

萬有文庫

第一集一千種

王雲五主編

復
借
使
用

日球與月球

李著

商務印書館發行

萬有文庫

第一集一千種

總編纂者
王雲五

空軍軍官學校

登錄號 0440

類號 083.11 / 4044

商務印書館發行

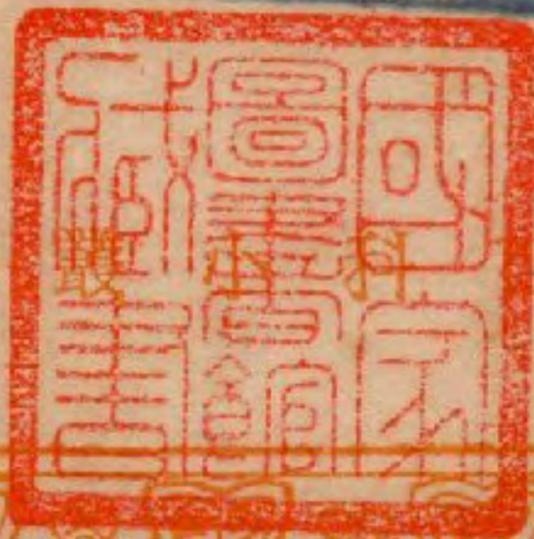
420
10

日球與月球

李蕃著

航空學
第六期
學生班
圖書
校業書

書



422.2

4044

I.D.O.C.A.F.C.S. LIB.

0731

523.7

4044

蘇 黎 學 社
第 六 版 河 漢 大 學 藏
基 礎 圖 書

日球與月球

目錄

第一章	月球	一
第一節	月球與地球之距離	一
第二節	月球之半徑面積及體積	四
第三節	月球之運動	四
第四節	月面朔望盈虧之理	八
第五節	恆星月與朔望月	一〇
第六節	月球每日過子午線時間之差異	一二
第七節	月球之質量	一二

第八節 月球之密度及其吸力……………一三

第九節 月面之空氣問題……………一五

第十節 月光……………一六

第十一節 月面之溫度……………一七

第十二節 月面之形狀……………一八

第二章 日球……………二四

第一節 日球與地球之距離……………二四

第二節 日球之直徑面積及體積……………二六

第三節 日球之質量密度及引力……………二六

第四節 日球之運動……………二八

第五節	日熱及其原始	三一
第六節	日光	三九
第七節	日面之組織	四三
第八節	日中黑子	五一
第九節	日面諸現象之關係	五八
第三章	日球月球與地球之關係	六〇
第一節	潮汐	六〇
第二節	日月蝕	六八
附錄	參考書目	七八

日球與月球

第一章 月球

天空諸曜，居地球上視之，其最足以動人心目者，日球而外，厥惟月球。關於月球之研究，往昔希臘學者，早已注意，奈當時科學之知識極爲幼稚，月球與地球之距離及其軌道之形狀，皆不得而知，故月球之研究，亦無從着手。迨後數學物理學之知識進步，此種自然現象，始能明瞭焉。

第一節 月球與地球之距離

月球與地球之距離，昔日之天文學家，視爲至難解決之問題。及天文幾何學發明後，則解決此問題者，直易如反掌耳。降及今日，計算之方法良多，其最淺近者爲地平視差法，今請述之於次：

設在第一圖中，O 為地心，A 及 B 為在地面同經度上之兩點。在 A B 二處，各垂一鉛直線 (plumb line)，則二鉛直線之延長線，相交於地心。A O 與 B O 為地球之半徑，以 r 代之。同時在 A B 二處，測得此二鉛直線與月球 M 所交之角為 θ 及 θ' 。連接 A B, A M, B M, O M 諸直線，依三角定律，得：

$$\frac{AB}{\sin \alpha} = \frac{r}{\sin \beta}$$

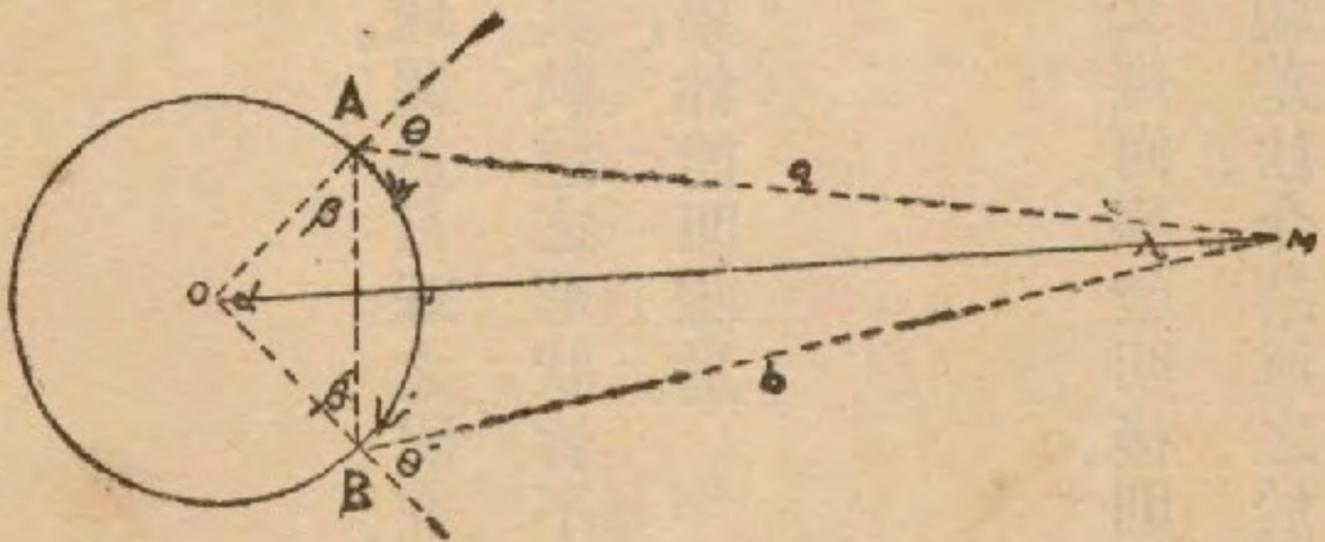
$$\therefore AB = \frac{r \sin \alpha}{\sin \beta}$$

因 A B 弧之距離為已知，故 α 亦為已知。於是：

$$\beta = \beta' = \frac{\pi - \alpha}{2}$$

$$\psi = \pi - (\theta + \beta)$$

$$\psi' = \pi - (\theta' + \beta')$$



第一圖

845

$$\lambda = \pi - (\psi + \psi')$$

在三角形 ABM 中，AB 直線， ψ 、 ψ' 及 λ 諸角，皆為已知，而：

$$\frac{a}{\sin \psi'} = \frac{AB}{\sin \lambda}$$

故

$$a = \frac{AB \sin \psi'}{\sin \lambda}$$

又

$$\angle OAM = \beta + \psi = \pi - \theta$$

故再依三角定律，得：

$$OM = \sqrt{r^2 + a^2 - 2ra \cos \angle OAM}$$

OM 即為自地心至月球之距離也。迭次測得月球之地平視差，最小為五十三分四十八秒，最大為六十一分三十二秒，平均為五十七分二秒。代入上式，則求得月球與地球之距離，最遠為二五二、九七二英里，最近為二二一、六一四英里，平均為二三八、八四〇英里。



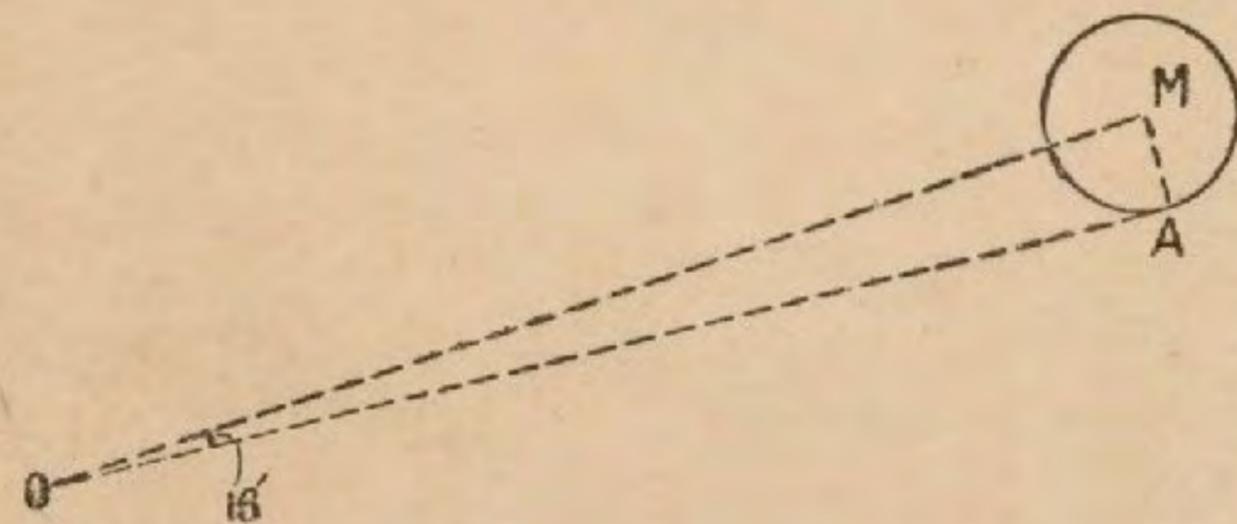
第二節 月球之半徑面積及體積

既知月球與地球之距離，則求月球之半徑，事極易易。天文學家測得月面之平均視半徑，以角度計之，為十六分。設如第二圖，以O為在地球上觀月球之一點，M為月球之中心，作MA垂直於OA，於是

$$AM = OM \sin 16'$$

OM為地球與月球之距離，解上式，得AM等於一、〇八〇英里，約為地球半徑四分之一。依幾何學定例，球體面積之比，等於直徑之平方之比，則知地球之面積為月球之一三·四倍。又球體體積之比，等於其直徑之立方之比，則知地球之體積，為月球之四九·三倍。

第三節 月球之運動



第二圖

月球爲地球之衛星，故繞行於地球之外，無時或已。在地球上視之，月球乃爲昇自東而落於西者；但對衆星而言，則其運行乃爲自西而東也。其運行之軌道，自古名爲白道。白道與黃道（昔人謂地球居中，日球繞地球而行，日球所行之軌道，名爲黃道；今姑移指地球繞日球所行之軌道，）有五度九分之交角，與天赤道有二十五度三十六秒之交角。白道與黃道之交點有二：當月球向東行，經黃道自南而北之點，謂之升交點（ascending node）；自北而南之點，謂之降交點（descending node）。二交點適居相對之二面，相距爲一百八十度。

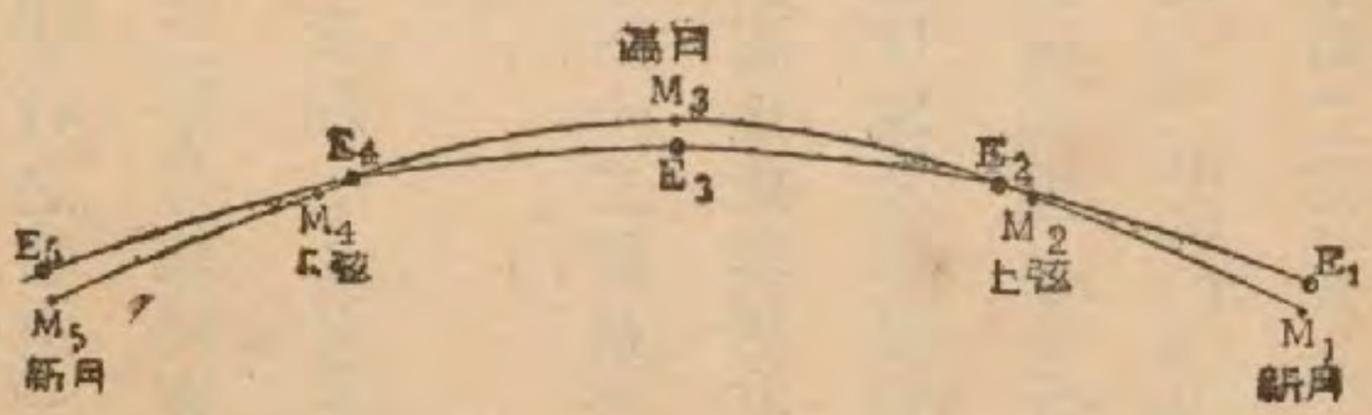
吾人居地球之上，觀月面之視徑，在一月之中，時有改變，最大爲三十三分三十二秒，最小爲二十九分三十一秒，故知月球與地球之距離有長短之不同；換言之，卽白道非正圓，地球非居其中心。據精密之計算，白道乃呈橢圓形，地球居橢圓焦點之一；其成橢圓之原因，乃爲日球及行星對之亦有吸力故也。白道距地球最遠之點，曰遠地點（apogee），其距地球最近之點，曰近地點（perigee）。

月球與地球之距離，平均既係二三八、八四〇英里，則計得白道之長爲一、五〇〇、八一八英里，以此數爲恆星月（見後）之時間所除，得月球在白道上進行，平均每小時二、二八八·八英

里，亦即每秒三、三五七英尺；由是得知月球繞行地球一週之時間，為二十七日六小時。

白道之形為橢圓，已如上述。但地球又公轉於日球之外，則月球勢又不能不隨地球而動，故在天體上視之，白道乃非橢圓。吾人已知月球與地球之距離，為二三九、〇〇〇英里，其與日球與地球之距離九三、〇〇〇、〇〇〇英里相比，不過為四百分之一耳。又地球繞日球所行之速率，較月球繞地球所行之速率，大三十倍，故月之軌道之形，呈第三圖之狀矣。設以一百英尺為半徑之圓為黃道，則月出入於此圓周者二十五次，而與圓周之距離不過四百分之一英寸也。

月球對向地球之半球之形狀，永無更改，故月球乏自轉運動之說，膾炙於昔人之口。然月果無自轉乎？曰，非也。月球所以常以一面向地球者，乃因月球自轉一周所需之時間，與公轉一周所需之時間，為相等也。此可設例以明之：如以地球儀置一圓



第三圖

桌之上，人立於桌側，面地球儀循桌自西向東而行，設其人在出發點時面部向東，則行半周後，面雖仍向地球儀，而已轉向西矣。故行至一周後，面之方向，已由東而北，而西，而南，復回至面東，而旋轉一周。由是，得知人身繞桌行一周，其所向之方向亦旋轉一周。月之自轉，亦猶如是。故在地球上見月面之形，自古以來，未之或改，背地球之面，則永不能見也。

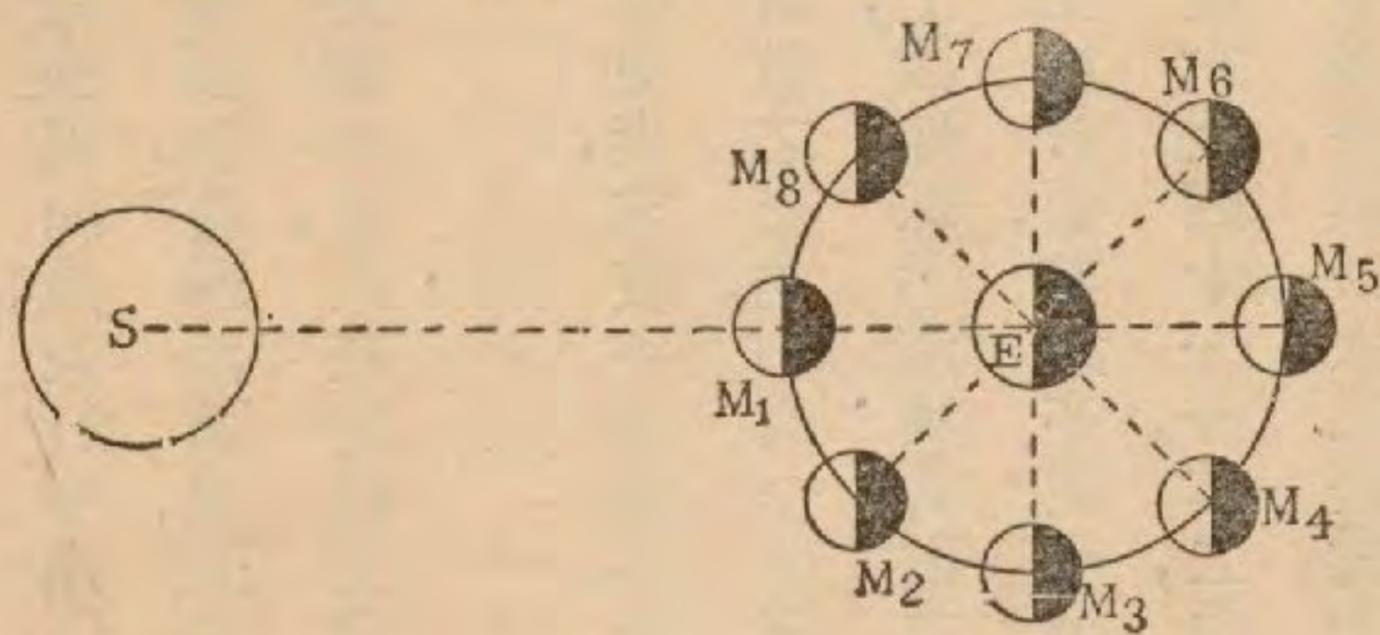
月面雖常以一面向地球；然自地球上精細觀之，則月面爲吾人所見者，常較半面爲多，此中原因，約有三端：其一，白道與黃道之交角平均爲五度九分，月球赤道與黃道之交角，約爲一度三十二分，則月球赤道與白道之平面之交角爲 $5^{\circ}9' + 1^{\circ}32' = 6^{\circ}41'$ 。在地球上，因地球赤道與黃道之平面相交，日光射入南北兩極，因時節而有改變；但地球亦能反射日光以至於月面，其光亦能交換射入月球兩極六度四十一分之處，於是居地球之上，得以交換見月面兩極六度四十一分。其二，白道之狀爲橢圓形，則月球在近地時行速，遠地時行緩，於緩速之間，所見自有多少，其最大之差爲七度四十五分。其三，地球半徑爲月球與地球之距離五十分之一，或六十分之一，則望月球之東西二邊，因地徑之長而增多一度。有此三因，故使月面永不能爲人所見者，僅有百分之四十一，而常能爲人所

