

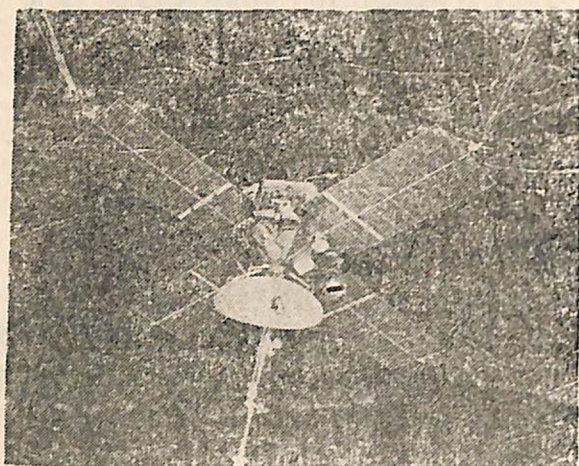
行星氣象學

樊滌兮譯

Weather on the Planets

壹、引言、水手四號探測火星之 奧秘——那裡有風暴嗎？

1964年11月28日晨9時23分，一枚火箭由佛州甘迺迪岬發射站引火升空，此枚無人太空船即為水手四號（參見圖一）旨在從事火星旅行。此次飛行之主要目的，係對此所謂「紅行星」之真相，欲獲得「一睹廬山真面目」之機。水手四號携有一自動望遠的電視設計物，可在衛星與火星相距10,000—7,000哩時攝得24張圖。（實際攝得21張半）甚多其他之測量亦皆完成，包括包圍火星之「火星大氣」（Martian Atmosphere）量的決定。



圖一 水手四號全影

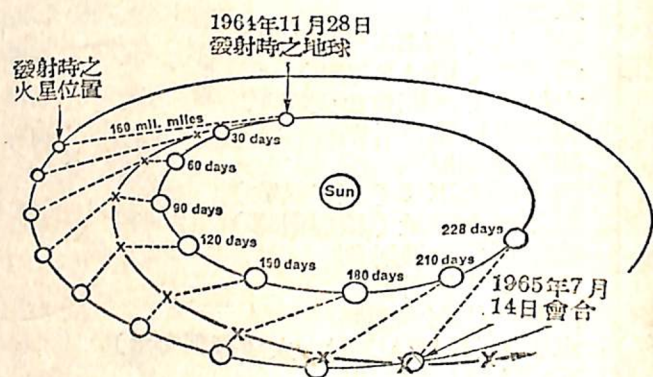
以地球為範圍之人類，欲獲另一星體近距離圖相需接受某些困難問題，首先一枚重575磅的太空船需從一平台（地球）被發射起飛，然地球本身却圍繞太陽每時作66,000哩之運行，且需十分精確足以對每小時旅行54,000哩的火星在太空二億五千萬哩之某點，準時迎截。

順沿到火星之路，水手四號需將其本身在太空的方向，保持其「日光電池」面向太陽，而其「電子眼」需指向「卡奴巴斯星」（The Star Canopus 南方天空一顆最亮之星——參看星座圖）以便使適當的無線電傳返地球。牠需從地球接收，貯存和執行無線電之指揮命令，當接近火星時其位置需便於其電視像機指向相當角度。且以極微弱之所供動力，需將其觀測以無線電送返空前的長遠距離外之

地球。

水手四號所携之電視像機，需設計僅當衛星旅行於火星表面10,000哩以內之範圍，始可獲最有用之圖片為準。發射後數日，追蹤情報顯示水手四號將航向錯過火星的150,000哩之偏差航程，此距離與電視相機設計之極限，相去太遠，且如太空船繼續向該方向遠颺，則此次之科學性任務，即行將告吹，但加州之「噴射推進實驗室管制中心」，曾預期到此問題，且準備從事一中途運動，或改變速度，以引導水手四號在所需的火星距離之範圍內，從事運動。將實際飛行路徑與計劃的近迷失圖互作比較後，噴射推進實驗室的電子計算機決定了所需的度改正。於1964年12月5日晨，當太空船遠颺在百萬哩以外時，指揮命令由無線電對水手四號發出，以執行此一複雜的中途運動，然後水手四號繼續進行，將其本身置於適當位置，然後再點燃一小型火箭馬達，此馬達活動助燃20.07秒後，增加所需之速度至每時二十八哩，以保證此一近迷失的火星。

在後繼的七閱月中，水手四號之速度仍未顯疲竭現象，以每秒六哩之速，通過太空近真空之敵意環境，完成和火星歷史性之會晤。1965年7月14日，此太空船接近其目標（參見圖二）。因電力供應小及與地球之距離大，故使任何圓滿成就拍攝之圖片的即時傳播，將變為不可能，從像機系所得之資料被貯存於錄音帶中，然後在全部攝影程序完成後，

