

萬 有 文 庫

第一集一千種

王 雲 五 主 編

天 談

(一)

侯 失 勒 著

偉 烈 亞 力 李 善 蘭 合 譯

商 務 印 書 館 發 行



天 談

(一)

著 勒 失 侯

譯 合 蘭 善 李 力 亞 烈 偉

著 名 界 世 譯 漢

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。求得四率〇·九八五七七。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也。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。常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。星氣已測得者二千餘。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。

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。莫善於子與氏。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。有他力旁加之。則物即繞力之心而行。而物直行之遲速。與旁力之大小。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。及恆星之光行差。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。末附有限較數法一篇。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理。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。所論微分奧義。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。內言礪礮之本性。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。第成昔者之鏡使用。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。蒐德有至精無量遠鏡。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

呈二論均有益天學家。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暈之遠鏡測天有所得。英之天學公會賚以金牌。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。今世學天文者當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峇外欲城。置精舍事測望。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團。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。以爲因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。其在岌朴敦時交游甚廣。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。

談天目錄

第一冊

卷首 例……………一

卷一 論地……………五

卷二 命名……………三三

卷三 測量之理……………三三

卷四 地理……………五九

第二冊

卷五 天圖……………一

卷六 日躔……………一六

卷七 月離……………四七

卷八 動理……………六四

卷九 諸行星……………六九

卷十 諸月……………九五

第二冊

卷十一 彗星……………一

卷十二 攝動……………二三

卷十三 橢圓諸根之變……………四二

卷十四 逐時經緯度之差……………六三

第四冊

卷十五 恆星……………一

卷十六	恆星新理	二〇
卷十七	星林	五七
卷十八	曆法	八九
附表		一〇七

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。諸行星目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。亦非以假爲自未明而考其理。其意以己知而教人。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。

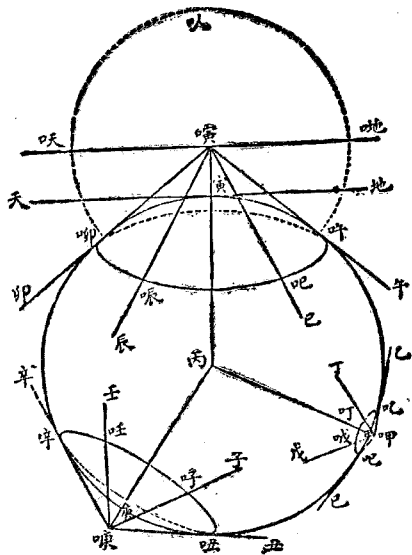
地係行星。故地亦動。地動而所載之物。如山岳河海風雲之類。莫不隨之俱動。故人不能覺。譬如舟不遇風浪。車在坦道。以平速行。所載什物與之俱行。人坐其中。如居安宅。初不覺動。其理一也。

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。吡啣啣吡球為地。丙為心。呬啣啣為高出地面之三點。正距地面甲庚寅三點。遠近不同。從啣作地面之切線寅啣卯。啣為切點。即啣點所見地面界線內之一點。以啣寅為軸。將切線旋轉一周。必經過啣辰。啣巳。啣午。諸切線。切點啣。必行成啣啣吧吡平圓。人在啣。則平圓內之地面可見。其外不可見。故名地面界線。啣啣吡為對平圓全徑之角。蒙氣不論名測深角。即地之視徑度。啣距寅愈遠。則啣啣吧吡圓面愈大。啣啣距亦愈遠。而啣啣吡角愈銳。地之視徑度愈小。啣啣啣三點。高卑不同。各有地面界線。今但論最高者以例其餘。假設以卯啣

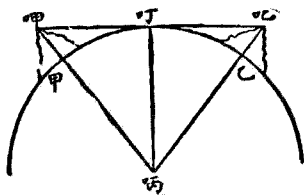


也。

昔阿爾蘭國都伯林之地。有人曰煞特拉。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。

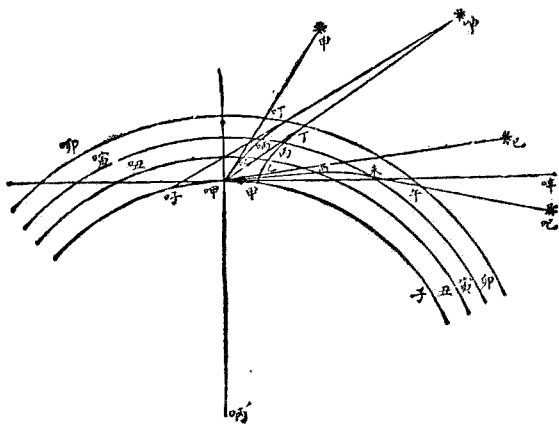
續同治二年七月二十三日。英國格類失與告水勒二人。乘氣球上升二十里之高。若非雲隔之。則所當見之地面。甚大於古今所曾見之地面也。推算全地球之面。與在此高所常見地面之比例。準弧三角法。凡球面截段與全球比。若截段之厚。與球半徑比。按此次氣球距地面之高。略等於所見地面截段之厚。故全地球面。與所見地面比。若八千與七比。約得全地球面一千一百四十分之一。挨德納德內黎非某納羅三山最高峯之巔所見之地面。約爲全地球面四十分之一。

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。爲海面氣重八分之一。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。丑丑。寅寅。卯卯。爲氣之諸層。與地子。子同圓心。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。另有呬呬光線。無蒙氣差。當遇地面于呬。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。列蒙氣差角諸例子左。

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。故人見日月至體。初出地平。其真體尙俱在地平下也。

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。

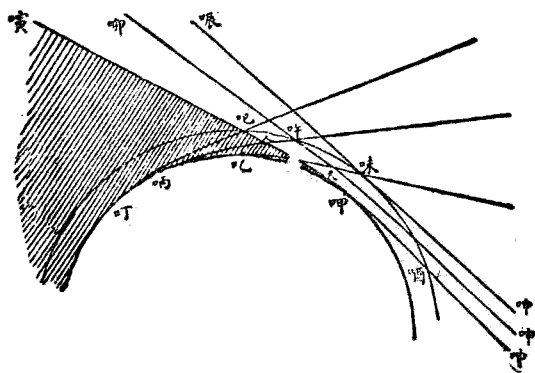
蒙氣差角表。詳列各處。自地平至天頂諸高度之差角。再用風雨寒暑二針隨時校正之。以加減諸視度。可略得諸真度。

