

78-3



理學子立須藤傳治郎著

日星
學子
全

東京
博文館
藏版



序

博文館にて帝國百科全書刊行の舉がある、ときに余は友人より星學を著さんことを勧められた、余の學びたるは物理學なれとも、物理學と星學とは密接なる關係なきにもあらざれば、本書を著すことゝした、余は我邦人の今迄輕視したる、然も社交上にも必要なる星學の概念を讀者諸君に單に與へんと試みたれば、ロキヤー及びニコカム氏の星學初步等を參酌して本書を著した、彼の星學に於ける尤も趣味ある部分は此小冊の記し得べきにあらず、又非才なる余の能くし得べきにもあらざれば、之れは専門家其人を待つことゝした然れど、此一小冊子にして著者の目的を達することを得ば、著者の幸は之に過

きません、

明治三十三年十一月中旬

須藤傳次郎識

星學目次

第壹編 緒論

第一章	天體と地球の關係	六
第二章	地球の天に對する關係	二六
第一	天球を論ず	二六
第二	天球と時の關係	三三
第三	地球上兩地に於ける經緯度の差の測定法	三七
第四	天體の視差及び視半徑	三九
第三章	星學上に必要なる諸器械	四三
第四章	地球の運動	六三
第五章	諸惑星の運動論	七八
第一	諸惑星の視運動	七八

第二 諸惑星の其運動を論ず……………九三

第三 引力及び其結果……………一〇四

第六章 月の運動を論ず……………一二二

第七章 月蝕及び日蝕……………一二四

第八章 時を論ず……………一三九

第九章 地球より各天體に至る距離の測法……………一五一

第十章 天體の比重及び質量……………一七三

第十一章 光の屈折反射及び「アベラシオン」及び
其他必要なる誤差率……………一七九

第貳編

第一章 太陽系統の構造を論ず……………一八八

第二章 太陽……………一九三

第三章 内惑星(水星金星)を論ず……………二一四

第四章 地球……………二一九

第五章 月……………二二七

第六章 火星……………二三一

第七章 小惑星……………二三六

第八章 木星及び其衛星……………二三九

第九章 土星及び其系統……………二四四

第十章 天王星及び其衛星……………二五〇

第十壹章 海王星……………二五二

第十貳章 流星……………二五四

第十參章 慧星……………二六四

第參編 總論……………二七四

第一章 星宿及等級……………二七六

第二章 變光星及一時の恒星……………二八四

第三章 二重星及び多重星の性質……………二九四

第四章 星色を論ず……………二九七

第五章 固有運動……………三〇〇

第六章 星群……………三〇二

第七章 火雲星……………三〇四

第八章 恒星及び火雲星の分光的研究……………三一

第九章 火雲星說……………三一七

星學目次終

星學

第一編 緒論

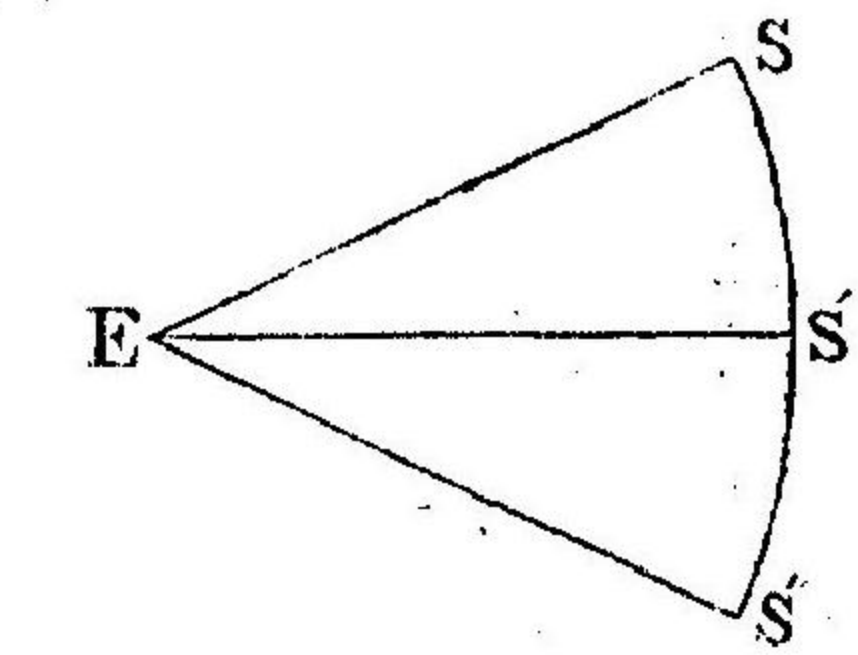
理學士 須藤傳治郎著

一、星學とは諸天躰の形狀性質及び其運動を支配する法則を研究する所の學にして古來より早く已に幾多の觀測に依て研究せられたり蓋し此學は地理上に航海上に又移住の上に於て總べて必須缺くべからざるのみならず實に此等の基礎たるを以て星學の進歩は人文の進歩と常に相伴ふものなり顧ふに近世純正數學上に於ける主なる進歩及び發見は皆多くは星學研究の結果にして其觀測及び推理の方法は兩なから又物理學の基礎を作ること多し

星學は須く書類より得たる智識を一々實物に照して學ぶとを要す然らざれば假令吾人は時に或は赤道黃道子午線等の語を用ひ時に或は諸星の運動を論ずることあるも讀者は單に之を書籍上の圖畫視するに至るの弊に陥る恐れあり

ればなり

大陽は常に全所より出て、全所に没するか新月及び満月は何時起るものなる乎又各天体の相互の位置は永久に變ずるとなき乎是等幾千の疑問は已に古人の解し得たる所にして爾來星學の進歩は浸々として已むことなし故に智識を以てせば古來の大學者も近世の初學者に及ばずと雖も若し夫れヒッパロカスに與ふるに望遠鏡を以てせば往昔地球上の不可思議とせられたる星辰の性質を明にすると豈に必しも二千年後の今日を待たんや又金星の運動及び太陽面上の斑點を發見することカッレオを勞するを要せざりしならん



第一圖 角及び其測法

二、天文學を學ぶに方りて數學上物理學上及び地理學上の智識を要すること寡からず而して此等の事件は甚だ簡明にして且甚だ必要なるを以て星學を論するに先ち其二三を擧げん而して先づ數學上よりすべし

角とは二直線の方向の差なり假令はSE及びSE'の二直線間

の角とは其二直線互に開散して爲せる方向の差にしてSE及びSE'の二直線間の角も亦全しく其二直線の方向の差なり而して角のSE'は角のSEより大なるとは一見して明かなり此の如く其大小を比較するには必ず其之を測るべき一定の單位角を要す圓周を三百六十等分し之を圓心と連結すれば各半徑は各々角を作るべし其互に隣りたる二半徑間の角を一度と名く又一度を六十分して之を一分とし一分を六十分して之を一秒とす一秒以下は其分數を以て之を量る尙ほ他に一法あり「レシアン」を單位とするもの是れなり「レシアン」は半徑に等しき圓周上の弧の圓心に對して有する角にして其前者との關係は實に左の如し今「レシアン」を以て一點の周圍の角を測るときは圓周の關係に依り幾何學上 $2\pi(\pi=3.14159)$ なることを知る故に