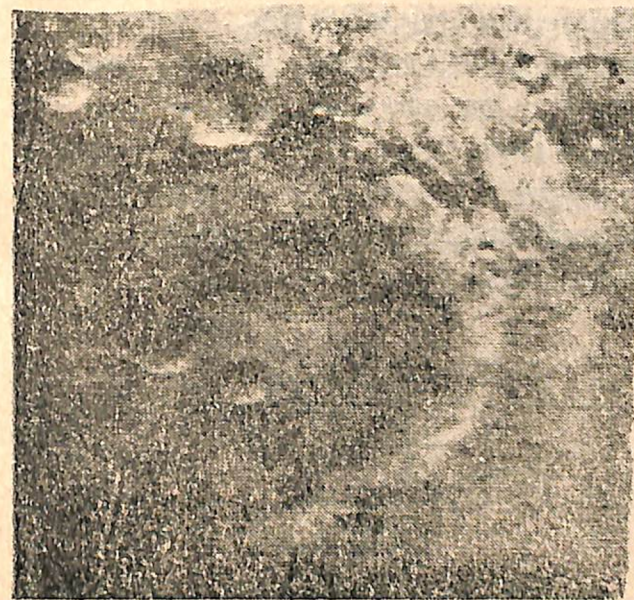


圖二 水手四號飛行路徑圖，圖中各點標明為衛星按所預計之日期之到達位置，各該位置皆介於地球與火星軌道之交點，一至1965年7月14日之最接近的會合點止。

再一點一點傳至地球，錄音帶在每圖之過隙時中止，以使全部共22張圖，可以330呎長之帶，予以獲得，每圖之傳播費，時約在八時以上。

於會合日，如預想水手四號的噴射推進實驗室管制中心的學家們之神情緊張，乃一不言而喻之事。電視像機和錄音帶停置數月未試，牠們可在嚴酷的太空中殘存無缺嗎？牠們能如預計那樣工作嗎？一個無線電訊號終於從火星收得，牠們指出在攝影過程錄音帶並未停止活動，此一訊號可能意味並非所有的均已完滿攝得，有的可能被刪除，甚或因錄音帶故障全部報廢，終歸可能無圖被送返地球。是夜徹夜及翌晨凌晨（七月十五日）科學家們「倉卒雲集」，以分析此一有問題之訊號。其後，眾人共信那是一讓計算機計算錯誤的假訊號。於上午05:53第一張圖開始進入，至日終該圖全部收到，十日後共22張圖相，全部傳送由無線電收到。至此發射至太空七個半月的水手四號，已徹底完成其壯觀的火星任務。

水手四號發現些什麼？截至本文起草時，科學家們仍在分析圖相及其他資料。圖三為水手四號所測之火星圖相之一，該圖所示之火星區域約當美麻薩諸賽州之面積。由水手照測之圖解，較從地球以望遠鏡測者約佳三十倍，所能見之地面特徵寬僅二哩，此與以地球為基地之極佳望遠鏡所測得之60哩比較，自當略遜一籌，該圖所表現之顯著特徵與其他已知星體較，乃為火星表面甚多火山口的存在，



圖三 水手四號所攝之火星圖，該圖面積東西向涵蓋約170哩，南北向約150哩。

看着和月球上的大火山口相近，其以如此多及範圍廣之火山口存在現象，誠非科學家們始料所及，但仍不失為水手任務之重大發現之一。關此圖片之詳情，將見後述之「火星章」，其他由水手四號所成就之探測，科學家們相信火星大氣甚薄且無磁場存在。

長遠無限之努力，將追隨水手四號之初航繼續向火星進軍，以觀察億萬年前即已存在之宇宙天體和至二十世紀後半期仍被人目以神秘詭譎，怪誕離奇以居之科學怪物。幾乎從有紀錄的歷史始，宇宙星體，即喚起人類之敬畏，迷信和好奇的冒險觀念。由這些感情構成其好奇心和發掘改進等意念，絕不純單，但自伽利略時代後，即進化為科學的好奇心。

火星像些什麼？牠和地球相像嗎？如其亦有大氣則其大氣之組成如何？牠們有那類的天氣？根據其專長，科學家們可提出一連串「打破沙鍋問到底」的問題，然而這正說明人類基本天性之一的「好奇心」，這亦為主要與人類有關，且為本書所要討論的主題，我們將透過氣象學家的眼光，將這一太陽系中我們的近鄰，作更進一步的凝視觀。

研究氣象之目的在透澈瞭解地球大氣不斷所進行者何，其最後目的是以高度準確和真正預先或提前的預報能力之培養，及可能的改變或控制天氣及氣候。和以試驗為主的物理學家比較，物理學家在一控制條件下的實驗室中可試驗其假設，氣象學家則不能執行控制的實驗室試驗，全部的大氣可為其實驗室，且在超越其能力的範圍內，進行其控制的試驗。所幸，自然界有充裕的其他方法解決此問題，其他星體亦有大氣；而其情況或條件與地球大氣所不同。其他星體以其所特有之情況，吾人可察知更多星體之一般性及我們自己的地球之特殊性（和其他星體者相較）。由此新知，結果，吾人可獲更佳之氣象預報技術，且對人類有重大裨益。

關於宇宙諸星體衆象的再生和太陽系之全部生命史吾人所知甚少，但當吾人克學更多星體衆象之現況，則在宇宙太空之冥冥無知中，不難出現一線曙光。另一可能性，即吾人所處之太陽系其他諸星體中，某些生命形在現在或過去即已存在。如此定識對生物學家將為意義深長之事，且可有助澄清某些有關原生和地球生命創造說等理論，是一項偉大而不確定的主題。如太空探測不斷，則各星體之無人和有人飛行，勢在必行，則大氣狀況將變為一立

即的實際考慮。一星體環境知識對太空船及其他裝備之設計至有必需，以保證安全登陸，儀器之適當作業人員本身之安全等。

如讀者所知，有甚多極充份之理由以從事星體研究，雖如是，這種從世界上第一人第一次目睹天體後，即從事斷續或或多或少之研究，然直至近來其研究範圍，仍局限於一小部份從事專業領域的天文學家。然而，迨二十世紀，由技術產生探測手段，使一批批的科學家們，開始作星體研究工作。這些科學家們所包括之研究人員，其種類至多，主有氣象、生物、地質、物理、化學、天文以及地球物理等科，有的研究針對星體之內部及表面，有的則旨在探索星體上某些生物存在之可能性，有的則以星體大氣為旨趣，此亦即為本書之主題。

火星上有風暴嗎？這是一急需獲知而十分有趣的事，我們所需瞭解星體之事極多，諸如組成星體大氣的空氣之成份如何？那裡是否有雲？如是則其雲之組成和形態等如何？其氣溫如何？有風嗎？空氣之濕度如何？風暴之種類怎樣？是由雨暴、雪暴抑或塵暴甚或其他種前所未聞未見之風暴所呈現？其大氣如何？或為什麼其他星體大氣和地球者有別？

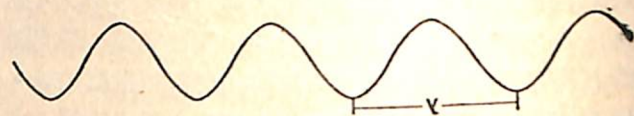
極多的問題會立刻面臨到所欲研究星體大氣某些範圍的科學家們，然後你如何對遠在百萬哩外的大氣進行某些研究？即使離我們最近的星體——金星，其與地球之距離尚有二千四百萬哩，至於最遠的冥王星則更遠在二十七億哩以外了。如我們的科學家們更想要像決定地球上之溫度那樣，而決定其他星體者則知大謬不然，至如擷取空氣樣品擬在化學實驗室從事分析，亦不可能，他沒有宇宙氣象風袋和風速計以測定風向和風速，他需發展其他的觀測技術及應用理論歸理，以和其他星體大氣在極長遠的距離下，建立起一座便於研究的橋樑。下章將為應用於此種任務之一部份基本地球科學原理。

