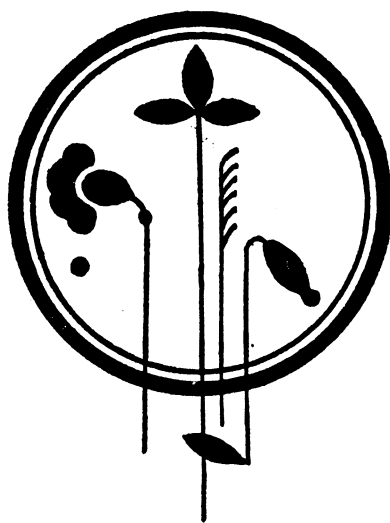


新時代科學叢書

天象談話

法布爾著
陶宏譯

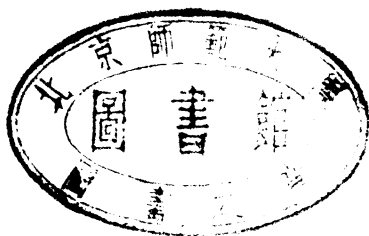


商務印書館發行

新時代科學叢書

天象談話

J. H. Fabre 著
陶宏 譯



商務印書館發行

譯者序

法布爾先生(J. H. Fabre),大概你是和他很熟的。他和你談過昆蟲。他把科學的故事講給你聽過。他還把化學的奇事告訴過你,而且還教過你怎樣做幾個化學的把戲。現在他又來和你談談『天』。他要和你談談天上的星星,告訴你些太空的故事。他教你怎樣跟隨着科學到各星體去旅行。他告訴你科學怎樣去揭穿宇宙的神祕,你也許怕跟他不上,但是,不,法布爾先生一步一步的告訴你,很清楚很簡單的告訴你,祇要你用心聽,沒有跟不上的,我敢擔保。

在他還沒有和你談之前,我要和你先說幾句話。我翻譯的這本書原名叫“The Heavens”,原文是用法文寫的,我是從英譯本譯的。英文翻譯的人,名字叫做E. E. Fournier D'Albe他譯得很流利。法布爾寫這本書的時候離現在已經很久。其中有許多地方從現在看來已經太舊,所以我大膽的把牠們都修正過來。原書所缺的新知識我也大膽的添了進去。我想在科學的立場上糾正過去的錯誤是允許的吧。還有,原書裏有兩個圖畫錯了,也經我改正過來。

最後,我很感謝曹子云,莊慧中,胡同炳,劉嬾諸位先生幫

忙我整理稿子，還有我的爸爸指導我的翻譯。

陶宏 二十五年一月

目 錄

譯者序..... 1

第一課 幾何學..... 1

1.——用幾何學量天。2.——角。3.——垂直線和斜線。3.——銳角,鈍角,直角。4.——圓周,半徑,直徑,弧。4.——圓周的分度。5.——量角器。5.——測量角度。5.——經緯儀。6.——多邊形外角的總和。6.——實驗證明和理論證明。7.——三角形。7.——三角形三角的總和。8.——各種不同的三角形。8.——三角形內兩銳角的總和。

第二課 測量地球.....13

1.——地球的圓形,地平線。2.——一架鐘的圓周。3.4.5.——測量地球的圓周。4.——鉛垂線。6.——切隻蘋果;球形的最大圈和最小圈。7.——地球的最大圈。7.——徒步的旅行。7.——雲采翻山越嶺的疾駛。8.——世界最高峯和一粒沙。8.——海洋上的疾

行。8.——大氣的厚和桃子上的毛。9.——地球的圓形並不因表面的不平而有影響。9.——關於地球的一些數值。

第三課 地球是怎樣稱的……………24

1.——物體的下落。1.——引力。1.——鉛垂線向近山處偏斜。2.——卡汾迪士秤。3.——落體自己向地心落去。3.——一輛雙馬車。4.——吸力的大小和質量成正比。5.——和距離的平方成反比。6.——這條定律的圖解。7.——物體的中心和吸力的集中。8.——牛頓。8.——質量的比較歸成下落距離的比較。9.——地球的質量。9.——原理的槓杆。

第四課 地球的旋轉……………36

1.——什麼是下落？1.——地球為何不下落。2.——天空的視轉。2.——在火車裏所生的幻像。3.——腳向上有12小時。3.——爲什麼我們不掉下去。4.——地球的速度和一粒子彈的速度。4.——蚊蟲翅膀的搏動力量。4.——地球不動所起的奇異結果。4.——永遠的經濟學。5.——擺。5.——擺的擺動面不變。

- 6.——場車的輪。6.——由擺證明地球自轉。7.——由貿易風證明地球自轉。8.——地球自轉的奇景。

第五課 離心力和慣性…………… 49

- 1.——軸和兩極。1.——赤道和緯圈。2.——一杯水顛倒不會潑出來。2.——一根線被旋轉甩斷。2.——離心力。3.——油球。3.——液體球旋轉時的變形。4.——兩極的扁平和赤道的膨脹。4——地球的液體狀況。5.——離心力和地球吸力間的抗爭。6.——一個沒有萬物引力的世界。7.——一個死的不動的地球。8.——路旁的石子。9.——物體的慣性。10.——一個在轉動的輪子。10.——地球的機械能力會消失嗎。10.——牠那不變更的自轉運動。

第六課 天球兩極和緯度……………62

- 1.——天球在地軸上的視轉。1.——天極。2.——北極星和大熊星座。3.——怎樣尋找北極星。3.——水蛇星座。4.——兩極的名稱。4.——四個方向點。4.——各種定方向的方法。5.——物體的視面積和距離的關係。6.——恆星距離的最初觀念。7.——在地

球上不同地點所見的北極星。8.——天極和天頂的距離，和天極離地的高。9.——測量世界的器具。10.——平行線和同位角。10.——實驗證明。10.——極與天頂的距離和地理測量。11.——怎樣尋求緯度。11.——地球儀的構造法。11.——街道和門牌號數。

第七課 時辰和經度79

1.——太陽的視轉。2.——正午和子午線。2.——地球上的時計和不會錯謬的天空之鐘。3.——時錶的正確和子午線。3.——荒島上的時辰。4.——太陽的高低和影子的長短。4.——影子在正午時最短。4.——怎樣定正午。5.——二十四時子午線。6.——地球上二十四小時的連續。7.——零時子午線。8.——計時鐘。8.——地球子午線終結。9.——經度和緯度。10.——順着子午線的環球遊行一週記。10. 11. 12.——一定時刻內的世界各地的時間。12.——地球工廠的活動。

第八課 大氣的照耀97

1.——在早晨，中午，和夜晚時的太陽。2.——一間有

灰塵的暗室內的光線。3.——空氣是日光的散佈者。
 3.——直射光和漫射光。4.——正午時的星空。4.——
 一光天化日下赤熱的煤。4.——爲什麼白天我們看不見星。
 5.——天空是再也不會荒寂的。5.——白天裏在高山
 上或正當日蝕時所見的星。6.——煙囪和天文望遠鏡。
 7.——黑夜天空是充滿着光的。7.——我們爲什麼看不見
 這個光？8.——一個無盡頭的白日。8.——在陽光中的地球。
 9.——朦朧影。9.——由晨昏朦朧期的長短所推知的大氣
 高度。9.——空間的深淵。

第九課 大氣的折射作用…………… 111

1.——大氣對於太陽的溫度和光亮的影響。2.——傾斜
 對於陽光力量的影響。3.——爲什麼太陽在地平線上大些。
 3.——在煙霧中的燈。4.——距離的估計。4.——把距離欺騙
 你的，也把大小欺騙了你。5.——太陽沒有真正起山就可以
 看見了。6.——水盆和銅元。7.——眼睛的教育。7.——在
 光線末端所見的物體。7.——折斷的棍子。8.——空氣密度的
 分佈。9.——大氣的折射作用。9.——恆星位置的變動。9.——

一爲什麼太陽在地平線上變成橢圓。

第十課 不可達到的距離…………… 123

1. ——到月球旅行去。1. ——再學幾何學。2. ——一付頭的圖畫。2. ——相似的條件。3. ——墨水漬和相似形。3. ——不需要完整的樣子來畫一個相似的幾何圖形。4. ——運用相似形的原理來測量不可達到的距離。4. ——河那邊的塔。5. ——角直徑。5. ——怎樣測量一座不能近身的塔的真直徑。6.7. ——測量從地球到月球的距離。8. ——關於那個距離的一些比較。8. ——月球的角直徑和真直徑。8. ——牠的圓周和體積。

第十一課 月球旅行…………… 137

1. ——從氣球上掉下來。2. ——渡過大氣。3. ——空虛的空間。4. ——引力的極限。5. ——旅行者頭向地的下落。5. ——從 10,000 仟米高空墜下。6.7. ——月球的表面重力。8. ——火山的底部。8. ——月球風景一覽。9. ——月球山嶽的形狀和大小。10. ——比尼牛斯山的希斯環形山和月球的噴火口。11. ——怎樣測

量月球山嶽的高度。12.——泰可環形山。12.——條紋和月谷。13.——月球上的晝夜。14.——月掩星。15.——大氣的缺乏。16.——水的缺乏。16.——所謂海的地方。16.——地球生物不能在月球上生存。16.——溫度的極端變化。17.——天文鏡所告訴我們的。18.——羅塞伯爵的天文鏡。18.——一個 800 米高的巨漢的眼睛。

第十二課 月球上所見的地球…………… 161

1.——地球縮小到一個大月亮。1.——一隻手大的法蘭西。2.——發亮的阿爾卑斯山山巔。2.——奧紛涅山的噴火口。2.——兩極的雪。2.——赤道的雲帶。3.——地球的光。3.——月夜的光明。4.——灰紅光。4.——地球爲什麼發光。5.——月球上有一半永遠看不見地球。6.——實驗證明。7.——月球的大鐘。7.——地球的位相。

第十三課 月球的位相…………… 170

1.——一位幾何學家在園中的沉思。2.——一顆礮彈的下落。3.——月球像顆子彈下落。4.——月球下

落的原因。4. 5. —— 牛頓的解釋。5. —— 在不變的軌道上走的天球礮彈。6. —— 月球的速度。6. —— 月球的真動怎樣確定。6. —— 角速率和恆星周期。7. —— 位相。7. —— 新月和望月。8. —— 蛾眉月和灰紅光。8. —— 上弦。9. —— 望月和新地。9. —— 下弦。10. —— 太陰月。11. —— 朔望週期。11. —— 地球繞日公轉的證據。

第十四課 月蝕和日蝕…………… 185

1. —— 光和影子。2. —— 地球的影錐。半影和全影。3. —— 月蝕和日蝕發生的條件。3. —— 爲什麼每個太陰月中不有一次日月蝕。4. —— 月偏蝕和月全蝕。5. —— 月被蝕時月面的紅色。6. —— 地影的圓形證明地球是圓的。6. —— 月蝕是各地同時發生的。7. —— 日蝕必需的條件。8. —— 一塊黑板做日蝕的實驗。9. —— 日的全蝕, 偏蝕和環蝕。9. —— 日蝕是各地依次發生的。9. —— 月影在地球上的大小。10. —— 月全蝕時的主要現象。11. —— 日月蝕的預告。難犯的天空定律。11. —— 卡爾迪人的週期。12. —— 月蝕和日蝕的次數。12. —— 前世紀的日全蝕。

第十五課 太陽…………… 201

1.——地球的半徑和太陽的距離。2.——塞摩島的阿
利斯達基法。3.——金星凌日法。4.——太陽的距離。
一個 350 年的旅行。4.——太陽的體積。一粒麥子和
140 升。5.——太陽怎樣稱的。6.——地球的下落。7.
——四輪馬車上日神的馬，和太陽所負的重。7.——
一列非常的馬隊。8.——太陽的表面重力。一個人被
他自己的重量壓服了。9.——太陽的小密度。9.——
太陽黑斑和太陽自轉。10.——太陽的氣體包圍。太
陽上的颶風。11.——三稜鏡的偏光作用。12.——光
色的分散。12.——太陽的光譜。13.——光譜線。13.
——太陽光沒有完全的達到我們。14.——白熱球的
完全光。14.——金屬汽的火焰的影響。15.——太陽
的表面組織。15.——牠的化學成份。

第十六課 一年和四季…………… 223

1.——地球的運行。2.——怎樣畫橢圓。3.——地球
的軌道。近日點和遠日點。4.——太陽日和恆星日。
5.——太陽日比恆星日長。5.——天空是一季一季的

更新着。5.——太陽年和恆星年。6.——太陽日的變化。6.——地球以不等的速率運行。7.——輪盤和鉛塊的實驗。8.——平均太陽日。9.——地軸和牠自己保持平行的地位。9.——地軸的傾斜和四季。10.——夏至的晝夜。11. 12.——晝夜不等的原因。11. 12.——兩極地方的晝夜。11.——北極圈。12.——南極圈。13.——陽光傾斜的影響。13.——夏與冬。14.——北回歸線。15.——冬至的晝夜。15.——南回歸線。16.——春分和秋分。17.——四季的時期不等。17.——由赤道到極各地的最長白晝。18.——五帶。19.——陀螺和地球的圓錐形旋轉。19.——26,000 年的大週期。19.——12,000 年後的北極星。

第十七課 曆書…………… 248

1.——月曆。1.——含糊的埃及年和牠的不便。1.——狼星週期。2.——儒略氏的改正。2.——尋求閏年的方法。3.——紛亂年。3.——縮短的二月。3.——羅馬古曆。3.——算學的錯誤和致祭鳥。4.——格里氏的改正。4.——世紀年閏年的方法。4.——俄羅斯和希臘的曆書。5.——月份。5.——一些奇論。6.——手

的曆法。7.——星期七日的名稱，迷信的錯誤。8.——
 固定的和不固定的假日。8.——怎樣決定復活節。9.
 ——一年的第一天。9.——羅馬建國紀元，基督紀元，
回教紀元。

第十八課 太陽系…………… 260

1.——行星和衛星。1.——行星這字的由來。1.——
 恆星。2.——行星的分佈。3.——行星的距離。3.——
 載着我們走的四輪車，以每小時 110,000 仟米的速
 度走。3.——幾何學上最大的底邊。4.——波特定律。
 5.——海王星的距離和希臘詩人的鐵砧。6.——行星
 的體積。6.——太陽領導行星的威權。7.——太陽系
 的想像圖。7.——磨刀石和芝蔴子。8.——有衛星的
 行星是怎樣稱的。8.——全體行星和太陽的質量。9.
 ——行星的密度。9.——在水上浮動的球。10.——行
星年和行星日。

第十九課 行星…………… 274

1.——行星的分類。2.——內行星和牠們的位相。3.
 ——外行星沒有位相。4.——水星，水星上所見的太

場，水星的大氣，水星的四季。5.——啓明之星，金星；牠的大氣。6.——地軸的傾斜和季候的影響。7.——金星的四季。8.——地球走錯路和生命條件的變更。8.——地軸穩定不變。9.——火星；牠的色澤，牠的洲洋。10.——火星的極冠。10.——從空間中所見的地球極地的雪。11.——火星極地的雪。12.——火星上所見的太陽。12.——火星被照耀的大氣。12.——極類似地球的行星。

第二十課 行星 (續) 289

1.——小行星；牠們的數目。極小世界。1.——一個破碎的行星。2.——前二十個小行星的名字。3.——木星和牠的形態。3.——木星上所見的地球和太陽。3.——木星年。4.——木星自轉的速度和極地的扁平。4.——兩極扁平 and 自轉速度的關係。4.——太陽，月球，和各行星上不易感到的兩極扁平。5.——木星的四季和晝夜。一個永久的春季。5.——雲帶和貿易風。6.——木星的月亮。木星蝕。7.——羅墨和光行速度的發現。8.——土星和牠的形態。8.——土星上所見的地球和太陽。8.——土星年。牠的四季。9.——土

星的月亮和牠的環。9.——土星上所見的環。9.——土星之夜。

第二十一課 行星 (完) 303

1.——天王星：牠的發現，牠的年，牠的四季，牠的衛星。2.——行星互相的吸引。3.——天王星的攝動。3.——一個由理論推知的行星。3.——計算之眼和海王星的發現。4.——海王星：牠的距離，牠的年，牠的質量。4.——太陽縮成一顆小星。4.——太陽領域的邊境。5.——天體礦物學。6.——流星。星不能從天上落下。7.——八月十號和十一月十二號。7.——聖勞倫士的眼淚。7.——流星雨。8.——隕石。牠們的體積和速度。9.——隕石羣和隕石環。9.——誤入我們大氣中的小行星。10.——隕石的爆炸和下落。10.——125 000 仟克的天體石子。10.——在地球以外的物質。

第二十二課 彗星 317

1.——彗星：牠們的軌道和方向。2.——彗星的像貌尾巴的形成。3.——1843 年的彗星。牠的大尾巴。3.

——彗星頭的大小。4. ——彗星物質。牠和星光的透過。牠沒有折射作用。5. ——彗星在行星附近時所受的攝動。5. ——走到木星系的拉克塞爾彗星 (Lexell's Comet)。5. ——彗星的微弱質量。6. ——愚笨不智的恐怖和迷信。6. ——地球和彗星衝突的可能性。6. ——年曆的修訂。7. ——蜘蛛網和從投石器拋出的石頭。7. ——不必惶懼。8. ——軌道不相接的彗星,和周期彗星。8. ——哈雷彗星 (Halley's Comet)。8. ——克勒魯 (Clairout) 的計算。8. ——理論和事實奇妙的一致。9. ——比拉彗星 (Biela's Comet)。9. ——愛因克彗星 (Encke's Comet) 和水星的質量。9. ——彗星的數目。

第二十三課 恆星..... 333

1. ——恆星。星光的閃動。2. ——測量恆星的距離。3. ——恆星距離和光的速度。3. ——恆星毀滅後和牠發出的光。4. ——恆星的區域和大球。4. ——在恆星界線裏所見的地球軌道。4. ——太陽縮小到一個小點,縮到看不見了。4. ——祇被北極星照耀的地球。4. ——恆星星光的本源。5. ——小到不能測量的恆星

角直徑。5.——在望遠鏡中所見的恆星。6.——地球軌道都容不下的恆星。6.——參宿四的大小。6.——恆星是和我們自己的太陽一樣的太陽。7.——恆星的分類。7.——一等星的星錄。8.——肉眼所見和用望遠鏡所見的星的數目。9.——恆星的運動。9.——所謂恆星的速度。9.——太陽系向武仙星座移動。9.——將來的天空。

第二十四課 恆星 (完) 350

1.——聚星。1.——太陽繞太陽公轉。2.——聚星の色澤。2.——多種顏色的白天。2.——單星的颜色。3.——周期變星。3.——鯨魚座的蒭萁增二和天舟第七星。3.——變星和將消失的太陽。4.——新星。4.——1572, 1604, 等等年的新星。4.——再出現的恆星。5.——我們國家的星空。6.——拱極星座。7.——尋找主要星座的方法。8.——冬季的星座。9.——夏季的星座。

第二十五課 星雲 365

1.——銀河。1.——銀河的形狀和位置。2.——赫瑟爾的銀河探究。3.——由一場霧所生的現象。霧氣沉

沉的地平線。4.——太陽們做成的磨刀石。銀河的解說。5.——測量天球。9.——我們的星雲的形狀和大小，牠們的距離。9.——光走百萬年的旅行。9.——不可分解的星雲。9.——製造太陽的工廠。

插圖目錄

第一圖	角	2
第二圖	相等角	3
第三圖	銳角和鈍角	3
第四圖	直角	4
第五圖	圓	4
第六圖	圓的畫分	5
第七圖	量角器	6
第八圖	經緯儀	7
第九圖	多邊形	8
第十圖	外角	8
第十一圖	外角的總和	9
第十二圖	三角形	10
第十三圖	三角形的外角	10
第十四圖	內角的總和	11

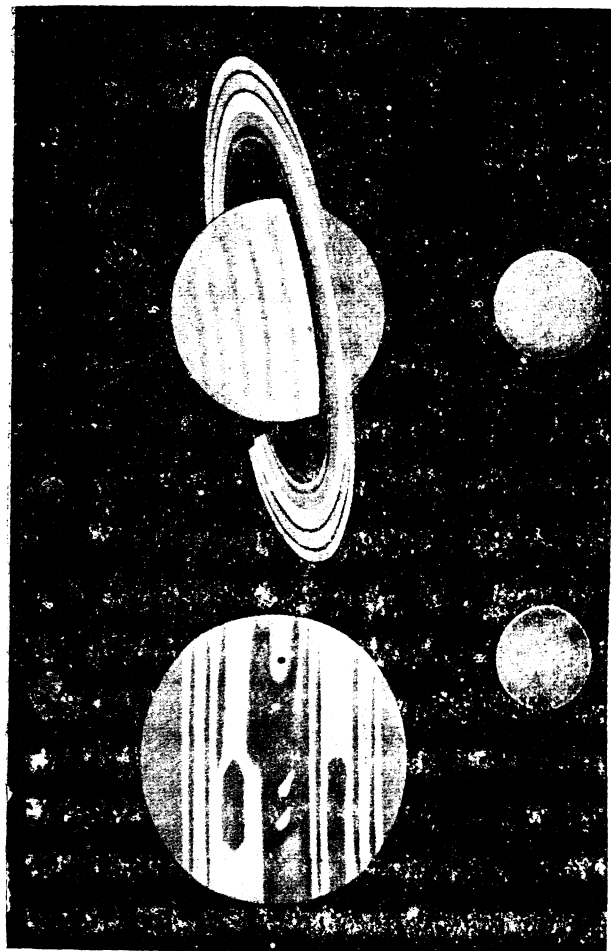
第十五圖	等邊三角形	11
第十六圖	等腰三角形	12
第十七圖	直角三角形	12
第十八圖	測量地球	16
第十九圖	切線	17
第二十圖	測量引力	26
第二十一圖	平方的反比定律	30
第二十二圖	佛科擺	42
第二十三圖	擺和輪	44
第二十四圖	靜止中的液體球	53
第二十五圖	旋轉的液體球	53
第二十六圖	大熊星座和小座星座	64
第二十七圖	恆星的地平緯度	70
第二十八圖	天頂距	74
第二十九圖	緯圈	75
第三十圖	同位角	75
第三十一圖	緯度	77
第三十二圖	影子所示太陽的高度	84
第三十三圖	被照耀的半球	88
第三十四圖	緯度	90

第三十五圖	地球的影子·····	106
第三十六圖	晨昏朦朧的解釋·····	108
第三十七圖	在地平線上和當頂的太陽·····	112
第三十八圖	光的折射作用·····	116
第三十九圖	折射作用所見的物體·····	118
第四十圖	彎曲的棍子·····	119
第四十一圖	大氣的折射作用·····	120
第四十二圖	要縮小的樣子·····	126
第四十三圖	長度依比例縮小·····	126
第四十四圖	縮小一半的圖·····	126
第四十五圖	測量不可近身的物體的距離·····	127
第四十六圖	測量不可近身的物體的距離·····	127
第四十七圖	測量不可近身的物體的距離·····	128
第四十八圖	測量不可近身的物體的距離·····	129
第四十九圖	測量不可近身的物體的大小·····	130
第五十圖	測量不可近身的物體的大小·····	131
第五十一圖	測量不可近身的物體的大小·····	132
第五十二圖	測量月球的距離·····	134
第五十三圖	測量月球的距離·····	135
第五十四圖	炮彈的軌道·····	172

第五十五圖	月球在牠的軌道上下落	173
第五十六圖	月球的位相	179
第五十七圖	朔望週期	183
第五十八圖	地球的影錐	187
第五十九圖	半影和全影	188
第六十圖	月蝕	191
第六十一圖	阿利斯達基法	204
第六十二圖	三稜鏡的折射作用	215
第六十三圖	太陽的光譜	216
第六十四圖	光譜線	218
第六十五圖	橢圓形	225
第六十六圖	恆星日	228
第六十七圖	四季	235
第六十八圖	六月二十二日的地球	237
第六十九圖	十二月二十三日的地球	241
第七十圖	抽陀螺	246
第七十一圖	內行星	276
第七十二圖	在夏至時的金星	281
第七十三圖	光行速度：羅墨方法	298
第七十四圖	測量恆星的距離	335

銅圖目錄

- 行星大小的比較圖……………卷首
- 第一圖 北半球的星……………P. 14 後
- 第二圖 南半球的星……………P. 14 後
- 第三圖 天空的方位(自下向上看)……………P. 24 後
- 第四圖 月球風景……………P. 136 後
- 第五圖 月球山脈……………P. 158 後
- 第六圖 月球環形山……………P. 158 後
- 第七圖 哥白尼和刻白爾的亮光……………P. 168 後
- 第八圖 泰可的光暈……………P. 168 後
- 第九圖 上弦的月亮……………P. 174 後
- 第十圖 巴黎天文臺的大望遠鏡……………P. 184 後
- 第十一圖 1905 年 8 月 30 日的月蝕……………P. 198 後
- 第十二圖 一個 150,000 仟米寬的大黑子……………P. 216 後
- 第十三圖 太陽和行星……………P. 274 後
- 第十四圖 太陽系……………P. 284 後
- 第十五圖 火星的兩半球……………P. 288 後
- 第十六圖 1910 年的哈雷彗星……………P. 320 後
- 第十七圖 仙女星座大星雲……………P. 372 後
- 第十八圖 彗星和星雲……………P. 374 後



行星大小的比較

♃

♄

♅

♆

♁

♀

♂

♁

劉澤先

天象談話

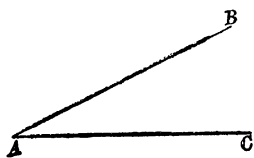
第一課 幾何學

- 1.——用幾何學量天。
- 2.——角。
- 3.——垂直線和斜線。
- 3.——銳角,鈍角,直角。
- 4.——圓周,半徑,直徑,弧。
- 4.——圓周的分度。
- 5.——量角器。
- 5.——測量角度。
- 5.——經緯儀。
- 6.——多邊形外角的總和。
- 6.——實驗證明和理論證明。
- 7.——三角形。
- 7.——三角形三角的總和。
- 8.——各種不同的三角形。
- 8.——三角形內兩銳角的總和。(數目字表示節數)

1. 假如我們憑外表來判斷天空,那麼我們就要把牠看作一座大而光亮的圓頂,白天是蔚藍的顏色;夜間是漆黑的顏色還點綴着黃金色的小星。但是科學指示我們,這些外表情形都是欺騙我們的,牠告訴我們,並沒有天那麼大的天花板彎着圍繞我們。空間在我們腳下和我們頭上一樣是無限境的,在右面也和在左面一樣;那兒有無數的星羣住着,我們睜眼的瞎子祇能在那兒看到亮晶晶的點子,空間是向地平線去的四方八面

漫延的，祇有大自然纔知道牠的中心和牠的邊界，也祇有他的視力能夠看去。地球在這些漫無限制的天地中浮動着，在整個的天地中是個無足輕重的東西，就好像在—道陽光裏面的一粒微塵似的。我們爲要得到宇宙深淵的知識，和求出各種天體的距離，和牠們真實的大小起見，所以我們要探索幾何學以求得我們的幫助。我承認那是一門困難的科學，牠能使少年人的頭腦感到興趣，除非是很年幼的，但是你放心好了，我不會使你因學習定理而感到倦厭，也許那些定理會出你意料的容易。祇要很基本的解說就夠了。假如有一些乾燥無味的幾何學章節阻止了你前進，那麼你就得緊張地坐好，聚精會神地去研究：因爲要這樣去對付纔配度量天空，和測勘宇宙呢。孩子們，你想想看，那可是祇費幾分鐘就能得到的價值呢？好，就從這兒起始。

2. 我們所稱的一個角，就是兩條直線互相交叉，牠們中間所展開的地位的大小。這兩條線所交的那點叫做角的『頂』，這兩條線自己就叫做角的兩邊。這樣，比方說吧，AB和AC（第一圖）兩條直線，相交在A點，彼此離開，在牠倆之間展開的地方，便留下一



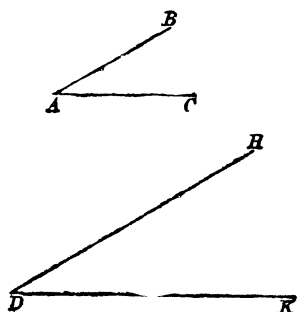
第一圖

個空間，這個空間便叫角。A點就是這角的頂，而AB和AC就是邊。爲了表明角起見，我們就用三個字表明邊，但是總是拿

在頂的那個字放在中間。因此我們把這個角念成和寫成CAB角或BAC角是沒有分別的，可是我們不能把牠念作ABC角。如果非要把角表明出來不可時，祇要注意在角頂的字就行了。用一個字或數目放在牠所張開地方的裏面，也可以表明角。

直線是沒有盡頭的，因為牠總能延長出去的。因此一個角的數值對於牠邊的長短是沒關係的，我們儘可以隨我們的意，要把邊弄多長多短都行，對於牠們的傾斜是絲毫沒有改變的。

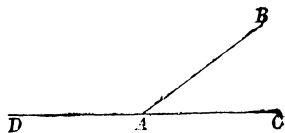
因此（第二圖內），BAC和HDK兩個角是相等的，祇要牠們邊的斜度是相等的，無論邊是畫得怎樣長都沒關係。最後，沒有什麼東西能阻止我們設想BAC角的邊畫得和HDK角的邊那樣長，就是再長也是一樣的，因為一道直線



第二圖

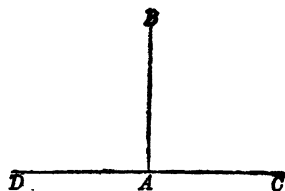
是沒有盡頭的，在我們圖上畫的直線，牠每一部份都一定有無限延長的能力。

3. 讓DC直線和另一條直線BA相交（第三圖）。這樣我們就有了兩個角——一個小的是BAC，一個大些的是DAB。這個小的叫做銳角，那個大的叫做鈍角。我們



第三圖

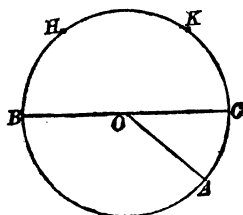
假想AB線向上移動不已。那麼銳角便增大而鈍角便減小。過一會兒，當BA直線完全向上時，牠不向DC線的任何一方傾斜，見第四圖所畫的。在那個時候，BAC和BAD兩個角都一樣大小。於是我們就說BA垂直於DC，這樣形成的兩個相等的角，便叫做直角。凡不是垂直的線，就叫做『斜線』。



第四圖

在第三圖裏，證明BA線能隨便向DC傾斜多少，牠能夠成為很傾斜或不大傾斜的斜線，這樣便改變了銳角和牠鄰近鈍角的數值。因此，我們有許許多多數值不同的銳角，還有許許多多數值不同的鈍角，但是祇有一個直角，因為祇有一個地位是不向DC的任何一邊傾斜的。總而言之：直角有一個不會變更的數值，但是銳角的數值是有很大的變化的，牠總在小於直角的數值裏變化；鈍角也是變化的，但牠總在大於直角裏變化。

4. 當我們用圓規畫一條曲線時，我們把這條由圓規上的移動尖端所畫的線，叫做『圓周』，那個固定點叫做圓心。圓周有時叫做圓，但是還是把這個字留作別的用好，因為牠是指被圍在圓周裏面的平面說的。由圓心畫到圓周的每一條直條，比

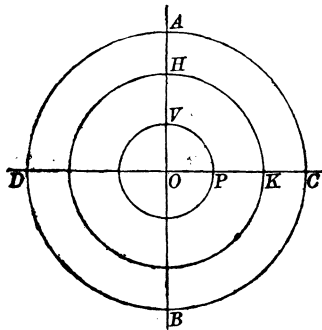


第五圖

方像OA（第五圖），就叫做『半徑』。當然囉，一個圓裏面的半徑數目是無限的，牠們的長都是相等的，因為牠們每一條都是畫圓時圓規兩點之間的距離。通過圓心，兩端都達到圓周的直線，就叫做『直徑』，比方像BC。一根直徑是半徑之長的兩倍，而且牠把圓周分作兩個相等的部份。最後，圓周上面任何一段，像HK，這就叫做圓的『弧』。

規定把每一個圓周分爲360個相等部份，每一部叫做『度』；每一度又分作60個相等部份，這叫『分』；每一分分作60個相等部份，這叫做『秒』（註）。於是，整個圓周有360度，或是21,600分，或是129,600秒。

一個圓的度數不是用英尺或公尺的尺度來量的。牠們僅僅表明在這個弧裏含有圓周的那一份。因此，我們說一個圓的弧是90度，那僅僅說這個弧含有圓周360分之1的90倍，或即是圓周的四分之一，牠並沒有含着任何長度的意思。依照圓面積的大小，牠所屬的弧也能

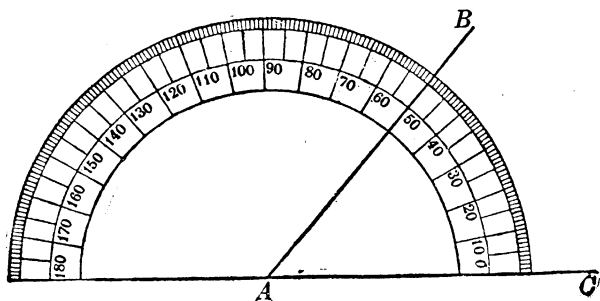


第六圖

（註）一個圓弧的這些分和秒切不可和時間上的分秒弄混。雖然牠們的名稱是相像的，但是牠們並沒有相同的地方。

大能小，然而牠們的度數是相等的。如果我們繞着圓心 O 畫三個圓（第六圖），再通過圓心畫 AB 和 DC 兩條直線，使牠們相交為直角，彼此互相垂直，那麼這三個圓裏的任何一個，都被平分為四個相等部份，雖然 AC , HK , 和 VP ，牠們這三個弧的長度不同，但是牠們的度數是相同的。牠們每一個都是 90 度，因此牠們都是牠們圓周的四分之一。

5. 『量角器』是一種角質或人造象牙做成的透明的半圓把牠平分作度數。直徑是刻在底部的，從這根直徑的一極端所刻出的數目自 0 到 180 ，這就是一個完全圓周的一半，也就是說 360 度的一半。量角器是測量畫在紙上的角的。

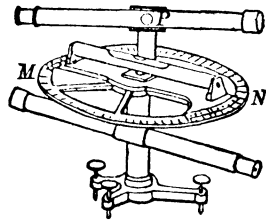


第 七 圖

因此，爲了要求得 BAC 角（第七圖）的數值起見，就拿量角器放在這個角上，使這個器具的中心放在這個角的 A 頂，

而直徑便和這角的一邊相合，如AC。然後我們再把角的那一邊在圓上所截的分度線讀出來就得了。在這個圖裏面的是截在50度的分度線上。這就是說這個角的數值是50度。一個直角的數值總是90度，即圓周的四分之一。一個銳角所含的總比90度小，而一個鈍角所含的總比90度大。

在天文學上，或就在平常的測量上，那要用很大的銅的量角器，安在三角架上，這個測量角度的儀器叫做經緯儀（第八圖）。在這些儀器上面可以讀到圓弧的『分』以下的數目，就是弧的秒度也可以讀出。經緯儀上有兩個望遠鏡，一個是沿着量角器的直徑看的望遠鏡，這個望遠鏡是固定不動的。另外一個是可以繞着安在中心的軸上轉動的望遠鏡。測量在空間中的角時，經緯儀是放在那個角的頂端，固定着的望遠鏡便指向角的一邊，然後使活動的望遠鏡沿着另一邊指好。這樣纔好把刻在儀器邊緣上的度數讀出來。

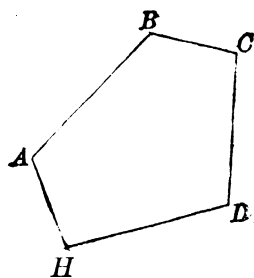


第八圖

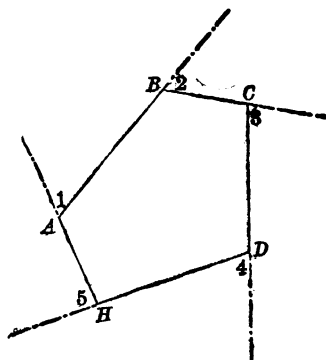
6. 由幾根直線依次互相交遇成的圖形，叫做『多邊形』。如果多邊形祇有三個邊的，那就叫三角形；如果有四個邊，五個邊，六個邊，或是邊再多一些的，那就叫四邊形，五邊形，六邊形，等等。

一個多邊形的形式，能够起無限的變化；牠可以隨便有多少邊，牠可以大也可以小，牠可以各邊都相等或是各邊都不等，牠可以由各邊所成的角都相等，或是不相等。然而，在所有這些變化的幾何圖形中，有一件事卻是永遠不變的，我們就要討論的。

讓我們在紙上，畫一個隨便什麼樣的多邊形，愛怎樣就怎樣，比如像多邊形 $ABCDH$ （第九圖）。假如我們把這個多邊形中的各邊，向同一的方向裏延長出去，如第十圖，我們就得到一個角的系列， $1, 2, 3, 4, 5$ ，這五個角叫做多邊形的外角。



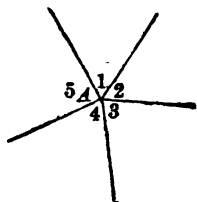
第九圖



第十圖

讓我們想像這些角都被剪刀剪下來，然後又繞着同一點，邊對邊地排起來（第十一圖）。牠們總是這樣的，不論多邊形的形狀和邊數多少，這些角總可以湊成一個完全不缺的一圈，把牠

們一個一個地排置起來，那麼最後的一個總是填上第一個和末了一個——除去牠自己——中間的地位。現在，如果我們繞着 A 點（第十一圖）畫一個圓，那是很清楚的告訴我們；如此一點缺縫也沒有的繞着這點所組合的這些角，就是一個整個的圓周。於是，任何多邊形外角的總和總是等於 360° 。（註）



第十一圖

這真是個奇怪的性質，我很誠懇地要求你，請你去證明這個性質，把各種不同的多邊形畫在紙上，再把牠的外角剪下來，再繞着共同的一點聚集起來。稍為想一下，你就可以預知這個特性。事實上（第十圖），你可以注意到，多邊形的外角 1, 2, 3, 4, 5，每一個角都向圖所畫在的那個平面上，一個特殊的區域裏伸展，在經過那個平面所有可以想得到的方向裏，容納牠們的集合。因此，假如牠們是繞着一共同點集合的，那麼牠們必定包括所有可能的方向，於是牠們就湊成一完全無缺的一圈。比如在第十圖的 2 角經過平面，到 1 角的旁邊，3 角又到 2 角的旁邊，這樣下去牠們不是成爲一圈了嗎？

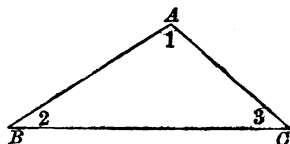
7. 三角形是一個最簡單的多邊形。牠祇有三個邊。雖然牠很簡單，但是牠也有極複雜的多邊形所俱有的特性，那就是說，

（註）角是凹入的多邊形例外，因爲在那種情形中的定律是不同的。

牠的外角的總和也是360度。從這個我們可以推出三角形的特性，那是對我們以後很有用的。

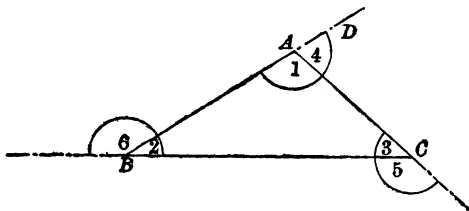
拿三角形ABC（第十二圖）。

我們要證明123三角的總和是180度。讓我們先把牠的三邊延長，這樣就形成4, 5, 和6, 三個外角



第 十 二 圖

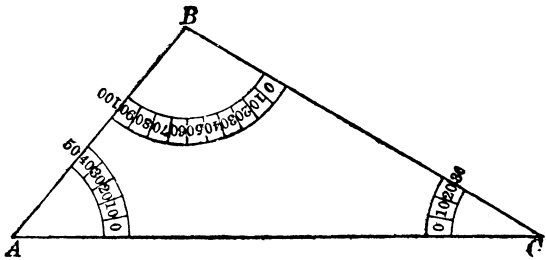
（第十三圖）。1和4兩角合起來等於180度，這是很顯明的，



第 十 三 圖

因為假使我們放一個量角器在上面，牠的直徑就和BAD直線相合，牠的中心就和A點相合，這兩個角就含有組成量角器的半圓。如畫在圖上的半圓。同樣的，3和5兩角之和是180度，2和6兩角也是一樣。這樣我們就知道1, 2, 3, 4, 5, 6, 六角集合起來的總數是180度的三倍。如果從這個總數裏減去4, 5, 6三外角的總和即等於360度，或即180度的兩倍，那麼我們便得到1, 2, 3, 三角的總和正好是180度。依照上面所說，因此，每一個三角形裏的三角總和是180度。

如果你對我的敘述感到有點不懂，那麼請再做下面的實驗。在紙上畫一個隨便什麼樣的三角形，比如 ABC（第十四圖）。用一個量角器來測量那三個角。A 角找出是 50 度，B 角

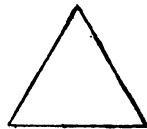


第十四圖

是 100 度，C 角是 30 度。50, 100, 30，這三個數值加在一起正正是 180 度。好，你總可以沒有例外地在隨便什麼三角形中，求得 180 度的總和，設使你的測量準確，總不會有什麼困難的，尤其是使用一具簡單的量角器時要格外小心。

8. 在所有各種的三角形裏，我們要特別注意三種。

假如像第十五圖，三角形的三邊都相等長，這個三角形是等邊三角形。等邊三角形裏，三個角彼此都相等的，每一個都是 180 度的三分之一，即 60 度。

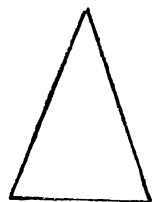


第十五圖

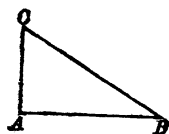
假如三角形裏祇有兩邊是相等的，那就叫做『等腰三角

形』(第十六圖)。等腰三角形中,和兩等邊相對的角是相等的。

假如三角形裏有一個直角,那就叫直角三角形,如第十七圖的ABC三角形。牠的A角是由AB和AC兩條直線互相垂直而成的,牠是一個直角,因此等於90度。因為ABC三角形的總數等於180度,因此B和C兩角之和是90度。最後,我們再注意,和直角相對的BC一邊叫做直角三角形的『斜邊』,即『弦』。



第十六圖



第十七圖

祇有那麼一會兒,在這兒我們就完結了毫不過分的幾何學研究。我們將要用這些很基本的東西來幹嗎呢?我們要來測量地球呢!

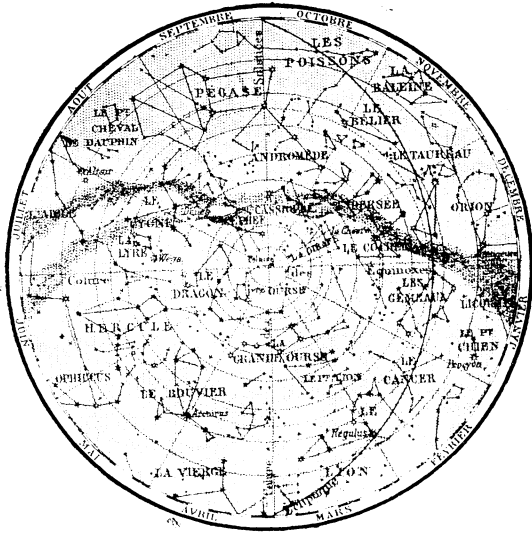
第二課 測量地球

1. ——地球的圓形，地平線。2. ——一架鐘的圓周。
3,4,5. ——測量地球的圓周。4. ——鉛垂線。6. ——
切隻蘋果；球形的最大圈和最小圈。7. ——地球的最
大圈。7. ——徒步的旅行。7. ——雲采翻山越嶺的疾
駛。8. ——世界最高峯和一粒沙。8. ——海洋上的疾
行。8. ——大氣的厚和桃子上的毛。9. ——地球的圓
形並不因表面的不平而有影響。9. ——關於地球的一
些數值。

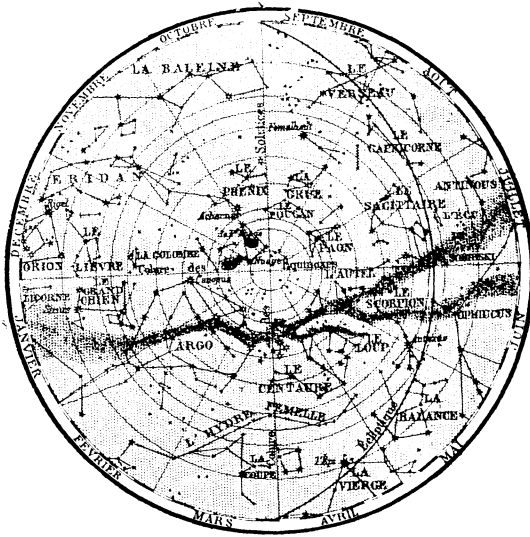
1. 地球是一個毫無支撐的，浮在太空中浮遊的巨大球體。
讓我們追憶地球是圓形最簡單的證據。在一個光坦的鄉村中，
我們所見的地球是被一根圓線所限制的，這根圓線我們就叫
做『地平線』，無論我們陞高多少，總被這根線限制的。這根
線又好像是平原和天空所交界的線。在海洋上面，各種不規則
的東西，岩石，山丘，和山嶽，這些常阻住視線的東西沒有出現
的時候，地平線的圓形是非常動人的。航船向前行幾天，幾個
星期，幾個月，航行者總是在限制他那視線的那個單調的圓心，
雖然向前走了那麼多時候，也沒有改變他在那圓心的地位。沿

着一條完全圓的線，他總看見水的藍色和天空的藍色參混起來。是不是因為我們視力的薄弱，地平線纔出現的呢？我們的視力不是在一定的距離以外，就不能辨別東西了嗎？不是這個原因，因為要那麼講，我們用望遠鏡就立刻可以把地平線縮回來了。但是並沒有；限制肉眼的那根圓線也限制了最好的望遠鏡的視程。地平線是不可勝過的，因此牠是由地球的視界線而成的，牠是由地球可見部份和不可見部份之間的分界線而成的，牠在每一個地方都彎曲的，因此一個東西在一定界限以外就看不見的原因，並不是我們視力薄弱，而是地球彎曲形的原故。這個結論是很自然的：假如在眼睛所見的地球的範圍總是圓的，那麼地球的本體就是圓的。

2. 地球是圓的已經認定了，那麼又有個很大的問題發生：這個大球的圓周有多大？牠有幾仟米〔仟字讀千，仟米就是一公里（Kilometre），等於一公里，米就是公尺〕長呢？我能直爽的告訴你，地球的圓周是40,000 仟米（24,000英里），但是我希望頂好還是要你知道用什麼巧妙的方法測量地球的。去測量一個長度，你祇知道一個方法，那就是帶着一把尺，看牠有多少倍適合在要量的長裏面，就是說用尺去量量那個長，看牠有幾尺。當然，這個方法用在測量地球的周圍時是不適合的。你想：拿着米突尺在滿佈着山嶽的陸地和狂風暴雨的海面上，



第一圖 北半球的星



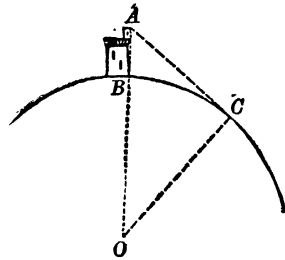
第二圖 南半球的星

去一尺一尺的量，那可不太傻了嗎？人類的力量還不能勝過這件苦事呢。那麼我們怎麼辦呢？我要用幾何學，牠要笑我們對這樣容易的事還有困難呢。

假使你要測量一個鐘面的圓周，無疑的你要照下面的方法去進行。你要正確的繞一根線在牠的面上，然後再放開那根線，量量牠幾寸，結果就是你所要的長度。這是一個直接而完善的方法，但是可能用在測量地球上面，因為地球太大了。我們測量鐘面的圓周有一個比較間接而簡單的方法。每一架鐘的鐘面都分作十二個相等的部份，等於一天的十二小時。讓我們測量裏面的一份；比方讓我們測量鐘針自12走到1的距離。然後再用12來乘我們所得的長度，這樣我們可不就得到鐘面整個圓周的長了嗎？這個方法有些像應用去測量地球周緣的步驟。我們不能測量地球整個的圓周，但我們可以測量牠圓周的一部份。如果我們再繼續的考察包含在整個圓周裏的長，是那一部份的多少倍，我們就把問題解決了。可是不幸着呢。地球在牠表面上並不像鐘面似的，刻分了相等的部份，所以困難好像還沒有解決。誰來告訴我們地球整個的圓周裏含有我們辛苦測量出的距離多少倍呢？幾何學告訴我們，我們就要知道的。

3. 在一塊廣大而平坦的平地上，我們離地面越高，那麼所

見地平線的範圍也越大。比方說，我們的觀察點是一座塔。在這個觀察所的頂部，讓我們用一架望遠鏡觀察在地平線的那一點，牠是由地球的彎曲限制我們視線之長的。事實上，我們確定是C點



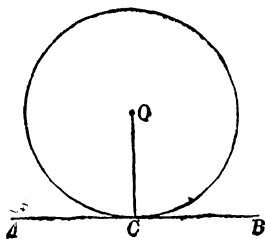
第十八圖

(第十八圖)的地位。然後用普通測量的方法，那就是說，運用測量者的鐵鏈(牠的長是有一定的，由許多定長的鐵鏈連接成的，以作距離的測量用的)，把由塔腳到所見在地平線上最遠一點的距離，一下一下的測量出來。換句話說，你去測量BC弧。比方你可以找出的這個距離是50,000米(55,000碼)。你也許要認為那不是一個容易的工作吧，但是祇要你多費些時候，多小心些，你總會成功的。地球的BC弧長我們已經知道了。那麼，現在我們測量整個地球的周緣需要的是什麼呢？我們需要知道在整個圓周內含有那道弧的多少倍；因為，比方說，假如含有一千倍吧，那麼我們就能知道地球的圓周是50,000米的一千倍長，正好像鐘面的全圓周長是由牠的一份之長被十二乘，乘後所得的一樣。但是我們要知道在圓周裏含有一個弧的多少倍，我們一定得知道那個弧是幾度，幾分，幾秒。現在我們要知道那個弧的度數分數起見，我們必得考察COA角。

這個角是由地平線的一點通過地心的那條線，和由塔頂到地心的那條線所交成的。我們一定要考究夾在地球圓弧BC兩邊之間的COA角，這個角我們可以看作爲測量那個弧而安置的一個巨大的量角器。

4. 現在的問題歸併到去求得COA角的數值。但是什麼眼睛能夠看到地球的正中心，去求得這個數值呢？那是一隻能看『不能看到的東西』的眼睛，牠可以測量不能測量的東西。那便是原理的眼睛，幾何學的眼睛。事實上，我們注意到在ACO三角形內的C角是個直角。雖然我們沒有量牠，但是那是一定的，因為牠是由半徑OC和圓周的切線交成的；那就是說，在地平線那兒掠過地面的曲面的視線AC，是圓周的切線。假如你不懂這個，請看下面的註解(註)。因為AOC這個三角形是一個

(註)一根直線，牠掠過圓周，僅在圓周的一點上接觸而過，沒有經過圓周的內面的，這根線叫做『切線』，英名是tangent，是從一個拉丁字意思叫做『接觸的』轉過去的。像在第一十九圖中的直線AB，牠是在C點接觸圓周的。假如我們畫一條半徑OC到切線的接觸點，無論在那一方面看，這根線是和切線垂直的，和牠交成90度的角。你可以在這個圖上或隨便什麼你自己畫的圖上，做這個實驗。



第十九圖

直角三角形，於是在A處的和另外在地球中心的O角，兩個加起來等於90度，如果我們知道A角，於是O角也就知道了，因為祇要一減——拿90度減A角就得了。因此讓我們來測量在塔頂的角。

我們攀上我們觀察所的頂部，把經緯儀的一個望遠鏡指向地平線，那一個指向地球中心。在這兒，我們似乎又要過一個難關了。我們怎麼能把一架望遠鏡指向地心呢？牠是看不見的，而且在我們腳下又不知有多少深呢。然而這是很簡單的。拿根線的一端捆個隨便什麼重的東西，像什麼鉛球啊；再持着線的那一端，把牠懸起來。當這個重東西停止不動時，這根伸直的線就是指着地球中心的方向，正好像這個懸空了的物體真看見那個中心似的。換句話說，如果把這根線通過地層向下延長時，牠就正確的經過地球的中心。

5. 然後，經緯儀的第二個望遠鏡一定要沿着這根鉛直線指着。於是我們就得到OAC角的數值。我們找出牠是89度33分。因此在地球中心的角是27分，因為拿這個27分加到上面的33分上，恰好是60分，即1度，拿這個1度加到第一個角的89度裏得90度，那是這兩個角必得的總和。

如果在地球中心的角是27分，那麼在牠兩邊內所含的地弧BC也是27分。現在的問題就是：等於21,600分的整個圓周

裏，含有27分的弧多少倍？除後所得的答數是800。我們已經求出BC弧是50,000米長，整個地球圓周裏含有牠的800倍，於是整個圓周是50,000米的800倍，即40,000仟米。於是問題解決了，地球圓周的長我們知道了。一個50仟米的距離和一個角，那就是科學所要完成最驚人的工作之一裏所需要的。(註)

哦！如果幾何學僅具有『玻璃鞋』（故事，原名 Cinderella 信得芮拉，是個可憐的女孩子的名字）或其牠小孩兒們的故事那樣引動人的力量，那我們還有一大堆事要請問牠呢！但是因為你的想像力還薄弱，所以這些事都不能辦到，雖然關於三角形的事我已經說得太多。不要緊。縱使祇有我自己明白那些你所辦不到的研究，但是你要想到我們已經討論過的這個大問題時，你總會饒恕我的。

6. 如果我們用把刀子把一隻蘋果切成一片一片的，所切下來的部份都是圓的，越靠近蘋果中心所切下的部份越大；越遠離蘋果中心所切下的部份最小。假如這把刀正對着蘋果中心切下去的，那麼所切的圓便最大，這隻蘋果便被分作兩個相等的部份。如果沒有對着中心切下去，所切的圓便較小，這隻

(註)一個50仟米的距離和一個角，所需的固然是很少，但是還可以再少一點，祇要知道塔的高度和O A C角就足以確定地球圓周的長。但是那種計算對我們是太複雜了。

蘋果便分作兩個不等的部份。這件事表明：在這個球體上面可以隨便我們畫多少圈。最大的圈把牠分作相等的部份，比較小的圈把牠分作不相等的部份。前者叫做大圈，牠們都是彼此相等的，因為無論牠們是切在什麼地方，牠們的半徑就是球自己的半徑，而且牠們全都是經過球中心的。後者把球分作不等部份的，叫做小圈，牠們離球體中心越遠，牠們的半徑也越小。

一個球體的圓周總是沿着牠的最大圈量的。這是很自然的；因為，假使你要量一隻橘子的圓周，你不能量用刀子所切的那較小一片的邊緣，你得量那經過這個水果中心而切下的最大部份，那就是說，要去量大圈。因此，地球的周緣是指理想畫在地球表面上的任何大圈說的。於是地球的大圈是 40 000 仟米。這個大圈的半徑，即地球的半徑，比 6,400 仟米稍為少些。

7. 由下面所注意的事，我們可以了解這些數目真是偉大。我們把一張桌子圍起來，要三四個人，或四五個人手牽手的連上纜行。把地球也同樣的圍起來，差不多需要全體法國居民手牽手的連上纜行（譯者按：法國居民總數大約為三千九百二十萬人）。一位旅行者，他每天能走 40 仟米已經算不得了，如果沒有海洋隔着，他還得走三年，纔能把地球繞一週。但是什麼纔能繼續這個工作至三年之久啊？你要知道，要把我們全身

的力量都放出來僅走那麼一段40千米的路，到第二天早上再出發就不行啦。讓我們再來看那些不會疲倦的旅行者——雲采吧。牠越過所有的障礙物，平原，山嶽和海洋，以同一的速度自地球的一方飛駛向那一方。如果風向和風力都是一定的，雲采在天空中很快的飛過，那麼牠要多少時候纔環行地球一週呢？大約要六個星期，因為在暴風雨中的強風一小時很難有超過40千米的速度。牠雖要六個星期，可是還走得很快，牠的影子順着地，用巨大的步伐翻山越嶺的向前飛駛。

8. 讓我們再做些別的比較。假想地球好像是一個二米寬的大球，再讓我們依着地球主要山嶽適合的比例在這個大球上表明出來。世界最高峯是額非爾士峯，牠是亞洲中部喜馬拉雅山的一部。頂部拔海的高度是10,000米（30,000英尺）。很少有雲采能夠陞得那麼高去裝飾牠的頂峯的，牠的底部卻佔了一個王國那麼大的範圍。現在讓我們把這個大傢伙放到代表地球的大球上。要代表牠，我們需要一粒細沙，1.5毫米〔即公厘（Millimetre）是一米的千分之一，約二十分之一英寸〕那麼高。歐洲最高的山峯是阿爾卑斯山的一部，叫做勃朗山（Mont Blanc）的，牠有5,000米（16,000英尺）高，要拿一粒沙的一半代表牠放在大球上。不必再舉這樣的例子了。這些山峯和我們比起來那是很偉大的，使我們深深的感覺到牠那巨

大的身軀，但是要和地球比起來，牠們便失去了牠們巨大的身軀，而是一些沙粒。

至於海，那深而廣大的洋，究竟牠們對於整個的地球又有什麼關係呢？海洋佔了地球表面將近四分之三的地位，平均深度約6仟米。把這大水池子填充起來，讓牠們流乾，那麼需要像法國最大的河流來茵河（800仟米長）似的河流 1,000 條，叫牠們流溢得極滿的流，要兩千年纔能把這些水流乾。然而這樣巨量的洋水和地球比起來，幾乎又縮小到沒有什麼東西似的。在我們這二米寬的大球上代表牠，祇要一層 1.5毫米厚的水就足够了。拿個濕刷子在這個大球上擦着，把牠擦得很濕，那就代表了地球上的海洋。

還有另外一個海洋，那就是空氣海，這是個更廣大的東西，因為牠包圍了整個的地球以後，還高到65仟米的厚，在這個同樣的球上可以用一個指頭那樣厚的氣層代表。拿隻桃子來代替大球，在牠四圍的空氣海，過勝其詞的把牠代表出來，幾乎是感覺不到的桃子上的毛。

陶註：現在我們知道地球大氣的厚是250仟米。

9. 現在你總懂了，雖然地球有山脈山谷，但是我們能完全說牠是圓的，因為牠的曲度被這些不規則的東西所改變得很少，好像一隻細皮的橘子，牠的圓形稍為被在牠邊緣上的皺紋

所改變。

在這兒讓我們再加些關於地球體積的一些數目。

地球的圓周等於40,030千米（24,900英里）

地球的半徑等於6,731千米（3,963英里）

地球的面積等於510兆平方千米（198兆平方英里）

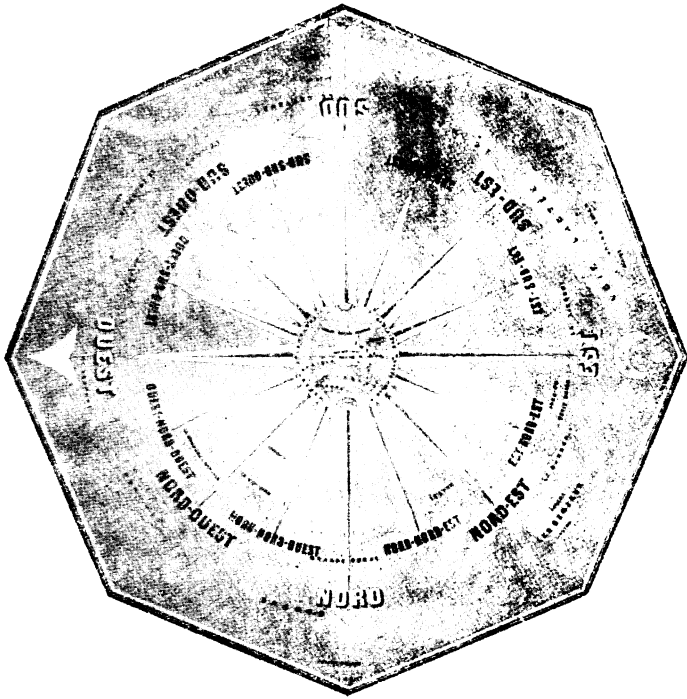
地球的體積等於1,083,000兆立方千米（262,000立方英里）

最後的三個數目是由幾何學的定律所推算出的，這定律不能在此地解釋。

第三課 地球是怎樣稱的

1.——物體的下落。1.——引力。1.——鉛垂線向近山處偏斜。2.——卡汾迪士秤。3.——落體自己向地心落去。3.——一輛雙馬車。4.——吸力的大小和質量成正比。5.——和距離的平方成反比。6.——這條定律的圖解。7.——物體的中心和吸力的集中。8.——牛頓。8.質量的比較歸成下落距離的比較。9.——地球的質量。9.——原理的槓杆

1. 所有的物體提舉到空中，再把牠們放開時，牠們仍落回地球。在牠們下落時，牠們是垂直地向地球落下，一直不偏地向水平的表面落下。牠們是順着鉛垂線下落的。假如開一個像井似的無底洞穴，用來做牠們下落的路徑，那麼牠們在裏面下落時，便一直向地心落去。觀察已經告訴我們：一個自由下落的物體，在牠們下落的第一秒鐘內，牠要下落 4.9 米（16英尺）。當牠繼續下落時，牠就越落越快，於是所走過的距離也加快了。所經過的米數等於所落的秒數自乘再乘 4.9 米；換句話說，所經過的米數是和時間的平方成正比的。（註）於是在 6 秒鐘內物體下落經過的距離是 4.9 被 6×6 乘，即 4.9 被 6 的平方乘。物



第三圖 天空的方位(自下向上看)

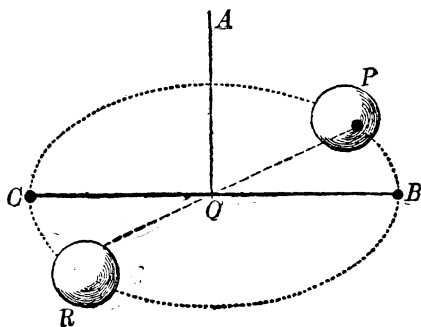
體下落的原因是由於地球的引力。

物質吸引物質。這是最普通的物性中間的一個。叫做『萬有引力』。兩個物質小點子(簡稱質點)在任何距離上,彼此面對面的放着,彼此就共同的吸引,想去接近。假如每天在我們眼前所見的每一樣東西,並沒有因為這個共同吸引的特性而彼此向前移動,那是因為被牠們自己的重量固定着不動,這是地球引力的結果,牠是超過任何其他的引力的。也因為牠們要運用牠們的微弱引力去戰勝一些阻止牠們前進的力量,像什麼空氣的阻力,和牠們所在地方對牠們的摩擦力,所以牠們不能和地球的引力對抗,而被吸住不動。但是,假使吸引物體是個質量很大的,而被吸引物體又是很自由不羈的,那樣一來,物體和物體的吸引便很容易看出來了。在一塊平原上,懸着的鉛垂線是順着筆直的方向,向地面垂直的,但是如果牠的旁邊是些大山,那麼牠多少總要向大山那邊偏去。鉛垂線上的球要稍為拐向山那兒。山的引力便和地球本身的引力爭起來了。

2. 一個物體作用在另一物體的引力,還可以用下面的事表明出來。一根二米長細木棍 BC (第二十圖),在牠中心 O

(註)一個數目的平方就是這個數目被牠自己乘後的積。於是,5 的平方是 25,7 的平方是 49, 等等。

處用根細線懸起來，把線定在木板的A處。在木棍的B和C兩端連兩個小重錘，牠們的重量要完全一樣。這兩個小錘的平衡，要好像在天平秤兩個秤盤裏的法碼似的，連着重錘的那根



第二十圖

棍子在靜止狀況時，呈水平的地位。然後拿個重鉛球P去接近小錘B，另外一個具有同樣重的鉛球R去接近C的那一邊，距離要和P所放的一樣；即RC的距離和PB的距離一樣。結果便是：連着兩個同等重的小錘的棍子使懸着的線繞起來了，那兩個小錘子想移向吸引牠們的鉛球去。(註)這兩個小錘子便落向那兩個大鉛球，但是牠們傾落的速度很緩慢，因為是拉動牠們前進的引力微弱所限制。在這兒的下落並不是沿着垂直於吸引物體的方向進行的，或是說牠不是沿着小錘和球心連的直線方向進行的。牠是沿着一個圓弧而進行的，祇有這個方向纔

(註)這個儀器叫做卡芬迪士天平秤(Cavendish's ballance)，因為一位英國的物理學家叫做卡芬迪士的，是他最初用來稱地球的。因為是初步的解說，所以逼着我們把這個儀器弄得很簡單，我們唯一的目的僅在解釋稱地球的原理。

和這個儀器的裝置適合。但是，從沿着圓弧方向所見的下落，有靈巧的計算使我們推知物體是沿着一根直線下落的。

3. 因為每一個物體把牠舉到空中，又把牠放開，牠自己就落回來，那一定是地球吸引牠，和在我們實驗中所做的重球吸引小錘子一樣。現在這個吸引並不是由地球的一部份比另一部強所作用的；而是由所有各部同時作成的，在上面的和在下面的，在右面的和在左面的，在表面的和在內裏的各部份作成的。從這些所有的吸引，任何一部份都要把物體向牠自己這一邊吸來，全體吸引的結果便使物體向地球中心落去。

駕一部雙馬車，如果祇駕上右手的馬，車子就傾向右邊走去；如果祇駕上左手的馬，車子便向左面走去；如果兩匹都駕上，這部車子便一直向前走去。一個物體下落時，也是同樣的道理，因為我們常能假想把地球平分作兩個相等部份，一半在物體的右面，那一半在物體的左面。如果祇有右面的一半來吸引，於是物體就傾向右面下落；如果祇有左面的一半來吸引，於是物體就向左面而下落。但是假使把這兩半的引力都連合起來，或即把地球的引力總集起來，那麼物體就向中心下落了。

4. 我們再回到第二十圖。小錘 B 因為受了大鉛球 P 的引力，牠就被拉向牠，牠向牠落去，但是因為引力的總量太微弱，所以牠祇有慢慢的。假設鉛球的重是20仟克（一仟克就是一

公斤, Kilogram), 小錘子在第一秒中落去的距離是一厘米(厘米就是公分, Centimetre)的十分一, 即一毫米。假如這個球是由經過很重的鎚擊, 打得更嚴實的一種鉛做的, 那麼會有怎樣的現象發生呢? 假如是真能的話, 在同體積中含有兩倍重的這樣物質, 牠就有40仟克代替20仟克, 那麼會怎樣呢?(註)這是很簡單的。因為吸引物體裏的每個質點都作用在被吸引的物體上, 吸引物體含的物質越多, 牠也就越嚴密結實, 份量就越大, 於是牠的引力也就越大; 含有仟克重量的鉛的引力也就比在同體積中是20仟克的大二倍, 物體在第一秒鐘被吸引去的距離也就是後者的二倍長。假如這個球重了3倍, 4倍, 或更多倍時, 那麼被牠吸引的物體下落的距離也大3倍, 4倍或更多倍。像地球, 牠使物體在第一秒下落的距離是4.9米; 但是牠要含有兩倍或三倍這樣多的物質時, 那麼在同一時間內牠使物體所下落的距離增長了兩倍或三倍。把這個結果歸併起來, 便是: 引力的大小是和吸引物體裏的物質份量的多少成正比例的。用專門的術語, 我們就可以這麼說: 引力和質量成正比。質量在此地就是說物質的份量。

5. 假如我們把吸引物體放得遠一些, 那麼牠的吸引力的

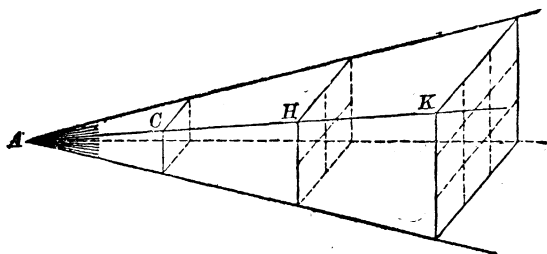
(註)這件事純粹是假設的; 無論用怎樣有力的錘子, 決不能鑄得像前面說的那樣, 在同體積內使含有兩倍份量的鉛。

強度就減小了，物體落向牠的速度便要比以前的慢些。我們已在一座高山的頂上能夠看出，在牠上面物體的下落要比在平原上的慢些，這就證明離地面遠的地方，地球引力的強度在那兒就減小了。引力減小是依照那一條定律的？這就是我們現在要尋求的。

讓我們再回到第二十圖。比方我們說，當鉛球 P 的中心和小錘中心的距離是一分米（即一公寸，Decimetre）時，鉛球吸引小錘子接近牠，使小錘子在第一秒鐘內傾近牠的表面一毫米。現在讓我們把這鉛球移到二倍遠的距離即 2 分米，再把 R 鉛球也移到同樣的距離上。在這些情形之下，物體的下落還是發生的，但牠所下落的距離小 3 4 倍，第一秒鐘的距離祇等於一毫米的四分之一。在 3 倍距離的地方，下落的距離比牠在第一次時小 9 倍。於是，球和錘的中心距離是 2 的時候，引力便比距離是 1 的時候要弱 4 倍，距離是 3 時，那麼引力就弱 9 倍。我們可以看出 4 是 2 的平方，9 是 3 的平方。因此引力是和距離的平方成反比例的；距離的平方大，引力小，距離的平方小，引力大。

6. 爲了熟習這條基本的定律起見，我們可以用圖來表明引力和距離的關係，但是因爲紙是有限的，我們祇看在某個範圍內的關係。但是這決不能當一個證明，祇不過是給你留一個

印象而已。



第 二 十 一 圖

每一個質點是四方八面的作用牠那特有的引力的。讓我們拿些繩子或鈎鏈來代表發自那一點的引力。但是因為引力是四通八達的作用出去，所以我們祇好代表在可能方向裏所發出的引力，好像從一個發光點所射出的光線似的。這些鈎鏈要鈎住每一個經過牠們的東西，再把鈎住的東西拖向吸引點。當然，產生的結果是根據已鈎住物體的鈎鏈數目而定，並不在那些完全沒有達到物體的鈎鏈。於是，比方說，讓一個吸引點 A（第二十一圖）把引力作用在一個四方塊 C 上。比方我們說，從 A 點起，向四方八面去有一排很密的繩子，牠們都能捕着在牠們範圍裏的隨便什麼東西，再把捕着的東西拖向這些繩子的出發點去。A 是這一串東西的頂點，方塊 C 是這串東西的基底，方塊 C 就接收這一段中所含有的繩子。在 AC 距離兩倍的 AH 距離時，如圖中所示，把同樣一串裏面所含有的繩子

都接收到，需要的方塊要比第一次用的大 4 倍纔行。因此，拿第一個方塊 C 移到現在的距離，即第一次距離的 2 倍時，牠祇能接收到四分之一的繩子，因此便受了減少 4 倍的引力。同樣，當距離是 AK，即 AC 的 3 倍時，要想把這一串裏面所有的繩子一把接住，那麼所用的方塊便得比原先的 C 塊大 9 倍纔行。原先的 C 塊拿到這個距離來時，祇能接到繩子總數的九分之一，所受的引力便小了 9 倍。因此，假如方塊 C 在距離是 2 倍，3 倍，4 倍等等時，牠所受自 A 點的引力就減小 4 倍，9 倍，16 倍，等等。

