

萬 有 文 庫

第一集一千種

王 雲 五 主 編

天 談

(二)

侯 失 勤 著

偉 烈 亞 力 李 善 蘭 合 譯

商 務 印 書 館 發 行



天 談

(二)

著 勒 夫 侯

譯 合 蘭 善 李 力 亞 烈 偉

著 名 界 世 譯 漢

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。卽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。卽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。卽可著於表。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。日道爲球上一大圈。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

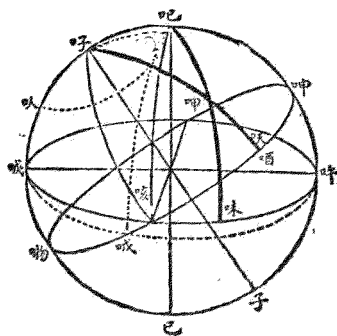
之動法最繁。因我所居之地亦動故也。設居日面觀諸行星。則不若是之繁矣。蓋居日面觀諸行星動。與居地面觀日動無異也。是以測日躔爲最要。其益非一事而已也。考定其行法。準之卽可考諸星之行法。

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。吧己爲南北二極。凡單言極皆指赤極後敝此。 吧呷呷咳爲赤道。呷子爲二黃極。咳

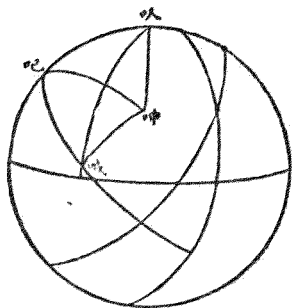
呷呷爲黃道。呷咳呷角。與吧呷呷呷二弧度俱相等。爲黃斜度。咳爲春分點。呷爲秋分點。呷呷俱爲黃道距赤道最遠點。名二至



點。呻在黃道最北爲夏至。嘓在最南爲冬至也。過黃赤兩極之大圈。吡吧吡子已。名二至經圈。過二分之子午圈。吧咳已。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。吠爲星。吧吠味爲過星之赤經圈。吁吠嘓爲過星之黃經圈。咳味爲星之赤經度。味吠爲赤緯度。咳嘓爲星之黃經度。嘓吠爲黃緯度。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。吡吧吡子爲二至經圈。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。則亦知咳味。卽咳吧味角。亦卽吁吧吠角。今設有弧三角形吁吧吠。已知吧吁弧。卽黃斜度。亦知吧吠弧。卽星距極。亦卽赤緯味吠之餘度。又知吁吧吠角。依三角法可推得餘邊吁吠。及吁吠二角。夫吁吠弧卽黃緯嘓吠之餘度。而吧吁吠角卽呻吁嘓角。爲黃經嘓咳之餘度。是知赤經緯。即可推黃經緯也。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。

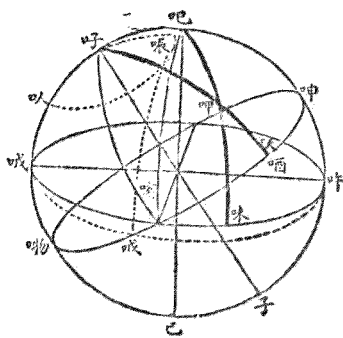
因有歲差。故恆星行星經度。俱以平速漸變。蓋春分點爲黃赤經度所起。此點退後。則無論恆星行星。經度必俱變也。一若天球自轉於黃道極。其一周與每日繞赤道極一周相似。諸星經度之變。非星自動。由原點即春分點退行而然也。若任取一恆星爲原點。則無此變矣。置分點不論。但觀赤極屢變其處。其故自明。無論何時。用子午環或牆環。任測三星。用三角形推之。能知赤極所在。黃道及他圈俱不論。細考之。雖二時甚相近。其變不能覺。然據理一定有變。赤極之變法有多端。其一略近平速。歲差所由生。又有諸不平速。章動詳後所由生。此二事本於一根。俱因地球自轉而生也。歲差之動。以平速繞行黃極。所行平員之半徑。爲二十三度二十八分。白東而西。一年行五十秒。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。