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。日之視體入地平後尙有朦朧影。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。呬呬叮爲地面。呬點見日在地平。呬噴光線。恰切呬點而過。呬呬呬呬二光線。在呬點之上。三線出蒙氣。在呬呬呬三點。二線入蒙氣皆微曲向下。故出蒙氣成折勢。呬呬噴折勢最大。呬呬呬略小。至呬噴切蒙氣界味點而過。不復折。呬噴線爲暗界。呬呬叮諸點遞遠于呬。入暗遞深。呬點尙有日之一線真光。又有呬味呬呬一段蒙氣回光。呬點日已入地。不能得真光。回光亦少。僅有地平呬味上呬呬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。呬點則僅有地平呬呬上呬呬人一段回光。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



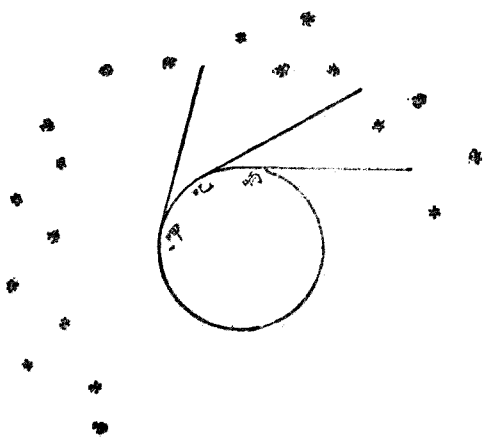
此返照散射之性。則不在正日光之下。不能有所見。雲下之影及房中無日光之處。黑暗如夜。晝能見星也。空氣返照之光差。另有能增加之性。即以空氣之受日光。各處熱度不勻而常成浪動。其不同熱度諸段之公界。亦稍有返照與光差。光乃不行直線路而散至四面。爲各物所受。故在丁點之後。尙有副矇矓影。卽正矇矓影返照四散於空氣而重返照所生也。阿非利加洲努比阿國之曠野。空氣極清。日落之後。仍有光。名曰夜光。卽此理也。

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。視日月俱大於恆星亦然。實則日與恆星大小略同。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。譬人或繞樹轉。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。嗚呼亦慎矣。

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。諸星向地平界之體勢。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。旦必見其復出東方。昏所見初出東方之星。旦必見其已

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。恆有星。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。

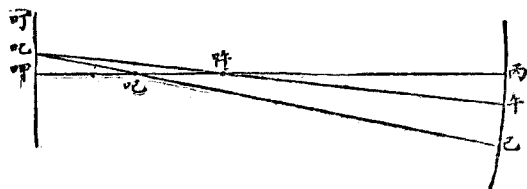
一。全球之星。雖依次遞隱遞見。然地平上近北極一段。常見不隱。地平下近南極一段。常隱不見。其常隱段界上之星。每漸升切地平界而過。復漸降。猶之常見段界上之星。每漸降切地平界而過。復漸升也。蓋球面每點必有正相對之點。地平界既中分球面。則有出地之北極點。卽有入地之南極點。繞北極既有常見界中諸點。則繞南極卽有常隱界中諸點。一一相對也。

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。則南極於地平下升若干度。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。

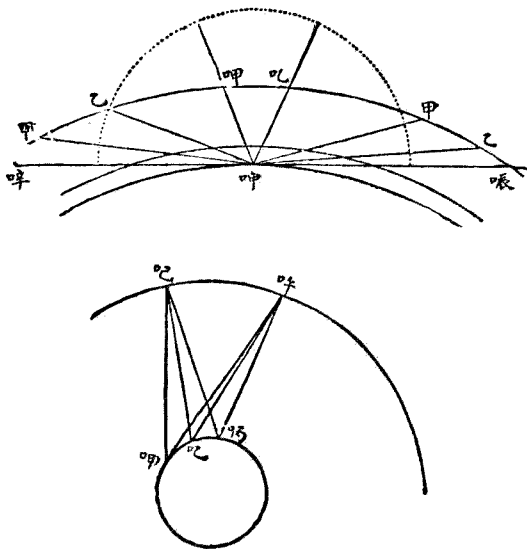
假如人定立一處。四望峯巒林屋。遠近不一。略移數武。則諸物之近者。方位各大變。如向北行。則初見在正東西者。俱漸退後。一若物之向南行也。初見一線上之物。若相合者。今見其相離。初見其相離者。今適在一線。而見其相合。而遠物則但覺微變。如初見在正東者。行三四里。仍見在正東也。此何故。蓋由人心有一虛空之平圓周。以己目爲圓心。人行則此平圓隨之而行。設行於呬叮線。在呬時見呬呬二物。同在一半徑線呬丙內。行至呬。則呬呬丙變爲呬呬己。呬呬丙變爲呬呬午。此二視線以呬呬爲心而旋。而二線遇虛空圓周之點向後而移。呬物近。呬點之移速。呬物遠。呬點之移遲。故呬呬呬角。大於呬呬呬角。卽丙呬己角。大於丙呬午角。凡視線漸移。所生視差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



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。

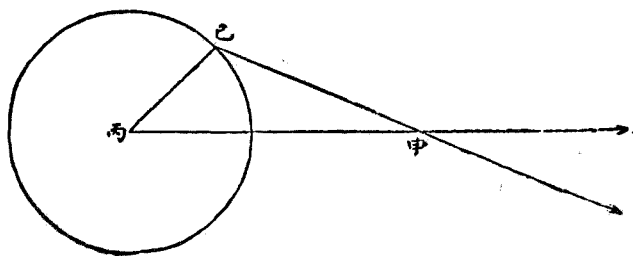
星之距地必甚遠。否則在天頂時。其視徑及星座所占之度。必大於在地平時。以圖明之。如甲乙呬呬甲乙三弧俱等。人在呬望之。則呬呬呬角。必大於甲呬乙角。而星則無論在呬呬在甲乙用最精之器測之。不見有差角。任於地面何處測之皆然。故星距地必甚遠。以視地半徑。蓋甚微矣。

於高平之地。以數百步爲徑。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



呷呷吧呷呷吧呷呷三角。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。用最精器測星。略無微差。故星距地球。必遠於十萬倍地徑也。