見者，亦為百分之四十一，其忽隱忽現，遞次為吾人所見者，則為百分之十八也。

月球對地球有吸潮之力，此種吸潮力，實有減少月球公轉速率之可能性，由是昔日月球公轉之速率當較現日為速，而日後將漸形遲緩；但事實上是否如是，現仍難能證明也。

第四節 月面朔望盈虧之理

月體不能自行發光，乃反射日光以為光。但月球乃周行於地球之外，於是其受光之面射於地球者，亦生不同，故遇朔而晦，當望而盈也。欲明其理，可藉第四圖以解釋之。設 S 為日球，E 為地球，M 為月球。當月球在 M_1 ，則自地球上觀之，有如第五圖之 a，其面部完全無光可見，蓋日月地三球適居於一平面之上，而月球又間於其中，月球之受光面，不能反射於地球之上，斯時為陰曆之三十日，是曰晦日。月球行



第四圖

其軌道八分之一至 M_2 ，則有小部分之光反射至地球，居地球之上，則得見一弓形之光如第五圖之 b 。月球行其軌道四分之一至 M_3 ，則其面地球之部，光暗各半，斯時爲上弦，如第五圖之 c ，約爲陰曆之初七八日。月球行其軌道八分之三至 M_4 ，則大部分之光面地球，如第五圖之 d 。月球行其軌道二分之一至 M_5 ，則日月地三球又居一平面之上，而地球間於二者之中，月球之受光半球，完全面地球，在地球上視之爲滿月，如第五圖之 e ，斯時爲陰曆十五日，是曰望日。自此以後，月球復向前行，則其光又漸缺。及至 M_6 ，仍以大部分之光向地球，如第五圖之 f 。及至 M_7 ，則面地球之部仍光暗各半，如第五圖之 g ，斯時約爲陰曆之二十二，二十三日，是曰下弦。至 M_8 ，復以小部分之光面地球，如第五圖之 h 。月球過此，復回至 M_1 ，以其全暗之半球向地球，是曰新月 (new moon)。月自 M_1 出發，復回至 M_1 ，爲對於地球公轉一周，亦卽其自轉一周也。

居地球之上，視月球之盈虧，既如上述。反之，居月球之上，亦能見地球之盈虧，蓋地球亦反射日光以入於月球也。但在月球上視地球之盈虧，適與居地球上所見月球之盈虧相反。如在地球上視

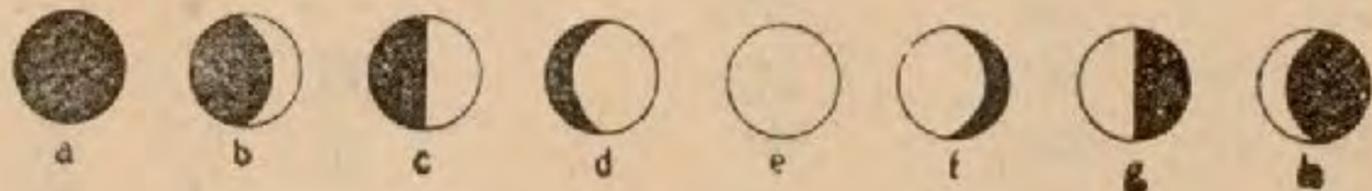


圖 五 第

月，面爲滿月，則在月球上視地面爲新月；換言之，卽地球之光部與月球之光部相加，必等於一常數，卽一百八十度。

曆家以三六五·二五日爲一年，而朔望月（見後）爲二九·五三八八日。設以一九乘前數得六九三九·七五日；又以二三三五乘後數，得六九三九·七五六八日。二數相差，僅〇·〇〇六八日，不及一句鐘；故某年某日爲望日，則十九年後是月是日，亦必爲望日，故稱月十九年一章也。

第五節 恆星月與朔望月

月球公轉一周所需之時間，約爲二十七日有奇，但月面盈虧一次，爲時二十九日半，此中相差約有二日，其相差之原因，科學家解釋之如下：

黃道爲三百六十度，地球每月行其十二分之一，卽三十度。設第六圖S爲日球，E爲地球，M爲月球，當地球在E，M適居於日球與地球之間，卽爲新月。及地球行二十七度餘至E'，則月球已自轉一周，但在天體上，月球僅能抵M，而不能達A（圖中EM與E'M爲平行，）此時在地球上視之，方

爲二十七日有奇，須月球自M'至A時，始爲新月。計月球自M'至A，需時二日餘。故其盈虧一次之時間，較公轉一周之時間多二日；由是月 (month) 有二種，科學家定月球公轉於地球一周所需之時間，曰恆星月 (sidereal month)，自此朔至彼朔，或自此望至彼望，所需之時間，曰朔望月 (synodical month)。恆星月一月爲二七日七小時四三分一·五秒，亦即爲二七·三二一六六日。朔望月一月爲二九日一二小時四四分二·八秒，亦即二九·五三〇八八〇日。普通吾人所謂一月，即指朔望月而言也。

今求二種月之關係，可設以M爲恆星月，則1—M爲月球每日之移動；E爲地球繞日球行一周之時間，則1—E爲地球每日之移動；S爲朔望月，則1—S爲月球每日之移動。故得下式：

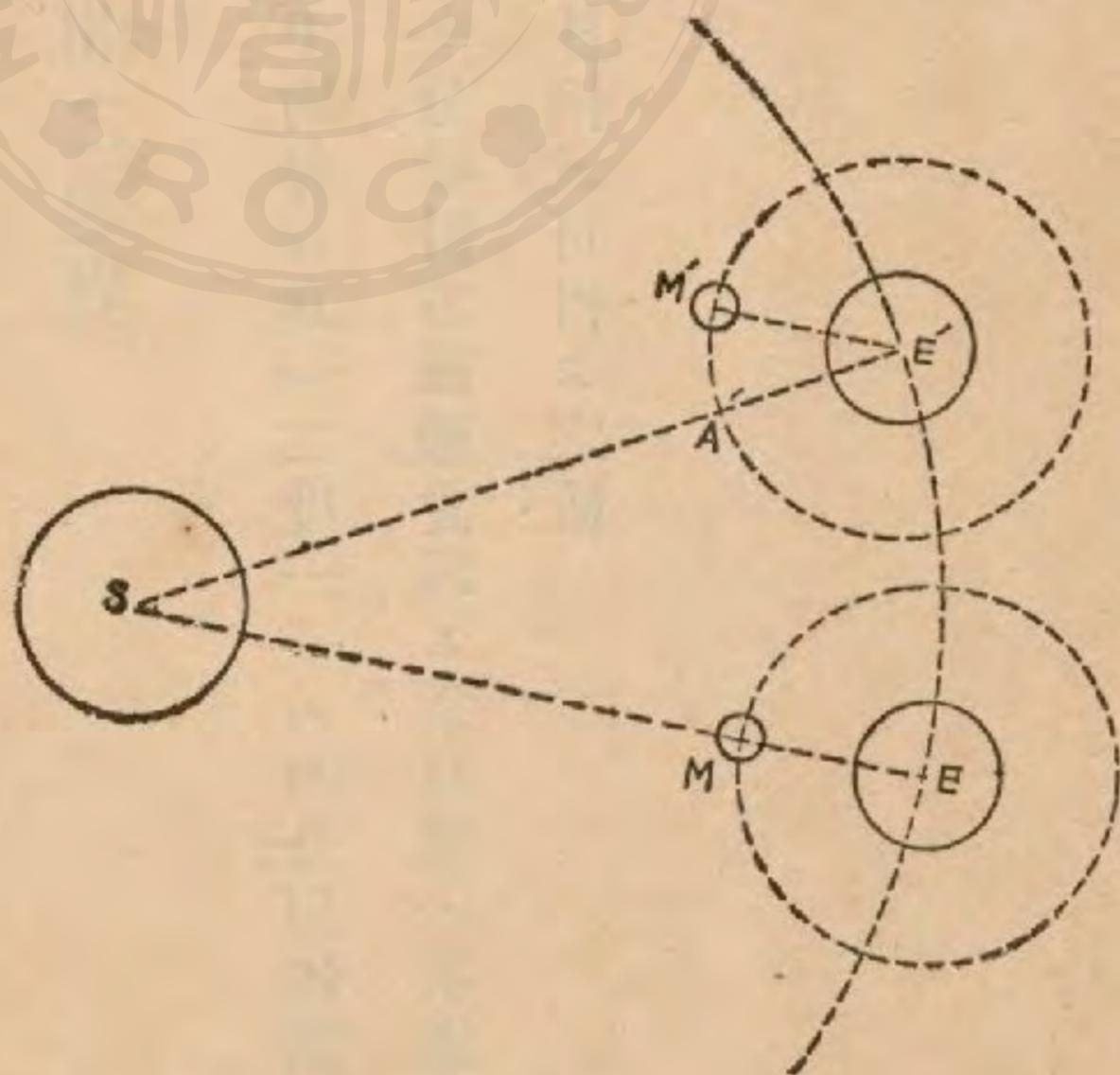


圖 六 第

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

在此式中，E與S為已知，故M即可求得。若求朔望月，將測二次月蝕為當日何時，以兩次月蝕相距之月數，除其相距之日數，即可得之。

第六節 月球每日過子午線時間之差異

自地球視之，月球行動，較日球為速，以角度計之，平均每日為一二度一一·四分；以鐘點計之，約為五十一分。即月球每日過子午線之時間，遲五十一分。欲計其確數，設以x為自第一次過子午線及第二次過子午線其中所需之時間，則解下列之比例式，可得x之值：

$$(360^\circ - 12^\circ 11.4') : 360^\circ = 24 \text{ 小時} : x$$

$$x = 24 \text{ 小時 } 50.6 \text{ 分}$$

第七節 月球之質量

求月球之質量 (mass) 之方法頗多，茲將其最便利者，略為述之。設以 E 為地球，M 為月球，C 為地球與月球之公重心，以 x 代 EC，r 代 EM，則因地球之質量乘地心與地月之公重心之距離，等於月球之質量乘月心與地月之公重心之距離；

故得

$$x \cdot E = (r - x) M$$

已知

$$x = 2,886 \text{ 英里}$$

$$r = 23,862 \text{ 英里}$$

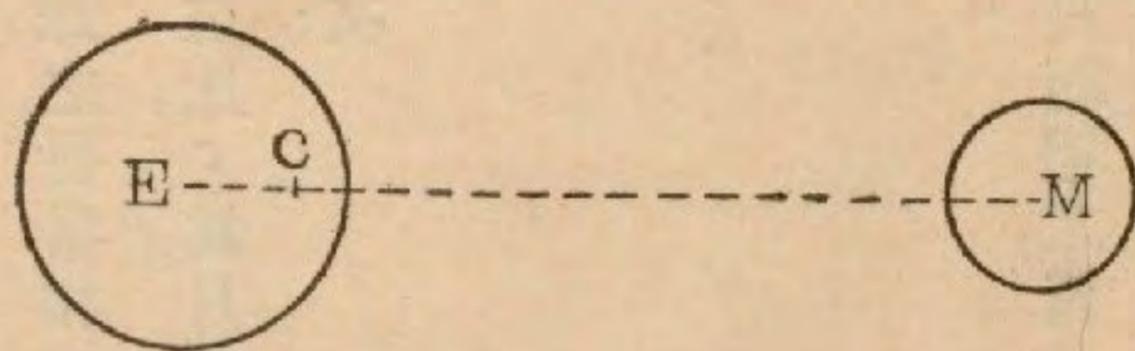
代入計算之，得

$$E = 81.8 M$$

即地球之質量，為月球之質量之八十一倍餘。

第八節 月球之密度及其吸力

地球之體積，較月球之體積，大五十倍；而地球之質量，又較月球之質量，大八十一倍半。依物理



第七圖

學定例，密度等於質量與體積之比。設以水之密度為單位，則地球之密度為水之五·五倍，月球之密度為水之三·四倍，較地面地殼巖石之密度略大。天文學家與地質學家，咸主月為自地球中分出，由其密度而觀之，或為由地球之外部而分出，蓋其密度與地殼巖石之密度相近似也。

苟月球之半徑與地球相等，則在月面之吸力，必較在地面之吸力，少八十一倍。但月球之半徑，較地球之半徑為小，則其吸力又當較少地球八十一倍為大。苟地球之質量與月球之質量相等，則在月面之吸力，必十六倍於地球。合此二條件，以M代月球之質量與地球之質量之比，r為月球之半徑與地球之半徑之比，g為在地面之吸力，g'為在月面之吸力，則得方程式如次：

$$g' = g \frac{M}{r^2}$$

M及r為已知數，代入之，則得：

$$g' = \frac{g}{6}$$

即在地面之吸力，較在月面之吸力大六倍。如有物體，在地面權之為重六磅，則在月面權之，僅為一

磅。如有人在地面可跳高五英尺，則在月面可跳高至三十英尺。科學家以爲月面如有人類存在，則其人類平均之高，亦當六倍於地球上人類之高也。

第九節 月面之空氣問題

天文學家觀測月體邊界，絕無折角，又不見有雲霧，亦不見具朦朧之影，凡空氣應有之現象，皆未之見；又天空諸光星，行經月球時，其光不在球面略折，其熠熠之光線爲月球所掩蔽時，突行隱沒；又當日蝕時，日光之傍月過者，亦不成光環；凡此種種，皆足以證明月面乏空氣之存在，否則其空氣亦當異常稀薄也。英國格林維基 (Greenwich) 天文臺，曾作極精細之測量，謂恆星爲月球所掩蔽之時，較推算月直徑及行動應過之時，竟差二秒，因此或有疑爲月面之薄氣折光所致者。但依此推算，則月面之空氣之密度，僅足爲地面之空氣之密度二百分之一，其氣既若是之稀薄，直可謂之無氣也。

月球與地球既同出於一源，則何以月面獨無空氣乎？科學家對此問題，議論紛紜，綜合之，約有

二端：其一，月面之巖石之原質與空氣之原質化合他種化合物，如地球上之巖石，含有多量之氫，此或為自空氣中吸來，月面之巖石亦復若是。其他，空氣之分子運動，無時或已，月之地心吸力極微，不能吸着其面部之空氣，則空氣分子終離月面而去。有此二因，故月面無空氣矣。

月面無空氣，自當無水，即或有之，早當氣化矣。蓋水不能離空氣而獨存，水既不存，則月面無侵蝕 (erosion) 及風化 (weathering) 之作用。其中之高山，仍得保持其尖銳之峯。故月面除火山灰而外，恐無其他之塵土焉。

第十節 月光

月光經分光鏡分析以後，所顯之光帶，與日光無異，故知月光之來源，乃反射日光者也。地球與日球之距離，與月球與日球之距離，平均可謂相等。由是，則月面每單位面積所得之日光，與地面每單位面積所得之日光，必相等。據科學家之計算，當滿月之時，設月面完全反射日光，則其光亦僅足日光之十萬分之一。但月面有盈虧，而且僅能反射其所得之光之六分之一，則其所達地球之光，當

更在十萬分之一以下。欲作精確之計算，殊非易事，據策爾涅（Nöllner）之測量，謂在滿月之時，日光爲月光之六十萬八千倍；赫瑞勒（Sir John Herschel）作更精密之計算，謂日光爲滿月時月光之四十六萬五千倍。但在上下弦時，月光之強度，僅爲望時八分之一；至月晦，其光更弱。且月面因有粗糙與光滑之不同，所反射之光線，亦當彼此明暗各異。總之，在一月之內，地球上所得月光之平均量，僅能爲所得日光二百五十萬分之一；換言之，地球上在十三秒鐘內所得日光之總量，猶多於在一年內所得月光之總量也。

地球亦有反射日光之能力，故居月球之上，亦可見地光。設地球反射日光之能力與月球相等，因地球之半徑四倍於月球，則地光當十六倍於月光。但地球之上，有海洋冰雪，其反射光線之能力必強於月，故自月面觀地光，可較自地面觀月光強至二十倍。每當新月之後，月面現其弓形之光時，其黑暗部分，有微光可見，此乃因地光射入月面，月面復反射地光，以入地面也。

第十一節 月面之溫度

月面之溫度，由其吸收熱之量，與其反射熱之量，及放射熱之速率而定。考月面反射熱之量頗微，約爲百分之七，此與溫度無甚應響。其餘百分之九十三，則爲月面所吸收，而升高其面部之溫度。但月面物質反射熱之速率，以未知其物質之成分，及物理的情形，無從精確知之，惟能在月蝕時知其概略而已。據實驗，得知月蝕時，月面之溫度銳減，於此可知月面反射熱之速率極強，最近味立(Very)之計算，謂月面之最高溫度，當在華氏溫度計二百度。

設以地球自轉一周二十四小時爲一日之單位，則月球上之一晝夜，必爲二十八日半。又月面乏空氣，日間之熱，不能保持至夜間，當日落之後，十四日後，始能再見日光。由是月球上夜間之溫度，必爲極低，約居華氏溫度計零下一百度。月面之溫度，晝夜之相差竟至三百度，卽有空氣，亦無物能生存也。

第十一節 月面之形狀

近世望遠鏡進步，天文事業隨之而興，最大之望遠鏡，窺測月面，猶移月球置於數十英里之處，

故對於月面之形狀，瞭若指掌。且可藉此攝影，以便研究。第八圖即爲業岐茲天文臺 (Yerkes Observatory) 所攝月球之影也。

月面重山疊嶺殊少，惟火山口 (crater) 則無數，深廣無倫，平原大者約有八九，科學家以歷史上之天文學家，哲學家，及科學家之名以名之，并製有形勢圖，以示區別（參看第九圖。）