貳、情報之獲致

一、電磁輻射

所有我們對星體大氣之觀測情報，咸歸結於星於對地球所放射來之輻射而定。這種輻射之部份屬體可見者，如星體及其大氣反射回太空之日光；另一部份為不可見者，如熱為星體所輻射者，對這些輻射，利用適當之分析，科學家們可推演出甚多星體大氣之構想。

輻射係由電磁波所組成，輻射之速度很大，其間之電磁波，其旅行速度為 3×10^{10} Cm/Per Sec，或每秒 186,000 哩。從太陽至地球之日光的行速僅八分三十三秒，其距離為九千三百萬哩。在相繼二電磁波間之距離——亦即二相繼電磁波波峰或波槽（參見圖四）之距離，被稱為「輻射波長」，在單位時間（習慣上為一秒）內經過一觀測者之波峰或波槽數被稱為「輻射週率」。在波長，週率和電磁



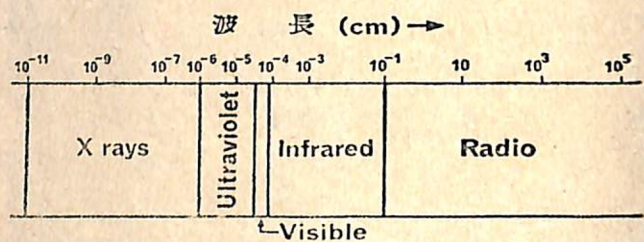
圖四 波長以 λ 代表二波峰間之距離，此術語可應用於任何型波之運動，色括電磁輻射。

波速間，有一相當簡單的關係，如以數學表示其關係可寫為：

$$f\lambda = v = 3 \times 10^{10} \text{ Cm/Per Sec}$$

其中 f 為週率， λ 為波長， v 為波速。

所有物質咸克被送出或放射成為波長不同的電磁波。可被輻射體放射之波長範圍至廣且繁，由圖五知，此範圍被稱為「電磁光譜」，且在此光譜上之每一部份之輻射均有一定之命名。例如，以波長甚短約 10^{-11} Cm (3.94×10^{-9} in) 之輻射被稱為 X 射線，這些 X 射線與醫生用以診斷病人徵候之 X 射線悉同，有甚長波長從 $0.1 - 10^5$ Cm (3.94×10^{-2} in 至 32 80 ft) 其輻射被稱為無線電波——儘可能使與無線電廣播所用者達同一波長，在此圖中你可看見可見的輻射或光線，僅佔據全光譜的一小部份，人類的肉眼在光譜上所見到之輻射，其波長變化範圍就紫外光言，約為 4×10^{-5} Cm (1.57×10^{-5} in)，紅外線約為 8×10^{-5} Cm (3.15×10^{-5} in)。白光為此波長範圍所有輻射之混合物。此外，人類肉眼即對任何其他電磁波均不能見，然則吾人何以知其存在？而其量度之法又如何？



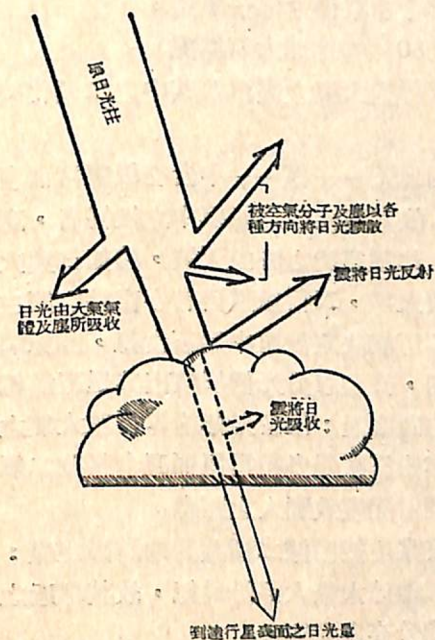
圖五 電磁光譜圖，其範圍從最長的無線電波至極短之 X 射線（為所知之伽瑪射線）。其中可見光區段至為狹小。

偵察光譜每一部份之波有一特殊技術。例如，較長波輻射可以無線電接收機偵得，紅外線可由其熱效能，而 X 光和紫外線輻射及可見光輻射，可透過牠對照相底片之化學性行為測知，關係光譜測量涉及星體大氣和氣象問題等，詳見後述章節。

二、電磁輻射之大氣減量

電磁輻射柱——如一日光柱——可因透過大氣層而趨減弱，這種減低作用可發生於透過任何下列三程序時：

(一)、吸收(=)、擴散(=)、反射。在地球大氣空氣中，諸如水蒸汽（氣狀水），二氧化碳及臭氧等，皆以一定的波長吸收輻射，臭氧對紫外線輻射之吸收力特強；水蒸汽及二氧化碳則以多種紅外波長吸收輻射，空氣分子可從各種方向擴散輻射，此即減低輻射柱之強度；故擴散對短波長輻射之效果特強。塵分子及其他天氣污染體亦吸收和擴散輻射。輻射的反射多發生於雲。例如，雲在地球大氣中將甚多之日光反射回太空——故雲日多暗。此類程序之純功效是減弱「輻射強度」。亦即，充滿單位面積（水平）單位時間之能量（如每秒每平方公分面積上之卡路里數），當其透過大氣（參見圖六）必被減弱。本圖解為各種輻射減弱程序之綜合說明，這些程序亦同樣管理所有各種星體大氣之輻射傳遞變遷。際此，這些程序亦幫助吾人瞭解星體大氣之一般特性，且在某些例證中，彼等尚困擾吾人為求知