假若有人居恆星上。用我所用之儀器。以望我地球。必不能見。又當恆星處。設有體大若地球。我用器望之。亦不能見。故若自我目至恆星作一平面。又於地心作一平面。與之平行。此二面雖永不相遇。然自地望至恆星處。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。然卽以恒星天言之。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。所以定地平圈正南北二點。

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。即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。即可準之作地球儀。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

晝長晝短圈在四面恆變。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。

地赤道所居面割天球之線。爲天赤道。乃天球之大圈也。

展廣地平面所割天球之線。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。卽爲距天頂之餘度。知高度及地平經度。卽知其所居之點。

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。卽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。

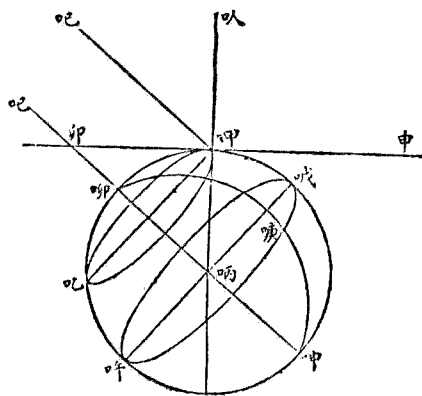
凡渾天球及全天圖。或一段天圖。亦仿地球地圖法作之。則位置諸星。一一與天合。觀其圖。如在地心觀天也。故不論在地面何處用之。皆與天合。蓋此圖無天頂天底二點。亦無地平界及東西方位。而過兩極之大圈。與地諸子午圈合。然與地面各處之定子午圈不同。蓋地面各點每日必盡經過天之各子午圈也。

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

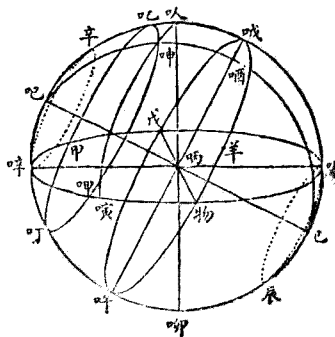
於極成角度名時度。此法甚便於用。又有黃道經緯圈。地球所無。惟天球有之。以地與諸行星繞日之軌道爲主。二者歷家兼用之。

如圖。哂爲地心。哪哂呻爲軸。哪呻爲二極。吡吡爲赤道。呬呬爲地面呬。點上赤緯圈。呬呬與呻哂平行。乃人在呬點望天極之視線。呬呬由地半徑哂呬引長。乃天頂之垂線。哪呬呬呻爲呬點之子午圈。如中國卽順天之子午圈也。吡吡卽吡吡哪呬之弧角。爲呬點之經度。吡卽卽緯度。哪呻爲地面之切面。卽視地平面。面之正南北二點爲卯申。故卯呬申線爲呬點之午線。

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。哂爲人目。呬爲天頂。哪爲天底。呬呬呬爲天空地平界。以呬哪爲二極。呬呬已爲南北二極。呬呬爲極出地度。呬呬呬呬爲子午圈。吡吡呬呬大圈正交已。爲天赤道。設星在呻。準赤道推之。則呬呻



晒已爲本星之時圈。羊爲春分點。羊晒爲呻點之赤經度。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。則振噴爲呻點之地平經度。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分。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。

極。諸曜皆以至子午圈為最高度。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。故用距極度便於赤

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。呬呬呻呻三角形。人為天頂。呬為出地

之極。呻為星。此形有極出地呬呬之餘度呬呬。即天頂赤緯之

餘度。有星赤緯之餘度呬呻。即星距極度有星距天頂度呬呻。

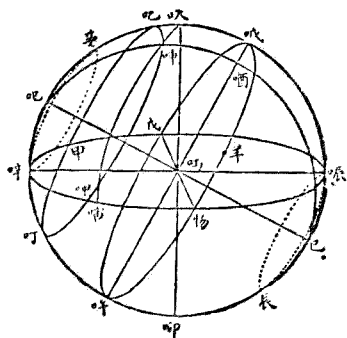
即星餘高度。若呬呻大於九十度。則星必赤道下。若呬呻大於

九十度。則星必在地平下。又有呬呻角。為距午度。有呬呻

角。為地平經度呻呬張之餘度。有呬呻角。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。故有呶呻邊爲九十度三十四分。又有距極度呶呻。天頂赤緯餘度呶呻。則已有三角形之三邊。求得呶呻距午角。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呶呻角。有星距極度呶呻。有高餘度呶呻。故可求赤緯餘度呶呻。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。

卷三 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。然此尙爲測天麤器。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之一。非太力顯微鏡不能分也。於銅環周分三百六十度。令無微差。已非易事。况度旣成。再作分。分旣成。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。考之旣詳。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。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。又生小法。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。而得眞星也。

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。

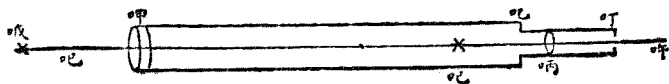
古測時用水漏沙漏。沙漏最疎。而未有鐘表時。水漏製造亦甚精。今因不及鐘表。故廢之。獨用鐘表。近代武弁迦得。以法令水銀恆滿器中。下開微穴。恆漏而不淺。測時承以斜溝。令注他器。測畢去其溝。秤他器水銀之輕重。卽得二時中間之分秒。此法甚妙可用也。

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。

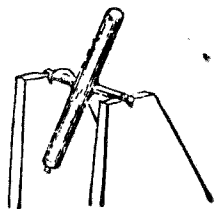
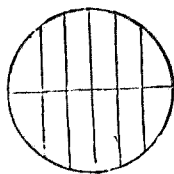
用光差遠鏡測中星法。如圖。呬爲筒。以螺旋定於架。呬爲象鏡。用二種玻璃相合而成。令無紅藍暈色。鑲以銅圈。圈周作螺旋。旋入筒口。令不動。丙爲目鏡。或用數鏡。依光學令視力增大。視物更明。目鏡亦須旋定。令象鏡。目鏡。筒三者合爲一體。則不生變。吧呬線過象目二鏡之心。此線之方向。與筒合。名曰視軸。吧爲所測物。吧爲吧之倒象。在象鏡聚光點。從目鏡窺之。如真形。目鏡力增大。如真形增大焉。此象在筒之空際。無實體。故當象處作二正交徑。或用銅絲。或畫於平面玻璃俱可。窺之見二徑交點與物點吧合爲一。設微不合。目鏡增大力能覺之。卽知視軸非正射。則微轉螺旋令恰合乃止。用此法。而置鏡又極平。則縱有差角。不過十分秒之二三。測物每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