即ち $2\pi = 360^\circ = 21600' = 296000''$
 $1 = 57.30 = 3437.7' = 206264.8''$

平面三角形 平面三角形は三直邊と三角を有す而して此等六者の中唯だ其三者(三角を與ふるとを除け)を知らば自から他の三者を知るとを得べし然れど

も若し單に角のみを與ふる時は唯に相似の三角形を得べきは幾何學上已に明なり

球面三角形 球面三角形とは球面上三個の弧邊を以て成る所の三角形にして天球上の計算は主に球面三角形に依らざるべからず故に星學に於ては之を論ずること甚だ必要なりと雖も初學者には解し難き點寡からざるを以て茲には之を論ぜざるべし ABC を球面上の三點とし AB, BC, CA を三個の弧とし O を球心とすれば ABC は球面三角形なり而して AB, BC, CA, O の各邊は球心 O に於ける平面形に依りて測ることを得べし又 A 點に於ける角は面 AOC と面 ABC との間に爲せる角にして即ち A 點に於て弧 AB, AC に切したる切線間の角なり

三、肉眼の視力 吾人の視力は各々人に依りて異なりと雖も通常視力の最低限は大抵一秒の視角を有する圓き物體を見得るにあり彼の一千八百七十四年大陽面上金星經過の際は赫々たる大陽面上に直徑六十七秒を有せる圓き一黒點として顯出せしかば肉眼を以て之を視るとを得たり而して二圓體の相近

つくや其間一分十二秒より小なる時は明に之を見別ると難し若し又物體にして其形圓からずして長き時は視力の最低限は十秒乃至十五秒に至ることあり彼の蜘蛛系の樹間に懸り軟風に誘はれて飄々たる時の如き之れなり又物體の周圍すべて闇く而して其物體光輝燦然たる時は其視限は光輝の如何に依り殆んど際限あるとなし彼の最も輝ける恒星は其直徑恐く 0.01 一秒を越ゆることなからん

四、地球上の經緯度 吾人は地理學に依りて地球の殆んど球體なることを知り而して地球表面上の一點の位置は其點を通過する所の經緯度を以て之を表示す地理學に従へば地球表面上の緯度とは地球赤道より南北に數へたる角距離にして之を南緯何度北緯幾度と稱す又地球表面上の經度とは地球面上一定の子午線より東西に數へたる角距離にして通常英國綠林天文臺の子午線を以て其基線となす故に全一の經度を有せる各點は全一の子午線内にありて全一の緯度を有する各點は赤道に平行したる一線内にあり

地球は日夜西より東に轉して止むとなく二十四時にして一回轉をなす即ち

一時間十五度の角速度を以て回轉するが故に角を用ひずして時を以て經度を表はすとを得べし而して後者は寧ろ便利なるを以て多く之を用ふ天文學上の經度も亦全しく時間を以て之を表はすと雖も其定義の如きは卷の進むに従ひて説く所あらん

第壹章 天體と地球の關係

五、地球の形狀及び其大さ 天體を論ずるに先て吾人は自己の住居せる地球の天體に對する關係を考ふるを要す地球は其形殆んど球形に近き橢圓體にして之を日常吾人の目撃する所の諸物に比すれば其大小同日の論にあらざると雖も之れ唯だ天空に孤懸せる一個渺たる惑星たるに過ぎず夜間仰ひて蒼天を望めば幾多の天體は微光を送りて天空の各所に碁布し其小なる管に針尖のみならずと雖も是れ實に悉く天空にある絶大の一塊にして唯だ其我を去ると遠く従ふて些小の觀を呈するのみ

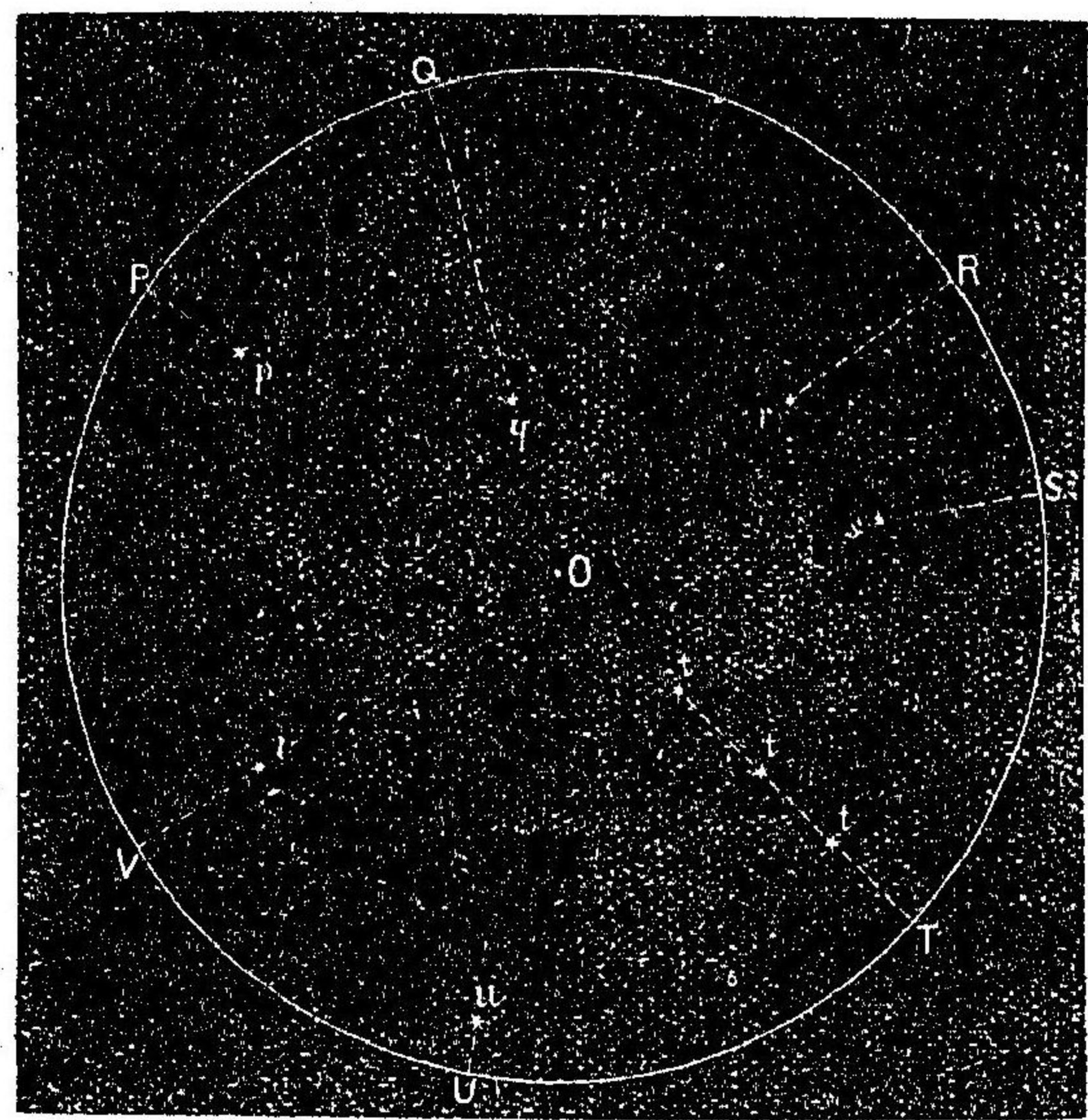
六、天球晴夜仰ひて蒼穹を望めば無數の星群は大どなく小どなく碁布散在

するを見ん然れども其大と見ゆるもの果して大なる乎其小と見ゆるもの果して小なる乎其大小の觀を呈するは固より各星の大小に依らざるに非らずと雖も主として其遠近の然らしむる所ならざるはなし然れども最近の恒星すら其距離を知るに由なく空しく之を天の一方に投影して皆恰も全一距離を有するが如き觀をなす故に吾人は其距離最遠のものよりも尙ほ一層大なる長さ(即ち無限大)を半徑として畫きたる一大球を想像し此球面に各星群を投影して其懸の位置を定む是れ即天球なり

