}{g}$ (Helmert)

上式 h 為高出海平面之公尺數, 及 $\log R = 6\cdot8416$.

地球質量 = $(5\cdot974 \pm 0\cdot005) \times 10^{27}$ 瓦

日質量 = $1\cdot983 \times 10^{33}$ 瓦

日平均半徑 = $6\cdot953 \times 10^{10}$ 公分

一天文單位距 (A. U.) = $1\cdot4959 \times 10^8$ 公里 = $9\cdot2370 \times 10^7$ 哩

一光年 = $6\cdot3310 \times 10^4$ A. U. = $9\cdot463 \times 10^{12}$ 公里 = $5\cdot88 \times 10^{12}$ 哩

一秒差 = $3\cdot258$ 光年 = $2\cdot06265 \times 10^5$ A. U. = $3\cdot084 \times 10^{13}$ 公里
 = $1\cdot92 \times 10^{13}$ 哩

III. (a) 太陽

1920年1月0日

星名		符號	軌道半長軸	與日平均距離 (萬公里)	恆星周期 (平均太陽日)	恆星年周期
類 地 行 星	水星	♿	0.387099	5785	87.96926	0.2408
	金星	♀	0.723331	10810	224.7008	0.6152
	地球	♁	1.000000	14945	365.2564	1.0000
	火星	♂	1.523688	22772	686.9797	1.8808
	Ceres	♁	2.767303	41352	1681.449	4.6035
	愛神星	♁	1.458296	21794	643.230	1.7610
大 行 星	木星	♃	5.202803	77760	4332.588	11.862
	土星	♄	9.538813	142560	10759.201	29.457
	天王星	♅	19.190978	286810	30685.93	84.013
	海王星	♆	30.070672	449410	60187.64	164.783

系 要 素

0 格 林 威 平 時

平均軌道速度 公里/秒	離心率	軌道面對于 黃道傾斜度	軌道升交 點黃經	近日點黃經
47.83	0.20562	7° 00' 12"	47° 22' 59"	67° 12' 39"
34.99	0.00681	3 23 38	75 57 35	130 26 44
29.76	0.01674	0 00 00		101 33 53
24.11	0.09333	1 51 01	48 56 25	334 35 12
17.89	0.07653	10 36 56	80 45 39	149 26 12
24.64	0.22297	10 49 40	303 35 09	121 25 32
13.05	0.04837	1 18 28	99 38 24	13 02 01
9.64	0.05582	2 29 29	112 57 29	91 28 50
6.80	0.04710	0 46 22	73 35 27	169 22 07
5.43	0.00855	1 46 38	130 53 56	43 55 50

III.

名	符號	視角直徑 (赤道)	平均直徑		質 量		體 積
			公 里	$\oplus=1$	$\odot=1$	$\oplus=1$	$\oplus=1$
日	\odot	31' 59" 3(平均)	1390600	109.1	1.000	331.950	1300000
月	☾	31' 5" (平均)	3476	0.273	$\frac{1}{27070000}$	$\frac{1}{81.56}$	0.0203
準 地 行 星	水星 ♁	4" 7 至 12" 9	5000	0.39	$\frac{1}{80000000}$	0.04	0.06
	金星 ♀	9" 9 至 61" 0	12400	0.973	$\frac{1}{410000}$	0.81	0.92
	地球 \oplus		12742	1.000	$\frac{1}{331950}$	1.000	1.000
	火星 ♂	3" 5 至 25" 1	6770	0.531	$\frac{1}{30850000}$	0.108	0.528
	Ceres ♁	0" 27 至 0" 69	770	0.060	$\frac{1}{2.5 \times 10^7}$?	$\frac{1}{8000}$?	0.0002
	愛神星 ♁	0" 02? 至 0" 25?	25?	0.002?			8×10^{-9} ?
大 行 星	木星 ♃	30" 5 至 49" 8	139560	10.95	$\frac{1}{1047.40}$	316.94	1312
	土星 ♄	14" 7 至 20" 5	115110	9.02	$\frac{1}{3499}$	94.9	734
	天王星 ♅	3" 4 至 4" 2	51000	4.00	$\frac{1}{22650}$	14.66	64
星 海 王 星	♆	2" 2 至 2" 4	50000	3.92	$\frac{1}{19350}$	17.16	60

(b) 太陽系要素

平均密度		自 轉	赤道對於 軌道傾斜	扁率	平均表 面重力 ⊕=1	反光率	平均術時 之星等	逃速度 公里/秒
⊕=1	水=1							
0.256	1.41	24日 ⁶⁵ (赤道)	7°10' 5	0.0000	27.89		-26.72	617.0
0.604	3.33	27日 7時 ⁴³ 分 ¹¹ ·秒 ⁵	6°40' 7	0.0006	0.165	0.07	-12.55	2.4
0.70	3.8	88日 0		0.00	0.27	0.07	0.16*	3.6
0.83	4.86			0.00	0.85	0.59	-4.07	10.2
1.000	5.52	23時 ⁵⁶ 分 ⁴ ·秒 ⁰⁹	23°26' 59'	$\frac{1}{296}$	1.00	0.45?	-3.5 †	11.2
0.72	3.96	24時 ³⁷ 分 ²³ ·秒 ⁵⁸	25°10'	$\frac{1}{192}$	0.33	0.15	-1.85	5.0
0.6?	3.3?				0.037?	0.06	7.15	0.5?
0.6?	3.3?	5時 ¹⁶ 分			0.001?		9.7	0.02?
0.242	1.34	9時 ⁵⁰ 分至9時 ⁵⁵ 分	3° 6' 9	$\frac{1}{15.4}$	2.64	0.44	-2.23	60.
0.13	0.71	10時 ¹⁴ 分至10時 ³⁸ 分 ⁵	26°44' 7	$\frac{1}{9.5}$	1.17	0.42	+0.89 至 -0.18	36.
0.23	1.27	10.時 7	98°·0	$\frac{1}{14}$	0.92	0.45?	5.74	21.
0.29	1.58	15時 ?	151°	$\frac{1}{40}$?	1.12	0.52?	7.65	23.