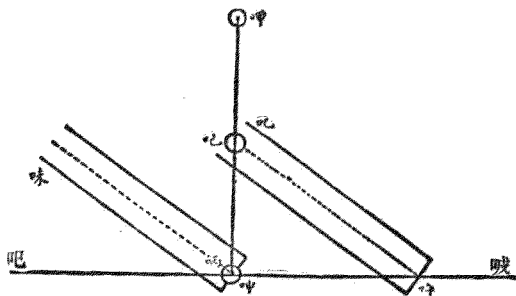
地軸兼有此二動。章動橢圓之長徑。一章中依歲差之動繞黃極行於小圈。過若干分。此若干分與圈之比。若一章與歲差周時之比。乃十九倍五十秒一。以真數計之。設小圈徑爲二十三度二十八分。則得六分二十秒。赤極依此二動而行。故其道非正圓。亦非橢圓。而成浪紋之圈。圖見天空諸曜。無論或

動或定。皆有此二差。故不能不云地軸之動。蓋若惟恆星有此二差。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

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。

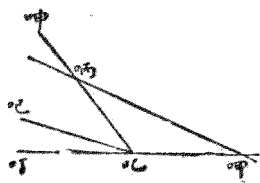
歲差章動。令諸曜同變。而相與之方位不變。譬若舟在中流搖動。視岸上物俱生變。而相與之方位如故也。

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。雨俱直下。僅着笠而不溼身。若疾行向前。則必着面。一若雨斜入笠下也。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。呬吧呬爲星之光線。吧呬爲遠鏡筒。斜置之。令物鏡之聚光點恰遇銅線交點。則吧呬與呬吧呬比。必若光速率與地速率比。即若半徑與二十秒五正切之比也。故呬吧呬呬角。即吧呬呬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。呬吧呬爲星之真方向。呬吧呬爲遠鏡斜置方向。則呬吧呬與呬吧呬比。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。呬吧呬與呬吧呬比。若呬吧呬之正弦與呬吧呬之正弦比。夫呬吧呬即光行差角也。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。光道差恆并入光行差而合推之。

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。啊爲地心。呬爲地面測星處。呶呬

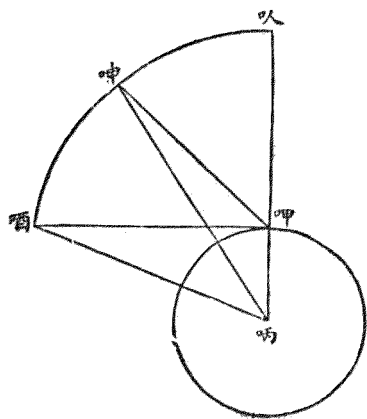
爲地面呬點之垂線。從呬視星之方向爲呬呬。距天頂爲呶

呬呬角。從呬視星之方向爲呬呬。距天頂爲呶呬呬角。二角

之較。爲呬呬呬。即地半徑差也。準三角法。呬呬與呬呬比。若

呬呬呬正弦即呶呬呬正弦與呬呬呬正弦比。故地半徑呬

呬乘星距天頂度呶呬呬正弦。以星地距呬呬約之。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。

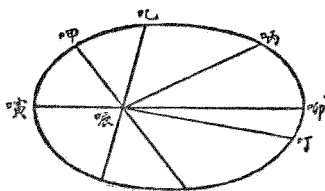
考日躔於赤經度。其行不平。厥故有二。一因黃赤斜交。故黃經度與赤經度不合。一太陽行黃道。亦非平速。蓋太陽平速。每日當行五十九分八秒三三。而逐日遲速不等。冬至後十日行一度一分九秒九。爲最速。夏至後十日行五十七分十一秒五。爲最遲。不獨遲速不等也。用量日鏡測太陽大小。亦逐日不等。冬至後十日。視徑最大。爲三十二分三十五秒六。夏至後十日。視徑最小。爲三十一分三十一秒。日體不能變大小。必因距地遠近不同而然。是太陽距地遠近。逐日不等也。凡視物大小與相距遠近有反比例。故冬至後十日。日距地最近。夏至後十日。日距地最遠也。其比例最遠爲一·〇一六七九。