月面之山脈，以其面地球之半球而言，有十大山峯，以乏侵蝕之故，極形險峻，高達二萬英尺以



第 八 圖

上，其所以如此高出月面者，乃因月球吸力微小也。計算月峯高度之法，頗為簡單，即由望遠鏡中先量峯影，後量明暗界，及暗界內白點之相距，而後以比例計算之。

月面有火山口，名提阿非羅

(Theophilus)者，其中心一高峯，自底

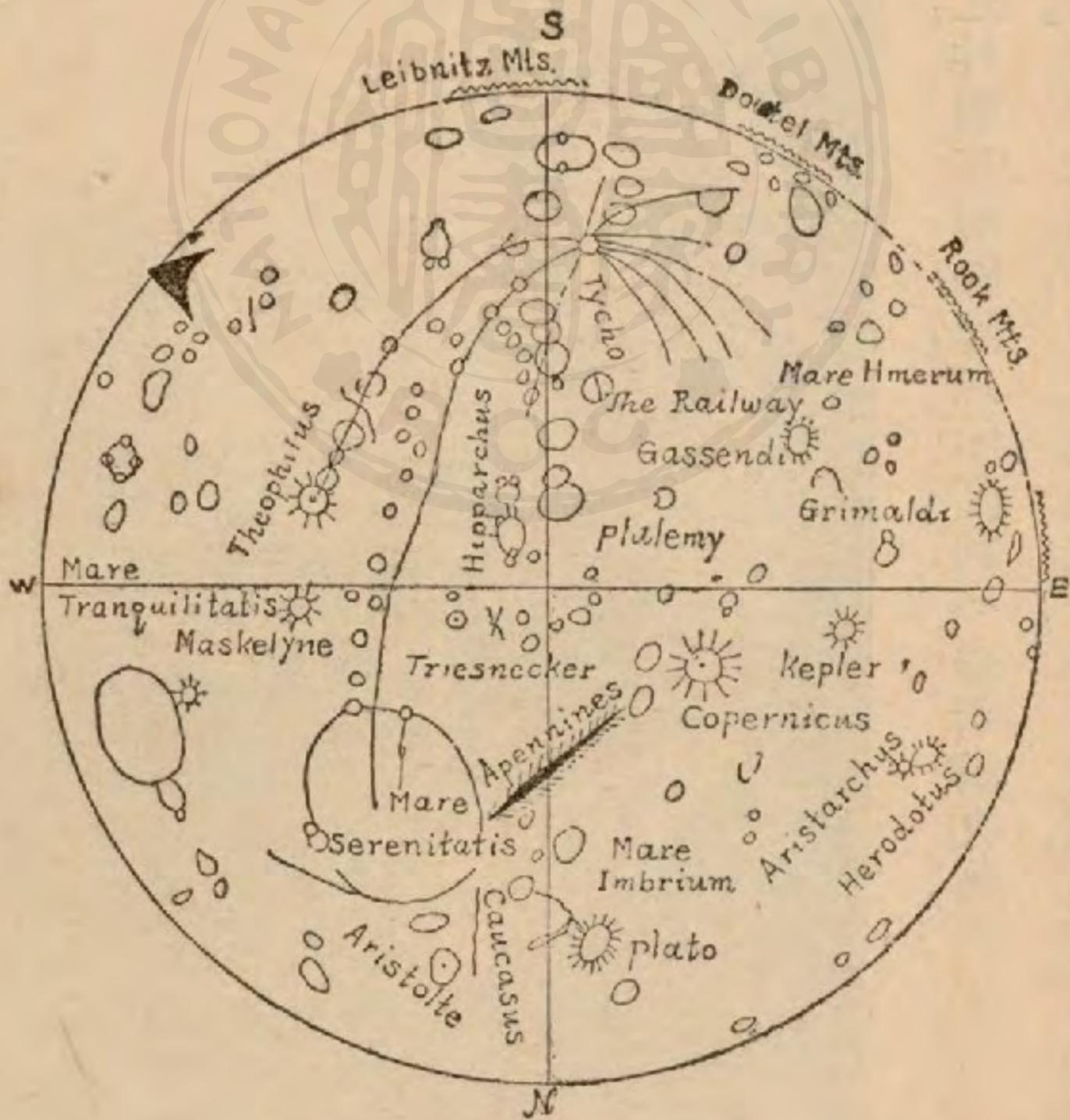
至巔，為一萬六千英尺。在地球之上，計

山之高，皆以水平面為標準，如美國著

名之高峯，派克峯 (Pikes Peak) 高

出水平面，亦不過一萬四千英尺，則其

居月面高山之下也，遠矣。



第九圖

月面之火山口，爲數極多，當在三萬以上。新者掩舊，古跡兀然。新者有居於舊者邊緣之上，亦有居於舊者之正中者。新者之底，常較舊者爲深，而其邊緣更爲崎險，中心有極高之峯者，亦時見之。火山口之直徑，常自五十英里以至六十英里，而間亦有超過一百英里者。例如托勒密火山口 (Ptolemy)，廣過一百十五英里，提阿非羅火山口，廣六十四英里，深至一萬九千英尺，此種大火山口，在地球之上，未之或見也。

關於火山口之成因，世無定論。設眞爲火山噴發之口，則自能觀察月球以來，未見月面有火山活動，更在火山口之四周，亦未見有熔巖流 (Lava stream) 之存在，故此爲眞正火山口之倡議，已難完其說。亦有主張火山口之成因，乃月球內部聚集極多量之氣體，此氣體一旦外噴，則成口穴；但火山口中，有山峯之高聳，此山峯之來源，則又不能解釋之矣。

吉耳柏特 (Gilbert) 謂此火山口之成因，爲流星下落所致。在今日地球之面，重千百噸之流星，一日之間，下落者數當千萬，而在昔日，或更數倍之。地球之外，包有高約三百英里之空氣層，隕石與空氣相摩擦，即發極大之熱而燃燒，終難至於地面。但在月面則不然，蓋月面外部乏空氣層，流星

可直觸月面，當其下落時，速率極大，五十倍或百倍於槍彈之速率，則月面爲其所陷落，且其與月面相摩擦之熱，亦足以熔四周之巖石。至其中心山峯之生成，或爲月面受下擊時所起之反動力所致也。

大火山口之上，以泰綽 (Tycho) 及哥白尼 (Copernicus) 爲甚，光輝四射，而滿月之時尤顯。其成因有謂係熔巖流反射光線，亦有謂月面之裂隙，後爲其下部之淺色物質所塞而成，故易反光。

此外尙有壑道 (Rills)，長數百英里，廣可一英里，深則爲廣度四分之一，數以千計，旋折於羣嶺之間，且有直過火山口而不改其寬袤者。此種壑道之生成，或爲月面受火山噴發時之震動所致，或爲由月球冷縮時而生也。

由是觀之，足知月球乃爲一死星，窮數百年之力而考之，絕不見其面部有何改變。雖胥米脫

(Schmidt) 謂塞勒拏海 (Mare Serenitatis) [Maria 爲海之意，伽利略 (Galileo) 初名之，今仍其舊] 中之林內 (Linne) 小火山口，在一八六六年，忽然不見，後乃復現。畢克靈 (Pickering)

主月球有生物之說，但未能使人深信，此或爲光線之作用，並非其真有變動也。故月球之上，設有生靈，久已寂滅，動植俱死，漠然大塊，居者其惟嫦娥歟？



第二章 日球

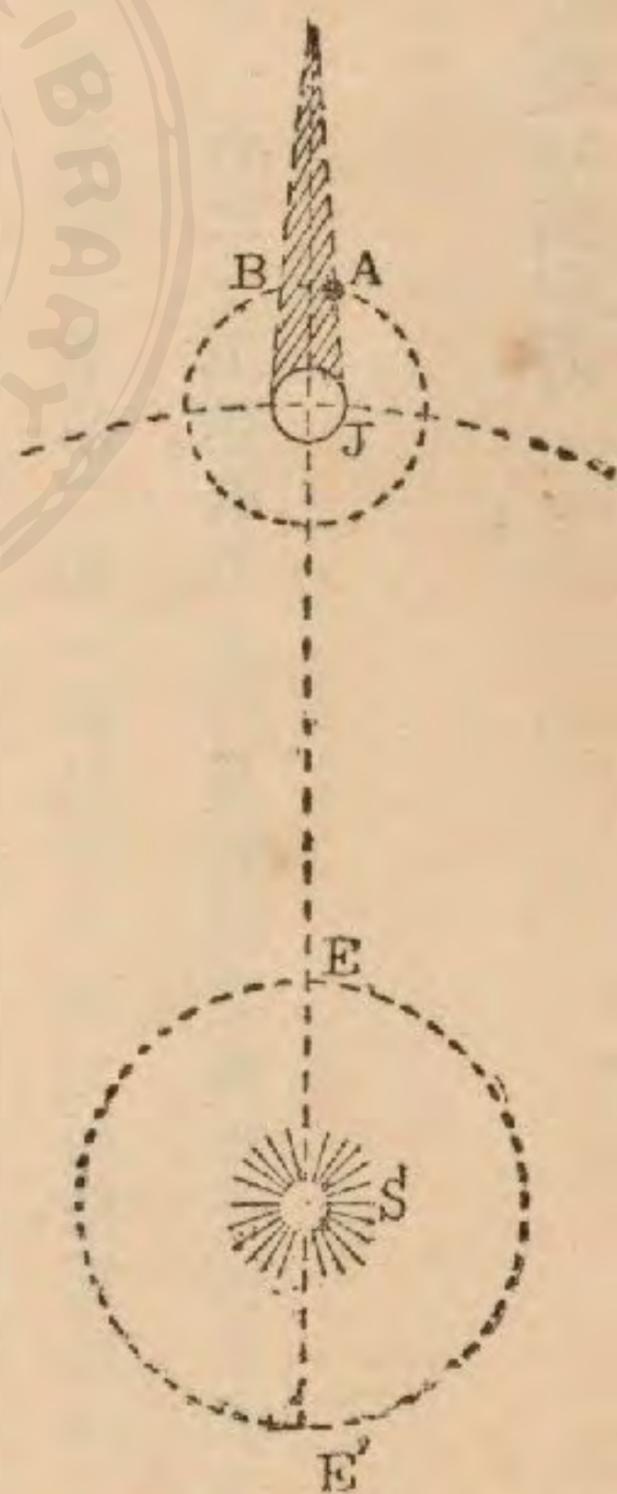
日球者，宇宙間恆星之一。爲自能發熱之火球。體積之大，雖居恆星界爲中級；然與其本系卽所謂太陽系 (solar system) 中之八大行星較，則偉大遠過之矣。其對於八大行星也，制之以力，溫之以熱，舉凡有生之物，莫不仰託焉。

第一節 日球與地球之距離

測日球與地球之距離，方法頗多。昔人有用地平視差法者（法與前測月球與地球之距離同）。然以日球與地球之距離遠大，此法自難準確。其最便利而且不失精密者，乃爲觀察木星之衛星蝕時所經過時間之長短，以推求之。

設在第十圖中，S爲日球，E、E'爲地球公轉於日球之軌道，J爲木星，A、B爲木星之衛星公轉

木星之軌道。當地球在E處，吾人觀察木星之衛星自A至B之時間爲a秒；至地球在E'處，觀察該衛星自A至B之時間爲 $a + 993$ 秒。可知光自地球軌道E端至E'端所需之時間爲九百九十八秒。但光每秒行一八六、三〇〇英里，故E、E'之距離，爲一八五、八七七、四〇〇英里。地球與地球之距離，等於E、E'之二分之一，即九二、九三八、七〇〇英里。然此數並非絕對準確，蓋地球公轉之軌道爲橢圓形，而日球又居橢圓焦點之一，日球與地球之距離，遠近時行改變也。據精確之計算，地球在近日點 (perihelion)，與日球之距離，爲九一、五〇〇、〇〇〇英里；在遠日點 (aphelion)，與日球之距離，爲九四、五〇〇、〇〇〇英里；平均約爲九三、〇〇〇、〇〇〇英里。苟以一晝夜能行一千英里之火車，自地面向日球進行，則需二百四十五年始達；日光放射，亦需八分十九秒，始能抵地球也。



第十圖

第二節 日球之直徑面積及體積

日球與地球之距離既爲已知，且測得日球之視直徑爲三十二分四秒，則日球之直徑不難求得矣。

$$\left. \begin{array}{l} \text{日球之直徑} = 2 \\ \text{日球與地球之距離} \times \sin \frac{1}{2} (32' 4'') \end{array} \right\}$$

解之，得日球之直徑約爲八六六、四〇〇英里，卽爲地球直徑之一百零九倍有奇。月球與地球之距離，爲二三九、〇〇〇英里，故納白道於日球之內，則距日面亦不過一半耳。既知其直徑，卽可求其面積及體積與地球面積及體積之比（參看第一章第二節。）結果，得日球之面積，爲地球之面積之一萬二千倍，其體積爲地球之體積之一百三十萬倍。合八大行星體積之總和，亦僅當其千分之一也。

第三節 日球之質量密度及引力

求日球之質量，可以地心引力與日球引地球之加速率相比而得。設以 g (g 爲每秒每秒三二·二英尺) 爲地心引力之加速率， f 爲日球引地球之加速率， r 爲地球之半徑， R 爲日球之半徑， m 爲地球之質量， M 爲日球之質量，則依引力定律，得下列公式：

$$f : g = \frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2}$$

解之，得

$$M = m \left(\frac{f}{g} \right) \left(\frac{R}{r} \right)^2 \dots\dots\dots (1)$$

但

$$\frac{R}{r} = 23,440$$

故

$$\left(\frac{R}{r} \right)^2 = 549,433,600$$

因

$$f = \frac{V^2}{R}$$

此處 V 爲地球公轉之速率，即每秒一八·四九五英里，則

$$f = 0.2333 \text{ 英寸}$$

故

$$\frac{f}{g} = 0.0006044 = \frac{1}{1654}$$

代入(1)式，得

$$M = m \times \frac{1}{1654} \times 549,433,600 = 332,000 m$$

即日球之質量，為地球質量之三十三萬二千倍。日球具如此重大之質量，故八大行星為其所制焉。依物理學定律，密度等於質量與體積之比，則求得日球之密度，為地球密度四分之一，而重於水一倍有半。

日球之引力與地球之引力之比，可以日球之質量為日球半徑與地球半徑之差之平方所除而得之。據計算，日球引力為地球引力之二十七倍半。設物體在地面權之，重為一磅；在日面權之，當為二十七磅半。又地面物體下墜時，起始之速率為每秒十六英尺；在日面，當為每秒四十四英尺。

第四節 日球之運動

日面有黑子，自西徂東而行，約二七·二五日，復反其原位，此乃日球自轉之明證也。但地球乃

繞行於日球之外，人居地球上觀黑子旋轉之時間，必非其真數，必旋轉之時間較少，始能適合。設T爲黑子旋轉一周之時間，E爲太陽年（年分三種：即太陽年（tropical year），恆星年（sidereal year），及近日年（anomalous year）。太陽年爲以此春分至彼春分，或此秋分至彼秋分，所需之時間爲一年，即普通所謂一年，）S爲人在地球上所視黑子旋轉之時間，則得下式（參看第一章第五節。）

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{E} = \frac{1}{S}$$

已知

$$E = 365.25 \text{ 日}$$

$$S = 27.25 \text{ 日}$$

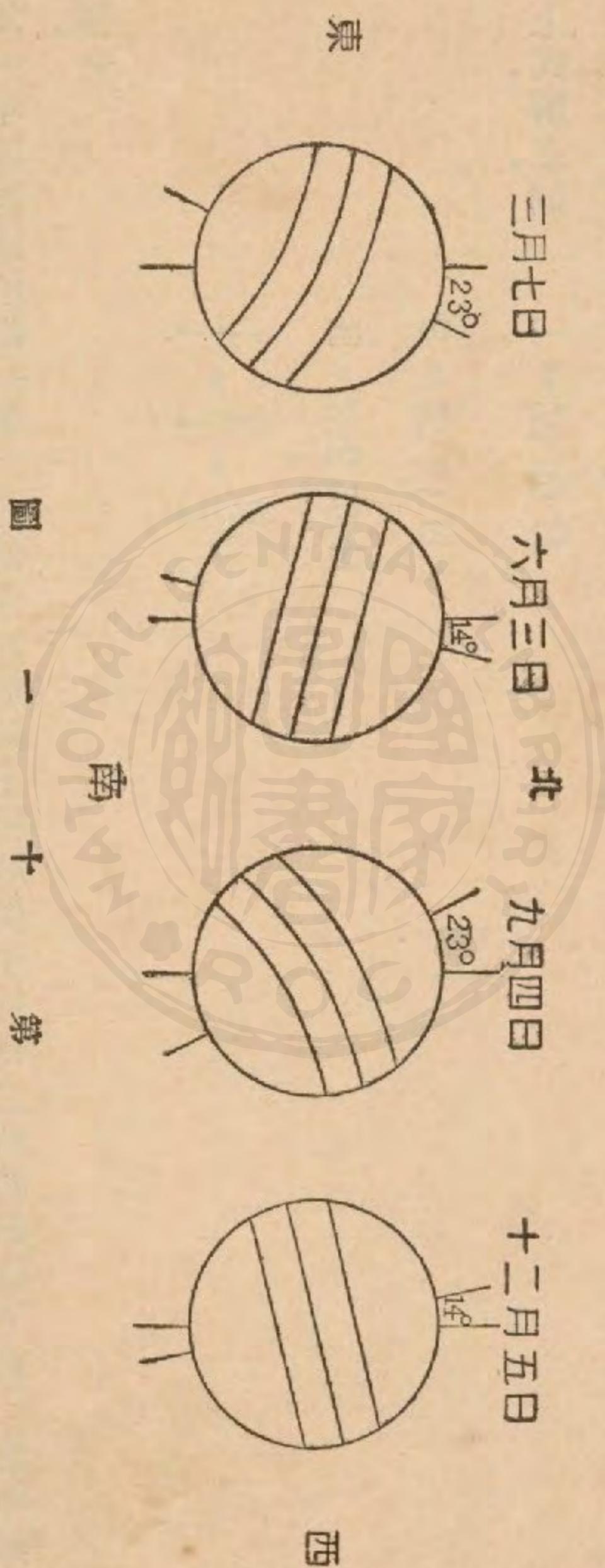
代入上式，解之，則

$$T = 25.35 \text{ 日}$$

故知日球自轉一周所需之時間，爲二十五日有奇。

天文學家測日面黑子之進行成橢圓線（如第十一圖，）足見日球貫南北兩極之旋轉軸，必

與黃道之平面斜交，以此推得日赤道與黃道斜交七度十五分，而與天赤道（即地球赤道之伸展而至於天體）斜交二十六度二十五分。



日球之自轉，尚呈特別之形狀，即日面上各處黑子旋轉一周之時間，依緯度而不同；在日赤道

上者，為二四·九日；在南北緯度二十度附近者，旋轉一周為二五·七五日；在南北緯度三十度附近者，為二六·五日；在四十度附近者，為二六日；在四十度以外，則以無黑子（見後）不得而知。於