* 與日最大視角距時 † 由日觀望

IV. 平均蒙氣差

(照華氏表 50 度, 及氣壓 29.6 吋推算)

地平緯度	蒙氣差	地平緯度	蒙氣差	地平緯度	蒙氣差
0°	34' 50"	11°	4' 47".7	30°	1' 39".5
1	24 22	12	4 24.5	35	1 22.1
2	18 06	13	4 04.4	40	1 08.6
3	14 13	14	3 47.0	45	57.6
4	11 37	16	3 18.2	50	48.3
5	9 45	18	2 55.5	55	40.3
6	8 23	20	2 37.0	60	33.2
7	7 19	22	2 21.6	65	26.8
8	6 29	24	2 08.6	70	20.9
9	5 49	26	1 57.6	80	10.2
10	5 16	28	1 48.0	90	0.0

此表數值, 如溫度低於華氏五十度, 則每低五度時在表上加原值百分之一, 反之如高於華氏五十度, 則照比例減小。

又氣壓在二十九吋六以上者, 每增一時, 在表上加百分之 3.5, 反之, 低於氣壓二十九吋六, 亦照比例減少。

此溫度及氣壓之改正雖只為近似值, 然除特種情形之外, 其差仍在 2" 以內。

附 Comstock 計算蒙氣差公式如下:

$$R'' = \frac{983 \cdot b}{460 + t} \tan \zeta$$

b 為氣壓吋數; t 為華氏度數; ζ 為視天頂距, 若此距在七十五度以下, 該表之差誤, 除溫度及氣壓特種情形外, 不致在 1" 以上。

V. 二 十 八 宿 名

(子)	虛	女	牛	斗	箕	尾	心
(卯)	房	氏	亢	角	軫	翼	張
(午)	星	柳	鬼	井	參	井	畢
(酉)	昂	胃	婁	奎	壁	室	女

VI. 希 臘 字 母

字母	讀 音	字母	讀 音	字母	讀 音
α	Alpha	ι	Iota	ρ	Rho
β	Beta	κ	Kappa	σ	Sigma
γ	Gamma	λ	Lambda	τ	Tau
δ	Delta	μ	Mu	υ	Upsilon
ϵ	Epsilon	ν	Nu	ϕ	Phi
ζ	Zeta	ξ	Xi	χ	Chi
η	Eta	\omicron	Omicron	ψ	Psi
θ	Theta	π	Pi	ω	Omega

VII. 主要恆星專名

專名	隸屬星名	專名	隸屬星名
Acamar (d)	β Per	Alioth	ϵ UMa
Achernar	α Eri	Alkaid	η UMa
Acrab (d)	β_1 Sco	Alkes	α Crt
Acrux (d)	α_1 Cru	Almaaz	ϵ Aur
Adhara	ϵ CMa	Almach (或 Almak)	γ And
Agena	β Cen	Alnair (d)	ζ Cen
Alamak (t)	γ And	Alnasl	γ_2 Sgr
Albaldab	π Sgr	Alnitak (d)	ζ Ori
Albires (d)	β Cyg	Alnitam	ϵ Ori
Alchiba	α Crv	Alnyat	ζ Sco
Alcor (或 Sai-dak)	80 UMa (Mizar 副星)	Alphard	α Hya
Aleyon	η Tau	Alpheratz	α And
Aldebaran	α Tau	Alsabik	η Oph
Alderamin	α Cep	Alshail al Mulhif	γ Vel
Aldhab	γ Gru	Alshail al Warn	λ Vel
Algenib	γ Peg	Altair	α Aql
Algerab	δ Crv	Altawabi	ι Aur
Algieba (d)	γ Leo	Aludra	η CMa
Algol	β Per	Aluyat	π Sco
Alhena	γ Gem	Ancha	θ Aqr

