

J. F. W. Herschel 著
李偉烈亞蘭力譯

漢譯世
界名著

談

天

商務印書館發行

中華民國二十三年 一月初版

(一〇九〇六)

漢譯世界名著談 天一冊

Outlines of Astronomy

每冊定價大洋貳元貳角

外埠酌加運費匯費

原著者 J. F. W. Herschel

譯述者 李偉烈 善亞 蘭力

發行人 王雲五
上海河南路

印刷所 商務印書館
上海河南路

發行所 商務印書館
上海及各埠

* 版 翻 *
* 權 印 *
* 所 必 *
* 有 究 *

凡例

一、此書原本爲侯失勒約翰所撰。約翰昔爲英國天學公會之首。其父曰維廉。日爾曼之阿諾威人。遷居英國。專精天學。不假師授。有盛名。維廉有妹曰加羅林。相助測天。功亦不細。約翰有子亦名約翰。乃印度軍中之武官。卽有博學之名。其次子名亞力。已勤習天學。而今卽大學內之一師也。侯失勒氏言天者凡五人。學者勿混爲一云。

一、此書原本。咸豐元年刊行。其後測天家屢有新得。今一一附入。如小行星最後。有如同治十年所得者。又有論太陽等事說。非原書所有。而由重刊之本文新譯之也。

一、凡年月日時。原本皆用西國法。準倫敦經度。今用中國法。準順天經度譯改。以便讀者。如第八百二十三條中。本文爲耶穌降世一千八百四十六年正月三日○時九分五十三秒。今譯改道光二十五年十二月初六日戊初三刻十分四十七秒是也。亦間有用各國本地時者。如第五百九十條中。午後三小時六分。若改用中國時。則在夜中不能見日。與下文測見其中體距日心句不合。故仍原

文也。

一、中國步天。黃經赤經皆用度分。西國黃經用度分。赤經用時分。例見第九十一。一百零八。一百零九。三條。今間依中法。亦譯改度分。如八百二十九條。本文爲十六小時五十一分一秒五。今譯改二百五十二度四十五分二十二秒五是也。

一、凡數皆直書。單位下帶小數則以·別之。如三百五十條一·〇一六七九。其小數卽十萬分之一千六百七十九也。間有橫書者。則因與代數記號相雜。依代數例不便直書也。

一、凡度里尺諸數。皆遵數理精蘊。每度二百里。每里一千八百尺。近代西國細測地球。密推赤道徑。得英尺四千一百八十四萬八千三百八十。赤道周得英尺一億三千一百四十七萬五百六十五。以三百六十度約之。則一度得英尺三十六萬五千一百九十六。考一度爲中尺三十六萬。乃以一度之英尺爲一率。一度之中尺爲二率。一爲三率。求得四率 $\bigcirc \cdot 九八五七七$ 。是英國一尺。爲中尺九寸八分五釐七毫七絲也。凡原文英尺譯改中尺俱準此。又英國一里。得英尺五千二百八十。中國一里得英尺一千八百二十五·九八。依此推得英一里。當中國二里八九一六。凡原文英里譯改

中里俱準此。

一、中國天圖有新舊二種。舊圖與步天歌合。新圖與經天該合。書中諸星凡舊圖所有者。則云某座第幾星。如角宿第一星之類是也。若舊圖無而新圖有者。則云某座增第幾星。如老人增第二之類是者。若二圖俱無。則或云近某星。如近外屏第三星之類是也。

序一

天文之學其源遠矣。太古之世。既知稼穡。每觀天星以定農時。而近赤道諸牧國地炎熱。多夜放羣羊。因以觀天間。嘗上考諸文字之國。肇有書契。卽記及天文。如舊約中屢言天星。希臘古史亦然。而中國堯典亦言中星。歷家據以定歲差焉。其後積測累推。至漢太初三統而立七政統母諸數。從此代精一代。至郭太史授時術法已美備。惟測器未精。得數不密。此其缺陷也。中國言天者三家。曰渾天。曰蓋天。曰宣夜。然其推歷但言數不言象。而西國則自古及今。恆依象立法。昔多祿某謂地居中心。外包諸天層層硬殼。傳其學者。又創立本輪均輪諸象。法綦繁矣。後代測天之器益精。得數益密。往往與多氏說不合。歌白尼乃更創新法。謂太陽居中心。地與諸行星繞之。第谷雖譏其非。然恆得確證。人多信之。至刻白爾推得三例。而歌氏之說始爲定論。然刻氏僅言其當然。至奈端更推求其所以然。而其說益不可搖矣。夫地球大矣。統四大洲計之。能盡歷其面者無幾人焉。然地球乃行星之一耳。且非其最大者。計繞太陽有小行星五十餘。大行星八。其最大者體中能容地球一千四百倍。其次能容九百倍也。設

以五百地球平列。土星之光環能覆之。而諸行星又或有月繞之。總計諸月共二十餘。設盡并諸行星及諸月之積。不及太陽積五百分之一。太陽體中能容太陰六千萬倍。可謂大之至矣。而恆星天視之亦只一點耳。設人能飛行空中如最速礮子。亦須四百萬年方能至最近之恆星。故目能見之恆星最小者可比太陽。其大者或且過太陽數十萬倍也。夫恆星多至不可數計。秋冬清朗之夕。昂首九霄。目能見者約三千。設一恆星爲一日。各有行星繞之。其行星當不下十五萬。况恆星又有雙星及三合四合諸星。則行星之數當更不止於此矣。然此僅論目所能見之恆星耳。古人論天河皆云是氣。近代遠鏡出知爲無數小星。遠鏡界內所已測見之星。較普天空目所能見者多二萬倍。天河一帶設皆如遠鏡所測之一界。其數當有二千零十九萬一千。設一星爲一日。各有五十行星繞之。則行星之數。當有十億零九百五十五萬。意必俱有動植諸物如我地球。偉哉造物。其力之神能之鉅真不可思議矣。而測以更精之遠鏡。知天河亦有盡界。非佈滿虛空也。而其界外別有無數星氣。意天河亦爲一星氣。無數星氣實卽無數天河。我所居之地球。在本天河中。近故覺其大。在別星氣外。遠故覺其小耳。星氣已測得者三千餘。意其中必且有大大於我天河者。初人疑星氣爲未成星之質。至羅斯伯之大遠鏡成。始

知亦爲無數小星聚而成。而更別見無數星氣。則亦但覺如氣不能辨爲星之聚。設異日遠鏡更精。今所見者俱能辨。恐更見無數遠星氣。仍不能辨也。如是累推不可思議。動法亦然。月繞行星。行星繞太陽。近代或言太陽率諸行星更繞他恆星與雙星同。然則安知諸雙星。不又同繞一星。而所繞之星。不又繞別星耶。如是累推亦不可思議。偉哉造物神妙至此。蕩蕩乎民無能名矣。昔大關有詩曰。觀爾所造之穹蒼。又星月之輝光。世人爲誰兮。爾垂念之。人子爲誰兮。爾眷顧之。夫大關所見天空理。非甚深也。尙歡欣贊歎不能自己。况我人得知天空。如此精奇神妙耶。夫造物主之全智鉅力。大至無外。小至無內。罔不蒞臨。罔不鑒察。故人雖至微。無時不蒙其恩澤。試觀地球上萬物莫不備具。人生其間。渴飲饑食。夏葛冬裘。何者。非造物主之所賜。竊意一切行星。亦必萬物備具。生其間者。休養樂利。如我地球上造物主大仁大慈。必當如是也。設他行星之人類。淳樸未雕。與天合一。見我地球。天性盡失。欺僞爭亂。厥罪甚大。而造物主猶不棄絕。令愛子降生。舍身代贖。當必贊歎造物主之深仁厚澤。有加無已。而身受者。反不知感激圖報。可乎。余與李君同譯是書。欲令人知造物主之大能。尤欲令人遠察天空。因之近察己躬。謹謹焉修身事天。無失秉彝。以上答宏恩則善矣。

談天 一

咸豐己未孟冬之月英國偉烈亞力序於春申浦上。

序二

西士言天者曰。恆星與日不動。地與五星俱繞日而行。故一歲者。地球繞日一周也。一晝夜者。地球自轉一周也。議者曰。以天爲靜。以地爲動。動靜倒置。違經畔道。不可信也。西士又曰。地與五星及月之道。俱係橢圓而歷時等。則所過面積亦等。議者曰。此假象也。以本輪均輪推之而合。則設其象爲本輪均輪。以橢圓面積推之而合。則設其象爲橢圓面積。其實不過假以推步。非真有此象也。竊謂議者未嘗精心考察。而拘牽經義。妄生議論。甚無謂也。古今談天者。莫善於子輿氏。苟求其故之一語。西士蓋善求其故者也。舊法火木土皆有歲輪。而金水二星則有伏見輪。同爲行星。何以行法不同。歌白尼求其故。則知地球與五星皆繞日。火木土之歲輪。因地繞日而生。金水之伏見輪。則其本道也。由是五星之行。皆歸一例。然其繞日非平行。古人加一本輪推之。不合。則又加一均輪推之。其推月且加至三輪四輪。然猶不能盡合。刻白爾求其故。則知五星與月之道。皆爲橢圓。其行法面積與時。恆有比例也。然俱僅知其當然。而未知其所以然。奈端求其故。則以爲皆重學之理也。凡二球環行空中。則必共繞其重

心。而日之質積甚大。五星與地俱甚微。其重心與日心甚近。故繞重心即繞日也。凡物直行空中。有他力勞加之。則物即繞力之心而行。而物直行之遲速。與勞力之大小。適合平圓率。則繞行之道爲平圓。稍不合。則恆爲橢圓。惟歷時等。所過面積亦等。與平圓同也。今地與五星本直行空中。日之攝力加之。其行與力不能適合平圓。故皆行橢圓也。由是定論如山。不可移矣。又證以距日立方。與周時平方之比例。及恆星之先行差。地道半徑視差。而地之繞日益信。證以煤坑之墜石。而地之自轉益信。證以彗星之軌道。雙星之相繞。多合橢圓。而地與五星及日之行橢圓益信。余與偉烈君所譯談天一書。皆主地動及橢圓立說。此二者之故不明。則此書不能讀。故先詳論之。

咸豐己未重陽後八日海寧李善蘭序於崑山舟次。

侯失勒約翰傳

侯失勒約翰。英國斯羅人也。天性開明。父曰維廉。以博學聞。尤精天文。維廉有妹加羅林亦穎慧。維廉考天輒輔相之。約翰自幼見父若姑。朝夕營營以測望爲事。耳目濡染既久。稍長遂能一一詳說其理。約翰童時嘗問其父曰。萬物之中何者最古。父曰爾以何爲最古。約翰所答。父不然之。因俯取一石子示之曰。有古於此石子者乎。他日父問之曰何物同類絕相似。約翰默思移時曰一樹之葉皆相似焉。父命掬葉令於中擇二葉絕相似者以呈。約翰辭無可擇。由是知物雖同類終無恰似者。家庭問答一若無甚相關。然推此而知萬物之中。有幾種可合爲一類。而又可各分其本性。後約翰論物理格物性一本於此。此實佳種播於心田。發生滋長以得佳果。非細事也。年既長入以敦之大學。離家近。常省其母。未幾爲同學所毆。母憐之。延師家課。學日進。善讀書。能各國方言。又精音律。名漸著。每曲全其師祿澤。然師教殊不靈敏。約翰曾言幾何原本雖能背誦而精意茫然。此未能受益於師之證焉。年十七入堪比日大書院。學益精。院師令學者治奈端萬物總理一書。書俱臘丁文。師選日用之篇譯以英文。授

諸生各手錄一本。以便誦習。約翰必合本文以研究。不拘拘於英文也。蓋其生平之學。必包舉全體。不安小就。可概見矣。院中因推選約翰爲第一。比各格次之亦有聲當時者。約翰初入院時。算理諸學教法尙未盡善。旣而武寶斯首創新規。以去弱更強。然亦非因其甚深諸論。僅以三角術一本開導後學。此書成於約翰進院之年。以資探索。未幾自撰一書。其理一本武寶斯說。蓋名未立時。輔武寶斯以立望。及學大成。專心教學者。令知新理。與同學二人共譯微分學。論其書妙緒環生。未附有限較數法一篇。此不獨堪比日一院受其益。卽通國皆奉爲圭臬也。其後三人又另附精理推算諸式。約翰所附爲有限較數說。罷拔起所附爲函數方程。從此英之數學家相繼而起。推算精微不讓歐洲諸大家。約翰之功也。嘉慶十七年。著書一章。由其父呈王立公會。所論微分與義本武寶斯三角術書。所引費愛他之術而引伸之。更得精深之理焉。十九年選爲會士。復作一論。自呈公會。刊入本年載冊。此論發明詳推諸例。縷晰相生之函數。皆本拉白拉斯所傳深思而得之者。細玩此論。可知其用心所在。實本於童年悟徹石葉二喻。其言曰。此時算理諸論。略已美備。用勸天算之家。毋偏守各門之精意。須綜乎至公之大道。推其宗旨。在約萬物之繁。統歸於一理。繼此別有所著。言算學其推法極精微。在書院名旣

著。卽赴倫頓學律例。約翰之性好全不好偏。好公不好私。居恆當由萬殊索一本。卽一本貫萬殊。而律例之道在公。而直行之卒不免曲而私。與素性不合。意不屑遂舍去。已而遇武喇斯頓蒐德二人。武喇斯頓精化學及萬物總理。約翰聞其議論大悅之。引爲他山之助。最後治天學。自云非特性所近。且可述父之業。故其平生習化學究光理。然不專於此。反潛心於天學。用以繼承遺緒盡孝道焉。二十四年又著書一卷。論輕磺強酸諸和。刊入格物月冊中。內言礪礬之本性。昔待味所創照像事未得定畫之法。所照遇光卽飛。倘已知其藥性。則預於二十五年而創照之法已成。既又著一卷論光學。表明萬物一貫之公理。究凡平面紋之理。推悟螺鈿成五采之故。又著一卷。亦論光學。呈王立公會。卷中研究諸雙軸。水晶爲歧光所徹。因發爲五采。自創一術能窺測此事。傳至於今有用之者。又著一卷呈王立公會。論遠鏡內物鏡玻璃凹凸相消。令無光行差。卷內用記號甚繁。立術甚深。時光學家畏其難未取用。近日作鏡之大者。異於疇昔。約翰雖算數不差第成昔者之鏡便用。然近時甚大之鏡必待工藝之善者也。約翰自交蒐德得助良多。蒐德有至精無暈遠鏡。巧妙絕倫。雖未及今時至大遠鏡。然已測得諸雙星著功天學。迨與約翰交。適天學公會創始之時。蒐德輔成其會。總領卽約翰父。約翰爲書記長。首

星二論均有益天學家。凡算術之繁重者均改以簡易。先論月掩諸恆星。理多類幾何。次論立表所以能從定記推諸恆星平度。其推法必通天重學極繁且奧之理。道光元年迄三年。偕蒐德於倫頓重測維廉所得諸雙星。初嘉慶二十一年與父家居時。覺天上諸日中多有互相旋繞者。卽留心測之。至是得蒐德相助。據備至精器克承先業。與蒐德合測而詳誌之。事載王立公會歲冊。公會重其勞績。贈金牌各一。天學公會亦贈焉。法國大學亦以拉朗金牌寄贈之。此時斯德路佛在俄國陶伴德用拂鑾斛弗無量之遠鏡測天有所得。英之天學公會賫以金牌。斯德路佛曰。觀維廉之功勳巍巍莫比。曷勝情殷。則倣既蒐德以倫頓天氣不甚清朗。往巴黎斯二人合測之事遂中止。然蒐德於巴黎斯所測亦未見有勝也。約翰周游歐洲各國。晚歸斯羅。重繼父志。維廉已歷多年測諸雙星及諸星氣。約翰起而重測之。其自論測器曰。父維廉昔所用掃天遠鏡。架木已朽。無濟於用。乃於嘉慶二十年重造仿古制。父子共監督。所謂對面鏡是也。古之回光鏡專守測望極細之功。其用最妙。故新造回光鏡徑十八寸。距聚光點二丈。初維廉掃天時。其妹加羅林助之。凡北極距與赤經等常代筆於書。此時加羅林已死。約翰無人佐理。每事必手錄之。殊不便。故所測僅得其半。又須光以記之。目輒眩。故最淡之星氣不能測。

成雙星第六表。天學會刊入道光十五年歲冊。又測北半球諸星氣刊入王立公會歲冊。今世學天文者常奉侯失勒父子爲標準。後之測天者定亦服此二人之巧思。蓋其潛心力學以成各式精妙之法。超越尋常。試觀今測器之妙。轉滑而靜。出於自然。無俟假手。始知古法之不易。七年約翰爲天學會總領。每年集會士自講諸論。文極博例極備。大開數學之門。超羣絕類無可比擬。約翰既測北半球諸雙星。復思測南半球諸星。乃攜所用二丈聚光點遠鏡。又有徑五寸之七尺聚光點無量之赤道儀。並他儀器。於十三年十月二日放船南行。十二月六日抵亞非利加洲岷外欲城。置精舍事測量。至明年正月十四日。測得十字架第二星。海山第二星之二星氣等事。至二十五日遂起掃天之事。自此掃南半球之天。歷四年功甚深。十八年反故里。以所測諸事推算修列成書。二十七年刻始竣。是書初編凡八十二頁。言南半球所測星氣及星圖。次列表載一千七百七事。俱記以道光十年之經緯度。各有記號約而明。又選其中最奧者細圖其像。另取相近諸小星并繪於圖以誌之。以便將來考其形有變動與否。其圖說代第二星及海山第二星二處之星雲。爲獨出之妙論。今已歷三十餘年。據之以辨相近星氣之形有變與否。故考測此二處較考一切餘諸星氣功更大焉。於僅倍月面積之界內測記一

千二百十六星之經緯。自云於此用數月苦功。次考此諸星散列之理。初維廉意諸星氣非任散於天。蓋亦有法。必皆聚集於天河一層星笠中。其厚不遠於十一等星之距。而約翰所考得之理與父意合。次論掃天時所得雙星全列之表。此後天學家可比而考焉。初五十年前維廉初測此諸星。以爲囚之可知恆星與太陽之距。及考之與意不合。而得知諸星中有無數雙星相與環繞而行。至此約翰復創一法。能定其繞道之行。與行道周時。如太微左垣上相亦雙星也。測其行道至交會時。遠鏡不能分而合爲一星。與預推之時合。喜甚。于是修整其推測之法。得其行道之周時。約近一百八十二年與海王繞太陽之周時略同。次論諸恆星之等以明暗定之。次論好里彗星一編。論彗體質之本性。及動重學理。既而克考父黑京沙帕勒利諸人。精益求精。後來居上。約翰亦自謂不及也。然創始之功不可輕焉。約翰又始考太陽面諸黑斑。而特勒路色而混諸人因之細測太陽之面。更得最要之理焉。其測簿事繁且多。英國天學家愛慕不已。初道光十年。已刊格致入門行世。既又著天文略。即談天初稿。至十九年詳推諸根而增廣之。至今行世已重刊十有二次矣。光理音理二論。經始于十年通國數學家無不習焉。約翰于天算外又能詩。所作亦可傳。年七十漸衰辭職歸。閒時以英文譯希臘詩。又歷叙其父

與已前所測諸事俱極詳備。刊入月報內。又有論格致理諸篇。年七十二作一大表呈王立公會。父子所測得諸星氣咸列焉。後數年又作一表。列所測得一切雙星各星。或有考論諸事亦附焉。是表成于臨歿之歲。凡一萬雙星。其赤經及距極度俱詳備。其中五千星皆載有考測之事。此表今存天學公會。約翰爲英國士林所欽仰。其性寬宏謙抑。迴逾尋常。四爲天學公會總領。而未任王立公會總領者。謙讓故也。嘗詔授寶泉局首領。職雖尊事實閒也。與人交輒傾肝膽。不立城府。見庸愚流樂爲開導。未嘗輕藐。考其一生。苦志研求。細入微奧。實天學之功臣也。然深自掩抑。信奉耶穌益可敬焉。年七十八卒於家。同治十年三月二十三日也。詔賜葬于倫頓之大禮拜堂。其在岷朴敦時交游甚廣。去後同人懷慕不已。共建石塔於所置測天鏡處。以誌不忘。并考其事實著於篇。

談天

卷首 例

爲學之要。必盡祛其習聞之虛說。而勤求其新得之實事。萬事萬物以格致真理解之。與目所見者大不同。所以萬物相關之理。當合見而學。卽覺昔之未明。因昔真理多未知。且爲習俗舊說所惑也。故初學者。必先去其無據之空意。凡有理依格物而定。雖有舊意不合。然必信其真而求其據。此乃練心之門。博學之階也。

凡有據之理。卽宜信之。雖與常人之意不合。然無可疑。一切學皆如是。而天學乃以此爲要道。凡世上無據之意。未考其據。而止憑目所見。與天學之諸端大不同。如人居之地。卽世世爲最堅房屋之基。以爲最靜之物。而天學家之意。則謂不靜而繞軸而轉最速。又同時行於空中亦最速。人見日與月爲遠體不甚大。天學家則謂之甚大球。月則略配地球。日則甚大於地球。諸行星日見之與恆星略同而較

明。而天學家以爲大。亦如人居之球。其中或甚大於地球。或小於地球者。人見恆星以爲一點光。而天學家謂之最明甚大。乃太陽之類。爲無數未見之地球所繞行之中心。故天學家方開發己心。以自心之本力。通其所至之意。又盡己之意與說。造譬語以明宇宙之大。至末四視地球止覺一點之大也。乃繞本太陽諸行星之一。而行星中之大者。有不能見。我地球因其小也。况在恆星乎。

天學之諸端。心中已明。若心中無疑阻。卽能信之。已信之則固守不失。所以知真理在人心之本力。故此書以爲人欲學其真。而不辨其假。學今時之實事。則舊時之虛說不必論。有誠心信此者。卽能省多少議論。而爲此書之益。且學亦易進。自邇而行遠。自卑而登高。爲益甚大焉。

此書之法。非純言當然之理。亦非純言所以然之理。而並用此二理。因第二理更合於學。故多用之。本意非辨論如勝敵。亦非以假爲自末明而考其理。其意以已知而教人。此書不甚繁。每段必略細解說。因人現已熟天學之理也。故不辨而但教爲便也。諸學中有新創而不甚定者。常有新理混亂已有之說。但天學則不然。若辨駁已廢之理。引學者漸知去其假而信其真。不如說明真理。而使知萬物相關之道。所以非不用當然之理。此書不過欲語簡而使人易明。不欲因法而阻其學也。

此書以歌白尼之理爲真。解說萬物之變。考明其理簡易。自然不必用辨論。而使學者信爲真。卽倍根所言凡理之據。依其諸分與全體相合。如一橋環之諸石相靠而成全體也。間有指舊說之繁。而比新理之簡。愈發明其新理之勝。

凡學者觀此書而得益。應先明算學諸法。又須略知幾何平弧三角法。及重學之初理。另略知光學。以通造遠鏡與凡測天之器。此上諸事皆明。則更易進。前所得之學更全備。但大概此書各事欲全說。故不必仗別書。

凡學者此書之外。不觀天學書。則不能得天學之全。其意惟引人入格致一角之門。或如高立在宮外。能略見其全。或如助明其房基之圖。卽知如何而入。欲進密室得學者之心。止有一法。乃熟數學之理。爲考究之根。未有此理之人。不能入博學諸技。而於辨論之時。不能自己造意。有此智者與無此智者談之。不易告明此事。蓋無公說使此等人明之也。智者觀二例略相同易明。不智者爲要而難之題。其據二人見之亦大不同。如此考題不能用心理。而必用譬喻。或已知之事明之。凡不知算理。不能以公論而明之。惟常欲推公論之源。卽必由其萬物日常之事。所發出之本理。卽因事而另造一理。其二法

之別如新開未走路之難。與行已走路之易。若必欲人通此理。無有別法。至於使學者不明而信之。則余不用此法。亦勸人不用也。

不用算術。而用譬說論格致之理。雖非常法。然已略知天學者。恐不厭此。譬自此路可到一處。或自彼路亦可到也。其有真理之據。更多更好。如此發明諸式。各人觀之。心中各不同。因每二人心意之象不相同。故常有人已熟之題。而可用新勢明之。使觀之如新式者。或新明從前之不明。或開疑竇。或續鏈其缺環。所以忽見與他理相合。書中所用之各式。皆余心中生出。而非自別所錄者。冀益於學者也。

已知數學者。知重學內常有之事。其數已全。其數理與幾何理皆顯明其諸力。已算明其線。已度其例。已推過所得者不差。而於心中實有缺。非在憑據。因其事已考。各理俱全。非在其理。因知其爲堅固不搖。但在其行運之法有不明。此人已用有理之法推得。但心中所成之象。非萬物之實象。若用日常之事發明其理。則忽補其所缺。以其多虛之記號皆爲實物。恐有時此意亦不得成。有時其日常之事不足明之。但此意常須勉而爲之。如此勉之時余自得者。行星移動最密之事。比算得更明。所以冀人亦如此也。

按上言可知此書之天學不細。論測天諸例與細論推步之諸法。學者觀此書之用法恐少。本意不過欲明各事各論各法所得之理。免得用多代數與幾何之號。令其書帙繁而難閱。卽列易明之實事。天學猶經線一條可穿多珠也。所以人觀此珠之妙。而不知其內有線之貫之也。此書以示明其經線。卽天學之根爲主。諸珠卽各家推得之理。有時其珠之排列非直而易於從。旣不直而不易從。亦非穿珠者之錯。其穿珠之人必用心甚廣。有時其自己雖極明。不得使人通此理之難。亦不知何法能使人明爲最要。故用心之學者。常有謬誤之意。而常人言此學法之不明。現解學者之疑。又使常人明天學難。能得與不能得之二事。知二等之人俱有差會處。

卷一 論地

欲知經緯星之大小遠近方位軌道。及相屬之理。必先於地面測之。不明地之理。則所測得之理俱誤。故以論地居首。

地爲球體。乃行星之一也。第憑目所見則地甚大。行星俱只一點。地無光行。星俱有光。地不覺動。行星

刻刻移動。悉皆相反。是以人非大智。聞此說。未有不駭異者。然強分地與行星爲二類。則推步諸曜。俱扞格不通矣。故天學入門。當首明此理。

假如空中有諸物。欲悉定其方位。必先知我身之或動或靜。若我身實動。而誤爲靜。則所定方位。俱不合矣。我身居地面。動靜因乎地。故欲定諸曜方位。必先考地之爲動爲靜。此實天學中最要事也。

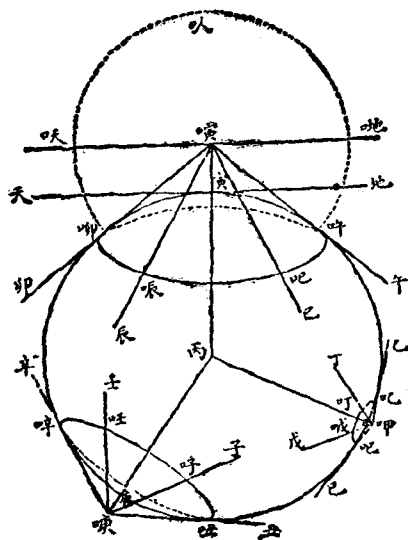
地係行星。故地亦動。地動而所載之物。如山岳河海風雲之類。莫不隨之俱動。故人不能覺。譬如舟不遇風浪。車在坦道。以平速行。所載什物與之俱行。人坐其中。如居安宅。初不覺動。其理一也。

以地爲不動者。由於未明地之狀。蓋常人之心。必以地爲無限之平面。面之上爲虛空。面之下爲無窮深。皆土也。果如此。日東出西沒。將洞穿堅實之地底而過乎。抑地中有穴自西通東。爲日出入之路乎。而日出入之方位。日日不同。且月與諸星。亦每日出入。將地有無數穴如蜂窠乎。必不然矣。故地不能無限廣且厚。其體必有盡界。而浮於空中。四周無他物相連。若然。則地不難於動。而返難於靜。蓋無他物粘連之令不動。則有力加之。卽動矣。故地動無疑。

欲明地之形狀。必于大平原或大海面。無林木峯巒礙目之處。測之。凡陸登高塔。海居艙頂。升桅末。所

見地面水面必有一定界線。四周成大平圓。界線外不能見。非蒙氣遮隔也。登高山頂則界線之周更大。亦成平圓。此事無論何地皆然。凡體無論何方視之。其見界恆成平圓。則必為球體。

如圖。咄咄哪咄球為地。丙為心。呬噴噴為高出地面之三點。正距地面甲庚寅三點。遠近不同。從噴作地面之切線寅卯。哪為切點。即噴點所見地面界線內之一點。以噴寅為軸。將切線旋轉一周。必經過噴辰。噴吧已。噴咄午諸切線。切點哪。必行成哪噴吧咄平圓。人在噴。則平圓內之地面可見。其外不可見。故名地面界線。哪噴咄為對平圓全徑之角。蒙氣不論名測深角。即地之視徑度。噴距寅愈遠。則哪噴吧咄圓面愈大。噴哪距亦愈遠。而哪噴咄角愈銳。地之視徑度愈小。噴噴呬三點。高卑不同。各有地面界線。今但論最高者以例其餘。假設以卯噴

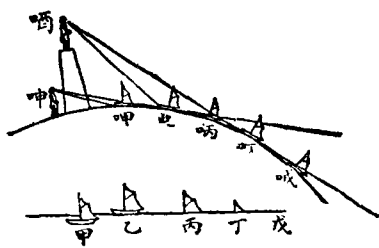


噴午爲規尺之二股。噴點爲活銷。中銜一球。則噴點愈近球。二股愈開。噴寅合爲一點。則尺爲球面之切線天地。

噴寅正交地面。于噴點垂準線。必與噴寅合。于噴點作地平線。必正交噴寅。而與寅點之切線天地平行。人在噴點。不僅見天地地平線上之天空。并見呋噴哪噴呋二角內之天空。故所見天空較半球多地呋天哪一段。其較角地噴呋。名地面界深度。深度四周皆同。故地面界爲平圓無疑。

地面必有平圓界線者。此非爲平面而爲球面之證。蓋界外不見。非目力不能及。乃目之視線直行不能如弧線之彎。故不見也。是以地形大略如球。海陸皆在球面。雖山谷有高低。不過如橘皮之微不平耳。

凡海船出洋。人在海岸仰望之。未過地面界。雖漸遠漸小。然俱見全身。過界叱後。則一若沉入水中而漸不見。至呋。一若船身全入水。僅見桅。至叮。則并桅入水。幾全不見矣。若人在高處晒。令地面界展遠至叮。則船至叮時尙全見。過叮而漸不見。然則船非因漸遠而不見。乃地面界遮隔而然。

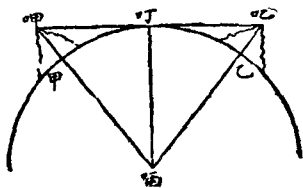


也。

昔阿爾蘭國都伯林之地。有人曰斂特拉。乘氣球上升。風吹過海。近威勒士。球忽下墜。將入海。時日已昏黑。急去藤牀中之石。復上升至極高。仍見太陽。行至威勒士。乃下墜至地。再見日入。

續乾隆四十八年法國都城巴黎斯。有人曰查里士。乘輕氣球上升。所見與此同。此皆非平面之證也。設有二峯等高。登此頂僅望見彼頂。若無蒙氣差。則測其高及相距。即可推地球大小。

如圖。呬乙二峯。其高相等。爲呬甲呬乙。相距爲甲叮乙。叮爲中點。呬叮爲地半徑。設峯高與距俱甚小。則呬乙與叮乙比。若叮乙與倍呬叮比。故測得高與距。即可推地球半徑也。以數推之。有二點。高于地面十尺。相距二十二里。無蒙氣時。相望與地面界參相直。別得十尺爲一百八十分里之一。置二十二折半。得十一。以一百八十乘之。得一千九百八十。則一與一千九百八十比。爲高與半距比。同于半距與地徑比。故以半距十一里乘一千九百八十。得二萬一千七百八十里。爲地球徑。然地面有蒙氣差。此所推斷難密合。不過得其大約耳。



山之最高者。不能至十五里。較地徑約得一千六百分之一。假如有球徑十六寸。其微凸處不及百分之一。則其高略如一厚紙耳。故諸高山不過如諸細沙。而高原不過如一薄紙。壑之最深者。不過一里半。此如球面針芒之孔。非顯微鏡不能見也。而海之最深處。略如山之最高。則僅若點墨之著紙矣。前條以橘皮之凹凸。喻地面之高山深谷。猶未確切也。

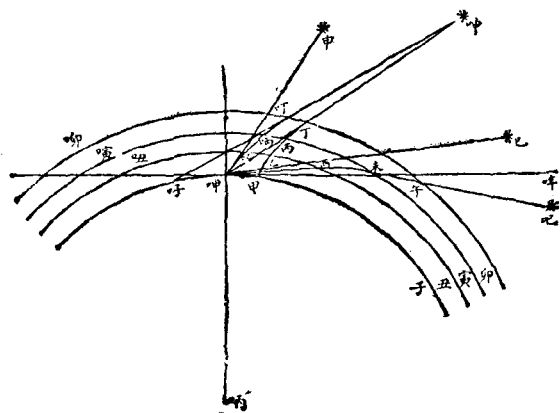
續同治二年七月二十三日。英國格類失與告水勒二人。乘氣球上升二十里之高。若非雲隔之。則所當見之地面。甚大於古今所曾見之地面也。推算全地球之面。與在此高所當見地面之比例。準弧三角法。凡球面截段與全球比。若截段之厚。與球半徑比。按此次氣球距地面之高。略等於所見地面截段之厚。故全地球面。與所見地面比。若八千與七比。約得全地球面一千一百四十分之一。按德納德內黎非某納羅三山最高峯之巔。所見之地面。約為全地球面四十分之一。

凡人或乘氣球上升。或登高山。去地漸遠。氣漸輕而薄。呼吸必漸苦。用風雨表測之。高一千尺。氣輕三十分之一。高一萬零六百尺。輕三分之一。高一萬八千尺。輕二分之一。準此推之。則氣愈高愈薄。而無盡界。雲最高不過二十九里。測其氣重。為海面氣重八分之一。故氣居地球之外。近地最重。漸上漸輕。

離地稍遠。已甚薄無迹矣。無論地面何處。離地若干。則氣清若干。皆同。故氣全包地球。可任分爲無數層。逐層以漸而輕也。

或云。氣如水。有盡界。亦近理。蓋高如地徑一百分之一。氣已薄極。不能生物。故無論氣有盡界與否。但高過地徑一百分之一外。作無氣論可也。

氣能變光道令生差角。所謂蒙氣差也。如圖。子甲。子爲地面。丑寅寅卯。爲氣之諸層。與地子呀同圓心。人在呬。呬爲星。在氣之外。若無蒙氣差。則人視星其視線之方向。當爲呬呬。而準光學理。呬呬光線遇氣面于叮。必曲向下。如丁丙在上氣甚薄。曲甚微。漸下氣漸厚。曲漸大。故呬呬光線。變爲呬丁丙乙。甲曲線。遇地面不在呬而在甲。另有呬呀光線無蒙氣差。當遇地面于呀。因蒙氣變爲呬叮呬



叱呬曲線。而遇地面于呬。故人目不能由呬呬直線見星。而由甲乙丙丁呬曲線見星。準光學理。光線入目之方向。卽目見物之方向。故人見星。不在呬申方向。而在甲呬方向。卽呬丁丙乙甲曲線內。甲點之切線也。光線恆曲而下。視線方向恆差而上。故視高度恆大于真高度焉。光線但有上下差。而無旁差。因環人目甲四周。其氣皆同故也。故其差角恆在星地心人目三點所居之申呬甲平面內。

蒙氣恆映卑爲高。故諸曜在地平線時。視之亦有高度。不第此。卽在地平下。視之反在地平上。如日在地平下吧點。光線成吧午未酉呬曲線。故人見在地平上吧點。卽呬點切線之方向也。

曜在呬。見在申。故必測定其差角。申呬呬。以減視高度。申呬呬。方得真高度呬呬呬。然測差角最難。其故有三。氣漸高漸薄。而漸薄之率未能定。一也。氣之厚薄。每因寒暖而變。二也。燥溼亦能變差角。而氣之逐層燥溼。未有測法。三也。因此三端。差角未能測定。故天文有數事亦未能定。以近時推步之精言之。雖未定。其差亦甚微。但精益求精。則必思求定耳。列蒙氣差角諸例于左。

一。凡天頂點無差角。諸曜至此點。與無蒙氣同。

一。漸遠天頂。差角漸大。至地平爲最大。

一、差角漸大之比。略如視點距天頂度切線漸大之比。此例近天頂則合。近地平則不合。蓋切線驟增大。且有氣變諸事故也。

一、視點高四十五度。差角約一分。而在地平面差角得三十三分。大于日月視徑。故人見日月全體。初出地平。其真體尚俱在地平下也。

一、凡風雨針。以五十五度爲中數。升則差角變大。降則差角變小。升降十分之一。差角變三百分之一。

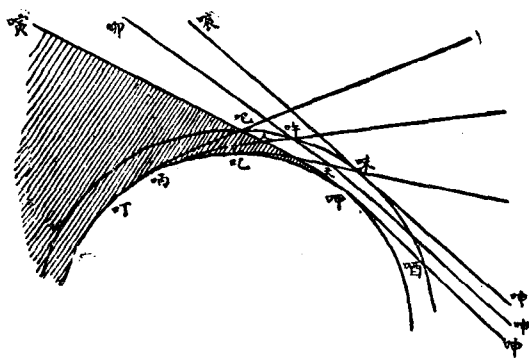
一、凡寒暑針。降則差角變大。升則差角變小。升降一度。差角變四百二十分之一。蒙氣差角表。詳列各處。自地平至天頂諸高度之差角。再用風雨寒暑二針隨時校正之。以加減諸視度。可略得諸真度。

準蒙氣差角之理。則視日月在地平上之時刻。必大于真時刻。而夜之時刻。小于真時刻。不特此也。日之視體入地平後。尚有朦朧影。成晨昏分。此其故。由蒙氣回太陽之光。返照地面而然也。蓋光線遇物卽返射。氣中有無數細質點。能令光返照。試于暗室中開微隙。日光僅漏入一線。而滿室皆明。此其證。

也。如圖。呬咿咿叮爲地面。呬點見日在地平。呬噴光線。恰切呬點而過。呬啣呬啣二光線。在呬點之上。三線出蒙氣。在呬咿咿味三點。二線入蒙氣皆微曲向下。故出蒙氣成折勢。呬吧噴折勢最大。呬啣啣略小。至呬啣切蒙氣界味點而過。不復折。呬噴線爲昏界。呬啣叮諸點遞遠于呬。入暗遞深。呬點尙有日之一線眞光。又有呬味啣呬一段蒙氣回光。呬點日已入地。不能得眞光。回光亦少。僅有地平呬味上呬咿咿味天一段蒙氣返射而已。味點回光最盛。漸近已漸微。至呬面而無。呬點則僅有地平呬啣上呬啣人一段回光。更小于呬點。至叮點則無回光而爲夜矣。

續太陽在地平之上。其光照於空氣與雲之諸點。此諸點將光

返照而四面散射。至地面各處。故晝時所有返照之光。與曠隴影時返照之光其理無異。若空氣無



此返照散射之性。則不在正日光之下。不能有所見。雲下之影及房中無日光之處。黑暗如夜。晝能見星也。空氣返照之光差。另有能增加之性。即以空氣之受日光。各處熱度不勻而常成浪動。其不同熱度諸段之公界。亦稍有返照與光差。光乃不行直線路而散至四面。爲各物所受。故在丁點之後。尚有副矇矇影。卽正矇矇影返照四散於空氣而重返照所生也。阿非利加洲努比阿國之曠野。空氣極清。日落之後。仍有光。名曰夜光。卽此理也。

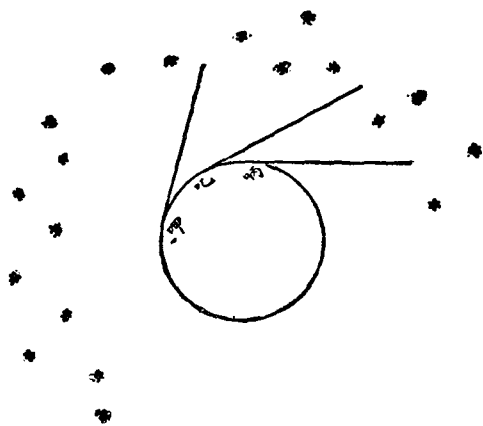
凡光線斜入氣中。無論自上至下。自下至上。不能直射。必曲向下。故或測星。或測高山。皆有差角。但蒙氣差逐層不同。地面之物。僅有下諸層差而無上諸層差。與諸曜異。故名地蒙氣差以別之。

蒙氣差不獨變物之高度。且能變物之形狀。如太陽近天頂時。則見爲平圓。近地平。則橫徑大於直徑。而見爲橢圓。最近地平。則下半更匾於上半。既非平圓。亦不成正橢圓。蓋漸近地平。差角漸變大。下差角大於上差角。故直徑變小而橫徑不變也。人視日月近地平時。覺大於近天頂時。此非由蒙氣差。亦非目誤。乃意會之誤。蓋近地平有遠樹相襯而覺大。近天頂無物相襯而覺小。用器測之。則近地平時。日之視徑與近天頂時略同。月之視徑。非特不變大。且反變小。離人目更遠故也。

準上諸條。蒙氣界與地面相距線。較之地半徑爲甚小。天空諸曜。距地俱甚遠。不在蒙氣內。與地不相涉也。

諸曜距地遠近不一。近則見大。遠則見小。人視月大小。無異於日者。因遠近相懸而然。視日月俱大於恒星亦然。實則日與恒星大小略同。而甚大於月也。

設人不附地。立於空中。盡見上下四周天空諸曜。一若爲一大球。諸曜皆在球殼。而已在球心也。人居地面則不能見地平下諸曜。升最高處。有地面界深度。加蒙氣差。所見亦不過二度。且不能了了。蒙氣昏濁故也。故若人不遠行。星不自移。地球不自轉。則地平下半諸曜。永不能見矣。人在地面。略移其處。則所見天空界。亦必略移。譬人背大樹而立。樹後諸物。俱不能見。環樹而轉。則盡見四周之物。故



人每日向南行。則每夜必見南方新出地平之星。地平界漸移而南。反若天星漸移而北也。觀圖中呷呷三點之地平界。理自明。

地球自轉。人居地面亦隨之而轉。然不覺者。因地平上諸物與之俱轉。一切山河林木房屋俱不變狀。大塊全動。極安穩故也。而天空諸曜。不與地連。反若刻刻移動。與人繞地球行無異焉。故前圖或人不動而地轉。人隨之自呷至呷。或地不動而人行。自呷至呷。見天空界移換同也。嘗人或繞樹轉。或倚樹樹轉。而人隨之轉。理無異。所異者。一則能見樹全體。一則僅見樹之一面也。

地自轉。故地平界之東半向下行。而西半向上行。然其行人不能覺。故反疑諸曜漸移。見地平界吐星。而曰星出地平焉。見地平界掩星而曰星入地平焉。嗚呼亦偵矣。

準重學理。地自轉。必有定則二。一。其轉不變方向。恒用平速。一。轉必有軸。軸之兩端。不變方位。或曰。物既自轉。則軸未始不可變方位。曰。正體行於空中。不遇他物。亦無他力加之。其軸斷無變方位之理也。設自轉不用平速。或軸變方位。則視天星。必有變行。而自古測諸星周時。載於典籍者。俱與今同。故云地球之轉。必依二定則焉。

欲知地球自轉之說。於理合否。當先考天體左旋。與地球自轉。目所見盡同與否。

一。設居赤道北夜觀天。則見諸星皆行平圓線。圓之大小各不同。在地平界上之度。多少亦不同。正當地平圈午點之星。纔出卽入。其度最少。自午點迤東。地平所出諸星。其度漸增。平圓漸大。自出至入。歷時亦漸久。出地點在午點東若干度。則入地點在午點西亦若干度。而出卯點者。必入西點。自出至入。恰得六時。在地平界上之度。恰得半周。其平圓爲最大。自卯點迤北。地平所出諸星。其時遞增於六時。其度遞增於半周。而平圓漸小。至子點之星。則漸降切地平而過。又漸升不復入地。子點上面諸星。則常在地平界之上。平圓俱全見而漸小。至於一點。卽北極也。北極無星。而有相近之星。名極星。極星之平圓最小。非細測幾疑不動焉。諸星每日皆於本平圓行一匝。而其相距之方位不變。聯一切星爲諸星座。諸座向地平界之體勢。刻刻不同。最甚者。北方諸星座。常見不隱者。其向地平界體勢。有時相反。然各星座。距極之體勢。永不變。故無論何時。無論離地平若干度。測各座之形狀。亦永不變。然則聯周天爲一大座。必如一星圖。畫於球殼。地爲球心。球之軸貫北極。斜交地平。

一。冬時澈夜觀天。則昏所見沒於西方之星。且必見其復出東方。昏所見初出東方之星。且必見其已

沒西方。故昏所見半球諸星。且已全沒。而且所見半球諸星。乃昏所不見者。然則一夜中已盡見全球之星。故上所云。聯周天星爲一大星座者。此大星座布滿全球也。是則地平上之半天球。恒有星。晝不見者。爲日光所奪耳。若用最精遠鏡。當正午能見最小星。而坐深井或煤洞中。雖無遠鏡。亦見金木二星。若知其經緯度。不須遠鏡。亦不必坐深井。但竭目力察之。亦能見也。又日食既。大星俱見。此尤明證焉。

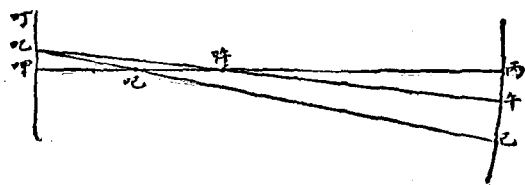
一。全球之星。雖依次遞隱遞見。然地平上近北極一段。常見不隱。地平下近南極一段。常隱不見。其常隱段界上之星。每漸升切地平界而過。復漸降。猶之常見段界上之星。每漸降切地平界而過。復漸升也。蓋球面每點必有正相對之點。地平界既中分球面。則有出地之北極點。卽有入地之南極點。繞北極既有常見界中諸點。則繞南極卽有常隱界中諸點。一一相對也。

欲觀常隱界中之星。必向南行。向南行。則前所見北方諸星。或切地界而過。或并不切地平者。今俱見其入地矣。其初入地卽出。漸南則入地漸久。然繞北極如故。北極漸低故也。北極低若干度。則南極於地平上升若干度。故愈南則見常隱界中之星愈多。直至赤道。則二極俱在地平界。而全見天球諸星。

此卽前繞樹而轉之理也。

準上諸條。則謂諸星不動。而地球每日自轉一周。於理亦合也。

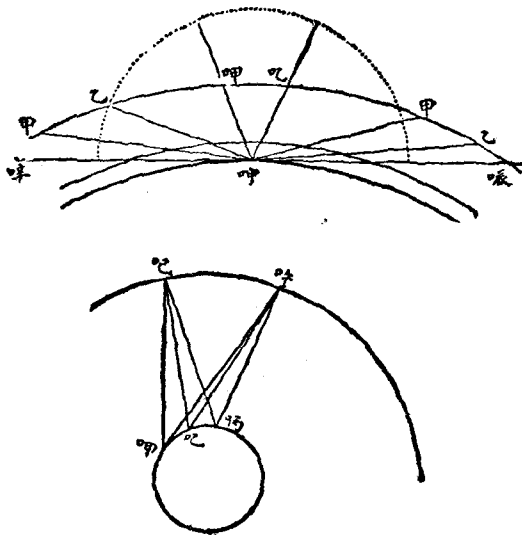
假如人定立一處。四望峯巒林屋。遠近不一。略移數武。則諸物之近者。方位各大變。如向北行。則初見在正東西者。俱漸退後。一若物之向南行也。初見一線上之物。若相合者。今見其相離。初見其相離者。今適在一線。而見其相合。而遠物則但覺微變。如初見在正東者。行三四里仍見在正東也。此何故。蓋由人心有一虛空之平圓周。以己目爲圓心。人行則此平圓隨之而行。設行於呬叮線。在呬時見吧呬二物。同在一半徑線呬丙內。行至吧。則呬吧丙變爲吧吧已。呬呬丙變爲吧呬呬。此二視線以吧呬爲心而旋。而二線遇虛空圓周之點向後而移。吧物近。吧點之移速。呬物遠。呬點之移遲。故呬吧吧角。大於呬呬吧角。卽丙吧已角。大於丙呬呬角。凡視線漸移。所生視差角。卽今視線與原視線之交角也。如人於呬吧二點望吧物。其視差角爲叮吧吧。叮呬呬。二角之較。夫叮吧吧爲叮呬呬三角形吧角。



之外角。依三角例。必等於呬呬二角之和。故叮呬呬叮呬呬二角之較。等於呬呬呬角也。準此理。則視差角之大小。由於物距人目之遠近。若物甚遠。則視差角甚小而不覺。人視之若不變方位也。

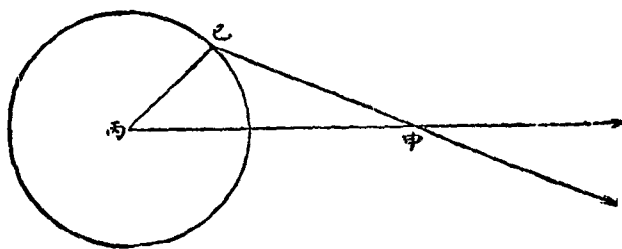
星之距地必甚遠。否則在天頂時。其視徑及星座所占之度。必大於在地平時。以圖明之。如甲乙呬呬甲乙三弧俱等。人在呬望之。則呬呬呬角。必大於甲呬乙角。而星則無論在呬呬在甲乙用最精之器測之。不見有差角。任於地面何處測之皆然。故星距地必甚遠。以視地半徑。蓋甚微矣。

於高平之地。以數百步為徑。作大平圓。任取其周呬呬呬三點。用象限儀。測地面界上呬呬二物。成呬



呬呬。吧呬呬。吧呬呬三角。目中雖不覺有視差。然察儀器實有微差。物之距目。縱十萬倍於平圓徑。用最精儀器測之。亦能得其差。而於地球赤道上。用最精器測星。略無微差。故星距地球。必遠於十萬倍地徑也。

假若有人居恒星上。用我所用之儀器。以望我地球。必不能見。又當恒星處。設有體大若地球。我用器望之。亦不能見。故若自我目至恒星作一平面。又於地心作一平面。與之平行。此二面雖永不相遇。然自地望至恒星處。則二面若合爲一。不能分也。命地心之平面爲真地平。我目之平面爲視地平。至極遠若合爲一處。爲天空地平界。則或居地心。依真地平界望星。或居地面。依視地平界望星。俱見在天空地平界上。無纖毫異也。觀上諸說。則或人居一處。而星環行。或星不動。而人依正東西線繞地球行。所見無少異也。又或地不動而諸星西轉繞地。或諸星不動而地球東轉。所見無少異也。



卷二 命名

古有諸層玻璃天載星而轉之說。此於恒星環繞之理。未始不可通。而於日月及諸行星之理。則殊不合。然即以恒星天言之。如此大玻璃球。每日自轉一匝。亦大不易。或古人力大。故作此想耳。近已廢此說不用。而以歌白尼地球自轉之說爲定論。既除舊法。必立新名。故此卷專主命名。

地球以平速向東自轉。所繞中心直線爲地軸。見某星在地平上某度某分。明日復見其在某度某分。爲自轉一周。

地軸之兩端爲二極。終古不變。近中國者爲北極。遠中國者爲南極。

平分地爲南北二半球之大圈。爲赤道。赤道每點距南北二極俱等。故赤道所居之平面。必過地心。且正交地軸。

凡地面任一點。作過兩極之大圈。爲地子午圈。子午圈所居面爲子午面。

凡地平有真地平。視地平。詳前卷。

各地子午面交地平面之線。名午線。所以定地平面正南北二點。

各地子午圈上距赤道之度。爲各地緯度。最小爲○。最大爲九十度。在赤道南爲南緯。在北爲北緯。如

順天府爲北緯四十度是也。按緯度之名。初學暫用之。若地之狀及天文之理益明。此名當改也。

凡地球面。與赤道平行之諸小圈。爲赤緯圈。圈之各點。緯度皆同。如順天府在四十度緯圈上。是也。

歷家恒以本國都城之觀星臺爲原點。各地子午圈與原點子午圈交赤道二點之距度。爲各地經度。

卽二經圈之交角度分也。以後凡經度。皆以順天爲原點。

緯度分南北。則經度自當分東西。如法蘭西都城巴黎斯。或爲東經二百四十五度五十一分五十二

秒。或爲西經一百十四度八分八秒是也。然不若從原點○度起。至三百六十度。俱向西推更便。故以

後但用西經度。經度亦可以時分秒計之。法以一小時代十五度。以一分代十五分。以一秒代十五秒。

如巴黎斯爲十六時二十三分二十七秒九是也。

知各處之經緯度。卽可準之作地球儀。及地球全圖。若作各國圖。不過地球面之一段。可以法改球面爲平面。蓋但欲知本地之經緯度。不必拘定作球形也。餘詳四卷。

赤道南北各約二十三度二十八分之緯度圈。爲晝長晝短圈。二圈上諸點當春秋分時俱見太陽過天頂。

距南北極各約二十三度二十八分之緯度圈。爲南北二寒帶圈。其緯度約六十六度三十二分。此二圈及

晝長晝短圈在地面恆變。故曰約其變詳後。

虛擬一無窮大之球。以定諸星之方位。爲天空球。其半徑無窮長。地心及人目俱可作球心。

地軸所指天空球之點。爲天空南北極。

地赤道所居面割天空球之線。爲天赤道。乃天球之大圈也。

展廣地平面所割天空球之線。爲天空地平界。視真二地平面無異。

所居地平面正中點作垂線。上遇天球之點。爲天頂點。下遇天球之點。爲天底點。

凡遇天頂天底二點之大圈。爲垂圈。必正交地平。亦名地平經圈。諸曜在地平上。依此諸線測其高度。

高度之餘度。爲距天頂度。

地子午圈所居面。割天空球之線。爲本處天子午圈。歷書凡言每處子午圈者。皆指天子午圈。乃過天

空兩極之垂圈也。正交地平界於子午二點。

正交子午圈之垂圈。爲卯酉圈。必過地平界正東西二點。

諸曜所居垂圈。交地平圈之點。距正南北二點。爲地平經度。乃過極過曜二垂圈之交角也。地平經度。舊從正南北二點向東向西計之。例不過一百八十度。今從距極最遠點向西計之。自○至三百六十度。爲正度。向東計之。爲負度。以免淆亂。便於用代數也。

諸曜在地平上之度。爲高度。即爲距天頂之餘度。知高度及地平經度。即知其所居之點。

凡諸曜距天赤道度。名赤緯度。其餘度名距極度。赤緯度以北爲正。南爲負。距極度從北極起。至一百八十度。無正負。較便於用。

過極正交赤道之圈。爲赤經圈。亦名時圈。時圈交赤道之點。一如垂圈交地圈之點也。

凡過某曜及本處天頂二時圈之較度。爲本曜之時度。恆從子午圈正向西度之。從○至三百六十度。與曜之每日視行合也。

凡從春分點至某曜經圈交赤道點。爲本曜之赤經度。即春分及本曜時圈之交度也。考定春分點法

詳後。

凡諸曜之赤經度。從春分點起。以度分秒計之。與地赤經度同例。自○至三百六十度。或以時分秒計之。自○至二十四小時。諸曜之視行與地自轉相反。故亦向西度之。

用恆星每日向西行計時。名恆星時。從春分點起。春分點雖有變。然甚微。在一周時中不覺。可不論。一周名恆星日。亦分爲二十四小時。及分秒。凡星臺中必用恆星鐘表。以分點在午線爲針之始。卽○時○分○秒也。諸曜之時度。以十五度爲一小時。卽指距午線若干時也。在午線後爲正。在前爲負。諸赤經時度。卽本曜及分點距午線時之和較也。在前後同則爲較。異則爲和。

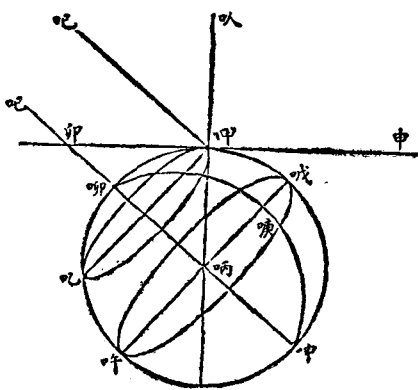
凡渾天球及全天圖。或一段天圖。亦仿地球地圖法作之。則位置諸星。一一與天合。觀其圖。如在地心觀天也。故不論在地面何處用之。皆與天合。蓋此圖無天頂天底二點。亦無地平界及東西方位。而過兩極之大圈。與地諸子午圈合。然與地面各處之定子午圈不同。蓋地面各點每日必盡經過天之各子午圈也。

歷家欲天地二圖通爲一理。以天球之赤道與地球之赤道合。而地之諸子午圈在天球名時圈。諸圈

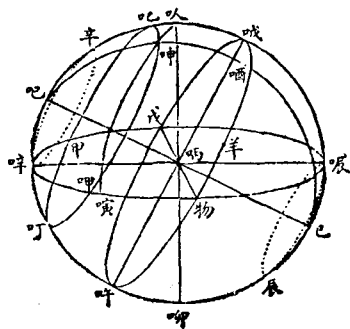
於極成角度名時度。此法甚便於用。又有黃道經緯圈。地球所無。惟天球有之。以地與諸行星繞日之軌道爲主。二者歷家兼用之。

如圖。卯爲地心。唧呻爲軸。唧呻爲二極。成呷爲赤道。呷呷爲地面。呷點上赤緯圈。呷呷與呻。唧呷平行。乃人在呷點望天極之視線。唧呷由地半徑。唧呷引長。乃天頂之垂線。唧呻爲呷點之子午圈。唧呷呻爲原點之子午圈。如中國即順天之子午圈也。呷呷即呷呷之弧角。爲呷點之經度。呷呻即緯度。唧呻爲地面之切面。即視地平面。面之正南北二點爲卯申。故卯呻申線爲呷點之午線。

作天球圖法。地之大小不論。一若人居地心。準真地平面作之。如圖。呷爲人目。呷爲天頂。唧爲天底。呷呻呷爲天空地平界。以呷唧爲二極。呷巳爲南北二極。呷呷爲極出地度。呷呷呷呷爲子午圈。呷呷呷大圈正交。巳爲天赤道。設星在呻。準赤道推之。則呷呻



晒已爲本星之時圈。羊爲春分點。羊晒爲坤點之赤經度。晒呻
 爲赤緯度。呬呻爲距極度。呬呻叮爲每日視繞極之圈。若準呬
 呻噴垂圈推之。則振噴爲坤點之地平經度。噴呬爲高度。呬呻
 爲距天頂度。振呬爲地平正南北點。戊物爲正東西點。呬辛振
 辰爲南北點上二赤緯圈。故呬辛爲恆見圈。其內之星。永不入
 地。振辰爲恆隱圈。其內之星。永不出地。二圈之間任何星如呻
 每日視繞極之度。甲呬呬一分在地平上。甲叮呬一分在地平
 下。餘仿此。



天視學爲視學之一門。知諸曜體線角動等事之實象。卽能知其視象。或先測得其視象。亦可推得實
 象。僅論天之一小分。與地面同若測天之大小。或測全天球。則與地面不同。地面視法。只有一個視點。
 乃作畫之心。畫心至人目之線。正交畫面爲一點。餘直線顯於畫面。仍爲直線。天之視法。各點皆爲畫
 心。畫心至人目之線。爲球之半徑。餘直線引長之。皆爲球之半周。任作若干平行線。方向不論。皆視合

於球之相對二點。常視學只用其一點。名曰合點。餘一點不用。天球上無論何點。從地望之。皆爲本點。上半徑平行諸線之合點。對面之點爲餘一合點。而凡球之大圈爲本圈。平行諸面之合線。

凡雲開微隙。日光漏入。成直線數條。此諸線從天之最遠處來。可作平行線論。成天球之大圈。有二合點。一在日。一在日對面之點。在日之點。平地可見。而對面之點。必登高山。當日初出或將入時。見此諸線。發於東漸斂於西。或發於西漸斂於東。成對面合點也。又北曉俗名天開眼。或云是電氣光。其光成諸直線。皆與指南針平行。視之向地。平漸斂。若合於針所指之點。其上皆如天球之大圈。而合於對面之點。又立冬後四五兩夜。諸奔星之方向。詳十卷七若引長之。可彙於一點。故諸奔星大約方向平行。觀此諸事。前條之理自明。

準天視學。則南北二極爲地軸。諸平行線之合點。頂底二點爲地平面垂線。諸平行線之合點也。

天赤道爲地赤道。諸平行面之合線。天球之地平界。爲真地平面。諸平行面之合線。

測地面物。能知遠近。故目之視差易改。測天空諸曜。不能預知其實體大小。故視差不易知。欲知其方向遠近之真。非精心考察不能。然必先測其實象。方能得其視差。此天學之最要事也。

用弧三角以推諸曜。乃天學之一門。今略論之。爲學者入門之法。

凡各處極出地度。卽各處赤道之緯度。如圖。極距天頂之角

度。卽呬。呬。卽啍。啍。而呬。啍。呬。皆爲直角。則極出

地度。卽呬。呬。必等於赤道緯度。啍。啍。故居地之北極。則

以天之北極爲頂點。向南行。則北極出地度漸小。至赤道。則

二極皆在地平面。再南行。則北極入地。南極出地。至南極。則

天之南極爲頂點。

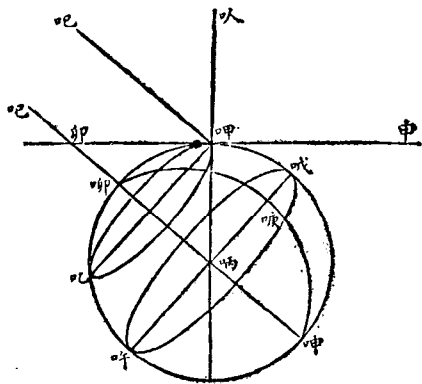
諸星每日繞地復至本所。爲十二恒星時。其繞地用平速。故

至本處之時。星過二子午圈之時較。爲二地經度較率。二

星過子午圈之時較。爲二星經度較率。

赤道交地平面在正東西二點。其交子午圈點之高度。爲極出地度之餘度。天之南北極。爲赤道之二

極。各處地平東西二點。爲子午圈之二極。南北二點。爲卯酉圈之二極。天頂天底二點。爲地平圈之二



極。諸曜皆以至子午圈爲最高度。蒙氣最小。最便於測。

諸曜在恆見圈中。日兩次至子午圈。一在極上。一在極下。

凡推天星諸題。皆用弧三角推其鈍正銳形。而弧三角依大圈之二極布算較便。故用距極度便於亦

緯度。用距天頂度。便於高度。知此則推星較易矣。若但求一星

之位置。可仿下推之。如圖。叭呻呻三角形。人爲天頂。吧爲出地

之極。呻爲星。此形有極出地吧呻之餘度吧呻。即天頂赤緯之

餘度。有星赤緯之餘度吧呻。即星距極度有星距天頂度呻

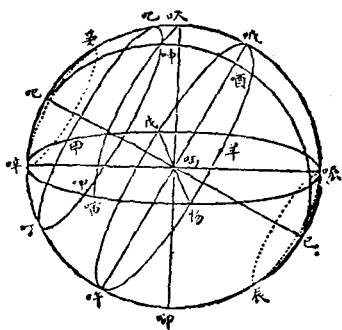
即星餘高度。若吧呻大於九十度。則星必赤道下。若叭呻大於

九十度。則星必在地平下。又有叭呻角。爲距午度。有叭呻

角。爲地平經度呻叭嘖之餘度。有吧呻呻角。因無大用。不立名。

故有五事。一天頂赤緯餘度。一星距極度。一星距天頂度。一距

午度。一地平經餘度。不論何題。任有五事之三。則餘二事亦可推。假如有赤道經度。有距極度。求其出



入時。凡見星初出地平。實尙在地平下三十四分。此由於蒙氣差。故有呬呻邊爲九十度三十四分。又有距極度呬呻。天頂赤緯餘度呬呻。則已有三角形之三邊。求得呬呻距午角。以減赤經度。得出時。以加赤經度。得入時。此係恆星時。欲知太陽時。依表變之。

凡星在子午圈兩邊。其高度相等之時。測其距時若干。卽知其地之恆星時。及赤道緯度凡高度等。其距午亦等。故測其兩邊相距度半之。卽本時距午度也。此三角形有距午時度呬呻角。有星距極度呬呻。有高餘度呬呻。故可求赤緯餘度呬呻。又若已知距午度。赤經度。卽知此時之分點距地平度。故亦知此時之本地恆星時。是爲求新地緯度之要術。

卷二 測量之理

前二卷論地球之大凡。諸曜之相屬。測量所憑諸事及諸名目。今以天學之實事及諸法詳論之。其要每法之立。必考求其測量之理。蓋不明測量之理。不能深信其法。故特詳論之。俾學者確知古法之誤。而今有法以改其誤。然後歎立法之精密。無可疑焉。

造測天器。爲工之最精細者。非精通幾何之理。不能充此工。如作銅環。分爲三百六十等分。置其中心於軸端。令其面恰平。似甚易事。而不知此事極難。蓋測角度用遠鏡。設遠鏡力爲一千。則測天差一分。一若差一千分矣。設一尺爲半徑。則一分角度爲周線三百五十分之一。非顯微鏡不能察矣。然此尙爲測天儀器。今西國觀星臺之器。能分一秒之角度。夫一秒之弧不滿二十萬分半徑之一。故以六尺爲徑。則一秒之弧不滿六千八百分寸之一。非大力顯微鏡不能分也。於銅環周分三百六十度。令無微差。已非易事。况度既成。再作分。分既成。再作秒。世未有能作如此細分而無差也。卽曰能之。而寒暑及質重俱能生差。蓋寒暑能令銅長縮。不能令環通體同變。故生差。而四周所憑。不能如一。故質重亦生差。又安環於架時。必微有震動亦能生差。故近法先安環於架。然後分爲度分。再用諸巧法分爲極細分。然亦不能無差也。要之天學家所願得之器。良工不能造。不得已。精心設法。補救良工之差。故測量必當擇時。又必當知器之差。又必當知器之質性。考之既詳。乃用其正者。去其差者。此爲天學家之妙用。然理甚深曲。此特言其大略耳。

用有差之器。能令測得之數不差。爲天學家之要事。其法必精心勤求其差。或改正器。或改正所得之

數。考器生差之故。其大端有三。一曰自然之差。人力不能爲。氣之變化是也。所以蒙氣差雖有表。與實測恆不合。其理人不能知。故大小不能定。又器之大小方向。亦因寒暑而生差。其餘不能備述。二曰測量之差。乃人不巧便。或目力不精。或測量略先略後。不得真時之度。或天氣不清。或器之力不足。或器微動。如是者亦難枚舉。三曰器之諸差。分爲二端。其一器不精。或軸筭不正圓。或環心不在正中。或非的係正圓。或非真平面。或度分不停勻。其他亦難盡言。此非心目之過。測天者每恨之。其一置器不審。或配合未能恰好。或動分相屬未能恰好。此不能免者。如地面或房屋不十分堅實。雖生差甚微。在他事可不論。而於測天則不能不論也。又如工匠安器時。非極穩固。久而生差。此諸差最難知。蓋非用本器。不能知器之地平。子午卯酉地軸等諸要線有差與否。而用本器測本差。則甚難也。

設所差有定數。則能用法改正之。而自然及測量諸差。參差不齊。故必累次測望。約取其中數。則出入相消。而得數略近也。至於工匠及安器諸差。須恆防之。凡人之手。器之體。必不能成正圓及直線垂線。但其差甚微。目不能見。手不能揣。而測望時必能覺之。蓋人所造之器。與造所生之物。以大力鏡勘之。而知人所造者其差甚大。可立見也。故先測望。以所得之數造法。卽以其法考測望之器。求其誤而改

正之。循環察驗。其差易去也。考天地自然之法。必由漸而精。先用疎器。測得數亦疎。命名亦疎。以所得數細考之。而知其不合。或仍其名。而釋其理。或立新名。如此考察。必至其名與測量之實合而止。當考求時。大法之中。又坐小法。故初所立名及數。皆當改易。而用新法時。其中又有分支之法。必再考之。凡初得之法。其理往往誤會。心以爲如此。與所測恆不合。初以爲偶然。再四推之皆然。然後知器必有差。乃推其差之最大當得若干。若最大之差。大於測望當得之差。則器爲無用。或棄之。或改正之。改正非能消其差。但令差益明。而知前所立法俱當改。故幾次測望新理乃明。

凡考天。覺有不合理處。必思有未知之理。隱而未顯。則以測望之數列表。見表有級數之理。則再改正器。復測之。而不合之數與前不同。則或係器差。用幾何之理推其差之根。凡器必有差。若不知其差之例。恆誤謂天地之理。蓋天地之理與器之差。恆雜而難分也。此差非同測量之差。生於偶然。由於器之病。器不改。差不滅。所以或造器。或安器。必俱有一定法推其差。此差既明。方知其中有一級數之差。與此不合理之事合。昔所難分者。一旦忽分。故測望能正器之差也。

天學家最要者。當先明器之理。此理明。則造器安器差俱能知。而有法以消其差。測天乃密也。假如器

之理。環與活軸當同心。而人所造。不能一定同心。則考其不同心。當得差若干。乃準幾何理。環軸不同心。一邊之角必較小。一邊之角必較大。又兩心相去。無論若干。於環之相對二分。各測其角。取所得之中數。必無差。蓋此大彼小。恰相消也。又器之理。其軸當與地軸平行。而人所安不能恰平行。則當考其不平行之差。凡此考器差之理。乃最要事。若一一明之。則器雖不精。用以測天仍精密也。此準幾何理考之不難。後凡言器。俱作精器論也。

上所論。凡欲從事天學者。必應知之。天學必由疎漸密。今略舉數條言之。古未有測天之器。有俱大智慧者。仰觀而知各星每晝夜繞極一匝。後用疎器測之。覺諸星繞極之道。非平圓而近橢圓。愈近地平愈橢。考知非器之差。推求其故。忽悟蒙氣之理。與前論太陽同則知測望所得星道有蒙氣差。以法推之而得真星也。

未有器時。覺諸曜一晝夜俱繞地心一匝。後用器測諸曜過午。以鐘表測時。知有不同。且亦非測量之差。細測諸恆星至子午圈時俱同。而一匝非同太陽二十四小時。乃爲二十三小時五十六分四秒。○九。故有恆星日。有太陽日。二日不同。若以太陰言之。所得之日更長。爲二十四小時五十四分也。

以太陽每至子午圈爲日之本。考諸恆星之日。爲二十三小時五十六分四秒〇九。俱同。故知此係地球自轉一周無疑。

太陽太陰之周時。與公法不合。故二物自有動法。無論或真或視。與地之動法無涉。欲測證之。不必用器。任取一牆之界線。用銅板中開小穴。安定一處。令不動。人立於牆之北方。以鐘表考各星過穴之時。太陽過時。用煤薰玻璃。測其東西二邊至界線之時。取其中數。卽太陽心至界線之時。依此測之。卽知日至子午圈。每日不同。或早於鐘。或遲於鐘。故太陽周時長短不同。冬至大於平周時半分。秋分小於平周時半分。相連二周時。長短不同。故太陽之視動。不獨與恆星異。且每日不同。其遲速可以法測之。測此理必用精器。非徒仗目力所能也。既有子午儀。再細考鐘表之差。如此考之。至器之理極精細。則知太陽周時差中。又恆生諸細差。昔未知者。因與器差相雜故也。海中之平面可比太陽之平周時。一月之潮差。可比一年中太陽之差。

太陽日與恆星日之別。爲西歷諸法大綱之一。恆用者。太陽平日。中術起於子正。至明日子正爲一晝

夜。西術起於午正。至明日午正爲一晝夜。惟民事間常用者。自子正至子正與中術無異。如正月初二午初。歷家謂一日二十

三小時。初二未初。歷家謂二日一時。此法有便有不便。

二地推時必不同。此自然之理。爲地球相對二地。此方日中。彼方夜半。此方日出。彼方日沒。甚或差至一日。是甚不便也。近立新法。徧地球同用一時。不以本地晷影中星爲主。而以太陽躔度爲主。名之爲分點時。其詳見後。

以天文言時。其要有二。一、顯動角。地球平轉一匝。各星用平時繞地。故以各星過子午圈時計之。爲星之赤經度。一、用歷法之時。恒爲自變數。天文之大綱。在求諸曜之動法及其故。而星視動之法。及考其過去見在未來之方位。用此法與測量比較。必先有古測望之簿。及測之時。

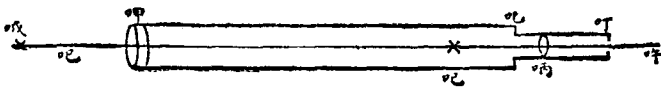
古測時用水漏沙漏。沙漏最疎。而未有鐘表時。水漏製造亦甚精。今因不及鐘表。故廢之。獨用鐘表。近代武弁迦得。以法令水銀恆滿器中。下開微穴。恆漏而不淺。測時承以斜溝。令注他器。測畢去其溝。秤他器水銀之輕重。卽得二時中間之分秒。此法甚妙可用也。

擺鐘及度時表。表之別一種。乃最精者。歷家恆憑以測時。近日二器造法益精密。一晝夜差至一秒。卽以爲無用。故所用者十二時以內。其差不過十分秒之二三。然積時愈多。其差必大。故相連數日。欲全憑鐘表。必

不能。須逐日察其差而改之。則積時雖久。與暫無異焉。

測中星。得時最準確。故歷家取最明便測之星定時。以察鐘表之差。

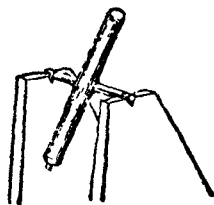
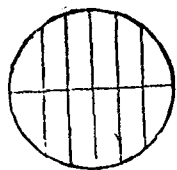
用光差遠鏡測中星法。如圖。呬爲筒。以螺旋定於架。呬爲象鏡。用二種玻璃相合而成。令無紅藍暈色。鑲以銅圈。圈周作螺旋。旋入筒口。令不動。丙爲目鏡。或用數鏡。依光學令視力增大。視物更明。目鏡亦須旋定。令象鏡。目鏡。筒三者合爲一體。則不生變。吧呬線過象目二鏡之心。此線之方向。與筒合。名曰視軸。吧爲所測物。吧爲吧之倒象。在象鏡聚光點。從目鏡窺之。如真形。目鏡力增大。如真形增大焉。此象在筒之空際。無實體。故常象處作二正交徑。或用銅絲。或畫於平面玻璃俱可。窺之見二徑交點與物點吧合爲一。設微不合。目鏡增大力能覺之。即知視軸非正射戊。則微轉螺旋令恰合乃止。用此法。而置鏡又極平。則縱有差角。不過十分秒之二三。測物每患不恰當視軸。有此法。可免此患。如此用遠鏡能分微角。如顯微鏡之能察微物焉。再用變大理。推其微度。能知其形狀。所得與幾何所推。幾無別焉。



測中星之鏡。名子午儀。其鏡連一橫軸。鏡與軸必正交。則測望所得皆真。軸之兩端。其徑必等。以銅爲圓殼。兩半合而固之。殼之下半。堅定於石。安軸時。必正其高低及卯酉二方向。高低憑視軸準。卯酉憑測望。皆用螺旋正之。當目鏡聚光點處。作一地平線。正交視軸。又作垂線若干。相距俱等。皆以細銅絲爲之。測時須令諸線全見。晝則映以日光。夜則用法映以燈光。線之外圈。用螺旋正之。令中垂線正交視軸。則星過中線。卽過子午圈。驗表記其時。再以所測星過左右諸線之時。較其誤否。若恐器不平。則易置橫軸之東西而測之。所得仍不異。則筒與橫軸果正交。而筒旋轉恰在天空大圈面內也。最精子午儀測中星。除鐘表差外。所差不過十分秒之二三。

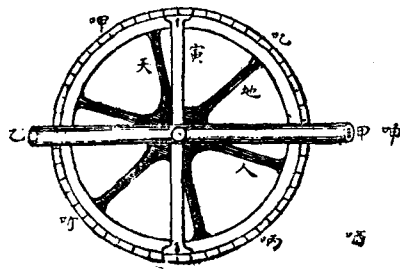
視軸旋轉之面。當合本地之子午面。考察法。取恆見界中一星。測其二次過鏡中線。若在中線兩邊之時相等。俱得半周時。則其面爲真子午面。蓋子午面必正交星所行圈於相對二點也。

用子午儀及鐘表測度分。所得卽赤極之角度也。此法卽以地球自轉之時刻爲準。不必用銅環之度

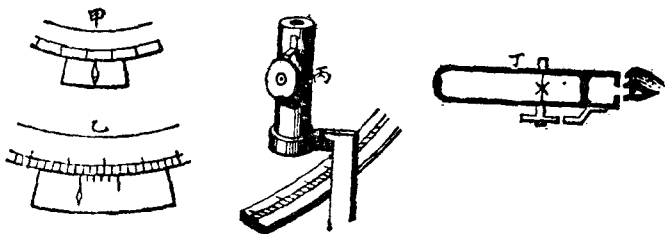
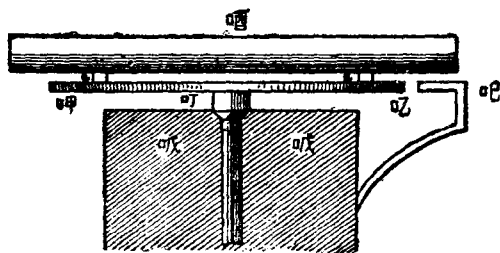


分。蓋若干時。有一定若干弧分過去也。其率一時十五度。若非赤道經。欲知其度分。須作銅環。細分度分秒以測之。如圖。呬呬叮爲銅環。分爲三百六十度。用天地人諸幅連於中心。心開圓孔。孔中鑲以短活軸。可旋轉。軸上裝一遠鏡。鏡之視軸呬呬與環面平行。而正交短軸。鏡之腰連一橫桿。桿正交視軸。短軸轉動。則鏡與桿循環而轉。假使欲知呬呬二物之距度。先令環合於呬呬及人目所居之面。而以法定環。令不動。乃轉鏡令視軸正射中。復定鏡令不動。而視桿端小針所指察其度。或恰滿一度。但察其度。或在二度之間。須細察分秒。法詳後復移鏡。令視軸正射呬。定鏡察其度。二度之較。卽環中心之角。呬呬之距度也。