7. 由第 5 節的解釋，因此我們能夠知道：距離必須從被吸引的質點計算到吸引球體的中心。讓我們觀察地球的引力。拿個重錘，帶到斯特拉斯堡教堂 (Strasburg Cathedral) 的塔尖上去，那兒離地是 140 米高。把牠放開，牠便由地球的各質點所作用的整個吸力而落下。但是無論怎麼樣，這些質點和重錘的距離都不是一樣的。那些表面上在塔腳的質點，不過祇有 140 米，那些在地球內部的呢，越在地球下面的離重錘越遠，在地球中心的那些質點的距離便是 140 米加上地球半徑的長度，而在地球那一邊的那些質點距離，還得再加上那一根半徑的長。不僅這些，還有許多在左面在右面的靠近表面或遠在表面之下的，在前面在後面的，又有離下落物體更近或更遠的，又有

無限的變化。每一個質點作用在被吸引物體的上面，作用力量的多少是依牠的距離而變的。所有這些各地不等的單純吸力，我們怎能找出牠們的結果呢？我們可以這樣求出，先假設地球上所有的質點和被吸引物體的距離都是一樣遠近的，這個距離就是介在最小的距離——140米，和最大的距離——地球直徑加140米之間。我們假設，其實也是真的，所有的吸引點都在地球中心的地方。這就是說在上一半地球上的質點失去引力，因為我們把牠們假設得遠離開了。但是在下一半的質點卻得到同樣比例的引力，因為我們把牠們假設近了。這兩個相反的結果彼此相消，因為一個球體的兩半是完全相等的。因此我們得到第三條定律：均勻分佈在一個球體裏的質點，共同作用在外面的一點上時，好像牠們全都被放在一個球的中心似的。於是，由球體作用的吸引事情，我們不必去麻煩吸引點和被吸引點之間距離長短的事，因為所有的吸引點都能假設牠們是集在地球中心的。所要注意的祇有一個距離，就是在地球中心和被吸引點之間的距離。

8. 吸引定律是牛頓發現的，他是一個最有天才的人。牛頓發現牠們並不是用我那麼很初步而不完密的道理的；那些道理祇是為使我自己明白纔用的，他是以基在天文學上的事實，用最深刻的思想而發現的。我們在後面有機會要更密切的追

隨牛頓的思想。

無疑的，你要問：這些定律有什麼用處呢？牛頓發現牠們的功績是什麼呢？孩子們，這些定律是我們知道最美麗的事情中的，因為牠們給我們解釋了這個世界的機構，把宇宙是神祕的音調使成爲一個偉大的數理問題。牠們給了你們一個觀念，就是教我們運用牠們去稱稱地球有多重。是的，要去稱稱地球，就是這個當我們想法畫出牠的大小時，使我們的想像都懷疑的那麼巨大的球。我們要把牠放到牛頓定律的天平秤去確定牠的質量，正好像真能把牠放進一具真的天平秤裏，在那一面秤盤中去稱稱牠的質量呢。

引力是和吸引物體的物質的份量，即質量，成正比例的。於是，當我們在第二十圖的 B 錘前面放一個一定大小的球，去吸引那個錘，使錘在一秒鐘內傾近牠一點點，拿另一個二倍，三倍，或四倍重的球，放在同一的距離上時，那麼便使錘在一秒鐘內傾近二倍，三倍，或四倍的距離。假使第一個球的質量已經知道，我們再要知道第二個的質量，那麼我們祇要計算第二個球使被吸引的物體在同時間內，接近牠的距離是第一個的多少倍，這樣第二個球的質量立刻就知道了。於是這兩個球的質量的比較就成爲一個小重錘在同樣距離上，一秒鐘內受牠們引力的影響而傾近牠們距離的比較。如果這個球使小

錘在一秒鐘內接近牠的距離，是那個球的兩倍或十倍，那麼牠的質量也就比那個球大兩倍或十倍。

9. 同樣的道理也可以應用在地球上。我們要知道地球超過一個質量已知的鉛球的多少倍，祇要知道小錘在地球引力之下，一秒鐘所落下的距離超過小錘在鉛球質量引力之下，一秒鐘所落下的距離多少倍就行了，不過地球和小錘之間的距離，要等於鉛球和小錘之間的距離纔能比。讓我們把第二十圖的實驗再重覆一遍。在B錘和C錘前面，離牠們中心各一米的地方，放一個重鉛球。錘子就移動了，向牠們鄰近的鉛球移動，我們假設當這種下落第一秒時，牠們移動了一毫米。你要知道，當牠們的距離是一米時，小錘在第一秒鐘內移向大鉛球的距離是那麼多，假使距離不是一米，而是從地球表面到地球中心即6,400千米的距離時，我們能從前面的數目計算出這時小錘在第一秒鐘下落的距離是多少。我們知道引力是和距離成反比例的，因此小錘這時所受到的引力是：一毫米被距離米數的平方除，即被比40,000,000,000,000稍微多一點的數目除。如果你願意的話，我就讓你自己去算這個除法。不必去做這步困難的工作了，顯而易見所得的商是太過分的小了。這就是表明如果把鉛球放到和地心的距離一樣遠時，小錘子在第一秒鐘內降向牠的距離數量。但是地球我們祇要注慮牠的一個單獨

點就夠了，即是地球的中心——地球整個的物質可以看作都集中在那兒的地方，聽我說，地球在同樣距離和時間的情形之下，牠要使小錘子下落 4.9 米。讓我們再來考究考究，看看在 4.9 米中含有多少倍我們剛纔求出的過小數目，這樣一來，我們就可以知道地球的質量超過鉛球的幾倍。結果所求出的地球的質量，以仟克（即公斤）計的數目是 6（以磅計則為 13）；後面再加 21 個 0。我們就念作六十萬萬萬萬萬仟克，以磅計就是一百三十萬萬萬萬萬磅。從地球這個巨大的體積和質量中，我們可以推出假如我們地球所有的物質——空氣，水，石頭，金屬，其他礦物——完全混合起來，那麼這種混合物每一升約是 5.5 仟克重，每一加侖約是 55 磅重。

陶按：——地球的密度是水的 5.53 倍，即水是一斤，牠在同體積中的物質就是 5.53 斤。

我們的功課完了。地球也稱過了。我們用什麼秤，用什麼力量稱的？我們用了自然所培植在我們身體內的思想的力量稱的，於是我們可以解明宇宙之謎，原理之秤能夠舉起沉重的地球來。

第四課 地球的旋轉

- 1.——什麼是下落？1.——地球為何不下落。2.——天空的視轉。2.——在火車裏所生的幻像。3.——腳向上有12小時。3.——為什麼我們不掉下去。4.——地球的速度和一粒子彈的速度。4.——蚊蟲翅膀的搏動力量。4.——地球不動所起的奇異結果。4.——永遠的經濟學。5.——擺。5.——擺的擺動面不變。
- 6.——場車的輪。6.——由擺證明地球自轉。7.——由貿易風證明地球自轉。8.——地球自轉的奇景。

1. 地球是四方八面都孤立的，在空間中毫無支持的浮動着。你看牠是那麼重，怎麼牠不掉下去呢？讓我們先來解決這個困難。在你頭頂上，你看見什麼？是一個渺茫的空間——天空。在地球的那一邊，即和我們的腳相對的那一邊，你會看見什麼？天空，老是天空。真的，這無限的空間，即我們所稱的天空，是向地球的四方八面伸張的。那麼，地球能向這個空間的那一方掉下去呢？那一方是上，那一方是下？假如向上是向我們的天空，但是你記着，在地球相反的那邊上的也是天空，而且完全和我們這兒的天空一樣，不僅在地球的那一邊如此，每

一個地方的上面都是天空。假如你明白了地球並不衝進在我們上面的天空，那麼爲什麼牠又要衝進在我們下面的天空呢？牠要向相反的天空下落，就好像一個氣球在這兒離開地面而向上升去。你從來就不問問你自己爲什麼地球不向天空升去。所以你也不要問你自己爲什麼牠不下落，因爲這兩個問題同是指一件事。下落就是說去接近一個引力而產生下落的物體去。假如在地球的前面沒有什麼東西，那麼也就沒有引力作用在我們的地球上，於是說牠向什麼方向裏下落，無論如何是不可能的。因此，地球就永遠停留在自然把牠定在空間裏的地位上不動。或是，在另一方面說，地球一經被自然拋甩出去後，牠就在空間中，無盡頭的成直線的走着。但是假使在天空裏有個天體，牠的引力能夠管住地球的，那麼我承認地球一定要向那個管住牠的天體落去。其實，地球是下落的，不過並不如我們所想像的那樣下落。牠向太陽下落，太陽那強有力的質量不斷的吸收牠，牽制牠。在後面我們要從新討論這個重要的問題。

2. 天空給我們表現的就好像一個空球，我們就好像在這個空球的中心，牠像一座圓的屋頂，在屋頂裏固定着一些星星。在二十四時的均勻運動中，天球好像帶着牠的星羣，繞着地球轉了一週。但是天文鏡卻告訴我們，天頂是一種因距離而對視覺所生的幻像。牠告訴我們：在我們四圍所展開去的空間，是

沒有任何我們所見的界限。牠告訴我們：太陽不是一面小的發光的圓盤，牠是一個不知比地球要大多少倍的物體。那些看上去像火星子似的星星呢，牠們的光輝，牠們的體積是足夠和那天球裏的巨物比較的。最後，天文鏡又證明那些星星和我們的距離並不是一樣的，有很大的變化；有些距離很大，有些很小，但總比僅憑着牠們的簡單現象而猜想的距離要大得多呢。於是在我們腦子裏浮起一個疑惑，還是那個天球帶着無數巨大的星，真正的繞着地球從東往西轉呢，還是地球自己在相反的方向中即自西向東的轉呢？星星們好像是在東方起山，西方落山，但是因為我們沒感覺到我們自己的轉動，所以就以為自己是靜止不動的。在火車裏面，誰都見到過：在鐵路旁邊的樹木，田園，小河，小山，房屋，牠們好像都在和我們相反的方向裏，很迅速的往後跑。我們以為我們自己是在停留不動，以為在車外的東西在迅速的動着。如果沒有火車的震盪，這種幻覺是完全有的，我們總不會以為自己在動。我們會以為鄉村是瘋狂般的飛轉着。一部馬車，或一隻船沿着河流動時，也會使我們見到同樣奇怪的現象。於是每次一個輕和的運動，帶着我們動時，我們便失去我們是在運動的感覺，鄰近的東西分明是不動的，而好像是在和我們相反的方向裏移動。

3. 如果地球是繞着牠自己從西往東轉的，而我們沒有感

到那個運動，是因爲在那個運動裏什麼震動或搖拗都沒有。因此，我們便深信我們自己是靜止不動，而以爲別的天體好像在動，在和我們自己轉動相反的方向裏，即自東向西轉。因此，天空和牠上面的星繞着地球的轉動，可以說是我們的一種幻覺，和我們在火車裏，順着鐵路向前進行時，所見鄉村的樹木向後跑的幻像，完全一樣。還是天空真的轉呢，還是地球真的轉？假如要是地球轉的話，好，下面的困難又和你纏上了。地球在空間轉動，在牠的軸上每二十四小時以內自轉一週。在十二小時內，我們一定和帶着我們轉的地球轉了半圈，那麼我們就發覺我們自己是在和起始時相反的地位上了。現在我們的頭是向上，腳是向下的；十二小時以後，那就相反了，我們的頭就向下，而腳卻向上了。現在我們是直立着，十二小時以後，我們就要倒立着了。爲什麼在那個地位時，沒使我們感到有什麼不便當呢？爲什麼我們沒掉下去呢？好像我們將要不顧死活拚命的抓住土地，否則要落到無底的深淵裏去了呢！這個觀察也有幾分對。真的，雖現在十二小時以後，我們要立在和現在是相反的地位上；我們的頭要指着我們的腳現在所指的地方，但是雖然位置是顛倒了，沒有下落的危險發生，至少沒有什麼不便當，反正我們的腳還是向下立在土地上，我們的頭還是在空氣裏，向天指着，因爲天空是四方八面圍繞地球的。最後，你必

得知道，在每個方向裏的空間都是一樣的，上和下都是無意義的字。這些字祇是指着關於地球的事物說的。『下』就是說向地，『上』就是說向着包圍我們的空間。雖然地球是自轉的，但是由於地球引力的關係，使我們總不和牠脫離，我們的腳總在地上，我們的頭老向着天，我們總覺得我們自己是在直立而不是倒立的位置，毫無落進沒有東西吸引我們的空間去的危險，也沒有什麼頭暈或是其他不便當的事，使我們擔憂每十二小時將有倒立的現象發生。

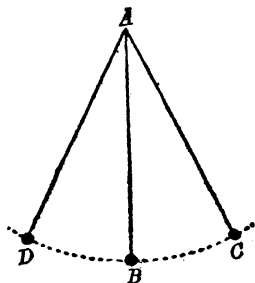
4. 說了那麼些，該明白了；地球自轉，是不會恐嚇我們將要被甩出去的危險。但是還有另外一個困難，一個更大的困難。地球的重是那樣出我們意想之外，我們怎能相信牠是繞着想像的軸轉的啊？那是什麼力量使這麼巨大的圓機器運轉的啊？而且又是動的那麼快？假如地球在二十四小時內自轉一週的話，那麼那些在牠中間區域即在牠的大圈上的地點，在同時候內轉了 40,000 千米，或即一秒鐘走 500 米。這個差不多等於一顆子彈離開槍口後所走的速度。山脈，平原，和海洋，也都以每秒鐘 400 米的驚人速度，不斷的繞着轉。這麼重的東西走得那麼快，我們怎能承認呢？我認爲連合我們所有的機器共同去叫地球動作，就好像運用一隻蚊蟲翅膀搏動的能力去移動一座山，那是沒有效力的。現在鼓動地球那樣重的東西所達的

速度，叫牠帶着大洲以一顆炮彈的速度動着，所需要產生這樣大速度的力量是我們不能料想得到的。那麼，假設地球是靜止不動的，你就可以看出有什麼新奇的結果降臨了。如果地球是靜止不動的，那麼一定是星星正在二十四小時內轉動一週。在後面某一課裏我們知道太陽是一個比地球還要大 1 400 000 倍的物體。難道你能因為地球太重就說牠靜止不動嗎？好，算地球不動，那麼太陽必是動的（太陽和地球比較起來，地球不過是一粒小得可憐的泥屑），因為路程很長，牠非得趕快不行！留意牠的距離——牠每秒鐘必得走 9,000 仟米，纔能在二十四小時內完畢牠的運行一週。但是那還不算數。星星足堪和太陽自己的大小比較。最近我們的恆星，假如牠是繞着地球轉的，那麼牠每秒要走 1,000 兆仟米，纔能繞我們一週。那些比牠遠 100 倍，或 1,000 倍的，所要走的距離也要大 100 倍，或 1,000 倍。如果地球不轉，那麼就是這些比我們地球不知要大多少，重多少的無數的星轉了，而且每秒間轉的速度不是一里兩里，而是幾千或幾百萬里。這樣的機構和道理矛盾了，牠和永遠的經濟學——即祇消一個就夠的地方再不消費一千個的定律違背了。你看，地球每秒鐘祇轉半里，二十四小時內天空就一週了，而你說是恆星轉呢，牠們每秒鐘非得走個千萬里，不能在二十四時內繞一週。那可不是和上面所謂的經濟學定律違背

了嗎？所以結果轉動的還必是地球，還是牠繞牠的軸轉動。

5. 雖然地球自轉的速率是那麽快，但是非常的輕和，使我們總沒有感覺到牠是動的，簡直也就沒想到牠還有動的一回事。我們和在我們四圍的東西一起轉，我們總覺得牠們是和我們在同一的地位上，沒有變更，就是因為這件相對地位不變的事，所以我們纔覺得我們自己是不動的。然而現在還有一些巧妙的方法，能使我們自己確信土地在我們的腳下轉動，我們能由實驗證明地球自轉。讓我們來做個最簡單的。

一根線的一端懸一個鉛球。假使那線的上一端固定在 A 處（第二十二圖），那麼球經過片刻的擺動以後，牠就靜止不動了，當然那根線是在垂直方向的地位。拿圖中的 AB 線作這個方向。現在讓我們把球放在 C 的地位，再放開讓牠去。如果這根線沒有帶着牠回去，牠就落在一個垂直的方向裏，但是因

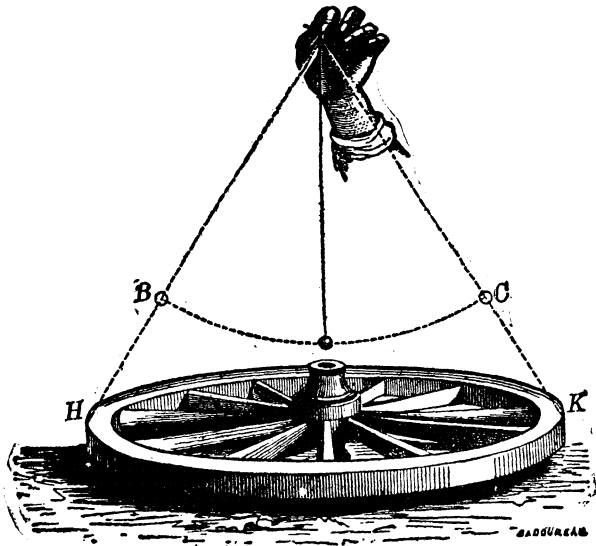


第 二 十 二 圖

為線的原故，所以牠不能這樣做，於是，牠就隨着線被地球引力吸引，沿着 DC 圓弧移動，弧的中心就是懸掛點。於是牠達到 B 的地位時，還要經過 B 沿着圓弧到 D。既達 D，牠又落回來，又沿弧而滑回到 C，然後又到 D，如此反復的經過很長的時候，

一直到空氣的阻力和地球的吸引力逐漸使牠停止運動。假如A點是固定得很好，這樣來回的運動可以經歷很長的時間纔停止。鉛球從C到D，又從D回到C，這樣每一次完全的來回叫做『擺動』，這具儀器自己呢——鉛球和懸着牠的線，就叫做『擺』。擺的擺動同是由產生物體自己下落的力量致成的，換句話說，就是地球的引力產生擺的擺動。牠們是由懸線的限制而成的一種下落。鉛球沿着一道想像的弧，輪流自右往左，自左往右的溜動着，在牠這種反復的運動中，總沒改變過牠的運動方向。當牠的運動減低時，牠可以在範圍比較小的弧裏反復的運動，但是牠從來沒有改變過牠最初的運動方向。假如我們能够延長擺動的時間，就是整年的叫牠擺去，也沒用；因為除非用一種外力改變牠的方向，否則這個球總是保持着在同一弧內反復的走着。總而言之：一個擺的擺動弧，牠的方向是不會變更的，因為在這個器具裏，沒有含着能使牠原來的弧線偏歪的要素，或是使牠往左邊偏一點，或是使牠往右邊偏一點。

6. 在地上平放着一個馬車輪（第二十三圖）在輪上面對着軸的地方，讓我們做一個擺動的觀察。BC弧有一定的方向，相當於在輪上的H和K兩點，這兩點我們能畫出來。假使輪子在靜止不動時，BC弧是不變更的，擺所擺動的兩個極點總在輪上的H和K點上。那是顯而易見的；但是，假如輪子在牠軸



第 二 十 三 圖

上轉動了，H和K兩點就變了地方了，牠們原先的地位就有別
 的點子佔據着，那些點子輪流的由擺指出。這件事也是很簡單
 的。但是假如輪子的運動是用某種方法隱飾着，不給我們看見，
 假如我們不知道牠是轉動的，那麼有什麼現象？到底那又是和
 我們坐在火車裏，看見鄉村間的樹木所產生的幻像一樣。其實
 擺所擺動的弧是不動的，但是，因為我們以為輪子是不動的，
 然而擺卻依次指着牠的上面各個不同的地點，於是我們就以

爲擺動弧逐漸的轉動了。假使輪子從右往左轉的，那麼我們就覺得擺動弧好像是從左往右轉。

現在我們再想像有一個很長的擺，從一座大廳的頂上懸着，拿大礮球代替小彈丸。這個擺在擺動着，牠是非常緩慢的來去動着。一會兒，這個大礮球指着大廳的一部份，再一會兒，牠指了指更向西的一點，稍歇，牠指的比剛纔還要西一點的地方，於是擺動弧就逐漸從東往西的變更着。真正是弧變更方向嗎？不，你知道牠是不能變更的。因此，那必是大廳的天花板在變動，是土地自己在轉動，那必是地球從西往東的自轉着。

7. 還有一個很顯著的證據，證明地球的自轉，那便是貿易風。這些就是整年在赤道地帶從東往西走的風。最初一般跟着哥倫布探險橫渡大西洋的航行者，他們看見沿着赤道被一種方向不變的風所展發的雲采，他們在這無情的東風前面，恐怖的領會着這將要把他們捲向不知道的地方去的東風，他們哀求自己還能回到他們的故鄉去。地球的自轉很清楚的解說了這些貿易風的特性——即風向不變，總是從東往西。赤道區域是地球上最熱的地方。溫度從那兒起到地球兩半球的兩極，要大大的減低。熱的空氣也就是很輕的，牠們從赤道地帶上升到大氣的高空區域，所騰出來的地方，又被來自地球南北極的冷而重的空氣所填補。假使地球是不動的，那麼在這些赤道地帶

上，就有繼續不斷的風在北半球裏從北往南吹來，在南半球裏從南往北吹來。但是因為地球是從西往東自轉的，於是這些連續不斷的風的方向就改變了。事實上，向赤道走來的冷空氣，以一種速度和大氣以及和地球共同自轉。那種速度不是每個地方都相同的，因為繞着地軸所畫的圓圈，在地球的各部上不是一樣大的，在赤道那兒所畫的圈最大，自轉的速度最大，逐漸往兩極減小，在那兒的速度是零。因此，在寒冷區域的空氣，在牠出發點是一種速度和地球一起轉的，等牠向赤道走時，牠的自轉速度就不足以跟隨地球一起動了。牠比地球轉的慢：當地球從西往東轉，遇着那些轉的緩慢的空氣時，於是那些大氣就有從東往西的現象發生，好像牠真在一個停止的地球上從東往西的動着。貿易風連續不斷的括着是空氣中因地球自轉所起的騷動，這種騷動是自兩半球繼續來呼應熱的空氣，因為牠太不能跟隨赤道區域的自轉而起的。

8. 每二十四小時內，地球自轉一週。現在我們此地₁在空間中的地位，將要由被地球自轉而帶來的別的人佔去；有海洋，有離我們遙遠的地方，有罩着雪衣的山峯來佔着我們在空間中的地位，到明天，在和今天同一的時刻裏，我們又回到原來的地方。當你看到這幾行字時，你所讀出的字音等一會兒就換着大西洋的沉黑波濤，滾滾而來所發出的巨大聲浪了。不到一

小時，這個大洋就在這兒了（這是指英法諸國而言。中國大約要在十小時以後）。大西洋上一些滿載着大礮的大軍艦，將要在這個同樣的地方上巡游着。海過去了。現在該北美洲轉來了，坎拿大的大湖，一望無限境的草原，草原那兒有紅種的印第安人在狩獵北美的大野牛，這些地方轉過，一個比大西洋還大的太平洋轉來了。要經過七小時纔能轉過去。太平洋上有一些羣島，在那兒的漁夫們穿着皮襖在曝曬青魚，你知道那叫什麼島？那就是庫頁島南面的朝鮮羣島。牠們纔過得快呢，一閃眼就看不見了。現在是屬於黃種的中國人轉來了，在這兒我們可以看見些希奇古怪的事物，無奈地球是轉的，於是中國又轉過了。中亞細亞沙質的高原和伸入雲端的高山隨着來了。這兒是韃靼人和他們馬羣的牧場。這兒是裏海的蘇俄聯邦，有一個叫做斯特潑斯（Stepps）的地方，和牠們的扁鼻子的民族哥薩克（Cossacks），有名的哥薩克標騎軍團就在那兒。然後南俄羅斯，德意志，瑞士，最後法蘭西又轉來了。地球就完畢牠的自轉一週。

你決不要想着地球以一顆礮彈的速度，轉過叫人看得頭暈目眩的這種奇景，是可以看見的，隨便你用什麼方法，除非在你心目中纔能看見。你也許會想到，假如我們乘個氣球升到空中去，那我們總該看見地球在我們腳下帶着牠的洲洋轉了

吧。可是不行，因為大氣也帶着氣球隨同地球一起自轉呢，所以氣球就停在空中不動，牠也不能使我們看見地球各個不同的區域依次轉過。

第五課 離心力和慣性

1.——軸和兩極。1.——赤道和緯圈。2.——一杯水顛倒不會潑出來。2.——一根線被旋轉甩斷。2.——離心力。3.——油球。3.——液體球旋轉時的變形。4.——兩極的扁平 and 赤道的膨脹。4——地球的液體狀況。5.——離心力和地球吸力間的抗爭。6.——一個沒有萬物引力的世界。7.——一個死的不動的地球。8.——路旁的石子。9.——物體的慣性。10.——一個在轉動的輪子。10.——地球的機械能力會消失嗎。10.——牠那不變更的自轉運動。

1. 假使我們要用一隻橘子來表明地球的自轉，我們可以用一根織針插通牠，叫牠繞着那個像軸的東西轉。針所穿過外皮的兩點就是兩極。爲了幫助我們想像起見，我們可以假設地球就好像隻橘子，被一根長針穿過，每天繞着那根針轉。這樣一根像穿過橘子似的想像的針，就叫地軸，想像的針所通過地球表面的兩點，還叫兩極。因此我們稱呼地軸就是地球施行每天自轉的那根理想的線，兩極就是地軸通過地球表面的兩點。

讓我們再來看我們的橘子，叫牠繞着針轉。在牠表面上的

每一點都轉了一個和針成垂直地位的圓圈，圈的大小根據牠和最近牠的極之間的距離而定。兩極自己沒有畫出圈來。離極越遠，越趨近橘子中央部份的各點，所畫的圈就越大，最後在橘子中央部份，那兒離兩軸的距離都是相等的，所畫的圓圈最大。上面所說的對於地球都一樣。在牠表面上各個不同的點繞着軸所轉成的圈是不等的。離兩極距離相等的那些點，所轉成的圈最大，這個圈叫赤道。別的点所轉成的圈就叫緯圈，離極越近的点，轉得圈越小。因為要表明這些由地球表面上各點繞着地軸轉成的圈——赤道和緯圈，所以都假設牠們是畫在地球上的，於是赤道能夠說是在距離兩極相等地方的大圈，緯圈能夠說是和赤道平行的小圈。赤道祇有一條，這是顯而易見的。牠把地球平分作兩個相等的部份即半球，一邊是我們所在的北半球，一邊是和我們相對的南半球。在另一方面呢，緯圈是無數的，要地球表面上有多少就有多少。牠們之中隨便那一條都把地球分作兩個不相等的部份。赤道和緯圈這些圓圈全都是和地軸垂直的，牠們的圓心都在地軸上。牠們沒有一個是真的，全是理想的，我們決不能當真的以為地球好像是一隻桶，四圍有桶箍圈起來的。

2. 一直到現在我們都拿地球當作個球形的，但是在牠表面上稍微有點不正。整個的地球並不是個完全球形的。由精確

的觀察上，我們知道地球在赤道地方稍為膨脹些，在兩極地方是扁平的。在赤道的半徑和在兩極的半徑相差約 22 千米；赤道的長些。如此的相差，在一個直徑 2 米的球，頂多祇差到 $\frac{1}{3}$ 毫米，因此不是眼睛所能感覺出的。於是因地球赤道的膨脹和兩極的扁平所改變的圓形，我們感覺不出。

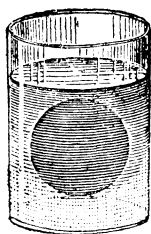
地球兩極和赤道的這種些微不正是由於地球的自轉造成的。有一些實驗可以很清楚的證明出來。在根小繩子的一端繫一隻杯子，杯中裝半杯水，再像玩飛陀螺似的，拿着繩子另一端急速的甩一圈。當牠轉的時候，玻璃杯的位置有時是顛倒的，有時多少是傾斜的。然而假使牠甩轉得非常快時，雖然玻璃杯是倒着或是斜着，但總不會有一滴水濺潑出來。反而好像有種力量把水壓到杯底，不使牠潑出來。假如玻璃杯停留在圓圈頂上不動，牠的位置當然是倒的，那麼顯而易見的水立刻潑灑出來了。因此水在位置顛倒的杯中不潑出來是因為旋轉的運動把牠壓向杯底。

在線的一端捆塊石頭，使牠很快的甩着轉。如果石頭轉得很快，你是不是覺得這根線越來越往前拉長？使牠轉得更遠些，但是別碰着東西。再把牠轉得越來越快。嗖的一聲！喝，線斷了，石頭飛開啦。當旋轉的時候，手是牠的旋轉中心，石頭努力的要脫手而去，牠這樣努力便使線向前拉長。等牠努力到十足

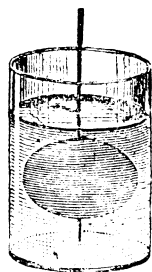
有勁時，線被拉長得超過牠本身的長度，最後就斷了。所以，每個在旋轉運動中的物體，因為那種特有的運動，就被一種特殊的力量壓迫，使牠離開牠所繞着轉的那一點。由於旋轉時所產生的這種力量叫做『離心力』。物體轉動的速度越大，所生的這種力量也越大。逼迫着水，使牠緊靠在甩轉時的玻璃杯底，雖然杯子是傾斜或是完全顛倒，而水都不會濺潑出來的力量就是離心力。拉長捆着石頭甩轉的線，和使牠在某個速度中就斷了的力量也是離心力。

3. 離心力使一個繞軸轉動的球變扁；即使牠的兩極扁平，赤道膨脹，當然要那個球是很柔軟，軟得足以依從旋轉運動的拖拉纔行。爲了要證實這件事起見，第一就得有下面說的一種球，這種球要有所需要的那樣柔性。當我們將油傾注進水中時，油便浮在水面上，如果注進酒精裏而呢，牠就沉在酒精下面。這是因為牠比水輕而比酒精重的原故。但是我們把牠注進比例適宜的水和酒精的混合物裏時，油便浮在這種混合液體中間，形成像蘋果那麼大的球（第二十四圖）。油球柔和的懸在四面支持牠的液體中，形成一個奇特的東西，使我們立刻想到地球，一個懸留在太空中的巨大的球。我們假設油球的中間被一根長針穿過，用機器使這根針很快很滑溜的轉。因為針旋轉時和油球摩擦的關係，牠就逐漸把油球也帶動，把牠自己的旋轉

運動分給了油球，好像牠倆是同一物體的一部份。油球一轉動，立刻就看出針所穿過牠的兩點扁平了，那就是說兩極的地方扁平，而在球中央的區域膨脹，那就是說赤道的地方膨脹了。（第二十五圖）。如果旋轉得更快，那麼兩極的扁平 and 赤道的膨脹也更顯明。假使球是由固體和有抵抗性的物質組成的，那就沒有這種現象發生，因為那種物質沒有順從離心力所需的柔性。



第二十四圖



第二十五圖

4. 一個液體球繞着軸轉動時，牠的形狀就改變了，要明白這個道理也並不很困難。在赤道上的各點，牠們轉的速度最大因為牠們畫的是最大圈。靠近在極那兒的各點，幾乎就沒動。前者受的離心力最大，而在極自己那兒的離心力是零。所以赤道的各質點必定順從離心力，逼使牠們向前去，盡量離開軸達到質點的內聚性（內聚性就是質點間的團結性）所允許的地方，整個赤道上的質點向前伸張所騰出的地位，就被牠們鄰近

的物質充填上去，因此在沒有受到離心力的那些地點即兩極就逐漸扁平下去。

地球並不像那個油球，完全由一種液體物質組成的，這是真的。但是在牠的表面上差不多有四分之三的地方是充滿着海水，這樣多的液體一定能產生我們所已知道的離心力的結果。所以，因為地球繞軸旋轉，海洋便失去了正確的球形。由離心力的作用，兩極便被壓平，而在赤道那兒便膨高了 22 仟米。此外更有，因為由幾何學的測量證明在大洲裏也有同樣的變形，於是我們便知道地球在原始時，一定完全是液體狀況，經過多年的凝結，便永久保持了由離心力所給於牠的外形。事實上，細密的地球研究告訴我們：形成六大洲基礎的堅硬岩石，在太古時代都是液體，就好像在一座熔鐵爐內融化了的金屬似的液體。這證明那些在沒有伸入雲層之高的高山以前，牠們的物質是熔解了的礦物所成的一個宇宙之洋的一部份。

5. 離心力要使物體離開地球表面，而地球引力要牠們在原來地位不動。因此在這兩種相反的傾向中發生了一種對抗，但是因為地球引力是這兩種力量中間最強的，所以物體還留在地球表面上沒動，要是離開了牠，牠們還是要落回地面的。然而我們可以料想到，假如地球旋轉得非常之快，那麼離心力會和地球吸引的力量均等，或許還勝過牠，因為我們知道旋轉

的速度加增離心力也增大的。由計算告訴我們，假使地球繞軸旋轉快 17 倍，以 85 分鐘代 24 小時自轉一週，那麼離心力就和在赤道的引力相等，在那兒的轉動最快，所以物體在地球的那一帶上不會下落。一塊石頭把牠舉在空中，再放了牠，牠就毫無支撐的停在空中，不下落，被地球的作用把牠吸向地心，又被離心力使牠不被吸向地心，這兩種力量是相等的。液體也不再流動了。一具盛着水的器具，把牠顛倒過來，裏面的水一點也不流出來，正和我們在前面所見的，甩轉玻璃杯而裏面的水不潑出來一樣。物體失去了牠們的重量。用手舉起山的一段像檢顆石子那樣容易。東西也不下落了。假如我們被拋向我們所要到的高度，我們就不落下來，被地球的自轉使我們懸留在空中。

6. 其實，在離心力革除了引力的地方，那纔是個特別的世界呢。你到幻想那可是個快樂的世界了。我們能很容易的把一座一座的山堆起來，好像在寓言裏面的狄單似的。那瘋子是瞎來，所以弄出危險，但是我們能毫無危險的愛怎樣就怎樣。可是你別盡想着那些，你也得記住海洋將被一種極大的離心力拉到赤道那兒去集中，以牠那嚇人的體積來處理大洲；河流再也不沿着斜形的地面流動了；雲采也不再把牠們有利的雨水降落到我們這兒來了，因為水也不再下落了；我們的建築物呢

牠們是由於牠們沉重的物質的壓力纔堅實的，如今那些物質一失去牠們的重量，牠們就沒有阻力，祇要一吹，牠們就像團羊毛似的飛去了；我們自己呢，就隨風所欲的徘徊在各處，不能求得一個立足點。相信我，重量是個很好的東西。有時候牠真叫我們感到討厭的笨重，有時候我們從高地方摔下來時，還要折斷我們的骨頭，但是在另一方面說，牠在我們的生存上卻給了一種非常需要的穩定程度。

讓我們再假設地球自轉速度更快，自轉一週祇要一小時，或更少些。這時離心力就勝過地球引力，每一樣東西都要紛亂了。大氣將捨我們而去。幾下一掃，牠就分散，而在空間裏消失去。海洋也將捨我們而去。牠的水不再被萬物引力拘束，牠將要一洲一洲，翻山越嶺的捲滾而去，將在來勢兇猛的漩渦中升進空中。土壤，石頭，動物，植物，全都沒有安定在地球表面上，將要猛然的離開地面而去，不再歸來，好像被一個巨大的擲石器所拋出去似的。地球上原有的東西，一樣也不存留了，除非什麼也沒有的光光石頭架子，離心力已不能再在牠上面帶走什麼。你總看見過一輛馬車在一條泥沙路上走過的吧，當這輛車子走動得很快時，車後就有一陣沙灰飛揚起來。假使地球是以一小時以下的速度自轉一週的，那麼地球就和牠們一樣的飛揚起來。凡是沒有在岩石層上生了堅固的根的每樣東西，

都要投射到空間去，永遠的消失。

7. 地球的自轉逐漸停止，和更進一步忽然停止的結果，都是很可怕的。第一，大洋的膨脹因為離心力不再支持牠，牠就減低而向兩極流回去，於是現在的陸地便遭水災了。晝和夜的時間都延長了，自轉逐漸的懈怠下去，於是現今的氣候便根本改變了，對於有生機的東西都是非常危險可怕的。最後當地球停止轉動時，最後向着太陽的半球便永遠是白晝，不是溫柔的白天對現在的生物是很不適合的，因為牠們現在時常需要夜晚的休息和涼爽來調劑的。和這半球相反的那半球，就永遠沉在黑暗世界裏面，永遠是過冬天。從地球停止繞軸旋轉的那一刻起，牠就死亡了。由地球超速的自轉，我們可會被拋出地球之外，遲早射進空間的深淵裏面去呢？再不然這樣，地球會不會像個車輪似的，一經開始轉動以後，等到旋轉運動的力量耗費完時，就停在那疲乏了的軸上不動呢？地球的自轉會不會加快或停滯？不，從下面的看來，我們知道這都不是可怕的。

8. 一顆臥在路旁的石子。牠躺在那灰地上有多長久啦？誰也不知道。假如牠沒被過路人的腳踢過，假如沒有東西去碰過牠，那麼我們今兒看牠在那兒，以後牠還在那兒，因為牠自己決不能逃出牠所被固在的地方。物質是沒有自動力的，牠自己是不能獨立運動的。日常的經驗告訴我們這樣。但是讓我們把

這塊石頭拿在手中。把牠擲出去，叫牠沿着路滾。牠就在這條不平的土地上敲着跳着，牠落進路上的凹穴裏，或運用牠的速度跑過那些洞。牠的推進力消耗在泥沙上，最後牠就停止不動了。假使這條路很光滑，那麼牠能走得很遠，因為牠所遇見的阻礙少，比牠在粗糙的路上受的摩擦力少，速度失去的少，於是牠能走一個更長的距離。

一塊圓石子在一個結凍的池塘表面上擲出去，牠滑得真遠，好像就不停止了。在像面鏡子似的那麼光滑的冰上，石子沒有像牠在路上所受的阻力那樣大，所以更能維持牠的推動力。像前面那樣擲出去，牠就跑得更遠。然而牠還是要停止的，因為有個適當的理由。甚至在這樣光滑的平面上，還有一些阻礙逐漸消滅牠的推進力。這些阻礙就是冰的摩擦力和空氣的阻力。因為一個物體一經投擲到很遠的地方，所遇的阻礙雖少，但遲早將因這個運動物體外面的阻力叫牠完全停止不動。

9. 更進一步的深思可以把我們的假設變為事實。假如阻力完全沒有的話，被拋射出去的物體將永遠不會停止。可不是嗎，因為沒有東西反抗着鼓動牠前進的推動力，牠為什麼要停止呢？牠要停止，牠得先消除牠的推進力。要由牠自己所產生的一種相反的推進力，纔能把牠的推進力破壞。那就是說，要那個物體本身上有產生一種推進力的能力，能隨牠自己的

意志去運動纔行。因為物質不能脫離安靜狀況叫自己動，所以牠也不能脫離運動狀況叫自己不動。要回轉到不動的狀況，得含有和起初推進力相等而方向相反的力量，纔能把起初的推進力消除。我們說物質自己不能去運動，也就是說牠不能停止牠的運動。因此一個物體自接收了一種推進力後，什麼阻礙也沒有，牠就永遠的運動。而且牠必定以同一的速度去運動，因為速度的加快或減低，等於物體自己所產生一種向前或向後的推進力。牠必定是在一條直線裏運動，因為沒有理由使牠為什麼從那個方向變到另外的方向去。總而言之：物質自己是沒有慾望的，叫牠靜牠就老靜，叫牠動牠就老動，這種基本的特性就叫慣性，慣性就是表明那種不變的性質。物體在靜止時，牠就老保持那種狀況，一直到一種外來力量破壞那種狀況時為止，當這個物體一經投射出去後，牠就永遠沿一根無盡的直線，以同一的速度運動。

10. 在空中懸起一個車輪，在軸那兒要小心的使牠平衡着。用我們的手叫牠轉動。一，二，三，牠開始了，牠正在轉動。如果我們鬆開手，叫牠自己去轉，牠轉幾圈？有時很多，有時很少，因為這兒的推進力也逐漸被阻力戰勝而消除了，即輪軸上的摩擦力和空氣的阻力。根據這種阻力的大小，輪子就轉得時間少，或時間久。假如輪軸的迴轉軸上擦了油，而且是很光滑的，

那麼輪子可以多轉幾圈。假如軸是很粗糙，或是轉起來作軋軋響的，或是上了銹的，那麼輪子祇轉幾圈就不轉了。但是隨你在軸上加了怎樣好的機器油，也不能使車軸的摩擦力減到零，就算牠可以減到零，但是最後總要因為空氣的阻力而停止轉動。然而我們的原理告訴了我們，因為物質的慣性的原故，假如所有的阻力能壓制掉，最初的推進力可以完全保持，那麼這個車輪會以不變的速度，無盡期的轉動下去。讓我們重複一遍，因為那是很重要的：一個沒有自動力的物體，牠的本身不能改變所給於牠的推進力。除非外面的阻力來破壞牠的運動，你若讓牠自己去，牠總是永遠在一條直線裏運動的。假如是使牠旋轉的，牠就永遠旋轉。

自然，地球也能比作那個輪子，但是牠卻沒有阻力夾在中間使牠停止旋轉。牠的軸並不是一根鐵桿，而是一根理想的軸桿，任何機器油都不能叫牠成為更滑溜。那是一根連最小的摩擦力都應用不上的理想軸。不問空氣或是其他什麼東西，都不能給牠隨便什麼阻力，因為空氣也是轉的，牠就是地球的一部份。而在地球所旋轉的空間裏，遠在牠的空氣包圍以外，又是什麼東西都沒有。地球既然沒有阻力來制勝牠，所以牠對牠最初所接到的推進力，必是一世紀一世紀的保持不變。被大自然的手指叫這不能自動的東西去運動，自被他的手指使牠運動

以來，牠就永遠的轉動。牠的能力毫未改變的轉動，牠的運動力量毫沒有消耗掉，因為在某一天，牠還要把大自然所給牠的這個運動力量，交還給他。假如我們回到最早的歷史上去，拿 2 500 年前的天文觀察和我們今日的比較比較，科學發覺地球在 25 世紀的時期中，牠的自轉連一秒的百分之一都沒改變。在那些遙遠的時候裏，當卡爾迪(Chaldean)牧羊人在他們的夜晚裏觀察天空的運動，是那麼多時候自轉一週，現在牠還是那樣轉動，到我們所不能料想到的將來期限，牠也還是那樣轉動。

譯者註：卡爾迪為古巴比倫國最有勢的一個民族。

第六課 天球兩極和緯度

1.——天球在地軸上的視轉。1.——天極。2.——北極星和大熊星座。3.——怎樣尋找北極星。3.——水蛇星座。4.——兩極的名稱。4.——四個方向點。4.——各種定方向的方法。5.——物體的視面積和距離的關係。6.——恆星距離的最初觀念。7.——在地球上不同地點所見的北極星。8.——天極和天頂的距離，和天極離地的高。9.——測量世界的器具。10.——平行線和同位角。10.——實驗證明。10.——極與天頂的距離和地理測量。11.——怎樣尋求緯度。11.——地球儀的構造法。11.——街道和門牌號數。

1.——有一隻螞蟻，正停在一隻轉動着的大車輪上面，假如牠能運用牠那小頭腦思想的話，牠會以為牠自己是不動的，因為在帶着牠走的這個輪上所有各點，和牠自己總在同一不變的位置上。在另一方面，輪子外面的東西，土地，樹木，天空看去反而轉起來了，螞蟻看去牠們是在和輪子轉動相反的方向裏轉動。但是在和輪軸相對地方上的東西卻不在此例，牠們就沒轉動，所有其餘的東西好像都繞着那個軸轉了個圓，於是

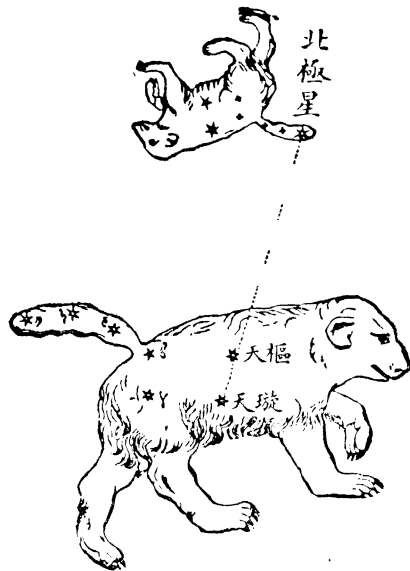
這個輪子旋轉的眞軸，由那個小動物看去倒是外面物體旋轉的視軸。同樣，在我們眼前所見的那巨大的地球機器的運動，也是一樣的。我們以爲我們自己是靜止的，空間在一個球形包圍的虛僞現象下，我們看見牠從東往西的繞着我們轉，於是天空的每一點好像繞着地軸的無限延長線轉了個圈，祇有兩點是不動的，那兩點就是地軸延長出去達到理想天球的兩頭。這兩點叫做天球兩極。牠們每一點都位在天球上，對着相符的地極，即天球南極對地球南極；天球北極對着地球北極。

2. 運用這個我們就可認識地軸在空間中的方向，雖然那條線是看不見，純粹是想像的。其實，我們祇要觀察看那一顆星不改變位置，不轉動，假如沒有一顆是完全停止不動的，那麼我們就去找，看那一顆是在最小的圈中轉動。天極從我們這兒看去就在那個最小的圈的中心。那就是地軸所指向的一點。在相對的那半球上，我們也可以做同樣的觀察，找到第二個天極，這個極是我們在這兒看不見的，因爲地球是凸圓形把牠遮隱着了。

我們所見離天極最近的那顆星，叫做北極星。牠並不是完全不動的，不過繞了極轉了個最小的圈。要去尋找這顆星，我們必得在一個清朗的夜間，四面沒房子的空地上，面對着日出的左方（即正北面），這時在地平線上我們能看見一羣星即

一個叫做大熊星座的，那個星座是由七顆星組成，四顆很亮的星形成一個長方形，和另外三顆星不齊地排成一行，位在那四方形的一角上（陶按：這七顆星就是中國所稱的北斗，因為牠們形成一個古老燙斗形。前面說的四方形就是斗，後面說的三顆就是斗把子。）大熊星座的光輝很亮，所佔的地位很大，是很惹人注目的，因為在天空的那一部份裏，沒有一個星座能和牠相比的，又因為牠的位置靠近北極，所以夜間隨便什麼時候都可以看見牠。在牠繞着軸轉時，有時候在天空裏很高，有時很低，但是在我們的緯度上，牠是從來不降到地平線以下的。

3. 第二十六圖就是在討論中的那個星座的形狀。四顆星形成大熊身體的一部，那三顆星形成牠的尾巴。這個動物自己的輪廓全都是想像的。爲了要在羣星之中尋找星便利起見，於是天文學家便商定把天



第 二 十 六 圖

空分作種種不同的區域，每個區域依照牠們大概相似的動物或東西，給牠們個什麼名字。每個區域就叫星座（陶按：中國人所分的區域，每個區域叫做星宿）。第二十六圖所畫的，就是在天文學上稱呼爲大熊的天空那一區域。這個區域裏含有好些星，其中祇有七顆是惹人注目的，所以在我們圖上把這七顆畫出，別的都略去了。因此，拿大熊的名字應用在天空的那一區域上，是一個很簡陋的湊合。我們認爲那個名字是選得很壞，因爲把那三顆亮星算作這個熊的大尾巴真是不合，真的熊別說那麼大尾巴沒有，就連完全有根尾巴的都很難得。大熊座的這七顆星，有時也叫做查利的四輪車（Charles's Wain）。長方形裏的四顆星代表這部車子和牠的四個輪子，那三顆星代表駕馬的器具。這七顆星也叫做耕犁。

在大熊星座的外面，另外還有一個星座，牠有七顆星也像大熊的七顆似的那樣排例，不過沒有牠們亮，而佔的面積也較小，依據我們觀察的時間，有時候牠在大熊的上面，有時在牠下面，有時在牠旁邊。牠們有四顆形成一個不正的四方形，有三顆連在那四方形的一角上，形成一條尾巴。這個新的星座叫做小熊星座。小熊的尾巴總是在和大熊尾巴相反的方向裏轉的，小熊尾巴尖的 P 星（第二十六圖），是這一羣裏最亮的一顆。好，那顆星就是北極星（即中名叫勾陳一的），也即當整

個天球從東往西在圓形運動中轉動時，在我們天空裏差不多是不動的那顆星。因此，在很靠近那顆星的一點，就是地軸遇着理想的天球的地方。當大熊星座找着時，再去尋找北極星，可以依照下面的方法去認定牠：大熊星座四方形最外邊的兩顆星，叫做指極星（即天樞與天璇兩星，見圖）。從這兩顆星畫一條直線，延長出去，一直達到一顆在北斗鄰近最亮的一星。那顆特別亮的星就是北極星。我們祇要看這顆星是在和大熊相似的小星座的尾巴尖上，而且和大熊在相對的方向裏，那便是我們所要找的北極星無疑。

陶按：由圖所示，從北斗的天璇向天樞畫根直線，延長五倍所達的星，便是北極星無疑。

和我們相對的那一極上，沒有什麼特別的星。離牠最近的是水蛇星座（注意：天空裏有三個蛇星座，一個是黃道左近的海蛇星座，一個是在天球赤道上的巨蛇星座，另一個便是靠近天球南極的水蛇星座。牠們的學名各為：Hydia Serpens, Hydrus）。對於天空那一區域我們不必有什麼進一層的討論，因為說了沒用，反正我們大多數都看不見的。

4. 地球兩極的名字是從熊星座而來的。靠近北極星的叫北極(North Pole)或 Arctic Pole,此字是從希臘字 arctos 轉來的，牠的意思就是一隻熊。這是離我們最近的一極。另外和

地球北極相對的那一極叫南極 (South Pole) 或 Antarctic Pole, 意思就是『和熊相對』。北極的英文也有叫 Boreal, 南極也有叫 Austral 的。

地軸的方向和恆星視轉的方向確定了四個方向點——即北, 南, 東, 和西。地軸是在南北方向, 恆星的視轉是在東西方向。定這四個方向點就叫定方向。在白天裏定方向的方法是: 一個人面向剛起山的太陽; 前面是東, 後面是西, 左面是北, 右面是南。我們也可以面對下山時的太陽。那時就是: 前面是西, 後面是東, 右面是北, 左面是南。在夜間定方向, 我們就面對北極星, 或是祇對大熊座。那時就是: 前面是北, 後面是南, 右面是東, 左面是西。當然我們也可以用一具指南針 (即羅盤), 牠裏面的那根小鋼針差不多是指着南北的。在一付地圖上, 北總是在頂上, 南總在底邊, 東在右邊, 西在左邊。

5. 北極星離我們遠嗎? 普通的說吧, 恆星的距離是多少? 在現在, 最簡單的就是用天文儀器能給我們一個滿意的回答了。望遠鏡, 你看牠的名字就暗示了我們, 可以使我們看見物體比牠們真正所在的近。這麼說吧, 牠們把那些東西帶近, 把牠們放到我們的眼界以內。拿一本書放到離我們 300 米遠, 牠的一頁我們不僅難能讀下去, 而且連有沒有那麼個東西都難以見到。用一具倍率是 600 倍的望遠鏡, 這頁書就被帶到離我

們眼睛祇有半米遠的地方，用了這個東西，我們的目力能很容易的把牠讀出來，好像牠真祇有那麼遠。但是當望遠鏡把物體帶近時，也使牠們放大了。實際上，那就是普通視覺所生的現象。一個物體越離得遠，牠就好像越小。假如牠接近我們，或我們去接近了牠，牠就好像加大了。在地平線上的遠山，好像就是些沒什麼大不了的小嶺，可是假如我們離牠很近了，我們纔被牠那巍巍乎的山勢所驚訝。一座大房子，在幾里外好像個小白點，但是我們走近看，纔恢復了牠本來高聳昂然的樣子。於是天文鏡把星放大，倍率越高，牠們也就被帶得越近。於是，假如一個天體被望遠鏡把牠帶進了 100 倍，牠也就好像大了 100 倍。

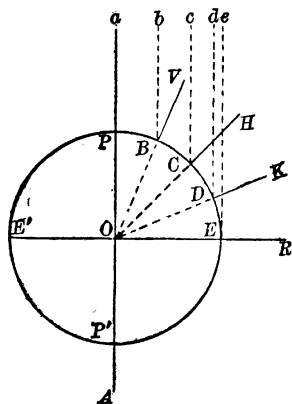
6. 讓我們假設有一具倍率 100 倍的天文望遠鏡指在月亮上面，立刻月亮那面圓盤就比不用望遠鏡所見的大了 100 倍。我擔保，你一定要被這個好看的東西吸引住了，看那放大了 100 倍的月亮啊，在我們的注目之下，展開了牠那廣大灰色的平原，牠那巨大而充滿了黑暗的火山噴火道，和牠那凸凹不齊的山岳，帶着在陽光中照耀的山峯。但是這些全都不是我們所討論的，等以後再回到這些事上來。讓我們祇說那被天文望遠鏡帶近了 100 倍的月亮，在同樣的比例中放大的事。

現在讓我們再拿這望遠鏡對着天空中最亮的恆星。既把

這顆星帶近了 100 倍，一定沒錯的也放大了 100 倍，至少也有一面盤子那樣大吧。可是我們錯了。在最高倍的望遠鏡中所見的恆星，祇是一顆難於估計大小的發光點子。雖然帶近了 100 倍，也是沒用；並沒放大。反而牠好像更小了，因為望遠鏡的嚴格正確，把我們肉眼所見在恆星四圍的雜光，全都消除掉了。我們還可以拿具倍率 1,000 倍，5,000 倍或更就 10,000 倍的望遠鏡來試試看，都沒分別。這顆恆星仍舊是被牠那小面積所限，隨我們怎樣努力把牠放大，全都失敗了。原因沒別的，祇有這個：恆星不知比月亮要遠多少呢，月亮在我們望遠鏡中可以毫無困難的放大。牠的距離是這麼遠大，遠得把牠放大了 10,000 倍，由我們眼睛看去和沒有放大時沒有分別。月亮離地球的距離很近，不必再怎麼說，誰都相信。好，這兒有另外的一個距離，那就是從地球到最亮的恆星，要和到月亮的距離比起來，那必是無限境的；否則用我們的器具把牠帶近，我們一定可以看見牠放大了。那麼像北極星那麼微弱的星，和那些我們很難辨明的星，這麼說起來又得有多遠呢？我們要把距離極遠極遠的加起來，去得到這些料想不到的距離；我們必得把這些星，從我們想像倒退回去的深遠地方起，再投回深遠的地方去。因此北極星的距離是太遙遠了，牠的距離和你我在地球上的距離比起來，雖然地球的體積很廣大，也祇是一粒小球。僅

僅是一個灰塵的污點，簡直就可以說沒有那麼個東西存在。

7. 因為地球是圓形的原故，所以我們要看北極星，必得在地平線以上着牠，牠在地平線上的高低是依照我們在地球上的位置而定的。於是一個觀察者站在北極的 P 點（第二十七圖）上，他所見的那顆星正在他的頭頂上，在天空的中央，在天球的軸上。假如這個觀察者從 P 走到 B，那麼他所見的北極星在什麼方向裏呢？他看見牠還在前面同一的方向裏，因為他在地球上所移動的距離，和那顆星離地球的距離比起來是沒有變化的；其實，那個人要沿着和 P A 指着同一方向的 B b 看那顆星，因此，B b 是和 P A 平行的。（註一）



第二十七圖

嚴格的說起來，P A 和 B b 這兩條線是在盡頭的地方相接的，因為牠們的盡頭都是北極星。但是牠們是在極遠極遠的地方相接的，所以我們可以把牠們當作完全沒有相接，即說牠

（註一）兩條直線，無論在什麼地方，牠們之間的距離總是一樣的，這兩條直線就叫平行線。那是很明白的，無論把牠們怎樣延長出去，牠們總不能相交的。一本書的兩對邊，或一把尺的兩邊，牠們都是平行線。

們是平行的，那毫沒有錯誤。最後，觀察者站在B地方，他看見北極星在和PA平行的Bb方向上。但是，在這個圖裏很明顯的表明，那顆星現在並沒有在天空的頂端即中央，天空的中央我們叫天頂，或即正當頭頂的那點，也就是Bv線和天空相接的一點(註二)，但牠現在介在天頂和地平線之間的位置上(註三)。

由觀察者看來，北極星好像從天球頂部降下，而離地平線更近了。在C點也是同樣的。北極星仍沿着Cc平行線看，牠現在離天頂的角度是HCc，比前面那種情形的角度大了些。因此，牠又更近地平線一些。在D那兒呢，牠離天頂的距離又大了些，再，最後，到了赤道E那兒，觀察者沿着擦過地球表面的

(註二)我們必得記住：垂直地面的那根線就是鉛垂線的方向。當我們把那根垂直線無限延長時，牠的一邊經過地球中心，那一邊經過觀察者的眼睛可以看見的天球頂部。在牠和天球相交的那一點，就叫天頂。天頂是正對着我們頭頂的天空那一點，因為我們直立時，我們是保持在一個垂直的位置裏的。

(註三)在B點的地平線就是向四方八面理想延長出去的地平面。這個平面把觀察者可見的一半天空，和那不可見的一半隔開。牠含有在每個鄉村裏都限制視界的圓線，這根圓線也叫地平線。在我們的圖裏，假如我們要表明在B點的地平線，我們就得畫一根直線，經過接觸着地弧的那點。那就是說畫一根切線。在那根線以上的天空所有各部，亦即由那根線代表的平面以上的部份，在B點的觀察者都可以看見。但是在牠以下的部份是看不見的。假如我們拿那觀察者自己看作祇是無體積可言的一點，他的視界被地球的弧曲所限，那麼全都容易了解了。以幾何學的文語說，地平面就是和垂直線垂直的一個平面。

Ee 線，看見北極星正在地平線上。假使那個觀察者走過赤道，到了那邊半球裏時，他就不能看見北極星了，因為牠已經降到地平線以下去了。地球的曲形遮住了天球北極的視線；但在另一方面說，過了赤道以後，靠近天球南極的星座就可以看見了，當觀察者往地球南極走去的時候，那些星就逐漸的往地平線上上升。

8. 讓我們總起來說。在地球北極上，北極星在天空的正頂，正在觀察者的頭頂上。當他往赤道走去的時候，他就看見那顆星從天球的頂部往地平線走去；在赤道上，他就看見牠正在地平線上，再過赤道，他就不能看見牠了。不過，他可以看見靠近和這兒相對一極上的星座，牠們也是同樣的行動，依據觀察者走近地球南極或遠離南極，牠們就升上或降落至地平線。

在任何地點，北極星的方向和天頂的方向之間的角，我們叫那個角是那個地方的『極的天頂距』（註）。那個角在地球自己的軸上時是零度，因為北極星正在天頂，正在當地面垂直線延長到天空的線上。那個角在赤道上是 90 度。天極在任何地位的離地之高，就是北極星高出那個地方地平線的角度。那個

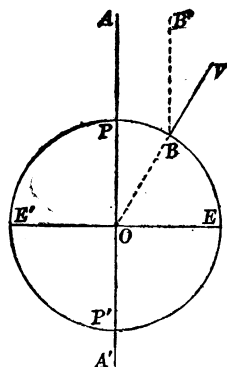
（註）更正確的說，極的天頂距，就是在一個地方的地面垂直線和天極方向中間的角。為了固定我們的觀念，我們就假說北極星是地軸的延長線，其實那是不很正確的。但是我們所說過關於北極星的，對於北極自己也是一樣。

角在地球北極上是 90 度。但是在赤道上为零度。極的天頂距加上極離地的高度等於 90 度，因為牠們合在一起從天頂量到地平線，是圓周的四分之一。

9. 極的天頂距的觀察是一件很重要的事。那是畫地圖的基礎。假如有人要你畫一張地圖，那麼你要在你的地圖冊上找一個樣子。你的工作不過是描繪一張地理的圖形，和描一張隨便什麼普通的畫一樣，你就是不描，也能照樣畫出來。但是最初的時候沒有樣子描，那麼第一張地圖是怎麼畫的呢？一個大洲的形式不能像個東西似的，能夠整個看見牠把牠畫下。我們在地上遊行着，我們的視界被限在祇有幾里路的範圍裏，我們很難看見鄰邨的禮拜堂的塔尖，然而我們要把地球的肖像畫出，要去畫張世界地圖，地圖上要有大洲和大洋的輪廓，好像我們從天空的高部所注視的整個半球。我們真差不多和瞎子似的，好像瞎子先生要畫一副風景的素描；這纔困難呢，也許有人說那是不可能的，然而這個困難是值得讚美的戰勝了。因為，別說地理家從上面往下看，不能見到地球表面很大的部份，就是一省，或一府縣，也不能全見到，所以地理學者用間接的方法把這個問題解決了。他問那些恆星，請恆星把他所在的地方指出來；他要畫地球，他得觀察天。把地球的正確部份畫出來，祇要看那宇宙的放射點——星，就夠了。讓我們把這個

稀奇方法中最基本的東西來討論一會兒。

10. 在第二十八圖裏，圓代表地球，圓心在 O 。 P 和 P' 是兩極， AA' 是地軸，牠向上延長遇着北極星。 EE' 是赤道。有一位觀察者在 B 處，他要知道那一點在地球上的地位。本着那個目的，他就用一具經緯儀去測量 $\angle VBb$ 角，那個角是北極星的視線和由鉛垂線所指明的 VB 垂直線所成的。換句話說，他測量極的天頂距。我們假設他求出這個角是 30 度。但是觀察者剛剛測量的 $\angle VBb$ 角完全等於 $\angle BOP$ 角，這個是由觀察者所在地位的垂直線和地軸所成的角。在這個圖上，祇要你稍為的看看，你就深信牠們是相等的，幾何學告訴我們因為 OA 和 Bb 兩條直線是平行的，所以那兩角就完全相等。(註)用這個巧妙的方法，這位觀察者就得到一個在地球中心的角的數值，這個數值的精確就好像他真帶着他的經緯儀到地心去測量過。前面有一課裏，我們也曾見到和這個類似的事情，因此，正確的測量出一個我們不能見到的角，那是沒什麼驚異的。

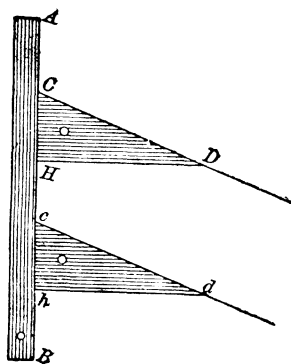


第二十八圖

註：這兩個角的相等能用下面的事實來證明。像上面所見的兩條直線，牠們之間的距離總是相等，因此牠們不能相交。這兩條直線就叫平行線。在紙上我們

要畫兩條平行線，我們得用一把尺和一塊三角板。這塊三角板是一塊三角形的薄木板。將尺放在紙上，拿三角板放在 CDH (第二十九圖) 的地位上，緊靠那尺的一邊。然後我們用隻鉛筆畫 CD 線。

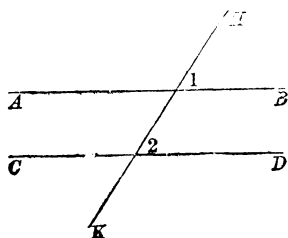
不要移動尺，再把三角板移到第二個地位 cdh 上，然後再畫一條線 cd 。這樣所得的兩條線就是平行線。事實上，這塊三角板是順着尺整個的從上面移下來的，牠離開牠原來的地位到每部距離都相等的地方去。因此，牠的 CD 邊在牠將來的每個地位，特別是在 cd 的地位上，牠的每一部都和原來的地位所隔的距離相等。因此， CD 和 cd 是平行線。



第二十九圖

現在我們明白由尺和平行線所成的 DCB 和 dcB 角，牠們是彼此相等的，因為這兩個角都和三角板的 C 角相等。假如我們可以想像第二十八圖的 OA 和 Bb 兩條平行線是由一塊三角板沿着 OV 尺移下來而成的，那麼 BOP 和 VbB 兩角也正相等。假如兩條直的平行線 AB 和

CD (第三十圖) 被另一根 HK 線所切，像 1 和 2 這兩角就叫做同位角，因為，當我們要畫兩條平行線時，我們得拿一塊三角板順着由切線 HK 所代表的尺，從上移下來，而那兩角就是這三角板的同一角；因此我們稱這兩角為同位角。所以我們能說：假使有兩條直平行線，被一根切線所切，那麼同位角是相等的。



第三十圖

現在我們知道由地球半徑和軸所成的 BOP 角，可是那個

角對觀察者所在的地位有什麼關係呢？牠告訴了我們什麼？牠告訴了我們可多着呢，因為，假如那個角是 30 度，那麼從地軸到觀察者的地弧 PB 也是 30 度，由觀察者到赤道的弧度是 60 度，因為這兩角的總和等於圓周的四分之一。讓我們用長度把這個弧度表明出來。地球圓周的四分之一約是 10,000 仟米，PB 弧是 30 度，BE 弧是 60 度，前者是 10,000 仟米的三分之一，後者是三分之二。於是，極的天頂距的測量告訴我們，那個要求的觀察點離地球北極是 3,300 仟米，離赤道是 6,600 仟米。

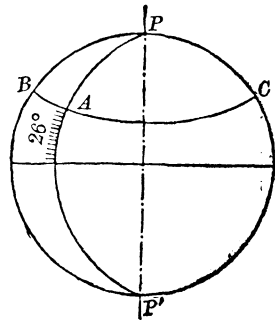
你現在還不知道測量極的天頂距的價值了嗎？祇要稍為看看經緯儀，就毫無困難的解決了我們再也不能直接測量的距離。

11. 接着上面說。『緯度』這個字的意思就是說一個地方離赤道有多少度。那個距離是在經過地球兩極的大圈上測量的。根據這個，第二十八圖的 B 點，牠的緯度就是 60 度，因為在那點和赤道中間的大圓弧 OBE，牠的弧度已求出是 60 度。我們要求在地球表面上一點的緯度，由前面所說的那節，祇要測量那點的極的天頂距，所得的結果也一樣。我們祇要從 90 度裏減去那角，便得那點的緯度。（註）

（註）一個地方的緯度也等於那個地方的天極離地之高度。那是顯而易見的，因為天極離地的高度也等於 90 度減極的天頂距。天極離地的高度或任何星離地平線的度數叫做地平緯度。

最後，我們還得注意，當我們記載某一點離赤道的距離時，我們必得也指明那一點還是在赤道的上面，還是在下面，還是在北半球，還是在南半球。因此，我們有兩種緯度，一種是北緯，所有在赤道以北的各點屬北緯，一種是南緯，所有在赤道以南的各點屬南緯。前者是由觀察天球北極的天頂距找出的，後者也是由相似的觀察找出的，不過是觀察天球南極的天頂距。

既然如此，讓我們假設地球上有一點，由極的觀察知道牠是北緯 26 度。在我們所要畫的地球上，我們一定要把這一點正確的放在牠的特殊的位置上。第一，我們得先做個厚紙球代表地球。我們還得用根針刺通牠，以代表地軸。針所刺透紙板的兩點就是兩極。繞着這球所畫的一個大圈，距離兩極都是相等的，就是赤道。爲要把我們那點放在球上，我們得在厚紙球上，經過兩極畫個大圈 P A P' (第三十一圖)，在那個圈上，從赤道數起，我們要數 26 度，如圖中所示。經過這樣得到的 A 點，我們畫一個小圓圈，和赤道平行。我們斷定在球上所要放的那點。一定能在這個圈上某個地方找着，也許在第三十一圖可以看見的部份上，也許在看不見的



第三十一圖

部份上，因為這個圈的所有各點全在北緯 26 度，全在赤道以北 26 度。因此，尋找地球上各點的緯度，我們就能正確的找出這些點所在的緯圈，或是在赤道的上面，或是在赤道的下面，於是怎樣做一個完美的地球模型就有一半解決了。在一個大都市裏，我們要尋找一個人的居處，我們必得知道他的地址，我們得知道他的住宅和街道的名稱。同樣，我們要把地球上的地點放到厚紙球上，我們第一得知道那些地點所在的街道，那就是說由天極的觀察所求出來牠們的緯圈。但是那還不夠，我們還得知道牠們所在的街道的門牌號數，那就是說牠們在緯圈上的地位，下面一課就告訴我們怎樣求得這個門牌號數。

第七課 時辰和經度

1. ——太陽的視轉。2. ——正午和子午線。2. ——地球上的時計和不會錯誤的天空之鐘。3. ——時錶的正確和子午線。3. ——荒島上的時辰。4. ——太陽的高低和影子的長短。4. ——影子在正午時最短。4. ——怎樣定正午。5. ——二十四時子午線。6. ——地球上二十四小時的連續。7. ——零時子午線。8. ——計時鐘。8. ——地球子午線終結。9. ——經度和緯度。10. ——順着子午線的環球遊行一週記。10. 11. 12. ——一定時刻內的世界各地的時間。12. ——地球工廠的活動。

1. 地球是面向太陽轉的。二十四小時內，牠上面所有各邊都要向着太陽，輪流接受來自牠的每日食糧——熱，光，和生命力。從空間的深處看地球和太陽，二者都有因距離而對視覺所生現象。後者好像一個巨大的球體，帶着牠那燦爛的光輝，跟隨天空走動；前者好像一個一半亮而另一半黑暗的小球，在這至上的星的光輝前面恭敬的自轉着。一粒砂在一顆巨大白熱的礮彈前面舞動着，這就是地球向着太陽的樣子。這些情形

由我們看來，正和上面說的關係相反。地球的體積好像在這世界上是唯我獨尊的，因為牠接近我們的那小部份我們看來以為很大，於是以為牠那真實的體積又不知有多大，自然因為牠看去是那麼大，所以我們當牠是不動的，至於太陽呢，因為距離關係，牠就縮小了，縮小成一面發光的盤子，走過天空時，把牠的光芒散佈在地球上。在早晨霧氣中牠好像從東方上升，天氣逐漸溫熱起來，天色越來越亮，一直到正午時當牠達到天空最高處時為止；然後，牠又從天空最高處往下降落，在天空佈着紫霞的黃昏時候，落入西方，又繼續在天空那一半上作牠的遊歷，去暖和別的國家，到早晨時候牠又回到我們這兒來。假如我們注意地球在二十四小時內，從西往東自轉一週的話，那麼太陽那種視行完全是回簡單的事。因為自轉，所以地球的各部份依次在太陽前面出現，於是牠們每一部份都是在東方地平線看見太陽，當地球自轉把牠們正帶在陽光下面時，太陽就在天空的最高處，最後太陽在西方的地平線，這些正和太陽自己繞着一個不動的地球，從東往西轉一樣。無論是地球面對太陽從西往東自轉，還是太陽繞着不動的地球在相反的方向裏轉，結果都是一樣的，其實，假如我們依照現象來說，以現象作理由，問題就很容易解決了。因此，我們可以說太陽是從東往西轉的，但是我們決不能忽略事實的判斷，太陽從東往西走僅

是我們言語習慣上所允許的。

2. 在一個時候內，太陽祇能照耀一半地球，這是很顯然的。這被照耀的一半就是白天，那一半沒照耀的就是夜晚。在正午時，太陽達到牠路途上最高點，佔據在地平線上所畫的半圓的中央。讓我們假想有一個理想的平面經過我們所在地方的垂直線，和經過地軸（就是說正切在南北方向的平面）。假如我們假設那個平面無限的延長出去：向天空延長，向下穿過地球和包圍的空間延長，牠也就把天空分作兩個相等的部份。特別是牠把在我們頭頂上的天空分作兩半，正午時的太陽就在這兩半的中間。所以在這兩半中間的那根線叫做子午線。這個平面在地球表面上畫了一個理想的大圈，繞着地球經過兩極畫了一圈，這個想像的大圈叫子午圈。子午圈在我們頭頂上的一半，就是子午線。依據這些定義，每一個地方當太陽正位在當地的子午線上時，在那兒就是正午，亦即當太陽達到理想伸延到天空去的子午圈平面時，那時就是正午。在向着太陽的那半球裏，同在一根子午圈上自地球一極到那一極所有各點，牠們同在這一刻正午。在背着太陽的那半球裏，位在子午圈那一半上所有各點，牠們正在中夜。