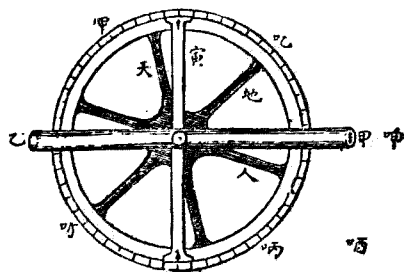
視軸旋轉之面。當合本地之子午面。考察法。取恆見界中一星。測其二次過鏡中線。若在中線兩邊之時相等。俱得半周時。則其面爲真子午面。蓋子午面必正交星所行圈於相對二點也。

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。

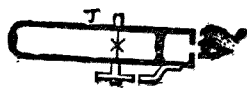
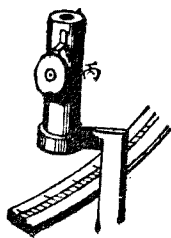
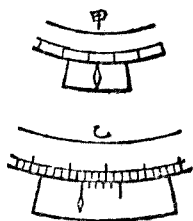
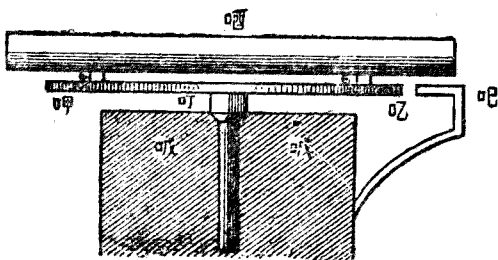


分。蓋若干時。有一定若干弧分過去也。其率一時十五度。若非赤道經。欲知其度分。須作銅環。細分度分秒以測之。如圖。呬呬叮爲銅環。分爲三百六十度。用天地人諸輻連於中心。心開圓孔。孔中鑲以短活軸。可旋轉。軸上裝一遠鏡。鏡之視軸呬呬與環面平行。而正交短軸。鏡之腰連一橫桿。桿正交視軸。短軸轉動。則鏡與桿循環而轉。假使欲知呬呬二物之距度。先令環合於呬呬及人目所居之面。而以法定環。令不動。乃轉鏡令視軸正射呬。復定鏡令不動。而視桿端小針所指察其度。或恰滿一度。但察其度。或在二度之間。須細察分秒。法詳後復移鏡令視軸正射呬。定鏡察其度。二度之較。卽環中心之角。呬呬之距度也。

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。以已己二柱連於呬呬環。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

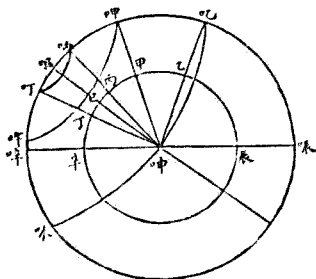


光點處。作正交二線用細螺旋轉之。如丁。先令交點與所察點之最近度合。乃轉螺旋。復令與所察點合。螺旋若干轉。即知距視軸所指點若干分秒。鏡力須極深。螺旋須極佳。此法能辨度分之極微。與遠鏡之細測。相輔而行也。用此法測量。全憑三事。甲乙筒向物須的準。一也。環之度分須極勻。二也。二分中間須細辨其秒微。三也。察筒之方向。甲乙兩端。或用交線。或開小穴。或一端用交線。一端開穴。俱可。皆全憑目力。若易以遠鏡。象鏡在乙。目鏡在甲。而於公聚光點置交線。則遠勝目力之細測也。



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。啐吧啵爲天空子午圈。已爲極。呓味呓呖叮爲三星道。



上過子圈在呷呷三點。下過子午圈在味呷叮三點。辛巳辰爲牆環。呻爲心。其邊乙甲丙巳丁諸度分。與天空呷呷吧叮諸星相合。旣測得乙甲乙丙乙丁丙丁四度分。則各星距極俱可知。蓋呷吧等於吧叮。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。法見前是也。

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。

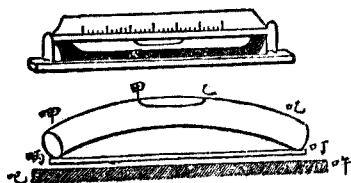
牆環上更有最要者。爲地平點。一切子午圈高度皆準之。測定之法與極點同。天空地平交子午圈點無星。法於夜中測一星過子午圈。明夜測水銀中此星之影過子午圈。環上二測中間之度。去蒙氣差。爲星之倍高度。折半。得地平點。準視學理。光射平面之倚度。與回光之倚度等。水銀之面恒平。星在地

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。牆環鏡太火。則重力不能勝也。

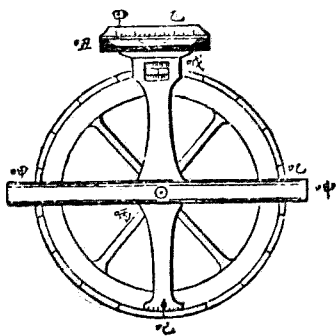
環上定地平點。爲天學最要事。其法不一。曰借地平。曰垂線準。曰酒準。曰視軸準。借地平已見前。垂線準用極細鐵絲。或銅絲。或麻線。下懸錘。錘浸入水中。則不擺動。線之方向卽地心力方向。此法非精心細察最易差。故今不用。

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。呬吶爲管。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。如欲驗呬吶合地平否。置呬叮板於上。視小空二界合甲乙。反置之。視

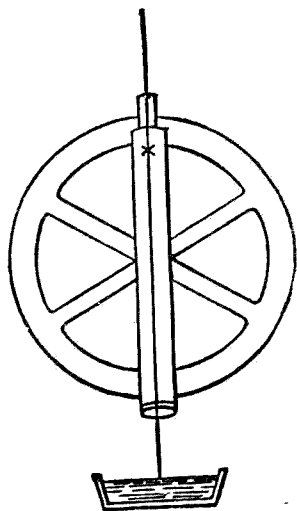
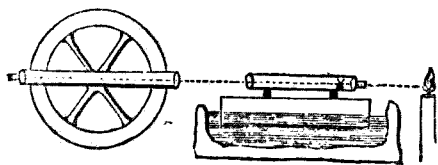