圖六 大氣之擴散和吸收減低日光強度圖。

而進行之研究。

為量度從星體而來之電磁輻射，需有特種儀器，部份這種儀器及其用途如下：

照相底片 (Photographic plate) —— 為製作可見紀錄。

光度表 (Photometer) —— 用量光之強度。

分光計 (Spectrographs) —— 以波長量度電磁輻射之不同強度。

紅外線輻射計 (Infrared Radiometers) —— 用以量度紅外線輻射之強度。

無線電望遠鏡 (Radio Telescopes) 或微波輻射計 (Microwave Radiometers) —— 用以量度無線電波長輻射之電磁輻射強度。

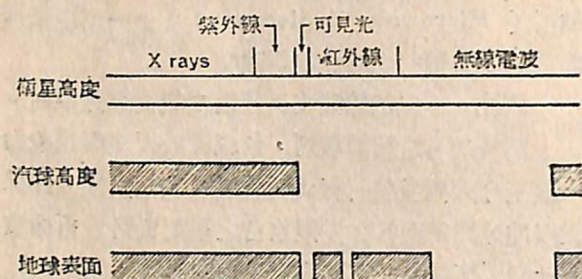
雷達 —— 以無線電波長發送或接收電磁輻射。

瞻昔所有之星體觀測，皆成就於天文觀測象台。甚至今天極多數所有我們的星體大氣情報，亦係從以地球為基礎的許多觀象台之觀測資料分析而致，一所天文觀象台主要的組合物即為望遠鏡。一具望遠鏡普通有二種功能：將小的實體放大，俾供作星體形像之分解；大量積聚光線，使昏暗的星體更光亮。本質上，其所以如此，乃為供人類的肉眼或儀器看的更清楚些，或讓肉眼見其所不能見者，望遠鏡之需求因星體或其他天體之距離遙遠，且彷彿僅為天際不亮點的觀測而設，故其價值無庸置疑。星光之強度，隨從光源至地球距離之平方的時間遞減甚巨，故設無望遠鏡之助，吾人之星體或其他天體觀測將不可能。

假設你有義務為一新天文台覓址，則何種地理特性是你所欲尋求者？首先、你要找一個最少雲出現的區域，因你要儘可能增加你的觀測時間，雲因其能反射甚多之電磁輻射而干擾觀測。其次、可能的你要遠離城市，因塵煙及其他空氣污染體之密度較大，且亮光又不適作夜間觀測。第三、你要尋找乾燥的地理區，因水蒸汽是可吸收電磁光譜上不同部份的輻射之真正的大氣氣體，將過濾你正努力觀測的電磁輻射。最後，你可能選定一處巍拔的山頂，儘可能高聳出雲而能俯瞰地球大氣。大氣化的氣體，如水蒸汽及二氧化碳和塵分子等，都是你力求觀測所欲趨避的死敵。就這些準據的基礎，你可能建造你的天文台於沙漠中央地區的山頂，遠離城市或污染空氣的源地。（就此環境，你可能發現很難僱用到天文學家來此工作，但那是另一問題）。

不論你所覓定和建造的天文台在那裡，然而困

擾的觀測之大氣影響，主要仍為兩種：第一種作用已如前述，為被地球大氣中之氣體和塵埃將來自星體之電磁輻射所吸收。圖七，表示在地球大氣中何種波長之氣體吸收輻射，而何種波長，彼等可透過電磁輻射。另一個擾亂性影響是大氣的流動，此種作用會使從星體而來之光變型。一個簡單的例證是「閃爍」，所謂「熱波」者是。尤當你從一恰高於一散熱器的窗口外望，你即可瞭然於此。這種作用會污損或弄模糊實像或圖相，並阻止陸上基地的望遠鏡履行其理論性規範。故此，唯一的真正解決之道，是將天文儀器置於地球大氣之上。



圖七 根據大氣吸收輻射之高度與波長所製之表示圖。水平橫條表示吸收量。地球表面除可見光及某種紅外線及無線電波長外餘皆吸收。汽球高度之紅外線已不存在。在衛星高度所有之輻射均屬可見。

地球衛星較高空汽球又勝一籌，故為觀測星體賜予數種利益。汽球飛行受限於數日之歷程，而衛星則可在軌道留空多年，汽球高度之氣與臭氧，乃為所置置該層等待吸收各種星體紫外線輻射的大氣之小部份。高出地球大氣之衛星高度者，則其紫外輻射可被觀測及測量。進言之，衛星上之望遠鏡將可在地球大氣以上之黑暗太空的軌道旋轉，其觀測將可日夜進行，且其情報可藉無線電傳至地球。我們的首枚軌道天文台雖至本文發稿時尚未發射，然據各方情報顯示，已為期不遠。

為測量星體附近之星體特質而從事儀器星體探測，其意義自較測量地球附近者所携之儀器為重要。一太空船携帶着儀器到達一行星在該處完成測量後將其以無線電拍返地球。1962年水手二號所完成之金星側面探測為首次行星勘測。

行星勘測之前此利益，乃為擴張科學家之研究試驗領域；將其儀器靠近或置入彼等所欲努力在其中尋求得什麼之大氣中。此則電磁輻射儀器自較從地球上之可能成就獲得更多之詳情。所已成就之最動人例證，乃為驚人的詳細之月球和火星的電視圖

相；由圖相顯示，所獲之二星體表面面積及其詳情與以前許多世紀以來由陸地為基地之望遠鏡觀測所獲者相比，後者更較詳盡。同樣，對紫外線，紅外線及無線電波長等之觀測，亦可詳細測得行星表面的這種輻射，然從地球所觀測者，則顯過於微弱。

屆時，當無人行星探測被改進後，即有機會在進入行星大氣且登陸其表面之乘具上，從事直接的測量。且再不需從電磁輻射儀器上繪圖推理、相反、他們將能够像在地面一樣，運用溫度計和氣壓計了。他們可直接的測量出從電磁輻射觀測所不能完全推斷出的大氣之量。最後人類自己可從事星體旅行，並記錄下其自己的星體觀測。

三、理論性技術

為推廣由直接觀測所獲得之情報，科學家應用理論性技術以解決星體大氣之特性。其方法一般可被簡單形容為地球邏輯學，基本物理學及有關測資料的化學之應用等，以獲得可能想像中的固有的行星大氣的一幅綜合圖。偶然情況亦可歸納應用為特異情況之基本原理，在這些事例中，科學家們所能做的不見的比一般有才智的人為多。一個假設的例證可說明這種方法：