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。

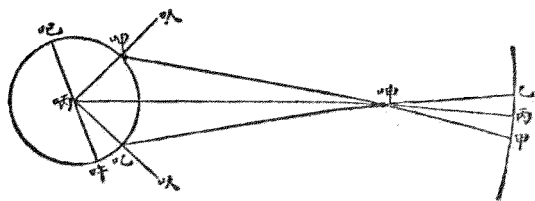
準上條之理。設地不動。則日道非平圓。地亦不在日道中心。地心距日道心數。名兩心差。兩心差與日地中距比。若〇·〇一六七九與一·〇〇〇〇〇比。今依此試作日道卽顯爲橢圓。法取辰點爲地。任取一日地距嘖呬爲本線。次取一年中日地諸距。依其方向作嘖呬嘖呬嘖呬。叮諸線。於線端呬呬呬叮諸點作線聯之。卽日繞地之道也。其道之面長大於廣。故不爲平圓。而爲橢圓。又嘖呬大於嘖呬。故地不居中點。而居橢圓之一心。定爲橢圓者。以法推嘖呬嘖呬諸距。皆與橢圓諸帶徑相合也。

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。則嘖呬之平方與嘖呬之平方比。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。太陽自呷至乙之時。與自呷至乙之時比。若呷呷乙面積。與叮呷呷面積之比也。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。○○○○則兩心差為○·○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。呷呷呷為地面。呷為地心。呷為日。呷呷為同時二測處。呷呷呷見日之方向為呷呷呷甲。如在天空甲點。呷呷呷見日之方向為呷呷呷乙。如在天空乙點。此二方向之交



角。爲天空甲乙弧度。卽呬呬呬角之度。呬呬呬爲呬點測日之視差。呬呬呬爲呬點測日之視差。故呬呬呬爲二視差之和。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。如呬呬呬角。卽赤緯之和。其較卽二視差之和呬呬呬角也。旣得呬呬呬角。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。若一百一十一半與一比。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。

續近時火星衝日。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。不特小於費皂所得之數。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。所差不過〇秒〇三而已。此與斯氏推算同治元年在固林爲志崑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。卽 0.89664 與一比。推算太陽之遠。差至一億餘里。常人以此譏格致之學者。然而當知測太陽視差。所失之數僅 0 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。而太陽一若不動。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。

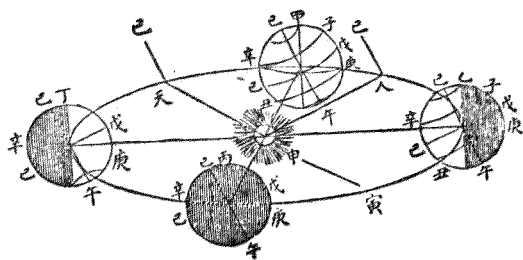
此後諸條。以太陽爲不動。居橢圓之一心。地球繞太陽行於橢圓道。每年一周。其道之大小。兩心差。速率。俱與前同。地球向太陽之半面。一年中日日不同。一日中刻刻不同。其行道自西而東。本卷日距地條故有寒暑晝夜。

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。南半球之熱氣日朧。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。南半球熱氣之朧率。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。卽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。卽六十六度三十二分。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

千時中。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。卽與距日線之平方有

反比例。以算式明之。

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

$$\left(\frac{六〇}{六三}\right) = \left(\frac{三〇}{三一}\right) =$$

$$= \frac{〇〇〇}{九六一} \text{略} = \frac{九〇}{九六}$$

$$\frac{九〇}{九六} = \frac{一五}{一六}$$

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。亦卽地球之最卑點。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。茲設爲最卑最高二點合於二至。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。本卷地球距地條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。本卷日地距離。

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。

古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。卽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。雜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。曼識特格致會歲冊載。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。不立揞斯多尼。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

$$\frac{175}{165} \left(\frac{165}{165} \right) \frac{165}{165}$$

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。即太陽外之力。加於雲上。使動之理也。外力者。即行星之未成者。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。

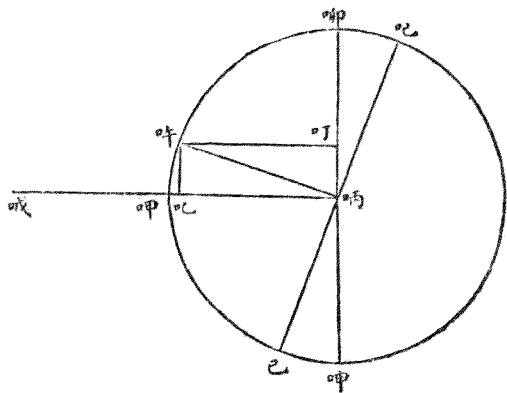
細測日面諸斑。其方位俱漸變。自東向西。至邊而不見。另有斑出於東邊。過日面復沒於西邊。凡他曜過日面。俱平速而斑之行。在中間則速。在兩邊則遲。又其過日面之道皆如橢圓。此必附於日面。與日同轉其道。與日之赤道平行而然也。其最大之橢圓。以日徑爲長徑。餘各以日面諸通弦爲長徑。諸長徑俱平行。夏至前約十七日。冬至前約十六日。見諸斑之道皆如直線。則此二日地球所居之處。卽日之赤道斜交黃道之二點。而黃赤二面之交線。必經過地球。此二日從太陽視地之經度。依賈林登於道光元年測得。一爲七十三度四十分。一爲二百五十三度四十分。卽相對之兩點也。