此可見日赤道之旋轉，較兩旁爲速也。

日球除自轉之外，尙有帶領太陽系之全體，向織女星（Vega）進行；據多普勒定律（Doppler's principle）：若發光點距離增加，則光波之長（wave length）亦增加；若發光點之距離減少，則光波之長亦減少（其詳見後）。案色彩之生成，完全由光波之長短，而光波之長短，則由距離而異。天文學家考察織女星之光波，日行減短，而太陽系中諸行星之距離，仍未稍變；故知日球帶領太陽系之全體，向織女星而移動，其移動之速率，約爲每秒十二英里。

第五節 日熱及其原始

研究日熱，乃今日天文學上與地質學上之重大問題。蓋日熱乃爲一切能力之原始，舉凡近世工業及日用上之能力，如風，瀑布，煤等，莫不藉日熱之力而生成；此外生物之生長，陵谷之變遷，在在皆與日熱攸關；故天文學家及地質學家，窮其畢生之力以研究之。今請先論日熱之力，而後究其原始焉。

日熱自日球以達地面，其中須經過地球外部之空氣層，空氣能吸收熱，則日熱之量，不能無所損失，故欲求日熱之量，當先知日熱經過空氣層為空氣所吸收之量；而求熱為空氣所吸收之量，又當自高山之巔，氣球之上，及在水平面同時測量，然後互相比較，而計算之。始作此種試驗者，為蘭格力 (Langley)，曾在高一萬四千八百八十七英尺之輝特尼山 (Mount Whitney) 之巔及其麓，實行測驗，結果謂在天氣晴朗，日光直射之時，空氣吸收日熱百分之四十。據後人之精確計算，謂空氣吸收百分之三十五。天文學家阿保特 (Abbott)，否勒 (Howle)，及奧爾德立赤 (Aldrich) 輩，繼之研究，乃得結論，謂在地球表面空氣層之上，所得之日熱，每平方碼，在正午無雲之際，為一·五一馬力。

地球所受日熱之總量，等於為自以日球與地球之距離為高，地球直徑為直徑之圓筒之底之面積（以平方碼計）乘一·五一；依幾何學之理，底之面積為 πr^2 ，此處 r 為地球之半徑，即三、九五五英里，亦即為六、九六〇、〇〇〇碼，於是得地面所受日熱之力，有二三〇、〇〇〇、〇〇〇、〇〇〇馬力。依熱學定律，熱量與距離之平方成反比而計算之，則知日面每平方碼所

發之熱，當爲七萬馬力。其力與深十九至二十四英尺之白煤同時燒盡所生之熱之力相等。此種熱力，在一小時之內，當能溶二千二百英尺厚之堅冰，在二小時四十分之內，則能溶一體積如地球之冰塊，其力之大，誠無能駕其上者。

地球在太陽系中爲一比較細小之球，居日面以視地球，其視直徑之大，僅爲一七·六秒，而日熱乃六面射去，地球所受者，僅爲日球之全熱二千二百兆分之一，此外各行星，彗星，流星，所受日熱之總量，不出一萬萬分之一，其餘則散於天空，耗費無着。

日面之溫度，可藉斯提蕃定律 (Stefan's Law) 以求之。此定律謂物體放射熱之速率，與其放射絕對溫度之力成正比。但日球乃非一完全放熱者，其面部可分爲數層（見後），上層之溫度較下層爲低，日熱乃自最下層發出，當其經過上層時，未免爲其所吸收，故其放熱層之絕對溫度，由斯提蕃定律，惟能知其近似值，約居華氏溫度計一萬度以上。如此高熱，將無物遇之而不熔。其外部之溫度既如此，而其內部之高，更不待言矣。求日面溫度之方法，除上述者外，尙可依其放射不同光波之性質之比例而求得之。蓋溫度低之物體所放之光，比較的多紅光，而少藍光；苟溫度增加，則藍光

亦增加。故依此定律，亦可求日面之溫度。第以種種關係，殊難準確也。

古生物學家研究各時代之化石，據說自有生命以來，地面溫度，未常多變，於此可見日熱無多增減也。然日熱經過長久時間之耗散，至今仍未見稍損，其源果何在？自不得不精細研究之。關於此項問題，近世學者，議論紛紜。有謂日體為白煤所成，若然，燃燒一千五百年，則必無遺；此說無一顧之價值，已不待言。更有謂流星下落日面，而生熱者。據力學定律，物體運動，止之必生熱。設以Q為所生之熱量，M為物體重量，V為物體運動之速率，則得下列之公式：

$$Q = \frac{MV^2}{8339}$$

流星自無窮遠落於地面，平均速率為每秒二十五英里，其落於日面之速率，每秒當為三百八十英里。苟流星重一千克，則由上之公式，得知落入日面所生之熱，當有四五、〇〇〇、〇〇〇加路里。流星每晝夜間落入地面與空氣摩擦而燃燒者，為數不可計，而日球之面積較地球為大，其落於日面者，為數亦當十百倍之，故能發生極大之熱。然事實上與此種理論實有相反者，蓋流星之過日旁，勢

必受引力影響，有如彗星，不落日面，而繞行過之。且流星下落日面過多，則水金二星，必因之而呈擾亂之狀，但水金二星無此種現象，故此說又不足取也。

其較上說理由爲充足，而在十九世紀之末，爲各國天文學家所信託者，厥爲日體收縮生熱之理。吾人已知日體偉大，其引力較地球大二十七倍，其面部物質，受吸力之作用，勢必漸行下沉。但下部之物質與之相擠，於是生大熱。苟其各部下沉之速率相等，則各部所生之熱亦自相同。赫爾姆霍斯（*Helmholtz*），在一八五四年紀念大哲學家康德（*Kant*）時，發表其計算之結果，謂日球若每年縮短其半徑一百二十英尺，則所生之熱，足等於日球一年放射之熱。其縮小既如此之微，遠居地球上之人類，雖藉精密驗器之力，仍難覺察。蓋其縮小在地球上視之，經過一萬年後，僅少一秒也。故欲證明此種學說，誠非易事。一八七〇年，科學家李戴爾（*Ritler*）及雷因（*Laine*），考氣體失熱而縮，同時又因縮而生熱，其所生之熱，遠勝於所失之熱，但固體與流體則反是。由是，可以推至日體收縮所生之熱；日體中之氣體，因縮而生之熱，與其中之固體，流體，因縮而失之熱，可相抵，故溫度恆爲常數。

果如上理，則日熱必有開始之時，而將來亦必有停歇之日。蓋日熱與其半徑平方成反比，半徑之收縮，必有停止之一日，半徑之收縮停止，則熱亦終了。據科學家之計算，一百萬年後，日之半徑，必收縮一半，斯時日體之密度，當為今日之八倍，不能復為氣體；一千萬年後，則日體當成固體，無再縮之可能，此時之日熱，不足以溫地球矣。

近世化學進步，一日千里，原質有名為銾 (Radium) 者，發明後，則前此關於發熱諸問題，因之而別開生面，日熱來源之新學說，亦於是興矣。讀者欲明此新學說之先，不可不略知銾之特性。銾為最近法國女科學家居禮夫人 (Madame Curie) 所發明。其為物頗具種種奇特之作用，為近世化學中之重要原質。分佈極廣，礦石，海水中常有之。然為量甚少，地球上所有之總量，亦不過數克而已。其最著之作用，為放射性 (radioactivity)。吾人置銾於一暗室之中，即可見其發極明亮之光，他物質中若含銾數千萬分之一克，亦能顯放射性而放光。銾能變為鈾 (Uranium)，而其變化則甚緩。鈾經若干變動之後，其一部分亦仍為銾。而銾復行改變，最後變為氦 (Helium) 及鉛 (Lead)。日體中含氦極多，於此可見其中亦必有多量之銾與鈾。考銾變化時所生之熱，較同體積之白煤燃燒時

所生之熱，大二十六萬倍。若日球中八十萬分之一爲銩，則所發之熱，較現日之日熱爲尤大。然二千年之後，銩質可去一半，而熱亦減。反之，二千年前，日熱必倍於今日。如是則日熱仍爲期不長。若爲鈾質，則發熱極慢，不能得現時之日熱。但在日體中，熱力與壓力，皆非常之大，則銩與鈾兩質，或能發生一種副原子。若是，則日熱當可延長至億萬年也。

日熱之原始既如上述，然以何者之理由爲最充足乎？科學家藉地球之年齡以證明之。關於地球之年齡，各國天文學家，地質學家，生物學家，皆紛紛研究。但以各人之主見不同，終難得確實之定論。茲將各家之言，略而述之，以證日熱原始之學說：

物理學家克爾文勳爵 (Lord Kelvin) 就熱方面立論，以現時地球之溫度，求地球之年齡。蓋地球爲自日球中分出，當其初分出時，溫度極高，後漸低減；及至今日，地殼外表，已屬全冷。但每入地殼六十英尺，則溫度升高華氏溫度計一度。求得地殼溫度減低一度所需之時間，於是可得地球之年齡，約爲二千萬年。

繼克爾文而起者，有佐力 (Joly)，由海水中所含之鹽質，推求地球之年齡。蓋地球初冷之後，

空中氣體，凝爲水點，以充滿海洋。此最初之水，極爲純粹，絕不含有鹽質。但陸上各種巖石，含鹽甚多，雨水溶解之，而注於海。海水得日熱，化汽上升爲雲，而所含之鹽質，仍留於海中。雲復下降爲雨，溶解陸上巖石中之鹽，以入海。如此循環不已，故海水含鹽日多。迨至今日，而有百分之三·五。求得地球上海洋中鹽質之總量爲 15×10^{15} 英噸，復求得每年陸上溶下之鹽質爲 15×10^7 英噸；二者相除，則得地球之年齡爲一萬萬年。

然考巖石之構成，生物之進化，則此一萬萬年者，尙不足其數。於是達爾文 (Darwin) 及基啓 (Geikie)，復由水成巖以推求地球之年齡。蓋海底之泥，日久增積，得海水及上部泥土重大之壓力，又經過久長之時間，乃變爲巖石，是曰水成巖。考水成巖每增高一英尺，需時約自一千年至一萬年。但今日地球表面水成巖之厚，計有十萬英尺，故算得地球之年齡，在一萬萬年及十萬萬年之間。

由是觀之，地球之年齡，當在一萬萬年以上。然依日體收縮生熱之理，以推算日球在二千萬年以前，其直徑當遠過於黃道之直徑，故地球之年齡，當在二千萬年以下。此與一萬萬年，相差極遠。日體收縮生熱之理，似已不能成立。但銑質變化生熱之說，則日熱無年齡之限制，對於地球之進化，皆

能解釋。由是，日熱之來源，或爲銑質變化而生熱也。

第六節 日光

日熱既如此之偉且烈，則其所發之光，自當明亮。在地球上，當正午之時，日光約抵相距一碼之燭光六萬枝。苟再加爲空氣所吸去者，則足抵七萬枝。地球與日球之距離，苟以碼計之，爲一六三、六八〇、〇〇〇、〇〇〇碼。以此數之平方乘七萬，則得日面之光爲燭光之一、八〇四、六七九、九六八、〇〇〇、〇〇〇、〇〇〇、〇〇〇、〇〇〇、〇〇〇枝。苟與月光相比，亦當六十萬倍之也。

光線之進行，有光波；光波之長短，依色而有不同，如紅色光波之一波長，約爲一英寸之四萬分之一，紫色光線之一波長，爲一英寸之七萬分之一。其餘橙、黃、綠、青、藍等光線之光波之長，介於紅紫之中。此種光波與無線電所發之電波無異，不過其波長爲不同耳。

十九世紀之中葉分光鏡 (Spectroscope) 發明後，天文事業，因之大爲進步。故分光鏡之功用，

可與望遠鏡並駕齊驅。分光鏡之種類有三，然其原理，不外應用三稜鏡。三稜鏡能分析光波之長短，而成不同之光帶 (spectrum)。光帶中具有黑線，據此黑線，可以定光源之性質，及光源之進退。研究分光鏡原理之第一人，爲一八五三年翁斯特棧 (Angström) 及一八五九年，克希荷夫 (Kirchhoff) 繼之而起，結果發明定例數條。後人改爲四條，即所謂光線分析之四定律 (four laws of spectrum analysis)。茲述其略於次：

(一) 光線分析之第一定律 凡固體，流體，氣體，受極大之壓力，皆能發光。其光經分析後，所現光帶之強弱，因光源之熱度而定。反之，光源之熱度，可由其光帶之強弱而定之。

微 (Wien) 氏由此立式如下：(依實驗之結果，此式不適用於低溫度。)

$$\lambda = \frac{0.2076}{\pi}$$

式中 λ 爲光波之長，以英寸計之， τ 爲溫度，以華氏溫度計計之。例如太陽之熱，爲華氏溫度一萬度，則其強光波爲五萬分之一英寸。

(二)光線分析之第二定律 若光源爲受輕壓力而發光之氣體，則光帶中顯有明線，其線之互相關係。及其地位，因氣體之性質而定（間有與溫度、密度、電磁力、有關係者。）反之，若光帶中現有明線，則光源爲受輕壓之氣體，其氣體之成分，可由明線彼此之關係及地位而定之。

(三)光線分析之第三定律 設光源爲受大壓力之固體、流體、氣體，而其光線又經過較冷之氣體，則光帶中顯有黑線。若無經過此較冷之氣，則爲明線。反之，光帶中現有黑線，則光源必爲受大壓力之固體、流體、氣體，而且其光線曾穿過較冷之氣體，此氣體可以黑線之互相關係及地位定之。

(四)光線分析之第四定律 此定律爲多普勒所發明，菲棗 (Fizeau) 由實驗而證明之，故名爲多普勒定律 (Doppler's principle)，或曰多普勒菲棗定律 (Doppler-Fizeau law)。其定律曰：

若光源向受光處前進，即光源與受光處行相接近，則光帶中之線，向紫色而移。若光源離受光處後退，則光帶中之線，向紅色而移。光源進退之速率，與線之移動成比例。反之，若光帶中之線移向紫色，則爲光源向受光處前進；若光帶中之線移向紅色，則爲光源背受光處後退。線之移動，與光源

進退成比例。

第四定律之理由極爲淺明，蓋光源移近，則光波變短，光波變短，則線移向紫。同理，光源後退，則光波變長，光波長，則線移向紅。但此處所謂光源之進退，乃對受光處而言，故爲相對的，而非絕對的。讀者不可不注意之。設 $\Delta\lambda$ 爲光帶中之線移動之數， λ 爲光波之長， V 爲光源與受光處之相對的進退速率， V 爲光行之速率，則得公式如下：

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

已知 V 每秒爲一八六、〇〇〇英里，設 v 爲每秒一八·六英里，光帶中最長之光波較最短者約爲二倍，則其移動之數，爲光帶兩端之萬分之一，頗爲微細，非賴顯微鏡之力，難以量之。

今既知光線分析定律之大意，更請進而論日光之分析。研究日光之分析之第一人爲牛頓 (Newton)。彼發明日光爲七色所成，作牛頓七色板以證明之。一八〇二年，武拉斯吞 (Wallaston) 使光線經過極狹之窄孔，而得知日光中有七黑線。數年之後，夫牢因和斐 (Fraunhofer) 發現其

中有無數之黑線，在一八一五年，計其數有三百二十四條。於是此種線，即名爲夫牢因和斐線 (Fraunhofer lines)。後此克希荷夫，翁斯特棧，蘭格力及洛林 (Rawland) 諸氏，繼之研究，各有發明。洛林在一八九五年，出版其日光帶光波表 (Preliminary Table of Solar Spectrum Wave Length) 一書，計日光帶中之黑線，有一萬四千條，日光光帶除爲黑線所隔斷外，皆爲連續的，科學家根據洛林之一萬四千黑線（其中約有三分之一，爲地面之空氣所吸去）之地位，與實驗室所得之結果相比較，得知日體中所存之原質之種類極多，但依日面之層次而有所不同，其詳後當論之。

第七節 日面之組織

日面之組織，可分爲四層：(一)光輪 (photosphere)，顯有紅色之光，普通計算日體之大小，即僅指此輪而言。如第十二圖之 Ph。(二)在光輪之外，有煙層 (reversing layer)，爲諸層中之最薄者。如第十二圖之 R。(三)煙層之外，有色輪 (chromosphere)，如第十一圖之 K。(四)最外部之層

曰冠層或曰日暈 (CORONA)，如第十二圖之C。此外尚有日珥 (PROMINENCE)，如第十二圖之P，下起光輪，上入色輪。茲分別研究之如下：

(一) 光輪 天文學家以望遠鏡向日面觀察，則見日面黑地，光點衝突而出，有如白雪之落於灰色之布上，光點之廣，橫可五百至六百英里，中有小點極多。阿保特謂此乃光雲浮於稍暗之氣體中而成，他種解釋亦多，無暇罄述。光輪乃為放射光熱之層，此種光熱，當屬更自內部而來。光輪之中，尚有一最堪注意者，即有日中黑子 (sun spots) 存在。此種黑子，變化無常，說者謂有關於地球上之氣候，後當詳論之。