如果你是一位有關化學成分——氣體混合——方面的科學家而與X行星大氣鄰近。則由觀測所得之下列之事實對你有用：

(一) X行星之大氣中含有某種二氧化碳，且此種氣體為迄今所察得之唯一氣體。

(二) 約80%的地球大氣為氮。

(三) X行星大氣之體積較其中之二氧化碳體積為大。

(四) 因氣體——氮——中含有很豐富而有高能的宇宙線，故其可能成為氮氣中之候補者，意即所被發現含有此種質能之許多天體，諸如日與火星者是。繼日與火星，X行星為含有宇宙線之第三大星。

(五) 不可能決定行星中是否含氮，因氮的地球望遠鏡觀測，甚難以分光儀偵察出其是否為氮。

你的問題是：何者是你的X行星大氣之成分估計？如你的答案是多數為氮而混合某些二氧化碳，則此答案可能獲致別人之同意。

此答案可能根據二種共同的認識定識：

(一) 因地球大氣大部份為氮，故其鄰近之X行星其大氣成分亦多為氮。

(二) 因氮中充滿最重之物質，X行星大氣亦可能

充滿是種物質。

這兩種共同之認識，可被各自稱為「地球同類物」(Terrestrial Analogy)和宇宙線豐富待決體。對此問題你所推薦的解決法，並非一虛構者，因其基本上與科學家們所面臨的金星大氣同出一轍，且他們的答案，亦認為氮是金星大氣之主要成分，此答案之究屬正確與否及其將被取決途徑，只有依賴氮之直接探測為可能手段。後章各節將述其他特例，其間理論性的說理部份，將有助吾人解決問題。

四、不定數

觀測的和理論的技術，是被科學家們用來獲悉行星大氣情報的二種工具，但仍需指出者為，在我們所已解決之情報中，有很多不定數存在，因吾人之行星特性知識範圍，從才智的猜測至理論性預報，澈底可被一準確之觀測所確定，有數種可發生的不定數之來源存在，我們即將提出討論，在二特殊例證中我們亦將說明有關星體之變化，其所假設之「事實」如何。

每一觀測技術皆有儀器，測量和誤差等，使有連帶關係，其誤差或大或小，要根據特殊的技術和儀器而定。伸言之，如一觀測中有誤差，則即不會準確，且更代表一部份之不定量，存在於由觀測所得之情報上。

欲運用理論的技術，我們需常製造假設，當假設不完全有效，一理論預報即可能謬誤，間有矛盾性理論發生，是則當導致困難的理論預報，甚至發生於同一組觀測資料和假設中。

對大的不定數，可能其最重要原因，係吾人之觀測情報未根據在某星體大氣中行直接之觀測，而只憑從該衛星及其大氣所收到之遙遠的觀測之判讀所致，這種判讀可能不正確，例如對其他行星的圖相判讀，科學家們判讀圖相一定是根據他們所已熟習之特殊現象從事分析研判，而這種所熟習的特殊現象又與地球及其他大氣為藍圖。似此，一科學家可豪不猶豫的點定一處，為另一衛星之雲型，因就地球經驗可比較該雲形像如何。然除地球者外，亦可詔有另一種大氣和表面現象不與地球者同，故衛星圖相之判讀，相當困難。

當觀測與理論技術革新，而清楚的判讀即變為有用。例如，在星體天文方面有一十分驚人結果，即最近定識之金星表面溫度最高約為華氏800°。此

種定識乃根據星體無線電波放射觀測結果，且由飛過金星側面之水手號太空船而確定。至此，前所成就之觀測，確信金星之表面溫度約同或略高於地球溫度即屬錯誤。茲再解釋為何金星表面會有如此高溫。

在偶然的場合中，科學家們自己亦不領會和其觀測相連帶的不定數。例如，1895年有位科學家會估計金星之旋轉週期——繞軸每轉一次之時間——為23時57分36.2396秒。彼後又修正其為23時57分36.37728秒。此種欲求十分精確的估計——意欲準確至 $1/10,000$ 秒——顯屬極為愚蠢之事，如人們所領會者，即使今日以大量改良的觀測技術，而金星旋轉週期之不定數仍有五天，而非 $1/10,000$ 秒！（今日可用之最佳觀測指出一週期約接近250日而非24小時）

參、燦爛的大圖一行星總匯

太陽系乃由太陽及其行星家系所組成。包括地球共有九大行星圍繞太陽旋轉。太陽系為大星雲系之一。各星軌道與太陽之距離，其逐漸增加距離之次序，由近而遠，為水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星，海王星及冥王星。如欲簡化此圖，吾人可定日地之平均距為1，（附表一）則其他星體至日之距離，即如附表一所示者。日地之真正平均距離為93,000,000哩。

對這樣遙遠的距離，人類無法一眼看盡，我們可以一棒球場，比較太陽系中各星體之相對距離。（參見圖八）假定圖中之太陽為本壘（以此圖之比例尺太陽之大小如一乒乓球，而地球亦縮小一百倍）。然後水星、金星、地球與火星將位於壘內20呎之境，而木星位於投手踏板處，土星接近第二壘，天王星在近中央場，海王星在遠中央場，冥王星則位於露天看臺場之中央。

一行星接收太陽之輻射量，係隨其至日距離的平方而減少。你可確信此種敘述之真理，如你居一室之中央，而目睹一電燈泡時。現在先設想該燈泡上具有各有其中心的球形體兩個。如第一球體之半徑定為1呎，而第二個的半徑為2呎，（參見圖九），球體面積公式為：