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。吡啞爲地球之視線。唧

坤面。引廣之必過地球。昨爲太陽赤道上之一斑。地球望之如
 在叮點。在日心北。其距爲啞叮。卽視橢圓之小半徑也。旣測得
 啞叮。則以日之視半徑與啞叮比。若一與昨啞哪角之餘弦比。
 昨啞哪角。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。有一大斑閱六月而滅。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。明萬歷三十五年是也。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。萬歷三十五年二次。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○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。

確知多斑之年略早而多穀。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。

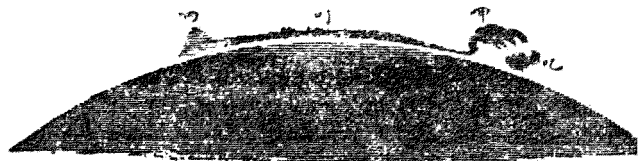
續咸豐元年七月朔日。蝕既見玫瑰色峯。自日面直發出。如圖。是賜密特。在日耳曼國之拉丁堡所見之狀。甲峯忽曲略成直角。如煙支在無風時。上升至高處而被風所吹過者。另屹塊亦是玫瑰色。稍

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。

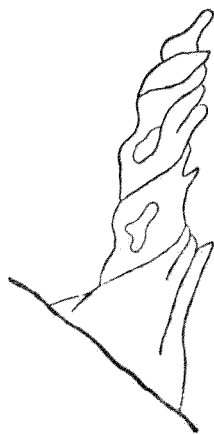
太陽光包之外。設有空氣則可明光條爲光球之內大浪也。本卷最精遠鏡條凡空氣

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。奧大利亞之境皆見之。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。在紅色之兩。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。難見而近於映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。與黑線吶叮吶乙吧合。兩條近曠。一條在乙與吶之間。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。一與兩正合。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。略獨有兩之折光。又開闊其槽。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。海水化為氣散入空際。凝為雨露以潤地脉。湧而為泉。匯而為澤。流而為江河。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。而地質或為風雨所消耗。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。運入大海。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。而為火山。推其源皆日氣所為也。日之功用大矣哉。

日果為火耶。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。

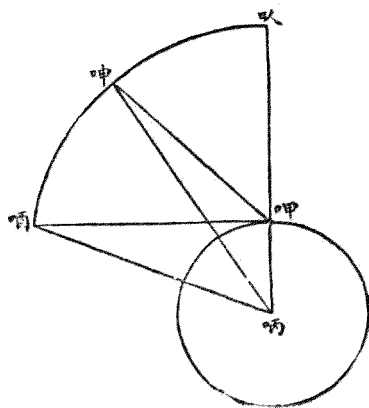
月繞地之道略近平圓。故月之視徑大小略同。如前卷見三百五十五條測太陽地半徑差法。於地面二處測

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。如圖呷呷呻三角形。呻爲月。呷爲測處。呷爲地心。已知呻呷邊。爲月地二心距。又知呷呻邊。爲地半徑。又知呷呻呻角。爲距天頂角。呷呻呻之外角。故測處與月心之距。呷呻呻亦可知。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

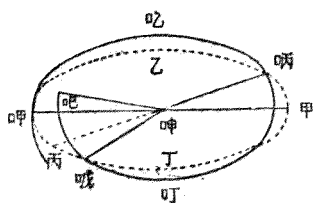
視差之數。地平視差亦時大時小。

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。此外尚有諸小差。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。呻爲地。呬乙甲丁爲月道面。呬呬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。乃成呬呬呬呬曲線。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。其較爲呬呬呬呬。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。星遇之被掩。