小空仍合甲乙。則吧呷必合地平。若不然。則小空所向一邊。必偏高也。天學家所用酒準。皆有細分。視小空二界所在。能辨一秒之角差。此準必用法細磨管內。非易造也。用酒準定環之地平點法。如圖。甲乙爲遠鏡。與吧呷環相附。而轉於橫軸。其軸亦可東西易置。前見而環固定於軸。吐爲酒準。正交吧呷桿。而於吧或呷。用顯微鏡或佛逆察其分秒。吧呷桿與呷軸連。或令易轉而軸不轉。或與軸俱轉。將遠鏡正對物呷。乃定之。令酒準之小空合呷呷二點。亦定其桿。則桿與鏡成一定角度。乃察已點之度。而以橫軸東西易位。令環南北易位。復將環與鏡同轉於軸。令鏡仍對申。定之。如前定酒準。再察已點之度。二測中間之度折半。得申距天頂度。其餘弧爲高度。知申之高度。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。迦得所創。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。



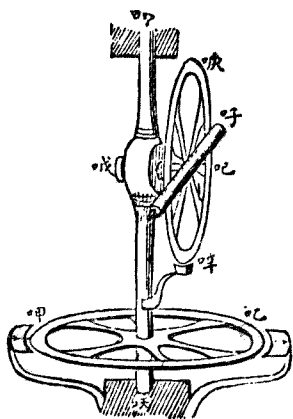
子午儀與牆環。皆所以測諸星過子午圈之時刻。測星過子午圈時刻。以正遠鏡方向最易。蓋星視道與鏡中交線之橫者平行。而用螺旋能細移至密合。少有未合。有餘暇改正。他處不能也。凡測角務得真確。若角有變者。則當於最大最小時測之。蓋此時不驟變。有餘暇可安徐細測也。星之高度亦然。其變之最大最小。皆在子午圈上。

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。有二三方向。一與地軸平行直指天空之極。則呬環與赤道面合。測其時角。即赤經度之較。呬叮軸旋轉。則呬呬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。則知極軸徧於何方向。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。二、令本軸為地平垂線。而啞啞環與天空地平面合。啖啐環恆與天空垂大圈合。啞啞環上之度。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。見前又法。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。

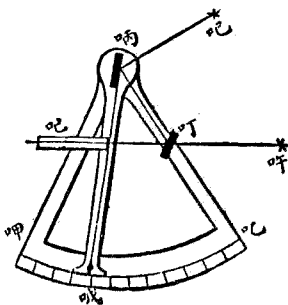
天頂尺。地平尺。製與地平經儀皆略同。天頂尺。細測近天頂諸星。垂環惟用下面之一分。餘俱不用。故垂軸極長。環之半徑極大。令弧度寬大。便於細分也。地平尺。用以測地面諸物。遠鏡俯仰無幾度。故不用垂環。或用小者。亦不必細分也。遠鏡連一橫軸着於二柱。與子午儀同。二柱堅定於平環之輻。與環同轉。

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

兩呷半徑上有鏡。半回光半透光。正交儀面。而與呷兩半徑平行。兩呷爲活半徑。可移動。其末有佛逆呷。可細測度分。其端有回光鏡。兩亦正交儀面。而與本半徑平行。呷兩半徑上有遠鏡。視軸與呷兩半徑成吧叮兩六十度角。如欲測吧叮二物。先以遠鏡從叮之透光鏡正對呷。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。則兩吧吧叮二線之交角。

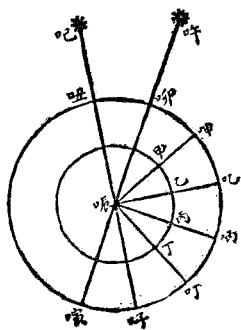
必倍於呷兩呷角。卽二物之距度也。故此儀倍其分數。以三十分爲一度。蓋光與二次回光三線在一面內。則首末二線之交角。必倍於二回光鏡面之交角也。此器或云哈得烈所造。實則作於奈端。可手握而測。航海者測星距太陰及高度。非此器不能。蓋海面高度。酒準垂線準借地平。俱不可用。故必用此器。令所測之星與海中地面界合。卽得星距地面界之高度。前見減地面界深度。卽得真高度。陸地可用借地平。無地面界深度也。

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動正之。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。

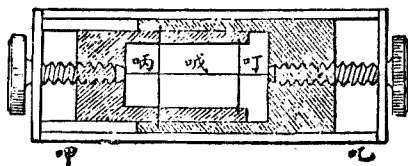
疊測之例。寶大所造。有大小二環。遞次疊測。可任至若干次。故其差幾可消盡也。如圖。呷噴咀爲定環。吁咄爲遠鏡。定於甲乙丙環。與呷噴活桿共轉於定環之心。呷活桿之端有針或佛逆。設欲測呷咄二物之距度。先以遠鏡正對呷。察其度。乃定桿於呷環。旋鏡正對咄。桿隨之俱轉。過環呷弧。與呷噴呷咄角度等。再察其度。二度之較。必等



於吧啞呷角。然必有二差。一分度差。一測量差。乃定桿於定環。脫於啞環。轉遠鏡向吧。復定桿於啞環。脫於定環。轉遠鏡向呷。桿同轉至啞。所過吧啞弧。亦等於吧啞呷角。再察其度。二次察得度之較弧。呷啞。倍於吧啞呷角。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。可測諸曜視徑之角度。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。

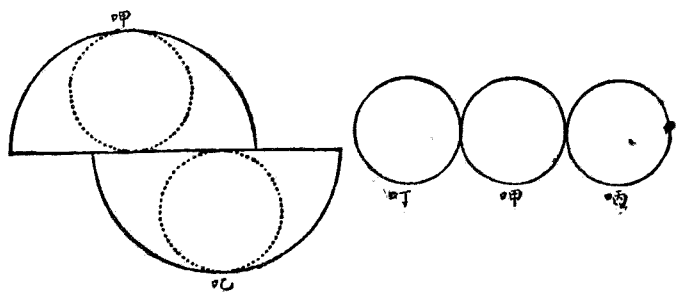
分微術或用光學法。能變其象爲雙象。如圖。呷爲本象。變爲相等相似呷吧二象。其相距若干及方向。一任測望者令之。故可令二象相切。如呷啞。復令移於又一