Antares (d)	α Sco	Deneb Algedi	δ Cap
Arcturus	α Boo	Denebola	β Leo
Areturus (d)	α Boo	Dipha	f Cet
Arneb	α Lep	Dubhe	α UMa
Asellus Austrinus	δ Cnc	Electra	17 Tau
Asellus Boreus	γ Cnc	El Nath	β Tau
Asterope	21 Tau	Enif	ϵ Peg
Atlas	27 Tau	Epi	σ Vir
Axilla (d)	ζ Sgr	Etamin	γ Dra
Bellatrix	γ Ori	Fa	l Ori
Benetnasch	η UMa	Fomalhaut	α Ps A
Betelgeuse	α Ori	Furud	ζ CMa
Canopus	α Nav	Giena	γ Crv
Capella	α Aur	Gienah	ϵ Cyg
Caph	β Cas	Girtab	l Sco
Castor (d)	α Gem	Gomeiza	β CMi
Cebalrai	β Oph	Hamal	α Ari
Celaeno	16 Tau	Han	ζ Oph
Choo	α Ant	Hyade	heat of Tauri
Cor Caroli (d)	α Lep	Iclarkrau	δ Sco
Creche	Amas of Cancer	Izar (d)	ϵ Boo
Cursa	β Eri	Kaitain	\times Pec
Dabih Major (d)	β Cap	Kau Australis	ϵ Sgr
Dabih Minor 16	β Cap	Kau Borealis	λ Sgr
Deneb	α Cyg	Kau Media	δ Sgr

Ke Kouau	β Lup	Mirfak	α Per
Kiffa Australis	α Cet	Mirzam	β CMa
Kiffa Borealis	β Cet	Mizar (d)	ζ UMa
Kochab (或 Kocab)	β UMi	Murzin	β CMa
Koo She	δ Vel	Muphrid	η Boo
Korneforos (d)	β Her	Nairalaurak	α Phe
Lesath	ν Sco	Nashira	γ Cap
Maia	20 Tau	Nath	β Tau
Margainta	α Cor	Nikal	β Lep
Markab	α Peg	Nodus Secundas	δ Dra
Markeb	χ Vel	Nunki	σ Sgr
Ma Wei	δ Cen	Nushaba	γ Sgr
Mebstuta	ϵ Gem	Perle	α CrB
Megrez	δ UMa	Phach	α Col
Men	α Lup	Phecda	γ UMa
Menkalinan (d)	β Aur	Pherkad maj.	γ_2 UMi
Menkar	α Cet	Pleione	28 Tau
Meral	β UMa	Polar (d)	α UMi
Merope	23 Tau	Pollux	β Gem
Mesartim	γ Ari	Porrina	γ Vir
Metar (d)	η Peg	Praesepe	ϵ Cnc
Mintakah (d)	δ Ori	Precordia	σ Sco
Mioplacidus	β Nav	Prima Giedi	α^1 Cap
Mira	\circ Cet	Procyon	α CMi
Mirach	β And	Propus	I Gem

Qubenelgenubi	α Lib	Sirius	α CMa
Rabah & Waridah	η Sge	Sirrah	α And
Rasalgethi	α Her	Situla	κ Aqr
Rasalhague	α Oph	Spica	α Vir
Rastaban	β Dra	Sualocin	α Del
Ratean	$\delta, \epsilon, \zeta, \theta$.— Ori	Suhelbadar	ζ Pup
Regulus	α Lio	Talita (d)	ι UMa
Rigel (t)	β Ori	Tania Australis	μ UMa
Rigil Kentarus	α Cen	Tarazed	γ Aql
Rotanev	β Del	Ta Tsun	μ UMa
Rukbah	δ Cas	Taygeta	η Tau
Sadalmelik	α Aqr	Tchin	ϵ Crv
Sadalsund	β Aqr	Tejat Post	μ Gem
Sadr	γ Cgy	Thaint Aladzari	O_2 CMa
Saidak	μ Alcor	Thuban	α Dra
Saiph	χ Ori	Tien Kouan	ζ Tau
Sargas	θ Sco	Tseen She	η Nav
Schaula (d)	λ Sco	Tsih	γ Cas
Scheat	β Peg	Tso Hea	β Crv
Schedir	α Cas	Tureis	ρ Nav
Scutulum	ι Nav	Unukalhai	α Ser
Secunda Giedi	α^2 Cap	Vega	α Lyr
Seginus	γ Boo	Vindemiatrix	ϵ Vir
Shang Tsae	η Dra	Wasat	δ Gem
Sheratan	β Cet	Wei	ϵ Sco

Wesen	δ CMa	Zaurac	γ Eri
Wezn	β Col	Zavijava	β Vir
Yed Prior	δ Oph	Zosma	ζ Leo

(註) 星名右記 (d) 號者爲雙星, 記 (t) 記號者爲三合星。

漢譯名詞索引

西 名	譯 名	頁 數
A 部		
Aberration	光行差	70
Absolute magnitude	絕對星等	229
Absolute temperature	絕對溫度	116
Absorption spectrum	吸收光譜	116
Accidental errors	偶然差	30
Achromatic	消色的	19
Albedo	反光率	92
Aldebaran	牛眼座	208
Altitude	地平緯度	9
Aluminum	鋁	119
American Museum of National History	美國自然歷史博物院	196
Andromeda	仙女座	204, 212
Andromedes	仙女座流星群, 仙女座	197, 198
Angular elevation	距地圈之角度	9
Angular momentum	角能率	150
Angular velocity	角速度	137
Annual 或 heliocentric parallax	周年視差	32
Annular eclipse	環蝕	127
Anomalistic month	近點月	133
Anomalistic year	近點年	80