現在有一個根本問題要解決的：怎樣尋求太陽到達某一個地方的子午線的正確時間。換句話說就是，去尋求中午或正

午的正確時間。你的回答是預備得很好。你要說，那還不是區簡易的事嗎。我們祇要一隻好錶，當時針到達十二點時，那就是太陽將經過子午線的時候。假如這隻錶是完全正確的，那麼我還同意這個方法，但是我們一定要知道，我們所有的鐘錶都是有缺點的，牠們都是要根據時刻不會錯誤的天空之鐘校準的。牠們根據地球自轉均勻的運動來計時的，或是，假如你願意的話，你就依據天空繞着我們的視轉去計時。一隻錶牠是不把真確的時間告訴我們的，除非牠是和時間的分佈完全均勻的天球之大鐘對準的；牠那時分針的動作一定要跟隨太陽的運動，所以一個天文的觀察把時辰給於一些錶了，而且也給了你，雖然你並沒有問過天空，但是有別的錶或鐘都是和太陽對準的。

3. 一隻錶或鐘，除非牠是根據當地的子午線對準的，否則牠是不把真實的時刻指示給我們的。我假設說吧，你可以從里昂（Lyons，法國東南部的大城市。）出發，身上帶隻精確的錶計時候。你向東走去，經過瑞士到奧地利亞，過一會兒你就發覺你越往東面走去，你所達到的鎮市上面的鐘也就越走在你錶的前面。這些鐘告訴我們是十二點半，一點，兩點，三點，等等，而你的錶卻祇有十二點。那是很自然的。越往東面去的國家，他們越先看見太陽起山，自然太陽也越先當頂。因此牠

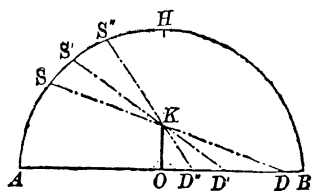
們那兒比里昂先正午，自然牠們的鐘走在你的錶的前面，你的錶所指示你的不是你所在地方的時刻，而是你所來自地方的時刻。從里昂向法國西部諸省走去，那麼你的觀察和前面的相反。那兒的鐘和里昂的錶差得最多的是遲半點鐘，因為你向西方移動的地位並不多。但是大西洋一過，我們就發覺北美合衆國的時辰在里昂後面六七小時，或更多些。有些地方，當里昂的錶都指到正午時，牠們那兒天還沒破曉呢。假如我們想到合衆國在里昂以西很遠很遠，要在你的錶所對準地方的好些時候以後，纔能見到太陽，這樣，牠們所以延遲的原因你也可以知道了。因此一隻錶祇能告訴我們牠直接對準地方的時辰，換句話說就是那根特殊的子午線的時間。在那根子午線以外的地方，依據牠們在牠西面還是在東面，牠們的時間就遲或早。我們的錶到了那些新的國家去，不能依照牠們原來所指的時辰看，而得重新和那些國家的鐘對準。

讓我們作更進一步的考究。讓我們渡過地球四處的海洋。讓我們在一個從來沒人去過的，沒人知道的島上登陸。在那兒，假如你高興的話，你問問錶，什麼時候啦？從你口袋裏，把你那精確的里昂錶拿出來看看，可是沒用。這隻流落在荒島上的錶也不知道時候了。牠告訴我們是五點鐘，可是這時太陽正在我們頭頂上，盡量的出勁呢。在這地方，叫我們去向誰問時候好

呢？這兒除了一羣一羣的鳥，正懶懶的在巖石邊上歇息着外，其他什麼人羣都沒有，怎辦呢？我們要問世界之鐘的時候了，那是一隻從來不需要開法條就能走的鐘。我們要去問太陽，去注意牠走過子午線的時刻。那一刹那的時刻我們一經得到，我們的錶就可以對準了，我們就知道我們停留在那地方的時候。

4. 由日影的觀察可以告訴我們太陽經過子午線的時刻。我們全都觀察過，依據白天的時候，我們所投落在地面的影子，牠們的長短是如何變更着。誰都記得在正午時候，我們的影子是一個矮子的怪樣，但到了黃昏時候，卻又把我們的影子給拉長成個細長的巨人。這些不同的長度就是依據太陽所在的地位而變的。太陽越近地平線，牠的光線越傾斜，所形成的影越長。當正午時，太陽在牠路途上最高處，所成的影子便盡量縮短。為證明這個，讓我們用一個

圖。用半圓 AHB （第三十二圖）代表太陽在我們地平線上面所走的路徑， AB 線代表平地面。在 OK 地方讓我們樹一根垂直



第三十二圖

尺。當太陽在 S 的時候，牠的光線沿 SD 方向擦過尺頂，而產生 OD 影。當牠走到 S' 時，尺的影子就是 OD' ，再到 S'' 時，影子就是 OD'' 。於是我們知道當太陽逐漸往天空上升時，影子就逐漸

縮短。當牠到抵牠路徑最高點的11時，根據圖，影子將是零，如果太陽正在垂直尺的頂上時，那麼那時影子便是零。但是這種情形在我們這些國家裏是不會有的，因為太陽從來就沒有正在我們頭頂上過，這個圖因為不得不在紙的平面上畫出來，所以牠錯誤了。我們一定要在我們心裏把牠改正，假設那把尺在這張紙外面一點點，在太陽所走的圓圈的前面。然後我們就能了解在正午那一剎那時，尺有一個影子，不是沒有的，但這影子是所有影子裏面最短的。地球上有一些區域裏，還有在一年裏的一些時候中，太陽正在當地的垂直線上面走過，於是那把垂直放置的尺子，牠的影子在正午時實際上是沒有的，這個我們在後面會知道的。但是讓我們把這種特殊情形撇在一邊，反正我們知道當太陽到達牠的路徑上的頂點時，影子是最短的。

讓我們運用這些原理來確定正午的時刻。在一塊或水平地位的平面上，比方像塊大石板吧，小心的把牠放平，我們在板上固定一根針，針要完全呈垂直的方向。針被陽光所照耀，牠就在石板上投射了一個影子。當太陽起山時，這個影子很長，向西方指着，但是以後牠就越來越短，一直到正午時為止，過了正午，牠又越來越長，而向東指着。有些時候，距離正午時間相等的時刻（如下午一時和上午十一時），針在石板上所投射的影子是一樣長。讓我們來注意影子短到不再短，從那兒開

始再長的時刻。那個時刻便是太陽達到牠的路徑上頂點的時刻，也就是經過子午線的時刻。所以，那就是正確的正午時刻，影子在那時的方向便是子午線的方向。

5. 我們已經說過，子午圈是一個繞着地球經過兩極的大圈。那就是一個想像的平面從當地的垂直線經過地軸，把地球切下來的結果。子午圈的數目是無限的，因為我們要在地球上隨便那一點畫根子午圈都行。在正南北向裏所有各點都在同一根子午圈，但是在不同的南北向裏的，牠們的子午圈也就不同。在地球儀上畫一些這樣的圓，每一個圓都是固定在一極上，展開出去，把這個球圈圍起來，而在相對的那極相遇。我們可以拿牠們比作西瓜上的瓜帶，從一極到那一極，從瓜莖到在頂部的瓜頂。

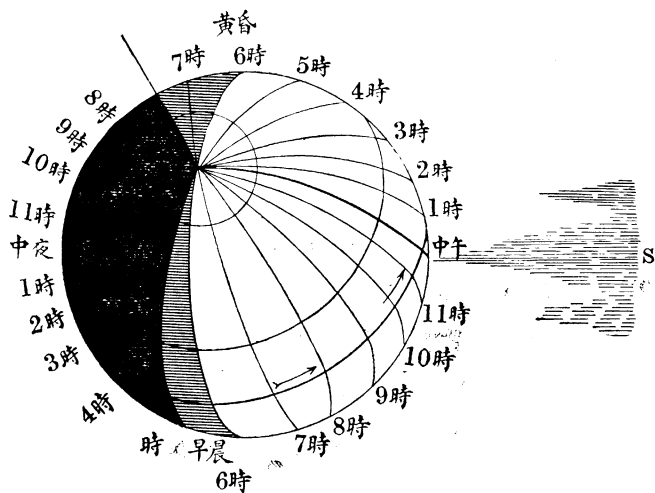
讓我們想像從地球一極到那一極，有 24 個半圓走過，每個半圓代表一個完全子午圈的一半，就是一根子午線，牠們之間相隔的距離彼此都相等的。因為地球每天自轉的原故，所以這 24 根半圓就逐次在陽光前面呈現。正向着太陽的半截子午圈，就正當正午，在那半球的那半截子午圈就是中夜（即正子，是夜間十二點）。在這同一時刻內，在牠西面緊接着牠的那半截子午圈祇在十一點鐘，因為要再過一小時以後，那兒纔正在陽光之下呢。再過去那半根是十點鐘，第四個是九點鐘，如此

類推，在這西半球的 12 個半圓，每一個相差一小時。在另一方面說，在我們開始的半根子午圈前面那一個，牠在下午一點鐘，因為在一小時以前，那兒已經正在太陽下面了。再前面一個就在兩點鐘，再下去就是三點，四點，五點，等等。

6. 第三十三圖可作一完備的解釋。我們假設太陽必在離地球很遠很遠的距離上，現在是在 S 方向裏，在這兒的球代表地球。太陽照明地球的一半，留着那一半在黑暗中。一道光正垂直的照射在某一個子午線上。所有位在向着太陽的那個子午線上各點，牠們現在都在正午，但在相反的黑暗半球的那個子午線上的，牠們在中夜。地球自轉的方向，如箭頭所指，牠將帶着後面標有 11h, 10h, 等等子午線在直射的陽光下面。但是現在，牠們看見太陽還沒到牠最高的地方，因此白天還沒過去多少。標有 11h 的最近的子午線，將在一小時之內到達垂直的陽光下面，因此牠現在還是正午以前一小時，即我們所謂的上午十一點鐘。再下面那些子午線就是十點鐘，九點鐘，等等，因為牠們要在兩小時，三小時，等等時候內面向太陽。關於那些標有 1h, 2h, 3h 的子午線，牠們都已經在一小時，兩小時，三小時以前，在直射的陽光下面走過了，地球的自轉快把牠們推到黑夜了。這些裏面的第一個是下午一點鐘，第二個是兩點鐘，第三個是三點鐘，等等。事實上，牠們各在一小時，兩

小時，三小時以前，就在正午的太陽之下經過了。進一步的解說是不需要的。

7. 在第三十三圖裏，我們已標出 24 個子午線，每根之間各相差一小時。因為牠們總合起來是地球的整個圓周，所以在牠們每個之間的距離是圓周的二十四分之一，即 360 度的二十四分之一。因此，假如我們在赤道上，即圖中底部箭頭所在地方的大圓上面，算計那些度數，那麼牠們每根之間是 15 度。這些地球圓周的 15 度弧，就相當於一小時的時間。這個就可以使我們完成我們的地球模型了。我們已經知道，極的天頂距如何使我們求出一個地方的緯度，牠還告訴我們，那個地方一



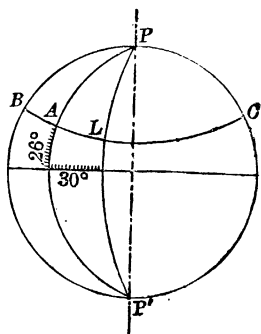
第一十三圖

定可以在那一根地球緯圈上找到。我們現在能尋到所有地方所在的『街道』即緯圈。街道既知，我們還必得找出牠們在那個緯圈上的門牌，即那一點，這步工作就要靠時辰比較的研究來做了。讓我們在我們的厚紙球畫一條子午線，拿牠當作一條起始線。這條子午線完全是任意畫的，但是在地理上爲求一律起見，所以規定以經過格林維治（Greenwich，英國倫敦的一個地方）天文臺的子午線爲起始點。這根子午線叫『零時子午線』。所有的地圖上，牠的號碼是零。讓我們假設第三十一圖的 PAP'（第六課）就是零時子午線。

8. 我們從格林維治開始走。拿一隻對準那根子午線的好鐘，這隻鐘要能走得很長而可不需對時的，總要在牠未停之前開緊。這隻鐘叫做計時鐘，又叫標準鐘，意思就是說一切時間都依牠爲準的。牠所指的時候是牠來自地方的時候，不是牠所被帶到地方的時候。現在我們已來到一點，我們要把牠畫在我們的地球（即厚紙球）上。由觀察影子長短的方法，或用不能在此地敘述的更精確方法，我們確定了那地方正午的時刻。現在在那個時刻，計時鐘指的是上午十點鐘格林維治時。那是什麼意思啊？那就是說我們現在所在的地方是在格林維治子午線以東，15度兩倍即30度的子午線上，因爲牠在格林維治正午時刻以前兩小時正午。同時，由極的天頂距告訴我們，那個

地方是北緯 26 度。這就是把地球上這一點放到我們做的地球上一定的地位所需要的。

在那兒的緯度使得我們畫了 BC 緯圈（第三十四圖），那個地方無論如何一定在這條緯圈上。然後，假使我們從零時子午線 P₀P' 起，根據時間的不同所指（即比零時子午線早兩小時的地方），向東量 30 度，在經過這第 30 度的地方，作一條 PLP' 子午線，我們所考察的這個地方一定在 L 處，這是那地方的緯圈和子午線的相交點。



第 三 十 四 圖

這是很明顯的：假如正午時刻時，計時鐘指着下午兩點三點，或四點時，那就是說，所考察的那地方是在零時子午線以西 15 度兩倍，三倍，或四倍的子午線上。於是我們不在赤道上從左往右（第三十四圖）算計那些度數，而得向相反的方向，從右往左算計，當然總是指零時子午線的左右說的。我們還知道，假如時間的相差有幾時，幾分，幾秒的，那這些也很容易的化作弧的度，分，秒，於是在地圖上需要種種的精確程度時，我們也能完全對付出來。要把地球一點一點畫出來，祇要兩個器具就够了；一個是錶，一個是經緯儀。我已經說過，一個地理學

者要把地球畫出來時，他得去詢求天空。同樣，一位航海者爲要引導他自己的路徑，也得去看那些天體的指示牌——北極星和太陽。他爲要知道他在這荒蕪的洋面上那一點，他得向牠們詢問時候和天極的地平緯度。

9. 經度就是一個地方的子午線和零時子午線中間相隔的度數。牠也有東西之分。假如那個地方在零時子午線東面，經度就是東，叫做東經，假如在西面就叫西經。所考察的地方如果是東經，那麼牠比格林維治先正午，假如是西經，那麼就在格林維治以後正午。經度是在赤道上計算的，假如不在赤道，就沿着地圖上畫的緯圈數，東經西經都是從零度到 180 度止。零度就是經過格林維治天文臺的那半根子午圈。180 度就是在那半球上相對的那半根子午圈。經度是由計時鐘的幫助而得到的。

讓我們記住，一個地方的緯度就是那個地方的緯圈和赤道距離的度數。依據那個地方在赤道的南北，牠的緯度就是南緯或北緯多少度。牠是自零到 90 度，順着子午圈計算的。牠是由測量最近一極的天頂距離而得到的。

緯度和經度的計算是從羅馬到達我們這兒的。羅馬人祇知道在地中海四圍的地球一小部份。那部份在東西方向佔的地方比南北方向的長，那就是說佔的經度比緯度多，後來知道

牠們稱呼那沿着這世界的較大範圍所量的距離就是經度或長度，沿着較小範圍所量的叫做緯度或寬度。現在，我們決不能再有長度就是經度，寬度就是緯度的觀念。因為地球是圓的，牠的南北長度等於牠的東西長度，祇不過在兩極地方稍為低下一點吧了。

10. 緯線和經線在地圖所組成的密網，這個悶葫蘆你已打破了。你知道這些想像的線是一種地理上大廈的骨架子，因為牠們是畫地圖的基礎。那座大廈一經畫成，這些線大多數都要去掉，不致使圖上的太過多，但是就連最小的地圖上總要留一些經緯線在上面，因為牠們可給我們最有益的報告。拿一張世界地圖，跟隨着這些經線走，雖然那些線不能對你說什麼，牠們也不知道什麼，然而你可借牠們的幫助，能完成一個驚異的旅行。我們能夠知道現刻隨便什麼地方的時鐘敲幾點，我們能知道這兒是在光天化日之下，在那兒是黎明的第一根光線正達到，在那兒又墜入黑暗的深淵裏去，或是被夕陽最後的晚霞照耀着。

讓我們假設吧，比方在格林維治子午線上這刻兒是正午。英法兩國各地也都是正午，牠們之中最東與最西諸處都在正午的半小時內。陽光最強，一日正當中的便是正午。在世界地圖上跟隨我往東走。在子午線第30個的是克里米亞(Crimea)

牠是東經 30 度。太陽自東向西每小時走的速率是 15 度，因此牠在到達格林維治子午線以前兩小時過俄羅斯半島的子午線。所以克里米亞現在是下午兩點鐘，因為同在一根子午線上所有各點，牠們的時間都是一樣的，所以在埃及現在也是下午兩點鐘。埃及人在下午兩點鐘時，正在一些棕樹的影子下面，用皮吊桶把尼羅河裏的水打出來，灌溉他那葱田呢。卡斐人(Kaffir)那兒也是兩點鐘，他用酸腐了的乳油塗在身上，抵抗犀牛的攻擊和蚊蟲的毒螫。烏拉山因在第 60 度的子午線下，所以那兒是下午四點鐘，那兒的礦工在花崗石裏面開採黃金和白金的礦脈。那真是一件令人黯然的事：面前是黃金，而自己卻是個窮苦的黃金開採者。然後我看見阿拉海沿岸綠油油的草和含鹽質的平原。現在快到韃靼牧人擠他們小馬們的奶，預備他們的酸奶飲料的時刻了。

印度恆河兩岸在東經 90 度，那兒的時候是下午六點鐘。西方近乎太陽下山的那兒是一片通紅(註)。鱷魚在牠那燈心草的窠裏，對那白天發亮的星作最後的一瞥視，世界之光照落在

(註)在這兒所假設的太陽在上午六點鐘起山，和下午六點鐘下山，這僅僅在春分和秋分兩天，即三月二十二號和九月二十二號是這樣。一年之中其他的時日，太陽的起落都比那個早或遲，但是這並沒有擾亂時間的分佈。當格林維治是正午時，恆河口總是在下午六點鐘，不問是不是太陽落山時。

鱷魚上，也和照在人身上一樣。長鼻的象吹着敬禮歌，老虎在怒吼着。

11. 現在到了東經 120 度鄰近的地方了，可以見有一個很大的城市，當那兒的人民吃過晚飯時，我們這兒（指法國）吃過中飯。那兒就是中國的舊首都北平，現在牠沉在黃昏八點鐘的黑暗世界裏。在那兒我們可以看見中國帝王的一些遺跡：富麗堂皇，莊嚴偉大的中國式的宮殿。可惜現在正當黑夜，我們不能仔細的欣賞牠們，而且時間是急迫的，讓我們再走我們的路吧。在那時間是相同，而快到世界的那一頭的地方，你看我見了什麼？那兒有六個沒開化的人，穿着一條木柴做的外裙，圍着一團將要熄滅的火跳舞着，在他們沒睡之前，他們在那些殘灰裏找尋一個白蟻窠的殘片，那是燻好拿來當晚餐用的。他們就是海洋洲的土人，他們是在人類中被遺棄的可憐人。庫頁島早已被夜的幕幃罩下來了。現在是十點鐘以後，差不多每個人都睡覺了。然而，雖然是在黑夜裏，我好像還看見有一所半埋在土中的茅舍。牠的煙囪冒着煙，因此我們可以知道還有人沒睡。也許是有隻落在陷坑裏而被捉着的熊，也許是一條落網被捉的魚，所以他們很快樂的渡過這一夜。在油爐火焰上，醃肉的兩脇和杜松酒瓶結成綵狀。再過去一點，我們來到經度 180 度的地方，我們到抵西伯利亞的極東部，世界三大漁場之

一的白林海峽，那兒現在正是中夜。紐西蘭現在的中夜已經過了。安靜點兒！別把在這兒正睡着的人民，饒有古風，滿身刺入花紋的蠻人吵醒。

12. 現在我們在格林維治子午圈的那半根下，就是和格林維治子午線相對的那根子午線。太平洋馬來羣島的中央。讓我們走過在椰子樹遮掩下，深深睡着的這些島。讓我們渡過這個大洋，我們發覺有幾顆光亮的點子疏疏落落的散在這洋面上，那是表示正在動着的輪船，再讓我們往北美洲進行。加里福尼亞洲，牠在西經 120 度，現在是早晨四點鐘。金錢和手槍之城的舊金山現在還是睡着的呢。假使現在是白天的話，我要指示你看在牠內部山裏比加里福尼亞山峽裏拾起的金塊，還要特別的東西。我要指點你看一叢巨樹，牠們是植物世界的長者，在牠們那使人尊敬的頭上，載有了生存 5,000 年的歷史。但是真倒霉，天氣到現在還是很黑，我不能指給你看。在密西西比河口，現在是早晨六點鐘，太陽正起山。粉紅色的蒼鷺，正獨腳立在河岸頂部，牠看着那剛從海洋的懷抱中升起的燦爛圓盤，快樂的叫了一聲，好像牠飛去和那圓盤會面去了。更往北走，在靠近坎拿大大湖的地方，美洲鹿向那在茫茫白霜中升起的太陽鳴叫着。再往南去，在初升的陽光中，海豚們在開倫海 (Chilean Sea) 的波濤中圍聚喧囂着。格林蘭的西岸，愛斯基

摩 (Esquimos) 地方是早晨八點鐘。太陽起山後，那兒勇敢的獵者駕着他的雪橇，用十二條狗拖着，在雪原上奔馳，追逐黑貂和藍色狐。巴西中部現在是早晨八點鐘，蜂雀現在已經覺得天氣太熱，所以牠在花叢間漫遊後，就在蝴蝶們的集團間週旋。不過蝴蝶沒有牠那麼漂亮伶俐，所以牠就回到樹林裏去了。大西洋中部現在是十點鐘，我們這兒（指法國）是正午。但是因為地球自轉，所以景象就改變了。那些睡着的醒了，那些醒的又要去睡了。那些在做工的現在休息了，那些在休息的現在又去做工了，因此，在世界這個偉大的工廠裏，自然不會有一刻停止活動的。

第八課 大氣的照耀

1.——在早晨,中午,和夜晚時的太陽。2.——一間有灰塵的暗室內的光線。3.——空氣是日光的散佈者。3.——直射光和漫射光。4.——正午時的星空,4.——光天化日下赤熱的煤。4.——爲什麼白天我們看不見星。5.——天空是再也不會荒寂的。5.——白天裏在高山或正當日蝕時所見的星。6.——煙肉和天文望遠鏡。7.——黑夜天空是充滿着光的。7.——我們爲什麼看不見這個光? 8.——一個無盡頭的白日。8.——在陽光中的地球。9.——朦朧影。9.——由晨昏朦朧期的長短所推知的大氣高度。9.——空間的深淵。

1.——早晨在東方升出來的新鮮清明,總是很清澄而美麗的,牠像揭去面罩似的把夜影趕跑了。天空的東方鑲着金黃而深紅色的邊緣。散佈着紫紅色的雲霞。一道亮光騰上來,太陽升在地平線上,空氣就在這放光的怪物前顫動着。當牠上升之際,威力增加,光輝越來越亮,牠的光先照到高嶺上,由高嶺上投射到平地上,再由平地上投射進山谷中,把早晨那灰暗的

色罩趕走。在山谷中的迷霧好像被種看不見的手推着，爬上鄰近的斜坡，被岩石的邊緣把牠分開成一團一團的，再溶解在溫暖的空氣中。那正是麻雀兒睡醒以後快樂的時刻，在葉叢中唧唧的叫着，那正是甲蟲兒運用牠那金黃色的翅膀，在山茶樹中嗡嗡叫着的時刻；那正是下垂着的花兒伸腰向而着白天的笑容展放的時刻。那正是自然界中的景物甦醒過來，花，將牠們那短期的掛念向大自然道述着的時候。

到了中午時，這顆驕傲的白天的星，便到達牠行程的頂端到達那天空中明亮的孤僻地方的高點。那一刻兒，空間充斥着震動的生命，填滿了一種光暈，在這種光暈前，熔化了的金屬所集中起來的光要成爲白色的。在這種燦爛光輝的中央，有一個光輝穩定的發光球。眼睛要是拚命的向那個大的發光球一看，立刻就要看不見東西。一種難以忍耐的熱光從那兒降下，灼燒着我們的眼簾，牠完全把牠的影置放到樹上，投落下來，牠又把路上的沙石照耀得和面破鏡子的碎片一樣的閃亮。從那兒降下的一股熱勁，把大地弄得和塊磚頭似的那麼堅硬，牠刺入我們的皮膚，威赫着要把我們血管裏的血液蒸乾。中午時的大太陽使蟋蟀在橄欖樹上『取，取』的叫着，使壁虎非常高興的在牠的窠窩中。牠灼黑了我們的臉，但是卻使收穫的東西長熟。牠用牠那光輝，使我們自謙着，但是他是生命之父呢。楊

樹伸長得高高的去看牠，苔蘚從岩石的縫隙裏漫爬出來看牠。

黃昏來了。這顆衰頹了的白天之星，像塊赤熱的鐵磨石，斜陽將那和熾熱時的煤一樣鮮明的光輝投射在水面上。當牠到達天空邊際時，在我們這兒是太陽落山了，但是在另外的那半球卻是正當太陽起山呢。牠就在最遙遠的青山後面投下去。牠正在下去，牠下去了。明天牠還要回到我們這兒來，而且還像今天似的照射我們呢！牠從來沒有熄滅過，不然，世界上的東西都到末日了。

2. 爲了要產生白天起見，光輝刺人的太陽需要一位中間人。太陽固然是光的產生者，但是牠自己不能產生我們所謂的白天的，如我們所見的那樣。你總記得在一間關閉着的黑屋子裏，光從窗簾的洞裏透照過來的現象吧。那道光線形成一條光帶，在這條光帶裏，有許多懸在空氣裏的灰塵在那兒浮動和閃亮着。假如我們激起一些新的灰塵，那道光帶便立刻加亮了，等到灰塵沉下時，光纔弱下去。所以，光帶的強弱是由牠所接遇着灰塵的多少而變的，然而灰塵並不是光的來源。牠不過是使我們在所處的黑暗角落中能見到光，不然，光就不能射到那兒，我們就看不見。每一粒灰塵，接觸着太陽光線時，牠就發光而成爲一粒光亮的點子，牠就像面小鏡子似的把落在牠上面的光傳給我們。假使在光線的路徑裏沒有灰塵，從我們黑暗的

角落裏所見的光線，雖然不能說完全看不見，也是不可比喻的微弱。更進一步我要說，假如在光線的路徑裏完全沒有一點東西，光線就完全看不見。但是總有種東西，這種東西就是空氣。由我們的觀察點看來，空氣可以看作分爲最精小部份的灰塵。在比較粗一些的微粒（指平常的灰塵）完全沒有的地方，能使光線仍舊看見的就是空氣。當然，用不着說，一切的灰塵都沒有的地方，就連空氣也沒有的地方，假使不在旁邊看，而正對着光線看，仍可看見的。所以光線祇能在兩種情況下可以看見：當牠直接射到我們眼睛的時候，和注視被光線照明的任何物質上的時候。

3. 我們稱作大氣的空氣海，是包圍着地球的，牠那淺薄的着色，在白天裏便產出一個藍色天空的現象。那樣巨量氣體中的每一部，都被湯光照耀着，就和陽光中的塵粒一樣。分散着落在牠上面的光，由反射作用傳達給我們，於是那種照耀便調合而均勻的從整個天空降到我們，而不是僅從那光源太陽來的。這種大氣的光亮，我們叫『漫射的陽光』；從太陽那兒來到我們這兒的，叫做直射光。在我們房子裏，在陰暗的地方裏，和直接在爲雲所遮的天空之下，我們是被空氣的光亮，被漫射的陽光，照耀我們，而在陽光之下，我們就被直射陽光照耀着。所以空氣是陽光主要的分佈者。無論牠走到那兒，總是把陽光

成漫射光線的形勢帶着走的，那種光是一種反光，是陽光在大氣層內經過多次反射的。沒有空氣就沒有光亮，除非直接對着陽光。沒有空氣就沒有漫射光，無論怎樣都不能接收到直射來的或由大地上反射來的陽光，而是完全在黑暗中。於是，在黑暗與光明之間的分界綫是十分顯明的。一邊是白天，一邊是黑夜，沒有絲毫過渡的變化，即由白天逐漸到黑夜，由黑夜逐漸到白天的變化是沒有的。或是舉步向前，或是向後，就把我們帶到影暗的區域或是光明的區域中。早晨沒有經過任何預備，白天的光明就直接跟着夜間的黑暗來了。開始的光明是令人可怕的突然從東方發出。黃昏時黑暗立刻罩籠下來，正好像在一間屋子裏，把燈火吹熄時一樣，而那時太陽的頂邊還在地平線上呢。在我們的屋子裏，除去面向太陽的一邊以外，每邊在正午時都是完全黑暗的。陰暗的角落裏再也不會在模糊的光線裏了，祇是完全在黑暗中。如果把包圍着牠們的明亮空氣都去掉時，牠們的有光部份和無光部份之間就有一條很顯明的分界綫，好像在一付幻想的黑白畫稿裏似的。天空將失去蔚藍的顏色而變成深黑的顏色了。在那深黑的背景上，太陽是無能無力的照耀着，星星在中午時也能看見，和在中夜時所見的一樣。

4. 在中午時也能看見星啊！在白天裏還能看見星嗎？不錯。

正因為白天裏面有大氣的照耀，所以阻礙了我們看見牠們。在這兒我們對這件事一定要有所解釋。

讓我們從爐子裏拿塊熾熱着的煤出來。在暗地裏看牠，牠照耀着非常明亮。但放在光天化日之下看牠呢，牠就沒那麼亮了。牠好像熄滅了，假使我們不知燙的話，會用指頭滿不在乎的抓牠。再把牠拿到暗地裏。牠又恢復了牠的光亮。又和以前那樣亮，雖然當我們一把牠放到光天化日之下，牠又不亮了。一隻蠟燭的火焰也能做同樣的觀察。在暗地裏牠能發出亮光，但在陽光之下就不容易看見牠的光啦。無疑的，在陽光和暗地之下，熾熱的煤和蠟燭的火焰，還是一樣的明亮的，不過在陽光中，光要是似乎變弱了，甚至看不見了，這必是由於在刺人的陽光流動之下的眼睛，不能再感覺到那樣微弱的光輝。我們的視覺，和其他的器官一樣，在更強有力的刺激之下，對於弱些的刺激是沒影響的。

在白天裏面，星星把牠們的光送達給我們，是要經過浴在陽光中的明亮的大氣深層。由前面的實驗我們就明白，在這種情形下有什麼發生。因為大氣光亮的幕幃罩着，把牠們那微弱的光蓋過了，所以我們就看不見牠們了。但是一到了在我們頭上的空氣，因為沒有再受到陽光，成了黑暗時，牠們便立刻恢復了可見的狀態，我們又可以看見牠們了。由我們看去，牠們

的光在夜晚時比大氣之海的亮，在白天時比大氣之海的弱，所以縱然滿天都是一樣的散佈着星斗，牠們是要按期出現和隱沒的；當光比大氣之海亮時出現，比大氣之海弱時隱沒。

5. 所以天空總不會是荒寂的。假使太陽是一個孤獨者的話，那不過是因為大氣的原故，使牠成一個不是真正的孤獨者，要想見到那些白天佔據着天空而在陽光下的星，一定要想種方法，不要使大氣的光亮射進我們眼睛纔行。隔個長時期我們親眼見到日蝕時，就是說當黑色看不見的月亮，走到我們和太陽之間時，把太陽光都遮住，和我們能用手遮住一盞燈的光一樣。那時，在那個天體幕幃的後面，在我們上面一部份的空氣，可以和陽光隔離片刻。於是大氣的照耀停止了，我們不能猜到能在白天出現的一羣星，便像在夜間似的出現了，一直到月亮往前走，不能再投射牠的陰影給我們時，那些星纔隱沒。

在我們隨心所欲的別的情況之下，也可以在陽光中看到星空出現的奇景。我們已經知道，空氣的光明層使得星星在白天裏看不見。不過升進大氣較高的區域裏去時，至少那些最亮的星可以看見，因為大氣的厚度減低，我們看去牠的光亮也減低，天空到了一定高度時，一定黑暗得不能完全把星遮住，不像在地面所見的。其實也是真的，在最高山的山頂上所見的天空是深藍色的，差不多近於黑色了，在那黑色的背景上，星星

可以在太陽光中看出來，雖然不是所有的都能看見，祇有那些光線能戰勝殘餘的大氣光的星纔行。假如觀察者能夠穿透到大氣的極限去，就是光亮最弱的星也能看見。祇要背着太陽，他就可以看見那些星在佈着陽光的黑色空間中發亮，好像牠們是被固定在黑色天鵝絨上似的。

6. 白天，瞪着我們的眼睛隨便向天空上注視，在那個光亮很大的天空上要想看見星是不可能的。假如我們的視界能夠大大的約束住，使祇有一小部份空氣的光亮達到我們眼睛，這樣星光就能勝過空氣的光亮，而能使我們感覺到。據說，其實也是真的，從工廠的大煙囪裏，或從一個礦坑底部向上看，目力很好的人就夠在這視界裏的狹窄的天空區域中，分辨出一些星來。

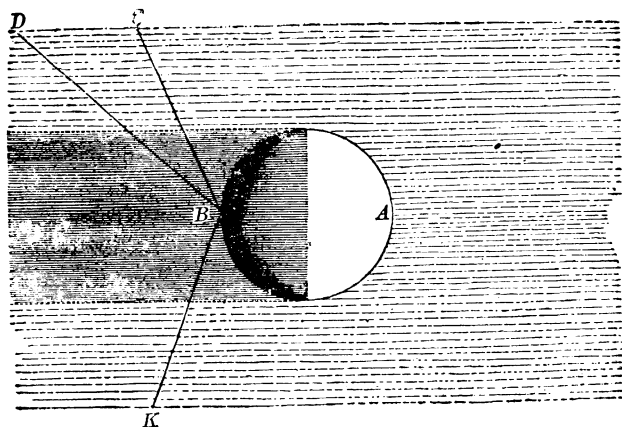
限制視界和防止由空氣來的光亮，最好的方法就是運用天文望遠鏡。這個器具有兩種好處。第一種就是牠那長筒子代替了煙囪或礦坑的部份，把我們的視界約束到祇能看見天空的一小部份。第二，牠的鏡片把星光聚集起來，使牠的亮度加強。用一具天文望遠鏡，無論在一天裏面的什麼時候觀察，早上也好，中上也好，晚上也好，天空所見的星都和在夜晚見的一樣多。我們的決論完了。假使白天裏面沒見星的話，那是由於大氣照耀的原故。實際上白天天空和夜晚有一樣多的星。聞

話少說，因為地球繞軸自轉的原故，新的星是輪流自東方地平線上升，升到天空，再向兩方的地平線落下。每二十四小時裏同樣的東西都依同樣次序出現。

7. 在一個黑夜裏，睜起你的眼睛向天上看，除去那些星星外，你看見有什麼沒有？什麼都沒有。每個東西都如墨水一樣黑。可是我說：那些黑色的深處每一刻兒都是充滿着光亮的，那些可怕的黑地方都充滿着大量陽光的波濤，你相信嗎？我說當中夜的時候，我們天空什麼也看不見，陽光投射在牠上面的光線是和在中午時的一樣亮，你可相信？不，你不會相信的，因為那件事看去似乎是不可能的。好，我就要來證明牠。

在前面我已經說過，地球能够比做一粒沙，在一個遙遠的地方被一顆白熱的礮彈照耀着，暖熱着。太陽就是這個礮彈。牠把牠的光和牠的熱向四方八面傳佈着。地球，在這種輻射中間，接收適量部份的光和熱，正和一根在暴風雨中的草葉子，接收小雨滴一樣。那麼其餘的太陽光到那兒去啦？牠們到處走着，使別的世界也生氣勃勃，牠們通過空間，廣佈到無限境的地方裏去。地球是被陽光所包圍的，牠在這白天之星繼續不斷所傾出的明濤光波之中，游動着。

這兒第三十五圖就是地球投在光之海洋中的圖。A 半球正向着太陽，正當白天，相反的那半球正當夜晚。有一觀察者，



第 二 十 五 圖

站在這黑暗半球上的B點，順着BC, BD, BK等線注視天空。在這些方向裏，他的視線都要穿過明耀的空間，那兒就是太陽傾其全力，投射光線的地方，然而他所見的那個空間是完全黑暗的，在太陽的光輝裏面，牠所見的祇是黑暗。那是怎麼一回事啊？讓我們想想我在前面所說的。當光線直接的落進我們眼中時，我們纔能看見，或是當牠照耀在一種物質上面，那種物質又把牠反射進我們眼中時，纔能看見。因此，假如天空中沒有物質存在，那麼經過這個空間的光，由我們看來就好像沒有一樣。牠在我們頭頂上無論照得怎樣利害，也沒有生效力。因為在牠的路徑上牠沒照着東西，沒有東西能將牠的光反射給我們，當牠走過空間時，對我們的視覺並沒有起任何的感應，正

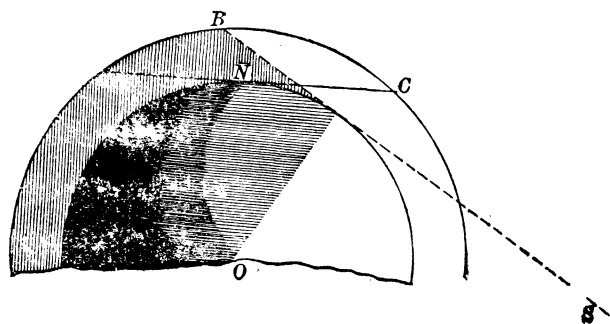
好像一道陽光落進一間黑屋子時，假使在牠的光線路徑上沒有很多的灰塵，這條光線便很微弱，假使屋子裏沒有空氣那就完全看不見了。

8. 在另一方面我們設想有某種物質本來是圍繞着地球的，現在擴張到無限境的空間裏去。那麼 BC, BD, BK 等等視線，就遇見一些微粒，牠們把光線反射給我們，我們就看見一條一條的光帶，和在屋子裏的灰塵所形成的一樣；就是天空沒有太陽出現時，甚至就在中夜時，我們所見的天空也還是一樣的明亮。那時的夜間是再也不能黑暗了，天空再也不漆黑了。沒有光彩的白天接着來的就是大太陽的白天，總是那樣。自然，陽光不能透過地球，所以在地球夜晚的一邊上有個影子；但是那個影子又是什麼樣呢？那個影子就是一粒沙的影子，那是一個無足輕重的影子，牠很難在那圍着牠的光明天空上留下一個痕跡。但是我們沒有經歷過那種明亮的夜間，因為現在當太陽下山後一會兒，天空就完全黑暗了。因此，我們斷定在地球和他的大氣前面一定沒有物質存在。這真是幸運，因為假如在地球以外的空間有什麼物質佔據着，隨便什麼再小的物質，那麼地球的運動再也不能保持了，因為那種物質要對地球的運動發生阻力，總有一天地球要逐漸的失去牠那機械能，停在牠的軸上不動。因此，夜晚的黑暗最切實的證明了在地球四週的空

間決不會有物質存在。特別是證實圍着地球的大氣層，並沒有遠擴到空間中。到了某一個高度，大氣就沒有了。那個限度也許高也許低，不過大氣總和海洋一樣有限境的。

9. 既然如此，大氣對於地球的光明無疑的是佔着重大地位的。有了牠，白天纔逐漸的走到夜晚，不會突然的，沒有大氣時纔會那樣呢。在太陽沒有升上地平線以前許久，牠的光就達到大氣的較高層了，那一層便被照耀着，於是早晨的光明就反射下來，到了我們這兒，那就是白天的先鋒，我們稱牠作黎明。同樣，大氣仍可被落山時的太陽照耀着一些時候，地球上就現出一種半光狀態，牠又不知不覺的模糊下去，進入夜間，我們稱牠爲黃昏。

讓我們在一個圖裏(第三十六圖)表明包圍着大氣的地球。假如太陽在S的方向裏，最後一根掠過地球的光是BS，位在N



第 十 六 圖

地方的一個觀察者就得不到陽光。所以假如他那兒是沒有空氣的，他自己就在完全黑暗的地方。但是投射進 BC 區域的空氣裏的太陽光線，就把那區域照耀着了，這個觀察者就可以沾着些由天空那部所反射過來的光明。雖然太陽是看不見了，但是他還在白天。當這白天的星升上，接近地平線 NC 時，大氣被照耀的數量就增加了，於是就開始從東往西在觀察者的天空上演進着。最後，黎明告一段落，當太陽在 NC 方向上出現時，真正的白天就開始了。在黃昏時，太陽落山以後，也有同樣的現象發生，不過次序是顛倒的。再也達不到地面的陽光，現在照耀着大氣的高部，把白天延長下去，一直到太陽在地平線下一一定的限度時為止，這樣可以延長到一點鐘以上。

從天明到太陽起山，和從太陽下山到天完全黑，這個時期叫作晨昏朦影期。晨昏朦影期的長久和大氣的厚度有關係。假如牠的厚度是無限的，那麼黃昏時的薄暮便和黎明相連着，那樣一來，夜晚又沒有了，甚至太陽不出現，天空都有一些光亮。因此，我們又可由朦影期的長短而推出大氣大約的高度。事實上用那個方法，幾何學上告訴了我們在 80 千米以上的高度就沒有空氣了，因為太陽起山的反光不在那樣高的區域中反射到我們眼睛來。在那個距離以外，通過空間的深淵，就是一個廣泛的空間，天體的機械動作在那兒找不着擾亂牠的合諧的

阻力。

陶註：用朦朧影求出的大氣高度不大精確。現在我們知道大氣的邊界離我們約有 250 仟米。

第九課 大氣的折射作用

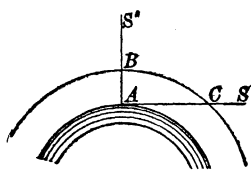
1.——大氣對於太陽的溫度和光亮的影響。2.——傾斜對於陽光力量的影響。3.——爲什麼太陽在地平線上大些。3.——在煙霧中的燈。4.——距離的估計。4.——把距離欺騙你的，也把大小欺騙了你。5.——太陽沒有真正起山就可以看見了。6.——水盆和銅元。7.——眼睛的教育。7.——在光線末端所見的物體。7.——折斷的棍子。8.——空氣密度的分佈。9.——大氣的折射作用。9.——恆星位置的變動。9.——爲什麼太陽在地平線上變成橢圓。

1. 我們已經知道，大氣把從太陽那兒射到我們這兒來的光變到漫射光，經過無數次反光以後形成一個光明的天空，把白天的光均勻的分佈給我們；我們也知道黎明和薄暮延長了天空明耀的時期；另外還有一些很奇怪的現象，就是我們要在這一課裏所要研究的。

第一，剛起山時的太陽沒有後來的熱，沒有後來的亮，當牠在地平線上時的我們還能夠注視到牠的面部，但是再過一會兒，誰的眼睛也不能受住那刺人的光輝了。然而太陽所射出

的熱和光，無論在什麼時候，都是一樣的；牠那強烈的光熱從沒有降低過，也沒有增加過。那麼爲什麼我們看去，牠的光和熱有變化呢？這是因爲我們的大氣。正午時，太陽的光線是直的射過大氣，那時經過的大氣厚度最薄，又因爲在牠們的路徑上，僅碰到因白天的熱而失去水氣的空氣層，所以光線到達目的地，祇在那兒消失了些熱度和光亮，那就是通過最透明的空氣也有影響的。但是在早晨的時候，那些光線是斜着射過空氣的，所以牠們透過較厚的空氣。因爲空氣接近土壤，和早晨的霧氣參雜着，於是那些光線便更微弱了。把第三十七圖一看，

就完全證實了。我們看，沿着 SA 方向來的剛起山的太陽光線，爲要達到地球的 A 點，牠一定要通過 CA 那麼厚的空氣層，因爲和地面接近的原因，所



第三十七圖

以那大氣層中混有水氣，早晨地面的水氣是很多的，而且比當太陽到達牠的行程最高點時，所透過的BA空氣層，要厚得多。因此陽光在早晨沒有在中午時熱和明亮。

2. 另外有一個事實夾在中間。光線和熱線一樣，除非牠們垂直的落在物體上時，是不會把牠們的效力完全發出來的。假如牠們是從旁邊射過來的，因爲是斜射的原故，所以牠們的力量就弱了。拿一塊石板，一塊木板，或一塊厚紙板，去接近一隻

蠟燭的光。假使燭光是垂直的落在這些東西上呢，那麼牠們便被照耀得很光明，否則，要是斜着落在上面呢，那麼牠們便模糊了。

空氣的影響姑置不提，所以，陽光由沿着 $S'A$ 方向所產生的熱和光的效應，要比沿着 SA 方向擦着地面來的效應大。當太陽近到天空頂部時，牠很得勁，因為牠的光線越成直射了，而且透過一層更薄而霧氣少的大氣。當牠在正午到了天空的頂部時，牠最光明；但是過了那點，當牠向西方地平線降落時，光和熱又逐漸衰弱下去了，和牠在東方地平線時的情形一樣，不過溫度和光亮減低得少些，因為在熱的白天以後的大氣，比夜晚涼爽以後的大氣更要清澈些，那就是說水氣要少些。

3. 太陽在東邊西邊的地平線上時，都有一種特別的現象。牠那面盤子由我們看去好像比在天空高部時要大些，然而，假使我們要用天文上的儀器，在早晨，中午，黃昏時去測量牠，我們就發覺牠們的大小是一樣的。(註)這是由一種很易解釋的幻像而成的，太陽離我們是多少遠啊！牠的距離和體積，不是我們的眼睛所能度量的。牠是大，還是小呢？還是遠，還是近啊？對於這些問題，單靠我們的視覺是一點不能解決的。我們眼睛

(註)月亮也是這樣，在地平線上比高高在天空時，看去要大些。道理和太陽的一樣。

去領會這個巨大太陽的奇觀是太受限制了。牠祇看見那麼一面亮盤子，好像是固定在天空上，牠就根據這面盤子所發的光明和根據在牠前面所組成的物體幻像，來評斷牠有時候離我們近，有時候離我們遠。

在你面前十步地方，放一盞點着的燈。假如在中間的空氣是透澈的，那麼可以完全把牠的光亮顯現出來給我們看，燈可以看出在十步地方；但是假使其中的空氣是有霧的，燈光被霧所朦朧着或罩着了，那麼燈看去就在更遠的地方了。誰沒看到過，在霧色的夜晚，人家的燈火看去是比實在的遠呢？這些錯誤是在那兒造成的？這就是由於習慣上是拿物體看得不清楚不清楚來判斷牠們的距離，光線由不完全透澈的空氣中透射來，光亮就很衰弱，於是我們心裏便以為那個東西的距離加增了。

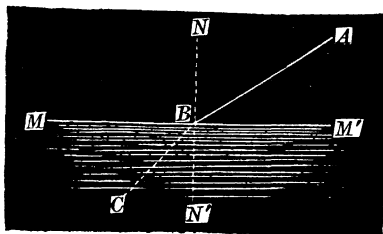
4. 一座孤山，我們看去牠是孤立在地平線上，牠把牠的距離欺騙了我們。我們以為在幾小時以內就能够到達那兒，然而整天的走還不行。為什麼？這是因為我們一直向那座山注視着，在我們前面沒見到可作距離比較的遠景，沒有青山，沒有一個在一個後面的景物，拿那些東西的比較，可以推測距離的。但是在另一方面，假使我們的眼界裏包含有一連山脈，可以看出牠們的山峯是一疊一疊的，這樣我們知道後面的山離我們最遠。

就是這兩個原因，欺騙了我們關於太陽的大小遠近。這白天的星在地平線上所以不亮，是因為牠的光要通過靠近地面的霧層，在我們和天邊之間有些地球上的景物，由我們看去，太陽全在這些景物的後面。在另一方面，當牠高高在天空的時候最亮；那時牠在毫無東西涉及眼睛的天頂上，獨個的稱霸着。所以在第一種情形下的太陽，由我們看去比第二種情形下的太陽距離要遠。但是把距離欺騙了我們的，也把大小欺騙了我們。一個物體被一種幻像覺得牠是在一個更遠的地方，然而敏銳的眼睛網膜上卻造的是同樣大小的像，這個物體由我們看去也似乎是更大些，因為我們既以為牠的距離加增，然而所造的像卻沒變小，於是以為物體的造像沒變小是由於那物體變大了的原故。所以，由我們看去太陽在地平線的距離是更遠，同時牠也好像是更大些。

5. 還有一個比前面說的更奇怪的幻覺，是由大氣造成的。當太陽沒有真正起山時，就可以完全看見。在太陽真正下山以後，還可以完全看見。早晨，當那面圓盤子正完全看見時，其實那盤子的頂邊纔掠過地平線。黃昏時候，好像牠正停在地平線上，事實上，牠已經降到地平線以下去了。大氣又把太陽移開了我們的視線；在地平線上牠把牠升高了一些，升高多少呢？整升高了等於太陽那麼寬的地方。所以別的天體也是如此。透

過空氣這塊大幕所看見的牠們，要比牠們的實際地位高些。不僅在地平線上是這樣，就是在天空所有各部上都是如此；不過當星星越近天頂時，就和牠們的真正地位相差越少。祇有在天頂上所見的星纔在真正的地位上呢；其他各處所見到的星，都不是真正的地位上。讓我們對這個奇怪的地位改變的原因，來考究考究。

光是成直線傳佈的，但是祇有一種情形之下是那樣的：牠總是走過同樣的空間，走過同樣的物質，就是說走過我們所謂的同樣介質。假如介質改變了，那麼光的方向也改變了，而且是立刻改變的。在兩種不同的介質（第三十八圖）之間，被 MM' 平面隔離開：讓空氣在上面，水在下面。再讓一條光線 AB 從空氣中走過達到在水面上的 B 處。牠不循原來的方向，忽然拐了彎而向 BC 的方向去，和水平面的垂直線 NN' 變成 CBN' 角，比原來的 ABN 角小些。假如光線從真空的地方走到空氣裏，從水走到玻璃裏，通常也就說由不大嚴密即密度小的介質到密度較大的介質時，光線的方向都有同樣的改變。我們常看見光線走進密度較大的介質時，



第 三 十 八 圖

在進口的地方改變方向，向垂直線接近。於是我們得到下面的一條定律：假如一條光線從密度較小的介質，走到密度較大的介質去時，牠便從原來的方向偏斜而接近垂直線。

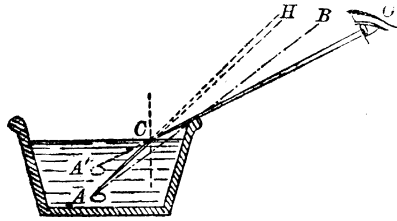
現在假設在第三十八圖裏的光線是從水裏走到空氣裏。在水裏牠是沿着 CB 的方向走，但是射進空氣裏的時候，便忽然由原來的路線曲折，而向 BA 的方向離開垂直線而去。從玻璃走進水裏，或從空氣走進真空，或通常說光線由密度較大的介質走進密度較小的介質時，都是那樣曲折。射進密度較小的介質時，牠便遠離垂直線。於是我們又有第二條定律：假如一條光線由密度較大的介質通過，到密度較小的介質時，便轉變原來的方向而遠離垂直線。

6. 當光線從一個介質斜落在另一個介質中，其中方向所遭受的改變，就叫『光的折射』。我之所以說『傾斜的』落，是因為當光線沿着隔離兩種介質的表面的垂直線投射時，並沒有改變方向。所以，沿着 NB 線走的光線還要沿着 NB' 線走，並沒有改變牠最初的方向。但是這是一件難懂的事。讓我們現在做些根據折射原理的實驗。

在一個水盆底上放一個銅元，水盆不要用透明物質做的，像臉盆最好。然後你到一個地位去，這個地位要你的視線掠過盆邊，剛好達到銅元上。從這個地位起，你再慢慢往後移動，銅

元就不能再看見了，被水盆的邊緣遮住了。但是假如這時有另外的人把水盆倒滿水，那就成一齣奇怪的魔術，銅元立刻就看見了，雖然牠的位置並沒有改變，實際上仍舊被水盆的邊緣遮沒着。魔術這個字用在這兒不妥。已經說了就算了吧，不過我們要加一段，這是一個很簡單的事實，是由於光線從水裏走到空氣中的偏向作用。

7. 讓我們想像一條 AB 直線(第三十九圖)從屋子裏的某一點畫到水盆的邊緣，那條就是沒有放進去以前，能够從水盆透露出的最後一條光線的方向，其他在 AB 線以下的光線就不能射出來了，

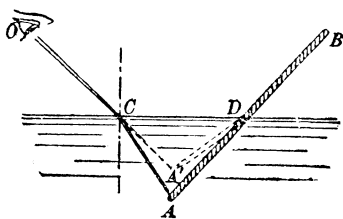


第 三 十 九 圖

因水盆是不透明的。於是在 O 處的眼睛就看不見銅元。我們把水盆裏倒上水，情形就改變了。比方像 AC 一根光線，假使沒有水的話，牠還沿着直線 CH 一直繼續射出去，而在觀察者的上面走過，但是既有水牠就不那樣了，當牠從密度較大的介質到較小的介質去時，牠立刻就在離開水的地方往別的方向偏而遠離垂直線。牠順着 CO 的方向走，再達到眼睛，所以眼睛看見的銅元，並不是牠真正所在的地方，A，而是在 CO 線的

延長線的末端， A' 的地方，不過這一點是幻像的。光線似乎就是從那兒發來的。你要說：『光線既然屈折了使得我們能看見銅元，怎麼沒看見牠在真正的地位 A 呢？』因為，在普通情形之下，物體總是在眼睛所接收到的光線的末端。日常的經驗留在我們的心上，使我們深信我們所見的東西，是在一條直的視線線的末端。習慣既深染上了，我們視覺的教育也就完畢了，從此假使光線經過一次，十次，或百次的屈折，眼睛都沒有感覺到過；牠見的物體還是在那個幻想點上，就是光線好似成直線來自的那個幻像點。

同樣的道理，一根棍子插一半水裏去，插入點好像折斷了；棍子又好像縮短了。自棍子末端的 AC 光線（第四十圖）從水裏浮露時就折射了。依 CO 方向而斜離開垂直線。眼睛受了折射的騙，把棍子的末端看在延長出去的光線的末端了，那就是說在 A' 的地方。



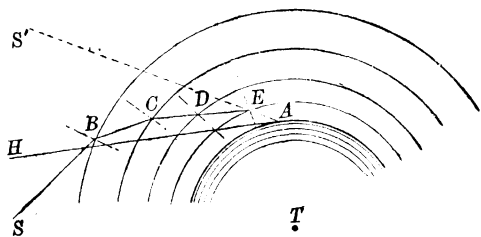
第四十圖

AD 部份的其他各點，也同樣表現出幻像的變位，於是這棍子由我們看去是在 D 點拐折而縮短了。

8. 一個銅元放在盆裏，本來是被不透明的邊緣遮住看不見的，可是加了水以後，光線的路徑因為由水裏射到空氣裏

受了折射，於是我們就可以看見牠了。同樣的，當太陽起山以前和已經落山後，牠的光線路徑因為受了大氣的作用而折射，於是我們也能看見牠。在地球上的A點(第四十一圖)，讓我們把那兒的平面無限

延長到空間去。這樣使地平線AH把天空可見部份和不可見部份分開。假使沒有空氣的話，



第四十一圖

那麼遠在那理想的平面之下的太陽，在A點上是看不見的。牠被地球的彎曲地面所遮住，正和在我們實驗裏的銅元被盆邊擋住一樣。非得到牠在AH或在那條線以上的方向照射時，不能看見。但是因為有大氣在，所以能夠較早的開始看見牠。你要記得，越近地面的大氣，越比在上面的濃厚，牠們被更高部區域的大氣所有的重量壓着。在海面上的大氣，每一加倫有 $\frac{1}{2}$ 盎司，每一升約1.29克，但在高空每一加倫的大氣差不多是零了。因此大氣的密度是從頂部逐漸向地面增大的。讓我們拿同一圓心所畫的大小不同的圓來代表大氣密度的增加，在外面的那些頂輕，和地面接觸的那些最重。

9 太陽在地平線下，從牠那兒射來的一條光線，沿着 SB

的方向(第四十一圖)進行,如果沒有大氣在的話,那條光線的方向沒有遭受着改變,那麼牠就在 A 上面一直射過去,不能使太陽看見。但是牠是從一個真空的地方射到第一個空氣層,那就是說,牠從一個毫無密度的介質射進一個有一定密度的介質。因此這樣光線就向在大氣層中的垂直線傾斜(註),而向 BC 的方向進行。在 C 那一點,牠就離開較輕的大氣層(即密度較小的大氣層)而進到較重的大氣層(即密度較大的大氣層)於是方向折射得更和垂直線接近,而沿着 CD 進行。在 D 的地方又到了下面密度更大的大氣層,於是方向又折射,在 E 的地方,同樣的又折射。光線經過這樣連續的折射以後,被密度大的大氣使牠沿着 EA 的方向走而達到觀察者。眼睛沒有這些方向改變的知識,牠便沿着達到牠的光線而看見太陽,那就是說在 AES' 的方向。所以,由大氣的折射作用,使得實際上在地平線以下的太陽,能在地平線上看見一會兒,當牠實際上被地球的凸圓地面遮住時,還可以看見一些時候。

還有一個也是因為大氣折射作用所生的影響,太陽在地平線上時,稍為改變了一點樣子,使牠變成一個橢圓形,上面和下面扁了一點。這就是因為越近地平線,大氣的折射作用也越強。因此,太陽的底邊更比頂邊被升得更高,因為各部的地

(註)一根線當牠直指向圓心時,牠就和那個圓周或和那個球體垂直。

位變得**不一致**，於是看去便成橢圓形了。當太陽上升時，這個影響就減小，不久就感覺不出來了。望月時的月亮也有同樣的現象。

大氣的折射作用對於一天裏面每一個時候所出現的每一顆星，都有影響，使牠們的位置看去變更，不過，在近地平線所見的變得更利害些。除非當星正走過天頂時，我們是看不見牠的真正的位置，在那個時候，牠所射出來的光線是和大氣層垂直的；我們已經提到過，當光線從一個介質垂直的走到另一個介質時，牠是沒有折射的。當然，天文學家作別的研究時，他們要小心的把由大氣的折射作用欺騙了他們的影響改正過來，這樣纔能知道一個星在天空中的真正地位。

第十課 不可達到的距離

1.——到月球旅行去。1.——再學幾何學。2.——一付頭的圖畫。2.——相似的條件。3.——墨水漬和相似形。3.——不需要完整的樣子來畫一個相似的幾何圖形。4.——運用相似形的原理來測量不可達到的距離。4.——河那邊的塔。5.——角直徑。5.——怎樣測量一座不能近身的塔的真直徑。6.7.——測量從地球到月球的距離。8.——關於那個距離的一些比較。8.——月球的角直徑和真直徑。8.——牠的圓周和體積。

1.——當月亮在迅速浮動的雲采後面，好像很快的沿着天空走過時，誰的眼睛沒跟隨過牠？(註) 當月亮走近那些雲采時，牠們好像一片燦爛的白東西，好像是一塊銀色的綢子。然後牠們越來越厚，越來越黑，最後月亮在牠們後面被遮住了。在這些不均勻的氣體屏幃後面，偶然我們看見一個遊移的球的微光。但是忽然有一塊清朗的地方，月亮於是又完全明亮的

(註)祇要在樹杈間看月亮，就可以知道有雲采的時候，祇是雲采動，而不是月亮動。

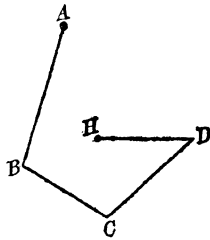
出現了，在天頂上，好奇的向下面看我們。於是又有很多的問題湧上我們的心頭。在那裏面我們模糊看見像個人臉的影子，那是什麼天體阿？在這寒夜的空間裏，牠在那兒做什麼事？牠是不是和牠的鄰居地球在雲采裏做捉迷藏的遊戲？牠的天性怎樣？牠是什麼做成的？在她上面我們會發現什麼？好，爲了要滿足你的好奇起見，讓我們拿科學做個領導者，到月球上去做一個旅行吧。你預備好了嗎？我們走吧。可是，不，停着。我們要和細心的旅行家一樣，先要把我們所走的路程核計一下。在這樣一個旅行中，要是不把路的長短注意一下，他就不能完成。讓我們把地球和月球中間的距離來測量一下吧。可是你又要說，那是辦不到的呀。誰能夠拿把尺順着地球連到月球的那根線，一尺一尺的量呢？別說用尺，誰又能在我們這兒到月球去的那條路上，以步量之呢？或是拿測量者測地用的鐵鍊去量呢？幾何學可以完成這件不可思議的事。祇要拿角和直線很簡單的聯起來，幾何學就可以告訴我們所不能接近的物體的大小和牠的距離。無疑的，關於測量那些不可達到的距離的方法，你是願意知道的。那些美麗而要緊的方法是人類智慧最大成就的一個。現在讓我們把這個旅行攔下來，要先考究一會那些東西，用不着讓我把牠們的數目寫出來，你自己就知道測量地球到一個星的距離是可以辦到的。學習和記憶都是好事，但

是要了解和知道的清楚那更好。

2. 你可以摹臨一付圖畫或是一個人頭。你可以摹臨得和那個樣子一樣大，或是比牠還大，或比牠小都行，但是無論大小怎樣，要緊的是要和原來的相像。這是無可懷疑的。這兒你已經把鼻子描臨過了，依你的想像還可把你所要臨的那個，長寬縮成整整的一半，祇要依着比例去畫，隨你畫得多大多小，我都不反對。再畫到嘴部。鼻子既然縮小了一半，那麼嘴可不是也得縮小到原樣的一半嗎？眼睛，耳朵，臉腮，前額，頭髮叢，這些東西不是都要縮小到原來大小的一半嗎？否則，你想想，一隻小鼻子攔在一隻放大的眼睛旁邊，或一個小下巴和一張大嘴，那像個什麼！你沒把畫縮小，到畫了一張可怕的滑稽畫。我不贊成這樣，因為，你總知道臨畫一經開始時就是鼻子縮了一半的，那麼最要緊的是眼睛，嘴，下巴等等東西也要縮小一半，另一方面，假使你一開始時把鼻子放大了兩倍，在你的草稿上其餘的部份也要依着樣子放大兩倍。描摹頭時的這個原則誰都不能反對的，這個原則在作幾何圖形時也同樣的應用到，就是隨便畫什麼時，我們都能說相似圖形的相當各邊都是成同樣比例的。

但是祇依這種在各個線段中的比例，還不能畫出相似的圖形。還有個別的條件呢。假設你要依 ABCDH 的樣子（第

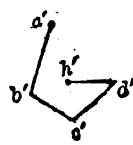
四十二圖)，把所有各部長度都縮小一半，畫一個和牠相似的幾何圖形。你要使 $a b$ 是 AB 的一半(第四十三圖)，然後使 $b c$ 是 BC 的一半；再 $c d$ 是 CD 的一半；最後 $d h$ 是 DH 的一半。各個相當的線段都是完全照着同樣比例畫的，然而所畫出來的並不像原來的。需要什麼纔能使牠們相像呢？需要角度的相等纔能使牠們相像呢，這是在這個敘述裏還沒有說到的。讓



第四十二圖



第四十三圖

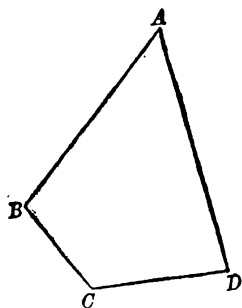


第四十四圖

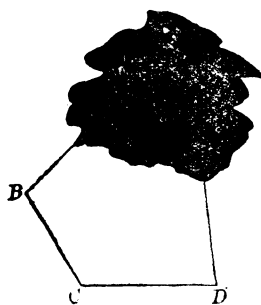
我們把這個圖再從新來一遍，要小心的使圖上的角度和樣子上的角度相等，我要使 $a'b'$ 等於 AB 的一半(第四十四圖)，再在 b' 點的地方，我要畫一個角正等於樣子上和牠相當的角。依那個樣子繼續畫下去，於是我們便得到和原來圖形一樣的圖 $a'b'c'd'h'$ ，於是我們現在要說：在相似的幾何畫形中，各相當邊要依同樣的比例，而各相當的角要相等。

3. 要畫一個人頭，一付風景，或是隨便什麼東西，依着所給我們的樣子畫時，主要的就是那個樣子要能完全看見。假如

有一部份被一塊大墨水漬弄得看不清了，那麼你再怎麼真實的畫一付完全的呢？一定不能了。要去的臨摹一個圖，第一得能完全看見牠纔行。所缺少的，所不知道的，自然是不能描臨下來了。可是現在，因為幾何學的圖形是非常的單純的，牠們是個特別的例外。雖然，原圖上或許有不知道的和一部份看不見的，然而我們還能把牠們從新畫出而臨摹出一付完全相似的圖。我們祇要看下面的例子就可以證明了。假設我們要把多邊形 $ABCDH$ （第四十三圖）重畫一遍，縮小三倍。假如這個樣子是完整的，像第四十五圖，那麼這步縮小的工作也沒有什麼



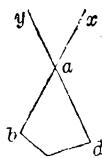
第四十五圖



第四十六圖

希罕，但是假使牠沾上了一塊墨水漬，把我們所要畫的地方沾上了（第四十六圖），於是 A 角就被遮住了， AB 和 AD 二邊之長，我們也看不出了，那麼現在，我們借這付殘缺不全的模樣，能畫個完全和原來相似的圖嗎？原來的圖是假設我們不能完全

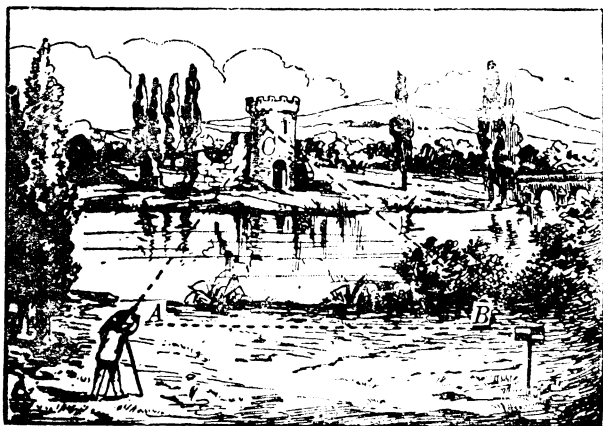
見到了，那怎麼辦呢？讓我們試試看。我先作c角，(第四十七圖)使等於和牠相當的C角，在這個角的兩邊，我能使cd和cb各自等於CD和CB的三分之一。然後在b點處，我再作一個角使等於B角，那樣我就得到一條無限制的直線bx，同樣在d我又作了一個和D角相等的角，那樣我就得到一根無限制的直線dy。



第四十七圖

bx和dy這兩條線相交在某一個地方，就說牠們在a處相交吧，那麼這個圖自然而然的完成了，絲毫沒有加上什麼手續，我也絲毫沒有注意那個A角或是BA，DA兩邊，牠們的長度我又不知道的。因為牠自然而然的就完成了，沒有給我們留下什麼選擇的地位，牠就畫得完全和原來的一模一樣，沒有別的圖能有牠那麼像。所以我們又可以說：假如要畫一個和另外一個相似的幾何圖形，不需要把那個樣子上所有各部都知道；祇要知道一些以後，那個圖畫經過某一點後，牠自己就完成了。

4. 讓我們拿這個原理和牠那完美的結果，應用到下面的問題。我們在A點(第四十八圖)，C塔和我們中間隔了一條河，這條河我們不能過去，但我們要知道塔和我們中間這個AC的距離有多少，同時還要知道那個建築物的寬是多少。要做這步工作，我們得在我們這一邊B的地方立一個東西，比方說一把測量用的尺，再用一根米突棍或是一把測量者用的鐵鍊，去測



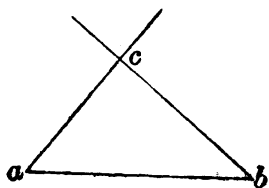
第 四 十 八 圖

量 AB 線，這根線我們稱為我們的基線。我假設這根線我們量了以後是 70 米。然後再在 A 點用個經緯儀測量 CAB 角的角度。我們算牠是 52 度吧。再把經緯儀搬到 B 點去測量 CBA 角。算牠是 40 度吧。

經過這一番測量，在 CAB 這個三角形中我們就知道 A 和 B 的兩個角度，我們還知道三邊的一邊，即 AB 邊。所有其餘的，像 C 角和 AC, BC 兩邊我們還不知道，並不是因為被一塊墨水漬所隱沒了不知道的，乃是因為一個比墨水漬更糟糕的東西使我們不知道的，那便是那條河的阻礙，使我們不能走過去測量了。假如有塊墨水漬遮住的話，我們可以不問三七二十一能夠去畫一個相似形，現在，用同樣方法，把 ABC 三角形完

美的畫出來，其中有一半我們是不知道的，這條河的阻礙也就消除了。現在讓我們畫條 ab 直線（第四十九圖），要 70 毫米長，以代替 70 米長那是在地上所測量的 AB 基線。再在 a 點畫一個 52 度的角，在 b 點畫個 40 度的角。這兩條直線要在 c 點相交，自然而然就把這個完成了。因此，我們的圖就把原來在地上的樣子完全表示出來了。 abc 和 ABC 兩角是相似的，牠們相當的邊也是成同樣的比例的。不過， ab 是 70 毫米， AB 卻是 70 米。於是 ac 距離的毫米數目也

要和 AC 的米數目相等。我們用一把米突尺測量出 ac 是 50 毫米長，所以，我們正在尋求的距離 AC ，一定是 50 米。你看，那條阻止我們去



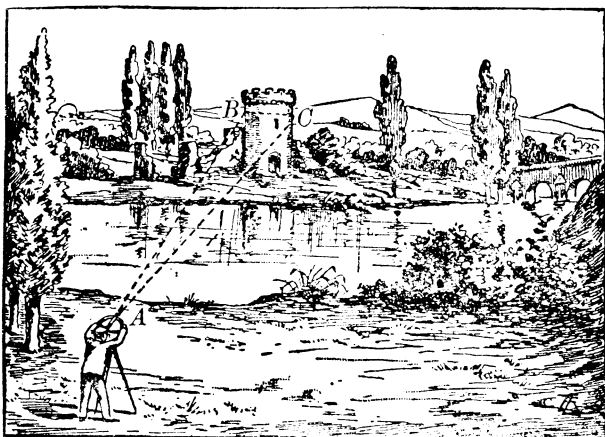
第 四 十 九 圖

路的河，我們不理牠，而塔的距離卻已經正確的測量出了。靠在紙上所畫的相似形的幫忙，我們祇需要一個基線和兩個角，就可以做這個有趣的工作。（註）

5. 我們一經知道從這兒到塔的距離，我們就能很容易的

（註）測量者們去測量那個不知道的距離， AC ，不是在紙上畫一個相似形的，他們是用這已測量的基線 AB 和兩個角的幫助去計算的。這種靠三角形的計算方法就叫『三角法』。這種方法比畫一個相似形去計算的方法要更精確。可是不幸，這些計算的方法叫我們現在學還太早了些。