邊相切。如呬叮。自此切移成彼切。所過之分秒。卽象之倍徑也。

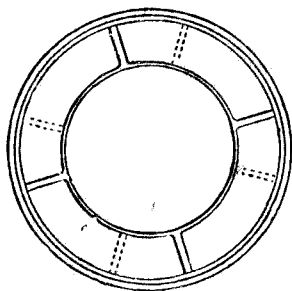
變一象爲雙象。法甚多。一法。平分象鏡。卽能變其象爲二。以象鏡之兩半分置二架。而參差移動之。此名量日鏡。用以量日之徑。最便也。如圖。呬叮爲象鏡之兩半。準光學理。二半鏡之象俱在本軸上。故目鏡窺聚光點處。有二相似之象並列。轉螺旋能令相近相遠也。一法。用水晶之一種。視物成雙象者。此水晶中有一線。名光軸。二象之相距。準此線有定限。最近至相合。最遠至限而止。用此水晶作球。代目鏡。轉其球。則球之光軸。與目之視線角度漸變。當光軸與象鏡之視軸合。則象爲一。轉之至光軸正交視軸。則見本象分爲二。漸離而遠。視晶球所轉度分。而知二象相距度分也。

又一法。最簡易。凡三稜體二種玻璃。一名冕號玻璃。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。

縱二星相近而能並見。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。以燈光自遠鏡筭邊之孔。映入筭內不亮之白面。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。以燈光映入筭內交線向目之面。燈光之餘者。或至筭內之黑面。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。而不能用此法。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。不過三百分之一。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。故法常用地外之表。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。見一百二十八條之圖 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。而地面每度之差爲一丈。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。蓋以地爲正球。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。

之緯	中點	弧線	國名	
			度	分 秒
上六六二〇一〇	白愛	顛瑞	瑞	顛瑞
上六六一九三七	白愛	顛瑞	俄	顛瑞
上五八一七三七	白愛	斯羅	俄	斯羅
上五六三三五·五	白白	斯羅	普	斯羅
上五四五八二六	白白	士魯	普	士魯
上五四八一三·七	白白	威諾	阿	威諾
上五二三二一六·六	白愛	威諾	英	威諾
上五二三五四五	白愛	英	英	英
上五二二一九·四	白愛	英	法	英
上四六五二二	白愛	西蘭	法	西蘭
上四四五二·五	白愛	西蘭	法	西蘭
上四二五九	白愛	馬羅	米	馬羅
上三九一二	白愛	堅利	米	堅利
上一六八二一·五	白愛	度印	印	度印
上一二三二二〇·八	白愛	度印	印	度印
上一三一〇·四	白愛	魯秘	秘	魯秘
上三三一八三〇	白愛	敦朴	岌	敦朴
上三五四三二〇	白	敦朴	岌	敦朴

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

瑞顛。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	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・一
三五九九五一			一〇二二二一〇		二五〇	二三・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			五六六五〇		一三四	五六・四
三五七八二〇			一一一五五五		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

噠。書瑪割。

阿諧威。高斯。

英。羅衣。迦得。

法蘭西。一拉該勒。葛西尼。二特浪勃。墨商。

羅馬。薄思各維。

米利堅。梅森。迭格孫。

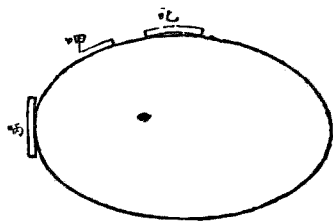
印度。一蘭敦。二蘭敦。哀佛勒斯。

祕魯拉工大民。部額。

炭朴敦。一拉該勒。二馬格盤。

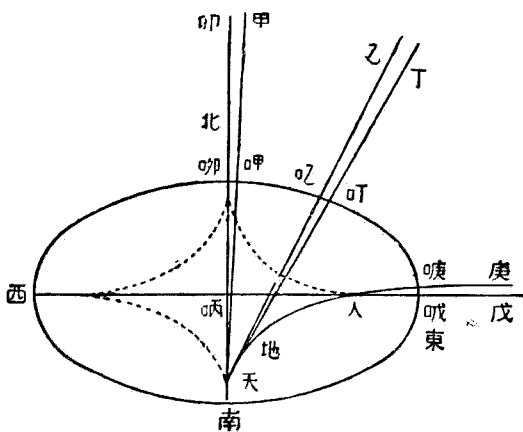
末行數以前二行數比例而得。此法若弧線太大。則不甚密觀表中二五兩行。知緯度愈大。度之尺數亦愈大。故近極最大。近赤道最小。準此推之。得地之形狀。

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。卯呬甲呬乙呬丁呬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。不能在圓心丙。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。卽赤道徑。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。亦可任取一



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。亦可任取一

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。

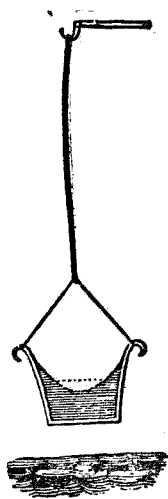
前卷約言地球徑二萬一千七百八十里。以今測較之。實略小。其較爲一千一百三十八里。約差二十分之一也。大略一度得二百里。共三十六萬尺。一秒得一千五百尺。地赤道之周。爲七萬二千里。其扁率約三百分赤道徑之一。依軸線割地球。意其面必爲橢圓。以前所列諸數考之而信。雖間有不合處。大於測量之差。然較之正球差甚小矣。其不合處。或因地勢所生。或更有他故耳。

續作前表之數後。至今疇人考得地球之真形與大小益明。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。其長徑四十二萬二千五百五十三尺。其短徑四十二萬八千九百二十四尺。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。依俄國印度國法國三處大弧線推得地球之南北極相對之徑。一爲四十一萬一千一百一十一萬八千七百二十三尺。一爲四十一萬零二百一十六尺。一爲四十一萬五千三百九十一尺。取此三數之中數。略得四十一萬六千四百四十六尺。再取此數與格拉格所得數之中數爲四十一萬五千九百九十六尺。略近於四十一萬一千一百一十一萬六千尺。

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。令極與赤道之徑差七十六里。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。