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。

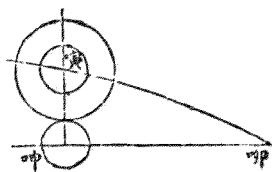
諸曜中月甚近地。太陽及諸星較之俱甚遠。故前所云黃道左右各五度九分內一帶之星時被掩者。以地心言之耳。若地面望之。則必過此界左右各一度。設遇日。卽掩日而爲日食。食分深淺不一。或食既。則昏黑如夜。星俱見。有時月視徑小於日。則全食時月在日中。四邊日光溢出如環。名金錢食。

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。呻唧噴弧三角形。呻爲

日心。噴爲月心。呻哪爲黃道。噴哪爲白道。哪爲黃白交點。呻爲直角。設呻噴爲一度三十四分二十六秒。哪角爲五度八分四十八秒。推得呻哪爲十六度五十八分。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。

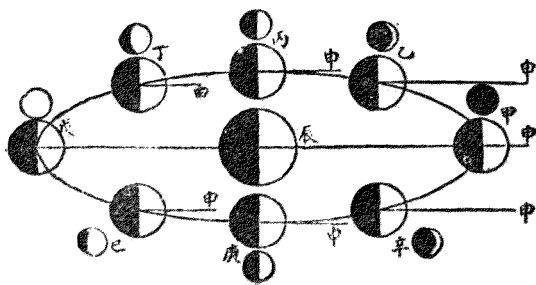
日地距二萬三千九百八十四倍地半徑。月地距僅六十倍地半徑。日地距約四百倍月地距。故從日



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。

續部額以測光之比例。推算月光爲日光三十萬分之一。

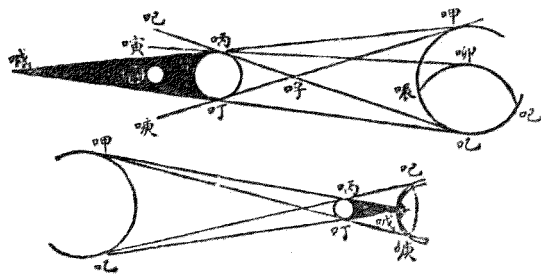
從前朔至後朔爲一月。卽月二次會中間所歷之時也。若地視日。有恆星不變方位。則二會相距。與恆



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。既得吠。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。故呬呬呬叮二線引長之。必



若地面無氣。則月在呀丙呀之間。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。有吡啐乙辛之氣。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。其外界必爲啐丁。其內界必爲吃地。從日下邊甲所出之光。其外界必爲啐啖。其內界必爲吃亥。二內界交吡叮軸于辛亥二點。乙辛之光仿此。吡亥大于白道半徑。啖人小于白道半徑。距地面約十三里內氣甚厚。月入闌虛。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。

曠其吃點所折之光。必散蓋亥吃地。其啐點所折之光。亦散蓋庚啐丁。其中間各點。亦必似之。故月在影時。僅成諸外虛。而終不成實闌。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。必有紅光進月面闌虛。而有變散之光。若地球周圍全晴。則月面闌虛必甚清。

細推上條諸數。命地球半徑吡爲一。則日地距吡呻爲二萬三千九百八十四。日半徑爲一百一十一。推闡虛尖距地叮吡爲二百十八。而距月叮嘖爲一百五十八。推吡叮吡角爲十五分四十六秒。而叮吡角爲八十九度四十四分十四秒。卽得闡虛半徑嘖嘖爲○·七二五。卽八千二百九十三里。在吡點之視半徑嘖嘖角爲四十一分三十二秒。又推得外虛半徑嘖嘖爲一·二八卽一萬四千六百四十三里。其視半徑嘖嘖角爲一度十三分二十秒。月心用平速過闡虛全徑。當歷二小時四十六分。過外虛全徑。當歷四小時五十六分。叮吡地吡吡亥二蒙氣差角。俱倍地平蒙氣差。各一度六分。叮吡吡角爲八十九度四十四分十四秒。吡吡吡角爲叮吡吡加日視徑。故得九十度十六分十七秒。而吡吡地角爲八十八度三十八分十四秒。吡吡亥角爲八十九度十分十七秒。以地半徑爲一。則得吡人爲四十二·○四。小于白道半徑十七·九六。吡亥爲六十九·一四。大于白道半徑九·一四。地體大。闡虛尖錐長。月道在尖錐之腰。故月食月必入闡虛。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。見食旣卽生光。尖不及地。則統地面不見食旣。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。一章二百二十三月。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。故每二百二十三月即十八年又十日。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。等于月外虛二半徑之和。即月入外虛之時。等于月闕虛二半徑之和。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。