初學者は一般に左の二大要件に意を注ぐとを要す。(一)凡そ天球に於ける星辰の位置は數千年前に於けるも敢て今日と異なることと少なしと雖も世人は概ね各星群の位置春夏秋冬に従ふてその方向の變ずるを見て各星相互に運動して其位置を變ずるものと認め而して地球運動の然らしむる所たるを知らず(二)吾人は屢々地球を天球中心の一點と見做すと之れあり地球は固より大ならざるにあらざ之を一點として考ふるが如きは少しく怪訝の念を生ずべしと雖も之れ決して怪むに足らず何となれば天球の半徑は其長さ無限にして之を地球

半徑に比すれば後者の如きは之を描きて問ふを要せざればなり

今観測者天球の中心Oに在りて一星のQにあるを認むるときは其實際の位置は天球上の一点QとOとを連ねたる直線中の一点(例せばP)にあるべし又全



第二圖

しくPVUTSR等の點にあるが如く見ゆる各星は各々OP,OV,OU,OR,OS,OR等の各直線中において吾人は唯た之を天球に投影して空しく其見懸の位置を定め其方向を知るに過ぎず其距離の遠近に至りては之を知るに由なし而して天球上に投影したる位置を見懸の位置と云ふ例へばは真正の位置にしてTは見懸の位置なり
第二圖によりて吾人は自ら左の四件

を知るべし

第一 観測者を通ずる直線は之を無限に引長するときは相對したる二個の點に於て天球と交る

第二 観測者を通過する各平面の天球と交る所は大圈なり

第三 此の如き平面に垂直なる直線は唯一にして其球と交又する所を大圈の極と云ふ

第四 之に反して観測者を通ずる直線に垂直なる平面は唯だ一にして之れ即ち其直線の球と交又したる點を極とせる大圈なり

七、地平面 観測者の位置に於て地球の表面に切したる平面を観測者の位置に於ける地平面と云ふ而して此平面の天球と交又する大圈を天球地平と云ふ故に天球地平は天球を可視半球と不可視半球との二つに別つ

垂直線とは地球引力の方向に引ける直線にして地平面に垂直なり而して天球に二點に於て交る一を天頂點と云ひ一を足下點と云ふ

観測者の天頂點とは其頭上に於て垂直線の天球と交る點を云ひ足下點とは

其足下に於て交る點を云ふ故に天頂足下の二點は各々地平面の極なり
 垂直面及び垂直圓 觀測者に對する垂直面とは其垂直線を含める平面にし
 て天頂足下の二點を通過し從ふて地平面に直角なり而して其天球と交り爲せ
 る大圓を垂直圓と云ふ

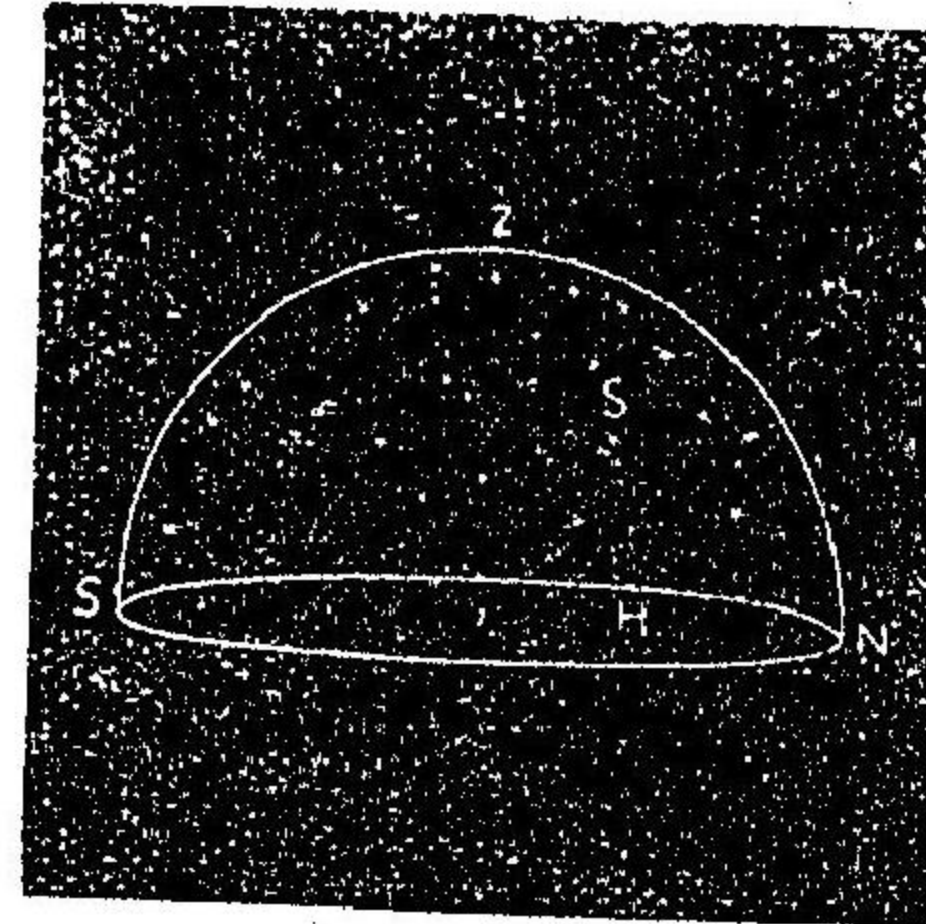
今若し觀測者地球表面の某所にあるときは直に之に相當する地平面は確定
 し從ふて天頂足下の二點も亦定まるべし今天頂點を通過して地平面に直角な
 る數多の垂直圓を畫き復び之を足下點と連ぬる時は一組の圓を得べし而して

吾人は之に依て天球の見懸の位置を表明す之れ即ち
 方位及び高度の軸式なり

天球の高度とは其星を通過する垂直圓に沿ふて地
 平面より測られたる角距離なり又某星の天頂距離と
 は垂直圓に沿ふて測られたる天頂點よりの角距離を
 云ふ

今圖に於てNSはS星の天距離(2)にしてHは其高

第三圖



度(α)なり前述の定義に依ればHSとNSとは全一大圓の弧に屬するを以て從ふ
 て左の式を得

$$\angle ZSH = \alpha + 2 = \frac{r}{R} \quad \text{即ち} \quad 2 = \frac{r}{R} - \alpha$$

某星の方位とは高度を測りたる垂直圓の地平と交りたる點より地平線中の
 一定點即ち正北點に至る迄の角距離なり

前圖に於てNHはS星の方位にして星辰の正西若くは正東に位する時は其
 方位は九十度なりとす

卯酉圓とは正東正西に於て地平面と交叉する垂直圓を云ふ

八、天球の軸式系 凡そ平面上に於ける一點は二個の數假令ば二直線より
 の距離に依りて明示することを得べしと雖も空間に於ける一點は尙ほ他に一
 數を要す即ち之を明示せんと欲せば必ず三個の數なかるべからず然るに單に
 其點の方向のみを知らんと欲せば其數二個を以て充分なりとす斯くの如く點
 を明示する數を稱して其點の軸式と云ふ天球に於ては其距離を知ること能は
 ずして其見懸の位置のみを知るを以て二個の數あるときは明に星辰の位置を