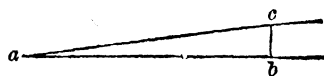
求出塔的厚度即直徑。觀察者從 A 點（第五十圖），用經緯儀上的兩個望遠鏡，向塔的右邊和左邊定好焦點，於是這個建築



第 五 十 圖

物的寬就是這兩個望遠鏡之間所夾的角度。如此所得的 BAC 角算牠是 10 度。那個角叫做塔的角度直徑，因為牠兩邊所夾的是塔的實直徑，就是塔的寬度。現在再讓我們在紙上畫個 10 度的 A 角（第五十一圖），從頂點算起，在兩邊上各切下等於 50 毫米長度的 ab 和 ac 線，這是依照我們所知道塔的距離是 50 米畫的。既到達那步，我們這個圖自然而然的就完成了，因為不必再有什麼考究，祇要把 b 和 c 連起來就完成這三角形了。因此，這樣畫好的 abc 三角形，就和在地上的 ABC 三角形相似。於是， bc 直線依照縮小一千倍的比例代表塔的角度直徑 BC ，不過

是縮小一千倍。用米突尺測量 bc ，結果是 9 毫米，那就是說塔自己的寬度是 9 米。



第 五 十 一 圖

所以，要求得一個不可近身的物體的大小，第一必須要用幾何的方法確定那個物體和我們所隔的距離。然後我們一定還要測量『角直徑』，就是直對着那物體一極邊的一點和另一極邊的一點，在這兩條視線中間所夾的角。有了這個角和距離，解決這問題所需要的，我們都俱備了。讓我們承認幾何學真是有力量啊。離我們很遠的地方，一千米或十萬米，或再遠些的地方外，有一個東西，是一所建築物或一塊岩石，不必勞我們的大駕，幾何學就告訴我們那個東西的大小和牠的距離，好像就是用米突棍去測量過。藉牠的幫忙來作研究時，我們不需要再說什麼是不可能的了，因為我們差不多總是錯誤的。

6. 假如我們要根據簡單的現象來判決地球和月球間的距離，那我們要造下了最大的錯誤；單靠視覺一點都不能告訴我們，我們看見月球在雲采的前面，那些雲采自己是兩三仟米高，有時候高些，有時候低些，但是月球比牠們遠多少呢？假如我們不靠幾何學的幫忙，那我們是不能知道的，所以讓我們還是把嚴正的科學招來幫助我們吧。

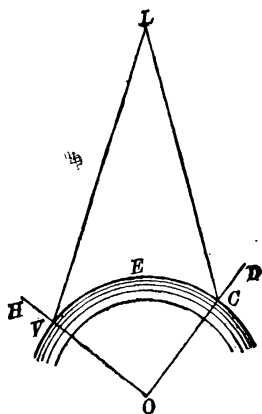
兩個觀察者彼此分站在地球的兩點，他們之間的距離就

是要測的距離的基線。他們要小心的去選擇他們的地位是要在同一根子午線上的。一個可以在澳大利的維也那，那一個在非洲頂南的好望角。如是他們之間的距離佔了地球圓週的四分之一，這是一個巨大的基線，他們那幾何學的建築物就是建立在那上面的。要緊的是，在好望角和維也那兩地的觀察要在同一時，同一分同一秒內舉行，那樣，月球由牠倆看來纔能在天空的同一點。在那樣遠的距離上，他們怎能在絲毫不差的時間內開始觀察呢？由月球自己來解決這個困難，因為月盤同時發給這兩個觀察者一個信號。在一定的時期，望月的月球是看不見的；牠走進地球的影子裏，地球擋住了牠，使牠看不見太陽，於是月蝕發生了。現在這兩個觀察者等候着要在同時開始觀察的信號，就是等這樣一個月蝕。當地球的影子開始達到月盤邊緣的那一剎那時，他們拿望遠鏡對準那個邊，於是他們就在地球的兩頭在同一時刻內做他們的測量工作了，好像他們兩個天文家是通着消息叫同時開始的。

7. 這些測量使他們得到兩個角，如下面。讓VEC（第五十二圖）是沿着維也那，V，和好望角，C，二地子午線的地球曲弧。E點是赤道切着那根子午線的地點，L是在觀察者所擇定的時刻內，月球所在的地位。在維也那的觀察者測量HVL角，這個角是由HV和VL兩條線所構成的，HV是維也那地方的

鉛垂線，VL 是用經緯儀對着月盤的視線；同時在好望角的觀察者測量 DC 和 CL 之間的 DCI 角，

DC 是鉛垂線，CL 是月球的方向。這樣一來就成了。他們祇要再把他們所在地的緯度確定就行了。我們已經知道，一個地方的緯度就是離赤道的角距離，他們去觀測天極的地平緯度就求得了。當然，這步最後的工作是無需同時測定的，每個觀察者可在隨便什麼時候去測定他的所

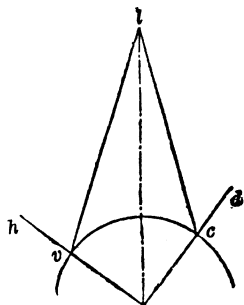


第五十二圖

在地的緯度，不必和他的同伴同時。讓維也那的緯度是 48 度，意思就是說，在赤道和維也那中間那根子午線的 EV 弧是 48 度。好望角的緯度，即 EC 弧，是 34 度。這兩個緯度之和，即 VE, CE 兩個弧度之和，就是 COV 角的度數，COV 角就是 HV 和 DC 兩根鉛垂線之間，即所擇定地位上的兩個地球半徑中間，所夾的 COV 角的角數。因此，由天極的觀測告訴了我們 COV 角等於 48 度加 34 度，等於 82 度，那就是用畫相似圖形的方法去測定月球和地球之間的距離所需要的，沒有別的。

8. 爲要表明地球的曲弧，讓我們在紙上畫個圓的弧（第五十三圖），半徑隨便多長，代表地球的半徑。讓我們做一個

82度的 cov 角。在 v 點讓我們畫根線， vl ，使牠和鉛垂線所成的 hvl 角等於在維也那的天文家由觀察月亮所得到的角度。同樣在 c 點讓我們畫一個 del 角，要等於好望角的天文家所測得的角度。 vl 和 cl 兩條直線在 l 處相交，所完成的 $ovlc$ 這個圖，便和通過地球內部和天空，意想中所構成的 $OVLC$



第五十三圖

圖形相似。現在假如我們用圓規去測量在 OL 的線段裏含有多少 OC 。找出的結果大約是 60 倍長(註一)。因此月球距離地球也大約是地球半徑的 60 倍。我們所以說『大約 60 倍』乃是因為月球的地位是變動的，所以距離也就變更。最大的距離是地球半徑的 64 倍，最小的是 56 倍，平均是 60 倍(註二)。

因此，從雲采中所見月球對我們表現的現象是大大的欺騙了我們。月球不知道比那個距離遠多少呢。我們要達到牠那兒，得有 30 個像地球那樣大的球一個挨一個排起來，或是要

(註一)我們決不能把事實忽略而祇看這些圖，在本書裏的圖不得不有欠對的地方，因為紙頁上的地位關係，不容許依照真正的比例去畫。這個圖裏的 OL 並不比 OC 長 60 倍。

(註二)記住地球的半徑約是 6,400 千米。

拉一根足夠繞地球九圈或十圈長的繩子纜行。一顆炮彈脫離炮口以每秒鐘 1,200 市尺的速度飛行，要 11 天纜到達月球。一部火車以每小時 60 千米的的速度走，要 9 個月纜能到那兒。既然牠離我們這麼遠，牠一定比我們所見的要大得多，因為距離的原故，使牠由我們看去比真正的要小得多。為要求得牠的真正大小，我們又要把我們在塔上做的工作再來一遍。我們一定要測量牠的角直徑，把那個角和距離連合起來。現在拿經緯儀對準那面亮盤子的上下二邊，所得出的月球角直徑約是半度。於是讓我們畫一個半度的角，在牠的兩邊上，切下 60 個單位長度以代表地球的半徑是 60。如此，我們就求出完成三角形的那一個邊，即代表月球真直徑的那一條線，大約等於地球直徑的四分之一，說得更精確一點是十一分之三。所以月球並不是一面小盤，而是一個巨大的球體，雖然牠比地球小些。牠的半徑既是地球半徑的十一分之三，所以牠的圓周是 10,800 千米，體積大約是地球的五分之一。現在我們能夠開始我們的旅行了。假如你嫌這條路長，走去慢，那麼就乘思想的翅膀去好囉，那是可以很快的飛去的。



第四圖 月 球 風 景

第十一課 月球旅行

1. ——從氣球上掉下來。2. ——渡過大氣。3. ——空虛的空間。4. ——引力的極限。5. ——旅行者頭向地的下落。5. ——從 10,000 仟米高空墜下。6. ——7. 月球的表面重力。8. ——火山的底部。8. ——月球風景一覽。9. ——月球山嶽的形狀和大小。10. ——比尼牛斯山的希斯環形山和月球的噴火口。11. ——怎樣測量月球山嶽的高度。12. ——泰可環形山。12. ——條紋和月谷。13. ——月球上的晝夜。14. ——月掩星。15. ——大氣的缺乏。16. ——水的缺乏。16. ——所謂海的地方。16. ——地球生物不能在月球上生存。16. ——溫度的極端變化。17. ——天文鏡所告訴我們的。18. ——羅塞伯爵的天文鏡。18. ——一個 800 米高的巨漢的眼睛。

1. ——當拉着氣球的最後一根繩子放開時，這個乘氣球者一定很費了一番功夫。這個升空機器的沉重軀體全身振盪着；牠轉動起來，開始牠的旅途了。牠升得很快；一塊石頭沉入大洋還沒有牠升進大氣高層時快呢。幾秒鐘之內，從上面所見

的人羣好像是一羣無足輕重的螞蟻；房屋看去是小得令人好笑，市鎮像一堆小的白色立體東西，只要一隻手就能把牠們拿住了。這兒來了一塊雲，乘氣球者沉在裏面什麼東西都看不見了。更升上去，於是氣體就由烏雲深處浮出，好像一隻海上的怪物浮到水面上去呼吸空氣。牠升入了更高的地方，在那兒總是光明而浴在陽光裏面的。牠到了 22 仟米的高度了，那是人類現在升高的最高記錄。有時候，乘氣球的從雲采的空隙裏向外看地球，但是因為遙遠，所以模糊不清，而且又是升得那樣高，於是便覺得地球是深得可怕。十二根繩子和一隻柳條籃把他懸在這深淵的上面。假如這隻不牢固的船破壞了，把他從 22 仟米的高處拋下來，會有怎樣的結果？假如我們一想到從這樣高的地方跌落下來，我們的頭髮都要一根根的站起來了。這個倒霉的人以一秒鐘 328 米的速度向下掉，在 67 秒鐘那樣短的時間內達到地面，和一顆炮彈的速度相近了。經過這樣一摔，他已經失去了人形，不能讓人認得他了。我們別理會這個慘象吧，假如你覺得你有十足的勇氣，不臨陣退縮，那麼我們再一起騰得比那個乘氣球的還高，一直騰到月亮那兒去。因為種種顧慮的原因，還有許多別的原因，我們祇好在腦子裏完成這個月球旅行。

2. 在我們的旅途上，我們將要發現一些關於大氣的事。祇

有在十仟米以下的下層範圍中纔有各種雲采。超過十仟米以外，那兒的空氣是太乾燥了，在那兒沒有水汽，所以不能有雲采。因此，在很高的區域中，天氣永遠是好的。沒有暴風雨，也沒有雷電。但是溫度降落得快，雖然祇隔幾仟米，天氣是非常的寒冷。清朗的大氣高層中，一年四季裏的溫度比我們冬天最嚴冷時的溫度還要低。空氣是越升越稀薄，一會兒就不能充分的供給呼吸了。那些曾到極高的高空中去冒過險的人們，葛來舍 (Glaisher) 和 卡克司威 (Coxwell)，他們曾乘氣球到過十仟米高，說，他們到了那個最高的地位，他們失去知覺了，寒冷得叫人精神異常的不振，又因空氣的缺乏致使透不過氣悶得要死。在十仟米以上，地上的生命到那兒是這麼危險，使我們很可懷疑人們能否再達到更高的地方。這是顯而易見的事，假如要我們答應到月球去旅行，除非是理想的去，否則無論用什麼方法，我們是拒絕幹那把戲的。沒有經歷過悶死和嚴寒的恐嚇，我們是離不得大地的。不過做幻想的旅行者，我們沒有東西可怕，所以還是讓我們進行吧。怎麼？在白天正午時刻，天就黑了。我們是在一個很美麗的藍天之下離地的。現在那個藍色越來越黑。黑夜似乎在太陽當前要來了。天空所以黑暗的原因是很容易明白的。在我們上面祇有一小部份的空氣發出漫射光。大氣那光明罩子變得薄，通過這層薄的明罩，我們看見

是一點白天亮光都沒有的空間，因為在那兒再沒有物質被陽光照耀着，於是那兒是黑暗的。讓我們加速的走過這最後的一段，浮到大氣的上面去。再向地球回顧一遍。假如你俱有良好的目光，那麼你可以看到空氣海洋的表面，在我們世界的邊界上，正在起伏很大，興風作浪呢。別看了，我們一定要走了。

3. 現在我們已達到空間和無限境的深淵了。在那兒，太陽放射出的大量光亮而沒有產生白天。當我們向着太陽看時，牠那炫耀的光又要刺瞎我們的眼睛，而其他每一個地方都是黑色，星光的光輝是無可比喻的閃亮着。那是在完全白天中的夜晚，那是在光亮中的黑暗。因為在那兒沒有東西存在，所以太陽什麼東西也不能照着。牠的光線通過這荒蕪的天空是失卻效力了。要是不直對牠們看，我們是看不見牠們的。我們進了永遠安靜的境地，天空最安靜的地方。沒有一點喧聲從地球那兒達到我們這兒，就是把地球破壞了的那樣大爆炸也不會擾了我們的安寧，因為在這兒一切的物質都沒有，所以就不能有聲音。聲音是要有東西傳送去的。那也是冷殺地球的奇冷處所，但是因為牠有大氣外套，所以沒有被冷殺，因為大氣是保暖的。在那兒沒有東西生熱，太陽的熱也和他的光一樣，沒有作用。根據最穩健的計算，這些地球以外沙漠地帶的溫度，是在零度以下 200 度，比 1829 年冬天空前的酷寒要冷三倍，一些精細

的研究使我們相信那兒的冷度甚至要降到零度以下 270 度。我希望你要知道，在一個溫度非常低下，完全沒有空氣的這種致死的情況中，生命全都要被驅逐出行星中的空間。但是我們爲何不渡過這可怖的空間去趕着我們的旅程呢？讓我們快走吧。想像是一匹很奇怪的馬，牠在危急中笑，背着你到你要往的地方去；實際上，牠是很容易迷路的，我們要用嚴正的科學的發音去引導牠，管理牠，使牠往正路走別迷着。

4. 在這個單調的空間中，我們不必再多勾留了。月球是我們的目的地，我們不要再多費時間。但是在我們路途上要遇到個很特別的地方。在地球和月球之間所連的那根想像線上，有一點是這兩個球各自區域裏的引力的界限。我們不能辨別那一點在什麼地方，然而那是有注意的價值的。讓我來解釋。地球把牠的引力作用在四圍的物體上，使牠們向牠那兒落去，月球也是那樣。引力的大小是和質量成正比例的，地球大。地球的質量比月球的大，所以，當一個物體離地球和離月球的距離相等時，地球的引力要比月球的佔優勢，但是在另一方面說，引力又和距離的平方成反比而減小。所以，假如被吸引的物體十分靠近月球，那麼短距離便抵償了月球薄弱的引力，於是這個較小的天體可以作用出和那個大天體一樣大的引力，甚至更大些。所以我們要測定那一點，在那兒，因爲距離和質量的

關係，月球的引力和地球的引力平衡，這樣隨便什麼物體放到那一點去，牠所受的地球和月球的吸引是相等的，牠既不向月球落去，也不向地球落下。有個計算證明這一點是從地球算起，在到月球去的整個距離十分之九的地方上，或是從月球算起，在到地球去的整個距離十分之一的地方上，即離月球 38 000 仟米的地方。在那點的這一邊是地球的勢力範圍；在那一邊，可是月球的勢力範圍了。所以放在地球和月球之間連接的直線上的物體，根據牠所在的位置，還是在那引力相等點的這邊呢，還是在那邊，而向地球或向月球落去。

5. 我們已經到達了那一點，那是這兩個引力的疆界。一直到現在為止，我們都是頭向上對着月球，腳向下對着地球向前進行的，地球是吸引我們最利害的東西，祇有那個位置是正常的，是適合我們生存條件中僅有的位置，因為完全一顛倒，腳向上頭向下，除非是很短的時候不要緊，否則就要了我們的命了。可是很奇怪，到了我們剛到達的那一點，爲了要不致遭遇到什麼不便，我們必得把頭轉到腳所在的地方，腳轉到頭所在的地方。這個道理是顯明的。我一經過那個界線，我們就不屬於地球，我們是屬於月球了。因為牠的引力現在佔優勢，我們所謂『向下的』，現在就是指向着吸引我們的球，那就是月球。我們所謂『向上的』，就是指着地球的吸引，現在我們再也不

遵從牠的引力了。此後的旅行再也不是騰空向上，而是下落了。我們不上升，而是下降了。我們從一個 38,000 仟米高度上向月球墜下去了。我們再也不得達到我們的目的地，因為月球的引力以增加的速度使我們墜下，幾分鐘內恐怖就到了。一會兒以後，我們想到一個乘氣球者，從 22 仟米的高度墜下的現象，我們恐怖得發抖了。我們從 38,000 仟米的高度墜下時，要成個什麼東西啊？好，一切都過去了，不過那祇是我們想像中的旅行吧了。

6. 我們在那兒呢？在一個巖石的斜坡上，像我們在瑞士阿爾卑斯山上所見的那些光禿禿的山坡，我們所見的這些是真的石頭，的確是真的巖石，散堆成一種令人可怖的樣子，我們所見的都和在地球山嶽分裂的兩邊上，崩裂的大石頭一樣。月球和地球一樣，是一個石質的球。但是石頭在這兒重嗎？這兒我們有個石塊，從牠的體積看來，在地球上總要有二百斤重，但是在這兒我們很容易的就用手把牠舉起來了。在地球上這樣大的木塊，都不容易舉起來的。我們幾乎可以說牠是由軟木做的，牠是這麼輕。這是一個特別的地方，在這兒的石子由我們稱去并不比木塞的份量重多少。不僅是石子，每一樣東西都是這樣的輕。一個奇怪的感覺警告我們，說我們的體重也是一樣的減輕了。我們很難對我們自己的體重有什麼感覺，我們的

腳好像是用棉花裹起來似的，因為我們不再感覺到大地的壓迫了。我們走路時竟使我們不知怎麼走好，因為邁一步所用的力，竟使我們走了很遠，遠過於我們所要走的。我們走路失去特有的輕易，特有的平衡，特有的重量，我們所用的力量遠超過我們所需的，因為我們太輕了。環境所給我們的阻力，和我們要去戰勝牠所發出的力量之間，再也不諧和了。這就是為什麼連世界上簡單的事，即散步，都不能隨心所欲去做的原故。讓我們希望那個習性能解除我們的困難，使我們能從四圍的斜坡走上去。但是讓我再說一下關於重量減輕的原因，說完，我們再利用那個習性從斜坡走上去。

7. 物體的重量不是一個不變的性質，牠是可以改變的，非如牠的形狀和牠的組織。別給牠加什麼，也別給牠減少些什麼，假如我們把這個物體拿到二倍於牠現在地心的距離去，我們立刻就可以看出，牠的重量，換句話說，就是牠落下的傾向，要減少四倍。重量是作用在一個物體上的引力的結果。牠是和距離的平方成反比。因為重量的意思就是一種向吸引中心的傾向，因此一個物體的重量就是要依吸引物體和到那物體中心的距離而變的。月球的質量是地球質量的 88 分之一。(註)所以

(註)我們的潮汐是月球的引力作用而產生的。月球的質量就是從這個作用推算出來的。

一個物體，當牠和月球的中心的距離，與牠和地球的中心的距離一樣時，那麼牠在月球上的重量比在地球上的重量要輕 88 倍。但是因為月球的半徑祇有地球的四分之一，所以表面和中心的距離便減少，這樣就消除了牠那微弱質量所起的一部份影響，把所有應當扣除的扣了以後，在月球表面上的重量祇比牠在地球上的輕六倍。現在，你可知道為什麼我們每邁一步就很不自主的一跳呢？因為我們腿部的肌肉還是和支持了平常的體重似的去工作，而實際上呢，牠們所負的重量已減少 6 倍了。正好像一個東西本來就要用手指一彈就行了，然而卻用勁給牠一拳。

8. 我們下墜的運氣把我們帶到的地方，還不是十分令人安心的。在我們四圍的土地盡是些光禿而淒涼的陡坡，成一種圓錐形的深坑，一種很大的漏斗，牠的底部被黑暗和巖石塊雜混得看不見了。在我們頭上一仟米高，就是火山的噴火口。四邊有許多缺口，好像一座荒頹的巨井的邊緣。我們不能懷疑我們已經落進一個火山的噴火口裏。這樣的一個地方要是在地球上是很危險的，但是在這兒是沒有危險的。至少，天文學家還沒在月球的火山上發現爆發，牠的活動好像早已停止了。無論怎麼樣，我們要爬出這個火山的煙囪，到上面去環顧四圍的風景。

要想發現一個特別一些的鄉村，那是很難的。我們可以說在一個很龐大的煤渣山上面。有無數火山似的圓錐體的東西，從南到北，從左到右，只要眼睛所能見到的地方都是，一個連一個，大大小小，有些就是那麼一個，有些是成堆的像樹瘤似的一個在一個上面接着。有些像田鼠窠的小丘，可以說就沒有高過地面。有些的高度真可以和地球上最高的山嶺比賽比賽，牠們的噴火道真深，太陽從來沒照過底部。有些直立土地的高部，有些卻長在土壤形成的單座圍牆裏面，要是把這些土牆繞着走一圈，還得走好幾天呢。在這些火山形的圓錐體的山腰上，和在牠們之間的那些山谷的底部上，我們又可看得到最奇特的聚集物是尖閣，古代城堡上面的雉堞，殘緣和突出的東西聚集起來的。無疑的，使土地起這樣的震動是需要很巨大的力量的。

9. 從我們觀察處的頂上所見的那些東西，在整個月球的表面上都是一樣。月球上每個地方的特色就是一種散亂無章，亂七八糟的形勢，他使我們想起法國的奧汾涅(Auvergne)和微瓦利斯(Vivarais)一些區域中火山之多，是遍佈全境。月球的表面除去一些多少是平的地方外，那便是被人誤稱為海洋的地方，其餘全是中間空下去的火山形式的山脈點綴着。最平常的形式就是地面上突出來的廣大的圍牆或圓圍，在頂部空

下去，圍牆的中心總是有個小錐形的或圓頂子的東西佔着。所有的這些火山噴火口是不是火門，像我們在地球上所見的啊？不，牠們那絕大的容積使我們不能那樣斷定。克拉維斯 (Clavius) (註) 噴火口的直徑是 225 仟米，托勒密 (Ptolmy) 是 180 仟米，哥白尼 (Copernicus) 還有 90 仟米，泰可 (Tycho) 也有 80 仟米。拿地球上的火山噴火口和牠們比起來，牠們是多麼小啊，像維蘇埃 (Vesuvius) 和騰涅立夫 (Teneriffe)，一個祇有 180 米寬，一個祇有 140 米寬。那些火山的高度也很可觀呢。托勒密 是 2,650 米高，哥白尼 3,400 米，泰可 5,200 米，克拉維斯 7,000 米，牛頓 7,300 米，德而非 (Doerfel) 有 7,600 米高。假如月球上的小噴火口能適當的和地球上的火山相較，那麼牠們那些極大的圍牆，便非常相像地球上一些帶有噴火口似的山谷的環形山，歐洲的比利牛斯山 (Pyrenees) 中就有這樣的山脈，那便是叫做環形山的。這些並不和維蘇埃 或埃得納 (Etna) 噴發火山一樣，而是月球表面在受牠的內部壓力之下所升起的區域，好像在水裏升起的氣泡似的，在牠們的中心崩潰，於是留下一個四壁垂直的環形地方。

10 然而月球上的環形山和地球的環形山，是多麼不成比例啊。在比利牛斯山脈的許斯 (Heus) 環形山是個周圍比十仟

(註) 月面山嶽的名字都是用有名的天文學家的名字。

米還多的深淵。四壁的高度總在 2,500 英尺（約 760 米）以上。這些山壁裏有許多野獸遊行，山的界限很難見到。三百萬人在裏面也不覺得有人滿之患，就是有一千萬人仍可在山壁的斜路上有立地之處。可是這個宏大的比利牛斯的環形山要和那些月球上的環形山比較起來，那祇是一個小得可憐的東西，月球上的那些的周圍是 400 仟米或 600 仟米，四壁直達到五、六仟米高的。環形山的內部四壁還要深些，因為月球的環形山的裏壁普通總在外部山壁的平面以下，這似乎是在那遙遠的變動時期，月球物質還是熔質或軟化狀況中，當四壁已經形成的時候，又向地心退回了。

那些火山在月面上那樣不相稱，固然是令人驚訝，但是還有一個特點，也是一樣的顯著，那就是牠們那巨大的體積和月球本身的比較。月球上面有 1,095 座山的高度已經測量過，有 6 座在 6,000 米（20,000 呎）以上，有 22 座超過亞洲阿爾卑斯山最高的勃朗山峯，牠的高度是 4,800 米（14,000 呎），月球上的德而非山嶽的高度是 7,600 米（25,000 呎），幾乎和喜馬拉雅山的額非爾士峯和高利三卡山（Gauris anker）正相敵，這是地球上最高的兩座高山，有 8,800 米（29,000 呎）高。假使我們研究月亮那樣小的體積，那麼在牠上面卻有那樣高大的山，要令人更驚奇了。高利三卡的高度以地球的半徑表

示，是地球半徑的 740 分之一，但是德而非卻是月球半徑的 277 分之一。根據牠們最高的山所作的這個比較，按照比例來說，月球的山要比地球的山高三倍。爲什麼月球那兒的萬有引力減少 6 倍，牠那超度的地面凸起是個很可能的原因。假如月面山嶽的起因，和地球的一樣，也是由於中心的騷擾和內部的變動，使牠們高過一般的平面，那麼自然可以料想到同樣的力量在月球上要產生更大的結果。因爲月球物質的重量減了 6 倍，於是把牠們升起來便減少了 6 倍的阻力。

11. 有一件事自然會使你驚奇的。我已經告訴了你，月球環形山的大小和山峯的高度是多少尺。我們怎麼知道這些數目的？我們怎麼能在地球上去測量月球山峯有多少高？那并不是很難的事；不過不幸的是因爲你幾何學知識到現在還太有限，所以還不能替你自己完全解決這個問題。但是我可把些計算的原理告訴你一些。

假如我們用一架望遠鏡，就是小的都行，對好着月球看，在那面盤子上我們可以見到散佈着許多圓形，或橢圓形的地方，有一部份亮，一部份暗，四面有頂部照得很亮的牆或壘壁圍着。在上弦或下弦，月球可見的部份減到蛾眉時，那些小山特別清明，我們能毫不遲疑的認定那些圓的東西就是月球山嶽中空的地方，即巨大的噴火口。洞內部面向陽光的斜坡，被

照耀得很光明，和牠相對的斜坡背着陽光，是黑暗色。環形牆壘的頂部好像在燃燒着，而整個山嶽把牠自己的黑影投射在牠後面的平原上。就是拿這些影子的長度和月球直徑來比較，就能使我們去核計山的高度，和噴火口的深度。

我們再照下面看去。假如月球的表面是完全平滑的，那麼被陽光照耀着的部份和黑暗部份之間，所隔的一條線，是完全整齊的。但是假如我們在上弦時去觀測月球，我們就發覺在這條亮的直線的前面，還有許多不整齊的東西亮着，特別是有許多孤獨的地位，好像是和這蛾眉月離開着似的。這些地點就是山頂，因為牠們高的原故，所以在陽光還未到牠四圍的平原以先就受到陽光，在牠們山麓的每一樣東西還沉沒在夜晚的黑暗中時，牠們就發光了。從那條亮線算到那些亮點，看距離是多少，我們也就能推知那山的高度。因為越高的山，太陽光達到牠那兒越早。

12. 但是我們還可更進一步的觀看。讓我們去觀察在我們右邊集成環形的鋸齒狀的巨大缺口。牠們是屬於泰可環形山的。你要留意環形山的四圍有座垂直的巖石圍牆，環繞成一個圈形，我們的目力很難看清楚的，這個巨大的環形山的直徑是 80 仟米，牠的圓周是 250 仟米，山壁的高度在 5,000 米以上。假如我們要把這個深穴填起來，我們得需要把地球上的三

個最大山：南美州的尼瓦多爾國的琛玻拉索山（Chimborazo），勃朗山和非洲的騰涅立夫峯（Peak of Teneriffe）。可是就這三個大山也還不夠。這個環形山的底部是一片粗糙的平原形成的，牠發出的光是特別的亮，和一種圍牆的內壁一樣好像是當噴火口開開時，有些結晶的物質從月球內部噴出去的，於是在牠流動的地方便留下玻璃似的一層。最後，還有在圍牆的中心處，有一個 500 米高的圓錐體，形成一個壯嚴的尖塔。

環形山的外牆，光不大亮，似乎是種性質不同的東西構成的。但是在牠外面有些長的亮條子，從牆根起經過灰色的土地直射出去，似乎是和月球環形山的中央和內壁相仿的物質構成的。由地球上看去，他們好像是由噴火口發出的光明的帶子，有一百條也許還不止些。叫做刻白爾（Kepler），哥白尼和些別的環形山，也是發出同樣光線的中心點。這些光帶從來沒有投過影子，因此牠們和地平面一樣高。根據所有的現象，大約是在月球起了那非常的震動，使發生了環形山的時候，土地破裂成星狀的裂紋圍繞着月球騷動的中心，很像一塊窗戶上的玻璃，被一塊石子擊過去，那塊玻璃就繞着那石子所擊中的那一點爆裂一樣，所以牠的內部物質填充着在噴火口外面的空隙，那些也許就是玻璃質的東西，反光得很利害，和組成環形山的內壁和底部的物質相似。

月球各部還可見到同樣的裂縫，不過樣子稍為不同些。那是叫做『月谷』的，牠們是在兩條平行堤壩間的空隙或直線形的痕跡。大多數都是單獨不相連接的，有幾個連得和血管相似，或是交叉着的。牠們的長度從 15 仟米到 200 仟米。最寬處是 1,500 米。在望月時牠們看去好像是白色的線條，因為牠們中間的地方都完全被照耀了。月亮成蛾眉形時，牠們是黑色，因為被堤壩的影子投進中間凹進的地方了，使牠們得不到陽光。也許這些條紋是月球表面最後所受到的變動而成的。牠們一定比環形山形成得遲些，因為牠們之中有一些是印在環形山上面，沿着牠們的壁壘而裂的。

13. 月球表面的參差不齊，觀察了以後，有一件事很使觀察者奇怪。那便是光和陰影特別顯明，照耀是非常的不調合，祇這件奇事就使我們覺到和地球上的現象不同，因為我們一向對於白天光線散佈的印像，和那個奇像相反。通過霧罩所見的物體的幻覺，現在再也沒有了。陰暗的等級也沒有了，在地球上我們可以利用牠來判斷距離的。在那兒的地平線不是浴在一種動拗的清明中，不像地球上所見的是一根未決定的線，而是一個界限很粗明的圓，所見遠在那兒的山峯，是和最近的一些，一樣的光明。在陽光範圍之外，不僅不是陰影，而且是一種非常深非常黑暗的狀況。假如沒有從粗糙地面反射來的許

多光，在那兒要完全漆黑了。在地球上，最小的望遠鏡告訴我們，月球的陰影是完全漆黑的，好像白紙上的一塊墨水漬那樣粗明的輪廓。月球沒有漫射光，牠也沒有黎明或薄暮，當太陽一起山或一下山時，白天或黑夜就忽然來到了。沒有一點居間的變化，太陽一起山就是最光明，太陽一落下，就是完全黑暗。天空也從來不是藍色的，在白天和在黑夜裏面，無論太陽出現沒出現，都是一樣的黑暗，星星都一樣的發光。處在永遠是淒涼，而總是點綴着星星的天空之下，當我們看到這些光明的景物映射着，環形山的一半是黑暗，一半是充滿光明的奇特外形，我們很難能相信自己是置身在這個真實的區域裏面。我們這般想像的旅者，是不是被我們的幻想所騙？不，因為在地球上很容易斷定月球上沒有大氣，所以自然而然的每一個現象出來了：沒有漫射光和晨昏朦影，粗顯的陰影，和白天裏充滿了星星的黑色天空。

14. 一個很簡單的觀察告訴我們，就算假如有一層空氣包圍着月球，那麼，牠也不像我們自己的大氣那樣有雲的。假如雲朵在空氣裏浮遊着，我們就可以看見牠們在月盤上走動，像一些形式在改變的地方，然而這種現象我們沒有看見過。假如我們的天空是晴朗的，月盤也完全是清明。破壞我們這兒天氣晴朗的是積雲和水氣層，但是在月球上面就沒有這些。

不過，就是清朗不變的大氣，我們都不能承認月球上有牠。由我們自己的大氣包圍所產生的事實，其中最令我們注意的一個是：白天和黑夜是逐漸變化的，不是突如其來的。我們從白天到夜晚和從夜晚到白天是要經過晨昏朦影期的，早晨和黃昏就好像戲劇變更節目前的序樂，那就是由於最先和最後看見太陽的上層空氣所反射來的光。所以一個觀察者在離開地球很遠的一個地方上，注視地球，這個球就沒有被一條顯明的界線把光明區域和黑暗區域分開。反過來說，在黑影區域和光明區域之間有一光色不能確定是黑是白的地帶，那就是朦朧影帶，使黑夜逐漸到白天和使白天逐漸到黑夜的路徑。

在月盤上就看不見這種現象。黑暗部份和光明部份之間有一條顯明的線隔着，沒有居間的光色。假如月球上介在白天和黑夜之間的光色不是逐漸變化的，我們的結論是很明白的：那麼月球上就沒有大氣。

15. 下面的觀察你可以得到同樣的結果。你已經知道光線如何被地球上的大氣折射，使太陽在未起山前和落山後一會兒，還可以看見。你也要記得，一個銅元放進四邊不透明的器具底部，實際上牠是被器具的邊緣遮住了。但是把這個器具裏放着水時，由折射的作用，我們又可以看見牠了。現在月球在天空中運行時，一次一次的在一些星前面過去；那時牠就把一

顆一顆星遮住，或是說：『掩蝕了』星（按：被月掩住的星叫月掩星）。假如月球是被層大氣包圍住的話，那麼掩蝕的時間多少要縮短一些。因為星光要被月球的大氣改變方向，所以當這顆星實在被月盤遮住以後，和當牠應該在相對的那邊浮露以前的一點時候，我們就可以看見了。正和太陽因為地球大氣的折射作用一樣，使牠在未達地平線和已降下地平線一些時候，我們還可以看見。現在，假如我們測量一顆星被月所掩蝕的時間長短，我們發現那時期正等於月球在天空走過牠本體所需的時間，月球的寬度是半度，牠走半度要費1時48分。當一顆星被月球掩蝕時，牠在月球後面停留的時間正等於：從月盤剛一達到那顆星時，那顆星的光就停止射到我們這兒起，一直到月球剛走完牠本體的寬度時，那星的光再沒被牠遮住，又開始射到我們這兒的時候止。換句話，那就是成直線方向射來的星光在月球那兒並沒有改變方向，當牠掠過月球任何一邊時都沒有折射，按理這個現象就是說月球上沒有大氣，但也並非絕對沒有大氣。但是祇有一點是確實的；假如月球是有個大氣包圍的話，那層氣沒被晨昏朦影照耀，也不折射光線，那麼牠比我們自己的大氣要稀薄好幾千倍。和我們的空氣唧筒抽出的真空裏面所含有的空氣份量差不多，所以我們可以不管這樣稀少的大氣，而假定月球上的大氣是等於零。

16. 既然沒有大氣自然也就是說沒有水，因為假如有什麼液體層——海，湖，或在月球表面上的池塘——經過天然的蒸發，尤其是經過兩個星期陽光的連續照射，蒸發作用更是盛行，那麼我們的衛星四周，就有一塊很大的由水汽凝成的雲朵包圍着。但是在那兒雲朵和水汽都沒有，所以月球的土地是完全乾燥的。

然而天文學上還用池塘，湖泊，和海洋的名詞來稱呼月面上一些灰暗的地方，有好些是我們的肉眼可以看見的。我們稱呼牠們叫什麼神酒之海，呼喚之海，蒸汽之海，風雲之海，寧靜之海，夢湖，和安眠之塘，等等。這些名字都是依習慣稱呼的，不過不合事實。當我們拿架望遠鏡對着這些所謂海洋的地方看，我們就看出那些地方是比山嶽區域的光暗些的平原，裏面有火山噴火口散佈着，和裂縫交叉着。

沒有水也沒有空氣！這兩樣生命的要素都缺乏，於是月球便是死物獨佔的疆域，是礦物的領土，一般常假設生命要有和地球相合的一定不變的定律。月球那兒是一個永遠沉靜而偏僻的地方。那兒是一個莊嚴不動的沙漠，我們知道植物和動物在那兒一定要被驅除掉的。一球苔蘚，爲了要生長在我們的山中青石上，便在夜露中獲取到水滴，以供牠那纖弱的根需用。爲了牠的葉子之用，便在大氣裏面取食物，也够牠享受的了。

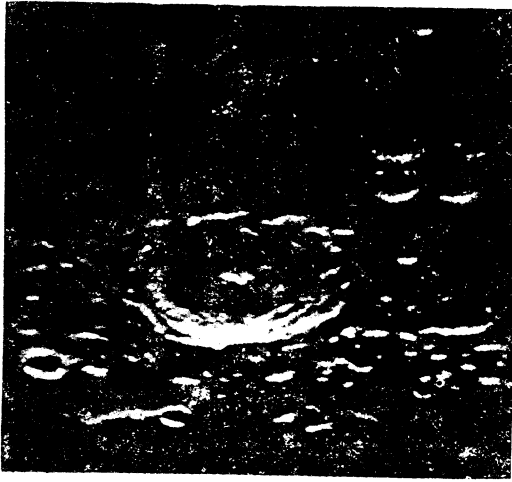
但是在一塊永遠是乾燥的岩石上，斷絕了給與生氣的空氣浴、那樣是沒有植物能在上面生存的。因此我們那長在光禿的岩石上的頑固的地苔，能生長在我們的茅瓦上的苔蘚，是不能適於月球的狀態。那麼，我們能說那些較高等的植物，尤其是動物，牠們要更適宜纔能生存的，能在月球上生存嗎？在我們的衛星表面上卻找不到一點適宜牠們需要的東西。

我們有更大的理由來判斷這件事，因為除去空氣和水都缺乏外，還有一個致命命的絕對溫度的變化。月球在太陽光中轉一圈所需的時間是地球的 30 倍。每一半球有 24 小時的 15 倍長連續不斷的在陽光照射之下。有 24 小時的 15 倍長的時期是投落在夜晚的黑暗中。(註)假如說我們夏季白晝那樣炎熱是因為日子長的原故，最長的時候是 16 小時，那麼月球上的白天是 360 小時，在那樣長的時間中，陽光的熱繼續不斷的達到月球上，毫無雲采或輕風調劑着。你想想看，月球的白天是怎麼樣啊？牠們的溫度一定是忍受不住的。白天過了，同樣長的夜晚接着來到。熱又非常迅速的失去，因為在那兒沒有大氣或是氣體的包圍使得土地不致結凍，於是溫度也許低落到天空間裏那麼可怕的寒冷。忽然的被熱焚燒 14 天，又忽然的被冷凍結起來，假如把地球上的生物放到月球上去，會有怎樣的

(註)月球的白晝平均是 14 天 18 時 22 分。

結果？從每一點看來，月球顯然是一個不毛之地，除非在那兒的生物有我們現在所不能料想到的生活方法，否則牠們是不能生存的。對於這件事我們不必再思索了，讓牠保留着神祕性吧。

17. 告訴我們關於月面上詳細情形的望遠鏡，難道不能以牠們強有力的視力給我們解決困難，告訴我們月球真是絕對的不毛之地嗎？不行，天文學上還沒有這樣強有力的器具，足以辨別在月球上像我們地球上的生物那麼小的東西。月球和我們的平均距離是 38,000 千米。把這個距離縮短 1,000 倍，我們看月球好像是離我們在 380 千米的距離上，需要一架倍率是 1,000 倍的望遠鏡纔行。把這個距離再縮短一半，好像牠是在離我們 190 千米的地方，我們需要 2,000 倍的望遠鏡。從里昂用肉眼剛好能看見 150 千米外的勃朗山，是小極了，雖然牠是歐洲阿爾卑斯山的最高峯。但是假如在那麼遠的地方上再加上小得像人，像一顆樹，或是就像座房子似的東西，那我們可看不見了。用 2,500 倍的天文鏡，看見在月球上的山嶽，就好像在里昂所見的勃朗山那麼大。看大的東西固然很好，但是要看一些很小的東西還是沒用。不過讓我們再往遠說吧，用 4,000 倍的望遠鏡，那樣就把月亮帶近到觀察者 90 千米的距離內了。要是用 6,000 倍的就把它帶到 60 千米的距離內



第五圖 月球山脈



第六圖 月球環形山

了。現在我們可能看見和我們動物一樣大的東西呢？還是不行，誰能說他能在這樣距離上分辨出一隻牛或是一隻象？無疑的，你要告訴我，要那個望遠鏡的倍率能使月亮好像近在我們身旁，那麼月球的祕密可完全揭露了。

18. 我認爲對；但是我要你知道，我已經說得遠超過現在所能達到的限度了。望遠鏡放大一個在很大距離上的物體，有個不可免去的影響，是把從那物體來的光分散了，結果使我們不能清楚的看見那個物體。當牠已經達到和光源的亮度成比例的一個一定限度時，光就很稀薄無力，那個物體再也不清楚了。對於月球呢，能放大的倍率的限度一達到，牠的光就微弱了。我們很難給你一架倍率 2,000 的望遠鏡，就是天球望遠鏡也很難有 2,000 倍的，羅塞伯爵的望遠鏡，鏡筒有 15 米長，直徑是 1.7 米，重量是 926 磅，在鏡筒底部的金屬凹面鏡就有四噸重。在一個圓筒裏能收集大量的光，所以光不會太弱。因爲是高倍率，自然把光分散了，所以再要處理散光，這樣就看到一付清楚的天體的像了。這樣重東西是安置在附有雉堞的真正城堡的大牆上，有一些杆桿和繩子管着牠動，使牠轉到所需的天空部位。因爲牠是一個看東西的器具，所以相當於一個身高 800 米，瞳仁一米半寬的巨人眼睛。好，用這個天文鏡清楚的分辨出在月球上最大的東西，可以和地球上的大禮拜堂比

比大小了。所以到現在天文鏡的倍率還不能告訴我們月球到底是不是一個沒有生氣的孤僻地方，將來無疑的在科學管理之下可以安置更有力量的天文鏡，遲早能把這個問題解決。

第十二課 月球上所見的地球

1. ——地球縮小到一個大月亮。1. ——一隻手大的法蘭西。2. ——發亮的阿爾卑斯山山巔。2. ——奧紛涅山的噴火口。2. ——兩極的雪。2. ——赤道的雲帶。3. ——地球的光。3. ——月夜的光明。4. ——灰紅光。4. ——地球爲什麼發光。5. ——月球上有一半永遠看不見地球。6. ——實驗證明。7. ——月球的大鐘。7. ——地球的位相。

1. 當我們討論生物在月球面上是不能存在的時候，我們把泰可環形山忘記了，我們的想像旅行會到過那兒的。讓我們再回到那個觀象臺去，從牠的山頂上向地球瞭望，再讓我們選擇一個適宜的時候，要當月球把我們轉到黑的半面，這半球沉入黑夜的時候。我們的地球現在在那兒呢？就是那曾經似乎是宇宙的基礎的地球，牠在那兒呢？原來在那兒呢！啊，在我們頭上天空的一角裏，一種照耀着我們的景物的大月亮。地球能因距離而縮小嗎？不錯。在那兒是歐洲，非洲和亞洲都清楚得好像是畫在半張世界地圖上，海洋是灰而稍帶點藍色，大陸是比較的明亮些，牠們的光是白色的，但帶着一片很淺的綠影子，

這是因為有植物生長的原故。光輝一律的物體，在一個我們難以見到的透明的包圍裏移動着。牠們和那面亮盤子上的黑斑一起動。在大氣裏面浮遊，把影子投射在地面上的是雲采。在西部的地平線上，大西洋灰色平原前面一點的地方，我們看見大陸的一角，那是我們大家都愛的。他就是我們的國家法蘭西。（陶按：——在月球上，你，大華的國民，能找着你的祖國嗎？）牠想着而且感覺着各國都因牠的理想和志望而戰慄着。假如大陸的那一角有所不幸的消失，那麼世界上就有一個很大而不可救治的罩子罩了下來。那一角，我們在月球環形山口的山頂上，用手就能把牠蓋起來。在那兒看雖祇有一指頭之寬的土地，但有我們三千萬以上的同胞生活着。假如說在更遠的地方看我們，我們是個什麼東西呢？無論是怎樣渺小，然而都逃不掉宇宙，大自然使地球爲着比我們自己還小的東西繞着軸轉動，他能左右宇宙然而他也賜點蜜糖給昆蟲吃，和賜點水給草兒喝。

2. 那個狹窄的地方是法蘭西，我們已經知道了，在牠的東南，有幾行被深影子隔離着的點，發着特別亮的光。這些燦爛的點子就是比尼牛斯山和阿爾卑斯山的雪嶺，牠們鮮明的反射着太陽光。隔在中間的影子就是表明現在太陽還沒有照耀到的山谷。阿爾卑斯山的左面有一付比較清楚的景緻，是許多

圓錐形的凹下去的地方，東面的斜坡被早晨的太陽明亮的照耀着，相反的那邊是黑暗的，那些地方和月球上面的那些相像，所不同的祇是大小。這些地方就是飛法來(Vivarais)和奧紛涅的火山噴火道，不過這樣小的噴火口，從月球上不用望遠鏡看，是看不見的。

現在讓我們再觀看地球圓盤的兩端。在南極有一片很廣大的地方，照得和阿爾卑斯山山頂那樣亮。這是南極大陸上的冰雪形成的。在北面那一頭，我們又看見了另一個明亮的區域，那是北極的雪形成的，不過比南極的那塊小一些，因為是下面的原因。地球的北半球上現在正當夏季，南半球正當冬季。在近北極的雪，有一部份融化了，於是牠們原來佔有的區域就向北極退回去，但在南半球呢，牠們還正當遍地結凍的時候呢。從現在起，六個月內，因季候的變化，相反的現象發生。那時北極的雪地要擴張範圍，而南極的雪地便要縮小了。

地球的景像還有個特別的地方。那些一片白色的雲霧狀東西，在地球圓盤上移動着的，我們知道是被太陽照着的雲采。牠們什麼地方都有，沒有次序的排列着，有些地方很稀薄，有些地方很濃厚。但是在赤道區域上，牠們卻排成一種特別的樣子；牠們從東到西排成不規則的帶狀物。這些一條一條平行的雲帶，就是貿易風的結果；因為地球從西往東自轉，所以牠們

在相反的方向中，整年的刮着。

3. 我們剛剛已經拿地球比作一個大月亮，這是很好的比較。從我們現在所在的一點看，地球好像是一面大銀盤。那是月球上正當『望地』的時候，正和地球上所謂的『望月』時候一樣，不過祇是亮點吧了。地球直徑和月球直徑之比是 11 與 3，因此地球圓盤的面積要比月球的大 14 倍。讓我們想像着，把十四個等於照耀我們夜晚的望月月亮聚合為一個，這樣所見的月亮就是我們在月球上所見的地球那樣大。

圓滿的地球圓盤在此刻正是放出牠那最燦爛的光芒時刻。地球好像一面磨盤那樣大，從天空射下一道白光，給於月球一種不可描寫的燦爛。好像是熔化的銀泊從火山圓錐體的山頂上傾瀉下來；環形山的側面好像塗上了白光，山嶺的斜坡和塗擦了磷一樣的顯明，在我們腳下的平原好像是一片銀乳色的湖泊，湖裏有些黑暗的地方是島嶼。這種照耀是如此的柔和，然而又是如此非常的生動和寒涼，使月球上的夜色光明燦爛，那景色在地球上，祇有一些時候，我們能略微的領受到一點。

4. 要當月亮的樣子好像是一片薄的彎眉時，我們纔能領略到那月夜的光明燦爛。因為在那時候月球祇把牠那被照的半球上的一小部份，轉向我們，牠那整個的圓盤是看不見的。這時假如我們在秋天或者春天當太陽落山後的一會兒，注意

月亮，我們就可以看見除去那彎眉被太陽的直射光照耀着外，還可見到圓盤其餘的部份有一種紅灰色的光照着，那就是叫做『地球反照』的。

那正當夜晚的月亮半球的那種紅灰光輝，就是一個『望月的地球』照耀的結果，因為在那個時刻，我們地球正『那浴在日光中的半球，轉向着月球。假如我們從地球上看見月夜被地球反照照耀，覺得光太微弱，這是因為那個光要走很多路的原故。事實上，地球反照最初從太陽走到地球，再從我們的半球反射到月球，從月球又折到我們這兒，經過多次的跋涉和反復的反射，於是光輝微弱了。

地球雖是月球的月亮，但畢竟還是用借來的光照耀。當一座白牆，甚至一條道路，被夏日的太陽明亮的照着時，誰沒見過牠們發出的眩目的光？不僅白色多灰的路，或粉刷的牆上產生出這種結果，就是隨便什麼可被陽光接觸的東西，都有同樣結果，不過程度不同。牠們把落在上面的光反射出來，於是變成了多少也好像是真的光源。在一個距離上看地球，牠所以明亮的原故是因為岩石，土地，雲采，水和所有那些被太陽照耀的表面的光，同樣月球也把那些落在牠的各種不同岩石上的光反射出來，望月和望地的光是借來的光，都是得自光原太陽的。

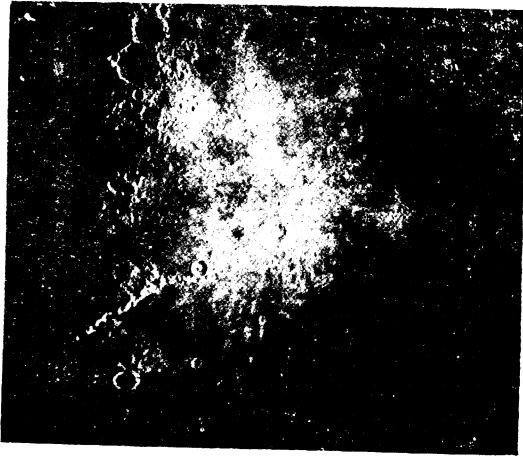
5. 當然牠們的光沒有什麼不同。從月球上看地球，是一個大而亮的東西。在月球天空上沒有一樣東西能和牠相比的，就是太陽都比不上，當然太陽是光的本源，以至上的威力發亮，但是要與地球那面圓盤比較，面積還要小 14 倍呢。這個在月球天空上的奇特東西，只有半個月球能看見牠。另外的一半是不知道有這麼一個東西的。這是因為，月球總是把牠那同一的半球對着我們，那怎麼見得呢？因為月盤上那黑暗的地方和光明的部份，有人說那是一個人臉的輪廓，老是不變的。月亮的臉，我們現在在地球上看見牠是如此，最古的時候，牠也是這樣，再過多少年代還是和我們現在見的一樣。另外的一面永遠是我們看不見的。這並不是說月球不繞着軸自轉，不把牠所有各邊依次向着太陽。牠和地球一樣繞着軸自轉，不過時間較長，大約要三十天自轉一週。但是在那時候內，牠剛好也繞了地球一週，所以在完畢牠自轉的一部份時，牠在牠那繞着我們轉的軌道上也完畢了某一部份，不過總是以同一面對着我們，這樣我們自然看不見別的部份了。於是月球看太陽和其他的天體的視轉，起山到落山是兩個星期一次，不過，牠看地球總是沒變動的懸在天空中同一點上，正對着我們所見的月盤的那個半球。

6. 月球繞軸的自轉和繞地球公轉的這個雙重的轉動，因

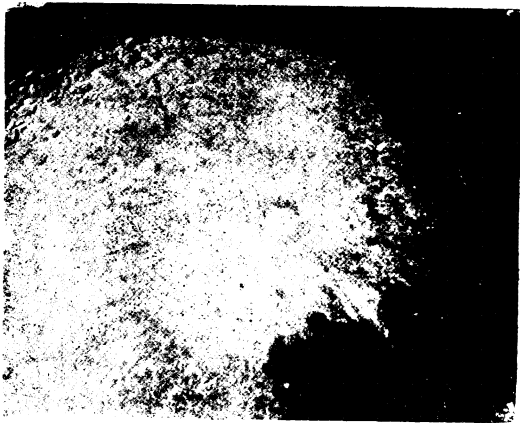
爲牠們的週轉相等，於是勾消了牠們自己相反的結果，我們能照不面說的摹仿出來。站在一間屋子的中央，以你的腳轉一圈，於是在這屋子裏的各個東西，窗戶囉，門囉，火爐囉，等等都依次的在你跟前走過，等到第一個映入你的東西再看到時，就完成了一圈。現在屋子的中央放一隻圓桌子，在桌子上放一個地球儀或是隨便什麼東西，比方一隻蘋果，那隻蘋果就代表地球，你的頭就代表月球。你再繞着這隻蘋果轉，要老向着牠看。因此以你的頭代表的月球就老以同樣的半球向着以蘋果代表的地球轉，地球就老向着月球同樣的半球。換句話說，地球就老向着你的臉；當你繞完一週的時候，你也就在你自己的軸上自轉了一週，因爲在屋子裏的各個東西，什麼門，窗戶火爐等等東西都已經依次在你眼前經過，正好像你剛纔在桌子上的地位，用你的腳做軸轉的一樣。在你看着蘋果繞了桌子轉一圈時，你也就在你自己的軸上自轉了一圈。同樣的，月球完畢繞地球的公轉一週時，剛好牠自己也繞了牠自己的軸一週，所以牠總把牠相同的那一半球向着我們。那半球可以看見地球，但是另外的半球卻從來沒有看見的，我們在北半球上是不能見到天球南極的星的，但是那另外的月亮半球要想見到地球，比我們這個還不可能呢。

7. 當我們說到月球的那一半永遠得不着美麗的地球光時，

地球是高高地在天空中繞着牠的軸自轉，在赤道上的速度是一分鐘二十七仟米。佔據在西邊的法蘭西，逐漸的走向圓盤的中部。日本，澳大利亞已經看不見了；但是大西洋還可以全部看見，美國的東岸出現了。在十二小時內，地球的自轉，把法蘭西從極西邊帶到極東邊了，這面圓盤的景像完全改變了，以前所見的大洲與海洋已經有南北二美洲和太平洋跟繼着來了。所以地球也是一個堂皇的時鐘呢，用一個海，一個島，或是一個國家來當作時鐘上的時點，根據他們位置的變更，可以指示時間。但是祇有幾天，這個鐘就不再給我們使用了。真的，假如我們在這兒停留兩個星期，那就是月球上的一夜之長，我們就可以看見地球圓盤逐漸的縮小，小到牠自己的一半，小到三分之一，再小到一片薄薄的彎眉，最後消失不見。地球有些時候是看不見的，不過並沒有任何夾在中間的東西擋住纔看不見。事實上，因為一個觀察者從月球上看牠，或是在空間裏面任何一點看牠，祇能看見牠被照耀的那半球；另外一半球因為背住了太陽，所以看不見。現在因為月球的位置是變動的，所以有的時候地球把牠那被照耀的半球向着牠，有的時候把那黑暗的一半向着牠。然後又把被照的部份向着牠，又把沒有光的向牠。所以在月球上所見的地球的樣子是，從一面豐滿光亮的圓盤變到一片薄薄的彎眉，變到一條細得像根線的彎眉，最後完全



第七圖 哥白尼和刻白爾的亮光



第八圖 泰可的光暈

看不見。在兩次圓滿地球中間所經的時期，將近要一個月。當月球把牠那黑暗的一半向着我們時，地球就把牠那光明的一半向着牠，這些在我們是朔日即新月，在月球上卻是『望地』的時候。反過來說，當月球豐滿的對着我們時，地球在月球上是看不見了。下面這一課就要把這件奇怪的事情說清楚；但是我們一定要先回地球去。好，現在到我們回去的時候了。

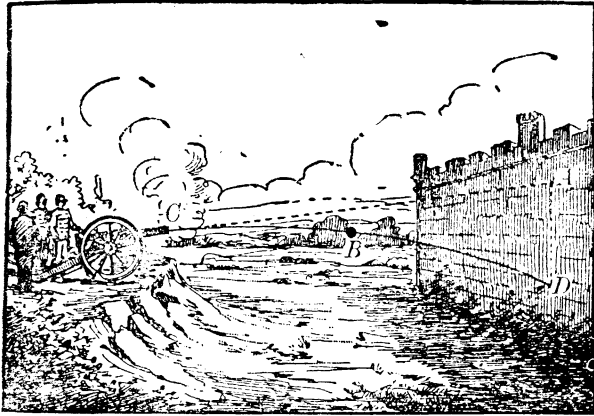
第十三課 月球的位相

1. ——一位幾何學家在園中的沉思。2. ——一顆破彈的下落。3. ——月球像顆子彈下落。4. ——月球下落的原因。4,5. ——牛頓的解釋。5. ——在不變的軌道上走的天球破彈。6. ——月球的速度。6. ——月球的真動怎樣確定。6. ——角速率和恆星周期。7. ——位相。7. ——新月和望月。8. ——蛾眉月和灰紅光。8. ——上弦。9. ——望月和新地。9. ——下弦。10. ——太陰月。11. ——朔望週期。11. ——地球繞日公轉的證據。

1. 牛頓是一位榮耀的幾何學家。他為我們闡明了宇宙的機械。當他還是幼年的時候，有一天，他在蘋果園中散步。一隻蘋果落在地上。要是你把牠拾起來吃了，什麼事也沒有。可是這位幾何學家卻在園中問自己，為什麼牠要掉下來。你要說，這還不容易回答嗎；因為牠成熟了，因為牠離開了樹枝所以要掉下來。這位年幼的哲學家要對你這肯定的回答笑笑，但是他不同意這個回答；他在完全作別樣想法。他對他自己說，假如這棵果樹，受了一種奇術增高了，把牠的果實升高到二里，

十里，一百里，或一千里，那時這個蘋果還掉不掉下來呢？當然要掉下來。離開地球那樣遠的地方，使牠下落的力量許是薄弱些。但是爲什麼那力量不消失完呢？有什麼要阻礙蘋果下落的嗎？沒有。所以，月球既是一個石質的球，一定也要下落，好像一棵樹，假如牠的枝子達到月球那樣高，牠的果子也要下落的。這位年少的哲學家對於月球下墜的猜疑就創始了，後來他有一個很值得誇獎的證明說月球是在下落，我要好好的對你們解釋。孩子們，不錯，月球是下落；假如牠掉到我們這兒，那我們和我們可憐的地球的末日就到了，這個衛星從天空掉下，地球在牠那不可抵擋的振動之下，破裂成碎片。月球是不斷的下落，所幸的是牠總在離我們一樣遠的距離上，你一定以爲這是一個奇論吧，但是我得趕快把必需的解釋說給你聽。

2. 讓我們想像在一個小丘上，安了一尊炮（第五十四圖），沿着CA線平指着炮前面，在一個很長的距離上有一座牆。視線是CA，你可以說射出去的彈丸一定中在牆的A點。但子彈並不沿着炮所瞄準的CA直線走，而沿着一條CBD弧線走，射達牆的時候在瞄準點的下面，比方說在D點。這件事對於瞄炮手是不難辦的；你可以假設他是賦有每一種才幹的，可是他從來沒有射中他所瞄準的那一點，總是射中那一點的下面，所以，如果他真要射中A點，他必得瞄準比A點高一點的地方。

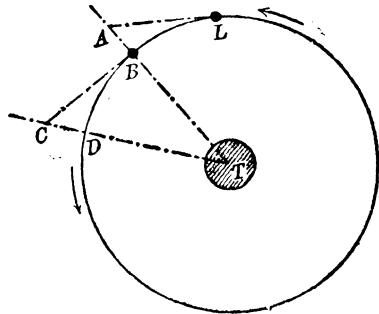


第五十四圖

爲什麼子彈不沿着視線 AB 走呢？爲什麼牠射中牆的時候，要在瞄準點的下面呢？這個再簡單沒有；當子彈離開炮的時候，因爲沒有東西去支持牠，所以牠要下落，雖然有爆炸力叫牠運動，但是牠們要受地球引力的管束。那就是爲什麼牠沿着 CB D 線，逐漸降到視線以下，形成一弧線。還有炮彈落到瞄準點以下的距離恰等於牠自己自由下落在同一時間內所落的距離。讓我們假設，其實事實上就如此，子彈從炮到牆要一秒鐘。自由下落的物體，一秒鐘下落的垂直距離是 4.9 米（16 呎），假如地球引力沒有使子彈下降，自然牠還是中在 A 點的，好，我們去測量 A 到 D 的距離，D 剛好在 A 點以下 4.9 米，實際上就如此。假如炮彈由炮到牆飛了兩秒，三秒或四秒，那麼 AD 的

長就是 4.9 米的 4 倍, 9 倍, 或 16 倍, 就是恰等於一個物體自己自由下落在同時間內所經過的長度。所以, 這顆子彈接收到推進的力量向一個水平的方向射出, 但因為地心引力的原故, 牠就轉變為垂直方向, 和牠自由下落時的一樣。當順着這條弧形的彈路走時, 牠同時要遵守兩種力量: 一個是炸藥的爆炸力, 這祇是使子彈從炮到城牆在某個時候內是沿 CA 直線走的; 一個就是地球引力, 單使子彈落下 AD 的長度, 恰等於物體自由下落時在同時間內所落的距離。

3. 月球在比三十天少一點的時期裏繞地球一週, 同時牠也繞着牠那理想的軸自轉了一週。第五十五圖裏圓球 T 代表地球, 繞着牠的圓線代表月球的軌道; 那就是說, 是那個物體在一個月裏繞着我們地球走的路線。當月球到了牠的軌道上隨便那一點時, 比方說在 L, 牠有一種推進力, 推着牠往前



第五十五圖

去, 好像一顆子彈離開炮口似的, 依着物體慣性的原理, 每個物體一經開始運動後, 牠就沿着一條無窮盡的直線, 速度不變的一直往前動, 所以, 假如沒有什麼阻礙着月球, 牠就沿着切

線 LA 一直往前走去，切線自己就是月球那時刻在軌道上所走的一小部份的無限延長線。礮彈也是一樣，假如地球的引力不使牠下降，牠也就沿着 CA 直線（第五十四圖）從礮到城牆。現在月球沒有沿着切線 LA 走，和子彈不沿着瞄準線走一樣。牠沿着一條弧線 LB 走，沒達到那無限長的垂直線 TA 的 A 點，那點就是我們在礮彈實驗中同一的一點，牠到了在下面一些些的 B 點；那就是說，牠下落了 AB 那麼長，正和炮彈的落中點在瞄準點下面一樣。同樣，既達 B 點後，月球還因為牠的推進力和慣性的關係，如果不把牠管住，牠又要離開牠的軌道，一直往前，射中到由垂直線 C 代表的理想牆的 C 點；但是實際上牠是沿着弧線 BD 走，落了等於 CD 長而達到 D 點。所以，月球因為沒有間斷的連續向地球下落，牠就沒離開過我們的地球，牠就不沿着切線即沿着牠的推進力叫牠走的直線，在空間中從事一個冒險的旅行，而好像是一個忠實的發光物在一個不斷更新的軌道裏，繞着我們轉。所以我們說月球下落並沒說錯，而且正因為牠繼續的下落，所以和我們的距離都是一樣。假如牠不下落，牠就沿着一根直線溜跑了，我們再也看不見牠了。

4. 月球那永遠下落的原因是什麼呢？月球這個巨大的天體礮彈，是不是也像礮彈似的遵守引力，牠是不是和我們擲出



第九圖 上弦的月亮

一個平常的石子，被地球的吸引力吸住一樣？這就是牛頓在蘋果樹下沉思的問題，我已經告訴過你的。我們在此地，看看這位大幾何學家對於這個美麗的真理的解釋。

一個物體向地球表面落下時，第一秒鐘落下的距離是 4.9 米。假如從地球表面算起，那物體在那個距離的 2 倍 3 倍或 4 倍的地方時，那麼牠所受的引力也各減少 4 倍，9 倍或 16 倍，因為引力的減少是和距離的平方成正比例的，所以在那時牠第一秒鐘內所下落的距離各為 4.9 米（或 16 英尺）的 4 分之 1，9 分之 1 或 16 分之 1。在 60 倍地球半徑的距離上，牠在第一秒鐘所落下的距離是，等於 4.9 米被 60 的平方除，即 $\frac{4.9}{60 \times 60}$ 米，結果比一毫米（即一公尺的千分之一，是米突尺上最小的刻度）多一點，大約是 $\frac{1}{25}$ 英寸。知道第一秒鐘所下落的距離，（就容易計算這個物體在 1 分鐘即 60 秒內下落的距離），我們祇要拿秒數的平方去乘牠第一秒下落的距離就行了。（註）這樣我們能求出 60 秒下落的距離等於 $\frac{4.9 \times 60 \times 60}{60 \times 60}$ 米，恰恰正等於 4.9 米，那就是說，任何物體，一個礮彈或一粒石子，拿到 60 倍於地球半徑的距離上，落回我們，那麼在第一分

（註）一個自由下落的物體所落下的距離等於一秒落下的距離乘以落下秒數的平方，這條定律是用力學證明出來的。解釋這條定律並不難，不過聽聞我們的頭腦太遠了。

鐘內所落下的距離，和牠在近地球表面第一秒內所下落的距離一樣。

5. 假如月球是依照地球物體的定律而下落的，那麼牠落向地球一定是一分鐘 4.9 米，因為牠是在地球半徑 60 倍的距離上。那是我們憑實驗一定要承認的預言。讓我們再看第五十五圖。假設月球從 L 到 B 要一分鐘。月球降下的數量，和牠原來的方向比較，是在 LA 的下面，LA 我們可以稱作視線，換句話說，AB 就是代表月球在一分鐘內落向地球的距離。現在假如我們用幾何的方法，根據月球在圓周上所走的寬度和走這一圈所需的時間，去計算 BA 線的長，從這些有名的觀測記錄推算，就求出那條線剛好是 4.9 米，這是一個驚人的結果，牠建立了一個事實，就是：月球繞着我們的路線所以是圓曲，是因為地球的引力而造成的，牠的引力對於月球的作用和對於在天空中走的任何炮彈是一樣的。月球就老是保持在那個圓圈上繞着地球轉。這偉大的真理是被牛頓用他那有學問的深思揭發出來了，最初他很覺得是沒有這個能力去完畢他的計算的。這位有名的思想家已經揭穿了天空的祕密，已經得到上帝的一個暗示。好像他之所以能完畢計算是上帝給了他暗示。他對上帝很敬，一定要把帽子恭敬脫下，纔叫上帝那最神聖的名字。他要去了解天體如何被牠們引力的中心使急促

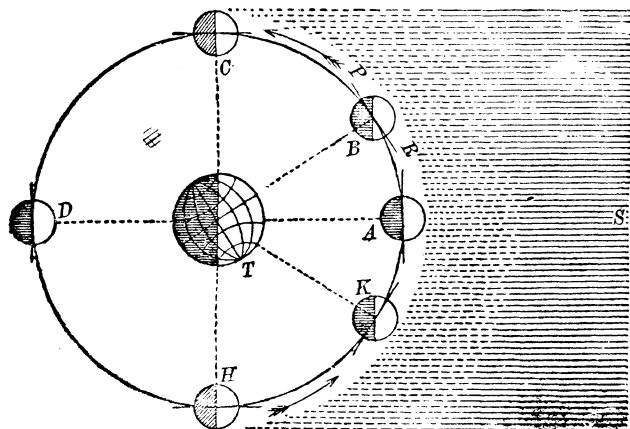
的飛行，和保持在牠們那永遠的軌道上。

6. 月球被牠那原來的推進力鼓動着，使牠永遠的前進，和受引力作用使牠保持在圓形軌道裏，好像一匹猛烈的馬被馬師逼着牠在一個圓圈裏跑，牠大約是 $27\frac{1}{4}$ 天繞地球一週，離地球平均的距離是地球半徑的 60 倍。牠的速度纔驚人呢。一點鐘要跑 3,760 仟米，雖然我們地球上⁴看牠的人，覺得牠走的非常慢，但那也僅是因爲距離的原故，祇有真理之眼纔能覺出牠是非常快的走着。然而月球受牠自己運動的能力，在天空裏移動，我們也十分容易覺查出來的。讓我們先除去地球依軸自轉所生的幻覺。這個自轉運動的結果使我們覺得天空是在二十四小時內從東往西，帶着固定在牠頂上的星星繞着我們轉一圈，月球和太陽也和星星一樣，看去是從東往西轉的。對於這種移動，我們不必再討論，那祇是一種騙人的現象。不過有一種特殊的運動是我們要注意的，我們照不面做去能確實知道。在一個黃昏的時候，讓我們觀察當月球經過牠在天空最高點，通過我們的子午線的時刻。牠和某顆星一起通過子午線，不過那顆星我們要細心纔能看到。第二天，在同一點鐘內，再做這個觀察。星星又忠實的來到昨天晚上的子午線；經過二十四小時的間隔把牠帶到天空的同一點，那還不如說地球完畢自轉一週時，使我們和天空裏同一的目標對着。但是月球可沒

有守約，牠是落後在子午線以東 13 度的地方。(註)怎麼會落後的呢？自然是因爲月球受了一種特殊運動的鼓舞，使牠在二十四小時內，向天空的視動相反的方向移動位置。第二天又落後了，比第一天又落後，如此下去，這樣移動的位置一點一點聚集起來，一直到月球從西往東繞着天空走了一週，纔發覺牠又和同一的星來到原來的子午線上。這個在 27 天 7 小時 43 分內發生一次，這就是所謂月球的恆星週期的長。所以，月球從西往東繞地球轉一週大約要 27 天又四分之一。

7. 因爲月球是繞着地球運動的緣故，所以有時候，牠的被照明的半球對着我們，有時是黑暗的半球對着，有時候又是光明的佔大部份對着我們，有時候相反。這些因爲位置不同而起的形相的變化，我們就叫月球的位相。第五十六圖 T 是地球 A，B, C 是月球在軌道上連續的位置。太陽假設是在右邊，在很遠的距離上，平行線代表牠的光。當月球走到 A 的地位，在太陽和地球之間時，我們看不見牠，雖然牠是對着我們，而且隨便什麼能阻住我們視線的障礙都沒有。所以看不見的理由很簡

(註)更精確的說是 13 度 10 分 34 秒。這就是所謂月球每日的角速度，即牠每天向東移動的數量，只要在一個短時期內，就足以感到月球的這種移動。假如我們注意牠在天空和鄰近的星的位置，兩小時後我們就發覺牠和東面的星更接近，而和牠西面的星離遠。