(二) 煙層 煙層乃冠於光輪之外，厚自五百英里至六百英里。案前述之光線分析定律，光帶

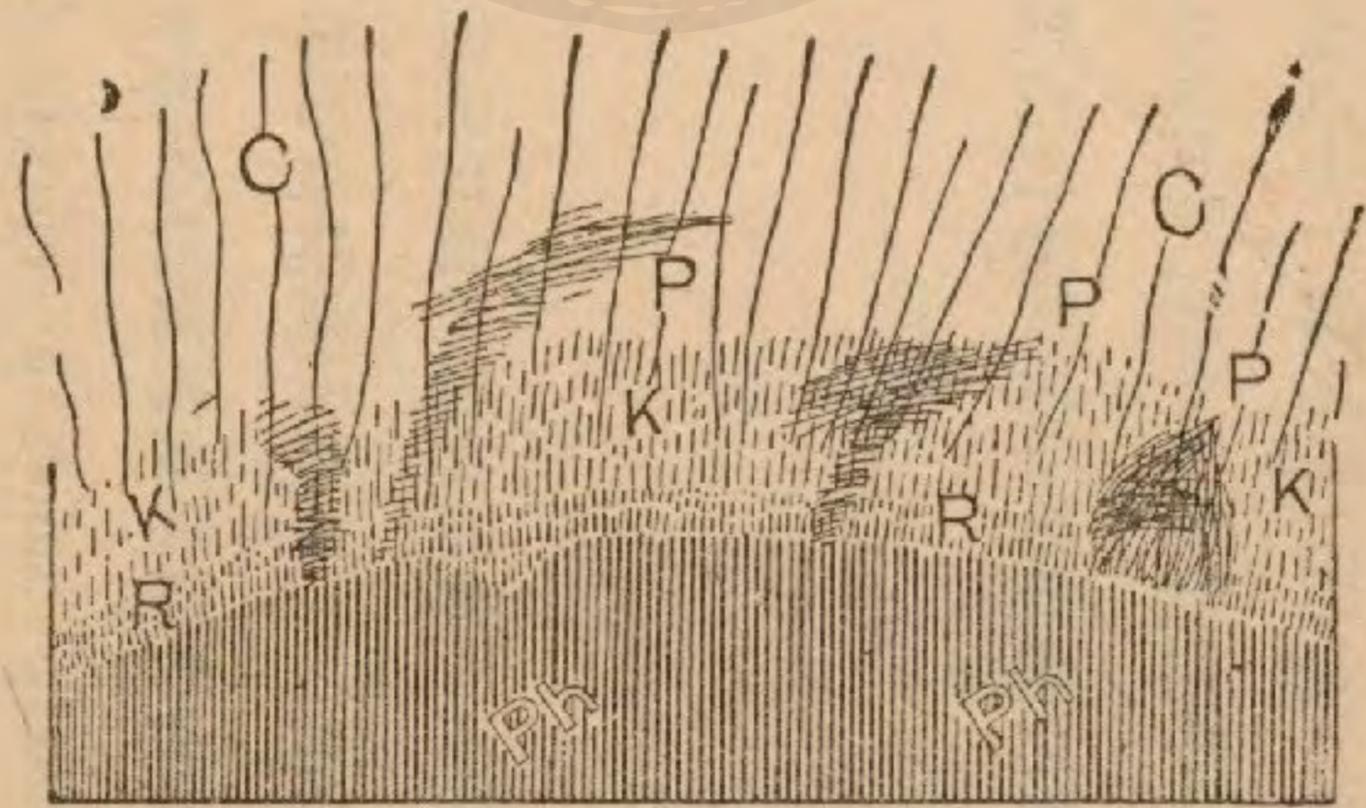


圖 二 十 第

中之黑線，乃光源各質之光線經過較冷之氣體而成。煙層之氣體，約較光輪爲冷。黑線之生成，卽在此層吸收光線而起。苟煙層之光，不受光輪投影之應響，則此黑線當盡變爲明線。一八七〇年天文學家楊（Young）氏，曾作一度之試驗以證明之。彼驗得當月正掩光輪之時，光帶中之黑線，盡變爲明線，於是此律遂定。

由洛林之研究，謂日光帶中有黑線一萬四千條，則測得日體中所確實存在之原質有三十八種。凡此三十八種，煙層之中，幾皆有之。茲將三十八種原質之中英文名稱，及其符號，與原子量，列表如下：

日體中存在原質表

中文名	英文名	符號	原子量
氫	Hydrogen	H	1
氦	Helium	He	4
鈹	Glucinum	Gl	9
碳	Carbon	C	12
氧	Oxygen	O	16
鈉	Sodium	Na	23
鎂	Magnesium	Mg	24
鋁	Aluminium	Al	27
矽	Silicon	Si	28
鉀	Potassium	K	39
鈣	Calcium	Ca	40
鎢	Scandium	Sc	44
鈦	Titanium	Ti	48
釩	Vanadium	V	51
鉻	Chromium	Cr	52
錳	Manganese	Mn	55
鐵	Iron	Fe	56
鎳	Nickel	Ni	59
鈷	Cobalt	Co	60

中文名	英文名	符號	原子量
銅	Copper	Cu	64
鋅	Zinc	Zn	65
鍺	Germanium	Ge	72
鐳	Strontium	Sr	88
鈦	Yttrium	Yt	89
鋯	Zirkonium	Zr	91
鈮	Niobium	Cb	93
鉬	Molybdenum	Mo	96
銠	Rhodium	Rh	103
鈀	Palladium	Pd	107
銀	Silver	Ag	108
鎘	Cadmium	Cd	112
錫	Tin	Sn	119
鋇	Barium	Ba	137
釷	Lanthanum	La	139
鈾	Cerium	Ce	140
釷	Neodymium	Nd	144
鐳	Erbium	Er	168
鉛	Lead	Pb	207

表中未見列有金，銻，鉑等諸金屬重原質，蓋日光帶中，未見有關於此種線存在，其原因或爲此種原質過重，遠沉於下層，而不能顯其線於光帶中也。此外氟 (Fluorine)，氯 (Chlorine)，溴 (bromine)，碘 (iodine)，硫 (sulphur)，硒 (selenium)，碲 (tellurium)，氫 (nitrogen)，磷 (phosphorus)，砷 (arsenic)，銻 (antimony)，硼 (boron) 等諸原質，亦未見有存在。天文學家，地質學家，皆主地球爲自日球中分出，何以地球上之物質，日球中不能盡有之乎？此實一疑問。或謂此類原質，存於光輪中。但光輪中原質之分布，當一九〇五年日蝕時，米恰爾 (Michelell) 曾自日光帶照片中研究之，聖約翰 (St. John) 更以多普勒菲棗定律發明之，亦未見有上述之原質存在。科學家乃設假設以解釋之，即輕原質上浮於日面，而重者則遠沉於體中，故重原質不能顯其線於光帶之中。但例外者自當有之，如原子量爲四十之鈣原質，反遠出而入於色輪，高達一萬英里，與氫原質相比肩是也。

(二) 色輪 色輪爲氣體，圍繞於煙層之外，高約自五千英里至一萬英里。光色深紅，爲氫及鈣燃燒所致。其光帶含有多數之線，有永久者，亦有暫時者。永久者約爲氫鈣及氦；暫時者無一定。氫原

質乃發明於日球，當一八六八年日蝕時，佐森（Joussen）發現色輪光帶中，突顯黃色線。至一八九五年，來木賽（Ramsay）研究，得知其爲氦原質，不但色輪中有之，即地球上，亦有之。

（四）冠層 當日全蝕時，其四周有光環可見，此光環即冠層也。冠層之高，約自二十萬英里至三十萬英里。而其外部之氣，則常伸至五百萬英里。此層之組織，並非如地面之空氣層，乃爲複雜之川流狀光線。其光之強，約三倍於月光，燦爛悅目，伊古以來，稱爲日冕。冠層形狀之改變，略具周期，即以十一年爲一次，此與日中黑子多寡之周期，似屬相同。當黑子最多時，冠層自各緯度外射，幾皆相等；苟黑子漸行減少，則冠層自兩極向黑子帶伸展；及黑子最少時，則冠層在兩極發短光，而在赤道附近發長光。

強有力之分光鏡，能分冠層之光線爲三種：其一，爲日體之光。其二，爲白光依光線分析之第一定律，得知白光爲由固體及流體之燃燒而成。其三，光帶中顯有明線；據光線分析之第二定律，得知明線爲氣體之燃燒。三者之外，尙有一種綠色光線；此光線之原質，在地球上尙未發現，或爲一種產於冠層上之新原質，科學家名之爲冠層質（Coronium），或曰鐸。

在今日之智識，對於冠層之解釋，惟有以爲含有塵點，流體團，及稀薄之氣體。阿立尼斯 (Al. Henius) 依冠層放射光熱之量計之，謂所謂塵點者，平均每顆，亦當十四立方碼。塵點與流質團反射日光，而氣體則放射明線。冠層之密度，非如地面空氣層之平衡。其質極爲稀薄；天文學家嘗見有彗星深入其範圍而無損者。其質亦不因近日之故而增加其密度，此或因其中電力有反拒之功也。總之，其形狀多有不可解者。

(五) 日珥 日珥起自光輪，經色輪而外射，火雲亂湧，光輝上騰，有如猛烈火山之噴發。其高可自二萬以至三十萬英里。常現於日中黑子之旁；兩極之附近，則絕無其蹤跡也。其火焰光明而激蕩，形態萬變，上昇之速率，每秒至一百英里，而有時至二百英里之上者。其所顯於分光鏡中之光帶，多線而尤以其基部爲甚。其中之原質，鈉、鎂、鐵及鎳等，則無時不有；餘如鈣、鉻、錳，亦時得見之。窺測日珥，在昔日僅能於日全蝕時行之，否則有他種光線干涉之，難以得見。及至今日分光鏡進步後，則此日珥之觀察，無時不可行也。

日珥之形狀，並非皆爲活動，亦有略爲靜止者。而亦有遠出日面，而浮於空中如雲者。後者有時

經數日而不散，故天文學家，每視日珥為奇景。

第八節 日中黑子

日面光輪之上，顯有較黑之斑點，名曰日中黑子 (sun spots)。第十三圖所示，即業岐茲天

文臺，在一九〇五年七月十七日所攝日中黑子之影也。其為狀略成圓形，中有較黑之核，謂之本影 (umbra)，其外有無數光條，謂之半影 (penumbra)。本影之直徑，有大自五百英里至五萬英里者，

此種大黑子，可以黑玻璃障光，無須藉望遠鏡之力而見之。黑子之中，仍有光條，形狀不齊，其中最黑之處，亦有光可見，其光約為光輪之光百分之一，略如石灰光燈與日光之比。黑子旁之光，因黑子之關係，似顯大受擾動之狀，火光



第三十圖

一九〇五年七月十七日業岐茲天文臺攝

騰起，有如地面之火山，時或與黑子相連，此謂之光雲 (facula)。

一黑子之生滅，頗無一定之時間，或僅數日而旋滅，或經數月而猶存，最久者約隨日球自轉十八周。當其初生之時，僅一微點，未幾光線迭生，大行擴張，若激蕩太甚，則一黑子又分爲數黑子焉。

黑子之分布，似有一定之位置，卽在日球赤道南北緯度六度至三十五度之間。居赤道中發現者，間或有之；至於三十五度以外，則絕無也。黑子之多寡，時有不同，常有習見多數黑子，繼續至四年餘，以後則減至最少者。多時爲數至八九千顆以上，少時或無一顆。計自最多以至最少，其中約經過十一年又一月。例如一八八九年，一九〇〇年，一九一一年，皆爲黑子爲數最少之一年；而一八八二年，一八九三年，一九〇四年，皆爲黑子爲數最多之年也。

黑子之數目，與發現之地位有關係。最初作此種研究者，爲在一八五二年，天文學家許華勃 (Schwabe)。其研究之結果，謂嘗見黑子發現最多後，繼續五年，爲數漸少，及至第六年，赤道旁南北六度，僅有數顆，而南北三十五度漸多，亦漸行向赤道伸展，至南北十六度爲數最多，以後又漸少，勢如循環。科學家自一八七四年，至一九〇二年之間，觀察黑子之多寡，及地位之關係，列爲一表（見

F. R. Moulton 著之 *An Introduction to Astronomy*, revised edition, p. 384, Fig. 145)

得知黑子最多時所占之面積，較最少時所占之面積，約有自十五至四十五倍。又日球南半球之黑子，較北半球為活動，南半球黑子之面積，約為全黑子百分之五十七，而北半球黑子之面積，約為百分之四十三；但此種分布是否一定，現尚不得而知也。

關於日中黑子之記載，世界各國，推吾國為最早。我國當漢武帝時，即有黑子磨蕩於日中之言，史有可考。竺可楨博士在其所作之中國歷史上氣候之變遷一論文中（見東方雜誌第二十二卷第三號）列有我國歷史上各世紀有日中黑子年數如下表：

第四世紀

一七

第五世紀

二

第六世紀

七

第七世紀

〇

第八世紀

〇

第九世紀

第十世紀

第十一世紀

第十二世紀

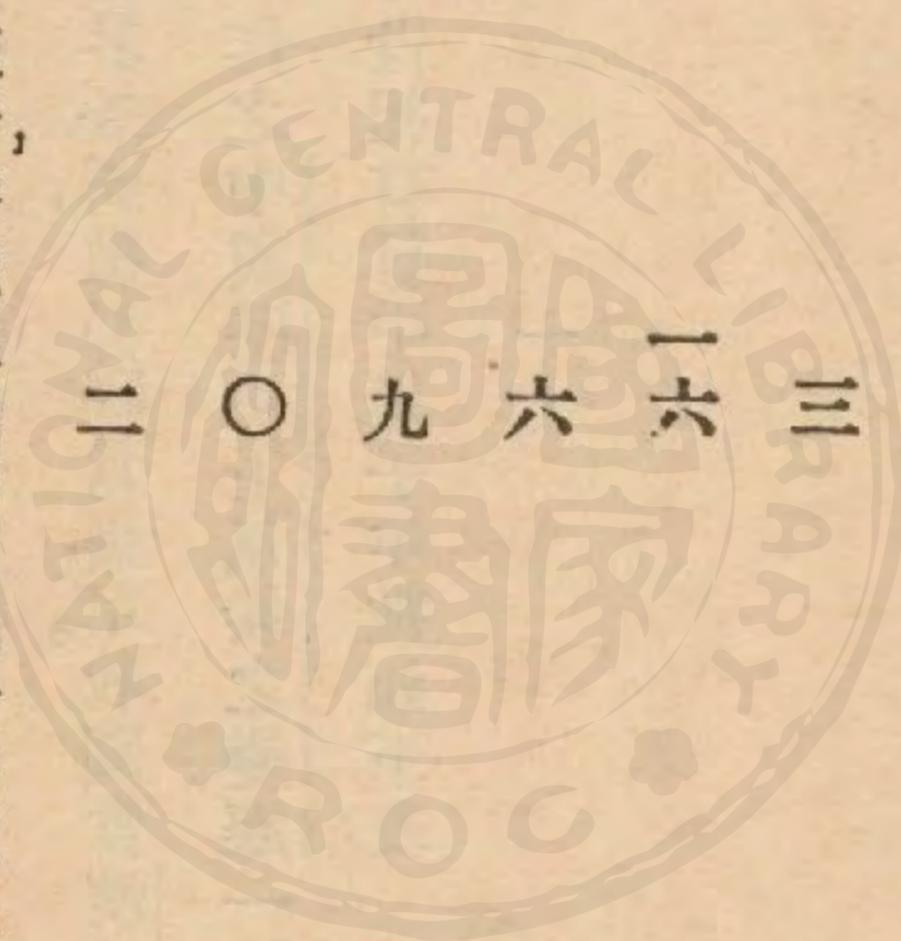
第十三世紀

第十四世紀

第十五世紀

第十六世紀

各時代之記載雖有不精確者，然觀上表亦可見各時代黑子多寡之大概。歐洲有黑子之記載，始於紀元前八〇七年，當時歐洲人民，以爲日球爲神之眼，日中有黑子，乃神患眼疾。及至一六一〇年，伽利略（Galileo）發明望遠鏡後，乃知黑子爲日面之一種有周期的現象，此後黑子之記載，亦隨之而詳確矣。



黑子之運動，頗無一定之方向，有依緯度之方向而移者，有循經度之方向而行者。但普通在赤道南北二十度以內之黑子，常趨向赤道；在赤道南北二十度以外者，則離赤道。苟二黑子同時齊現於同一之緯度上，則前者移前，後者落後。若一黑子以激蕩過甚，則分裂為數黑子，動蕩時，羣向東移，遺小者於後，似指示其行蹤者；其相離之速率極大，約為每小時一千英里。天文學家觀察黑子之移動，謂有成螺旋形者，然不多見。

一八九一年，嘿爾 (Hale) 發明其光線分析之攝影機 (spectroheliograph) 後，於是對於日面現象之研究，更加精密。一九〇八年，彼乃證明日中黑子之最上層，有磁場 (magnetic fields) 存在，此磁場亦必有一種能力，以達於地球。其發現黑子之最上層有磁場存在，乃導源於最曼 (Zeeman) 之實驗；蓋一八九六年，最曼發明光線受磁力所干涉，則分析後光帶顯有雙線，及此光線在相反之方向，循環極化。嘿爾分析黑子之光線，亦見其具此種現象，故知其上層有磁場存在。其磁場之生成，乃由黑子中旋轉生電所致，由是，得知日球全體有磁場與地球相同，而其磁極亦與兩極相接近。沙斯忒 (Shuster) 更得一結論，謂地球與日球磁場之生成，乃為旋轉之結果，而一切旋

轉之物體，卽爲磁石也。當黑子多時，地球上之磁力必因之而大起擾亂，磁針所指之方向，亦失其一定，科學家謂之磁颶 (magnetic storm)，其理尙不得而知。磁颶旣因黑子多時而起，故亦顯十一年之周期。