Autapex	日底點	233
Antlia	唧筒座	214
Aphelion	遠日點	69
Apogee	遠地點	87
Apparent motion	視運動	58
Apparent orbit	視軌道	239
Apparent solar time	視太陽時	38
Apparent semidiameter	視半徑	31
Apus	天燕座	214
Aquariids	寶瓶座	198
Aquarius	寶瓶座	174, 212
Aquila	天鷹座	212
Ara	天壇座	214
Area velocity	面速度	137
Aries	白羊座	211, 212
Artificial star	假星	280
Ascending node	升交點	88
Astraea	義神星	165
Astrographic catalogue	攝影星表	207
Astrology	占星學	203
Astronomical day	天文日	42
Astronomical latitude	天文緯度	36
Astronomical refraction	蒙氣差	34
Astronomical unit	天文單位	35, 70
Astronomy	天文學	2
Astronomy of position 或 Astronometry	位置天文學	4

Astronomical clock	天文時鐘	23
Astrophysics	天體物理學	4
Atlantic	<u>大西洋</u>	45
Atmosphere	大氣	2
August	八月	82
Auriga	御夫座	213
Aurora	極光	167
Aurora australis and aurora borealis	南北極光	113
Autumnal equinox	秋分點	11
Azimuth	地平經度	9
B 部		
Babylone	<u>巴比倫</u>	133
Band	光譜帶	221
Barium	鎊	119
Blink microscope	閃視鏡	226
Bode	<u>波特</u>	54
Bootes	牧夫座	69, 213
Bright emission lines of hydrogen	氫素發射輝線	223
Bright-line spectrum	輝線光譜	115
British Association Catalogue	<u>英國天文學會恆星表</u>	219
C 部		
Cadmium	鎘	119
Caelum	雕具	214
Calcium	鈣	119
Camelopardalis	鹿豹	213
Canals	運河	162

Cancer	巨蟹座	211, 213
Canes Venatici	獵犬座	213
Canis Major	大犬座	214
Canis Minor	小犬座	213
Capricornus	摩羯座	212, 214
Capture theory	縛留理論	187
Carbon	碳	119
Cardinal points	四方點	9
Carina	船底座	214
Cassegrain	蓋塞林	21
Cassiopeia	仙后座	204, 213
Catalogue of precision	精確恆星表	206
Catalogue of stars 或簡稱 Catalogue	恆星表	206
Celestial equator	天球赤道	9
Celestial globe	天球儀	16
Celestial mechanics	天體力學	3
Celestial meridian	天球子午圈	9
Celestial poles	天球極點	9
Celestial sphere	天球	8
Centaurus	半人馬座	55, 214
Center of force	力心	137
Center of gravitation	重心	137
Centimeter	公分	64
Central	中	45
Central force	中心力	137
Cepheids	司父變星	262

Cepheus	仙皇座	213
Ceres	穀神星	165
Cerium	鈾	119
Cetus	鯨魚座	213
Chaldee	<u>加爾地</u>	4
Chamaeleon	蠟蜓	214
Chondri	長珠	197
Chromatic aberration	色像差	19
Chromium	鉻	119
Chromosphere	色球	106
Chronograph	記時器	23
Chronometer	計時錶	23
Circinus	圓規座	215
Circular motion	圓周運動	138
Circumpolar	拱極	89
Civil day	民用日	42
Civil time	民用時	42
Cluster variables	星團變星	262
Coalsack	煤袋	299
Cobalt	鈷	119
Coelsphere	座標儀	16
Collimator	進光器	115
Color-index	顏色指數	3
Columba	天鴿座	215
Coma	髮部	191
Coma Berenices	后髮座	12, 213

Comet	彗星	51, 184
Comet groups	彗星群	189
Comon proper motion	公共自行	238
Comparison prism	比較稜鏡	118
Comparison stars	比較星	227
Conic	錐線	141
Conjunction	合	57
Constant	常數	137
Constant of aberration	光行差常數	70
Constant of gravitation	引力常數	64, 140
Constellation 或 Asterisme	星座	203
Continuous sequence of spectra	連續光譜序	221
Continuous spectrum	連續光譜	115
Convergent lines	輻合線	147
Convergent point	會聚點	231
Copernicus	<u>哥白尼</u>	157
Copernicus crater	<u>哥白尼</u> 環形山	94
Copper	銅	119
Corona	日冕	107
Corona Austrina	南冕座	215
Corona Borealis	北冕座	213
Coronium	氮	122
Corvus	烏鴉座	215
Cosmogony	宇宙學	4
Counter glow	對光	167
Couple	偶力	73

Crab nebula	蝎棋星雲	303
Crater	寰形山, 巨爵座	94, 215
Crescent	蛾眉月	85
Crown glass	鉛玻璃	19
Crux	十字架座	215
Cygnus	天鵝座	213
D 部		
Dark bay	黑海灣	299
Dark lanes	黑徑	299
Dark line 或 reversed spectrum	黑線或反變光譜	117
Dark nebulae	黑暗星雲	299
Day light saving time	日光經濟時	44
Declination	赤緯	10
Declination axis	赤緯軸	22
Declination circle	赤緯圈	23
Degree 或 step	度	281
Delphinus	海豚座	213
Density	密度	65
Descending node	降交點	88
Descriptive astronomy	敘述天文學	4
Differential catalogue	微差恆星表	207
Differential observations	微差觀測法	227
Diffraction	繞射	18
Diffuse nebulae	分散星雲	299
Dip of the horizon	地平俯角	34
Dispersion	光之分散	115