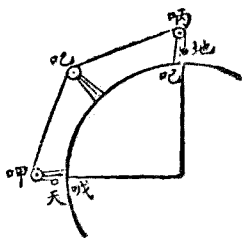
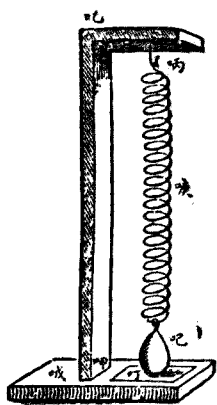
設地球不動。則赤道所有大洲必漸壞。其質移至二極。成正球。設地球復動。則極上之高地必漸壞。其質移至赤道。成扁球。與今之形同。

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。幾何家會準此理推之。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。又過滑車乙。至北極過滑車丙。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。呬乙丙為銅曲尺。與底板戊叮連為一體。板內鑲以光面白瑪瑙。如叮。置板用酒準。令極平。噴為螺線簧懸於尺之鈎丙。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。各不相似。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。蓋包地之氣甚薄。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。左右有兩大帶。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。赤道上面之氣。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

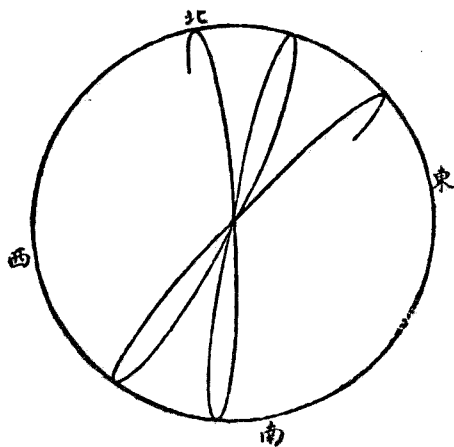
地面令地轉漸速。與前恰相消。故地轉不變。溫帶中多西風西南風。大西洋之北。恒有西風。皆其證也。大緯度帶內。緯較不甚多之兩緯圈。已大不同。設有故而使北半球數方度內之空氣。自北極移向赤道而行。人在近赤道之帶內。必初覺有風正自北極來。繼必漸改至自東來。此因初來之風。自相近處所來。其轉速與人所在處相同。故略無向西行。後來之風。自漸北之緯度所來。其轉速小於人所在之處。故漸後於人所在處地面之東行。而人漸覺爲東風也。因此初有北風。不能久存。必漸改而東。其方向由子而丑而寅也。風若自赤道向極。則方向之漸變相反。初爲南風。漸變向西。其方向由午而未而申也。南半球之空氣。與此同理。而各相反。故在二至圈內之帶。其風之方向漸變。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。幾與地震相掣。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。風雨表即降。周圍之空氣。速即衝來。以補其虛。其自東自西所來者。同得地面自轉之動。各至中心。即相遇而直上升。其自北來者。漸近力即漸小。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。在其下平面之上作多點。記其相對之行跡。初時專向東西數分時後。則行

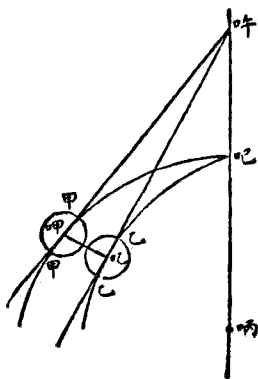
跡已變。若在北半球。行跡之北端漸向東。南端漸向西。在南半球則反是。其行跡之變數動之後已。然惟微而難見耳。依動重學之理。平面若不動。則鉛球之行跡。在平面必成直線。今乃漸變而行曲線。如甲圖。其各次行跡之曲線。俱相交於中心。知平面必有動也。設鉛球初動時。微有東西動。必與此甲圖不合。而成諸長橢圓線或橢螺線。不交於中心。而環繞中心。如乙圖。其初動偶偏於何方向。則行跡之方向隨之。反之若球之行跡絕不變。而球下之平面自北而西逆行。則球之行跡在平面上。必與甲圖合。地球自轉。則平面實有如此之動。而目不見也。蓋地球向東自轉。故全平面隨之行過。南北兩邊不能平行。同在某時中。南邊向東之動。必多於北邊。其所旋轉之角度與南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



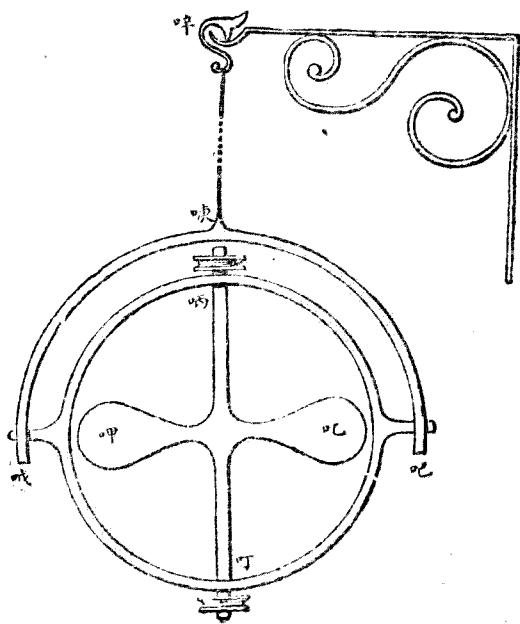
則二邊之較無。而絕不旋轉。故甲圖之理。在緯度大之處。更易見也。以圖之吧爲北極。兩爲地心。兩吧呖爲引長之地軸。呖呖爲平面。在歷一分時所在之二處。此時中子午線呖呖。已繞吧點過十五分之角。而至吧吧。其呖呖與地面既爲切面。則或在呖點。或在吧點。引長其面。必遇軸線於呖。假設一圓錐形。以呖爲頂點。以呖呖爲底。則一分時

中所過之呖呖呖面。爲圓錐面之一分。而呖呖呖平面。又爲此面內之一分。其平面自呖以呖點爲樞環繞而至吧。則其經線甲甲必移至乙乙。成呖呖呖角也。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。

富告得剋造之環繞器。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。呖呖爲銅圓板之剖面。內心薄而外邊甚厚。兩呖爲軸。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



樞在半環啜啜吧兩端之二孔內。半環中點啜。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。故轉軸啜啜之方向。可久不改。而久平行。假如在某時。啜啜軸指某恆星。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。