嘿爾之學說，適足以證明黑子上有旋風狀之運動。但此旋風與地球上之旋風有不同，渠考二黑子似有相連者，其一爲極化狀，其他爲相反狀，此或爲旋風之兩端。尙有居北半球之相近二黑子，居前者與時針同方向而旋轉，後者則反是。其在南半球者，旋轉之方向，則與之相反。對於黑子成因之理，除嘿爾之主張外，其他學說衆多。有謂日體本爲黑色，其上有二氣層包之，上層卽光輪，下層較暗，當上層破裂時，下層卽隨之而現，於是球體現有黑子。有謂黑子非由內力所致，乃爲冷質如流星等下墜而成。有謂日體中部行勢較速，氣體激成旋風，黑子卽旋風之中點，故黑子僅現於赤道之附近。總之，此種學說，與事實皆有不符之處，故不能使人深信也。

最近聖約翰在威爾遜山觀日臺 (Mt. Wilson Solar Observatory) 上，藉精密器械之力，研究黑子之運動，得知黑子下部之運動，爲由其中心外射，上部則趨向其心，是知稍冷之質，向中心直

下，數千英里後，乃由旁而散。其結論，謂日球內部之氣體，上升至光輪而四散，而上部之冷質下衝，致成黑子。至現日由分光鏡放大線以推測之，已知黑子處之溫度，實較光輪爲冷，故聖約翰之學說，或非無價值也。

黑子之成因，雖無定論，然其爲日面之變動，及該處溫度之降低，則無疑義也。由是，則知黑子之多寡，與日面之變動成正比。近世氣象學家考測黑子之多寡，與地球上之溫度，有極大之關係；即黑子多時，地面之溫度降低，黑子少時，地面之溫度升高。地質學家開彭 (Köppen)，則由各年黑子與溫度之記載，得一比較數，即在赤道，黑子多時之溫度，較之黑子少時之溫度，平均高攝氏溫度計○·六度，在溫帶，黑子多時之溫度，較之黑子少時之溫度，平均高攝氏溫度計○·四度。氣象學家更考黑子之多寡，亦有影響於地球上之雨量與風暴。倭克爾 (Walker) 在所著日中黑子與雨量 (Sun Spots and Rainfall) 一文 (見 Memoir Indian Meteorological Department, Vol. 21, 1915) 中，謂地球上各處之雨量，與黑子之關係有二種：(一)雨量之多寡與黑子之多寡成正比，(二)雨量之多寡與黑子之多寡成反比。黑子與風暴之關係亦甚明顯，據科學家之計算，在我國

長江流域，設黑子之數在六十以上，則風暴增加百分之十五，設黑子之數減少十個，則風暴亦減少百分之十四。卡爾麥 (Kullmer) 更謂美國風暴所經之路，則視黑子之多寡而異。舉凡此種理論，皆為科學家苦心研究之結果，並非憑想像而虛構者也。

第九節 日面諸現象之關係

前此諸節，曾述日中各種現象，大都顯有以十

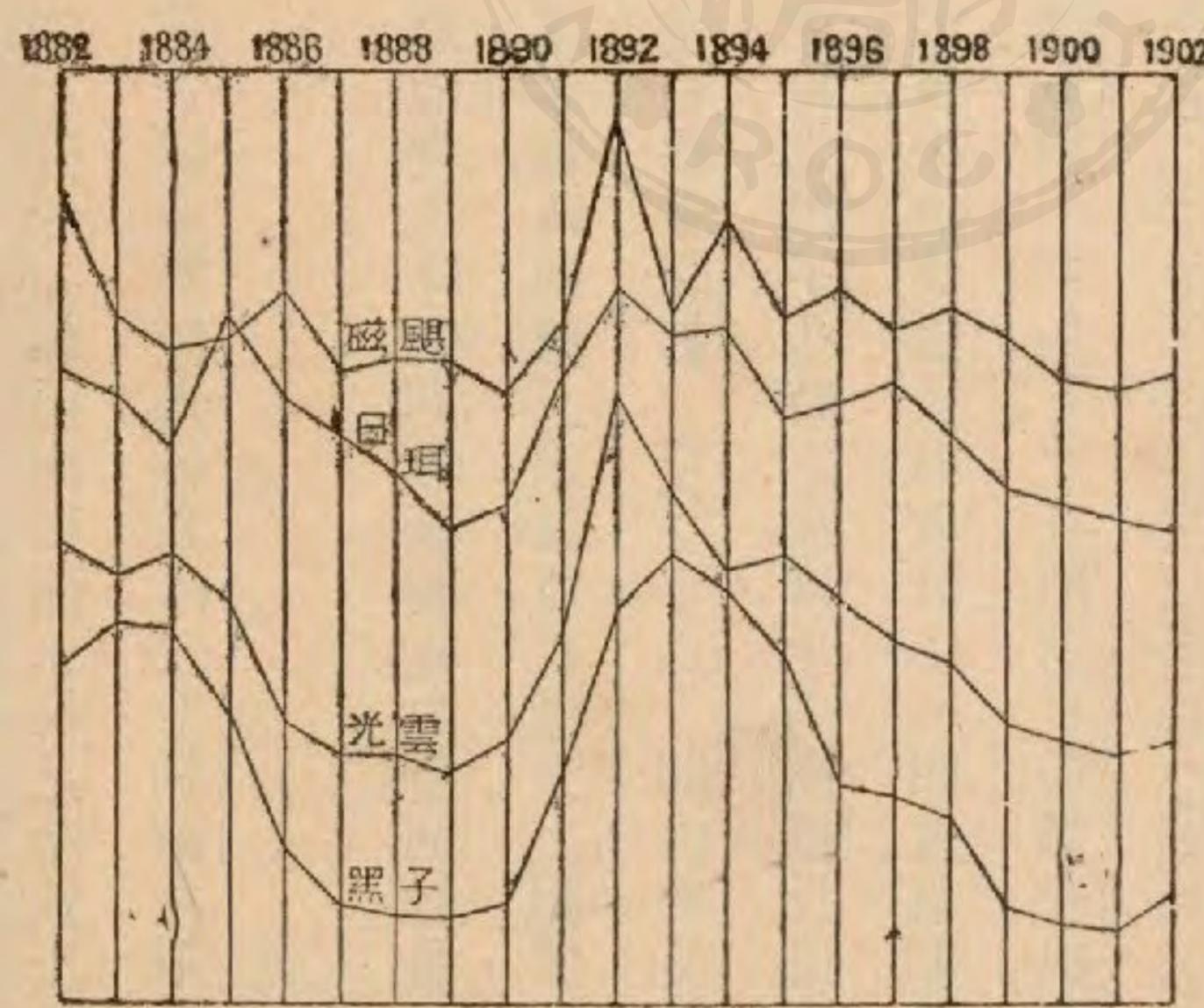
一年為一周期者：如黑子在十一年中必有一次最

多，一次最少；居於黑子附近之光雲，其位置與數量

皆隨黑子之多寡而異；日珥之噴發，亦常見於黑子

區域之內，而為數亦隨黑子之多寡而變；冠層之光

線，亦依黑子之多寡而呈不同之方向；地球上之磁



第四十圖

針，亦因黑子之增加，而顯磁颶；此外極光（aurora）亦發現於黑子最多之時。由此觀之，上述諸現象，皆有密切之關係，已無疑義。茲將自一八八二年至一九〇二年其中黑子，光雲，日珥，磁颶增減之現象，繪曲線以明之（見第十四圖）讀者可見其曲線皆互相並行，此乃表示其有關係也。



第三章 日球月球與地球之關係

第一節 潮汐

潮汐爲海水上漲之現象，日間來者曰潮，夜間來者曰汐。一晝夜之間，海水漲落二次；精確計之，每十二小時二十六分漲落一次。潮汐在此時期之內，以六小時十三分爲漲，是曰滿潮 (Flood tide)；以六小時十三分爲退，是曰干潮 (ebb tide)。海水漲至最高之時曰高潮 (High tide)；海水落至最低之時曰低潮 (Low tide)。

月球自此次經過子午線，至下次再經過子午線，需時二十四小時五十一分，適爲潮汐漲落一次之時間之一倍；故二千年前，即有人疑月球爲致潮之因者，然以未知物體有相引之力，故終無定論。及至十七世紀之末，牛頓之引力定律 (Law of gravitation) 出後，始能證明潮汐乃海洋中之

水爲月球引動所致；不但海水爲然，餘如空氣及固體之巖石亦能被其所引動，不過非吾人所能覺察耳。

月球引海水以成潮汐，但月球在一晝夜之間，僅能經過子午線一次，依理想在一晝夜之間，僅能有潮汐一次，而實際則有二次，斯何故歟？可以力學解釋之如下：

設在第十五圖中，M爲地球，m爲月球，P及P'爲地面之二點，MA爲m在M點加速率及其方向，PB及P'B'爲m在P及P'點之加速率，則依力學定例，加速率與距離之平方成反比，因

$$mP < mM < mP'$$

故 $PB > MA > P'B'$

分解PB及P'B'各爲二力成PC, PD及P'C', P'C'，則

$$PC \parallel MA \parallel P'C'$$

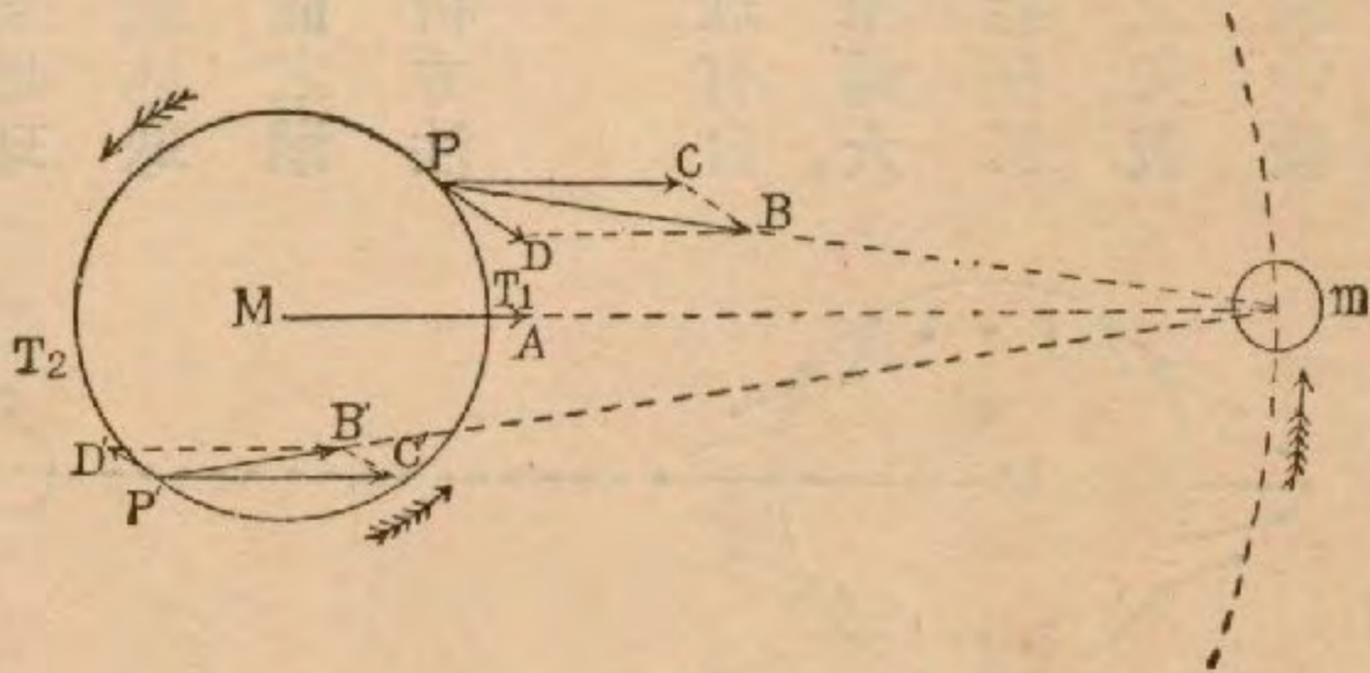


圖 五 十 第

及

$$PC = MA = P'C'$$

自運動定律，得知二物體支持相等平行加速率，則其相關之位置不變；由是在P, M, P'三點之相等平行加速率，其相關之位置不變，故PD及P'D'為吸潮之加速率。結果，地球之相對二面，皆有潮汐發生，而如第十六圖所示。月在一晝夜之中，經過地球之相對二處各一次，故在一晝夜有二次潮汐發生。據精確之計算，反面之潮約較正面之潮弱百分之五。以上乃由幾何方面立論，此外亦可以分析方法證明之，茲不多贅。

設地球與月球皆為靜止，則所生之潮，當適在Mm直線上。但地球有自轉，而月球又公轉於地球之外，地球自轉之速率，又較月球公轉之速率為大，且地球自轉之方向與月球公轉之方向相同，由是則潮汐之發生，不能在Mm直線之上，乃居Mm直線之前，如第十五圖中T₁及T₂二點。（圖中之矢，表示地球自轉與月球公轉之方向。）換言之，即月球先經過子午線，而潮汐後

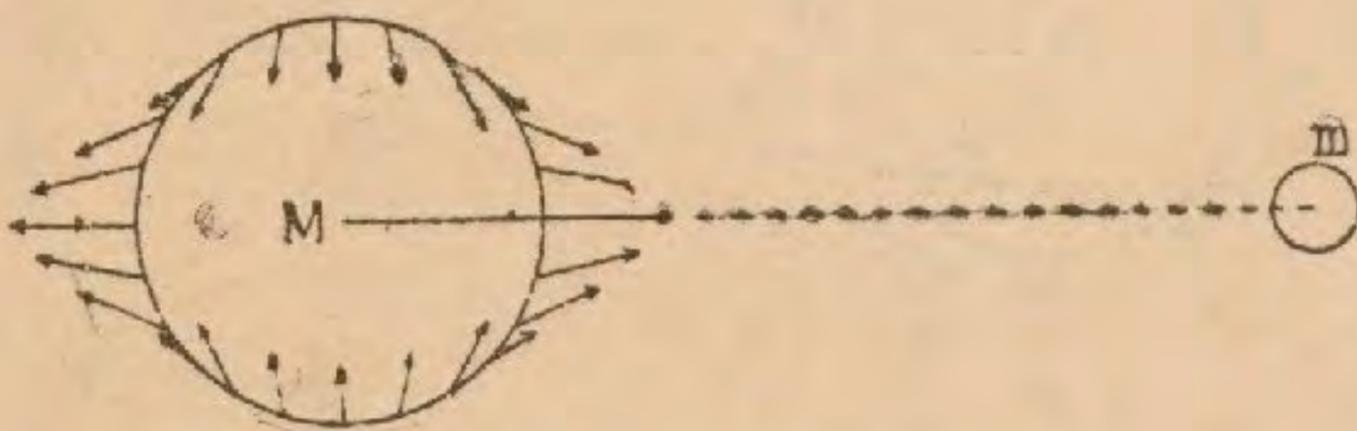


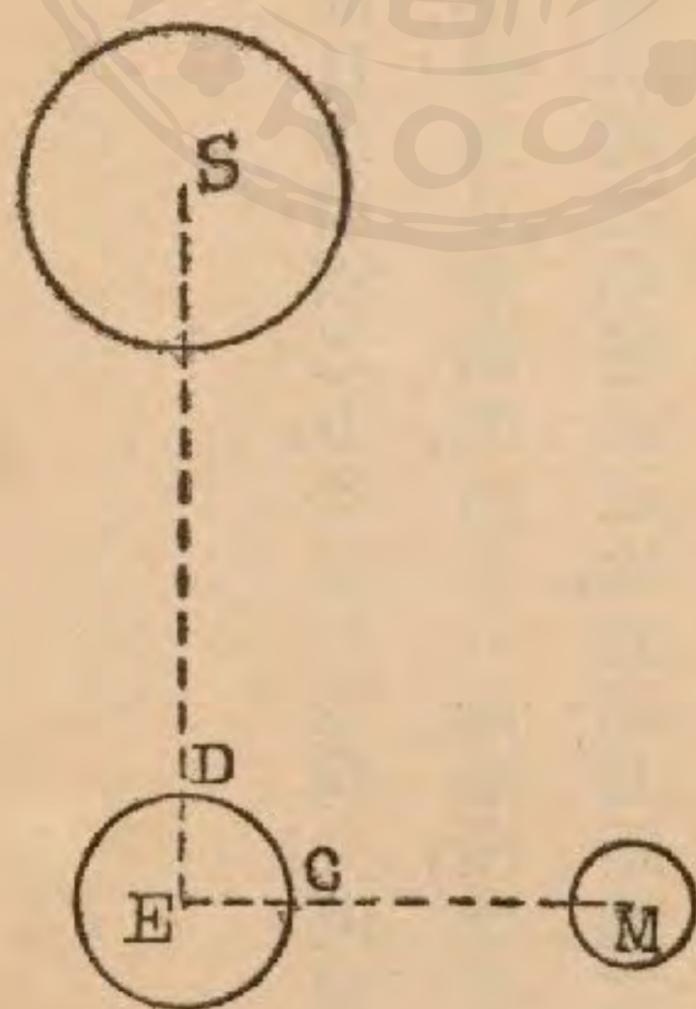
圖 六 十 第

經過之。欲確實計算月球經過子午線與潮汐經過子午線，其中所需之時間，則極為複雜，蓋因地球亦有引潮之力，而海洋之深淺，大陸之障礙，在在皆足以阻止或增加潮汐進行之速率也。

一月之中，潮汐有大小不同，月之朔望時為最大，曰大潮 (spring tide)；上弦下弦時為最小，曰小潮 (neap tide)。潮汐之所以有大小不同者，蓋因地球亦有引潮之力。在朔望時，地球、月球、地球三者，居同一平面之上，同時地球、月球，對地球之相

對二點生引潮之力，設地球之引力為 A ，月球之引力為 B ，則在朔望時，地球之相對二點，各得 $A+B$ 之力，故結果因引力增加而生大潮。但在上弦下弦時，地球、地球、月球三者，成一直角，而地球又居直角之頂點，如第十七圖所示，地球引 D 點，而月球引 C 點，結果 C 點所得之引力為 $B-A$ ，故因引力減少而生小潮。