第五十六圖

單，是因為牠把牠那沒有被陽光照耀的半球向着我們；所以黑暗的原因是沒有光，所以看不見。因為月球自己和地球一樣，都不是發光體，要使我們的視線能見到牠那被陽光照耀的部份，我們纔能看見那部份。其餘的部份，因為沒有被照耀，所以還是看不見。由圖，現在你立刻可以知道，月球在牠的軌道的A點時，把那完全黑暗的半球對着我們，除了黑暗，什麼也沒有。自然而然在那個地位時牠是看不見的。這個時候叫新月（即朔）。這個時候從地球看去，牠和太陽同在一邊，和太陽一同起山，一同在天空中走過，又一同落山，總是沉在牠那旅伴所發射出來的亮光中。因為太陽的光輝就在鄰旁，所以使我們看不見灰紅光即地球反射，那個光正在照耀着新月的夜晚半球。

你要知道在 A 點地方，背着太陽的半個月球，是正對着我們被照耀的半個地球的。因此當我們看不見月球時，在月球上卻正是『望地』的時刻呢。

8. 三四天過後，月球已經由 A 點到了軌道的 B 點，太陽落山時，在西方看見牠是一條細薄的蛾眉，彎眉的兩尖向東指，和太陽落下地平線的所在點相背。這條彎眉屬於牠的被照耀的半球，因為我們的衛星移動了，於是明亮部份纔開始對着我們。為表明我們能見的月球部份起見，我們一定要在月球上畫一根 PR 直線，垂直於月球和地球之間所連接的直線。所有在這界限以內的都在我們視線內，以外的都不在。但是，你看，對着地球的一半月球，黑暗的部份佔了一大半，和祇有一個小的白角，那就是月球被照耀的半球上的一小部份。在我們這平面圖裏的那個小白角就相當於月球的亮蛾眉。當月球是一道蛾眉形的時候，地球反照剛好可以看見在圓盤子的黑暗部份上，因為太陽下了山以後，牠那明亮的照耀再也阻遮不住我們的視線了。在這個時候，月球表面的景物，山岳，和環形山都明暗相錯非常清楚的顯出了。

一天一天下去，月球越比太陽遲下山了，牠那蛾眉形也慢慢增大了；最後，大約在一個星期的末尾，這個衛星完畢牠的路程的四分之一，到達 C 點的地位。那時叫上弦。月球向着我

們，如第五十六圖，是明亮部份一半，黑暗部份一半，於是這時月球的位相是一面明亮的半個圓盤。在上弦時，月球大約在下午六點鐘過天頂，大約在中夜時下山，所以我們只有前半夜受着牠的光。在這個時候，地球反照又看不見了，因為從月球上看地球，只有明亮半球的一半了。因為地球的光減少了一半，月球的黑暗部份，所受的地球光就不足以反射過來，使我們感受到了。

9. 約在兩個星期內，月球到達 D 點，和地球相對。上弦以後牠那可見的部份逐漸由半圓增到全圓。現在我們的衛星把牠那整個被陽光照耀的半球對着我們。另一方面，地球卻把牠那黑暗的半球對着月球。這個時候月球對我們是望月，而地球對月球卻是看不見，即『新地』或朔。將近在太陽落山時月球起山。當太陽起山時牠落山，所以這時牠是通宵達旦的照耀我們。

到了第 21 天時，月球在軌道上已走了四分之三的部份，而達到 H 點。這時的位置叫下弦，月球可見的部份又減到半圓。正和在上弦時相對的位相一樣，不過起山和落山的時候顛倒了。這時月球在中夜時起山，大約在早晨六點鐘經過子午線，當太陽到達天頂時，牠落山。因此牠祇照了半夜。

下弦以後，半月開始消蝕，當減小到一道彎眉，黎明開始時刻在東方起山。那時牠的兩尖向着西方，和起山的太陽相背。

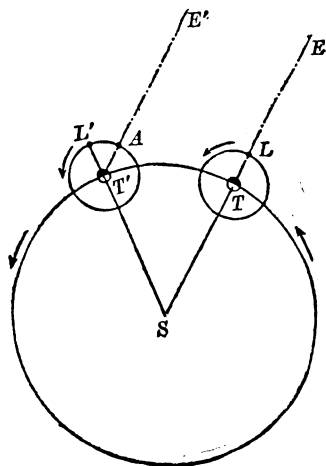
逐漸的牠越來越和太陽相近。地球反照現在又可以看見了，因為月球圓盤的黑暗區域又開始對着地球圓盤照明了的部份。然後，彎眉一天一天的細下去，一直到第 29 天或 30 天就看不見了。月球回到牠的軌道的 A 點時，又開始牠那位相的變化了。一個太陰月完畢，另一個太陰月又開始了，就這樣無窮頭的向前進行。

10. 太陰月就是介在月球兩個同一位相中所隔的時期，比方說，介在兩個望月或兩個新月中的時期，是 30 天。既然位相是月球繞地球行走所生的現象，自然使得一個人會想到位相完畢一週的時期，等於牠公轉的週期了。但是我們已經知道月球走畢牠的軌道一週要 $27\frac{1}{4}$ 天，因為那個時期是牠繞畢地球一週的時期。假如地球在天空中的位置是不變動的話，自轉運動不算，那麼這兒就不符合了，怎麼一個 30 天一個 $27\frac{1}{4}$ 天呢？但是，假如地球自己繞着一個統治的東西，如太陽的轉，和月球繞着我們轉似的，那麼每一件事都解明了。一個太陰月的時期中，地球走到別的地方去了，月球爲了要趕上去，達到同一的地方，牠必須在地球後面再跑一些時候纔行。讓我們再切實的考究這個。假設月球現在正團圓時。牠高高在天空中，在我們的子午線上，正和某顆星在一起，那顆星被牠擋住了。明天月球比這顆星遲來到子午線上。明天以後又遲些，這樣一天一

天下去，一直到牠在和星的視動相反的方向，星的視動是向西，月球是向東，繞完地球一週止。然後纔發覺月球和我們所指定的那顆星一同來到同一的子午線上。因此，我們知道當月球來到同一顆星時，牠就走完牠的軌道一週了。那樣是每隔 $27\frac{1}{4}$ 天發生一次。

11. 現在看五十七圖，S 是太陽所在點。T 是地球，在繞着中心太陽的圓形軌道上走；

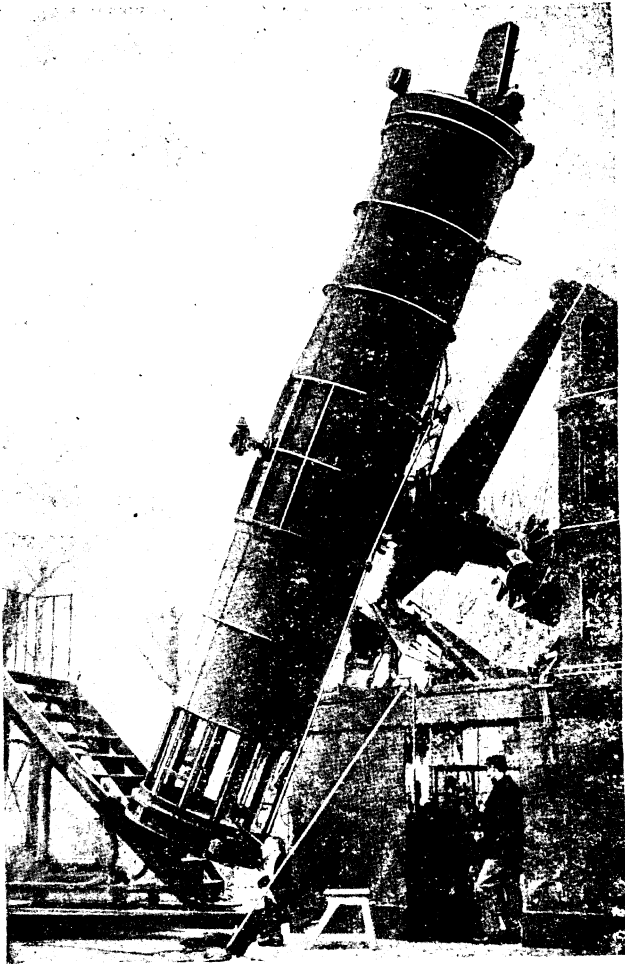
L 是月球，繞着地球轉，伴同牠一起繞着太陽走。當地球在 T，月球在 L 的時候，月球是望，因為牠和太陽，地球成一直線。這個時候，從我們地球看去，在 T E 的方向，無限遠的距離上，有顆星和月球在一起。二十七又四分之一天過後，地球順着軌道從 T



第五十七圖

走到 T'。月球呢？牠繞完地球一圈，又在天空中同一顆星的前面，現在那顆星是在和 T E 平行的 T' E' 方向上。我之所以說牠們平行，是因為那顆星距離我們太遠了。遠得使這兩根視線 T E 和 T' E' 交在同一顆星上，但是能够把他們當作永遠不

會相交的。所以當月球的恆星公轉完畢時，牠在 A 點；那就是，當牠和同一顆星在天空中相會時，牠就繞完牠的軌道一圈。你看月球繞地公轉一週時，是否就是一個太陰月呢？是否牠又到望月了呢？顯而易見的沒有，因為月球要到望月必須再從 A 走到 L'，正對着太陽纔行。現在，月球要從 A 走到 L'，趕上因為地球走動而落後的地方，牠還需要再走兩天。兩個連續望月中所隔的時期，叫做朔望週期（就是一個太陰月）。月球的朔望週期是 29 天，12 時 44 分，但牠的恆星週期卻是 27 天 7 時 43 分。我們必得常記住，由這兩個週期的不同，就是地球繞日公轉有力的證據。



第十圖 巴黎天文臺的大望遠鏡

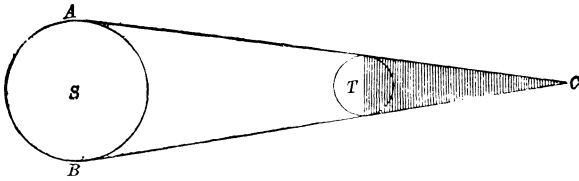
第十四課 月蝕和日蝕

- 1.——光和影子。
- 2.——地球的影錐。半影和全影。
- 3.——月蝕和日蝕發生的條件。
- 3.——為什麼每個太陽月中不有一次日月蝕。
- 4.——月偏蝕和月全蝕。
- 5.——月被蝕時月面的紅色。
- 6.——地影的圓形證明地球是圓的。
- 6.——月蝕是各地同時發生的。
- 7.——日蝕必需的條件。
- 8.——一塊黑板做日蝕的實驗。
- 9.——日的全蝕，偏蝕和環蝕。
- 9.——日蝕是各地依次發生的。
- 9.——月影在地球上的大小。
- 10.——月全蝕時的主要現象。
- 11.——日月蝕的預告。難犯的天空定律。
- 11.——卡爾迪人的週期。
- 12.——月蝕和日蝕的次數。
- 12.——前世紀的日全蝕。

1. 光線在同一的介質中是成直線傳佈的。所以，一道陽光從窗簾的破口中射進一間黑屋子時，因為懸在空氣中灰塵的照耀，於是我們可以看見牠成一條直形的光帶。假如我們拿一個不透光的東西，比方像手，放在這條光帶的路徑上，立刻就有一個黑影子在手後出現，因為光線在直線的路徑上被阻住，不能通過手往前去。這個黑的地方就叫做影子。因此，一個影

子並不是物體所投射的一種特殊的黑暗；牠是在阻止光線進行的物體後面缺乏光的地方。假如沒有光線射到影裏去，那麼一個不透光的物體的影子是完全黑暗的，隨便什麼東西放到那兒都看不見。在光線中的手影是不完全的，因為在影子外面的空氣和灰塵，把光反射了一些進去。我們每天所見的影子，都是不完全的，因為，雖然直射的陽光沒有射到影裏去，但是卻沒有東西遮住自由射進影子裏的大氣和地面的漫射光，還有被照耀得光明的物體的漫射光。一個絕對黑暗的影子，不能在白天裏面產生；除非在行星間的空間裏，因為在那兒所有發生漫射光的物質都沒有，這樣要把反光射到隔離了陽光的區域裏，是不可能的。要形成這樣的一個影子，必須在陽光的路徑上放個不透明的幕幃。這樣一個幕幃是什麼東西呢？有幾個，而且牠們的體積都是非常大的：特別是月球和地球，這兩個不透明的球能阻止陽光，和我們的手阻止了從窗簾的洞裏進來的光帶一樣，在牠們後面有一個巨大的影錐，拖在室間裏。讓我們先考究地球的影子。

2. S是太陽，T是地球(第五十八圖)。假如我們畫兩條直條直線，AC和BC，擦過這兩個圓的邊緣，這兩條直線在幾何學上叫做『外切』，我們就這樣在一個平面圖裏表明一個想像的牛角，即圓錐形，包含地球和太陽，地球在底部，太陽在嘴

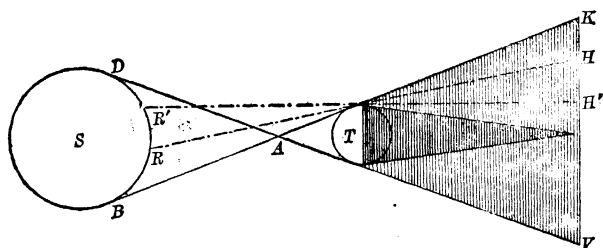


第五十八圖

口，好像在一隻紙做的角裏的兩個大小不同的球丸。顯而易見，位在地球前面的圓錐的一部，即在 T 和 C 中間的部份，太陽光不能透過，因為牠順直線向前去正正要經過地球。TC 這個區域叫做影錐，或本影，是陽光不能透過的區域，因為被我們的地球暗幕阻止了。地球本體的圓周是這個黑圓錐形的底，即 40,000 仟米，牠的長是地球半徑的 216 倍，即由地球到月球距離的 3 倍或 4 倍(註)。那便是在天空中地球後面的黑圓錐形的大小，牠在地球後面行走，和我們的影子在我們後面行走一樣。

現在讓我們再畫 DV, BK 兩線(第五十九圖)，這叫『內切』。牠們代表在角頂 A 相接的兩個想像的圓錐形，其中一個包圍着太陽，另外的一個包圍着地球。在 KV 圓錐形和本影圓錐形所有的空間，叫做半影。在這個空間裏並不像在本影裏那樣完全黑暗，但是牠的光多少是微弱的，因為在牠裏面的地點所見

(註)這個長度，是幾何學依據地球和太陽的面積，還有這兩個球體間的距離而推算出來的。



第五十九圖

的太陽不是整個的。讓我們注意在半影裏的一點H。假如我們畫一條HR線擦過地球，在R地方到抵太陽，由圖我們就知道太陽上位在R以下的部份，不能有光射到H點去，因為地球在中間遮住了，但是在那條線以上的部份，卻有光射進半影去。因此，在H地方的照耀是不完全的，因為在那兒太陽不是整個看見的。在第二點H'，是近乎全影的地方，受陽光照耀得更不完全了，因為太陽在R'以下的全部是看不見的。所以，在半影裏，越近本影地方，光便越弱，因為太陽能見的部份減少了。這些都是事實。所以，被陽光照耀的地球後面，有三個區域，我們必得留意：完全光明的區域，本影，和半影。第一個區域是在想像的圓錐包圍以外，即相當於內切K和V的圓錐以外，在那兒太陽可以沒有阻礙的完全看見，所以照耀是完全的。第二個區域是夾在相當於外切的圓錐形裏面的，沒有光從太陽那兒射來，所以完全黑暗。第三個區域是夾在上面兩個區域之間的，

祇能看見太陽的一部份，照耀的程度是從全明減至全暗。假如有個天體幕幃放在地球的後面，同時佔有這三個區域，那麼本影就形成一個全黑的圓，半影就成了個繞着牠逐漸亮的圓，再外面完全為陽光包圍着。

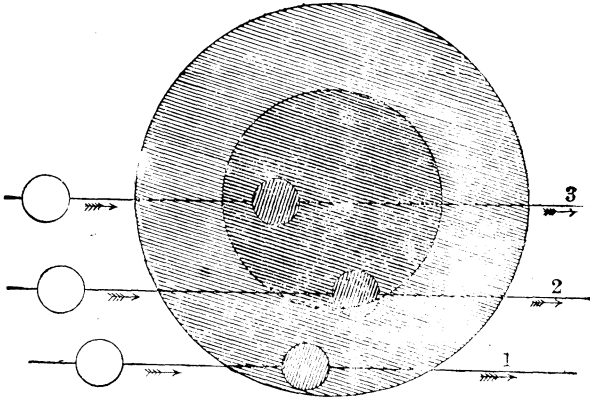
3. 在天空中，一個幕幃都沒有，使我們不能看見地球影子所成的整個現象，如同我們能見着一把尺在一張紙上投射的影子。雖然這個黑圓錐在空間伸長了 14,000 仟米的地方也沒有，牠祇能遇見一個小得不足以為一個完全幕幃的東西。那個東西就是我們最近的鄰居，月球，牠距離我們平均是地球半徑的 60 倍，而那黑暗的圓錐形卻伸長到 216 倍的地方。所以月球有時候很能被地球影子碰到，不但足夠而且有餘地，甚至完全沉在黑影裏面。那麼有什麼現象發生呢？當月球進到本影錐時，牠不能再得到從太陽那兒來的隨便什麼光，因為被地球阻住了，牠本身不是個發光的東西，所以就成了一個黑暗看不見的東西。這就是『蝕』。因此要發生月蝕就必得有個條件；那就是月球要走到地球的後面，和太陽相對。讓我們再回到上一課的第五十六圖去，我們就知道這種條件祇有在望月時候纔有，即天文學家說的，要在衝的時候纔有月蝕^(註)。因此每 28 或 29

(註)我們說月球在衝的地位是當佔據在軌道的 D 點，和太陽相對時。當牠在 A 點時(第五十六圖)，在太陽和地球之間，叫做合。

天，當月球將達到和太陽相對的地位，成了望月的時候，將有一次月蝕。但是那還不行，現在一定要把理由說清楚。在解釋位相時，無疑的（我也並沒改正你），你一定想到，新月正好介在地球和太陽的中間，望月是在地球後面和地球太陽連成一根直線。不過那和事實不符。在月球繞着我們的旅行中，很少有和地球太陽成一根直線的，因為牠的軌道沒有正正的在那個方向上。有時候，走到那根連起牠們的直線上面，有時候走到那根直線的下面，實際上雖然相差得有限，但是卻足以使牠不會把影子投到我們地球上，造成日蝕，或是走到地球的影子裏成爲月蝕。

4. 但是月球伴着地球繞太陽走的時候，牠常是改變牠的軌道，不再成圓形，而是成根很紛亂成波形的線，這樣不斷的變化，偶然的就使這三個東西在一條直線上。於是乎蝕的現象就發生了：日蝕在合卽新月時，月蝕在衝卽望月時發生。

當這兩種情形一起發生時——要望月又要這三個東西在一條直線上——月球在地球後面，正對着太陽，準走進我們的影錐裏，我們的影錐比牠所需要達到的要長三，四倍，所以足夠把牠圍起來。月球在地球後面走過時，有三種情形能夠發生的：或是月球完全投進本影裏，或是祇有一部投進去，或是祇走到半影裏。這三種情形在第六十圖裏面都表明了。當月球走



第六十圖

到地球後面，靠近（1）的地位時，牠祇走過半影，就是那個因為太陽被我們地球的一部份遮住，照耀得不完全的空間區域。於是月球的光耀減少了一點，牠那深灰色的地方變得更深些，除此以外沒有別的；我們的衛星好像被一塊薄紗蒙住一會兒似的，又從半影裏浮露出來，恢復牠的豐滿的光輝，沒有一會看不見的。但是那不是一個真的月蝕。

但是我們假設月球走到第六十圖（2）的地位。當牠進到半影時，光先變弱，然後在這光明的圓盤上忽然出現了一頂黑色的帽子，多少侵蝕了一些地方。那種變更是由於月球的一部份走進地球本影所致。進到黑影錐裏的部份，所以變得模糊而看不見，是因為陽光沒有再達到那兒了。在外面的所以仍舊可

以看見，是因為半影的遮住，不過稍為晦暗些。那種蝕叫偏蝕。

最後，假使月球循着一直線經過本影的方向走時，那就是全蝕，如第六十圖(3)的方向。於是，當牠走到本影區域時，月盤就被影子侵蝕了，當牠完全沉入本影時就消失看不見了。過了不久，牠又在相對的那一邊出現。當然，全蝕的時間長短，是要根據月球走過本影的厚薄而定的，當牠從本影中心走過時，全蝕的時間最長。在那種情況中，整個月盤留在暗中約有兩小時。但是全部經過，從圓盤初虧起到復圓止，要四小時。

5. 在全蝕時，月球總不是完全看不見的；雖然牠可以完全投入地影中，但是總看得見的，不過帶了暗紅的顏色。這種微弱的顏色，是由於地球上大氣的原故。你知道，有種叫做火鏡的玻璃片，能把陽光聚集成一個很熱而亮的點子。那種鏡叫做凸面鏡。由於牠們把光變更方向，換句話說就是折射作用，所以牠們有那種性質。現在地球大氣的行為和一面巨大的凸面鏡一樣。牠改變在直線路徑來的陽光，使牠們折射，再在月球所在的空間後面聚集牠們。地球雖夾在太陽和月球的中間，但月球還表現有一種微紅色。被折射的光必須從大氣層最深的地方走過去，纔達到月球；也就是說，光從近地面的潮濕而濃厚的大氣層通過，牠們就變微弱而放出一種紅色，好像日落日出的斜陽似的。這是說明被蝕了的月球所以呈赤銅色的原因。

還有，在月蝕時刻，大氣的狀況一定把我們衛星能見的程度（能見的程度在術語上就是所謂明視度）改變得很大。假如大氣層裏含有豐富的水汽，就消滅了從牠裏面走過的陽光，於是月亮可以變得完全看不見。

6. 假如月盤是大得足以接收到整個地球的影子，那麼我們就可以看見那個影子的樣子是個黑圓。這就是地球圓形的一個強有力的證據。月盤的面積和接收整個地影所需的面積差得很遠，然而在月蝕的那一刻供給了我們另外一個證據，證明地球是個球體形體，因為每一次偏蝕時，投射在圓盤上的影子的一部份，總是一個完全的圓弧。

月偏蝕或月全蝕，都不是一個局部的現象，不是有些國家可以見到，有些國家見不到，也不是先從一個國家開始見起，再輪到別的國家的。月蝕對地球上的每一個地點，都是同一時候開始的，也在同一時候完畢。從地球的一頭到另一頭所有的國家，所見的蝕都是同樣的，祇要月球沒下山，整個半球上都同時見月蝕的景象，隨便我們在那一點看月球，都和我們在這兒看的一樣黑暗。一間暗屋子裏，有一盞燈熄滅了，在這屋子裏的每一點是同時看不見那盞燈的。月球也是一樣，當牠投入地球影子消滅時，因為缺乏陽光便失去光明，於是地球上每一個地方都是同時月蝕。隨便從地球那兒，或是從天空的任何點

看，再也看不見牠了。因此月蝕是大家都能見，而且又是世界各地同時發生的。

7. 日蝕可就相反了。牠是要一個地方看了以後，別的地方纔能看見的，而且祇有一定的地帶發生。這個你一會兒就要明白的。讓我們考究那個原因。太陽是光的泉源，不像月球那樣投入另一物體的影中就看不見了。有牠的時候，黑暗是不能存在的，但是要有一個不透明的幕幃可以隔開我們對牠的視線時，那日蝕就發生了。月球就是那個幕幃。你要記得，在新月即朔時，月球在太陽和地球之間走過，把黑暗半球轉向我們。如果這三個天體都在一條直線上時，於是日蝕就發生了，但是我已經告訴過你，因為月球軌道傾斜的原故，所以那種排列是很少有的。平常，月球常是走到和太陽地球所連的直線的外面，很不足以把牠的影子投射在地球上。不然的話，每一個太陰月裏總會有次日蝕的。要產生日蝕，月球必須要在太陽和地球之間，那就是說，我們在新月的時候，月球要在和太陽地球成一條直線。做下面的實驗，前面說的那一點就可以證實了。

8. 在黑板上畫一個比較大的圓圈，圈裏面用粉筆塗滿，然後你手裏拿塊厚紙做的圓盤，或是一個銅元，頂好是銀角，拿牠逐漸的靠近一隻眼睛，但另外那隻眼睛要閉上。然後站到對着那個白圓的地方。假如銀角很靠近你的時候，牠就遮住你，

使你看不見整個的圓，無論那個圓是畫得怎樣大。實際上，那就是蝕了。但是那種全蝕要直接在銀角後面纔能發生的。在你右邊或在你左邊的人，他們還是可以看見黑板上的圓。現在，不要移動銀角的位置，把你的頭歪一點，改變你的視線。立刻你就可以看見那個同樣的圓又出現了，但是看見的不完全，和彎月似的。在這些情形中的日蝕是偏蝕。把你的頭再歪一點。彎眉長大了，一會兒整個的圓就完全看見了。日蝕告一段落。現在再回到原先的地位，使銀角在你的眼睛和白圓的同一條直線上。起先那個圓是完全遮沒的，但是你要移動銀角離開你的眼睛，一直向圓移去，你就可以看見那個圓逐漸在銀角四圍的邊緣出現，形成圍住牠的一個圓環。這種蝕，隔離中央部份不使看見，而單留形成一個圓環的邊緣，叫做環蝕。在這種情形裏，當然是要依賴眼睛的位置而定的。在銀角後面，一個一定的距離上，圓是全蝕的；在同一根直線上距離眼睛遠一點，那就是環蝕；在一邊那就叫偏蝕，再遠點就沒有了。假如有幾個觀察者都在同一的銀角後面，那麼根據他們每人的位置，所見的蝕份也就不同，大多數簡直就看不見蝕。

9. 現在我們可以拿太陽圓盤代替黑板上的白圓，月球代替銀角，地球上的某個區域就是觀察者的眼睛，那麼依前面的理由，我們就得到日蝕的正確道理。月球要去遮沒整個地球所

見的太陽，因為牠太小(註)，牠離我們太遠了，或是換句話說，要想用牠的影錐來包圍我們的地球，差得遠着呢。我們可以拿我們實驗裏的銀角和牠作比，把牠放在離觀察者很近的地方，就遮住了白圓的視線，要是觀察者稍為往旁邊站一點，牠祇能遮住一部份，或是完全遮不着。在最適合的情形之下，當月球最近地球時，牠在地球表面上可以投射一個直徑 90 仟米的圓影子。在那個圓影裏所有各點，太陽都被遮住了，於是所見的日蝕是全蝕。在靠近圓影的地方，可以看見太陽的一部份，於是所見的日蝕是偏蝕；再離開圓影遠一點的地方，太陽可以完全看見，那就無所謂蝕了。現在，因為地球依軸自轉和月球繞着我們運動的原故，於是這個圓影子就在大洲和海洋表面上跑過，順着全蝕地帶整個的長度畫了一條黑的地帶。在這條帶子的兩邊都是偏蝕，越近全蝕地帶的地方，所見太陽被月盤遮掩的部份也越大。再離遠去就沒有蝕象了。你現在該知道，為什麼日蝕不能像月蝕似的，是各地都能見到，而且是同時見到的。當月球往前面走，投射牠的影子時，被蝕地方是從地球的一點向另一點擴張着。在我們前面的實驗裏，我們可以假設一

(註)那個影錐的長是地球半徑的 57 倍到 59 倍。月球離地面最近的距離是從 56 倍到 63 倍。因此，我們可以知道根據情況而定，月影錐可以完全不達到地面，或是祇把牠的極點觸着牠。極點觸着時，月影在地面上的寬，最寬時是 90 仟米。

些觀察者排列在黑板上的白圓前面。然後，假設銀角子俟着他們前面移動，依次遮隔每個人的視線。那麼每一個人到了某個時候就看不見那個圓，不過是一個人一個人的看不見。在同一時刻內，根據銀角的位置，有的觀察者看見那個圓是全蝕，有的是偏蝕，其餘的就看不見蝕，日蝕也正是如此。

假如月球離開我們非常的遠，那就不能再把太陽完全蒙蔽了，正好像我們把銀角移得離我們眼睛比較遠一點，我們祇能看見那圓的某一部份。在這種情形之下，太陽在月亮黑盤前面投影，在片刻之內，成一條狹的光環。所以這樣的蝕叫做環蝕。這種蝕對於地球上的某些部份是環蝕，同時甚至在同時刻內對別的部分是偏蝕或是什麼蝕也沒有。

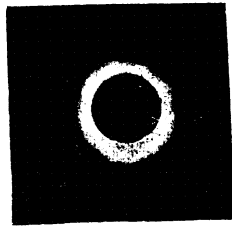
10. 一次日全蝕是我們一生經歷中最難得的一個。我們看一個充滿了光芒的天空中，太陽的西邊有一塊黑的缺口表現，那絲毫不是幻覺。黑缺口便是看不見的月盤，從我們的觀察點看來，牠像是把牠自己投射在太陽的圓盤上。這塊黑的幕幃往前面走着，於是黑的地方增大了。一會兒太陽有一半熄滅了，好像用牠那生動的光芒努力照耀這暗淡無光的地面。一分鐘一分鐘的薄下去，一直到這個絕息的白天之星的邊緣消失不見，天空忽然的黑暗了，不過還不完全，因為在黑月盤的四圍還有一種白光暈，我們還沒有說過牠，是叫做『冕』的，那

東西有時候產生奇特的現象。於是乎，在這黑暗的天球裏，以前被大氣的光亮所埋沒的星星，現在可以看見了，至少是最亮的星可以看見。溫度降低，於是有露水出現；我們感到忽然的寒冷。植物合攏起牠們的葉兒，閉上牠們的花瓣，好像黑夜來了。那些在天氣朦朧時光出現的憂鬱的朋友，蝙蝠，離開牠們的隱居處，在室中遊蕩，可是在另一方面，鳥兒們把牠們的頭藏在牠們的翅膀下，或是沒有一定目標的亂飛，尋找牠們的窠。矮小的動物躺在路上，小心那趕牠們走的鞭子。牛兒們自己在牧場上排成一個圓形，角向前面頂着，好像去對付一個大家的危險。小雞們躲藏在牠們的母親的翅膀下面，狗兒們驚嚇得在牠們主人的腳踵旁戰慄，人類自己呢，雖然他知道這個非常黑暗的原因，和預先計算牠的來臨，但也不能避免一種遊移不安。在這種莊嚴的現象之前，每個人都覺得在他的靈魂裏有些不自主的惶恐。在這種急切的不安中，幾分鐘後，頂多是五分鐘，就有一道亮光閃出來，那顆白天之星就逐漸從月球的黑幕下浮露出來，白日的明耀又逐漸恢復了。

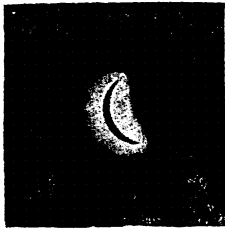
11. 在沒有知識的時候，所有的種族都感到日月蝕的恐怖。他們以為是上天發怒的恐怖預兆。今日，科學導出合理的觀念，我們知道日月蝕不過是永久定律的表示，使得月球和地球在不變的軌道中運動，經過了固定的間隔後，使牠們和太陽在一



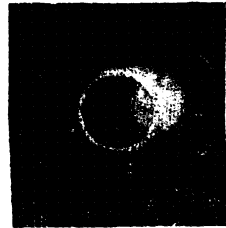
(1)



(4)



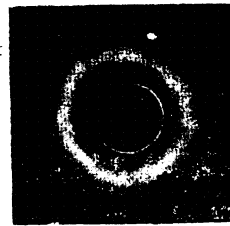
(2)



(5)



(3)



(6)

第十一圖 1905年8月30日的月蝕

根直線上。牠們不再指示我們是一種災難的先兆，那不過是月球和地球的一種運行時所生的現象而已。天文學家，他熟習天空的力學，他不僅預算蝕的長久，好像他要牠多長久就多長久，他還指明在那一天那一點鐘，牠來臨的正確時刻。他說在什麼地方是全蝕，在什麼地方是偏蝕，那些從來沒有騙過他，因為他相信用大自然一定不移的定律，推測出來的報告是不變更的，他相信精確的科學運命。我們還不能跟隨他那堅深的計算。我們祇要知道經過 18 年 11 天，日月蝕回到同樣的次序，這個週期叫做卡爾迪週期。因此祇要注意在 18 年 11 天一個週期內的所有的日月蝕，就可以預知以下各週期中正確的日月蝕。其實，那不過一個相近的方法求一個相近的日期，沒有特別指明蝕分或出現的時刻和能見的程度，至於要求特別精細，那必須要借助於最高等的幾何學的方法。

12. 在這個 18 年 11 天的週期裏，總是有 70 次蝕，其中 41 次是日蝕 29 次是月蝕；但是在一定的地方見到的日蝕次數，比月蝕的次數將近要少三倍。因為對着月球的整個地球半地球上都可以同時看見月蝕，但是日蝕祇能在地球表面一個有限的部份發生。隨便那一年裏，整個地球上，日蝕月蝕的總數頂多是 7 次。至少有兩次，平均四次。在隨便那個固定的地方每 200 年纔有一次日全蝕。整個地面所見的日全蝕並不很少，

不過要在一個一定的地方是太少。19世紀裏有 12 次。那是 1842 年 7 月 8 號，在法國南部可以看見；1858 年 3 月 15 日 英格蘭可以看見；1860 年 7 月 28 日，西班牙北部可以看見；1865 年 4 月 25 日，南美和南非可以看見，等等。

陶按：未來將在中國出現的日全蝕是 1936 年 6 月 19 日和 1941 年 9 月 21 日，請你拭目以待吧！

第十五課 太陽

1.——地球的半徑和太陽的距離。2.——塞摩島的阿利斯達基法。3.——金星凌日法。4.——太陽的距離。一個 350 年的旅行。4.——太陽的體積。一粒麥子和 140 升。5.——太陽怎樣稱的。6.——地球的下落。7.——四輪馬車上日神的馬，和太陽所負的重。7.——一列非常的馬隊。8.——太陽的表面重力。一個人被他自己的重量壓服了。9.——太陽的小密度。9.——太陽黑斑和太陽自轉。10.——太陽的氣體包圍。太陽上的颶風。11.——三稜鏡的偏光作用。12.——光色的分散。12.——太陽的光譜。13.——光譜線。14.——太陽光沒有完全的達到我們。14.——白熱球的完全光。14.——金屬汽的火焰的影響。15.——太陽的表面組織。15.——牠的化學成份。

1.——我們尋求地球和月球的距離時，我們要選擇一根極大的基線，基線兩端要在同一的子午線上，然後我們在基線兩端，同時測量月球的天頂距離，畫一個相似形，或是，最好作一個測算，就可知道月球距地是多少個地球半徑。你也許以為

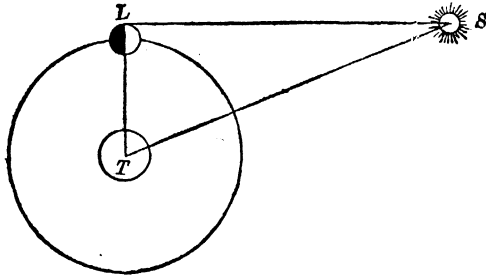
那個方法能够應用到隨便那一顆星。但是，假如我們運用那個方法去測量太陽，就遇到一個很大的困難，因為那個基線和要測量的距離簡直可以說不成比例；那個基線太小了。雖然地球是那麼大，但是假如拿牠放到這樣一個廣大的圖裏，牠僅僅是一個點子而已。讓我們回到討論月球的第五十二圖去，假設在同一根子午線上而距離得極遠的兩點，C 和 V，測量天頂距離 DCL 和 HVL，用太陽以代月球。現在我們必定要拿太陽的天頂距離的角度來畫一個相似形（註）。好，這樣一來，cl 和 vl（第五十三圖）兩根線就不可限量的延長出去了。無論這張紙是多麼大，都不够畫。這兩根線總是並行着不相交。我們幾乎可以拿牠們當作平行線看。這個結果表示什麼？顯而易見的代表從非洲的極邊到歐洲中心的那根基線 CV，在現在這個情形中沒有數值。以太陽作頂的這個幾何圖中，地球是太狹小了。拿我們地球的大小作基線去測量那個物體的距離，真好笑得像求一座遠在幾里外的塔距離時，拿祇有幾寸長的基線來畫三角形。剛開頭時，我們覺得我們的地球很大，但是無疑的，你已經改變你的觀念了。在我們第二步量天時，地球的直徑太短，不能拿牠來作單位去量。幾何學在洲洋的表面上沒有

（註）為簡易起見，我們仍用畫相似圖形的方法求距離，但是用計算的方法當然會指出那個基線是太小了。

用武之地了。在我們這受限制的世界裏，牠沒有用武之地了。必定在天空間找地方纔行。我們定要在那兒纔能找着一個適當的基線。

2. 這樣一個基線就是在我們掌握中的從月球到地球的距離。一條含有地球半徑 60 倍的線做基線，幾何學一定感到滿意了。假如能在這根底邊的兩端從事觀察，假如從月球上看見太陽在一邊，地球在另一邊，正好像在地球上看見月球和太陽，那當然是滿意的。這樣便得到兩個角，就是我們在前面測量月球距離時所得的兩個角一樣，拿這兩個角畫個相似三角形，就可得到地球和太陽的距離，正好像我們知道一個三角形的一邊和兩個角，就可得到隔着一條河的塔和我們的距離。不幸的是幾何學家的眼睛，不能夠到月球那兒去，用一個經緯儀指着太陽和地球。因此，我們必須避免這個困難，想法子不必測量在月球那端上的角度。爲了這個目的，當那個角成直角時刻的月球位相，開始觀察就行了。第一個有這個巧妙的觀念的人，是一位很有名的古代天文學家，叫做塞摩島的阿利斯達基(Aristarchu of Samos)。科學上就把他的名字稱呼月球上的一個環形山，表示感謝。這兒就是他的方法。

T是地球上的觀察處所，S是太陽，L是月球(第六十一圖)。在正當上弦或下弦時刻，那就是說當月球正把牠那被照耀半



第 六 十 一 圖

球的一半對着我們時，我們順着一條線指在太陽的中心，再順另一條線，指在月球上的明暗分界線。這樣我們就測得了 STL 角，牠的頂點在地球上。至於月球上的 TLS 角，不必測量就知道了，因為那是個直角。事實是，在我們所選定的情形中（即上弦或下弦時），太陽光線是和視線 TL 垂直的，因為我們正看見牠們所照耀的月球半球上的一半。因此 SL 線垂直於 TL ，我們能拿牠當作這些光線中的一條，這樣嗎，在三角形 TLS 中，我們知道 LT 是地球半徑的 60 倍，我們知道 L 角是個直角，由直接測量我們又知道了 T 角。這樣就够畫一個相似三角形了，正和我們求一個不得近身的塔的距離時一樣。於是我們就知道由地球到太陽的 TS 距離，是地球半徑的多少倍，祇要量量 TS 是 LT 的幾倍。

3. 雖然阿利斯達基法的原理是卓越的，但是應用起來時可是有欠缺，因為極難得到正當上弦的那一時刻，當月球正好

把牠那被照明半球的一半對着我們時。祇要那個時刻差了極少極少，結果就引起很大的錯誤，所謂是差之毫釐失之千里。然而我之所以覺得最好是說這個方法，是我覺得祇有這個方法你現在能懂，而是也因為牠能很清楚的指示你，一個在天空裏測得的距離，如何可以利用做一個基礎去測量一個更長的距離，然後又可以利用那個去測量另外一個距離，這樣下去，一步一步的一個在一個上面一直到把所有天空那些不可近身的距離差不多都測量出來為止。

測定太陽距離的最好方法是用金星凌日法。讓我們再來解說這個意思，因為你還不懂牠呢。不久你就可以知道繞着太陽行走的不祇有地球一個天體。牠還有許多伴侶呢，有些比牠小，有些比牠大。這些都是行星，和我們自己本體相類的球體，牠們無窮期的繞着太陽轉，接收牠給牠們的光和熱。其中有一個叫金星的。牠的體積和地球的差不多，不過牠離太陽更近。雖然牠的體積是那麽巨大，但是當牠剛好走過我們和太陽之間時，也僅僅是一個黑點子渡過太陽圓盤。假如把離地球更近些，那麼我們就會投到牠的影子裏，產生一次日全蝕，但是在牠現在的距離上，僅僅截了太陽的一小部份，肉眼看去是太陽上的一個極小極小的黑圓塊。因此金星凌日就是金星在太陽圓盤上，好像是個小黑點凌過的現象。現在，依照觀察者在地

球表面的地位，那個黑點子或高或低的在太陽圓盤上渡過，因為金星在太陽上的視位置是依觀察點改變的。假如現在有兩個觀察者在地球上很遠的相隔着，每個人都觀察金星凌過太陽面的視程，把這些觀察結果和兩個觀察地點的距離連合起來，我們就可以推知太陽的距離了。

4. 從這些研究得出的結果，太陽和地球的距離是地球半徑的 24,000 倍，即 149 500 000 千米。要走過這個距離，我們得造一座橋，牠的第一根橋柱在地球上，最後的一根在太陽上，這樣我們要集合 12,000 個和我們一樣大的地球；需要一串 12 000 顆珠子；每顆等於地球那麼厚。就算這個到太陽去的旅行是完全可能的，那麼無論我們活到多麼長久，也不能希望他用最好的運動方法能在那一天達到太陽。就是他的年齡能超過人類壽命的限度，也得要百歲的兩倍以上。實際上，用我們鐵路上很快的火車，以一小時 100 千米的速度不變的跑，也要一世紀又四分之三纔能走完這個距離。一個礮彈離開礮口後，一秒鐘走 350 米，一小時走 1,500 千米，假如維持牠原來的速度從地球走到太陽也得 12 年以上呢。

太陽的角直徑(註一)比半度稍多些，拿角直徑和牠的距離

(註一)太陽角直徑平均是 32 分 6 秒。所以說平均的原故，是因為地球和太陽並不常在同一的距離上，於是牠的角直徑就有變化了。

連合起來，用上面說的方法，即畫相似形就能使我們計算太陽的真直徑，真半徑，於是我們也可求出太陽的體積。這樣我們求出太陽的半徑等於 112 個地球半徑，太陽的體積能容下地球那樣大的球 1,400,000 個。(註二)

依照這些數目，假如我們設想太陽是空的，像個球殼似的，我們可以在裏面裝上 1,400 000 個像地球那麼大的球。或是再這樣說，假如太陽的中心佔據在地球所處的空間裏的一點，那個巨體把地球圍起來，地球在那個巨大的體積內幾乎是沒有體積，那麼那個巨體的表面，遠超過月球所在的區域，幾乎再超過一個月球區域。實際上地球到月球的距離是地球半徑的 60 倍，加一倍是 120。但太陽的半徑是 112 倍，祇比 120 少一點。讓我們再做一個比較。量容積的東西是爲要填滿一升麥子，我們大約需要 10,000 顆。因此填滿 10 升我們需要 100,000 顆，140 升需要 1,400,000 顆。現在假想我們有一堆可以填滿 140 升的麥子，在那堆旁邊另有一顆單獨的麥子。

(註二)幾何學證明出一個球體的直徑比另一個的長 2 倍，3 倍或 4 倍時，那麼牠的體積也就比那個的各大 8 倍，27 倍，或 64 倍。這個 8, 27, 64, 等等數目字，便是在幾何學中所稱爲 2, 3, 4, 等等數目字的『立方』，意思就是說這些數目自稱三次。所以 64 等於 $4 \times 4 \times 4$ 。因此拿太陽的體積和地球的比較，就是 112 的立方。結果是 1,404,928。假如我們祇算前面的兩個數目，就是 1,400,000，這樣化簡單是許可的。我們說太陽是地球的幾千倍大，那算一個什麼東西啊！

那顆單獨的麥子就代表地球，而這 140 升或 35 加侖的一堆就代表太陽。

5. 天文學並沒感到得着那些值得讚美的結果，就算滿足了。太陽的距離和體積求出來以後，牠還要着手測定在那個發光體中所含有的物質的份量，就是求所謂質量的，就是說牠比地球重多少倍，我們都知道太陽的體積比地球的大 1,400 000 倍，但是那個數目並沒有告訴我們牠的質量是多少，因為，比方說，一個木橢球能夠比一個鉛球大，然而稱起來比鉛球輕，因為體積沒有把物質的份量告訴我們，所以我們祇有一個方法去測定太陽的質量，那就是去稱牠。當我說到這樣一個難題時，你又要懷疑的笑起來了。去稱一個遠在 149,500,000 仟米的東西，你別要癡想吧。然而你要記得，我們已經稱過地球，那不正好像可以把牠放在一面天平秤的盤上稱嗎。現在，不問牠距離怎樣，甚至這個問題還要簡單，我們知道假如一個球體使一個物體下落，在同距離上，比另外一個球體快 2,3, 或 4 倍，那麼這個球體所容有的物質就比那個球體的多 2,3, 或 4 倍。於是這個問題本身就歸併到測定物體在太陽上的下落比牠在地球上的下落要快多少倍，假設落下的時間和所處的距離都是相等的話。意思就是說，那物體離太陽和離地球都是一樣遠近時，看看在一定時間內，向太陽落下多少，向地球落下多少。

一個物體在地球表面的下落，第一秒所走的距離是 4.9 米。假如不在地球表面下落，把牠拿到等於地球半徑 24,000 倍的距離上，讓牠下落；換句話說，假如這個物體遠在太陽那兒向地球下落，那麼牠下落的速度是和距離的平方成正比而減少的，於是等於 $\frac{4.9}{24000 \times 24000}$ 。不要計算牠，讓我們拿 m 來代表結果。現在我們必須實際求出牠向太陽下落的速度。初看來好是不可能，但這個可以用地球的行動來計算。

6. 讓我們回到第十三課的（第五十五圖），不過要把字號改過，T 是太陽，L 是地球，在半徑是 149,500,000 仟米的軌道上，繞着太陽轉。比方說，地球在一秒鐘內，從 L 走到 B。於是牠落向太陽的距離是 AB 那麼多，從地球軌道的大小，和走完軌道一週所需的時間，我們就能精確的計算出 AB 的數量。於是在 149,500,000 仟米距離上，一個物體落下地球的距離，在一秒鐘內是 m 那麼多，前面已經說了，而一秒鐘落向太陽的距離等於 AB 的數量。經過所有的計算後，我們求出後者 AB 的數量是前者 m 的 354,936 倍。於是，太陽的質量等於地球質量的 354 936 倍，因為在同一距離上，太陽使物體的下落是快那麼多倍。

在這段指示裏，有一點也許對你還沒有十分確立。雖然每一件東西都可以放到同一距離上，但是好像我們所比較的是

不一樣的下落。一方面是地球上的物體想像的放到太陽的距離上，讓牠下落，然而在另一方面卻是地球自己帶着牠所有的重東西下落。現在，地球是不是因為非常沉重而必需比一個地球上的物體，甚至比方像一座山那樣大的東西下落得快呢？不。抓一把石頭，張開你的手。這些石頭是並排的下落，在同時候內一起降到地面，因為牠們以同速度走的。牠們好像連在一起，成爲一個整個的東西時那樣下落。每個東西都如此。因此一個相當於一把石子的球，並不比那些石子中的任何一個落得快些。我再舉另外一個比喻。一匹馬拉一車東西。假如這車東西加了一倍，用兩匹馬拉，速度是不是更大了？沒有。假如加重了三倍，而有三匹馬拉，速度是不是改變啦？沒有。好，每個石子就是一匹駕着馬具的馬，石子的質量就是馬所拉的東西。假如使一顆石子成爲一個球，相當於 10 個，100 個，或 1000 顆石子，於是力量增加了，但牠的下落速度並沒有改變，因為下落時所負的重也變到 10 倍 100 倍或 1000 倍重了。實際上，假如下落是在相同的條件下發生的，那麼一粒沙和地球都以同一的速度下落。

7. 古代人，他們那粗淺的觀念想像太陽走過天空，是有四匹馬拉着的——馬名是伊奧斯(Eous)，彼老斯(Pyrous)，伊湯(Ethone)，和府利剛(Phlegon)，牠們的眼球和鼻孔噴出

火焰來。我不知道這四輪馬車的馬是在什麼仙境的牧場上畜養牠們的精銳；但無論怎麼樣，牠們的給養是要充分的。讓我們奇妙的假想地球是放在一輛四輪馬車裏，沿着一條和我們道路相似的表面上被拉着走。這樣一個重貨，必得要用怎樣的馬拉纜行呢？這個回答可用計算求得。讓我們在車前面駕百萬匹，在牠們前面再駕一百萬匹，再在前面駕一百萬匹。讓我們這樣加，一直加到萬萬，再到百萬萬匹止。在地球上沒有那麼一塊牧場，能飼養百萬萬匹馬的。現在讓我們再抽牠們走。車子沒動搨。力量還不夠。我們深信不會動，因為要把地球這個重擔子移動，我們還得要比現在的多一千萬倍。可是太陽呢？牠還比我們地球重 354,936 倍呢，那怎麼拉呢？啊，可憐柔弱的馬，你們或許能載負日神的四輪車走，但是你們可能在天空的平原上，推轉合乎科學不是迷信的太陽走嗎？叫你去做法那步工作的人，他們簡直如小孩子似的幻想着，他們就不知道這個巨大的光球，祇以為牠是面大的圓盤，像個磨刀石上的輪子。但是讓我們把這些笨事拋掉，把仙境，日神和他的馬兒忘掉。祇有一個力量可使這不可思議的巨體在空間運動，那便是自然之指。

8. 從太陽的質量和牠的半徑，我們能推知在牠表面上的重力。這個計算是很簡單的。假如太陽聚結牠所有的物質在一

個球裏，體積等於地球那麼大，那麼在牠的表面上，就以大於地球引力 354,936 倍的引力，吸引物體。但是牠的半徑祇比地球的大 112 倍，我們必須依照中心到表面距離的平方比例，把 354,936 減少，再必須用 112 的平方即用 12,544 除。結果就是 28。因此，在太陽表面的重力祇比地球的大 28 倍，這個意思就是說，一個物體在太陽表面沒有阻礙的下落，第一秒鐘下落的距離是 4.9 米的 28 倍，即 140 米。那就是說一個物體在這兒稱了稱是 1 仟克（公斤），到那兒稱就是 28 仟克，並沒有增加任何東西。同是一樣東西到那兒稱就加重了，因為在那兒的引力更強的吸引着。這就是告訴我們，假如我們到太陽上去，那是怎樣一個悲哀的事。我們的構造是很能負起我們自己的體重的。我們走動並沒有感受到被我們的體重困累着，因為我們所用的力是和我們體重相合的。但是在太陽上面，我們的力量並沒增加而我們的體重卻增了 28 倍。那時我們所處的地方，正和一個人的肩膀上背了 27 個人一樣。我們被我們的重量屈服了，我們將要被壓在太陽表面上不能動彈，也許我們要在我們的體重壓服之下，像一桶極重而極軟的奶油，攤展開來。

9. 你看太陽的體積是多麼大，可是牠的質量並不像牠體積所示的那樣大。假如把那個物體上的物質均勻的分佈起來

那麼每一升是 1.4 仟克，並沒比一升的水重多少，水是一仟克。我們知道地球表面的物質，平均一升是 5.5 仟克重。就全體而言，太陽物質所以這麼輕，可以解說如下：牠是由一個很大的氣體層包在外面，中心地方是比較稠密的東西，也許是液體也許是固體構成的，外部的溫度是非常的高，內部的更高。這個氣體的包圍，當牠擴大太陽的體積時，並沒增加牠相當的重量，這就是牠的質量比較起來微弱的原因。這個假設已經有大氣的證據而證實。假如用一架望遠鏡觀看太陽，望遠鏡放一塊黑玻璃，使太陽的光亮和熱不致傷害眼睛，我們就常在太陽表面的上看見有一些斑塊，外形是很不規則的，牠們那深黑的顏色，在明亮的白色表面上鮮明的顯露着。牠們常被一種叫做半影淺灰色的邊緣包圍着，半影這名字取得很不適當。這些黑斑就叫太陽黑子，牠們是移動的。牠們在太陽的一邊上出現，逐漸走到圓盤上，從西到東走着，達到相對的那一邊時，就不見了，不到半個月牠們又在那一邊出現。根據同一黑子的這些週期出現，斷定太陽在 $25\frac{1}{2}$ 天內繞軸自轉一週。一個觀察者位在太陽的軸之上的某一點，頭對着牠的上極，他就看出牠是從他的左面往右面轉。他能看見地球也是在同方向內繞着太陽轉。

10. 太陽黑子並不是不變的。有時候牠們很多，有時候一個也沒有。有些在觀察者的視線之下，和我們自己大氣中的暴

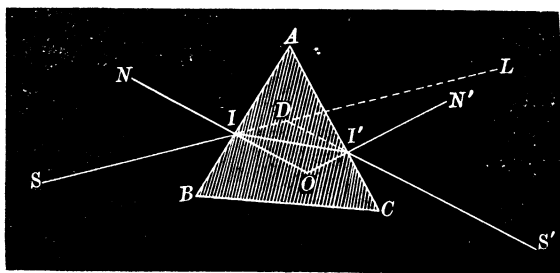
風雲一個樣子。有些撕裂成片狀，又聚集成新的形式，或是在光明的日盤上消蝕不見掉。有些比較是固定不變的，太陽自轉把牠們從我們眼前帶過去，過了些時候，我們看見還是同樣沒變，但是很少有經過連續自轉幾圈以後，仍舊保持同樣子的。一些精確的測量告訴我們牠們那巨大的面積。有些的表面比整個地球的表面還要大。侯失勒(Herschell)觀察一些是8,000仟米寬。最大的黑子直徑曾到過100,000仟米的。這些黑子是什麼東西呢？或許牠們是些黑色物質偶然的集合，轉成螺旋形而在火洋中裏面消失。或許牠們是在火焰包圍裏開着的洞窟，使我們見到黑暗的內部。但是讓我們把這些尚未成熟的假設，撇開不談。太陽還沒有啓示牠的祕密呢。不過，有一點是不能懷疑的。這些在幾小時或幾天以內形成和消蝕的巨大斑塊，是一種遭受了驚人的隆起的物質成的。而對於那些隆起作用牠們祇有些小的阻力。太陽的表面是強度的騷動，颶風，旋風，暴風的地方，牠們掀起太陽的物質，把牠們捲進無盡日的暴風裏面。因此使得我們得了同樣的結論，那就是，太陽外面是一個熾熱狀況的氣體層。

11. 精細的光學研究，能够推知光源的性質。牠能告訴我們太陽裏有些什麼物質，正好像牠能把太陽的一部放近牠的熔析爐中分析一樣。讓我們對這一道陽光上驚異的研究，作一

個初步的探討。

一條光從幕簾中的一個洞，透進一間黑屋子。在那些情形下沒有什麼特殊的現象發生。這道光完全是成一條直線的，懸在空氣中的灰粒在牠裏面發亮，四面跳動着。一塊玻璃隔住這條光，也沒有發生什麼特別變化：一道光透過這塊明的玻璃，在玻璃的那一面仍循着直線的路徑走，但是假如這塊玻璃不是像面板那樣平滑的，而是切成一個角形的，即我們所謂稜鏡的，那麼這條明亮的光線就不走直線了，當牠走以後牠忽然往一個新方向走了，牠為什麼改變方向呢？因為光線被介質的雙重變化，連續的折射了兩次。

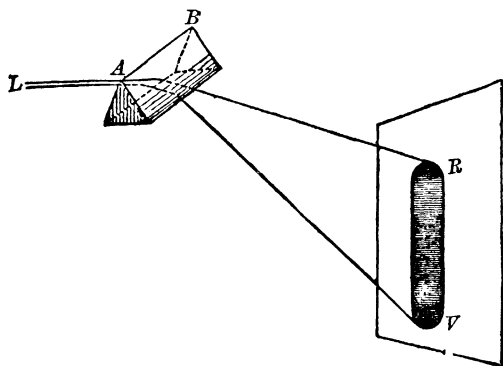
讓我們拿一個三稜鏡 ABC（第六十二圖），一道光線循着 SI 線射到牠。因為牠從空氣走進玻璃，即從一個密度小的介質到一個密度大的介質，當牠走進玻璃時，牠便傾近玻璃面的



第 六 十 二 圖

垂直線 NO ，不沿着原來的方向 II 走了，而沿 II' 的方向，那是比較更接近垂直線的。既達 I' ，牠就從玻璃走進空氣，就是從一個密度大的介質走進一個密度小的介質。因此牠便遠離垂直線 $N'O$ 而沿 $I'S'$ 方向進行，與垂直線合成 $N'I'S'$ 角，比前面的 $II'O$ 角大。於是一道光線走過一個三稜鏡時，改變了兩次方向，而傾近三稜鏡的底邊。

12. 光線通過三稜鏡不僅光路改變，而且還受了另外一種而是非常重要的變化。那道光線，通過到黑屋裏子去的洞口，一直到三稜鏡時都保持同一的形狀和大小，但是透射進玻璃後就放大了。從三稜鏡出來時，放得更大，展開得像把扇子似的（第六十三圖）。因此原來整個的光線所受的偏向作用不相同，因為原來光線通過三稜鏡以後，展開成一片含有許多不同



第 六 十 三 圖



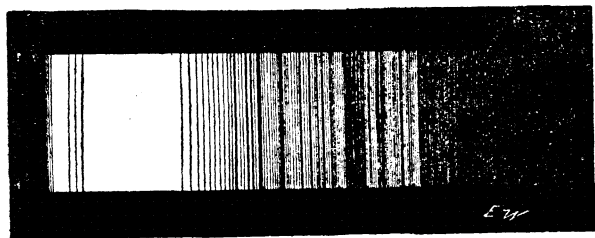
第十二圖 一個 150 000 厘米寬的大蠟子

的方向：有的離垂直線近，有的離垂直線遠。有的最近，有的最遠。換句話說，陽光不是性質一樣的光線，在那道光帶上所有的光線都不相同。假如要是同性的話，那麼無論三稜鏡的影響怎樣，對於整個光線都是一樣的，於是陽光當牠離開鏡子改變方向時，應當和原來的形式一樣，不會展開。

但是讓我們拿張白紙隔在被三稜鏡展開的光線路程上（第六十三圖）。我們立刻看到有個長方形現在這張紙上，顯示着彩虹的各種顏色：紫，藍，青，綠，黃，橙，紅。這個長方形叫做『太陽光譜』。光譜的簡單意思就是『像』。利用太陽光譜來解釋陽光不是同性的，是再簡單也沒有了。牠那不同的要素即光線，走過三稜鏡時，遭受了方向的改變，有些改變得很利害，有些改變得很少。牠們彼此分隔着，各個有各個的顏色照在東西上。於是光譜的排列是有顏色的。因此，我們知道平常的白天亮光和太陽的白光裏含有各種不同的顏色光。牠們是紫的，藍的，綠的，黃的，等等。當這些簡單的光線聚集成一道時，牠們便成了白光。假如用一個三稜鏡把牠們分離時，牠們又恢復牠們特有的顏色。太陽的光譜不僅含有前面所舉的七種顏色，還含有所有夾在中間的顏色，這樣微細的差級，不是我們能說出來的，比方，在綠色盡頭和黃色開始的地方，你能說出是什麼顏色？白光實際上是含有一羣各種顏色不同的光，那些光就

被三稜鏡程度不等的改變方向。因此，太陽光譜是一種顏色的鍵盤，含有所有從紫到紅中間的顏色，正和一付樂器上的鍵盤含有從最低音到最高音一樣。

13. 讓我們更進一步來探究一點這種顏色的鍵盤。藉放大鏡的幫助，我們能看見光譜的光帶上有許多線交切着。光在那些線裏消失了。這些成爲深黑色的平行線的形狀，有的很細，有的很粗，有的擠在一起，有的又遠隔着，依照我們所試驗的光譜的那一部份而定（第六十四圖）。牠們的數目是固定不



第 六 十 四 圖

變的，所以是有次序的。牠們是太陽光譜上不可磨滅的特性，隨便什麼時候，隨便在什麼地方觀察，牠們都是在同樣的地位的。物理學上稱呼這些線爲光譜線。這些交切在光裏的黑線有什麼意義？假如陽光是含有從極藍到極紅之間所有可能的光線，那麼在光譜帶中所有能够佔去的地位都要被佔去，因爲每一種光線的路程都被三稜鏡的影響變更，所以從光譜的一端

到另一端中間就沒有間隔。但是假如有些簡單的光線缺了，那麼三稜鏡所現的光譜內必有空隙，必有黑線。把這種缺欠表現出來，黑線就是那缺的光線沒有佔據的地位。因此，光譜上的黑線就告訴我們陽光達到我們時是一種微弱的狀態，顯然是因為有些光線在路途上消滅了。用前面的解說，我們能說這面光譜的着色鍵盤是不完全的。牠缺少了許多光線，所缺的地方有黑色的刻線指示着。

從月球和各種被太陽照耀的天體，射到我們這兒來的光，都有這同樣的結果。光譜總是被許多黑線交切着，一個一個接着，和日光譜中的次序一樣。這完全是當然的。月光是反射來的日光，因此必須有日光不可磨滅的特性。至於那些星星呢，牠們都是和我們太陽相同的而是非常遙遠的太陽，牠們的光譜都和太陽的相似，上面都交有許多線段。不過每顆星彼此的光譜線是不同的，而且是不同的集合着。無論如何，這條定律是通行的：天空明耀的星，當我們拿牠們來做三稜鏡的試驗時，牠們的光譜上都有線段交切着。牠們的光是不完全的，牠們那顏色的音階上都缺了幾個調子，所缺的調子，在每顆星上的是固定不變的，缺多少就是多少，但是各顆星彼此所缺的都不同，你的多些，我的少些。

14. 尋求世界最大光芒的陽光裏，缺了些什麼，是一個非

常重要的事。這個缺欠一經發覺，我們就能去考究牠的原因。第一層，我們是不是可以得到完全的光？可以的，因為拿一個熾熱的固體做我們的光源，比方像一個白熾金屬球，就可得到所欠缺的。假如我們從這樣一個物體引一道亮光通過三稜鏡，我們就得到一個完全連續的光譜，沒有一條黑線在上面，在那樣一束亮光裏，簡單的光線都俱備了，因為所有在光譜帶裏的地位都被牠們佔據完了。但是我們也能很容易的在上面產生空地方。拿一個很強的火焰，比方一個煤汽燈的，最好是一隻火酒燈的火焰。讓我們在這個火焰上面撒一些很細的金屬粉，或是鐵屑，我們再在白熾球的光沒有進到三稜鏡以前，使那道光通過這個火焰。記好器具的佈置。在一邊，我們放置發射完全光的熾熱球，在另一邊我們放置必定分解這光帶的三稜鏡，在這兩個中間要有燒着金屬粉的火焰。要使白熾球的光通過三稜鏡，必須經過帶有金屬蒸氣的火焰。用這樣一個安置，我們就發覺那個光譜不完全了。我們發現光譜裏含有幾條黑線，和日光譜中的一樣，不過很少，沒有那樣多，我們小心觀察牠們的數目，牠們的地位，和牠們分佈的狀況。然後我們再把另外的金屬粉投進火焰中，比方說用銅粉。光譜又有線段交切着，但是這些線條和用鐵粉投進火焰所產生的不同，數目不一樣，集合的狀況不一樣。再用鉛，銀，錫，金，鋅等等金屬粉，又有一

些新的線段在光譜中出現，每種金屬所成的黑線數目和地位，彼此都不同，但是在同一種間的是相同的。於是，當完全的光束通過正在燒着任何金屬的火焰時，有一部份就消滅，喪失了一些簡單的光，光譜上的黑線就表示失去的光。黑線的地位，數目和散佈狀況是隨金屬的性質而定的。

15. 爲應用這些實驗的記錄到陽光上，讓我們跟隨科學而假定太陽是一個液體或固體的中心球組成的，由非常的熱而產生光輝，那種熱度遠超過我們人力所能產生的最高熱。在這個輻射的中心體四圍，有一層很深厚的氣體包圍着，是一種被熱蒸發的物質所成的大氣。在這兒，不像地球似的有一座藍色的空氣圓頂，上面有落下雨滴的雲彩遮蓋着。這兒是一重火焰的包圍，是大量的發光的金屬汽，降落着熔化了的金屬的驟雨，再蒸發，無窮盡的製造牠那可怕的大瀑布。光從中心球體發射出來是一種完全狀況的，和我們在實驗中的熾熱球的光一樣，但是當牠通過火焰的包圍時，牠就失去一部份簡單的光了。因此牠達到我們這兒是不完全的，光譜上所生的許多黑線，就是太陽大氣裏蒸發了的金屬的結果。這些金屬有些是我們知道的。事實上，在太陽光譜線裏，我們發現有我們在火焰中燃燒鐵的特性。根據牠們的數目和集合的狀況是無可懷疑的。因此，在太陽上的火焰包圍裏有鐵。另外還有銅，鋅，和其他地球上

的金屬，因為我們發現太陽光譜上的線和這些金屬的黑線一樣。但是在另一方面，還有些地球上的金屬比方像金子光譜的黑線，在太陽上還沒發現過。也有理由使我們相信，太陽大氣裏含有在地球上還不知道的金屬汽，因為太陽的光譜上有許多黑線不和地球的物質所產生的光譜線相符合。

這樣一個迅速的光學光譜研究即光譜分析的考究，給了我們一個很大的觀念。也許地球自己所佔有的一些金屬物質，在太陽上也是如此，除去牠們隔了 149,500,000 仟米外，在牠們兩個物體中間有一種無疑惑的化學關係存在。地球和天體都是同樣物質造成的。這個結論有流星證明，不久我們就要知道的。

第十六課 一年和四季

1.——地球的運行。2.——怎樣畫橢圓。3.——地球的軌道。近日點和遠日點。4.——太陽日和恆星日。5.——太陽日比恆星日長。5.——天空是一季一季的更新着。5.——太陽年和恆星年。6.——太陽日的變化。6.——地球以不等的速率運行。7.——輪盤和鉛塊的實驗。8.——平均太陽日。9.——地軸和牠自己保持平行的地位。9.——地軸的傾斜和四季。10.——夏至的晝夜。11. 12.——晝夜不等的原因。11. 12.——兩極地方的晝夜。11.——北極圈。12.——南極圈。13.——陽光傾斜的影響。13.——夏與冬。14.——北回歸線。15.——冬至的晝夜。15.——南回歸線。16.——春分和秋分。17.——四季的時期不等。17.——由赤道到極各地的最長白晝。18.——五帶。19.——陀螺和地球的圓錐形旋轉。19.——26,000年的大週期。19.——12 000年後的北極星。

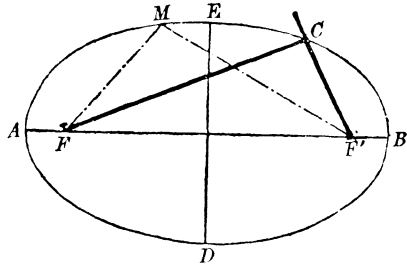
1. 地球被牠那原始的推動力推動，又被牠那永遠向着太陽的下落，保持在一個不變的軌道上，地球繞着那個主體轉。

正和月球繞着我們轉一樣。在一年即比 365 天多一點裏，完畢牠的旅行，那不過又是無盡期的開始吧了。地球在空間，毫無支持，也沒有個旋轉樞軸，以每小時 108,000 仟米的速度，向前滾着，神聖的幾何學給了牠一個想像的線，引導牠總在那根線上走。牠的運動是這麼快，使我們一想到就要頭暈呢。牠又是走得這麼安靜，祇有科學的沉思纔能證明牠是真在動的。在太陽的引力和地球自己的推進力之間，一種非常的平衡，就足以維持牠的速度，總保持和中央的星在同樣的距離上，接收從那顆星來的熱，來的光和生命力。假如太陽的引力不行啦，那麼地球就被牠自己的推進力帶跑了，牠就離棄太陽，成一根直線急速跑開，而沉淪在天空中不知道的空間裏。假如，在另一方面，地球的推進力停止了，那麼地球就要落進吸引牠的巨大星體中。假如地球已經開始下落了，那麼在 64 天裏，走過隔離我們和太陽間的 149,500,000 仟米的路程，而像粒煤灰投進太陽火爐的嘴裏。再不然這樣，假如最初的推進力不是忽然消失，而是逐漸的微弱了，比方說因為阻力把牠弄弱了，那麼地球的行走就不成圓圈，而是成螺旋形了，轉得越來越狹，最後就在漩渦裏被捲到太陽裏去了。這些都是沒有憑據的假設，就沒有一樣東西恐嚇着要反抗或阻礙地球的推進力，就沒有一樣東西恐嚇着要破壞太陽的引力。我們的軌道是永遠保險固

定不變的。’

2. 爲簡便起見，所以我們到現在都以爲地球的軌道是圓的，實際上牠比我們所以爲的要複雜呢。牠是橢圓形的，不是一個圓的。要在黑板上畫一個橢圓形，我們必得照下面做去。在黑板上安兩個釘子。用一繩子把牠倆連起來，這根繩子你要放鬆些，不要拉緊。用一根粉筆抵着這根繩子，把牠拉出去，再一面抵緊繩子，一面順着畫(第六十五圖)。這樣所畫出的線就

叫『橢圓』。在繩子所固定的兩端， F 和 F' 兩點就叫焦點。 AB 線叫橢圓的長徑， DE 線叫短徑。假如我們把橢圓形的任意點 M 和兩個焦點



第六十五圖

連起來， MF 和 MF' ，每根都叫『向徑』，根據畫橢圓的方法，顯而易見 MF 和 MF' ，兩線共同的長總等於 FCF' 的長，無論 M 點在什麼地方。因此我們可以如下規定橢圓形的定義：一個橢圓形是一條曲線，從所謂兩個焦點到曲線上的任何一點，距離的總數是不變的。兩焦點的距離越遠，用同樣長的線所畫的橢圓形也越展開，也就和圓越差得遠；但是，在另一方面，兩個焦點變作一點時，所畫的曲線就是一個圓了。

3. 地球每年所走的軌道就是一個橢圓形，太陽就是其中的一個焦點。不過，通常我們可以拿牠的樣子當作一個圓看，同樣，月球也是在橢圓軌道上繞着我們轉，我們的地球就是其中的一個焦點。但是因為地球自己移動，月球爲要伴着牠動起見，於是牠的軌道也必得移動，這樣就成連合起來的一串橢圓形了。但是定則還是通行的：每個服從另一天體引力的天體，牠是成橢圓形的繞着那個天體轉，那個天體就是這個天體所走的軌道中的一個焦點。

因為地球的軌道是橢圓的，所以地球和太陽不是常在同一的距離上；當牠走到長徑最近太陽的極端時，這時的距離最短，那就是說當太陽在 F 焦點牠走到 A 點（第六十五圖）時。這一點叫做『近日點』。當地球走到相對的那極端 B 點時，和太陽的距離最遠，叫做『遠日點』。

我們在 12 月 31 號到近日點，在 7 月 2 日走過遠日點。奇怪的結果就是我們在冬天時比在夏天更近太陽。前後距離的相差大約是 4,450,000 仟米（註）。