一法。遠鏡筒與環合爲一體不動。而活軸另連一銅墩。理亦同。如圖。呬爲遠鏡筒。以巳巳二柱連於呬呬環。叮爲環之活軸。轉於呬呬銅墩。墩裝一曲尺吧。其端有針近環乙。以指環之度。鏡與環轉時。過針之度分。卽角度也。針若鐘表之針。如甲。或用佛逆。如乙。最妙者。用疊顯微鏡。如丙。法於目鏡象鏡公聚

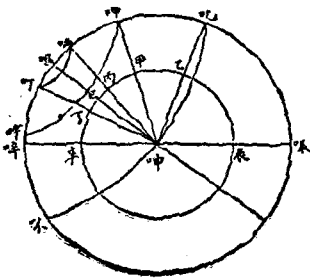


光點處。作正交二線用細螺旋轉之。如丁。先令交點與所察點之最近度合乃轉螺旋。復令與所察點合。螺旋若干轉。即知距視軸所指點若干分秒。鏡力須極深。螺旋須極佳。此法能辨度分之極微。與遠鏡之細測。相輔而行也。用此法測量。全憑三事。甲乙筒向物須的準。一也。環之度分須極勻。二也。二分中間須細辨其秒微。三也。察筒之方向。甲乙兩端。或用交線。或開小穴。或一端用交線。一端開穴。俱可。皆全憑目力。若易以遠鏡。象鏡在乙。目鏡在甲。而於公聚光點置交線。則遠勝目力之細測也。



前條爲測度分之最簡法。但僅能測不動之角度。如地平界之類。若天星則刻刻漸移。此法不能合。惟測二恒星視道相距則亦合。諸星每日周行天空。所成之道。若有迹可見。隨時可測其相距。今無迹可見。然鏡之交點與星合。卽與其道合。故候星過時。以交點合之。而定其鏡。察其度分。乃轉遠鏡候他星過。復以交點合之。而定其鏡。察其度分。二度分之較。卽二星道之距也。連測之以考其誤否。此乃牆環之理。牆環者。卽前條之環。而與子午面合。法令環連一地長軸。堅固不動。軸深入石牆。用螺旋正其高卑。及東西方向。令環與子午面合。凡恒星道皆正交子午圈。牆環測得二星過子午圈點中間之角度。去蒙氣差。爲二星道之距。卽二星赤緯之較。亦卽子午圈高度之較。

凡曜之赤緯度。爲距極之餘度。極在子午圈內。設極點有星。以環測定其度。則餘星之距極及赤緯度俱可測。今極點無星。故取一近極之最明星。測其上下過子午圈之較度。折半以加下高度。或減上高度。卽極之高度。如圖。呬吧賑爲天空子午圈。已爲極。呬味呬呬呬叮爲三星道。



上過子圈在呷啞吧三點。下過子午圈在味吓叮三點。辛巳辰爲牆環。呻爲心。其邊乙甲丙巳丁諸度分。與天空呷啞吧叮諸星相合。旣測得乙甲乙丙丁丙丁四度分。則各星距極俱可知。蓋啞吧等於吧叮。故丙巳等於巳丁。俱爲丙丁之半。則環之極點已知。而已乙巳申巳丙三星距極度分。亦可知矣。

極星爲最近極之明星。距極約一度半。過子午圈上下二點甚相近。極出地度多。則二點距地平俱遠。蒙氣甚微。又甚明。晝亦可測。故天學家恒用之。以正諸器之差。如子午儀測此星。以驗其合子午圈與否。前法見是也。

環上極點旣測定。永爲原點。諸星距極度皆準之。設環上度分或有不勻。可旋轉其環。再測三測。比勘以定之。移動遠鏡。有螺旋能定之。故環可任意旋轉也。

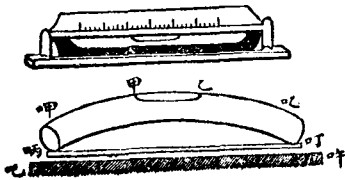
牆環上更有最要者。爲地平點。一切子午圈高度皆準之。測定之法與極點同。天空地平交子午圈點無星。法於夜中測一星過子午圈。明夜測水銀中此星之影過子午圈。環上二測中間之度。去蒙氣差爲星之倍高度。折半。得地平點。準視學理。光射平面之倚度。與回光之倚度等。水銀之面恒平。星在地

平上。影在地平下。其度恒相等也。故水銀面名曰借地平。

牆環之軸。惟一端着於牆。力不甚固。亦不能如子午儀兩端可易置以正其差。故其用不若子午儀。然其環可連於子午儀之軸。與鏡同轉。定顯微鏡於銅墩。以測其分秒。名曰子午環。可并測赤道經度及距極度。測時用鐘表定其過午時。用顯微鏡察其分秒。欲造恒星表。用此法。經緯度一時同得。甚便也。子午環上之遠鏡。其力無論若干大俱可。牆環鏡太大。則重力不能勝也。

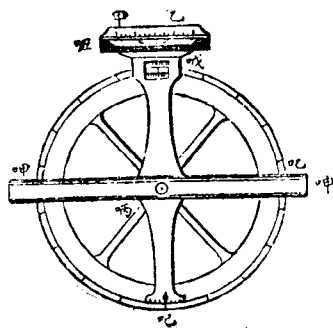
環上定地平點。爲天學最要事。其法不一。曰借地平。曰垂線準。曰酒準。曰視軸準。借地平已見前。垂線準用極細鐵絲。或銅絲。或藤線。下懸錘。錘浸入水中。則不擺動。線之方向卽地心力方向。此法非精心細察最易差。故今不用。

酒準。用玻璃管貯燒酒等物。微不滿。令中有小空。著於直板。上邊微凸。準平則小空恒在中。如圖。呬爲管。定於直板。呬叮。先置板令底極平。於小空之界甲乙二點各作識。後凡置準。令小空與甲乙合。則呬叮必與地平合。若稍不平。小空必偏向高邊也。如欲驗呬呬合地平否。置呬叮板於上。視小空二界合甲乙。反置之。視



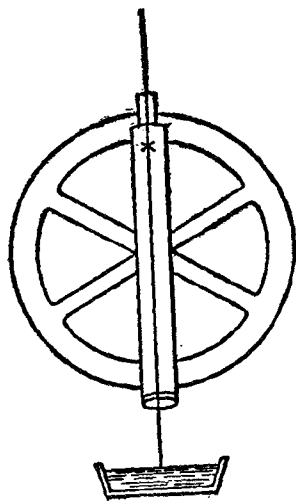
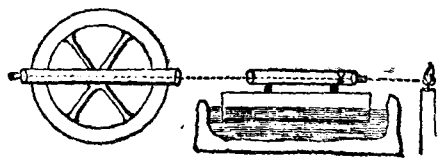
小空仍合甲乙。則吧哂必合地平。若不然。則小空所向一邊。必偏高也。天學家所用酒準。皆有細分。視小空二界所在。能辨一秒之角差。此準必用法細磨管內。非易造也。用酒準定環之地平點法。如圖。甲乙爲遠鏡。與吧吧環相附。而轉於橫軸。其軸亦可東西易置。見而環固定於軸。吐爲酒準。正交吧吧桿。而於吧或吧。用顯微鏡或佛逆察其分秒。吧吧桿與柄軸連。或令易轉而軸不轉。或與軸俱轉。將遠鏡正對物。乃定之。令酒準之小空合吧吧二點。亦定其桿。則桿與鏡成一定角度。乃察已點之度。而以橫軸東西易位。令環南北易位。復將環與鏡同轉於軸。令鏡仍對申。定之。如前定酒準。再察已點之度。二測中間之度折半。得申距天頂度。其餘弧爲高度。知申之高度。即可定環之地平點。此法雖繁。然用酒準必如此。不能簡也。

視軸準者。邇得所創。乾隆五十年。立敦厚始依光學之理用之。此器佳者。用遠鏡。當聚光點有交線。其鏡之筒連以二柱。橫立於厚鐵板上。而鐵板浮於水銀面。故與地平成角恒同。用燈映鏡中之交線。交



線在象鏡聚光點。令光線出鏡平行。復聚於他鏡之聚光點。與同方向天空之星無異鏡之倚度。即星之高度。故測二線之交點。如測星焉。法置視軸準於環之兩邊。距環遠近不論。以環之鏡。二次窺之。俱令二鏡交線之點相合。則環上半之度。即倍距頂點度。故天頂及地平點俱可知。準鏡二交線。一正交地平。一與地平平行。環鏡二交線。

俱交地平四十五度。故測時交角之度互相平分焉。後便孫伯又變化其法。即以環鏡正對水銀面。而以燈傍映鏡中之交線。交線之光。出象鏡平行遇水銀面。而回復入象鏡聚於聚光點。成交線之象。故轉動其鏡。令象與線合。即知鏡之視軸。正對天底點。



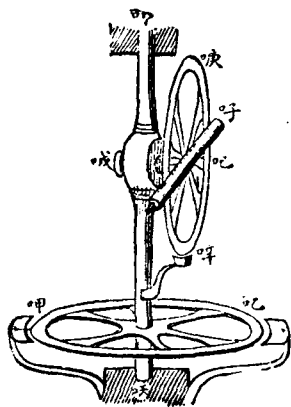
子午儀與牆環。皆所以測諸星過子午圈之時刻。測星過子午圈時刻。以正遠鏡方向最易。蓋星視道與鏡中交線之橫者平行。而用螺旋能細移至密合。少有未合。有餘暇改正。他處不能也。凡測角務得真確。若角有變者。則當於最大最小時測之。蓋此時不驟變。有餘暇可安徐細測也。星之高度亦然。其變之最大最小。皆在子午圈上。

星任在何處。皆當測之。不定在子午圈也。其法天球上無論何點。以正交二大圈定之。幾何所謂點之縱橫線是也。如知地面之經緯度。即知本地之點。知赤道之經緯度。即知本星之點。知地平經度及高度。即知出地之點是也。

欲任測星道上何點。先當置遠鏡。令有上下及四周二旋動。法用二環。令所居之面恆正交。亦與遠鏡旋動之二面平行。二環之軸亦正交。一爲本軸。其兩端裝入銅竅。可旋轉。餘一軸即裝入本軸之腰。二環或用二佛逆。或用二顯微鏡。一着於石墩。一着於本軸。察其度。二環俱可任意定於軸。其定之物亦連於墩及軸。此器測天之大用。在置本軸。有二方向。一與地軸平行。直指天空之極。則呷叱環與赤道面合。測其時角。即赤經度之較。呷叮軸旋轉。則嗶啞環恆與天空之諸時圈合。其環之度分。爲

赤緯度。或距極度。此置法名赤道儀。欲久測一星。此器最便。蓋遠鏡已正對其星。則遠鏡與極軸交角。等於星距離度。乃定遠鏡於啖啐環。隨極軸而轉。如此鏡所指出星道也。正赤道儀最不易。其法先隨極星轉一周。則知極軸偏於何方向。而改正之。極軸已定。乃以緯度環。依子午圈定於極軸。任取數星緯度大不同者。各測其過子午圈。若

其過午之時較。俱與表合。則鏡正對子午圈。而環之軸恆正交極軸。或與表有不合。則視其差而改正之。近時赤道儀。用輪法。測時能自轉於極軸。以隨星。測者但專心候星。無煩手轉也。法用懸錘。轉諸輪以轉極軸。錘力極準。恰二十四小時極軸一轉。令本軸為地平垂線。而啞吡環與天空地平面合。啖啐環恆與天空垂大圈合。啞吡環上之度。為地平經度。啖啐環上之度。從頂點起。則為距天頂度。從地平起。則為高度。此置法名地平經儀。用垂線準正本軸。或用酒準置器上而轉之。視小空不變。即正矣。定平環上南北二點。則以垂環正向子午。用考子午儀合子午面法定之。見又法。取子午圈東邊一星。



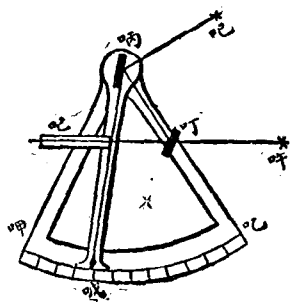
令與遠鏡內之交點合。察地平環上之度分。乃定鏡於垂環。俟此星過午後。轉器隨之。至星復與交點合。再察平環之度分。乃以二度分之較折半。即得地平之南北點。蓋前後所測二高度等。凡星在子午圈兩邊之高度等。則兩點距午之地平經度亦必等故也。此名等高度法。歷家恒用鐘表測二高點之時較。折半得午正。此法亦可正鐘表之差。

地平環上南北點已定。以垂環正對之。即與子午面合。乃轉鏡正對地平環上之北點。視交線所合之點識之。南點亦然。過此二點之線。爲午線。地平經儀之妙用。莫大於測蒙氣差。法先取一過天頂之星。再取一切地平而過之星。俱測其視道。考每點與平圓差若干。即知蒙氣大小。

天頂尺。地平尺。製與地平經儀皆略同。天頂尺。細測近天頂諸星。垂環惟用下面之一分。餘俱不用。故垂軸極長。環之半徑極大。令弧度寬大。便於細分也。地平尺。用以測地面諸物。遠鏡俯仰無幾度。故不用垂環。或用小者。亦不必細分也。遠鏡連一橫軸着於二柱。與子午儀同。二柱堅定於平環之輻。與環同轉。

又有紀限儀。用以測二物之距度。或測一物之高度。如圖。呬呬爲全圓之六十度。分爲一百二十等分。

兩呎半徑上有鏡。半回光半透光。正交儀面。而與呎兩半徑平行。兩
 呎爲活半徑。可移動。其末有佛逆呎。可細測度分。其端有回光鏡。兩
 亦正交儀面。而與本半徑平行。呎兩半徑上有遠鏡。視軸與呎兩半
 徑成吧叮兩六十度角。如欲測吧呎二物。先以遠鏡從叮之透光鏡
 正對呎。乃移動活半徑。令吧光線從兩回至叮。從叮回入遠鏡筒。至
 遠鏡內二物之象合於一。卽定其活半徑。則兩吧呎二線之交角。

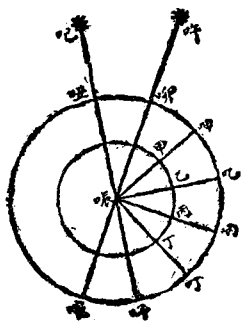


必倍於吧呎呎角。卽二物之距度也。故此儀倍其分數。以三十分爲一度。蓋光與二次回光三線在一
 面內。則首末二線之交角。必倍於二回光鏡面之交角也。此器或云哈得烈所造。實則作於奈端。可手
 握而測。航海者測星距太陰及高度。非此器不能。蓋海面高度。酒準垂線準借地平。俱不可用。故必用
 此器。令所測之星與海中地面界合。卽得星距地面界之高度。見前減地面界深度。卽得真高度。陸地可
 用借地平。無地面界深度也。

正紀限儀之差。法最簡。令活半徑所指之度爲○。則二回光鏡當平行。若不平行。則任測一星。令遠鏡

見丁透光回光鏡中星之二象合爲一。卽知其差數。蓋象合時。其度當爲○。若不爲○。所得度分卽差數。每測去其差數。卽得真度分焉。若回光鏡不正交儀面。則鏡傍有小螺旋。可旋轉正之。大率活半徑上之回光鏡。造儀者已詳細定之。無須正。惟叮鏡當正其差。而遠鏡之視軸。亦必詳審。令與儀面平行。其正差法用一地平線。一垂線相交。而以儀面合地平之垂面。以遠鏡正對交線。移動活半徑。令地平線與回光之影相合。又轉小螺旋。令垂線與回光之影相合。視地平線仍與影合。卽正矣。回光環之用。與紀限儀同。而圓周皆有度分。此器有三佛逆。每測俱察其度分。以三度分相并約之。三差相消。略得真度分。故此器稱最精妙。

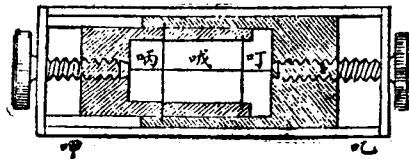
疊測之例。寶大所造。有大小二環。遞次疊測。可任至若干次。故其差幾可消盡也。如圖。呷噀爲定環。呷呷爲遠鏡。定於甲乙丙環。與呷噀活桿共轉於定環之心。呷活桿之端有針或佛逆。設欲測呷呷二物之距度。先以遠鏡正對呷。察其度。乃定桿於呷環。旋鏡正對呷。桿隨之俱轉。過環呷呷。與呷噀呷呷角度等。再察其度。二度之較。必等。



於吧嘑吡角。然必有二差。一分度差。一測量差。乃定桿於定環。脫於吧嘑環。轉遠鏡向吧。復定桿於吧環。脫於定環。轉遠鏡向吡。桿同轉至吧。所過吧嘑弧。亦等於吧嘑吡角。再察其度。二次察得度之較。弧吧嘑吧。倍於吧嘑吡角。亦有二差。如此累測。至十次。得十倍。所求之角以十約之。則其差幾可消盡。此法甚妙。然依此測之。仍有差。未知其故。俟測者考之。

分微尺能細分角度之秒微。可測諸矐視徑之角度。其妙全憑螺旋。法於遠鏡內象目二鏡公聚光點。置二平行線。以細銅絲爲之。定於二活架。用二螺旋移其架。其動之方向。俱正交平行線。令二線恰至星之二界。再轉至二線相合。視螺旋轉幾周幾分。知在星界時二線之相距。以轉數化爲度分秒。即得。或僅用一螺旋移一界之線亦可。

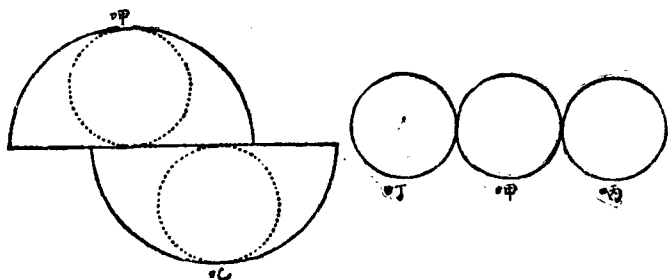
分微術或用光學法。能變其象爲雙象。如圖。吧爲本象。變爲相等相似吧嘑二象。其相距若干及方向。一任測望者令之。故可令二象相切。如吧嘑。復令移於又一



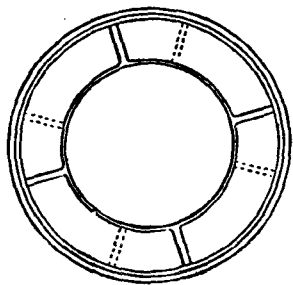
邊相切。如呬叮。自此切移成彼切。所過之分秒。卽象之倍徑也。

變一象爲雙象。法甚多。一法。平分象鏡。卽能變其象爲二。以象鏡之兩半分置二架。而參差移動之。此名量日鏡。用以量日之徑。最便也。如圖。呬叮爲象鏡之兩半。準光學理。二半鏡之象俱在本軸上。故目鏡窺聚光點處。有二相似之象並列。轉螺旋能令相近相遠也。一法。用水晶之一種。視物成雙象者。此水晶中有一線。名光軸。二象之相距。準此線有定限。最近至相合。最遠至限而止。用此水晶作球。代目鏡。轉其球。則球之光軸。與目之視線角度漸變。當光軸與象鏡之視軸合。則象爲一。轉之至光軸正交視軸。則見本象分爲二。漸離而遠。視晶球所轉度分。而知二象相距度分也。

又一法。最簡易。凡三稜體二種玻璃。一名冕玻璃。一名火石玻璃。相併能消去光之彩暈。而視物形狀不變。但有光線差。法令二稜體彼此相對。各面



略近平行。光線差甚小。約五分。平剖之。兩半各裁爲正圓。鑲以銅架。而以尋常平面玻璃隔之。如圖。虛線爲一半玻璃架之輻。實線爲又一半玻璃架之輻。令在後之架能轉動。亦可察其轉之度。若二半相合。其差角爲十分。則相逆必無差角。而自相逆至相合。俱有差角。自○至於十分。皆以圓架之轉若干計之。凡光自象鏡至聚光點。成尖錐形。置此兩半玻璃於尖錐之腰。恰占截面之半。則象鏡之光。一半有差。一半無差。



故成雙象。其分合之度可測也。若象鏡不大。則置於象鏡之外。貼近象鏡。其徑較象鏡之徑。比例當爲七百零七與一千。又輻略礙光。約爲七與十。

方位分微尺。只一線轉於目象二鏡之公聚光點。恒正交遠鏡之視軸。取視界中一線爲準線。依準線以定二物聯線之方向。法轉分微線。令與二物相合。或與二物聯線平行。遠鏡外有度分小環。察其度分若干。卽聯線與本線之交角也。此尺若用於赤道遠鏡上。則本線方向合於赤緯。其方位角恒從原點一邊計之。自北而後而南而前。原點之方向正北也。九十度之方向。正東卽後也。一百八十度之方

向正南也。二百七十度之方向。正西卽前也。

二星相近而能並見。欲定其聯線之方向。則不用單線。而平行雙線。若二星大小不等。此法更使用。法使二星在雙線之間。而相配。則易知其聯線之方向。若人立之勢。頭正直立。則更易準。

凡在夜中窺測。必用燈光使視界亮而線暗。或視界暗而線亮。否則分微尺中之交線難見。使視界亮之法。以燈光自遠鏡筩邊之孔。映入筩內不亮之白面。使光四散。不礙成象之尖錐形光也。惟所用燈光之色爲要。試知用紅色之光。見線甚明於別色之光。使交線亮之法。以燈光映入筩內交線向日之面。燈光之餘者。或至筩內之黑面。或自對面之孔入黑箱中。皆能滅也。

窺測太陽。必用暗玻璃隔之。紅玻璃易透太陽之熱而傷目。不可用。若用深紅玻璃而久觀之。則目眩而不能見。惟用青綠二色之上品玻璃相疊。最佳。此二色相疊。透純黃之色而略無熱焉。日之光熱。遇玻璃面。亦能返照而甚減小。其返照者約爲正光千分之二十五。故造窺測太陽之回光遠鏡。可用玻璃作回光象鏡。二面俱凹。前面合拋物線與聚光點之距相合。後面合大曲率之球體。使其餘光由玻璃透出而折射。散入空中。故或正或斜。或粗或細。俱無妨也。前面所回之光。已能顯甚清。

之象矣。若第一次回光。光尙太多。則或多用數平行玻璃回光。以減之。或用三稜玻璃。以一面回光。一面放餘光。則所回得之光。約爲正光九百分之一。因依光差之理。使面與光線成正角。可稍得回光而減小甚多也。若用大力之鏡。細察太陽面之小處。可用金類板作小孔。安於聚光點。以透所欲察太陽面小處之光。則光熱多爲所阻。而至目鏡者已甚少。可不害目矣。導斯翹設此法。能見太陽面最奇之狀。別法所不能也。後詳論之。

天學家多用回光大遠鏡。其體重大。難於安置。使鏡面不改方位。故必有便易之法。可時時試較其視軸。設鏡面有改方位。可改正其視軸。故用視軸準之法。見本卷視軸準條外以燈光映之。視軸準象鏡之端。向回光鏡。自回光鏡筭之目鏡窺見視軸準內之銅絲。對燈火。則與窺同方向之星無異。視軸準之倚度。卽星之高度也。因使此銅絲正對一星。則回光鏡或平動。或立動。其銅絲仍必對其星。而星之光線。與視軸準之視軸仍平行。故可用視軸準之視軸。爲回光鏡之實視軸。而回光鏡筭之軸非爲回光鏡之實視軸也。惟欲測微差。或所窺之物不明。及視界不明。而不能用法。則必時時試較回光鏡之改動。而有機稍動回光鏡以改正之。使分微之銅絲。與回光鏡之視軸相合。

卷四 地理

地理乃天文之一事。而實爲最要。蓋地球爲測天之公方位。如兩地測星。得數不同。而生角差。即可據之推星之遠近。然必先知地面諸方位之不同。推之方不誤。故此卷詳論測天。以定地理之事。

地理家所論之大概。爲洲島海洋山河之形。以及地質地氣物產人民諸事。地質物產人民無與於天文。故不論。今僅論地之形狀及大小。地球之面。爲海洋。爲洲島。洲島之形狀。有山谷。有原隰。而海底與洲島。土面相連。其形狀亦當考之。今未能悉知。若悉知之。實有裨於天學。

地之狀大約近圓球。見一卷而細測之。知非正球。乃微扁。狀若橘。其南北軸短於赤道徑。然所差甚小。不過三分之一。設以木仿此作徑十五寸之球。其差不過二十分寸之一。雖目力甚精者。亦難辨。故恒以球稱之。必細度。始知非正球也。

地之狀若此。故若非依赤道平割之。其面皆非正圓。而爲橢圓。人居地面。舍二極外。所見地面界亦非正圓。但所差甚微。目既不能覺。深度尺亦不能辨。苟不知測地球大小法。則地非正球。永不能知也。

圓之周徑率爲三一四一五九二六與一之比例。故若地爲正球。則測得其大圈爲幾里幾尺。卽知其徑若干。而但測大圈之一分。卽可知全周。如測一度。卽知三百六十度也。故若依子午圈細測一度之里數。卽全周可知。然地面無表。亦無準繩。指南針不能無小差。亦無用。則何以能知度分。何以能不離子午圈。故法當用地外之表恒星是也。恒星距極度可查。故測其高度。卽知本地極出地度。乃依子午圈向南或向北至極出地差一度。計其所過里數。卽三百六十分地球大圈之一也。

用子午儀。則逐秒知子午圈之方向。雖地面有諸阻礙。不能盡依子午圈行。然其差可知。卽能算而除去之。

用上法量子午圈度分之里數。最簡要。但不能步步築星臺。故二測處相去。不能恰得一度。然此亦無須可任意築星臺。相去或一度。或二三度。或度下帶奇零。俱可。測星之高度。須精心細察。不可令有差。蓋在一度爲小差。在全周則三百六十倍。在全徑則一百十五倍。卽積成大差也。故二測處須取一星近本處天頂者測之。則蒙氣小。生差甚微。幾若無也。見一百二十條之圖 設一處測此星過天頂。一處測此星過子午圈時距天頂或南一度或北一度。則知二處地面緯度差一度。一度之二界已知。卽有法量其

里數尺數。定地面一度之二界。有微差必不能大於測星距天頂度之微差。而精心細測。所差不能過半秒。設二處相去五度。而地面每度之差為一丈。用此差并二處之測差各半秒。以推地之全徑。其差僅約二里耳。

右測地球大小法。蓋以地為正球。子午圈上每度長短俱相等也。乃如法依子午圈逐度量其距。則其差大於上所言。且逐度不同。故知地非正球。今取各國天文名家用最精器測得之數列表於左。

國名	弧線		
	中點	緯	度
白愛 瑞 額 羅 俄	二〇一〇	六六二	上六六
白愛 斯 羅 俄	三三七	六六一	上六六
白 斯 羅 俄	三三七	八一七	上五八
白 士 魯 普	五	三三五	上五六
白 士 魯 普	二六	五四八	上五四
白 噠	七	八一三	上五四
白愛 威 諾 阿 英	六	二一六	上五二
白 英	五	三五四	上五二
白 英	四	二一九	上五二
愛 西 蘭 法	二	五二二	上四六
白愛 西 蘭 法	五	一 二	上四四
愛 馬 羅	九	五 九	上四二
愛 聖 利 米	二	九 一	上三九
白愛 度 印	五	八二一	上一六
白愛 度 印	八	二〇二	上一二
白愛 魯 祕	四	一〇	上一
愛 敦 朴 崑	〇	一八三	上三三
白 敦 朴 崑	〇	四三二	上三五

表中識愛白二字者指愛里白西勒推算之所用或同或異也。

測地球弧線諸家表

瑞額。一思凡白。二摩伯多。

俄羅斯。一斯得路佛。二斯得路佛。敦納。

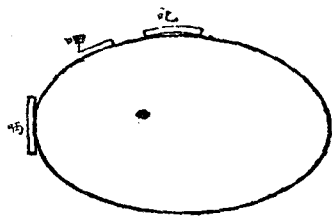
普魯士。白西勒。倍爾。

數率	中一 度尺	弧線	之尺	弧線	之度	弧線
					度	分 秒
三六〇七三三			五八五一四九		一三七一九	六
三六二〇五七			三四七〇一二		五七三〇	四
三六〇三六二			一二九一七九九		三三五	五·二
三六〇二八七			二八九七一九六		八二二	八·九
三六〇四一四			五四三五二三		一三〇二九	
三六〇〇八五			五五一四六一		一三一五三	三
三六〇二九五			七二六三三六		二〇五七	四
三五九九七一			一四二三一八五		三五七	一
三五九九五一			一〇二二二一〇		二五〇	三·五
三五九八七三			二九九八九四九		八二〇	〇·三
三五九五七七			四四四八〇四五		一二二二	一·七
三五九二七二			七七七一二五		二	九四七
三五八八〇二			五三〇七二八		一二八四	五
三五八〇七〇			五七一五二二		一五五七四	〇·七
三五七九八四			五六六四五〇		一三四五六	四
三五七八二〇			一一一五五五五		三	七三·五
三五九七一六			四三九四〇三		一一三一七	五
三五九〇七二			一二八四一五六		三三四三四	七

暹。書瑪割。 阿諾威。高斯。 英。羅衣。迦得。 法蘭西。一拉該勒。萬西尼。二特浪勃。墨商。 羅馬。薄思各維。 米利堅。梅森。迭格孫。 印度。一蘭敦。二蘭敦。哀佛勒斯。 祕魯拉工大民。部賴。 岩朴敦。一拉該勒。二馬格釐。

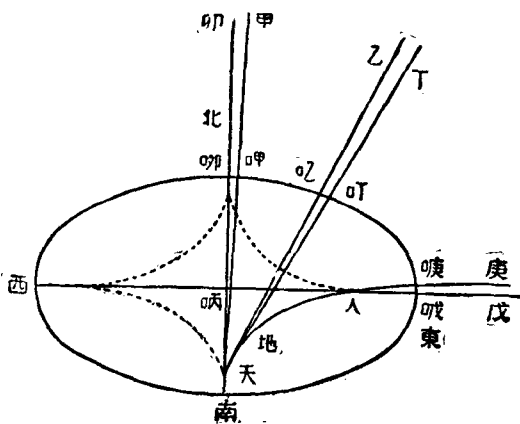
末行數以前二行數比例而得。此法若弧線太大。則不甚密觀表中二五兩行。知緯度愈大。度之尺數亦愈大。故近極最大。近赤道最小。準此推之。得地之形狀。

假如以木作一地球象。不許以規尺度球之各相對二點。而欲知其是正球否。則當別用法測之。法製一薄銅板。其底微凹。置於呬。密合無縫。乃移於球之各處試之。若俱密合。則爲正球。設有時其下中空如呬。有時兩端空如呬。是呬平於甲。呬凸於呬。則非正球也。木球面以銅板測之。猶之地球面逐度測之也。蓋曲面逐點之切線。方向俱不同。地若爲正球。則向前行所過里數同。地面之切線變方向。其角度亦同。今測地。或前後所行二里數同。則所變方向二角度不同。又或前後變方向。其角度同。則二次所行里數不同。故知地球子午圈。赤道凸於二極。而地非正球。乃扁橢球也。如圖。卯甲乙丁庚戊爲依子午圈割地球之面。呬爲心。卯甲乙丁庚戊爲子午圈內三段。皆容緯一度。卽人行子午圈測極高弧各差一度也。卯爲極。戊爲赤道。卯呬甲呬乙呬丁叮庚呬戊爲卯甲乙丁庚戊地面六點之垂線。六點之切線。必正交諸垂線。諸垂線引長之。兩兩相交於天地人三點。卯天甲乙地丁庚人戊。俱爲一度之角。故甲卯丁乙戊庚。皆可當作平圓一度之弧。其心卽天地人。以幾何言之。此三點爲曲率之心。天卯等於天甲。地乙等



於地丁。人庚等於人戊。皆爲曲率半徑。故諸點之曲率。可測而知。凡大小正圓。其等角弧之比。若半徑之比。今卯甲弧長於乙丁弧。乙丁弧長於庚戊弧。故卯天半徑大於乙地半徑。乙地半徑大於戊人半徑。故諸垂線之交點。不能在圓心內。而在天地人三點。此三點同在一曲線內。此曲線爲卯甲乙丁庚戊曲線之母曲線。乃諸曲率心點之聯線。

凡圓面一徑略短。而其正交之徑略長。則爲橢圓。故子午圈非正圓而微橢。其短徑卯申。卽地軸。長徑戊己。卽赤道。蓋因地球自轉於卯申軸而成此形也。此與從極至赤道逐度漸大之里數密合。凡橢圓長徑端之曲率半徑最小。短徑端之曲率半徑最大。準幾何。凡橢圓可因曲率變之比例。而定長短二徑之比例。亦可任取



處之度。度其長若干。而定其二徑之長若干。今不細論。但本此考幾何家用所度緯度之里數。推地球

二徑。近有二家。一爲白西勒。取十一弧推之。一爲愛里。取十三弧推之。其數如

赤道徑。四千一百二十五萬二千九百六十一尺。卽二萬二千九百十八里三一。

二極徑。四千一百一十一萬五千零八十八尺。卽二萬二千八百四十一里七一。

二徑之較。十三萬七千七百八十三尺。卽七十六里四六。

二徑比例率。二百九十九·一五。二百九十八·一五。

右白西勒推得之數。

赤道徑。四千一百二十五萬三千一百九十三尺。卽二萬二千九百十八里四四。

二極徑。四千一百一十一萬五千三百七十二尺。卽二萬二千八百四十一里八七。

二徑之較。十三萬七千八百二十一尺。卽七十六里五六。

二徑比例率。二百九十九·三三。二百九十八·三三。

右愛里推得之數。

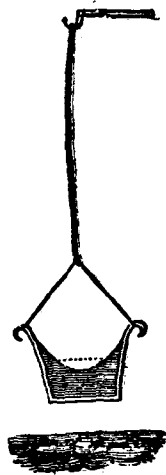
前卷約言地球徑二萬一千七百八十里。以今測較之。實略小。其較爲一千一百三十八里。約差二十分之一也。大略一度得二百里。共三十六萬尺。一秒得一千五百尺。地赤道之周。爲七萬二千里。其扁率約三分赤道徑之一。依軸線割地球。意其面必爲橢圓。以前所列諸數考之而信。雖間有不合處。大於測量之差。然較之正球差甚小矣。其不合處。或因地勢所生。或更有他故耳。

續作前表之數後。至今疇人考得地球之眞形與大小益明。取大弧線二。以測量地球之面。一弧線過俄羅斯國。長二十五度二十分。一弧線過印度國。長二十一度二十分。近時武官格拉格。將各處所測地面之度數。以推算法。合成一帙。其說曰。地球非是正扁橢圓體。而當赤道亦略橢。其長徑四千里一百二十五萬八千五百五十三尺。其短徑四千里一百二十四萬八千九百二十四尺。赤道周之橢率爲四千二百八十三分之一。長徑約大於短徑五里有半。長徑之兩端。一在西經二百零二度五分。一在東經七十七度五十五分。短徑之兩端。一在西經十二度五分。一在東經一百六十七度五十五分。地球南北極相對之徑。四千一百一十一萬五千五百四十五尺。故經圈之橢最多者。橢率爲二千八百七十五分之十。經圈之橢最少者。橢率爲三千零八十三之十。書白得將軍另用別法

推之。所得略同。惟赤道圈之橢率。爲八千八百八十五分之一。長徑之兩端。則在格拉格所得者之東二十六度四十一分。依俄國印度法國三處大弧線推得地球之南北極相對之徑。一爲四千一百一十一萬八千七百二十三尺。一爲四千一百一十二萬零二百一十六尺。一爲四千一百一十萬五千三百九十一尺。取此三數之中數。略得四千一百一十一萬六千四百四十六尺。再取此數與格拉格所得數之中數爲四千一百一十一萬五千九百九十六尺。略近於四千一百一十一萬六千尺。

考地球自轉所當生之形。與測得之數相符。故定地爲扁球。無可疑議。設云地爲正球。不動。各處之質俱相同。統地面之海等深。如此。輕重相抵定。水不流。若移二極多質於赤道。令極與赤道之徑差七十里。令赤道上成山與洲。然水必流向二極。此理易明。蓋定質隨所置而定。而流質則一若在高山。必流向下也。如此。二極必成大海。而赤道爲高地以環之。乃今赤道與二極皆有海。而海面距地心赤道多於二極三十八里。未嘗背赤道向極流。此必有力攝之。若正球不動。不當有此力。故地球必動。此與地形扁圓。及地自轉之說俱合。其理詳下。

凡重物旋行。每欲離心。名曰離心力。試以繩一端繫石。手執一端旋舞空中。其理自見。又試懸桶水於繩。旋轉其桶水面必中凹。蓋水之諸點。皆欲離軸向外行。故積於桶之四邊而漸高。至離心力與抵力相等而止。若轉漸緩。則四邊之水漸降。中心之水漸升。而凹漸小。其水面恒如玻璃。無波。至轉定而平。故設地爲正球。靜而不動。四周有海。其深俱等。忽令自轉。由緩而速。至十二時行一周。水之諸點生離心力。



皆欲離軸。勢必四面散飛。試於雨中轉其繖。繖上之水皆四面散飛。此其證也。然有重力阻之水。恒欲離軸而又不能。故常離兩極向赤道成凸勢。與趨桶邊之理同焉。水恒趨赤道。令兩極生夾力。而當赤道有地心攝力。二力相等。故水之凸勢不變。如此。二極必有大地而無水。故地形若爲扁球而不自轉。則水必向二極。赤道必有大地。若爲正球而轉。則水必向赤道。二極必有大地。

海水衝激堤岸。漸被消蝕成泥沙石子。沉海底。察地家考今所有大洲皆如此。蓋陸地被海水蝕盡成泥。復積成大洲。非一次矣。地面陸地無一定之處。今所有高地。久必壞。故地之形狀。依等重之理屢變。

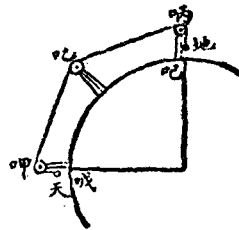
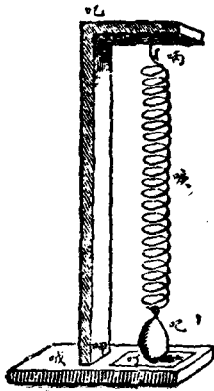
設地球不動。則赤道所有大洲必漸壞。其質移至二極。成正球。設地球復動。則極上之高地必漸壞。其質移至赤道。成扁球。與今之形同。

已知地球大小及自轉時分。則離心力亦可知。赤道上無論何物。其離心力爲向心力二百八十九分之一。赤道上之海水。必依此而輕。故所居之面。高於極上。極上無離心力。海水必依此而重。故所居之面。低於赤道上。幾何家曾準此理推之。謂地體若各處等重。或有一分水。或全體皆水。自轉二十四小時一周。當成此形。算數所得。與測驗所得。約略相近。故若能明知地中之質。則算與測當無絲毫差也。地形扁圓。乃地球自轉之明證。昔人言地球自轉。但用以解每日恆星繞地耳。未嘗及此理。然已知自轉。即可爲扁球之證。自轉與球扁。理相關如此。初。奈端用自轉之理。推地之形。謂當爲扁球。時尙未測量也。今既測量而知奈氏之說果不謬。

離心力必減地面諸物之重力。當赤道上所減最大。漸遠赤道漸小。至二極而無。故凡物南北移置。緯度變。重力亦變。曾於各緯度測其輕重。故能定其級數。物至二極增重最大。比赤道重一百九十四分之一。從赤道行至極。加重之比。若各地緯度正弦冪之比。

各緯度測物之輕重。不能用天平及秤。蓋二器皆用此重測彼重。彼重變。此重亦變。故不能用也。假如有物。在赤道重一百九十四觔。移至極重一百九十五觔。若用天平於赤道平之。移至極加法碼一觔。必偏重不能平矣。設有重物懸於赤道。如天。其索過滑車呬。又過滑車吡。至北極過滑車啞。亦懸以重物。如地。設此二重在赤道。或在北極。用天平平之。輕重相等。則如圖懸之。必不能相定。地重必向下行。若於天重加一百九十四分之一。則定矣。

故各緯度測物之輕重。必用別器。一用簧。簧力不隨地面而變也。如圖。呬啞為銅曲尺。與底板啞叮連為一體。板內鑲以光面白瑪瑙。如叮。置板用酒準。令極平。啞為螺線簧懸於尺之鈎啞。呬為圓體重物。底下須極光。先於緯度最大之地懸簧及重物。令呬叮相距僅一絲。復以微重物遞加於呬。令叮呬相切而止。乃去微重。及呬重又輕輕。去簧。裝於匣內。於路須謹慎防護。勿令生鏽。亦勿動搖。至緯



度漸小之地再懸簧懸吧重。并前所加諸微重。必不能復切瑪瑙。再遞加微重。令復切瑪瑙而止。則後加微重。爲已重。前所加微重。半簧。三重和二地重力之較。設螺線簧之力連本體能懸一萬分。伸縮一寸不壞。則加一分重。能加長一萬分寸之一。其數易測。故不論何處。測其重力。其差不能過一萬分寸之一。此靜重學之理也。

一用鐘擺。凡同一鐘擺。用大小二力擺動之。則同時分中擺動之次數不同。置於緯度大小二地擺動之亦然。因重力有大小也。其二力之比。若二次數平方之比。假如用一擺置赤道上。一太陽平日擺動八萬六千四百次。移置倫敦。擺動八萬六千五百三十五次。則赤道與倫敦二處重力之比。若八萬六千四百自乘數。與八萬六千五百三十五自乘數之比。約之若一與一·〇〇三一五之比。故倫敦有體質十萬觔。與赤道上體質十萬零三百十五觔。二重力相等。此動重學之理也。

各緯度用上法細測。知赤道與二極重力較數。爲一百九十四分之一。此與赤道離心力數二百八十九分之一不合。二數之較。爲重力五百九十分之一。蓋地球自轉生離心力。離心力令地成扁球。扁球變地面之攝力。而生此較數。攝力雖一。而分爲二。一直加。一傳遞而加。直加易推。傳加須用幾何精理。

解之。別有專書。今略言其理。凡物不論離心力。但論其重。卽地之攝力。奈端論攝力云。諸質點非共向一心。乃各點爲餘諸點所攝。故地攝地面之物。非用一力。而用地球中各點所生之諸力也。若地爲正球。則物不論在地面何處。所得攝力皆等。因所有諸質點之方向。皆相似故也。今地爲扁球。則地面各點。所有諸質點之方向。各不相同。則所得攝力。亦各不同。故設有二等體。一在赤道。一在極。則二體與扁球相關之理。大不同。球攝此二體。其力亦不同。測而推其數。與說合。此乃數學中理之最深者。奈端麥祿林。格來老諸家。俱詳推之。從赤道至北極。若無離心力。當加重五百九十分之一。依其數再加離心力。則爲一百九十四分之一。

地面有恒風。爲航海者所必需。西人名之曰貿易風。此風之生。其故有二。一、地面赤緯度不同。受太陽之熱氣亦不同。二、流質之公理。熱則漲大而輕。冷則縮小而重。準此二故。合地球東西自轉。卽能明此風之理。蓋二至圈中間之地。太陽恒正照。故地面恒熱於他處。傳入氣中。氣得熱則漲大。輕而上升。二至圈外南北之冷氣重。輒來補之。已升之氣。高出氣面。卽分流向二極。漸遠赤道。漸冷漸降。以補前氣。向赤道之空。如此上下循環。流轉不息。

續自二至圈向赤道。其空氣之壓力遞減。在赤道上風雨表之水銀。恒低於溫帶五分寸之一。乃實據也。

地球自轉。當赤道之地面最速。漸遠赤道漸遲。各緯度地面之速率比。若各距等圈比。當無風時。非氣停也。乃隨地而轉。似氣不動耳。近極之氣行至赤道。其向東本速。遲於近赤道之地面。必一若風逆行。自東而西。故地球若不自轉。則赤道北恒北風。其南恒南風。今因自轉。故北恒東北風。南恒東南風也。二至圈外之氣。若忽移至赤道。二地之速率不同。必激成颶風。然恒徐徐行。沿路爲地面所攝。速率漸增。若略停不行。則速率驟增。必與所停之地面同速。蓋地之氣甚薄。見卷一凡人乘輕氣球上升條其積較地球積約僅一億分之一。故地面攝之東行甚易。其原動力若非恒有新生。則易消盡也。近赤道距等圈大小之差甚微。故風西行之方向漸消。至赤道而消盡。而南北二風相遇。若無他故。其方向亦必互相消盡。故赤道上應無風。左右有二大帶。在北者。恒東北風。在南者。恒東南風。驗之悉合。

或問曰。此二大帶之風。恒與地面逆行。則必磨地面。而令地轉漸遲。以至於停。今地轉不變。何也。曰。赤道上之氣。流向二極。其向東速於各緯度地面。故降至地面。在北爲西南風。在南爲西北風。則必磨

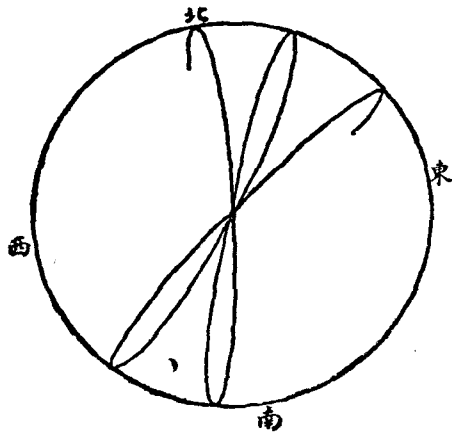
地面。令地轉漸速。與前恰相消。故地轉不變。溫帶中多西風西南風。大西洋之北。恒有西風。皆其證也。緯大緯度帶內。緯較不甚多之兩緯圈。已大不同。設有故而使北半球數方度內之空氣。自北極移向赤道而行。人在近赤道之帶內。必初覺有風正自北極來。繼必漸改至自東來。此因初來之風。自相近處所來。其轉速與人所在處相同。故略無向西行。後來之風。自漸北之緯度所來。其轉速小於人所在之處。故漸後於人所在處地面之東行。而人漸覺爲東風也。因此初有北風。不能久存。必漸改而東。其方向由子而丑而寅也。風若自赤道向極。則方向之漸變相反。初爲南風。漸變向西。其方向由午而未而申也。南半球之空氣。與此同理。而各相反。故在二至圈內之帶。其風之方向漸變。恒有一定。而同於太陽繞行之方向。以測候學之據推之。亦確合。故可無疑也。

最大之颶風。吹掃地面海面。有絕大之力。幾與地震相捋。亦爲此之大據。蓋颶風之發也。緣北半球之某處。或陸或海。受日熱獨多於周圍。故空氣甚熱。而成柱上升。風雨表卽降。周圍之空氣。速卽衝來。以補其虛。其自東自西所來者。同得地面自轉之動。各至中心。卽相遇而直上升。其自北來者。漸近力卽漸小。其自東北來者。向西之力必漸加。其自西北來者。向東之力必漸減。故其自北來者。略

總得自東向西之動。其自南來者。略總得自西向東之動。故南北兩風相遇。必成圈形。繞立軸旋轉而上升。其旋轉之方向。自北而西而南而東。此因地球自轉之故也。若地球靜而不自轉。則周圍之氣衝來之力相平。而同直至中心。相遇上升。必不能成圈形也。其圈形上升而旋轉之方向。在北半球者。與時辰表針之行相反。在南半球者。與時辰表針之行相同。其圈形所現之風力。與所有成其圈形之風力有比。遠赤道之處日熱小。而所成空氣柱上升之力不能大。近赤道之處日熱雖大。而地面轉動之較不多。所成空氣柱旋轉之力不能大。難成圈形。故圈形旋轉之力最大者。必在遠近之中處。考大西洋中。及米利堅國。西印度島之西邊。印度洋。中國南海。颶風羊角風之故。其廣大而暴猛。在兩半球恒相同。赤道無此風。與上理悉合。來特非。爾黎特。畢丁登三人。考得此理。爲地球自轉之大據也。

近時富告得亦考得與此相似者。非地球自轉。不能解釋也。法以長細鐵線掛重鉛球於屋梁之下。球下置平面鐵線。下端連棉線。合子午線橫引而繫定之。將火燒斷棉線。則鉛球合子午線移過。絕無東西之動。細察其動。在其下平面上作多點。記其相對之行跡。初時專向東西數分時後。則行

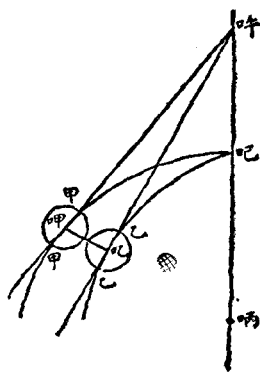
跡已變。若在北半球。行跡之北端漸向東。南端漸向西。在南半球則反是。其行跡之變數動之後已。然。惟微而難見耳。依動重學之理。平面若不動。則鉛球之行跡。在平面必成直線。今乃漸變而行曲線。如甲圖。其各次行跡之曲線。俱相交於中心。知平面必有動也。設鉛球初動時。微有東西動。必與此甲圖不合。而成諸長橢圓線或橢螺線。不交於中心。而環繞中心。如乙圖。其初動偶偏於何方向。則行跡之方向隨之。反之若球之行跡絕不變。而球下之平面自北而西逆行。則球之行跡在平面上。必與甲圖合。地球自轉。則平面實有如此之動。而目不見也。蓋地球向東自轉。故全平面隨之行過。南北兩邊不能平行。同在某時中。南邊向東之動。必多於北邊。其所旋轉之角度與南北二邊移動之較相配也。平面適在地球之極。則二邊之較最大。僅在本處旋轉而不移動。平面適在赤道。



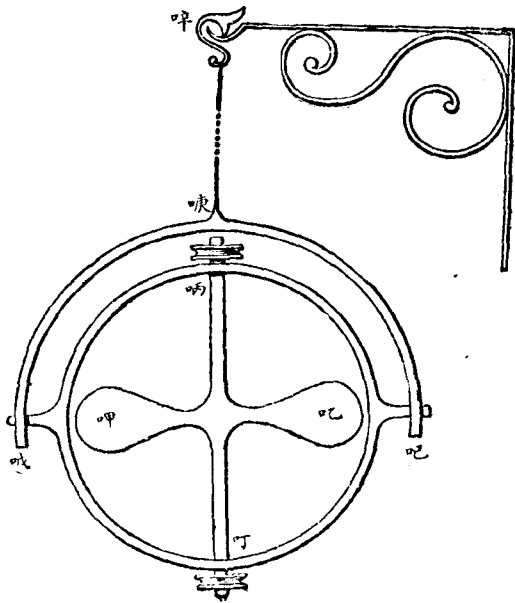
則二邊之較無而絕不旋轉。故甲圖之理。在緯度大之處。更易見也。以圖之吧爲北極。炳爲地心。炳吧哂爲引長之地軸。哂吧爲平面。在歷一分時所在之二處。此時中子午線哂吧。已繞吧點過十五分之角。而至吧吧。其哂吧與地面既爲切面。則或在哂點。或在吧點。引長其面。必遇軸線於哂。假設一圓錐形。以哂爲頂點。以哂吧爲底。則一分時

中所過之哂吧面。爲圓錐面之一分。而哂吧平面。又爲此面內之一分。其平面自哂以哂點爲樞環繞而至吧。則其經線甲甲必移至乙乙。成哂吧哂角也。故在地球之兩極。則其角最大。因原平面以中心旋轉也。在赤道則其角小至無。因圓錐形之頂點無窮遠也。

富告得剝造之環繞器。亦可徵地球之自轉。凡體環繞其軸而自轉。有不肯改其自轉面之性。如無外力強動之。則可久存其方位而不改。如圖。哂吧爲銅圓板之剖面。內心薄而外邊甚厚。炳叮爲軸。定於板之中心而正交。兩端在銅環之小孔內能旋轉。銅環外又有二樞。與軸孔之方向正交。此二



樞在半環戛啞吧兩端之二孔內。半環中點戛。繫以不能絞之絲線。上繫活鉤。鉤於鋼架端之碼礮小杯內。造此器之工宜極精。必面阻力極小。且能真相定。乃使其圓板速旋轉。而任其自轉。板重而旋轉極速。則可久轉不停。而方向久不改。故可徵地球之自轉也。蓋其樞與掛點。絕無面阻力。不能改其旋轉之平面。故轉軸啞啞之方向。可久不改。而久平行。假如在某時。啞啞軸指某恆星。若以地爲不自轉。而恆星繞地行動。則少頃之後。其星必已在軸所指之點之前。而軸與地之方向。則絕不改。若



以地爲自轉。而恆星不動。則星必久對軸所指之點。而軸與地面之方向。則少頃之後。而已覺其改。圓板之旋轉。若能一日夜不停。則軸能指定恆星。在地平之上下行成一週。以此徵地球之自轉。更無疑義矣。

若能使其圓板之軸。不離與地平有定度之平面。如正合地面。或合經線之面。則依動重學之理。得圓板旋轉與地球自轉之并力。此理詳於卜爲勒所撰咸豐五年四月英國天學公會之月冊。茲姑不論。惟此器速轉之時。其轉軸有不肯改方向之性甚大。可用簡法明之。將二尺徑之地球。自其架取出。雙手執其銅環。使銅環與地面平行。另使人速轉其球。若不改其軸之方向。則手中覺其重與不轉之時同。若改其軸之方向。無論依地平面。或立平面。或斜平面。皆覺其球現不肯動之大力。與球不轉時大異。似球爲活物。欲自手中躍出者。又似有小牲在球內現力者。又似球不以重心而掛者也。又將球速轉而用手扶其銅環。使直立而輓於地面。則覺其球不肯直行。必扶之始能循直線而行也。若將環直立而合地球之子午線。軸合地平。使球旋轉。合視天繞行之方向。以二指輕夾環之頂。使輓向北。則必覺球漸向東。而環在地面行之跡。與時辰表針之轉相合。使輓向南。則其跡與

時辰針之轉相反。在上向下視之。似球之軸上升之端。隨地球自轉而動者。

欲作地球或地圖。當詳考陸海之界限。大洲羣島之位置。山脈河流之方向。城郭部落之形勢。而尤當知各處之經緯度。知緯度。則知各處之距極與赤道。知經度。則知各處所居之午線。

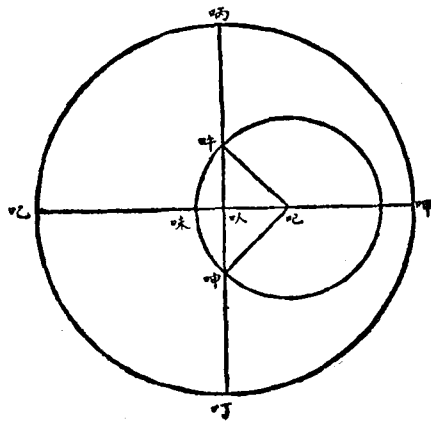
定球上每處之位置。其緯度乃本處午線上距赤道之度分。亦即極出地之度分。然地爲扁球。故緯度不過用以測量。與地之形像不合。作地圖。無論全體或一段。當知緯度之較同。里數未必同也。

用三角法測地面之形狀。先當細定各地之緯度。舊法用天頂尺。測過子午圈時近天頂之星。其星之赤緯。可檢表而知。故名測量之基星。近法用一器。略如子午儀。而鏡之轉面。不與子午圈合。而與卯酉圈合。如圖。呬呬叮爲地平。上天空半球。吧爲極。叭爲天頂。呬叮爲子午圈。呬叮爲卯酉圈。呬味呻爲星一日之道。過子午圈時。星在未。距極吧味。略大於天頂距極度吧叭。星過卯酉圈在呬呻二點。若器極準。則恰當遠鏡中間之界線上。詳前卷子
午儀條二次至界線中間之時分。即過呬味呻度之時分。故知時

分。即知極上呬吧呻角。即呬味呻弧度也。已知呬呬吧呻角。或呬吧未半角。及星距極吧呬。用呬叭吧正弧三角推之。可得天頂距極度吧叭。即本地餘緯也。此法之妙有三。緯度之弧不須測。可免察度細分

之差。一也。呒味呻弧較其呒味叭甚大。味叭卽本地天頂與星二緯度之較。是測大而知小。故呒味呻卽有大差。味叭之差必甚小。二也。此器測天。有器差可不論。反鏡測之卽相消。三也。

定各地之緯度易。定各地之經度難。假如二地同在一子午圈內。則所見各星道交地面之角。與地面割星道所分上下二分及高度。兩地俱不同。若二地同在一距等圈內。則所見各星道交地面之角。與地面割星道所分上下二分及高度。兩地俱同。故曰定緯度易。定經度難也。然二地緯度同。同時測天。所見半天球必不能相同。假如二地同在赤道上。相去一象限。同時中在東之地見一星在天頂。則在西之地必見此星初出地平。歷六小時方至天頂也。故若能知此地星過子午圈。與彼地星過子午圈。二時之較。卽知二地之經度較。假如星過甲地子午圈後。歷一小時過乙地子午圈。



一小時當弧線十五度。即知乙地在甲地西十五度也。

欲明測定經度法。當先知統地球之公時。及各地之星時。取黃道之一點。爲時之元點。推日平行距元點若干度分。得若干日時。名分點時。乃地球之公時也。春分在子午圈。爲○刻○分○秒。乃各地之星時也。西國有恆星鐘表。春分在子午圈爲針之始。各星距分點俱有一定度分。歷家時測大星以考恆星鐘表有微差。即改之。故各地之恆星時。無纖毫差也。設有二人於甲乙二地各測大星。以正恆星表。令二分至子午圈時。表針正指○刻○分○秒。乃取二表並置一處。視其二時之較。即星自甲子午圈至乙子午圈之時分。化爲度分。即兩地經度較也。

鐘表有擺。遷移震動。必生差。而海舶所用之度時表。獨不生差。故莫如以度時表與甲地恆星表較其時。攜至乙地。復與乙地恆星表較其時。即得二恆星表之時較。測經度之法。無妙於此者。

假如在甲地。分點至子午圈時。令度時表針指○刻○分○秒。西行歷二十四恆星小時。過十五度。至乙。則度時表之針。仍行至○時。而分點仍在甲地子午圈上。必再歷一小時。方至乙地子午圈。然表之針。已不指○時。而指一時矣。是度時表之時。必先天也。若東行。則必後天。

設人向西行。繞地一周。復至本處。則計月日必少一日。如至日實初二。必誤爲初一也。蓋所謂晝夜者。因日出入而生。實則因地球自轉而生也。地自轉。人隨之而轉。歷明暗二界。而成一晝夜。轉若干周。卽有若干晝夜。若人繞地一周。與地自轉方向同。則較地必多轉一周。與地自轉方向逆。則較地必少轉一周。多轉一周。必多一日。少轉一周。必少一日。又方向與地轉同。所得晝夜必短於真晝夜。與地轉逆。所得晝夜必長於真晝夜。所以二地同在一子午圈上。緯度遠者。其歷書或差一日。蓋其民古時一自東而來。一自西而來。二地之民偶相會見。始知也。若統地面用黃道時。卽無此差矣。

度時表雖極精。然遠行日久。或偶有差。不能知。則亦未足憑。或用數表比勘。可令差略小。然費太費。且亦不能消盡。故測定經度。用通標更妙於度時表。何謂通標。甲乙二地俱建星臺。可互相望見。各以法測定本處之時。正其鐘表。甲地驗鐘表至某時。卽發標以報乙地。乙地卽驗鐘表。察二地之時差。卽知二地之經度較。如甲地之針。指恆星時五小時。乙地之針指恆星時五小時四分。則兩地之時較爲四分。化爲度分。得一度。卽兩地之經度較。或累次測時。連發標。以相比勘。則鐘表之差可消盡。更妙也。標或用花爆。當憑地勢而異。令彼此可望見。海面距四百三四十里。放花爆能見。有山之地。以瓢貯火藥。

發於山頂。望見之地更遠。有時火光上照雲。則望見之地更遠。今用電氣通標無論遠近。俱能比勘鐘表之時。則更精矣。

一。
 續咸豐四年。用此法測固林爲志與巴黎斯經度之較二十九次。其最差之一次。所差者約四分秒之

無電氣通標之處。兩地中間。另取一地發標。令兩地皆見之。或兩地中間。取相連數地。相間發標。則兩地相去任何遠。任有何阻隔。俱能比勘鐘表時。亦妙法也。如圖。呷。呷爲最遠二地。中間取呷。呷。叮。呷。吧。五地。呷地於某時放花爆。呷。呷二地各驗度時表。叮地於某時又放花爆。呷。呷二地各驗度時表。吧地於某時又放花爆。呷。呷二地各驗度時表。望呷標而定。呷。呷二地之時差。望叮標而定。呷。呷二地之時差。望吧標而定。呷。呷二地之時差。望吧標而定。并三時差即得呷。呷二地之時差。呷。叮。吧三地以次發標。每次遲早相去不及一刻。表差不大。又累次連發則得數之差可消去。

用奔星代發標最妙。奔星自發至隱。歷時無幾。二地雖極遠。可同見。立秋後二三兩



夜。立冬後五六兩夜。奔星最多。二地可預期約同測之。

指南針有時忽自動。偏而復正。數萬里內皆同時而動。或統地球皆同亦未可知。今諸國常觀針候之。若果同。用以測經度差。法無妙於此者。

木星月蝕。半地球同見之。乃自然之標也。此事臺官已預推得一定之時。故不必多地多人。但一人於一地測之。卽能知本地之經度也。然此法非最密。又海舶搖盪。測亦不便。

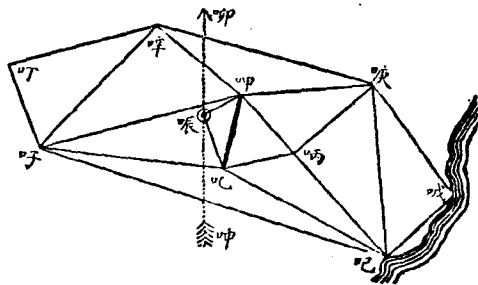
測月離亦可以定各地經度。月之動法甚繁。今不細論。略以其理淺言之。譬如有時表。其針恆指京師之時。則無論何處。已測知本地之時。與此表之時相較。卽可知本地經度。又設此表面。其周記分秒之刻識非勻分。且表針之軸。又不在中心。而針之轉。又非平速。則欲知表之時。當先知三事。一、表周時分。當先測定。造立成以記之。二、針軸距中心若干。三、表內之巧機。以定逐時速率。知何時何分。當轉若干度。知此三事。方能知此表所指之時。夫天空界。時表之面也。諸恆星。表面分秒之刻識也。月表之針也。月繞橢圓之一心。是針軸不在中心也。月行有遲速。是針不以平速轉也。月行之差甚繁。其根之理極深妙。卽表中之機巧也。月一月約行一周。行時或掩星。或出二星之間。不論何時可用紀限儀測之。如

用規尺量表面之針也。又月甚近地。星甚遠地。人在地面見月行於星中之道。各處不同。所謂里差。當以地心所見月道爲準。各地須推其差角而加減之。此譬針不貼表面。相離甚遠。人立於旁側視。則見針所指。必生大差。須知己目視線之方向而推正之。方得真時也。有表如此。用之甚難。然憑此表。能知至難知之事。則實爲至寶。當殫心竭力。以考察上所言諸事矣。猶之月離可憑之定經度。故不憚詳考其行法。列爲表。細載某月某日某時某分某秒。月離何處。經緯度各若干。又詳考各處月道之里差。以近月道諸星距月各地之角差列爲表。從此無論或居陸地。或在海中。但測月距表中諸星之度。又知本處之時。卽知各處星臺距本地之經度。

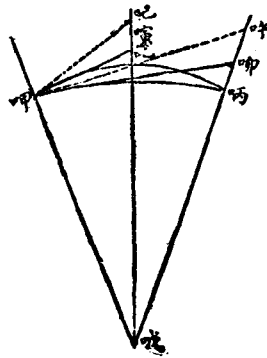
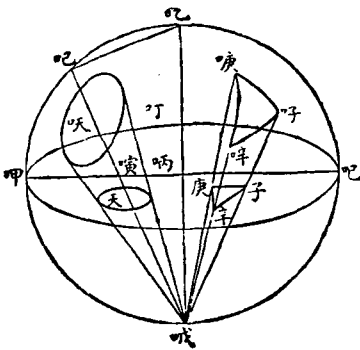
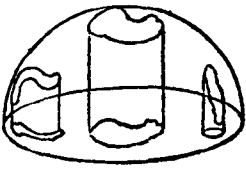
準上諸法。則一切要地之經緯度可定。中間之地。可細測量以作圖。今量地之法最便捷。法分大地面爲諸三角形。令諸角俱可彼此相望。用地平尺測其角。先用法測定一邊爲三角底。底約以六十里爲率。不可太長。底之二端。爲測量處。須擇極平之地。用金版鑲於太平石內。而精測其底長。既確準。乃各作點於金版上。次測其底交午線之角度。次測二端之經緯度。依此連作三角形。如圖。呬呬爲底。嘖嘖爲地面二點。呬呬俱能望見之。嘖點最近底。有星臺。便測也。叮噠吧噶呀呼爲地面附近各點。已測定

呷呷呷三角形之底呷呷。及其三角。則呷呷呷呷二邊亦可知。復以二邊爲呷呷呷呷呷呷呷二三角形之二底。各測定其角。則二形之餘邊呷呷呷呷呷呷呷呷呷皆可知。復以呷呷呷呷呷爲呷呷呷呷三角形之二邊測定呷呷呷呷角。則餘邊呷呷亦可知。餘倣此。可推無數三角形。以作一國或一洲全地圖。

右法有二要須知。一當擇地。令三角略相等。如呷呷呷呷形。從呷呷呷二點測定呷點。大不便。因呷角太銳。故測子角之度若小差。則呷呷呷呷上之呷點必大差。所以三角若大不等。不適於用也。能免此病。則測與量無大異。故愈遠第一三角形。可愈用大邊爲底。如呷呷呷呷呷呷呷三邊是也。後測所得地面。漸大於初測所得地面。則分一國之地爲諸三角形。亦不甚繁。大約其邊自三百里至九百里俱可。諸大邊已測定。可更分爲諸小形。而細測之。若欲作圖極細。可分至最小形。令一人可測。則作圖最密矣。二諸三角形非平面。皆弧三角也。小形之邊四十五

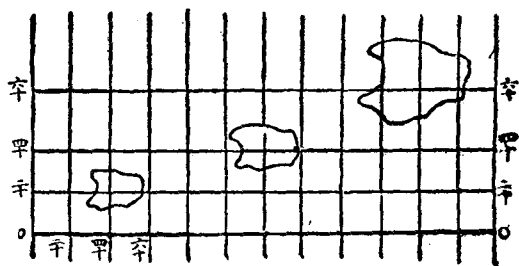


至六十里不甚覺。若大形不能作平算也。如圖。噠爲地心。呷呷
噠爲球面三點。呷吧呷爲噠呷噠呷吧噠噠呷呷引長三半徑之
三點。若於呷點置地平尺。極正無差。則地平環之軸。必指噠。而
其面與呷點之切線合。割噠呷吧噠噠呷呷二半徑引長線於噠
呷二點。轉遠鏡。先對吧。後對呷。視地平環上之度。不得吧呷呷
角。而得地平經噠呷呷角。卽弧三角形之呷呷呷角。故凡測地
面所得三角之和。必大於一百八十度。若
平三角。則止一百八十度。不當有餘度也。
此地形爲球之證。地面高卑不一。各處以
海面爲準。
作地圖。乃於平面畫球面。悉依視法。有處
當大。有處當小。與地面之真大小比例俱



不合。作圖有三法。一曰簡平儀法。如圖。以球腰之平面爲準。於半球面各點作線。正交此平面。憑之作圖。此如遠見球之半。近中心則與真形合。漸近地。則漸變狹。而不合。故此法可作地面小分圖。若作大分圖。不甚妙也。二曰渾蓋通憲法。如圖。亦以球腰之平面呬叮吧爲準。呬叮吧半球面之物。各點俱作線至對半球之中點。取過平面諸點。憑之作圖。如唵啐呀三角形。爲唵啐呀三角形。呬員面。爲天員面。而呬叮吧半圓線爲呬啞吧直線。此法如人目在呬點窺半球之凹面。球面之形在平面俱略相似。無大差。勝於簡平儀法。三曰墨加禱人名法。乃以意造之。以赤道爲直線。諸經線正交赤道。皆爲直線。經緯度大小俱同。此法亦可作地面小分圖。而大分不合。愈近極愈不合也。

續又法。其理甚簡。知某地面。或某星之經緯度。則易畫於圖內。或觀圖內之某地面。或某星。亦易知其經緯度。法以半徑平分九十分。每分各爲距極之度。作同心諸圈。過其各分爲緯度圈。作各半徑爲



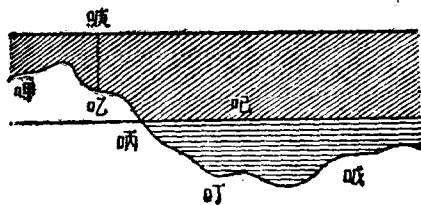
經度圈。此法作地圖。則不同處而等面積者。在圖內之比例略合。且較諸別法更近於真形。雖作多於半球之圖。其差亦不過大也。哲密司設新法。可作三分球之二之圖。亦能如此。又法。圖面各相等之面積。與球面各相等之面積相配。有時用此爲便。候失勒在好望角測天記內第十一圖用此法顯星圖之位置法依任何比例。取正弦之三十分。與一度。與一度三十分。至於四十五度。爲半徑。同以一點爲心。作圓線。可爲一度。與二度。與三度。至於九十度之各緯度圈也。

於球面畫大洲及海。可平分全地球爲二。諸大洲在半球。諸洋面在半球。英京倫敦約居諸大洲半球之中。如是分球。爲天學中之要事。蓋準此。知地兩半球之質輕重不等也。土本重於水。則大洲半球。當重於洋面半球。今仍相定。與常例若不合。然此必別有理。須深思之。後卷論地與橢圓球應得之輕重不合。可與此事互相證明。欲詳知地球土面。當細測陸地各處高於海面若干。海底各處低於海面若干。海底之深淺。於海船沉錘測之。陸地之高卑。用三角法測之。或用風雨針測之。視水銀升降。卽知氣厚薄。此與沉錘之理同。蓋一用實繩測海底距海面若干。一用虛繩測地面距氣面若干也。假使地球四周非氣包之。而有油包之。如呷呷呷叮叮爲積土。呷呷呷一段出水面成洲島。呷呷呷一段在水下

爲海底。吧啞爲水面。嘆爲油面。設欲測海底任一點叮之深淺。法於吧沉錘至叮。量其繩。卽知距海面若干也。設欲測陸地吃點之高卑。則用繩繫一物。上浮油面如嘆。復於啞點上浮一物。二繩之較。卽吃距海面也。今地外所包者爲氣。無從測其面。亦不能浮物。然凡兩地距海面等。則氣之輕重亦等。是無面而有面之理。設任取地面一點吃。欲知其高卑。視風雨針水銀高若干。則知吃之上面有若干氣壓之。依重學之理。卽知吃距海面若干高也。

上法二地相去不甚遠。則可用之。若太遠。則不合。蓋地面有常風。令氣層不平。與地之高卑相似。故有地水銀高於常度。而南北海水銀低於常度一寸。蓋各處氣俱輕。故此處獨重也。

續在急流小河之底。有凸出之石。水面必成常浪。故知流質之面。常有高低之狀。非奇事也。既測定各地高卑。分爲數層。各作虛線聯之。以海灘爲最下一層。最高山頂爲上一層。設海盡包陸地。極高山頂亦在水中。則於水面用垂線測之。最高山頂爲最短之線。最深壑底爲最長之線。是原陸山



嶺爲水淺諸層。而江湖川瀆爲水深諸層也。

近察地家言各大洲若平其山谷。改爲大平原。則亞西亞高於海面一千一百二十一尺。歐羅巴高於海面六百六十一尺。北亞墨利加七百三十七尺。南亞墨利加一千一百三十五尺。

談天

卷五 天圖

測定天空諸曜相距之方向并遠近。作圖或球顯其象。作表詳其度分。較作地球圖表尤易。

天空諸星俱可取爲本點。而用三角形求他星相距之度。與地面之理同。推蒙氣差求得真度。方可著於圖表。又與地面之山嶺城郭同。而安坐一處。可盡測半球。則較測地面更易也。又有簡法。因地球自轉。測各星過本地子午圈。而準赤道推其經緯度。即能一一定某星在天球某點。甚密也。蓋天球每一點之經緯度。與地球每一處之經緯度。理無異。知星之經緯度。能定其星於天球面。猶之知某城之經緯度。即能定其城於地球面也。而用子午圈測星。較弧三角法其便有四。各星至子午圈。高弧最大蒙氣最輕。一也。測器爲子午儀子午環器差最微。二也。無論角之銳鈍俱甚便。三也。用此法測得之數。即可著於表。不似三角法須推算。四也。故今天文家恆用此法。

欲知星之經度。但用子午儀測其過子午圈。驗恆星鐘表之時刻。即得。地面可任取一處。爲經度所起。則作天圖。亦可任取一星。爲原點。不必從春分起也。準原點以測時角。有時之較。即知他星之經度。測諸較有微差。當正之。方得真經度。法詳後。

欲知星之緯度。有二法。一用牆環或子午環。測星過子午圈時之高弧。準本地緯度。即知星之緯度。一用牆環測星之距極數。三見卷與九十度相減。即星之緯度。去其蒙氣差。方得真緯度。既得諸曜之經緯度。即可作圖與球。

天空諸曜。有時時變其處者。月之變最速。其次爲日。其次爲諸行星。而恆星則相與之方位恆不變。然詳考歷代測望簿。亦有數星小變其處。是謂恆星之自動。然其動甚遲。作不動論亦可。故諸曜分爲二類。恆星類不變。日月行星彗星皆歸行星類。時時變作天圖者。於圖或球識天空諸曜之處。又識天球之極。爲天之不動處。即地軸諸平行線之合點。又識二分點。及赤道之處。極點分點及赤道爲虛點。虛圈。非有星顯之也。地軸變。則亦隨之變。憑之測最便。故作球與圖恆識之。最妙者。造同心大小數天球。最外者識諸心於上。餘識便測望之諸點與圈。當知此諸球任相磨而轉。因地軸或他故緩緩變。則此

諸點及圈。與歷代所測之星簿皆合。而星之小變不足異。其故可考矣。

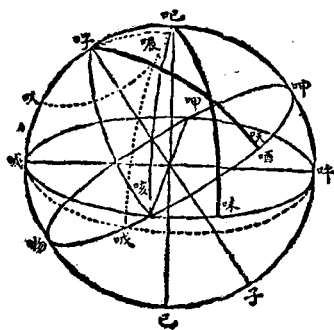
天空中人人能知者。爲天河。天河約略成天空大圈一帶。中分爲二道。後復合爲一。自古至今。其形狀不變。近代用遠鏡測之。見爲無數小星相聚而成。

黃道十二宮之星。爲日月諸行星之所經。故當論列之。設欲於諸星中測日月與諸行星之道。當屢測各曜與諸星相近之度。作線聯之。卽成本星道。一似航海者。日作海中所行之路圖也。日道爲球上大圈。卽黃道也。與赤道相交於二點。卽春秋分點。其交角爲二十三度二十八分。太陽自南向北之點。爲春分。自北向南之點。爲秋分也。諸行星之道。亦周於天球。但不若日道之爲大圈。而成螺線之一種。又易其處。卽易其速率。與日同者。惟皆自西而東也。諸行星道恆在黃道兩邊。最遠不過八九度。火木二道問有數小星不在此例。然其體甚微。故不論。又恆變。自古至今黃道相近一帶中。各點俱曾經過。故其道不能著於圖。行星之動法最繁。因我所居之地亦動故也。設居日面觀諸行星。則不若是之繁矣。蓋居日面觀諸行星動。與居地面觀日動無異也。是以測日躔爲最要。其益非一事而已也。考定其行法。準之卽可考諸星之行法。

黃道爲日之視道。見日行黃道一周爲一歲。歲實三百六十五日六小時九分九秒六。此太陽時之數。若恆星時。則爲三百六十六日六小時九分九秒六。二時之異。蓋由每日見太陽與星。皆向西行。而一年見太陽於黃道。則向東行。卽如太陽西行遲於諸星。每日約一度。歷一年。則見太陽繞地較諸星少一周。而太陽時較恆星時少一日也。故恆星時與太陽時之比。若一〇〇二七三七九一與一之比。以此二數測時。猶之以二國之尺度物。既有定率。則便於用也。

考古今測望簿。知黃道有小變。其故詳後卷。但其變甚緩。若數百年中。作不變論可也。

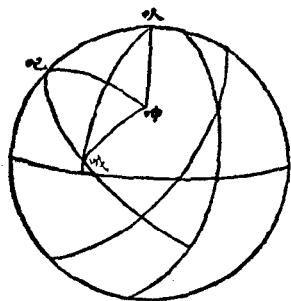
黃道之二極。爲球上相對二點。距黃道四面俱九十度。黃赤二極相距。如黃赤交角。亦二十三度二十八分。名曰黃斜度。如圖。吧已爲南北二極。凡單言極皆指赤極。後做此。咳呷呷咳爲赤道。呷子爲二黃極。咳呷呷爲黃道。呷咳呷角。與吧呷呷呷二弧度俱相等。爲黃斜度。咳爲春分點。呷爲秋分點。呷呷俱爲黃道距赤道最遠點。名二至



點。呻在黃道最北爲夏至。嘍在最南爲冬至也。過黃赤兩極之大圈。吡呼吧吡子已。名二至經圈。過二分之子午圈。吧咳己呷。名二分經圈。準從黃極過諸星之線。亦可推諸星之方位。理與赤道同。此諸線名曰黃經圈。黃經圈上星距黃道度分。名黃緯度。本經圈距春分度分。名黃經度。如前圖。呌爲星。吧呌味爲過星之赤經圈。呌呌呌爲過星之黃經圈。咳味爲星之赤經度。味呌爲赤緯度。咳呌爲星之黃經度。呌呌爲黃緯度。黃道在天球。如赤道在地球。黃道在諸星中間。方位永不變。如赤道在地面。方位永不變也。詳見後卷。