定ることを得べし方位及び高度の外尙ほ赤緯及び赤經黃緯及び黃經の軸式系あり豈啻に之れのみならんや凡て星辰の位置を表示する要素は皆其軸式なるを以て吾人は任意に幾千の軸式を作爲することを得べし

方位高度式は天頂點と地平面とを基とせるを以て全く觀測者の位置の如何に依る故に觀測者にして其位置を變ぜんか其地平面も天頂點も皆悉く相伴ふて變移し從ふて星辰の方位及び高度の變更を來すべし然れども觀測者にして一定の位置を占め始終動くとなくんば假令ひ天軸は地球の自轉に反して東より西に回轉するも其方位及び高度は變ずることなきなり

九、毎日運動 星辰の所在如何に關せず皆東より西に向ひて運行し須臾も止まることなく二十四時間にして復び全一の位置に來る而して地軸の天球と交る處を天球の極と云ひ地球上に於けると同しく北極南極の稱あり又天球の兩極を連ぬる線は天球の軸にして地球の中心を貫きて天球軸に直角なる平面を赤道面と云ひ其依て爲す所の圈を赤道と云ひ此平面の地球と交る圈を地球の赤道と云ふ

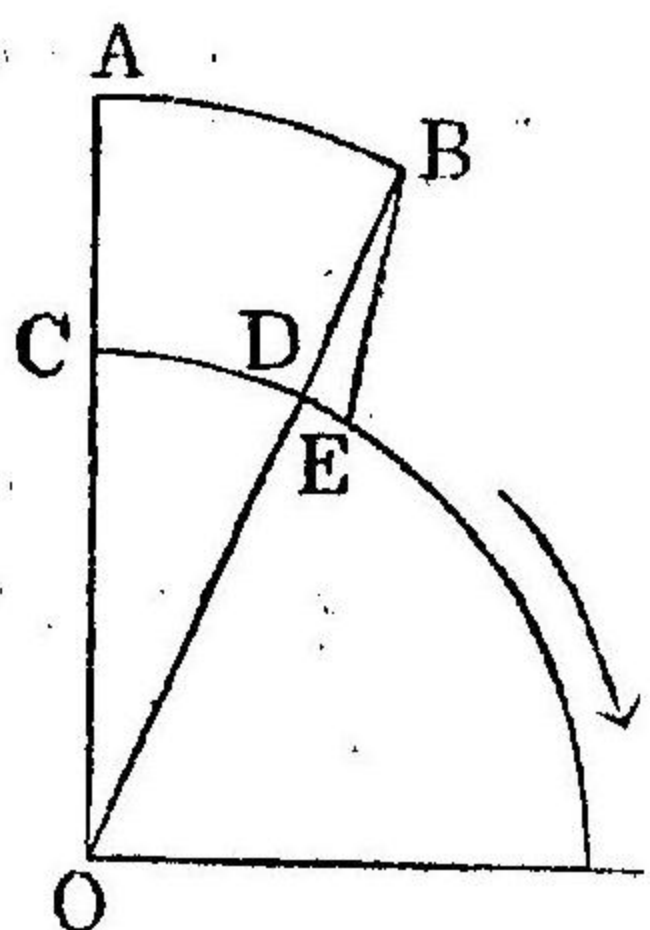
赤道に近きものは就中其運行甚だ速にして漸々兩極に近くに從ひ次第に運行緩慢となり遂に兩極に至るときは毫も動くことなし此の如く星辰の所在に從ふて速度の相違ありと雖も圓道を畫きて東より西に運行すると恰も二十四時にして一周するとは幾萬の星辰皆轍を一にして決して誤まるとなし是實に不可思議の事にして果して各天軸悉く毎日我地球を一周するか將又地球の地軸に沿て二十四時にして西より東に向ひて自轉するに依るか蓋し物の運動は相對の謂なれば兩者孰れを取るも之を説明するに難からず然れども基布散在せる無數の天軸の其轍を一にするは甚だ信を置き難く意ふに其原因は前者にあらざして後者にあらんか否實に後者に在て存するなり之れコパーニカスの始めて唱道せる地動説にしてトレミー派の天動説を打破し天文學上に一大進歩を與へたり爾來年を経るに從ふて幾多の證據は益々地動説の眞なるを明かにし今日に至りては乳兒走卒と雖も之を疑ふことなきに至れり然らば則ち何を以て地動の確たるを知る乎吾人は爰に其二三を擧げて之を説かん

十、地動の證明 地動の證據とは何ぞや今説かんと欲する所のものは

第一 地球兩極の扁平なると 今茲に半軟半固の球を取り之を任意の某軸に沿ふて回轉せしむるときは其中央軸を去る尤も遠き所は其運動尤も速にして従ふて膨脹し其兩端の軸に相當する所は自から扁平となる是遠心力の理の然らしむる所にして地球兩極の扁平にして赤道に膨脹せるも亦此理に外ならず

第二 物體高所より墜落するに當りて東方に偏倚すること 凡そ一物に數多の力の作用する時は其物體運動の方向は合成力の方向に動くとはニュートンの運動法則第二に依りて明なり今上圖に於てOを地球の中心としAOを高塔としAを塔の頂としCを其基礎とし而して地球は西より東に向ひ矢の方向に運轉するものとす然るときは地球表面の各物體は地球と同じく運行し其軸を去る遠きものは其速度大にして其軸に近きものは其速度小なり是故にAはOよりも其速度大にしてCのDに至ると全一の時間にAはBに至るべし且Aに於け

第四圖



る各物體はAと全一速度を有するを以てAを去る後も運動法則第一によりて始終全一の速度を以て運行すべし今一物體をAより垂直に塔下に向て墜落せしむるときは其地上に達するの間に於てCは運行してDに至るべし而して此物體はAと全一速度を有するを以てAと全一の距離を運行せざるべからず然るにCのDに至るときAはBにありてABなる距離を通行するを以て其墜落せる物體亦ABと全一距離を運行すべし故にCのDにあるときは其物體は常にEに墜ち來るべし斯くして其物體は塔下Dに達せず寧ろ東方に偏せるE點に達し距離DEだけ偏倚す其數學上の解明の如きは茲に之を説くと難しと雖も數理上より得たる結果と之を實際に行ひたる結果とは誠に能く相一致するを見れば地球自轉の益々確かなるを知るべし

第三 貿易風のと 地球表面上赤道は之を他の部分に比すれば甚だ熱く之に反して南北兩極は甚だ寒きを以て地球赤道近傍の空氣は従ふて稀薄となり上昇し南北に向て去る是に於て其空所を填充せんが爲めに濃厚なる空氣は南北兩極より赤道に向ふて襲ひ來り以て地球表面上温度の調和をなす斯くの如