4. 當地球在橢圓形軌道上繞着太陽走時，牠同時也在牠

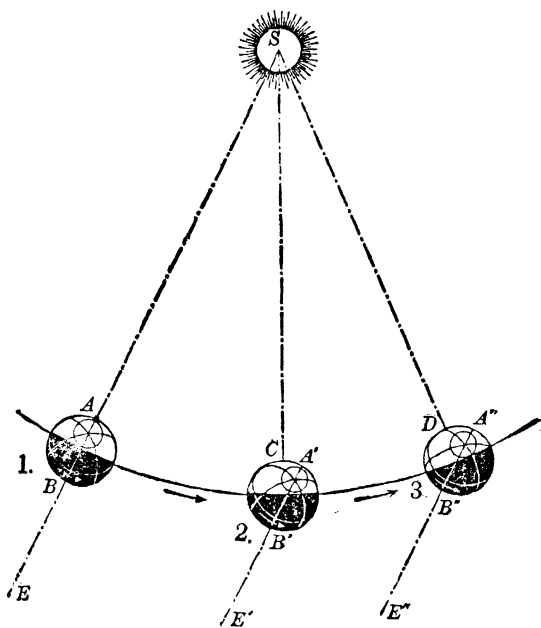
（註）爲什麼月球有時候靠近我們，有時候遠離我們，就是因為牠是成橢圓形的行走。我們已經說過月球離地球距離最小時，是地球半徑的 56 倍，最大時是 64 倍。

自己的軸上自轉。牠自轉一週的時期就叫一『日』。『日』有兩種：即太陽日和恆星日。恆星日就是地球上同一個子午圈的一半（即同一個子午線）連續兩次轉回同一顆恆星，中間所經過的時間。牠們的時間是固定不變的，因為沒有一樣東西能改變地球自轉的速度，牠把牠表面上的每一點，每隔完全相同的時期，帶向天空中同一點。我們在另一課中已經知道，在兩千年或兩千五百年中，天文學上發現恆星日的時期沒有差到十分之一秒。那是不可避免的。恆星日是地球繞軸自轉的機械能的一種計量，那種能在毫無阻力的環境裏，是不會消散的，所以地球保持不變的速度自轉。

太陽日就是同一個子午圈的一半（即同一子午線）連續兩次對向太陽中間所隔的時間。假如地球祇是依牠的軸自轉，不在空間裏走動的話，那麼太陽日和恆星日都是一樣長的。地球表面的每一點，下次再轉到同一顆恆星或是太陽，所需的時間都是一樣的。但是地球在空間中是動的，於是就使牠們不相等了。這件事和月球的恆星週期與朔望週期所以不等是一樣的道理，我已經告訴你了。

5. 我們注意地球在第六十六圖 1 的地位。在那一瞬間 A B 子午圈的一邊正面向着太陽。這根子午圈的那一邊向着在 BE 方向上無限遠的一顆恆星。這根子午圈被照耀的一半是

正午時候，那一半是在中夜時候。到第二天，地球順着牠的軌道已經走遠了些，實際上走得非常的遠，因為牠是以一小時 108,000 仟米的速度走呢。於是，比方說，牠就走到 2 的地位；同一根子午圈 $A'B'$ 被地球的自轉轉回來了，而向着原來的那顆恆星，那顆星的方向是 $B'E'$ ，和昨天晚上 BE 方向平行的。我們說牠『平行』並沒過甚其詞。我再說一遍：恆星的距離是遠透了，遠得別說地球走一天的距離不算什麼，就是牠整月的



第 六 十 六 圖

走，在 1 和在 2 所見的這顆恆星的位置還是一樣，簡直就好像沒變動過。但是地球看太陽呢，因為牠的距離很近，於是所見牠的位置就改變了。所以當子午圈 A'B' 因為又而向着同一顆恆星，已經完畢了恆星日時，但地球還要再自轉一會兒，再轉 A'C 那麼多，纔可以再面向太陽。因此，太陽日總比恆星日長些，牠們相差約 4 分鐘。

一顆恆星，牠今天和太陽同時走過我們頭頂，不過因為是大白天所以看不見，到了明天，牠就比太陽早四分鐘走過我們頭頂，後天就八分鐘，如此下去，這樣，每天早四分鐘的計算起來，到了 6 個月的末尾時，牠就在晚上回到我們這兒，而在太陽前面 12 小時走過我們的頭頂，那時我們可以完全看見牠了。這樣我們就能解釋天空裏恆星位置改變的原因。在夏季時，有一些星座是可以看見的，但在冬季時，就有些別的星座來代替牠們了，自年首到年終，所有的恆星逐漸的走過我們夜晚的天空。假如太陽日和恆星日的時間相等，那麼就沒有這個現象發生了。總是同樣的恆星伴着太陽，天空有一半是我們不知道的，因為這一半永遠充滿着陽光的光輝。祇有另外一半的星座，每天夜間顯示給我們看。因此，恆星天空隨着四季而更新，又給我們一個新的證據，證明地球的運行。

在 6 個月的盡頭，伴着太陽的恆星，就在太陽以前 12 小

時出現。這樣子的提前是每 6 個月增加一次(即增加 12 小時),一直到增加成 24 小時爲止,那時就週遊了一圈,而原來的那些恆星又和太陽在同時候內經過我們頭頂。於是一個週期完畢,而另一個週期又開始了。地球又回到牠的軌道上的同一點,於是一年完畢。在那個週期裏,太陽好像是繞着地球轉了 $365\frac{1}{4}$ 次,然而因爲恆星快些,所以恆星繞了 $366\frac{1}{4}$ 次。於是一年有 $365\frac{1}{4}$ 太陽日,或 $366\frac{1}{4}$ 恆星日。

6. 太陽日和恆星日所不同的不僅是比牠長些就算了,另外還有個特性。恆星日的長短是固定不變的,總是一樣長,但太陽日是變的,根據一年內的時期,有時長,有時短,不過總是比恆星日長些。剛纔我們知道的不過是牠的平均數值,比恆星日多四分鐘,那就是自年首至年終介在比恆星時所長的時間內,中間的一個數值。太陽日變動的原因有幾個。下面是一個容易懂的。

我們已經假設(第六十六圖)當地球依軸自轉一週時,牠從 1 的位置走到 2,太陽日所以超過恆星日的時候,就由於:當 A' B' 子午圈面向着在 E' 方向上的同一顆恆星時,還要從 A' 走到 C 方面向太陽,走過這一段距離的時間就是太陽日比恆星日所多出的時間。假設,地球在牠的軌道上走得更加快,在一個自轉時間內不祇從 1 走到 2,而從 1 走到 3。在這種情形中,

當恆星日告畢一日時，那就是當子午圈已經在和A'E平行的的A'E'方向時，牠就而向了同一顆恆星，但在那子午圈上的A''點還得再轉過A''D弧纔能面對着太陽。但是顯而易見的，A''D弧比AC弧大。於是地球在自轉一週的期間內從1走到3時的太陽日，要比牠從1走到2時的太陽日長。總之，當地球在軌道上走得更快時，太陽日也就延長了，因為那根子午圈必得再多轉一會兒纔能走在太陽之下，這是由於地球的運動，使得太陽和那根子午圈離得更遠了。於是為證明太陽日的變更，祇要證明地球繞太陽走時的速率是變更的就够了。

7. 我們還可以這麼想，因為地球的機械能是完全不變的，牠就應當在軌道上速度不變的走。假如牠走的軌道是一個圓的話，那麼的確是那樣。每天所走的弧度完全相等，也就是說走過牠們所需的時間也相等。但是在一個橢圓形的軌道上可不這樣了，有時候使得地球離太陽所在的那個焦點很遠，有時候很近，於是牠走的速度就不一樣了。有幾個實驗可以把這個道理弄明白。

讓我們假想有一個很輕的直立輪盤，用一個把手能使牠在牠的軸上轉動。在牠的一根輪徑上，結一個重的鉛塊，或是放在近軸的地方，或是近輪邊的地方，或是隨便什麼地位。讓我們先把這鉛塊固定在離軸最近沒有的地方，再看我們用手

能以怎樣的速度強迫牠轉。假設說，盡我們所有的力量來推牠，使輪子以一秒鐘一週的速度轉。

讓我們再來做這個實驗，把鉛塊解下來，捆在靠近圓邊的輪徑上面。在這種新的狀況中，這個輪子的重量也沒有比前面的重，也沒有比前面的輕，鉛塊還是一樣的，祇不過離旋轉的中心遠些吧了。在輪子的質量也和前面的一樣，然而我們發現什麼？剛纔我們的手能够使這個輪子以一秒鐘一圈的速度轉，現在呢，簡直很難叫牠轉動了，不能再叫牠以前面的速度轉了。用同樣的力量，我們不能再叫牠一秒鐘轉一圈了。

假如你不能製造這麼一具奇怪的儀器，根據鉛塊距離軸的遠近，在你的手力之下，那個輪子就轉得或慢或快，那麼我再介紹你下面的實驗。在一根繩子的一頭繫一顆彈丸，用兩指夾住另一頭，再使這個彈丸像個飛砲似的甩着轉，使這根繩子在第三個指頭上繞起來，然後你看，繩子轉得越來越短，這個彈丸就轉得越來越快的繞在你的指頭上。於是，一個物體在數量不變的推進力下，繞着一個中心轉，當牠越近中心時就轉得越快，離中心越遠時就轉得越慢。

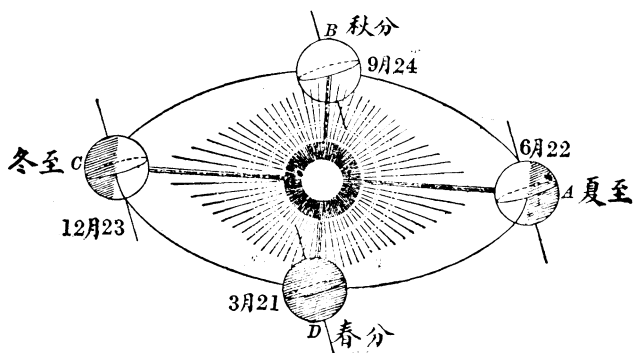
8. 因為地球軌道是橢圓形的，牠離牠繞着轉的中心不是老一樣遠近的。在冬季的時候離太陽近，在夏季時離太陽遠。因此牠運行的速度是變更的，在十二月底近日點時走得最快，

在六月初遠日點時走得最慢。依照一年內的時期，地球在自轉一週的時候內所走動的地位是不等的，所以就是太陽日不等的一部份的原因。

我們的鐘和錶的運動必得是均勻一致的。因此牠們不能忠實的跟隨太陽，因為太陽達到我們的子午線上的週期是不一致的。一隻錶牠今天正當太陽經過子午線的時刻對好中午的時刻，可是明天或以後牠就不和太陽一致了。牠所指示正午的時刻比真正的正午遲一點或早一點，牠比太陽真正中天的時刻要遲一點或早一點。那麼在這些繼續變更的中間，我們怎麼能知道鐘點呢？大家都同意用一個虛想的日子來做單位，那單位叫『平均太陽日』。就是拿太陽年的總時間平分作365個相等的部份而得來的。這樣得來的單位，好處就是完全規則和我們的鐘所需要的一樣，雖然牠也有不便當，就是很少和太陽真正的地位一致，但並不很重大。一隻錶和平均時對好，有時候在太陽的前面，有時候在牠後面。其中最快或最慢的差相能到一刻鐘。恆星日因為是非常規則的，所以在天文學裏常用，但卻不能作為任何通常目的之用，實際上，假如拿牠作通常目的用，那麼對於時間的分佈就有笑話出來了，觀察一顆一定的恆星過子午線時，算作正午，結果將使我們在早晨，在下午，在中午，在半夜是正午。

9. 一個球被手投出去，在地上滾着，是毫無規則的，有時牠在一個軸上轉，有時又在另外一個軸上轉，依着牠所遇着的阻力而定。遲早牠那自轉的一極會在赤道上，或是在赤道上的這一點會變成一個極。這個球的路程是繁亂無序的，牠的軸毫無一個平衡的位置，時而在上面，時而在下面，時而又顛倒過來。被自然所拋擲的地球，牠卻是在一個位置固定不變的軸上在空間裏滾的。牠的兩極從來沒有走過赤道，赤道從來沒有做過牠的兩極。地球是建立在一個不變的軸上。這根想像的軸，不僅總是同一根，而且總在一個固定的位置上，在地球整年的運行中，無論走到那兒，軸總是在和牠自己成平行的地位上。牠從來沒有走到直立的位置上，牠從沒有增加過牠的傾斜度，也沒走到限度以內。我來告訴你這個限度。今天這個軸指向一顆恆星——北極星，到明天，到明年，再過好多年也還是指着這顆恆星。地球遵守着恆性定律，牠總是使軸和自己平行，使方向不變更。在一個沒有障礙沒有阻力的空間中自轉着，牠的軸是不能改變位置的。還有，地球並不是在太陽前面垂直的自轉；牠的軸多少是向一個方向傾斜的，而且總是向同一方向傾斜。這個方向和垂直方向相差的數目是 23 度半。

因為地球繞日公轉，牠的軸總在平行方向而傾斜的，所以就四季的變化。第六十七圖代表地球在牠的軌道上，一年裏



第 八 七 圖

面四個主要的地位。(註)當牠六月二十二日走在A時，近於遠日點，夏季開始；秋季在B開始是九月二十四號；C靠近日點，地球走到C是十二月二十三日，冬季開始，走在D是三月二十一日，春季開始。夏季所含有的時日，是地球走過牠的軌道自A到B一段所需的時間；秋季是BC的部份，冬季是CD的部份，春季是DA的部份。在我們沒有更進的討論之前，我們必得小心留意，在這張圖上，地軸在每個地方都是向同一方向而且是同一限度傾斜的，走遍牠的軌道，牠的軸的地位都是彼此平行的。

10. 既然如此，我們必得假設我們是在6月底。一年裏面

(註)在這個圖裏，爲方便起見，地球的軌道用一個圓代表，太陽是圓心。嚴格的說起來，牠的軌道是橢圓的，太陽祇是橢圓形中的一個焦點。

沒有一個時候再比現在太陽起得早了。早晨四點鐘牠起山，黃昏八點鐘落入地平線下。(註)中午時，牠不是正在我們的頭頂上，不過靠近吧了。要看牠我們必得擡起頭，向近於天頂的地方看纔行，那時牠是多麼亮，多麼熱啊！牠那差不多要刺瞎人眼的光充滿在大氣裏，把熱的寶藏透入土壤中。在我們這兒呢，是白天最長，黑夜間最短的時候，白天是 16 小時，夜間是 8 小時。再往北方走去，我們就看見白天更加長，夜間更短。我們發覺在那兒的國家，太陽起山的時刻比我們這兒還早，早上兩點鐘就起山了，下午十點鐘纔落山。再往北方走，那牠早上一點鐘起山，到下午十一點鐘纔落山。再往北方去，起山落山的時間纏亂了，這顆白天的星離地平線還遠呢，接着就起山了。最後到了北極，我們發覺一個太陽的希奇現象，牠再也不落山了，牠是整星期整月的繞着觀察者轉，毫未消失在地平線下，正午和中夜時同樣可以看見牠。在這些國家裏再也沒有夜間了。

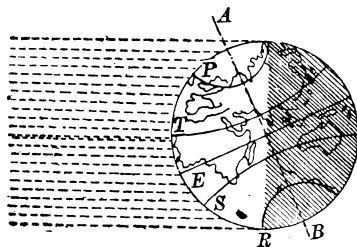
在地球的南半球裏，我們發覺剛好和上面的相反：照耀着的是一個不亮的太陽，氣候很冷，越往南去，晝間越短，夜間越長。最後，到離開南極一定的距離上，夜間是連續下去的，再也沒有白天了。因此，地球南北兩半球在六月底時是在相反的情

(註)中國夏季白日最長的時間平均是太陽在上午四時半起山，下午七時十分落山。

形中的。北半球晝長夜短，光亮，溫度高，北極是無間斷的沉落在陽光裏，南半球晝短夜長，光暗淡，溫度低，南極在不斷的夜間裏。這時北半球就是夏季，南半球就是冬季。

11. 地球兩極的陽光分佈不均，這是容易解釋的。第六十八圖，表明地球，在前圖

A地位時，在陽光中的情形；那就是說6月22日所在的地位。陽光由點線線代表。我已經說過了，可是這個圖表明得更清楚，



第六十八圖

那就是地軸向地球和太陽所連的方向傾斜，因此牠不是和太陽成垂直的地位轉動，而是向一邊歪着轉的。因為這個傾斜的原因，所以使那根光明與黑暗，白晝與黑夜中間的線就不在經過兩極的線上，而是投射在北極的前面，完全沒有觸到南極。現在讓地球在牠的軸上自轉。很顯然的，在北極和經過明暗分界綫的P圈中間的國家，在地球自轉完畢一週時，牠們從沒有脫離為被陽光照耀的區域，和北極毗連着的那些國家，因此沒有夜晚，24小時內沒有一刻不看見太陽的。P圈就叫做北極圈，在6月21日這天，這圈裏的區域是沒有夜間的。這個圈離北極是在23度半的地方，那正等於地軸對太陽的垂直方向所

偏斜的度數。

12. 現在再讓我們往南走一點，比方說一直走到隨着 T 圈自轉的地點。這些地點裏每一點有時候是在被陽光耀的區域裏，但是因為自轉的原故，又轉到黑暗的區域裏，因此牠們那兒是白天和黑夜交錯的；但是你立刻又看出，牠們經過黑暗區域的途徑比經過白天區域的短。所以在這兒的夜間比晝間短。在其他圓圈上走的各點，雖沒有在這個圖上畫出來，但是也很容易想像到，牠們愈近北極那麼晝間越延長，夜間越縮短。在另一方面說，近赤道 E 的地點，夜間的時期就增長，而晝間的時期就減少。在這個圖上稍為仔細一看，你就容易了解這個原故。我們也看出，位在赤道上的各點，牠們的晝夜是等長的。晝和夜都是 12 小時；因為赤道在陽光裏的部份正等於牠在黑暗中的部份。

北半球的晝間比夜間長，那麼南半球是怎麼一回事呢？這個圖立刻又告訴我們了；牠告訴我們晝間縮短而夜間增長，因為一方面被陽光照耀的區域減小，而另一方面黑暗的區域增大了。牠也告訴我們，在南極的周圍有一個區域，地球自轉完全沒有把牠帶到光明裏，在那兒，太陽總是隱沒着的。在 R 圈以內地球所有各部在 6 月 21 日不能得到陽光，那個圈叫南極圈。那個圈離南極也是在 23 度半的地方。

13. 直射下來和斜射下來的陽光，所生的效力，並不是一樣的。受了牠直射下來的地方，非常的炎熱，受了牠斜射下來的，祇是微弱的熱着。要了解這個道理，你必得觀察，要站在什麼地方纔能最充分的受到爐火的熱。我們必得站在火的正前面，假如我們站在一邊，我們受得熱就少了些。站在前面呢，我們所以覺得頂暖和是因為熱直射到我們身上，生出最大的效果。站在旁邊呢，我們所以覺得不大暖和，是因為熱斜射到我們身上。同樣的，地球當牠在太陽之火的前面時，在牠的整個表面上所接受到的熱不是一樣多的，因為有些區域是受到直射的陽光，但有些區域多少是受到斜射的陽光。而且，在白天裏面所得到的太陽光的熱，到夜間都漸漸的消失，溫度就下降了。晝間越長夜間越短，溫度也就越高些，因為所得的熱遠超過所失去的。因為有這兩個理由連合起來，於是在同一地方的溫度有時變更得很大。當太陽光多少是成直射，而晝長夜短時，季候就熱；當牠的光是斜射的，而晝短夜長時，季候就冷，這個時候就是冬季，前面那個時候就是夏季。

14. 讓我們來尋找 6 月 22 號接受直射光的地方，我們就知道是在最熱地方的國家。直射的方向就是當光線延長出去經過地心的線。好，我們很容易看出來，在第六十八圖裏太陽光到達 T 點，假如延長出去就經過地心。因此，到達 T 點的陽光是

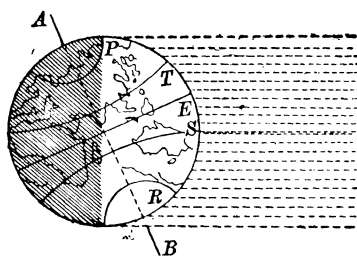
直射的，於是假如我們站在 T 那兒，我們就正在我們頭頂上接受牠們。所以，這一個地點的熱度最強。我們所說關於 T 點的，對於經過那一點的整個的圓圈也一樣，因為在這個圓圈上的每一點都要在 24 小時以內到達 T 點在正午時對着太陽的地位。這個圓圈叫做『北回歸線』，也可以下這樣的定義：就是一個圓圈，牠上面所有各點，在 6 月 21 號中午時，是在垂直的太陽之下，這個圓圈就叫『北回歸線』。牠離赤道是 23 度半，和極圈距離最近的極是一樣的遠，和地軸所傾斜的是一樣的多。

在那一天裏，地球表面上再沒有別的地方是在直射陽光下的，因為沒有一個區域能把達到牠的陽光延長出去，經過地心的。牠們所受的都是斜的陽光，離這根回歸線越遠的地點，或在南，或在北，所受的光也越偏斜。我們能小心的在這個圖上證明出來。因此，在這條回歸線兩邊的地方，溫度是逐漸減低下去。法蘭西位在北極圈和北回歸線的中間，差不多是在正中間的地方，所以太陽光從來沒有和牠垂直過，不過在 6 月 22 日這天，太陽比一年中其他的時候要更近於頭頂（在中國也是這樣）。所以，那天正午的時候，我們必得把頭擡得高高的在天空中看牠。

15. 六個月過去後，到了十二月底，我們這兒是冬季了。一

切東西都改變了啊！在正午時我們看太陽，不必高高的在天空中望牠了，祇要向下面看一些就行了。那時牠是那麼無力，那麼不熱！怎麼弄的？牠是離地球更遠了嗎？是牠的火焰減弱了嗎？也不是這個也不是那個。太陽這個爐子的火焰並沒有衰弱下去，還是和以前那樣活動，放射出同量的光與熱。牠也沒有更遠。而且相反的，牠更近，因為地球在這個時期正走過牠的軌道上所謂的近日點地方。假如牠是沒力的照耀，射出來的光又不熱，那不過是由於牠的光更傾斜的射着，和晝間縮短的原故。你會留意過白晝是怎樣短嗎？太陽在早上八點鐘出來，下午四點鐘就下去了。意思就是說晝間是八小時，夜間是 16 小時，和我們在 6 月裏的相反。再往北方去，那兒的夜間就是 18 小時，20 小時，22 小時，白晝也各為 6 小時，4 小時，或 2 小時。在北極鄰近的地帶，太陽就完全看不見了，中午時和中夜時都是同樣的黑暗。

假如我們看了第六十九圖，這個原因就是完全解明了。這個圖代表地球在 12 月 23 日所在的地位，就是當牠在第六十七圖 C 點



第六十九圖

的地位時。地軸仍是傾斜的，而且還是向同一方向傾斜，傾斜

的度數也還是一樣。這個巨大的旅行，在牠的軌道上走了一半了，還沒有改變軸的方向。但是陽光現在卻射到和牠以前成相反的地方了，因為地球現在在軌道的另一極端，在太陽的另一邊了。這個無需再解釋的。我們立刻又看出，從北極到北極圈那兒的黑夜是連續不斷的；北半球晝間比夜間短，越遠在北方的國家，晝間就越短。我們還看出，赤道的地方，晝夜還是保持一樣的長短，南半球的晝間比夜間長，最後從南極圈到南極就沒有黑夜了。關於太陽的光呢，我們看出牠是垂直射到S點的，凡經過S點的那個圓圈上所有各點，在24小時以內要被太陽光垂直的照射一次，但是在那個圓圈的上下兩方，太陽是斜射的。在12月23日接受垂直射來的陽光的圓圈，就叫做『南回歸線』。和前面的北回歸線一樣，距離赤道是 $23\frac{1}{2}$ 度。總之：6月22日北半球的晝間最長最熱，南半球的晝間最短而最寒冷。12月23日相反：南半球晝間最長和最熱，北半球晝間最短最寒冷。

16. 地球從牠的軌道的A點往前走到相對的C點(第六十七圖)，再從C點回到A點，牠要經過介在軌道中所有的地位的。於是在牠上面的明暗分界線，也就逐漸的由遠離兩極而趨向兩極，使得白晝時間規則的增減，而且使地球上每一點受着陽光的斜射和直射，是有規則的變更。在9月24日這天，地球走

到第六十七圖的 B 點。在那個地位，地球是赤道上接受直射來的陽光。因此明暗分界線正正的通過兩極，那就是說整個地球上的晝夜均等，都是 12 小時。當地球在 3 月 21 日走到牠軌道的 D 點時（第六十七圖），也有同樣的現象。3 月 21 和 9 月 24 這兩天各稱爲春分和秋分。『分』就是說從南極到北極間所有各地的晝夜在那個時候是不分的。6 月 22 日和 12 月 23 日各稱爲夏至和冬至。『至』就是指太陽停留不前，意思說太陽逐漸的在天空中從南往北升，一直升到近於和我們成垂直的地位時，在 6 月 22 日牠就不再升了，從那天起牠又逐漸的反向南動，等到了 12 月 23 日牠又不再往南動，而又開始向我們升來了。對於太陽這種上升下降，從一個半球升向另一半球，又從另一半球下降到這一半球，差不多完全是因爲地球和地軸的偏斜而致成的現象。

17. 地球在牠整個軌道上不是以同一的速度進行的。在冬季近日點時最快，在夏季遠日點時最慢。因此四季時期的長短是不一的；冬季一定最短，夏季一定最長。這兒就是真正四季的長短：——

春..... 92.9 天

夏..... 93.6 天

秋..... 89.7 天

冬.....89 天

在這兒，我們再加一張表，表明從赤道到極的各個緯度上，晝間最長的時候是多少。

緯度	小時
0 (赤道)	12
16°44'	13
30°48'	14
41°24'	15
49°2'	16
54°31'	17
58°27'	18
61°19'	19
63°23'	20
64°50'	21
65°48'	22
66°21'	23
66°32' (極圈)	24

拿 24 小時減去以上各地的時間，你就可以得到牠們夜間的時間。北極圈以北各地，太陽至少有連着 24 小時在地平線以上，不落下去，下面的表就是指明牠們各地最長白晝的時間，

就是說太陽連續有多少時候不下山：——

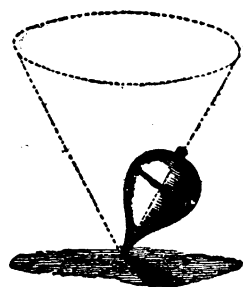
緯度 $66^{\circ}32'$ (極圈)	1 天 (24 小時)
緯度 $67^{\circ}23'$	1 月
緯度 $69^{\circ}51'$	2 月
緯度 $73^{\circ}40'$	3 月
緯度 $78^{\circ}11'$	4 月
緯度 $84^{\circ}5'$	5 月
緯度 90° (北極)	6 月

這些數目可以適用到兩個現象：在北半球裏的夏至，和在南半球裏的冬至。四季顛倒後，以上同樣的表格指明各地夜間的長短。

18. 根據太陽熱度分佈的狀況，把地球表面畫分作五個區域，叫『五帶』。第一帶叫做熱帶，由赤道把牠們隔分作南北兩部，北達北回歸線，南至南回歸線。在熱帶上，太陽中午時總在近天頂的地方。那兒，牠的光線是垂直射到地上，產生在兩回歸線之間的國家所特有的高熱度。在另一方面說，因為赤道上總是保持着晝夜平等，各為 12 小時的長度，並不如其餘地帶相差的那麼多，所以夜間的寒冷正被白天所受的熱抵消，於是四季的溫度變化得很少。在熱帶的兩邊有兩個地帶叫做『溫帶』的，一個在北半球，一個在南半球。牠們的一邊有回歸線作

界，和熱帶隔離，另一邊有北極圈作界，和寒帶隔離。在溫帶的居民從來沒有當頂的太陽。在每一季裏太陽光祇是斜射在地面上，不過在冬季比在夏季更爲傾斜。結果使得這裏的溫度比熱帶的較低。在每個極圈以內，一直到極爲止，是最後的兩個地帶，叫做寒帶。在那兒陽光的傾斜和晝夜的不均，都比別的地方更利害。夏季裏溫度祇增高了一點，冬季裏是特別的寒冷。

19. 我們已經說過，地軸總是和牠自己保持在平行的地位裏的。但是嚴格說來，這並不對。因爲地球不是一個完全圓形的，於是便遭受了一個極度緩慢的成圓錐形的旋轉。大家都看過抽陀螺的把戲吧，抽陀螺就是地球這種擺動的一個例子。當牠經過適當的投擲出去時，牠就在地面上跑，在一種軌道上轉那個運動就像地球繞太陽的運行。當陀螺繞着牠自己的尖端上旋轉時，就是等於地球在牠的軸上自轉。最後，當牠快要停止時，牠就不再筆直的轉了，而是傾斜的轉，牠上面的頂端就畫了一個多少寬的圓圈（第七十圖）。同樣，地球也要被迫繞着牠的中心作一個圓錐形的旋轉。牠那軸的兩極端，延長到天空上，在天空中沿着一個圓圈變動地位。但是那個多麼的慢呀！



第七十圖

畫這麼一圈，祇這一圈就得 26,000 年！從這個事實上你可以知道，雖然牠有如此一個擺動的運動，但是地球在一年的運行裏面，我們還可以把地軸當作和軸自己平行的，並沒有可以覺到的錯誤。然而把這種每年的相差，經過幾百年積下來，到最後，由天極的變動，也要令我們感到地球擺動的可驚呢。我們已經稱呼近於天極的星叫極星。現在的北極星是小熊星座的尾巴尖。當地軸在 26,000 年裏畫牠的圓圈時，在天空上牠就要遇着別的星，於是極星就要改變了。那是這樣一個遙遠的時期；當埃及人正在建造他們的金字塔時，北極星是天龍星座的第一星（中名叫少尉的）。以後地軸逐漸的離去那個星座而經過小熊星座。牠在 250 年內還要繼續去接近現在的北極星，一直到離牠祇有半度時為止。以後牠又離開現在的北極星，而繼續依次去拜訪天空中另外的區域。12,000 年內，在我們夏天天空中最美麗的織女星（天琴座的第一星）要做我們的北極星了。

第十七課 曆書

4

1. ——月曆。1. ——含糊的埃及年和牠的不便。1. ——狼星週期。2. ——儒略氏的改正。2. ——尋求閏年的方法。3. ——紛亂年。3. ——縮短的二月。3. ——羅馬古曆。3. ——算學的錯誤和致祭鳥。4. ——格里氏的改正。4. ——世紀年閏年的方法。4. ——俄羅斯和希臘的曆書。5. ——月份。5. ——一些奇論。6. ——手的曆法。7. ——星期七日的名稱，迷信的錯誤。8. ——固定的和不固定的假日。8. ——怎樣決定復活節。9. ——一年的第一天。9. ——羅馬建國紀元，基督紀元，回教紀元。

1. 西方稱爲月曆是 almanack，是從東方傳去的，almanack 的意思就是月亮。從前，時日是根據月球的運動來計算的。根據月球位相的變化，和牠那規則的週期，拿牠來作畫分時日的主要基礎，是不會失敗的。從前的太陰曆還有一件事留給我們的；這就是『月』，牠的長大約是一個月球的公轉週期的長。但是給我們白天和四季的不是月球；使四季規則變化的不是月球。根據太陽的行動所走的曆書，那種莫大的益處是早

先就知道的。據說埃及人民是第一個運用這個適當的思想的；但是，或許是因為知識不夠的原因，所以他們不幸就以 365 天的固定日數作為一年。現在，地球要把牠的軌道完全走完一週，得需 365 日 5 小時，48 分，50 秒平均時。因此，埃及年太短了，短了一天的四分之一。長此以往，這種不一致將產生嚴重的不便。讓我擇定一年裏一個顯著的時期來說，比方春分吧，假設牠第一次是在 3 月 21 日來。因為所採用的年日比真正的年日，一年要短少一天的四分之一，即 6 小時，於是四年以後，當再輪到 3 月 21 日的時候，地球還沒有達到牠那軌道上的春分點，要遲一天，在曆書上的 3 月 22 日纔達到。到了八年以後，牠就在 3 月 23 日纔到春分點，12 年以後就在 3 月 24 日，16 年以後就在 3 月 25 日。於是每四年的真正春季開始時，在日曆上要延遲一天。這樣一來，因為每年所生的延遲，於是以後的春季就輪流在三月四月五月六月等等月開始了，季候就逐漸的遠離合理的年月。有時候冬季會在七月八月裏光臨，而十二月和正月卻是大熱。我們在田野間的收穫工作再也不能按定期舉行了，葡萄再也不能按定期採取了。霜光也不按着季節出現了，然而在曆書上的降霜時節卻正是一片綠油油的大地。曆書上宣告了季候寒冷，農忙中止的時候到了，而天空的真正季節卻是宣告植物茂盛的生長，正當農忙和天氣暖熱的時候。這

種古代以 365 天為一年的埃及年，就叫含糊年，或遊移年，因為牠使季候是一月一月的遊移不定。在 365 的 4 倍即 1,460 個遊移年終了時，曆書上的每一天都經過所有的季候，時日的計算和地球的運動又從新符合了。但是以後的時日錯亂又開始了。古人稱這 1,460 個遊移年的週期叫天狼週期（即天狼年 Sothiac Period）

2. 由於無知識和迷信，結果使曆書和實際相差太大。應當秋季在羅馬舉行的秋節卻弄到春天舉行，應當在春季舉行的收穫節，卻弄到嚴冬纔舉行。一直等到耶穌紀元前 50 年時，儒略·凱撒(Julius Caesar)纔把這種紛亂的矛盾告一結束。他從新把一年是 365 日將近四分之一日的真正時間加到曆書上。可是那個四分之一日又是可麻煩的東西。要拿牠加到年曆即民用曆上去嗎？但是用了以後，假如那個年曆的某一年是在一月一日的中夜開始的，第二年就在上午 6 點鐘開始，第三年就在中午，第四年就在下午 6 時開始。第五年又輪到中夜開始。凱撒的賢明的頭腦不能允許這種時間開始的變化。因此他就把整數 365 天算作一年，但他命定每一個第四年要加一天，以彌補漏去的零頭，再和太陽重新一致。這種改良叫做儒略氏的改正，因為創訂者是儒略·凱撒。

根據儒略氏的改正，365 日為一平年，每連續三個平年，

到第四年就是 366 日，這一年叫閏年。然後，另外的週期又開始，也是由三個 365 日的平年和一個 366 日的閏年組成的。現在，在這四個連續的數目中，有三年是不能拿四除盡的，祇有第四年是可以的。因此這是一個尋求閏年即 366 日一年的簡便方法。假如年後面的兩個數目字是可以拿四除盡的，那麼這一年就是閏年；否則就不是。於是 1924 年，1928 年，1932 年，1936 年，等等年就是閏年，而 1929 年，1931 年，1934 年，等等年就是平年。根據這條定則，如 1800 年，1900 年，2000 年，3000 年，等等世紀年，也都是閏年。但是等一會我們就看出在儒略以後，有些世紀年是和這樣定律違背的。

3. 在安排年曆時，儒略·凱撒要顧及過去的錯誤，同時也要顧及將來的錯誤。他爲要糾正已經遭受了的錯亂，在他改良的那一年裏，強迫施行 14 個月，有 445 天。那個年因爲特別長，把已經過去的時間空缺彌補起來了，使日期恢復到真正的地位。那一年叫做『混亂年』。相當羅馬建國後 708 年，耶穌紀元前 46 年。最後，爲將來打算呢，他就在每四年中加一天，這是我們已經說過的。因爲有一些原因，這些原因讓我們現在看去真笨得好笑，羅馬人在他們的曆書中有一個不幸裁短的月份，那就是最短的二月。固定 28 天長。儒略·凱撒，他可毫不遲疑的強令施用增加了兩個月的混亂年，重新把年代的次序

規定，可是他卻不敢攻擊一般人民的私見，去修改舊時二月的 28 天。也許是他因為怕得着汙瀆了神明的罪。不過他卻把閏年所加的一天放在二月裏。每個第四年的這個不幸的月份多加一天，成爲 29 天，但是常年中仍保持 28 天。這是用斷然的手段造成的。

羅馬人把每月的開始叫做朔日 (Calends)，英文字當曆書講的 Calendar 是從這字變來的。他們拿下月朔日前幾天來指明這個月末尾的幾天。於是，比方說，他們稱呼二月的末尾幾天是三月朔日前第六天，第五天，第四天，等等。就是在閏年的時候，要把二月加長一天，也沒有觸犯二月就是要 28 天的慣例，那麼怎樣加法的呢？把朔日前第六天，重複一次，這樣一來，於是三月朔日前第六天外，還有一個第二個『三月朔日前第六天』。那樣重複以後，二月就恢復了牠的平常次序，根據規定的俗例，二月還是第 28 天結束。於是形式的問題解決了。英文裏面有 366 天的那個閏年，叫做 bissextile，就是從 bis sextus 來的，bis 是第二，sextus 是第六的意思。雖然一直到現在，二月仍是比別的月短，和古時的一樣，但是至少是能承認那添進去的一天是二月的。因為連着三年的時期，二月都是 28 天，而在第四年卻是 29 天了。不過如今 bissextile 這個字還留傳在沒有常識的人中。

古代羅馬教王接續着凱撒留心年代的改革，但他們造了一個不幸的錯誤，使每三年有一次閏年。這些嚴肅的人們，他們那些從烏鴉的鬪爭和用來致祭的鳥禽的食慾看來，預言羅馬帝國的壽命的人們，自從發現 29 天一個月的嚴重困難以後，他們並不明白 $1/4$ 必得重複四次纔是 1。這個錯誤一直懸了 36 年。到後來還是奧古斯都 (Augustus) 把這施用錯誤的閏年除去，纔改正過來。

4. 凱撒規定一年的時期是太長了。地球並不要 365 年 6 小時纔回到軌道上的同一點。祇要 365 天 5 小時，48 分，50 秒。相差 11 分鐘，因此，儒略曆在 128 年裏比真正的時日要少一日。當第 128 年最後一天的曆書剛完時，實際上第 129 年的第一天已經過了。到了格列高里八世時把時日又重新安排一下，對於這些時日的改正是他的功勞。當他改正儒略曆所欠缺的諭旨公佈時，已經有十天不合了。因為一年所取的時間過長，錯過的日子沒有改正，於是格列高里八世命令把 1583 年 10 月 5 日要稱作 10 月 15 日，因為算到年底為止，將要超過十天了。為避免以後閏年的循環太多，又要引起糾紛起見，於是他又命定在儒略曆中凡是閏年的世紀年，每四次世紀年中祇許有一次是閏年。那個意思就是說，在舊式儒略曆中每 400 年中要禁止三天。於是採用下面的方法施行這條法令。將世紀年後

面的兩個零取消，假如餘數是可以被四除盡的，那麼這一年就有 366 日，否則隨便怎樣都是 365 日。因此 1600 年是一個閏年，2000 年，2400 年也都是閏年，但是 1700 年，1800 年，1900 年，2100 年都是平年。至於不是世紀年的呢，還照儒略曆的法則去求閏年（見前）。這種改革我們叫『格里改革』，牠在民用年和真正年之間，還沒有求得完全一致，因為牠們之間的關係是太紛亂了；不過他所改革成的如此一致也够切實了，在 10,000 年中不修正，祇超過所需的兩三天。因此，格列高里所修正的曆可以經過很長久不必修正。

格列高里改革的曆我們稱作『格里曆』，以前祇是在基督教的地域中通行，最後連俄羅斯和希臘也施行了，以前牠們是用儒略曆的。

5. 一年分作十二期，就是分作十二月。月球的公轉週期和這個月差不多長，這個月就是這樣發生的。每月的時期不等是根據羅馬來的，牠們在外國的古怪名稱是採自羅馬的古人名和習俗上崇拜的神名。英名正月叫 January，是十二個月的開頭一月。牠的名字是從朱那斯（Janus）轉來的。朱那斯是一個兩面神，他是主管那個月，一面注視着過去的一年，那一面注視着這新來的一年。

二月的英名是 February，據說是從 Februo 或是 Fe-

brualia 轉來的。Februo 是死神。在這個月裏要舉行贖罪節。這是我們已經說過的月份，就是使曆書和太陽從這兒開始一致的月份。

三月的英名是 March，是從古羅馬勇武善戰的建國者叫做馬爾斯（Mars）轉來的。人家以為他把一個分作十個月有 304 日的曆書，給了他的那羣盜賊夥伴。馬爾斯是戰神。到了三月二十或二十一日，地球走到軌道上的一點，那時陽光直射在赤道上面。那時就是春分，天文學上的冬季告結束，春季開始了。

四月的英名是 April，似乎是從一個拉丁文的動詞 aperire 轉來的，aperire 就是展放的意思，因為地球在那個月中展放了，就是說，新的植物在那月長出來了。

五月是 May，從傳說轉來的，要供祭馬亞（Maia），她是商神的母親。

六月 June 似乎是另外一個羅馬神叫做 Juno 的變名。那個月 21 號就是地球走到夏至點的時候。於是陽光垂直的射在我們半球的回歸線（即北回歸線）上；春季完結，夏季開始。

七月是 July，這個字的來源我們知道的更確實。羅馬將軍叫馬克安東尼（Mark Antony）的，他想起儒略·凱撒把古代羅馬曆改革得很順當，所以當他執政時，他就判定一年中的一

個月要叫做 Julius，這就是這位改革者的名字，藉以記念他。

八月是 August，拉丁名是 Augustus，是羅馬第一個皇帝奧古斯都的名字，是他改正了教皇們造成的閏年的錯誤。

奧古斯都的繼承者，把他們那些卑污的名字也放在曆書裏，但沒生效。其餘四個月的名字在古代羅馬第一代君主羅木洛斯時代是 September October November 和 December，意思就是第七，第八，第九和第十。在羅木洛斯曆書裏，這些名號都對，因為他們祇有十個月，但是在儒略曆，就是我們現在的曆書裏，那些名號就沒意思了。爲要保留 December 作一個月的名字，竟化費了幾百年的力量，結果不過是徒惹人一笑而已，December 就是現在十二月的名字。

最後我們再說：九月二十二日這天，陽光又直射在地球的赤道上。這個時候叫秋分，是夏季告終，秋季開始的時候。最後，十二月二十一日，陽光垂直射落在南回歸線上。這一天叫冬至，是秋季告終，冬季開始的時候。

6. 每月的日數不等有時候是讓人感到討厭的。有的是 31 天，有的是 30 天，二月是 28 天，有時候是 29 天。我們怎樣纔能記住那幾個月是 31 天，那幾個月是 30 天呢？有一個自然的曆書附在我們的手上，非常簡易的告訴我們怎樣去記憶。把你的左手拳頭合緊。拳頭上有四個指節突露出來，每個指節之間

有低陷的地方隔離着。拿右手的食指輪流放在每個指節和指節中低陷的地方，先從最近姆指的食指骨節起，每次一處就把月份的名稱依次說出來，一月，二月，三月，等等。於是一月在食指骨節，二月在食指骨節和中指骨節之間的低陷地方，三月在中指骨節，如此類推。等到第四個骨節（即小指骨頭）指完時，再從食指骨節起，一面指一面接着前面的叫，於是八月又在食指骨節上。這樣，凡是你所指的月份在骨節上的都是 31 天，在低陷地方的都是 30 天，指在第一個低陷地方的二月例外，閏年牠是 29 天，平年有 28 天。

7. 月又平分作星期。平年有 52 星期零一天。因為從前的原故，所以日曆上仍舊記着人類過去的雜事以示不忘。一星期中七天的名字差不多都是記着要崇拜什麼偶像，要崇拜什麼偶像。其實，偶像崇拜者已經把那一天要祭拜的天體來規定作那一天的名字了。西洋仍舊繼承着拿星的名字來作星期七日的名字了。所以星期一叫月曜日 (Monday)，Monday 就是 Moon day，星期日叫日曜日 (Sunday)，是供奉太陽的日子（陶按：我們爲什麼不稱作星期七而稱星期日，還是這個原故），星期六叫土曜日 (Saturday)，就是 Saturn day，Saturn 是土星，Saturday 就是供奉土星日。星期二是 Tuesday，星期三 is Wednesday，星期四是 Thursday，星期五是 Friday，這

些名字都是採自古代條頓民族的神名：Tio 是戰神；Wotan 是天空之神；Thor 是雷神；Freya 是春之神。(註)

8. 西洋宗教上的節日舉行日期是由曆書定規的。有些節日是呆板的，但有些是變動的。呆板的節日就在固定的日期舉行，如耶穌聖誕節，每年都在十二月二十五日舉行。其他宗教上的節日都根據太陽和月亮連合的運動，一年一年的在不同的時期中舉行。最奇怪的節日要算耶穌復活節，其他的節日都由牠定規。耶穌復活節是緊隨春分和望日而來，教堂裏祇要根據這兩個連着的天文事件，就可推測復活節是那一天。復活節規定在春分後第一個望日（即滿月）後的第一個星期日舉行。在這多重條件之下，即星期日，望日，和春分，其中各個都需要相當時間的間隔分別實現的，可以使復活節從三月二十二日變到四月二十五日舉行；中間有 35 天。於是一年一年下去，復活節可以在 35 個不同的時日舉行。

復活節一經確定後，其他的節日比如什麼耶穌升天節，耶穌下界日等等也就確定了，因為升天節是在復活節後第 40 天，

(註)法蘭西的星期名稱是如下面轉來的：星期二是 Mardi 是轉自火星，所以叫那天為火曜日。星期三是 Mercredi，轉自水星，所以那天叫水曜日。星期四是 Jeudi，轉自木星，所以那天叫木曜日。星期五是 Vendredi 轉自金星，所以那天叫金曜日。星期六是 Dimanche，轉自 dies domnica，即祭主日。

下界日是復活節後第 50 天。因為這些節日和復活節相隔的日數是固定的，既然復活節會差到 35 天，自然這些節日也必在 35 天的限度裏變更着。

9. 我們應當拿天文學上的顯著時期作一年的開始，比方拿春分或是冬至，那樣纔自然。但是習俗不這樣，牠總是沒有理由的。我們的一年是在一月一日開始。不過，這種習慣完全是近年來纔開始的，1563 年查利第四纔通令法蘭西採用。查利一世的時代，習俗還是在耶穌聖誕節作一年的開始，但是在第十二和第十三世紀時，一年的第一天就是復活節。

紀元這個字是用來表示從那一年算起的時代。羅馬人從他們的立國日起算年代，大約是在公元前 753 年。因此，當我們提到羅馬建國的時期，我們必得在我們所在的年代裏加上 753 年。在耶穌教流行的國度裏的年代是從耶穌降生的時日計算，那叫耶穌基督紀元。這個時日是假設的。回教的紀元相當於耶穌紀元後 622 年。回教的紀元英文名是 Hegira，意思就是飛，指謨罕莫德從麥加飛到麥那。太陰曆是每月 29 天和 30 天輪迭的，回教就是用太陰曆，假如不非常複雜的計算，是不能允許我們把我們的日子轉變到以回教紀元為基礎的日子。

現在世界各國都是拿耶穌誕生為紀元，所以這個紀元又叫公元。

第十八課 太陽系

- 1.——行星和衛星。1.——行星這字的由來。1.——恆星。2.——行星的分佈。3.——行星的距離。3.——載着我們走的四輪車，以每小時 110,000 仟米的速度走。3.——幾何學上最大的基線。4.——波特定律。5.——海王星的距離和希臘詩人的鐵砧。6.——行星的體積。6.——太陽領導行星的威權。7.——太陽系的想像圖。7.——磨刀石和芝蔴子。8.——有衛星的行星是怎樣稱的。8.——全體行星和太陽的質量。9.——行星的密度。9.——在水上浮動的球。10.——行星年和行星日。

1. 除了地球以外，還有各種不同的球體繞着這天空的巨體太陽而行，牠們都被太陽的引力使在軌道上永久的行着。有些比地球大，有些比地球小；有些離地球遠，有些離地球近。牠們本身都是黑暗無光；牠們所受到的光和熱的食糧都和地球一樣，是接受來自太陽的。牠們叫做行星。有幾個行星還有種附屬於牠們而不太重要的天體繞着牠們轉，好像月球之繞着地球轉，這種繞着行星走的星，叫做衛星。太陽和牠的從者，行

星和衛星，便組成所謂的『太陽系』。

行星這個字的意思就是指某種移動的天體。實際上，恆星是保持他們彼此之間的地位不變的，好像牠們是固定在一個球形的圓頂上，而這個圓頂是整個移動的，行星因為繞着太陽走，所以我們可以說牠們是在天空中走動的，從我們這兒看去，牠們在星空中一個地方一個地方的走去。今天，我們在某個星座裏發現了一顆行星，明天因為牠的特有行動就走到別的星座裏去了。所以我們可以看那顆星是不是在別的星中走動，就知道牠是不是行星。別的那些星我們可以稱呼為恆星（就是固定不動的星）。

衛星這個字使我們注意這些小天體叫做的附屬工作。牠的意思就是一個護衛者或侍者，就是指這個小天體是牠所伴行的星的一個侍衛者。牠把陽光反射給行星，牠又接收自行星反射來的陽光。我們說地球是一個行星，月亮是一個衛星，這樣行星和衛星的定義就確定了。

2. 天文學家到現在已經知道的行星數目差不多有二千個。下面是牠們的名字，以牠們和太陽的距離近遠為序。

水星

金星

地球

火星

小行星

木星

土星

海王星

天王星

冥王星

每一個行星繞着太陽所行的軌道，和地球的一樣，都是橢圓形，和圓相差得很少，所有這些橢圓形的軌道有一個共同的焦點，被太陽佔據着。但是另外那個焦點，每個行星的都不同了，橢圓的寬度也不一樣，各個行星的軌道從不能彼此交叉着或穿過去，但小行星的軌道例外。和地球軌道比較起來，牠們的軌道是各方面都有，有的高過地球軌道，有的低過地球軌道，有的向牠右面或左面傾斜，但是所有的差不多都在一個平面上，好像在一張紙上畫的一些同心圓，這個共同的平面差不多就是太陽赤道的延長面。行星繞着太陽行走的方向全都相同，我已經告訴過你，一個觀察者立在太陽軸上，頭向着北極，他就看出這顆星是從他的左面向右面轉。他看出這些行星繞着太陽轉的方向也是一樣，牠們自轉的方向也是一樣，就是衛星也都以同樣的方向繞着牠們的行星轉。

3. 關於行星第一個要解決的問題，就是牠們的距離。這兒又有個困難發生了，和測量太陽那樣遙遠的距離時所生的困難一樣。因為拿地球來做這樣測量所需的基線是太小了。不過，天文學家用了一個非常適當的方法，操勝了這個困難。當我們去求一個不得近身的物體的距離時，所需要的是什麼？要有一

根適當長度的基線和兩個角。但是現在，我們就是從地球的一極到那一極，也不能得到一根長度足夠的基線。因為這樣，於是我們必得用這部以一小時 108,000 仟米的速度，一點鐘一點鐘的帶着我們跑的四輪馬車。我們必得用地球的運行來測量。現在這一刻間我們在空間裏的某個地位。一小時，兩小時，或三小時後，我們就離開那一點 108,000 仟米的一倍，兩倍或三倍遠了。這樣一定可以給我們一根驚人的基線。基線增加到非常巨大，而我們是一面研究我們的東西，一面跟着走。天文學家今天在他的天文臺頂上觀察他正研究的行星。由那個觀察他得了第一個角。第二天在同一點鐘內再做一個觀察，他就得了第二個角。這個三角形的基線就是 108,000 仟米的 24 倍。走過這個距離，測量這個距離，是地球的事。不過，雖然這個基線長度是地球直徑的 200 倍了，假如還不夠長時，我們就再等幾天又何妨呢？天文學家等六個月，再做第二次觀察。這樣剛好使得第一個觀察是在地球軌道直徑的一端，第二個觀察在那一端。這根基線就是我們距太陽的雙倍距離即 299,000,000 仟米。幾何學要測量天體時，可以在那根極長的線上建立牠的三角形。不過測量行星還不需要這麼長。祇要幾天就足夠使地球所走的距離和行星的距離相比了。

上面的方法祇是大略的說說，沒有說詳細，天文學用這個

方法測量各個行星和地球的距離，已經成功了，所以測量牠們和太陽的距離也告成功了。我們不必去死記這樣求出來的數目字，有個非常便於記憶的定律，可使我們求出行星距離的系統。以零作底，再放了。然後把這個數目加倍起來，再繼續把結果都加倍起來。這樣你就得了一個系統：——

0 3 6 12 24 48 96 192 384

現在把那個系統中每項加四，你就得了下面的數目：——

4 7 10 16 28 52 100 196 388

最後把這些數目依次放在和太陽的距離成先後次序的行星下：——

水星.....	4
金星.....	7
地球.....	10
火星.....	16
小行星.....	28
木星.....	52
土星.....	100
天王星.....	196
海王星.....	388

這張表告訴我們，假如地球和太陽的距離是以 10 作代表

時，那麼金星和太陽的距離就是 7，火星的距離就是 16，土星的距離就是 100，等等。假如你要把這些彼此有關係的數值變作仟米(公里)，你必得記住地球和太陽的距離是 149,500,000 仟米。根據這個比例，比方拿木星的距離來說，牠是 149,500,000 的十分之一（即 14,950,000）的 52 倍，即 777,000,000 仟米。

4. 這條定律便是叫『波特定律』(Bode's Law)的。定律這個字在這兒用得不大適當，因為好像牠指明真是應用去推算行星距離的比數，其實那不過是幫助我們記憶的一種巧合罷了。當我們運用這條所謂的定律時，我們必得記住上面祇是近似實際的數目，不過對我們也夠了。所以根據波特定律，木星和太陽距離是 777 兆仟米，然而實際上卻是 777,800,000 仟米，小行星羣的距離是 28，是一個平均的數值，因為所有小行星的距離和這個數目都有出入的。最後，這定律上的末項是錯誤了。假如地球的距離是 10，海王星的距離就不是 388，而祇是 300。而且定律上未列入新發現的冥王星，要是算進去將更錯誤呢。

5. 對於這個最後的距離，讓我們再討論一會兒。冥王星是在我們太陽系的邊界上。牠是被陽光所照耀的最遠的一個行星。在牠的極大的軌道裏包圍了所有其他行星的軌道。要是真

去一步一步測量牠的距離，得把我們和太陽的 149,500,000 千米的距離，一次接一次的，要接 39 個，纔能量到牠那兒。那是不是宇宙的邊界呢？不是。因為遠在那兒以外，還有無數其他的太陽照耀的地方，每一個星差不多都是一個和我們一樣的行星系的中心。沒有一個東西的距離，能和牠們的比較。這些就是恆星。因此冥王星的軌道祇包含了天空的一小角，祇是一個點，然而我們的想像力還不能描摹出牠那令人驚駭的大小呢。古代希臘有個很有名的詩人叫希西阿 (Hesiod) 的，他要拿他所想像的宇宙定一個正確的概念，他以為沒有比下面的想像再好的了。他說，假如有一塊大鐵砧從天空之頂落下來，要十天纔達到地球呢。詩上的天空和由科學啓示出的天空比起來，那是多麼渺小啊！讓我們問問自己，希西阿 的鐵砧從海王星落到太陽要多少時候。根據計算我們求出要三十年呢！從冥王星差不多要 35 年。祇要拿這個下落比較，就不會忘了僅僅我們所佔有的天空的一個小角落。祇這麼個小角落就那麼大。

6. 拿行星的距離和牠們的視直徑，用我在前面已說過的方法，牠們的體積就很容易的推求出來。下表是以地球作單位的各行星的體積：——

水星.....	$\frac{1}{17}$
---------	----------------

金星	$\frac{1}{11}$
地球	1
火星	$\frac{1}{7}$
小行星(最大者)	$\frac{1}{2000}$
木星	1,414
土星	734
天王星	82
海王星	100
冥王星	未確定但與我們月球相似

你可以看出地球的伴侶，行星們，牠們的大小變化很大。有些是小極了的球體，極小的行星，我們要拿牠們兩千個纔抵得上地球的體積。這些就是小行星。水星也很小。假如地球是空心的話，那麼要 17 個水星纔能填滿牠。再大點的是火星，比水星大兩三倍；再就是金星，差不多和地球相等。以上幾顆行星的體積都不及我們的大，但是行星族中的巨漢，特別是木星，牠的體積可以容有 1,414 個我們那樣大的地球。地球和木星的關係就像一顆小櫻桃和一隻大橘子。

當我們提到這幾個天體——天王星，海王星，土星，和木星時，我們那拙地球在牠們面前幾乎被抹滅了，我們還得問問自己，太陽在牠們軌道上的一個焦點發出引力，如何能管住牠

們，使牠們不變的走。難道牠們總共起來的質量還沒有超過這顆統治的星嗎？難道行星們集合起來的能力不能和太陽爭勝嗎？一個很簡單的計算就告訴了我們：牠們不能的。讓我們把前表的數目一起加起來。總加一起，就連不在上面表內的衛星也加進去，總數還不到 2400。於是，拿地球作單位，所有的行星和牠們的衛星的體積總共還不到 2400，而太陽的體積呢？你總還記得是 1,400,000。因此，太陽獨個的體積就比行星族的總體積多 600 倍。在牠這個球內可以把全部行星和衛星容納着，而且不祇一個全部的行星族而是 600 個。無疑的，當然牠是主宰！土星木星從來沒有擺脫過牠的管束。

7. 爲便於想像整個的太陽系，和體會牠們的距離和體積的關係，讓我們作下列排置的假設。在一塊大而完全平的地上，中央地方放一個 $4\frac{1}{2}$ 市尺高的球。那個大得像個石磨的球就代表太陽。要代表水星，我們就要在離那個大球 58 市尺遠的地方上，放一粒很小的芝麻子。金星和地球呢，我們拿兩顆小櫻桃代表，金星放在離大球 276 市尺遠的地方，地球放在離大球 400 市尺遠的地方。一粒小豌豆代表戰神火星就夠了，把牠放在離大球 600 市尺遠的地方。那羣小行星拿一把細砂代表，在以大球爲中心，半徑平均爲 1,100 市尺的圖上，零落的撒播着。大行星木星用隻大的橘子代表，放在離太陽 2,500 市尺遠的

地方，土星用隻平常的橘子放在離太陽 4,000 市尺的地方。天王星離太陽近於 $5\frac{1}{2}$ 市里遠的地方，用顆黃梅代表，海王星離太陽約在 8 市里上，用一個桃子代表，冥王星也是一粒很小的芝蔴子，放在 $10\frac{2}{3}$ 市里上。在地球，火星，木星，土星，天王星，和海王星的旁邊，假定有一粒或幾粒小鉛丸代表行星的衛星，再假想牠們全體在不同的時間內繞着那個大球轉。這樣你就有一個很清楚的太陽系模型。現在你總該明白這些行星——桃子，橘子，櫻桃芝蔴——和太陽比起來，是多麼小啊！你還要怎麼說明嗎？

8. 一個有衛星陪伴的行星，牠的質量是用我們已經用來稱過太陽的那個方法去測定的。我們從一個衛星每秒鐘落向牠的行星的運動去計算，這和我們在月球中所做的一樣，拿所得的結果和在地球上物體普通下落比較。假如，在相等的距離上，衛星落向牠的行星比物體落向地球的快兩倍或三倍，那麼這個行星也就含有比地球多兩倍或三倍的物質。就是沒有衛星的行星，也可以稱出來，不過因為那是一步艱難的工作，所以我們不能在此地討論。

下表是各個行星的質量，其中數目以地球為單位：——

水星	$\frac{1}{13}$
金星	$\frac{9}{10}$

地球·····	1
火星·····	$\frac{1}{8}$
木星·····	318
土星·····	101
天王星·····	15
海王星·····	21
冥王星·····	(未確定)

關於介在火星和木星中間的小行星，祇知道牠們的質量很小，牠們一千多個的總數還沒有地球質量的千分之一，雖然精確的數目不知道。

太陽的體積遠勝過行星們和牠們的衛星的總體積，就是質量也是一樣。假如把上面的數目都加起來，就連衛星在內，總質量也還不到 500。在另一方面，我們已經知道太陽是地球質量的 354,936 倍。於是，假如太陽是可以放在一座天平稱的盤裏，至少我們得要行星總量的 700 倍，纔能和太陽平衡起來。

9. 拿行星們的體積和質量比比，那可是有些奇怪了。比方說，水星比地球大 1,414 倍，可是放在一起稱，祇比地球重 338 倍。另一方面說，水星雖比地球小 17 倍，但是祇比地球輕 13 倍。於是我們知道，在等體積中的木星物質比地球的輕，而水星的卻比木星的重。照下面說來，我們就很容易了解這種不同。

讓我們假設吧，和我們在另外一章中假設地球的一樣，把每個行星所有的物質完全混合起來，讓我們把混合物放進一升中去稱。我們就得了下表：——

水星·····	4.9 仟克(公斤)
金星·····	5.2 仟克
地球·····	5.5 仟克
火星·····	3.9 仟克
木星·····	1.4 仟克
土星·····	.6 仟克
天王星·····	1.3 仟克
海王星·····	1.3 仟克

於是水星，和地球金星的密度相近；火星較小些，但另外幾顆更小。土星的密度就連水的密度都沒達到，所以把牠放在水裏，牠就像個松木球浮在水面上。

10. 每個行星都以不同的週期，在牠們的軌道上繞太陽一週，離中心體太陽越遠的，週期越長。那個週期就構成那個行星的年。拿我們的日份和年份做單位，表明每個行星的年，我們就得到下面的數目：——

水星·····	88 天
金星·····	225 天

地球	1 年
火星	2 年
小行星	5 年
木星	12 年
土星	29 年
天王星	84 年
海王星	165 年
冥王星	248 年

這些數目，爲簡便起見用整數表明，告訴了我們各個行星繞太陽公轉的週期——即牠們的年的長度，有很大的相差。水星在 88 天內完畢牠的週遊，牠的一季比我們的一個月還短，祇有 22 天，而太陽系的邊境冥王星，卻要 248 年纔在牠軌道上走畢一週，所以牠的一年等於我們的 248 年，牠上面的春季或冬季相當我們 62 年之長呢。

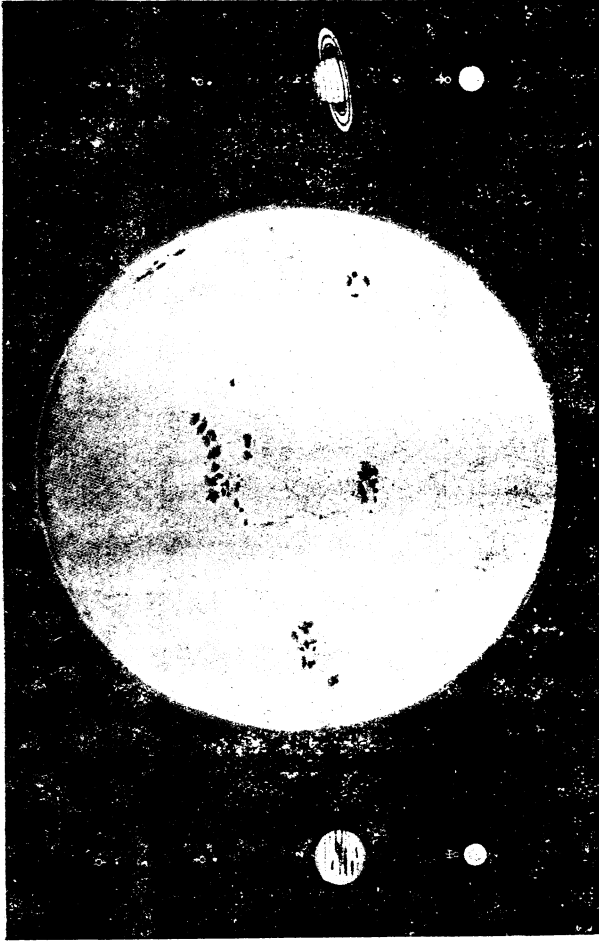
水星和金星和火星的自轉週期都沒有確定，有人說水星的一晝夜和牠公轉週期相當，是八十八天；有人說金星的自轉週期是兩三個星期。木星的體積雖然那麼大，但牠的自轉卻非常迅速。在 10 小時內，牠的所有各邊都在陽光裏轉過，因此牠的每個半球有 5 小時被陽光照耀着，有 5 小時沉入在黑暗裏。土星和木星比賽看誰自轉快，牠在 $10\frac{1}{2}$ 小時內自轉一週。至於

天王星和海王星呢，因為牠們的距離太遠了，所以他們的自轉週期還沒有確定，天王星大約是 10 時 45 分，海王星是 15 時 40 分。冥王星太遠，不知道牠自轉週期是多長。

第十九課 行星

1. ——行星的分類。2. ——內行星和牠們的位相。3. ——外行星沒有位相。4. ——水星，水星上所見的太陽，水星的大氣，水星的四季。5. ——啓明之星，金星；牠的大氣。6. ——地軸的傾斜和季候的影響。7. ——金星的四季。8. ——地球走錯路和生命條件的變更。8. ——地軸穩定不變。9. ——火星；牠的色澤，牠的洲洋。10. ——火星的極冠。10. ——從空間中所見的地球極地的雪。11. ——火星極地的雪。12. ——火星上所見的太陽。12. ——火星被照耀的大氣。12. ——極類似地球的行星。

1. 依照行星在太陽系的地位，我們把牠們分作兩類；一類叫做內行星或近行星；一類叫外行星或叫遠行星。內行星含有水星和金星。因為牠們的軌道都在地球軌道的裏面，所以牠們叫內行星，因為牠們比我們更近太陽，所以叫近行星，牠們都被太陽吸引着轉，和地球上的物體被地心吸引一樣。從這一點看來，太陽是太陽系中最內點，正和地球的中心是我們這個地球中最內點一樣，但冥王星或是再遠的行星就是太陽系的最



第十三圖 太陽和行星

☉ 太陽

(月球

♁ 地球

♀ 金星

♿ 水星

♄ 海王星

♃ 天王星

♃ 木星

♃ 火星

外點。第二類行星——火星，小行星，木星，土星，天王星，海王星，和冥王星——，因為牠們的軌道在地球軌道以外，所以叫外行星，因為牠們比我們更遠太陽，所以又叫遠行星。

我們可以再加一類，從更普通的關係來熟識行星。我們可以分別為三類。第一類包括水星，金星，地球，火星，和冥王星，牠們的體積都差不多大，兩極地方稍為扁平，而且是分量重的物質所構成。牠們之中，除去地球和火星以外都沒有衛星。第二類包括小行星，牠們的數目特別多，體積特別小，質量特別輕，軌道在其他行星軌道的共同平面上交叉着，而且相差很大。木星，土星，天王星，和海王星，包括在第三類——大行星類。在這類裏的，體積都很巨大，但密度卻很小，兩極更扁平，衛星多。木星有 9 個，土星有 10 個，牠還有一個聚集成一個環形的衛星，天王星有四個，海王星有一個。

2. 內行星和外行星的差別是很重要的。內行星表現有和月球相似的位相，意思就是說，依照我們觀察的時期看去，內行星是一面圓盤，或是祇有一部份可以看見，或是完全看不見，因為牠們把牠們的完全有光或祇有一部份有光的半球，或牠們那黑暗無光的半球對向我們。在另一方面，外行星看去總是圓滿無缺的，不過火星例外，偶然的在牠邊緣上稍為虧缺一點。為什麼這兩種行星之間有這些不同的表像，是因為地球所在

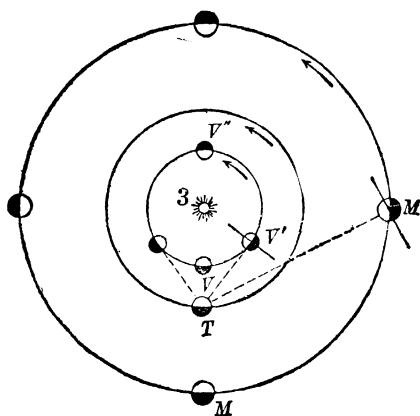
的地位不同而生的，有的時候使我們和內行星的黑暗半球對着，但總是讓我們對着外行星的照明半球。讓我們用一個圖來幫助研究吧。

S是太陽（第七十一圖），V是內行星，比方是金星吧，T是地球，M是外行星，比方是火星吧。當地球走到牠的軌道上T點時，內行星V

可在牠自己軌道上的任何一點。當牠在V

時，在太陽和我們的中間，因為把牠黑暗的半球對着我們，所以我們看不見牠。那個位相正相當於我們

的衛星在所謂新月時。



第 七 十 一 圖

假如牠是正在從太陽連到地球的這條直線上，我們就可以看見這個內行星，像個小星點子在太陽亮圓盤上走過。那就是『金星凌日』。當牠在軌道上走的時候，牠就逐漸把牠的明亮半球的一部份，成一條蛾眉似的表現給我們看，當牠走到V'時，整整把明亮半球的一半呈現給我們。這樣表現的位相就是下弦時月球的位相。最後，當牠到了V''，和太陽相對時，這個

行星就成一面完整圓形的狀態，因為牠把牠完全光明的那半球對着我們。不必說，假如牠正在太陽後面過去時，牠就被太陽那面巨大的圓盤遮住了，不過這種現象很少發生。平常這個行星都是從太陽到地球之間的直線上面一些，或下面一些過去（譯者註）。這是因為牠的軌道和地球軌道傾斜了一點的原故。再過去V''，這個行星的圓盤又虧缺了，逐漸成了一條蛾眉形，最後就不見了。

3. 外行星可是很不相同了。第一，一個觀察者立在太陽的上面，當然，因為那兒是行星照耀的中心，所以他立刻可以看見所有的行星被照耀的半球，但是因為在牠的四圍的光太亮了，就使得他不能看見祇有這麼一點光輝的物體。在另一方面說，那個人所見的行星總是『圓』的。由我們此地看外行星，特別是越遠的，也有類似的現象發生。我們雖沒有在太陽系的中央看牠們，但是近乎中央的一點，地球和那些行星的大距離比較，牠是很近太陽的。因為我們近乎中央的地位，所以木星，土星，海王星，等等總是把牠們向着太陽的那半球對着我們。祇要對這個圖一看，我們就知道，外行星M在牠的軌道上行走時，常把牠那光明的半球對着地球。離太陽系中央越遠的行星，

（譯者註）不過這個時候我們的肉眼還是看不見，雖然牠沒有被太陽那面圓盤遮住，但是因為我們肉眼看去，這時牠離太陽最近，牠所反射給我們的光，全都被更強的太陽光蓋沒了，所以我們看不見牠。

越完全把光明的半球對着地球。火星是我們一個很近的近鄰，雖然牠也是一顆外行星，但有時候把牠黑暗半球的一小部份給我們看，所以牠那圓盤好像殘缺了一些。但是牠從沒有成一個蛾眉形，從來沒有完全虧缺過。我們看，火星在M'地位，在地球上看到牠時，就把黑暗半球的一小部份顯給我們。

4. 水星，牠是內行星的第一個，肉眼很少看見牠，因為牠太近太陽了，祇繞着太陽走一個很狹窄的軌道。牠像一顆很鮮明的小星，光輝閃動着，有時候在太陽落山後出現一會兒，有時在太陽起山前出現一會兒，所以我們不用器具看是看不見的，除非在黃昏或黎明光中，牠低在地平線上時還行。牠的位相和月亮的一樣。某日牠像一片薄的蛾眉，眉的兩尖反背太陽，因為牠的光是由太陽來的；再過幾天牠就成一個半面圓盤的樣子，再下去，就是一面差不多完整無缺的圓盤。要看這些不同的行星位相，望遠鏡是絕對不可少的。水星距太陽比地球要近 $2\frac{1}{2}$ 倍。因此在水星上所看見的太陽一定比地球上所見的直徑要大 $2\frac{1}{2}$ 倍，那面視圓盤必得大六七倍。你假想有7個像在我們頭頂上發光的太陽，你就確實的知道太陽在水星上所產生的結果。在那兒的光輝比這兒亮7倍，也比這兒熱7倍。假如在水星四周有什麼大氣層存在的話，那麼可以改變這種極熱的溫度，和這種刺瞎人的光亮。我們都知道，一塊厚的雲層