續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。西國名之爲穉月。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。爲穉月之最便也。

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。火月中火壑底之大石塊。又亞里梯路山。火月中之四周凸邊。俱有裂縫向裏。又月中不見有海。而有平原。其壤皆類沙土。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。最使之時。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。其一周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。

本卷觀月面不見有氣條

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。執線而旋舞之。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洋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。如兩板。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。卽能推當用若干速率。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。即知日之攝力。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 $\bigcirc \cdot 二五四三$ 。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。其曲線俱凹向日。名次擺線。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。嘖啣爲白道。朔時月在嘖。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。

總所已測見者。約有百十餘。恐未測見者尚多。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。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。吡啞爲黃道。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。唧爲二道之交點。地在黃道面內。交點亦在黃道面內。故見星至唧。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。卽得。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。故若居於日而觀之。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。卽火木土三星之圖。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。蓋視差卽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。旣而留。而逆行。初遲後速。與日漸近而伏。伏時或見其過日。

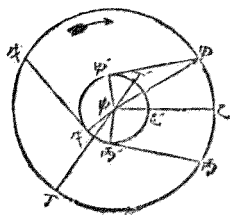
面如小黑圓班。此必行星過交線而地球亦在交線。乃有之。與日月食理同。伏若干日而復見。在日西。仍逆行。初速後遲。遲極復留。而順行。復離日最遠。而與日同速。既而速漸增。追及於日。而又伏。伏數日復見。在日東焉。順逆伏留之時有增損。如圖。己午爲黃道。甲乙丁爲行星道。日居星道心。乙申爲二交點。若日定居黃道。無視動。則必見行星進退于日之前後。設地在交線。則在日下。必見星過日面。在日上。必見日掩星。今日與黃道己午有視行。設過申酉酉戌亥諸分。每分中行星在本道過一象限。則其視道必成甲卯辛子曲線。在甲卯辛分內。必見順行。在辛卯子分內。必見逆行。而在辛點必見留也。此惟金水二星爲然。二星在地道內。名內星。伏時星在日地間。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

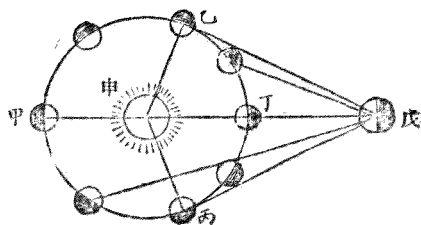
周之別。設地定居於甲。則行星在甲。爲晨見。離日最遠。行一周復至甲。仍得晨見。離日最遠。今地自甲向乙行於本道。故星復至甲時。地已前行。追至戊。遇地在戊。始同在切線上。而復得星晨見。離日最遠也。中間星至乙時。地至乙。則見星下合日。星至丙時。地至丙。則得星昏見。離日最遠。星復過甲至丁時。地至丁。則見星上合日。星。自甲起復至甲。是謂恆星周。一周後更行至戊。是謂太陽周也。

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。



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呻吡二角和之正弦比。而呻吡吡呻吡二角可推。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



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。

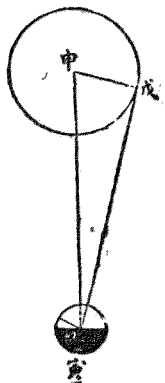
水星過日面。在正交點近小雪。在中交點近小滿。分計之。在正交點約十三年。或七年一次。率三次相距俱十三年。一次相距七年。在中交點亦然。然此約言之耳。水星道與黃道之交角大。故時或不合。當以二百十七年一交之終計之。其次周而復始也。水星近日。用以考日之視差不便。故非若金星之當詳測焉。道光二十八年。咸豐十一年。水星過日面。

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



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。

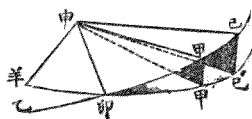
凡二行星周時之平方比。若二距日線之立方比。如地與火星二周時之率。爲三百六十五萬二千五百六十四。與六百八十六萬九千七百九十六。二距日之率。爲十萬與十五萬二千三百六十九。上二率各自乘。下二率各再乘。其比例同也。此爲古今來天學中第一至妙無上之理。刻白爾精思苦索而得之。是時未有對數。推三角頗不易。諸行星之根數。未能若今時之精密。而刻白爾乃能探得此理。則又難之難已。苟非大智。何以能之。自明此理。而知地球與諸行星。不獨形體相似。顯然一類。無可疑矣。刻白爾考火星行法。悟得火星之道爲橢圓。日居橢圓之一心。星日距線所過面積等。則歷時亦等。驗