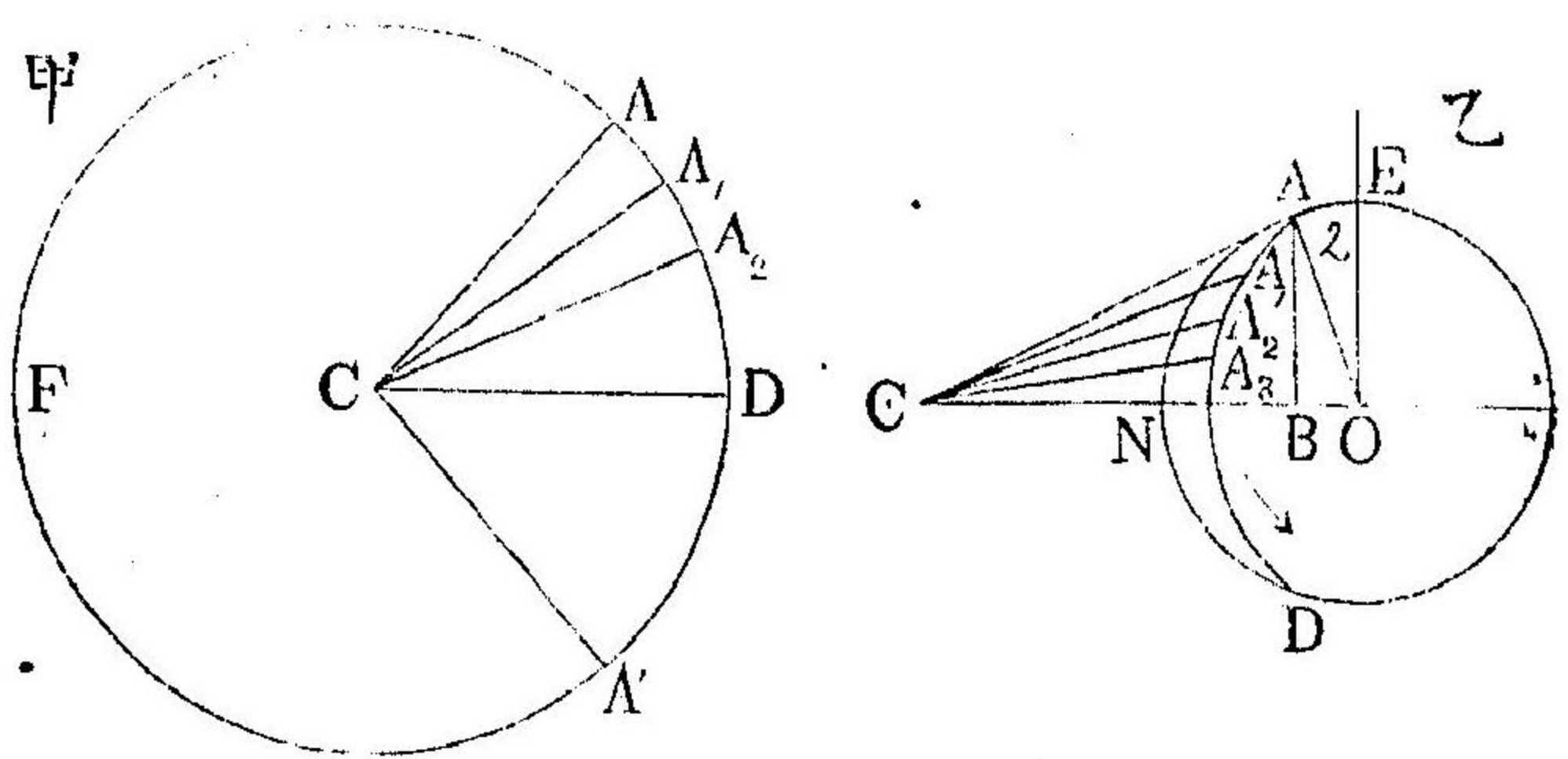
く空氣の運動に依り北半球に於ては風向北より南に南半球に於ては南より北に向ふ之を貿易風と云ふ若し地球にして自轉するとなき始終靜止するときは其風向は常に正南正北たるべしと雖も之を實際に徴するに貿易風は北半球に於ては北東より南西に南半球に於ては南東より北西に向ふ今北半球に就て之を論せん濃厚なる寒冷の空氣の南下するや其空氣は嘗て其所在地と全一の速度を以て西より東に向ひて進行したりしものなるを以て一たび南下するに及んても亦其舊速度を有つべし然るに地球の北部は赤道近傍より速度小なるを以て寒冷の空氣は南方に越くに際し其地方と全一速度を以て東に進行すると能はず少しく之に後るべし是れ即ち北半球に於て風向の北東なる所以にして南半球に於て風向の南東なるは亦此理に外ならず之に反して赤道近傍に於て上昇せる空氣は其速度大なるを以て風向は常に南西北西となるべし是れ即ち地球自轉第三の證明にして最後に將に説かんとする所のものは其尤も確證にしてフーコーの振子となす

第四 フーコーの振子 今一箇の振子を携へて地球の北極に至りて之を某平

面に振らしむるときは振子は常に空間に對して全一平面にあつて左右に振動すべし而して北極を通過する各子午線は地球と共に轉し空間に對して毎時其方向を變ず故に振子は某時に於ては其振動面某子午面と相一致し某時に於ては又之に相當する某子午面と一致すべし然るに地球は二十四時間にして運轉一周するを以て北極を通過する各子午面は全じく同一時間を以て一周し空間に對して始めと全一の位置に復すべし是故に今地球を靜止するものと假想する時は振子振動面毎時變移し恰も二十四時間にして一周するが如きの觀を呈す今去りて赤道に至りて之を振動せしむるときは其振動面は空間に對して常に同一面たるは論を待たずと雖も又地球に對しても常に全一面に振動するを見るべし又北極と赤道との中間の各地に於て之を振動せしむる時は其振子振動面は毎時常に變移するも其所を異にするに從ふて其變移速度の異なるを見るべし是れ實に地球自轉の然らしむる所にして今尙ほ詳細に之を説かんとす

NAIRDを以て地球としNを極としEを赤道上の一點としOを中心としAに於て振子を南北に振動せしむるときは此振子は常に南北に振動し空間に

第五圖



對して常に全一平面にあるべし今地球矢の方向に回轉するものと想像する時は振子振動の所在點某時 A にあるときは其次の瞬間には空間に對して A は A₁ に來り次に A₂ A₃ 等に來るべし

今 A A₁ A₂ 等の各點に於て切線 A₁C, A₂C, を書くときは此各切線は O 軸上の一點 C に於て交ると明なり故に A に於ける子午面の方向と A₁ に於ける子午面の方向の差は $\angle A_1 C A_2$ にして地球の自轉に依て A より A₁ に來るの間に於て振子振動面は地球に對して $\angle A_1 C A_2$ だけ地球の自轉と反對の方向に回轉したるを知るべし然るに今非常に相接近したる A A₁ 等の各點より切線 A₁C, A₂C, を書く時は此等の切線は C を頂點とせる一の圓錐形を作るべく而して A₁C, A₂C, 等に依りて作られたる角は其圓錐を形

成する各線間の角なるを以て二十四時間にして振子振動面の地球に對して移動したる角は其圓錐を開展して得らるべき頂點に於てなす處の角なるべし換言すれば二十四時間に振子振動面の回轉したる角は $\angle A_1 C A_2$ (A は A の回轉して來りたる舊地位なり是の故に振子振動面の一周する時間を T とすれば

$$\angle A_1 C A_2 : 24 :: 2\pi : T$$

$$\text{即ち } T = \frac{24 \cdot 2\pi}{\angle A_1 C A_2} = \frac{24 \cdot \text{全圓周}}{\angle A_1 C A_2}$$