居在太陽和我們中間，把太陽的光線減少了好些。但是真不幸水星上一直到現在為止，用種種方法都沒有發現牠上面有大氣。假如有的話也是非常的稀薄。從前的天文學家說水星上有大氣，有雲，現在我們知道是靠不住的。

無論怎樣，水星必在極熱與極亮的情形之下過着，牠必有我們在地球上所不能想到的四季。88天水星繞太陽一週，因此，牠的一年就是88天。所以每季祇有22天。不過，還有個問題，就是牠到底有沒有四季的變化。我們知道地球之所以有四季的變化完全是因為地軸和牠的軌道傾斜，還有自轉的原故。但是水星的軸和牠的軌道傾斜不傾斜，現在還不知道。關於水星的自轉，現在也沒有確定。假如是八十八天自轉一週的話，那麼牠就有一半球永遠的對着太陽，永遠是夏天，有一半球永遠背着太陽，永遠是冬天。因為牠的公轉周期也是八十八天，所以會如此。水星上面到底有些什麼東西，我們現在還不知道。有沒有山，都不知道。以前也有人說有山，可是現在我們找不着證據。

5. 那顆在太陽起山前和太陽落山後，發出鮮艷白光的美麗的星，就是金星。(註)牠是非常的明亮，甚至於在白天裏也常

(註)這個「星」字在這兒用得不十分恰當，因為「星」是指自己發光照耀的天體而言的，不是指那些祇借陽光而發光的行星言的。

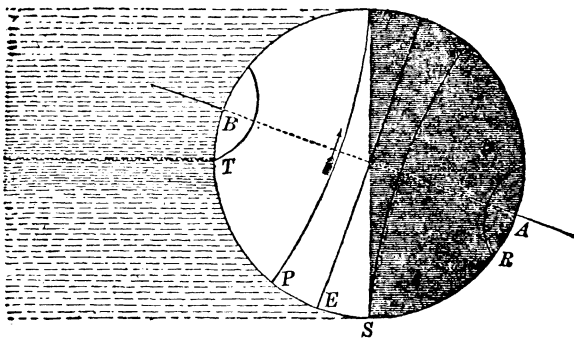
看見牠。當牠在東方出現時，通常叫做曉星，即中國詩經上說的啓明星；當牠在西方出現時，通常叫做晚星，即詩經上說的長庚星。西洋古人當牠在早晨出現時，稱牠作黎明星，當牠在黃昏出現時，稱牠作黃昏星。他們也稱牠作牧羊者的星。這些各種不同的名稱，表明這顆明亮的星是一向深入於一般人民的腦中，就是最不注意天文的人都知道這顆星。金星的位相是非常清楚的，然而用肉眼觀察還不夠。當牠近於在我們和太陽之間，在近於V（第七十一圖）的地位時，牠成一條蛾眉形。以後牠就放出最大的光輝，顯露牠的最大面積，雖然那面盤子也祇有一部份是可以看見的。當牠到了V''和太陽相對時（七十一圖），牠就把那完全照耀的半球向着我們，然而那時我們看見牠很小，光也不亮，因為那時我們和牠的距離增加得很大了。在V時金星距離我們是40 600,000 仟米，在V''時是257,000 000 仟米。

金星表面上，有很濃厚的大氣層，因為在牠上面的明暗分界線很不顯明，所以我們知道牠也和我們一樣，有朦朧影。1934 年的天文學上有件重大的發現，就是確定金星上大氣的成分。你以為金星的大氣會和我們的一樣嗎？牠們有氧氣？有氮氣？不。有非常大量的碳酸氣。比我們地球大氣中的碳酸氣豐富一萬倍。那就是用分光鏡定出來的。因為有很濃厚的大氣，

所以牠表面上有些什麼東西，我們不知道。

6. 在討論地球的一課裏，你已經知道我們地球的軸和牠的軌道平面傾斜，於是就產生了四季和晝夜的不等。假如那個傾斜更大，四季就完全改變了牠們的性質，晝夜的交差也完全改變了。金星怎麼樣呢？牠的軸和軌道傾斜多少，到現在還沒有確定，我們且根據前人所說的來個假設吧。

從前的天文學家測定金星的軸和牠的軌道平面成一個18度的角，地球和軌道平面是成67度的角。現在假定就是如此，看有何現象。拿七十二圖和六十九圖比較一下，七十二圖表明金星在牠的夏至點時的情形。六十九圖是表明地球的，這樣你就看出，牠們兩個行星在陽光中的情形是多麼不同啊。爲了解金星軸這種最大傾斜所生的重大結果起見，讓我們在心



第 七 十 二 圖

裏使第七十二圖的球，在 AB 的軸上依箭頭所示的方向自轉。自轉週期也假定是 24 小時。顯然的，在緯圈 P 上的所有各點，當金星在 24 小時完畢自轉一週內，牠們都沒有離開過被陽光照耀的區域。於是，從北極 B 到緯圈 P，各地所見的太陽都沒有下山，在那兒就沒有夜。拿地球的名詞，來稱呼緯圈 P 是金星的北極圈，因為當金星在夏至時，在那個圈以內各地沒有夜。我們也看出，陽光是直射在近北極的緯圈 T 上。因此那個緯圈是這個行星的北回歸線。所以我們知道，金星和地球比起來，牠的極圈和回歸線是顛倒的了。我們的回歸線在近赤道的地帶，我們的極圈在近極的地方。這樣一顛倒，便產生和我們的四季非常不同的金星四季。實際上，當夏至時，地球的北部區域晝長，祇有晝而無夜，但因為在那兒的陽光是斜射的，所以在那兒太陽沒有力量。金星的北部區域在那時不但晝間是連續不斷，而且陽光又是直射的，又因為牠和太陽的距離近，所以牠比我們多接收雙倍的熱與光。由這幾種情形連合起來，金星上的氣候比我們在赤道上的國家，必定更要熱。事實上我們推測出來，金星接受自太陽的光和熱也是地球的兩倍。

7. 當這個行星的北部在長久照射的太陽勢力之下時，從 A 極到 S 極圈的金星南部，就沉入長久黑暗中。因此，無疑的，牠那兒的溫度要降到我們在冬季中的極地的溫度。祇有在兩

極圈中間的狹窄的地帶，P 和 S，這一帶被赤道平分爲二，在那時牠們的晝與夜是輪造着的。其他每個地方，不是在長久的晝間，就是在長久的夜間，不是過熱就是過冷。

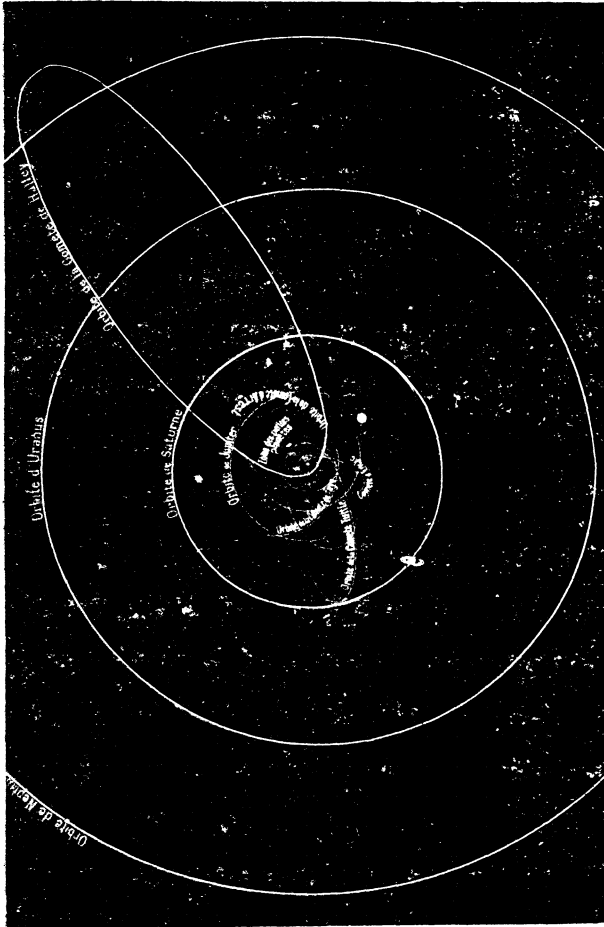
但是這個行星是在牠的軌道上運行的。慢慢的陽光就不直射在回歸線 T 上了，而直射在下面的緯圈上。到了秋分時陽光就直射在赤道上。最後，不到四個月，牠軌道的一半已經走過了，牠那一年的一半已經過了，(註) 太陽光就直射在第二個回歸線 R 上。在第七十二圖裏我們假設陽光不是從左而來，而是從右而來，因爲那時行星的位置是在牠的軌道的那一頭，你就很容易了解金星的南部晝間長天氣炎熱了，而金星北部夜間長而天氣寒冷了。

8. 總而言之，假如金星的軸果真是傾斜得很利害，而牠的自轉也是 24 小時，那麼在牠上面也沒有溫帶。極端不同的季候，炎熱與冰寒每四個月輪流從一極變到那一極。假如這樣一件事出現在地球上，那麼要在適當季候中生存的動物和植物的末日就來了，黑暗和嚴霜自極地來到赤道時，赤道上怕冷的生物就要死亡；而在盡量放熱的垂直陽光之下的極地生物，也要死亡了。因此地球上的人民與地軸的傾斜也有密切的關係。假如我們的地球，以一點鐘 10,800 千米的速度猛進，造成了

(註)金星的一年等於我們的 225 天。

錯誤的運動，把軸的方向改變了，那麼四季就改變，擾亂了生命的條件。但這種錯誤似乎不會發生的。爲產生四季，自然之指觸着地軸，使地球在太陽前面傾斜，使牠的軸永遠固定在一個和有生命的東西諧調的範圍裏，不使牠太傾斜。這兒，我還要提醒你，前面所說關於金星的軸和軌道傾斜以及牠的自轉都是沒有根據的，不過藉此可以知道地軸的傾斜和我們的關係。

9. 依照行星和太陽距離的次序，地球是金星下面的一個。但在別的地方我們已經討論過地球，所以現在我們跳過牠，而來說說第一個外行星，火星。火星由牠那生動的紅色，在羣星中間是令我們注目的一顆亮星。牠要我們地球的 687 天纔走畢牠的軌道一週。當地球和火星同在太陽的一邊時，火星和地球的距離是 78 兆（兆即百萬）仟米；但是當牠到了相對的那一邊，太陽在地球和火星中間時，牠和地球的距離是 377 兆仟米。因此，在不同的時候內，牠的視面積和光亮是不同的。在望遠鏡中觀察牠時，特別是當牠最近地球時，牠是天空中一個最奇怪的景物。牠的圓盤上有形式固定的大斑塊裝飾着，斑塊的外形很清楚，有些是淡紅色的，有些是一種不顯明的綠色。有人看了牠，以爲是在看了一張小的半面世界地圖，在這圖裏大洲是畫紅色的，海洋是畫綠色的。假如我們從某個鄰近的行星



第十四圖 太陽系

表明行星和幾個重要的彗星的軌道

上看地球，地球也有相似的情形。有人曾經假設過，火星紅的地方是大洲，淡綠的地方是海洋。現在，天文學家覺得紅色的地方是沙漠，綠色地方是下等植物。這些地方先在這個行星的兩邊看見，逐漸的在觀察者的眼下經過，而到東邊去，最後又在那一邊出現。同一斑點下次再回到同一邊的時期是 24 小時 37 分。因此，火星是 24 小時 37 分鐘自轉一週。這又是個和地球的相像點，地球是 24 小時自轉一週。

10. 除去上面說的這些地方外，另外在這個行星的兩極上各有一個發着鮮明白色的圓地方，和假定為沙漠的淡紅色和淡綠色分別得很顯明。這些兩極白地方的大小是定期變化的。當火星年過了一半時，相當地球北半球的熱季，牠那北極的白地方便逐漸縮小，在往前進的太陽之下向極後退。同時南極的白地帶，正在嚴冬，牠的範圍正在擴張，延到紅色與綠色的地方去。在那行星上的下半年，兩極的季候顛倒了，南半球是夏季，北半球是冬季。北方的白地帶增大，南半球的減小。這個兩極的白外套，在太陽向後退或向前進時，牠就增大或減小，這個現象能表示什麼呢？一個觀察者，他從天空裏的某一點看地球，地球兩極所見的現象絕對和前面說的相同。一座廣大的冰雪圓頂，佔據在地球的極北地帶，從來沒有完全消融過，在極南地帶也有同樣一座圓頂，不過因為牠那兒正當嚴冬，所以圓

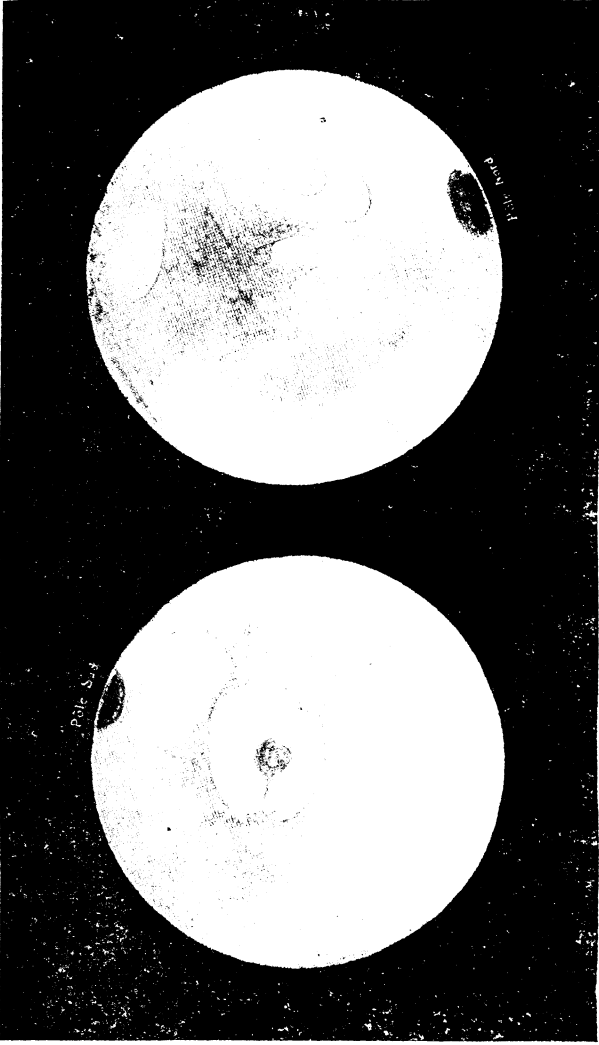
頂的範圍多少比北面的大些。從空間裏看這兩個雪頂，一定像兩個發出刺人的白色的圓地方，依照季候的改變，牠們每六個月變大或變小些。我假設，在現在這個時候，北方的冬雪大外套盡量的發光。霜花在北極地帶以外降落，就是溫帶也降落了。在南方呢，那兒大冰塊正在溶化，結凍了的海洋活躍了，雪也不見了，溫暖的土壤向帶回草木茂盛的太陽含笑。六個月以後，南方區域就要被雪覆蓋着，而北方區域正是熱，光，和生命的氣象去光臨的地方。

11. 假如用類同法去推測東西不會欺騙我們的話，我們為什麼不能斷定火星和地球的兩極很相似呢？我們可以斷定火星和地球一樣，牠也有雪和極地的冰，冬季時，極地的冰雪向前擴張，夏季時就有一部份因熱消溶，而向極退縮。地球上覆着雪的圓頂是每六個月增減一次，但在火星上，因為牠的週年較長，所以每 11 個月增減一次。地球南極的雪冠比北極的大。火星上也是如此。這兩個行星當牠們的南半球到冬天時，都是到達牠們的軌道最遠的地點。牠們的南半球的冬季是在遠日點時期，北半球的冬季是在近日點的時期。所以當牠們南部冬季時，因為牠們離太陽更遠，所以這兩個行星的南半球比北半球更冷。於是這兩個行星南部的雪降落得更盛。

12. 火星軸和軌道的傾斜，和地球的差不多；牠是 61 度，

地球是 67 度。因此火星上也和地球似的有一個熱帶，一個溫帶，和一個寒帶。牠也有四季，和我們的一樣，有春，夏，秋，冬，不過因為牠的週年長，所以每季差不多比我們的長兩倍。從火星上看太陽，因為牠的距離更遠，所以減小了一半。在那兒所見的那面圓盤的面積，祇合我們這兒所見的百分之四十三。所以，在那兒所受到的熱與光也比我們這兒的少一半，除非牠有種特別的大氣，能改變這種因距離而生的影響，使牠不致比我們這兒冷一半或暗一半。不過，無論怎樣，火星的四週確是被一種大氣包圍，這是無疑的；根據北極雪冠的現象，也就是說火星上有水，無論怎樣，水是會變成一種水蒸氣的大氣的，但是另外，我們知道火星有氣體的包圍，和我們一樣的清澄，和我們的一樣能感受到陽光的照耀。這是由下面的觀察而證明時。無論火星上面是紅的地方，還是綠的地方，是大洲還是海洋，必得當牠們被轉在火星圓盤的中央時，纔能看見。當牠們近在這個行星的邊緣地方，牠們好像被罩在一個掠奪了牠們的明晰的亮幕幃下。當牠們還沒有到這個行星的極邊時，差不多是完全看不見了。最後，這個行星圓盤的外邊有時比其餘的地方要亮得多，好像火星的東邊和西邊有一條狹窄的亮光帶子圍住。從這一點我們就可斷定，火星上有和我們的性質相似的大氣，在陽光下被照耀着，而產生了這個行星上的白晝，圍

着這個行星的亮邊和那隱藏了近邊緣地方的明罩子，正是那兒的大氣被我們的視線很傾斜的看過，於是我們的視線經過更厚的大氣層，那些什麼洲海的就看不清了。火星的半徑約是地球的 $\frac{1}{2}$ ，圓週是 20,000 公里，體積是地球的七分之一。要有七個像我們月亮一樣大的球體，聚合起來，才代表火星的大小。除去牠那較小的體積外，火星是最像地球的行星。牠有兩個月亮，是 1877 年美國人哈爾(Hall)發現的。牠們非常的小：一個的直徑祇有 60 仟米；另一個的祇有 15 仟米。這也是理之當然，火星小，牠的衛星自然也小。



第十五圖 火星的兩半球 左圖上角爲南極 右圖下角爲北極

第二十課 行星(續)

1.——小行星；牠們的數目。極小世界。1.——一個破碎的行星。2.——前二十個小行星的名字。3.——木星和牠的形態。3.——木星上所見的地球和太陽。3.——木星年。4.——木星自轉的速度和極地的扁平。4.——兩極扁平 and 自轉速度的關係。4.——太陽，月球，和各行星上不易感到的兩極扁平。5.——木星的四季和晝夜。一個永久的春季。5.——雲帶和貿易風。6.——木星的月亮。木星蝕。7.——羅墨和光行速度的發現。8.——土星和牠的形態。8.——土星上所見的地球和太陽。8.——土星年。牠的四季。9.——土星的月亮和牠的環。9.——土星上所見的環。9.——土星之夜。

1. 佔據在火星軌道和木星軌道之間一帶的，有一羣微小的行星，這些便是叫做小行星，或天文鏡的行星。因為祇有用天文鏡纔能看見牠們。牠們的數目到 1934 年止，是 1264 顆，將來還要新的發現。天體力學的深奧研究告訴我們，小行星總要以千計，現在是證明了。這些行星最令人注意的特性，就是

牠們極小的體積。其中最大的是婚神星(Juno), 穀神星(Ceres) 智神星(Pallas), 和竈神星(Vesta), 牠們的直徑祇有193千米至768 千米。牠們是真正天空的微塵, 在這些矮小的行星中, 有些直徑祇有幾千米長, 我們在一天裏就能繞牠們一週。我們最小的一縣面積還比這些奇怪世界中的一些都大呢。另外小行星還有一個特性, 那便是牠們軌道的紛亂。大行星們差不多是在同一平面上繞着太陽走的, 好像一些皮球在一塊光滑的平地上繞着中央的一點滾。小行星就和這個規則違反了。牠們的軌道普通和大行星軌道共同的平面傾斜得很利害; 牠們並不是一個在一個的裏面, 而是交纏的, 交叉的, 和一堆圈箍無次序的堆集着一樣的交叉。小行星的小體積, 牠們的數目, 和牠們在天空中同一區域中的累積, 牠們那行動不自由而破碎的樣子, 牠們的軌道的交叉和傾斜, 都表示這些小物體最初是一個行星分開的碎片, 由爆炸力忽然的發動, 把牠向各方面爆射出去的。一個和太陽系中大行星相似的行星, 牠首先一定在火星和木星中間繞着轉。到了一個天文年代學還未能確定的時期, 牠就像地球內部發出一種山崩海裂的力量, 不過力量比地球的強, 一定在那個行星的內心爆發出來, 把整個行星爆裂成碎片, 把碎片投進空間去。這個剛粹的假設是阿爾伯(Olbers)設定的, 他是一個很有名的天文學家, 智神星和竈神

星，兩個小行星的發現，是要歸功於他的。

2. 小行星表面的情形，我們還不知道；牠們的季候我們也不知道，牠們每天的自轉我們也不知道。因為距離遠和牠們體積微小的原故，使不能作那樣的觀察。愛神星(Eros)，是最近太陽的小行星，離太陽的距離是 317 兆仟米，一年八個半月公轉一週。19-7 BD 那顆小行星，離太陽最遠，距離牠有 1,580 兆仟米，牠的一年是我們的 34 年，牠要 34 年纔完畢公轉一週。下表是前二十個行星的名目字，次序依發現的先後。

小行星名	發現者	發現年代
穀神 Ceres	<u>比安濟</u> (Piazzi)	1801
智神 Panas	<u>阿爾伯</u> (Olbers)	1802
婚神 Turo	<u>哈丁</u> (Harding)	1804
竈神 Vesta	<u>阿爾伯</u> (Olbers)	1807
正義之神 Astraeo	<u>亨克</u> (Hencke)	1845
青春之神 Heke	<u>亨克</u> (Hencke)	1847
彩虹之神 Tris	<u>亥因德</u> (Hind)	1847
花神 Flora	<u>亥因德</u> (Hind)	1847
美神 Metis	<u>格雷姆</u> (Graham)	1848
靄麗神 Ilggia	<u>狄加斯帕朗利</u> (Degasbaris)	1849
送子之神 Parhenope	<u>狄加斯帕朗利</u> (Degasbaris)	1850

勝利之神 Victoria	<u>亥因德</u> (Hind)	1850
惡運之神 Egerio	<u>狄加斯帕利</u>	1850
和平之神 Irene	<u>亥因德</u>	1851
仁慈之神 Eunomia	<u>狄加斯帕利</u>	1851
山林之神 Psyche	<u>狄加斯帕利</u>	1852
喜劇之神 Thetis	<u>路德</u>	1852
悲劇之神 Melopomeue	<u>亥因德</u>	1852
幸運之神 Fortuna	<u>亥因德</u>	1852
屠殺之神 Massalia	<u>狄加斯帕利</u>	1852

3. 依着距離的次序，離開極小的行星羣，我們就到了體積比地球大 1,132 倍的木星。在我們這兒所見的這個巨大的行星，祇是一顆發着淡黃而帶白色的星，光輝很大，但是不及金星。這因為牠離開我們有 530 兆仟米，於是把木星縮小到幾乎僅僅是一個亮點子了；但是假如這個巨物離我們很近，牠也能遮去我們天空很大的部份呢。比方說，假如牠是在月球的距離上，那牠就佔了月盤所佔的 1,200 倍的面積，十個那樣大的圓盤，就把天空從極西到極東的地位都佔據了。由距離所生物體的縮小是互相有影響的，所以由地球上所見一個行星的視面積因距離而縮小，那麼在那個行星上看地球的面積也縮小了那麼多。假如在我們這兒所見的木星是像一顆星似的，那麼

在木星上所見的地球又像什麼呢？也許是像一個小微點，難得在天空之幕上看見了。

木星離太陽的距離是不一樣的，依着牠到達牠的軌道的地點而定，距離的變化是自 704 兆仟米變到 815 兆仟米。平均的距離是我們距太陽的 5 倍。在這個距離上所見的太陽直徑，比我們這兒所見的要小 5 倍，因此面積要小 25 倍。在那兒看太陽，必是一個很暗淡的小太陽，牠那面小白盤子還沒有一隻手大呢。

因此，木星的年也比我們的年長一打，意思就是說，木星繞太陽一週所需的時間，等於地球繞太陽的 12 週。木星每小時走 47,000 仟米，原因很顯明，因為牠的軌道很大，所以走得很慢。

4. 地球是 24 小時自轉一週，於是在赤道上的一點每秒鐘跑 500 米。將近一粒炮彈的速度。木星的自轉，祇需 10 小時 5 分鐘就完畢一週了。於是這個巨體赤道上的一點，每秒鐘跑 12,600 米，即地球赤道上一點所跑的 20 倍。這種超越的速度必定使木星的兩極扁平得更利害。在前面某一課裏我們已經知道，當一個球體在牠的軸上轉動時，由於牠自轉的運動便發生一種所謂離心力的。假如這個球體是一種柔軟的物體組成的，那麼在牠的赤道地方就凸出去，兩極的地方就扁平下去。

既然如此，我們便利用地球為液體組成的假設，來解釋為什麼赤道凸出和兩極低平。自轉得越快，離心力也就愈大。於是，假如木星是一種柔軟物質組成的，那麼牠一定比地球更扁了。實際上，在望遠鏡中觀察木星，牠那面圓盤並不是圓形的，而是顯而易見的很扁平。細心的測量告訴我們，木星兩極各低下 4700 千米。但地球兩極祇低 22 千米。

無疑的，球體兩極的扁平是太陽系中所有各天體共有的現象，因為牠們都是依軸自轉的。但是，因為牠們自轉得慢，有時候在地球上簡直看不出牠們扁了多少。太陽和月亮，一個是 25 $\frac{1}{2}$ 天自轉一週，一個是 27 天自轉一週，所以沒有顯明的表出牠們有什麼變形。水星和金星的自轉週期雖未定規，但是比地球的長似乎是沒有問題的，火星的自轉週期和地球的差不多，因為和我們的距離關係，牠們的體積太小，使我們不能看出牠們兩極地方有什麼扁平。無論怎樣，對於自轉速度和兩極扁平的密切關係，木星總給了我們一個很了然的證明，土星的觀察更確定了這個事實。

5. 木星的軸並沒有怎樣的傾斜，不像前面說的那些行星似的，牠的軸是和牠的軌道平面將近垂直的，祇斜 3 度的樣子。因此這個行星的赤道總是直對着陽光的，所以牠沒有四季的循環。從牠的一年——等於我們的十二年——的一頭到那一

頭都是不斷的春天，溫度沒有變化的。我們的三月是當地球的赤道直對着陽光的時候，假如把三月永遠的延長出去，不過比我們三月的溫度要低 25 倍。這樣我們就可以想到木星上面單調的季候了，不過，假使牠上面的大氣狀況是非常特別的，那卻又非我們所知了。這樣一個無盡頭的春季裏的晝夜，在這個行星上面兩極之間的各地都是相等的，各為 5 小時。

天文鏡告訴我們，在木星的圓盤上有一些不齊的帶子明暗相排着，一道白一道黑的和牠的赤道平行。這些明亮的帶子，也許就是和我們的貿易風似的氣流所造成的雲帶，被自轉運動使牠們一行一行的排着，牠的那種貿易風是木星迅速的自轉而產生的。那些黑帶子也許就是從一部份清澈的大氣中，所見投落在地面上的雲影。

木星上的大氣成分大部份都是氨氣（阿母尼亞氣）和甲烷（沼氣）。

6. 我們已經說過，繞着行星而行的隨從天體，像月繞着地球的月球，叫做『衛星』。水星和金星都沒有衛星；但是木星的夜間卻有 9 個月亮照耀着，其中第三和第四個衛星比我們的月亮大得多，牠們的直徑比我們的月亮的差不多大一倍，體積比水星的大一倍。其中第一個和第二個都和我們的月亮差不多大。有時候，木星的夜間祇有一個月亮照耀着，有時候有

兩個，或是三個，或是一起都出現，這個偉大行星的伴侶們，升上地平線時，有的是成蛾眉，有的是成半月，有的是滿月，以一種照耀的富麗賜給木星的夜間天空，不是在地球上所能知道的。離木星最近的是 12 小時繞木星一週，最遠的是 758 天。當牠們繞木星公轉時，牠們也都自轉，這兩種轉動的週期也都一樣，於是在木星上所見的月亮，常是以同一的面目向着牠，正和月球對地球的一樣。那似乎是一條通律：每一衛星的自轉週期常等於牠繞行星的公轉週期。

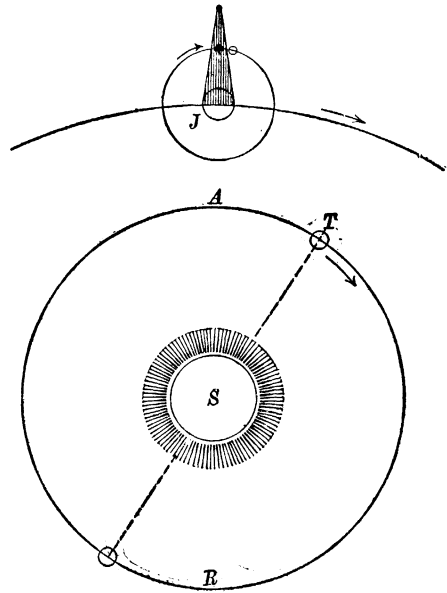
木星的九個月亮由我們看去，牠們縮小到一些小的亮點子，緊依着行星不斷的改變牠們的位置。我們看牠們走到行星的前面，走過行星那面圓盤，又離開牠向左面走，往回走，等走到行星後面時就看不見了，再過些時候又出現。當牠們走到木星和太陽中間的那一刻時，都把牠們的影子投射在這行星的圓盤上，發生一粒圓的星斑點。因為木星的那些區域被那斑點遮覆着，所以那就是一次日蝕。當一個衛星走到那面圓盤前面，木星在牠和太陽之間，進到木星的影錐裏時，牠就看不見了，那就是被蝕，這個現象完全和我們的月亮當牠投進地球的影中時一樣。我們可以利用天文鏡，去觀看離這兒那麼遙遠所生的蝕像。當地球在一個良好的地位，木星的影錐在我們眼中投射了很大的範圍時，一個觀察者有時候可以看見有一顆衛星，

在牠每一次公轉時，投進那個影錐，在牠走過影錐的時間內看不見，到了影錐的那一頭時，牠纔又大放光明。當我們的月球每次走到地球後面時，並沒次次投入地影，所以也沒有次次都被蝕，這是因為牠的軌道和地球公轉的平面傾斜得利害。在另一方面說，木星的月亮每公轉一次，要被一次蝕，因為牠們差不多和木星同在一個平面上。

7. 羅墨(Roemer)在 1675 年，運用木星的月蝕方法，解決了天球物理學的一個最美麗的問題，那就是光行速度的問題。下面就是他如何解決的。有一個衛星是 42 小時 28 分鐘繞木星一週。現在，牠連續兩次在木星影錐外邊再出現，中間所過的時間也是 42 小時 28 分。讓我們假設，當地球走到牠的軌道近 A 點時候（第七十三圖），（註）一個觀察者把這個衛星從影錐浮露出的正確時間記下。42 小時 28 分以後，同一的衛星又從影子裏浮露出了；同一時期的兩倍，三倍，或九倍以後，那麼那個衛星就是第三次，第四次，或第十次從影子裏再浮露出來。因此，可以準確的預測出以後再浮出的時刻。假設第一百次再現的正確時間是如此預測的。那個時期到了，我們再觀察這個衛星，真奇怪，我們發現，雖然天體的運動是非常規則，可是

（註）S 是太陽，T 是地球，J 是帶着影錐的木星，有一個被蝕的衛星投入了影錐。在旁邊一點，那就是浮出影錐的同一顆衛星。

那個推測沒有和我們的觀察一致，因為在所預計的正確時刻內那個衛星並沒浮露出來。我們要看牠，還得再等一刻多鐘纔行，大約得要 16 分鐘。是什麼東西使得牠遲延？你得注意，要六個月的時候纔能等到那個衛星第一百次的出現呢。當那個時候，地



第七十三圖

球走完牠的軌道上半部，到了軌道上的相對的那頭 R 點。木星在這六個月的時候，牠也繞着太陽十分緩慢的走着，但是我們還感覺不出牠有什麼走動。所以我們還能假設牠仍舊留在同一的地位上。因此，當那個衛星浮露出影錐的那一剎那間，開始射來的光，要告訴我們月蝕終了時，牠必得要再多走一段距離，這個距離等於地球軌道的直徑，就是從 A 到 R 的距離，大約是 299 兆千米。因為要多走那麼一節，所以這就是時間遲滯了的原因。因為光所走的距離增加了，於是牠走過這個距離的

時間也增加了。因此，我們知道光要走過 299 兆仟米的距離，大約得要 16 分鐘纔行。走過這距離的一半，那就是太陽和地球的距離，光要 8 分鐘纔走完。

8. 土星的體積是地球的 762 倍，是木星的一半。然而牠在我們眼中所表現的，卻僅是一種無力的樣子。我們看牠像是一顆鉛色的白星。假如地球可以完全從那兒看見的話，那麼地球一定是非常的微小。至少在那兒所見的太陽比照耀我們的要縮小 100 倍，這是一定的。假如這個光芒的泉源，太陽，這宇宙的巨王，從土星上看去縮小成一個銀角子大，那樣無足輕重的大小，那麼從土星上所見的地球，那像個什麼樣呢？土星繞太陽走的速度是每小時 3,500 仟米，29 年走完牠的軌道一圈，牠和太陽平均的距離是 1,430 兆仟米，十個半小時自轉一週。因為牠自轉的迅速，所以和木星一樣，扁得很利害。土星兩極扁平的數量是牠直徑的 $\frac{1}{10}$ ，差不多是 6,400 仟米。無疑的，這個行星的物質的密度一定很小，所以牠的兩極纔扁得那麼利害。前面有一課裏，我們已經知道土星的平均質量是同體積的水的 $\frac{7}{10}$ ，即水 10 斤，牠祇有 7 斤，於是那個行星能夠浮在水上。在另一方面說，牠的密度必是從表面向中心增加，比較重的物質必向中心聚集。因此，這個行星的上層必定是一種密度特低的輕物質。在這個世界上沒有石質的土地，而是由比木屑還輕

的物質組成的，我們能想像到嗎？海洋可不可在如此一塊沒有固結的土地上？平衡定律說不。地球，金星，火星是不能和放逐在太陽系邊境的大行星比較的。牠們那巨大的體積，牠們的光輝，牠們自轉的速度，和牠們兩極的扁平，構成了牠們特有的世界。

一具天文望遠鏡祇把土星告訴了我們一點點，我們在牠圓盤上看見一些亮帶子和黑帶子相雜着和赤道平行，我們看了很多和木星相似的帶子。這些帶子會不會也是因為土星迅速自轉，而在大氣裏產生的貿易風形成的呢？也許是。土星的軸和牠的軌道的平面傾斜 64 度，和地球的差不多。因此，這個大行星上的四季也和我們似的，不過每季要抵我們的七年呢。七年無間斷的冬季，在我們覺得是很長了，特別是假如太陽在那兒比我們這兒要冷 100 倍，那纔真够受呢。

9. 在所有的行星球體中，土星的衛星最豐富。牠有 10 個月亮照耀着牠的夜晚。離牠最近的衛星是 22½ 小時繞土星一週，最遠的是 550 天。其中最大的第六顆星，體積比我們的月亮大 9 倍。但是牠還不祇有 10 個衛星。牠還有第十一個，這個衛星在太陽系中是奇特無比的。那就是一個圓形的環，扁而且很寬，但是很薄，牠圍繞着這個行星，使這個行星在牠中間，而絲毫沒有抵觸着牠。這個環並不是連續的一片，而是由三個同

心的圓帶組成的——有一個是淡綠色，中間的一個比行星本體還要亮。在最後的兩個帶之間很清楚的有一條寬線隔離着，從那兒一個人能夠看見星空。有人以為牠們是由雲氣性的物質構成的，因為有時候，有些小部份看去表示牠們很容易分離。這三條帶子總共的寬是 64,000 仟米，由環到土星中間所隔的空地方是 9400 仟米。這個環的厚度，估計頂多不能經過 100 仟米。這個衛星環伴隨着土星自轉。牠繞着土星轉一週的時候各自不同，越在裏面的，轉得越快。所以牠們三個不是一個整個的東西。(註)

環的本身是不發光的，因為我們看見牠把牠的影子投射在土星上，同時我們也看見土星投射牠的影子在環上。都不過是反照來自太陽的光而已。因此，土星環對於土星就是一個特殊形狀的月亮，包圍着整個的天空，好像一串連續排成的衛星似的。在土星兩極地方看不見牠的環，因為地面是彎曲的關係土星環在地平線下了。在緯度 66 度上，可以開始看見牠在地平線上。在近赤道地方，牠就好像一道巨大光明的弧，全部出現，從天空的一頭跨到那一頭。在赤道上面看牠，是順着邊看的，好像是一條銀繩在天頂地方分開天空。在良好情況中，牠

(註)現在覺得土星環是一羣非常小的月亮構成的，彼此分離着。這樣一說，土星上的月亮可連一百萬都不止了。

的環從東彎到西，十個月亮在不同的位相中，共同的放射牠們的白光，那種土星之夜的仙境就是我們的幻想也不能描摹出呢。

第二十一課 行星(完)

1. ——天王星：牠的發現，牠的年，牠的四季，牠的衛星。2. ——行星互相的吸引。3. ——天王星的攝動。3. ——一個由理論推知的行星。3. ——計算之眼和海王星的發現。4. ——海王星：牠的距離，牠的年，牠的質量。4. ——太陽縮成一顆小星。4. ——太陽領域的邊境。5. ——天體礦物學。6. ——流星。星不能從天上落下。7. ——八月十號和十一月十二號。7. ——聖勞倫士的眼淚。7. ——流星雨。8. ——隕石，牠們的體積和速度。9. ——隕石羣和隕石環。9. ——誤入我們大氣中的小行星。10. ——隕石的爆炸和下落。10. ——125,000 仟克的天體石子。10. ——在地球以外的物質。

1. 行星中的水星，金星，火星，木星和土星，古代的人民都已經知道了，不過牠們的衛星還不知道。小行星，火星的衛星，木星的和土星的衛星，還有行星天王星，海王星和冥王星都是近代天文學所獲得的東西。天王星是1781年侯失勒(Herschell)發現的，侯失勒是對於天空科學最有貢獻的天文學家之一。這

個行星在他那高倍天文鏡中，看去好像一面小的白色的圓盤，顏色是很均勻的，在牠鄰近的星中，逐漸改變牠的地位。因此牠是一顆新行星，因為牠的光輝太微弱，所以一向都沒有看見過牠。這顆星已經量過，稱過。牠的軌道也測定了，牠離太陽的距離也計算過了，在牠的公轉還沒有完畢一週時，牠的衛星也發現了。

要是用一架望遠鏡，天王星是很少能看見的。在良好的情況中，肉眼所見的牠頂多是顆第六等的星。所以看不見牠的原因並不是因為牠小，你別看這顆星，牠比地球要大 60 倍呢，而是因為牠的距離太遠了。天王星離太陽是 2870 兆千米。完畢牠的軌道一週要 84 年。因此，天王星的一年等於一個人的半輩子。牠似乎是以很大的速度自轉，因為天文鏡中發覺牠的兩極扁平得很利害，差不多和木星一樣的扁。但是因為牠離我們太遠，所以在牠的表面上，我們不能發現什麼更詳細的，也沒有發現什麼能夠測定牠自轉時間的目標，大約是 10 時 45 分自轉一週。有人這麼假設，也許牠的自轉軸是在牠的軌道地方，於是牠的每極有 42 年是在直射的陽光中的，因此又產生比前面所假設的金星四季更奇特的四季。我們已經知道，在天王星上所見的太陽，比我們這兒的要小三四百倍。我們知道牠平均的密度比水稍小，最後，我們知道牠有四個月亮繞着牠走：

這四個月亮的軌道平面是和牠自己的軌道平面垂直的。以上就是我們所知道的。因為距離太遠不能做其餘的測定。

2. 海王星的發現，是近代天文學理論之精明的最強有力的證據。讓我們試試看，來見識見識。

吸引是所有物體共有的一個性質，引力的大小是和質量成正比例的。因為太陽的質量過大，所以牠把所有的行星都吸向牠，而使牠們的軌道成爲圓形。反過來說，行星吸引牠們的衛星，使牠們繞着牠們轉。地球之吸引月球，就好像太陽之吸引地球。實際上，顯而易見，地球的引力也能作用在我們月亮軌道以外的地方，固然牠的引力是和距離的平方成反比而減少的，但牠的吸引作用爲什麼又要忽然的告絕呢？自然是不會均的，因此，地球的引力也作用在鄰近的行星上——在火星，金星，和別的行星上。祇因為牠的力量因距離關係而太小，不能和太陽的力量比較。無論怎樣，我們地球的引力，比方拿火星說，對火星多少總有些影響。雖然那種影響也許很小。假如火星也被地球的引力約束着，那怎麼樣呢？牠就離棄了牠那繞太陽行走的圓形軌道，而去接近我們的地球，繞着牠轉了，於是我們又有了另外的一個月亮，牠離棄了牠的行星途程走進衛星的隊伍裏。在另一方面說，因為天空的定律是嚴正均平的，所以地球也傾向於火星，因為火星吸引牠，想要牠做牠的一個

月亮，木星也吸引我們，想增加牠自己衛星的數目。土星也吸引我們，叫我們做牠環的一部份。其實，金星，水星，以至於最小的行星，所有的行星都是這樣，但是我們不必自滅威風，因為地球的引力也同樣的作用在木星，土星，以及其他的行星上。雖然行星是很多的，但地球一樣的吸引牠們。因此，在行星中間有一種不絕的競爭。牠們每一個的引力，和牠的質量成正比和距離的平方成反比，作用在牠的鄰居們上，想去接近牠們。但是主掌的還是強有力的統治者，太陽，因為還有牠，所以那些小夥子得保持牠們各個的地位。牠們從來沒有做過誰的衛星。然而在這些互相拉來拉去中間，還有件事情。一個行星被另一個質量巨大的近鄰吸引着，牠就稍為離開了些牠那原來是直的路徑，不過遲早仍回到直形的路徑上，仍聽從着太陽的指揮。這種由鄰近行星的吸引，所產生使行星離開牠那原來的路徑的行爲，就叫做攝動。牠們偏離的多少是和產生這種偏離的物體的質量大小成正比例的，也和使牠們攝動的物體距離的近遠成正比例的。

3. 這樣我們就能知道，天文學家要測定任何行星的精確的途徑，要求出牠在什麼什麼時候在天空的那一點，他們不僅要觀察太陽對牠吸引，而且還得要觀察牠的鄰近行星所生對牠的攝動。假如他們的計算是正確的，每一個行星的攝動都顯

及到了，那麼天文觀測必常和天文理論一致，在任何時間內的天空中遊盪的漢子，牠們必在科學所指定的空間裏的一點上。但是自從天王星發現以來，總表示牠那真正所在的地位，和天文理論推測出來的，有一種顯著的不一致；這顆不遵令的行星從來沒在計算出的地點上過。在牠鄰近的兩個大傢伙，土星和木星，對於牠所生的攝動已經算進去了，可是就沒效果；意外的偏離總是使計算錯誤。於是在天文學家的心目中浮起了猜想，一個很大的猜想，根據天王星這種路程無序的特點，他們便預定在太陽系的絕遠地方，有一個新的世界。在天王星之外，必定還有一個不知道的行星存在，用牠的吸力把別的行星拉出於路程之外。一位榮耀的法國幾何學家叫勒威耶 (Le Verrier) 的，負起了證明這個猜想的工作，祇以理論為助去發現這顆攝動的星。一直到那時止，天文學的觀察全都是向天空耐心的探尋的，可是這位能幹的理論家改變了這個方法。他那探究的器具是筆，他那觀測的器具是計算之眼。在這兒我們看出他聯合所知道的公式，表白天空的定律。我們看他記錄下被擾動的行星和擾動行星的質量，體積，速度和距離，無論是知道的，或是不知道的都記錄下。這些想像的結果，真令人驚訝。在1846年，8月31日，勒威耶向博學的歐洲宣稱，這顆攝動的行星將在天空的某一點發現，牠的光度是某一等

星(註)。柏林天文臺的臺長加來(Galle)就根據他的宣佈，過了幾天瞄準他的天文鏡對向所指定的那一部天空；這個行星恰在離理論之所指定的地位半度地方。沒有看天空，而科學竟得了一付清明的天空之像！幾何學的永久定律上從來沒有記過這樣一次功德美滿的勝利。

4. 海王星最初叫做勒威耶行星，雖然牠比地球的體積大72倍；但是肉眼再也看不見的。在望遠鏡中牠好像是一個小亮點，可以和一顆第八等亮的星差不多。很好的望遠鏡都難以表現出牠有什麼大小。牠離太陽是4,496兆千米，繞太陽走一週要165年。海王星有一個衛星伴行着，這個衛星在五天17小時內繞牠一週。從那個衛星公轉的速度上，天文學家就能夠運用我已經說過的方法，去測算海王星的質量和密度。這樣我們就知道海王星的質量比地球的大21倍，平均的密度可以和木星相比，並不比水的密度超過多少。這個比我們地球體積大72倍的天體，距離我們是那麼遙遠，在頂好望遠鏡中祇是像一粒粟子那樣大，牠的位置是近在太陽系的邊界，我們能去測定牠的基本特性，你說這還不是人類智慧最高的表現嗎？科學除去把這些力學研究的結果告訴我們外，現在沒再告訴我們

(註)亞當姆斯(J. C. Adams)在英國劍橋也和勒威耶不約而同，用數學去找這個不知在那兒的星，他倆的結果是驚人的一致。

什麼，因為這個行星的距離太遠，不能告訴我們關於牠的任何表面狀況。我們再拿從海王星上見的太陽比地球上見的要小 1,000 倍，以結束這個海王星的故事。因此，太陽系的巨大的火爐，在海王星上僅僅是比別的星稍為亮點的星，在那個遙遠的行星上，有那種白晝的照耀或熱的輻射存在着？我們不能立即推出結論，因為我們全不知道。

海王星的軌道是不是我們太陽系中最後的領域？在牠以外就沒有行星了嗎？這在以前的人口中誰也不能承認或反對。可是到 1930 年春季這問題解決了，就是還有一顆比海王星更遠的行星，在更大的軌道上繞着太陽走，那顆星便是冥王星。牠和太陽的距離平均是地球和太陽的 39 倍半，即 5,900 000 000 仟米。繞太陽一週需時 248 年；至於牠的直徑大約和我們的月球差不多，這顆星在望遠鏡中完全是一顆極小極小的星，是一顆十五等亮的星。以前還有人問過水星是不是內行星的邊界，就是說有沒有比水星更近太陽的行星。現在我們根據歷來尋得的結果，說沒有。但是至於冥王星以外還有沒有行星，那我們可不敢說了。總之就我們現在所知道的太陽系的邊界，那已經够大得嚇人而深印在我們的心中。

5. 天文學把地球伴侶們的體積，距離，質量，週年，季候，衛星等等精確觀察報告給了我們，我們剛纔已經知道了。但是

這些報告差不多全都是力學的或幾何學的，還不是最感動我們的。我們對於行星的構造到很感到興趣，然而我們知道的太少。比方說，我們知道了火星兩極的雪冠，和散佈在月球表面的火山噴火口，覺得很奇怪的。在我們腳下拾起一粒石子，我們也感到一點興趣，因為牠是屬於地球的。但是假如我們確定那粒石子是從天上落下的，牠是屬於木星，火星或土星的，那麼誰不要注目凝視着這個天體礦物學的樣品呢。還要仔細的看這天空的礦物，還要請他人分析分析一塊行星的碎片，我們那合理的好奇要感到怎樣的滿意啊！我們將要知道那些奇怪的天體，那些被光包裹着，使天空燦爛的天體，看看牠們是什麼東西構成的！好，這個天體的石子不是一個徒然無效的想像。從天空，從行星間的空間中降落到我們地上的大石塊，大石頭，落下時足以破碎一所房子。牠們是從行星上來的嗎？不，但是牠們的來源決不是地球。牠們是天體礦物學的真正樣品，我們就要知道的。

6. 我們都記得那些在夜間天空上忽然生的火花，牠們好像脫離了天球的屋頂，成一條明耀的痕跡，急速的流過天空，正好像牠們出現時那樣快立刻消失不見了。牠們通常是叫做流星的，因為猜想牠們是天空中改變位置的星。這些星真能流過天空嗎？牠們會不會墜到地球上？假如我們單祇觀察現象，

在羣星中除了固定在天球頂上的星花外，什麼也看不見，自然我們相信牠們自己會離開天頂而落到我們地球上的，像個成熟的果實從樹上落下來。但是我們知道那個屋頂是一種幻覺。我們知道一個天體能夠非常的大，大得連地球都不能和牠比，雖然我們看去祇是那麼一個小小的亮點子，或許小得看不見。那麼，恆星是不是比那大過地球 72 倍，不用高倍望遠鏡還看不見的海王星更遠？假如牠們所在的距離是那麼遙遠，而牠們射來的是這樣明亮的光輝，那麼這些星該是怎樣的大呢？牠們必得和我太陽一樣大，或是更大。假如就是那麼一個星落到地球上，在這個從天空墜下的巨體震動之下，地球會有怎樣的結果？牠像一粒沙子在一個重鐵鎚之下，破碎了，把牠的物質分散到空間裏去。讓我們想像地球和一塊石頭，在一個距離上，彼此互相的吸引着。牠們倆那個會落在那一個上？顯然是這個小的石頭。同樣的，假如我們能假設那個小的東西要落在地球上，那麼這個小的地球豈不是也要落到大的星上去嗎？假如地球要落向石子，而不是石子落向地球，那麼結果就相反了。因此，星也不下落，那是一定的。牠們也不以驚人的速度急速的擦過天空了。那麼那些流星是什麼呢？

7. 沒有一個夜間沒有流星的。平均每小時有四顆至八顆。但是在一年裏面一定的時期中，特別是八月十號和十一月十

二號，牠們的數目增加得簡直是驚人呢。在那個時候有真正流星雨出現。八月十號這個時候，甚至於連對於這種觀察純是外行的人，都注意過的，有些地方稱呼那時候的流星叫做聖勞倫士的眼淚，這般腦筋簡單的人民，拿那些火線比喻在油煎鍋內殉道者的熱淚。其實，也真巧，聖勞倫士節日也在八月十號。我們再來想想這些奇象的樣子。1839年8月10號一夜裏面，意大利西南拿坡爾(Naple)地方在四小時之內有1,000顆流星出現，法蘭西馬士(Metz)地方在三刻鐘之內有87顆，意大利北部巴爾馬(Parma)地方在六小時半內有819顆，美國紐海芬城(Newhaven)在三小時內有500顆。

1729年，11月12日，南美庫瑪那(Camana)地方，有一羣流星雨出現，牠們好像在極高地方所放的火，向東方射去。無量數的流星，不斷的把一道一道的寒光填充着天空。那些發光的球體，好像天球上的炮手發射出巨大的紅彈丸，以駭人的速度走過羣星。四小時後，在地球上很遠的地方又看見這個同樣的現象，走了從赤道到極那麼遠呢。天空在着火了。

1833年11月12日，從下午九點鐘到日出，沿北美東岸有一次最希罕的流星雨出現。牠們好像成千的火箭從天空的同一點裏向四方發射，有時候成彎線，有時候成直線。光還沒有消滅以前，就有許多爆烈了。有的和木星或金星一樣亮。牠們的

數目簡直不能數，因為牠們像在風雪中的雪花似的落下。然而當這陣星雨消滅時，波士頓的一個觀察者大略數了數，15分鐘內，在天空十分之一的區域裏他數了有 866 顆，於是整個所見的天空中有 8,660 顆，而一點鐘就有 34 640 顆。到現在這陣星雨已經下了七小時，而且還是在牠減少時數的。因此我們知道，僅在波士頓一處所見的流星數目，必定超過了 240,000 顆。但是假如把整個地球上每年所見的流星總數估計起來，有幾百萬顆，那又有什麼奇怪呢。美國耶魯大學天文臺有人曾統計過每天在 24 小時以內有兩千萬顆經過地球的流星。

8. 還有些伴行着流星出現的火球，牠們是叫做隕星的。普通的形體都是圓的，有的時候和月球一樣大，甚至比牠還大，當牠忽然走過我們天空時，投射一道亮光，在幾秒鐘內就消失不見了，正和牠們出現時一樣的忽然。牠們常常在牠們路徑上留下一條火花的踪跡，有些起了很大的爆炸，將牠們滾熱的碎片投落在地面上。這些碎片叫作隕石，或隕鐵。天文學家曾嘗試着在允許的範圍內，去求隕星的真正大小和速度。求得的結果各個隕星相差得很大。有些的直徑估計有 30 米甚至 100 米，有些是三、四千米寬。但是牠們最令人驚奇的特性就是牠們那極大的速度。1850 年 7 月 6 號所觀察的一個隕石，一秒鐘走 80 千米路，比地球在牠軌道上所走的還要快兩倍以上，地球

一秒鐘祇走 30 仟米。其中速率最少的每秒鐘也有 8 仟米。一顆子彈比牠要慢六七倍呢。總之：我們可以說有些隕石在空間走的速度是勝過行星的。流星也是一樣，牠們的速度很可以和地球的比較，每秒鐘的速度是自 25 仟米至 80 仟米。

9. 天文學家為解釋流星和流星羣起見，牠們就假設有好多幾羣非常小的行星，繞着太陽轉。太陽系的研究已經告訴了我們，行星的大小是從木星，土星而降到在火星以外的小行星。空間裏也許還散佈着更小的天體，有些祇有地球上的小島那樣大，這個可能性是很大的。在行星之間的空間裏面，似乎有一種真正的行星微粒填充着，牠們也許能和一座山的一部份相比，也許和一塊岩石碎片，一隻橘子，或一顆胡桃相比。那麼我們假定有無數這樣的小行星天體，差不多是成圓形的，繞了太陽飛行，有好幾羣，至少其中有一羣是靠近地球的。假想在一間暗室中的光帶含有一些排成螺旋形的灰粒。使牠們繞着牠們的中心轉動，這樣你就可想像出那些小行星羣是一個什麼樣子。

我們說吧，地球靠近一個由小行星組成的環。這是很明白的，因為我們地球那比較巨大的質量，所以當那些小天體走近我們時，地球一定對於牠們有很強的攝動。被地球引力捉住的小行星，便逐漸的離開牠的軌道，向我們落下來，以牠那繞太

陽行走時的急快的速度投進我們的大氣裏。因為空氣被牠那極快的飛行產生出很大的摩擦力，使牠的溫度上升，看不見的天體就忽然熾熱起來，在牠從面留了一條火花痕跡。平常增加了空氣的阻力，再又因為下落時是傾斜的，所以當那小行星剛投射進大氣時，大氣就阻止牠走了。牠就和一塊斜投入水中的石子一樣，反跳出去，為要繼續牠那被擾動的繞着太陽走的路程，牠就急速的衝出大氣。實際上，那些被地球引力使暫時改變軌道的小行星，離牠們的行星羣進到使牠們發光的大氣時，便構成了我們所謂的流星或隕石。在一年裏而一定的時期，特別是八月十一和十月十二號，地球經過這個小行星羣的本體，於是這就是流星羣定期出現的原因。

10. 從大氣第一層再反過去通常是不可能的，因為流星的方向傾斜得很利害。假如牠穿過整個的空氣層，到了某一個高度時，當溫度變得很熱時，牠就像雷鳴似的爆炸了，破碎成許多碎片成一陣石頭雨落在地球上。這些石子的投射力量大極了，比一個炮彈投射力還大。牠們那黑色的表面上，有一種油漆的色彩，表明是一種開始熔化的現象。牠們的重量也很不同；有時隕石祇比灰重一點，有些居然有兩噸重。那麼，大隕石在牠沒有破碎以前，牠那體積一定是太得可觀了。

隕石的下落並不是完全罕有的，已經記載着的就有幾百

次了。因此，的確是有石頭從天空降下的，去試驗牠們，我們就可以得到一些關於地球以外物質的奇特知識。的確，根據研究從這些行星之間的空間來的物質，得到一個奇怪的結果。一直到现在我們知道的隕石中，牠們沒有一樣東西不是地球上所有的。鐵，硫黃，磷都像我們的石灰，硅石，黏土，銅，錫等等和我們的完全一樣，這些礦物學的樣品在地球上是很普通的。牠們的成分中，鐵居多數。地球上總有些巨大的純鐵塊是從天空來的。在近德國托倫 (Thorn) 地方的隕石，至少有125,000 仟克重。那塊金屬在某個時候一定和一粒小灰一樣繞着太陽轉。無疑的，牠是一羣流星中的一部份。現在這塊金屬位在地球上，和隨便什麼地球上的礦脈一樣，可讓開礦的傢伙接近。所以，天空落下的石頭告訴我們，地球以外的物質是和我們近旁的物質一樣的。

第二十二課 彗星

- 1.——彗星：牠們的軌道和方向。
- 2.——彗星的像貌。尾巴的形成。
- 3.——1843年的彗星。牠的大尾巴。
- 3.——彗星頭的大小。
- 4.——彗星物質。牠和星光的透過。牠沒有折射作用。
- 5.——彗星在行星附近時所受的攝動。
- 5.——走過木星系的拉克塞爾彗星（Lexell's Comet）。
- 5.——彗星的微弱質量。
- 6.——愚笨不智的恐怖和迷信。
- 6.——地球和彗星衝突的可能性。
- 6.——年曆的修訂。
- 7.——蜘蛛網和從投石器拋出的石頭。
- 7.——不必惶懼。
- 8.——軌道不相接的彗星，和周期彗星。
- 8.——哈雷彗星（Halley's Comet）。
- 8.——克勒魯（Clairout）的計算。
- 8.——理論和事實奇妙的一致。
- 9.——比拉彗星（Biela's Comet）。
- 9.——愛因克彗星（Encke's Comet）和水星的質量。
- 9.——彗星的數目。

1. 因為行星和衛星的軌道差不多是圓形，使牠們得在我們眼界中繼續繞着中心的太陽轉，所以為我們說行星和衛星是太陽系的主要部份。牠們今天在這一點，明天在那一點，我

們總發現牠們在羣星之中；但是還有一些別的天體，時常加入這一班天體，盡忠於我們的天空，牠們的形像是奇特而巨大，牠們從沒有人知道的地方來，又向沒有人知道的地方投回去，經過很短的時期以後，牠們就到了不能測量的天空深淵裏去了。這些天體就是彗星。

一個彗星，通常我們把牠分別為核，髮，和尾三部。核是彗星的主要部份。光芒最亮的地方就在那兒，那似乎是由於有更多的物質集中在那裏。核被一個容積很大的雲狀物包裹着，這雲狀物是一種明耀的霧氣，有時候叫做『髮』。所以在西洋稱呼彗星有叫『髮星』的。最後說到尾。尾是一種明亮的附屬部份，牠們的形狀和大小是可以變更的，大多數的彗星都有。然而一個新發現的星體，看去牠是無髮無尾的，其實牠倒是一顆真正的彗星。彗星特別的地方就是牠們那極長的軌道。那個軌道真長：離太陽近的時候，真近；可是遠的時候，連看都看不見，就是用最好的望遠鏡都不行。彗星和行星一樣，牠們繞太陽走的軌道也是橢圓形的，太陽是橢圓形中二焦點之一；但是這些軌道拉得太長，有時候幾乎碰到太陽的表面，有時候竟跑到遠在曾做過太陽系邊界的海王星那兒。還有，有些彗星像是迷了路，從一個太陽走到另一個太陽那兒去，走的軌道是從不相接的。假如湊巧走到我們的鄰近，在我們太陽的引力影響之下，

而去接近牠，完全走過了牠的行星侍從以後，牠們又跑開，再也不回來了。無疑的，牠們離開我們又去拜訪別的太陽去了。

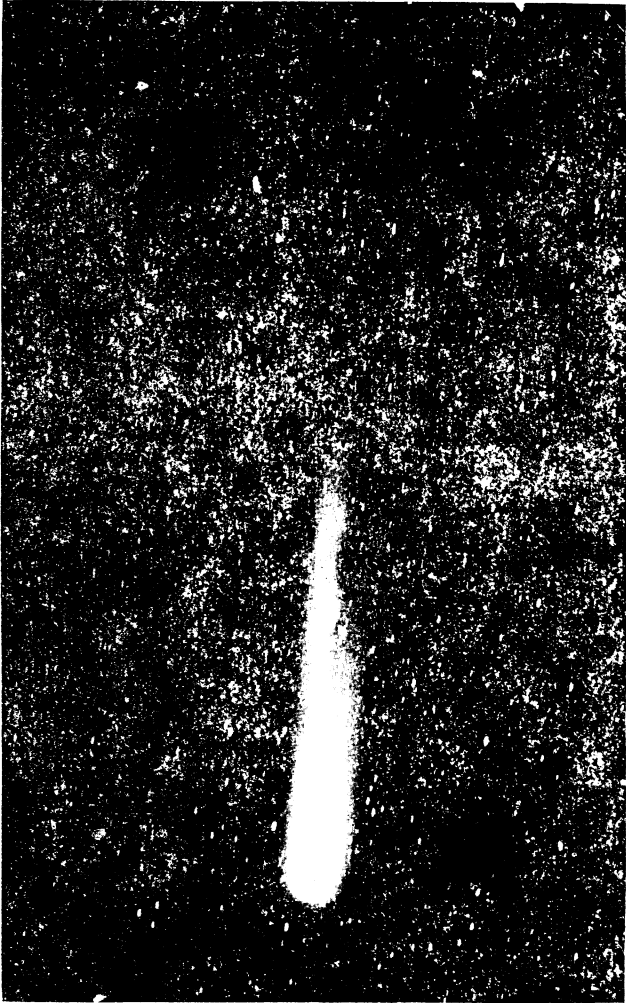
彗星和行星第二個不同的特點是：一個觀察者，假如他站在太陽的北極上觀望行星，那麼他看見牠們全都是從右往左繞着走。而且，牠們的軌道差不多在同一的平面上，那也就是太陽的平面(註)。沒看見過有行星在這狹窄地帶以外的。在地球兩極附近，在小熊座的星中，或海蛇座的星中，就找不着行星，因為行星的區域不在那兒，而是在這兩個極端星座中間的區域。然而，彗星的軌道卻盡量和那平面傾斜的。隨便在天空的什麼地方都可以看見牠們——兩極區域也好，行星帶也好。有時候牠們和行星同一方向運動，有時候是相反的。

2. 當彗星的距離超過一定的限度時，完全不能看見牠在那兒了。什麼預言，什麼計算，都對我們無益。這個陌生的星體，當牠最初來訪天空的這一部時，總是出人意外的。一個黃昏時刻，牠出我們意料外的出現了，令我們驚訝不已。機警的天文學家，拿着望遠鏡來看牠，那是一團樣子不顯明而成圓形的白色雲氣，中央地方比邊緣地方明亮；除此以外什麼也看不見。但是當牠接近太陽時，這個雲狀天體的樣子可是變了；以前是圓形的，變成卵形了，然後伸長出去，把牠那雲氣的一部份向

(註)小行星和這個平面偏離得很大。

落在牠上面的陽光相反的方向展開；最後，在後面拖了一條很大的尾巴。到了牠的軌道上的近日點，那時就是牠最亮的時候，尾巴發長得最大的時候。一過了太陽以後，彗星就在牠那軌道的第二段上趕着牠的路程，越去越遠。現在牠的尾巴還是背着太陽，在彗星的前面，而不在彗星的後面了。自此以後，牠的光輝就一天一天的消失，到最後，總有個時候將因距離的遙遠而消失不見了。所以我們知道彗星的尾巴不是一個永久不變的東西。在某一個時候，核和髮擴張起來，雲狀的物質在一個巨烈的震動中爆發出來，於是在那時候形成了尾巴。在牠的軌道的第二部，祇有在太陽鄰近時，尾巴纔出現。那也許是從太陽裏發出的熱或是某種力量，作用在彗星上面，所以有尾巴出來，因為牠總是和陽光相背的，(陶註)當彗星向太陽走來時，牠跟在後面，當彗星遠離太陽時，牠在前面。彗星非常少有在核的兩旁擴張的。當牠在兩邊擴張時，在一邊上有幾根冠毛，叫做彗星鬚，在那一邊上就是稱呼得當的彗星尾。不過就是在這種情況中，牠們所指的方向還是取決於太陽所在的地位的。彗星鬚

(陶註)為什麼彗星的尾巴總和陽光相背？為什麼不和陽光一致呢？我想：假如你要是懂得一點電的知識的話，你總不會忘記有一條定律叫做『同性相拒，異性相吸』。因為彗星物質含有的電是和太陽含有的同性，所以牠們相拒着。但是因為彗星是有質量的，所以仍被太陽吸引繼續前進。有人利用這個道理來解釋，但是近代物理學又有一個解釋，是因為太陽光對彗星物質有壓力，這兩個道理都說得過去。



第十六圖 1910 年的哈雷彗星

轉向着太陽，彗星尾遠離着牠，和牠相背。

3. 彗星尾巴的樣子是很不同的。有時候，牠可以像道直光，或是一束弱光，有時候，彎曲得像把嚇人的偃月刀，或是像把扇子似的展開。牠的體積有的時候是真巨大。1843 年的大彗星，尾巴有 240 兆仟米長，5 兆仟米寬。假如牠的頭部已經近到太陽，那麼牠的尾巴尖掃到火星軌道裏（太陽離火星約是 230 兆仟米，因此那個彗星的尾巴還留了一大節在火星軌道以外呢），而這個大尾巴的寬呢，還可以容納下月亮的軌道，其實，這個寬所成的圓比月亮軌道還要大六倍。的確，1843 年的彗星的體積是例外的，但是有 40 兆，80 兆，或 120 兆仟米長的尾巴到不少呢。

這些從彗星體發出的極大火線，正好像從一個焰火盒中央噴出的一羣火花似的。彗星的物質，好像是被某種發自太陽的斥力所逼迫，隨着尾巴化爲看不見的烟霧，其中每個份子就單獨的在空間的深淵裏面，追趕着牠的路程。（陶註：這種斥力就是我們剛纔說到的兩種力量）。因為牠尾際的雲氣常被太陽驅去，於是雲氣便逐漸的減少，受了如此損失的彗星，牠們的體積必得怎樣大？牠們是什麼物質組成的纔這樣浮出天空？當 1835 年出現的哈雷彗星 (Halley's Comet)，牠的頭部直徑是 567,000 仟米（354,000 英里）長，但 1811 年的彗星

頭部直徑卻有 1,840,000 仟米 (1,150,000 英里) 呢。後者的體積已經超過太陽自己的了，就是前者的體積也超過所有行星與衛星的總體積 40 倍以上。1843 年的彗星雖然牠的尾巴是特別的廣大，但是牠的本體卻很小。牠的頭部直徑祇有 152,000 仟米 (95,000 英里)，可是牠的體積也超過木星的了。因此一個彗星的體積常是很大的，牠常超過最大的行星，有的時候牠竟可以和太陽相比較。

4. 彗星的頭部包含中央和近核地方頂光明的部份，那個雲似的包圍叫做『髮』。假如從這個核字上看來，我們就要以為牠是一個可以和行星的球體相比的固體，還帶着像一層極大的大氣的雲氣狀物。那樣想是完全錯誤了。用一具高倍的望遠鏡觀測，這所謂核的東西便失去所有固體物質的形態，原來牠是一層明霧，比邊緣的地方濃厚些。而且有更確的事實表示彗星的物質是極端的細薄。通過彗星的厚層，甚至通過核也是好像沒有東西阻在中間似的，仍舊可以看見最微弱的星發光。既有了這件事實我們必得立刻拋除說牠是任何固體或液體物質的觀念。拿最薄的霧和最淡的烟和牠們比，都嫌太粗濃了，因為那些東西到了幾百米的厚度時，就成了一種陽光透不過的烟幕了，但是彗星含了超過 1,600 仟米 (1,000 英里) 以上厚度的物質，還能讓頂微弱的光通過呢。那麼，我們可能假設

牠是和我們大氣相像的透明的氣體物質構成的呢？不能。每種氣體，特別是空氣，當光線通過牠們時，牠們就改變了光線的路程，實際上就是受了我們所謂的折射作用。但是星光通過彗星，甚至通過了彗星核的中心也沒有這種折射現象發生。光線並沒改變路程。牠好像在路途上沒有遇着什麼東西一樣，仍舊在直線的方向裏走牠的路。既不是固體又不是液體，那麼，這種奇特的彗星物質的性質到底是什麼呢？我們完全不知。我們所能說的祇是：那種物質非常的稀薄，地球上沒有有一樣東西能有那麼稀薄的。

5. 另外還有一個方法，斷定彗星質量是微弱的。物體吸引物體，便產生了天體運行的攝動現象。產生攝動的天體的質量越大，被攝動的天體的質量越小，結果攝動也就越大。祇拿地球來作個比喻，因為牠的質量大，所以吸引流星羣中的小天體，

(陶註)根據多年來繼續不斷的研究，天文學家發現有好多流星羣和一些彗星有關係；牠們的軌道相同。比方獅子星座流星羣和1866年彗星I的軌道相同。所以他們認為流星和彗星是一體的，彗星的核也許就是一羣質量很小的流星，很疏鬆的散佈着，所以光線通過彗星嗎，沒有改變方向。

至於彗星的髮和尾巴是一團密度極稀的氣體所構成，據說牠們的密度祇有我們空氣的十萬分之一，在這種稀薄的氣體中，光線透過去自然是不會有什麼影響的。這些氣體因為所帶的電和太陽的相同，同時又受了陽光的壓力，所以牠們總是和陽光相背着的。

把牠們吸到牠的大氣層來，甚至吸到地面上；但是沒有一個小行星能改變地球的軌道。太陽，行星，衛星，和彗星全都遵受這條最有力的定律。因此，我們去觀察彗星作用在牠鄰近的行星上的攝動，和行星作用在牠上面的攝動，我們就能知道彗星的質量如何。1770年有一顆名字叫做拉克塞爾的彗星(Lexell's Comet)出現，以前是沒有看見過的。慢慢的牠走近了地球，地球約是月地距離的六倍。很少有彗星離我們這麼近的。在我們地球與到了我們鄰近的那個天體之間，牠們吸力爭鬪的結果怎樣？地球似乎沒有注意到牠的客人光臨，仍舊繼續牠的自轉和繞太陽公轉，好像沒有事發生。牠的速度和牠的方向一點都沒有改變。可是那個彗星就大不相同了。因為地球引力強大的原故，致使牠的旅行阻滯了，在牠的路途上迷失了兩天。最後牠離開了我們的鄰地，一直跑到木星的系統裏去。在那兒可墜入很危險的境地了。牠深入了那個行星的四個月亮的境地(譯者按：那時祇發現了四個月亮，自1892年後，其餘的五個纔依次發現，自然拉克塞爾彗星也深入了牠們的軌道)，依次的穿過牠們的軌道。在那個彗星的引力之下，對於這些微弱的衛星有什麼現象發生嗎？牠們不全要被擾動了嗎？牠們之中，難道就不會有一個被這個彗星吸走，背棄木星而遠奔了嗎？天文學家覺得這些都是可能的，所以他們從沒有離開過他們的天文