知星之赤道經緯度。即可推得黃道經緯度。反之亦然。如上圖。吡呼吧吡爲二至經圈。距春分咳俱九十度。咳點卽爲二至圈之極。故若知赤經度咳味。則亦知呌味。卽呌吧呌味角。亦卽呌呼吧呌角。今設有弧三角形呌呼吧呌。已知吧呌呌弧。卽黃斜度。亦知吧呌呌弧。卽星距極。亦卽赤緯味呌之餘度。又知呌呼吧呌角。依三角法可推得餘邊呌呌。及呌呌二角。夫呌呌呌弧卽黃緯呌呌之餘度。而吧呌呌呌角卽呻呌呌呌角。爲黃經呌呌之餘度。是知赤經緯。卽可推黃經緯也。若先知黃經緯。亦可反推之。此題在天文中。其用最廣。

設欲知某時黃道交地平之二點。及黃平象限。即高弧最大之點也。及此點距分點之度。當準天頂及黃赤二極所成之弧三角形推之。如圖。叭爲天頂。即地平之極。吧爲赤極。吡爲黃極。設有恆星時。又有黃極赤經度十八時。即亦知叭吧吡時角。推黃道所在。取叭吧吡三角形。有叭叭弧。即天頂赤緯餘度。有吧吡弧。即黃赤二極距度二十三度二十八分。有叭吧吡角。即黃極距午度也。依三角法推得叭吡弧。等於黃平象限之高弧。又得吧叭吡角。爲黃極地平經度。以加減九十度。即得黃道交地平二點之地平經度。又推得吧吡叭角。其餘度即黃平象限之黃經度。設欲知星之黃赤二經交角。以呻爲星。用吧呻吡三角形推之。已有吧呻吧吡二弧。亦有呻吧吡角。爲星之赤經與二至經線之交角。依法可推得吧呻吡角。即所求之角也。



既測得諸星中間之黃道。亦可知此時春分點見黃道之二極條之圖所在。此點爲赤道經度所起。爲最要點。考歷代測簿。知此點時時移動。以平速行於黃道。自東至西。以諸曜每日西行言之。則分點恆速於星。

以東行言之。則分點每歲退行五十秒。一名歲差。雖甚微。然積久則大。亦天學中一不便事。因星表恆須改造故也。最古之星表。與今星表相較。二分點退至三十度。今推得二萬五千八百六十八年。行於黃道一周。

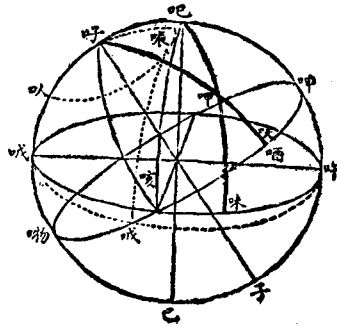
因有歲差。故恆星行星經度。俱以平速漸變。蓋春分點爲黃赤經度所起。此點退後。則無論恆星行星。經度必俱變也。一若天球自轉於黃道極。其一周與每日繞赤道極一周相似。諸星經度之變。非星自動。由原點即春分點退行而然也。若任取一恆星爲原點。則無此變矣。置分點不論。但觀赤極屢變其處。其故自明。無論何時。用子午環或牆環。任測三星。用三角形推之。能知赤極所在。黃道及他圈俱不論。細考之。雖二時甚相近。其變不能覺。然據理一定有變。赤極之變法有多端。其一略近平速。歲差所由生。又有諸不平速。章動詳後所由生。此二事本於一根。俱因地球自轉而生也。歲差之動。以平速繞行黃極。所行平員之半徑。爲二十三度二十八分。白東而西。一年行五十秒。一歷二萬五千八百六十八年而一周。觀極有如是行法。卽明歲差之故矣。如圖。赤極吧繞黃極呀。行於小圈吧。嗆人。赤極至嗆。則赤道咳嗽呀變成咳嗽呀。距新極嗆皆九十度。而黃赤交點卽春分。自咳西行至咳。是歲差之理。由於赤極

繞黃極。行於諸星間。成小圈。故天球之轉。日日生變。而古今所見天球之極。恆易其處。夫極爲地軸諸平行線之合點。極既見有如是之行。則地軸必有尖錐形動法。其端恆指極所行之小圈。地軸變。全地球與之同變。蓋地軸一如鐵條貫地球。其兩端在地面。永不變方位。故從太古至今。地面之緯度永不變。而海潮升降。亦略無少異。此軸與球同變之明證也。

準歲差理。諸恆星與極有漸近者。有漸遠者。今之極星。昔非恆近

於極。後亦非恆近於極。考最古之星表。此星距極十二度。今一度二十四分。後必近至半度。再後必復漸遠。而他星爲極星。後一萬二千年。織女大星必爲極星。最近時距極五度。

埃及峇塞之地。有石築四方大尖堆九。其築時迄今約四千年。爾時諸星之經度。較今少五十五度四十五分。推赤極當近右樞。相距三度四十四分二十五秒。爾時近極諸星中。此爲最明則必爲極星。考峇塞地北極出地三十度。故此星下過峇塞子午圈。其高度爲二十六度十五分三十五秒。近有西士



外仕者。開此諸尖堆驗之。其大者六。俱有隧道斜下。與地平交角略同。一爲二十六度四十一分。一爲二十五度五十五分。一爲二十六度二分。一爲二十七度。一爲二十七度十二分。一爲二十八度。約得中數爲二十六度四十七分。又阿婆媳地二尖堆。其隧道與地平交角。一爲二十七度五分。一爲二十六度。當時坐諸隧道底。能見極星下過子午圈。則此諸尖堆。蓋爲測極星而設。非漫然築之也。

地軸除歲差外。別有搖旋之動。十九年一周。名章動。若無歲差。則十九年中。赤極必行成一小橢圓。長徑十八秒五。短徑十三秒七。四。長徑恆向黃極。地軸有此動。故天空諸星。十九年中與赤極必乍近乍遠。而分點在黃道。必乍進乍退。諸星之黃赤二經度。必乍加乍減。

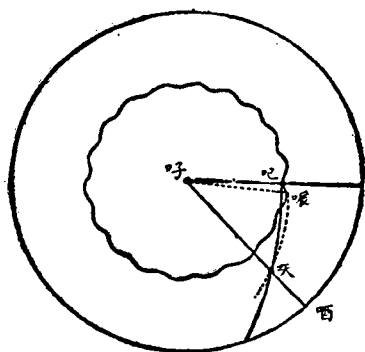
地軸兼有此二動。章動橢圓之長徑。一章中依歲差之動繞黃極行於小圈。過若干分。此若干分與圈之比。若一章與歲差周時之比。乃十九倍五十秒一。以真數計之。設小圈徑爲二十三度二十八分。則得六分二十秒。赤極依此二動而行。故其道非正圓。亦非橢圓。而成浪紋之圈。圖見天空諸曜。無論或動或定。皆有此二差。故不能不云地軸之動。蓋若恆星有此二差。則可云恆星天如硬殼以黃極爲心而轉。二萬五千八百六十八年而一周。又有小動。十九年而一終。今日月行星俱有此二差。則其故

含地軸之動。不能解之矣。

天空諸曜。因上二動。其方位時時生變。故凡言諸曜之經緯度。必當云在某年。又當分別平赤經度。真赤經度。真赤經度者。從春分實在之點起算也。凡推步皆用一定之元。或用正月初一日。或用每十年之第一年。或用每百年之第一年。皆推其時之歲差及章動而定其赤經緯度。其推法即前用黃經緯

求赤經緯也。試依簡平儀法作圖。吁為黃極。吧為赤極。吠為星。已有吁吧為黃赤大距。吁吠為星之黃緯餘度。吧吠角為星之黃經餘度。吁吠不變。餘二數俱因歲差章動而微變。用所變弧角。求吧吠邊及吁吧吠角。即可定赤經緯度。蓋吧吠即赤緯餘度。而吁吧吠角。乃赤經加象限也。

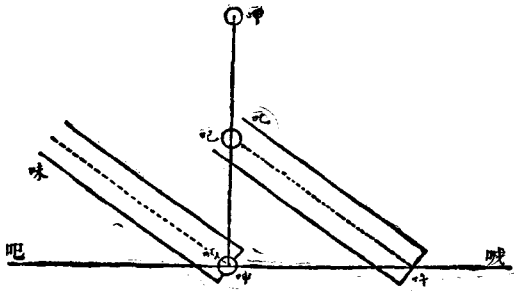
歲差之經度。與積時比。若五十秒一。與一年比。而無緯度差。故黃赤大距不變。章動則兼有經緯度差。其數即地軸所行小橢圓之諸縱橫線也。



天算家所用之恆星時。以春分點過子午圈爲時之始。而春分點因章動而變。則時有加減不平矣。章動之差。已推得除去之。而時仍不平。蓋太陽一年中向西之行。比恆星少一日。而分點因逆行。二萬五千八百六十八年中多一日。故有平恆星時。真恆星時。平太陽時。真太陽時。

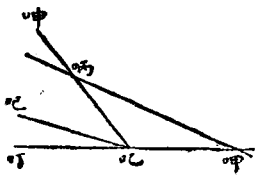
歲差章動。令諸曜同變。而相與之方位不變。譬若舟在中流搖動。視岸上物俱生變。而相與之方位如故也。

諸曜又有光行差。因地球繞日行甚速。而諸曜之光亦有行法。故人視之。俱生微差。譬如無風時人立雨中。兩俱直下。僅着笠而不溼身。若疾行向前。則必着面。一若兩斜入笠下也。又譬如有球從甲下墜。斜置吧咩筒。筒口在吧承之。若筒不動。則着吧邊。若球至吧時。筒向呻行。筒底自咩至呻。與球自吧至呻。其速率恰相合。則球雖直下。人視之一若斜行於筒之軸線也。遠鏡與人目亦然。無論光或如浪之來。或爲無數細點相聯直射。過物鏡未至聚光點時。若鏡中之交線橫移。而聚光點不變。則與交點不能合。又過目明角罩未至聚光點時。若目中之腦筋衣橫移。而聚光點不變。則與目底之中點不能合。故視物之處不真。卽光行差也。今地球繞日行於橢圓道。每秒約五十五里。其方向刻刻不同。而光行



每秒約五十五萬五千里。此二速率之比例雖甚大。然非無窮。乃若二十秒五之正切與半徑比也。如前圖。呬爲星。呬吧呻爲星之光線。呬呬爲遠鏡筒。斜置之。令物鏡之聚光點恰遇銅線交點。則呬呻與呬吧。必若光速率與地速率比。即若半徑與二十秒五正切之比也。故呻呬呬角。即呬呻味角爲遠鏡視軸方向與星真方向之交角。必爲二十秒五。若地行方向與星真方向非正交。理亦合。如圖。呻呬爲星之真方向。呬呬爲遠鏡斜置方向。則呬呬與呬吧比。若光速率與地速率比。亦若半徑與二十秒五正切比。準三角理。呬呬與呬吧比。若呬呬與呬吧之正切與呬吧比。即呬呬之正切比。夫呬呬呬即光行差角也。光行

差之正弦與地道及視線交角之正弦有比例。故視線與地道正交。則光行差最大。此事本當詳於後卷。因與天圖之理有關。故先論之。



光行差令諸曜之度俱微移。共向天空一點。卽本時地行方向諸平行線之合點也。地球行於黃道。則此點必居黃道面。在地球所在經度前九十度。卽太陽後九十度。故此點刻刻變。一年周於黃道。若每星論其差。則一年必成一小橢圓。設地不動。必見星在橢圓之中心。

諸星之視赤經緯。歲差章動外。又有此光行差。西士白西勒已造表。故求赤道之真經緯。甚便也。

凡物發光入我目。我方見物。然我所見之光。非我見時所發之光。乃未見前所發之光。其光自物至我目。中間所行之時。卽我見物距物發光之時。準地球速率。推得光行差而改正之。得恆星之真方向。然此方向。非發光時地球至星之一直線。乃光到時。地球至星之一直線也。故凡步行星。當以星地之距推光行若干時。始至地。此若干時中。地當行若干路。星當行若干路。乃能得星視行度之全差。此差令星行之方向與視行之方向不符。其故有二。一爲光行差。卽上條地行與光行相合而生。一爲光道差。乃因光行之時星亦行而生。光道差恆井入光行差而合推之。

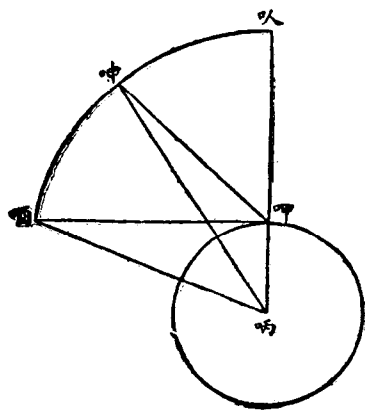
凡用器測天。所得之數有五差。須改正之。方可著於圖。或球。一蒙氣差。二視差。三光行差。四歲差。五章動差。以蒙氣差改之。則知無蒙氣時星當在何處。以視差改之。則知從地心視星當在何處。以光行差

改之。則知地不動。視星當在何處。以歲差章動差改之。令天空屢變之赤道。改爲一定之赤道。凡測天所得。無此五改。則不能作圖與球。故今一一論之。

蒙氣差已詳前。卷一今不論。

視差之理。如本當從地心視之。今乃從地面視之。則有地半徑差。又如本當從日心視之。今乃從地視之。則有黃道半徑差。用視差推之。即得從地心或日心所見諸曜之方位。

凡已知星地相距。即可知地半徑差。若已知地半徑差。亦可知星地相距。如呻爲星。唎爲地心。呬爲地面測星處。呶呶唎爲地面呶點之垂線。從呶視星之方向爲呶呻。距天頂爲呶呻角。從呶視星之方向爲呶呻。距天頂爲呶呻角。二角之較。爲呶呻呶。即地半徑差也。準三角法。呶呻與呶呻比。若呶呻呶正。弦即呶呻正。弦與呶呻正。弦比。故地半徑呶呻乘星距天頂度呶呻正。弦。以星地距呶呻約之。即得視



差角之正弦。是地半徑差與星距天頂度有正比例。故諸曜在地平時。視差最大。欲知諸曜在各高度時之視差。以其距天頂正弦乘地平視差。即得。呬呬呬恆小於呬呬呬。故以視差改正之。距天頂度恆變小。與蒙氣差之改相反。

地半徑差。起於天頂點。黃道半徑差。起於衝日點。其差角在過星日地三心之面內。改後星距此點之角恆變小。即距日之角變大。其推法。星日距與地日距比。若所見星日距度正弦與黃道半徑差正弦比。

諸改法分爲二類。其一。令諸曜相與之方位俱變爲實改。其一。相與之方位不變。爲法改。蒙氣差光行差視差之改。皆實改也。歲差章動差之改。皆法改也。

凡實改者。諸曜之差皆共向一點。如蒙氣差。令諸曜皆向天頂點。地半徑差。令皆向天底點。黃道半徑差。令皆向太陽心點。光行差。令皆向地行方向。諸平行線之合點。改之。皆令向對面一點。

地半徑差。黃道半徑差。光行差。大小之比。皆若距所向點度分正弦之比。蒙氣差之理較繁重。其比例略近於正切。而距所向點九十度。其差最大。則三者皆同。

其改依理之次序。一蒙氣差。二光行差。三地半徑差。四黃道半徑差。五章動差。六歲差。然光行差章動差俱甚小。并入歲差而最後改之爲便。

卷六 日躔

前論日之視道爲天球面一大圈。一歲日行一周。準此則地心至日心諸線。恆在一面內。此面卽名黃道面。視黃道日所在。爲日躔某宮某度。

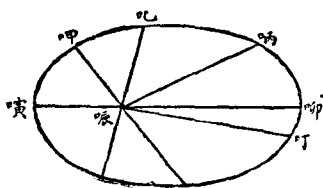
考日躔於赤經度。其行不平。厥故有二。一因黃赤斜交。故黃經度與赤經度不合。一太陽行黃道。亦非平速。蓋太陽平速。每日當行五十九分八秒三三。而逐日遲速不等。冬至後十日行一度一分九秒九。爲最速。夏至後十日行五十七分十一秒五。爲最遲。不獨遲速不等也。用量日鏡測太陽大小。亦逐日不等。冬至後十日。視徑最大。爲三十二分三十五秒六。夏至後十日。視徑最小。爲三十一分三十一秒。日體不能變大小。必因距地遠近不同而然。是太陽距地遠近。逐日不等也。凡視物大小與相距遠近。有反比例。故冬至後十日。日距地最近。夏至後十日。日距地最遠也。其比例最遠爲一·〇一六七九。

中距爲一·〇〇〇〇〇最近爲〇·九八三二一。凡距地變小。速變大。距地變大。速變小。

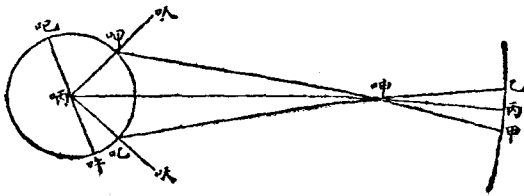
準上條之理。設地不動。則日道非平圓。地亦不在日道中心。地心距日道心數。名兩心差。兩心差與日地中距比。若〇·一六七九與一·〇〇〇〇比。今依此試作日道。卽顯爲橢圓。法取辰點爲地。任取一日地距。嗔呬爲本線。次取一年中日地諸距。依其方向作嗔呬嗔呬嗔呬。叮諸線。於線端呬呬叮諸點作線聯之。卽日繞地之道也。其道之面長大於廣。故不爲平圓。而爲橢圓。又嗔哪大於嗔噴。故地不居中點。而居橢圓之一心。定爲橢圓者。以法推嗔呬嗔呬諸距。皆與橢圓諸帶徑相合也。

日地距以一·〇〇〇〇〇爲中數。則最大爲一·〇一六七九。最小爲〇·九八三二一。日行遲速以一·〇〇〇〇〇爲中數。則最大爲一·〇三三八六。最

小爲〇·九六六七〇。故日行遲速最大最小之較。倍於距地最大最小之較。累測之。凡距數大於中數若干。則速數小於中數恆倍之。距數小於中數若干。則速數大於中數亦倍之。故知速數與距數之平方。有反比例。如太陽前日在呬點。次日在呬點。則嗔呬之平方與嗔呬之平方比。若呬點速率與呬



點速率比也。餘仿此。若太陽以平速行於橢圓。則視速率與距地數必有反比例。蓋所行之度分雖同。然遠則見小而覺遲。近則見大而覺速也。今太陽之遲速更大於此比例。則其故非獨由於遠近。而實另有遲速也。其遲速之理。刻白爾苦思積久始得之。謂日若依橢圓繞地球。則日地相連之帶徑。必盡經過橢圓之面。太陽之行法。歷時同。帶徑經過之面積亦同。時分與所過面積恆有比例。如前圖。太陽自呬至乙之時。與自呬至乙之時比。若呬啞乙面積。與叮啞呬面積之比也。約言之。自北極俯視太陽之繞行。自西而東。與時辰表之針相反。黃道非平圓而為橢圓。地不居中點而居橢圓之一心。若中距為一·〇〇〇〇則兩心差為〇·〇一六七九。中距即半長徑也。故兩心差約為六十分半長徑之一。太陽行法帶徑所過面積與時分比例恆同。欲知太陽距地之里數。體之大小。當用地半徑視差推之如圖。呬呬呬呬為地面。呬為地心。呬為日。呬呬為同時二測處。呬呬見日之方向為呬呬呬呬。如在天空甲點。呬處見日之方向為呬呬乙。如在天空乙點。此二方向之交



角爲天空甲乙弧度。卽呷呷呷角之度。呷呷呷爲呷點測日之視差。呷呷呷爲呷點測日之視差。故呷呷呷爲二視差之和。設二人測天。一在南半球。一在北半球。同一子午圈。於太陽過子午圈時。同測其距天頂度。去蒙氣差。若太陽之遠與恆星等。則二距天頂度之和。必等於二赤緯之和。如呷呷呷角。卽赤緯之和。其較卽二視差之和呷呷呷角也。旣得呷呷呷角。以二緯度正弦之和約之。得地平視差。若二測處子午圈不同亦可。但必以太陽至二子午圈中間若干時中距天頂之差改正之。求其差。或用日躔表。或前後數日連測太陽之高度。俱可推得之。然二處經線愈近。則歷時愈小。改亦愈小。較便也。如法測得地平視差八秒六。依其數推得日地中距爲二萬三千九百八十四個地半徑。約二億七千餘萬里。

已知太陽距地數。又測得視徑爲三十二分三秒。推其實徑。必爲二百五十五萬里。故太陽與地球二徑比。若一百十一半與一比。太陽與地球二體積比。若一百三十八萬四千四百七十二與一比。最近時火星衝日。近於地球。便定其視差。未尼格預議使數人。屆期測火星與相近諸恆星視赤緯之較。由所測求得火星之視差。大於舊所設諸行星道當得之視差二十七分之一。按此。則舊所設諸

行星與地道之數。俱過大也。日之地平視差。舊略謂八秒六。詳之爲八秒五七六六。今推之。當爲八秒九五三。日地中距。舊謂二億七千餘萬里。今推之。當爲二億六千餘萬里。近時富告測光行速率。所得之數。與此略合。故知格致各學。彼此相需而顯明也。此所謂之數。不特小於費臯所得之數。亦小於常用之數。卷十光行之理條五萬五千里。依光行地道全徑之路。歷時一刻一分二十六秒八。因歷時同而速率減小。則地道全徑。亦必減小。故用減小速率。與測得時差之歷時。求日距地之數。則所得之數。必以同比例減小。按此可知。舊定太陽行星之數。俱過大。當減小約二十八分之一也。

乾隆三十四年。曾測金星過日之諸事。近時英國斯多尼。將其所得重詳推之。天學公會贈以同治八年之金牌。斯氏云。舊時推算此事之誤。因測者之說內。金星體之內外切日。推算者未明故也。此事與光學之理相關。爲推算之最要。若測者之說。與光學之理已明。而實推之。必得日視差八秒九一。所差不過○秒○三而已。此與斯氏推算同治元年在固林爲志嵐朴敦及新南維里斯之維多里三地。所測火星衝日諸數密合。前言當減小二十八分之一。又可依此爲確據也。諸行星距數。依比例減小。則其體積必依距數立方之比例減小。因諸行星之距數。依新得之數。故諸行星之月道

全徑亦必重推。又因行一周諸歷時之平方。既與體積有正比例。亦與距數之立方有反比例。故若歷時不變。則體積必減小。與其立方有比例。諸行星元數減小之實倍數。今究不能詳定。必待同治十三年二十一年二次測金星過日。乃能詳定之。惟未定此之時。則按前數諸行星之相距。約當減二十八分之一。而體積減小。若二十七之立方。與二十八之立方比。即 0.89664 與一比。推算太陽之遠。差至一億餘里。常人有以此譏格致之學者。然而當知測太陽視差。所失之數僅○秒三二。此比諸一髮。在一百二十五尺之遠。或一銅錢在二十四里遠之角度也。其所失之微如此。且今格致之徒。已改正之。望說者毋以此爲譏焉。

以遠鏡窺太陽。知是實質。非虛體也。面有諸黑斑。其位置及形狀。時時變動。久測之。知太陽亦自轉。與地球同。其軸約略正交黃道面。其轉亦自西而東。約二十五日而一周。以體大。故轉遲也。以輕重之理論之。則太陽大體繞地球小體。恐無是理。譬如有二球。以鐵條相連。令旋於空中。則二球必俱繞重心。而重心不動。若二球輕重大小不等。則重心必近大球。或在大球體中。故小球必繞大球。而大球不甚易其處。準重學之理。凡二體在空中相環繞。雖無鐵條相連。亦必共繞公重心。公重心距二體心遠近

之比。若二體質輕重之比。準此推得太陽與地球二體質之比。若三十五萬四千九百三十六與一之比。則其公重心距太陽心。當得七百七十二里。爲三千三百分日徑之一。故太陽與地球俱繞重心。而太陰一若不動。地球一若繞太陽焉。然而一年中測恆星無視差。故知恆星距太陽俱極遠。最近之恆星。視地球繞太陽之道。若一點耳。

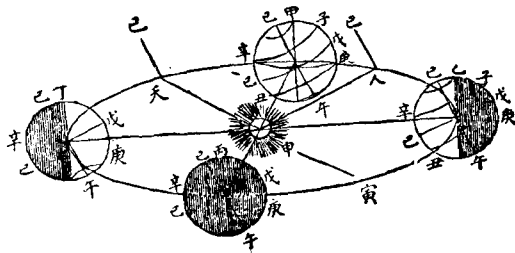
此後諸條。以太陽爲不動。居橢圓之一心。地球繞太陽行於橢圓道。每年一周。其道之大小。兩心差。速率。俱與前同。地球向太陽之半面。一年中日日不同。一日中刻刻不同。其行道自西而東。本卷日距地條故有寒暑晝夜。

地球繞太陽。一年一周。而地球自轉之軸。方向不變。恆指天空之一點。此四時所由生也。

續解四時之理。設以地道爲正圓。而不爲橢圓。太陽爲圓心。地球行過四象限之時各等。因行正圓。卽以平速故也。

如圖。申爲日。甲乙丙丁爲地球在軌道上之四處。相距各九十度。甲、爲春分點。乙、爲夏至點。丙、爲秋分點。丁、爲冬至點。其自轉皆以巳午方向爲軸。日照地球。不過半面。圖中白者乃受日光之半面。黑者乃

背日光之半面也。地球在甲點。日正照赤道。故巳午二極。恰在受光半面之界上。而統地面晝夜之時平分。故名春分。地球在丙點爲秋分。亦然。地球在乙點爲夏至。北寒帶已乙恆在日照半面內。爲恆晝。相對南寒帶。恆在背日半面內。爲恆夜。北寒帶中。愈近北極。恆晝愈久。南寒帶中。愈近南極。恆夜亦愈久。而赤道北至寒帶界。雖無恆晝。然俱晝長於夜赤道南至寒帶界。雖無恆夜。然俱夜長於晝。地球在丁點。爲冬至。與乙點一一相反。凡太陽在地平上。地面受熱氣。太陽在地平下。地面散熱氣。各處皆然。晝長夜短。則太陽地平上之時。多於在地平下。熱氣必大於平率。反之。則小於平率。地球自甲至乙。北半球之晝漸長。夜漸短。南半球之晝漸短。夜漸長。故自春分至夏至。北半球之熱氣日盈。南半球之熱氣日牘。地球自乙至丙。晝夜漸近相等。故自夏至後。北半球熱氣之盈率。南半球熱氣之牘率。俱漸小。至秋分而各得平率。地球自丙至丁復至甲。則與上一一相反。故各處一年所受之熱氣。恆與所散相等也。



地道上任取一點天。作地軸天已。又至日心作天申線。則已天申角爲日距北極之度。地球在丁點。此角最大。爲九十度加二十三度二十八分。即一百十三度二十八分。在乙點。此角最小。爲九十度減二十三度二十八分。即六十六度三十二分。至此二點。見太陽在最南最北。故謂之至。

續前以地道爲正圓。茲將地道之橢圓及長徑。與二至徑交角所有改變詳細考之。地道之橢圓率。本卷

日地距條略爲六十分。日地距中數之一。故日地距最大與最小之較略爲三十分中距之一。所以同若干時中。對日之半地球最近之時。所受光熱。必多於最遠之時十五分之一也。蓋熱氣如光。散於日之四周。愈遠日。則所散之面愈廣而熱力愈薄。力之厚薄。與面積有反比例。即與距日線之平方有

反比例。以算式明之。

$$\left(\frac{九五}{六一}\right) \approx \left(\frac{六〇}{六二}\right) =$$

$$\left(\frac{六〇}{六二}\right) = \left(\frac{三〇}{三一}\right) =$$

$$= \frac{〇〇〇}{九六一} \approx \frac{九〇}{九六}$$

$$\frac{九〇}{九六} = \frac{一五}{一六}$$

今時太陽最近地球之時。太陽在黃經

二百八十度二十八分。爲太陽之最卑點。亦即地球之最卑點。在北半球冬至後十一日。亦在南半

球夏至後十一日也。本卷地球繞太陽轉今時太陽最遠地球之時。太陽在黃經一百度二十八分。爲太陽之最高點。亦卽地球之最高點。在北半球夏至後十一日。亦在南半球冬至後十一日也。茲設爲最早。最高二點合於二至。以便易明。故當南半球夏至之時。地球近太陽。而全地球每日受熱氣最多。而南半球又受大半。此時南極與寒帶恆向日。而北極與寒帶恆背日故也。反之。當北半球夏至之時。地球遠日。而全地球每日受熱氣較少。而南半球仍受其大半。故地球若以平速行於其道。而四時皆相等。則南半球每年受熱。必較多於北半球。其天氣必更暖。

按前論。本卷日距地轉地球不以平速行於其道。而其速率之變比。若日距地之平方反比。卽受熱率之正比。因地球行道各點。在一刹那中所受熱氣之多少。正如一刹那中所行經度之多少。無論在行道之何點。所行之經度。與所受之熱氣有比。設任意過日作直線。分其道爲二分。則線二邊之角度。必合爲一百八十度而相等。其所受之熱氣亦必相等。所自一分點行至又一分點。全地球所受熱氣皆相等。因受太陽熱氣之力雖不等。而受熱氣之時亦不等。兩不等恰相消而成相等。以時長適補其力少也。北半球之春夏。多於南半球約七日半之比。如春秋二分徑分地道橢圓面積所得二分

相較之比。本卷日地距條

人與諸植物所覺天氣之適宜。常以夏令之最熱時。與冬令之最冷時而論。然冬夏所受熱氣之總數。則相等也。設地道橢率甚大於當今之數。而最卑點與當今之數等。則兩半球之四時。必大不同。北半球之秋冬必更短。而受一年總熱氣之半。故必溫。春夏時必更長。而亦受一年總熱氣之半。故必涼。而四時各恆如長春。南半球之春夏時必更短。而受一年總熱氣之半。則必酷暑。秋冬時必更長。而亦受一年熱氣之半。則必嚴寒。惟今時冬夏天氣寒暑之別。多因後條之故。而非前說之故也。凡太陽近天頂過。其光正射地面。同緯度之地。晴天正午時。必較熱。而南半球更熱於北半球。其熱率約加十五分之一。故曠野無水處。上無庇蔭。人必大苦。凡游行探地者。暑月在澳大利。較在阿非利加之北。煩渴尤甚。甚苦之。近時西士陀拂於各地各時。比驗寒暑針之度。言凡球面相對二地。測各時氣之平率。知統地面仲夏之平率。較仲冬之平率更大。此與仲冬日地距最近之理不合。陀氏云。其故由於北半球陸地多於南半球。仲夏太陽正照北半球故也。蓋太陽之熱氣。遇土則回入氣中。而散於普地面。遇水則深入。爲水所收。回入氣中者少。故仲冬太陽雖正照南半球。而赤道之南。海面無大熱也。

續推算地面受太陽熱氣所加若干分之一。如十五分之一。不可以寒暑表之任一元點起至夏令最熱時計之。必設爲無太陽時所當得之度起至夏令最熱時之度計之。無太陽時所當得之度。在法倫海得表元點之下二百三十九度。夏令太陽過天頂之最熱時。在陰處常有一百度。以此加二百三十九度。得三百三十九度。其十五分之一。卽二十三度。爲日地距之差。熱度最小之變數。

前以地道長徑與二至線相合。乃是略數。實則尙有十一日之差。然此數亦非恆如此。依歲差之理。卷五測得諸星條二分二至兩線。每年在黃道行過五十秒一。以地道長徑爲不動。則二分二至兩線。必二

萬五千八百六十八年行成一週。二分二至兩線必逐合最卑點。惟長徑亦動。每年十一秒八。較歲差動更慢。而與歲差動相逆。故若無歲差。則長徑亦必十萬九千八百三十年行成一週。今合二動之和。故每年爲六十一秒九。而五十八年一六。行過一度。所以最卑點與春分點。必在二萬九百八十四年相合一次。按此推之。約六千年之前。最卑點必合於春分點。殷祖甲時。最卑點在黃經九十九度。同治元年後約四千六百年。必至一百八十度。同治元年後約九千八百年。至二百七十度。至此時。前說諸事。本卷前以地道爲平圓等條悉相反。南半球之酷暑嚴寒。移至北半球矣。察地家考究地球荒古之

來歷。知南北兩半球天氣寒暑之相反。必已有數千次矣。但卽以地殼內所見諸事徵古今天氣之大異。則前言之故。恐稍有相因。而實不足全釋之也。

凡天文家於諸曜之動。必取一中點以爲測望推算之本。地球既繞太陽。而太陽不動則地心不可爲中點。而太陽心爲中點。夫地因自轉。地面測得之數不足用。故以地半徑視差。推得地心測得之數用之。則地行於本道。地上測得諸行星之行法亦不足用。故以黃道半徑視差推得日心測得之數。或推得諸行星之公重心測得之數用之。如此。則簡便而不繁亂。凡言日心球上諸曜之經緯度。一若人居日星測之也。人居日心測地心。其方向心在地心所見日心方向之對面。地心測日心無緯度。則日心視地心亦無緯度。其經度必爲地心所測日心經度加半周。故日心所見二至二分。與地心所見二至二分。相反而適合。欲明此理。心中當設一過日心而與地赤道平行之面。此面與黃道面交線爲二分線。距二至各九十度也。

設地道爲平圓。太陽居中心。地球以平速繞之。則從春分起。無論何時。欲推地球之方位或經度。俱甚易。但以歲實爲一率。已過之時分爲二率。三百六十度爲三率。求得四率。卽已過之經度也。是爲地球

之平經度。今地之道非平圓。其繞日亦非用平速。故必檢表。取本時均數。加減平經度。方得真經度。蓋表所列均數。卽逐時真經度與平經度之較也。如前圖。地球從最卑甲起。行於甲巳寅半周。真經度恆大於平經度。至最高寅而真度與平度合。行於寅午甲半周。真經度恆小於平經度。至甲點而真度與平度復合。故甲巳寅半周中。均數爲加。在甲點之均數爲○。後漸大。至甲寅中一點而最大。過此漸小。至寅點而復爲○。寅午甲半周中。均數爲減。初起亦甚小。後漸大。至寅甲中一點而最大。過此漸小。至甲點而復爲○。均數之最大。爲一度五十五分三十三秒三。或加或減皆同。

最大均數生於地道之兩心差。故有兩心差。可推均數。有均數。亦可推兩心差。蓋凡兩數。有相關之理。則知其一。餘一亦可推也。細測太陽過子午圈。得每日赤經真度。以推得每日黃經真度。與黃經平度相減。卽得每日之均數。亦得一年中之最大均數。準之推地道之兩心差。較以日之視徑推日地距。更易更密。設黃道與赤道合。而地行有均數加減。則每日測太陽過子午圈時。必不等。有均數故也。設地無均數。以平速行。而黃赤道斜交。則每日測太陽過子午圈時。亦不等。蓋黃赤二經度與赤緯度。成正弧三角形。黃經度爲對直角之一邊。此邊平變大。餘二邊隨之變大。而其率必不能平也。今地行既有

均數。而黃赤道又斜交。故每日太陽過子午圈時。兼有二差。最大至半小時強。其真午正或在平午正前十六分十五秒。或在平午正後十四分三十秒。歷家每日記午正平真二時之較。名時差率。或記太陽過子午圈之真時。

地球上每日見太陽西行之道。其赤緯日日不同。以二至圈爲南北二限。其緯度俱二十三度二十七分三十秒。地圖名此二圈爲晝長晝短圈。二圈之間。日地之距線恆正交地面。

右分黃道爲星紀元枵等十二次。西歷分爲白羊金牛等十二宮。本皆以星象命名。今因歲差。十二宮次所在。較當時俱約差三十度。而仍係以星紀白羊等名與天象不合矣。竊謂但以十二支名之。始通耳。蓋黃道十二宮爲推步所用。起於春分。春分退行。故此十二宮亦退行也。當漢孝武元朔元年。依巴谷測角宿第一星。在秋分西六度。順治七年。在秋分東二十度二十一分。是分點已退行二十六度二十一分也。因有此差。故近時但言度分。而宮不常用。

凡日在晝長晝短圈上。則其光過本半球之極二十三度二十七分三十秒。依此度分繞極作一小圈。名寒帶圈。南爲南寒帶圈。北爲北寒帶圈。寒帶圈之內。爲寒帶。晝長晝短圈之間爲熱帶。而寒帶圈與

晝長晝短圈之間。爲溫帶。然此不過記日及日光所至之界耳。其實地之寒暑。與緯度圈不相應。因二半球水陸之位置。參錯不齊故也。

凡地上見日在某宿幾度。東行一周。復至某宿幾度。名恆星年。見日在春分點。復至春分點。名太陽年。若春分點不動。則太陽年必與恆星年合。今因地軸有尖錐動。令春分點退行於黃道。故太陽未及恆星一周。已復至春分點。春分點每年退行五十秒一。太陽於黃道過五十秒一。歷時二十分十九秒九。即太陽年與恆星年之較。故太陽年爲三百六十五日五小時四十八分四十九秒七。而恆星年爲三百六十五日六小時九分九秒六也。又地道橢圓之長徑有微動。每年順行於黃道十一秒八。故地球從最卑點起。行恆星一周。必再過十一秒八。方復至最卑點。行十一秒八。必歷時四分三十九秒七。以加恆星年。得三百六十五日六小時十三分四十九秒三。名最卑年。此諸年天算家俱用之。而民間惟用太陽年。四時憑之定故也。太陽年合二故而成。一因地球繞日。一因地軸尖錐動。故生歲差也。

用最精遠鏡隔黑色玻璃窺太陽。見其面時見大黑斑。斑之中深黑。其邊略淡。如一版二圖。卽此斑也。此斑累日累時測之。則見或變大。或變小。或變形狀。久而舊斑消滅。他處復見新斑。其滅時。中之深黑

者先滅。四周之淡者遲滅。時或一斑分爲二三斑。卽此太陽面爲流質之證。又其變動甚速。此爲氣之證。所見最小之斑。其徑一秒。地球測日面一秒之角。爲一千三百三十三里。而大斑有徑十三萬餘里者。自初見至消滅。久者約一月有半。故斑之邊。每日約縮近三千里。又無斑之處。光非純一。其中有無數細點。若人身之毫孔。細測之。其點時時變動。極似水中沙泥。欲澄時向底之狀。因意日面必有發光之質。難於透光之質中而然也。而近大斑或諸斑羣聚之地。時見一線。或曲或歧。其光較日面之常光愈明。相近處時有斑發出。或意此線乃光氣浪之頂。相近處必大動盪。故發斑也。此事多在近日邊處。其狀如一版一圖。

續太陽面之無數小點。似毫孔者。近時奈斯密考察而釋之。同治元年。曼讖特格致會歲冊載。奈氏之說。謂自造大回光遠鏡。常時窺測太陽之面。知此諸毫孔。皆係同式光物相交。而毫孔乃其相交間所成之角形也。其光物之形。如楊柳之葉。在無黑斑之處。充滿太陽之面。位置無定。乙版卽奈氏說中之圖也。第一圖爲太陽無斑處之式。第二圖爲黑斑之中與邊及無斑處之式。英國之特拉路。不立揆。斯多尼。三人。羅馬之色幾。俱考此事。與奈氏所考。大同小異。斯多尼比此物如米粒之狀。或謂

如條草之狀。按此物大似諸定質浮於透光之氣中。而此氣最薄。因流質受大熱。與上面所壓之重。漸變而成也。此物有光。可爲定質之徵。蓋流質若透光而無色。則雖熱極大。皆不能發光也。

咸豐九年八月初四。賈令敦。好者孫二人。各在家中。忽見無法形大斑之相近處發二光雲。較諸無斑之處甚亮。約歷五分時而忽滅。見時行過大斑之面十萬餘里。並見指南針有大搖動。古今所記磁氣諸大搖動中。此爲最奇。

近時賈令敦著書。論詳測太陽黑斑最多最少之時。謂黑斑一周之時。依在太陽面之緯度。在近太陽之赤道。所行一周之時。必短於在遠赤道所行一周之時也。黑斑在丑太陽緯度一日所行度之

公式爲

$$\frac{175}{165} \left(\frac{165}{165} \right)^{\text{正} \frac{1}{5} \text{丑}} \frac{165}{165}$$

所以太陽赤道處之斑。在二十四日二〇二。南北十五緯度處之斑。在二十五日四

四。南北三十度處之斑。在二十六日二四。皆行全恆星周。

太陽赤道左右各二十五度之內。黑斑最多。三十度之外。黑斑甚少。常成行列。本卷太陽赤道左右條故可知

太陽面外常有氣質旋轉。與地球之貿易風相似。或云太陽面外之氣質。是扁球形。故赤道處厚於

兩極處。厚者多阻日體之發熱。而致赤道與兩極之熱不同。即使其氣質生動。與地球之貿易風同

理。果如此。則在赤道處亦當靜而不動。蓋地球外若包黑雲。而人在外觀之。則但見黑雲轉動。而不

見地球之體。亦可想見地球亦必旋轉。測黑雲外層。在赤道及近極旋轉之速。可求得地球自轉一

周之時。第見赤道與兩極間雲之動。而即以爲地球之動。則必差於太速。因其間雲之上層。常略向

西而動也。自兩極起向赤道。其轉漸速。至距赤道南北二帶而最速。過此再向赤道。轉又漸慢。與賈

令敦之例不合。必設別理解之。而可解者僅有一理。卽太陽外之力。加於雲上。使動之理也。外力者。

卽行星之未成者。繞太陽而轉。漸低而漸濃。其繞轉甚速於太陽之自轉。以星氣之理。卷十七星氣條論之。

中體皆爲四面之物相聚而成。各物之原轉力。彼此相消。而稍有餘轉力。故所餘之轉速。比原時甚

慢。依此又可明中體極熱之理。

問黑斑係何物。曰其說不一。或言是太陽實體。乃上面之光氣開裂而顯露者也。此說似可信。問開裂之故。曰其說亦不一。拉浪謂黑斑乃太陽中突起之地。如地面之山其頂高出光氣面。故見深黑。其下斜入光氣底。光氣不厚。故見淡黑。準此說。則四邊淡黑。自內至外。必由深漸淺。以至於無。今深淺不分。且外有定界。於理不合。侯失勒維廉謂太陽實體外。四周有氣包之。氣之外有光氣一層浮於上。距實體甚遠。光氣下有雲一層。受此光返照地球。二層俱裂開。則見黑斑中之深黑者。太陽實體也。四邊淡黑者。雲也。光氣之裂口。必大於雲之裂口者。因氣旋動成風。愈遠實體愈大。或別有他故。不得而知也。如圖甲爲實體。乙爲雲。丙爲光氣。續初著此書時。知黑斑之事如此。咸豐元年。導斯用前所論之器。卷三凡在黑夜中窺測條之末考察黑斑之異者。淡



色邊中之黑處。昔測之人。謂日體透過光氣而見者。導斯以此器之大力測之。知爲另一層小光之質。名之爲雲層。此雲層亦有時見有小圓孔更黑。想是太陽之體質。一板四五兩圖。爲咸豐元年十一月初四日。與二十九日。二次所見之黑斑也。導斯逐日測其斑之變而思之。謂皆自轉其心。惟二

十九日所見如此。自此日至十月初五日。已轉過九十餘度。其雲層之原形。如五圖甲。至初五日則如乙形。俱略同。

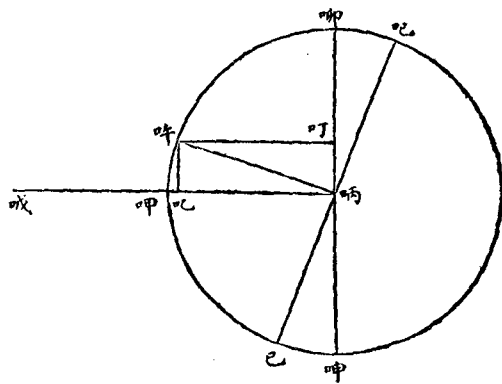
細測日面諸斑。其方位俱漸變。自東向西。至邊而不見。另有斑出於東邊。過日面復沒於西邊。凡他曜過日面。俱平速而斑之行。在中間則速。在兩邊則遲。又其過日面之道。皆如橢圓。此必附於日面。與日同轉。其道與日之赤道平行而然也。其最大之橢圓。以日徑爲長徑。餘各以日面諸通弦爲長徑。諸長徑俱平行。夏至前約十七日。冬至前約十六日。見諸斑之道。皆如直線。則此二日地球所居之處。卽日之赤道斜交黃道之二點。而黃赤二面之交線。必經過地球。此二日從太陽視地之經度。依賈林登於道光元年測得。一爲七十三度四十分。一爲二百五十三度四十分。卽相對之兩點也。

欲知日軸斜交黃道面之角度。取一最明晰之斑。測其過日面橢圓之長短二徑。卽可推得之。此事當用分微尺。自初出至沒。刻刻細測之。又測時地在黃道距太陽赤道交黃道點之度。亦當推之。假如驚蟄後四日。地球在太陽黃赤交線之垂線上。其日心經度一百七十度二十一分。太陽之軸在過地球正交黃道之面內。設地球定於此。則最易測。如圖。啞爲日心。吧啞已爲日軸。吶啞爲地球之視線。唧唧

呻面。引廣之必過地球。𠵿爲太陽赤道上之一斑。地球望之如在叮點。在日心北。其距爲𠵿叮。卽視橢圓之小半徑也。旣測得𠵿叮。則以日之視半徑與𠵿叮比。若一與𠵿𠵿哪角之餘弦比。𠵿𠵿哪角。卽日軸與黃道面之交角也。

續此時見黑斑在北半行成圈。其在南半者爲太陽體所隔。而太陽之南極。已在所見之面內。此乃自冬至前約十六日至夏至前十七日之間。所正見太陽赤道之南邊也。自夏至前十七日至冬至前十六日。則所見相反。太陽赤道之正交點。在太陽在黃經七十三度四十分。卽此時太陽赤道上之一點。自黃道之南半至北半也。

若餘時則推算甚繁。今不載。案太陽赤道與黃道交角。依賈令敦爲七度十五分。太陽自轉一周。爲二十七日六小時二刻六分。



太陽赤道左右各二十五度之內。斑最多。三十度之外甚少。近二極則無。近赤道一帶。少於南北二帶。又北半球大而多。南半球小而少。赤道北自十一度至十五度最大最多。亦最久。又斑多時。恆列爲一帶。與赤道平行。故知日體上必有一故。最易生此斑。其故今尙未知。又因日自轉。令斑成列。可見光氣爲流質。其動有若地面之貿易風也。卷四地面有恆風等條斑自生至滅。歷時不久最小者。僅見一次過日面。其次或一二周有歷數周者。則甚少。乾隆四十四年。有一大班閱六月而滅。道光二十年。有衆斑羣聚。歷八周而滅。凡測斑必記其距赤道方位。及其形狀。又有出沒之時可推。故沒而復出。誠能識之也。或言有數次所見斑。在日面之處略同。或本卽一斑。滅而復發也。然未有證。未敢定其是否。

續日耳曼德騷人失瓦白。自道光六年至三十年記太陽面上斑之多少而比較之。得知斑之多少及其時之變。均有定例。其最少至最少。周時恆略同。而最多至最多。周時亦同。按所記之事推之。知自第一次最少至第二次最少。約歷十年。嗣有瑞士國伯爾尼人胡而弗。以自萬歷三十八年初用遠鏡窺測之時以來。所記一切窺測太陽之事。會集商議。知最多至最多之周時。十一年一一。而一百

年之中有最多之時九次。與失氏之說合。如康熙三十九年。嘉慶五年。皆最少之時也。此時黑斑或甚少。或無。最多之時。或見五十斑。或見一百斑。此時不在二最少時間之正中而約在一最少時後之第五年也。又未造遠鏡之前。史中屢記日面有黑斑。如唐憲宗元和二年。文宗開成五年。宋哲宗紹聖三年。明萬曆三十五年是也。又梁武帝大同二年。日光大減。至十四日而復明。梁書數次曰。唐高祖武德九年七月至貞觀元年五月。日光減至半。唐書數次曰。太白晝見。明嘉靖二十六年。日光甚小。書見恆星。約皆因黑斑之多或大也。此可爲胡而弗所定周時之徵。惟元和二年。萬曆三十五年二次。與定時所差者多。其餘與定時所差不及二年也。

侯失勒維廉謂日面之多斑。因日體之氣包亂動而成。又發光與熱。因各雜料彼此有愛力。化合極緊而成。故據此諸說而謂當日面之斑甚多之年。地球之熱度大。而五穀豐。日面之斑甚少之年。地球之熱度小。而五穀歉。但稽之史中。不足爲全據。嗣有告爺以歐羅巴三十三處。米利堅二十九處。十一年內所測之天氣。會集而取其中數。與侯失勒之說相反。而謂斑多之年。地球之熱度小。斑少之年。地球之熱度大。其差約〇度一一。胡而弗又考蘇黎之史。自宋真宗咸平三年。至嘉慶五年間。

確知多斑之年略旱而多穀。少斑之年陰溼而有暴風。與侯氏說合。又日面多斑之年。指南針必搖。且斑之多少。與搖之多少亦相合。其針之搖。遍地球同時。故知此二者。必有相因。格致中之要事也。現在天學與吸鐵學。皆未能解其理焉。

用遠鏡隔黑玻璃望太陽面。見其中間之光最盛。四邊之光略微。或用映日鏡照於白紙上驗之。亦然。此必太陽光體之外。另有最清之氣包之。四邊之光。所過氣厚。故然也。嘗以日食證之。月掩日。則見食月之視體。大於日之視體。則見食既。若日外無氣受日之本光。則食既時。天空必黑。乃當食既時。恆有光帶溢出月外。漸遠漸暗。其光帶與日同心。非與月同心。則知非出於月。此日外有氣之證也。道光二十二年六月朔日食。見食既之地。測其光最詳而巴未。亞米蘭。維也納。諸地。俱見月體外發出三峯。其色若玫瑰。如一板三圖。或云如火燄。或云如山。其形甚大而甚小。此必日之光體外。有雲浮於所包之氣中也。

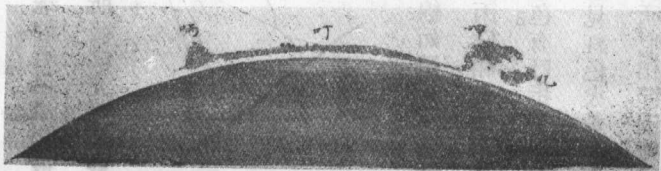
續咸豐元年七月朔日。蝕既見玫瑰色峯。自日面直發出。如圖。是賜密特。在日耳曼國之拉丁堡所見之狀。甲峯忽曲略成直角。如煙支在無風時。上升至高處而被風所吹過者。另屹塊亦是玫瑰色。稍

距呷峯而不相連。又有兩峯以紅色帶連於呷峯。此皆是有雲狀之據也。

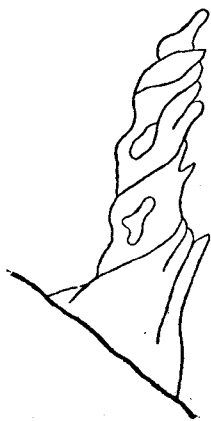
太陽光包之外。設有空氣則可明光條爲光球之內大浪也。本卷最精遠鏡條凡空氣

漸高漸輕。下層若成浪。則上層必舉起更高。故比諸流質所生之浪甚大。此因空氣不全受向心力。而永動性能使之更高也。試將水一盆。上面浮油易知其徵。

同治七年七月朔日。蝕既自紅海邊之亞丁起。印度全地。又自馬瓦過摩魯隅與大利亞之境皆見之。皆最便測望。其邊所發出之峯。及四周之光帶。此光帶在日蝕影之中線能見。故不可謂是地球之空氣所成。因地面上之影。闊約三百四十里故也。有測望之數。人預知其蝕既甚久。儘可詳測。並照相。故先以最精之器。擇影中線之數處。待日蝕時測之。在印度之根都。與亞喇伯之亞丁。皆有照得之相甚佳。其所測得者。有四要。其一在影內之暗不及人意所料者。略因光帶。與高出之峯。所發之光也。又知光帶所發之光。能成光圖。有全色而甚



有歧光之性。光帶之各處。見於所測之點。及太陽中心之平面內。由此知必因光球外。所包最闊最輕之氣。所發之光也。若是在地球所發之光。則大不合理。蓋地球近太陽之空氣。所發之光絕無歧光之性也。其二高出之峯甚多。皆絕無歧光之性。必其自能發光也。其最顯之一峯。似牛角。自光球之邊高出三分十秒。約高出光球之面。二十六萬零八百里。根都而照相所得者。如圖。有螺絲之形。似上升時旋轉之狀。意自光球內發燃燒之大氣。支至不發光之氣內而旋轉也。其三用光圖鏡。考諸峯之光。與此意合其光圖之色不全。而俱爲單色之光線。如燒氣質者然。



根都而之然孫。在光圖之紅黃綠青淡青諸分見六條。與弗路好拂光圖之二線丙已相合。而指峯體有輕氣相合。同地有南德僅見四條。弗氏之圖。在紅色之柄。指有輕氣在火黃色。有叮指有鈉在綠色。有吧指有輕氣在青色。難見而近於啞在饒干氏有多雲之處。武官侯失勒見紅色火黃色青色三條甚明。其餘不見光圖無全色。量之知火黃線與弗氏之叮密合。餘二條與吧相近。因難於

窺測。未定其確不相合也。於摩魯隅之瓦屯有來。亦測得光亮之線九條。與黑線叮叮噠乙吧合。兩條近噴。一條在乙與叮之間。恐是銀。以此知其峯必是氣質。焚燒甚猛。而在光球外之氣內上升有大力。其四此明形物之外。又有如連山。而無定形。想是雲或氣質。因其熱稍小。而形不清也。黑京陸甲二人。謂氣燒而發光。是單色。又謂其峯是亂發之燒氣。故意爲峯連於太陽之外。或在光球所不照之黑斑中。果如此。則不在日既蝕之時。亦可用光圖鏡測之也。同治七年七月之前。黑京用光圖鏡。及他器精心窺測。二年不能見。陸甲請英國大公會。造精器測之。至日蝕之時。器尙未成。當時然因孫其光爲單色。而其諸線。與光球之光圖內。光少之處正合。思用光圖鏡。可以測此數光線。武官侯失勒。亦思用數層有色之玻璃。相疊而測之。至日食之明日。然孫用其法所得不差。以光圖鏡之槽。使鏡之半爲光球之邊所照。而又半爲光球外之光所照。見光球之光圖。在近晒光線之處。爲此黑線所交過。初見太陽光球邊之處。其外不見他物。惟漸循光球之邊。忽見紅光一點。直連於黑線之外。漸移鏡循其邊。則紅光漸變長。後又變短。如此顯峯發紅色之光。所以能測其外形。又考黑線吧所見相同光色與彼處相合。其中有處見峯之光線。進光球所合之黑線。九月初五日。陸甲之器

成。測之始見峯之光圖。其一段有三光線。一與啊正合。一近可一與吧略合。八年正月初六日。黑京用妙法。使進光圖鏡之諸光線。略獨有啊之折光。又開闔其槽。使峯能全見。其餘有他折光諸線。皆以紅玻璃消盡之。故能一見峯之形。稍後陸甲但開其槽。不消其光。而使光球及空氣皆遮蔽。在槽內能見峯之全形。漸移其槽。在影內見有奇形飛過。或似細雲形。又似花園外之籬笆。及高挺之榆樹。或似茂林。其枝相交如網。發出之處。向外漸闊。其形漸變。而不覺三月二十三。二十四。二十五。三日之間。武官侯失勒得太陽外包之光圖。獨用光圖鏡連遠鏡易見之。略能畫太陽四面光帶之形。特考二峯成景雲之狀。浮於面上高一二分之處。此時初見第四光線近曠。又有一光線在吧與曠之間。末一次循太陽之全周觀之。不見有異。至原處見其線甚明於常。細察之知所見者。乃發氣甚猛也。其歷時僅數分。因屢次移動遠鏡。而能見日面之雲形。且人目內腦筋衣。能存所受之形。少頃故前見者。與後見者。能相連而成全形。侯氏云太陽之雲。與地球之雲相似。光亮而成無法之形。似棉花與羊毛之狀。日食時能見之。此載於太陽之格致新聞。後能深太陽之體質。或以此爲始基也。黑京亦用光圖之法。考測彗星之鬚與尾。謂是炭質。

太陽面熱最大。何以知之。凡熱與光離所發處。漸遠則其力漸小。其力漸小之比例。若距線平方之反比例。假如有大小相等二面。一在地面。一在日面。其受熱大小之比。若太陽視面與半天球面之比。卽一與三十萬之比。今地面些子熱。以陽燧聚之。尙能銷諸金。令化爲氣。則日面之熱當如何耶。凡化學中之熱愈猛。則愈易透玻璃。而太陽之熱。已遠行至地球。透玻璃尙甚易。則日面之熱當如何耶。最大火燄。在日光中卽不見。燒物至通赤。移置日光中但見黑色。則日面之熱當如何耶。觀通赤燒物變黑色。則黑斑爲日之體。可信日體必最熱。恐亦猛火也。然此不敢遽定。日體或冷。亦未可知。蓋光熱在外。日體在內。中間有雲隔之。令光照日體不太猛。而元氣漸近。日體漸緊。令外之熱氣不得入。則云日非熱體。亦未始不可也。

曾有人地上。測若干面積若干熱。以測得太陽全體。若干時中當發若干熱。謂設有大圓冰柱。其徑一百三十里。其長無窮。插入日中。與光行同速。隨入隨消化。水氣四散。則日所發之熱。盡用以消冰。而面上之熱如故。

續唐孫云。太陽發熱之數。可以一言喻之。用太陽面三尺方之熱。加於汽機。能得六萬三千馬力。卽等

於每小時。燒煤九千觔。於此可見天地功力之大也。太陽常發之熱如是之多。則其面上流質變動之故。不待解自明矣。

地面諸物無日之光與熱。則不能生動。氣非熱則永靜而不成。風雷電亦由熱氣所感動。噲鐵力北曉皆由日氣所發也。植物資水土。動物食植物亦互相食。然無太陽之熱則俱不生。草木成煤以資火化。海水化爲氣散入空際。凝爲雨露以潤地脉。湧而爲泉。匯而爲澤。流而爲江河。皆熱之力也。因熱之力化學中諸元質之變化生焉。或合而分。或分而合。以成諸新物。而地質或爲風雨所消耗。或因寒暑而變化。瀕海濱河之地。浪激波衝。日受侵削。沙泥石屑隨流遷移。連入大海。日積月累。海底壓力增大。相對之地壓力減小。地中之火受壓不均。則從力小處湧出。而爲火山。推其源皆日氣所爲也。日之功用大矣哉。

日果爲火耶。其火何以能久存不滅。化學中諸理皆不能推其故。可見天下習見者。其理最深難明也。或言其熱因磨而生。或電氣永永常發。而非氣與實質所能生也。

續近倫敦之地。有特拉以照日鏡。照得日之黑斑甚佳。衣來地。有教師色而混。亦能照得日斑之形。

卷七 月離

月行於諸恆星之間與天球每日向西之行相反。亦如日。而甚速於日。故一夜中歷視數時。卽能覺之。其行有遲有速。而不留不逆約二十七日七小時四十三分十一秒五。而繞地一周。然所離之宿度。與前微不同。其故卷中詳論之。

月繞地之道略近平圓。故月之視徑。大小略同。如前卷

見三百五十五條

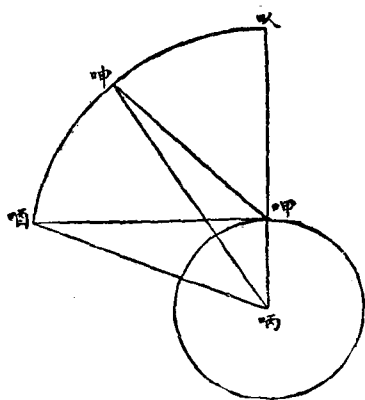
測太陽地半徑差法。於地面二處測

得月之地半徑差。卽可推月地二心距。此事於月掩星之時測之更便。如法推得月之地半徑差中率爲五十七分二秒三二五。其月地二心距與地赤道半徑比。若六十二·五五與一比。約爲六十九萬四千五百六十里。當太陽徑四分之一強。故太陽之體。幾能容並列二月道。於此可見太陽體之大。知地面測處與月心之距。卽可推月之實徑。而月地二心距已知。則但知測處月距天頂度。卽知測處與月心之距。如圖。呷呷呷三角形。呷爲月。呷爲測處。呷爲地心。已知呷呷邊。爲月地二心距。又知呷呷邊。爲地半徑。又知呷呷呷角。爲距天頂角。呷呷呷之外角。故測處與月心之距呷呷呷亦可知。而月之實徑。

不難推矣。如法推得月之實徑爲六千二百五十里。設地徑爲一·〇〇〇〇。則月徑約爲〇·二七二九。又地體積爲一·〇〇〇〇。則月體積爲〇〇·二〇四。約爲四十九分之一。凡地面月之視徑。必大於地心月之視徑。月在天頂時。二視徑之較最大。地心月之視徑亦時大時小。中數爲三十一分七秒。其大小恆爲〇·五四五乘地平

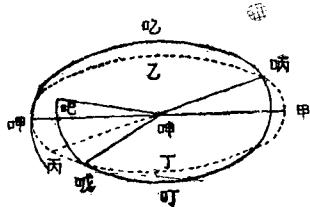
視差之數。地平視差亦時大時小。

頻測月地二心距。至月繞地數周。則知月道之各點距地心數。亦知所過諸角度。即可依前卷作日道圖法作月道圖。蓋月道亦爲橢圓。與日道同而兩心差更大。且時時不同。其中數與半長徑比。若〇·五四八四與一比。地居橢圓之一心。此外尙有諸小差。今不論。月道與黃道不同面。二道之交角五度八分四十八秒。爲月道之斜度。二交點相距一百八十度。月自南至北爲正交。自北至南爲中交。按月道名曰白道。



地繞日之橢圓道。方位及大小。其變甚微。必細測乃知之。月繞地之橢圓道。月行一周中。其變略測即覺。一周終不至原處。蓋其道之面刻刻變方位。連月測之。知其交點刻刻退行於黃道。如圖。呬爲地。呬乙甲丁爲月道面。呬叮呬呬爲月行一恆星周所過之軌跡。設月道不變。則月從正交呬點起行。過中交必在相對之點甲。而一周終復至呬點。今其行不過甲點。乃成呬叮呬曲線。而交黃道於呬點。距呬點不滿一百八十度。其行黃道南成呬叮呬曲線。亦不過呬所對之丙點。而交黃道於呬點。距呬點亦不滿一百八十度。故二次過正交中間所行。不滿三百六十度。其較爲呬呬呬角度。即正交退行於黃道之數。必再行曲線之呬呬一段。而成一恆星周。然月不復至呬點。而在呬點之北呬點也。

黃白交點退行於黃道。每日約三分十秒六四。積六千七百九十三日三九。約十八年六而一周。是謂正交行。當半周時。月道之方向。必與初相反。故月行每周必變其道。而成螺線行。而黃道左右各五度九分。二緯圈內之一帶天空。於交點一周之中。月必盡經過。星過之被掩。



月道橢圓之長徑。亦刻刻變方向。與地道同而更速。順行。凡三千二百三十二日五七五三。約九年而一周。每月行一周。差約三度。約歷四年半。其長徑高卑二點之方向正相反。因此事月地二心距在橢圓法之外又別生差。

上諸條約言之。月繞地之道爲橢圓。地居其一心。而此橢圓有二動法。一其長徑順行於本面。二其面之方位恒變。如地之赤道因軸之尖堆動而漸移。但更速耳。

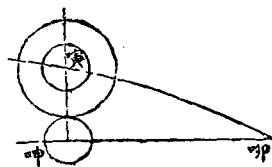
諸曜中月甚近地。太陽及諸星。較之俱甚遠。故前所云黃道左右各五度九分內一帶之星時被掩者。以地心言之耳。若地面望之。則必過此界左右各一度。設遇日。卽掩日而爲日食。食分深淺不一。或食既。則昏黑如夜。星俱見。有時月視徑小於日。則全食時月在日中。四邊日光溢出如環。名金錢食。

凡日食必在朔。因日月同經度也。然非每朔有食。蓋黃白二道斜交。其大緯五度八分四十八秒。故合朔遠交點。雖同經度不食也。若合朔近交點。則當推日之視半徑。及月之最大視半徑。蓋地面月之視半徑。各處不同。俱大於地心之視半徑也。又常推月之地平視差。若日月兩心距。小於二半徑和加月地平視差。則地面必有見食之處。此數最大爲一度三十四分二十六秒。如圖。呻啞噴弧三角形。呻爲

日心噴爲月心。呻唧爲黃道。噴唧爲白道。唧爲黃白交點。呻爲直角。設呻噴爲一度三十四分二十六秒。唧角爲五度八分四十八秒。推得呻唧爲十六度五十八分。爲最大食限。合朔時日距交點大於食限。則不食。小於食限。則地面必有見食處。欲推某地食分若干。當檢日月表。查交點所在。及日月二半徑。本地之視差。地面地心月視半徑之較。乃可推也。推月掩星。亦如上法。凡月距星之數。小於月視半徑地平視差之和。則能掩星。其細推法。俱詳別書。

觀日食掩星。而知月爲不透光之實體。故掩星時不見有星光透出也。又知有時月雖不見。然恆在天空。有時月光雖僅爲半體。或如眉。然其體恆圓。未嘗缺也。故掩星時。星之出入月體。或在光邊。或在暗邊也。朔前後二三日。月體暗處亦有微光。能全見之。月光初生僅一線。漸增至半。又漸增至滿。一若有球。半黑半白。先以黑向人目。而漸轉其球。令白漸見。月爲球體。亦如此。其半爲日光所照而明。朔時其明面背地而向日。行漸遠日。見明面漸多。漸近日漸少。

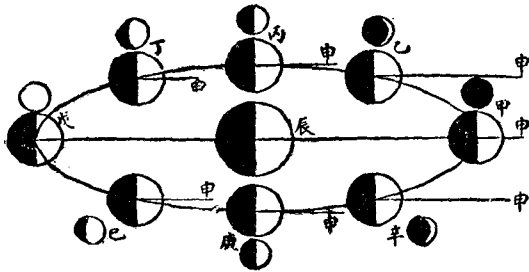
日地距二萬三千九百八十四倍地半徑。月地距僅六十倍地半徑。日地距約四百倍月地距。故從日



至白道各點作線。必略同平行線。如圖。辰爲地球。甲乙丙丁等爲月在白道諸處。申爲日之方向。月任在何處。向日之半明。背日之半暗。月在甲爲朔。明面背地。故俱暗而不見。在丙則向地之面半暗半明。在庚亦然。是謂上下弦。在戊則明面正向地。故見光滿而爲望。而朔弦望之間。在乙在丁。則見明面由少漸多。在己在辛。則見明面由多漸少。問月係實質。何以能回光照地。曰不足異也。試以白雲證之。晝時月色與白雲無異。落日返照。白雲發光。亦與夜中月同。是實體俱能回光也。故不獨月照地。地亦照月。初三夕月之暗面微明。職是故也。蓋近朔時。地以明面向月。月受地光。復回照地。故見暗處有微光焉。距朔漸遠。則月照地之光漸增。地照月之光漸減。故月之暗面漸不見。

續部類以測光之比例。推算月光爲日光三十萬分之一。

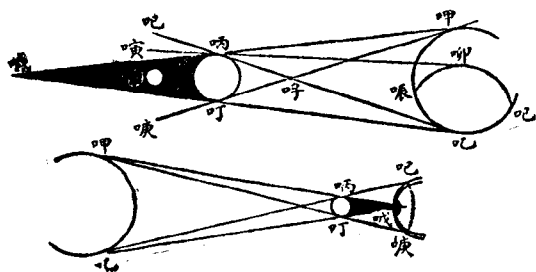
從前期至後期爲一月。卽月二次會中間所歷之時也。若地視日。有恆星不變方位。則二會相距。與恆



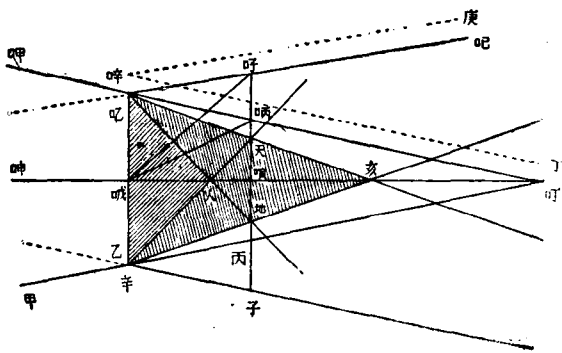
星月卽月行周天之時等。今見日亦行於天空。但較月甚遲。故月行一周時。日已前行若干度分。更追及於日而再會。歷時必大於一周。是謂朔望月。按每日日行爲○度九八五六五。月行爲十三度一七六四○。推恆星月與朔望月之較。以代數入之。命一日月行度爲咳。日行度爲亥。二月之弧度較爲吠。則咳與亥比。若三百六十度加吠與吠比。又咳亥之較與亥比。若三百六十度與吠比。旣得吠。以咳約之。卽得二月之較弧而朔望月爲三百六十度。以咳亥之較約之。得數。化之。爲二十九日十二小時四十四分二秒八七。

前圖中月在甲時。若近交點。則必掩日之光而爲日食。在戊時。若近交點。則地影必侵月而爲月食。故日食必朔。月食必望也。又地影入月。恆作圓狀。亦地爲球體之一證。蓋凡影。任在何方向恆圓。其體必爲球也。

凡日月食。皆由一體之影掩一體。而發光之體。大於相掩之二體。如圖。呬爲日。呬叮上爲地。下爲月。呬呬大於呬叮。故呬呬叮叮二線引長之。必



遇於噉點。成噉噉叮尖錐形。錐形中必黑暗。名闌虛。在闌虛中不能見日。在闌虛外噉噉界中如噉。則僅能見日之呬呬啣吧一分。故得光少。名外虛。在外虛外界呉吧外。始全見日。持小木球於日光中。以紙乍遠乍近承取其影驗之。卽信。此上一圖爲月食。辛爲月。月先入外虛。望之如隔煙。色甚昏黃。次入闌虛。其初入。雖已虧。然光盛。目不能察。用遠鏡乃能察之。如灰色焉。入漸深。光漸損不能侵。其食界始易察。在闌虛中。月體亦非全黑。似有微光。自月周至心。色不同。近周四五分。色藍微帶綠。內一層作玫瑰色。又內一層紅銅色。或作熱鐵退紅色。入闌虛最深。則最內一層之色。徧於月面。此乃透過地氣之日光生蒙氣差故然也。如圖。呉吧甲爲闌虛尖錐。吧吧辛已爲外虛界。皆以過日地二心之叮噉呻線爲軸。呉啣子爲闌虛及外虛之截面。噉噉爲白道半徑。噉呻爲日地二心距。



若地面無氣。則月在呀呀丙呀之間。日光爲地球所侵。色必黯淡。在呀丙之間。則全爲地球所隱。必全黑無微光。今地全徑乙之外。有乙呀乙辛之氣。理如凸鏡。故日光透過此氣。必生蒙氣差。而從日上邊呀所出之光。其外界必爲呀丁。其內界必爲乙地。從日下邊甲所出之光。其外界必爲呀啞。其內界必爲乙亥。二內界交呀叮軸于辛亥二點。乙辛之光仿此。呀亥大于白道半徑。呀人小于白道半徑。距地面約十三里。內氣甚厚。月入闕虛。在天呀地丙之間。其光從薄氣來。故見藍綠色。在天地之間。其光從厚氣來。故見紅紫色也。然每月食。所見微光不同。蓋地之四周。或有雲或晴明異也。微光最多時。能令物生影。測以遠鏡。亦能辨月面之各地也。

續其乙點所折之光。必散蓋亥乙地。其呀點所折之光。亦散蓋庚呀丁。其中間各點。亦必似之。故月在影時。僅成諸外虛。而終不成實闕。今不詳論所折之光線。而略謂月在影界內所受折進之光。與地球所隔之光比。如地球外空氣中圍剖面。與地球中圍剖面比。故甚小也。又在月面若見地球外空氣內有雲。則折進之光更減小。若有多雲。則折進之光至月者極少。若地球周圍半有暗雲而半晴。則對晴之處。必有紅光進月面闕虛。而有變散之光。若地球周圍全晴。則月面闕虛必甚濤。

細推上條諸數。命地球半徑呎爲一。則日地距呎爲二萬三千九百八十四。日半徑爲一百一十一。推開虛尖距地叮呎爲二百十八。而距月叮呎爲一百五十八。推呎叮呎角爲十五分四十六秒。而叮呎角爲八十九度四十四分十四秒。即得開虛半徑呎爲 0.725 。即八千二百九十三里。在呎點之視半徑呎呎角爲四十一分三十二秒。又推得外虛半徑呎爲 1.28 。即一萬四千六百四十三里。其視半徑呎呎角爲一度十三分二十秒。月心用平速過開虛全徑。當歷二小時四十六分。過外虛全徑。當歷四小時五十六分。叮呎地呎呎亥二蒙氣差角。俱倍地平蒙氣差。各一度六分。叮呎呎角爲八十九度四十四分十四秒。呎呎呎角爲叮呎呎加日視徑。故得九十度十六分十七秒。而呎呎地角爲八十八度三十八分十四秒。呎呎亥角爲八十九度十分十七秒。以地半徑爲一。則得呎人爲四十二 \cdot 〇四。小于白道半徑十七 \cdot 九六。呎亥爲六十九 \cdot 一四。大于白道半徑九 \cdot 一四。地體大。開虛尖錐長。月道在尖錐之腰。故月食月必入開虛。月體小。尖錐短。日食時。其尖或侵地。或僅及地。或不及地。尖侵地。則如前圖。見凡日月食條第二圖地面有黑斑。繞斑有淡影。在黑斑中全食。在淡影中見食幾分。淡影外不見食。尖僅及地。則尖所過處。見食既即生光。尖不及地。則統地面不見食既。尖所指

處。見月全體入日。而不能全掩日。所謂金錢食也。

續金錢食外環初缺時。倍里測見其奇狀。如光珠與黑條在月之外邊相錯者。名曰倍里珠。

月行一章。與交點一周之時略合。一章二百二十三日。爲六千五百八十五日三二。交點一周十九交終。爲六千五百八十五日七八。故每二百二十三日即十八年又十日。中間有若干日月食。食之時。食分之深淺次第。略相同也。在古昔迦勒底天算家。已有此說。蓋未明其理。先得其時也。大率一章中共有七十食。月食二十九。日食四十一。一年日月食。最多七次。最少二次。

月食時刻及食分。較日食易推。蓋地面所見與地心同。無視差也。闕虛與外虛。恆在黃道上。其心與日心恰相對。望時白道闕虛。即見食。而每日每時白道之方位。月離表皆可查。但察月與闕虛兩心距。等子月外虛二半徑之和。即月入外虛之時。等子月闕虛二半徑之和。即月入闕虛之時。凡望時日距黃白交點在十一度二十一分內。則月入闕虛而有食。

日食距地。俱有遠近之變。則闕虛尖錐有長短。月入尖錐之處有高卑。而闕虛之截面有大小之不同矣。故月食時。日月距地各若干。皆當推之。日地距依橢圓推之亦易。月地距則略難。因長徑屢變故也。

觀其日地距在歷表中可以檢得其數。月地距在歷表中可檢得月之視徑。而推得其數。二者表內俱

逐日有數也。本卷月道橢圓之長理條。

有時日尙未沒。能見月食。因蒙氣差角大於日之視徑。故雖見日月同在地平之上。而實則已在地之下也。卷一準蒙氣差角之理條。康熙七年。巴黎斯諸博物士曾見此事。

望日最近秋分之月。西國名之爲稽月。因此月望後。日入至月出之時。較諸他月更近。而便於收穫也。設秋分適在望日。卽日在翼宿而正西入。月在室宿而正東出。黃道南半周盡在地平上。北半周盡在地平下。故黃道與地平之交角最小。每日月行白道十二度。則降在地平之度亦最小。故秋分後一日。日入時至月出時行之時角。小於他月。所以望在秋分而月在正交時。爲稽月之最便也。

以遠鏡窺月面。見有山有谷。其對日方向山俱生影。影有長短之變。比例悉合。又光暗之界線。參差不齊。近此線山影甚長。蓋此線上之地。見日出或日入故也。入光面漸深。則其地見日漸高。故影漸短。望時光面正向地。故不見有影。用分微尺測其影。可推諸山之高。近有二人曰比爾。曰梅特勒。以此法測得月中一千零九十五山之高。著于冊。最高者約二萬二千五百尺。較南亞墨利加安的斯之最高山

成波拉鎖。更多一千三百八十尺。此山近光界時。其頂先見小光點。亦如地面最高山先得日光也。月中多山而南半尤多。徧月面幾盡山也。山形皆中窪若碗。口俱正圓。在月邊者視之。若橢圓。而山之大者。內有小峯矗起。其狀酷肖地面火山。試觀以大利那不勒維蘇威火山。及更比勿釐奇與法蘭西卑得陀墨二地諸火山之圖。則信矣。其不同者。山中之火壑甚深。更在月面之下。大率壑之深。較山之高恆二三倍。用最精之遠鏡。窺最明晰之火山。能分溫石之層次。且見石汁四面下流。如五板二圖。而用羅斯所造最精回光鏡。能見亞白得紐山。月中火壑底之大石塊。又亞里梯路山。月中之四周凸邊。俱有裂縫向裏。又月中不見有海。而有平原。其壤皆類沙土。

續又有連山散列。其狀爲無火山。

月面多火山之壑。大而深。較地面之火山甚偉壯。初似奇異。然依已知月面之事推之。無不合理。蓋火山噴火之力。不依球之大小。而攝力則全依球之大小。按月體爲地球六分之一。故月面攝力爲六分地球面攝力之一。又月地二球之火山內。噴出石質之力與速率相同。故月面之石質。散開必遠。是以不能再落於壑中。而必散於壑外。又月面無氣。故噴出之物。不若地面有空氣之阻力。故更

遠也。

人常疑月面之形。必有改變。然自古至今。遠鏡愈精。屢觀月向日向地諸勢。未見其形有改變之證。惟昔時陸爾蠻月圖內之甲壑。梅特勒名爲立內者。徑約十六里而甚深。同治五年九月初八日。雅典星臺官賜密特。見此壑現成平面。無形跡。又十月十一日間。最便之時。數次測望。影俱不見。而相近之數小壑。乃易見。其不見之故。或謂自下噴出之鎔流質。滿壑內而溢出流散。塞其粗毛。而成平滑之斜坡。故無影也。

窺月面不見有雲。亦似無氣。蓋有氣。則掩星時。以星出入月體時所推得之月徑。與分微尺測得之徑。常有差。其數倍月面蒙氣差。今不覺有差。卽有氣。亦甚薄。所生之差。不能至一秒。卽其重不能及一千九百八十分地氣之一也。又若有氣。則日食時月邊外當有一光線。今亦未嘗見焉。小星近月。未至掩時。先不見者。乃爲天空中月光所奪。雖在暗邊亦然。不足爲證。日食旣時。雖十一等小星。切月邊尙見也。