然るに AA' は A に於ける小圓の圓周なるを以て

$$\angle A_1 C A_2 = 2\pi \frac{AB}{AA'}$$

今 A 點の緯度を λ とし地球の半徑を R とすれば

$$AB = R \cos \lambda$$

$$\text{故に } \angle A_1 C A_2 = 2\pi \frac{R \cos \lambda}{AA'}$$

又直角三角形 OOA' に於て $\angle COA = \lambda$ なるを以て

$$OA = R \frac{\cos \lambda}{\sin \lambda}$$

故に AA'E なる全圓周は

$$\odot = 2\pi, CA = 2\pi \frac{R \cos \lambda}{\sin \lambda}$$

是に依りて振子振動面の一周する時間Tは

$$T = \frac{24 \cdot 2\pi B \cos \lambda}{2\pi R \sin \lambda \cos \lambda} = \frac{24}{\sin \lambda}$$

なるを知る又其回轉する角速度を Ω とし地球自轉の角速度を ω とすれば

$$\Omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi \sin \lambda}{24} = \omega \sin \lambda$$

此の如く λ を有する緯度に於ては地球自轉の方向に反對に $\omega \sin \lambda$ を以て回轉す今 λ を九十度(即ち極)とすれば

$$\sin \lambda = 1$$

にして其回轉速度は ω となり回轉時は二十四時となる又 λ を 0° とすれば即ち赤道上に於ては

$$\sin \lambda = 0$$

にして回轉速度は零となり其回轉時は無限大となる之れ即ち決して回轉せざるを意味するなり又正弦の値は一と零との間にあるを以て赤道と極との中間にある各地に於ては其回轉速度は必ず地球自轉の速度より小にして其回轉時

は必ず地球自轉の時間より大なり

以上數理上より得たる結果を實驗に徴するに悉く符合せざるとなきを見れば地球自轉の説は正確にして毫も疑を容るゝの餘地なし然れども凡そ運動は相對的なれば吾人は天體の運動を論ずるの際或は地球を回轉するものとすとあり或は又屢々天體を回轉するものと見做すとあり然も其歸する處の理は一にして誤あるとなし

十一 天球の毎日視運動 吾人は已に云へり地球は日夜西より東に向ひて運行し瞬時も止まるとなく天體は始終全位置に在りて終世變ずるとなしと然れども吾人觀測者は地上に在て自から運行するを忘却し反て天體の東より西に向ふて運行するの感を起すと猶ほ汽車に投じて疾行すれば四圍の森羅萬象皆我に逆行するの思をなすが如し斯く天體は地球の自轉に依りて天球の軸に沿ふて運行し衆星は天極を心として運行す而して天球の一極は地平面上にありて他の一極は地平面下にあり蓋し天球の極は唯に想像的の一點にして一星の此に位するにあらず世に所謂北極星と稱するものも眞の極に位するにあらず

ずして極を去る僅に一度四分の一許なるを以て其運行甚だ靜穩なれば恰も靜止するの状あるのみ吾人は天球の北極より各星辰に至る角距離を以て其星の位置を表示するとあり之を天球の北極距離と云ふ

天球の毎日運動を熟視すれば左の事件の存するを知るべし

- 第一 各星辰は天球の極を中心として地球自轉の方向に反して圓を畫く
- 第二 北極距離益々大なれば其圓周益々大なり
- 第三 各星辰は其軌道を運行一周するに常に全一の時間を要す

而して各星辰の畫く所の圓を其星辰の毎日軌道と云ふ

若し天球の北極距離にして北極の高度よりも小なるときは其星辰の毎日軌道は決して地平面と交又せざると明にして従ふて此圓内の各星辰は出沒するとなき始終顯出し北極を中心として回轉すべし之を周極星と云ひ而して其圓を永久可視の圓と稱す又其北極距離北極の高度より大なる時は各星辰は東に出で、西に沒するを見る其隱現出沒の中道吾人の子午線を通過する時を星辰の經過と云ふ尙進んで南方に赴くときは遂に不可視半球に至るべし此圓内に

ある各星は決して現出するとなき南極を中心として回轉す今去て吾人と反對の位置に赴けば恰も北極の周極星を見ると全一の感あると明なり而して此各星辰を南極の周極星と云ひ其圓を永久不可視の圓と云ふ是に由りて之を見れば周極星は觀測者の位置に依りて異なるものなり

十二 子午線 觀測者に對する子午面とは地球の兩極を通ずる垂直面にして觀測者に對する天頂足下の二點は此面内にあり且此平面は地軸を通過するを以て天球の兩極をも通過するなり故に觀測者の位置の異なるに従ふて其子午面は全じからず

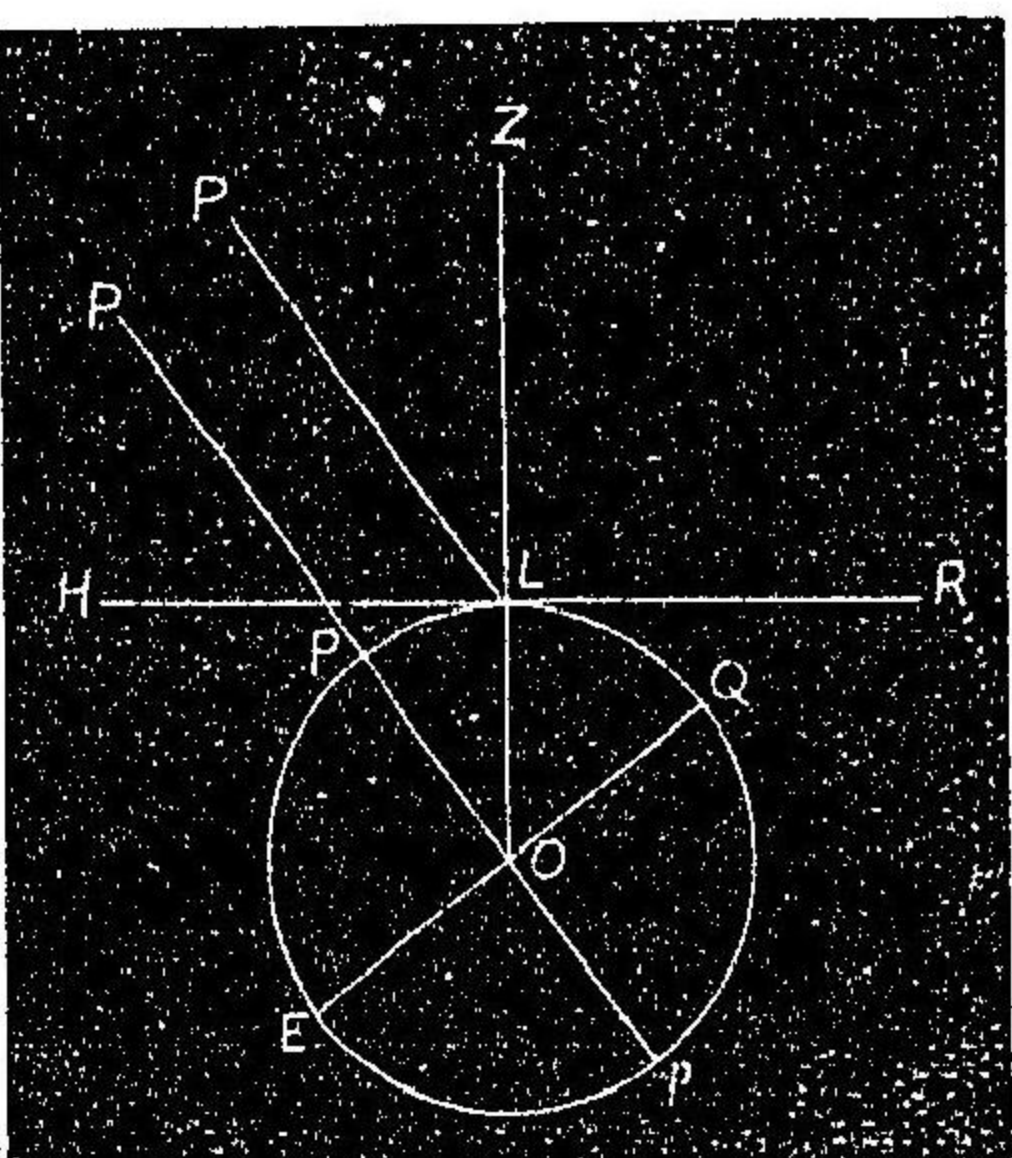
觀測者に對する地球上の子午線とは其子午面の地球の表面と交又してなす所の線を云ふ故に數多の觀測者互に正北正南にあるときは皆全一子午線の内