Distance	距離	238
Diurnal libration	日周天平動	88
Diurnal 或 geocentric parallax	周日視差	32
Doppler effect	杜伯那效應	117
Doppler-Fizeau law	杜伯那費佐定律	117
Doppler principle	杜伯那原理	117
Dorado	劍魚	215
Draco	龍座	73, 213
Draconids	龍座	198
Driving clock	運動鐘機	23
Dusky	微塵體	174
Dyne	達因	64
E 部		
Early	早	222
Earth	地球	51
Earth currents of electricity	地電流	113
Eastern	東	45
Ebb tide	退潮	146
Eccentricity	偏心率	142
Eclipse month	蝕月	132
Eclipse year	蝕年	132
Eclipsing binaries	蝕雙星	237
Eclipsing variables	蝕變星	262
Ecliptic	黃道	9
Electrons 或 Corpuscles	電子	116
Ellipse	橢圓	141

Elliptical nebulae	橢圓星雲	308
Elongation	距角	57
Equation of energy	能力方程式	141
Equation of synodic motion	會合運動公式	86
Equation of time	時差	39
Equatorial acceleration	赤道加速度	105
Equatorial 或 Equatorial telescope	赤道儀或赤道儀望遠鏡	22
Equinoctial colure	極分線	11
Equinox	二分點	11
Equuleus	小馬座	213
Erbium	鉭	119
Eridanus	波江座	213
Eros	愛神星	91, 165
Error of observation	觀測差	30
Evening star	晚星	58
Extra-galactic	外銀河系	298
Extrapolation	外插法	210
Eyepiece	目鏡	17
F 部		
Faculae	光斑	107
Fictitious sun	假太陽	39
Field of view	視野	20
Fire balls 或 Bolides	火球	194
First contact	初虧	124
First law of spectrum analysis	光譜分析第一定律	116
Fizeau	費佐	117

Flammariion	<u>佛蘭瑪利翁</u>	1
Flint glass	火石玻璃	19
Flood tide	長潮	146
Focal plane	物鏡焦面	17
Focus	焦點	17, 141
Fornax	天爐座	215
Foucault	<u>佛科</u>	67
Fourth contact	第四接觸點	126
Fourth law of spectrum analysis	光譜分析第四定律	117
Fraunhofer lines	<u>法郎霍伐線</u>	116
Full moon	滿月	84
Fundamental catalogue	基礎恒星表	206
G 部		
Galactic concentration	銀河密率	219
Galactic coordinates	銀河座標	12
Galactic equator	銀道	12, 219
Galactic latitude	銀緯	12
Galactic longitude	銀經	12
Galactic pole	銀極	219
Galaxy	銀河	219
Galilean satellites	<u>加里尼衛星</u>	170
Galileo	<u>加里尼</u>	5
Galvani	<u>賈兒華尼</u>	6
Gaseous nebulae	氣星雲	292
Gemini	雙子座	174, 211, 213
Geminids	雙子座	198

General precession	總歲差	72
Geocentric	地心的	57
Geocentric latitude	地心緯度	36
Geocentric zenith	地心天頂	8
Geographical latitude	地理緯度	36
Geometrical method	幾何法	99
Germanium	鎢	119
Giant planetary	巨星雲	305
Giant star	巨星	276
Gibbous phase	凸月	85
Globular clusters, Globular star clusters	球狀星團	283, 262
Glucinum	銻	119
Gram	瓦	64
Grating	光柵	114
Gravitational energy	重力能	279
Gravitational method	重力法	100
Greatest elongation	大距角	57
Green nebulae	綠星雲	298
Greenwich	格林威	11
Gregorian calendar	克理曆	82
Grus	天鶴座	215
Gyroskop	迴轉儀	68
H 部		
Halley	哈雷	188
Harmonic law	調和定律	139
Harvest moon	穫月	89

Heavenly bodies	天體	137
Heliographic latitude	沿日面緯度	109
Heliographic longitude	沿日面經度	109
Helium	氦	119
Herschel	<u>侯失勒</u>	109
High water	高潮	146
Hipparchus	<u>依巴谷</u>	72,206
Horizon	地平	8
Horizon glass	水平鏡	28
Horizontal parallax	地平視差	33
Horologium	時鐘座	215
Hour angle	時角	10
Hour circle	時圈	10
Hunters moon	狩月	89
Hyades	畢宿	232
Hydra	長蛇座	213
Hydrogen	氫	119
Hydrus	長蛇座	215
Hyperbola	雙曲線	141
I 部		
Impact	撞撞	97
Impersonal micrometer	超人測微器	27
Index arm	指臂	28
Index mirror	指鏡	28
Indus	印第安座	215
Inertia	慣性	64

Inferior conjunction	內合	57
Inferior planets	內行星	57, 153
Infrared rays	赤內線	114
Initia epoch	基始時期	253
Invariable plane	不變平面	150
Inverse problem	反逆問題	141
Iron	鐵	119
Irregular nebulae	無規則星雲	310
Irregular variables 或 Unknown	無規則或尙未考定變星	261
Island universe	列島宇宙	313
J 部		
January	一月	82
Jean's theory	<u>轉氏定理</u>	280
John Kepler	<u>刻白爾</u>	137
Julian calendar	<u>儒略曆</u>	81
Julian day	<u>儒略日</u>	83
Julian era	<u>儒曆紀元</u>	83
July	七月	82
Jupiter	木星	51
Jupiter's family	木星族彗星	187
K 部		
Kepler	<u>刻白爾</u>	70
Kirchhoff	<u>奇霍夫</u>	116
L 部		
Lacerta	蝮虎座	213
Lagrange	<u>拉格蘭治</u>	150