月面無氣。故受日光處其熱最猛。更甚于地面赤道之午正。而暗處必極冷。更甚于地面之二極。故月

面各地每半月酷暑。半月嚴寒。若有溼氣。則向日半面。必散而移于背日半面。而半月炎荒。半月積霜。惟當光暗之界。疑有水流也。其或一面水蒸化汽。一面汽凝爲水。因各得氣之平。不至盛暑盛寒。然如此則汽乍生乍滅。亦甚微不能測也。

月向日之面甚熱。然當月滿時。地面不能覺。用回光鏡映聚其熱。亦不能變寒暑針之度。是月中之熱。較日中之熱力甚薄。疑入地氣上層。已消盡。故不能至下層。當月滿時雲每不多。意其熱能消之也。自地推月徑一秒之圓面。約方三里。故今之遠鏡雖精。尙未能證其有人與否。因未能察及房屋田畝也。月質輕于地。攝力亦小。設有力在地面能舉若干質。在月面必能舉六倍之質。故若有動物。必與地面動物異。否則體性不宜也。又月面不見有四時變化。故有植物否亦未能知。

月亦自轉。其一週與繞地球一恆星周之時等。其赤道與黃道之交角。爲一度三十分十一秒。而正交點與白道之中交點合。故白道交點退行於黃道一周。月自轉之軸。搖動成一尖錐形。環黃道軸一周。此二周之時相合。

月自轉一周。與繞地一恆星周等。故月向地之面略不變。然自轉用平速。而行于白道有遲疾。故月向

地半赤道之東西兩邊。能多見二三度。蓋月地二心之聯線。時進退于月赤道也。又月自轉之軸。不正交白道面。故月之二極。遞次側向地而亦可見。二動俱名天平動。因此二動。故月向地之面無一定之中點。而半球外二三度一帶。遞次能見之。

設月向地之面有人。則彼視地。如地視月。其徑二度。其朔弦望之時。與月恰相反。又見地定于天空。略不動。諸星在地之前後左右徐徐而過。又見地面有斑點。變化不定。而因貿易風。則見赤道及晝長晝短圈諸帶上。其斑屢變。又見大洲與海。歷代改變。則月中人必久測不能定地面之形狀。又月食時。月中爲日食。則見地面之氣如細光環。近地邊色紅。稍遠爲淡藍。中包黑地面。其周有雲。必見不平狀。

續前言月面無氣。

本卷窺月面不見有氣條。

然未必全月面如此。故亦可有生物。近時韓孫云。月常一面向地。恐因

月體之形非正球。而一面略凸。其凸者與地月二球之聯線相合。而月球之重心。與月形之中心不合。果如此。則背地之面未必不能有生物也。試將木條。一端連重物。一端連輕物。當中繫線。執線而旋轉之。則重物必遠人手。輕物必近人手。月之繞地爲地攝力所牽。而行於其道。如手牽線相同。設月體之質。兩面輕重不同。使月形之中心。不合于重心。則繞行時。重面必背地球。若月面有氣。或水。

或別流質。而不足滿全面。則其散流。非以形之中心爲心。而必以重心爲心。故必流向重心之面最低之處。而在此處。或成湖海。其大小依流質之多少。其定質之輕者。在重心之對面。成大洲。其重心形心二點之相距。卽陸地高于海面之數也。設月之重心形心相距約一百里。則其陸地高于海面亦必一百里。所以在地球見之月面。俱必高于背面之海面。而爲有山之陸矣。

水必成平面。氣亦相同。月面上之氣。必蓋于月面之水上。而成大氣。故向地之面。雖有氣亦必極薄。況月面之氣。少于地面。更當如此。所以月向地之面。雖無水迹。而背地之面。未必無生物也。地球亦略有如此之狀。地之半球面。略盡爲陸地。餘半球面。略盡爲海。卷四于球面畫大洲及海條可知太平洋正中之下。必有重質甚多。故其略對面。有印度之高地及崑崙也。此山頂氣之疏密率。僅三分海面氣疏密率之一。動物不能生焉。

葛西尼伯作月面圖。最著名。而羅色力用七尺回光遠鏡察月狀。作之更精。此外有陸爾蠻。比爾。梅特勒。諸人所作。阿諾威有女士曰維德。用梅特勒圖。參以已測。精心造半月球象。又與奈斯密各造月中火山象甚大。至咸豐元年。米利堅獲魄勒。于堪比日星臺。用大赤道鏡及影畫器作之。

羅奈斯密窺測月面極粗毛而似出火之處。作其像照其相而刻之。如啞板。韋思敦思得妙理。能使照得月體之圖。觀之不似平面。而似球面。山俱凸出如實體。因月之天平動。本卷月自轉一周條故月面之一處。有時在中心之一邊。有時在中心之又一邊。此同于月定。而人目移動與天平動相等之角。而一次在右。一次在左觀之也。照相而見爲真形。卽按此理。故擇月之天平動至二邊之時。各作一月圖。以二圖同在鏡內觀之。能相合而成月體之真形矣。此如月球在極大人之二目間而見之也。拉路以所造大力回光鏡所得之圖。可爲格致內最妙之物。能顯月體之真形。無以加焉。又近時白德亦詳攷月面之數小處。

又英國哈德努在里味不星臺。用赤道鏡作之。又特拉路用奈端十尺聚光點之赤道回光鏡。其目鏡孔徑十三寸。所作者最精焉。

卷八 動理

地繞日。月繞地。已知之無可疑矣。而地何以繞日。月何以繞地。且俱終古不停也。今特推闡其理。

凡物在空中。必依地面之垂線下墜。其下墜必有力使之。名曰攝力。一名地心力。攝力之方向。恆對地心。若物斜拋空中。則下墜時不正對地心。然地心之方向。仍寓于中不滅也。理詳動重學。若正向上拋。則拋力與攝力相消。消至相等。則下墜至地面。而拋力消盡。凡斜拋物。其方向本直。攝力令漸變方向。故下彎成曲線。名曰拋物線。拋物線有最高點。如月道焉。此曲線至地面時。其方向斜交地平。與發時方向交地平之角等。物在其線。無一處向地心者。烏知其向地心。烏知此線非極長橢圓道。地心爲其一心。若無他質隔礙。烏知物不回至本處。果爾。則拋物行曲線。與月繞地。乃一理也。

以索之一端繫石。手持一端而旋舞之。石必生離心力。拉索令緊。而索力必有限。旋太急。拉索力大過其限。則索絕而石飛。恰如限則不絕。知索力之限。即能推當用若干速率。設以索聯地心與地面之重物而旋之。令速率所離心力。恰如索力。則物必繞地心行。而有攝力令物恆向地心。與索力等。用以代索。則物仍繞地心行不變。月之繞地。亦此理也。而攝力小。何以知之。準動重學法。以地半徑推得地面重物。欲令繞地心行不停。其速率當爲一小時二十三分二十二秒繞地一周。若攝力加于月體與地面同。則推其速率。當十小時四十五分三十秒而繞地一周。今月繞地一周。爲二十七日七小時四十

三分。故知地心攝力加于月。較加于地面物小也。推其比例。若一與三千六百。設二物一在月道。一在地面。同下墜。地面物當速于月道物三千六百倍也。月距地心約六十倍地半徑。三千六百與一比。卽六十與一之二平方數比。蓋攝力漸遠地心。則漸殺。其比例若距地心線平方之反比例也。此與光熱漸殺之理同。與噲鐵電氣二力。雖證據未多。然其理亦必同也。

奈端言天空諸有質物。各點俱互相攝引。其力與質之多少有正比例。而與相距之平方有反比例。凡一體中各點相攝。所受攝力各不等。當推體之形狀。法甚繁。而地與月俱爲球體。奈端云球體之攝力。與球質俱收聚于心點。而發攝力無異。故凡球皆如一點也。地雖非正球。然其差甚微。可不論。

奈端又言偏虛空界攝力無不到。設有二球體。本各行直線道。因攝力互相引。必成曲線道。或彼體繞此體。或二體共繞一公重心。其道必爲圓錐諸曲線之一。視其速率方向及相距遠近而異。所繞之心。乃曲線一心。除平圓外。不在中點。又距心線及速率。刻刻不同。恆成反比例。而距心線所過之面積同。則歷時亦同。觀地繞日。月繞地。皆與此理合。其道皆爲橢圓。而兩心差不同。則其說信而有徵也。以日地兩心距及地繞日一周之時。卷五推得地之離心力。又設一與地等質積之物。距地如日地距。推得

其恰當地球攝力之離心力。則地繞日之離心力。大于所設物離心力三十五萬四千九百三十六倍。卽知日之攝力。大于地之攝力三十五萬四千九百三十六倍。蓋日之質。與三十五萬四千九百三十六箇地球質相等。故也。而日之體積。大于地一百三十八萬四千四百七十二倍。則日質較地質疎而輕。設取等大之積衡其輕重。則地爲一。日爲○・二五四三。夫日之攝力甚大。則四面之壓力甚重。而質反如此輕。疑日中有猛火。或大熱。故受甚大壓力。而不被擠小也。

凡球通體之攝力。與全質收聚于心點而發攝力無異。而攝力與球質積有正比例。與距心之平方有反比例。若論球面之攝力。則距心數乃球之半徑也。如法推得日地二球面之攝力。如二十七・九與一之比。地面一斤重。移至日面當重二十七斤九也。故日面當用地面抵力約二十八倍。方與攝力相當也。地面之人若至日面。必不能行動。因攝力大而增重。不能自勝其體也。

觀上諸條。益知地球率月繞日。而日不動。蓋日質甚大。地月之攝力甚微。加之不覺也。與前所云公重心甚近日心。非地面所能測之說合。故地或繞日心。或繞重心。無須分別也。地與月共繞其公重心。而又同行於黃道以繞太陽。此如大小二球聯於桿。以索繫於重心而旋舞空

中。而二球又共繞其重心。是行於繞日之橢圓道者。非地非月。乃地月之公重心也。準此。則地上視日。又有小差。每月一周。凡推日度當加減此差。又月繞日之道。似十二曲線合成。其曲線俱向向日。名曰擺線。每月二次交地道。一由內出外。一由外入內。然月地二心距。不能過四百分地道半徑之一。則出入於地道亦甚微。設畫於紙。非用至精之規度之。不能覺也。

月若僅依地球之攝力繞地行。則必爲真橢圓道。行一周仍至本處。且在一面內。今又受日之攝力。故有交點逆行。橢圓長徑順行。及橢圓變形諸差也。譬如以二石相並。於高處同下墜。攝力相等而漸增。二石之速亦必同增。而相偕至地。設一石受攝力微小。則增速亦更大。必先至地。而生相屬之動。日地距大於月地距約四百倍。故朔望月距日。差二百分之一。如圖。呻爲日。吶爲地。噴啣爲白道。朔時月在噴。受日之攝力大於地。望時月在啣。受日之攝力小於地。在白道各點。受日之攝力比地各不同。攝力之方向亦不同。設地與月受日之攝力大小與方向俱不變。則月繞地之行亦不變。今既俱變。故生差力。其方向斜交地月之聯線。令月或速於橢圓行。或遲於橢圓行。且或令地離月。或令月離地。又白道斜交黃道面。而日



之攝月力非與黃道平行。故恆令月欲離白道面。則生交點行等差也。此名攝動差。其詳見後卷。恐人因此疑攝力之公理有時不合。故先略言於此。以釋其疑。

卷九 諸行星

於地面仰測諸曜。見其時時行動。異於恆星者。不獨日月已也。又有諸星。其近且大者。曰水。曰金。曰火。曰木。曰土。古所謂五緯星也。其遠而難見。非遠鏡不能察者。曰天王。曰海王。其微而難見。亦必窺以遠鏡。

曩所已測見者。約有百十餘。恐未測見者尙多。與小恆星難別也。每夜窺測。見其移動者。卽知是小行星。俱自嘉慶以來所測得。內有四小星。在道光二十四年之前所得也。書末附表有小行星之名。與測得之人名。及測得之時。

諸行星之道。亦自西而東。除穀女武女天后諸小星外。其道俱近黃道。見三百零三條在地望之。不能正見各道之面。僅能側見其邊。其各面相交角。及遠近。俱不能了。惟星距黃道面之度。能明見之。

地上視日月之行。略有遲速。由于橢圓。而行星則大異。于日月有順逆行。順行由速而遲。而留。而逆行亦由速而遲。而留。而復順行。總計之。順行多於逆行。順逆二行之較。爲星東行之度。試以黃道相近一帶所見之星道。展爲平面而圖之。吡味爲黃道。吧吡味呻爲星道。吧至吡順行。吡爲留。吡至味逆行。味爲復留。味至呻順行。餘可類推。哪爲二道之交點。地在黃道面內。交點亦在黃道面內。故見星至哪。必無視差。欲知星過交點時刻。取相連二日。一在黃道南。一在黃道北。各測其緯度。用比例推之。即得。屢推之。知凡星二次過中交。或正交。中間之積時恆等。無論順逆遲速皆然。然則星之行皆有定法。我見其忽順忽逆。忽留若無法者。因我所居之地不在星道之心。而地又行於本道。生視差故也。蓋諸行星道皆以日爲心。故若居於日面觀之。必見其行有定法。而無順逆留諸變矣。行星皆爲球體。與地同類。本皆無光。日照之而生光。此以遠鏡測而知之。又皆爲實質。面之狀各不同。見三版圖。即火木土三星之圖。諸星距地較月甚遠。故月能掩之。有更遠於日者。故距地球最近之星。地半徑視差甚小。不過數秒。而其遠者。視差更微。難測也。推行星大小。以本星之地半徑視差。與星之視半徑比。若地徑



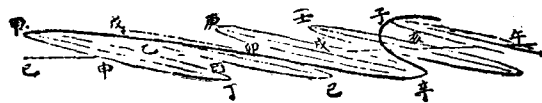
與星實徑比。蓋視差即在星上所測地之視半徑。而同用一星地距。故比例同也。凡行星皆小於日。然有大如地。或大於地者。

行星視徑有時變大。有時變小。以三角法推得距地諸數。則知若以地爲心。無論行正圓行橢圓。其數俱不合。而於日則大有相屬之理。如火星衝日之時。視徑最大爲十八秒。衝後漸變小。至合日時最小。僅四秒。他行星亦然。故知俱繞日。又金水火三星以遠鏡測之。見有弦望與月同。其明面恆正對日。故知諸行星無光。皆借日之光也。

以日爲諸行星道之心。則地上所見諸參錯行之故盡明。而一切行星并地球之動法。皆歸一公理。蓋行星皆繞日。其道斜交黃道。交角甚小。而交點不移。聯二交點。爲二道面之交線。交線平分黃道。行星自正交或中交起。復至本點。爲繞日一周。其時可測而推也。

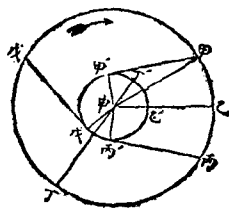
諸行星繞日一周。在地望之各不同。金水二星如偕日而行。離日之度有定界。或在日東。或在日西。在日東。則日入後見於西方。名昏見。在日西。則日出前見於東方。名晨見。離日最遠。水星不過二十九度。而金星四十七度。在日東最遠。與日同速。既而留。而逆行。初遲後速。與日漸近而伏。伏時或見其過日。

面。如小黑圓班。此必行星過交線而地球亦在交線。乃有之。與日月食理同。伏若干日而復見。在日西。仍逆行。初速後遲。遲極復留。而順行。復離日最遠。而與日同速。既而速漸增。追及於日。而又伏。伏數日復見。在日東焉。順逆伏留之時有增損。如圖。己午爲黃道。甲乙丁爲行星道。日居星道心。乙申爲二交點。若日定居黃道。無視動。則必見行星進退于日之前後。設地在交線。則在日下。必見星過日面。在日上。必見日掩星。今日與黃道己午有視行。設過申酉戌亥諸分。每分中行星在本道過一象限。則其視道必成甲卯辛子曲線。在甲卯辛分內。必見順行。在辛卯子分內。必見逆行。而在辛點必見留也。此惟金水二星爲然。二星在地道內。名內星。伏時星在日地間。名下合。日在星地間。名上合。又圖。正視星地二道。申爲日。甲丁乙丙爲水星道。甲乙丙丁爲地道。矢表星地所行之方向。星在甲時。設地在甲。其方向爲星道之切線甲甲。則必見其離日最遠。其角度甲甲申爲最大。甲甲申爲直角。則半徑與甲甲申角正弦比。若地道半徑甲申與星道半徑甲申比。故測得甲甲申角。卽能知星道之半徑。然屢測其半徑不等。故知星道非正圓。而爲橢圓。用連

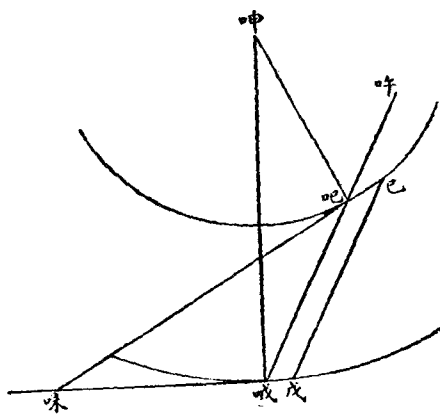


次測數推得水星距日中數約一億零四百萬里。金星距日中數約一億九千七百里。地道半徑爲二億七千五百萬里。又以高卑二點正交點之微差。推得水星一周之恆星時。爲八十七日二十三小時一刻零四十三秒九。金星一周之時。爲二百二十四日十六小時三刻四分八秒。而晨昏見一周之時。水星爲一百十五日八七七。金星爲五百八十三日九二。此恆星周太陽周之別。設地定居於甲。則行星在甲。爲晨見離日最遠。行一周復至甲。仍得晨見離日最遠。今地自甲向乙行於本道。故星復至甲時。地已前行。追至戊。遇地在戊。始同在切線上。而復得星晨見離日最遠也。中間星至乙時。地至乙。則見星下合日。星至丙時。地至丙。則得星昏見離日最遠。星復過甲至丁時。地至丁。則見星上合日星。自甲起復至甲。是謂恆星周。一周後更行至戊。是謂太陽周也。

以金水二星地球三道之半徑。推得三道里數。各以一周之時約之。得一小時中水星約行三十一萬六千二百三十里。金星約行二十三萬一千三百三十里。地球約行十九萬六千七百五十里。故星在下合日乙點左右時。星地之行方向同。而星速於地。從地視之。見星行之方向。與日視行逆。故爲逆行。

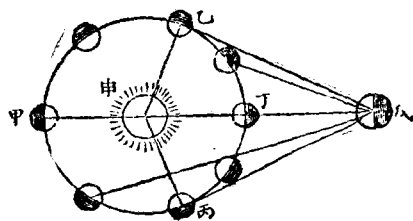


在上合日丁點左右時。星地之行方向逆。而從地視之。見星行之方向與日視行順。更速於日。故爲順行。二留點不在離日最遠甲丙二點。而在甲乙與丙乙之間。又圖。戊戌爲地道上之微弧。巳己爲星道上之微弧。若二微弧與二速率比恰令地過戊戌。星過巳己。其距線巳戊至己戊。方向不變。則地視星。或背地上行。或向地下行。而不見有順逆行。故曰留也。若離日最遠時。則見其與日同速。而爲順行矣。欲推留點所在。引長巳己戊戌。爲巳戊二點之切線。會於味點。任引長戊戌至哂。巳戊與己戊平行。則準平三角例。巳己與戊戌比。若巳味與未戌比。命星地之二速率爲亥咳。則巳己與戊戌比。若亥與咳比。故亥與咳比。若巳味與味戊比。亦若巳戊味與味巳戊二角之正弦比。亦若呻咳巳與呻咳巳二角之餘弦比。又命星比。因呻咳味。呻咳味俱爲直角故也。亦若呻咳巳角餘弦與呻咳巳角之餘弦比。又命星



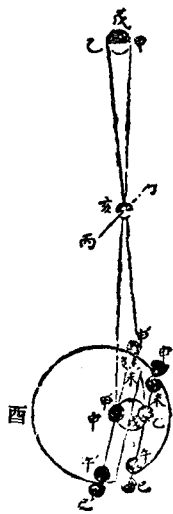
地二道之半徑爲未味。則未與味比。若呻吡吡角正弦與呻吡吡角二角和之正弦比。而呻吡吡吡呻吡二角可推。一爲行星留時離日之角。一爲日視行星與地二經度之較角也。然星地二道俱非平圓。故推算更繁。今不詳論而著其已推得之數。水星之留點離日。最小約十五度。最大約二十度。金星恆在二十九度左右。其逆行。水星約二十二日。金星約四十二日。金水二星有弦望如圖申爲日。戊爲地。乙甲丙丁爲星道。星因日照。向日半面明。背日半面暗。故當上合。星在甲。戊視之見光滿如望。星在乙甲甲丙之間。光必多於弦。在乙丙二點則如弦。在丙丁丁乙之間。光必少於弦。漸近下合丁點。則見其如線。或全無光如朔。或見其過日面如黑斑焉。凡金星之光。見其時明時微者。有二故焉。一因弦望。一因距地遠近。星之視體大小不同。如自離日最遠。至下合日之時。光面漸變少。然漸近地。視體漸大。每相補焉。依此推之。離日四十度時。光最明焉。

金星過日面有一定時。而二次相距之年不等。率初八年。次一百二十二年。次八年。次一百零五年。如



是周而更始。恆近冬夏二至。測此以推地日距及日之地半徑視差。法最妙。如圖。酉爲日。戌爲地。亥爲金星。丙丁爲過日面時之道。甲乙爲二測處。在地球面相對二點。其徑甲乙正交黃道

面。若地不轉。星過日面時。甲乙徑不動則甲點見星在日面甲。乙點見星在日面乙。甲亥甲乙亥乙皆爲直線。則亥點之相對二角必等。故甲'乙'與甲乙比若星之距日與距地比。卽若六十八與二十七比。約爲五與二比。則日面之甲'乙。必五倍地半徑。其視度必五倍地平視差。是以測甲'乙。設有差。推得地平視差。其差減小。不過五分之一。故曰。法最妙也。己午未申己午未申二線。爲金星視道之二界。從日之西邊入。東邊出。甲乙測者。必細測出入二點。以定界線所在。若細測過日面之時更妙。蓋查金星表能知其行度速率。而視道約同直線。知其時。卽知過日面線之長。用作通弦。以日徑求其矢。甲乙所得二矢之較。卽甲'乙也。此必測星心過日面故先測入日時。一星日外切之時。如巳。一星日內切之時。如午。次測出日時。與前同。如未。如申。取外切內切之中時。以日周之弧考之。則得星心出入之時。然地球



自轉。而二測處又不能恰在相對二點。故推步甚曲折。與日食月掩星同。而更細密。今不詳論。但論測金星過日面爲最要事云。乾隆三十四年。星過日面。英法蘭西俄羅斯等國。俱分遣疇人至遠方測之。合各國測數。推得太陽之地平視差爲八秒五七七六。此後過日面。當在同治十三年。二十一年。見三百五十七條乙。

水星道之兩心差。最大約爲四分半長徑之一。故其離日最遠度。相差甚多。小則十六度十二分。大則二十八度四十八分。金星道亦爲橢圓。而兩心差不甚大。

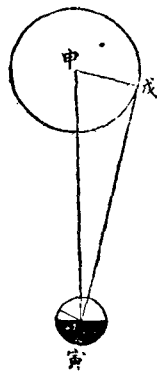
水星過日面。在正交點近小雪。在中交點近小滿。分計之。在正交點約十三年。或七年一次。率三次相距俱十三年。一次相距七年。在中交點亦然。然此約言之耳。水星道與黃道之交角大。故時或不合。當以二百十七年一交之終計之。其次周而復始也。水星近日。用以考日之視差不便。故非若金星之當詳測焉。道光二十八年。咸豐十一年。水星過日面。

凡星道包地道者。名曰外行星。何以知其包地道。其證有二。內行星離日度有限。遠至限而復近。外行星則無限。衝日時遠至半周。地不在星日中間。不能如是。一也。星之光常滿。不見有弦缺。其遠者爲木

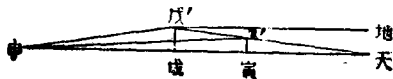
土天王海王恆爲圓體。其近者爲火星。雖或小虧。亦不能過八分之一。故知在地視星。與日照星之方向略同。非地道在星道內。不能如此。二也。以火星論之。如圖。申爲日。戊爲地。寅爲火星。地在戊時。火星上見地離日度最大。地上視火星。見暗面亦最多。

準星之光分。能推申寅戊角。及星日二心距申寅與日地二心距申戊之比例。故知火星道半徑。爲一箇半地道半徑強。而木土天王海王之虧。不能見。則其道必包地與火二道。

外行星於衝日前後皆逆行。逆行之時。及所過度分。及速率。各不同。俱火大於木。木大於土。土大於天王。天王大於海王。若知星之周時。則測其逆行。能推星道大小。如圖。申爲日。衝日時。地在戊。星在寅。同在申天直線內。歷若干時。地行至戊。星行至寅。作戊寅聯線。引長之。交申天線於天。成申戊天申寅天。二三角形。先用申戊天形。已有申戊邊。則日地距亦有天申戊角。即地所過之弧度。亦有申天戊角。即地戊天角。爲星逆行之度。則可推得



七十八



申天邊。次用申寅天形。已有申天寅角。亦有天申寅角。卽星所過之弧度。以星周時與今所歷時。比例而得。又有申天邊。則可推得申寅邊。卽星日距也。然星道非平圓。必累測而推之。取其中數。爲星道半徑也。

前論測星道交黃道點。能知周時。然其交角有甚小者。交點非易測。若於衝日前後數日連測之。以定衝時。二次衝日中間積時。卽星之太陽周時也。然因橢圓有微差。必屢測取其中數。方得太陽平周時。知太陽周。卽知恆星周。測次愈多。得數愈密。五緯星已歷測二千年。推得其周。可云密之至矣。

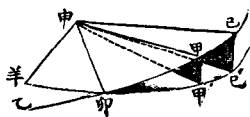
凡二行星周時之平方比。若二距日線之立方比。如地與火星二周時之率。爲三百六十五萬二千五百六十四。與六百八十六萬九千七百九十六。二距日之率。爲十萬與十五萬二千三百六十九。上二率各自乘。下二率各再乘。其比例同也。此爲古今來天學中第一至妙無上之理。刻白爾精思苦索而得之。是時未有對數。推三角頗不易。諸行星之根數。未能若今時之精密。而刻白爾乃能探得此理。則又難之難已。苟非大智。何以能之。自明此理。而知地球與諸行星。不獨形體相似。顯然一類。無可疑矣。刻白爾考火星行法。悟得火星之道爲橢圓。日居橢圓之一心。星日距線所過面積等。則歷時亦等。驗

之火星既密合。以其法推諸行星皆合。因立三例。一曰歷時同。則星日距所過面積亦同。二曰諸行星皆行橢圓道。以日爲橢圓之一心。三曰諸行星距日中數。與周時有公比例。此三例。以奈端動重學之理考之。俱合。其第一例。歷時同。距線所過面積亦同者。蓋諸行星本欲以平速行於直線。其行於曲線者。必有力恆加之令曲也。其力之方向恆指日心。奈端論此理甚明。其大略云。凡力恆加於一動體。力之方向恆指一點。則體必行曲線道。歷時同。體距點之線所過面積亦同。此可以淺近事顯之。譬如以繩懸一小鐵球。手執一端。依地平面旋轉之。一指向下。令繩纏指。則球必漸近所繞之心。而速率漸大。周時變小。同時過同面積。目驗卽知。無煩細論也。若反旋。令繩展於指。必由速漸遲。與前相反。其第二例。行星皆行橢圓道。以日爲橢圓之一心者。蓋諸行星皆依日之攝力而行曲線。與他星無涉。以動重學言之。凡動體無他力加之。必行直線。恆加以他力。則行曲線。動體行平圓周者。動體之本速率。與所加他力。令本道各點之曲率。恰相等也。若力更大。則曲率亦更大。力更小。曲率亦更小。此皆不合平圓。而動力必時大時小。曲率亦時大時小。凡動體行曲線道。若先知其本動之方向。與本曲線之理。則亦可推其令方向變之力。令物行橢圓道。用力之法不一。設作鐵線橢圓圈。穿一珠令行其上。則令方向

變之力恆正交鐵線。而不向橢圓心。其行必爲平速。此與同時同面積之理不合。必如前論。用繩懸小鐵球乃合也。欲考橢圓之力有三理。一準同時同面積。能知體在各點之速率。二準曲率。能知各點離切線而向心之數。三準速率變大小。能知各點力之大小。令體向心而離直線之率。任在何點。皆可推算。欲驗體行橢圓之理。最妙以蠶絲懸一細網球。下置一大力噲鐵圓柱。噲鐵之極與懸點正相對。乃動其球令繞噲鐵。則球必行橢圓。而不行平圓也。其第三例。諸行星距日與周時。有公比例者。蓋諸行星各行本道。皆由於日之攝力。凡化學中質點愛攝力。及噲鐵力。僅能攝數質。而日之攝力。凡所屬諸星。無論何質。皆攝之。攝力有大小。由於諸星距日有遠近。蓋攝力與質多少有正比例。而與相距遠近有反比例也。準奈端之理。凡二體互相繞。其周時必如橢圓道半長徑立方之平方根。以二體質和約之之數。準此。若諸星之質較日質。相去非俱甚懸絕。則刻白爾之例不能合。今諸星質雖有大小。而較諸日則俱甚小。故皆略合。其差甚微。不能覺也。

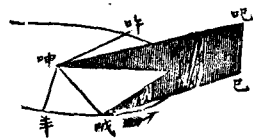
欲明各行星橢圓道之根數。有三要。一爲橢圓形及大小。以長短二徑定之。或以半長徑及兩心差定之。如橢圓之長徑十。短徑八。則半長徑爲五。兩心差爲三。其橢率爲五分之三。一爲橢圓之方位。以黃

道面及分點線爲準。此有三事。星道與黃道二面之交角。一也。二面交線之方向。二也。長徑之方向。三也。交線必過日心。故知交點經度。卽知其方向。星過交點自南至北爲正交。此時星之經度。卽交點經度也。而知最卑點經度。卽知長徑方向。最卑點。長徑之一端也。一爲星於某時當在本道某點。但知最卑點。或橢圓上一一定之點。及周時。則依同時同面積之理。卽能知之也。三要已知。則無論何時。能知行星所在之處。而從日心與地心之二視方位。俱可推得也。先論從日心之視方位。如圖。申爲日。己甲卯爲行星橢圓道。以申爲心。甲爲最卑點。己甲卯羊爲依星道作柱面正交黃道面所成。申羊爲分點線。爲經度所起。申卯爲星道黃道二面交線。設乙在黃道南。甲在黃道北。星自乙向甲。則卯爲正交點。羊申卯角爲交點經度。若星在己。從甲己二點俱作線。正交黃道面於甲己二點。則羊申己角爲行星經度。羊申甲角爲最卑點經度。己申己角爲行星緯度。已知周時。及橢率。橢圓面積。故但知星過最卑點之時。則準同時同面積之理。能知甲申己面積。而用幾何法。能推得甲申己角。卽星距最卑度。乃取甲卯甲正弧三角形推之。已知卯申弧。卽最卑與交點二經度之較。卯申甲角。亦知卯角。卽二面之交角。故卯申弧卽卯申甲



角亦可知以卯申甲加甲申己。得卯申己角。爲星距交度。乃用己卯己正弧三角形。已知卯角及卯己邊。卽星距交度。推得己己邊。卽己申己角。乃星之緯度也。又推得卯己。卽卯申己角。加交點經度卯申羊角。得羊申己角。乃星之經度也。

再論從地心之視方位。地心視行星方位。異於日心者。因地球距日而生。故必先求行星距地距日之數。次求地距日之數。乃可推也。如圖。呻爲日。吡爲地。吡爲行星。呻羊爲分點線。羊吡爲地道。吡己爲行星心至黃道面之垂線。呻吡吡爲星之地道半徑差角。吡吡爲從地視星之方向。吡己爲地至星垂線底之方向。作呻吡線。與吡己



平行。則羊呻吡角爲星之地心經度。而吡吡己角爲地心緯度。夫羊申戊爲地之日心經度。有日表可查。羊呻己爲星之日心經度。吡呻己爲日心緯度。依上法可推。前條而呻吡爲星道之帶徑。名本代微積拾綴呻吡爲地道之帶徑。各準道之大小及體所在度可推。既有此諸數。則星之地心經緯度。俱可推。法先用呻吡己直角三角形。已知呻吡邊及己呻己角。求得呻己吡己二邊。次用呻吡己三角形。已知呻己呻吡二邊。及吡呻吡角。乃星地二日心經度之較。求得呻己吡角及吡己邊。呻己吡與己呻吡二角等。

故呻己吡己呻吡羊呻吡三角和。等於羊呻吡角。卽星之地心經度。又用吡吡己直角三角形。已知吡吡己二邊。求得吡吡己角。卽星之地心緯度也。

五緯星上古以來人皆知之。天王星乃侯失勒維廉於乾隆四十六年二月十九夜。以遠鏡細測諸恆星。始知爲行星。前此因遠鏡未精。每誤列於恆星表也。火木二道間諸小星。嘉慶時先得其四。一爲穀女。得於六年。測地爲以大利之西西里巴勒摩城。人爲必亞齊。一爲天后。得於九年。測地爲日耳曼之阿諾威高丁近。人爲哈爾定。一爲武女。一爲火女。得於七年十二年。測地爲日耳曼之不來梅。人爲阿爾白士。初有波特者。普魯士伯靈之天文士也。言火木二道之間。必有行星。但未測得耳。蓋各行星道距水星道。約俱遞倍。如地水二道距。約倍金水二道距。火水二道距。約倍地水二道距。推之土天王。莫不皆然。惟火木二道間太遠。與例不合故也。後測得此四星。其道大小略等。俱在火木中間。距火木二道之數。與上例合。歷家咸異之。或謂此四小星本一大星破碎而成。果爾。其數當不止於四。後人因細測近黃道一帶小星。盡著於圖。以核其中有行星否。於是道光二十五年十一月初十夜。亨該得嚴女。二十七年五月十九夜。又得穉女。

續得此二小行星後。天學家咸喜精心再測。更得多小行星。見書末附表。

大行星中。海王最後得。初。測望家見天王星有無法之小動。英亞但史。法蘭西力佛理亞驗其動法。皆以爲別有一行星。其攝力加於天王。而生此動。其說不謀而符。二人各以法推未見之行星。謂今當在某經度某緯度。其推又略相近。力佛理亞以所推送伯靈星臺。是夜臺官嘉勒用遠鏡。依所推之處測諸小星。核以星圖。果得一行星。距力佛理亞所定之經緯。其差不至一度。距亞史所定之經緯。其差不至二度半。名之曰海王。時道光二十六年八月四日也。

前條言諸星道相距有定例。其數雖不能如刻白爾諸例之密合。然甚相近。求其所以然之理。未能得。及得海王。其道距水星道。非倍於天王距水星。而僅加半。與例不合。然後知此例乃偶合。不足憑。而凡說之無證者。俱當細考之。不可遽信矣。

諸行星上設有動植諸物。其性與質。必較地面諸物大不同。蓋諸行星異於地球者三。受日之光熱。多少不同。一也。攝力大小不同。二也。體質疎密不同。三也。受日光熱。水星多於地約七倍。地多於海王約九百倍。其二界之比。若五十六與一之比。試思我地面之光熱若多七倍。何以堪之。若少九百倍。又何

以堪之。

攝力大小。木星視地約若五與二。火星約半於地。月較地若六分之一。小行星約二十分之一。質疎密以重率言之。則土星重率爲八分地重率之一。意土星質當略如乾松木。此三者。既如是不同。則動植諸物若性質無異地面。必不能生活也。

續諸行星所受太陽之熱氣。雖多少大不同。然行星外所包之密雲。或能透熱氣。而易射至行星之面。又能阻之。使不易發散。故遠日之行星。所受太陽之熱氣。雖不多。而所受者能多存於其面也。如藏植物之玻璃房。受太陽之熱氣。雖至有雲之時。房內寒暑度仍大也。按此理行星距太陽甚遠者。未必是甚冷矣。

以遠鏡測諸行星。所得諸事條列於左。

水星略如球體。光如月有盈虧。因最近日而小。不能細測其質。實徑約九千二百里。視徑五秒至十二秒。金星亦有盈虧。其實徑二萬二千六百里。視徑最大六十一秒。大於他行星。然其面但見有光。而不能見有山與影。雖有光暗之異。而非能一定。故或言金水二星自轉之時。略與地同。或言多於地二十

四倍。因其面無斑。未能測定也。或星之體。我人不能見。但見包星之雲。雲所以蔽日光。以護星也。

火星之面甚明晰。道光十年六月二十九日。用二丈回光鏡測之。見有大洲與海狀。如三板一圖。大洲作紅色。意其紅土也。海作綠色。有時不清晰。或狀改變。意包星之氣中有雲故耳。而當清晰時有一定形狀。星自轉。其面以次而見。已有好事者。細測著於圖。其二極有白斑最明。見本圖。或云是積雪。故向日久則小。背日久則大。最大時約距極六度。細測此白斑。知火星自轉。其赤道面與黃道交角三十度十八分。歷二十四小時二刻七分二十三秒而一周。其轉亦自西而東。與地同。其實徑約一萬三千一百里。視徑最小四秒。最大十八秒。

本星在行星中爲最大。實徑二十六萬六千里。其體積大於地球一千三百倍。視徑最小三十秒。最大四十六秒。其面有帶數道。道光十二年八月二十九日用二丈回光鏡測之。如三版二圖。其帶之廣狹位置。屢變非一定。間或散於星之全面。

續星面或見白斑。其帶或見分枝。而諸帶之最奇者。有時見其內有明晰之正圓小斑。如其月體。卷十地球之月。過於木星地球之間。有時見其位置與數有變。咸豐七年九月十一日。見有十。而已見者俱在

星之南半球。道光二十九年春。導斯初見之。三十年二月十五日。拉斯拉初作圖以解之。

近時導斯見之更明。次第解之。記於天學會之歲冊。此必在包星之氣中。因風而成。如地之貿易風也。而星之轉。其面行速於地。故其風愈有一定。其黑者爲星之體。然不至星之邊。其邊氣愈厚故也。

續其白斑或是本處發出之疊雲。如地球空氣中雲柱上之有疊雲也。

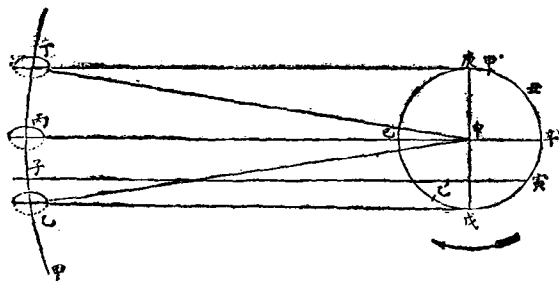
細測之。知木星自轉。依愛力歷恆星時九小時三刻十分二十一秒三。而一周。其軸與帶正交。木星體非正圓而微扁。與地同。用分微尺測得赤道徑與二極徑之比。若一百零六與一百之比。依算理推木星之體質并繞日之時。與測得數合。故知此法可推最遠行星。無不合也。

木星有四月繞之。如地之有一月也。其繞法自西而東亦同。諸月繞木星。與諸行星繞日。理與法俱合。土星實徑約二十二萬五千里。體積大於地球約一千倍。距地遠近適中時。視徑十八秒。其面亦有帶數道。不及木星之清皙。理與木星同。間或見大斑。卽星之體。侯失勒維廉據以測自轉。得十小時一刻一分〇秒四四而一周。土星有八月繞之。最異者。體外有光環分三層。與星同心。而共在一平面內。外環之外徑五十一萬零一百四十四里。視徑四十秒〇九五。內徑四十四萬八千九百九十七里。視徑

三十五秒二八九。內環之外徑四十三萬八千六百三十九里。視徑三十四秒四七五。內徑三十三萬九千三百零七里。視徑二十六秒六六八。環之厚難測。然必不能過七百里。星之赤道徑二十二萬八千九百零五里。視徑十七秒九九一。赤道距內環內周五萬五千二百零二里。視距四秒三三九。兩環之間。五千一百七十九里。視距〇秒四〇八。此二空處。望之若二黑環焉。環之前半對日生影。影在星面。環之後半。有星體之影。故知環爲實體。非虛象也。星面諸帶與環平行。故知星自轉之軸正交環面也。見三版三圖。

續或謂其環非是實體。有理可證。惟無論爲實體爲虛象。地球在便當之時。能見其環影。在土星向日之面。亦見土星影在環向日之面。而在土星之後。曾用遠鏡細測之矣。或意其外環之外邊。略有扁圓之形。又意其二環不在一箇平面內。土星繞日行。其自軸轉與光環。方向不變。故光環面交黃道面之角亦不變。恆爲二十八度十一分。其二面交線與分點線成角一百六十七度三十一分。而光環二交點之經度。一爲一百六十七度三十一分。一爲三百四十七度三十一分。土星至此二點。光環之邊正對日。若適當衝日時。地上視光環如一細長光線。非最精遠鏡不能見。謂之光環隱。土星

約十五年一過交點。過交點時。光環或隱一次。或隱二次。三次。如圖。申爲日。甲丁爲土星道。戊己庚辛爲地道。矢所指爲星地行道方向。丙爲交點。丙申爲交點距日線。作戊乙庚丁。與丙申平行。切地道於庚戊二點。光環之方向恆不變。故土星在乙丁之間。若與地球會於丙申平行線。如子寅戊乙等線。光環必隱。土日距申乙與地日距申戊之比。若九五四與一之比。推得丙申乙角爲六度一分。倍之即乙申丁角。爲十二度二分。即乙丁度。土星過此。約三百五十九日。四六較地繞日一周。僅少五日八。地或在戊己庚。或在庚辛戊。二半周俱可與土星會於丙申平行線。會則光環必隱。設地從庚行五日八至申之時。土星初至乙。則必一會於辛戊象限內。再會於庚點。計其隱有二次。若地在甲辛戊弧內。土星至乙。則必一會於辛戊象限內。再會於戊己庚半周內。三會於庚辛象限內。計其隱有三次。若地在戊乙弧內。土星至乙。則其初地斜



會於戊己庚半周內。三會於庚辛象限內。計其隱有三次。若地在戊乙弧內。土星至乙。則其初地斜

行而遲。星追及地而一會。後地行近正而速。追及星而再會。俱在戊己庚半周內。而星未至丁。地已過庚。又會於庚辛象限內。計其隱亦三次。地在乙時。土星至乙。其初地斜行。星速於地。追及地與會。會後地行漸正。卽速於星而前行。再會於庚辛象限內。計其隱只二次。若地在乙己甲半周內。則僅一會於庚辛戊半周內。而其隱不過一次。光環向日之面明。背日之面暗。若丙爲光環之正交點。圖之面爲黃道北。其背爲黃道南。則地會星在辛戊象限內。爲從明至暗。在戊己象限內。地追及星。爲從暗至明。星追及地。爲從明至暗。在己庚象限內。爲從明至暗。在庚辛象限內。爲從暗至明。地入暗面時望星。見面上有帶數道。而赤道上有細黑線。若星在乙丁弧外。則無此狀。凡土星之日心經度。自一百七十三度三十二分至三百四十一度三十分。見環之北面恆受日光。自三百五十三度三十二分至一百六十一度三十分。見環之南面恆受日光。在七十七度三十一分及二百五十七度三十一分時。見光環之面最廣。其短徑約爲長徑之半。或疑光環如此大。而係實體。何以能懸居空中。而不落於星面。曰。光環亦依本面自轉環上之光有不同處。據以測得歷十小時二刻二分十五秒而一周。準土星攝力推之。如物在環半繞星應得之速。故能懸居空中不落也。

續或言其環如此之薄。若爲實質。恐外邊內邊所加二離心力之較。必將環撕碎。若爲流質。則無此事。或疑環爲氣質。又謂氣與氣質交和。如雲之類也。以分微尺細測。知光環之重心。行於一小圓周。以繞星之重心。非與星共一重心也如此。環之攝力加於星之四面不同。令星恆欲向環之最近點。而最近點繞星而行。頻移其處。故環甚穩。不致搖動。亦不致與星附着也。又環與星繞日。遲速如一。故永不變。若速率微不同。環亦必落於星面也。或言外環之光小於內環。而內環內半之光。亦小於外半。道光三十年十月初八夜。米利堅堪比日星臺官本特。用大赤道儀測之。見內環之半有暗帶界之。其內半較闊。覺別有一環。其闊若五分舊二環和之一。後二十二二十六兩夜。英國根德天文士。導斯用精遠鏡徑六寸者測之。亦見暗帶。更明皙。與本特不謀而合。故定爲三環。暗帶乃新環舊環間之空處也。而新環半亦見有黑線界之。界已內光更小。

道光二十八年閏四月十八日。伯靈星臺官嘉勒。初測見內環之內邊。又加闊。以分微尺測之。約爲星與環間之半。此加闊者。略能透光。故隔此能見星體。嘉勒測得雖在先。而其頒行已在本特與導斯測得之後。又有多人測得。亦謂其能透光。又見光環之面有數黑線。與環間之黑帶平行。屢有屢

無。按此及前說。前條可信。土星之光環爲氣質也。

斯得路佛謂光環之內餘環。昔時未見之者。蓋自海更士初測得光環之後。用分微尺測得光環與星間之漸減小。乃知始有內餘環而漸闊也。然固林爲志星臺官美以納。用分微尺測得者。與該撒議之。知斯氏之意不合也。

人若居土星光環之邊。而觀光環。必如大光弧。橫互天空。而兩端至土星之地平界。甚奇妙也。人若居土星之軸。則見光環之內外邊。必合其赤道之距等圈。而恆掩距等圈間之多星。人若居土星面。使星體能透光。則因視法之理。見光環之內外邊。必成不同心之橢圓。且近邊闊而遠邊狹。其橢圓不合其赤道之距等圈。必向高之一極而徧。以圖明之。於土星面之某點。呻作呻哂。與光環呬呬正交。以呬呬爲其赤道距等圈之徑。以此爲底。旋成正圓錐形呻呻呬。則圓錐形之底爲赤道距等圈。又以呬呬爲光環之徑。以此爲底。成斜圓錐形呻呻呬。則圓錐形之底爲光環。此圈惟在呬點。與前圈相合。其餘則俱在前圈之外。至對面之呬點。而相距最遠如呬呻呬角。卽二尖錐角之較也。環邊之曲線。旣在合點與其赤道距等圈。漸近星之極而漸離。故使人居土星。見諸星與日之出。有時先

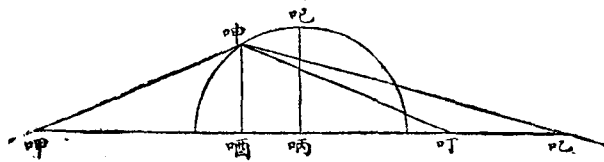
在環下能見。後爲環所掩。後在環上再能見也。土星既有多面久不受太陽之光。且所缺之光。小月所難補。故意其難居生物。然此乃依地球之事論之耳。是否尙未可必信。或地球之人以爲極苦。而在土星實爲最適。亦未可知也。

天王僅見爲一小光面。無環無帶。斑亦難見。實徑若十萬三千里。視徑四秒。此星之道甚大。故視徑之變不甚覺。其體積較地大八十二倍。其月或四或五或六。未測定。月道異於他星。詳後卷。

海王最後測得。其道最近黃道面。不能審視。故其狀不能言。

續昔人疑其有光環。未有確據。惟拉斯拉斯得路佛本特三人。測見有一月。可無疑。

火星外諸小星。俱甚微。不能詳視。武女狀似星氣。想係厚氣星之攝力小。不能令聚也。又惟武女火女。用最精遠鏡。能測其視徑。他俱不能也。設人居諸小星上。能躍高六丈。如在地面躍高三尺也。地上水族之大者。移於諸小星可陸居也。



續近時力佛理亞考知諸小行星體質之和。亦不足計也。欲顯繞日諸星大小及相距之率。當擇一極平地面。置一球徑二尺爲日。距球一百六十四尺。置一芥子爲水星。距球二百八十四尺。置一豌豆爲金星。距球四百三十尺。又置一豌豆爲地。距球六百五十四尺。置一菘豆爲火星。距球一千尺至一千二百尺。置五十餘沙粒爲穀女等諸小星。距球一里餘置一橘爲木星。距球二里半置一小橘爲土星。距球四里半置一大櫻桃爲天王。距球七里置一大李爲海王。若作圖於紙。不能得真比例也。

續諸行星可分內外二類。在木星道之內者爲內類。如水星金星地球火星與諸小行星是也。在木星道之外者爲外類。如木星土星天王海王是也。諸小行星亦可另爲一類。其體之小於內星。比如內星之小於外星比。又諸內星自轉其軸。每周之時。皆略二十四小時。外類之木星土星。已知自轉其軸。每周之時。不及此數之半。疑天王海王亦然。諸內星體質之疏密率。與地質略同。諸外星體質之疎密率。僅四分地質之一。木星天王與太陽體質疏密率皆略同。

卷十 諸月

諸行星除水金火及諸小星外。皆有月。少者一。多者至六七。月之繞行星。猶行星之繞日焉。

地有一月。月非繞地。乃地與月共繞。二體之公重心。而公重心行於橢圓道以繞日。故地與月皆行浪紋橢圓道。圖見卷五以繞日。一周約有十三浪。然浪之出入於橢圓甚微。故二道向日之邊恆爲凹也。地月之公重心在地體中。故地心繞公重心之道。小於地球之大圈。然測日之經度。有微差。名曰月差。亦視差理也。月差之最大。不能至八秒六。八秒六者。日之地平視差也。

水星距日最近。爲八十四日半徑。天王距日至二千零二十六日半徑。而月距地心只六十地半徑。月地如此相近。故月恆隨地。若相距甚遠。則月地必相離。各獨行繞日。而因道之大小。令周時不同。當如刻白爾所定之例也。雖地有攝月之力。然甚小。月不能因之生遞遲遞速之率。惟在本道生不平動。所謂攝動也。詳後卷

月地雖甚近。然月受地之攝力。小於受日之攝力。若欲推其比例。法以地球繞日與月繞地二道之大小。用相等時分。推地月所過弧分之二矢。卽日攝力引地。地攝力引月。令向心之數。依法推得二矢之比。若二·二三三與一之比。卽月受日地二攝力之比例也。又攝力近則大而遠則小。其大小之比。若

相距平方之反比。而日地距大於地月距約四百倍。以四百自乘。得十六萬。以乘二·二三三。得三十五萬七千二百八十。是日與地二攝力之比。略若三十五萬七千與一之比。故地質僅爲日質三十五萬七千分之一。凡行星帶月者。已測得行星繞日月繞行星。二道之大小。及二周時。即可推行星之質積若干也。卷十以日地兩心距條

木星有四月。土星有八月。天王已測得四月。或云六月。海王已測得一月。疑不止一月。此諸月之於各本星。猶諸行星之於日。其攝力及動法。皆與刻白爾所定之例合。細測之。尙微有不合處。乃諸月互相攝動。又本星非正球。攝力時有微變。故生爲小差也。諸月繞本星之道。非平圓。實微橢。本星居其一心。同星之諸月。其各周時平方之比。若各道半長徑立方之比。周時及半長徑之數。見末卷附表中。

帶月諸行星中。惟木星歷代曾經細測。蓋其四月甚明了。用最精遠鏡。能測其月之視徑。又月食多而易測。可準之定地面經度。詳卷四木星月蝕條前代測地球之月。未能如今時密合。故恆測木星月食。以定各地經度。及時差。

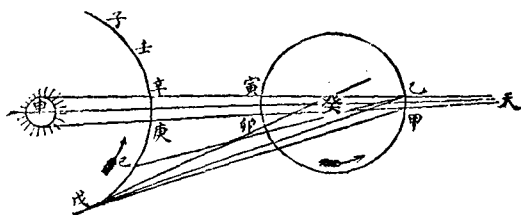
木星諸月繞本星。亦自西至東。各道之面略近本星之赤道。與星面諸帶略平行。考木星赤道面與星

道面之交角。爲三度五分三十秒。二面甚相近。故地上望諸月之道。俱略於直線。而諸月有時過星面。有時過星背。爲星所掩。有時入星影。光爲所奪。卽月食也。造諸月表甚精密。各處測其月食之時。可定本地面經度也。

木星月食。大略與地球之月食同。但木星距日較地甚遠。星體較地甚大。故其闕虛較地。更長且廣。凡日月食條又星與諸月大小之比例。較地球與月大小之比例甚大。而諸月道與星道之交角。俱甚小。又諸月道徑與木星徑之比例。視地之月道徑與地徑之比例較小。故四月中有三月。每周必過闕虛。必食既餘。一月。其道交星道之角略大。則非每周食既。時或切闕虛邊而過。見微食。然亦食既時爲多也。地球之月食。人在月道之中望之。木星之月食。人在月道之外望之。視線與其闕虛之方向。交角時時不同。準此。見食之方向。及月與本星之視方位。不能一定。而食時不變。如圖申爲日。戊爲地。戊己庚子爲地道。癸爲木星。甲乙寅卯爲星之月道。闕虛之尖在天空中。如天距諸月之道甚遠。因日距木星甚遠故也。木星見日之視徑甚小。約六分。故當諸月之道。其外虛甚微。可不著於圖。月自西至東。其方向如矢。行至甲入闕。虛必見食。自初虧至食既。月行之弧。必如木星心所見月之視徑分秒。自生光至復

圓亦然。然遠鏡及目不能無小差。則初虧食既生光至圓之時刻。不能密合無訛。故但測星之隱見二時。相較折半。得食甚時用之。此時月在申癸天線內。即木星見月衝日時也。測此時。可定地面經度。有二食中間之積時。即其月之太陽陽時。而月之恆星。周時亦可推。詳卷七從前朔至後朔爲一月條。

觀此圖。知地在申癸線之西。則見月食必在木星之西。其時在木星衝日前。地在中癸線之東。則反是。地漸近申癸線。則視線與闔虛之方向漸相近。見月食處。必漸近木星之體。自乙作線。切木星而過。至地道己點。設地在己。則月出闔虛。在木星背。不能見。自己至木星衝日皆然。又自甲作線。切星至地道壬點。地自木星衝日至壬。則月入闔虛在木星背。不能見。地在庚。則月入闔虛在星邊。地在辛。則月出闔虛在星邊。地在庚辛間。則月出入闔虛。俱在星背而俱不能見。若月至寅點。其影必入星面。望之若黑斑。月自寅至卯。見黑斑過星面。月離卯。見黑斑出星面。又從戊作二線。切木星之二邊。地在戊。月至二切線之間。則見月體過星面。故木星衝日前月過星面。必影



木 星 諸 月 表

體 積	實 徑	木 星 之 中 視 徑	地 之 中 視 徑	
	里	分 秒	秒	
一〇〇〇〇〇〇〇	二六六一五〇		三九.九一	星木
.〇〇〇〇一七三	七二五二	三三一	一.一〇五	月一
.〇〇〇〇二三二	五九七九	一七三五	.九一一	月二
.〇〇〇〇八八五	九七六五	一八	一.四八八	月三
.〇〇〇〇四二七	八〇六八	八四六	一.二七三	月四

先於體。衝日後反是。諸月體過星面時。用最精遠鏡測之。有時若光斑在黑帶上。有時若黑斑小於影。理當大於影。今反小。意非月之全面。必面上或包月氣中之大黑斑也。諸月之表列於左。

觀此表。知木星上視第一月。如我地球上視我月。視第二第三月。大小略等。其視徑若第一月視徑之大半。第四月之視徑。若四分第一月視徑之一。諸月必恆相食。亦令日食。然木星上見食之處不多也。

地上見諸月過木星背。則月為星掩。月過木星視徑分秒之時。即掩時。月行有遲速故掩時不同。第一月二小時一刻五分。第二月二小時三刻十一分。第三月三小時二刻十三分。第四月四小時三刻十一分。地距木星較諸月甚遠。故雖有軌道差。而

掩時略同。推諸月所見木星之視徑。第一月十九度四十九分。第二月十二度二十五分。第三月七度四十七分。第四月四度二十五分。木星衝日前。月之掩在食後。衝日後。月之掩在食前。第一第二月最近木星。故掩食出入星及出入闕虛。不能全見。在衝日前。入星在食時。出闕虛在掩時。在衝日後。出星在食時。入闕虛在掩時。俱不能見也。觀前圖自明。地在庚辛弧。居日與木星之間。則掩之出入俱能見之。而食不能見。木星之第一第二第三月。平速之率最奇。假如同時中。第一月平速度內加兩箇第三月平速度。等於三箇第二月平速度。故第一月之平經度內。加兩箇第三月之平經度。減三箇第二月之平經度。恆得一百八十度。故知兩月所在度。餘一月之度亦可知。準此。三月不能同時食。蓋第二第三月同經度。則第一月相去必半周。故第一月食。則第二第三月必合日也。反之亦然。此事或以攝力相聯之理釋之。

木星諸月雖不能同食。然四月同時中。或食或掩或過星面。則未嘗無也。此時必四月俱不見。蓋月在星面。非最精遠鏡。不能測見也。此事康熙二十年十月初三日。摩利牛始記於測簿。嘉慶七年四月二十三日。侯失勒維廉又記之。其後瓦麗士記道光六年三月初九日。歷二小時不見。又道光二十三年

八月初五日。葛列斯巴記之。

昔人測木星之月。因悟光行之理。爲格致學中最大事。蓋地道在木星道之內。見前圖中而二道同心。故星

地距恆不同。最大爲二道半徑和。最小爲二道半徑較大小之較。爲地道全徑。康熙十四年。噶國天文

士勒墨爾。取歷年木星諸月食測簿。較勘之。覺木星近衝日。測得時必略早於推得時。近合日。測得時

必略遲於推得時。詳考諸時差。及諸遠近差。與最大時差一刻一分二十六秒六。及最大遠近差地道

全徑。比例皆同。因悟光自遠而近。行若干路。必歷若干時。徧推之。悉合。每歷時一秒。光行五十五萬五

千里。人初疑速率太大。不甚信。其欲求其證。後以白拉里所得光行差理證之。五卷光行差條則光行差所得

光行速率。與木星月食所得光行速率。其較不及八十分之一。後細測之。恐適相等也。

木星諸月道之兩心差俱甚小。其內二道不甚覺。難測也。其相攝動生小差。與諸行星無異。拉白拉瑟

諸天學家已細測詳推之。又屢測。覺諸月之光。準與星之方向而變。其變有定處。且有定時。意諸月必

自轉。其自轉一周。與繞木星一周之時等。與我月同例。

土星之諸月距地更遠。較木星更難測。故不能詳細。如木星諸月。距土星最遠之月。其道與光環面之

交角最大。爲十二度十四分。其距土星之心六十四倍地星半徑。餘月之道。俱略與光環面平行。其距星最遠者。僅得此月距三分之一。惟我地之月。距地六十地半徑。差堪與比。他星之月。俱不能及也。康熙十年。葛西尼伯測初得此月。然在土星東半道。幾不能見。今用星精遠鏡。始見全周。但在東半道。光變小難測。因思此月必自轉。其一周與繞土星一周之時等。與今月同。想諸星之各月。皆同此例也。自外至內舊時所謂之第二月爲順治十二年二月二十八日。海更士所測得。乃土星諸月之最大而明者。其實體略與水星等。第三第四第五月俱甚小。非精遠鏡不能見。葛西尼。

於康熙十一年及二十三年中測得之。第六第七月。侯失勒維廉於乾隆五十四年測得之。此二月甚近光環外周。於清朗夜用最精遠鏡。方能測之。見光環如線時。二月若珠附於線而行。久而各離線端。既而各退行。過線端而爲星所掩。

繼道光二十八年八月二十一日之夜。導斯拉斯拉二人。在拉斯拉之星臺。測得第八月在第一第二月之間。暗而難見。本特在堪比日星臺。同時亦測見之。

土星之光環及諸月道。與星道交角大。故月食過面諸事。惟內二月爲多。外諸月非近光環如線時。不

能有也。且測其食甚難。故非若木星之月。可用以定地面之經度也。

天文家定土星諸月之次不一。或以最近土星之月爲七。其次爲六。其次至最遠爲一二三四五。或自一至七。俱自內至外順數。因各家之次不同。恐易淆亂。故今以古神之名名之。自內至外。一密麻。二安起拉。三特堤。四弟渥泥。五利亞。六低單。七雅比都。特堤之周時。倍於密麻之周時。弟渥泥之周時。倍於安起拉之周時。雖有微不合。不能過八百分大周時之一。

天王諸月。非最大力遠鏡。不能測之。已確知者。有四月。以古仙之名。名之曰阿白倫。曰底且雅。曰翁白利。曰亞利。而阿白倫底且雅皆是侯失勒維廉在乾隆五十二年所測見。以十八寸回光遠鏡測之。所見略明。約翰亦見之。其後拉斯拉。斯得路佛。拉門。三人又見之。翁白利甚暗。恐亦是侯失勒維廉始測見。而以爲內月。但見時不多。亦不甚詳。未能定知是月與否。後斯得路佛於道光二十七年九月初一日亦測見之。更後拉斯拉亦測見數次。亞利而是拉斯拉於道光二十七年八月初六日所測得。又在里味不星臺及咸豐二三年間在馬達島用分微尺詳測此四月。在測天之事。此爲甚要。此四月之周時與距數。見附表。侯失勒維廉疑阿白倫與底且雅之間。或再有三月。而未之見。恐竟無之也。

天王諸月。大異於他星之月。其道面與星道交角。最大者至七十八度五十八分。其繞本星皆自東而西。非自西而東。其道俱略近平圓。其交點不見。或移。測本星繞日。至今已半周。月道之交角未見有變地。與其月道面相近。視月道如直線。或如長橢圓時。月之光爲本星光所奪。未切本星。已隱不見。故用今之最大力遠鏡。尙未能測其食與掩也。

海王之月較天王更遠。更難測。惟拉斯拉於道光二十七年五月二十六夜測得一月。可無疑。蓋是年歐羅巴米利堅諸疇人俱覆測相合也。斯得路佛於八月初五日至十一月十三日測得其道。與本星道交角三十五度。其繞星或左旋或右旋。尙未知。須後人測定之。拉斯拉於道光三十年七月初七日。又測得第二月。

談天

卷十一 彗星

古人以彗星之行。速率甚大而無法。恆隱而忽見。光或甚巨。異于常星。故恆目爲災異。人皆畏之。雖智者不免焉。今始知其行與繞日諸星同理。未嘗無法。然其狀及功用。亦未能深悉。又有難解者數事。如尾其一也。凡此俱俟後賢深考之。

彗之見于史者。多至數百次。意古時未有遠鏡。所見者彗之大者耳。近代遠鏡日精。大率每年必見一二彗。甚或二彗三彗並見于一時。故知彗之數必多至數千。有彗晝在地平上。則不能見。惟日食既方見之。漢宣帝元康四年日食。見大彗在日旁。事載賽乃加所著書。又有數彗光最大。正午亦能見。載于史者。明建文五年嘉靖十一年。近道光二十三年。諸彗皆是也。而前古漢初元五年。羅馬國主該撒亞古士督新嗣位。大會臣民。陳百戲。賽祀鬼神。彗忽晝見。時前主該撒儒略死未逾時。國人皆謂彗卽儒

略之神也。至作詩歌詠其事。

凡彗之頭。大率爲大光體。其狀不一定。中心一點最明。如一行星。或如一恆星。背日之面。發長光二道。近頭合爲一。或不合漸遠頭漸散。其本末略似流星後之光。或似火箭後之光。是謂尾。亞利斯多託周威烈王五年之彗。尾長六十度。而近代萬歷四十六年之彗。尾長一百零四度。康熙十九年之彗。尾長七十度。或云九十度。乾隆三十四年之彗。尾長九十七度。道光二十三年之彗。尾長六十五度。二圖乃嘉慶二十四年之彗也。此彗不甚大。然不難目見之。

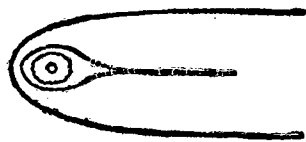
彗非恆有尾。有光甚明而尾短不顯者。有體甚大而絕無尾者。萬歷十三年。乾隆二十八年。二次所見彗是也。葛西尼言康熙三年二十一年二次之彗爲正圓形。甚清皙。若木星然。彗或有數尾者。乾隆九年之彗有六尾。如摺扇狀。長三十度。道光三年見一小彗二尾。其交角約一百六十度。一尾背日。光更明。一尾幾向日。稍淡。凡彗之尾恆微曲向後。若有力撓之。

凡小彗非遠鏡不能見者甚多。或無尾。望之若正圓或橢圓之星氣。漸近中心漸厚。疑無實體。女士密哲勒于道光二十七年八月二十七日。用一百倍力之遠鏡。測一彗正過五等恆星。不能言其質何邊。

爲厚。此恆星地面霧氣高十餘尺。尙能掩之。而隔彗望之甚明。此彗非實體之證。彗雖大。不見有朔弦望之象。然借日光而明。無可疑者。蓋彗乃薄氣積成。能透日光。故內外通明也。竊意彗體甚小。而包體之氣甚大。體與氣俱受日光而明。則上三事俱非難解矣。譬如日落時。天半之霞。通體光明。以彗之薄比之。此霞猶是實體也。故以目視彗。疑爲實體。用遠鏡察之。知非實體。或中心有一點更明者。意是實體耳。此實體甚小。其攝力不能收束所包之氣。故氣漲。甚大甚薄也。假如地球之質積變小。僅賸千分之一。則攝外氣之力亦變小。僅得千分之一。其氣必漲大。多一千倍。或不止一千倍。蓋氣距中心愈遠。攝力愈小。故也。然氣雖大。必仍包其中體。此理僅能解彗氣之薄。至其尾常別有理也。

彗之頭。其外體或似煙。或似霧。或似雲。可以上條理解之。尾之本包頭。而與頭不相連。望之若雲二層。中有空處。其狀如水漚。其曲勢合拋物線。頭在內。近漚之頂。如圖。此可明尾分爲二之故。人于地斜望其漚。故愈近邊光愈深。

彗之行。一若無法。有數日內連次見者。有歷數月見者。有行甚緩。有行甚速。亦有于本



道之二處。一甚緩。一甚速者。明成化八年之彗。其最速時一日中過四十度。有順有逆有曲折。又諸彗之道。徧天空皆有之。不似諸行星道。俱近黃道一帶也。有初見光甚淡而小。行甚緩。尾甚微。既而漸速。光漸明大。尾出漸大。甚長且甚明。至近日而隱復見出對邊。大率過卑點後光最大。尾亦最長。故疑彗之尾生于日光也。又過卑點後。其行先速後遲。久之尾漸短。光亦漸淡而小。以至不見。

若不知攝力之理。則彗之行。無法能解之。奈端已考明繞日諸體。皆依圓錐諸曲線而行。因悟彗星道亦必依此理。康熙十九年之彗尾長。且近日。用以驗其理最便。因測之。果合。其道爲橢圓而極長。與拋物線幾無別。日居其一心。彗之行道。所過面積。與時有比例。與行星無異。此後人皆信之。無復疑者。

凡有彗星見。大率三次測其赤道經緯度。以推其橢圓道或拋物道之大小及方向。即可定其諸根數。曰最卑點之經度。曰正交點之經度。曰與黃道交角度。曰半長徑。曰兩心差。曰過最卑之時。及繞日順逆行。大略皆與行星同。諸根既定。即可依法推其全道。詳卷九再論從地心之視方位條而更測驗以考其合否。考驗

之法。此爲最嚴。

拋物線爲圓錐上橢圓與雙曲線二線分界處之一線。即長徑大至無窮之橢圓。彗所行橢圓道大率

極長。故見時其所行道依拋物線推之。不覺其不合。然彗有再見者。若其道爲拋物線。則已過最卑後。不能復回。而或入于恆星中。或滅于天空。安能再見耶。今測得彗星行橢圓道者居多。此等彗若不因行星攝動。令道大變。必永爲太陽之屬星。或疑有彗行雙線道者。但未有二人詳推其道而得實證。彗星道之根數已知。則無論何時。距地球數及尾之實方向亦可知。故其頭之實徑。尾之實長實廣。俱不難推。今取已推得者。錄數則于此。以廣見聞。康熙十九年之彗。過最卑點後僅二日。奈端測其尾。已長一億七千萬里。推其最長時。必至三億六千萬里。乾隆三十四年之彗。其尾長一億四千萬里。嘉慶十六年之彗。其尾長三億一千萬里。其頭在透光氣中。了了可見。與尾不連。實徑一百六十萬里。其質漲大至此。以意度之。必不能復斂。其中心質積微。攝力甚小故也。凡彗數次復見。其尾漸小。或亦因此也。

康熙二十一年有彗見。尾長三十度。好里測其過最卑。得諸根數。與嘉靖十年萬曆三十五年二次之彗。根數略同。意必一彗也。其再見約計七十五或七十六年。因言乾隆二十四年必再見。及期將至。天學家俱欲驗其言。或恐因大行星攝動。必生差。格來羅依奈端攝力之理。推得因土星攝動。當退後一

百日。因木星攝動。當退後五百十八日。并之。得六百十八日。乃依根數預推其時。內減此日數。謂見時當在乾隆二十四年清明前後二月之中。既而二月十四日。彗星果見。在清明前二十四日。其後精歷算者。復預推其再見過最卑之時。大慕鎖推得道光十五年九月十四日。邦的古浪推得九月十七日。陸孫白推得九月二十一日。立曼推得十月初七日。而陸孫白立曼二家。細考康熙二十一年乾隆二十四年測簿。又細推諸行星之攝動。故人更信之。六月三十日。立曼以所推刊板傳送。閏六月十一日。羅馬天氣清明。最先見之。若淡星氣然。與陸孫白所推是日當在之處。不差一度。二十六日。人共見之。所過之道路與所推合。九月二十六日。過最卑。後其行向南。北半球不能見。十六年正月。至三月。俱見于南半球。至三月二十日而隱。此彗因好里所測定。卽名好里彗云。

好里彗道光間見時。遠鏡較乾隆時力更大。而統地球皆測之。故考察最詳。初見時距日甚遠。僅若小圓星氣。微橢。無尾。有一點較明。不在中心。八月十一日。尾初發。逐日漸大。至十四日。長四五度。二十四日。至二十度。爲最長。既而漸小。至九月初八日。僅長三度。十五日。二度半。意未至最卑點。其尾已隱。過最卑點日。俄羅斯之波羅略有人測之。不言有尾也。當八月十一日尾初發時。其中體忽明。向日之面

發光一道。未幾即隱。既而復發。至十七日其勢更猛。既而時隱時發。以至不見。其光之狀及方向變化不定。連二夜無時或同。有時爲一道。距中體不遠。有時爲扇形。有時或二道。或三道。或多道。發于各方向。如六板一圖甲爲八月十七。乙爲十八。丙爲十九。丁爲二十一。四夜內中體發光之狀也。向上卽向日之面。因頭太大。不能作。戊圖亦十八夜之狀。兼中體與頭作之。乃縮本也。此時見光道擺動于向日線之左右。一若指南針擺動于午線之左右。其光之本甚明。距中體稍遠卽暗。散入空中而不見。其形曲向後。若煙或水氣出小孔。遇風不能當之狀。天學家據此立彗星例若干條如左。

一、凡彗之中體。受日之熱必發氣。其氣于彗體包力小處洩出。條條直射。意此氣洩時。必有令彗倒退力。而彗行之方向。必因之微變。

一、中體發氣。必在向日之面。故洩出之方向恆對日。

一、氣洩出。日有力推之。令退至中體之後。行甚遠。而成尾之質。

一、彗之質。有不變氣者。有變氣而包中體。以成頭及鬚者。

一、日推氣成尾之力。與攝力異。而較攝力更大。何則此氣洩時。有中體漲力。又有彗之本行力。而退後

甚速。故知推力甚大。蓋推力能銷盡此二力。尙有餘力。推氣令急向後也。

一、若彗之攝力。不大于一切萬物之攝力。尾必離彗而去。竊意尾離彗中體如是之遠。中體如是之小。其攝力必不能攝定之。然則彗每近日一次。必稍減體中成尾之質。久之。能令洩出之氣漸少。而其狀漸似行星。

一、續彗尾發至甚遠。意必散于天空。而不能回聚至中體。故每過最卑點一次。必稍減中體成尾之質。因成尾之質。不受日之攝力。而受日之推力。則減餘之質。受日之攝力必益大。與體質之多少爲反比。行道爲橢圓。每過最卑點一次。其周時必減小于前一次之周時。至受日推力之質盡去而止。

好里彗過最卑後二月不見。至十二月初八夜始復見。其狀大異于前。尾已無。以目望之。大如四五等星。而薄若星氣。用大力遠鏡窺之。爲小光面。徑二分強。外有氣包之。鬚甚多。其面內近心處。有中體。略明。背日發一短光線。如六版一圖中之己。彗離日稍遠。鬚速滅。若面食之。而其面驟變大。初九及十六二日。依彗距地。以分微尺測而推之。其光面變大之比。若一與四十比。從此漸大漸薄。以至不見。其不見由于無光可測。非關遠也。變大時。其面背日之半。略變長。其全形作拋物線狀。如六版一圖中之庚。

向日之半。恆有明皙之界。而底變淡難辨。意此時若光未滅。亦能見其發尾。但其面漸大漸暗。故惟見其後。有若尾之根者。目與小力遠鏡。俱能察之。而彗已極遠。數夜遂不見。拋物包漸大漸暗時。其中體無大變。但所發之光線。漸變長而明。其方向合拋物體之軸。亦不似前向日發光時變化無定也。竊意若前日之向日發光。爲養尾之用。則今日之背日發光。必爲收尾之用。久之。此光亦漸變暗。又末一夜所見之狀。如始一夜所見之狀。一若小圓星氣。近中心有光點也。

彗之見于史者。中有若干次。或疑卽一彗。一爲康熙十九年之彗。推得其周時爲五百七十五年。其前一次。北宋崇寧五年正月。時君士但丁及猶太亦見之。故中西史中俱載焉。又前一次。陳太建七年四月。史載正午見彗。近日。又前一次。前漢初元五年。彗晝見。意卽一彗也。又前有二次。一載古希臘書。一載和馬詩。此時之歷不甚明。今推之。一當在周頃王元年。一當在殷時也。英士韋思敦。謂此彗昔行近地時。成挪亞之洪水云。

續此類之彗。所見者罕。前所記者。可爲典要。因格細辨所記康熙十九年彗星之理。其內有諸行星攝動之力。依所推得者。言其周時。既爲五百七十五年。則無有橢圓道能合之。故憶度其周時。當爲八

千八百十四年也。另有所記北宋崇寧五年之彗。與康熙十九年之彗。不能合一道。故以此二彗爲一彗。必不能也。

一爲明嘉靖三十五年之彗。甚大。近或推得。約于咸豐十年當復見。而至今未見也。此彗或疑卽南宋景定五年七月之彗。欣特會取當時測簿細推之。根數悉合。無可疑也。又宋開寶八年六月之彗。其光日出後尙能見。尾長四十度。又晉太元二十年所見。漢永元十六年所見。恐皆卽此彗。其周時約二百九十二年弱。又順治十八年。明嘉靖十一年。建文五年。南宋紹興十五年。唐大順二年四月。蜀漢延熙六年。俱有大彗。或云是一彗。其周時一百二十九年。果爾。則乾隆五十四五十五年之間。當再見。而竟不見。意其過最卑。或在夏至後一月。則以其道之方向推之。法當恆隱也。嘉靖十一年順治十八年二次測簿。墨商曾細推之。謂根數不同。恐非一彗。阿爾白士覆推。所得嘉靖年根數。與墨商大異。而順治年根數。與墨商合。故此一彗。尙未能定。

彗之周時有甚小者。一曰因格彗。初推得其根而預定其再見時者。爲白靈之因格。卽以人之名名之也。亦行橢圓道。兩心差甚大。其道與黃道交角約十三度二十二分。其周時爲一千二百一十一日。嘉慶

二十四年用四次測簿參考得之。因格推得其橢圓道謂道光二年當復見。至期果見。龍格于新南維立斯巴拉馬大測之。時歐羅巴州不見此後天下星臺皆預推而測之。以因格彗逐次過最卑之時。細考之。除諸行星之攝動外。尙有差覺。其周漸小。每周減一百分之十一。如此。距日之中數及長徑。亦必略變小。因格言此必天空中有薄氣阻其行。令速率變小。故離心力亦變小。而日之攝力。拉之令近也。此說若確。則彗之體若非自消盡。久之必與日相併。惟因其體質之輕。故無所不可依前言。本卷彗星例條能有別理解說之。彗體可不必滅也。又測因格彗之體積。漸近日漸小。漸遠日漸大。與好里彗同。乏勒思謂徧天空有薄氣。漸近日漸厚。故擠彗之體。令變小也。果爾。則將謂彗體之外如一片。令內氣與天空氣不通耶。恐未必然。竊意因距日遠近。冷熱不同。令彗之體或變爲雲。或變爲不能見之薄氣。故覺有大小耳。善闡案。此恐乏氏之說不誤。此彗無尾。有小中體。不在中心。恆偏于向日之一邊。其形狀未能測定。一曰比乙拉彗。乃道光六年比乙拉在奧地利所測得者。意即乾隆三十七年及嘉慶十年之彗也。所行道甚橢。其周時爲二千四百十日。其道與黃道交角十二度三十四分。道光十二年二十六年咸豐二年俱爲再見之期。其交點最近地道。道光十二年。設地行速一月。必遇彗于交點。恐亦一大危事也。比乙

拉彗甚小。最明時尙不能以目見。而道光二十五年。乃獨顯一大異事。忽分爲二彗。並行七十度。遠鏡能合觀之。十一月二十一日。初覺有異。望之如一梨。至十二月十六日。米利堅華盛頓初見。分爲二。十八日。統歐羅巴州皆見。爲雙彗。初分時。見小彗之中體。距本中體之心二分。其距心線之方向。與經圈交角約三百二十八度。小彗在本彗之北。從此漸分爲二。至二十六年正月初四日。小彗距本彗心三分。十二日。距心四分。十八日。距心五分。二月初八日。距心九分十九秒。而距心線之方向。略不變。其分後。二彗各有變狀。且各有中體及短尾。尾之方向。與距心線略近正交。十二月十六日。新彗較舊彗小而暗。其後大小明暗互相消長。正月十四日。新彗爲月所奪。而舊彗仍見。十五日。二彗大小明暗略同。十九至二十一日。新彗明于舊彗。中體清皙若恆星。二十三日。舊彗倍明于新彗。中體最明。若恆星。從此新彗漸暗。直至二月十八日後。二彗並見。至二月二十七日。而僅見一彗。至三月二十七日。而俱隱。二彗互爲明暗時。新彗于尾之外。另發光一條。作弧形。與舊彗相聯。若橋然。舊彗復明時。亦另發光一條。故正月二十七二十八二夜。視舊彗若有三小尾。其一聯于新彗。三尾之角約一百二十度。時瑞士日內瓦星臺官拔蘭大木。詳考測簿。分推得二彗之根數。謂正月十五夜至二月二十五夜。所見