にあり
天球に於ける子午線とは觀測者に對する子午面の天球と交又してなせる大圓にして全一の地球上子午線内にある人は天球上皆全一の子午線を有すると
言をたず

十三 各地に於ける天球觀 吾人は己に云へり地平面と天頂點とは觀測者の位置と共に變ずるものなるを故に人若し地球の北極に立て蒼天を望めば其天頂點は天球の北極と一致し地平面は其赤道と一致すべし而して半天球は正に可視圏に屬し幾千の星辰は毫も出沒することなく水平面より全距離に於て北極を中心として始終回轉すべし是時に於ては觀測者に對して一定の子午線なく又東西の方向あるとなし今若し去りて地球赤道の上に立つときは天頂點は天球赤道の内に落ち天球の兩極は地平面内に來るべし是時に於ては蒼穹の各星辰は皆悉く十二時間にして東より出て、西に沒す又若し極と赤道との中間緯度四十五度の所に至る時は北極は天頂點と地平面との中央に位し而して北極近傍の各星は永久可視の圏に屬し其之を去る遠きものは東に出て、西に沒し尙南方にあるものは永久不可視の圏に屬し決して吾人の眼底に落るとなし今漸次赤道以南に向ひ遂に南極に至るも其觀北半球に於けると一般毫も異となし

十四 天球と地球との關係 觀測者の位置變ずる時は其地平面異なるのみ

第六圖



ならず天球極の高度又共に變ず而して地平面と天球の關係は實に左の如し 某所に於ける地平面上天球極の高度は全所に於ける緯度に全し POEを以て地球のEOを赤道としOを中心としPを極とし又Lを以て緯度(φ)を有する地球上の一點とす又OLを連ねて之を引長しZに至らしむるときはONは天頂の方向なり今ONに直角にLを通して線HRを畫くときはHRは水平面と子午面との截線を表はすべし

OPを連結し之を引長して無限大の距離P'に至らしめ又LよりOPに平行にLP'を畫き之を引長して無限大の距離P''に至らしむるときはP'は共に天球上に於ては符合して一點となるべし是れ他なし二線は共に平行にして且其L及びOを距る無限大なるを以てなり而して吾人の證明せんと欲する所は∠LOQ(φ) = ∠HIP''にあり然るに∠POQ及び∠ZLHは作法に依り共に直角にして∠ZLP''又は作法に依り

∠LOP に相等し故に其餘角は自から相等きと明なり即ち

$$\angle LOQ = \angle HLP''$$

斯くの如く某所の緯度は赤道よりノ角距離にて測り得らるゝのみならず又北極の高度を以て測るとを得るが故に緯度を示すにφを以てせば天頂點の北極距離は 90° - φ なり

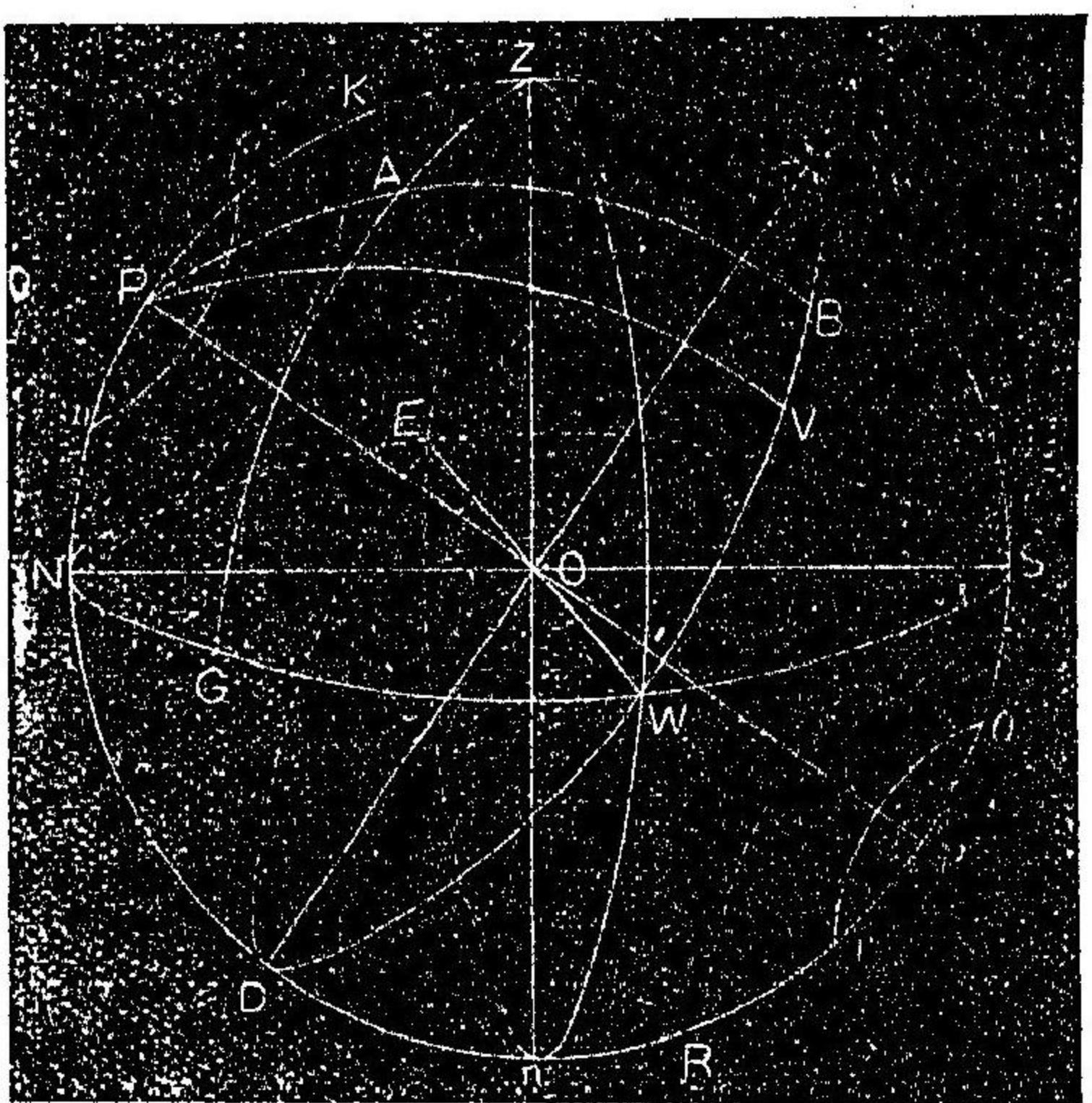
人若し赤道上にあれば緯度は 0° なるを以て天頂點の北極距離は九十度にして北極は地平面と合す若し又北極に行かば其緯度は正九十度なるを以て天頂距離は零となり其天頂點は北極と相一致すべし若し去て南極に赴かば其緯度は負九十度なるを以て天頂の北極距離は百八十度となるべし而して北極距離を計算するに當りて緯度の正負に尤も注意するを要す