Lanthanum	鎳	119
Laplace	拉伯拉斯	150
Last contact	復圓	124
Late	遲	222
Latitude	黃緯	12
Law of area	面積定律	70
Law of equal areas	等面積定律	137
Law of universal gravitation	萬有引力	140
Lead	鉛	119
Leap year	閏年	82
Legimate time	法令時	42
Leo	獅子座	69, 211, 143
Leonids	獅子座流星群, 獅子座	197, 198
Leo Minor	小獅座	213
Lepus	天兔座	215
Libra	天秤座	69, 211, 213
Libration	天平動	88
Libration in latitude	緯度天平動	88
Libration in longitude	經度天平動	88
Light curve	光曲線	251
Light year	光年	227
Linear diameter	線直徑	32
Linear velocity	線速度	137
Line of nodes	交點線	188
Local civil time	民用地方時	42
Local system	木星系	294

Local time	地方時	42
Longitude	黃經	12
Looped nebula	圈套星雲	303
Long period variables	長期變星	261
Lower limb	下邊	35
Low water	低潮	146
Lunar day	太陰日	83
Lunar eclipse	月蝕	123
Lunar eclipse limit	月蝕極限	125
Lunar equation	月行差	91
Luni solar precession	月日歲差	72
Lupus	豺狼座	215
Lyra	天琴座	213
Lyrids	天琴座流星群, 天琴座	197, 193
Lyux	天貓座	213
M 部		
Maganese	錳	119
Magellanic clouds	馬騎郎雲	273
Magnesium	鎂	119
Magnetic storms	地磁擾動	113
Magnifying power	倍力	18
Magnitude	星等	206
Magnitude equation	星等差	27
Magnitude of the eclipse	蝕量	126
Major limit	大極限	125
Major planets	大行星	153

Maria	海 (火星)	94
Mars	火星	51
Marseille	馬賽	74
Mass	質量	64
Mass function	質量函數	248
Mass luminosity curve	質光曲線	244
Mean error	平均差	31
Mean motion	平均運動	239
Mean parallax	平均視差	227
Mean solar day	平均太陽日	39
Mean solar noon	平均太陽午	39
Mean solar time	平均太陽時	38
Mechanically homogeneous	機械的調勻	22
Median magnitude	平均星等	277
Median photographic magnitudes	平均攝影星等	278
Mensa	山案	215
Mercury	水星	51
Meridian circle	子午儀	26
Meteors	流星	51
Meteorites 或 Aerolites	隕石	52, 195
Meteors shower	流星雨	197
Meteorology	氣象學	2
Meter-Candle	公尺燭光	92
Method depending upon the velocity of light	光速法	100
Meton	默冬	98
Metonic cycle	默冬章	98

Microscopium	顯微鏡座	215
Millions of kilometers	百萬公里	248
Milk way 或 galaxy	銀河	219
Minor limit	小極限	125
Minor planets	小行星	153
Modulus	絕對率	286
Molybdenum	鉬	119
Monoceros	麒麟座	215
Month	月	81
Moonlets	小月	174
Morning star	朝星	58
Mountain	山	45
Moving clusters	移動星團	231
Multiple stars	聚星	237
Musca	蒼蠅座	214
N 部		
Nadir	天底	8
Nautical astronomy	航海天文學	4
Neap tide	小潮	146
Nebula	星雲	283
Nebular hypothesis	星雲學說	200
Negative eyepiece	負目鏡	20
Neodymium	鎳	119
Netune	海王星	51
Network nebula	網狀星雲	303
New moon	新月或朔月	81

Nickel	鎳	119
Niobium	鈹	119
Node	交點	88
Nodical month 或 Draconitic month	交點月	88
Non-periodic stars	無周期變星	261
Norma	矩尺座	215
Nucleus	核	181
Nutation	章動	73
O 部		
Objective	物鏡	17
Oblateness	扁率	62
Oblique sphere	傾斜球	14
Observatory, Observatoire (法文), Observatorio(意文), Sternwarte(德文)	} 天文台或觀象台	2
Occlusion	掩星	126
Octans	南極座	215
October	十月	82
Open clusters	散狀星團	283
Ophiuchus	蛇夫座	69, 214
Opposition	衝	57
Optical pairs	光學雙星	237
Optically homogeneous	光學上的調勻	21
Orbital motion	軌道運動	233
Orion	獵戶座	69, 214
Orioids	獵戶座	193
Osculating orbit	接合軌道	186