二體相距之大小。乃視距非真距也。準地距二彗線。及此距線與二彗聯線之交角。推其真距約三十九倍地半徑。幾及月地距三分之二。彗之質甚微。相距如是遠。其相與之攝動必幾若無。

續此事甚奇也。因其根數。知此雙彗。在咸豐二年。必復見。測天家咸詳測之。至六七月間。英國堪比日星臺查里司。羅馬之色幾與斯得路佛三人。皆測此二彗。其方向相與之勢相同。所以當時見太陽。又加一屬星也。見六版第二圖參弟尼以根數推之。言其二彗當于同治四年十二月十一日與十三日。各復過最卑點。然而諸測天家雖勤測之。皆未見之也。

又有一彗。道光二十三年十月初一日。巴黎斯飛測得之。其道爲橢圓。呢谷來推其根數。力佛理亞復改正之。其周時爲二千七百十七日六八。兩心差爲 $\bigcirc \cdot 55596$ 。其道與黃道交角十一度二十二分三十一秒。依諸根及諸行星攝動力。推得再見過最卑。約在咸豐元年三月初二日。其後于道光三十年十一月二十三夜。查里斯測見之。斯得路佛亦測之。至明年二月初三日而隱。在三十日過最卑點。與推得之數略合。咸豐八年復過最卑。

諸彗之道。俱爲極長橢圓。與黃道交角又大小不一。則其出入諸行星道。必有時與星最近。甚者或相

遇。如比乙拉彗道與地道甚近。恐數百萬年後。與地球必有相遇之時。又乾隆三十五年之彗。閏五月初八日。距地最近時。約七倍月地距。又三十二年。此彗與木星最近時。爲五十八分。木星道半徑之一。或謂此時爲木星所攝動。而其道愈近地。勒石力推此彗之兩心差爲 $\bigcirc \cdot 七八五八$ 。其周時約五年半。其道與黃道交角一度三十四分。乾隆三十五年六月二十二日。過最卑。四十一年復過最卑。近日不能見。四十四年七月十一日。距木星最近。爲四百九十一分。木星道半徑之一。卽木星第四月道半徑五分之四。此時受木星攝動更大。其道大變。測算諸根。與勒石力前所推大異。而木星及諸月。不見有攝動。故知彗體之質甚微也。

道光二十四年七月初九日。羅馬星臺官迪未谷測得一彗。知其道爲橢圓。與拋物線大不合。自二十日過最卑。直至十月二十八日。每夜俱可測之。各家推其根數。大略相同。其周時約一千九百九十日。若無攝動。再過最卑。當在道光二十九年十二月。此時彗恆近日。不能見。凡小彗。測其體恆不清。故最難推。今以諸家所推根數列爲表。令讀者知測算之精密也。推者六家曰呢谷來。曰欣特。曰哥勒。斯迷。曰飛。曰書。曰白。曰白倫諾。此彗最明時。目亦能見。有小尾。力佛理亞細推。謂與康熙十七年所見同一彗。而樂竭與毛費二人。謂與萬

歷十三年第谷所測者同一彗。又乾隆八年三十一年嘉慶二十四年三次所見恐俱即此彗也。凡中
 以地道半徑爲一兩。
 心差以半長徑爲一。

道光二十四年七月各家所推迪末谷彗諸根數表

	過最卑時	最卑黃經度	正交黃經度	交黃道角	半長徑	兩心差	周日
尼	三·三九四六	三三三三	五·五六三	四九	二五	四五·八	三·〇九三
欣	三·三六六	三三三三	四·一六三	二五	二七·一	三·〇八二	〇·六一五六
哥	三·三七六四	三三三三	四·九六三	五·二	二五	一九	三·二二二
飛	三·三二九九	三三三三	一五·五六三	四九	三·〇六	三·〇九三	〇·六七六
書	三·三六七三	三三三三	三·五六三	四八	二五	五·八	三·〇三三
白	三·三二七美	三三三三	四·九六三	四	〇·一	二五	五·三
							三·〇九五
							〇·六二八
							一九六

道光二十六年二月初一日。勃陸孫測得一彗。言其道非拋物線。今以諸家推得橢圓諸根數。列爲表。
 推者四家。曰白倫諾。曰欣特。曰威令根。曰特漢。此彗甚暗。形狀無大異。其根數與嘉靖十一年之彗。大略相近。

道光二十六年各家所推勃陸孫彗諸根數表

特 威 欣 白		月	過最卑時	最卑黃經度	正交黃經度	交黃道度	半長徑	兩心差	周日
一	二	日	度	分	度	分	度	分	
一三〇·八四六一	一一一·五五六一	二	二六	二二	一〇三	三三	一〇三	三三	二·八七五三
			二六	二二	一〇三	三三	一〇三	三三	七·七三三
			二六	二二	一〇三	三三	一〇三	三三	一〇六
			二六	二二	一〇三	三三	一〇三	三三	一〇六
			二六	二二	一〇三	三三	一〇三	三三	一〇六
			二六	二二	一〇三	三三	一〇三	三三	一〇六
			二六	二二	一〇三	三三	一〇三	三三	一〇六
			二六	二二	一〇三	三三	一〇三	三三	一〇六
			二六	二二	一〇三	三三	一〇三	三三	一〇六
			二六	二二	一〇三	三三	一〇三	三三	一〇六

道光二十六年閏五月初三夜。彼得測得一彗。達喉詳推其根數。得周時五千八百零四日三。兩心差卑。○·七五六七二半長徑六·三二〇六六。交黃道角三十一度二分十四秒。是年五月初八日過最卑。

道光二十三年。有大彗見。未過最卑時。統地球俱不見。正月二十九日過最卑。二月初一日始見于萬地曼蘭。初三日。北半球熱帶內初見其尾。而赤道南日落後。見其頭。在西地平上用遠鏡察之。其面若行星。尾分爲二。交角甚小。有黑氣一道隔之。長約二十五度。尾根有光。射出與尾同方向。其北又發光一道。引長其尾。與尾交角五六度。其長距頭六十五度。其南亦有光一道。但暗于北者。中體甚明。若一

二等恆星。至十一日。若三等恆星。光驟暗。十九日。目不能見。而尾仍極明。愈遠中體愈明。若以目視。不能見其與頭連。初三日後。尾成一長光帶。覺微彎。十一日。加爾各搭革勒里休測見尾之南。又發一尾。與本尾交角十八度。而長幾倍本尾。約一百度。前後日俱不見。于一日中發之。能令如是遠。可想見中體發力之大。若所發爲實質。則其力更強于攝力。此彗過最卑後一日。印度貿易公局有船曰阿文格論頭爾。過好望角。日將落時。共見此彗。狀若小佩刀。是日米利堅波德蘭格拉格。午後三小時六分。用紀限儀測見其中體。距日心僅三度五十分四十三秒。中體與尾俱甚明皙。如月在清天。近頭處色略異。格氏謂中體如此厚。設過日面。亦能見也。又測尾長五十九分。約倍日視徑。此日。彗距地與日略同。推其實長約五百萬里。此爲古今最異之彗。故其根數。歷算家多推之。今擇其尤密者。列爲表。凡最卑距日以

地道半徑爲一。此彗之異者。最卑距日甚近。古今所見之彗。未有若是近日者。試以日地距之中數爲半徑。命爲一。則日半徑爲十六分一秒五之正弦。○·○○四六六。取下表中諸距日之中數。爲○·○○五三四。大于日半徑僅○·○○○六八。約爲七分之一。是彗在最卑時。距日面數。如七分日半徑之一。凡日所發光與熱。距日愈遠則愈分而愈薄。其比例如半天球與日視面之比。地球所見日之視面。其

徑爲三十二分三秒。此彗在最卑時所見日之視面。其徑爲一百二十一度三十二分。準幾何。凡球截面之比。若四分截弧之一之正弦平方比。依法推得地與彗所見日二視面之比。若一與四萬七千零四十二之比。卽地與彗所受日光熱之比。試思若四萬七千零四十二箇太陽。合以照我。其光與熱。當若何耶。巴格所造陽隧。徑二十七寸。聚光點距鏡六尺半。用時光熱盡彙于聚光點。必與見日視徑二十三度二十六分處同。比球所受光熱。大一千九百十五倍。與彗所受光熱比。若二與四十九比。而此鏡已能鎔瑪瑙與水晶。或再用一斂光鏡增其力至七倍。則比地所受光熱爲一萬三千四百零五倍。卽此聚光點之光熱。與彗所受光熱比。若二與七比。然則此彗所受光熱。真不可思議也。此彗在最卑時。其速率一秒中行一千零五十八里。自正交至中交。不過二小時強。在中交距日。倍最卑時。所受光熱少四分之一。按康熙十九年之彗。最卑距日心爲 $\circ\cdot\circ\cdot\circ\cdot\circ\cdot\circ\cdot\circ\cdot\circ\cdot\circ\cdot\circ\cdot\circ\cdot\circ\cdot\circ\cdot\circ\cdot\circ\cdot\circ\cdot\circ\cdot\circ$ 六二。其距日面如三分日半徑之一弱。較此彗一倍強。奈端推其受熱。已多于赤鐵二千倍云。此彗之道雖未能細推。然測知其非拋物線而爲橢圓。康熙七年。里斯本薄羅那及巴西等地。俱見大彗之尾。與此時所見之尾略同。自正月二十一日後。數日間。其方向亦略同。光甚大。照海面生影。其後頭出地平。亦如此彗不甚清皙。當時雖未細測。

但諸事俱相似。人多意其爲一彗。其周時約一百七十五年。後細考舊彗測簿而益信。又考史而知晉泰始四年正月。劉宋元嘉十九年九月。唐貞元七年。宋開寶元年。南宋紹興十三年。元延祐四年。明弘治七年。諸次所見。必皆卽此彗也。蓋準所推。當見于泰始四年。劉宋元嘉二十年。唐武德元年。貞元九年。開寶元年。紹興十三年。延祐五年。弘治六年。與史所見或同年。或先後一二年。因有諸行星攝動。故不能一定也。或疑康熙二十八年十月二十六日。至十一月十一日所見之彗。與此彗同。爾時粗測其方位。冰立取測簿細推其根數。最卑甚近日。又最卑及交點之經度。俱略同。但交黃道角六十九度。大不合。庇爾思復推之。僅三十度四分。則非甚不合。然則一百七十五年中。當見八次。其周時爲二十一年八七五。自道光二十三年正月二十九日上推。見于史者。不獨如上所云。又有雍正十一年。康熙二十八年。明嘉靖三十八年。及十六年。正德十年。成化七年。宣德元年。永樂三年。洪武十六年。元至正二十一年。後至元六年二月。元貞二年。宋咸淳十年。紹定三年。嘉定元年。元符元年。嘉祐元年七月。景祐元年。大中祥符五年。淳化元年。後唐同光三年。唐大中十一年九月。嗣聖元年。梁永壽元年。中大通二年。劉宋永和二年。蜀漢延熙八年。或十年。漢光和三年冬。延熹元年。諸彗疑皆是也。果爾。則同治三年

冬過最卑前後。俱常見于南半球。後格勞孫合各次測簿。統考其根數。謂其周時僅六年三八。或云二十一年八七五。以三分之。當爲七年二九二。方與諸史合。此說恐未必合理。然用如此小周時。其行法尙能合。則二十一年之周時。更可信矣。

諸家所推道光二十三年正月大彗星諸根數表

推步家	過最卑時最卑黃經度				正交黃經度		交黃道角		最卑距日	順逆行		
	日	度	分	秒	度	分	度	分				
因格	三〇・二七四五〇	二七九	二	三〇	四一五	五	三五	一二	三八	〇・〇〇五二二	逆行	
拔蘭大木	三〇・二五二八七	二七八	一八	三	五一	四	三五	八	五六	〇・〇〇五八一	逆行	
腦爾	三〇・二一九九二	二七八	二八	二五	一	四八	三五	三五	二九	〇・〇〇五七九	逆行	
呢谷來	三〇・二五三七七	二七八	三六	三三	一	三七	三五	三六	二九	〇・〇〇五五八	逆行	
彼得	三〇・二三六七三	二七九	五九	一七	三	五五	一七	三五	一五	四二	〇・〇〇四二八	逆行

近代天算家所最究心者莫如彗。推彗之法。日精一日。考諸行星攝動之力。日密一日。徧查古史所記及測簿。以新法盡推其根數。一有彗見。輒用新法考之。三四日後。卽能得其根數之大略。復細測而推

之。遂愈密。人人樂此不疲。略覺有不合拋物線處。則大喜。輒徧查舊彗根數相合否。以證其爲橢圓道。若干年復見也。又悉推諸行星之攝動。以證其見之期。或差而前。或差而後。噠國昔王下令。徧地球能測得一彗者。旌以金牌。由是測彗者益衆。亦益精。而得彗亦益多。每得一彗。卽郵告噠國。噠國卽以金牌郵寄之。而以其測單徧送各國星臺。令詳測之。故彗一出。卽能盡得其根數也。

續測天諸家所得彗星之多者。有木斯得二十九。梅西爾得十四。墨商得十。迪未谷得八。女士侯失勒。加羅林得八。又米利堅女士密哲勒與早堡女士龍格于道光二十七年。異處同時得一彗。而密哲勒稍先。

因測彗。又得旁通諸理。憑周時差。而知徧天空有薄氣。能阻動其一也。又彗近行星時。測其攝動力。可推行星質積多少。如水星之質積古昔未知。道光十八年。有彗近之。始大略能推定。二十八年十二月二十六日。是彗復過水星。較前更近。僅十五倍月地距。而推得其質積益密。

彗之尾若係實質。則當其過最卑時。疾行旋轉而尾不曲。與攝力理不合。與重學中動理亦不合。康熙十九年道光二十三年二次之彗。其尾幾與地道半徑等。旋過最卑皆不壞。而道光之彗。其尾之方向。

旋過一百八十度。僅二小時略強。如是之速。恐未必是實質也。或云彗能于薄氣中作負影。似有理。此須俟後世格致家精思密察。方能定也。

有多彗。測其道似與拋物線合。或謂彗本非日所屬。因入我日屬界。而暫遵日法。此說是否難定。若果爾。則諸橢圓道之彗。昔時必因近行星爲所攝動。而變拋物線爲橢圓也。恐又有彗近行星。或變拋物線爲雙線者。然變爲橢圓。必行無數周。變爲雙線。則永不再見。故測得彗道雙線少而橢圓多也。

諸行星諸月大率皆順行。而彗則有逆行者。嘉慶時所見諸彗之道。拉巴拉瑟推其與黃道交角之中數。略近九十度。則皆可云順行。因交角鈍。似逆行耳。近代彗之橢圓根數。已推定者。凡三十六。其交角道角大小不等。逆行者只有五彗。其二已有確證。一卽好里彗。一乃道光二十三年之大彗也。而交角十七度以內。無一逆行者。此外書瑪鞞與阿爾白士所推得道光三年以前諸彗之根數。其交角小于十度者九彗。逆行者二。小于二十度者二十三彗。逆行者七。凡道近于黃道。而周時有一定者。大率皆順行。與行星同。欣特言周時一定之彗。當分爲二類。一周時約七十五年。略與天王等。好里彗周時七十六年。阿爾白士測得一彗七十四年。迪末谷所測得第四彗七十三年。勃陸孫所測得第三彗七十

五年。共四彗。一周時略如小行星與木星周時之中率。詳末卷附表中。又言小行星中。有一二路如彗之狀。

續凡有定時之彗。其道之長徑略在一方向。向北在天球黃經七十度。北緯三十度。乃近天河內積水星也。其向南亦在天河相對之一點。

近代嘉慶十六年。道光三年。二大彗之外。咸豐八年杜捺底測得第三大彗。自四月二十一日至十二月間。其頭甚明。尾似羽帚。最長至三十度。曲向彗已離之處。似留于後者。其曲非因有所阻也。乃因尾自彗發出。彗向日而行。與其本速率而行之和而然也。米利堅測者。云有長狹而直之淡光線二條。爲羽帚連其頭內外曲線之二切線。用大力遠鏡觀其頭形。繁而奇。咸豐十一年見一大彗。其尾甚長。而一邊直。六月二十三日。地球雖未通過其尾。亦已甚近。同治元年。又見一大彗。其頭結成定質。噴氣之光。獨有一條。

卷十二 攝動

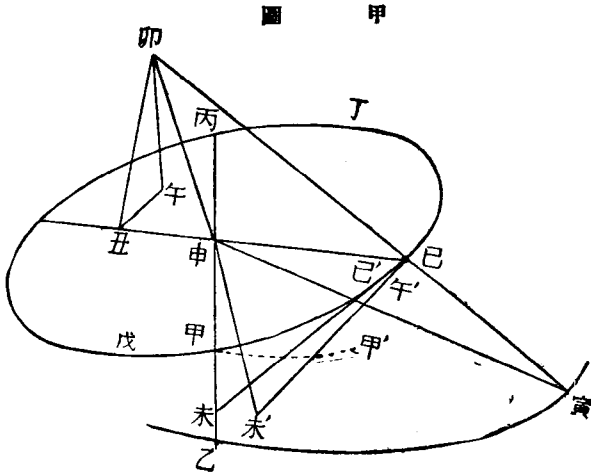
前數卷屢言月與行星于刻白爾所定三例外。尙有小差。名曰攝動。在行星。則因他行星之攝力加之。令繞日之道小變。在月。則有二故。一因本星之他月攝力加之。令繞星之道小變。二因日與他行星之攝力加于本星及月。時時不同。又生小變。攝動之差雖甚微。然積久則成大差。故古昔所定橢圓之根數。今不合也。

設天空只有一日一行星。則或行星繞日。或日與行星共繞一公重心。其所行之道。必永久不變。設空中又增一體。則新體必攝二舊體。令其道生微差。蓋攝力加于二體不等。則二體相連屬之例必變。而生差也。故差非生于攝二體之全力。而生于攝二體力之較也。

諸行星之質積。較日皆甚微。最大者爲木星。亦僅得一千一百分日質積之一。故其攝力。較日亦甚微。而攝動他星之力甚小也。諸月所受攝動力。最大者莫如日。但月距本星甚近。而距日甚遠。故星月二體。受日攝力之較甚微。全攝力令星與月同繞日。而其較令月星攝動。奈端推我月受日攝動力之中數。爲六十三萬八千分地面攝力即重之一。而爲地令月行橢圓力一百七十九分之一。日之攝動力尙如此小。他行星攝動力之微更可知矣。故諸體攝動力之和。所生差甚微。然積久而著。則令所行之

道亦變。其變之源。從剎那時中起。故當以法推剎那時中諸體攝動之和力所生微差。以爲根。設欲密之又密。當推諸體互相攝動。以求本體之差。然若歷時非甚遠。亦不必如是。但分推各體攝動本體所生差。并之卽得。其法恆推三體之力。一中體。一發攝動力體。一受攝動力體。發力受力二體。可交互相易。中體恆作不動論。設二星相攝動。則日爲中體。設二月相攝動。或月爲日所攝動。則以本星爲中體。將日當作最遠之大月。其繞本星之道。如本星繞日之道。凡相攝動之二體。恆稱內行星外行星。日攝動月。月卽內行星。日卽外行星也。乃命發力體爲寅。中體爲申。受力體爲巳。設寅加攝力于申巳二體等。且平行。則巳或繞申行。或巳申共繞公重心。其行俱不變。此如二球在空中。受地攝力下墜。其方位不變。攝力等故也。然攝力之理。近則大而遠則小。故寅加于巳申二體之力。必不能恆等。又方向恆不同。則亦不能平行。故不能不生攝動。今細論之。加于巳體者有四力。一申攝巳之力。一巳攝申之力。巳引申。猶申引巳也。此二力俱爲巳申方向。并爲一力。巳依此力繞申成橢圓。一寅之攝力。在寅巳方向。令巳向寅。一寅加申之攝力。令巳于寅申平行線上退行。善闡案此力加申不加巳。申依此力進。如圖行。一若巳依此力退行。而申不動也。丙巳甲爲受攝動體之道。寅乙爲發攝動體之道。二道面之交線爲丙申甲乙。其交角爲巳甲甲引長。

寅已成寅卯。令寅卯與寅申比。若寅申之平方與寅巳之平方比。則申寅線顯寅加申之攝力大小方向。寅申線即顯令巳退行力之大小方向。卯寅線顯寅加于巳之攝力大小方向。準重學理。卯寅寅申二力之并力線為卯申。即顯巳所受攝動力之大小方向也。自巳點與卯申平行作一相等線。理即明。蓋攝動力實加于巳也。設欲知卯申力若干。有比例如左。



一率 申寅 申積 申寅平方
 二率 卯申 寅積 申巳平方
 三率 寅攝申力 申攝寅力 申攝巳力
 四率 攝動力 寅攝申力 申攝寅力

以合理推之如左

一率 申寅立方乘申積

二率 申巳平方及卯申及寅積連乘數

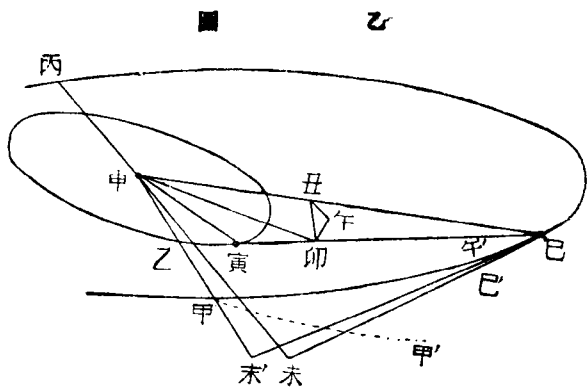
三率 申攝巳力

四率 攝動力

諸體攝動表

發攝受攝	動體	動體	最	遠	中	距	最	近
日	月		九〇		一七九		八九	
木星	土星		三五四		三一二		一二八	
木星	地		九五六八三		一四七五七五		五三二六八	
金星	地		二五五二〇八		二一〇二四五		二六八三三	
海王	天王		五七四二〇		五六五九二		五五一九	
水星	海王		八四五		八四五		八四五	
木星	穀女		六四三三		六九三七		一〇三三	
土星	木星		二〇二四八		二二五七九		三〇六五	

諸數皆已知。故攝動力易推也。設發攝動體之道為平圓。則申寅不變。而攝動力之比例。恆如卯申之比例。道為微橢。理亦略同。凡卷中或不言橢圓。即作平圓論也。令略取受攝動發攝動二體。相距最遠最近適中三處。其攝動力與中體攝力之比例。列為表。中體力恆為一。以表中諸數約之。得攝動力。設巳距寅。小于申距寅。如甲圖。則寅卯大于寅巳。卯必居寅巳引長之線內。在巳道面之上。而寅在巳道面之下。故卯申力推巳向寅道面內。申寅線中之天點。設巳



距寅。等于申距寅。則寅卯寅申寅巳三線俱等。且卯與巳合。天與申合。故卯申力推巳向中體。設巳距寅大于申距寅。如乙圖。則寅卯小于寅巳。卯必居寅巳之間。與寅同在巳道面之下。故卯申力推巳向寅道餘半面內寅申引長線中之天點。甲圖爲近體受遠體之攝動。如地受木星攝。月受日攝是也。乙圖爲遠體受近體攝動。如火星受地球攝是也。凡攝動力之方向。恆在寅巳申三體之面內。以此力當作獨力。則攷論諸行星之力互相加。心中不亂。又設以寅爲定點。而巳行于橢圓道繞申。則卯點亦必行成橢圓道。

所生星道之變。不能瞭然。故當依重學理復論其分力。有數法。一分爲三力在天空有一定方向。相與

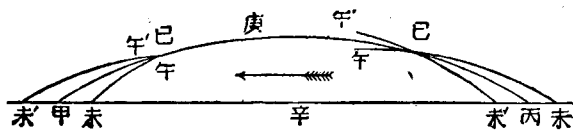
俱成直角。推每力之數。其合力卽獨力之數。論攝動之公理。此法最便。近代諸家俱用之。以致攝動之深理。二亦分爲三力。相與俱成直角。而方向不一定。如圖中卯午午丑申三線是也。丑申與帶徑申已同方向。名帶徑率。午丑正交丑申。而在巳道面內。名橫率。卯午正交巳道面。名垂率。此三率力。其方向相與皆正交。故不相憑藉。而加于巳令生動差各不同。帶徑力或向中體。或背中體。故不能變巳道面之方位。亦不能變同時同面積之比例。僅能變橢圓各點之曲率及速率。蓋橢圓道視巳申相距之遠近而異。此力向中體。則令巳申變近。此力背中體。則令巳申變遠故也。而同時同面積之理。不關中體之攝力。凡帶徑上之力皆然。此力方向恒在帶徑上。故不變面積也。橫力既正交帶徑力。則不能變巳申距。又在巳道面內。則不能變巳道面之方位。而能變巳之遲速。令同時同面積之例不合。蓋巳繞申每利那中所成面積。卽巳申線所過之積。巳行增速。則面積亦增。巳行減速。則面積亦減故也。垂力正交巳道面。故不能變巳申距。亦不能變巳之遲速。但或拉巳令近寅道面。或推巳令遠寅道面。而令巳道變方位也。此爲奈端以後諸歷家同用之法。三亦分爲三力。相與亦俱成直角。而方向時變不一定。前法帶徑率。今改用巳點之法線。前法橫率。今改用巳點之切線。二編詳代數積拾級設巳道爲

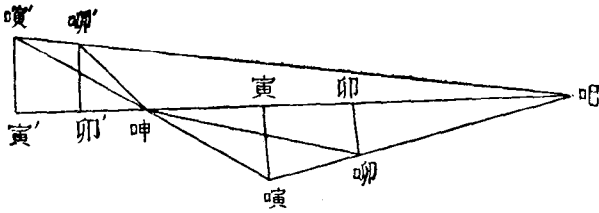
正圓。或微橢。則此法與前法略無異。若橢率甚大。則法切二方向。與帶徑率橫率之方向不同。帶徑之力令已申之距變遠近。橫力令已行變遲速。法力能變曲率。此方向內。則曲率增。向外。則曲率損。切力能變速率。此力順。則速率增。逆則速率損。設欲知攝動力所變角度及距中體遠近。則第二法較顯明易推。設欲知攝動力所變橢圓道之根數。則第三法爲妙。而第二法垂率。今不改。垂力之用。令已出于已道原面。而行于重曲線。此重曲線以申爲心。而逐點之方向不同面。因此已道之根數恆變。令其面之方位刻刻移動。設空中有一定面。而已道面與定面之交線。刻刻旋移也。今以前圖詳解之。設已體自丙行至已。無攝動力。則在已點時。其行必向已。而有卯午平行之垂力加于已。則已必因之斜行。故不行于已。已曲線。而行于已午曲線。甲圖已午線在已。已線之下。乙圖在已。已線之上。是已道面因垂力變其方位。原面已申。已一分。變爲新面已申。午一分也。引長已。已爲已未切線。遇寅道面于未點。作申未。卽原面之交線。引長已午爲已未切線。遇寅道面于未點。作申未。卽新面之交線。故準甲圖。必令寅道面內之交線退後。準乙圖。必令寅道面內之交線進前。法切二力于此事無涉。不能令已離原面。亦不能阻其離原面。僅能令切線遇交線之點稍移。令未申及未申之距或變近或變遠。而二交線不

動。再申論之。假如前圖寅在巳原道面之上。天在寅申之間。則亦在原道面上。而卯必在原道面之下。則垂力卯午必向上。故推巳向上。而巳午曲線必在巳巳曲線之上。引長之遇寅道面未點。必在未點之前。故若寅道面不動。則交點必進前。即動而不消盡。進前之理仍如故。

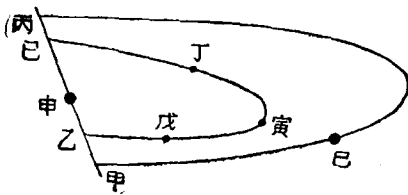
設以寅道面爲定面。而垂力拉巳體令向寅道面。則寅道上之交點必退後。若推巳體令遠寅道面。則交點必進前。如圖。丙辛甲爲從申點平視寅道半周。丙庚甲爲未攝動時巳道半周。巳行自丙至甲。垂力拉巳令行于巳午。在丙庚甲丙辛甲之間。引長巳午成巳未。爲巳新道之一分。是二交點俱退行。一自丙至未。一自甲至未也。若垂力推巳令行于巳午。在丙庚甲之外。引長巳午成巳未。爲巳新道之一分。是二次點俱進行。一自丙至未。一自甲至未也。

前乙圖。巳道大于寅道。設二道相距。大于寅道半徑。又寅巳二星同在交線之一邊。則垂力必推巳令遠。故無論巳寅各在半周何點。寅道上交點必進前。若二星在交線之



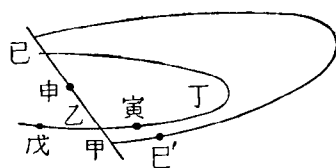


兩邊。則垂力必拉已令近。亦無論已寅各在半周何點。寅道上交點必退後。故寅已繞申。無論各若干周。但二星在交線一邊。交點必進行。在交線兩邊。交點必退行。若二道俱略近正圓。則進退之時等。而每次退行必大于進行。取相對之二方向。以圖明之。二星在交線一邊時。內星爲寅。在交線兩邊時。內星爲寅。其方向恰相對。引長吧呻。作寅寅寅寅二垂線。星道略近正圓。則寅呻等于寅呻。故寅寅等于寅寅。準前寅呻與寅呻比。若寅呻與寅吧之二平方比。又寅呻與寅呻比。若寅呻與寅吧之二平方比。寅呻等于寅呻。而吧寅大于吧寅。則寅呻必小于寅呻。故吧呻與吧寅比。大于吧呻與吧寅比。作卯卯卯卯爲吧呻之二垂線。準相似三角形理。卯卯與寅寅比。大于卯卯與寅寅比。故卯卯大于卯卯。致吧寅寅三點之公面與吧道面之交線爲吧寅。故若從卯卯作



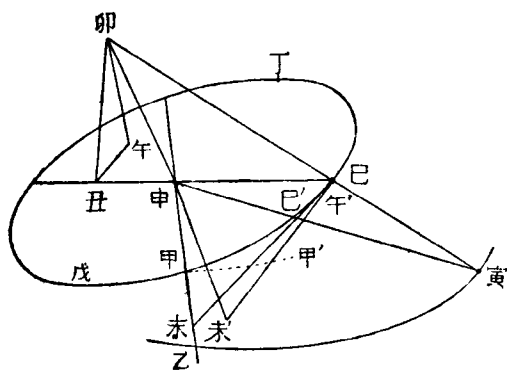
之方向。以圖明之。二星在交線一邊時。內星爲寅。在交線兩邊時。內星爲寅。其方向恰相對。引長吧呻。作寅寅寅寅二垂線。星道略近正圓。則寅呻等于寅呻。故寅寅等于寅寅。準前寅呻與寅呻比。若寅呻與寅吧之二平方比。又寅呻與寅呻比。若寅呻與寅吧之二平方比。寅呻等于寅呻。而吧寅大于吧寅。則寅呻必小于寅呻。故吧呻與吧寅比。大于吧呻與吧寅比。作卯卯卯卯爲吧呻之二垂線。準相似三角形理。卯卯與寅寅比。大于卯卯與寅寅比。故卯卯大于卯卯。致吧寅寅三點之公面與吧道面之交線爲吧寅。故若從卯卯作

吧道面二垂線。其比例必若唧卯與唧卯比。是唧點之垂線。大于唧點之垂線。夫唧與唧呻。顯嘖嘖攝動已之二全力。則此二垂線。必顯二垂力。唧點垂力。令交點退行。唧點垂力。令交點進行。二力有大小。故退行大于進行也。



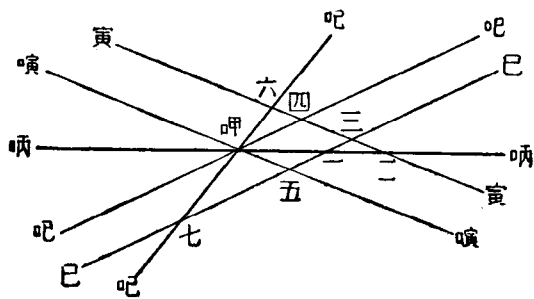
設二道相距。小于寅道半徑。無論巳在何處于交線一邊取寅道丁戊二點。相距不滿一百二十度。令距巳申俱等。設寅行全周。巳仍在原處不動。則寅自丁至戊時。交點亦退行。是退行愈多。若丁寅戊弧大半在交線此邊。如丁乙。小半在交線彼邊。如乙戊。則寅在丁乙分內。交點退行。在乙戊分內。交點進行。而寅道距巳最近點在丁乙分內。退行力最大。則丁乙分內之退行。大于乙

圖 甲



戊分內之進行。不能消盡。故寅在乙戊分內。計交點之度。仍爲退行。是以總全周論之。視前條退行更大也。又設內星爲外星攝動。寅道大于巳道。取寅丁寅戊。皆等于寅申。設巳行一周。寅在原處不動。則巳自丁至甲。自戊至丙。交點必退行。自丙至丁。自甲至戊。交點必進行。凡寅在交線。則無垂力。交點不動。寅不在交線。則丁甲與戊丙和。恆大于半周。寅愈近交線。申點之垂線。則其和愈大。垂力亦愈大。交點之進退愈速。巳愈近于丁或戊。垂力愈小。在此二點則無。而交點不動。巳在交點。交點亦不動。蓋垂力雖非消盡。方向亦不變。然此時交點退行變進行。則必留也。統論之。交點退行之時長。進行之時短。又退行之力更大。其行更速。故巳每周。其退行必多于進行也。此以平圖言之。若微橢理亦合。

今立公款。凡二道。此道交彼道之點。退行于彼道上。設別有定面。在原交角內。則二道交定面之點亦必退行于定面。在原交角外。則一道之



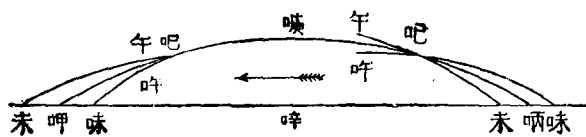
交點退行于定面。一道之交點反進行于定面。如圖吧吧噴噴爲二道原方位。巳巳寅寅爲二道各退行後新方位。吧交點退行于噴道。自呷至五。噴交點退行于吧道。自呷至四。啊啊定面在原交角內。則吧交點退行于定面。自呷至一。噴交點退行于定面。自呷至二。吧吧定面在原交角外。則噴交點退行。自呷至六。吧交點反進行。自呷至七。若非共交于一點。依三面方位推之。理同。

諸行星道交黃道點。俱退行于黃道。此以黃道爲本。而推諸行星之攝動。若于諸行星中另虛設一定面以爲本。則常并推黃道被諸星之攝動。而準上條。諸行星交定面之點。或進行或退行。不一定也。諸行星相距甚遠。質積又俱甚微。故其交點之行甚緩。大率百年中。最速者不滿一度。其遲者不滿半度。而月獨不然。約十八年六。已退行一周。其故有二。一、太陽所發攝動力與地攝力之比。甚大于諸行星所發攝動力與太陽攝力之比。一、因月之周時僅二十九日半。較諸行星之周時甚小也。準上條理。用垂力推其退行度分。與測望所得合。故知攝動之理。確無可疑也。

各行星交點之移所關尙輕。而各星道交角之變所關甚大。以黃道言之。黃道交定面之角變。則黃道交赤道之角亦變。而各地之四時俱變。假如黃道與赤道合。則統地球恆如春時。設黃道過二極。則冬

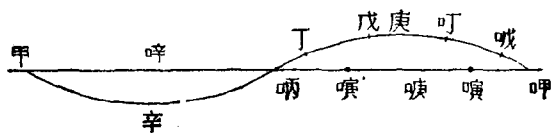
夏二時寒暑極盛。萬物不能生。故各星道交角之變爲最要事。今詳攷之。前諸圖中巳申午二面。爲受攝動體纒離巳點後一刹那中所過之面。此面交寅道面或定面之角。與未攝動時之巳申巳面不同。而已申巳巳申午二面之交角。卽巳申未巳申未二面之交角。旣知此角。亦知寅道面二交線之角未申未。卽可依弧三角法推其與寅道面之二交角。然則一刹那中交角之變。與交點之移。理相聯屬。欲攷此。亦必攷彼也。此一若巳道爲鐵線圈。巳體爲一珠行其上。巳道之方位變。巳行之方向亦必變。然則巳行之方向變。巳道之方位亦必變。所以交角與交點。必同變也。諸行星及我月之道。相與成角俱甚小。故雖交角與交點同變。而交角之變。較交點變甚小。蓋巳申未未申未之交角。卽二道之交角。旣甚小。則未巳未角。必甚小于未申未角。若二道面之交角甚微。幾近于合。則巳巳午角變雖甚微。未點移至未點。必甚大也。

準前說。一刹那中因攝動所成之微曲線若在啞啞啞啞二道面之間。如吧呷。交點必退行。若在啞啞啞面之外。如吧午。交點必進行。而交角之變大變小。不與交點



相應。微曲線爲吧呷。交角必變爲吧味呷。微曲線爲吧午。交角必變爲吧未呷。在呷唵象限內。吧味呷小于吧呷呷。吧未呷大于吧呷呷。在唵呷象限內。吧味呷大于吧呷呷。吧未呷小于吧呷呷。故凡攝動力拉已向寅面。前甲乙二圖已之本動亦漸近寅面。或攝動力推已遠寅面。已之本動亦漸遠寅面。則交角變大。凡攝動力拉已向寅面。已之本動却漸遠寅面。或攝動力推已遠寅面。已之本動却漸近寅面。則交角變小。約言之。已本動與攝動。其向寅面背寅面同。則交角變大。異則交角變小。

角之變。一刹那中甚微。積久則大。欲推其數。非積分術不能。今不言數。但依上條之理。論其由小漸變大。復由大漸變小。有一定時分。一其道之面。擺動于中面之兩邊。設外行星爲內行星所攝動。內星道之半徑。不及外星道半徑之半。如圖。呷呷甲爲從申望寅全道。在天空如一直線。呷庚呷辛甲爲已道。設寅體在呷呷半周內。則已行第一象限呷庚。爲漸遠寅面。垂力亦令遠寅面。故交角變大。行第二象限庚呷。爲漸近寅面。垂力却令遠寅面。故交角變小。行第三象限呷辛。爲漸遠寅面。垂力却令近寅面。故交角變小。行第四象

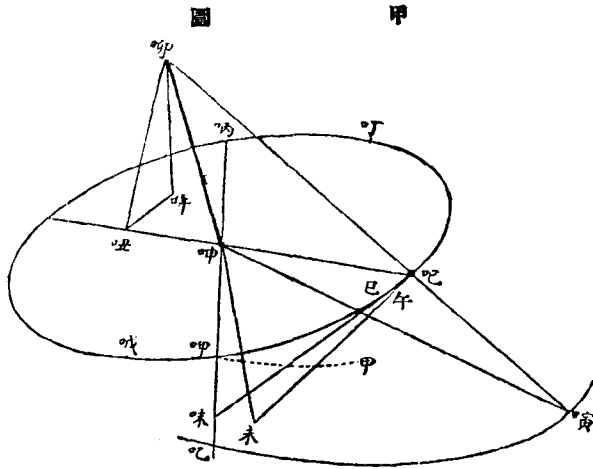


限辛甲爲漸近寅面。垂力亦令近寅面。故交角變大。是已行一周。其道面擺動二次。若寅定于噴點不動。兩邊之攝力等。則已行一周。其道面必復至原處。若寅在他點。兩邊攝力不等。則已行一周。其角變大變小。不能適相補。但寅體在噴與在寅。距噴相等。所生之變必恰相反。而二處所得中數。一似寅體平分爲二。一在噴。一在寅。所生之變。必適相補。以遍寅道各點所得中數推之。一似寅體勻分子全道成一圈。故在交線左右所生各變。一一相對相補也。若外星爲內星攝動。而內星道之半徑。大于外星道半徑之半。又或內星爲外星所攝動。則巳道內叮吡一段。其變必與本象限相反。任設寅體在噴。乃取噴噴等于庚寅。又取丁戊與叮吡相似。則寅體在噴寅。已在叮吡丁戊。其相關之理。亦正相反。而恰相補。仍同也。寅借巳及交線相與之方位。莫不周徧。則其變盡相補足。而其道復如故。假如我月爲受攝動力之體巳。其周二十七日三二二。日爲發攝動力之體寅。其周三百六十五日二五六。交線之周。六千七百九十三日三九一。其比例約如一、十三、二百四十九。故巳行十三周。寅行一周。設無交線動。則巳與寅之方位必略如故。但此時交線所行度分。已過二百四十九分。周天之十三。約如十九分之一。爲退行。故巳與寅之原方位。差于交點前十九分周天之一。必更十九倍之。巳行二百四十九周。寅

行十九周。然後方位復如初。古歷所謂一章也。然數末尙有小分。去之不用。故其方位仍微不合。欲令此微不合亦消去。當用會數。卽章數之若干倍也。此設二體之道。皆爲平圓。則然。若皆爲橢圓。則統計諸方位。令交角增之力。恆大于令交角損之力。設交點與長徑俱不動。則交角必有增無減。今不然者。一因交點有行分。過半周時。諸方位令交角增損之力相反。一因長徑亦以不率速行。則令交角增損之方位。恆移易于道中故也。又交角因兩心差所生變。亦有一定時。而兩心差甚小。所生變甚微。則所生交角差大小之限亦必甚微。幾何家言諸道相與之交角。令諸行星之力相定于空中。拉格浪細推其理。謂各行星之質積乘本道長徑之平方根。又以交定面角之正切平方乘之。所得諸數。其和恆等。試以今黃道面爲定面。依法推得其和數。果恆等而甚小。然則諸大行星之道。永無大變。而諸行星互相補其差。此并小行星亦在內。

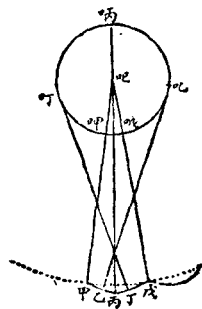
黃道面恆因諸行星之攝動力而變。令黃赤大距漸小。百年約四十八秒。測諸星之緯度或增或損而知之。準上條理。則其變小必有限。至限必復變大也。其最大最小在中數之左右。各一度二十一分。黃道面變方位。交定面之點必退行。此事與歲差雜糅難分。此當詳攷歲差之理以辨別之。歲差者黃

赤交點恆退行于黃道面是也。此與諸行星道交點退行之理同。亦生于攝動。其攝動力非發于諸行



星。而發于日與月。蓋日較諸行星甚大。月較諸行星甚近。故此二體之攝力。同攝地球赤道之上。凸積地。又自轉。而歲差生焉。今細論之。如甲圖。外星噴攝內星吧。假如吧之質積平散于全道。成一流質圈。噴之攝力加之。令繞呻行于本面。則必生二事。一、道之面必變如浪紋形。叮呷與呷二段。交噴面角必愈大。呷呷與呷叮二段。交角必愈小。一、交點必退行于噴道面。此二事各不相涉。若不為流質圈。而為定質。成一堅圈。則圈中有若干分。欲令交角變大。有若干分。欲令交角變小。此必相消。每時刻依圈行。用其相消之餘成角之變。又圈中諸質點。有若干分。欲交點順

行。有若干分。欲交點退行。亦必相消。以其餘成進退行。夫赤道。卽定質圈也。發攝動力者。爲日爲月。俱不與赤道同面。則其交點必恆退行。蓋堅圈與質體周行于圈。理同也。此圈若不帶他物。交點之退行當甚速。今赤道圈與地球合爲一體。交點行之理。惟赤道及諸距等圈有之。與全地球無涉。諸圈體質之和卽地殼。較全地球甚小。則諸圈退行力。爲地球質阻力所消甚多。故交點行速率變甚小。以日力言之。卽歲差也。然赤道之交點。又因月攝退行于白道。夫白道既退行于黃道。交角略不變。故白極依交點行之速繞黃極。而赤道既退行于黃道。又退行于白道。則赤極依二退行。必行成次擺線道。如圖記爲黃極。呬呬啞啞爲白極。所行之小圈。十九年一周。甲丙戊爲赤極所行之次擺線。其時大于十九年。若僅有日攝力。赤道當行于甲戊虛線。今又有月攝力。則赤極所行方向恆正交赤白二極距。如白極在甲。赤極行在甲。其方向正交呬甲。白極至呬。赤極行至乙。其方向正交呬乙。白極自呬行一周餘至呬。赤極行成一次擺線甲丙戊。其速率時大時小。每次皆然。是謂歲差合尖錐動所生之行法。依此理攷諸力之率。卽得歲差及尖錐動之數。與測



望密合。日月所生二差之比。若二與五之比。既得此二差。則黃道交定面點。因諸行星攝動退行之數。亦得。與理所應得亦密合也。

續此諸外攝動之全力成此變動。而不使赤黃二道之交角改變。或疑不合例。但觀前言。見本卷角知之變條

不論發攝動力之體在何方向。其繞圈之各點不同。而使圈之交角有改變。必有相反之改變以消。故無不合例。

諸動外又有一動。名曰感動。先言其公理。凡諸體或以實質相聯。或以攝力相聯。中有一體以一定之周時旋行。必感動各體。令其各分生一定時之動。其周時俱與原動相應。而其最速最遲時不盡相應。各體有易感者。有不易感者。有一分易感一分不易感者。故其感動有時不覺。有時可推。有時較本動更易見。故地軸因日月旋行所感。又生二小尖錐動。其周時一爲半歲。一爲半月。感動中事之最大者。爲潮汐。乃水之感動也。理詳別卷。

卷十三 橢圓諸根之變

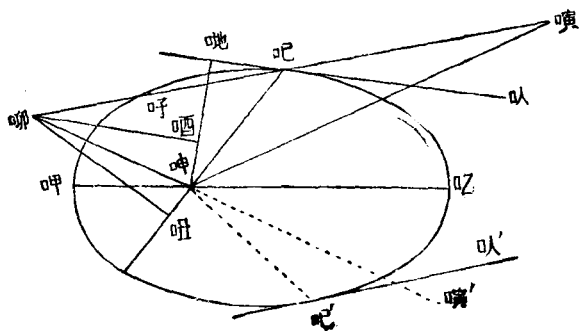
上卷論垂力令受攝動之面變方位。故交點有進退。交角有增損。此卷論法切二力令橢圓道變狀。及星行橢圓周變速率之理。

行星道因攝動。不復成橢圓。亦無他曲線可比擬。而歷家恆用橢圓者。取其便于推步也。其法謂橢圓道之方位形狀大小兩心差。依攝動徐變。而本星一若未嘗受攝動力。但隨星道之變。而依常法行于其周。是則諸攝動力皆加于星道。而星與道相屬之理不變。此法出于自然。非假設也。各星道根數之變甚緩。如地道百年中。兩心差之增損。不過○・○○○。四。最卑點之行。不過十九分三十九秒。若一周時中微細之變。雖畫其道于徑六尺之板。用最精顯微鏡。亦難察也。則雖有變。不可不謂之橢圓。但其變積久必著。是又不能不推也。

凡橢圓道之變分爲二。一曰長差。其復時遠。一曰短差。其復時近。如上卷論交角之變。寅巳周數相會。略相補者。卽短差也。相補後尙餘微差。積久而大。此必俟寅巳及交點三者之周俱相會。然後消盡。卽長差也。二差中短差尤要。長差不過短差之小餘。大率行星于剎那中微離其道。漸離漸遠。既而復漸近。漸歸本道。再漸離于對面亦然。兩面自離至復。皆相似。終古恆如是。本道乃兩面軌跡之中數。是謂

短差。在所必推。長差理亦略同。但久而後復。中間積數甚大。則亦不可不推也。

此後詳論本面內諸長短差。不及交角。故設諸道在一面內。令其理更易明也。如圖。呻吧叱爲吧未被攝動之橢圓道。嘖爲發攝動力體。作嘖吧聯線。任引長之。呻爲中體。取嘖呼等于嘖呻。又取嘖哪。令嘖哪與嘖呼比。若嘖呼與嘖吧之二平方比。乃作哪呻線。表吧所受之攝動力及方向。次作吧點之切線叭哞。次作叭哞之垂線呻哞。又作呻哞之垂線哪哞。又引長吧呻線。而作哪哞爲垂線。乃分哪呻攝動力爲哪哞切力。哞呻法力。或分爲哪哞橫力。哞呻帶徑力。設其道爲正圓或微橢。則吧呻哞與哞呻合。而切法二力與橫帶徑二力略等。乃以公理考二力所生橢圓諸根每刻之變。先論長徑。行星受日攝力并他星攝動力。行成無法之曲線。分此曲線爲無數小分。則每分有一定曲率及方向。與橢圓合。故可恆以橢圓推之。但每刻中橢圓



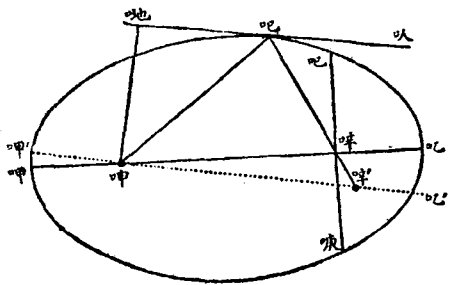
之根數。與前一刻後一刻橢圓之根數不同。因曲率能變距日之遠近。方向能變橢圓之方位也。然長徑不因之而增減。距日之遠近。生于長徑。不能變長徑。而橢圓之方位。與長徑無涉也。準刻白爾測定之例。凡橢圓道皆憑中心攝力而成。星任在道中何點。若知其速率及距日數。長徑亦可知而星行之方向不論。蓋方向變。僅能令兩心差及橢圓之方位變。而不能令長徑變也。然則長徑因何而變乎。曰長徑之刻刻增減。其故因速率之變而生。速率之變。因切力而生。切力與星行方向同。則速率增而長徑亦增。方向異。則速率減而長徑亦減。如上圖。呬吧爲長徑。作呻吧呻噴二虛線。其交長徑角與呻吧呻噴二線等。設外星在噴。內星在吧。則噴加攝力于吧。呻二體。與噴加攝力于吧。呻二體等。而吧吧所受之切力亦等。故吧所增之速。等于吧所減之速。而長徑必一增一減。其所增必等于所減。設噴道爲正圓。噴吧二周時無等數。則二星行至多周。必有時噴與吧在長徑此邊之方位。與前在彼邊之方位相似。此方位長徑之變與彼方位長徑之變。必恰相反。至無窮周歷。盡一切方位。則所生長徑之變。必恰補盡。設噴吧二道俱爲正圓。則噴行一周。長徑必復如初。蓋四象限之切力。兩兩相等而相反。故恰相補也。設吧道爲正圓。噴道爲橢圓。則噴從最卑至最高半周。漸遠于呻。其攝動力必漸衰。從最高至

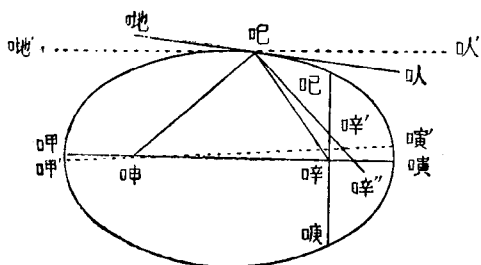
最卑半周。漸近于呻。其攝動力必漸加。吧不能定居于嘖道之長徑上。故嘖行一周。其切力雖相反。而不相等。不能恰相補。必行多周。歷盡吧嘖呻相與之各方位。然後長徑之變盡補。

設吧嘖二道俱爲橢圓。而二長徑之方向不同。則與上條所論之理不合。當以動重學之公理論之。凡物動時。有向心力恆加之。令刻刻變速率。名曰長加力。其力之大小。與距心遠近之平方有反比例。物在空中從此點至彼點。其速率之變。憑二點空中之方位。不憑二點中間所過之曲線。諸長加力中之平行力。可當作無窮遠定心所發。如此若物行從吧起。仍至吧時。其速率必仍如初。上條諸理俱不論。準此。設嘖有定處不動。吧恆受三力。一、呻之攝力。方向爲吧呻。二、嘖之攝力。方向爲吧嘖。三、嘖加呻之攝力。方向爲嘖呻。恆在嘖呻平行線上。吧行一周復至原處。其速率與長徑必略如初。尙有小差。爲攝動力變其道所生。然甚小。可不論。設嘖雖不繞呻。而漸遠于呻。則吧至原處。速率之差不能補足。必吧行多周。俟嘖復漸近呻。然後消盡。則嘖無論定于何方位。吧行多周。必得各點相對。俱如上圖。吧吧令嘖所加之力相反。然則嘖雖不定。行無數周時。必盡得嘖在道中各方位。吧行若干周中之相對各點。其力兩兩相反。故歷年甚久後。所生之差。必消盡也。又設令吧定于一處。嘖行若干周。理亦同。夫攝動

力令兩心差生短差。又令長徑移方位。則吧與嘖至原方位時。其距呻遠近及速率。必各不同。然長徑行一周。其距呻遠近必復原。兩心差之變一終。其速率必復原。故吧嘖至原方位。長徑周兩心差變終。三者會于一時。則一切如初。此必多歷年所。久之又久之。始一遇也。此乃動重學之理。其力之方向或在平面內。或無論從何處來。皆同。故嘖吧二道雖有交角。理亦合。但有交角變及交點行。則吧行一周。不能至一定之原方位。然交角變大小。其面恆在中面之二邊。相去不遠。而每次交點行一周時。吧至原經度。必不在原處。或在中面上。或在中面下。其距必有時彼此相等。故歷無數周。其差必消盡。如上所論。既爲公理。則無論有若干定心。無論何方位。且無論有若干發攝動力之體。其理俱同。不過推其相消。法更繁耳。有此奇理。故知諸行星道之長徑。其差必復。此平速周時亦然。如歲實雖有消長。統計之。實無增損也。故諸行星距日之數。不能增至無窮。亦不至漸近日而合爲一。統計之。其道大小不變也。此事拉格浪考得之。實推步家至要之理也。地日距若加十分之一。則一切動植諸物俱難生活。然長徑變長變短。離中數不遠。依理推測諸行星長徑之增損。除火木間諸小星外。未有過中數千分之一也。

長徑之增損。憑切力。而兩心差及長徑方向二根之變。則兼憑法切二力。今分考之。先論切力。如圖。吧爲受攝動力之體。呬吧呬爲吧之道。呬呬吧爲長徑。呬爲本心。哂吧呬爲吧點之切線。命呬吧爲二呬。取呬吧呬角。與哂吧呬角等。而哂吧呬角等于一百八十度少呬吧呬角。則呬吧呬角等于一百八十度少二哂吧呬角。又取吧呬等于二呬。少呬吧而橢圓之餘心呬可推。蓋橢圓理。凡從二心作二線。會于橢圓周一點。則二線交切線之角必等。又二線之和。必等于長徑故也。設切力加于吧。令其速率大。則長徑亦必變大。理見上條命爲二呬。然切力不能變哂吧呬呬吧呬二角。故新餘心呬。必在引長吧呬線內。取吧呬等于二呬。少呬吧。卽得。乃作呬吧呬線。兩端引長之。成呬吧呬。爲長徑之新方位。呬呬折半。爲新兩心差。故切力令吧增速。則有諸例。一、最卑新方位呬。與吧俱在原長徑呬之一邊。無論吧從最高至最卑。或從最卑至最高皆然。二、于餘心呬點上作長徑之垂線吧呬。吧在呬呬吧之間。兩心差增。在吧呬呬之間。兩心差損。三、吧在吧呬二點。一刹





那中卑點之變爲最大。吧漸近最高卑。其變漸小。吧在呻叭二點。則不變。兩心差則反是。吧在呻叭二點。其變最大。在吧啐二點。則不變也。若切力令吧減速。則此諸例俱恰相反。若吧道略近正圓。則吧行呻吧吧啐吧啐呻四分。其時相等。俱爲周時四分之一。再論法力。法力加于吧。吧行速率不變。故長徑亦不變。惟能令曲率變。法力向內。則曲率增。而吧行自高點至卑點。則呻吧哂角必損。若自卑點至高點。則呻吧哂角必增。今設吧自高點至卑點。因呻吧哂角損。故切線吧哂必變爲吧哂而餘心啐必移其處。欲知在何點。取呻吧啐角等于一百八十度少二呻吧哂角。或取啐吧啐角等于二哂吧哂角。又取吧啐與吧啐等。則啐卽餘心所移之處也。乃作呻啐線。引長成呻噴。爲長徑之新方位。呻爲新卑點。半呻啐爲新兩心差。故法力向內。吧自高點至卑點。則有諸例。一、若吧在吧呻之間。則長徑順行。啐與吧在原徑一邊。吧恰在吧。則長徑不行。吧在吧噴之間。則長徑逆行。啐與吧在原徑兩邊。二、兩心差增。吧在吧點。其增最大。在高卑二點不增。若吧

自卑點向高點。則諸例俱相反。又若法力向外。則一切相反。又兩心差。卑點距二事之變。互為消長。此變速則彼變遲。此極速。則彼為無也。又餘心之移。憑切法二力。此二力恆正交。亦互為消長。此力愈大。則彼力愈小也。欲推利那中攝動之差。必準動重學。分推利那中切法二力所得之速率。各令二根所生之差。視其同號則相加。異號則相減。或先取啐吧啐角。倍于法力所生啐吧啐角。又取吧啐等于吧啐。加減切力所生長徑差。得啐。為餘心之處。其他俱可推矣。欲知啐吧啐角。以此時吧啐行速率。約法力所生之速率。即得。今列二表。吧啐行全道切法二力生差之例。一覽可了然矣。

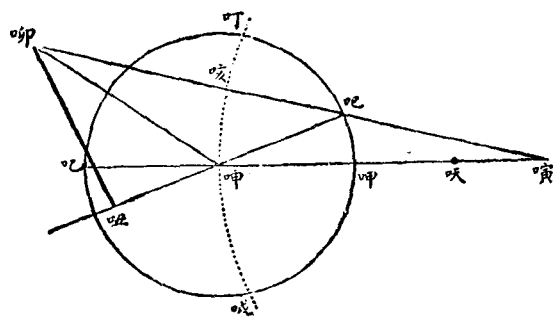
表差生力切

差之根	生所力切	在所吧	行 吧
退徑長	增率速	論 無	卑至高
進徑長	損率速	論 無	卑至高
進徑長	增率速	論 無	高至卑
退徑長	損率速	論 無	高至卑
損差心兩	增率速	點高近	論 無
增差心兩	損率速	點高近	論 無
增差心兩	增率速	點卑近	論 無
損差心兩	損率速	點卑近	論 無

表差生力法

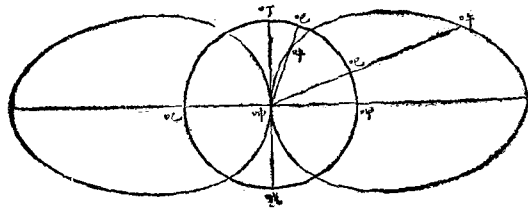
差之根	向所力法	在所吧	行 吧
退徑長	內 向	點高近	論 無
進徑長	外 向	點高近	論 無
進徑長	內 向	點卑近	論 無
退徑長	外 向	點卑近	論 無
增差心兩	內 向	論 無	卑至高
損差心兩	外 向	論 無	卑至高
損差心兩	內 向	論 無	高至卑
增差心兩	外 向	論 無	高至卑

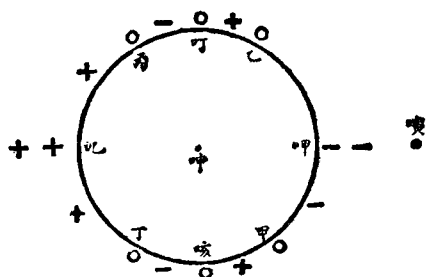
設吧嘖二星各從某處起。積若干時。欲推諸根之積差。當用積分法。其法極精深。今不細述。長徑之用。兩心差之變。本一理。試設其道爲正圓論之。簡而易明也。道爲正圓。則切法二力與橫帶徑二力合。故推橫力帶徑力。如推切法二力也。如圖。嘖吧與嘖呻之二平方比。若嘖呻與嘖哪比。哪吧爲嘖哪少嘖吧。哪咄等于哪吧乘哪吧呻正弦。亦等于哪吧乘哪吧呻嘖吧二角和之正弦。又咄呻爲吧咄少吧呻。即等于哪吧乘哪吧呻餘弦少吧呻。亦等于哪吧乘哪吧呻嘖吧二角和之餘弦少吧呻吧。哪咄即顯切力。咄呻即顯法力也。凡吧從吧至呻。從叮至吧。切力令其速增。從呻至叮。從吧至吧。切力令其速減。在呻叮吧吧四點。切力消盡。在呻叮吧吧四點。則最大。又吧近呻吧二點。切力消盡。在呻叮吧吧四點。則最大。又吧近呻吧二點。法力向外。近吧吧二點。法力向內。在呻叮吧吧四點。法力最大。在呻叮吧吧四點。則消盡。試設吧在各處。一一作圖。玩之。



自明也。若噴最遠。則法力消盡之點。略近叮咳而遠呬。

依上條之理推月道。法更簡。蓋噴爲日。距地月甚遠。月道半徑。日視之不過八分。故哪吧與呬吧一若平行線。而叮呻咳一若直線。正交呬吧。以呻吧爲半徑。則吧咳爲呬呻吧之餘弦。故哪呬等于哪吧乘呬呻吧正弦。呬吧等于哪吧乘呬呻吧餘弦。又哪吧等于三箇吧咳。卽等于三箇呻吧乘呬呻吧餘弦。是以哪呬等于三箇呻吧乘呬呻吧正餘弦相乘積。亦等于二分呻吧之三乘呬呻吧倍角之正弦。呬呻等于三倍呬呻吧餘弦之平方。以一減之。又以呻吧乘之。亦等于三倍呬呻吧倍角之餘弦。以一加之。又以二分呻吧之一乘之。若呬呻吧餘弦之平方等于三分半徑之一。則呬呻消盡。蓋哪吧線割吧道二點距呬吧二點各六十四度四分也。試向吧道全周諸點作呬呻線。等于三箇呻吧乘呬呻吧餘弦平方數。聯諸呬點。必成二卵形之橢圓。出入吧道。四交點距呬吧二點。各六十四度四分。吧呬恆顯加于吧點之法力大小方向也。





準上條。凡呬呬線兩邊呬呬吧角等。攝動力恆與呬呬吧有比例。呬呬吧月地距。故月在橢圓高點。攝動力增大。在卑點。攝動力減小。其最大最小之比例約如二十八與二十五。準此論法力變長徑方位。設長徑向日。卑點在呬。高點在呬。取呬甲呬乙呬丙呬丁四分。各六十四度十四分。吧在甲呬之間。法力向外。而近卑點。則長徑必退後。理見前在丙丁之間。法力向外。而近高點。則長徑必進前。在呬呬二點。其行最速。漸遠二點。漸遲。在甲乙丙丁四點。則遲極而定。自乙至丁。法力向內。而近卑點。則長徑必進前。但行甚遲。蓋初離乙。法力小。漸近丁。法力雖漸大。然其方位不易動長徑

故也。過丁至橢圓長徑餘心上垂線界而復定。自此界至丙。法力向內。而近高點。則長徑必退後。而亦甚遲。吧在丁呬及呬甲之間。理同。圖中上為速進。下為速退。上為遲進。下為遲退。○為定。若兩邊上下之力相等。則一周中遲速之數必相消。然高點之力恆大于卑點。其比例若二十八與二十五。惟呬呬左右二象限之力相等。故近呬呬二點。上下二行略消盡。而近呬呬二點。上下二行不能消盡。進必多

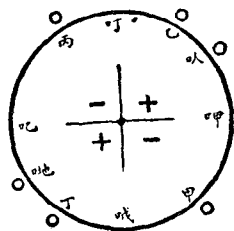
于退。若高點在呬。卑點在叱。則理俱相反。圖中上下之號。必皆易位而最大之力在呬。仍爲進。故一周中長徑之進亦多于退。又設長徑正交向日之線。高點在呌。卑點在叮。吧在乙丙之間。法力向內。而近卑點。則長徑必進。而不速。因法力不大也。在呬乙及丙叱之間。法力向外。而近卑點。則長徑必退。亦不速。在甲呬及叱丁之間。法力向外。而近高點。則長徑必進。亦不速。在丁甲之間。法力向內。而近高點。則長徑必退。高點法力。大于卑點。故一周中長徑之退多于進。若高點在叮。卑點在呌。理同。總論之。最高在呬叱二點。法力向外。全周中長徑進多于退。在叮呌二點。法力向內。退多于進。然月近呬叱二點。法力大。近叮呌二點。法力小。又乙丙丁甲二弧。甚小于甲乙丙丁二弧。又長徑在全周各方位中。有定而不行時。其方位亦較近丁戊二點。故一歲中日繞地一周。長徑盡歷諸方位。統計其行。進必多于退也。更論切力變長徑方位。設卑點在呬。月行呬叮象限。切力必令速率損。而月自卑至高。故長徑退。行叮叱象限。切力必令速率增。月仍自卑至高。故長徑進。行呌呌象限。切力必令速率損。而月自高至卑。故長徑退。行呌呌象限。切力必令速率增。月仍自高至卑。故長徑進。是長徑恆進。是在呌呬叮半周。長徑恆退。在叮叱呌半周。長徑恆進。然近高點之切力。強于近卑點。故全周中。進必多于退。若卑點在乙。則俱相反。在呌

呬叮半周。長徑恆進。在叮呬呬半周。長徑恆退。而進仍近高點。則全周中亦進多于退。又設卑點在叮。月行呬叮象限。速率損而自高至卑。故長徑進。行叮呬象限。速率增而自卑至高。故長徑退。行呬呬象限。速率損而自卑至高。故長徑退。行呬呬象限。速率增而自高至卑。故長徑進。是在呬叮呬半周恆進。在呬呬呬半周恆退。高點在呬。力更強。故全周中退多于進。若卑點在呬。理同。總論之。最高在呬呬二點。進多于退。在叮呬二點。退多于進。其數略相等而相消也。故日繞地一周。長徑盡歷諸方位。其近朔望點時。法力必令進前。近二弦點時。法力必令退後。但進速而退遲。故總計之爲進。切力亦然。而進退之遲速等。故總計之無進退。是一歲中切力不能變。法力所生長徑之總差。然逐時能令法力所生差增大。何則。日行與月同方向。長徑近朔望點。其進隨日。故切力之加。比日不動更久。長徑近二弦點。其退逆日。故切力之加。比日不動更暫。夫準法力。進本有餘。今因切力加久。而更有餘。退本不足。今因切力加暫。而更不足。是謂以攝動加于攝動。天算家言長徑之動。大略若攝動力平方之比。理本此也。上諸條論月道長徑攝動之法。最爲繁重。初奈端用帶徑力推長徑之行。所得較實測數僅得半。後歷算諸家細測詳推。終不能密合。遂謂奈端攝力之理。未足盡憑。格來老始亦云然。既而忽得其解。乃知

攝力之理。精深神妙。不能改也。案月道長徑順行。三千二百三十二日五七五三四三而一周。約九年弱。

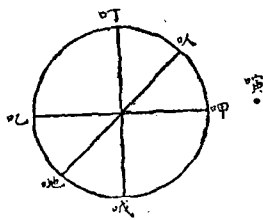
論法力變月道兩心差。任設卑點在叭。高點在哞。月行方向自呷至叮。準前論。吧在甲乙丙丁四點及哞。叭高卑點。兩心差皆不變。則在叭乙哞丁二弧。其變甚小。因向外法力甚

小。又其方位不能大變也。而在叭乙。爲自卑至高。在哞丁爲自高至卑。正相反。則一令增一令損。略相消。雖近高點力稍強。必損多于增。然統全周計之。甚小也。乙叮丙及丁哞甲二弧。較象限甚小。法力俱向內。吧在此二弧。不能令兩心差大變。而令增損正相反。丁甲弧近高點。力稍強。增多于損。與前叭乙哞丁二弧之損多于增。正相消也。吧在甲叭丙哞二弧。法力向外。力最大。而丙哞近高點。力尤強。吧自卑向高。則必增多于損。此較不能消。爲全周兩心差之變。設卑點在哞。高



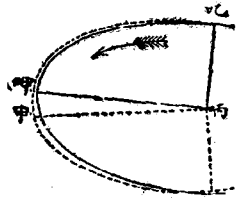
點在叭。全周兩心差之變。亦增多于損。蓋法力最強在甲叭弧。仍向外。吧仍自卑至高也。凡長徑在呷叮哞乙二象限內。兩心差恆增多于損。在叮哞呷呷二象限內。則反是。圖中上指增多。下指損多也。

論切力變月道兩心差。吧行呷叮叱噉二象限。切力令速率減。行叮叱噉呷二象限。切力令速率增。故吧在呷叮象限。距卑點不滿九十度。恆令兩心差損。在叱噉象限。距高點不滿九十度。恆令兩心差增。叱噉之增。多于呷叮之損。若高點在呷叮間。卑點在叱噉間。則呷叮增而叱噉損。亦增多于損。又吧在叮叱象限。距卑點不滿九十度。恆令兩心差增。在噉呷象限。距高點不滿九十度。恆令兩心差損。噉呷之損。多于叮叱之增。若高點在叮叱間。卑點在噉呷間。則噉呷增而叮叱損。亦損多于增。統計之。日行一周。切力所生差適消盡。但逐時與法力合。令其差增大。與變長徑方位之理同。至日與長徑之周相會而復初。設日與長徑同起程于一點。日一年一周。長徑九年一周。則歷四分年之一。又加三十二分年之一。共三十二分年之九。長徑一若退行一象限。先自呷至噉。兩心差恆損。至噉爲最小。次自噉至叱。兩心差恆增。至叱爲最大。而復與日會。餘仿此。兩心差最大最小比。若三與二比。月道長徑行之理。可以器顯之。法用鐵線或銅線。任長十餘尺。懸一鉛球。下承以平板。球板相去甚微。取球略偏。向旁推放之。令旋轉。必行成小橢圓。原垂線在其中點。若于球底中心安一鉛筆。必畫橢圓。



圈于板。此長徑之方向不甚變。爲風氣所阻。橢圓必漸變小而定。若取球大偏。與垂線成角約十五度至二十度。旁推之。則所行橢圓大。其長徑之方向。每周必以漸增速移。與球行之方向同。久之長徑必至短徑之處。既而還至原方向。卽如月道長徑之行也。曰。此橢圓道之長徑。何以能進前行。曰。取球偏而放之。令旋轉。必常有力加之。其方向恆正交鐵線。此力恆變。其大小之比。若鐵線交原垂線角正弦之比。弧甚小。則正弦之比略如弧之比。取球小偏。弧與正弦無別。其行一周。球受中心之攝力。與距數比例恆合。故長徑不移。若球大偏。鐵線與垂線成大角。則受中心之攝力。恆如正弦之比例。而距數恆如弧之比例。弧變大。正弦亦變大。而正弦之變。不能若弧之速。故球向中心之力。較行橢圓之力略小。則近長徑界曲率必損。故至原長徑界。不能復正交距心線。必行至甲。方正交。是長徑進前也。觀圖是明。此不過借以明月道。實與月道之理不全合。蓋其攝動僅有帶徑力無橫力也。

推諸行星道長徑之行。兩心差之變。有簡于月道者。有繁于月道者。其簡者何。一周中長徑之變甚微。則體與長徑逐周所成各方位略不變。又發攝動體或進或退。受攝動體之長徑雖隨之進退。亦甚小。



俱可不論。又月道之長徑進退甚大。故其行有倍數。須重推而得。諸行星之長徑進退微。皆無倍數也。其繁者何。受攝動發攝動二體周時之比。甚小于十三與一之比。則吧行一周。噴與吧道長徑變方位之度甚大。前論月吧一周設噴爲不動以便算。其差不甚大。若行星則吧一周噴已行多度。設爲不動。其差甚大。故不能也。如木受土攝動。木一周。土已行一百四十度。設爲不動。則攝動諸力。盡不合矣。又若外星受內星攝動。則寅與吧道長徑方位之變。速于噴與中體方位之變。更不能設噴爲不動矣。又噴道兩心差變。爲最要事。其故甚繁。不能以言喻。必用代數式及微分法。方能推之。又水金及地球爲木土諸星所攝動。與常理不甚合。各道之長徑。因土木諸星所攝而進前。常也。乃有時憑吧噴二體相距二兩心差之大小。二長徑相與之方位。令長徑退後。與常理相反。如金星道之長徑。受地球水星攝動力之和而退後。受木土諸星之力而進前。而退更速于進。故其長徑恆退行是也。

推諸行星道長徑行。兩心差之變。設其道略近正圓。則攝動諸力無大變。故長徑進退。兩心差大小。行若干周後。盡歷諸方位。必相消而復初。觀前切法二力生差表。理易明。蓋噴任在本道恰相對二點。一與吧之高點成方位。一與吧之卑點成方位。相似而相反。二道既略近正圓。則切法二力。距合點線同。

即俱相似。故吧之卑點前後半周。與噴道此點諸力相關。一如吧之高點前後半周。與相對點諸力相關。又吧自高至卑半周。與噴道此點諸力相關。一如自卑至高半周。與相對點諸力相關。而長徑進退。兩心差增損。俱恰相反。故噴任在何點。加于吧之力。與噴吧俱在對面所加之力。必恰相消。而長徑兩心差之變。亦必恰相消。設二道俱非正圓。則諸力不能恰相消。然兩心差非甚大。則其大分仍如上相消。所謂短差也。而餘小分積久不消。以成長差。推長差法甚繁。今不暇細論。但論生差之大凡。亦必分法切二力。法力所生。在二星合點爲最大。蓋在合點法力最強故也。雖合點距高卑點各九十度時。長徑不移。合點合高卑二點時。兩心差不生變。而距此二方位各九十度。則法力所生之差最大也。切力最強時。每因方位之故相消。又無論合點距高卑二點若干。二星合時無切力。故長差生于法力者爲多。生于合點之法力爲最多也。設合點在二道最近點。則所生差尤多。今試論之。夫同心二橢圓。各有卑點。其方位刻刻不同。則二道最近點在吧道之卑點可。在吧道之高點可。在道中無論何點俱可。設在卑點。吧道在內。噴道在外。則法力向外。故長徑退。吧道在外。噴道在內。則法力向內。故長徑進。設在高點。則俱相反。然兩心差俱不變。在高卑中間諸點。則長徑之進退小。而兩心差之增損大。準此。若僅

有二行星。久之最近點必因長徑兩心差之變而亦漸變。而長徑之行。又因最近點變而或增或損或相反。兩心差亦因之或增或損。俱有定時。與長徑相應。然又有諸行星。皆相攝動。則亦當推諸道兩心之最近點。故其法雜糅而甚繁也。

統觀卷中諸條之理。知交點行與交角變相應。長徑行與兩心差變相應。二者彼此相似。卑點進退行成大弧。其較餘歷久而一周。兩心差微增微損以應之。歷久而復初。交點行亦歷久而一周。交角亦增損以應之。歷久而復初。如月道。交點行甚速。交角變速而不能積爲長差。則卑點行愈速。兩心差亦變速而不能積爲長差。蓋月受日及衆行星及地赤道上凸質諸攝動力。生諸小變。其變甚速。故不能久積以令橢率大變。測月之兩心差中數。古今同也。

諸行星相攝動。最卑之行兩心差之變。二道互爲消長。交點交角亦然。舉土木二星以例其餘。設土木外無他行星。則土道兩心差。最大必爲 $0 \cdot 0 \cdot 8409$ 。最小必爲 $0 \cdot 0 \cdot 1345$ 。木道兩心差最大必爲 $0 \cdot 0 \cdot 6036$ 。最小必 $0 \cdot 0 \cdot 2606$ 。木之兩心差最大時。土之兩心差最小。木最小時。土最大。歷七萬四百十四年而一終。若諸星道之兩心差俱復初。必歷幾萬萬年也。

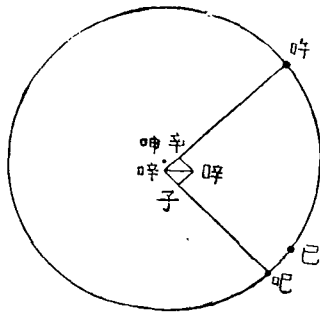
卑點之行于本星無甚關係。而兩心差之變。則關係甚大。蓋本星而寒暑之中率。實憑之增損焉。各行星每周受日之光熱。與橢圓道之短徑恆有比例。兩心差變。則短徑變。而寒暑之中率必變。然則幾萬萬年中。所生之差。必有行星兩心差之變甚大。令附面諸物俱不能生活。設我地球當之。則人物必俱死。卽不死。亦必大苦矣。解者曰。無慮也。天算家已詳推之。而知其必無是事。拉格浪謂諸行星之質積。各乘其道之長徑平方根。又以其兩心差之平方乘之。其得數之和恆等。此乘數中。一爲長徑之平方根。一爲兩心差之平方。而各道之長徑增損。無長差。則兩心差之增損。必不至懸絕也。

續乾隆四十七年。拉格浪推諸行星道兩心差變之限。依諸相與之攝動而計之。惟因其所爲根數之金星體質有誤。故得數不確。道光二十三年。力佛理亞以確切之根數推之。得當時七行星道之最
大兩心差。爲水星道○·二二五六四六。金星道○·○八六七一六。地道○·○七七七四七。火
星道○·一四二二四三。木星道○·○六一五四八。土星道○·○八四九一九。天王星道○·
○六四六四六。雖拉格浪之數。因其根數有數差。而得兩心差之常變差不合。但所得變之最大界
限。則與力佛理亞所得者。大同而小異耳。力佛理亞得地道之最小兩心差○·○三三一四。在

嘉慶五年以此年爲元。漸變大。大極而又漸小。再至最小之時。歷二萬三千九百八十年。適在同治元年後二萬三千九百十九年也。木星土星天王星道之兩心差。自最小至最小之時。約九千萬年。而多少四千年不定。土星道之兩心差。最小 $\bigcirc \cdot \bigcirc$ 一三六。自最小至最小之時。約三萬四千六百四十七年。而多少一百十七年不定。下次最小。當在同治元年後一萬六千零五十三年。附表。載有力佛理亞所推地道之根數。自元之前十萬年至後十萬年。每萬年之數另有克羅爾所推得地道兩心差。在元之前後。各一百萬年之數。