$$S = 4\pi r^2$$

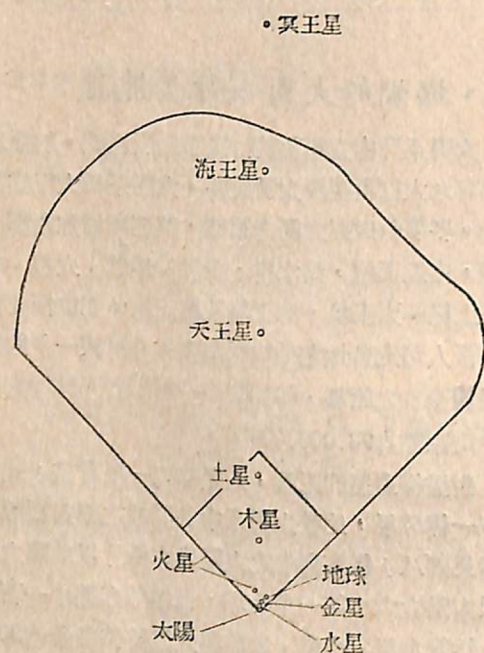
式中S為球體，r為球體半徑，則二理想球體之面積為：

$$S_1 = 4\pi(1)^2$$

$$S_2 = 4\pi(2)^2$$

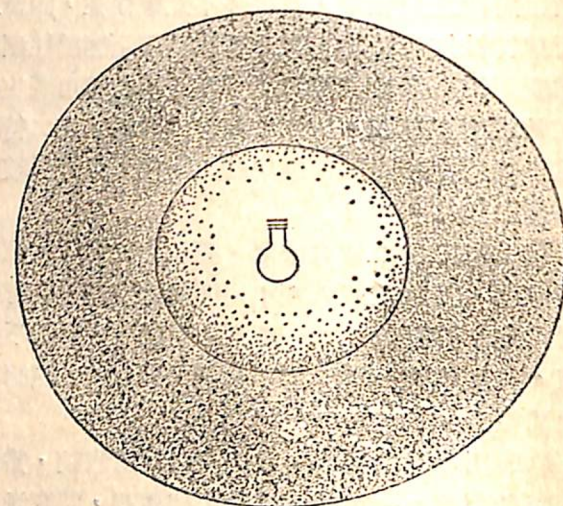
附表一

行星	平均與日距離 (地球=1)	所接收之太陽輻射 (地球=1)	軌道之週期	偏心率	赤道之直徑 (哩)	體積 (地球=1)	重力 (地球=1)	逃脫速 (哩/秒)	自轉週期	傾斜度 (度)	大氣輻射地球 反射量
水星	0.39	7	88 日	0.206	3,010	0.05	0.38	2.6	59 日	10?	0.06
金星	0.72	2	225 日	0.007	7,620	0.81	0.89	6.4	250 日	6	0.73
地球	1.00	1	365 日	0.017	7,926	1.00	1.00	6.95	23.9 小時	23.5	0.35
火星	1.52	0.4	687 日	0.093	4,220	0.11	0.38	3.1	24.6 小時	25.2	0.30
木星	5.20	0.04	11.9 年	0.048	88,800	317	2.64	37.7	9.9 小時	3.1	0.45
土星	9.54	0.01	29.5 年	0.056	74,000	95	1.17	22.5	10.4 小時	26.7	0.50
天王星	19.2	0.003	84.0 年	0.047	29,500	14	1.03	13.6	10.8 小時	98	0.66
海王星	30.1	0.001	165 年	0.009	27,200	18	1.50	13.6	15.7 小時	29	0.62
冥王星	39.5	0.0006	248 年	0.249	3,600?	?	?	?	6.4 日	?	0.15?



圖八 以一宇宙性之美國棒球場所表示的太陽系。火星居投手位置，太陽當然為本壘，其他各為各行星之本位。

兩面積之比率為 $S_1/S_2=1/4$ ，是則第二球體之面積為第一者之四倍。從燈泡所射出之光涵蓋於二球體者全等，但因第二球體之面積比第一者大四倍，故其所投入光之強度，僅為所投入第一者之四分之一。似此，光強由視知，乃隨至物源距離之平方而減低。亦即第二個球體半徑愈大，其所受強度愈弱。這種強度和距物源距離之簡單關係，具有十分重大之差別。從遙遠的行星所放射與反射出之輻射，因其到達地球之長遠旅行，使輻射劇烈減少而甚難測量。抑且，距太陽最遠之行星所收到之日射



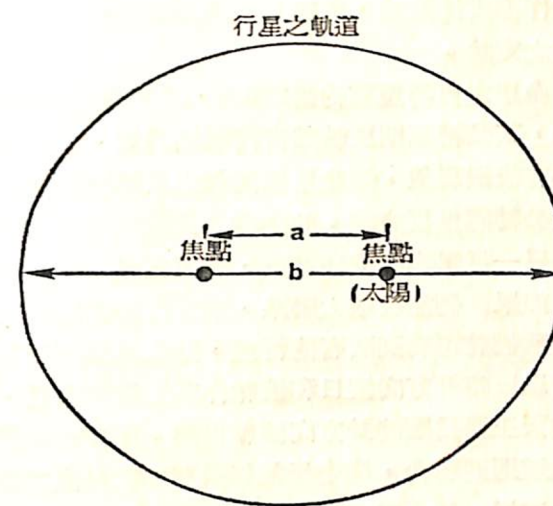
圖九 外圈距光源為內圈之一倍距離，然其面積則為內圈之四倍。故光之強度以四倍於此區者向外擴散，而任一點皆為內圈中之四分之一。

亦最少，故較距日最近者為較冷。各行星所接收之太陽輻射平均量，亦如表一所示，其中水星較地球所得之太陽輻射大七倍，然冥王星則僅 $1/16,000$ 。

對行星氣候重要者，為其軌道之某些特性。行星之軌道，並非對稱的圓型而是橢圓型者。軌道週期或繞日一週所需之時間，乃取決於行星年或季之長短而定。其每一行星之不同的軌道週期亦列入表一，顯然，由表可知，各行星之週期的增加係隨距日之距離而增加。其中火星之週期幾達地球者之一倍，故火星上之一季將近地球上之兩季，至其他更遙遠之星體，則有數季或十百季了。