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。

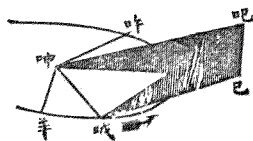
欲明各行星橢圓道之根數。有三要。一爲橢圓形及大小。以長短二徑定之。或以半長徑及兩心差定之。如橢圓之長徑十。短徑八。則半長徑爲五。兩心差爲三。其橢率爲五分之三。一爲橢圓之方位。以黃

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形。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。故卯甲弧卽卯申甲



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。名本代微積拾級

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。

故呻已吡已呻吡羊呻吡三角和。等於羊呻吡角。卽星之地心經度。又用吡吡已直角三角形。已知吡吡已二邊。求得吡吡已角。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

之月食條。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。

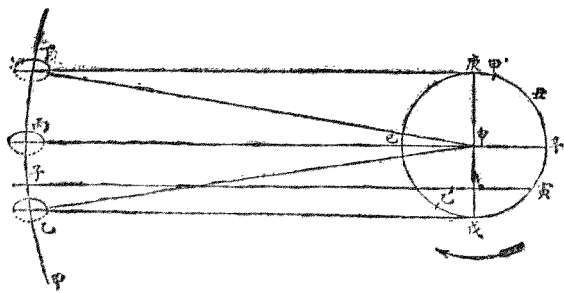
細測之。知木星自轉。依愛力歷恆星時九小時三刻十分二十一秒三。而一周。其軸與帶正交。木星體非正圓而微扁。與地同。用分微尺測得赤道徑與二極徑之比。若一百零六與一百之比。依算理推木星之體質并繞日之時。與測得數合。故知此法可推最遠行星。無不合也。

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。倍之卽乙申丁角。爲十二度二分。卽乙丁度。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



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。而其預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。必向高之一極而偏。以圖明之。於土星面之某點。呻作呻哂。與光環呷呷正交。以呷叮爲其赤道距等圈之徑。以此爲底。旋成正圓錐形。呷呻叮。則圓錐形之底爲赤道距等圈。又以呷呷爲光環之徑。以此爲底。成斜圓錐形。呷呻呷。則圓錐形之底爲光環。此圈惟在呷點。與前圈相合。其餘則俱在前圈之外。至對面之呷點。而相距最遠。如呷呻叮角。卽二尖錐角之較也。環邊之曲線。既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

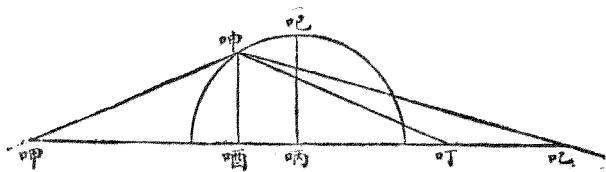
在環下能見。後爲環所掩。後在環上再能見也。土星既有多面久不受太陽之光。且所缺之光。小月所難補。故意其難居生物。然此乃依地球之事論之耳。是否尙未可必信。或地球之人以爲極苦。而在土星實爲最適。亦未可知也。

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

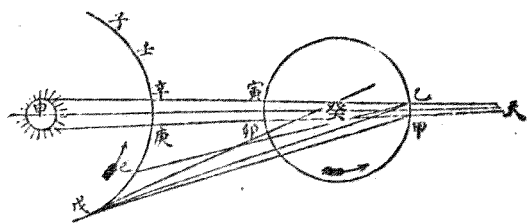
道面之交角爲三度五分三十秒。二面甚相近。故地上望諸月之道。俱略於直線。而諸月有時過星面。有時過星背爲星所掩。有時入星影。光爲所奪。卽月食也。造諸月表甚精密。各處測其月食之時。可定本地面經度也。

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。即其月之太陽周時。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。地在申癸線之東。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 中 視 徑 | |
|-----------|--------|-------------|---------|----|
| | 里 | 分 秒 | 秒 | |
| 一〇〇〇〇〇〇〇〇 | 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。則月爲星掩。月過木星視徑分秒之時。卽掩時。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。第一二月最近木星。故掩食出入星及出入闔虛不能全見。在衝日前。入星在食時。出闔虛在掩時。在衝日後。出星在食時。入闔虛在掩時。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。共欲求其證。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。

續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。