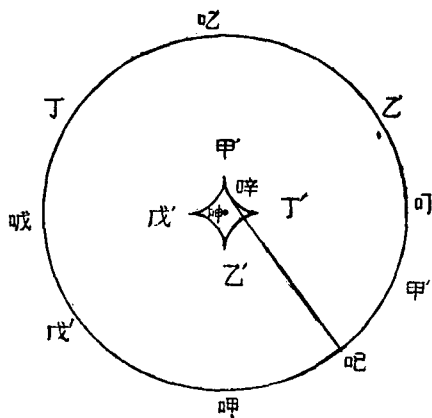
卷十四 逐時經緯度之差

欲知行星與月逐時經緯度之差。不特當知長差。亦不特當知短差。必當知短差令橢圓行變遲速而經度變。令星月道之面與定面變交角而緯度變。經緯度諸變法。其中有因久測而得。前人但知其當然。未知其所以然。後人用攝力遞解遞明。初若與攝力不合。細考之。知亦本于攝力。而攝力之理。愈確不可易已。

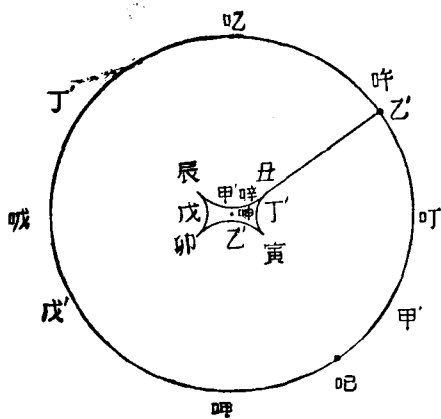


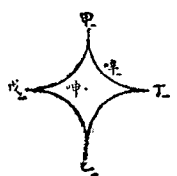
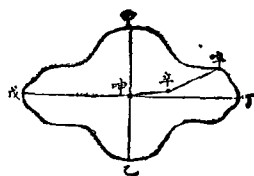
發攝動受攝動二體之周相會。所生之差。或自相消而復初。此差因受攝動道之本心繞中心點。行成曲線道而生。設道爲正圓。則中心點卽圓心。若微橢。則中心點卽本心所繞之心。本心繞中心點兼用法切二力。如圖。呬爲本心。吧爲受攝動體。吧已爲一刹那中所過之道。若無攝動力。則吧已爲橢圓之一分。呬不動。因有攝動力。故呬移至辛。求辛點所在。準前卷法力變吧呬線爲已辛線。呬吧辛角倍于法力所變切線角。而吧呬之距不變。故辛必行于呬呬線。呬距吧九十度。若法力向外。則呬行向呬。法力向內。則呬行背呬。呬所至恆爲辛。又切力能增損吧呬。若切力令吧行增速。則吧呬亦增。令吧行損速。則吧呬亦損。呬所至恆爲子。作辛呬。與呬吧平行。作子呬。與呬呬平行。交于呬。卽得受攝動體本心所在。月受日攝。此差最顯。名曰二均差。一月而復。宋開寶八年。亞喇伯歷家阿波維法所測得。其限約一度四分。奈端以攝動力明其故。設月道爲正圓。理更易明。道既正圓。則恆當以平速行。乃朔望前二象限。切力恆令速率增。後二象限。恆令速率損。故其速率在朔望二點。爲最大。在上下

弦二點。爲最小。近朔望。必大于平速。近二弦。必小于平速。故其道在朔望。必較正圓微凸。又朔望點左右各六十四度十四分。法力向外。令道之曲率略小。二弦點左右各二十五度四十六分。法力向內。令道之曲率略大。是切法二力。共變正圓爲橢圓。其長徑二界。即二弦點。其短徑二界。即朔望點也。故在朔望點。月最近地。且速于平速。在二弦點。月最遠地。且遲于平速。故從地望月。當朔望時。其行度最速。而當二弦時。其行度最遲。朔弦望弦之間。有點恰得平速。然其前或積速。或積遲。俱未消。故在此點。真經度平經度之較最大。在朔望二弦點。其變遲速最大。而積差却消盡。正得平經度。依理推其數。與測望密合。案切力在朔望二弦點爲無。而在朔弦望弦間之點爲最大。在吡啞。吡啞二象限。令速率增。在呷叮。呷叮二象限。令速率損。速率增。則長徑變長。速率損。則長徑變短。法力在甲'乙'丁'戊'四點。距朔望點各六十四度十四分。爲無。在戊'呷'甲'及乙'吡'丁'



二弧向外。在甲、叮、乙、丁、戊、二弧向內。乃先論切力令啐點行法。吧行呷叮咤咤二象限。啐漸近吧。吧行叮咤呷二象限。啐漸遠吧。吧在咤呷叮咤四點。啐不動。故吧在呷一刹那中。啐在甲不動。吧離呷向叮。則啐恆向吧行。而成甲、丁線。啐吧恆為甲、丁之切線。吧至呷叮之中。則啐距吧得中與吧呷距等。此時啐向吧行最速。吧自此至叮。啐向吧漸遲。至叮而定。吧自叮至咤。啐背吧而行。成丁、乙線。速率之變與前同。吧自咤至呷。自呷至呷。啐行成乙、戊、甲、二線。理同。故依切力。啐必繞呷。行成甲、丁、乙、戊四歧點曲線道。與吧行相逆。再論法力令啐點行法。吧在呷咤二點。啐向呷行為最速。吧在叮咤二點。啐背呷行為最速。吧在甲、乙、丁、戊四點。啐不動。故吧在呷。啐在叮。啐在甲。向呷行最速。吧離呷向叮。啐離叮向咤。啐向呷行漸遲。吧行六十四度十四分至甲。呷行亦同。而啐行至丑。成甲、丑線。啐呷線恆為曲線之切線。啐至丑不復向呷而定。吧至叮。啐至咤。啐背呷行至丁。在丁背





呬最速。呬行全周復至呬。則呬行丑寅卯辰四歧點曲線道而復至甲。亦繞呬。與
 呬行相逆。乃取此二行。并之命二呬點爲^一辛。甲丁乙戊亦依類作識。法作呬辛。
 與呬辛等。且平行。又作辛呬與呬辛等。且平行。二曲線相對無數諸點。皆依此。作
 呬辛辛呬諸線。乃聯諸呬點。成甲丁乙戊橢曲線形。爲月道本心所行之真道。其
 半短徑呬甲。等于呬甲^一加呬甲^二。其半長徑呬丁。等于呬丁^一加呬丁^二。甲丁乙戊四點。
 與呬道呬叮呬呬四點相對。故朔望月在本道呬呬點。其距餘心較近于本心。二
 弦月在本道叮呬點。其距餘心較遠于本心。呬行甲丁乙戊橢曲道一周。月行呬
 叮呬呬亦一周。其行相逆。朔望月所在。爲一刹那中橢圓之卑點。二弦月所在。爲
 一刹那中橢圓之高点。

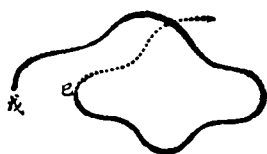
設月距地之中數爲一。命呬甲爲二呬。命呬甲爲二呬。命呬丁爲二呬。則橢曲道
 之半短徑呬甲爲 $1 + 2 + 2 + 2$ 。半長徑呬丁爲 $1 + 2 + 2 + 2$ 。故月在呬。其一刹那
 之兩心差必爲 $2 + 2 + 2$ 。月在叮。其一刹那之兩心差必爲 $2 + 2 + 2$ 。月自呬至叮。切力令長徑漸損。所損

全分。等于甲丁曲線。必小于呻甲加呻丁。即小于四呬。故半長徑之全較小于二呬。其中數呻呬與最長最短之較。必皆小于呬。命此較為角。設月在呬或吃。為一刹那之卑點。其半長徑為一呬。兩心差為 $\frac{1}{2}$ 。故距地數為 $1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$ 。角本小于呬。則此數小于 $1 - \frac{1}{2}$ 。月在叮或噉。為一刹那之高點。其半長徑為 $1 + \frac{1}{2}$ 。兩心差為 $\frac{1}{2}$ 。故距地數為 $1 + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$ 。呬本大于角。則此數大于 $1 + \frac{1}{2}$ 。二距地數較。為 $1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$ 。凡橢圓略近于正圓。則其橢圓周各點速率之比。若合各半徑平方根之正比。及各點距呻數平方之反比。今在呬在叮二半徑為 $1 - \frac{1}{2}$ 。即若一與 $1 - \frac{1}{2}$ 之比。則其二平方根之比。若一與 $1 - \frac{1}{2}$ 之比。又二距呻數之比。若 $1 - \frac{1}{2}$ 與 $1 - \frac{1}{2}$ 之比。其二平方之反比與 $1 - \frac{1}{2}$ 與 $1 - \frac{1}{2}$ 之比。即若一與 $1 - \frac{1}{2}$ 與 $1 - \frac{1}{2}$ 之比。兩比例并之。若一與 $1 - \frac{1}{2}$ 與 $1 - \frac{1}{2}$ 之比。玩此率。知此差憑法力。大于憑切力。諸式之例
詳代數學。

上條所論。設日為定。今設日行于略近正圓之道。則申所見吧噉之距度等。切法二力亦等。惟朔望二弦四點。及無法力四點。不定于月道而隨日進行。其逐時所過度。與日行等。故甲丁乙戊及甲丁乙戊

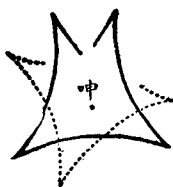
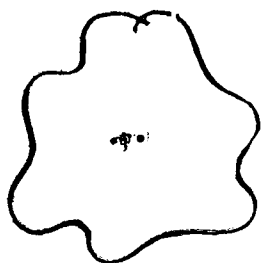
二曲線形。啐行一周後不能復至原處。而曲線必更變。令歧點進行。與日行同方向。故吧與啐行之度必變大。其比若月之恆星周與太陽周比。見七而二曲線形并之。仍略如橢曲道。但啐一周後不能復至原處。必繞啐成橢曲螺線。其最近啐恆在朔望點。最遠啐恆在二弦點。四點相距各大于九十度。此例亦如上。而月隨之亦成橢曲螺線。其曲線隨切法二力變大變小。變大則二歧點中間之曲線必漸長。而歧點距啐漸遠。橢曲道亦漸大。比例仍同。月行之差亦漸大。變小理同。行星因發攝動體之行而變。與此無異。

上論以月距日爲甚遠。故近日半道與遠日半道。所受攝動力大略相同。然朔時月距日近。望時距日遠。其較約二百分之一。因此生一月行差。名月角差。月行一周。經度約差二分。此差雖附于大差。然諸行星互相攝動所生諸差中。此亦爲要事。故細論之。此差生啐行曲線之差。及所成橢曲道之差。如前切法二力圖。設月已從戊起。行本道自啐至叮。本心啐從戊起。行曲線形。在切力圖行戊甲丁。在法力圖行戊嘖咄丁。因切法力更大。故此二半曲線形。大于丁乙戊及丁嘖啣戊餘二半曲線形。則啐不能復至原處戊。每周皆然。合二行。如圖。啐從戊起。行橢曲道一周。不至戊而至己。戊己之聯線與二弦點



之聯線平行。復從己起行一周。所成曲道。與前一周曲道同例。以後每周皆然。是謂重橢曲道。啐行一周。日亦行黃道若干度。二弦點之方位隨日而變。故啐從己起。行一周至庚。庚點不在聯戊己引長之直線內。而在二弦點聯線新方位平行線己庚內。故一歲中所得戊己等點。環繞一中點呻。一若重橢曲道中心點亦繞此中點。成一小道。故兩心差無長差。若日不行。即地不行則兩心差必生長差。久之必變

成極大也。二行星相攝動。亦生二差。理與月差及月角差同。然道之大小不同。則其差亦異。觀前二體攝動表。見十卷自明。如海王攝動天王。在下合點之力。較上合點大十餘倍。故重橢曲道中心點繞呻之道。與橢曲道之比例。較月甚大。又設外星受內星攝動。則發攝動體之行度。速于受攝動體。故雖順行。而道上切法諸無力點順行甚速。恆追及吧。則吧一若退行。而吧遇此諸點。則道之本心啐。適至曲線之歧點。故無論噴在何處。吧行過諸無力點。啐行過諸歧點。中間之度必變小。其比例若太陽周與恆星周之比。凡吧行每太陽周。啐依切法二力。在二曲線形上。次第過諸歧點。其相距之度皆同。距合點



度又彼此相同。故合切法二力之曲線形。成一曲線道。每周中相當諸點亦同。二曲線之歧點。必令合曲線道生凸處。每二歧點間之曲線。必令合曲線道生凹處。故啐所行之真道。若噴不動。則一周後必仍至原處。若噴亦動。則不能復至原處。而成曲螺線道。設吧噴二周有等數。則二合中間啐所過恆星經度。與三百六十度有比例。若無等數。則亦無比例。而一太陽周中。依所行二曲線若干歧點及方位。以成合曲線道。道上之向內向外及或速或遲。每次仍同。

準上論。則凡二星之攝動法。當分三種。第一發攝動體噴在外。則切法二力。在吧道上。各有四無力點。切力之四點。一爲下合點。一爲上合點。餘二點在下合點左右。其距發攝動體與日同。名曰等距點。法力之四點。俱在合點與等距點之中間。若噴體甚遠。則法力四無力點。遠于合點。近于二弦點。與月道同。噴體漸近。則下合等距中間二無力點。更近下合點。若噴吧二道等。則二無法力點俱與下合點合爲一。第二發攝動體噴在內。而噴道

徑大于吧道半徑。則切力有四無力點。法力只有二無力點。切力之四點。二在合衝二點。二在兩等距點。與上同。噴道愈大。等距點愈遠于衝點。愈小。愈近于衝點。二道相等。距衝點六十度。吧道徑倍噴道徑。則與衝點合為一。如土星受木星攝動。等距點離衝點二十三度三十三分。已自衝後行一象限。速率恆損。再行至合。速率恆增。自合至衝亦然。法力二點。距合點近于距衝點。噴道變大小。此二點方位不甚變。第三。亦噴在內。而噴道徑小于吧道半徑。則切法二力。各有二無力點。切力之二點。在合衝二點。已自衝至合半道。速率恆增。自合至衝半道。速率恆損。距合點約

九十度增損最大。法力二點。與第二種略同。學者當依此三種作若

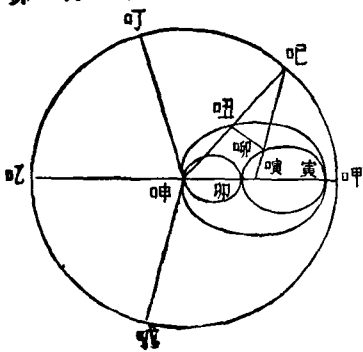
干圖。令噴道自極大至極小。設噴為不動。如前卷作唧咄二點。卷十三

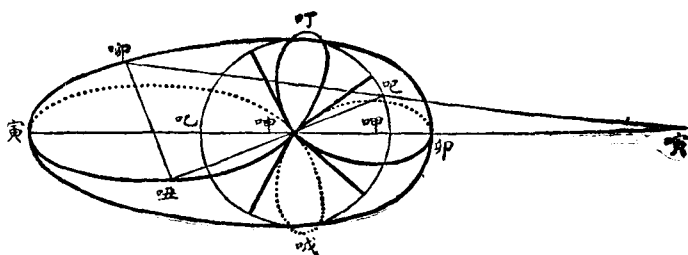
徑之。使各在一橢圓上。玩之。理自明也。如圖呻咄唧為直角。咄唧為

切力率。呻咄為法力率。唧恆行于寅唧橢圓。咄恆行于咄呻及呻卯

二橢圓。此為第三種圖。若第二種。二橢圓之公頂點寅在吧道外。若

第一種。則寅咄呻卯二橢圓。變為四橢圓圖。其二圈之頂點。切寅唧





橢圓。餘二圈割吧道于二等距點及二切點。已至切點。則噴吧呻爲直角。詳玩此二圖。則本心啤所成螺曲線之圖亦易作。有三事當論之。一、吧與噴二合之中間。啤所行成小曲線。其諸小浪紋。及末一點變方位。大略同。二、噴爲外星。啤行曲線道恆逆。故每歷利那。橢圓之長徑恆微退。若啤非屈曲行。則每合。長徑與合點方位恆同。三、若但長徑恆退。而啤非屈曲行。則已行一周。必兩次在利那中橢圓之卑點。兩次在高點。與月繞地之理同。今啤又屈曲行。則必生差。亦與月之差相似。所異者。所生大差中。又有諸微差附之。諸差之積。用以加減角差。諸差外又有一種差。或因吧道或因噴道之兩心差消不盡餘變所生。或兼因吧噴二道之兩心差變而生。令每合。二星之距太陽及相距俱不等。故前後二合。其兩心差不能如一。長徑亦不能如一。但其差不過一周中未消之微餘。故其本心離當至處甚微。長徑大小之差亦甚微。此二差皆

因切力而生。若非久積。可不論。設諸行星之周有等數。則諸合點之徑度有一定。卽能久積。是諸合點散列本道。其中必有一點。加力于根數較強。故歷盡諸合。成一會終。其每周之餘差已補。因此一點力更強。必尙留微差未補。再一會終。其差漸大。如此遞推。必待長徑變高卑點移。令行星之周無等數。而最有力之合點移。其差方漸消。

攷諸行星之平速。相與有等絕無。然有略近于有等者。如木五周土二周。其時略相近。故方位略如初。木五周得二萬一千六百六十三日。土二周得二萬一千五百十八日。其較一百四十六日。一百四十六日中。木約行十二度。土約行五度。故木五周至原合點。土已過原合點五度。細推之。二星每合爲七千二百五十三日。四。三合得二萬一千七百六十日。在土星行爲較二恆星周多八度六分。在木星行爲較五恆星周多八度六分。故每三合。較前三合必進前八度六分。雖非盡密合。然大略相近。是以每合。經度必增多。而生一最長差。名曰木土差。置三百六十度。以八度六分約之。得四十四又九分之四。用以乘二萬一千七百六十日。得九十六萬七千一百一十一日。約二千六百四十八年。爲合點一周。然此乃三合點之一。餘二合點距此點。一約一百二十三度。一約二百四十六度。俱每合進八度六分。故

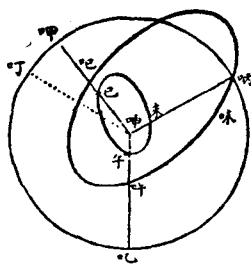
此點復至原處。餘二點俱復至原處。是以每八百八十三年。即三分二千六百四十八年之一。當有一合在此原點。然其長差。因積久而大。故增至九百十八年而始有一合也。初歷家用古今木土二星之測數相比較。覺二星平速隨時不同。如萬歷至康熙時。土之周時變長。木之周時變短。蓋土之速率損。木之速率增也。康熙至嘉慶時。則反是。其速率增損雖甚微。但積久而大。則推算與測望不合。歷代天文諸士不能解其故。幾欲廢奈端攝力之說。至拉白拉瑟發明之。上所論列。即拉白氏之說也。此差遞增遞損。最大土星經度約四十九分。木星經度約二十一分。淺言之。一星變速。則一星變遲。蓋木令土自吧向噴。則土必令木自噴向吧。故一星退後。一星必進前。然其理尙未全。何則。凡論攝動。恆以日爲定。兩星相聯屬而行。攝動力令聯屬之行變。其力非加於二星之聯線也。詳十卷若云日與二星俱繞一公重心。而二星加攝力于日。各令行一小橢圓。日兼用此二橢圓行成一小道。如是。則噴吧互相攝動之力。謂全加于聯線上。于理方無虧缺也。準此。凡吧因噴而生進行。噴必因吧而生退行。二者相等。又以其繞公重心之橢圓行言之。一星之速率變。則餘一星之速率亦必變。而恆相反。故長差之一終。中函二星之多周。案公重心在日體中。距日心甚微。故或以日爲心。或以公重心爲心。推平速之度無異。

也。

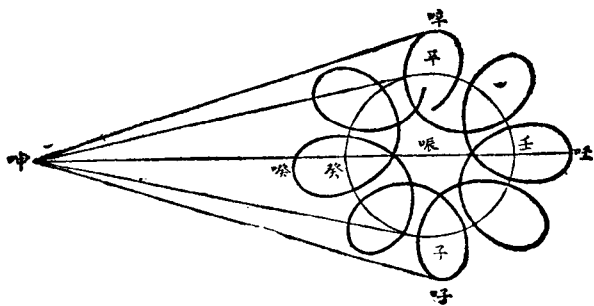
凡二星相與攝動。其長徑于最長時分中。變大變小。有一定之時。長差因之而生。幾何家定其率。謂二星經度變之比。若二星體積各以本道長徑平方根乘之之反比。驗諸測望相合。今論其理。如圖。吧呷味爲土道。已午未爲木道。吧已爲二星。先合于呻呷線。次合于呻乙線。距呻呷一百二十

三度。又次合于呻呷線。距呻呷二百四十六度。又次合于呻叮線。距呻呷三百六十八度。呻呷。俱甚遠于呻呷。準二道之最高點所生變。必與呻呷大不同。而呻叮略近于呻呷。則必略如初。故每三合。必大消其差。所以長差。乃各合點之差。每三合相消未盡之餘。積久而成也。幾何家以代數術推其差。用三次式。乃有立方及三元項之式也。則隨兩心差及交角俱可知。若干時中之積分亦可知。積分者。逐時之微分。久積而成大分也。

凡二行星之平速。略近于等數者。理皆如土木二星。如金十三周。與地八周之時略相近。故每五合。方位略如初。其差不滿二百四十分周之一。故相消之餘甚微。愛里曾細推之。最大不過數秒。其周時約



二百四十年也。經度之增減有長差。本心移動亦有長差。與之相應。蓋本心移動。生于兩心差之增減。及長徑之易方位也。詳前卷。凡正圓道。本心啐所繞之中心點。與日心呻合。橢圓道則不合。而用一周中本心所歷諸方位。可推中心點所在。若體每在合點時。曲線之歧點指切力令本心所行之曲線也。距中心點俱等。則中心點不動。然在諸合點中。必有一合令其歧點距中心點獨遠。則中心點必移。遞合遞移。故本心繞其中心點。而中心點又繞一定中心。定中心者。長差一終時中中心點所成道之中心也。如圖。呻爲日。若無差。則振爲本心。今有差。故本心行于啐吁啐曲線道。以繞振。而一終中兩心差最小爲呻啐。最大爲呻旺。長徑方位變之二限爲呻啐呻吁。又中心點所行之道爲辛壬子癸。則壬啐爲兩心差中數差。啐呻吁爲最卑點之經度大差。本心移動一終。與經度差一終之時等。但移動差之最大。與經度差



之最大。非必同時。蓋長徑之增損憑切力。切力最大不在二合點。而遠在他點。兩心差之增損。兼憑切法二力。法力最大在下合點。是以諸合點中。令長徑增損最大之合點。非必令兩心差增損最大之合點。故長徑最大。非必與兩心差或最大或最小合。亦非必與高卑點進退最大合。然此星道之長徑及兩心差變。彼星道之長徑及兩心差必有相反之變。此理之必然也。

無論行星與月。所變之根數皆有六。曰交點經度。曰交角。曰長徑。曰兩心差。曰卑點經度。曰元點。卑點經度以上五根之變。前已詳論。今特解元點之變。元點者。歷元星所在之點也。前卷曾已平經度推橢圓之實經度。詳九卷今反其法。測得實經度并知諸根。用以推其時之平經度。則元點亦可知。蓋平經度與時正相應。歷若干平經度。當有若干時也。故此根名平經元點。設星道之諸根數不變。則任用何時實經度。推得其元點皆同也。

準上條。其元點憑上推而得。非昔時測望所得。故難保其無二變。二變惟何。一憑他事而變。一自然而變。今試考論之。推算必用諸根。而諸根恆變。如測得星之日心經度。用前後二種根數各上推其元。所得必不同。是憑他事之變實有之。推元不能用別法。二數皆依常法推得。其不同者。因所設根數不同。

是自然之變實無也。又無論何時。星道之變。與星在道上方位之變。皆因攝動力變星之速率及方向而生。可以本心逐時之行及道面方位逐時之變發明之。故元點不能自變。但憑他根數而變也。然經度之差。若非因長徑令周時變而生。而因他根數變而生。可當作元點之自然變。考此種差。因受攝動體距中體之中數刻刻變。不生于半長徑之變。蓋半長徑爲虛數。此刻刻變之中數爲真數。此種攝動差與月略同。不因吧道之變而生。故可設吧道本無兩心差長差。而以本心吡繞中心點。與餘心相應。又設噴甚遠。與月同。以便論算。準前論及圖。本卷一條先論切力。切力逐時令長徑增損。故其周時亦有增損。此事之外。吧之每周。切力又令本心吡繞吡行四歧點之曲線。如甲丁乙戊每二歧點間之曲線。相似亦相等。設噴爲不動。則吧在二合點。必居一利那中橢圓之最卑點。吧在距合點一象限之二點。必居一利那中橢圓之最高點。故于真橢圓長徑增損所生差之外。吧在二合點。距呻必小于原正圓道之半徑。吧在二象限點。距呻必大于原正圓道之半徑。然全周中諸距之中數不變。因甲丁乙戊四點距呻皆等。而四曲邊皆相似。則近呻吡漸損之數。與近吡漸增之數相等。故一周中長徑變大變小。恰相消也。則此種差非生于切力。次論法力。法力每周亦令本心吡行於四歧點之曲線。如吡噴哪賑。

而每二歧點間之曲線不相等。二長二短。因法力向外之時多。且強于向內之時故也。雖吧在二合點。居最卑點。在二象限點。居最高點。與切力同。然呻丁甚大于呻甲。故近叮噠距數之增。甚大于近呬呷距數之損。則統全周諸距數計之。增必有餘。故每周吧呻距之中數。必漸大。此變不由于真橢圓長徑之增損。蓋法力不能變長徑也。然法力能變吧呻距。而不能變吧之速率。故吧呻距增。吧行速率必變小。吧呻距損。吧行速率必變大。是吧呻距增損。吧行速率之大小。必有相反之變。且行速率變。其比例必更大。蓋行橢圓法。等時得等面積。而行速率之比。恆若距數平方之反比。法力不能變此例。故每周行速率之中數必變小。而每周之時必變大。此與長徑之增損及所生之周時。俱無涉。若噴甚近。理無異。或在內道。則行度變大。周時變小。餘亦同。

上條之理。一若噴體散爲等積之圈。與呻同心。其力與法力向內向外之較等。恆加于吧呻。呻在中心。吧繞呻。故此加吧之力。爲圈加于呻吧二攝力之較。凡圈之攝力恆向心。故統計呻所受。四面恰消盡無餘。而統計吧所受。則恆有餘。吧在圈內。餘力恆向外。令吧離心。吧在圈外。餘力恆向內。令吧向心。故噴在吧道外。能減呻之中攝力。在吧道內。能助呻之中攝力。助中攝力。則吧噴行多周。中攝力漸變大。

其周時及吧呻距必俱變小。減中攝力。則吧嘖行多周。中攝力漸變小。其周時及吧呻距。必俱變大。故凡諸內星之行度率恆變小。而諸外星之行度率恆變大。凡外星道之內有諸內星。其攝力和令中攝力增大。然此事究不能測。舍推算外。無別法可證之。蓋可測者。星之平速。平速生于中力。而中力兼日與諸內星之攝力。雜糅難分也。但已知諸星之質分甚微。雖難分。亦無害也。

日攝動月。二體行多周。令月地距及周時恆變大。但亦有小差。此小差久則消盡。星亦有之。月尤易覺。其最顯者。爲月之年差。蓋月之經度。準地行橢圓道最高至最卑。而變小變大。故一歲一終。欲明此理。設日行橢圓繞地。自最高至最卑。距地漸近。則攝動力漸大。其比例若距數立方之反比例。故月道之本心呼。依法力所行甲丁乙戊曲線。必漸大而遠于呻。每周不能回至原處。而成歧點螺曲線。觀圖自明。準此。則嘖近高點。漸離呻。嘖近卑點。漸向呻。其嘖在高卑二距之較。必漸增。而每周中嘖呻距之中數及周時。俱變大。設日自最卑至最高。則一切相反。故日地距漸小之時。月之平度率必變小。漸大之時。平度率必變大。設月道爲正圓。則日之行。僅令月受攝動力之諸分。較日不行歷時更久。詳見前故所得無異。但



歷時久而更大。其比若月之恆星周與太陽周之比。此理與測望所得合。故其差最大在十與十一分之間。而月行有時大于平度。有時小于平度。此種差所關有甚要者。其積時最久。名曰月平速長差。好里取迦勒底人所記最古之月食。與近代月食相校勘。知月之周時。今小古大。又以唐時亞喇伯測望之數合考之。知月之平速。古小今大。約百年積速十一秒。數雖甚微。但久久積之。則漸著。此事及木土差。本卷考諸行星條其理幾何家久考不能知。或謂攝力之理有時窮。或謂古表不足憑。至拉白拉瑟始發其秘。假如日月同從合點起。歷十二合。日未至原處。而所差無幾。至十三合。則日已過原處。故十二合前半周經度所生差未消盡。十三合消盡而生反差。則度必微增。由是二十六合。日離原處略倍三十九合。日離原處略三倍。如此累加十三合。累倍。而每次增度之比例必漸小。至日離原處半周。而不增。餘半周理同。而度微損。日離原處一周。名曰大周。其度之增損略消盡。然其合視原處尙有小餘。則度尙有小差。然較十三合之差甚微也。以此小餘之弧分。約三百六十度。所得用乘大周之時。名曰廣周。尙有小差。則更微矣。如此累推之。若地道不變。可數百年而得恰盡。然諸行星之攝力加于地。令地橢圓道之兩心差徐徐而變。細考之。自上古以來恆變小。如是久之又久。必至兩心差消盡。而地道變成正

圓。後復變橢圓。其兩心差徐徐變大。至限而復徐徐變小。此變一終之時極久。非言語譬喻所能明。視開關至今。若一刹那耳。月之平速長差因此而生。故雖歷大周廣周之久時。終不能消盡。蓋地道兩心差恆變小。則反力較正力更大。故所補數與變數不相同。亦不相等。猶之上山力不足。下山力有餘也。必俟地道兩心差復變大。正力較反力大。始能消盡其差也。故日月及日道之卑點。三者相與之方位。每一次復原。月之諸差略消盡。必餘甚微之增速。久積之成經度之大差也。

觀上所論。知諸行星及諸月。若一體有一定時之變。亦令諸體相應而生一定時之變。月與地球相屬之動。惟日能令月生變。諸行星之質微。距地月遠。除金星外。其攝力不能令生大差。然能令地道變。卽如今日道變。月道因之而亦變。而月道差較地道差更易見也。

若日子于橢圓理之外。別有他故。令距地數有一定時變大變小。則必令月生同時差。與月之年差理同。故凡行星令地道生最小變。其變卽顯于月之行度。人在地但測月之經度。行星之力易見。卽前所云感動之理也。凡月之經度變大。一周中所增甚微。乃速率漸增微分所積。然每周輒得一倍。又其速漸增之率恆增。則經度變大之數亦必恆增。久之相反。速率恆變小。則經度亦恆變小。稍稍消其前所增

之度分。故月橢圓未受行星攝動力。一若靜體。迨此力加之。令遞增速率。一若靜體受長加力而動。其速率刻刻增也。

地日距與月地距之理同。有二長差法。一、因動之切力變速率。令橢圓之長徑有增損。則準刻白爾之例必生周時之變。蓋周時與中距之比。恆若立方與平方之比也。二、因兩心差之變及卑點之移。令一周中二體之距有增損。橢圓之面積隨之變。而平速亦變。蓋平速與距數之平方根恆有反比例。故以公理論之。凡平速之變。與距數之變恆相應也。

前論金星攝動地球。其經度之變。二百四十年而復。此亦平速差也。故地速率損時。日地中距變大。增時。日地中距變小。平速差甚微。所得日地距增損更微。而月度率之變。爲微之又微。然積之至一千四百八十四月。經度增至二十三秒爲最大。又歷一千四百八十四月。亦損至二十三秒。此事漢孫考得之。然金星之攝力。不獨加于地。令月生變。亦直加于月。所生之差。漢孫亦推得之。而推法不傳。今略論其理。凡金星攝動月之力。可用諸分力代顯之。其諸分力。各于一定時中。有一方向最大。漸變小至無。于對面方向相反至最大。復變小至無。又于原方向相反至最大。如此遞變不已。諸分力一終之時各

不同。凡三體。以一體平速時之倍數減他體平速時之倍數。以其較與餘一體之平速時相減。視其較。卽知所推力一終之時。此諸定時之力。可各推其攝動。一若別無他力也。設其力之一終時。與受攝動體之周時不相涉。而力最大之時。於道中無一定方位。則若干周所生差。必自相消。僅有短差。無長差也。若力之一終。與月之轉終略同。力最大之方位。每次略相近。則必有長差也。假如力最大。初在月道最高點。所生之差。若力一終不能相消。必累次積之。直至力最大與最卑點會。始能消盡。力之一終與月之轉終較愈小。則長差消盡之時愈遠也。

月受金星之攝動力。依金星距地遠近而異。其距數。憑金地日三者依橢圓道內之方位而得。由其距數所生之較數。有最繁者。其中有一甚微率。推其一終時。法以地球平速時之十六倍。減金星平速時之十八倍。其餘略近月之平速時。月轉終爲二十七日十三小時十八分三十二秒三。力之一終爲二十七日十三小時七分三十五秒六。差十分五十六秒七。約爲三千六百二十五分月轉終之一。此二時齊等。約二百七十三年。其半爲一百三十六年五。所生之差恆積而大。又歷一百三十六年五。而漸消盡。漢孫推得經度積差。最大時爲二十七秒四。近時測月經度有諸小差。依上所論切法二種小差

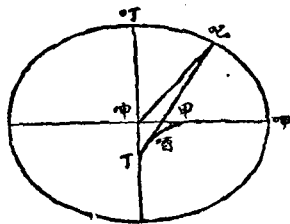
推之皆合。按用表推月。尙有小差甚多。俱有表。今不細論。其中有大於此差者。前所論角差。本卷上論以月距日。因近日遠日月之二半道而生其攝動力不等。愈近日愈大。已知日月二道之比例。則其差俱可推。若已知其差。即可依諸差比例。而得諸距數。然其差甚小。用以推日之距數。恐不密。若其差稍大。則可耳。

月因攝動而生之諸差。最大者名曰出差。因兩心差增損。又因日與長徑移方位。令長徑進退而生。蓋長徑進退。則月在本道之方位亦進退。前後各約一度二十分三十秒。昔多祿某考上古所傳測望簿。始知此差。以上諸差并成一公率。詳月離專書。今不論。

月道又有小攝動。生於地球赤道凸質之力。凡正圓球諸質點所生攝力。皆如發於球心。而扁圓球諸質點所生攝力。其方向不能盡對球心。亦不能盡合距心平方之反比例。故其力加於月。必生最小攝動。令月道之交點最高點生差。最奇妙者。令月道軸成小尖錐動。猶月力加於赤道凸質。而令地軸成小尖錐動。凡行星成扁球狀。恆攝所屬諸月道。令漸近本星赤道面。木星之扁率最大。土星有光環助其凸質力。故此二星之扁力。較他星更強。是以土木諸月之道。與本星之赤道面幾相合。最近之月。則

最近赤道。稍遠則稍離。力漸小也。蓋距數增。攝力之率驟變小。則正球與扁球之較。漸不覺也。故土星諸內月之道。幾與赤道面合。最遠之月。距星心約如土星全徑六七十倍。其道與赤道面之交角。亦不小也。然其遠月之攝力。必不能攝動光環與赤道令生大差。設有攝動。令星軸成尖錐動。則較地球必甚緩。蓋土星與其月之比。甚大於地與我月之比也。故其歲差之周。歷時甚久。不能覺也。

潮汐一事。與日月之攝動相關。或云日月之力。攝正面之海水上升。是矣。而相對背面之水亦上升。何也。曰子但知攝力引動地面之水。而不知并引動地體也。設水受攝而地不受攝。則惟正面之水上升矣。今水地俱受攝。正面之水受攝力。較地體多。故上升。對面之水受攝力。較地體少。地去而水留。故亦上升也。此與月地同受日攝力。朔望時月地距大。二弦時月地距小。同一理也。設前圖十三卷長徑之行線呷叮叱不爲月道。而爲地球大圈上之水面。噴不爲日而爲月。吧爲水面之任一點。呷呻顯吧點所受攝動力之大小方向。呻噴顯月攝地之全力加於呷點。呷呻力加於吧。必引吧向天。其方向與呷呻平行。而地之攝力必引吧向呻。此二力之并力爲吧晒。引長之必與



叮呻線相遇。去呻無幾。因月之攝動力。甚小於地之攝力故也。設於呷叮象限各點俱作并力線吧晒。必恆爲甲丁小曲線之切線。而海面恆正交吧晒線。此流質重學理也。故叮吧呷一象限。各點依二力而成定面。必恆以吧晒爲曲率半徑。在叮點曲率最小。在呷點曲率最大。而成一橢圓。呻爲中點。丁甲爲漸伸線。曲率漸伸線俱詳代微積拾級。呻呷爲半長徑。呻叮爲半短徑。故海面成長橢圓體。其長徑恆向發攝動體。準月之攝力推之。長短二半徑之較。約當得五十八寸。準日之攝力推之。長短二半徑之較。約當得二十三寸。設惟有月力。而月不動。地球亦不自轉。則海面成橢圓體勢甚安穩。旣成而定。永不變。今此橢圓體剛欲成。水面未定。月已進前。則橢圓體之頂點亦移。刻刻如此。故海面必依此勢。成最廣而扁之浪。此浪之頂恆隨月。月有視行。則必依感動之理。與月之諸差相合。此浪之最高卑。行至海岸。卽爲潮之長落。日之攝力。亦成如此最廣之浪。浪頂恆隨日之視行。亦與日之諸差相合。日月二浪。有時合而相加。有時離而相消。朔望爲二潮之和。兩弦爲二潮之較。潮之定數。今雖未能密推。然若能推得其定面。則無定何地。其比例與橢圓體所應得之數。俱可無大誤。大率日月二潮之高。約爲二尺與五尺。故朔望兩弦潮之高卑。若七與三之比。

潮繞地一周。爲潮日。設止有月。而月行於赤道面。則潮日卽太陰日。爲月周時及地一日自轉相合而成。又設止有日。而日行於赤道面。則潮日卽平太陽日。今皆不然。乃憑二浪頂點相合之公共最高點繞地一周而成一潮日。此點在二浪中間。依二浪或漸相合或漸相離而生進退。故潮日之變有大小。在朔望時其變最大也。無論何海口。水之長落。必與日月過午線相應。若水不因他故而動。亦無阻力。如爲海底所滯。或過長峽等事。則本海口所當得橢圓體之最高。應時而至。與上條潮日之候必相合。設有此諸故。則必生差。諸海口之差各不同。察統地球一切海口潮汐最高之候。亦一要事。蓋準此能知統地球潮候之差也。考此事當細心。勿以平潮誤爲最高之時。雖有時平潮與長水落水合。然其故大不同。此若誤。必不能考定潮之理。蓋一切俱紊也。

凡日月之赤緯度異。潮亦因之而異。蓋潮之頂點。恆欲正對發聳動之體。其體之方位變。則潮亦隨之而變也。故每月每年。潮必漸增而大。復漸減而小。當以黃白交點之周時推之。一周中月在赤道南北之緯度。最大爲二十九度。最小爲十七度。

以幾何理言之。日月攝水成潮之力。與距地之立方有反比例。日月之道俱爲橢圓。其距地乍遠乍近。

故日力變大小。在一十九與二十一之間。其中數爲二十。月力變大小。在四十三與五十九之間。其中數爲五十一。故潮之最高與最卑之比。若五十九二十一兩數和爲四十三一十九兩數較之比。即若八十與二十四之比。約爲十與三之比也。凡分別潮高卑之故。最要者莫如地勢。或地有峽口。潮入必驟漲而高。如北亞墨利加芬地灣阿那波里之潮。高出平水十二丈。英國李力斯波漲水落水相去或至五丈。中國海寧之潮。高於平水或四五丈。

考行星之質積多少。有月者。可測其月。但星推周時以推得星之攝力。即知星之質積。無月者則不能攝。而用攝動力。則無論有月無月。俱能推之。蓋凡行星依其質積及方位。加攝動力於他行星。準方位可推其力之率。測得其攝動力若干。卽可以力之率。比例而得其質積也。用此法推得木星之質積。知舊時半特測木月所定木星之質積。大不合。因所用之器不精故也。又用木星攝動因格彗推定之數。亦知半特所得不合。大率舍太陽外。攝力之最大無過木星。近賴愛里考定之。知舊所用分微尺不甚精。推月離木最遠度甚疎。因改用精器細測。前人之謬說。一一糾正。厥功甚大。

測諸行星相攝動。而知各星與日二質積之比例率。測木星諸月相攝動。亦知各月與星二質積之比

例率。異日細測土星諸月。亦可知其比例率。拉白瑟細推木星諸月。參考木月食時諸測望簿。以定諸月之質積。其最少者。與太陽比。若一與六千五百萬之比。此大小二體。一若用天平衡之。法之精密。至此。嗚呼奇矣。

定我月之質積有二法。一、考日月之二潮。精測其最大最小。以分二體之攝力。即可推其質積之比例率也。一、考地軸之尖錐動。此動止屬月之攝力。與日無涉。既得其攝力。即知其質積也。二法所得。同月之質約爲七十五分地質之一。

天算家考天王攝動。能推未見之海王。定其方位。用遠鏡試測。果得之。前已略言其事。

九卷五緯經條

此事爲

攝動之奇證。故復詳言之。乾隆四十六年。初測得天王星。後屢測。略得其道之諸根。據以上考。疑佛蘭德於康熙二十九、五十一、五十四諸年。六次所測得相等諸恆星。後復不見者。恐俱即此星。又乾隆十八年白拉里二十一年梅爾所測得之星。及乾隆十五、二十九、三十三、三十四、三十六諸年。勒末聶十二次所測得諸星亦皆即此星也。此諸人俱用精器。測亦細密。故其測簿可信。據以改正諸根數。蓋橢圓之分愈大。則根數愈易推定也。又以土木諸行星所發之攝動加減之。意其能密合矣。步伐爾既作

木土二表。卽今所用者。又欲作天王表。乃準乾隆四十六年至嘉慶二十五年所測。用一橢圓道及諸攝動。上推不能悉合。因謂舊測不足信。然用其所作表下推。與測望亦不能密合。所測經度恆多於表中經度。自乾隆六十年其差漸大。至道光二年而止。此後漸小。至道光十年。所測與表合。過此復不合。所測經度。恆少於表中經度。則此表不能定星之行法也。乃考其不合之故。如呷板一圖。其橫線爲所推天王日心經度。每分五十度。其縱線爲經度差。每分一百秒。每年測天王經度。或與所推合。或大於所推。或小於所推。於橫線或上或下。俱用黑點識之。如康熙二十九年佛蘭德所測。大於所推六十五秒九。識於橫線之上是也。餘仿此。若作線聯諸黑點。則成浪紋狀。橫線之上有二彎。其下有一彎。又略依其狀作呷呷叮叮噍噍線。令交橫線之點。相距各一百八十度。乃依此線各點距橫線之度。移相對諸黑點向橫線。如乾隆十五年之點甲移向乙。與乙距丙等。則與交點噍略合一橫線。準此。則知其差大半由於天王根數之誤。蓋經度遞大遞小。恰距一百八十度。此兩心差或卑點有誤。所生差皆應如是也。考兩心差或誤。則所推較所測。每隔一百八十度。其經度必遞大遞小。而在最高最卑二點。必恰合無差。今步伐爾所推最卑點之經度。約一百六十八度。最高點約三百四十八度。略在圖中呷

啞啞吡吡等字之中物甲諸點。而不在啞啞吡等點。則非兩心差之誤。而必爲最卑點之誤矣。如呷板二圖。任取辰天爲星之平經度。天人爲所推橢圓真經度與平經度之差。味爲最卑點之經度。吧或晒爲最高點之經度。各人點恆在吧呷味呻晒浪紋曲線內。晒至味在吧晒線之下。味至吧在其上。設最卑點實在未。全曲線當爲巳午未申酉。則辰天平經度與真經度之差爲天人。而人人爲所推所測二真經度之差。乃取吧呷味呻晒曲線。伸爲辰卯直線。依二真經度之人人諸差。作呷咄噴哪啞曲線。如呷板三圖。則曲線與直線之距。卽最卑點誤置之證也。此圖之曲線必成上下二浪。其交直線咄哪二點。相距必一百八十度。卽二圖之呷叭二點。在二真經度最大差呷午及呻申之間。距最卑最高點各九十度。既知其差大半。因最卑點誤置。則必將最卑點移前若干度以改正之。法取一圖之橫線并二浪紋曲線。于橫線各點作諸縱線。與二曲線相遇。視諸縱線在上下兩邊。則取其較在一邊。則取其和。依之作線。必如四圖諸點聯成之曲線。又作甲乙線。少斜於呷吡線。以代之。則自康熙五十一年至嘉慶五年。所測與改正推法所得略無差。而康熙二十九年所測。尙差三十五秒。此測本未精。可不論。夫以呷吡橫線爲天王經度。周時有小差。以甲乙斜線代之。其差消盡。是其逐度小差之比。若距二線

交點之比。交點在乾隆三十四年。準此。則依呷叱所推天王之度。恆在所測度之前。是表中所用平速稍強。周時稍弱。必減其平速。增其周時。依法推至嘉慶九年。與測望略無差。而此後又生一差。其行增速。愈久愈大。較所推橢圓行。恆進前。直至道光二年。積差最大。自此至今。速率復漸減。天算家論此事。謂必有他力加之。此力或前所無。或雖有。甚微不能覺。至道光二年。力之方向相反。且反力更強於原力。論此力者。紛紛不一。或謂必有未見之外行星。此乃其攝動力也。其說最合理。於是英亞但史。法蘭西。佛理亞。用攝動之法。反推之。求未見星所在之方位。二人所得略同。力佛理亞推得道光二十六年八月四日。未見星之日心經度。爲三百二十六度。亞但史推得是日日心經度。爲三百二十九度十九分。其較不過三度十九分。又推其星之道面。略與黃道面合。力佛理亞。寓書于伯靈星臺官嘉勒。請依所推試測之。是夜嘉勒與因格同測。果得之。爲八等星。明夜復測之。見其經度已變。知確係行星。非恆星也。後復細測。依奈端攝力之理推之。知天王諸差。果皆生於此星也。嘉勒推得本日之地心經度。爲三百二十五度五十三分。化作日心經度。得三百二十六度五十二分。較力佛理亞所推。差五十二分。較亞但史所推。差二度二十七分。而較二人所推得之中數。僅差四十七分。

今略言其推法。海王之質積與諸根。俱爲未知之數。惟波特曾言半長徑略倍天王半長徑。約大於地道半徑三十八倍三六四。而天王諸根。亦爲未知之數。蓋發攝動體之諸根俱未知。則受攝動體之諸根。亦難定也。故推步之法甚繁。惟略知一道之長徑。則可設餘一道之長徑。而半用代數號。半用實數。依拉白拉瑟天重學款中之公式。寫其諸項。無論何時。可顯其攝動力之率。以此諸式及所改天王之根數。用表中經度。推得其數。以測望之數校勘之。乃改正式中海王之諸根與質積。及天王未定之根。俱能得其真數。次減小海王之距數再推之。蓋據前推所得。知先所設距數太大也。而得諸數更密。列表於後。

海王諸根表

推者	道光二十六年		平黃經	半長徑	兩心差	卑點黃經	質積	
	月	日						
力佛理亞	一一	一五	三三八	四七·四	三六·一五三九	〇·一〇七六一〇	二五 四五·八	〇·〇〇〇一〇三七
亞但史	八	一七	三三三	二〇	三七·二四七四	〇·一二〇六一五	二五 一一·〇	〇·〇〇〇一〇四三

力佛理亞依測望簿推至道光二十五年。亞但史推至二十年。亞但史又另推五年。知半長徑不合。當更減小。定爲三十三·三三。與測望略合。後人益復精測。覺亞但史後所定半長徑。尙失之大。須再減。旣測得其數。據以上推。知拉浪於乾隆六十年三月二十日及二十二日所測得之恆星。因前後測不合。自疑初測誤者。蓋卽海王也。米利堅瓦克據此諸測。推得諸根數如後。

元時 道光二十六年十一月十五日倫敦午正

平經度 三百二十八度三十二分四十四秒二

半長徑 三十·〇三六七

兩心差 〇·〇〇八七一九四六

最卑經度 四十七度十二分六秒五〇

正交經度 一百三十度四分二十秒八一

交角 一度四十六分五十八秒九七

周時 一百六十四太陽年六一八一

每年平速行 二度一八六八八

右根較力佛理亞及亞但史所推。差甚大。然所得海王之方位甚相近。蓋用二種根數。推海王此日所在。與測望所見之處。俱相近也。又其距日。亦與二種根所得距日中數甚相近。蓋用力佛理亞根數。推得本日之帶徑為三十三。而卑點距日。為三十二・二六三四。又推得嘉慶十一年至道光二十七年海王最卑點。不過四十二度。則本日海王距日。必在三十二・六與三十三之間。後有表兼列海王之真度。及二人推得之度。觀之知其數之相近。所列之度。皆日心經度也。

圖中諸黑點。乃識天王星每年之經度及推與測之差。其年皆記以英字。今釋之。康照二十一年 五十一 五十四 乾隆十五 十八 二十一 四十六 六十 嘉慶十 光二道

天王海王二星諸黃經度帶徑表

年	天 王 海 王		王 力 佛 理 亞 亞 但 史	
	黃 經 帶 徑 黃	度	黃 經 帶 徑 黃	度
嘉慶十	一九七・八	二三五・九	三〇・三	二四一・二
	二四六・五	三三四・二		

十五	二二〇・九	二四七・〇	三〇・三	二五一・一	三二・八	二五五・九	三三・七
二十	二四三・二	二五八・〇	三〇・三	二六一・二	三二・五	二六五・五	三三・三
二十五	二六四・七	二六八・八	三〇・二	二七一・四	三二・四	二七五・四	三三・一
道光元	二六九・〇	二七一・〇	三〇・二	二七三・五	三二・三	二七七・四	三三・〇
二	二七三・三	二七三・二	三〇・二	二七五・六	三二・三	二七九・五	三三・〇
三	二七七・六	二七五・三	三〇・二	二七七・六	三二・三	二八一・五	三二・九
四	二八一・八	二七七・四	三〇・二	二七九・七	三二・三	二八三・六	三二・九
五	二八五・八	二七九・六	三〇・二	二八一・八	三二・三	二八五・六	三二・八
十	三〇六・一	二九〇・五	三〇・一	二九二・一	三二・三	二九六・〇	三二・八
十五	三二六・〇	三〇一・四	三〇・一	三〇二・五	三二・四	三〇六・三	三二・八
二十	三四五・七	三二二・二	三〇・一	三二二・六	三二・六	三一六・三	三二・九
二十五	三六五・三	三三三・一	三〇・〇	三三二・六	三二・九	三二六・〇	三三・一
二十七	三七三・三	三二七・六	三〇・〇	三二六・五	三三・一	三二九・三	三三・二

觀此表。知天王與海王合。在道光元年之末。力佛理亞所推。在三年之首。亞但史所推。在四年之末。故二人所推海王之攝力方向。與真略同也。凡攝力在合時最大。今列諸家所推嘉慶十年道光二十五年及合時海王之攝力。并質積。列於後。準前卷理。皆十二卷諸數已知條。日攝天王之力恆爲一。以所得各母數約之。得全攝動力也。

推海王攝動力之比例表

力佛理亞	斯得路佛	庇爾思	推者質積	嘉慶十年力合	時力	道光二十五年力
九三二二 一	一四四九六 一	一九八四〇 一	二七五四〇	七五〇八	三三三三九〇	二〇八三七
二〇八三七	二〇二四四	五五一九	五一一九	二二三八一〇	五一九三	一九九三五

按庇爾思在米利堅堪比日星臺。斯得路佛在波羅略星臺。用弗鑿斛拂所造之遠鏡。測拉斯拉所得之海王月。以推海王之質積。然二得數大不同。蓋用分微尺。其細數最難確。故不能決其誰得誰失也。海王之質積既未能定。故但憑力佛理亞所推嘉慶十年至道光二十五年。四十年中之攝動。爲最有力之時。依前理^{本卷準上論條}作圖。以顯法切二力之大小率。如甲板五圖。吧爲天王。噴爲海王。二平圓爲二星之道。吧嘮爲法力率。其方向恆正交吧道。卽前圖之申丑。吧叭爲切力率。其方向恆切吧道。卽前圖之丑卯。呻嘮寅呋呻甲呻卯呻乙呻四圈曲線爲嘮點所行之道。呋叭丙已呋戊丁哧呻四圈曲線爲叭點所行之道。在上下二合點之左右。法力向外。餘處皆向內。近下合點。法力最大。遠勝於近上合點。下合點左右各三十五度五分之點。無法力。故天王在下合點。所受法力最大。行八年三六漸變小而無。此後法力向內。自小而大。然嘮點在甲或乙小圈內。則向內力最大。時亦甚微。歷時最少故也。後嘮點行呻卯圈。向內力復漸小而無。乃復向外。至上合點而最大。餘可類推。天王在丙丁呋呋四點。皆無切力。乙呋呋丙二弧。各七十一度二十分。天王自乙至呋。行十七年。其速率因切力而增。自呋至丙。亦行十七年。其速率因切力而損。自丙至呋。切力不大。觀圖自明。準此。則四圖嘉慶五年後。經度漸

變大。至道光二年而止者。乃切力順加漸變大。令速之增率漸大。後切力復變小。增率漸小。至合點而切力爲無。速率得平。所生也。道光二年後經度漸變小者。乃切力逆加漸變大。令速之損率漸大。所生也。故其曲線前高而後卑。皆生於切力。無可疑焉。曰。此與法力無關乎。曰。切力能直令速率變。十三卷此後詳論法力令距日數變。準同時同面積之理。而速率亦變。本卷準上條其元點條然自嘉慶五年至道光二十五年。

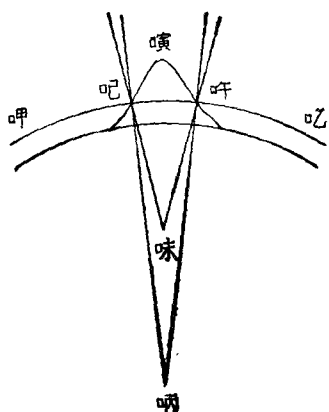
法力所生經度差甚小。與測望數不相關也。細論之。切力所變速率。合前合後。恰相反而相消。故平速仍不變。又所變最卑點兩心差。亦相反而相消。故雖變如不變也。法力不能直令速率變。然自無力點至無力點。其向外之力積久而大。令星距日數變大。而速率變小。其向內之力甚小。不能消盡。故僅有切力。則其差每周必消盡。而有法力。則恆有餘差。自初測至今。歷時未久。未能得其確證。然觀四圖。黑點漸向下。速於漸向上。可知因法力令兩心差卑點生變而然也。然則天王之經度差。必恆如浪紋曲線。直至後下合前二十年。二根略變。而浪之方向相反。上合亦然。但其變視下合甚小也。

力佛理亞亞但史二家。推海王所在。用心甚精而苦。故嘉勒依其方位。一測即得。而論者或謂其推法無理。其星之測得。乃偶合耳。嗚呼偵矣。夫天王之周。爲八十四年〇一四〇。海王之周爲一百六十四

年六一八一。每一百七十一年五八而一下合。近時之下合在道光二年。前下合必在順治六年。其時尙未知有天王。至康熙二十九年。始測得之。後屢測。未覺有差。至嘉慶五年。始覺有微差。至十年。而其差顯著。至二十五年。差益大。而人人論此事。未能解其故也。後雖知爲未見之星所攝動。然欲推未見星之方位則甚難。凡二星合時。其攝動力最大。必先推定其時。則合之前後。攝動漸大。漸小之率。始可知。然欲憑測望而定其攝動最大。其事非易。測望不能無差也。故至道光二年後。又若干年。尙不能定最大之時。至二人出。始略能推定之。烏得云偶然耶。夫樹作花時。人見而候其果。果熟而采之。乃云此果得自偶然。智乎愚乎。

讀前數條所論推定屬太陽諸體之相距及相與之行動。及體質與太陽體質之比。以地球體質爲一。而謂之元。此元與地面體質或輕重之比。尙未論及也。能知地球體質之全重。爲鉛或他物一觔重之若干倍。則知此元矣。已知地球之大小。再求其疏密率。即可知其全重之數。惟其疏密率終未有定數。茲能定之。則天學能與重學相合矣。詳論如左。求地球疏密率之法。將已知大小之體。並知其與任何別體之相距數。而試得其在此體所有之攝力。即可得地球之疏密率。準地心力之例。凡各

球體質之疏密率相等。而有大小不等。則各球面每質點攝力相與之比。如球半徑之比。設有徑一尺之球。而其體質之疏密率。等於地球之體質。則球面之上。一質點之攝力。僅爲四億一百八十四萬九千二百八十分。此質點本重之一。故此一尺徑之球。與別一尺徑之球相切之攝力。僅爲十六億七百三十九萬七千一百二十分。球體之一也。如此極微之數。尋常權重之法所不能測。必用精妙之法。方能測得。而再可詳推也。若用大攝力之物。則能令其微數變大而易見。法用地面上所有最大之物。而不必造作一球。因凡物無論大小形狀。知其體質。可用積分法推算此物面之上。一質點之攝力。故擇形狀合宜之大山一座。依奈端之例。用線懸重物於大山之旁。則必受山之攝動。而不能合原垂線。惟山雖甚大。與原垂線所差者甚微。且用懸線或水準於山旁。皆不能合原垂線。必用精妙測天之器。在山相對之兩邊。各測定天星。得其準線之交角。再與用三角法測此二處當有之原角。比較而得。受山旁攝力之偏度也。如圖。噴爲山。呷呷爲赤經圈。交於山旁之呷呷二點。此二點之聯線。經過山之最大攝力處。噴爲地球之中心。見卷四假如以木作一地球象條呷呷角爲二處緯度之較。可用三角法測地面而得。呷呷之實相距。再由地球之徑與扁率而變之爲緯較之秒數。用天頂尺

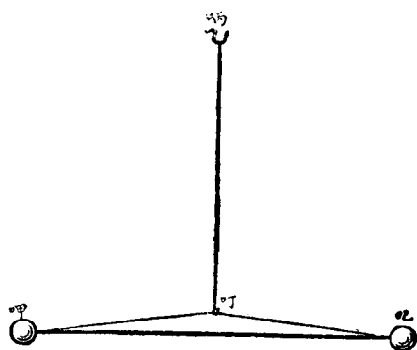


於吧呷兩處。測天頂之恆星。因天頂尺之酒準。必受旁攝力向山而偏。故所得之準線。必與地球之半徑線不合。而成吧味呷角。大於吧啞呷角。二角相減。即得山之南北兩邊攝力偏度之和。次乃測量此山而作小樣。又取山內各處之質。而求得其重率。依此法推算。雖覺繁重而得數恆確。惟其旁攝力必依命爲一之元數定之。如以一觔重之球。其心相距一尺之點爲元是也。將諸

元之和變爲合地平方向之力。卽爲山之旁攝力之全數。此數與地球合垂線方向之攝力比。如兩處攝力偏度和之切線與半徑比。分其兩處偏度之法。使兩處偏度和與兩處偏度比。如攝力全數與兩處推得之攝力比。惟用以上之法。繁難之至。必有精妙之器。及能精測之多人。乾隆三年。法蘭西博物士部額與拉工大民。在祕魯國測量地球之子午線時。見卷四量子午圈度里數條用此法測成波拉索山。得準線兩處偏度之和約十一秒。惜測量之器非極精。所得不足甚信。乾隆三十九年。馬斯奇林

測蘇格蘭之失哈連山。得準線偏度之和十六秒六。其山雖僅高三千尺。而形勢甚便。所得可信。黑頓白來非二人。先後各依此推算之。得地球之疏密率中數。與地面水之疏密率比。若四·七一三與一比。近時用三角法測量英國全地之官哲末士。在蘇格蘭之壹丁不測一山。得北邊偏度二秒二。南邊偏度二秒。依此推算之。得地球疏密中數爲五·三一六。又法。以鐘擺測山峯之攝力。與地球之攝力而比較之。亦可得地球疏密率之中數。因地心力之減小。與距地心之平方有比。而依鐘擺每動之歷時。可知鐘擺所受之地心力。見卷四一用鐘擺條設將已知在地面處每動歷時之鐘擺置於空中。距海面若干高之處。其每動之歷時。可詳推而得。若將此擺置於與前等高之山峯之巔。則有山質之攝力與地心力相合。其每動之歷時。較前次之在空中必少也。白拉納賈利尼在亞卑斯山之一峯名色尼。依此法測量而推算之。得地球疏密率中數爲四·九五。又法將鐘擺置於深礦之內。亦可測得地球之疏密率。按奈端之例。凡勻質之空球殼。以一點任意置殼內之何處。皆無偏向一邊之力。因其四面之攝力皆相同也。又例。一點受同質大小二球之攝力與二球之徑有比。準此二例。則物若降至地球面之下入於深礦之內若干尺。其所受地球攝力。必等於全攝力內減去此

若干深地球殼所有攝力。是以全地球之內外質若疏密率相同者。則在礦內之攝力。必小於全地心力矣。一全地球內質之疏密率若大於外殼之疏密率者。則在礦內之攝力。或較全地攝力。不但減小而反有加大者。地球外殼之疏密率既易推測而得。則依此可得地球疏密率之中數矣。英國天文官愛里。曾試此法數次。第一次在哥奴瓦銅錫礦內深一千二百尺。將鐘擺之器。自下取上。至半途而礦內自燃。因致磔開落下。未得試成。第二次仍在此礦內。適有大礮石漸漸低下。致多水滿礦底。亦皆試未成。第三次在達罕府之南特爾爾字煤礦內深一千二百尺。用電氣線連上下二鐘。擺以比較動數。絕不參差。得礦口之秒擺此擺每動一次較礦底之秒擺。一日中少二秒又四分秒之一。依此推算得地球之疏密率中數爲六·五六五。以上諸法所得之數。參差頗多。而末一次與前各次。參差更多。皆難取信。有密者勒勸思一法。依前言用鉛球之攝力。與地心攝力相比。將其得數與前數相消而得可信之數。後賈分第依此法試之。如圖。用長木桿。兩端各連小球呷呷。用細鐵絲一條。橫繫木桿之兩端。又用細鐵絲繫於橫鐵之中點。而上掛於兩鉤。則木桿不受折力。若有外力使木桿平轉。則直鐵絲受絞力。而其質生相等之簧力。去其外力。則簧力使木桿退回。而仍平轉至



原處。再以永動性轉過。至不勝絲質之簧力。而再退回。如此往復轉動。成合地平面之弧線。而每次成弧線所歷之時相同。已知二球與木桿之重。則依每次成弧線所歷之時。可按靜重學之理。定鐵絲加於球之動力。即為絞力之率。加外力之法。以大鉛球近於呬乙二球。一在左。一在右。則呬乙二球同受攝力而移動。即使鐵絲受絞力移至絞力與攝力相定而再移。過則攝力不勝絞力。球必自回。後則自行擺動必多次而始停。木桿之末有針指其平轉之弧度。另用時辰表表其每動所歷之時。則將每動之歷時與弧度可與鐵絲之較力比較。而知其攝力。然人若近此球。則另加人之攝力而不準。故弧度宜用遠鏡窺之。且其桿與球為空氣所阻。弧度必漸短。又二大鉛球以地平方向現攝力。而攝力與相距之平方有反比。合於絞力而成并力。因此并力。故其時其速其弧度與獨有鐵絲之絞力者大不同。若欲詳考各事。推算甚繁。幸其攝力極微。可不必詳推。而用簡

便之略數。得數亦無大差矣。惟此外能混亂其數之故尙多。不可不防。皆因寒暑不同。而空氣流動也。茲不盡言。賈分第用此法得地球之疏密率中數爲五·四八。嗣後來迄用此法得五·四三八。再後倍里弗用此法精心詳考得五·六六。此二數爲更可信。茲將所得諸數臚列之。馬斯奇林測於失哈連之地。白拉非推算之得四·七一三。賈利尼以鐘擺測於色尼山。如略改定得四·九五。哲末士以攝力測於壹丁不山。得五·三一六。來迄用賈分第法得五·四三八。賈分第測得五·四八。倍里弗重推之。得五·四四八。倍里弗再用賈分第法。測得五·六六。愛里用鐘擺測於南特爾字煤礦。得六·五六五。此諸數之中數。爲五·四四一。若取最大最小二數之中數。則爲五·六三九。故五·五可爲略近數。而易記憶。以地爲正圓球。徑二萬二千八百八十里。則得地球體積爲六兆三千三百三十九億一千五百九十七萬立方里。以水一立方尺之重爲四十八觔八。則地球之重爲九秭八千一百四十五垓六千京觔也。

談天

卷十五 恆星

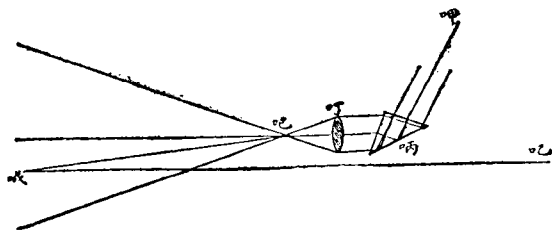
天空除日行星彗月之外。尚有無數光體。大小明暗不等。而相與成方位有一定。永不變亂。故名之曰恆星。然其中亦多有遲遲行者。非精測久測不能覺也。

天文家測恆星之明暗。分爲若干等。光最大者爲一等。其次爲二等。又次爲三等四等。又次爲五六七等。光雖漸微。然清朝之夜。目能見之。自八等至十六等則非遠鏡不能見矣。然遞次造遠鏡。力愈大。所見星亦愈多。故恐不止十六等。十六等以下。必尚有無數星。今未能見也。各人所測定之等。不盡同。然大略一等星或二十三或二十四。二等約五六十。三等約二百。愈小愈多。總計一等至七等。見于各家表者。自一萬二千至一萬五千未定。

恆星之體不能見。不過憑其入目之光分。以定其等。夫光分大小之故有三。一星距我遠近。二星之實

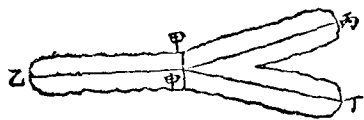
光面大小三星之光力強弱。準此。則星之光分。參差不等。其最大最小。必如數萬萬與一之比。今光分之三。故既不能略知。則所分之等。亦不足憑。且天文家測光分大小。亦非定用一法。有用連比例者。如下一等之光分。恆半于上一等。或恆為三分之一。或任用他比例。有用逐數平方之反比例者。如一等為一二等為四分之一。三等為九分之一。四等為十六分之一。以下類推。今案前法。與光理合。蓋逐等之光。有一定比例也。然依視學理。測光之比例。人目所不能。則亦有病也。後法與體積等齊之理合。其意蓋謂星之實光本相等。但距我有遠近。一等最近我。二等以下。其距我或倍於一等。或二倍三倍於一等。餘類推。準此。七等與六等比。若三十六與四十九比。十等與九等比。若八十一與一百比。而一等與二等比。若四與一比。此法無病。蓋目之辨別小光。較易於大光。察六七等之差。為四十九分之三十六。與察一二等之差。為四分之一。初無異。故後法勝於前法也。近代所用之等數。理與第二法略同。設一等星如南門第二星。距我為 $\bigcirc \cdot 414$ 。乃移此星漸遠。令其距我為 $1 \cdot 414$ 。又為 $2 \cdot 414$ 。又為 $3 \cdot 414$ 。則其光分遞變小。必與二三四諸等之星同也。餘仿此。凡相連二等諸星。其光分不齊。中間尙可分為若干等。而一等與二等。尤不齊。或分為一二等。二三等。

餘類推。或於一二兩等間增兩等。曰一等。二等。二一等。二二等。一二等者。謂其等在一二等之間。而近於一等也。二一等者。亦謂在一二等之間。而近於二等也。然不如用整數小數。以整數表其等。以小數表其分。爲較密。如井宿第三星。在二三兩等之間。其光分與一等星中參宿第四星比。若一之平方與二·五之一之平方比。則爲二·五一等。又與南門第二星比。若一之平方與二·九二四之平方比。則爲二·九二四等。末卷附恆星表。俱依此法列之。測星光分大小。其難有多端。星之色不同。一也。無一定大小之光爲本。二也。人目僅能辨光之等不等。而不能定大小之比例。三也。法之最善者。取木星之光爲本率。蓋木星之光。明於諸大恆星。無弦望之變。不過準距日遠近而小變。亦易推也。法依視學。令其光變小。與所測之恆星光相等。乃推其比例。而知所測星之光分也。如圖。吶爲所測星。呷爲木星。呷爲三稜玻璃。叮爲凸鏡。吧爲聚光點。呷光入呷而回。透過叮。而聚於吧。吧必有小光點。熒熒若星。置呷法。必令呷之回光。



與吡之視線平行。吡爲人目。見吡并見吡。乃進退吡。令吡變大小。至吡吡二光分相等而止。夫吡光之大小。與吡吡距平方有反比例。乃如法累測二星。定吡吡之二距。卽得二星光分之比例也。先選取數星。用此法測其光分。以定其等。其餘諸星。暗於上一等明於下一等者。卽用測定之星相較。以推其小分。則可成星等之全表。自最明天狼星起。至最小僅能見之星。俱能推定其光分也。天學中此一門。今初濫觴。若能精益求精。用以測諸變星。詳後有大用也。

觀最明諸星之方位。覺其散布天空。疎密略同。而參宿第二星。十字架第四星。所居之大圈左右一帶最多。又南半球多於北半球。若并目所能見諸小星統論之。則覺近天河最多。而遠鏡測之。則近天河一帶。多至不可數計。目所見天河之白光。實無數小星之光也。由是觀之。恆星非散滿太虛中。乃聚居一處。其聚處之界。如圖。乙申丙。或乙申丁。爲其長。倍甲申爲其厚。申甲面之垂線爲其廣。厚較長與廣甚小。日爲恆星之一。與諸行星及地居於申。約在厚之中點。近申處分爲申丙申丁二股。二股之交角不甚大。人在地望天空四周。申甲方向爲界之厚。厚之徑最小。故見星最少。



申乙申丙申丁三方向。爲界之長。長之徑最大。故見星最多。侯失勒維廉以最大遠鏡測天河。悟得恆星之理如此。以遠鏡窺天河最明處闊二度一帶。一小時中所過之星約五萬。又當赤經一百五十七度三十分。距極一百四十七至一百五十度之處。方一度中。數之得五千餘星。小星如是多而大星甚少。蓋距中最遠也。

用目視天河最明之一道。大率爲天球之大圈。與赤道交角約六十三度。其二交點之赤經。一爲十一度四十五分。一爲一百九十一度四十五分。故天河圈之北極。其赤經一百九十一度四十五分。距極六十三度。其南極之赤經十一度四十五分。距極一百十七度。此大圈當分股處。在二股之間。略近尤明之股。依赤經度細測之。初過閣道。爲其最明處。約在閣道第三星北二度。卽距極二十八度。再過策星與閣道第二星之間。發一分支向西南。近天船第三星最明。近卷舌第二星漸淡。過此幾不可見。約略近畢昴二宿。爲分支盡界。其中幹最淡。過柱第一第二第三星出五車第二星之西。又過諸王司徒。而交黃道略近二至經圈。過水府四瀆而交赤道。其經一百零三度三十分。光淡而難辨。過此漸明。自四瀆過天狼之北。至弧矢。漸闊而益明。色白。直至近日短圈。又分一支。細而曲。至天社第一星而盡。其

中幹向南行。至距極一百二十三度。散爲數支。狀若摺扇。闊約二十度。錯雜相交。至天記及天社第一星之聯線。而數支忽俱隱。歷若干度而再見。仍爲數支。至南船第三星而合。狀亦如摺扇。約至海山成小洞。狀半圓。次作小頸狀。最明。闊約三四度。而至十字架爲最狹處。過此忽變闊而明。中間函十字架第三第四星。及馬腹第三星。將及南門第二星。白光之中。忽函黑洞。作梨狀。甚清晰。人人能見。海船中指名曰煤袋。此洞長八度。闊五度。用目察之。中惟一微星。測以遠鏡。則有多星。所有黑暗者。因四周皆白光故也。此卽最近南極處。其光較北半球甚明。因思天河必作扁環。或別回原之形。其闊與厚不等。我地與日所處。四面皆遠天河。而非恰居中心。略近南也。當南門第二星。又分一支。其初甚闊。約如本幹之半。驟削而狹。其削邊與本方向交角約二十度。西至積卒第一星。漸淡不可見。其本幹變闊。過尾宿成曲肘形。又分爲二支。其東支闊狹明暗參差不等。其西支發諸小支相交。過神宮漸闊漸淡。近天籬而隱。距北極一百零二度。與北邊大支相隔。其空處十四度無光。本幹成曲肘形處。變向東。過杵。又過尾宿第五第六星。至箕宿第一星。忽聚爲橢圓狀。約長六度。闊四度。光極明。測其星至少當有十萬。過此而北。與黃道交。其經度二百七十六。過斗宿至於天弁。其狀有極凹處三。與驟凸處相間。其凸最

甚而明者一。近河鼓。乃中國所見天河最明之處。當赤經二百八十五度過赤道。此處屈曲無定。過右旗河鼓左旗。至天津第九星。作亂續之狀。不甚相連。在天津第九第三一星之間。有廣黑洞。略如南方之煤袋。是爲三大支之源。三大支者。一卽本支。其餘二支。一自黑洞處起。從天津第三星向北。過騰蛇造父而復至閣道。一自天津第一星起。光甚明。向南行。過輦道四星八天市垣。約至赤道當星點希疎處而隱。此支若過赤道。可與天籥所隱之支相連。而本幹又分一支。從造父直向北極。大約函天鈞第四第九星。及造父第一星中間一段焉。

上條論天河如此詳細者。因他書未嘗論及。且天河實爲考恆星理之要事故也。我地亦在天河中。故欲測此無法之形。較測雲之狀更難。蓋雲之高不能過一定之限。且雲之動。其方向俱可見。而我恆在其下。故作雲之圖。尙非甚難。而天河並無此諸端可憑。大率不過知其爲扁形。其厚較長闊俱甚小而已。此外諸事不能憑視學理而測。所可意度者。如忽遇空處。其中無星。若煤袋類。則知非如管之長空洞。透見界之外。乃遠方扁處。有空洞耳。又如觀諸分支。則知或爲薄層。我從側視或爲圓凸面。我從切線視。而非柱形也。又或數支交錯如網。若尾宿內須知諸支或遠或近。相去懸絕。非在一面內相交相

遇也。當大風時或有雲數層。上下移動。觀之可明此理。若欲實知天河之形狀大小。不能虛揣而得也。侯失勒維廉。用徑十八寸之遠鏡。其聚光點距鏡二十尺。其力一百八十倍目力。測天空徑十五分一界。細數諸等之星若干。如此察天數百處。則知在天河大圈之極。星光之和分最少。距極漸遠漸多。至天河爲最多。從極至天河。其光變多之比例。初甚小。漸近大圈漸大。斯得路佛詳考其數如左。

星數比例表

每十五分界內星數	距天河北極度
四·一五	〇
四·六八	一五
六·五二	三〇
一〇·三六	四五
一七·六八	六〇
三〇·三〇	七五
一二二·〇〇	九〇

觀此。知天河內星數之密。多於極。若三十與一比。較交其圈十五度角一帶之諸星。若四與一比。強前

所論天河之狀。本卷觀最明諸星條憑此數而得。細考此數。覺前說甚有理。譬如人在霧中。向天頂視。覺霧甚薄。視線漸近地平。則漸厚。且其變厚之比例漸增。至地平而最厚。蓋不獨視線過霧界。由短而長。亦由霧之質。漸近地漸濃也。天河之星亦然。斯得路佛考其比例。知諸星愈近天河大圈愈密。列表如下。此表右一行。以纔能見中等星遠鏡力之限爲一。名本距數。漸離天河大圈面。恆星之密率驟變小。離面如二十分本距數之一。其密已減小一半。離面○・八六六。幾若二百分之一。考此理欲令無病。當先設

星疏密比例表

諸星疏密率	距天河面
一・〇〇〇〇〇	〇・〇〇
〇・四八五六八	〇・〇五
〇・三三二八八	〇・一〇
〇・二三八九五	〇・二〇
〇・一七九八〇	〇・三〇
〇・一三〇二一	〇・四〇
〇・〇八六四六	〇・五〇
〇・〇五五一〇	〇・六〇
〇・〇三〇七九	〇・七〇
〇・〇一四一四	〇・八〇
〇・〇〇五三二	〇・八六六

二事。一逐層各爲平面。而每面各處疏密相等。一取遠鏡之力有定限。限之外雖有星。不能見。與無星同。

天河之南半。星之方位略與北半同。嘗用遠鏡。與侯失勒維廉之鏡同力者。測繞天河南極諸帶內。每界星數。界各十五分。每帶相距十五度。列表如左。

星數比例表

每界星數	距天河北極度
六〇五	一五至一〇
六六二	三〇至一五
九〇八	四五至三〇
一三四九	六〇至四五
二六二九	七五至六〇
五九〇六	九〇至七五

前斯得路佛之表。不能與此表相比。蓋前表乃距天河北極限度若干處之數。此表乃每帶中之約數也。而斯得路佛別有一表。列距天河北極每度之約數。準之可推每帶之約數如下。觀此表。則南北

二半球。疏密之比例略同。而南半球略密於北半。故意我日及地所居非恰當厚之中。而偏於北半也。

星數比例表

每界星數	距天河北極度
四·三二	一五至一〇
五·四二	三〇至一五
八·二一	四五至三〇
一三·六一	六〇至四五
二四·〇九	七五至六〇
五三·四三	九〇至七五

用最有力遠鏡察天河一帶。知其質分大不同。諸星有疏密停勻處。有亂列無法處。或為諸小星座。俱相近。或為空處。星甚稀。或為黑暗處。欲覓得星甚難。有十五分界內得四五十星。有十五分界內得四五百星。各處星之等數不同亦然。各界大等與小等星之比例不等亦然。有黑暗處。不見有微星。故知今遠鏡之力。已望至星界之外。不然。遠鏡力加大。微星何以不加多也。又若其外尚有無數小星。不當如此黑暗也。又有處。諸星之光分略相等。散布天空若在平面。且疎密有理。無甚大甚小之星。或有亦