行星軌道非圓而呈橢圓之事實，十分重要。圖

十所示，為距日之某行星軌道距離，其行星年之路徑略有變化。變化之總量，根據軌道之偏心率（或



圖十 橢圓行星軌道之偏心率，係由B點距離所分開之距離。

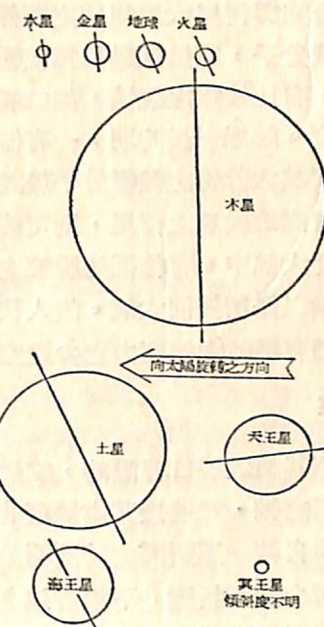
偏心率)而定。因行星有大的軌道偏心運動，故其變化，可引起接收太陽輻射量之重大區別，因之，其平均溫度亦不同。地球軌道近乎圓型，其偏心率僅 0.017，故其效果不顯，但火星則否，因其偏心率較大 (0.093) 其平均溫度在最近日與最遠日時，有重大之差別。(各行星之偏心率亦如表一)。

一、體積

行星之形狀多為球形，量其體積之最佳方法是取其直徑之長。(參見表 1 及圖十一) 各行星之體積大小，相去極為懸殊；水星為最小之行星，其直徑為地球者之 0.39 倍，然木星者，則十一倍於地球者，故為最大行星。因球體體積與其直徑的三次方成比例，故木星之體積約為 $(11)^3$ 或 1331 倍於地球之體積。因之以此當量而言，木星可容 1331 個地球，相反，十六個水星，亦不見的能把地球塞滿。

另一測量行星體積之方法，為其含量或容積，行星容積，亦列如表一。有關冥王星之容積仍為一不定數，但所易為人接受者，為木星有最大之容積，水星者則最小。

因行星之容積關係其重力，故最為重要；事實上，任何物體之重力，無不與其體積，直接成比例。在地球上，你承認拋球或扔石子時引力之作用，但其影響却遠出你的知覺範圍之外。最初你可能會奇怪地球大氣及其他行星大氣之組成成分，實則與



圖十一 行星羣之相對體積和傾斜度圖

行力之力量有關。

與每一行星隨伴存在着一種被稱為「逃脫速」(Escape Velocity) 的量或力，乃為當今之火和箭人造衛星時代所應熟習之成語。所謂逃脫速者，乃為一物體逃入外太空所必需獲得之速。你可能對此從地球大氣走脫之全部概念，抱持懷疑態度。但終歸物體為何被拋上又必需落下？且如給予一有效的向上高速，物體會真的逃離地球。此可能因引力隨高度未被保持為常數。根據偉大物理學家牛頓助爵所發展出之運動定律：引力隨地球以上之高度之增加而減小，且隨至地心之距離平方而減小。例如，地面上某高度之引力比等於地球半徑（即地面上約 4,000 哩或距地心 8,000 哩之高度）對地球表面之引力：

$$\left(\frac{4000}{8000}\right)^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$$

似此，4000 哩高度上之引力僅為地球表面引力之 $1/4$ 。設如吾人對某物給以甚大之向上速，彼可能到達某一高度，在該高度上，其引力變為可略去之數。如其抵達該高度後，仍能繼續進入太空，則該處無力促其重返地球。計算顯示，以地球為例其所需之初速——逃脫速——約為每秒七哩。因據不同之引力，某行星有某行星之逃脫速，故吾人可期有大引力之行星將有高的逃脫速，而引力小者，其逃脫速亦自小。

茲再討論其與行星大氣組成之關係。在一行星大氣中之氣體分子，常呈運動且為較輕之氣體，諸如氫，氦等，有比較重之氣體，如二氧化碳即有較大之平均速度。超過一長時期，一有低逃逸速之行星，可能損失其大部份之較輕分子於其週圍大氣中。相反，一有高逃逸速之行星，則可能保留此較輕分子於其週圍大氣中。有極低逃逸速之行星，如金星，則全然難以保留任何大氣。故人們可期在如此的行星上，僅有稀薄大氣壓力之少量空氣存在。

二、自轉率

當行星在其軌道繞日移動時，牠們亦各繞其軸自轉。一行星之軸，為連接其本體南北極之一條理想的線。行星自轉一週所需之時間稱為「自轉週期」。因行星有小的傾斜度（下節評述），其自轉期大大決定其行星日之長短。因其決定日照及夜長等時間之長度，行星日之長短當與氣象密切有關。一般而言，在一自轉行星之某點將有半日之日照時間。在地球上日之長為24時，故一有24時之行星，平均將有12時為日12時為夜，但真正的日照時間將隨緯度與季節而變，其變率或偏差（容後討論）乃為行星傾斜之結果。

各行星自轉週期（參見表一），其資料至目前止，金星之自轉週期仍為88天，與其年長實相等。此種信念，乃根據望遠鏡對其表面特徵之自轉率的觀測和理論之計算而得。然據更近期之雷達觀測指出，其週期並非88天而為59天，誠實驚人。

此雷達觀測之驚人結果，使科學家重返先前的望遠鏡觀測和理論計算之檢查。因其距日如是之近，金星是一以望遠鏡十分難觀測之物體。此星之形像由觀測者繪為草圖，亦僅數次。這些草圖外表看來完全相像，因之，科學家們將這些千篇一律的草圖判讀，為吾人每次所見者為金星的同一面——正如吾人經常所見之月球的同一面。彼等歸結謂，當其在軌道上旅行時金星之同一面常面向太陽，所以金星的自轉週期和其軌道期的88日相等。但這些有限資料的其他判讀，亦頗可能。例如，假定人在另一星體上看地球，並在24時中對地球觀測三次，每次所見之地球特徵亦均為同一面，你的觀測結論，亦可能為地球的同一面，常面向太陽。相反，你亦可能判讀此觀測指出其自轉率為數者之一，例如24時週期，或12時週期，8時週期與6時週期等。當科學家們分析此有限觀測資料時，彼等復發現59日的自

轉週期與少數其他目擊事件相吻合，故此新的金星自轉週期值，已有更為堅實之基礎。此外，新的理論工作亦支持此說，使59日之金星週期說，已成為目前之定論。

金星之自轉週期約為250日，其年長僅225日，似此，其公轉週期反較其自轉週期為短。抑且，其自轉有後退現象，即金星繞其軸之自轉感似與繞其日之公轉感呈反方向。此非在九大行星中僅有之現象，另一行星亦有後退運動，即天王星。