Ounce	安士	193
Oxygen	氧	119
P 部		
Pacific	<u>太平洋</u>	45
Pairs 或 Couples	對	237
Palladium	鈀	119
Pallas	智神星	165
Pantheon	國葬院	67
Parabola	拋物線	141
Parabolic velocity	拋物線速度	142
Parallactic motion	視差動	233
Parallax	視差	32
Parallels of declination	赤緯平行圈	10
Parallel sphere	平行球	13
Parsec	視差秒	228
Partial eclipse	偏蝕	124
Pavo	孔雀座	215
Peculiar motion	本動	233
Pegasus	飛馬座	214
Penumbra	半影	108
Periastron	近星點	239
Perigee	近地點	87
Perihelion	近日點	69
Period luminosity curve	周期光曲線	278
Periodic perturbation	周期攝動	100, 149
Perseids	英仙座流星群, 英仙座	197, 198

Perseus	英仙座	201,214
Personal equation	自身差	26,48
Perturbation	攝動	77,149
Phase	面相	84
Phase angle	位相角	158
Phoenix	鳳凰座	215
Photoelectric	電影法	267
Photographic	攝影法	280
Photometer	量光器	280
Photometric brightness	光明度	207
Photosphere	光球	105
Physical pairs	物理雙星	237
Pictor	繪架座	215
Pisces	雙魚座	212,214
Piscis austrinus	南魚座	215
Plane of the sky	天球切面	239
Planet	行星	51
Planetary nebulae	行星星雲	299
Planetary precession	行星歲差	72
Pleiades	昴宿	212,231
Pluto	冥王星	51,180
Polar axis	極軸	22
Polaris 或 Polestar	北極星	73
Poles	極點	9
Poles of ecliptic	黃道極點	9
Poles of rotation	自轉極點	9

Position angle	位置角	25, 238
Positive eyepiece	正目鏡	20
Potassium	鉀	119
Practical astronomy	實用天文學	4
Precession	歲差	72
Preliminary tables of solar spectrum wave length	日光譜 波長表	118
Primary minimum	主極小	251
Prime vertical	卯酉圈	9
Prism	稜鏡	114
Probable error	或然差	31
Prominence	日珥	106
Proper motion	自行	207, 225
Proper motion in declination	赤緯自行	225
Proper motion in right ascension	赤經自行	225
Protestan	新教	82
Ptolemy	多錄某	97
Pulsation	脈動	276
Puppis	船尾座	215
Pyxis	羅盤座	215
Q 部		
Quadrature	方照	57
Quadruple	四合星	237
R 部		
Radial velocity	輻射速度	118, 226
Radians	本位弧	31

Radiant	發射點	197
Radiation pressure	輻射壓力	145
Radioactivity	輻射作用	80
Radium	鐳	80
Radius vector	動半徑	69, 137
Real brightness	真實光度	244
Real image	真像	17
Red spot	紅斑	171
Reflector 或 Reflecting telescope	反射遠鏡	17
Refractor 或 Refracting telescope	折光遠鏡	17
Regular nebular	有規則星雲	308
Relative motion	相對運動	57
Relative velocity	相對速度	141
Resolving power	分解力	19
Reticulum	線網袋	216
Retrograde motion	逆行	171
Reversing layer	反逆層	106
Revolution	公轉	56
Rhodium	銻	119
Rice grains	米粒	105
Right ascension	赤經	11
Right sphere	垂直球	13
Ring nebula	環狀星雲	304
Rotation	自轉	56
S 部		
Sagitta	天箭座	214

Sagittarius	人馬座	174, 211, 216
Saros	沙羅	133
Sattellite	衛星	51
Saturn	土星	51
Scandium	鎢	119
Scorpius	天蠍座	211, 216
Scorpius group	天蠍座群	232
Screen	光屏	115
Sculptor	玉夫座	216
Scutum	盾牌座	216
Secondary galactic plane	副銀道面	295
Second contact	第二接觸點	126
Second law of spectrum analysis	光譜分析第二定律	116
Secular perturbation	長期攝動	149
Semi major axis	半長徑	69
Semi parameter	半通徑	143
Semi-regular	半規則	263
September	九月	82
Serpens	巨蛇座	214
Sextans	六分儀座	214
Sextant	六分儀	27
Shell of gas	氣壳	274
Shooting stars	飛流星	194
Sicily	西細里	165
Sidereal day	恒星日	38
Sidereal period	恒星周期	59

Sidereal time	恒星時	38
Sidereal year	恒星年	80
Silicon	硅	119
Silver	銀	119
Sirius	天狼星	208
Slit	縫	115
Sodium	鈉	119
Solar apex	日頂點	232
Solar eclipse	日蝕	99, 123
Solar parallax	日視差	99
Solar system	太陽系	51
Solstitial colure	極至線	11
Spectral type	光帶型	207
Spectroheliograph	太陽分光攝影儀	120
Spectroscope	分光儀	114
Spectroscopic binaries	光譜雙星	237
Spectrum	光譜	115
Spherical aberration	球面差	19
Spherical cluster	球狀星團	232
Spiral nebulae	螺旋星雲	308
Spring tide	大潮	146
Spurious disk	虛圓面	18
Standard deviation	標準差	31
Standard time	標準時	43
Star clouds	恒星雲	283
Star clusters	星團	283