甚少。則知此諸星在一層中。其層之厚。小於距我數。或云。其中或有最遠之星。乃最大。故雖遠而光不甚小也。此說恐非是。蓋他處又有一層星俱大等。後襯一層星俱小等。無中間諸等星相雜。知二層相去甚遠。其懸隔處無星也。

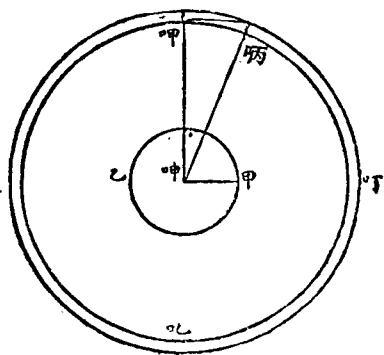
天河北兩半球。用最精遠鏡。周徧察之。見天面黑處甚多。可知遠鏡之力量望及恆星之外。而諸恆星非散滿太虛。無盡界焉。否則諸小星聚而發光。無論若何遠。必能見之。不至天面黑暗也。或曰不然。準阿爾白士之說。星漸遠光漸變小。其光衰。較因距數變小之衰甚大。蓋光衰爲按分之比例。而距數爲遞加之比例。依此理推之。遠鏡力必有定限。故最遠處雖有星。不能見。而天面黑暗也。曰。此理雖若甚奧。然半依性理。非全格致家言。今姑不論。但此理果精確。則凡最遠處之光。皆當不見。何以遠方之星氣。却能見也。又在尾宿處一大段。見空洞之外。有星極繁。散布無法。遠之又遠。至遠鏡不能分而成白氣。此必爲天河最遠處。若遠鏡力有定限。不能過。何以又能見也。故所見黑面。實星界外無星之證。所見最小星。尚在星界內。乃體實小。非因遠極而小也。設有人問最近之恆星距我若干遠。又所見恆星之天球幾何大。又恆星天與諸行星天之比若何。能答否。曰。天文若今日之精。不難答也。以地道徑

爲三角形之底。測恆星一歲視差。視差若得。則距數亦可知。然用各種精密之法測之甚久。最近恆星之視差。終未能定也。蓋視差與測望諸差。雜糅不可分。其和不至一秒。故不能辨別諸差而得真數。雖諸差亦不甚大。而中有乍大乍小。無定之差。故分別最難也。近時測器歲精一歲。改正測差之法歲密一歲。至嘉慶間。於北半球測諸星。始知其視差無有過一秒者。凡半徑與一秒正弦之比。若二十萬六千二百六十五與一之比。又曰地距與地半徑之比。若二萬三千九百八十四與一之比。則有一秒視差之星。其距日爲四十九億四千七百零五萬九千七百六十倍地半徑。地半徑約一萬一千五百里。故星距日約五十六兆八千九百一十一億八千七百二十四萬里。即最近恆星之遠也。光行最速歷時一秒。行五十五萬五千里。過地道半徑。當歷八分十三秒三。以二十萬六千二百六十五乘之得一千一百七十七日十六小時二分四秒五。即三年八十三日。爲最近恆星光行至日之時分。然則遠鏡所見無數最遠小星。其遠當如何耶。又天河最遠之星。望若白氣者。其遠又當何如耶。以遠鏡之徑與目瞳徑比。又以其回光透光之力。與目力比。即得遠鏡望遠之力。如前條所論遠鏡。其力爲七十五。設移六等星更遠日。至七十五倍原距日數。此鏡能見之。又六等星光爲一等星光百分

之一。設移一等星遠日。至七百五十倍原距日數。此鏡望之。如目視六等星。故天河遠處。必有無數大星。與近處之一等星相等。此諸星之光到我地。大率必二千年。故測望此等星。非觀今日之天文。乃觀二千年前之天文也。

與視差相雜糅者。有歲差。有恆星自行差。詳後有地球十九年一周之尖錐動差。此諸變俱詳細知之。故推而去之不難。卽根數尙有小差。亦甚微。不覺也。而又有光行差。則異是。此差一年一終。與視差之時合。一年中逐時變之理亦相似。視差之頂點。爲日心點。光行差之頂點。爲地行方向諸平行線之合點。故推二差。同用一術。惟置日之經度。彼此九十度。餘法盡同。蓋視差之理。一若從星出線聯地球。地球繞日一周。則此線必行成極銳之斜圓錐。其軸卽星日之聯線。其底周卽地道。此線過星引長之。必行成相似倒錐。準視差理。每年見星行於小橢圓一周。此小橢圓乃天球所割倒錐之面也。視線與其周恆正交。又若其星實行一道。其道與地道等。亦平行。人居太陽心望之。光行差之理亦然。而橢圓周之大小不同。又視線交周點之方位亦不同。恆星九十度。今以視差之最大一秒。光行差之最大二十秒。俱設爲正圓。作圖明之。如呬呬爲因光行差所見星行之小圓道。甲乙爲因視差所見星行之小圓

道。同繞一中點。呻羊線與二分線平行。若僅有視差。必見星在內道甲點。若僅有光行差。必見星在外道呬點。呬呻甲必爲直角。乃作呬呬。與呻甲等。且平行。作呻呬聯線。則呬必爲因視差光行差二故。見星所在之點。且見星行於呬叮羊圍道。呻呬爲二十秒五二四。卽道之半徑。星恆在呬點之前。其度如呬呻呬角。爲二度四十七分三十五秒。呻呬與呬呬比。若二〇・五與一比。故欲推視差呻甲。必先測得呬呻呬角。卽二差所生角。羊呻呬。與光行差所獨生角羊呻呬之較也。此角度在徑數十秒之圍周。故甚微而測之甚難焉。此外又有測器差。器之質。暑則漲大。寒則縮小。器所憑依之石墩及地。亦因寒暑卽變。生極微之側動。垂線準及諸平準俱不能覺。凡此諸差。皆與測望之差相雜糅。然久測用其中數。自能消去。而又有蒙氣差。每夜不同。蓋逐層之地氣。四時冷熱異。蒙氣差亦隨之而變。測恆星視差如此其難焉。



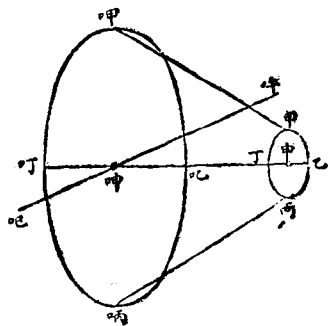
南門第二星爲南半球諸星中之最明者。好望角星臺官恆特孫。於道光二十三兩年中。用牆環累測此星。推得視差一秒。測相近諸星無此差。故知此差非因寒暑而生焉。後馬格釐於道光十九二十年。用牆環之最精者。復測而推之。所得略小。爲○秒九一二八。約近十一分秒之十。然較一秒。所差甚微。不可謂一定。故大略仍可言一秒也。此星視差數未流傳之前。哥寧堡星臺官白西勒言。赤經三百十五度十分十五秒。赤緯三十八度四分十七秒。星名鶴翼者。視差可推。係六等星。然覺其有自行。後詳

每年五秒強。較他星一年之小差甚大。則距我地必較近。故曰視差易測也。前南門第二星亦有自行。每年四秒。恆特孫亦因此而測其視差云。道光十七年秋。哥寧堡星臺最精之量日鏡成。乃日耳曼慕尼克人弗鑾斛拂所造也。白西勒卽以此鏡測鶴翼星。用新測法。其命意極精。則測較易。而得數更密。凡二星之視線略相近。而距日遠近大不同。名視雙星。非實雙星也。詳下卷此二星所有光行差。歲差。尖錐動差。蒙氣差。及測器諸差。俱略同。可不必細推。惟地道半徑視差不同。因視差與距日數有反比例故也。故一歲中因視差所成之小橢圓。亦大小不同。若逐時測二星之相距。及聯線方位。卽可得其視差。不必用赤經及距極數。但以雙星之遠者爲主。而測近者之遠近方位。卽得上諸差俱不相涉也。二

星與日之方位既略同。則二小橢圓必相似。且等勢。如呻申爲從日所見二星之方位。呬呬呬呬甲乙丙丁爲因視差所成之二橢圓。二星在其周。其方位恆同。如近星在呬。遠星必在甲。地行一象限。二星必在呬乙。又行一象限。二星在呬丙。又行一象限。二星在呬丁。二星距日不等。故二橢圓大小不等。呬甲呬丙二線不能平行。呬乙呬丁二線不能相等。故二星距分之大小及方向。逐時不同。用分微尺細測之。可得其一定之變。此須用最精雙象分微尺

量日鏡。詳三卷。

則測時雖或因光差。或因器動。二星之視體刻刻移。然二星同移。與相與之方位無關也。又量日鏡之界。大於尋常分微尺。故可取一大星與相近數小星比較。白西勒測鶴翼星。用相近二星一爲申。距本星七分四十二秒。一爲呬。距本星十一分四十六秒。本星與二星之聯線。略成直角。故申呬申申二距變大變小不同時。當此距不變時。彼距之變最速。每隔三月彼此適相反。測其距之變。推得本星與餘一星二視差之較。約三分秒之一。累測所得恆同。可不疑。因推得此星之視差爲○秒三



四八。其距我地約二倍一秒視差之星。近時波羅略星臺官彼得復測之。得數與前合。則益可信矣。織女第一星相近有微星。其距四十三秒。斯得路佛自道光十五年後。用雙象分微尺屢測之。考覈甚嚴。知大星之視差。僅四秒之一。雖小於鶴翼星。然測器甚精妙。測法又巧。故十五十六兩年中。纔測五夜。即得之。後累測盡十八年。俱合彼得復測之。得數亦同。初乾隆四十六年。侯失勒維廉定此測法。謂於天學必有裨益。然此時分微尺未精。又有他故。久測未合。近時善用此法。始於斯得路佛云。設呷申之圖。見前條一星相距甚近。則其方位之差角必甚大。即呷甲呷丙二線之交角也。如二星相距十五秒。視差之較八分秒之一。方位之差角必半度。又如二星相距五秒。視差之較一秒。方位之差角十度。二星相距愈近。則方差角愈大。此法陸得色利測多星用之。大有裨益。冀他日更用之也。

已推得有視差諸星表

星	視差角	測定之人
南門第二	○秒九七六	恆特孫即彼得所改者
天津增第二十九	○秒三四八	白西勒

織女第一	○秒一五五	斯得路佛卽斯得路佛阿所改者
天狼	○秒一五〇	恆特孫卽彼得所改者
宗人第四	○秒一六	格路克
上台第一	○秒一三三	彼得
大角	○秒一二七	彼得
勾陳第一	○秒〇六七	彼得
五車第二	○秒〇四六	彼得

上所列末四星。視差甚小。不敢深信。然因此知視差大小。與等數無涉焉。此外又有天津第四星。彼得亦會測之。絕無視差焉。既得地道半徑視差。星之遠近已知。次當測其實體之大小。然遠鏡所見星之體。乃光線相交所成之假體。非真體也。故用大小不等數遠鏡。測星之體不同。鏡愈大。星體愈小。最明之星。其體爲最小之點。故月掩恆星。霎時而隱。無初虧食既次第也。若遠鏡所見爲真體。不當如是。設太陽移遠至地道徑視差一秒之處。則今所見三十二分三秒之視徑。必變小爲○秒〇〇九三。不滿

一百分秒之一。則遠鏡雖極精。必不能察其真體矣。故星體大小無從測。僅能測其光分。而以其遠近推得其實光。測光用三稜玻璃法。本卷測星光分條。太陽光太大。不能與星比較。故用月之光爲本率。曾以南門第二星與月光比較十一次。取其中數。推得望時月與本星之二光分比。若二萬七千四百零八與一比。而武喇斯頓用精法。測得日月二光分比。若八十萬一千零七十二與一比。合二比例。得日與本星二光分比。若二百十九億五千五百七十八萬強與一比。乃以本星之視差推得其實光與太陽實光比。若二·三二四七與一比。又測得天狼之光四倍南門第二星。其視差不過○秒一五○。推其實光與太陽實光比。若三百九十三·七與一比。與南門第二星實光比。若一百六十九·三五與一比。

卷十六 恆星新理

恆星散布天空。何用耶。或云用以照夜。與月同功。則但更生一小月。若今月一千分之一。已遠勝諸星矣。或云裝嚴天空。以爲美觀。或云令測天者易定方位。說雖近是。然謂造物主之大旨。不過爾爾。恐未必然。夫天空如其大也。諸星如其多也。安知非別有動植諸物生於其中耶。行星

俱受日光。恆星不藉日而自發光。安知非各自爲日而別有諸行星繞之耶。凡此雖不能懸斷。而要不可云無是理焉。

恆星雖甚遠。然亦有攝力之理。與我諸行星相同。此非臆說也。諸恆星中或有光變明變暗。有一定周時。甚者其光消盡而復生。此類星名曰變星。如天囷第十三星。萬歷二十四年。法必修覺其爲變星。大率十一年中。明暗十二次。其周時三百三十一日十五小時七分。其最明之時約半月。時或與二等大星相若。乃漸暗。約三月而目不能見。約五月而復見。乃漸明。約三月而復最明。但每次最明。光分非恆同。其變大變小。亦無一定次第。每二次最明相距之時。亦無定。近代阿及蘭特詳考測簿。知一切有定期。八十八周而復初。周時之最長最短。差至二十五日。最明時之光分變大變小。意亦有一定。又赫佛流言。此星自康熙十一至十五年。俱不見。道光十九年八月二十八日爲最明。大於天囷第一星。與五車第三星等近。最小之時。其色白。後變爲深紅。又大陵第五星。最明時若二等星。歷二日十三小時二刻忽漸暗。約三小時半而僅若四等星。歷一刻乃漸明。歷三小時半復如初。其周時爲二日二十小時三刻三分五十八秒五。乾隆四十七年。歌特歷格初測得其數。自此至今屢有人測之。覺其周時漸小。

阿及蘭特亥師賜密特三人。俱言其變無一定比例。而其比例恆變速。意後當復變遲。若干周而復初。必有一定也。今未能測定。又造父第一星。亦有明暗。自暗變明。一日十四小時。自明變暗。三日十九小時。其周時爲五日八小時三刻二分三十九秒五。最明時爲三四等。最暗時爲五等。歌特歷格於乾隆四十九年始測之。自此至今屢測俱同。又漸臺第二星。歌特歷格亦於乾隆四十九年始測之。其周時六日九小時至十一小時。言人人殊。其光自明至暗有大變。阿及蘭特復細測之。謂其周時實十二日二十一小時三刻八分十秒。每周之變有二次最明。二次最暗。二最明俱爲三四等。而二最暗一爲四三等。一爲四五等。其周時每次不等。亦須久而復初。自乾隆四十九年後。其周時恆變大。而變大之比。例漸小。至道光二十年而止。自此至今恆變小。準阿及蘭所推。此星最暗之限。在道光二十五年十二月初五日戌時三刻十分五十三秒。又天桴第一星。必哥得於乾隆四十九年測知爲變星。其周時爲七日四小時十三分五十三秒。其漸變明。歷五十七小時。漸變暗。歷一百十五小時。最明爲四三等。最暗爲五等。上諸星俱已細測。確知其周時及光分之變。此外有略知其周時。及光分變而未細測者。列於後。

星	周時	變等	測者	測年
大陵第五	二日八六七三	二至四	歌特歷格	乾隆四十七
畢宿第八	四日 <small>強弱 未定</small>	四至五四	伯生特利	道光二十八
造父第一	五日三六六四	三四至五	歌特歷格	乾隆四十九
天桴第一	七日一七六三	三四至四五	必哥得	乾隆四十九
鬼宿變星 <small>嘉慶五年表赤經一百二十八度 七分三十秒距極七十度十五分</small>	九日〇一五	七八至十	欣特	道光二十八
井宿第七	十日二	四三至四五	賜密特	道光二十七
漸臺第二	十二日九一一九	三四至四五	歌特歷格	乾隆四十九
帝座	六十三日 <small>強弱 未定</small>	三至四	侯失勒維廉	嘉慶元年
天弁變星 <small>嘉慶六年表赤經二百七十九度 十五分距極九十五度五十七分</small>	七十一日二〇〇	五至〇	必哥得	乾隆六十
柱第一	二百五十日 <small>強弱 未定</small>	三至四	亥師	道光二十六
天園第十三	三百三十一日六三	二至〇	法必修	萬歷二十四
市垣鄭變星 <small>道光八年表赤經二百三十六度四十一 分十五秒距極七十四度二十分三十秒</small>	三百三十五日 <small>強弱 未定</small>	七至〇	哈爾定	道光六

聲道變星	三百九十六日八七五	六至十一	格戩	康熙二十六
張宿變星	四百九十四日 <small>強弱未定</small>	四至十	馬拉題	康熙四十三
騰蛇變星	五六年	三至六	侯失勒維廉	乾隆四十七
天津變星	十八年 <small>強弱未定</small>	六至〇	然孫	萬曆二十八
軒轅變星	多年	六至〇	高黑	乾隆四十七
狗西三	多年	三至六	好里	康熙十五
靈臺第一	多年	六至〇	門他那力	康熙六
聲道第四	多年	四五至五六	侯失勒	道光二十二
屏變星 <small>道光二十年表赤經一百八十度 四十五分距極八十二度八分</small>	一百四十五日	六七至〇	哈爾定	嘉慶十九
貫索變星	十月半	六至〇	必哥得	乾隆六十
婁宿變星	五年	六至八	必亞齊	嘉慶三
海山第二	不等	一至四	不直勒	道光七
參宿第四	不等	一至一二	侯失勒	道光十六

天權	數年	一二至二	侯失勒	道光二十六
搖光	數年	一二至二	侯失勒	道光二十六
帝	二三年	二至二三	斯得路佛	道光十八
主良第四	二百二十五日	二至二三	侯失勒	道光十八
星宿第一	二十九三十日	二三至三	侯失勒	道光十七
雷電變星 道光二十七年表赤經三百四十四度四十分四十三秒距極八十度十七分三十秒	未知	八至〇	欣特	道光二十八
積薪第一變星 道光二十八年表赤經一百五度二十八分四十六秒距極六十六度十一分五十六秒	未知	九至〇	欣特	道光二十八
積薪第二變星 道光二十八年表赤經一百五度三十三分二十九秒四秒距極六十五度五十三分二十九秒	未知	九至〇	欣特	道光二十八
虛梁變星 道光二十八年表赤經三百三十五度十五分六秒距極一百零四度四十二分四十分	未知	七八至〇	龍格	
氏宿變星 道光二十八年表赤經三百二十一度九分五十四秒距極一百零一度四十五分二十五秒	未知	八至九十	魯馬赫	
天權	多年	二至二三	衆云	

道光三十年所記已知諸變星列表如左

星名	赤經時	北極距	變等	周時	測者	測年
近壁增第十三星	二十四分	七十六度二分	九·五至十一	三百四十二上十	路得	咸豐五年
王良第四星	三十二分	三十四度十七分	二至二·五	七十九·一	白德	道光十一年
近外屏第三星	一小時十分	八十一度五十一分	九至十三		欣特	咸豐十一年
近外屏增五星	一小時二十分	八十七度五十四分	七·五至九·五	三百四十三	欣特	道光十年
鈞蓋增第二星	二小時十二分	九十三度四十分	二至十二	三百三十一·三三六	法必修	萬曆二十四年
大陵第五星	二小時五十分	四十九度三十八分	二·三至四·五	二·八六七三	歌特歷格	乾隆四十七年
畢宿第八星	三小時五十分	七十七度五十六分	四至五·四	四上十	伯生特利	道光二十八年
近天節第七星	四小時二十分	八十度十分	八至十三·五		欣特	道光二十九年
更近天節第七星	四小時二十分	八十度二十分	八至十二·五	二百五十七		
近參旗增第十星	四小時五十分	八十二度六分	九至十二·五	二百三十七	欣特	道光二十八年
柱第一星	四小時五十分	四十六度二分	三至四	二百五十一上十	亥師	道光二十六年

近九座第五星	四小時五十分	一百零五度	七		賜密特	咸豐五年
參宿第四星	五小時四十分	八十二度三十分	一至一·五		侯失勒約翰	道光二十六年
井宿第七星	六小時二十分	六十九度十分	三·七至四·五	十一·五	賜密特	道光二十七年
近天樽增第六星	六小時五十分	六十七度四分	七至十一	三百七十日	欣特	道光二十八年
近四覆第一星	七小時	七十九度四分	八		阿及蘭特	咸豐四年
近南河第二星	七小時二十分	八十一度二分	八·一		欣特	咸豐六年
近積薪	七小時三十分	六十六度十分	九至十三·五	二百九十五日	欣特	道光二十八年
近積薪	七小時四十分	六十五度五分	九至十三·五	二百八十七	欣特	道光二十八年
近積薪增第三星	七小時四十分	六十七度三十分	九至十三·五	未定	欣特	咸豐五年
近柳宿增第九星	八小時八分	七十七度五分	六至十	三百八十	衰而特	道光九年
近鬼宿第四星	八小時三十分	七十度二十分	八至十·五	九·四八四	欣特	道光二十八年
近柳宿第六星	八小時四十分	八十六度二分	八·五至十三·五	二百六十	欣特	道光二十八年
近鬼宿增第十二星	八小時四十分	六十九度三十分	八·五至十二		欣特	道光三十年

近外廚增第七星	八小時四十分	九十八度三十九分	八·五至十·五	二百四十十	欣特	咸豐元年
星宿第一星	九小時二十分	九十八度	二·五至三	五十五	侯失勒約翰	道光十七年
酒旗增第五星	九小時二十一分	八十一度十分	六	七十八	斯密忒	不定
酒旗第一星	九小時三十分	七十五度十分	六	多年	門他那力	康熙六年
近軒轅增第四十四星	九小時三十分	七十七度五十三分	五至十	三百十三 未定	高鳳	乾隆四十七年
海天樞增第三星	十小時三十分	二十度二十七分	七·五至十三	三百零一三五	包克孫	咸豐三年
海由第二星	十小時三十分	一百四十八度五十四分	一至四	四十六年 未定	不直勒	道光三年
天樞	十小時五十分	二十七度二十四分	一·五至二	多年	拉浪	乾隆五十一年
近幸臣	十一小時五十七分	七十度二十三分	八·			
天樞	十二小時八分	三十二度八分	二至二·五	多年		
軫宿增第一星	十二小時二十六分	九十八度二十八分				
近三公第一星	十二小時三十一分	八十二度十分	六·五至十一	一百四十五·七十二	哈爾定	嘉慶十四年
近內廚增第二星	十二小時三十七分	二十八度五十分	七至十二	二百二十一·七五	包克孫	咸豐三年

近三公第三星	十二小時四 十三分	八十三度三 十八分	七·八				
張宿第一星	十三小時二 十二分	一百十二度 二十分	四至十	四百九十五	馬拉題	康熙四十三年	
近角宿增第二星	十三小時二 十五分	九十六度二 十五分	五·五至十一	三百七十七 未定	欣特	咸豐三年	
搖光	十三小時四 十二分	三十九度五 十六分	一·五至二	多年	拉浪	乾隆五十一年	
近氐增第四星	十四小時四 十五分	一百零一度 四十五分	八至九·五		書馬割	不定	
帝	十四小時五 十一分	十五度十四 分	二至二·五	多年	斯得路佛	道光十八年	
氐宿增第一星	十四小時五 十三分	九十七度五 十五分					
近周增第一星	十五小時十 五分	七十五度九 分	八至十	三百六十七	哈爾定	道光八年	
近實索第六星	十五小時五 十二分	六十一度二 十三分	六	三百二十三	必哥得	乾隆六十年	
近周增第十三星	十五小時四 十四分	七十四度二 十四分	六·五至十	三百五十九	哈爾定	道光六年	
近心宿增第三星	十六小時九 分	一百十二度 二十分	九		沙哥納	不定	
近心宿增第三星	十六小時九 分	一百十二度 二十分	九至十二		沙哥納	咸豐五年	
近心宿增第一星	十六小時九 分	一百十二度 二十六分			包克孫	咸豐十年	

近東咸第一星	十六小時二 十六分	一百零六度 五十二分	九·三至十三·五	二百二十	未定	包克孫	咸豐四年
近宋增第一星	十六小時五 十一分	一百零二度 三十九分	四·五至十三·五			欣特	道光二十八年
近宋	十六小時五 十九分	一百零五度 五十三分	八至十三	三百九十六	未定	包克孫	咸豐三年
帝座	十七小時八 分	七十五度二 十六分	三·一至三·七	六十六·三三	未定	侯失勒維廉	乾隆六十年
繁第十星	十八小時二 十三分	一百二十八 度五十分	三至六	多年		好里	康熙十五年
近天弁第四星	十八小時三 十九分	九十五度五 十一分	五至九	六十一		必哥得	乾隆六十年
漸蠶第二星	十八小時四 十五分	五十六度四 十九分	三·五至四·五	十二·九一四		歌特歷格	乾隆四十九年
蠶道第一星	十八小時五 十一分	四十六度十 五分	四·三至四·六	四十八		伯生特利	咸豐六年
近徐增第三星	十八小時五 十九分	八十二度	六·五				
近奚仲第三星	十九小時三 十三分	四十度八分	八至十四·	四百十五·五		包克孫	嘉慶十七年
蠶道第五星	十九小時四 十一分	五十六度三 十七分	五至十一	四百零〇六·〇六		格而吸	康熙二十六年
天桴第四星	十九小時四 十五分	八十九度二 十二分	三·三至四·七	七·一七六三		必哥得	乾隆四十九年
蠶道增第五星	十九小時五 十一分	五十五度十 九分	四·五至五·五	多年		侯失勒約翰	道光二十二年

近牛宿第三星	二十小時三十分	一百零四度四十二分	九·五至十三·五		欣特	道光二十八年
天津增第九星	二十小時十分	五十二度二十六分	三至六	十八年 未定	然孫	萬曆二十八年
近敗瓜第三星	二十小時三十分	七十七度四十九分	八至八有奇	二百七十四 未定	斯得路佛	道光三年
近勾陳增第五星	二十小時三十分	一度二十分	五至十一		包克孫	咸豐三年
近女宿增第一星	二十小時四十分	九十五度四十二分			哥斯迷	
近代第一星	二十一小時十五分	一百零五度四十七分	九	二百七十四		
遺父第四星	二十一小時三十分	三十一度五十四分	三至六	多年	侯失勒維廉	乾隆四十七年
近土公吏第二星	二十二小時二十五分	八十二度四十四分	八·五至十三·五		欣特	道光二十八年
遺父第一星	二十二小時二十四分	三十二度二十一	三·七至四·七	五·三六六四	歌特歷格	乾隆四十九年
室宿第二星	二十二小時五十七分	六十二度四十四分	二至二·五	四十一	賜密特	道光二十八年
近雷電增第五星	二十二小時五十九分	八十九度十六分	八·五至十三·五	三百五十	欣特	道光二十八年
近羽林軍第四十五星	二十三小時三十七分	一百零六度六分	六·五至十	三百八十八·五	哈爾定	嘉慶十五年
近臘蛇增第十二星	二十三小時五十一分	三十九度二十六分	六至十四	四百三十四 未定	包克孫	咸豐三年

表中有星光分最明最暗時。其等不定。或周時不等。與前所論天囷第十三星相似。葛西尼言輦道變星。康熙三十八年至四十年。當最明時亦不易見。又天弁變星。當最暗時或目能見之。或不見其最明時。等亦不定。又必哥得所測貫索變星。阿及蘭特言其明暗相去甚微。目不能辨。而每隔數年。忽大變。暗至不見。又參宿第四星。於道光十六至二十年。其變顯然。二十至二十八年不甚可辨。

續至二十八年終時。其變又起。至咸豐二年十月二十四日。弗賴出觀參宿第四星。比五車第二星更明。當時爲北半球諸星之最大者。右表內近積薪增第三星之變星。包克生云。變大變小。自九等至十三等。變時九秒至十五秒。其光如螢。而相近處等明諸星不變。

古今史志所載客星。亦變星類也。但其見時甚暫。而不見之時甚久。意其復見必有一定之時。古今測望僅一見而未再見。故未能知。蓋其周時甚長也。漢元朔四年。有客星見。日中不隱。依巴谷因此創作恆星表。又晉太元十四年。近河鼓第二星有客星見。歷二旬。明如金星而隱。又石晉開運二年。元至元年。明隆慶六年。皆有客星。俱在王良造父之間。攷其年數。相距略同。恐卽一星也。約三百十二年。或一百五十六年而一見。在隆慶時。其見驟非由小漸大。其見之夜第谷由化學館歸。路見村人羣聚望

一星。第谷亦望之。見明如天狼。半時前尙未有也。於是逐夜測之。其光分漸大。過於木星。正午不隱。一月漸小。至萬歷二年春始隱。而萬歷三十二年。亦有客星。見於天市垣。明於前星同。至明秋始隱。又康熙九年。安得林見近漸臺有一三等星。隱而復見。歷二年。其光數次大變。後隱不復見。又道光二十年三月二十五日。欣特見近天市垣。宋有一五等星。其赤經二百五十二度四十五分二十二秒五。距極一百零二度三十九分十四秒。此處星俱最小。欣特所常測。知初二日以前。無大如九十等之星。攷古表此處亦無星。此星見後光漸減。未幾而隱。其色紅。或因高度少蒙氣厚故耳。

南半球海山第二星。其光分之變見於測簿者可異焉。康熙十六年。好里測爲四等星。乾隆十六年。拉該勒測爲二等星。嘉慶十六至二十年。俱爲四等星。道光二年至六年。又爲二等星。七年正月初六日。卜直勒見其變大爲一等星。與十字架第四星等明。復漸暗爲二等星。盡十七年冬。至十八年春復變大爲一等大星。略與南門第二星等明。惟不及天狼老人。後復漸小。然仍爲一等。至二十三年春又變大明。過老人。惟少遜於天狼耳。凡變星俱有一定周時。其漸明漸暗俱有法。而此星若任意變大小。歷測數百年。未有一定之次第。其忽明忽暗。究屬何理。設有動植諸物。藉其光熱而生。必甚不便也。此非

妄論。蓋意諸恆星皆爲太陽。俱有行星繞之。而行星上必生諸物也。證以察地家言。知亘古以前。我地球有大變化。非海陸變遷所可比。蓋日之光熱若有變。地質必隨之而變。故知此星所屬諸行星上之物。必大不安也。

續阿波得云。此星在同治二年三月。僅爲六等星。羅密士以爲其變有一定之周時。其二次最小之間。約七十年。

馬端臨文獻通攷所載客星。意大半是彗。然其中亦有真客星。如云漢熹平二年十月癸亥。客星在南門中。五色。至後年六月消。此必客星也。又宋大中祥符四年正月丁丑。客星見南斗魁前。意卽西史五年所見者。西史言在南半球。歷三月最明。其經緯度與馬氏所載合。又漢元光元年六月。客星見於房。或卽依巴谷所見之星也。

續同治五年三月二十八日。罕忽在阿爾蘭之都安。新見近貫索第七星有二等星。速變小。黑京於是年四月初一日。見此如三六等。初二日見如四二等。初三日見如四九等。初四日見如五三等。初五日見如五七等。初六日見如六二等。小至十等。則又變大。八月二十七日。賜密特見爲七等。依是年

之星表。亦經十六小時三刻九分。距北極六十三度四十二分。其成之光圖。有二式顯明正負二質之線。指有火炎。及收他物之質。

攷歷代恆星表。參以新測。則知有多星。古有今無。其故或由表誤。或誤以行星爲恆星。亦有恆星實際者。蓋變星也。變星之理。雖未能全知。然此事無須諸器。人人可以目驗之。侯失勒維廉作恆星表。詳每星光分若干。爲攷變星者之助云。

恆星中多雙星。尤可爲攝力之證。何謂雙星。目視之爲一星。以遠鏡測之。則爲甚相近之二星。若統天空止有二三星。如是。則或偶然耳。今甚多。且或二星大小略等。此必有相聯屬之理焉。如北河第二星。以大力遠鏡測之。爲兩三等星。相距五秒。三等星不多。故相距甚近。非偶然。况有多星皆如是。則更非偶然矣。乾隆三十二年。有密者勒者。曾推昴宿六星甚近合偶然與否。以相等之一千五百星推得當如是相近與不當之比。若一與五十萬之比。斯得路佛設雙星相距四秒。以本國所見七等以上諸星。推其當如是與不當之比。若一與九千五百七十八之比。此時已得雙星九十一。後測得更多。且有三合者。再推當三合與不當之比。若一與十七萬三千五百二十四之比。而三合星已得其四。相距最遠

三十二秒。一爲伐第二星。一參旗第九星。一近四瀆。一水位第四星。故知諸星必有相聯屬之理。非偶然矣。又南門第二星。及鶴翼皆爲雙星。相距十五秒。而鶴翼爲兩七等星。其當不當之比。爲一與九千五百七十八。南門第二星。爲兩二等星。統天空二等星不過五六十。則其當不當之比例當更大。又此二星各有自行。若非相屬。則久必相離矣。古測不知其爲雙星。乾隆十六年拉該勒用約九倍力之遠鏡測之。始知設一星行。一星不行。此時當相離六分。而仍如故。故知其相聯屬也。

侯失勒維廉作雙星表。共五百。相距最遠不滿三十二秒。斯得路佛用精器測。所得之數五倍之。後人屢測。所得益多。然必尙有未測得者。斯得路佛依其相距遠近分爲八類。第一類不過一秒。第二類一秒至二秒。第三類二秒至四秒。第四類四秒至八秒。第五類八秒至十二秒。第六類十二秒至十六秒。第七類十六秒至二十四秒。第八類二十四秒至三十二秒。又依其光分大小分爲二大類。以八·二五等已上諸星爲顯雙星。中等遠鏡能見之。以下諸星爲微雙星。非最精遠鏡不能見也。欲測第幾類星。當用若干力遠鏡。今每類取數顯星爲例。列於後。依其例測之。可攷遠鏡之力。

第一類 ○至一秒

貫索第五	庫樓第七	騎官第三		左更增第七
天紀第一	天大將軍第一	貫索增第三	天紀增第一	王良第五
列肆第二	騎官第八	天津增第三十		市樓第六
柱史	文昌第三	河鼓增第三		酒旗第三
軍南門	昴宿第八	女宿第三	女宿增第一	上將
胃宿增第四	奎宿增第六			
第二類 一秒至二秒				
南門第一	天津第二	小斗第一	左攝提第三	
閣道第一	下台第二	河鼓增第四	貫索增第七	
天船增第八	參宿增第十三	參宿增第十七		
第三類 二秒至四秒				
外屏第七	翼宿第十六	天囷第八	軒轅第十二	

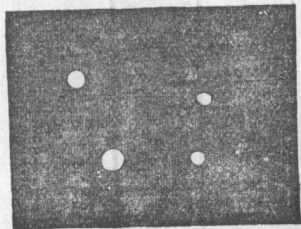
繁第七	左垣上相	天市垣秦	櫻河第一	
天廚第三	柳宿第五	墳墓第一	參宿第一	
右垣次將	奎宿增第十二	軍井第二	天棓增第九	
天狼增第三	文床第三	騰蛇第十一	檜增第四	
第四類 四秒至八秒				
十字架第二	帝座	北河第二	天罇第二	
七公增第七	火鳥增第一	天柱	臂宿第一	
左攝提增第一	天鈞第六	左攝提第二	牛宿第六	
海石第五	五車增第六	九斿第二	宗人第四	
天苑增第四	九州殊口增第二	帛度第一		
第五類 八秒至十二秒				
參宿第七	婁宿第二	匏瓜第二	天紀增第三	王良第三
天園增第六	伐第三	天園第八	常陳第六	

第六類 十二秒至十六秒		南門第二	上衛增第一	房宿第四	飛魚第二	積卒第一
開陽	天槍第一	四澗第四	闕邱	天津增第十九		
第七類 十六秒至二十四秒						
常陳第一	尾宿增第二	外屏第三	天市垣徐	繁第十		
礪石第三	五諸侯第五	宗正增第一				
第八類 二十四秒至三十二秒						
天市垣魏	輿道增第二	天市垣管	女史	輿道第五		
參宿增第十						

恆星又有合三星四星多星者。略列數星於左。

天大將軍第一	織女第二	水位第四	伐第二	騎官第七
七公第六	八穀增第三十四			

右天大將軍第一星。七公第六星。騎官第七星。用尋常大力遠鏡測之。見為雙星。用最精大力遠鏡測之。見其副星。又分為二星。共三星。又織女第二星為雙雙星。蓋用尋常鏡測見為雙星。用精鏡測之。見其二星。又各分為二星。其一相距二秒半。其一相距三秒。又水位第四星。心宿三合星。闕邱三合星。丙階三合星。測見其正星為密雙星。略遠有一小副星。而伐第二星有四明星。其等為四為六為八。作四不等邊形。其對角線之最長為二十一秒。又有副星二。甚微而近。非極精遠鏡。不能見也。其狀如圖。雙星中有正星明大。而副星極微者。略列數星於左。



柳宿增第四

牛宿第二

波斯第二

織女第一

勾陳第一

心宿第二

虛宿第一

平第一

上台第一

積薪

天舊第七

右攝提第二

亢宿第三

天園第二

天潢增第一

侯失勒維廉欲密測諸雙星相與之方位。細驗其視差。恐其有一定變法也。乾隆四十四年至四十九

年。所用遠鏡。力益大於前。乃作雙星表。蓋有此表。知每星方位。可據以測視差也。然維廉亦因此測得每星相距有一定變法。且又得一事。爲古人所未發者。蓋測得雙星有相距變。有方位變。同趨一方向而動。因知恆星必有本行。否則太陽與諸恆星俱直行。故測得視差。大於黃道視差。可據爲法。假如日與雙星俱行。而日星不相屬。則視其道必直。而用平速行。故但取雙星之一星爲本點。觀餘一星。必行於直線。測之卽知所行之方向矣。又得一事。凡雙星不相聯屬。則有如上文所言。而有相聯屬者。則二星以攝力相加。必相環繞。或共繞其公重心。則取一星爲本點。餘一星必行於曲線以繞本星。星之行甚緩。非久測不能知。故歷二十五年至嘉慶八年。始能辨其非直線而實爲曲線也。自此至明年。維廉著書二通以寄公會。大略言諸星中。有相與環繞者。名曰聯星。與他雙星異。他雙星視之雖甚近。其距地遠近實懸絕也。而聯星距地略等。其較不能大於相繞道之半徑。書中所舉聯星約五六十。其聯線易位。所過之度。大小不等。其中有甚明晰。其相環繞。可不疑者若干星。曰北河第二星。左垣上相。三台第六星。宦者第一雙星。貫索第一雙星。貫索西八星。左攝提西四星。王良第三星。軒轅第十二星。天紀第一星。天津第二星。七公第六星。織女第二之四星。第二之五星。列肆第一星。天棣第一雙星。墳墓第

一星。此諸星中。已有略推定其環繞周時者。如北河第二星。爲三百三十四年。左垣上相爲七百零八年。軒轅第十二星。爲一千二百年云云。準此。則奈端所悟。得攝力之理。不獨日與行星爲然。且推之恆星無不然矣。其後薩乏理。始推得三台第六星之環繞。行橢圓道。五十八年二五而一周。測其行法。一相合。而因格用新術。推得宦者第一雙星之環繞。亦行橢圓道。七十四年而一周。又梅特勒所推得者最多。欣特師密。雅各。包維勒。維拉鎖。米尼格。格林格府。及約翰。亦各推得數星。今俱列於後。

徑長半視	名星
秒	
一〇一八九	星聯座帝
一〇〇八八	人四索貫
一二九二	四第位水
三八五七	六第台三
三二七八	六第台三
二四一七	六第台三
二四三九	六第台三
〇八五七	三第旗酒
四三二八	星聯箭天
四三九二	星聯箭天
四一九二	星聯箭天
一二五五	星聯表氏斯
一二五六〇	四四提攝左
一八一	二第津天
三五八〇	相上垣左
八〇八六	二第河北
七〇〇八	二第河北
六三〇〇	星雙二第河北
三九一八	星雙一第索貫
五一九四	星雙一第索貫
三二一八	次之六第公七
一五五〇〇	二第門南
一二五四	一第紀天

角 交	距 交 卑	位 方 點 交	差 心 兩
度 分	度 分	度 分	
五〇 五三	二六二 四	三九 二六	〇・四四四五四
七一 八	二六一 二一	二四 一八	〇・三三七六〇
六三 一七	二六六	一 二八	〇・二三四八六
五〇 四〇	一三一 三八	九五 二二	〇・四一六四〇
五六 六	一三四 二二	九七 四七	〇・三七七七〇
五四 五六	一三〇 四八	九八 五二	〇・四一三五〇
五二 四九	一二八 五七	九五 五〇	〇・四三一四八
四六 三三	一八五 二七	一三五 一一	〇・六四三三八
四六 二五	一二五 二二	一四七 一二	〇・四三〇〇七
四八 五	一四五 四六	一三七 二	〇・四六六七〇
六四 五一	一四二 五三	一二六 五五	〇・四四三八〇
三五 三一	一三七 二七	一五 三	〇・四四九五八
八〇 五	一〇〇 五九	三五九 五九	〇・五九三七四
四六 二三	二四三 二四	二四 五四	〇・六〇六六七
二三 三六	三一三 四五	五 三三	〇・八七九五二
七〇 三	九七 二九	五八 一六	〇・七五八二〇
七〇 五八	八七 三七	二三 五	〇・七九七二五
四三 一四	三五六 二二	一一 二四	〇・二四〇五〇
二九 二九	六四 三八	二五 七	〇・六九九七八
二五 三九	六九 二四	二一 三	〇・七二五六〇
四六 五七	一〇三 一七	一一七 二一	〇・八四〇一〇
四七 五六	二九一 二二	八六 七	〇・九五〇〇〇
四三 四三	一〇四 五五	三四 二一	〇・四四八二一

家步推	時 點 卑 過	時 周
	年	年
勒特梅	光道 九·五五	三三一·四六八
勒特梅	慶嘉二〇·二六	四三·二四六
勒特梅	豐咸 三·四〇	五八·九一〇
理乏薩	慶嘉二二·二八	五八·二六二
勒失侯	二一·七六	六〇·七二〇
勒特梅	二一·四七	六一·四六四
鎖拉維	二一·八九	六一·五七六
鎖拉維	光道二九·七九	八二·五三三
格因	慶嘉一一·九一	七三·八六二
勒失侯	一二·〇九	八〇·三四〇
勒特梅	一七·七六	九二·八七〇
勒特梅	光道一七·四四	九四·七六五
勒失侯	隆乾四四·九一	一一七·一四〇
特欣	豐咸一二·九〇	一七八·七〇〇
勒失侯	光道一六·四六	一八二·一二〇
勒失侯	豐咸 五·八六	二五二·六六〇
勒特梅	六三·九三	二三二·一二四
特欣	熙康三八·二九	六三二·二七〇
勒特梅	光道 六·六三	六〇八·四五〇
特欣	六·五一	七三六·八八〇
特欣	豐咸 二·五三	六四九·七二〇
各雅	一·五三	七七·
鎖拉維	光道一〇·五一	三六·三五七

表中第四行指雙星道面交天殼點之方向自正北轉東計之第六行指此二面之交角第五行指雙星道交點距卑點之度其酒旗第三星左攝提西四星南門第二星諸根數俱尙有可疑七公第六之次星亦未審定因此諸星用本道之最小弧線所推不能詳細也

第八行年之小餘從天正冬至後計之

右諸星俱經精測。其中左垣上相係三等星。其二星大小略等。而有微變。斯得路佛言有時此星大於彼星。有時相等。有時彼星大於此星。康熙間已知其爲二星。時相距約六七秒。乾隆四十五年。侯失勒維廉測得五秒六六。漸相近。至道光十六年而合爲一。雖最精遠鏡測之。亦然。惟波羅略一千倍力之遠鏡。覺兩頭有大小之狀。斯時路佛測其長闊之比。推得兩心距○秒二二。其後復分爲二。至今明分爲二星。此聯星之距數變。聯線之行度亦變。乾隆四十八年。一年行半度弱。道光十年增至五度。十四年二十度。十五年四十度。十六年最大。其率至七十餘度。乃每五日行一度也。準動重學理。凡二體以攝力相環繞。無論行何曲線。亦無論或真道或視道。其速率與距。在二道各恆有反比例。攷此星測簿。俱與此理合。初康熙五十七年。白拉里以子午儀測此星聯之方向。記於簿。與角宿第一左垣次相二星之聯線平行。今憑此推得其繞行之道。係橢圓。依其道推至道光二十六年冬。與所測一一密合。三台第六星依梅特勒之根數推之。亦然。又天紀第一星。自測知爲聯星後。見其相繞行已二周。見大星掩小星二次。貫索西八星。水位第四星。三台第六星。各見其行一周餘。宦者第一雙星。左垣上相。見其行大半周。然則恆星亦有攝力。更無可疑矣。

梅特勒自言所測諸聯星之相繞。其天籥聯星之道。不合橢圓。亦非誤測。不知何故。余意此其正星亦係聯星。故副星之行別有攝動耳。蓋凡正星爲聯星。副星因攝動。其道必生變。有長差短差也。

恆星各爲日。則聯星之相繞。是二日相繞也。恐其日所屬。亦有行星及月。但其體小而遠。故我不能見。然意必甚近本星。否則爲餘一星所攝。必離本道矣。

南門第二星。鶴翼星。俱爲第六類顯雙星。已測得其地道半徑視差。又測得鶴翼二星之相距。其中數爲十六秒五。自乾隆四十六年測至今。其距之差一秒弱。其聯線方向之變約五十度。故其道必略近平圓。道之面約正交視線。其周時約近五百年。而其地道半徑視差爲〇秒三四八。卽星中所見地道之視半徑也。故二星相距中數與地道半徑比。若十五秒五與〇秒三四八比。卽四十四·五四與一比。是二星相繞之道。甚大於海王道。設其周時恰爲五百年。依奈端所設公題。及刻白爾第三例推之。我太陽積與二星之共積比。若一與〇·三五三比。二積相去。不甚懸絕也。南門第二星。自道光二年後。二星相距數。以平速變小。每年約半秒。而其聯線之方向。至近時略不變。然則其道之面展廣之約當過地。又咸豐九年。二星最近。幾相掩。然未能定其橢圓之根數。但知其半長徑必大於十二秒。或甚

大。未可知。而地道半徑視差爲○秒九一三。設其半長徑僅爲十二秒。亦必爲十三·一五倍地道半徑。故其橢圓道必不小於土星道。或恐大於天王道也。諸聯星中。此兩星距地最近。相繞之視弧亦最大。其雙星之光俱略等。其色俱近橘黃。而副星之色更深。天空諸曜之質各不同。此兩星恐或一類焉。諸聯星之正星。其色恆或紅或橘黃。而副星之色恆或青或綠。準光學理。凡目爲有色之光所眩。則視無色之光。必成本色之餘色。如鬼宿雙星。正星之色黃。副星之色青。又如天大將軍第一星。正星之色紅。副星之色微綠是也。若有色之星光微。而無色之星光大。則不變。如王良第三星大者白。小者紫。則不可云二星之色恆爲正餘也。設有行星附此種聯星。則日日見光必不同。如一日爲紅。一日爲綠。或一日爲白。一日爲暗是也。獨星之色有紅如血者。從未見爲青爲綠。惟小星與大星俱。方有此種色也。恆星俱有自行。初。好里於康熙五十六年。測恆星方位。上攷多祿某依漢元光五年依巴谷測數所作表。其中天狼大角畢宿第五星。較已測俱差而北。一爲二十分。一爲二十二分。一爲三十三分。古今相距一千八百四十七年。以黃赤道交角之變論之。設諸星不動。今當差而南。一爲十分。一爲十四分。一無差。故知此三星自行向南。一爲三十七分。一爲四十二分。一爲三十三分。其差皆合理。則非表之誤。

矣。又攷梁天監八年正月三十日。希臘國雅典所測畢宿五星爲月掩復見之時。知其方位在月道上。亦與自行之理合。設當時星之緯度與今時同。其掩不當如此也。况星體甚大。居空中。無力令常靜。能不動乎。蓋諸星互相攝。其力雖甚遠而小。且相敵而相消。然歷久其敵力之較。必積而大。則不能不動矣。近代天文家以聯星證之。如鶴翼星。二星相距約十五秒。五十年來略不變。其方位移四分二十三秒。每年自行五秒三。是此二星恆行。其道之狀未知。數百年視之恆如以平速行直線也。又以獨星證之。如波斯第七星。其方位每年移七秒七四。開道第四旁星。每年移三秒七四也。又有多星。其移之數小於此。俱確然無可疑焉。恆星既自行。則亦有變。不可云恆矣。然行分甚微。非數百年積之。不能見。故不易名。仍曰恆星也。

天文家或言太陽係恆星之一。以公理論之。恆星既自行。則太陽亦當自行。此說甚是。設太陽與諸恆星之行同一方向。而遲速各不等。則凡遲於太陽者。在太陽前必見其背此方向。諸平行線之合點而行。在太陽後必見其向此諸平行線之餘一合點而行。速於太陽者。則反是。若詳知諸星之自行。準上理可測太陽之自行法。諸星同方向行而遲速不等者。此如乘塵浮行氣中。因風而移。知此。方能測太

陽行。

乾隆四十八年。侯失勒維廉依上條理測得諸平行線之合點。近天市垣趙星。其赤經二百六十度三十四分。距極六十三度四十三分。乾隆五十五年表。是年百勒伏亦推得平行線之合點。距極度分略與前合。而赤經差二十七度。此後天算日精。測得恆星每年有行分者更多。知恆星之自行益真。天學最精深者凡四家。俱推明此事。一曰阿及蘭特。取二十一星每年行一秒強者。推日與諸星平行線之合點。赤經二百五十六度二十五分。距極五十一度二十三分。又取五十星每年行○秒五至一秒者。推得合點之赤經二百五十五度十分。距極五十一度二十六分。又取三百十九星每年行○秒一至○秒五者。推得合點之赤經二百六十一度十一分。距極五十九度二分。二曰倫大勒。取一百四十七星之行。推得合點之赤經二百五十二度五十三分。距極七十五度三十四分。三曰斯得路佛。細攷三百九十二星。推得合點之赤經二百六十一度二十二分。距極六十二度二十四分。三家所推。俱乾隆五十五年之合點也。約取其中數。爲赤經二百五十九度九分。距極五十五度二十二分。然所測皆北半球之星。四曰迦羅畏。於道光二十六年。作文一通。宣告英國博物公會。論南半球諸星平行所向合點也。其

大略言準拉該勒乾隆十六十七二年。在好望角所測。及閩孫於道光九年至十三年在三厄里那島所測。又恆特孫於道光十十一兩年在好望角所測。其中有八十一星。前三家所未用者取以相比。勘推得乾隆五十五年諸平行線之合點。亦經二百六十度一分。距極五十五度三十七分。與北半球所測之中數相差無幾。則信而有徵矣。

細推日與恆星諸平行線之合點。其法甚繁。不能詳載。今略述其理之源。凡天文諸要事。恆因奇零數推得。蓋事之已知者。依法推之。恆有小奇零不合。此小奇零。卽他事之端倪。如推太陽每年一周。有小奇零不合。爲歲差之端倪。已詳知歲差之根。如法推之。仍有小奇零不合。爲光行差尖錐動之端倪。已知光行差尖錐動之根。如法推之。仍有不合。乃恆星與太陽自行之端倪也。凡測天與所推有小奇零不合。必精心思其故。令此不合遞減小。以至於無。未至於無。必更思其故也。旣思得一故。當攷此故能生此差否。又攷生此差之最大。其力若干。今太陽自行之故。能生前不合之差二。一方向。一速率也。然可見者。不過小奇零。憑以推得太陽自行之根。察其與恆星自行之數密合否。若不能盡合。而所餘之差更微。此更微差。若不可解。當以偶然法推之。法用幾何中最小平方術。卽可得所求根數與當得之

數。或無大差。法詳別考前條諸幾何家推日與恆星之合點。亦用上法。推日自行之方向與速率。當準諸恆星速率之比例。蓋日行必攷諸恆星距日遠近。察其每年行差之不同而知也。然惟二三星能知其距日確數。餘俱不能。不足以定公理。故先用設數之法。其法有二。一依諸星之大小明暗分若干類。每類星之距日。俱設爲略等。二依諸星之自行分分類。以最速者爲最近。斯得路佛用第一法。阿及蘭特用第二法。攷第二法有不便事二。準視學星之行。不能知其實行。但知其視行。一也。恆星視行。生於日之自行者。因距日線及距諸平行線合點之度而異。蓋距合點度之正弦。與此視行有比例。二也。每星須知此二事。乃可攷。而第一事無從知。故不能不多用若干星。取其大率。冀其或消去也。第二事。當先設諸恆星之距地俱等。推得其全行。乃各以太陽行所得諸星之視行減之。視其餘數。用以分諸類。此法測望甚費功。然亦不甚可憑。第一法。但言星愈明愈近。其分類較易也。

斯得路佛推得設人在第一等星。望太陽一歲之行率。爲○秒三三九二。而其父言此類星之地道半徑視差。約爲○秒二〇九。然則一歲太陽行與地道半徑比。若一·六二三與一比。是每歲太陽率諸行星彗星。在空中行四億四千五百八十五萬四千里。計每日當行一百二十二萬餘里。視地行速率

大四分之一也。

續近時英國天文官用新法推算太陽之自行。與前條所言之法大異。其法不必知太陽與恆星之合點。而以空中之縱橫線爲準。定太陽與恆星每年之自行。以其屬於幾何之例推之。先假設二限。所得必在此二限之中。以諸自行法外之變。皆非恆星之實自行。而全是測量之差一限也。以諸自行法外之變。皆非測量之差。而全爲恆星之實自行。二限也。乃用美以納所作之一百十三大自行恆星表。即天學會所發行者而依斯得路佛分類之例。求太陽與恆星合點之方向。及設人在第一等恆星太陽每年當有之行差角。則依一限。得合點在赤經二百五十六度五十四分。北極距五十度。三十一分。每年行差角一秒二六九。又依二限。得合點在赤經二百六十一度二十九分。北極距六十五度十六分。每年行差角一秒九一二。此假設之二限所得之合點。與前推得者見卷十六測得略同。其太陽自行之路。比前條所言甚大。此因不計有大自行之星。而有此差也。咸豐九年。愛里在天學會中。講此得數。其後盾漸依此法更推之。而用之自行恆星更多。大小諸等及各率之星。在北球有八百十九。在南球有三百四十八。共一千一百六十七。依愛里所設幾何之例推之。則依一限。得合點

在赤經二百六十一度十四分。北極距五十七度五分。每年行差角〇秒三三四六。又依二限得合點在赤經二百六十三度四十四分。北極距六十五度。每年行差角〇秒四一〇三。此與前略合。而與斯得路佛所得之行差角全合。

太陽實有自行。天學大家算學大家。均已屢用多法精心攷之。知其方向略近赤經二百五十九度。北極距五十六度。所言之行率亦略近而皆可無疑。然若推算恆星自行之全分有若干。則減歲差光行差章動各數。見本卷細推所餘者。即知恆星自行之大半。如盾斬之一千一百六十七恆星。諸

奇零平數之和。以秒角記之。若不減太陽之自行數。則得總數爲赤經七十八秒七五八三。北極距六十三秒二六八。若減太陽之自行數。則得總數爲赤經七十五秒五八三一。北極距六十秒九〇八四。不爲詫異。因太陽能自行。則恆星亦必自行。無論用何法推算。其所得之移處。若緣此故。則太陽自行。實不能出此全分之小分也。惟此諸亂移動。及諸球諸點移動之例。人尙絕然未知。而其中有一小分。與其全分極難分別。今竟能定此一小分之數。而知諸恆星之動及太陽相關之故。則最爲奇異矣。

前條所推太陽自行。其數合否。其行果平速否。其道或係直線。或係曲線。非後世天學家累代精測。不能定也。今但能於天空作一弧線。當作日道。以表諸星攝力。今日所行之方向耳。案舊測天狼與南河第三星。俱覺不行直線。疑其繞一無光之體。若聯星然。近世彼得攷天狼之周。爲五十年〇九三。其橢圓道之兩心差爲〇·七九九四。當乾隆五十六年四五八過最卑點。俱與今測合。

續攝動天狼之體。未必爲暗體。而或爲副星。以尋常遠鏡窺之。或被星光所奪而不見。以大力遠鏡窺之。則能見也。心宿第二星。有副星相距十二秒。織女第一星。有副星相距四十三秒。南河第三星。有副星相距四十六秒。凡二星不論大小。環繞公重心而移動。則距公重心愈大。其移動亦愈大。在赤經及距北極皆有定時。近時格拉格亞用所造十八寸徑之無暈遠鏡。見天狼星之旁有副星。依路特福與本特及沙哥納三人。測見副星。今在天狼之略正東約距十秒。必得累年連測其相距與方位。以定其是否爲副星。則其攝力之例能解。天狼自行不平速之實據也。又哥勒斯迷言。其所用遠鏡之力。甚小於格氏所用者。能測見天狼有六副星。距天狼十秒至六十秒不等。若將來有人能得此副星之實據。則能於自行不平速之數內。而擇其一故也。奧勿彼得二人所言之自行微不平速。

或能先解明而後再徵。各體攝動之實據也。但既未得此實據。則各家之說。僅依測赤經所得不平速之數而已。米利堅沙夫特又依測距極所得不平速之數。然依行橢圓道。或行前言之道。或新攷之副星。皆可解其自行之不平速也。

近時有數天文士。用光圖之理攷恆星之光。及星氣之光。甚得妙意。累攷諸恆星有所得光圖內之諸光線。各有不同。與地球內諸原原質之光線相合。黑京用此法攷天狼。知其指輕氣三光線內之最明一線之位。略合於太陽光圖內此線之位。詳言之。測得天狼光圖內此最明光線。在三稜玻璃折光之度數稍小於太陽光圖內。此光線折光之度數。依光浪之理。凡光浪在折光質內之速率。依光浪自初生至折光質面長短。自初生至折光質面一秒中之浪數愈少。則光浪愈長。而折光之度數愈小。設天狼內之一點定質有盪動。而在光氣內生等時之動。發一光線。若以星與地球爲皆不動。則初生之動與後生之各動。必依次序而至折光質面。即三稜玻璃面至時之次序歷時。與生時之次序歷時各相等。若星與地球皆以平速相離。則初動後之各動。所行之路。必依次加大。所歷之時。亦必依次加長。故光線至折光質面折光之度數。必小於星與地球各不動之度數也。光浪每動歷時加

多之較用精法可測得之。則光與地球相離速率之比。若光行速率之比。亦可得矣。黑京測得星與地球相距之速率。每秒一百二十里。當時地球行道之速率。每秒三十四里七。故得天狼星之速率。每秒八十五里三。即天狼星與地球相離。每日七百三十四萬四千八百餘里。然以光圖之定線。爲輕氣所成。則此數略可信。若因未知之原質所成。則此數不可信也。

意太陽或亦有如是之行。而其所憑之理。與前推測所定之諸法。皆不相涉。天學諸家有言天河與諸恆星。及太陽聯爲一體而旋轉。同繞天河面內之一點。因諸星互相攝。故不因離心力散飛空中。近梅特勒定其所繞之點在昴宿中。顧此點離天河平面至二十六度。則未可深信。蓋所繞之點。疑必在天河面內也。此當取天河中諸等星。雖最小等不遺。擇其易測者。測其經度歸極度。即能知天河果自轉否。惟望南北各地星臺。用心測此事。如是三四十年。方能定也。

日若果自行。且與他星之行不相涉。則必有日行視差。日行光行差。設恆星行而日不行。則星但有實行。日亦行。則星并有視行。而不知星日之距。則實行視行混而爲一。不可分。是視差不能定日行也。日行則視諸星必有光行差。最大爲五秒。故諸星方位。皆依過星及合點之諸大圈而移。其移多少之比。

若星距合點度正弦之比。但其移往而不復。若日恆以平速直行。則無從知。設久後日行之方向速率變。則其移位之方向大小。亦隨之而變。雖可知。然與星之實行。相雜而難分。是光行差亦未能定日行也。

合光行及星自行二事。測聯星環繞必生差。假如二星相繞之面。與視線成直角。又設其周時爲萬日。若日與聯星之重心皆定於空中。則歷一周時。二星必仍至原度。若聯星之重心離日。以平速直行退後。每日過十分地道半徑之一。則歷一萬日。距我之數。必增一千個地道半徑。光行到我。必遲五十七日。故星雖已至原度。然我視之。尙不在原度。再加五十七日。始見其至原度。是其視周時爲一萬零五十七日也。若其重心進前則反是。

卷十七 星林

澄明之夜。仰觀天星。往往有簇聚而密于他處者。用遠鏡窺天。見簇聚之處益多。有星團星氣星雲雲星之別。總名之曰星林焉。

恆星多簇聚處。此必有一公理。最易見者。爲昴宿。用目力察之。僅見六七星。測以遠鏡則見有五六十大星。他星俱距此稍遠。卽位亦然。但散而疎。星亦略大。鬼宿中積尸氣。望之若一點白氣。測以小力遠鏡。卽能分爲無數星。大陵閣道間亦然。非精遠鏡。其星不能分焉。此類皆名爲星團。天空有若無尾之彗星者。用遠鏡測之。乃小平圓或橢圓之星氣。乾隆四十九年。法蘭西通書中。載有梅西爾星氣表。共一百零三處。欲測覓彗星者。須熟悉此表。庶免誤視。星氣皆諸星密聚。其邊界略可辨。愈近中心愈密。光愈多。如二版一圖。卽梅氏表中第十三星氣也。星氣多有作平圓狀。一若玻璃球中滿儲諸星。自成一部。與外星不相交涉也。以其球之徑略推其星數。當不下五千。而球徑所占度不過十分。此諸星光之和。至我目小于四等星。則其遠不可思議。故意其每星。必俱如太陽之大。其相距如我距恆星也。觀諸星自成一部。知其有相屬之理。觀其作球形。知其有攝力。觀其漸近心漸密之比例。知其星非皆等距。攝力中大于外也。此諸星設無繞心行。則無離心力。必愈久愈密。而合成一體。若有繞心行。則有離心力。必共繞一軸。不然。則難保其相遇而相擊。或謂準奈端理。諸星互相攝。因此每星必向球中心。其向心力大小。必與質積有正比例。與距中心平方有反比例。依此理。各星必行于橢圓。以公重心爲

橢圓之本心。其面與方向不論。諸橢圓同時成諸星之行。周而復始。永遠不變。不必共繞一軸也。所測得道光十年。諸星氣之方位。列表于左。

諸星氣經時距極表

度極距	時	經	赤	
度	時	分	秒	
一六三 二		一六	二五	一
一五四 一〇	九	八	三三	二
一五九 五七	二	四七	四二	三
七〇 五五	一三	四	三〇	四
一三六 三五	一三	一六	三八	五
六〇 四六	一三	三四	一〇	六
八七 一六	一五	九	五六	七
一二七 一三	一五	三四	五六	八
一一二 三三	一六	六	五五	九
一〇二 四〇	一六	二三	二	十
五三 一三	一六	三五	三七	十一
一九 五一	一六	五〇	二四	十二
一四三 三四	一七	二六	五一	十三
九三 八	一七	二八	四二	十四
一四 二	一七	二六	四	十五
一五〇 一四	一八	五五	四九	十六
七八 三四	二一	二一	四三	十七
九一 三四	二一	二四	四〇	十八

表中第五近車騎。最顯。目能見之。狀若彗。光分若四五等星。測以大力遠鏡。圍如球。其徑二十分。愈近中心愈明。乃無數十三十五等星。團聚而成。又第十五在天紀第一星及第一雙星之間。無雲之夜。目

亦能見。此二星氣。乃好里于康熙十六年及五十三年所測得者。

侯失勒維廉。分星林爲六類。一爲星團。其星皆明朗可見。有二種。一成球形。一作無法之形。二爲星氣。若遠鏡更精于今。意能分爲諸星也。三亦爲星氣。則絕無可分爲星之證。視其光分大小。區爲數種。四行星氣。五恆星氣。六雲星。維廉所用遠鏡在當時爲力最大。所測得皆昔人所未見者。言諸星林散列天空。無一定次序。而近天河之北極處最多。如軒轅內平北斗三公郎位大角宿中間一帶。約爲天球八分之一。星林在此者。乃有三分之一。婁昂畢觜四宿。及五車天船八穀天棓候宗正天市垣徐吳越織女中間一帶。則甚稀少。約計之。北半球赤經三十至七十五度。二百二十五至二百七十度甚少。而一百三十五至一百八十度甚多。其中一百六十五至一百八十度尤多。南半球分布停勻。除墨瓦臘尼雲外。詳後。無聚于一處者。

星團作無法形者。疎列天空。不甚密聚。大半俱近天河。團中諸星。或俱相等。或大不等。中心不甚密。其界亦不明晰。或卽係恆星最密之處。其內或有一星作深紅色。甚明。侯失勒維廉謂是未成球之星團。蓋因諸星交互相攝。從四面匯集。漸漸成球。然未有確證。僅因諸星團之色有深淺。而想當然耳。有一

星團。中函十字架中一星。拉該勒謂是星氣。測其面積。約四十八分方度之一。中共一百十星。俱七等以下。最明者八星。其色或紅或綠或青。合觀之。如七寶佩。

可分之星氣。乃星團之極遠者。故其星光甚微。非二三星相并。不能見也。其狀或爲平圓。或爲橢圓。恐實係無法形。其星疎處不能見。但見最密處。爲有法形也。凡用小力遠鏡。測一切大星團。皆成有法形。用大力遠鏡。始見爲無法形。則若用力更大之遠鏡。諸星必能分也。近羅斯用大回光遠鏡。管徑六尺。能分舊遠鏡絕不能分諸星氣之星。故星氣爲極遠之星團。無可疑焉。

不能分之星氣。測以最精遠鏡。仍如白氣。不見有星。然亦必與星團無異。其星不能分。乃愈遠。光愈微。故也。而好里諸人。謂係尙未成星之氣。侯失勒維廉言。若果是氣。此氣必能憑己之攝力。凝聚成球。故近中心最密。其凝聚時。有諸重心。故成諸小體。各體俱憑一公重心而凝。故能成星氣。久後成諸星。而爲星團。用己所造遠鏡。測此諸星氣。以證此理。則見有所成之星。已微能辨。中有最密之重心。近時所見諸星氣。俱與此理合。然則諸星團。有星氣理。有星聚理。二者不相涉。星氣乃無始來。未成星之質。星聚乃動重學之理。諸星各依攝力。向其公重心。而成環繞動也。

諸橢圓星氣。其兩心差大小不等。所函諸星。較平圓行者更難分。其狀或微橢。或幾成直線。然中心星更密同也。凡最密處。其光俱似平圓。或星更大。或因密聚。視二三星如一星。故中心諸星較易辨也。凡自外向內。漸近心漸密。其漸密之比例。有甚小者。則中心微密而光少。有甚大者。則中心甚密而光多。望之模糊。若一恆星爲星氣所隔焉。有二最美觀。一赤經一百八十二度三十八分十五秒。距極四十一度四十六分。一赤經二百零一度五十二分。距極一百十九度。俱道光十年之經緯度也。

橢圓星氣。最大而整齊者有二。一在奎宿第七星旁。一赤經九度四十八分。距極一百十六度十三分。乾隆四十八年侯失勒維廉之妹加羅林所測得者。奎宿星氣。如二版三圖。目能見之。人恆誤謂彗星。萬歷四十年。馬流曾測之。言如燭光在玻璃燈中。可謂善喻其狀。用尋常遠鏡窺之。爲長橢圓。其光自外而內漸變大。近中心變大尤速。而較明。然非一星。而爲最密之星氣。其面有他星可見。用徑十八寸之回光遠鏡。尙不能分所函之星。用力更大者。方能分之。米利堅堪比日星臺官本特。測得長二度半。廣一度強。其狀近橢圓。而其東北一點有凸出。于橢圓界外者。中心最密。略如一星。不能明辨。心之四周。見無數微星。徑二十分之界內。約有二百星。最異者有二。黑帶細而直。互橢圓面。略與長徑平行。非

精心細測。不能見也。又有一星氣。道光十年。其赤經一百九十八度五十二分四十五秒。距極一百三十二度八分。亦有一黑帶。更明晰。略與長徑合。分橢圓爲兩半。黑帶中間有一白帶。色淡而細。又有二星氣。一赤經一百八十六度四十五分四十五秒。距極六十三度五分。一赤經一百八十七度四十七分四十五秒。距極一百度四十分。亦俱有黑帶也。

星氣作環形者最少。有一最顯者。在漸臺第二第三星之間。中力遠鏡即能見之。雖小而甚清晰。狀作橢圓環。長短二徑比。若五與四比。其孔徑占徑之大半。孔中非黑暗。有微光。淡薄如羅。羅斯所造遠鏡。能辨此爲最微之諸星。其邊有無數小星。相聯如線。環形星氣已測得者。列表如左。乃道光十年之方位也。

環行星氣表

時	經	赤	
時	分	秒	
一七	一〇	三九	二
一七	一九	二	二
一八	四七	一三	三
二〇	九	三三	四

度	極	距
度	分	
二八	一八	
一一三	三七	
五七	一一	
五九	五七	

行星氣之狀。與行星相似。其面或平圓。或微橢。其界或清晰。或模糊。其光或通體停勻。或明暗錯雜。行星氣不多。所測得者不過二十四五。在南半球者居四分之一。星氣中此類最美麗可觀。今取最顯者十二。列表如左。乃道光十年之經緯度也。

行星氣表

時	經	赤	
時	分	秒	
七	三四	三	一
九	一六	三九	二
九	五九	五二	三
一〇	一六	三六	四
一一	四	四九	五
一一	四一	五六	六
一五	五	一八	七
一九	一〇	九	八
一九	三四	二一	九
一九	四〇	一九	十
二〇	五四	五三	十一
二三	一七	四四	十二

度	極	距
度	分	
一〇四	二〇	
一四七	三五	
一二九	三六	
一〇七	四七	
三四	四	
一四六	一四	
三五	一	
八三	四六	
一〇四	三三	
三九	五四	
一一	二	
四八	二四	

表中第六星氣。在十字架中。其光分約如六七等星。徑約十二秒。其面圓而微橢。界甚明晰。狀似行星。色深青近綠。凡恆星作青色者。恆在黃星之旁。而行星氣每有青色者。如表中第四。作天青色。第十二俱青而更淡。又第二第七第九第十二俱美觀。第三第四第十一俱爲長橢圓。其長徑爲三十八秒。三十秒十五秒。第三近中心有九等星。而其面之光如絨球。如塵團。則知亦爲無數微星聚而成也。表中第五最大。在天璇稍南偏東十二分。其視徑二分四十秒。設距日略如鶴翼星。則其實徑當七倍海王道德徑。此星氣之光。通體若一。設爲無數星簇聚而成。則漸近中心必漸明。不能如此停勻也。意或爲空球。或爲平面。與視線成直角。俱未可知也。

行星氣之光力。必甚小于太陽。割太陽面徑一分之平圓。其光七百八十倍望時之月。今行星氣徑數分。而目不能見。則其光之大小。豈可同年語耶。阿拉哥意謂是胞體。中心有一太陽。因遠極故不能見。

其光映于胞。胞大故能見。蓋光不論遠近俱能到。其遠而不能見者。因分太小。故改作大分。卽能見也。此說未確。若俱係本光。則小者不能見。大者能見。今太陽之光映于胞。必更薄。則雖變大。必仍不能見也。

續近時羅斯與拉瑟拉。用最大力之遠鏡。精心久測。仍未解其故。且更見其中奇異之狀。益難解焉。有雙星氣者。或二球形星氣。或二球形星團。其相距。其方位。其光分之比例。一一與雙星相似。惟形狀及光分變大小。則不同。其相與環繞。未有確證。蓋其爲物甚大。則其行必甚遲。雖測之數千年。恐仍不覺也。然既甚近若聯星。而雙列天空。與別星氣不相近。其有相屬之理無疑。夫以諸行星彗星屬之太陽。聯爲一體。又聚無數太陽爲星氣。復聯爲一體。今觀星與恆星理同。則又必合無數星氣聯爲一體。如是遞推。愈大愈無窮。造物主之大智大力。真不可思議矣。

星氣之狀。作有法形者。或與恆星之獨星。雙星有連屬之理。間有若一明星。四周包氣。氣有淡光。漸遠心漸薄。以至于無。間或有清晰之界。此類名曰雲星。最美麗者二。一赤經一百零九度四十七分。距極六十八度四十五分。一赤經六十一度三十九分。距極五十九度四十分。二星俱係八等。俱在明球中。

心。其球徑一爲十二秒。一爲二十五秒。此卽侯失勒表第四類中四十六六十九二星也。表分八類。一星氣。三最淡。四星氣。有帶星氣。有鬚星氣。短光星氣。一切異狀星氣。五甚大星氣。六最密星團。七略密星團。八疎星團。此類最大者。近奎宿及常陳皆有之。星氣有與雙星相屬者。其理最異。如赤經二百七十一度四十五分十五秒。距極一百零九度五十六分。有橢圓星氣。長徑約五十秒。有雙星。近長徑兩端。俱係十等星。又斯得路佛測得赤經二百七十六度十五分。距極二十五度七分。亦有雙星。大小不等。居橢圓星氣長徑之二端。又赤經二百零七度十五分五秒。距極一百二十九度九分。有橢圓星氣。長徑二分。近中點有密雙星。皆九十等。而大小略異。相距不過二秒。又梅西爾表中第六十四星氣。人疑是密雙星。更有數星氣亦如是。

星氣之略作有法形。其最奇者爲梅西爾表第二十七。道光十年。赤經二百九十八度三分。距極六十七度四十四分。其狀作二小橢圓星氣。有短頸相聯。頸之疎密。與二體略相等。體頸四周。漸外漸淡。成橢圓總胞。小橢圓居胞之短徑上。測以徑十八寸之回光鏡。見其面有星疎列。而不能辨其皆爲星否。羅斯用倍大回光鏡測之。則見分爲無數小星。中有星氣相雜。而所見之狀。不若小鏡之甚異也。又第五十一。其赤經二百度三十九分四十五秒。距極四十一度五十六分。測以徑十八寸之回光鏡。見爲

球體星氣大而且明。球外有一光環。環之光不停勻。五分環周之二分爲二層。其一層略向上。與原環不同面。別有小而明之圓星氣距環約如環之半徑。用羅斯徑六尺之回光鏡測之。則前所見向上。一層今見作螺旋卷形。又聯環與中體之諸帶。亦似欲成螺旋卷形。外之小星氣。以細而曲之光線與環相聯。見六版三圖。此星氣全體俱可分爲無數微星焉。

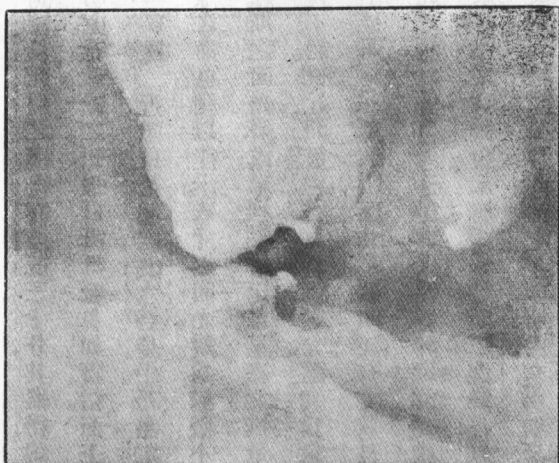
續羅斯與拉瑟拉。見他星氣亦有此螺旋卷形。而卷更清。此種星氣頗多。可爲另成一類。梅西爾表中。第九十九星氣。爲此類內之最。

星雲爲星氣之別一種。俱爲無法形。其面最廣。其狀與光各各不同。惟其方位近天河之邊。則俱同焉。略遠者近參宿。距天河大圈僅二十度。距天河視界十五度。則仍在近天河左右一帶之內也。十五用目視言天河有一分支。從天船第三星卷舌第二星。向畢昴二宿。恐與此星雲相連焉。故意星雲爲天河所分。其方位可區爲四。一參宿。二老人。三斗宿。四天津。益可信星雲爲天河之屬。設我能見天河之全。意必爲無法形焉。

當伐第二星處有大星雲。自順治十三年海更士測得後。天文士恆作圖論之。其圖各不同。蓋遠鏡之

板 四
南

卷十七
星林



一圖

前



二圖

北

六十九

力不齊。所見之狀各異焉。見四版乃用徑十八寸之回光鏡在好望角所測者。其地之高度大于歐羅巴。測較易。此圖之橫得赤經度三十分。其縱得緯度二十四分。圖與天相反。北在下。西在左也。星雲之最明處。若猛獸之頭。張口呀呀。厥鼻如野猪。面上有諸星散列。與雲不相連。前所云伐第二星爲六合星。十六卷右近獸口最明處。其六合星中。乃星雲之空處。稍暗處。乃雲之不可分者。近六合星最光明。則獸之額也。測以徑十八寸之回光鏡。爲無數小光塊。光不停勻。顯在粒粒之狀。知必爲諸星所合成。用羅斯之回光鏡。或米利堅堪比日星臺之無暈鏡測之。始見爲無數星密列而成。然欲獨察一星。雖精鏡不能。惟近而最密處。見爲無數光點。其爲衆星無疑焉。伐第二星之北約三十三分。經度略同。有二小星。同爲一星氣所函。其星氣明而有支。狀最奇。伐第三星亦爲一厚星氣所函。用大力遠鏡細測之。此二星氣各有光一帶。與大星雲相連。其光帶北行。意其又聯函參宿第二星及相近數小星之星雲。米利堅格致公會歲冊中。本特所繪之圖最精。

續英國大格致公會同治七年歲冊內。有奧斯曼之圖更精。

海山第二星。在諸星雲密聚之處。其星雲滿方度二圖。見四版約得諸星雲四分之一。占赤經三十二分。赤

緯二十八分。圖之右爲西。上爲南。在圖外者不甚明。然益可見爲無法之形。測以徑十八寸之回光鏡。無可分爲星之處。中有橢圓洞。近洞最明而濃。然其光無分粒之狀。不若伐之星雲。可辨爲無數星也。此星雲在天河星最密而明處。其星在星雲面者。多至一千二百。然此一千二百星。與星雲相去甚遠。絕不相連。乃天河掩遮星雲耳。蓋近此星雲赤經三十度之內。約計天河每方度之星。不下三千一百三十八。俱列于天空暗處。別無他星雲相雜。故知此星雲在天河外。遠至不可思議。與我天河諸星。各不相屬也。