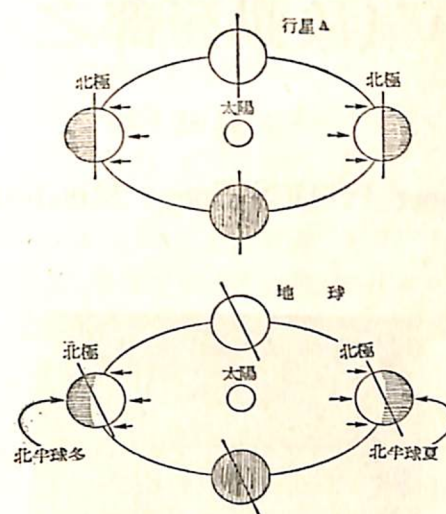
如果我們能跳離太陽系，乘着行星軌道機向下看，我們將可看到所有的行星，除金星與天王星外，皆以反時針方向繞日和繞軸作其公轉和自轉。金星與天王星為順時針方向繞軸自轉。此種運動與長的軌道週期聯合，使金星每年只有二次日出二次日落。這樣，使金星表面上之任何點，其日照時期極長。

行星之自轉可影響行星風。一個無自轉的行星，其所受風之影響，與一台不會旋轉的木馬機同（兒童樂園玩具之一）。風對一不旋轉的行星運動，不但無偏斜而勿寧為直線吹送——分別對行星及對固定於太空的絕對座標系。但對一自轉的行星，則風會從其原始方向向行星偏斜，但却不向固定於太空的絕對座標系偏斜。向太空偏斜之說並不確實。因行星上每人所關懷，或考慮其有關之風向，係向行星偏斜者，這一偏斜對彼等為一真風。在上述之木馬機台上，如你居於該台之中央（不覺自轉）且向靠邊之任一木馬擲球，此球之初向呈直線，然後隨自轉運動，球之路徑已呈曲線。此種偏斜與行星之自轉情形同，而此種力，亦即氣象學上所稱之柯氏力（為紀念法數學家兼工程師，原名 Gaspard de Coriolis, 1792—1843）。偏斜力以自轉率而定；自轉率愈高，偏斜力亦愈大。

三、傾斜度

行星之軸一般不垂直於其軌道平面。行星軸與垂直於其軌道平面間之角度被稱為傾斜度。當一行星繞日旋轉，其傾斜度在量及方向上保持不變。（參見圖十二）地球軸之傾斜度為週知之 $23\frac{1}{2}^\circ$ ，其他星體之傾斜度參見表一及圖十一。

因其決定氣候上之季節變化，一行星之傾斜度至關重要。為說明其效果，以二行星為例：一為假設無傾斜度之行星，另一個是地球。因假設行星之軸與其軌道平面垂直，陽光在空中之路徑，將保留



圖十二 行星傾斜度及季節圖。假設行星A無傾斜受熱情形（箭頭所示）——任何既定區全年角度相同。地球傾斜度為 $23\frac{1}{2}^\circ$ 入射角之受熱區年中常變，故對氣候形成季節型。

為年中各日皆同。於各日之同時，行星之各一點，日光對正地面之角度，亦被保留相同。（參見圖十二中之上圖）。且年中日夜相等，而無隨緯度之變化。例如，假設行星之自轉週期為24時，則全年各日之日時在行星任一點均恆為12時，如此在此行星上之氣候，則全年盡同而無季節之不同。但氣候隨緯度之增加終亦有變，因陽光照射地面之角度，亦隨緯度而變。（參見圖十二）

茲再討論我們所熟悉的地球。因其軸傾斜於軌道平面，陽光射至地面之角度在年中各季變化不同（參見圖十二）。當北極向日傾斜，則陽光多垂直且北半球之日間較長，是則氣候多溫暖而為北半球之炎炎盛夏。同時如陽光欠直射而日間較短，則屬南半球，且恰臨該半球之冬季。此種因日光角度與夫全年日光時間，而引起之變化，即歸因於地球之傾斜度。由之引起地球上季節之不同變化者，亦為地球之傾斜度。較地球傾斜度尚大之行星，將有更大的季節變化，反之，其變化亦自小。

從表一知，火星，土星及海王星咸介 20° — 30°

之傾斜間。這些行星之季節變化與地球者可相比較，但並非完全相同；其意僅為其冬夜之差異可和地球者相比較。木星之傾斜度僅 3° ，其軸幾與其軌道平面垂直，故其季節變化殊小。相反，天王星有一 98° 的傾斜度，其軸幾平行於其軌道平面，故其季節變化殊大。

四、太陽輻射之地面反射率 (Albedo)

行星之平均溫度根據其所吸收之太陽輻射量而定。人們初想以為行星所吸收之太陽輻射與照射行星之量相等。實際大異其趣，因部份輻射又被反射回太空。僅未被反射回太空之量才真被行星所吸收，就是這種部份，才使行星獲後溫度。這種程序之投射量與反射量之比，被稱為「太陽輻射之地面反射率」。故太陽輻射地面反射率對行星溫度甚有影響。

太陽輻射地面反射率，以地球而言，其值平均為0.35。其意為地球約反射所投於其上之35%的太陽輻射量於太空，地球雲最具反射性，雖地表與大氣亦為太陽輻射反射之有效因子。雲為太陽輻射良好反射器，飛機對此為最好之試驗。你認為地面情況將為最佳之太陽輻射反射器嗎？如你以雪地為背景，則你的想法甚對。鮮雪的太陽輻射地面反射率可高達81%，故使其平均溫度趨低；某物之太陽輻射地面反射力如低，則其平均溫度趨高。此外，其他大氣氫性——尤其所謂「溫室效應」（Greenhouse Effect）可影響星體之溫度。對部份行星，其大氣特性可增溫高於僅考慮太陽輻射地面反射率與距日遠近二項參數所可期之溫度。

所有各行星之太陽輻射地面反射率皆列如表一，其中金星最高約為0.73，因該行星完全被雲涵蓋，故其數字並不驚人。太陽輻射地面反射率最低之行星為水星，其值僅6%，因其距日最近而反射量甚小，故可期有較高之平均溫度。一般而言，低反射率，說明該行星雲少且大氣量亦小。金星之反射率與月球者約相若，週知月球在本質上根本沒有大氣。（未完待續）