地球之質量約為地球之三三〇、〇〇〇倍，地球之質量又為月球之八十一倍，故地球之質



第十七圖

量爲月球之二六、七三〇、〇〇〇倍；又日球與地球之距離爲月球與地球之距離之三、八四倍，依
牛頓定律：

$$\text{引力} \propto \frac{\text{質量}}{(\text{距離})^2}$$

則求得日球之引力較月球大一百七十五倍。由是觀之，則日球引潮之力，當較月球爲大；但實際則反是，日球引潮之力，反較月球爲小，否則在上弦下弦時，不能爲C處潮漲，而爲D處潮漲，此蓋因引潮之力與普通引力有異。引潮之力乃與引體之質量乘被引體之半徑成正比，而與其距離之三方成反比，故求得月球引潮之力，與日球引潮之力之比爲十一比五，即月球之引潮力一倍半於日球之引潮力也。

地球自轉之速率，既不與月球公轉之速率相等，潮汐進行，有一部分之能力，因摩擦而變爲熱。

由力學定理，因地球自轉速率較月球公轉速率爲大，而方向相同，則地球之自轉周期，月球之公轉周期，與二者之距離，皆行增加；蓋月球引 T_1 及 T_2 向後，因反動力， T_1 及 T_2 將牽月球以向前，由是在月

球上之一向前分力，將使月球公轉之軌道增大，而公轉之周期亦因之增長。又在第十五圖中， $P'D$ 及 $P'D'$ 二力之方向與地球自轉之方向相反，故地球自轉之周期，因之而加長。茲將日球與地球因距離之遠近，運動之周期及方向，所生之關係，略為研究之：

設地球與月球相接，及地球之自轉之周期較月球之自轉之周期為稍短，則因潮汐摩擦力 (tidal friction)，將使二者之周期皆變長，而其相距亦增加。如是，苟無外力以擾之，則至二物體之相距至一定之地位而止，其使地球自轉之周期之效率，將較使月球公轉之周期之效率為大。結果，將使二者之周期，漸趨於相等。二者之周期苟趨於相等，則潮汐之發生，常趨近於 Mm 直線之上矣。

設地球自轉之周期，較月球公轉之周期為長，在此情形之下，則二者之周期皆行減少，其對於二者之效率，視其距離之遠近而定：如 (一) 二者相距甚遠，則對地球自轉之周期之效率，較對月球公轉之周期之效率為大，而使二者之周期，漸趨於相等；(二) 其距離甚近，則比較的對月球公轉之周期之效率，較對地球自轉之周期之效率為大，而二者之周期不能趨於相等，設地球自轉之方向與月球公轉之方向相反，則地球自轉之周期，日行減短，而與月球之距離亦漸接近。

潮汐摩擦力之速率，視相引之二物體之物理的性質而異：苟物體為完全流體，則絕無潮汐摩擦力；同理，設物體為有彈性，則亦不能有潮汐摩擦力。潮汐摩擦力之速率，亦與二物體運動之周期之差有關係；設其差甚微，如在第十五圖中，潮汐之發生近於 Mm 直線，則向後之力亦微，結果，潮汐摩擦之速率亦減。總之，其相差愈微，則速率亦愈減，但二者永不能相等，不過經久遠之時間後，趨近於相等而已。

月球公轉之周期，與自轉之周期為相等，其唯一之解釋，惟有謂月球公轉之周期，因地球對月球生吸潮之力，使其與自轉周期相等。我人當知地球對月球之引潮力，可二十倍於月球對地球之引潮力，潮汐摩擦力乃與引潮力之平方成正比，苟地球與月球之物理的性質為相等，而其自轉之周期亦相等，則地球對月球生潮而改變其運動量之力，四百倍於月球對地球生潮而改變其運動量之力。但一物體運動量之力，與其質量乘半徑平方成正比，則改變月球之運動量之力改換其自轉之速率，一千二百倍於同一改變運動量之力改換地球自轉之速率。合此二條件，而地球與月球之物理的性質及自轉之周期，設皆為相等，則潮汐摩擦力將改變月球自轉之周期四八〇、〇〇〇

○（即 409×1200 ）倍於改變地球自轉之周期。由此推算之結果，與月球常以一面面地球之事實極爲相合。故科學家謂潮汐爲致月球公轉自轉之周期相等之因。

現時之地球與月球，並非已居於平衡之地位，蓋地球與月球有互相生潮之作用，而日球對月球亦有其生潮之力。在今日情形之下，地球對月球生潮之力，無影響於月球之自轉與公轉；但月球對地球生潮之力，則增加月球公轉之周期，而無影響於月球自轉與公轉；但月球增加月球自轉之周期，而無影響於月球公轉之周期；故月球公轉自轉之周期，皆行增長，但此種情形，是否經久而不變，實不得而知也。

潮汐減少月球公轉及地球自轉之速率，則地球上日一月之時間，皆逐漸加長。而在昔日，月球當距地球甚近，此後乃日行離地球而去。佐治達爾文（Sir George Darwin）以爲昔日地球之自轉一周，僅需四五小時，而當時之月球，乃與地球甚爲接近。依此假說，適足以證明月球與地球昔日乃爲一體，後因地球作極速之自轉，月球乃行分出，「此爲拉普拉斯在一七九六年所公布之拉

普拉斯星雲學說（Laplace's nebulae hypothesis）一九〇〇年美國地質學家辰柏林（Cham-

berlin) 創螺形星雲學說 (planetesimal hypothesis), 其理由較前者爲充足。漸轉而距地球漸遠; 由是則地球與月球之距離, 自此而後, 仍當接續增大, 將來地球上之一日, 當較之今日之二十四小時爲長。達爾文此種學說, 乃指地球爲黏質而言; 但一九一三年邁克爾孫 (Michelson) 及蓋耳 (Galile) 證明現日之地球, 非爲黏質, 故達爾文假說之在今日, 已成可疑矣。

據現時之精確觀察, 月球在每百年之中, 前進圓弧自四至六秒, 換言之, 卽在月球公轉一千二百四十次, 則月球前進之量, 等於其直徑之四百分之一。設致此種事實之原由爲潮汐, 則九萬年後, 一日之長, 僅增加一分鐘。由是觀之, 潮汐之影響於地球之自轉者, 實爲至微, 今日之人類, 正不必多慮也。

第一節 日月蝕

日月之蝕, 往昔之人咸謂災禍將臨之兆, 故每當日月蝕時, 舉國朝野, 鳴金擊鼓, 焚香跪拜, 務期日月回復其原狀而後止。及今科學昌明, 乃知日月蝕爲宇宙間之常事, 且可預先測定, 分秒無爽, 初

無足怪也。日月蝕成因之理，首先發明者，爲紀元前二世紀希臘天文學家喜帕卡斯(Hipparchus)。渠知日蝕爲日球被月球所蔽，而月蝕則爲月球被地球之影所蔽。二者有不同，今請先研究月蝕而後日蝕。

月球公轉於地球之外，而地球復公轉於日球之外，每二十九日十二小時，月球可追過日球一次，故日球、月球、地球，三者必有居於一直線之上，此時非日蝕，卽月蝕也。如在第十八圖中，S爲日球，E爲地球，M爲月球，NFF'N'爲白道，CBB'錐體之影完全無光，謂之地球之本影，GBC及G'B'C二錐體之影，稍有微光，謂之地球之半影。當月球公轉自N至N'時，日、月、地、三球在一直線之上，而地球又居於其中，此名曰衝 (opposition)。月面本無光，乃反射日光以爲光，當月球經NN'時，日光爲地球所蔽，不能直射月面，則月面呈黑暗之狀，斯時居地球上背月球之面以觀月球，則見月球失其光，是名曰月蝕。

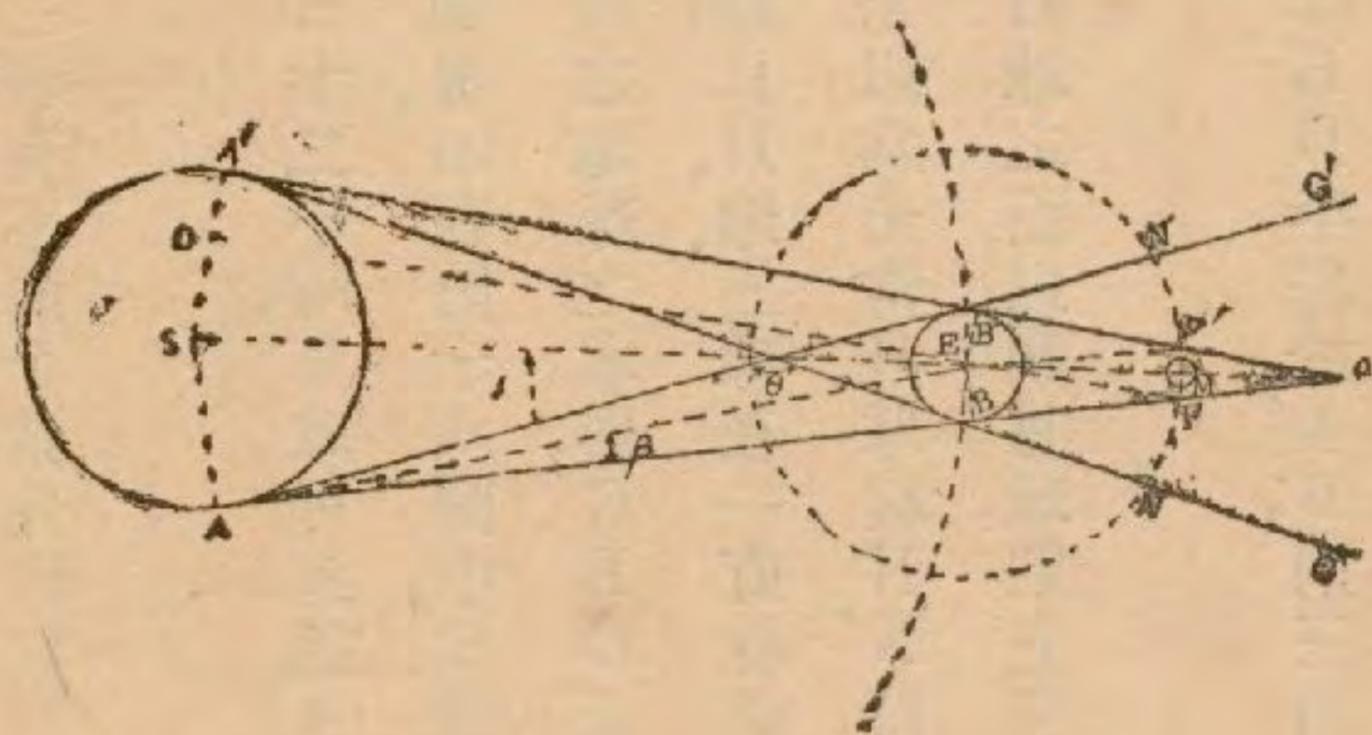
欲知月蝕經過時間之長短，必先求地影之長。在第十八圖中，作ED平行於AB'，則三角形SED與三角形ECB'爲相似，依歐幾里得幾何學，則

$$SD : EB' = SE : EC$$

在此式中，SD 爲日球與地球之半徑之差。EB' 爲地球之半徑，SE 爲日球與地球之距離，平均數爲九三、〇〇〇、〇〇〇英里；故求得 EC 之平均數爲八五七、二〇〇英里，與其極長極短，各相差一萬四千英里，此卽本影之長。設以 α 爲在地心觀日之視半徑， β 爲地平視差角， θ 爲半影角，則本影 C 角之半，等於 $\alpha - \beta$ ，半影 θ 角，等於 $\alpha + \beta$ ，由是則可知兩影之大小。影之大小，又可以角度表示之，在第十八圖中，再作 EF' 及 EF 二直線，則自地心觀本影之半徑之角爲 $\angle MEF'$ ，惟 $\angle EF'B'$ 爲 $\angle ECF'$ ，三角形 $EF'C$ 角之外角，依幾何學定例：

$$\angle EF'B' = \angle MEF' + \angle ECF'$$

$$\angle MEF' = \angle EF'B' - \angle ECF'$$



第十八圖

然 $E'F'B$ 爲月球之地平視差角，卽 β ，且已知：

$$\angle FCF' = \alpha - \beta$$

故

$$\angle MFF' - 2 = \beta - \alpha$$

此影因蒙氣差，約加大六十分之一，乃得地球本影之視半徑之角，等於：

$$\frac{61}{60} (2\beta - \alpha)$$

計算地球本影之大小，用此角較用里數爲便。

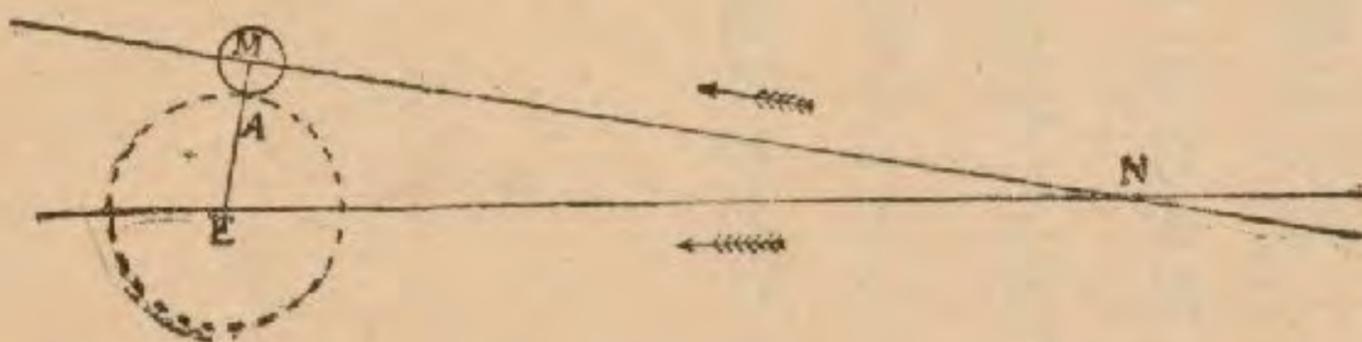
白道與黃道斜交五度九分之角，故月球不常入於地球之影內，更自第十八圖，求得 EC 爲八五七、〇〇〇英里，但月球與地球之距離平均二三九、〇〇〇英里，如是 CM 爲六一八、〇〇〇英里，故 MF 與地球半徑之比，等於六一八比八五七，卽二、八五四英里，月球自 F 至 F' 須行五、七〇〇英里，卽兩倍零三分之二於月球之直徑，此乃平均數，最長或三倍，最短或二倍，月球每小時行二、二八八·八英里，故月球自 F 至 F' ，約需二小時，又月球初入影至全出影，約需二小時。

日球與月球相衝之時，必近一交點，故欲知何時有月蝕，當先測日球所居之點距相近之交點

若干度而定。設在第十九圖中，NE爲黃道，MN爲白道，N爲一交點，AE爲地影之視半徑，AM爲月球之視半徑。若EM適等於AM與AE之和，則月球必切地影而過；若EM小於AM與AE之和，即月球投入地影之內，則必有月蝕。EN爲地影距交點之弧，MNE弧三角形之EMN角爲直角，於是得：

$$\sin EN = \frac{\sin ME}{\sin \angle MEN}$$

在此式中，ME之長短，因月球與地球之距離，及地球與日球之距離之遠近而異，MNE角又因日球對地球所引之加速率而異，故EN弧之值，必隨ME及MNE角之變而變，故EN必有最大及最小之值。求EN最大之值，必以MNE角之最小值，與EM之最大值，代入前式而計算之；求EN最小之值，必以MNE角之最大值，與EM之最小值，代入前式而計算之。據計算之結果，得知EN之最大值爲十二度二分五十六秒，EN之最小值爲九度三十分。又日球與



第九十圖

月球之相衝必在望時，故在月望時，地影中軸與交點之距離，或日球與交點之距離，若不足九度三十分，則必有月蝕，而交點之距離過於十二度三十分五十六秒，則不能有月蝕。若E N之值居最大值與最小值之中，則月蝕之有無，須按求月蝕法而推算之。

白道與地球赤道斜交三十八度三十六分，而與黃道斜交五度九分，若先測定白道與黃道交點之黃經度，而與下次交點之黃經度相比，則差一度二十六分三十一秒，故經十八年二百二十四日後，交點必後退一周。換言之，即月球交點，每年退後十九度半，此不難以黃道兩旁五度九分之星，迭次爲月球所掩蔽以證明之。其後退之原因，乃爲日球在黃道引月球所致也。

若月球之交點，不行後退，則日球自此交點至彼交點必歷時六月，日球既近一交點，然後彼交點始有月蝕，則每年月蝕兩次必相距半年。設第一交點爲經度五十四度，則第二交點必爲二百三十四度。若月望時近第二點，日球必近第一點，設日球距此點前後不過十二度，則有月蝕，而日球經度當居四十二度與六十六度之間，時在五月。若月望時近第一點，日球必近第二點，設日球距此點前後不過十二度，則亦有月蝕，而日球之經度當居二百二十二度及二百四十六度之間，時在十二

月。一八七三年月球之二交點，與以上所設之數略同，故是年月蝕兩次，皆在此兩日之內。但月球交點每年退行十九度半，計日球行十九度半之時間為十九日，故每年月蝕必較早十九日。由是觀之，月蝕在一年之內，惟能有二次。但三次者亦有之，例如正月一日日球過第一交點，致有月蝕，則過第二點約為六月二十五日，而十二月十三日日球可再過第一交點，故在一年之中可有三次月蝕矣。

日球，月球，地球三者，在一直線之上，而月球又居其中，斯時謂之伏 (conjunction)。如在第二十圖中，S為日球，E為地球，M為

月球，此時日月二球適相伏，日光射入地球，有一部分為月球所蔽，故在地球上月影之下觀日球，則日球一部或全部呈黑暗之狀，此即日蝕。圖中A'AC之錐體影，謂之月球之本影，ABC及A'B'C二錐體之影，謂之月球之半影。當日蝕時，在本影之下觀日球，則見日面完全無光，是曰全蝕 (total eclipse)，在半影以內觀日球，則