Stars	恒星	225
Stellar magnitude	星等	207
Stellar spectra	恒星光譜	221
Strontium	銩	119
Superficial gravity	表面重力	92
Superior conjunction	外合	57
Superior planets	外恒星, 外行星	57, 153
Sun	太陽	51
Sun's atmosphere	日球大氣	106
Sun's mean equatorial horizontal parallax	日平均 赤道地 平視差	99
Sun spot	太陽黑子	102
Sun spot group	黑子群	108
Surface	面積	64
Synodic month	朔望月	84
Synodic period	會合周期	59
Systematic errors	系統差	30
T 部		
Taurus	金牛座	69, 211, 214
Telescope	望遠鏡	17
Telescopium	遠鏡座	216
Telluric lines	地上線	118
Temporary stars 或 Nova	新星	258
Terminator	明暗界線	85
Terrestrial planets	類地行星	153
Theodolite	六分儀經緯儀	37

Third Catalogue of Spectroscopic Binaries	第三光帶雙星錄	249
Third contact	第三接觸點	126
Third law of spectrum analysis	光譜分析第三定律	117
Thorium	釷	80
Thule	北地星	165
Tide-raising force	長潮力	147
Time	時	38
Tin	錫	119
Titanium	鈦	119
Total eclipse	全蝕	124
Total proper motion	總自行	225
Transit of mercury	水星凌日	155
Transnetunian planet	海外行星	180
Triangulation	三角測量法	62
Triangulum	三角座	214
Triangulum Australe	南三角座	216
Triple stars	三合星	237
Tropical year	回歸年	80
True anomaly	真近點角	143
True astronomical horizon	真天文地平	34
True orbit	真軌道	239
True year	真年	81
Tucana	杜鵑座	216
Tycho Brahe	第谷勃拉	138, 206
U部		
Umbra	本影	108

Uniform	均勻	58
Universal standard time	世界標準時	43
Uranium	鈾	80
Uranus	天王星	51
Ursa Major	大熊座	214
Ursa Minor	小熊座	73,214
Ursa major group	大熊座群	232
Ultra-Netune	外海王星	179
Ultra-violet rays	紫外線	114
V 部		
Variable nebulae	變星雲	307
Variables of short period 或 Cepheids	短期變星	262
Variable stars	變星	258
Variation of latitudes	緯度變化	75
Vega	織女星	56
Veil theory	遮掩理論	276
Vela	船帆座	216
Velocity curve	速度曲線	245
Velocity of escape	逃速度	143
Venadium	鈮	119
Venus	金星	51
Vernal Equinox 或 First of Aries	春分點	11
Vertical circles	垂圈	9
Vesta	灶神星	165
Virgo	室女座	211,214

Visual	目視	280
Visual binary	視覺雙星	237
Visual magnitude	視星等	229
Volans	飛魚座	216
Volume	容積	64
Vulpecula	狐狸座	214
W 部		
Watte	瓦笛	6
Wave length	波長	114
White nebulae	白星雲	298
Y 部		
Year of season	季節年	72
Yttrium	鈦	119
Z 部		
Zenith	天頂	8
Zenith distance	天頂距	9
Zenith telescope	天頂望遠鏡	37
Zero point	零點	278
Zinc	鋅	119
Zirconium	銦	119
Zodiacal constellations	黃道星座	211
Zodiacal light	黃道光	167
Zone	帶	206

頁 數	行 數	字 數	誤	正
11	末 3	11	又	以
12	末 7	5	1	7
16	7	7	滿	加(後)
18	末 5	7	假	不要
21	7	11	水	不要
35	9	末10	滿	加(上)
48	末 4	17,18	高度	地平緯度
49	末10	9	歸	規
54	4	1,2	有知	知有
56	„	17	29	19
„	„	30	室	織
57	6	末 3	的	調在(心)字後
62	14	1	9,99	9,99
67	6	5	轉	不要
68	2	3	雨	雨
69	3	11	平	秤
73	13	末14,15	長半	半長
„	„	末 5	小	不要
„	14	1	7'	7''
76	6	7,8	爲一	一爲
77	4	13	度	不要
„	6	2	0'	0''
78	9	1,2	60	56
79	末 1	1,2	之內	內之
80	末10	11	及	不要
83	12	8	1'	1''
„	14	16	他	地
85	末 6	9,10	經次	次經
86	1	10	3	2

05320

頁 數	行 數	字 數	誤	正
93	2	8	變	不要
96	3	末 3	左	上
117	8	末 1	上	下
118	13	3	漏	加(日)
119	7	末5,6	中口	日中
119	10		Zinc	Zinc
125	5	末10,11	過通	通過
145	末 1	末 7	u	u
185	末 9	2	2	3
198	末 8	3	6	5
202	末 1	12,13	一在	在一
210	末 6	9	新	不要
221	2	1,9	天	銀
,,	3	7,8	之譜	譜之
,,	末 6	2	吾	調正
230	12	末3,4	代值	值代
237	末11	末9,10	爲分	分爲
238	4	末 6	通	爲
239	末 3	6,7	得所	所得
262	10	4,7	通,?	不要
265	末 6		1320	13·20
267	末 4	末 1	台	調正
274	12	9	p	q
293	3	16,17	五七	六一
295	7	13	時	不要
300	2	5	漏	加(藉)
303	8	末1,3	右,左	左,右
303	9	3	下	上
307	12	13	河	不要

06670

普通天文學



出版期 民國二十二年十月

定價 大洋二元八角

編著者 張雲

發行者 國立中山大學出版部

印刷處 西湖路蔚興印刷場