鏡，不停的觀察。木星世界將要告訴我們在什麼時候會有什麼驚動我們世界的事件發生呢。結果是一場虛驚，什麼也沒發生。這個彗星絲毫沒有影響的走過去了。這四個月亮沒有一個在軌道上受了擾動，牠們也沒有加快的走，也沒有被阻滯着。在彗星沒來前，牠們是那麼繞着木星走，彗星既來後，牠們還是那麼繞着走。於是有人想到，在宇宙的那一角裏沒有特別的事故發生。在另一方面說，這個彗星反而到處被衛星和木星吸引着，以致離棄了牠的原來的路徑，而重新在一條新的軌道上走去了，於是牠在空間的深淵裏迷失了。此後再沒有看見過牠。因此我們知道，彗星的體積是那樣巨大，而牠所有的質量還不足以產生對行星天體最微小的攝動，就是行星的衛星都沒有受到影響。

6. 彗星由牠們意外的出現，和奇異的形狀，驚嚇了一般的人民，已經有很長遠的時期了。人民以為牠們的出現是預示瘟疫，災荒和大亂的來臨。彗星的出現是一個常識，我們知道牠和人間的大難沒有關係，再藉科學為助，已使這些愚蠢不智的恐怖和迷信告一結束。天體偉大的機械運動對於人類的災殃是沒有關係的。一顆星並沒有因為一個皇帝死了，牠就不發光；也沒有說是一個彗星在我們天空裏拖了牠的光芒，就是宣佈天下要大亂的，這全是我們的無知所造就下的。現在我們全

都認為那是錯誤的。但是卻發生另外一個憂慮的理由，這個理由初看來好像還有理似的。彗星是可以在任何方向裏運動的，所以有人想到牠們之中總有一個要在什麼時候撞着地球。在這種情形之下，這兩個天體都是以極大的速度運動的，那麼牠們不會猛烈的震動而完結了嗎？假如一個彗星，牠的質量是和地球相比的，在牠的路徑上撞了我們，那麼在那種震動的影響之下，所有的東西都完結，這是我們必得承認的。僥倖的是這樣一個災難得需要兩個條件，而這兩個條件似乎永遠不會實現的：一個條件是質量，一個條件是接觸。先讓我們來考究考究接觸的可能性。

假想有一些灰粒無秩序的浮在廣大的空氣層裏，一陣風來把牠們向各處吹去。我們假設這些灰粒遲早要衝撞的，有沒有理由？沒有。因為大氣的體積極大，不會發生這種事變的，除非極少的可能性。現在，再看地球和彗星運動的空間裏，地球和彗星還不是裏面的灰粒嗎？我們要以爲牠們會相撞，那纔愚蠢呢。

假如我們以爲彗星剛剛在很近地球的地方走過去，那麼這個可能性還大些。幾何學能告訴我們將有什麼結果發生。一個質量等於我們地球的彗星，當牠走到我們和月球中間（這是一件從來沒有發生過的事），到了 60,000 仟米（37,000 英里）

這個短距離時，地球多少總要在牠軌道上阻滯了些，一年的長要加到 367 天，16 小時，5 分鐘。你能看出這個天體的來訪不是很可怕的。不過把我們的年曆小小的改訂一下，我們就逃過了。

7. 然而我們說彗星的質量等於地球的，那是太過誇了。在另一方面說，我們知道彗星的質量是非常小的，小得不足以使行星與衛星的軌道起最細微的變動。我們知道，牠們物質的稀薄得甚至於不能拿最薄的烟霧，或最輕薄的氣體來作比較。假如地球和彗星的衝撞是可能的，而且牠們真的衝突了，那麼因為彗星質量微薄的原因，於是就消除了這個衝撞的結局。我們甚至可以一點感覺都沒有的走過這彗星。這團巨大的雲氣沒有給地球什麼阻力，好像一個蛛網被一塊石頭從投石器裏射過一樣。

但是我們憂慮的心思又巧妙的在倡異說了，牠還在固執着，就算彗星的物質對地球的阻力是極細微的，可是，難道牠至少不會和大氣參混起來，使她不適合於呼吸嗎？我們可能確定一個彗星用牠的尾巴掃着我們時，不會在我們大氣中帶下些致命^些的東西嗎？有些彗星就是在光天化日之中，牠們也是極光明的，這表示核是很稠密的物質構成，也許是固體的，也許就是熾熱的物體。受了那些火爐一碰動還了得嗎？對於這些

問題科學還不能回答，因為彗星的研究還沒有很進步呢。但是站在更普通的觀察點說，可以作下面的回答：因為太空的廣大，地球與彗星的衝突未必會發生，這是無需來辯白的。孩子們，你要有勇氣，假如你常聽到這些夢想的預言，說什麼彗星要來和我們碰的話，不要害怕。天空是偉大的。地球和彗星會尋找廣大的空間作牠們的軌道，不會衝撞的。此外，你又怕什麼呢？自然的定律在引導牠們，使牠們不衝突。

8. 雖然所有的彗星，牠們最初的推動力叫牠們在直線裏跑，可是牠們不，牠們在太陽的引力之下是在彎曲的軌道中走的。牠們也像行星似的繞着太陽轉。但是有時候軌道是無限的伸長出去，成了兩個從不相遇的部份，但是有時候牠轉成一圈，軌道的兩頭又接上。那些軌道沒有回轉來的彗星，我們祇有當牠們走在太陽鄰近的地方時，看見一會兒，然後牠們就走開再也不回來了。也許牠們走了很遠很遠，去繞着在路途上遇見的別的太陽轉了。那些軌道是連接的彗星，當牠們距離太陽遠時，我們也是看不見的，不過牠們到底還是要按着周期再在我們天空出現的，牠們周期的長短是依着牠們軌道的大小定的。這些彗星叫做周期彗星。牠們有些要幾百年或要幾千年，纔完畢牠們軌道一週呢，牠們軌道的頂端差不多快觸着太陽，而底端卻遠在太陽屬地的邊界。天文學家到現在還沒有充分的論據，

以測算牠們的路徑和預知牠們回來的時候。但有少數還比較好計算，因為牠們常常的出現。天文家現在能宣佈牠們來到的時候，和指定在天空的那一點能看見牠們。這些彗星主要的是哈雷彗星(Halley's Comet)，牠是每 75 年回歸一次；和愛因克彗星(Encke's Comet)，牠的公轉周期約是三年半。

哈雷(Halley)是一個英國的天文學家，他和牛頓同時而且是朋友，他是第一個揣測彗星周期的人。1682 年有一個彗星出現。哈雷就很小心的研究牠的軌道，然後拿他的觀察結果和前人的報告比較，他相信他承認 1682 年的彗星就是曾在 1607 年和 1531 年出現過的彗星。在所有三次情形中，彗星的軌道差不多是同一的。因此這三個彗星必是一個，每隔 75 年到 76 年出現一次。哈雷抓住這個重要的觀念，他不猶豫的預言這個彗星要在 36 年後回來，那就是在 1758 年年尾，或 1759 年開始時回歸。這位赫赫的天文學家沒有活到那麼久，他沒有見到他的理論是值得讚美的證實了。哈雷覺得去正確的測定這個彗星所遭受自行星的攝動，是不可能的，所以他是慎重沉默的觀察。但是有一位法國的算學家叫做克勒魯(Clairaut)的，他在 1758 年解明這個困難的問題，他宣佈這個彗星要在 1759 年四月中旬走過，遲早相差一個月，也許在三月出現，也許在五月出現。這個彗星比牠以前的公轉周期要多走 618 天；100

天因爲土星的攝動，518 天因爲木星的攝動。結果證實了這些有學問的推測。這個彗星在所指定的限期中，1759 年 3 月 12 日出現了。

因爲在那個時候，天文學家已經顧慮到天王星和地球的動作，因此能達到很精確的地步。但克勒魯還不知天王星呢。1835 年，是下一次哈雷彗星回歸的時候，預言的時期和真正的時期在 76 年週期中祇錯誤三天。在事實和計算的推測中間，這種驚異的一致，是天文理論最完美的證據之一。一個到現在還不知道的彗星，出現在我們的天空，祇發了幾天的光芒，就投入不知的境地裏，還要隔好多年纔能再看見。但是科學一步一步的隨着牠，在牠的心目中牠看見牠在極大的軌道上一天一天的走着，牠就預言再過多少年那個彗星出現的日期和地點。

9. 順着 76 年的周期退回去，再比較牠們所走的軌道，我們發覺 1456 (1531 前 76 年正是 1456) 年驚動了全歐洲的彗星正是哈雷彗星。牠的尾巴形成一把彎曲的劍，好像就預示了土耳其戰勝了基督教似的。晚近，1832 年有個定期彗星叫做比拉彗星 (Biela's Comet) 的，因爲比拉是第一個觀察牠的天文家，也是愚人自擾的原由。依據計算，這個彗星將在 10 月 29 號夜間走過地球的軌道。在那般不熟習天文定律的人民中間。

又起了很大的驚擾。假如湊巧地球剛剛在這個彗星要經過的那一點上，我們將要怎麼樣啦？受了這個震動我們不會全都粉身碎骨嗎？我們不會被捲入這個星的雲氣物質裏嗎？這恐怖之夜非常平安的過去了。當這個彗星擦過我們軌道的那一剎那時，地球至少離那相交點還有 80 兆千米（50 兆英里）遠呢。我們再重覆一遍：太空是偉大的，行星和彗星是安然的繞行着，牠們毫無衝撞的危險。

在比拉彗星繼續出現中有一次，那是 1846 年，牠給天文學家在天空年史上，留下了一件絕無僅有的事件。他們看見有兩個彗星代替意料中的彗星回來，這兩個比原來小的彗星，牠們相並而未相觸的走動着。原來的彗星在牠運行中已經分裂作兩個彗星了。這是怎麼一回事？牠是不是碰着什麼小行星，在牠們相碰的時候牠就分裂啦？（牠自然走過在火星與木星間的小行星區域）。或者牠的雲氣物質因為相反的吸引就分裂為二了，是不是？這些不過是猜測而已。所確定的就是，現在這個彗星牠自己已經分解作小的流星了。

愛因克彗星(Encke's Comet)特別的就是牠那公轉周期的短促，大約是 3 年半。牠叫做短周期彗星。然而牠的軌道卻也從水星達到木星呢。彗星常使常人虛驚，然而現在牠可以將功抵罪；我們必得知道愛因克彗星在天文學上貢獻的一次事

務。由於牠在水星附近所受的攝動，牠就能使我們計算水星的質量，因為水星沒有衛星，所以不能運用普通測量行星質量的方法，去測量牠。無知的人民拿牠當作一種災患的預兆，而我們會利用牠來擴張我們天象的知識。一個彗星並沒有指示地球上的災難，而牠能使我們來稱稱行星。

在我們太陽系裏繞行的彗星總數，似乎是很衆多的。天文學的名目上已經舉出的有 800 個，還有許多從前所見的沒有計算在內，因為沒有精確的論據可為憑。每一年都看見新的彗星。也許單祇在海王星的軌道中繞行的彗星，牠們的數目就有幾百萬。

陶按：——比拉彗星自 1846 年 1 月分離作兩部後，到了三月這兩個小彗星相隔 300,000 仟米。到了 1852 年這兩個彗星又看見，但是相隔 2,500,000 仟米遠。自 1852 年後就再也沒有看見牠了。每每到了牠應當出現的時候，許多天文家都準備好，預備到了時候觀察牠，可是不知道這個彗星又遭了什麼事故，那些天文家望眼欲穿地等待牠來，牠卻老不來。在 1872 年 11 月 27 號，這又是比拉彗星最近地球的時期了，可是牠還是沒有出現，不過到在牠將要出現的區域裏，有一陣流星雨發出來。於是大家認為這個奇怪的比拉彗星也許是分解作小流星了。

第二十三課 恆星

1. ——恆星。星光的閃動。
2. ——測量恆星的距離。
3. ——恆星距離和光的速度。
3. ——恆星毀滅後和牠發出的光。
4. ——恆星的區域和大球。
4. ——在恆星界線裏所見的地球軌道。
4. ——太陽縮小到一個小點，縮到看不見了。
4. ——祇被北極星照耀的地球。
4. ——恆星是光的本源。
5. ——小到不能測量的恆星角直徑。
5. ——在望遠鏡中所見的恆星。
6. ——地球軌道都容不下的恆星。
6. ——參宿四的大小。
6. ——恆星是和我們自己的太陽一樣的太陽。
7. ——恆星的分類。
7. ——一等星的星錄。
8. ——肉眼所見和用望遠鏡所見的星的數目。
9. ——恆星的運動。
9. ——所謂恆星的速度。
9. ——太陽系向武仙星座移動。
9. ——將來的天空。

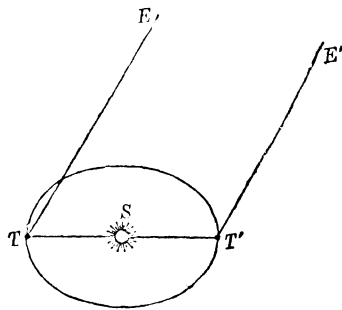
1. 恆星在天空上的位置，彼此之間是保持不變。那就是爲什麼牠們要叫做恆星的原故。可是行星就不然了，由於牠們繞太陽公轉的原因，所以牠們在天空中遊行着，依次的走過一個一個的星座。這個特性我們已經說到過了，可是我們必得再加

一個，憑着這一個特性，我們就不必作特殊的天文研究，而能辨別恆星和行星。恆星的光動拗得很快，是顫動着的，那就是所謂閃動或閃耀的。是因為空氣的關係。空氣越清澄，溫度越降低，恆星離地平線越近，星光的閃動就越利害。行星差不多就不閃動。土星和木星發出的光是不閃動的，火星，水星，特別是金星，有的時候可以讓我們感覺出有一些閃動。不過當火星和金星離地平線很高時，也是不閃動的。在另一方面，雖然是土星和木星，可是當牠們在地平線上的時候，光輝也難免閃動。為什麼越近地面和溫度越低時閃得更利害呢？因為地面的空氣很不穩定，尤其是當溫度低的時候，地面聚集了很多的水汽，於是星光也就不能穩定的射來，所以就閃動了。

因為有好幾個緣故，我們都沒有更進一層證明恆星是自己發光的球體，不知比最後的一個行星遠多少，和也是與我們太陽一樣的太陽，祇不過是更遠得多。現在我們可以來證明。第一步，我們先看距離。我可以再提你一次，要去測量一個不可近身的物體的距離，我們必得有一根基線，拿我們測量出三角形中的在我們範圍內的兩角，在那根基線上畫一個三角形。這樣畫出一個相似形，其實頂好還是計算，就求得我們所需要的距離。有一個必不可少的條件一定要俱備，那就是基線和要測的距離之長的中間，必定要有個適當的關係，就是基線不可

比要測的距離小得太不相稱。在測量我們那天空的近鄰——月亮的距離時，我們已經知道要在地球^上周圍的一個很大的部份上，畫那個幾何圖形。然而去測量太陽的距離時，地球又嫌太小，要拿我們的衛星和地球之間那根想像的線作基線纔行。那麼現在我們選擇那一個作測量恆星距離的用的基線呢？就是我們已經說過的那個，那是在我們掌握之中最大的一個基線。就是地球軌道的直徑。在那條 299,000,000 仟米(公里)長的基線上，我們可以建成我們的三角形。讓我們來試試看。

2. 在一個一定的時候，比方說，當地球在軌軌道的 T 點時(第七十四圖)，這個時候我們拿經緯儀上的一個望遠鏡指向太陽，那個望遠鏡指着位在 TE 方向上的一顆恆星。這個第一次觀察的結果便給了我們 $\angle ETT'$ 角。六個月以後，當地球走到軌軌道的那一頭 T' 時，再來研究太陽的位置，牠在 TT' 的方向裏，而這顆星



第七十四圖

現在看去是在 T'E' 方向裏。這樣又給了我們 $\angle ET'T'$ 角。現在我們知道 TT' 這個基線等於 299 兆仟米，我們又知道連在這根基線上的兩個角。這樣就能使我們畫一個相似形了。現在，做

這步工作時，我們發覺有極多數的恆星。代表 TE 和 T'E' 的兩條都沒有相接，無論把牠們延長到多遠，都不能使那兩條線相接。這個底邊還是太小。拿一個 299 兆仟米的長度，去做一個恆星在頂點的三角形的基線，還是無濟於事。現在假想有兩條在地平線上相交的兩條直線從我們手的兩端起始。無疑的，這兩條線終久會相交的，而且以我們手做基線形成一個三角形。但是那個三角形是太尖了，尖得用我們最好的器具都表示那兩條線是平行的。同樣，TE 和 T'E' 這兩條視線，從 299 兆仟米長的基線兩端起拐向那同一的恆星，牠們實際上是要相交的，但是要在極遠極遠的距離上纔相交，遠得用我們再精確的器具看牠們都是平行的。用地球軌道的方法去試測一個恆星的距離，好像用我們指幅做基線去試測一省那樣大小似的。在幾何學裏，和每件事一樣，我們必得拿同樣的東西比較纔行——小的東西和小的東西比，很大的東西和很大的東西比。相隔六個月引向同一顆恆星的兩條視線，牠們是平行的所以要那個三角形連接上是不可能的。由這件事就告訴了我們：拿牠來作距離的比較是沒有用的，地球軌道的直徑和恆星的距離牠們彼此是不能比的。這兩個距離一個是很『小』的，即地球軌道的最大直徑，而一個卻是很『大』的，即恆星的距離。你想：一個是很小的，一個是很大的，牠們怎麼能比呢？

3. 有一些最近的恆星，天文學家已經最精確的計算過牠們的三角形，把牠們的距離求得了。他們這步工作的結果是太空知識最驚人的片段之一。我們想到恆星的距離時，我們的腦筋都迷惑了，牠們的距離用里或就用地球軌道作單位來表明，那真是大極了。這些幾乎是不能想到的距離，很難能用數目表明出來，需要一種特殊的度量單位來表明，一種像測量牠的遠度時一樣偉大的單位。那種單位是用光來計算的。你還記得，一條光線從太陽射達我們，即走過 149.5 兆仟米的距離時，牠要八分鐘。現在，天文學家告訴我們，根據他們那巨大的三角形所表明的，離我們最近的恆星中有一顆星叫做南門二的，牠的學名是半人馬星座第一星(Alfa Centauri)，牠的光要四年四個月纔到達我們。你要注意那是四年四個月啊！光差不多在半刻鐘內走 149.5 兆仟米，四年四個月你看要走多少吧！你再聽着。並不是所有的星都是這麼遠的。牠們大多數要比這個距離遠得多呢。有一顆叫做天鵝星座第 61 星的(61st. Cygni)，光從那兒走到我們這兒要 10.5 年。天琴座的織女星光要走 26 年；大犬座的天狼星光要走 8.6 年；牧夫座的大角星要 41 年；御夫座的五車二要 43 年；北極星（即勾陳一）要 470 年。一道現在射入我們眼中的光線，牠在牠路途上已經走了有多年了，雖然牠是以每秒鐘 300,000 仟米的超速度走的。假如牠從

五車二(Alfa Aurigae)射來，在路途上要走 43 年；或假如牠從北極星勾陳一來，在路途上要走 470 年。當牠走到我們這兒時，牠已經蒼老了，牠沒有把這顆星今日的新聞帶給我們，帶來的祇是過去的新聞。

比五車二還遠的恆星還有許多呢，像五車二一類的星祇不過是要一個人的半輩那樣長的時候，把牠們的光射達我們，然而那些遠過五車二的星像北極星勾陳一，牠們的光要幾百年或許還要幾千年纔射達我們呢。用最強的望遠鏡所見的最遠的星，根據光的強度是依距離而減弱的原則計算，牠們的距離，也許是光在 1,000 000 年所走的距離。看那照耀着天空的隨便那顆很小的星。我們現在所見的那顆星的光，當牠發射出來的時候，我們之中誰也沒生下來呢，而當牠在現在這一刻所發射出來的光，我們誰也不能看見呢，因為牠的旅程總要在百年以上。現在我們所見牠的光是在百年前發出來的，當然那時我們還不知道是在那個世界裏。而牠在現在所發出來的光，要在百年後纔能射達地球，那時我們又不能看見了，祇有在百年後活着的人纔能看見牠今天所發射的光。假如我們能假設一顆星毀滅了，那麼牠還可以看見幾百年呢，因為牠的光在路上要走那麼多時候，當這顆星毀滅的那一刻時，牠的光還在路上沒走完呢。我們為光線欺騙了，因為牠在那驚人的距離上行

走着，使得我們相信我們所見的的確是真有那麼一個東西在，殊不知那東西在什麼時候以前早已滅亡了。

4. 現在讓我們把自己囚禁在最狹窄的範圍中。天文學家由確實的證據已經證明離地球最近的恆星至少是地球離太陽的 260,000 倍。因此，假如我們用 119.5 兆仟米的 260,000 倍作半徑，在中心圍着地球畫一個球形，那麼在那個球裏面一定沒有恆星。在那個球以外恆星區域纔開始。讓我們想像我們自己被帶到那個想像的球——表面上的某一點上，那個想像球的表面就是恆星區域的裏界。從那個地方看太陽，太陽像個什麼？或者更密切點問，太陽在那兒看是一個很小的點子，在那個地方看地球的軌道又像個什麼呢？計算告訴我們，在那個距離上看地球的軌道，就好像拿一個小銀角子放到二仟米半（ $1\frac{1}{2}$ 英里）遠所見的大小！那就是地球以每小時 108,000 仟米（67,000 英里）的速度所運行的小圓。再看地球呢，牠的軌道已經縮小到如此地步，所以我們不能希望再做到這件事了。我們可能希望注意到在雲朵上面被一陣輕風所吹的一顆灰粒？不能，在恆星的距離上，我們地球是都不能看見了。我們所能希望的就是看到現在代表地球軌道的那個小圓裏很中央的地方，有一個很小的亮東西，一個亮點子或一個火星子。現在那個火星子就是在我們世界是輝煌燦爛的，是生命的佈施者。那

就是太陽。讓我們把那證明出來一點錯誤都沒有的，再說一遍在最近的恆星距離上所見的太陽，祇是一顆光輝微弱的恆星，好像我們這兒所見的北極星一樣。

陶按：——依近年的計算知道在最近我們的恆星南門二（即半人馬座第一星）上，所見的我們的太陽，比此地所見的織女星要弱些，和南河三一樣亮，是一顆零等光輝的亮星。零等星比一等星亮，北極星是二等星，當然在南門二上所見的太陽要比北極星亮得多。

從這個結論自然得到另一個結論：恆星所發的光是牠們原有的，不是借自太陽的。假如恆星的光是接收來自太陽的，那麼牠們被牠照耀，正和地球自己在同一距離上，被一顆和太陽相似的星比方北極星照耀一樣。現在這整個星空的照耀對於夜晚的黑暗，差不多是完全沒有效果。假如祇有北極星單獨的發光，那不是更沒有效果嗎？無論我們就近的看，是在遠方看，地球在這個單獨的星光之下都是完全黑暗的。同樣，這些恆星在我們的陽光之下也是黑暗的。但是雖然牠們是那麼遙遠，然而每一個多少是帶點光亮的亮點子。有些，比方像天狼星，織女星，五車二，和大角星是放射很光明的光。因此，牠們必是和太陽自己一樣的光源。

5. 照理講，恆星的距離一經知道後，牠們的體積問題不過

就是測量角直徑的問題吧了。看看似乎是十分容易，因為祇要把牠的視面積一量就行了。可是看這個：從地球所見的太陽，牠有一個能够很容易測量的角直徑。在另一課中我們已經知道這個角直徑等於 32 分 6 秒。現在從最近的恆星上所見太陽的角直徑該是多少？計算告訴我們，因為這個距離是我們離太陽的 260,000 倍遠，牠的角直徑要依比例減小，減小到比一秒的百分之一還少。我們沒有一個量角器具能够測量如許小的角度。一秒的百分之一遠過於我們任何經緯儀所能量的。因此，太陽雖大，在恆星的距離上看祇是一個沒有大小可言的點子。反過來說，雖然恆星的體積也許有太陽那麼大，可是在我們看來也僅是點子而已。然而我們似乎又看見牠們有一種大小似的。這是由於當我們用肉眼看牠們時，好像有一種漫射光在牠們的四圍。使用高倍望遠鏡就把這種漫射光除去，而看出牠們清晰的點形。一顆恆星把牠這種虛幻的光暈除去，牠就一個真正的點子。越完全越精確的天文鏡，所見的恆星點子也越小。假如我們沒有顧慮到行星與恆星的距離極不相同，那真是一回怪事了，怎麼天文鏡把行星放大，倒把恆星縮小了。牠們那因距離的不合就破壞掉的放大率，限制牠自己去除掉恆星的雜光，使牠更爲清楚。因此，恆星成一個沒有體積的簡單的點子。大概我們可以說恆星的角直徑不是在科學處理下，能用方

法求得的。(陶註)

6. 並不是因為能幹的天文學家沒有運用很完備的器具，去做這步探究的工作。比方說，侯失勒也還求得五車二那個星的角直徑是 $2\frac{1}{2}$ 秒。現在從最近的恆星上所見地球軌道的角直徑是二秒。因此，假如五車二的角直徑真是如侯失勒所想的那麼大，那麼牠所任的這個太陽，整個地球的軌道也不能像根帶子似的圍住牠。牠任的這個太陽要比我們的大 20 兆倍。這位有名望的天文學者別弄錯了吧？他的測量器具沒騙了他嗎？誰能說在這些天空的旅者之間，沒有那麼大體積的球體？依據五車二的光輝，我們就猜想在我們天空中最亮的天狼星，牠的體

(陶註)麥哲遜教授運用光的干涉原理測量恆星的直徑，這是一種極複雜的理論，不是我們所能了解的。最初，麥哲遜運用這個理論測量木星月亮的直徑，成功後，他相信也可以運用這個理論去測量恆星。果然測出好幾個。美國威爾遜天文臺有一架很大的干涉儀(Interferometer)，專用來測量恆星的直徑的，現在已經測出許多了。如下列數星：

大角星	直徑 34 兆仟米
畢宿五	直徑 48 兆仟米
參宿四	直徑 344 兆仟米
藹蕞增二	直徑 400 兆仟米
大火(心宿二)	直徑 640 兆仟米

以上都比我們的太陽大得多，大角比太陽的直徑長 24 倍，心宿二比太陽的直徑 460 倍。

積等於一百萬個我們的太陽。(陶註)

假如因為我們器具的不完備，留下了許多關於恆星體積的揣測，不過無論如何有一個總是真的。恆星是自己發光的球體。牠們的距離是這樣，光從最近的恆星射達我們要四五年。在另一方面說，幾何學最根本的結論告訴我們，從越遠的距離上看太陽，牠就越暗淡，一直到牠成了一顆和南河三似的星，如果我們能在恆星區域開始的地方看，牠就是那樣。假如我們的觀察點再往遠走，走得很遠很遠，走過南河三——離我們有10.5光年的星——以後時，牠要完全看不見了。從恆星上看牠，牠是一顆星，在一個很小的距離上看牠，牠就是太陽。因為距離的大小就把太陽變成一顆星，或使一顆星變成一個太陽，正和距離能使一盞燈變作一個火星子，或把一個火星子變作一

(陶註)近代天文學儀器之完備與精確，遠勝過侯失勒先生時代的——侯失勒是1738年生，1822年死——的確，他的測量器具是欺騙了他，五車二並沒有比太陽大那麼許多。可是卻因為近代天文器具的完備與精確，卻求得比侯失勒所說的五車二還大得多的恆星。天狼星的體積也不如本書作者法布爾先生那樣替牠吹牛；牠祇比我們的太陽大四倍。五車二比天狼星大一些，可是比大角星小。大角的體積比我們太陽的要大5500倍。參宿四要比我們太陽大22兆倍，而心宿二要比太陽大50兆倍。以上這兩顆星已經比侯失勒所說的五車二大了。由前註我們又知道五車二不能包圍地球的軌道。因為五車二比大角小，大角都不能包圍地球。至少要在參宿四以上的大星纔能包圍住。記住地球軌道的直徑和參宿四的直徑。

蠶燈，我們就不能反對引導出來的這個結論，就是恆星都是足和我們自己的太陽相比的太陽們；牠們都是光和熱的本源，牠們是巨大的天體，我們的理解力總可以料想到牠們也有不發光的行星和衛星的世界，不過這些世界我們是再也看不見的。

7.天文學家依據恆星的光亮程度(所謂亮度)，把牠們分作好幾等。最亮的叫做一等星，那些光輝較弱的就叫二等星。三等星，如此類推。(陶註一)你決不要把這個分類錯解。牠沒有把星的體積告訴我們，祇是把關於牠們的視亮度告訴我們。比方說，天狼星是一等星，北極星是二等星。那麼是不是說北極星的體積就比天狼星的小？不是。牠的亮度較小是因為牠的距離較遠的緣故。假如一顆恆星的大小和牠的亮度能增加牠外表的光明，那麼牠的距離就能減弱牠的光明。因此我們很容易的遇見一顆星等最低，而實際上比另一顆列入一等的還重大的星。我們眼睛僅能見的火花最小的恆星，也許就是一個足以和參宿四相比的巨物。我們的眼睛在太空深淵模模糊糊感覺到

(陶註一)近代天文學上普通對恆星的分類如下：以第六等為單位。比牠光輝大一百倍的是一等星。比一等星弱 2.5 倍的是二等星，比二等星弱 2.5 倍是三等星，如此類推。比一等星亮 2.5 倍的是零等星，寫作○。比零等星亮 2.5 倍的是負一等星，等等，寫作-1, -2, ……。法布爾上表所列的是用老法子分類的；把零等星和負一等星列到一等星了。天狼星和老人星是天空最亮的星，牠們是負一等星。織女星，大角星等，是零等星。牛郎，心宿二，參宿四，等，是一等星。

的光明微粒，常是一個太陽。(陶註二)

前六等星是包括不用望遠鏡而肉眼能見的恆星。第六等以後的星，不用望遠鏡是看不見的。這兒我把在我們天空所見的一等星，寫出來，從最亮的開始。星名後面的名字，是這顆星所在的星座的名字。

天狼·····	大犬座
織女·····	天琴座
五車二·····	御夫座
大角·····	牧夫座
南河三·····	小犬座
參宿七·····	獵戶座
河鼓二(牛郎)·····	天鷹座
畢宿五·····	金牛座
角宿二·····	室女座
北河三·····	雙子座
心宿二·····	天蠍座

(陶註二)天狼星是我們天空最亮的星，比大角，畢宿五，參宿四，都亮得多。然而這幾顆星卻比牠大得多呢！藹蕪增二是一顆很小的星，然而比這幾顆星又大得多。這不是證明星的亮不亮和牠的大小沒有關係嗎？有的亮星很大，有的亮星很小；有不亮的星很大，有的很小。

北落師門……	南魚座
天津四……	天鵝座
軒轅十四……	獅子座
參宿四……	獵戶座
北河二……	雙子座

在南半球上所見的最亮的星如下：天舟座的老人星；半人馬座的南門二，馬腹一；波江座的水委一和南天十字架座的十字架三，十字架二。總計所有的一等星共有 22 顆。（陶註三）

8. 星等越是低下的，那麼這一等星的數目也越增加得多。二等星有 41 顆，三等星有 138 顆，四等星有 530 顆，五等星有 1,260 顆，六等星有 4,850 顆，因此，肉眼所見各等星的總數約有 7,000 顆。其中約有 2,000 顆從來沒有升上我們的地平線。因此餘有 5,000 顆填充着我們的天空。但是因為在一特定的時

（陶註三）在中國同一星宿內的星都以數目字標在星宿名的後面為名的。譬如參宿，參宿裏面有參宿一，參宿二，參宿四等等星，譬如五車，五車裏有五車一，五車二，五車四，等等星。數目有時嫌煩，於是就有所謂『增一』『增二』等等名目放在星宿名的後面。如藹蕪一，藹蕪增二等等。有時也有拿某顆星在某星宿的地位作名的。如天津『東一』，參宿『西二』等等。

在西洋各國，也可以說在天文學上面，同一星座裏的星都用希臘字母指明的。比如獵戶座裏，有獵戶座 α ，有 β ，有 γ 等等。我們就依牠字母的次序翻譯出來。如獵戶第一星，獵戶第二星……希臘字母不夠用時，就用羅馬字母和阿刺伯數字加進去。

刻裏，天空祇有一半是在我們頭上的，於是在任何時候裏所見恆星的總數大約祇有2,500顆，然而假如夜色是清朗而又便於觀看時，可以看見有3,000顆。那是太少了，因為我們的初意總以為在天空裏的這些亮點子是無數的。但是實際上，天空的富有是超過我們期望的。讓我們拿架望遠鏡去數數後面幾等的星。這樣數目增加一直驚動了我們的想像。第七等星有14,000顆，八等的有40,000顆，九等的有120,000顆。再後面幾等星一直到第20等的總數目要以二十萬萬計之。繞着天空有一道光亮微弱的痕跡，叫做銀河的裏面，侯失勒估計有18兆。在望遠鏡那付放大鏡之下，一塊和月亮差不多大的天空地方裏，成了一羣上千的恆星聚集地方。自一等星迄至十四等星的總數估計有43兆，這許是一種最低的估計。在第十四等星以外，我們尋常望遠鏡的力量大概都停止了。但是太空裏面星的富藏並沒有止在那兒，因為在我們望遠鏡改良好後，新的太陽區域又出現了，牠們是遠過所有的計數。太陽們的宇宙是無窮盡的懸掛着的，好像在最高權威者的寶座前面的一箱寶珠，那兒是牠的邊界？

陶註：——用現在世界最大的天文望遠鏡——美國威爾遜天文臺百吋之反射望遠鏡——以照相的方法所照出的二十一等以下恆星數目約有2,000,000,000顆。以理論估計銀河

系裏有 30,000,000,000 顆恆星，太陽就是其中的一份子。

9. 浮淺的觀察，恆星似乎是保持牠們彼此之間在天頂上的地位不動的。牠們真是不動的嗎？不是。那種固定不動是一種幻像。在宇宙裏每一件東西都是在運動的，不僅是行星動，太陽們自己都動。假如我們看恆星似乎是固定的，那是因為極巨大的距離抹消了牠們移動位置的事實。事實上牠們是動的，牠們在玄妙的軌道上走過空間，那種軌道抵抗我們時間和空間的測量，使我們的測量不得志。用盡近代天文學上所有的精確測量，已經測定了一些恆星的運動。有一顆星叫做天鵝座第 61 的（即和天津四同在一星座裏的），牠每年要移動一個 5 秒的小弧，也就是相當一根麻線放到離眼 30 米遠所表現的粗。你別看那根線的粗是那麽一點，可是和那顆恆星成爲極大的比例呢！那顆星每年至少要變動 150 兆兆仟米的地位。因此，這也就是天鵝座第 61 在一年內所走的。爲使我們不被衆多的數目弄迷惑，還是讓我們把牠所動的距離限制在一小時內所動的。天鵝座第 61 每小時動 300,000 仟米；大角星走 500,000 仟米；天狼星走 64,000 仟米；五車二走 110,000 仟米；蒭藁增二走 500,000 仟米。地球在牠軌道上每小時走 108,000 仟米。對於這些猛進的速度，我們很難有怎樣的觀念。雖然天鵝第 61，大角，蒭藁增二，和五車二看去是不動，但是牠比地球還

要跑得快呢。這些所謂是恆星的卻屬有一些物質所有的最大速度呢。

因此，所有的這些恆星都有方向不同程度不同的運動。我們自己的這顆恆星，太陽，自不能例外。牠的行星伴同着牠，以一小時 71,000 仟米的速度，向武仙星座進行。我們不知道是什麼力量拉着牠向天空的那一區域走的。牠是不是繞着一個大得不能比而不知道的星轉，太陽祇不過是牠的一個衛星呢？我們不知道。雖然因為距離太遠的關係，我們不能看出恆星位置的變動，但是無疑的累千萬年的積下去，總有一天，天空的星座換成新的樣子。但是因為人類的年代不是恆星的年代，這些變化是非常遙遠，所以地球上將沒有人去注意這個新的天空了。

陶註：—— 現在發現位置變動最大的星是持蛇夫星座裏有一顆叫巴納星(Barnard Star)的，牠每年要動 10 秒又十分之三的小弧。

第二十四課 恆星(完)

1.——聚星。1.——太陽繞太陽公轉。2.——聚星の色澤。2.——多種顏色的白天。2.——單星的颜色。3.——周期變星。8.——鯨魚座的蒞藁增二和天舟第七星。3.——變星和將消失的太陽。4.——新星。4.——1572, 1604, 等等年的新星。4.——再出現的恆星。5.——我們國家的星空。6.——拱極星座。7.——尋找主要星座的方法。8.——冬季的星座。9.——夏季的星座。

1.『聚星』這個名字是給那些兩個,三個,四個,或更多些連合在一起的恆星說的。牠們有的雖然看去連在一起,可是誰也沒和誰發生關係;有的是一顆星似乎不動,而另一顆星繞着牠轉,有實際的關係在的。其中以兩顆連在一起的雙星爲最普通,已經知道的有 20,000 顆左右。三合星似乎不很多,在天文星錄上記載的有 52。三合星以上的聚星是很希有的。北河三即雙子第一星,是一顆雙星,壁宿一即仙女第一星,是一顆三合星,天琴座第五星即織女二,牠是一顆四合星,獵戶座第八星即伐二也是一顆四合星。無論這有伴侶的太陽是個幾合星,

用肉眼看去，牠們總是連接得很緊，而成爲一個單獨的亮點子。要用頂好的望遠鏡和良好的大氣狀況之下，纔看見牠們是分開的。比方說，天鵝座第 61 就是最銳利的眼睛看去也是一顆單獨的恆星。但用一具有力的望遠鏡看牠，就能把牠分離爲兩顆光輝差不多相等的星。我們決不能因爲牠們是如此難以分離，就斷論這兩顆星是很密切的連在一起。形成天鵝第 61 的兩個太陽，牠們之間至少也隔了有 6,700 兆仟米（4,200 兆哩），那比從太陽到海王星的距離還遠呢。（陶按：比從太陽到現在太陽系的邊界冥王星還遠）。這兩個太陽中較小的一個被萬有引力的定律使牠依着那個大的，在一個橢圓形的軌道裏，繞着那較大的轉，和行星一樣。有時候看見牠在那爲主的太陽上面，然後又到牠左面，然後在牠下面，又在牠右面，等等。有許多聚星都有同樣的現象。質量小的太陽和謙遜的衛星似的繞着那握權的太陽轉，畫了一條橢圓形的軌道。統轄着我們太陽系和約束着行星運動的力量——牛頓的吸引力，在我們眼睛所能達到的宇宙間最遙遠的區域裏，也有牠的作用。一塊石頭的落向地面，給我們解釋了地球每年的公轉。牠又一樣的解釋一個太陽繞着另一個的公轉。被風括起來的灰塵，和在可見的宇宙邊境上的太陽們，都遵從着這同一的定律。

各個聚星中的陪伴太陽，牠們在軌道上公轉一週的時間

是不一樣的。武仙座第六星(Zeta Herculis)，即天紀二，這顆雙星的公轉週期是36年，大熊座第十四(Xi Ursae Majoris)即大熊的腳，下臺六，是58年，半人馬第一即南門二是78年，天鵝第61是452年，獅子座第三(Gamma Leo)即軒轅十二是1,200年。

陶按：——美國愛特肯(Aitken)和哈賽(Hussey)等人在利克觀象臺觀察北半球天空上有多少雙星。他們在100,979顆九等星中發現有5,400顆是雙星。據中國21年天文年曆上說現在已發現的雙星共有15,000顆以上。自然還有許多是沒有發現的。

目力敏銳的人，他可以用肉眼分開一些雙星。比方北斗把子上的開陽，天琴座的織女二和仙王座的天鉤九，等等星——

2. 組成聚星的那些太陽，普通都有不同的顏色。一顆是白的，黃的，或是紅的，而那一顆是綠的或藍的。我們的太陽是白色的，意思就是說牠把白光射給我們。假如牠是放射藍光，就是說假如牠是藍色的，那麼在地球上所有的東西，我們看去都是藍色，和我們從一塊藍色玻璃裏看牠們一樣。晝間本身也是藍色了。一個紅太陽，晝間就是紅的；一個綠太陽，晝間就是綠的。假想在我們的太陽系中央，有三四個太陽代替我們現在的一個，再假想牠們中間有一個是白色的，有一個是藍色的，有

一個是紅色的，而第四個是綠色的。那麼在地球的同半球上或是依次的看見這些太陽，或是同時看見兩三個，或是同時看見四個。在那兒差不多沒有黑夜了，因為很難得一個太陽下山而另一個纔起山的。甚至於就是這樣一個連續的晝間都有變化，因為隨着白色晝間來的是紅色，綠色，或藍色的晝間。這樣一來，兩個太陽，三個太陽，或四個太陽的晝間，就有各種不同的顏色和熱表現出來，這些顏色和熱是時時的變動，一時一個樣，因為光的成分在那兒是一時一個樣。就這樣永遠的變化。我們這並不是幻想，這樣光彩輝煌的晝間在宇宙裏的確是有的，不過不在這一個太陽的行星上，而是在那有兩個太陽以上的行星。

3. 在單個的太陽們中，除去白色的以外，還有別的顏色的，不過不大多。畢宿五，大角，心宿二，和參宿四，都是發紅光的單個星。五車二和牛郎是發黃光的星。除去這些少有的例外，其餘的都是白色星。有一些星，牠們的光在定期內增大或減小的。這些星叫做定期變光星。比方巨鯨座的蒭藁增二，有時候竟是顆一等星。1779年10月牠竟難在畢宿五之下。平常牠頂亮時是顆二等星。當牠到達最大光明以後，經過約十天的樣子，就逐漸消逝下去，一直到甚至有時連望遠鏡都看不見牠了。從最亮降到最弱中間約經過八個月，以後牠的光又恢復過來。牠

的光輝與日俱增，到後來又到達最初的光明。這樣一個來回約 334 天。

天舟座第七星更奇怪了。那顆星祇有在南半球纔能看見。十九世紀初期的時候，牠是被列入四等星裏的。侯失勒1837年，在好望角觀察牠，發覺牠是顆二等星，後來看見牠越來越亮，很快的亮得和天狼星差不多了。兩個星期內這個變化完畢。於是牠又消逝，不過沒低到牠以前的星等。在 1843 年，牠又第二次而又是同樣的快去和天狼星的光比賽，那種超特的光輝一直維持到 1850 年。

我們不知道這些光度的變化原因。也許這種所謂周期變星的，也有和我們太陽似的黑斑，不過牠們的黑斑範圍更大，於是當牠們轉向我們時，就減弱了牠們圓盤上的光輝。也許牠們有和我們行星相符的黑暗衛星，當牠們公轉阻隔了我們的視線時，於是產生了那些遙遠的真日蝕。

有些星的顏色或光輝的變化是不定期的。這些叫做不規則變星。牠們有些要經過幾世紀的消逝，有些光輝的改變就好像牠們的火光趨向衰落或興旺。有些是保持牠們星等不變，而改變牠們的顏色。在古時，天狼星是顆火紅的星，而現在牠是一顆明耀發白的星。也有很少的星沒有留下痕跡就不見了的。這是一個很大的問題，然而現在還是完全墜在五里霧裏。有些

太陽消逝去了，有些在復興着；有些是死了滅亡了。我們的太陽是不是常保持牠的熱度？地球在失去了牠的居民以後，會不會在黑暗境地中繞着一個死了的太陽滾轉？

4. 在另一方面說，卻偶然有新的太陽出現。這些就叫做新星的，牠們在天空中忽然的出現，照耀了一些時候，就消滅再也不出現了。1572年的新星就是這種樣子。丹麥天文學家波拉厄(Tycho Brahe 1546-1601)。告訴我們：他看見有顆星忽然的在仙后星座裏出現，牠的光是特別的光明，他十分驚異，幾乎以為是他的眼睛騙他，他想許是他看錯了。在這不可變更的天空裏有顆新的星亮起來了。這顆星又和別的星都相似，但是牠比一等星更加閃爍得利害。牠的光輝超越了天狼星的。在大白天裏有好目光的人，能夠分辨出牠來。在一個黑夜裏，有好幾次能從一層雲幕裏看見牠，但是其餘所有的星都被罩住看不見了。牠總保持牠在天空裏的地位，正和別的星一樣。兩三個星期以後牠的光輝就開始減小，照了十七個月以後，在1574年3月就消滅了。

在這些最奇怪的事件中，我們還可以引用1604年的新星。那是德國天文家刻卜爾(John Kepler 1571-1630)在持蛇夫星座裏觀察的。那些曾經看見過1572年的新星的人，發覺1604年這顆星在最初幾天比以前那顆還亮。牠逐漸的消滅，經過十

五月後牠就完全消失看不見了。在 1670 年有一顆新星在近天鵝星座的地方出現。這顆星所奇特的就是牠似乎要消滅了，但當牠在完全消失不見以前，牠復興了好幾次。拿一個很近的例子來說，1848 年在持蛇夫星座裏，我們可以加一顆小的紅色星。這顆星經過了一年就消失不見了。

這些新星是不是不久就破毀了的絕對新的星？是創造失敗了嗎？牠們是不是火場，使得牠們明亮，到快看不見時又使牠們可以看見？是不是一種巨大的電爐或是什麼爐，忽然祇在牠們表面上點着，遲早是要熄滅，或是復燃嗎？物質是不破壞的，牠祇是永遠的在變化。創造和破壞的變化不過是一種現象，一種向新的形式走向的傾向。一個太陽不能說因為不發亮就說牠完全毀滅了。一種模糊不清的形像可以有新的光明的形像跟隨着來，可以被那最初使牠發亮的力量，重新使牠發亮。

5. 恆星宇宙中的主要事實，我們已經很快的說完了。不過我們還得說點怎樣尋找恆星的方法纔行。你知道天空一羣一羣的星是任意叫作星座的，牠們的名字是各種不同的東西，器具，動物，和人物的名稱。你已經知道的有大熊星座和小熊星座。假如你的記憶不行，那麼你再把討論這兩個星座的那一章看看，因為可以利用牠們來尋找別的星。

在一個固定的觀察地點，地球的曲弧永遠把天空的一部

份隱藏着，使我們看不見。要把整個的天空都探視着，我們得走過赤道纔行。這一點我已在另一課中伸述得很詳細了，所以此地不必重述。因此，星空祇有一部份在我們的地平線上走過，而這一部份有一半是在白天，有一半是在黑夜。因此在我們地平線上的星座有一半似乎總是看不見的，因為被白天的光蓋過了。我在前面已經說過，假如地球總是在同一地位不動，祇是在軸上自轉，那麼這在白天出現的一半星座，我們是老看不見的。但是因為我們是繞着太陽運行的，所有那些在我們地平線上的星，就逐漸的走到夜晚的天空裏，因此牠們遲早是可以看見的。讓我們對這一點作一更密切的觀察。

太陽日比恆星日長四分鐘。今天有一顆恆星和太陽同時走過我們的子午線，明天牠就早四分鐘走過，後天早八分鐘，等等。於是，經過這樣連續不斷的堆積下去；一個月早兩小時，兩個月早四小時……，於是就在我們的夜晚天空出現，於是我們就可以看見了，雖然牠們最初是看不見的。因此，天空中的樣子在一年裏是一時一個樣子。我們將要看看冬天和夏天天空的主要特色，不過讓我們先看看拱極星座。

6. 星空好像是繞着那理想延長出去的地軸轉——理想延長出去的地軸就碰着北極星。根據現象說，每一顆星都畫一個圓，而這個圓的大小是根據牠離牠繞着轉的極的距離而定；離

極遠，畫得圓大，離極近，畫得圓小。但是因為天球高在地平線上，所以靠近極的星所畫的圓完全在地平線上，還有一些星遠在天體赤道上，畫的圓就有一部份在地平線下面。前面那些星是從來不起山也不下山，總是在可以看見的天空部份裏，牠們總是當太陽下山時就出現了，從來沒有被地球的彎曲形隱藏過。由這些星形成的星座叫做『拱極星座』。在相反情形中的那些星，有起山有下山，那就是說，牠們在東方地平線升起，高入天空，又在西方地平線下去。拱極星座在一年裏面隨便夜裏什麼時候都可以看見。但是因為牠們是繞極轉動的，所以有時在極的右面，或在極的左面，有時在極的上面或下面找着牠們，根據我們看牠們的時間而定。大熊星座，小熊星座，仙王星座、仙后星座，天龍星座，英仙星座等等都是在這些星座中的。

我可以再提你一下：大熊星座是由七顆主要的星（即北斗七星）組成的，其中有六顆星的光輝是相等的亮，都是二等星。牠們之中有四顆排成一個不正的長方形，像個口字形，那其餘的三顆星從長方形的一角拖出去，形成一根彎尾巴，那便是北斗的把子。把這四方形兩顆在外面的星連接起來，再把這根連接線延長出去，就到達北極星，這是一顆二等星，牠是小熊星座小熊的尾巴尖。因此長方形外邊的兩顆星就叫『指極星』。

小熊星座比大熊星座小得多，不過也是有七顆星組成的，

排成的形式很像大熊星座的那七顆星，不過牠們是顛倒的。這七顆星中祇有三顆還有點亮，就是北極星和四方形的末兩顆星。其餘四顆星不過是恰能看見而已。

7. 既然如此，我們就假設我們自己是在十二月底的樣子，在夜晚九，十點鐘觀看天空，夜晚是清朗的，我們的觀察地點能使我們看見整個的星空。讓我們面向北立。大熊星座是在極的右面，稍為在下面一點，牠的尾巴向下指着。夜間再遲一些時候，我們就能看見牠受天空的轉動，使牠向上面牽動，一直到牠正在極的右面的地位。再遲些時候，牠就要在極的上面了，不過那時天快要黎明了。在大熊座四方形（即北斗的斗）的那一邊，經過北極星，於是在我們的左邊，在靠近天河的地方，我們就找到一個很美麗的星座，由六七顆主要的星組成英文字母的W形，或是一把倒置着的椅子。那個星座就是仙后星座。牠總是隔着極和大熊星座相對的；當大熊在極的右面等，牠就在極的左面，當大熊在極的下面時，牠就在極的上面，等等。

在大熊的四方形裏，能畫兩根對角線；其中一根轉入尾巴，而那根不。假如拿後面那根畫好，延長到仙后星座的近鄰，那麼牠就切過英仙星座，（陶註一）那是一個光輝微弱的星座，不過牠卻因為有顆叫做大陵五（英仙星座第二星，又名 Algol）的星而著名。大陵五是一顆定期變星，周期是 2 天 22 小時，最

亮時是顆二等星，要停 2 天 12 小時，從最亮變到三等星中間要經過 5 小時，再從三等星變到二等星要 5 小時。

靠近英仙星座，在牠東面一點的，有顆零等亮星，光是美麗的黃色，高高的在天空上，這顆星叫做五車二（西名御夫星座第一星，又名 Capella），牠是御夫星座的一個星。御夫星座的本身就是一個大的不等邊的五邊形。拿大熊星座中最近極的一邊，向極那邊延長出去，就遇到五車二，所以這樣找五車二是可容易的找到。五車二也是一顆拱極星。（陶註二）

8. 現在你轉向南站着，你就看見一年裏面最美麗的星了。第一個就是獵戶星座，那是一個大的不等邊四邊形，在這四邊形的中間有三顆一樣亮的星，緊排成一行。這三顆星就是這獵者身上的一根腰帶，他手裏拿着根棍子，是他把天上的金牛殺死的。這三顆星有時候又叫做三王子，或三個魔法家。在獵戶座四邊形的四角上，有兩顆星等都是零等的星。在頂上的一顆叫參宿四（即獵戶座第一星，又名 Beelgeuse），牠的顏色是

（陶註一）英仙星座最好的尋找方法是：從小熊星座裏那顆和北極星一樣亮的星（牠的名字叫帝，是我們三千年前的北極星）起，向北極星畫條線，向前延長約兩倍就直到英仙星座。其實，仙后星座一找到，英仙星座就在牠的旁邊。牠的形式像英文字母 A 字的花寫法 A。

（陶註二）五車二在華南華中一帶不能算是拱極星，華北也祇有黑龍江和蒙古極北的地方纔能一年到頭，一晚到天亮的看見牠。

微紅的。牠是獵戶的右肩。在下面那角的大星叫參宿七（即獵戶座第二星，又名 Rigel）。牠是發白光的，是獵戶的左足。把那腰帶的三顆星連起來，向東南延長出去，就遇到天空裏最亮的恆星，天狼星（即大犬座第一星，又名 Sirius）。在獵戶四邊形的東面，差不多和參宿四同在一條平線上，是另外一顆一等星，叫南河三，是小犬星座的星。天狼，參宿四和南河三形成一個等邊三角形，天河從中間跨過。現在再讓我們把參宿裏的腰帶三顆星連起來，向和天狼星相反的方向——即向西北延長出去。就遇到一顆一等星，光是紅顏色，那就是金牛星座金牛的眼睛，畢宿五（即金牛座第一星，又名 Aldefaran）。有五顆星形成金牛的頭，成一個V形，畢宿五就是V形一支的頂點。在畢宿五的前面，還是在參宿腰帶三星的延長線上，有一羣小星，是六七顆小星很緊密的組成，目光好的人，可以把牠們一一的分開，那便是昴宿，西名 Pleiades。在金牛星座裏有兩個星團，一團就是昴宿，另一團就是畢宿，畢宿五就在那一團的中間。從大熊座的四方形在尾巴開始的那一角，畫一根對角線，延長出去，經過在天空那一頭的天狼星。在中途地方，這條線走過雙子星座。這星座裏面有兩顆亮星，一顆是一等星叫北河三的（雙子座第一星，又名 Pollux），一顆是二等星叫北河二的（雙子座第二星，又名 Castor）。這兩顆星都在南河三的上

面，靠近從參宿七到參宿四的對角線的延長線上。

陶按：——找北河最好還是用參宿七和參宿四找，不要用北斗找，因為北斗那根對角線太長了。

9. 現在讓我們在六月終的一個黃昏時刻，觀望天空。那些冬季的星都已經看不見了；天狼星，南河三，參宿七，畢宿五是再也看不見了，因為牠們在白天的時候走過我們的頭頂。另外有些別的星已經繼續着牠們在黃昏時刻出現了。大熊在北極星的左面，牠的尾巴轉向上。仙后星座在極星右面，椅背平臥着。大熊的尾巴在西面，彎着像根食指，順着牠的彎曲延長下去。就遇見在牧夫星座的一顆零等淡紅星，名字叫做大角（牧夫第一星，又名 Arcturus）。經過大角以後，再繼續順大熊尾巴那根圓弧畫下去，和畫一個圓一樣，我們就遇到另外一顆一等的亮星，叫做角宿一。牠是屬於室女星座的，又名 Spica。仍舊是在西方，不過往北找，我們就看見軒轅十四 (Regulus)，就是獅子星座獅子的心。拿指極星向到北極星相反的方向延長出去，我們就遇到獅子星座。這個星座的特點是有六顆星連成一把鐮刀，根據這特點，我們就可以辨別。那顆最亮的一等星，軒轅十四，就在鐮刀把子的尖上。靠近天頂地方，在大角星的東面，有七顆星排成一個半圓，不過不很亮。牠們就是北冕星座，其中有一顆是二等星，在半圓形的中央，叫做貫索一（北

冕第一星，又叫冕珠)。從大角到貫索一之間連根線，延長二倍遠，在靠近天河的有顆零等最亮的星。這就是織女星(Vega)，是天琴星座裏的。正在牠的下面，有四顆很小的星，排列成一個正長方形。在 12,000 年裏織女星要做北極星了。從冕珠到織女在中間地方經過武仙星座。我們祇要記住太陽帶着牠的行星們以一秒鐘 20 仟米的速度往武仙星座走。在天琴星座的左面，和在天河的中間，天河就在那兒分叉的，有五顆星排列成一個很大的十字架，十字架的一橫很長，一豎很短。在十字架頭上的一顆星是顆頭等星叫做天津四，交叉處的星是顆二等星，其餘三顆星都是三等星。那就是天鵝星座。最後，和織女星天津四成一個直角三角形，在織女星的下面的，有顆很亮的星，那便是牛郎。牛郎也是顆頭等星，牠是天鷹星座裏的。在牛郎星兩旁，緊接着牛郎的，有兩顆小星，牛郎就在中間。

陶註：——我想把中國的幾個星宿介紹給你。

參宿：獵戶星座的四方形和裏面的三顆小星合起來叫做參宿。

畢宿：金牛星座有個V字形，你已經知道了，在V字底點下面還有顆星，拿這顆星和V字連起來，便成爲一個平臥的Y字，這Y字就是中國的畢宿。

角宿：拿角宿一和牠上面的一顆星連起來就叫角宿。

心宿：在角宿東面有一顆很紅的亮星，那顆星叫做心宿二。心宿二的兩旁各有一星。這三顆星連起來叫做心宿。

斗宿：在心宿的東面，有六顆星連起來也像一個斗形，和北斗一樣，叫做南斗，或斗宿。

室宿和壁宿：冬季黃昏時刻，太陽下山後，在你的頭頂上有個很大的四方形，很顯著，是由四顆星構成的，一顆星各佔四方形的一角。東面二星叫壁宿，西面二星叫室宿。

中國在地球軌道上畫分了二十八個區域，每一區域叫一宿。上面幾個星宿不過這二十八個星宿中比較容易看見的。

第二十五課 星雲

1. —— 銀河。1. —— 銀河的形狀和位置。2. —— 赫瑟爾的銀河探究。3. —— 由一場霧所生的現象。霧氣沉沉的地平線。4. —— 太陽們做成的磨刀石。銀河的解說。5. —— 測量天球。9. —— 我們的星雲的形狀和大小。牠們的距離。9. —— 光走百萬年的旅行。9. —— 不可分解的星雲。9. —— 製造太陽的工廠。

1. 在滿天星斗的夜間，那個人沒看見過一道明耀的條紋，像道發寒光的氣體似的，從天空的一端跨到那一頭？天文學家就稱牠們作銀河，或天河。相傳雷電之神的妻子叫做朱諾 (Juno) 的，有一天在喂哺她的兒子武仙 (Hercules) 時，有幾滴仙乳從這嬰兒的嘴裏，滲流出來，攤佈了天球，就形成了這乳色的銀河。(陶註) 科學仍然採用這自古傳下來的名字，但是牠卻給了我們一種非常正確的解說，而非那些傳說上關於牠的由來的荒謬談論，這個你就可知道的。

肉眼所見的銀河，好像一片輕明的雲霧，排列成很不規則

(陶註) 中國關於天河的傳說是牛郎追逐着織女，織女看看他就要追上了，於是就用金釵向東畫了一道天河，阻隔了牛郎的追逐。

的帶子。牠環繞着天空，把牠平分作兩個差不多相等的部份。在我們的半球上，冬天裏，我們看見牠伸過仙后星座，英仙星座，和御夫星座；經過五車二和獵戶之旁，橫過獵戶的棍子，向天狼星前進。夏天裏，牠從仙后座走到天鵝和天鷹座。在天鵝那兒分作兩支，而在南部天空近半人馬星座的南門二地方，再合而為一。於是在牠的圓周一半的地方牠是分作兩道弧，而在另一半上是單單的一道。牠好像是一隻手鐲，因為要嵌一顆寶石，所以有一部就分作兩片，將寶石夾在兩片之中間。不靠東西幫助，肉眼不能再知道銀河的更詳細的狀況，所以我們必得藉望遠鏡之助以求銀河的更進一層知識。

2. 假如望遠鏡指着銀河的隨便那一部，立刻就看出有無數的亮點子，那個地方用肉眼看去祇是一種茫然的光色。肉眼看的是一羣星，是一堆太陽。從遠的地方看沙灘上的沙粒，就是一條黃色的帶子。走近看呢，就分離為無數顆沙粒。銀河也是這樣。在遙遠的地方看，或是用肉眼看，牠就是一片乳色，然而望遠鏡的眼睛裏看去呢，那就是無量數一顆一顆的恆星，好像是一種天球海洋由太陽們構成的沙灘，而不是沙子的沙灘。當侯失勒研究天空的這件奇事時，他的望遠鏡祇能見到相當於月亮圓盤四分之一大的地方；然而在那樣小的地方裏，他所統計的恆星數目在300，400，500，甚至600。銀河裏面的

一個小角落，相當於月盤四分之一大的地方裏，有 600 顆星，那麼整個月盤大的地方裏就有 2,400 顆！在整個天空裏，我們用肉眼都難能見到那麼多的星。在那不動的望遠鏡的視界中，這些星因為視轉的原故，所以不斷的更新着。他估計在一刻鐘內有 116 000 顆恆星經過他的眼睛，總數當在一千八百萬。

陶按：——近代天文儀器的進步早已推翻侯失勒所估計的天河恆星的數目了。18 兆算個什麼東西啊？從銀河的照相上去估計牠裏面有多少星，很難有個確實的數目，因為太多了。籠統的說總在 3,000 兆至 30 000 兆之間。這僅就照相上的估計，還有許多沒有被照在相片上的，那卻不得而知了。——

3. 銀河是不是就如望遠鏡所告訴我們的，是無數個太陽所組成的一圈，或者是因為距離關係，我們看去就是一層太陽，我們自己就在那一層的中央？我給你舉一個例子，你就可以了解我的意思。

我們先假設在我們四圍的土地上，有一層高約十呎的細霧。在那無限漫沿出去但高度是有限的霧裏，我們看見了什麼？我們向上看，因為霧層低的原故，所以我們的視線實際上就沒有受了限制。祇看見了一些水汽的點子，青天是難被蒙蔽着。但在另一方面，我們平着向前看，霧點是四方八面無限境的連續着，因為距離的關係，霧層加厚了，於是把觀察者圍在一個

茫茫的霧的半圓裏，使他多少看不清東西。所以一片均勻的水汽層，順着牠那最小範圍的方向（即向上）看去，牠是看不見的，但是你要順牠那最大範圍的方向（即平着看），那麼就形成了一個圓形的雲帶（這帶字並非當條子講，而是當地帶講的）。平常在地平線那兒的氣圈就是這樣形成的。地平線那兒的霧層並不比我們所在地方的更濃，水汽是均勻的鋪攤在地面上的，但是因為我們向地平線看的方向中，通過更多的霧汽於是我們便覺得地平線那兒的霧汽更濃了。

4. 既然如此，讓我們跟隨侯失勒一同假想那千百萬個太陽排列成一塊扁的東西，像面圓的磨刀石的透鏡，彼此之間所隔的距離差不多相等，這塊扁東西的厚，和牠那平面的長（那平面的長也可以說就是那扁的圓東西的直徑之長）比起來是很小的。好，利用我們前面說的比喻，那就是一場厚度有限的太陽霧層，但是這霧層的長和寬可是大得了不得。我們的太陽就是那層星中的一顆，我們就在那塊磨刀石中間的什麼地方。這樣一來，什麼問題都解決了。假如我們的目光直對着那層的厚處，不過祇看到一些星，在那個方向中所見的天空是比較的空虛。假如我們順着那層的寬處看，看見的星可多極了，多到好像牠們一個接一個，因為光學上面所謂透視的緣故，就連成一片乳色的發光體。於是這塊由太陽組成的磨刀石的最大範

圍，像一條集滿了星的帶子似的，在太空上繞着我們，正和一片雲帶表明一個霧層的最大範圍一樣。因此，銀河是順着扁平星層的最大範圍所生透視現象。我們是星層的一部份。天河是一種太陽組成的霧氣地平線。

我們再歸結起來說。我們不用望遠鏡在天空所見的那些星，排列成一個扁的星團。我們的太陽就在那星團的中央，在那個巨大的集團中，牠就是一個單位。我們在那星團厚處的中央看牠的人，在一個方向中很難見到牠，因為牠太薄了，然而在另一個方向看呢，牠就顯露出來了，因為由於透視的原故，所見的星更為濃密了。那個星團就叫天河。牠的大概形狀是個磨刀石形，但是在牠的中心地方分裂，又告訴我們的銀河有一半是分作兩層的。我們能拿牠比作一塊厚紙盤，有一半是雙重的，將那雙重部份彎過來，就彎為兩層了。

5. 侯失勒曾嘗試去估計這堆太陽的大小。他的方法是很驚人而簡單，我們非稍為說說不可。假如銀河的星相隔的距離是一樣的——這是一種很自然的假設——，那麼我們往這星層越深的地方看，所見的星就越多。根據這道理，赫瑟爾就測量天球了。他的測量器就是他的望遠鏡。那個東西能使他深入我們太陽系的境地。他發現在一個天空方向裏，望遠鏡的視界中祇有一顆星，但是在另一個方向裏，望遠鏡的視界中有十顆，

再一個方向有 100 顆，或 200 顆，或 300 顆，等等。從這些數目，我們就可以推算這羣星在各個不同的方向裏的深度，於是我們就可以把這個星團的外形畫出來。

6. 侯失勒這樣發現出來的是：銀河系寬處的方向比厚處的方向大 100 倍，雖然如此，但不問他的望遠鏡的深入力量如何，他確定隨便在那個方向裏，他都沒有達到那個系統的盡頭。他比較最遠的星和最近的星的光亮時，還發現銀河系中能够感覺出來的最遠的星，比最近的星至少要遠 500 倍。現在，光從最近的星走到我們這兒是三四光年，因此光在銀河系最外邊的星走到這兒得需十五世紀或二十世紀。牠走過整個的系統至少得要 3,000 年或 4,000 年纔行，因為光到我們這兒是整個系統的一半地方。好，假如你有什麼想像能力的話，那麼你試試看，把那我們埋在中間的太陽羣構成一個觀念。一道光線從這系統的一邊開始走。牠吞噬着在牠前面的空間，急速的向前進行，就是天空的閃電去追牠都太慢了。你祇能在思想裏追隨牠。在你念這幾個字時，僅僅就一秒鐘，牠就跑了 300,000 仟米，或地球圓周的七八圈了。在下面一秒鐘，牠又走了 300,000 仟米，就這樣下去，就這樣下去，因為光一經開始走，總是以同一速度向前進行的，幾年過後，幾世紀過後，幾千年過後，然而光還到達牠的目的地。從牠開始後僅僅 4,000 年就到達我們的

系統的另一端；有誰知道根據赫瑟爾自己的觀點所求出的大小就是真那麼小嗎？真正的就不會比他所定的大嗎？有誰知道就不會要 10,000 年嗎？這絕不是從武仙嘴唇裏滲流出來的幾滴奶，所能填充着這樣浩大的地方的。

7. 銀河之所以在天空裏繞着我們畫了一條圓形的帶子，是因為我們位在這羣星的正中間。事實上，銀河就是我們在中心點觀看的一種結果；假如我們站在牠外面的某個地方看，那麼牠的樣子就要完全不同了。假設我們在這個由恆星組成的磨刀石以外某個距離上。那麼牠對我們表現的就好像一面無限大的圓盤，由許許多多明煌的點子組成，蓋住了整個的天空。假想我們自己逐漸的遠離牠。這面星盤就逐漸縮小，裏面那些明煌的點子就逐集逐緊，一直到牠們成爲一個乳色的發光體。最後，當距離增加得很大時，這個巨大的太陽羣祇是一片白色的雲狀物，祇有我們的手那樣大。有人曾經估計過牠，在牠的長度 334 倍的距離上看牠，牠的角直徑是 10 分，也就是像一塊洋錢拿到 10 米遠所見的那樣大小。我們實在不能見到我們的銀河系，因爲距離的關係而收縮到這麼小的一個地方，然而我們有幾何學引導的理由，使我們能形成一付真的圖畫。牠看見這個由無數太陽組成的巨大星團，在太空的一個小角落裏消失去。牠看見牠像個小的圓東西，牠那不定的光令人想起閃

動的磷光。

8 現在，我們用一架良好的望遠鏡，從地球上，我們就能看見我們幻想在某個距離上，心目中所見的銀河系。望遠鏡告訴我們，在我們的恆星系以外，許多區域裏有一些成乳色的薄雲，發著亮光的地方，有許多是和我們自己的一樣的雲狀聚合物，實際上牠們就是太陽們的集團。天文學家估計這些總在千萬個以上。牠們之中很少有幾個是肉眼可以看見的。除非用最好的望遠鏡，大部份在望遠鏡中都是極小極弱。用一具倍率小的望遠鏡看，牠們就和帶着淡柔光色的小塊雲朵一樣，光是非常的微弱，好像祇要輕輕一吹就把牠熄滅了。

但是望遠鏡的倍率加增了呢，驚人的事實就展開了，有許多發光的斑塊，看去是非常細微的，然而卻變成星團了。

星雲，看去是整個一片，但卻分解為一羣細小的亮點子，即恆星，正和我們在銀河的一部份裏所見的一樣。要去估計這些太陽的數目是不可能的。所以我們自己的這個星雲——銀河系，並不是絕無僅有的。太空的園地裏，有許許多多別的星羣，牠們的數目也許永遠都數不出來，彼此之間有很廣大的空間隔離着。宇宙好像是一個漫無邊際的海洋，中間散佈着無限廣大的星羣羣島。

9. 這些天體羣島，什麼樣子都有。有球形的，有完全是圓



第十七章 仙女座大星雲

的，還有橢圓的。有分裂爲條帶形的，有彎繞成冠冕，或展出明耀的線條，成直線或波浪形的線條。有些像彗星的核，被牠們的髮包圍着。有些星雲裏的星，繞着共同的中心，集成一個螺旋形。牠們和我們的距離，已經有一點兒知道了；我們知道，要把我們自己的星雲移到牠自己直徑的 334 倍時，我們纔能看出牠的角直徑是 10 分。現在我們已經知道，一道光線要走過這個直徑至少要 3,000 年或 4,000 年，也許要 10,000 年。拿最小的數目說，就是 3,000 的 334 倍，即比一百萬年還多，這個就是我們的星雲在角直徑是 10 分的時候，光從那兒射到這兒所需的時間。有些星雲的視面積正是 10 分寬，有些比 10 分還小。因此這些星雲的距離是太遠了，光從牠們那兒射到我們這兒來，要一百萬年。

除去那些天文鏡可以分解爲明亮星粒的星雲，那些叫做可分解的星雲以外，天文學家還知道有一些星是他們的器具不能分解爲星粒的星雲，無論他們用怎樣高倍的天文鏡，那些星雲總是一片成乳色光的地方。這些叫做不可分解的星雲。牠們的形式都是不規則的，但是牠們普通的樣子是像被一陣烈風刮着的雲采。牠們由瀰漫的物質組織而成，和彗星尾巴的物質相像。這些由很細的東西構成的星雲好像是天空中的實驗所，受了引力的作用，有新的太陽們正在那兒慢慢的製造出來。

陶註：——關於我的銀河系的大小問題到現在已經快要確定了。1922年，卡僕特因（Kapteyn）根據他的研究發表銀河系的直徑是55,400光年，厚度大約是直徑的五分之一，約11,000光年。假如這些數目是確實的話，那麼我們的銀河系要移到20,000,000光年遠的地方，視直徑纔會是10分呢。

再，那些星雲，可以被望遠鏡分解為無數顆小星的，在近代天文學中是稱作星團；那些不能被望遠鏡分解作小星的星雲，在近代天文學中纔是叫做星雲的。



第十八圖 彗星和星雲

1. 1861年彗星的頭。 2. 1881年大彗星。 3. 1882年大彗星。 4. 1874年考氏彗星 (Goggia's comet)。 5. 1853彗星。 6. 1846年比拉彗星。 7. 1861年彗星。 8. 衛氏行星星雲 (Verseau's Planeta y Nebul J)。 9 仙女座階形星雲。 10. 獵犬星座星雲。 11 獵戶星座。 12. 牛人馬座星團。

中華民國二十六年四月再版

(51203)

新時代科學叢書 天象談話 一冊

The Heavens

每冊實價國幣壹元

外埠酌加運費匯費

原著者 J. H. Fabre

譯述者 陶 宏

發行人 王 雲 五

印刷所 商務印書館

發行所 商務印書館

版 權 所 有
翻 印 必 究