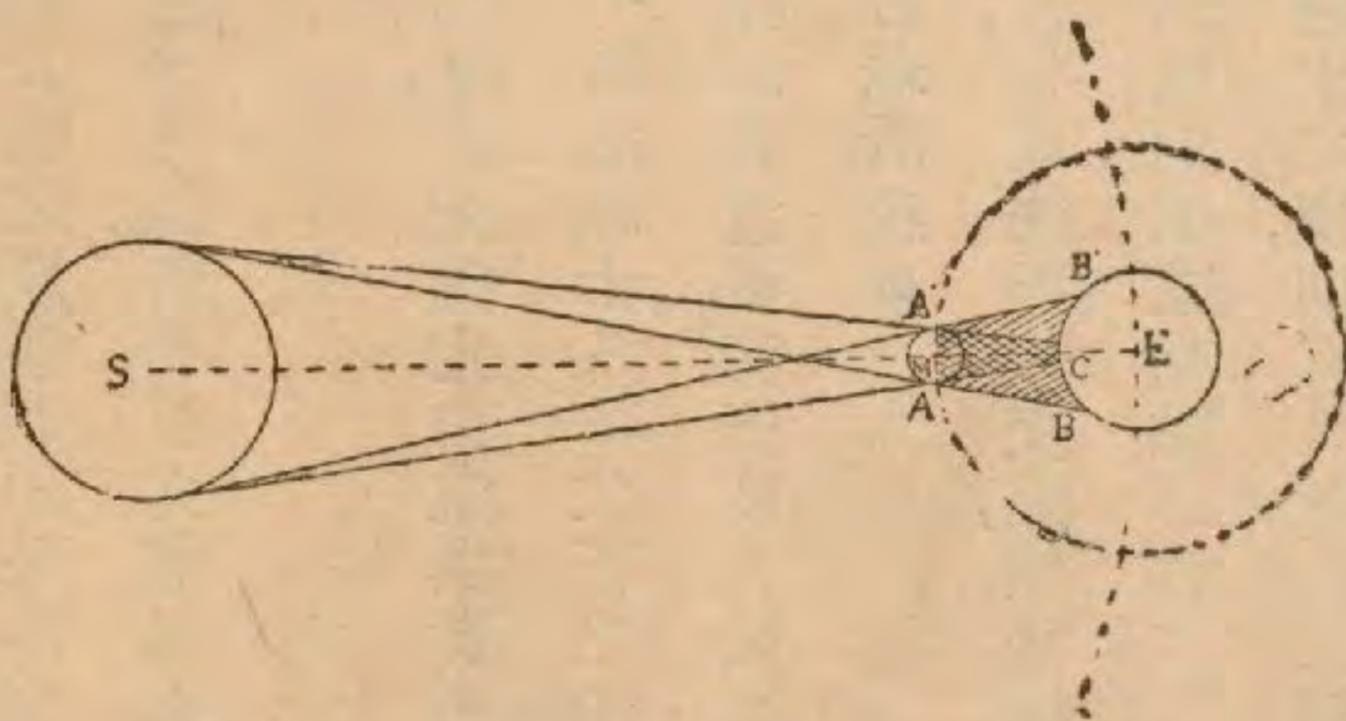
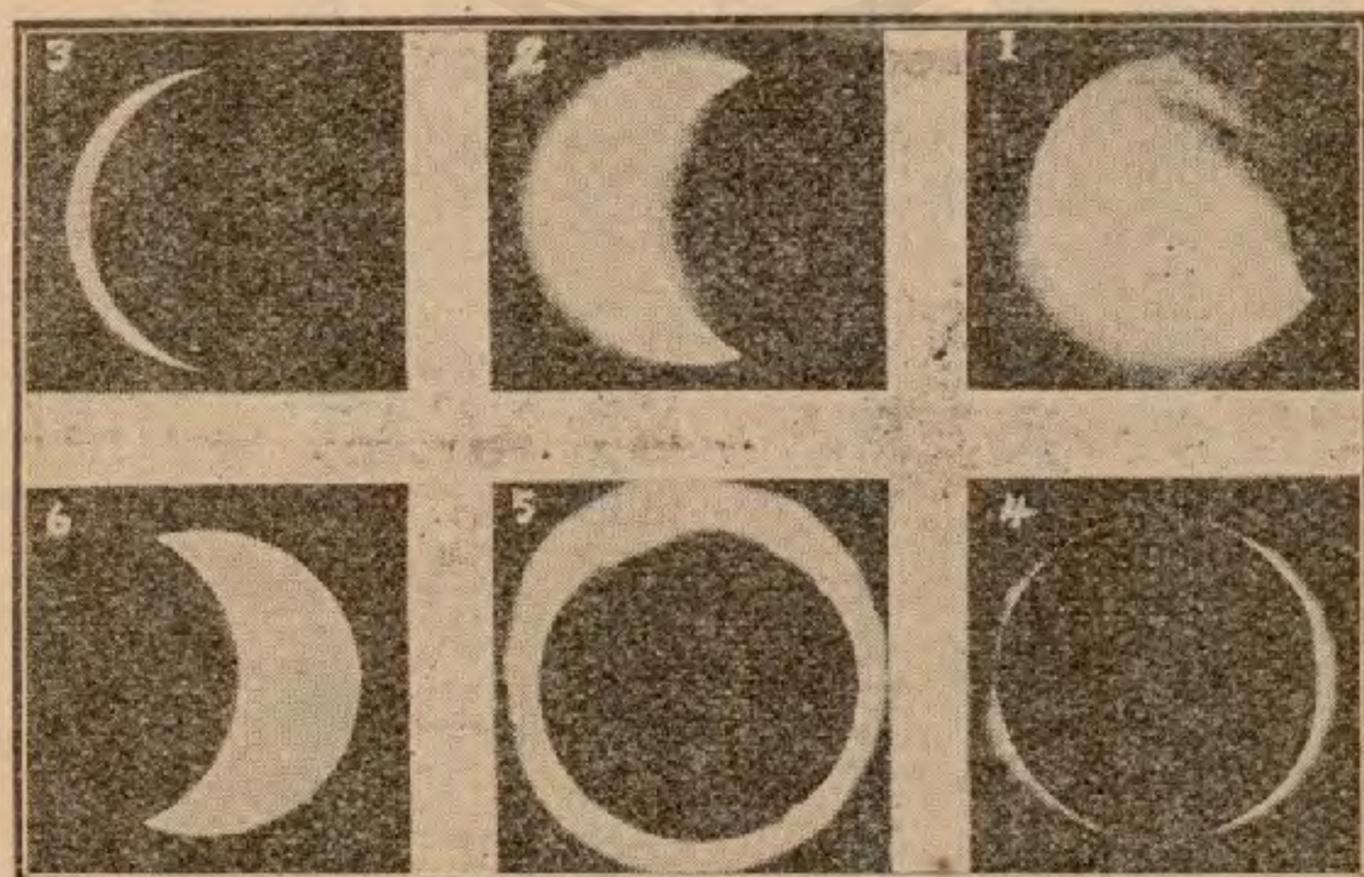


圖 十 二 第

見日面失其一部分之光，是曰偏蝕 (partial eclipse)。日蝕除全蝕與偏蝕以外，尚有一特別現象，與月蝕有不同者，即月之本影之長，平均為二十三萬一千二百五十二英里，而地球與月球之距離則自二十二萬一千六百英里以至二十五萬二千九百七十七英里，故有時月影之長，有不及地面者；換言之，即月球有時距地球過遠，其視半徑較日球為小，苟此時日蝕，則月球不能盡掩太陽之面而餘其四周，成一環狀，此謂之金環蝕 (annular eclipse)。

日月地三球惟有在新月時，始能相伏，故日蝕時，必在月朔，而不在月望。日蝕蝕度之多寡，地球上各處所見者不同，蓋月球之本影所及於地面者不廣，離本影之處愈遠，則所見之蝕度亦愈小，而經過時間亦愈短。但月蝕則不然，蓋月蝕為月球投入地球之影內，故在地球上背日球之半球，所見之蝕度



第 二 十 一 圖

與時間皆相同也。

日蝕之次數，以全球而言，每於十八年中可四十一一次，而月蝕在十八年中，則僅二十九次。但因月蝕時地球面月球之半球，皆可窺其全豹，而日蝕則僅在月影之下，始能見之，故在一處而言，所見日蝕之次數，反不若月蝕之多也。據計算在一處而言，月偏蝕每年約有一次，月全蝕則二十二年有一次，而日全蝕，則需一百五十年或二百年始有一次。在地球之上，一年之中，日蝕之次數，至少有二次，多可五次，而月蝕則至多僅二次。日月蝕之總和，在一年之中，不能過七次。

日全蝕之景象，極爲美觀，當日初蝕時，黑影自西而來，漸行則蝕度亦漸增，地面之光亦漸減，及月球全蔽日面時，大地之上，頓成夜色，黑影之進行，在地面每秒可一千三百英里，天空之大星隱約可見，日旁之日珥及冠層，亦皆顯現，白日呈夜景，誠爲不可多得之奇觀。全蝕經過最多之時間，不能過七分鐘。當全蝕之後，日面之西邊突露其真面，漸行則黑影漸少而復其原狀。第二十一圖乃英國皇家學會所攝日蝕之程序。

日全蝕之自然現象，不但供文學家及美術家之欣賞，而且爲科學上極重要之試驗品。例如一

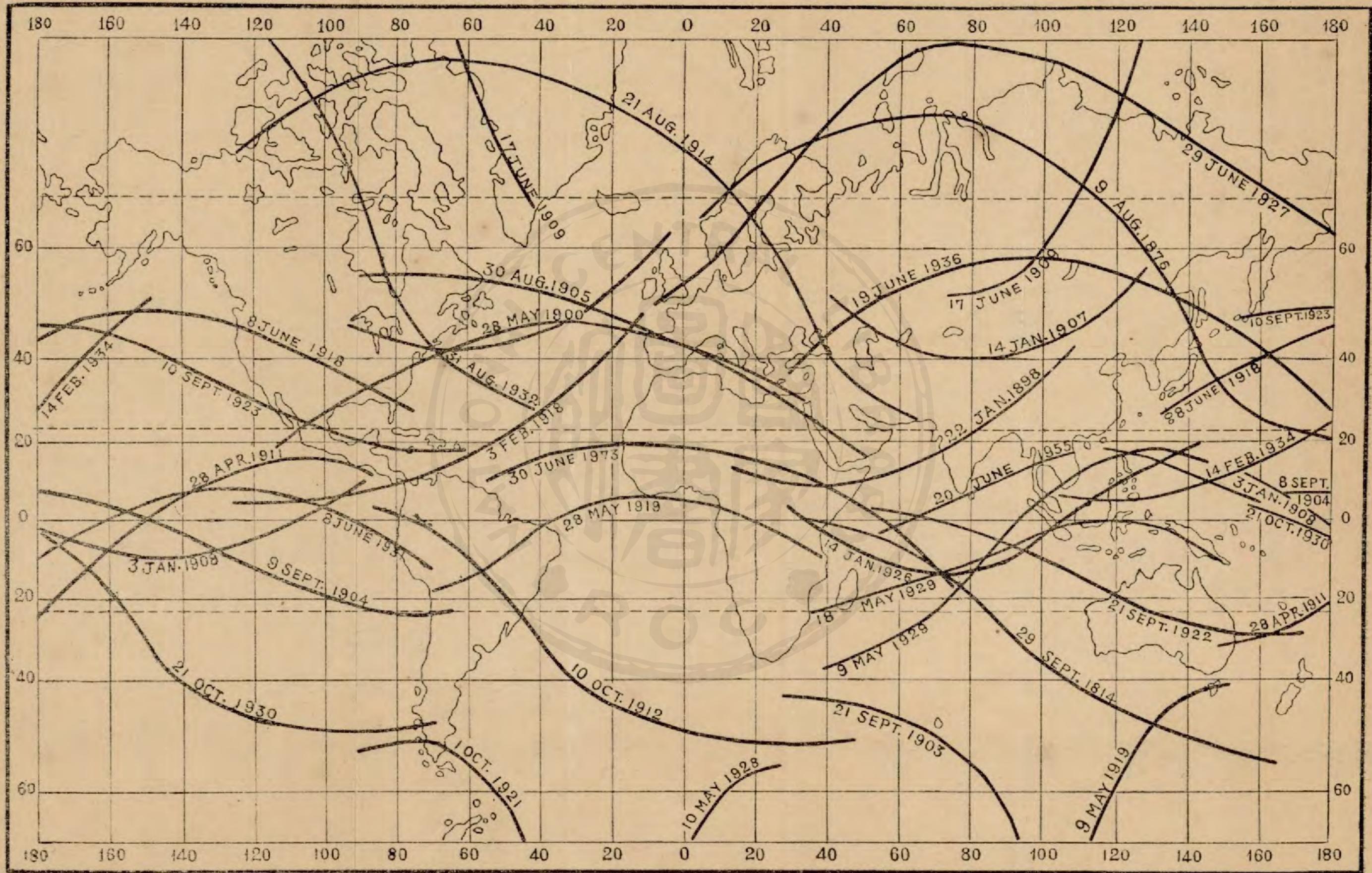


圖 二 十 二 第



九一九年五月二十九日之日全蝕，在非洲之中部，及南美洲之中部，皆可得見。當時英國諸天文學家，即組織日蝕觀測團，至蘇伯勒 (Sobral) 及普麟栖柏 (Principe) 測驗光線受日球引力之影響所起彎曲之角度，以證明驚天動地之愛因斯坦 (Einstein) 新學說。愛因斯坦之學說，卒因此次日蝕而成爲今日之金科玉律矣。

第二十二圖乃自一八九四年至一九七三年之間，每次日全蝕，所經過之途徑圖。

附錄 參考書目

本書所用之參考書如下：

Moulton: Introduction to Astronomy.

Young: General Astronomy.

Ball: The Story of Sun.

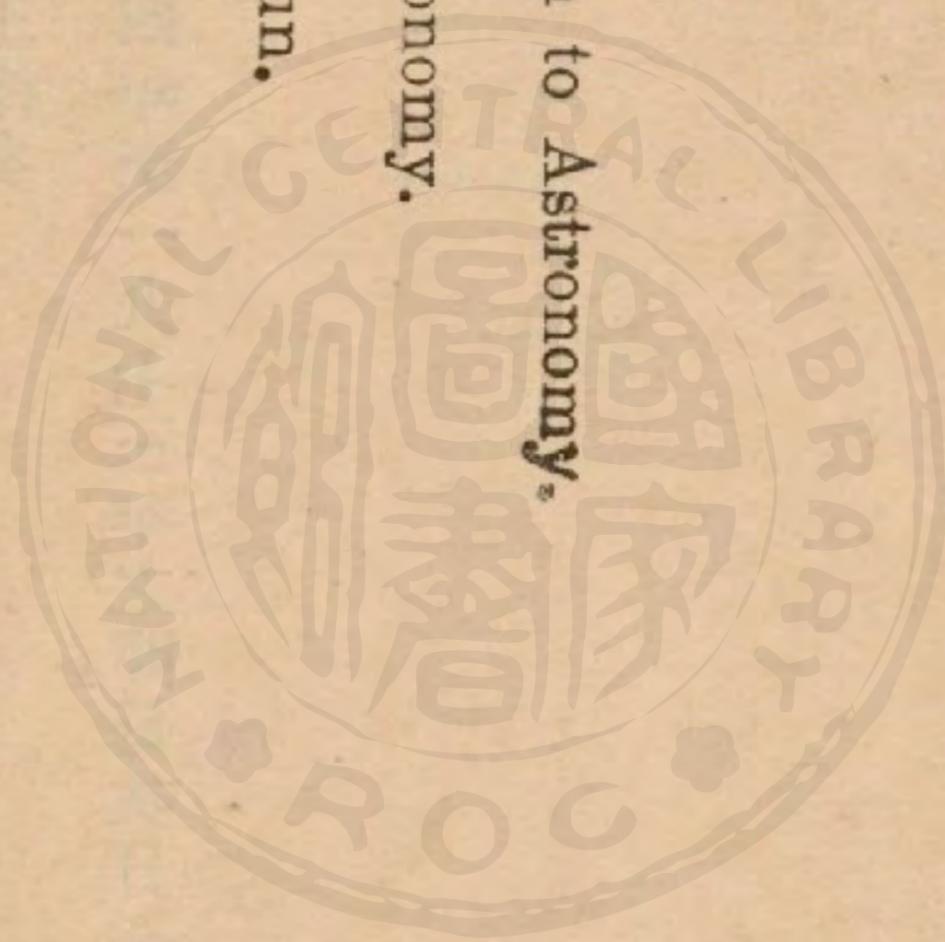
Young: The Sun.

Proctor: The Sun

Nelson: The Moon.

Elger: The Moon.

Darwin: The Moon.



Darwin: The Tides and Kindred Phenomena in the Solar System.
讀者對於天文學如有興趣，而欲得天文學之初步知識及其發達史者，可閱下列諸書：
科學大綱第一冊前半本。

Ball: Story of Heavens.

Moulton: Introduction to Astronomy.

Hinks: Astronomy.

Young: General Astronomy.

Locker: The Sun's Place in Nature.

Huntington: Earth and Sun.

Clerke: The System of the Stars.

Schellen: Spectrum Analysis.

Airy: Gravitation.

此書敘述天體吸力，頗爲完備，未習高深數學者，亦可閱讀。

Moulton: Introduction to Celestial Mechanics.

Burali-Forti: Elements de Calcul Vectorial.

Gibbs: Vector Analysis.

Cheyne: Planetary Theory.

MacPherson: The Romance of Astronomy.

Lodge: Pioneers of Science.

Morton: Heroes of Science: Astronomers.

Wolf: Geschichte der Astronomie.

編主五雲王
庫文有萬
種千一集一第

球月與球日

著蕃李

路山寶海上
館書印務商 者刷印兼行發

埠各及海上
館書印務商 所行發

版初月四年九十國民華中

究必印翻權作著有書此

The Complete Library
Edited by
Y. W. WONG

SUN AND MOON
By
LI-FAN

THE COMMERCIAL PRESS, LTD.
Shanghai, China
1930
All Rights Reserved

國家圖書館



004758646



7