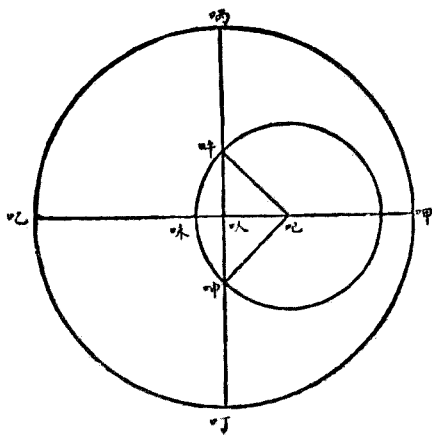
用三角法測地面之形狀。先當細定各地之緯度。舊法用天頂尺。測過子午圈時。近天頂之星。其星之赤緯。可檢表而知。故名測量之基星。近法用一器。略如子午儀。而鏡之轉面。不與子午圈合。而與卯酉圈合。如圖。呬呬叮爲地平。上天空半球。吧爲極。叭爲天頂。呬叮爲子午圈。呬叮爲卯酉圈。呬味呻爲星一日之道。過子午圈時。星在末。距極吧味。略大於天頂距極度吧叭。星過卯酉圈。在呬呻二點。若器極準。則恰當遠鏡中間之界線上。詳前卷子
午儀條二次至界線中間之時分。即過呬味呻度之時分。故知時

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。爲〇刻〇分〇秒。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。表針正指〇刻〇分〇秒。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。而海船所用之度時表。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。令度時表針指〇刻〇分〇秒。西行歷二十四恆星小時。過十五度。至乙。則度時表之針。仍行至〇時。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。已不指〇時。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。

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。所差者約四分秒之一。

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。呷叭爲最遠二地。中間取吃啞叮噠吧五地。吃地於某時放花爆。呷啞二地各驗度時表。叮地於某時又放花爆。啞噠二地各驗度時表。吧地於某時又放花爆。噠叭二地各驗度時表。則呷啞二地之時差。望吃標而定。啞噠二地之時差。望叮標而定。噠叭二地之時差。望吧標而定。并三時差即得呷叭二地之時差。吃叮吧三地以次發標。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。即能知本地之經度也。然此法非最密。又海舶搖盪。測亦不便。

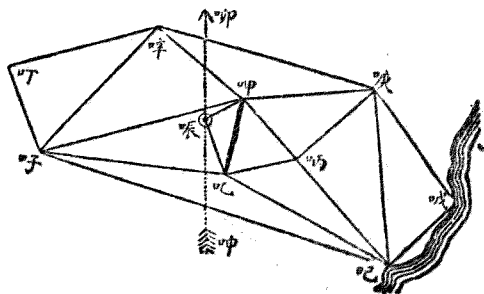
測月離亦可以定各地經度。月之動法甚繁。今不細論。略以其理淺言之。譬如有時表。其針恆指京師之時。則無論何處。已測知本地之時。與此表之時相較。即可知本地經度。又設此表面。其周記分秒之刻。識非勻分。且表針之軸。又不在中心。而針之轉。又非平速。則欲知表之時。當先知三事。一、表周時分。當先測定。造立成以記之。二、針軸距中心若干。三、表內之巧機。以定逐時速率。知何時何分。當轉若干度。知此三事。方能知此表所指之時。夫天空界。時表之面也。諸恆星。表面分秒之刻識也。月表之針也。月繞橢圓之一心。是針軸不在中心也。月行有遲速。是針不以平速轉也。月行之差甚繁。其根之理極深妙。即表中之機巧也。月一月約行一周。行時或掩星。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。旣確準。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。呷呷爲底。嘖嘖爲地面二點。呷呷俱能望見之。嘖點最近底。有星臺。便測也。叮咛吧嘖呷呼爲地面附近各點。已測定

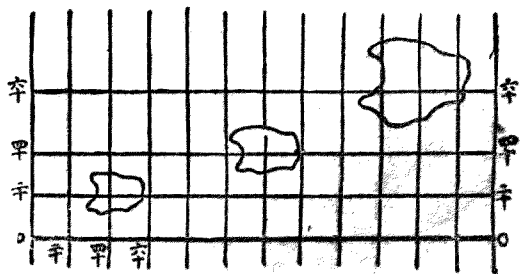
呬呬呬三角形之底呬呬。及其三角。則呬呬呬二邊亦可知。復以二邊爲呬呬呬呬呬呬二三三角形之二底。各測定其角。則二形之餘邊呬呬呬呬呬呬呬呬呬皆可知。復以呬呬呬呬呬呬爲呬呬呬呬呬呬三角形之二邊。測定呬呬呬呬呬呬。則餘邊呬呬呬呬亦可知。餘做此。可推無數三角形。以作一國或一洲全地圖。

右法有二要須知。一、當擇地。令三角略相等。如呬呬呬呬形。從呬呬呬二點測定呬點。大不便。因呬角太銳。故測子角之度若小差。則呬呬線上之呬點必大差。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。如呬呬呬呬呬呬三邊是也。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



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。近中心則與眞形合。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。亦以球腰之平面呷叮吧爲準。呷叮吧半球面之物。各點俱作線至對半球之中點。取過平面諸點。憑之作圖。如唵啐呼三角形。爲唵啐呼三角形。呷員面。爲天員面。而呷叮吧半圓線爲呷啞吧直線。此法如人目在叻點。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。三曰墨加麟人名法。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。

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



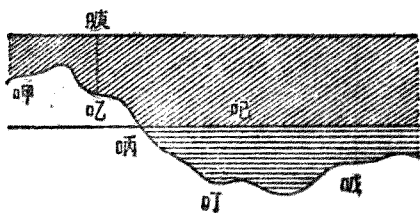
經度圈。此法作地圖。則不同處而等面積者。在圖內之比例略合。且較諸別法更近於真形。雖作多於半球之圖。其差亦不過大也。哲密司設新法。可作三分球之二之圖。亦能如此。又法。圖面各相等之面積。與球面各相等之面積相配。有時用此爲便。侯失勒在好望角測天記內第十一圖。用此法。顯星圖之位置。法依任何比例。取正弦之三十分。與一度。與一度三十分。至於四十五度。爲半徑。同以一點爲心。作圓線。可爲一度。與二度。與三度。至於九十度之各緯度圈也。

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。如呷呷呷叮噠爲積土。呷呷呷一段出水面成洲島。呷叮噠一段在水下

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。

纜在急流小河之底。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。