近斗宿第三星。有星雲團聚處。其狀甚奇。難于形容。中有一星雲。合三星氣而成。作無法形。向內諸邊甚明。向外光漸薄。以至不見。中間有空洞無光。分三支作屈曲狀。其中一星氣。向內邊有三合星。在空洞分支處。又有一星氣。如摺扇。亦如鳥羽。從一星出。其星近三星氣。梅西爾表中第八星氣。作展疊狀。中有橢圓形暗洞若干。有一最明處。似其中心。其面之上。稍偏有甚密之星團。與星雲不相連。亦非若前星雲。函參宿第二星也。又梅氏表中第十九星氣。距上諸星雲雖有數度。然亦必同部。此星氣作二弓相合形。一明一暗。合處有帶。闊而明。其中最明處。可分爲諸微星團。外有暗帶繞之。其弓之背。有不

甚明之圓星氣與之相連。

天津之星林亦爲幾箇星雲所合成。其中有一星雲爲長帶狹而曲。發二三支。過天津第九星南之雙星。餘星雲赤經三百十二度二十分。距極五十八度二十七分。乃侯失勒維廉及約翰所測得。俱爲獨星雲。而梅森謂乃繁而異狀之星雲。其狀作曲狹長帶之分支。又作蜂房形。此星雲與星相雜。而蜂房空處無星。

墨瓦臘尼雲狀若二白雲。又若割取天河二段。二形大略俱圓而微橢。然其界不整齊。大者更參差。似有光軸。中間不甚了了。兩端漸廣。若橢圓線。其東邊有一小斑。色更明。乃異星氣也。詳後大雲赤經自七十度至九十度。距極自一百五十六度至一百六十二度。其面積方度者約四十二。小雲赤經自七度

至十八度四十五分。距極自一百六十二度至一百六十五度。其面積方度者約十。小雲之光月能奪大雲不能奪。測以大力遠鏡。見其狀極龐雜。大雲更甚。大率爲衆星林所合成。其中有星氣徑十八寸之回光鏡不能分者。亦有諸星明晰易分若天河者。又有球體星團或疎或密者。及無法形之星雲。有獨具異狀。他處所無者。統大雲中之星林。有二百七十八。相近者。又有五六十。意必同部。計每方度約

得六箇半。較天球各處爲最密也。小雲中略少。然測得者已有三十七。相近者有六。凡球體星團。橢圓星氣。天河中甚少。其最多處。距天河甚遠。此二雲中諸微星與天河無異。而有一切星氣星團。攙入其中。是可異焉。

大雲之視半徑爲三度。當作正球。則球頂底二點之距。爲十分球心距日之一強。故最近處之光力不太盛。而最遠處之光力不太微。此球內七八九十諸等星。約六百餘。諸種星林約三百。又有無數微星散列其中。自十一等以下至微極而爲星雲。人或謂此雲自頂至底遠至不可思議。譬從柱端望柱。故不覺其甚遠耳。余謂若只一雲。此說亦可通。然不當二雲皆如是。故七八等星與難分之星氣。其距我遠近。必如九與十之比。謂近是。而前所云凡星氣皆諸星聚而成。尙未敢斷爲定論矣。小雲中心偏西。有一最密之球體星團。目能見之。作淡玫瑰色。包于疎星白球中。甚美觀。其視徑十五分至二十分未定。卽前表本卷所測得條中第一星氣也。大雲中有異星氣。狀若小彗之中體。目能見之。約爲五百分本雲面之一。拉該勒曾細測之。五版一圖。卽測得之狀也。

續有數星氣。昔現今際。中有一者。以遠鏡窺測。確是彗星。卽乾隆五十七年之第二彗星也。上推此彗

之道。至明年正月初四日。確是馬斯奇林所測得之星氣無疑。因彼時之表。當在赤經二小時三十九分。距北極四十六度十五分。與所測得者相合也。惟此外另有實是星氣。忽隱而後又現者。或初暗而後大明者。或在熟知之處。昔無今忽現者。不可謂昔本有而未見也。咸豐二年八月二十八日。欣特在畢宿處測得昔所未見之星氣。依咸豐十年之表。赤經四小時十四分。北距極七十度四十九分。後又屢見之。咸豐五六兩年中。達唎亦屢見之。咸豐十一年八月二十七日。又測之不見。至十一月二十八日。斯得路佛用波羅略之大回光鏡測之。雖能一見。而甚難矣。同治元年二月二十三日。又變甚亮。以遠鏡窺之。見聚光之細線發光芒也。咸豐九年八月初五日。搭得勒測得昔所未見之星氣。依咸豐十年之表。赤經十八小時二十三分五十五秒。距北極十五度二十九分四十八秒。奧洸言此星氣略明而長。同治元年閏八月初一日。達唎見其明大異常。昔時維廉與約翰曾用遠鏡盡察此處之諸星。若有此星氣。不能不見之也。同治二年三月十一日。巴黎斯雲學會之報。載沙哥納于近天關測得一星氣。依咸豐十年之表。赤經五小時二十九分四秒。距北極六十八度五十二分二十秒。其星氣甚亮。且在此甚熱之處。若昔時已有如此之亮。亦不能不見之也。咸豐九年九

月二十四夜。但白勒在切近昴宿第五星。新見一星氣甚奇。初似彗星。次見其位不移。乃知實是星氣。十年十一月二十日。但白勒與波伯二人。在馬塞里用十六尺回光鏡測之。難見。依咸豐十年之表。赤經三小時三十七分五十二秒。距北極六十六度四十分十三秒。奧物云。其大十五分。形爲三角。想因近昴宿第一之明星。故昔未見也。欣特亦言常疑昴宿界內有星氣。梅西爾表內。第八十星團。人已屢經窺測。而熟知其爲扁球團形。內函無數微星。包克孫于咸豐十年四月初八日。見其內有七八等之小星。依咸豐十年之表。赤經十六小時八分四十一秒。距北極一百十二度三十七分三十四秒。前次三月十九日。曾用遠鏡測之。不見所異。三月二十一日。無微星之狀。惟異常明亮而縮小。至四月初一日。路得與奧物亦見爲微星。而記爲六七等星。二十一日包克孫測之。不見。而奧物仍見之。知此星與星團。不同一心。

海山第二星中之橢圓洞。四版繪圖之時。其界線明晰而全閉。惟近時包維勒來書云。橢圓南邊之

界綫已開。此後武官侯失勒。用五寸徑之無暈遠鏡窺測之。而與同治七年十一月初九日初十日測得而作之圖相比。知橢圓洞尙存。但不及用更大力之遠鏡所見者明耳。又圖內近于本星。即海山第

二星之四十九星內之四十八星。其相與之位置未改。能見也。其第四十九星最小而難于認識。又本星^{即海山}第二星之光雖比昔大減。然恆在橢圓洞東邊之最明處。如藏入甚深者。非如舊說在橢圓洞之內。而在星氣外也。蓋舊說以爲如此。今知其誤也。同治三年英國大格致公會歲冊。內有星氣與星團五千七十八之總表。依咸豐十年之赤經記之。又有已推至後同治二十年之歲差及說。皆約翰所著也。

用光圖法測明星氣。知雖最明者其實光亦甚淡。故光圖中不能見黑線。如太陽之光圖也。但所現之事異常。不似太陽光與星光。而更類火炎光。或燒氣質光也。最明之星球團。與能分星之無法形星氣所成之光圖。皆有諸光度之光帶。爲侯失勒維廉所測星氣之第四類名之爲行星氣。及不分星之諸星氣。則與前者不同。此類內有伐與海山諸大星氣。其光成單色光線。有一定之折度。合于太陽所成之淡氣光線。亦合于以電氣附過淡氣之光線。或爲此光線乃別單色光線。或二或三相而成。又一光線。合于太陽輕氣之光線。此略言黑京所得之要事也。武官侯失勒居印度之邦家羅耳。于無雲晴明之夜。用英國大格致公會所贈光圖鏡測得。與黑京者相合。又有一據。可解之。武

官侯失勒移去光圖鏡小槽之板。以三稜玻璃觀遠鏡之全視界。測梅西爾表中第四十六星團。見此處有多明亮之星。內有侯失勒第四類第三十九行星氣。如淡光在諸星所發無數光條之間。此星氣之光若非略單色。則三稜玻璃變長。不能如明辨之物。此據可爲極妙也。

或言太陽有薄質包之。故與雲星同類。其證有二。一曰黃道光。二三四月間。若天氣清明。日初入時能見之。或八九月日未出前。亦能見之。狀如光尖錐。其軸在黃道面內。頂點距太陽之視度。自四十至九十不等。與軸正交之底。自八度至三十度不等。其尖錐角。包太陽于中。其頂出水星金星道之外。有時頂點距太陽九十度。則至地道矣。愈近赤道。見之愈明。不可云北曉之類也。或云太虛中薄氣略厚處。能阻彗星。此乃數萬彗星過最卑時所留尾上餘質積而成也。或云是太陽之本氣。然有如是氣胞。當有橢率及大小。而與中體同轉。與動重學之理。大不合也。意或是無數小體。與日相屬。俱若小行星。各有本道。各有周時。距我甚遠。故視之甚微耳。所見尖錐。一若日光透門隙。見光中無數微塵也。此諸小體并之。較日體尙甚微不可比。故攝動不能覺。然其各道相交。則有時必相遇而相擊。而或落于日中。或落于行星中。各國史中所載隕石隕鐵諸事。卽此物也。西史有四人爲隕石所擊死。周貞定王四

年。隕石于土耳其之哀可卜大摩。大六七石。後梁龍德元年。以大利之那尼隕石于河中。高出水面四尺。明泰昌元年。隕鐵于印度本著之斜林特。其王日杭格以鑄劍。此後隕石于英國十六次。一在倫敦。嘉慶八年三月初六日午正。法蘭西諾滿的之來格城。空中有大火球。裂爲數千石而隕。徧散于地。方里者七八十。王命人往觀之。不誣。此外不能勝載。昔人謂此係地面或日中火山口飛出者。非也。今人皆知是空中小體。與行星同類。其隕時有火光。至地尙甚熱。或于空中碎裂者。蓋其下行。速率遞增甚大。與氣相磨。力甚猛。故發熱。且生火也。一曰流星。與上鐵石諸小體異。常別是一質。每見大流星曳長光或大火球。經過地氣之上層。有時過後。所曳光帶留于空中。歷時數分始滅。有時發喧鬧聲。其體豁裂而隱。有時無聲而自隱。此必地氣外之物。偶入地氣中而發光也。乾隆四十八年七月二十一日。有大流星經過歐羅巴洲。從蘇格蘭之舌蘭島至羅馬。其速率一秒中約九十里。距地面一百五十里。其光較望時之月尤大。實徑一里半。其狀屢變。後分爲數體並行。各曳光尾。爲最異焉。或有時見流星多至無數。如花礫亂放。光滿天空。歷數時之久。徧大洲大洋皆見之。或兩半球皆見之。此必在立冬後五六兩夜。嘉慶四年道光二十三十四諸年皆然。其見史志者。攷之亦恆在此二夜。又立秋後二三兩

夜亦有之。然不能如是之多。但常有大量星。皆曳光尾。徹夜不絕。又有數夜。略可定其時。不如此諸夜之確準。意地球行道。每周至此處。必過無數流星繞日道之面。一二日始過盡。其過時。諸流星及地球之路。皆當作直線論。又諸流星俱若用同速平行。而視地若定。故從地望之。若俱從天空一公點發出。此與雲隙日光平行線之合點同理。二卷凡雲開微隙條故諸流星所行之弧線引長之。俱成大圈。立冬後五六兩夜所向之點。近軒轅第十二星。立秋後二三兩夜。所發之公點恆近傳舍第七星。無論此二星與地平成何方位。皆然。流星道非必與黃道同面。但設爲橢圓。且兩心差無定。而各流星之速率及方向。無論與地同異。其所發公點之緯度雖大同。未嘗不合理也。若諸流星勻列于此橢圓道。則地球繞日。每年必一次遇之。若諸流星分作數隊。依次相隨。行于橢圓道。而周時與地球不同。則或間數年。一遇之。所遇之隊有疎密。故所見不同也。

近時天文家俱究心流星之理。便孫伯勃蘭特二人。欲知其道與地道之交角。細測各流星初見至隱之時分。及恆星中之方位。用底線長五千丈。從兩端測之。知其高從四十六里至四百餘里不等。速率每秒中五十二里至一百餘里不等。其速如是。繞日無疑也。

道光二十七年七月初九日。有大流星過法蘭西提挨伯及巴黎斯。測如上法。土魯士星臺官白底。推得其繞日之道。爲雙曲線。半長徑 $\bigcirc \cdot 三二四 \bigcirc \bigcirc \bigcirc$ 八三。負兩心差 $三 \cdot 九五一二 \bigcirc$ 。最卑點距日 $\bigcirc \cdot 九五六二六$ 。與地赤道面之交角十八度二十分十八秒。正交點黃經十度三十四分四十八秒。依此諸根推之。此流星從最近恆星。即視差一天行三萬七千三百四十年而始至也。

諸流星之行道。設有方向速率略與地同。而又近地。則意必爲地攝力所留而繞地也。若爲實體。能借光照地。則有時必于一刹那中見之。卽入闕虛而隱。觀白底所測。中有一疑其繞地如月。其周時三小時一刻五分。其距地心與地半徑比。若二 \cdot 五一三與一比。其距地面爲一萬四千五百里也。

續依前言太陽之熱因摩盪而生。見卷六日果故其體不燒毀磔裂。古時培根翹說謂凡動者之熱。皆

因體內之質點常速轉而生。其後細勒亦附和其說。然其是否未定。近時梅爾儒勒唐生三人。新論此理云。凡體之動無論如何而生。已生之後。永不能滅。若有物阻之。則其動力變形而存于體內。使其諸質點加速旋轉。因此而成熟。或成光。或成光及熱。而加入天空亮氣內之諸點。分散于天空各處。成所顯之光及熱也。此說有數事不解而難信。然合之則有妙論。故謂熱因擊力與面阻力而生。

此可爲例矣。瓦得孫唐孫二人。因此解太陽之光熱。瓦得孫云。諸隕石行甚長之橢圓道。如彗星相似。其遇太陽之雲氣而落至太陽面者甚多。而速率亦甚大。太陽所發一切之大光大熱。卽由此而成。準此。太陽面每方尺每小時必受隕石重五觔。速率每秒一千一百三十里。設隕石之疎密率等于花網石。則每年必蓋于太陽面高十二尺。唐孫信此說。而謂太虛之黃道。黃道光如氣質之星氣以螺絲道轉行。漸近太陽。而摩盪太陽之光氣。見卷六問黑斑係何物條以成太陽所發一切之大光大熱。然此不必詳辨。可依前說。見卷六用最精遠鏡隔黑色玻璃而攷遠鏡所見太陽之事。以知此說之合理與否也。〔同治五年立冬後五夜。見流星極多。故後必以是年爲流星天學之元年也。近時勤于測流星之人甚多。故大英格致公會。設白來利格類失格勒格與侯失勒亞力會合地面陸海多人。如亥師及海定格等所測。而用便孫伯勃蘭特二人之原法。詳攷獨流星顯滅之高與速率行道而知立冬立秋後之外。亦有依定時而見之流星。今已定流星顯滅之高及速率。而得總說如左。

一流星所顯之光道距地面之高。至少五十八里。至多三百七十六里。其初顯時高之中數爲二百里。滅時高之中數爲一百五十里。故依北曉之證。言雲氣之高。過于一百三十里有據也。

一流星之速率。每秒五十里至二百三十里。中數爲九十八里。與使孫伯勃爾特之數合。

一立冬立秋後之外。最要之各隊流星。小寒前四日所顯者。合點在赤經二百三十四度。北赤緯五

十一度。穀雨日所顯者。合點在赤經二百七十七度。北赤緯三十五度。霜降前五日所顯者。合點

在赤經九十度。北赤緯十六度。大雪後五日所顯者。合點在赤經一百零五度。北赤緯三十度。

立冬後甚多之流星。米利堅紐赫溫之奈端。攷相傳之書。知自唐昭宗至道光十三年。共有十三次。

在唐昭宗天復二年。後唐明宗應順元年。宋眞宗咸平五年。宋徽宗建中靖國元年。宋寧宗嘉泰二

年。元順帝至正二十六年。明嘉靖十二年。明萬曆三十年。康熙三十七年。嘉慶四年。道光十二年十

三年也。其間之期爲三十二年。三十三年。三十四年。中數爲三十三年。又四分之一。卽一百三十

三年。內有四次。唐昭宗天復二年。在霜降前七夜。以後日期移易不勻。至道光十三年。則在立冬後

六夜。依歷法變此年爲日數。見卷十八設有舊曆某日條及設有新曆某日條得二百零五萬零七百九十九日。與二百三

十九萬零八百六十七日之較。爲三十四萬零六十八日。而九百三十一太陽年。爲三十四萬零四

十日。其較爲二十八日。故發流星之日期。在九百三十一年內。漸移後二十八日。約每百年移後三

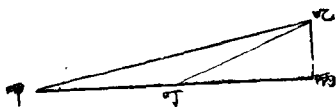
日也。按嘉慶四年。道光十二年十三年。人所推算者。知在同治五六年。當再見甚多之流星。將此預傳各處使人候之。至期有驗。雖不及嘉慶時之亮。而已爲甚亮。同治六年所見者則尤多。米利堅見其最大者。音地亞那不路明敦人格固烏特。自半夜至卯初一刻。共見五百二十五流星。近馬的尼島。見光星如雨。在特尼塔島之舟主名赤木云。自丑正至天明。記所見共一千六百流星。巴哈馬島之那掃。有武官名司多爾得。與其伴自丑初至卯初二刻。記所見共一千零四十流星。彼時細攷此流星之合點。在黃經一百四十二度三十五分。黃北緯十度二十七分。卽在軒轅第十一第九之間也。彼時自太陽觀地球之黃經爲五十一度二十八分。故道光十三年。因格謂合點在黃道面推之。當時必略在地道內。地球所在之點切線之方向。故若以每流星爲細行星。則必逆行環繞。與地道同心之平圓或橢圓。其最卑點或最高點。略與合點相合。在黃經五十一度二十八分。而其道之長徑。約在黃道之面內。

設以流星爲細行星。而地球與大發流星之處。一百三十三年中相會四次。則流星所行道之形。有二法可解之。第一法。謂微橢圓道。周時略一恆星年。第二法。謂行長橢圓道。周時三十三恆星年。又

四分恆星年之一。第一法之橢圓道。亦有二式。第一式。米利堅奈端之說。其相會在橢圓之最高點。周時三百五十四日五七。少於恆星年十日六七。半徑 $\odot \cdot 九八一$ 。兩心差 $\odot \cdot \odot二〇四$ 。第二式。同治七年英國月錄無名氏之說。其相會在橢圓之最卑點。周時三百七十六日五六。多於恆星年十一日三三。半徑 $\odot \cdot \odot二一$ 。兩心差 $\odot \cdot \odot一九二$ 。依第一式。每恆星年。必行一周多十度五十分。故在三十三年內。必過原點二度三十分。依第二式。每恆星年。必行一周而少如前數。故在三十三年內。必不及原點。亦如前數。故推算各周時。得其元皆在三十一年三十二年三十三年及三十四年。而流星恆必略近所會之原點也。若諸流星散大至公總道闊十一度。則幾必相會。若散大至闊二十二度。則定必相會。而幾能連有兩年相會矣。第二法。以大利密蘭星臺官沙伯勒利之說。其相會甚近橢圓道之最卑點。周時三十三年又四分年之一。半徑 $\odot \cdot 三四$ 。兩心差 $\odot \cdot 九〇三$ 。此法與前法。其相會皆在往下時之中交點也。其諸流星若散大至公總道之闊能容地球過此交點。則歷時必多於一年爲一百三十三分之四。相會約可在所定之年。若諸流星散大之闊爲此二倍。則相會必在所定之年。若再闊。則相會連有二三年。而與古所記者相合矣。每百年移後三日。

之故。半因恆星年長於太陽年一日四。尙有一日六。乃因被他行星所攝動。而每百年交點移前一度三十六分。卽每年五十七秒六。地球屢近之攝力最大攝動必因此也。故知必被地球攝動也。前言流星行道第一法之二式。其速率必略同地球之速率。而行與地球相逆。可知其真交角。約倍其視交角。而得二十度五十四分。流星行道第二法。在橢圓道之最卑點。速率與地球速率比。若一·三七一與一比。設呬啞爲地道。呬叮爲流星道。視交角呬啞叮十度二十七分。呬叮邊爲一·三七一。叮呬邊爲一。則得叮呬啞角爲七度十三分。故真交角呬叮啞。爲十八度三十一分。

設諸流星爲細行星。而略行正圓道。與地道大小略同而逆行。其道之交角。不大於小行星中者之一道。則與太陽所屬諸行星之例不合。又因其無亂攝力能使外移而至其本道。則必恆依此而行無窮之年。而與地球相會無窮之次數。故全團必因地球之攝力所散亂。而使各流星行道之斜度。與兩心差。各不同。設諸流星行長橢圓道。而周時爲三十三恆星年又四分恆星年之一。則似彗星之道。彗



星則常有逆行也。彼得與沙帕勒利同時攷得。但白勒於同治四年所測之彗星。除過最卑點外。其根數與此流星盡合。列其二數如左。以比較之。

過最卑時	同治五年十月初七日	流星道	但白勒彗星道
最卑點之距	○·九八九三 <small>即立冬後六日 地道之帶徑</small>		○·九七六五
兩心差	○·九〇三·三		○·九〇五四
半長徑	一〇·三四		一〇·三三四
交角	十八度三分		十七度十八分一
中交黃經度	五十一度二十八分		五十一度二十六分一
周時	三十三年二五		三十三年一七六
行法	逆行		逆行

觀表內之半長徑一〇·三四。最卑點之距離爲一。則知最高點距日必一九·六四。稍出天王星

道之外。而道面與天王星道面之交角甚小。長徑與黃道面略合。故天王星與流星同時至二道之交處。略必相遇。無論長徑之方向有變。古必已有相遇之時。後亦必有相遇之時也。惟長徑之方向。未必與交點同變。尚未推算。故未能確知其變否。力佛理亞另立一說云。在漢順帝永延元年。必已相遇。彼時天王星與流星之行。俱慢於今。流星在最高點之速率。與地球速率比。若 $\frac{1}{7}$ 與一比。得每秒行三里八二。故必久受天王星攝動之力。而流星道之方向。大有變移。即與古時木星攝動勒石力彗星變之爲短時道相似也。見卷十一諸彗之道條。可知流星之行古尙在外。若非天王星攝之。使行於今之道。則在地球永不能見之也。沙帕勒利又另立說。謂流星道之半短徑爲 $\frac{1}{4}$ 。四四一。其道面與地道面之交角小。故出地道面之距。永不能過於一·五地道半徑。又思古時必已近木星或土星。而受其攝動。使行於今之道也。按此說不合理。倘如此。則攝力必正加於道面。而行星與流星之速率。皆甚大。加力之時必甚小。所受攝動。亦必甚小也。

立秋後三日之流星。依同治二年侯失勒亞力測星所得其合點。在大陵中。若其道合拋物線。則遇時之速率。與地行正圓當有之速率比。若二之平方根與一比。此與侯失勒亞力及同測者所定之

速率略同。又沙帕勒利依此而推得其道之根數。知與同治元年大彗星道之根數略合。列其二數如左。以比較之。

過中交點	沙帕勒利推流星之根數	大彗星道之根數
同治五年七月初二日未正		
過最卑點	同治五年六月十三日午初	同治元年七月二十九日卯正
最卑點黃經度	三百四十三度三十八分	三百四十四度四十一分
正交之黃經度	一百三十八度十六分	一百三十七度二十七分
交角	六十四度三分	六十六度二十五分
最卑點距	〇·九六四三	〇·九六二六
周時		一千二百三十七年四

設非拋物線道。而是長橢圓道。周時約一百二十三年。亦是相合。惟若每年有相遇。則或正圓。或橢圓。皆必全圈有流星也。立秋後流星之合點。各人各年所測者各不同。不及立冬後合點之有定。可

知立秋後之流星。屬太陽甚久於立冬後之流星。蓋各流星之周時。必有稍異。故久則行前留後。而團聚者散開成一帶。又因地球之攝動。而諸交角兩心差亦各不同。故合點不定也。立冬後之流星。不如此。故合點有定也。

卷十八 曆法

時如線。可任用根度之。設有時分用根度之。得若干適盡。則但言若干根。即得時分之全。若用根度得若干。尙有不盡數。不滿一根。則當言若干根。又一根之若干分。此曆法之大凡也。

太陽日爲自然之根。乃從日在子午圈至明日復在子午圈。爲一根也。統一歲計之。此根每日有增損。其差之最大爲半分強。數甚微。若非步天可不論。歷代至今。恆用其中數。爲平太陽日。

地球自轉一周。謂之平恆星日。準動重學理。此根無增損。或謂地球之熱氣漸散去。地質漸冷而小。則自轉漸速。然準公理。肇生人類至今。此故生差。尙甚微不覺。故以今測上攷古曆。無少差。拉白拉斯曰。自前漢至今。其差不能滿一百分秒之一。故以平恆星日爲根。可無差。雖久後行星令地道長徑變。必

生差。然既改正。十三卷設已。則平恆星年仍可用。

平太陽日本於恆星日。與月之太陽周恆星周相關之理同。七卷從前朔條曆法中定恆星日與太陽日之比

例為最要事。故用地球自轉一周之時為根。蓋每星二次至子午圈之時。為恆星日。較地球自轉一周之時有小差。而每星之恆星日又有不同。如圖。周為黃極。吧為赤極。呬呬叮叮為某元二至二分兩經

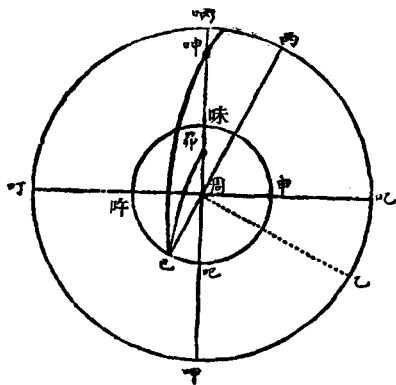
圈。其吧呬申為赤極繞黃極之小圈。春分點行黃道一周。則黃極行此小圈亦一周。其積時為二萬五千八百七十年。

即九百四十四萬八千三百太陽日也。假如申為星在黃道

呬呬叮與小圈吧申味呬之間。恰當子午圈。赤極吧若不

動。則地自轉一周地子午圈吧呬交。黃道之點呬。必歷叮呬

而復至呬。視星仍在子午圈。果如是。則星二次至子午圈。與地球一周之時等。今不然。地球一周後。赤極已從吧行至已。子午圈從吧呬移至已丙。而視星不復在子午圈。少一周



已呻角度。吧已弧度。無論大小。理俱同。設吧已爲大弧。赤極從吧行若干日至已。則周已呻角度爲若干日中子午圈退行距星呻之時角。凡星在哂味之間。此角漸大。赤極至味。爲一百八十度。極復至吧。爲三百六十度。故地球自轉九百四十四萬八千三百次。赤極行一周。而小圈外諸星。過子午圈僅九百四十四萬八千二百九十九次。此二數比。若一·○○○○○一一。與一比。設星在吧哂味申小圈之內如昴。則子午圈距星之時角爲周已昴。極初行漸大。至哂味弧中間一點爲最大。過此漸小。至味而爲○。過味後。子午圈在星之前。亦漸大。至申吧中間一點爲最大。過此復漸小。至吧而復爲○。故小圈內之星。赤極一周內二次過子午圈之中數。即地球一周時。與無歲差無異焉。

任取黃道上一星。用無窮年太陽至此星之中數爲恆星年。推太陽日與各地子午圈恆星周之比例。法命平太陽日爲叮。所取星二次過子午圈之中數爲丁。恆星年爲地。則叮時中太陽與子午圈所過二度分比。若三百六十度乘地分之叮。與三百六十度乘丁分之叮比。此二率之較爲三百六十度。則三百六十度乘丁分之叮。等於三百六十度乘地分之叮。加三百六十度。恆星年爲三百六十五日六小時九分九秒。六卷凡地上條故得丁分之叮。等於一加地分之叮。亦等於一·○○二七三七八〇。然丁

非地球自轉一周數。尙有餘分。若一·〇〇〇〇〇〇一與一之比。以此數增上數得一·〇〇二七三七九一與一。爲太陽日與恆星日之比例也。此根出於自然。不變。最便於用。竊謂若古今但用此根。於曆法大有益也。

古埃及所行官曆之年。爲三百六十五日。爲最簡明之曆。然發政授時之要。依四時寒暑。當用太陽年。以太陽二次至春分爲一年也。春分每年向西行。故太陽年。非恆星年。六卷凡地上條春分行平速。其差因黃

道受諸行星攝動。方位漸變而生。

十二卷黃道面條

故太陽年亦有變。今之太陽年。較前漢時少四秒二一。夫

發政授時。旣不能不用太陽年。而太陽年又未始無變。故必另立一假歲實。與真歲實之數略近。數百年中之積差可不論。於常算使用也。又太陽年與諸小根無等數。日不能度盡。日帶分數亦不能度盡。所度之餘爲無等數之數。用時分秒收之亦不能盡。故推時殊不便。如每金錢當二十一銀錢。并若干大錢。若干小錢。及錢之若干分。故必詳計諸小數。積之滿日乃進一。覺甚繁也。今西曆用格勒哥里法。設二假歲實。一三百六十五日。一三百六十六日。以哀棧球所推耶穌降世後第一個正月初一日子。正爲曆元所推之年。在算內。置積年以四約之。不盡。則爲三百六十五日。若盡。再以一百約之。不盡。則

爲三百六十六日。若亦盡。再以四百約之。不盡。則爲三百六十五日。若亦盡。則爲三百六十六日。如積年一千八百三十三。以四約之。不盡。爲三百六十五日。又一千八百三十六。以四約之。盡。以一百約之。不盡。爲三百六十六日。餘類推。假設積一萬格勒哥里年。欲知其中有若干日。自一至萬逐數計之。四不能約盡者。有七千五百。四能約。一百亦能約。而四百不能約盡者。有七十五。故一萬年中。七千五百七十五年。俱三百六十五日。二千四百二十五年。俱三百六十六日。統計得三百六十五萬二千四百二十五日。約得每年之中數爲三百六十五日二四二五。太陽年之歲實。爲三百六十五日二四二二四。故用格勒哥里法。歷一萬年。較太陽年少二日六。卽二日十四小時二十四分。則三千年所差不滿一日。於發政授時。已可無誤。欲令更密。再以四千約之。不盡。爲三百六十六日。盡。爲三百六十五日。則歷十萬年。爲三千六百五十二萬四千二百二十五日。較今太陽年僅差一日。用格勒哥里年。某節約在某月某日。歲歲相同。故雖婦人孺子。亦能記之。法最便也。

凡紀年。耶穌降世一年之前年。卽爲耶穌前一年。無耶穌降世○年也。故凡以耶穌前若干年。與耶穌降世若干年相并。當減一數。如耶穌前四千七百十三年正月初一。至耶穌降世一千五百八十二年。

爲六千二百九十四年。非六千二百九十五年。推步家須謹記之。

西曆起於羅馬。羅馬曆自怒馬至該撒儒略。一年爲十二月。卽三百五十五日。祭司與大吏。任意改定。有時欲令寒暑與太陽年合。變亂至不可紀極。該撒儒略徵請亞力山太。天算家鎖西日。泥定曆。始創三百六十五日與三百六十六日二歲實之法。以三百六十六日爲閏年。每四年一閏。於耶穌前四十五年正月初一日爲始。改用新曆。乃冬至後第一合朔也。是時曆法甚亂。既用新曆。令其前一年爲四百四十五日。故史稱其年爲亂年也。儒略既定曆。下令諭民。其令不傳。意其中必有每閏三年閏一日之語。曆未行而該撒死。死後祭司不明曆。以本年爲第一閏年。第四年又爲閏年。如是每三年一閏。歷三十六年法當閏九日。而誤閏十二日。該撒亞古士督覺其誤。下令連十二年不置閏日。乃合儒略之本意。後不復改。至小餘積久自生差。而格撒哥里改之。準亞古士督所改。漢孺子嬰初始元年。新莽建國四年。天鳳三年等。俱爲閏年。曆家皆依此上推。

各國曆法。俱古今屢改。記載時日。非用本曆推之不能通。今曆家定一法。可與各曆相較而推。以耶穌前四千七百十三年正月初一日午正爲曆元。名儒略元。以七千九百八十儒略年爲一總。二十八年

爲一會。禮拜與月之日復如初。置耶穌降世積年。加九。以二十八除之。餘爲入會年也。十九年爲一章。共二百三十五朔望。與十九年每年三百六十五日四分日之一相較。所差約一小時半。故設章之首年正月初一合朔。則每後十九年遇正月初一亦必合朔也。又諸合朔在某月某日。後一章俱與前章同。此爲雅典天算家默冬所定。故西名默冬章。置耶穌降世積年。加一。以十九除之。餘爲入章年也。四章七十六年爲一蔀。乃加里波所定。故西名加里波蔀。惟在一蔀內差六小時。四蔀卽三百零四年內。差一日。十五年爲律會。乃君士但丁所定。律家用之。置耶穌降世積年。加三。以十五除之。餘爲入律會年也。會章律會俱名爲會。以二十八乘十九。再以十五乘之。得七千九百八十年。卽一總也。則三會俱終。三會俱無等數。故一總中無二年相同者。故任舉一年。但知爲三會之各第幾年。卽知爲某年。蓋古今史中一總未終也。總之第一年。卽耶穌前四千七百十三年。爲三會所同起。以是年正月初一日亞力山太午正爲總之首。卽曆元也。攷古史時日。皆以此曆元爲本。從此曆元至他曆元推其積日若干。則二曆卽可通也。用亞力山太午正者。因多祿某用此地之子午圈。推定那波那要之歷元。而其書中恆用之故也。

設有年已知入三會之各第幾年。求入總第幾年。法以四千八百四十五乘入會年數。以四千二百乘入章年數。以六千九百十六乘入律會年數。乘畢。并之。滿七千九百八十。去之。餘爲入總之年也。儒略元至西國諸大事及諸曆元之積日。列表如左。

儲元	儒略曆	耶穌紀年	儒略曆	積日
儒略元	正月初一	前四千七百十三	一	○
開闢屋實所推	正月初一	前四千零四	七百十	二十五萬八千九百六十三
洪水 阿波哈三古沙所推	二月十八	前三千一百零二	一千六百十二	五十八萬八千四百六十六
洪水 常用	正月初一	前二千三百四十八	二千三百六十六	八十六萬三千八百十七
亞伯拉罕元泥各拉所推	十月初一	前二千零十五	二千六百九十九	九十八萬五千七百十八
破特羅呀城泥各拉所推	七月十二	前一千一百八十四	三千五百三十	一百二十八萬九千一百六十
開所羅門殿	五月初一	前一千零十五	三千六百九十九	一百三十五萬零八百十五
羅馬小會之元 常用	七月初一	前七百七十六	三千九百三十八	一百四十三萬八千一百七十一

築羅馬城伐羅元	四月二十二	前七百五十三	三千九百六十一	一百四十四萬六千五百零二
那波那要元	二月二十六	前七百四十七	三千九百六十七	一百四十四萬八千六百三十八
默冬章元 <small>天文</small>	七月十五	前四百三十二	四千二百八十二	一百五十六萬三千八百三十一
加里波部 <small>皮阿所推</small>	六月二十八	前三百三十	四千三百八十四	一百五十九萬九千六百零八
腓立元	十一月十二	前三百二十四	四千三百九十	一百六十萬三千三百九十八
西魯寄地元	十月初一	前三百十二	四千四百零二	一百六十萬七千七百三十九
安提阿元	九月初一	前四十九	四千六百六十五	一百七十萬三千七百七十
儒略改歷	正月初一	前四十五	四千六百六十九	一百七十萬四千九百八十七
士班雅元	正月初一	前三十八	四千六百七十六	一百七十萬七千五百四十四
羅馬元	正月初一	前三十	四千六百八十四	一百七十一萬零四百六十六
亞力山太元	八月二十九	前三十	四千六百八十四	一百七十一萬零七百零六
耶穌降世	正月初一	一	四千七百十四	一百七十二萬一千四百二十四
丟格列山元	八月二十九	二百八十四	四千九百九十七	一百八十二萬五千零三十

回回元 <small>天文合朔</small>	七月十五	六百二十二	五千三百三十五	一百九十四萬八千四百三十九
波斯元	六月十六	六百三十二	五千三百四十五	一百九十五萬二千零六十三
日拉利元 <small>泥各拉所推</small>	三月十四	一千零七十九	五千七百九十二	二百一十一萬五千二百八十五
諸西國舊曆之末日	十月初四	一千五百八十二	六千二百九十五	二百二十九萬九千一百六十
英國舊曆之末日	九月初二	一千七百五十二	六千四百六十五	二百三十六萬一千二百二十一
諸元	格勒哥里曆			
諸西國行新曆	十月十五	一千五百八十二	六千二百九十五	二百二十九萬九千一百六十一
英國行新曆	九月十四	一千七百五十二	六千四百六十五	二百三十六萬一千二百二十二
一千八百零一年之首	正月初一	一千八百零一	六千五百十四	二百三十七萬八千八百六十二
天文公會星表之元	正月初一	一千八百三十	六千五百四十三	二百三十八萬九千四百五十四
英格致公會星表元	正月初一	一千八百五十	六千五百六十三	二百三十九萬六千七百五十九

右默冬章及回回元。熱帶間所行官歷。較天文歷遲一日。蓋天文歷用真朔。而官歷以初見新月爲朔也。皮阿攷加里波菴之元。爲冬至合朔。而本日已可見新月焉。求二時中間之積分。爲最要事。若不明

法意。易致誤。凡云某月。云某年。卽所求之日與年也。如云耶穌前一年正月初五。非入正月已過五日。乃已過四日。而入第五日也。又前一年。乃指耶穌降世第一年前之一年。耶穌降世與耶穌前相接皆無○年。故耶穌降世之年。卽耶穌前一年也。

設有耶穌紀年。求儒略歷之積年。其年爲耶穌前。則以減四千七百十四。爲耶穌降世。則以加四千七百十三。觀前表自明。

設有舊歷某日。求儒略歷之積日。法如前以耶穌紀年變爲儒略年。所得減一。餘以四除之。所得命爲午。不盡數命爲未。乃依左第一表。以午變爲積日。依第二表。以未變爲積日。二日數之和。卽從儒略元至本年正月初一之日數也。又依第三表。求正月初一至本日之數。未爲○。則用閏年一層。未爲一二三。則用常年一層。以所得日數加於午未日數和。卽儒略元之積日。算外爲本日。

表 一

四 年 積 日 之 倍 數								
一	二	三	四	五	六	七	八	九
一千四百六十一	二千九百二十二	四千三百八十三	五千八百四十四	七千三百零五	八千七百六十六	一萬零二百二十七	一萬一千六百八十八	一萬三千一百四十九

表 二

餘 年 之 積 日			
○	一	二	三
○	三百六十六	七百三十一	一千零九十六

表 三

正 一 初 月 至 各 月 一 初 日 之 積 日												
各月初一	正月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
常年	○	三十一	五十九	九十	一百二十	一百五十一	一百八十一	二百十二	二百四十三	二百七十三	三百零四	三百三十四
閏年	○	三十一	六十	九十一	一百二十一	一百五十二	一百八十二	二百十三	二百四十四	二百七十四	三百零五	三百三十五

假如有英國舊歷。耶穌降世一千七百五十二年九月初二。求儒略歷之積日。法置一千七日五十二。加四千七百十三。得六千四百六十五爲積年。減一。餘六千四百六十四。以四除之。得一千六百十六。無餘。依第一表化年爲日。得二百三十六萬零九百七十六。爲積日。算外得本年正月初一日。又依第三表求得正月初一至本日之數二百四十五。以加之。得二百三十六萬一千二百二十一。卽所求之積日。算外得本日。

設有新歷某日。求儒略歷積日。卽以新歷當作儒略歷。如上法求得積日。減若干日卽得。在耶穌降世一千七百年三月初一日之前。減十日。自耶穌降世一千七百年二月二十八日之後。至一千八百零三三月初一日之前。減十一日。自耶穌降世一千八百零二年二月二十八日之後。至一千九百年三月初一日之前。減十二日。自耶穌降世一千九百年二月二十八日之後。至二千一百零三三月初一日之前。減十三日。餘類推。

求二時中間之積日。或一爲舊歷時。一爲新歷時。或皆爲舊歷時。或皆爲新歷時。俱不論。但以二時各求儒略之積日。相減卽得。若帶時分秒。各加於日下。然後相減。按儒略法。四年一閏。以歲實爲三百六

十五日四分日之一。較真歲實略大。每九百年必差七日。故至耶穌降世一千四百十四年。覺春秋二分。已不在三月二十一日。及九月二十一日。共議改歷。至一千五百八十二年十月初四日。始定用新歷。以初五日爲十五日。初歐羅巴奉天主教諸國改用新歷。而奉耶穌教之國。尙用舊歷。至一千七百五十二年九月初二。英國亦改用新歷。以明日初三爲十四日。舊歷以仲春月二十五日爲歲首。新歷以季冬月初一日爲歲首。故舊歷之末一年。僅有二百八十二日。不滿九月。少三月有奇也。今統歐羅巴洲。惟俄羅斯未改。故其歷較各國差十二日。

凡攷史之年月日。必用古歷推之。史志中記天事其時不甚明者。因今已深知月行動之法。故可用法推定之。如數千年之交食。以今法上推。不差一日。史中或有他事。與月食相連書者。既知交食之日。卽知其事之日也。

續有典要之日食四次。已如此推之。記其時於右歷元表。

見本卷儒略元條

此四次中之一。名大粟日食。諸天

學家辨論繁多。終不相合。近時愛里用噉孫印行之月表。推算而得確數。可無疑義。古時名爲大粟日食者。用合陸奪多史載。大粟預言其時。至期日食。而米太與呂太亞兩國因而罷戰。倍利云。若此

非日食既。則軍中不見也。因用歷表推算此日食。在周匡王三年九月二日。其影必過哈利河口。故昔人以其戰略在此處。而不能確定者。至此推算而始可定矣。惟按喊孫之表。則此日食之影。不至小亞西亞之北。而必在亞梭弗海之北。又按喊孫之表。推算此日。既或在周簡王元年。其影必過壹宿斯。因此處之形勢。更合於哈利河口。故人皆謂其戰在此無疑。周赧王時。加搭其宜國人。伐地中海內西西里島。層辣古之地。彼地之官阿茄都格利。以多船載其民人。率之逃避至薄恩角。次日船中多人見日食既。倍里推算之。知前所推者若合。則古書所載此日食。在周赧王五年不合也。今知前所推者不合。因再推之。知赧王五年之日食。經過西西里之南角。必掩阿茄都格利諸船。無有他日食能如此也。

古史任奴分載波斯人攻米太人於辣立撒城時。米太人見日食而驚。波斯人乘而克之。辣立撒城雖已堙沒。而近時攷古者攷之。尙有城跡。知卽今之寧綠也。以喊孫之表推算此日食。在赧王五年七月九日。其影甚小。僅闊七十餘里。必過今之寧綠。此亦證爲卽古辣立撒城也。且可知月表之精矣。

日既統之以年。而一年中日太多。令人難記。故各國皆分其年爲若干分。每分繫以名。而分中諸日。又各有號。則某分某日。了然易記矣。有以月分。不論年之日者。如猶太土爾其歷。每年十二月。共三百五十四日是也。英國分爲十二分。其日數不等。亦名日月。二月最小。故閏日恆在二月也。中國亦以月分。而有閏月。故四時不亂。西國步天。每日從午正起。而所行官歷。每日從子正起。故天文歷日之前半。與官歷日之後半相合。餘不合。又各地以子午圈爲準。每日之始。無論用子正。日入日出皆不同。故測天既記日。又必記地之經度。各國推經度。皆以福島爲準。因此島無天算家。免爭端也。竊謂以亞力山太爲準亦可。蓋多祿某步天之處。各國俱重之。不相忌也。然但經度。不能知一定之日。假如距亞力山太一百八十經度。未能定知本日爲歷之第幾日。設一處爲一千八百四十九年正月初一日禮拜一。同時必有一處爲一千八百四十八年十二月三十一日禮拜日。欲去此差。必用公時。或太陽過平春分時。而不用春分點者。蓋春分點恆變。有地軸尖錐動。有諸星攝動力。令黃道變而歲差。然俱有復初之時。尖錐動十九年而復。諸星攝動之復時甚長。尙未推定。故用平春分。此二事俱不論。一若春分以平速逆行。而日以平速順行。古今日表以日之平經度爲準。乃日之平恆星行。加分點之平恆星行。

也。此數用二千五百年測簿推得之。三百六十度爲平太陽年。無論何時。以日之平經度。變爲日時分秒。卽得統地球之公時。名曰分點時。以本年平春分爲元。

用分點時。始於耶穌降世一千八百二十八年。定用特浪勃之日表。表中平春分倫敦平時爲三月二十二日一小時二分五十九秒〇五。巴黎斯平時爲三月二十二日一小時十二分二十秒五五。白靈平時爲三月二十二日一小時五十六分三十四秒五五。而分點時爲〇日〇時〇分〇秒〇〇。自平春分至平春分。得三百六十五日二四二二六四爲一分點年。準此推得道光八年平春分爲耶穌降世一千八百二十八分點年之始。爲儒略歷六千五百四十一分點年之始。

各地午正所得分點時積分。同分點年中。其小餘每日皆同。異年則不同。如耶穌降世一千八百二十八年三月二十三日。倫敦午正所得分點時積分。爲〇日九五六二六一。卽〇日二十二小時五十七分〇秒九五二十四日午正。大餘一。二十五日午正。大餘二。小餘俱爲九五六二六一。如是至一千八百二十九年三月二十二日。小餘皆同。至二十三日。則不同。蓋二十二日午正後加小餘二八六〇〇三。卽六小時五十一分五十秒六六。爲前分點年所終。後分點年所起。故置一日。以此小餘減之。得〇

日七二三九九七爲二十三日分點時積分。而後分點年。每日之小餘。恆爲七二三九九七也。設從二十二日子正起。歷十二小時。卽小餘五〇〇〇〇。所得分點時積分。爲三百六十四日九五六二六一。再加小餘五〇〇〇〇。則得三百六十五日四五六二六一。大於分點年三百六十五日二四二二六四。卽知已入新分點年。以此二數相減。得〇日二二三九七七。爲一千八百二十九年倫敦三月二十二日。十二小時分點時積分。無論何地。但知一年中午正分點時之小餘。則後若干年。以二四二二六·四之若干倍。減本年小餘。不足減者。加一日減之。卽得其年之小餘。設前若干年。以二四二二六四之若干倍。加本年小餘。滿日去之。卽得其年之小餘。如法以倫敦一千八百二十七年之小餘一九八五二五。遞求得後諸年小餘。如左。

耶穌降世年
一八二八
一八二九
一八三〇
一八三一
一八三二
一八三三
一八三四
一八三五
一八三六
一八三七
一八三八
一八三九
一八四〇
一八四一
一八四二
一八四三
一八四四
一八四五
一八四六
一八四七
一八四八
一八四九
一八五〇
一八五一
一八五二
一八五三

附表

諸恆星常例等及光理等表

北半球

小	
餘	
九五六二六一	
七一三九九七	
四七一七三三	
二二九四六九	
九八七二〇五	
七四四九四一	
五〇二六七七	
二六〇四一三	
〇一八一四九	
七七五八八五	
五三三六二一	
二九一三五七	
〇四九〇九三	
八〇六八二九	
五六四五六五	
三二二三〇一	
〇八〇〇三七	
八三七七七三	
五九五五〇九	
三五三二四五	
一一〇九八一	
八六八七一七	
六二六四五三	
三八四一八九	
一四一九二五	
八九九六六一	

星	名	常	例	等	光	理	等	星	名	常	例	等	光	理	等	
大角		〇	・	七	七			五車二		一	・	〇		一	・	四
織女一		一	・	〇				南河三		一	・	〇		一	・	四
卷宿四		一	・	〇				畢宿五		一	・	一		一	・	五
		一	・	四	三											

附表

河鼓二	一·二八	一·六九	北河三	一·六	二·〇
軒轅十四	一·六	二·〇	天津四	一·九〇	二·三二
渠河二	一·九四	二·三五	玉衡	一·九五	二·三六
天樞	一·九六	二·三七	天船三	二·〇七	二·四八
搖光	二·一八	二·五九	參宿五	二·一八	二·五九
五車五	二·二八	二·六九	勾陳一	二·二八	二·六九
軒轅十二	二·三四	二·七五	婁宿三	二·四〇	二·八一
開陽	二·四三	二·八四	奎宿九	二·四五	二·八六
五車三	二·四八	二·八九	天大將軍一	二·五〇	二·九一
策	二·五二	二·九三	壁宿二	二·五四	二·九五
王良四	二·五七	二·九八	井宿三	二·五九	三·〇〇
大陵五	二·六二	三·〇三	危宿三	二·六二	三·〇三
天棓四	二·六二	三·〇三	五帝座一	二·六三	三·〇四

候	二・六三	三・〇四	王良一	二・六三	三・〇四
天津一	二・六三	三・〇四	室宿一	二・六五	三・〇六
室宿二	二・六五	三・〇六	貫索四	二・六九	三・一〇
天機	二・七一	三・一二	天璇	二・七七	三・一八
種河一	二・八〇	三・二一	天津九	二・八八	三・二九
天鈞五	二・九〇	三・三一	天市垣蜀	二・九二	三・三三
太微垣右上相	二・九四	三・三五	河鼓三	二・九八	三・三九
闈道三	二・九九	三・四〇	右攝提一	三・〇一	三・四二
紫微垣少宰	三・〇二	三・四三	天棓三	三・〇六	三・四七
婁宿一	三・〇九	三・五〇	雙宿一	三・一一	三・五二
太微左垣次將	三・一四	三・五五	五車四	三・一七	三・五八
天市垣河中	三・一八	三・五九	常陳一	三・二二	三・六三
宗正一	三・二三	三・六四	天津二	三・二四	三・六五

卷舌二	三・二六	三・六七	昂宿六	三・二六	三・六七
卷舌四	三・二七	三・六八	天紀二	三・二八	三・六九
五車一	三・二九	三・七〇	太子	三・三〇	三・七一
離宮四	三・三一	三・七二	天市垣吳越	三・三二	三・七三
盤道增七	三・三三	三・七四	天船二	三・三四	三・七五
中台二	三・三五	三・七六	天大將軍九	三・三五	三・七六
天船五	三・三六	三・七七	太尊	三・三六	三・七七
柱一	三・三七	三・七八	紫微垣上弼	三・四〇	三・八一
女林一	三・四一	三・八二	南河二	三・四一	三・八二
天關	三・四二	三・八三	天廚一	三・四二	三・八三
井宿一	三・四二	三・八三	招搖	三・四三	三・八四
井宿五	三・四三	三・八四	天市垣魏	三・四四	三・八五
天樽二	三・四四	三・八五	上衝增一	三・四五	三・八六

南半球

文昌四	三·四五	三·八六	上台一	三·四六	三·八七
柱三	三·四六	三·八七	漸臺三	三·四七	三·八八
鉞	三·四八	三·八九	少衛增八	三·四八	三·八九
上台二	三·四九	三·九〇	闕道二	三·四九	三·九〇

星名	常例	光理	星名	常例	光理
天狼	〇〇八	〇四九	海山二	變大小無恆等	
老人	〇二九	〇七〇	南門二	〇五九	一〇〇
參宿七	〇八二	一二三	水委一	一〇九	一五〇
馬腹一	一·二七	一·五八	十字架二	一·二	一·六
心宿二	一·二	一·六	角宿	一·三八	一·七九
北落師門	一·五四	一·九五	十字架三	一·五七	一·九八
鶴一	一·六六	二〇七	十字架一	一·七三	二·一四

參宿二	一・八四	二・二五	弧矢七	一・八六	二・二七
尾宿八	一・八七	二・二八	參宿一	二・〇一	二・四二
南船五	二・〇三	二・四四	天社一	二・〇八	二・四九
海石一	二・一八	二・五九	三角形三	二・二三	二・六四
箕宿二	二・二六	二・六七	尾宿五	二・二九	二・七〇
星宿一	二・三〇	二・七一	弧矢一	二・三二	二・七三
孔雀十一	二・三三	二・七四	鶴二	二・三六	二・七七
斗宿四	二・四一	二・八二	天社三	二・四二	二・八三
土司空	二・四六	二・八七	天記	二・四六	二・八七
庫樓三	二・五四	二・九五	軍市一	二・五八	二・九九
參宿六	二・五九	三・〇〇	參宿三	二・六一	三・〇二
庫樓七	二・六八	三・〇九	尾宿二	二・七一	三・一二
弧矢增二十二	二・七二	三・一三	火鳥六	二・七八	三・一九

海石二	二・八〇	三・二一	鶯宿十	二・八二	三・二三
南門一	二・八二	三・二三	弧矢二	二・八五	三・二六
虛宿一	二・八五	三・二六	房宿三	二・八六	三・二七
天市垣宋	二・八九	三・三〇	軫宿一	二・九〇	三・三一
尾宿七	二・九一	三・三二	庫樓二	二・九一	三・三二
天社五	二・九四	三・三五	軫宿四	二・九五	三・三六
房宿四	二・九六	三・三七	庫樓一	二・九六	三・三七
天市垣韓	二・九七	三・三八	危宿一	二・九七	三・三八
弧矢九	二・九八	三・三九	馬尾三	二・九九	三・四〇
厠一	三・〇〇	三・四一	天市垣梁	三・〇〇	三・四一
斗宿六	三・〇一	三・四二	天江一	三・〇五	三・四六
氏宿四	三・〇七	三・四八	太微左垣上相	三・〇八	三・四九
老人增五	三・〇八	三・四九	箕宿二	三・一一	三・五二

心宿三	三·四四	三·八五	柳宿六	三·四五	三·八六
密峰三	三·四三	三·八四	蛇首一	三·四四	三·八五
杵二	三·四〇	三·八一	建三	三·四〇	三·八一
尾宿九	三·三七	三·七八	伐三	三·三七	三·七八
厠二	三·三五	三·七六	騎官一	三·三六	三·七七
弧矢增二十五	三·三二	三·七三	房宿一	三·三五	三·七六
鳥喙一	三·三二	三·七三	牛宿一	三·三二	三·七三
軫宿二	三·二八	三·六九	杵三	三·三一	三·七二
南船三	三·二六	三·六七	蛇尾一	三·二七	三·六八
軫宿三	三·二二	三·六三	玉井三	三·二六	三·六七
南柱十一	三·二〇	三·六一	壘壁陣四	三·二〇	三·六一
騎官四	三·一四	三·五五	丈人一	三·一五	三·五六
氐宿一	三·一二	三·五三	斗宿二	三·一三	三·五四

附表

中恆星周中太陽日數	距日中數	體名
一六七八·五七	二·七六四一四四	女慰
一三八九·七八	二·四三七二四四	女欣
一三二五·七七	二·三六一八二三	女史
七五七九·一四	二·六八三八八四	女攢
一九八四·七三	三·〇九〇七八六	女化
二三八五·六六	三·四九四一一〇	女林
一六八二·八九	二·七六八八八五	女盡
一四八七·一九	二·五四九八三五	女休
二〇三一·一五	三·一三八七八九	女休
一四三四·六三	二·四九一七一七	女河
二〇八二·六五	三·一九一六一八	女波
一六七一·〇七	二·七五五九一〇	女智
二〇五二·一二	三·一六〇四一〇	女旦
一九六三·五八	三·〇六八七八六	女輝
一九四九·七一	三·〇五四五〇〇	女輝
一五九二·三一	二·六六八六二一	女紡
一六〇六·五八	二·六八四三五五	女佳
一八九二·二一	二·九九三九七三	女泰
一五〇七·六一	二·五七三一一九	女權
一五八六·七三	二·六六二二六七	女聖
一六二二·五二	二·七〇二二六五	女夫
二〇七一·〇九	三·一七九八〇九	女伴
一三四一·〇六	二·三七九九七五	女羣
二〇九一·八四	三·二〇一〇一〇	女坤
四三三二·五八四八	五·二〇二七七六	女星木
一〇七五九·二一九八	九·五三八七八六	女星土
三〇六八六·八二〇八	一九·一八二三九〇	女王天
六〇一八六·六三八五	三〇·〇五六六〇〇	女王海

諸行星根數表

心宿一	三·五〇	三·四六	平一
三·九一	三·九一	三·八七	三角形二
弧矢增十九	三·五〇	三·四六	三·八七
三·九一	三·九一	三·八七	

角交面道黃與軸星木 度 分 秒	時 轉 自 時 分 秒	率密疎	度角之徑體 數 秒
八六 五四 三〇	九 五五 二一・三	〇・二四	三七・九一
六一 四九	一〇 一六 〇・四	〇・一一	一七・五〇
		〇・二〇	三・九一
		〇・一五	二・八八

附表

經度	黃中之星	時元	分母	徑之赤道	率爲球體	中熱之陽光	受太
九四	四	四一〇					
三三九	四九	三五・一					
三五三	四八	四三・六					
一〇二	六	四三・六					
三九	一二	五七・一					
二五一	三二	五八・三					
三〇四	五九	二一・七					
三三〇	四四	五七・一					
三五一	四四	二九・六					
二八一	二七	一八・八					
二七八	二五	五八・八					
三四二	四〇	一五・四					
一五九	四七	三・二					
一二七	五九	一一・三					
二七五	一一	五・一					
一二六	八	五〇・〇					
一五〇	二五	一六・九					
三一六	七	五二・七					
三四六	三八	一八・一					
三〇二	二八	五四・〇					
	二	六・一					
一八	二四	一四・二					
三四八	五四	八・〇					
二二	二五	〇・二					
一一二	一五	二三・〇		一六・八四		〇・〇三六	
一三五	二〇	六・五				〇・〇一一	
一七七	四八	二三・〇				〇・〇〇三	
三三五	六	〇・四				〇・〇〇一	

數里之徑體	數母積質 一爲數子	時元地各歷里哥勒格 週年日月
		靈伯一八六五 一 〇・〇
		上同一八六六 一〇 一・五
		上同一八六五 一一 一三・〇
		上同一八六九 一 〇・〇
		上同一八六六 一 二〇・〇
		上同一八六六 五 一六・四
		上同一八六六 八 四・五
		上同一八六六 八 三一・〇
		上同一八六六 一〇 二八・〇
		上同一八六九 六 三〇・〇
		上同一八六七 一 〇・〇
		上同一八六七 一〇 二・〇
		上同一八七〇 一 〇・〇
		上同一八六九 一 〇・〇
		上同一八七〇 一 〇・〇
		上同一八七八 一 〇・〇
		上同一八六八 一 〇・〇
		靈伯一八六八 七 一一・〇
		上同一八六八 九 一四・〇
		上同一八六八 一 〇・〇
		上同一八六八 一〇 一三・〇
		上同一八六八 九 一四・〇
		上同一八六八 一〇 一三・〇
		上同一八六八 一〇 一一・〇
二六六一五〇	一〇四七・六七	敦倫一八〇一 一 一・〇
二二五二五〇	三五〇一・六〇	上同一八〇一 一 一・〇
一〇三五六六	二〇四七〇	上同一八〇一 一 一・〇
一一六七二〇	一八七八〇	上同一八五〇 一 一・〇
	海王之質積與體 徑之里數未定	

經度	黃點分	交正秒	角交道黃與道星木度	分	秒	差	心	兩
						一	爲	徑半長
二六	五〇	三三・〇	二	五〇	三四・〇	〇・二	二九	九〇五五
二七	三三	三一・二	五	〇	三・〇	〇・〇	八五	九二五一
三三七	二二	一・一	九	二二	二五・一	〇・二	三六	一五四二
二〇三	五三	二七・〇	一	五三	九・七	〇・一	九〇	八九〇七
八七	五五	五二・一	四	四七	四四・六	〇・二	〇四	九一一三
七六	二四	四・六	一〇	五〇	五六・九	〇・〇	八二	三五一一
二七七	四二	五二・五	五	一四	三〇・一	〇・一	六五	一〇九七
三一	三〇	一一・七	一六	一一	二五・五	〇・一	八〇	三〇四一
七一	一四	五九・六	二	一六	四七・八	〇・一	七四	七一六六
一一	四一	三四・八	二	九	三一・六	〇・〇	六六	二〇一三
一〇二	五二	三二・七	九	五七	三・〇	〇・一	〇三	一七一〇
五	四	一一・四	八	三六	三一・八	〇・一	〇四	二六七〇
四	三四	三六・四	八	五	一八・五	〇・〇	八八	九三一二
二四四	二二	三一・四	一	二	五一・一	〇・一	四六	五三三八
三二二	五一	四・三	一六	六	三一・一	〇・一	四〇	二七六三
一六〇	三六	三四・八	一	四四	五八・四	〇・二	五六	八九四一
三五四	一六	四三・二	一五	三二	三五・一	〇・一	八九	一八九一
一二八	一六	五九・三	六	九	五〇・四	〇・一	六九	〇四五六
三四三	三五	〇・一	一〇	四	一九・五	〇・一	三九	四〇四〇
二一一	三二	四三・二	五	六	三・三	〇・二	五四	七六六八
一三五	五六	五六・四	五	二一	三五・二	〇・〇	八〇	六七〇七
四三	四六	四二・一	二	五三	二六・七	〇・一	六七	三四〇四
一八七	五四	一・八	二一	三八	五九・〇	〇・一	七六	一九七二
六二	四二	三八・九	四	四一	三三・二	〇・一	九五	〇二三七
九八	二六	一八・九	一	一八	五一・三	〇・〇	四八	一六二六
一一一	五六	三七・四	二	二九	三五・七	〇・〇	五六	一五〇三
七二	五九	三五・二	四	六	二八・四	〇・〇	四六	六六八三
一三〇	七	三一・九	一	四七	〇・六	〇・〇	〇八	四九六二

測得諸小行星者之名與測得之日

小行星名	測得者	測得之日
穀女	必亞齊	嘉慶五年十一月十七日
武女	阿爾白士	嘉慶七年二月二十五日
天后	哈爾定	嘉慶九年七月二十八日
火女	阿爾白士	嘉慶十二年二月二十一日
嚴女	亨該	道光二十五年十一月初十日
穉女	亨該	道光二十七年五月十九日

經度	黃分	交分	正分	距分	點秒	卑秒
一一三	一一	二	四八	〇		
一九三	四九	三二	〇			
三三九	一一	五八	一			
三二二	三五	五二	七			
二八	三九	六	七			
三三六	五九	九	二			
三〇八	五〇	五二	四			
三五三	一七	八	一			
三〇一	一	二八	五			
六八	五四	三	三			
三三三	二一	五六	〇			
二七五	二八	一六	三			
四四	三七	一九	五			
三〇	二二	三四	四			
一六四	一六	五一	五			
六五	三三	三六	〇			
一四七	四三	七	五			
三四三	〇	四六	一			
三二八	四〇	五一	〇			
三五五	九	一〇	二			
三二六	一五	四	八			
六二	一一	五五	四			
二四二	三六	一七	八			
三五	三七	五三	六			
一一	八	三四	六			
八九	九	二九	八			
一六七	三一	一六	一			
四三	一七	三〇	三			

虹女	欣特	道光二十七年七月初三日
花女	欣特	道光二十七年九月初十日
慧女	格類漢	道光二十八年三月二十二日
醫女	嘉斯把力	道光二十九年三月二十日
處女	嘉斯把力	道光三十年三月三十日
勝女	欣特	道光三十年八月初八日
傳女	嘉斯把力	道光三十年十月初九日
和女	欣特	咸豐元年四月十九日
時女	嘉斯把力	咸豐元年七月初二日
靈女	嘉斯把力	咸豐二年正月二十七日
海女	路得	咸豐二年二月二十八日
歌女	欣特	咸豐二年五月初七日
吉女	欣特	咸豐二年七月初八日

附表

果女	哥勒斯迷	咸豐四年九月初五日
麗女	弗舊孫	咸豐四年閏七月初九日
天女	欣特	咸豐四年六月二十八日
洋女	馬爾得及包克孫	咸豐四年二月初三日
戰女	路得	咸豐四年二月初三日
簾女	欣特	咸豐三年十月初八日
陰女	路得	咸豐三年三月二十八日
福女	沙哥納	咸豐三年二月二十八日
公女	嘉斯把力	咸豐三年二月二十七日
戲女	欣特	咸豐二年十一月初五日
詩女	欣特	咸豐二年十月初五日
琴女	哥勒斯迷	咸豐二年十月初四日
王女	嘉斯把力	咸豐二年八月初六日

香女	哥勒斯迷	咸豐七年閏五月初七日
使女	哥勒斯迷	咸豐七年五月初五日
愛女	包克孫	咸豐七年三月二十一日
地女	包克孫	咸豐六年四月二十日
桂女	哥勒斯迷	咸豐六年四月十九日
律女	哥勒斯迷	咸豐六年正月二十五日
喜女	沙哥納	咸豐六年正月初三日
卯女	沙哥納	咸豐五年十二月初五日
信女	路得	咸豐五年八月二十五日
馳女	哥勒斯迷	咸豐五年八月二十五日
沉女	路得	咸豐五年三月初四日
巫女	沙哥納	咸豐五年二月二十日
瑟女	沙哥納	咸豐四年九月初七日

附表

家女	包克孫	咸豐七年六月二十七日
仁女	路得	咸豐七年七月二十七日
溟女	哥勒斯迷	咸豐七年八月初二日
牧女	哥勒斯迷	咸豐七年八月初二日
貞女	弗魯孫	咸豐七年八月十七日
禽女	羅倫得	咸豐七年十二月初八日
糜女	哥勒斯迷	咸豐七年十二月二十一日
鳥女	路得	咸豐八年二月二十一日
哲女	哥勒斯迷	咸豐八年二月二十八日
賜女	斯爾勒	咸豐八年七月初二日
中女	哥勒斯迷	咸豐九年八月十三日
記女	路得	咸豐九年八月二十六日
合女	路得	咸豐十年三月初三日

乾女	沙哥納	咸豐十七年七月二十八日
孀女	弗魯孫	咸豐十年八月初一日
囚女	哥勒斯迷	咸豐十年七月二十四日
效女	勒恩	咸豐十年七月二十九日
澳女	嘉斯把力	咸豐十一年正月初二日
神女	但白勒	咸豐十一年正月二十六日
瑪女	但自勒	咸豐十一年二月初一日
光女	搭得勒	咸豐十一年三月初二日
衫女	包克孫	咸豐十一年三月初十日
游女	路得	咸豐十一年三月二十一日
夕女	沙帕勒利	咸豐十一年三月二十一日
瀛女	哥勒斯迷	咸豐十一年三月二十七日
石女	路得	咸豐十一年七月初九日

附表

史女	路得	同治四年七月初五日
欣女	嘉斯把力	同治四年四月初二日
懋女	路得	同治三年十月二十九日
舞女	但白勒	同治三年八月三十日
賦女	包克孫	同治三年三月二十八日
配女	瓦存	同治二年八月初二日
獵女	路得	同治二年正月二十六日
寒女	彼得	同治元年九月二十一日
舒女	達嘎	同治元年九月二十三日
獄女	彼得	同治元年八月二十九日
獅女	但白勒	同治元年八月初五日
芥女	搭得勒	同治元年三月初九日
期女	彼得	咸豐十一年十二月三十日

續女	彼得	同治四年七月三十日
化女	鐵然	同治四年十一月十八日
林女	包克孫	同治五年四月初二日
靈女	彼得	同治五年五月初三日
姝女	士提飯	同治五年六月二十六日
休女	路得	同治五年八月二十三日
河女	士提飯	同治五年九月二十七日
波女	彼得	同治六年六月二十五日
智女	瓦存	同治六年七月二十五日
且女	瓦存	同治六年八月初九日
籙女	路得	同治六年十月二十八日
輝女	角迦	同治七年正月二十四日
紡女	但白勒	同治七年正月二十四日

附表

呂女			
祥女			
犬女			
駿女			
坤女	瓦存	同治七年八月二十五日	
羣女	瓦存	同治七年八月初一日	
伴女	瓦存	同治七年七月二十七日	
夫女	瓦存	同治七年七月二十一日	
聖女	彼得	同治七年七月初六日	
拐女	瓦存	同治七年六月二十七日	
權女	瓦存	同治七年五月二十二日	
泰女	波勒立	同治七年閏四月初七日	
佳女	彼得	同治七年三月二十六日	

羅女	波勒立	同治十年七月二十八日
細女	彼得	同治十年七月二十四日
	瓦存	同治十年六月二十日
見女	彼得	同治十年六月初七日
羊女	路得	同治十年正月二十二日
祭女		
荀女		

已知諸月根數表

距數皆準本星赤道半徑元時以嘉慶五年十一月十七日爲準其時皆用平太陽日

太陰根數表

距地中數	六十半徑二七三四三〇〇	平恆星周	二十七日三六六一四一八
平太陽周	二十九日五三〇五八八七一五	道之兩心差	〇〇五四九〇八〇七〇
交點平周	六千七百九十三日三九一〇八〇	高點平周	三千二百三十二日五七五三四三

附表

元時交點平黃經	十三度五十三分十七秒七	元時卑點平黃經	二百六十六度十分七秒五
交角中數	五度八分三十九秒九六	元時月平黃經	一百十八度十七分八秒三
質積地球質積爲一	〇・〇一三六四	徑	六千二百五十九里
質疎密率以地爲一	〇・五五六五四		

表 數 根 月 諸 王 天

角	交	點	交	數	中	周	時	星	分	恆	名	月
度	分	秒	分	度	分	日	小	小	秒	秒		
行近其度	百	月	慶	十	角	二	一	二	〇	六	亞	一
皆平道	三	八	俱	七	四	四	三	九	〇	六	利	二
左圓與	十	三	交	〇	三	八	三	二	八	〇	白	三
其略分	五	正	道	一	一	一	一	六	〇	〇	日	四
		嘉	之	六	九	三	五	六	三	二	阿	三
		五	七	二	二	一	七	二	六	六	倫	四
		七	道	五	六							

海王諸月根數已測定者惟一月其周時五日二十一小時二分四十三秒正交點黃經一百七十五度四十分
 卑點之黃經一百七十七度三十分其道與黃道之交角一百五十一度兩心差〇・一〇五九七中距數約十
 二倍海王之半徑

諸復見 根數表

附表

卑點之黃經			過卑點時				道光時			名甚
度	分	秒	時	刻	分	秒	年	月	日	
三〇四	三一	三二	正西	一	一二	一六	一五	九	二六	里好
一五七	四四	二一	正巳	三	一二	五	二五	七	八	榕因
一〇九	五	四七	初戌	三	三	四四	二六	一	一六	粒乙比
四九	三四	一九	初子	一	一三	一〇	二三	八	二四	飛
三四二	三一	一五	初辰	一	七	四七	二四	七	二一	谷未迪
一一六	二八	三四	正寅	三	一四	二九	二六	二	一	孫陸勃

徑 半 長	角 道 黃 交 道 慧	經 黃 交 正
	度 分 秒	度 分 秒
一七・九八七九六	一七 四五 五	五五 九 五九
二・二一六四〇	一三 七 三四	三三四 一九 三三
三・五〇一八二	一二 三四 一四	二四五 五六 五八
三・八一七九	一一 二二 三一	二〇九 二九 一九
三・〇九九四六	二 五四 四五	六三 四九 三一
三・一五〇二一	三〇 五五 七	一〇二 三九 三六

元前	
後年之數	
前	一〇〇〇〇〇
九	〇〇〇〇〇
八	〇〇〇〇〇
七	〇〇〇〇〇
六	〇〇〇〇〇
五	〇〇〇〇〇
四	〇〇〇〇〇
三	〇〇〇〇〇
二	〇〇〇〇〇
一	〇〇〇〇〇
元	〇〇〇〇〇
後	一〇〇〇〇〇
二	〇〇〇〇〇
三	〇〇〇〇〇
四	〇〇〇〇〇
五	〇〇〇〇〇
六	〇〇〇〇〇
七	〇〇〇〇〇
八	〇〇〇〇〇
九	〇〇〇〇〇
一	〇〇〇〇〇

力佛理亞所推得地道之根數自元之前十萬年至後十萬年以嘉慶五年爲元

法行	時	周	差	心	兩
	日				
逆	二七	八六五・七四	〇・九	六七	三九一
順	一二	〇五・二三	〇・八	四七	四三六
順	二三	九三・五二	〇・七	五五	四七一
順	二七	一八・二六	〇・五	五五	九六二
順	一九	九三・〇九	〇・六	一七	二五六
順	二〇	四二・二四	〇・七	九三	六二九

道光二十年因格重訂阿爾白士所著書中有嘉勒所造彗星表全載古今所推諸彗之根共一百七十八彗攷此表可證定上六百零一條之說表中彗道之交角不滿十度者凡十五逆行者三不滿二十度者凡二十九逆行者九橢圓之軌跡易見者二十七逆行者十一其中交角不滿十七度者九無逆行者準此前總更有據蓋測彗愈多知此理愈確也又有姑伯所頒行之表載一百九十八彗之諸根數及說

經黃之點交正 度 分	角 度 分 秒	經黃之點卑 度 分	差 心 兩
九六 三三	三 四 五 三一	三一 六 一八	○•○四七三
七六 一七	二 四 二 一九	三四 〇 二	○•○四五二
七三 四七	一 一 八 五八	四 一 三	○•○三九八
一三六 八	一 一 三 五八	二七 二 二	○•○三一六
一三六 二九	二 三 六 四二	四六 八	○•○二一八
一一六 九	三 四 〇 一一	五 〇 一四	○•○一三一
九一 五九	四 三 一	二八 三六	○•○一〇九
六六 四九	三 四 一 五一	五 五 〇	○•○一五一
四一 三四	二 四 四 一二	四四 〇	○•○一八八
一六 三九	一 二 四 三五	七八 二八	○•○一八七
〇 〇	〇 〇 〇	九九 三〇	○•○一六八
一四八 一五	一 一 四 二六	一三四 一四	○•○一五五
一二四 二九	二 七 四 六	一九二 二二	○•○四七
一〇〇 二九	二 三 三 一九	三一八 四七	○•○五九
七五 三一	二 二 七 五三	六 二 五	○•○一二四
四八 一三	一 五 一 五四	三八 三	○•○一七三
一〇 四七	〇 五 一 五二	六四 三一	○•○一九九
二二〇 三八	〇 三 四 五五	七一 七	○•○二一一
一七〇 一五	一 四 五 四〇	一〇一 三八	○•○一八八
一三九 三	二 四 〇 五六	一〇九 一九	○•○一七六
一〇九 五七	三 二 五 七	一一四 五	○•○一八九

天學家常用之數

天學家常用之諸率	倍	數對	數餘	對數
圓周之率 <small>以徑爲一</small>	三·一四一五九二七	○·四九七一四九九	九·五〇二八五〇一	
等半徑之弧度數	五十七·二九五七七九五	一·七五八一二二五	八·二四一八七七五	
等半徑之弧秒數	二十萬六千二百六十四·八	五·三一四四二五一	四·六八五五七四九	
圓周之秒數	一百二十九萬六千	六·一一二六〇五〇	三·八八七三九五〇	
一分正弦之數 <small>以半徑爲一</small>	○·〇〇〇二九〇九	六·四六三七二六一	三·五三六二七三九	
訥白爾對數一之真數	二·七一八二八一八	○·四三四二九四五	九·五六五七〇五五	
以常對數化訥白爾對數之倍數	二三〇·二五八五一	○·三六二二一四九	九·六三七七八五一	
偶似一半偶以曲線之大	○·四七六九九	九·六九六三〇四〇	○·三〇三六九六〇	
以法國之法尺化英尺數	三·二八〇九〇	○·五一五九九二九	九·四八五〇〇七一	
以法國之法尺化英寸數	三十九·三七〇七九	一·五九五一七四一	八·四〇四八二五九	
以法國步化英尺數	六·三九四五九三	○·八〇五八一二九	九·一九四一八七一	

附表

一百三十五

以法國釐化英釐數	十五·四二三四六〇	一·一八八四三五一	八·八一五六四九
以法國升化英立方寸數	六十一·〇二七〇四三	一·七八五五二二三	八·二一四四七七七
倫敦海面空中秒擺長之寸數	三十九·一三九二九	一·五九二六一二九	八·四〇七三八七一
重力一秒中所生速率一秒之尺數	三十二·一八一六九	一·五〇七六〇八八	八·四九三三九一二
地球中徑之英里數	七千九百十二·四一〇	三·八九八三〇八八	六·一〇一六九一二
海面一方寸上風雨表壓力之英斤數	十四·七三〇四	一·一六八二一四五	八·八三一七八五五
寒暑表六十二度風雨表三十寸時一英立方寸蒸水之量數	二百五十二·四五八	二·四〇二一八九二	七·五九七八一〇八
寒暑表三十二度水銀之重	十三·五九六	一·一三三四一一二	八·八六六五八八八
寒暑表三十二度乾氣中音之速率一秒之尺數	一千〇八十九·四二	三·〇三七一九六四	六·九六二八〇三六
空中光之速率一秒之英里數	十九萬一千五百十五	五·二八二二〇二九	四·七七一七七九七一
以恆星日化中太陽日之數	〇·九九七二六九六	九·九九八八一二六	〇·〇〇一一八七四
以恆星年化中太陽日之數	三百六十五·二五六三六一二	二·五六二五九七七	七·四三七七四〇二三
以太陽年化中太陽日之數	三百六十五·二四二二四一四	二·五六二五八〇九	七·四三七七四一九一

以中朔望月化中太陽日數	二十九五三〇五八八七	一·四七〇二七二六	八·五二九七二七四
太陽中赤道地平視差	八秒五七七六	〇·九三三三六五八	〇·九六六六三二二
太陰中赤道地平視差	三千四百二十二秒三三五	三·五三四三二一二	六·四六五六七八八
太陽中視半徑	九百六十一秒八二〇	二·九八三〇九三八	七·〇一六九〇六二
太陰中視半徑	九百三十四秒六八五	二·九七〇六六五二	七·〇二九三三四八
光行差之常數	二十秒四四五二	一·三一〇五九一四	八·六八九四〇八六
黃道交角章動之最大數	九秒二二三六	〇·九六四九〇〇五	九·〇三五〇九九五
章動經度之最大	十七秒二五二四	一·二三六八四九五	八·七六二一五〇五
歲差之中數 <small>乾隆五十五年爲準</small>	五十秒二三四九二	一·七〇一〇〇五七	八·二九八九九四三
五十五度高蒙氣差之常數 <small>風雨表廿九寸六寒暑表五十度</small>	五十七秒五二四	一·七五九八四九一	八·二四〇一五〇九
中地平蒙氣差	一千九百八十秒	三·二九六六六五二	六·七〇三三三四八
咸豐九年十二月初九黃道中交角	廿三度廿七分廿七秒三八		

附表