第二章 地球の天に對する關係

第一 天球を論ず

十五 軸式 上圖に於てOは天球NN'DDの中心に於ける地球の位置Zは

第七圖



觀測者の天頂點Pは天球の兩極とす然るときは定義に依り PZSPWN'P は天球上の子午線Zのは其水平面PONは觀測者の緯度なるべし

EQWDは天球上の赤道にしてEは觀測者の東に位しWは其西方に在り而して地球はWよりEに向ふて回轉する者とす詳に之を云へば其時に於ける子午線ZPKは十二時前には PDRP に在りたる者にして PQ, PB, PV, PD, は皆時圈の一部分なり

時圈とは天球の兩極を通ずる大圈にして各時圈は地球上の某處に對する天球上の子午線なり

今某星Aに在りとすればPQは其星の時圈にして地球の回轉に伴ふて直にAを去り時圈PV'代てAに来るべし又PV'Aを去るの後はPO之に代り順次

此の如く各時圈は二十四時間にAを通過すべし然れども地球を靜止する者と想像するときは各天躰は時の移るに従ひて各時圈を通過するを以て任意の時に於ける天躰の所在を直に知らんと欲せば之を明示すべき數を要す

十六 方位及び高度 兩者の定義は前已に之を説けり今茲に之を贅する必要なし前圖に於て $\angle N$ は垂直圈にして $\angle V$ はA星の高度なり而して天躰觀測者の東方にあるときは高度は時と共に増加し子午線上に於て最大極度に達し然る後西方に進むに従ひ漸次減少する者なり又 $\angle \Omega$ はA星の方位にして高度と同じく時と共に増減すべし

十七 北極距離及時角 北極距離も亦軸式の一にして時角と相並んで天躰の位置を明示す

時角とは天躰を通過する時圈と子午線となす所の角にして子午線より起算し西方に向て 0° より 360° 若くば 0° より 24° に至る者なり故に時角は子午線と其星の時圈間になせる赤道上の弧を以て之を測る前圖中 $\angle \Omega$ は即ち時角なり之に依て是を觀れば此軸式系は高度及び方位に於けるが如く時の移るに従ひ

て兩ながら變ずる者にあらず何となれば北極距離は一定點(北極)より天躰に至るの距離なればなり

十八 赤經度及北極距離 前二條に説ける軸式系は觀測者の位置と共に變ずるのみならず地球の自轉するに従ひて變ずるを以て其不便寡からず若し吾人の位置と地球の自轉に關せず一定不易の軸式系を求むるとを得ば其便利擧げて言ふべからず之を求むるの道は天球上の二定點より之を測るに在り而して北極は天球上の一定點なれば北極距離を以て其一となし他は赤道上の一定點より赤道に沿ふて之を測らんとす之を赤經度と云ふ

定義 某星の赤經度とは赤道上の一定點(春分點)より起算し東方に向て測りたる其星の時圈に至るまでの赤道上の角距離を云ふ

春分點の何たるやは後に之を詳説すべければ茲に之を知るの要なし唯だ之を赤道上の一定點と考ふれば足れり此の如く赤經度は赤道上に測られたる者なれば其數 0° より 360° に至り若くば 0° より 24° に至る今 V を以て春分點とすれば $\angle \Omega$ は赤經度にして $\angle \Omega$ は北極距離なり此兩者を用ゐて一の軸式系とな

し以て星辰の位置を表示せば北極及び春分點にして互に其位置を變ずるとなくんば地球の自轉と觀測者の異同に關せず各天體は常に同一の數に依て表示せらるべし

十九 赤經度及赤緯度 吾人は屢々北極距離を用ひずして赤緯度を用うる
とあり

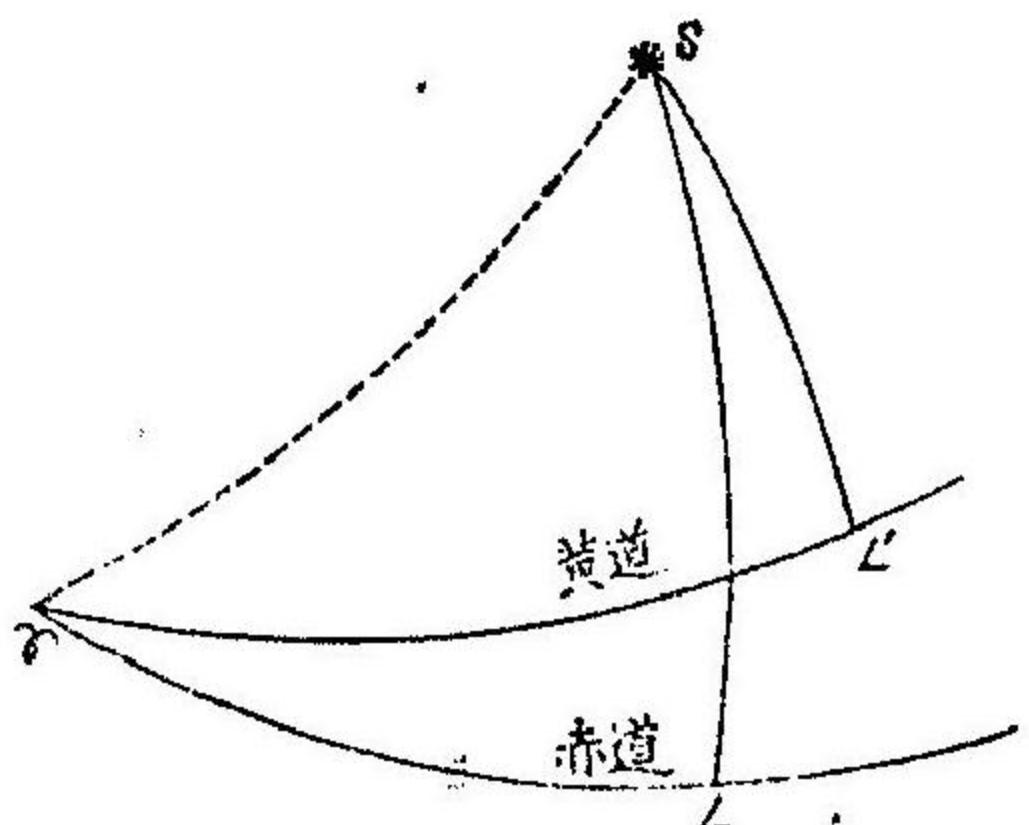
定義 赤緯度とは赤道より時圈に沿ふて南北に測られたる角距離にして北方に在る者を正とし南方に在る者を負とす前圖に於て $\angle N$ は赤緯度にして $\angle P$ は北極距離なるを以て ϕ を赤緯度とせば

$$\angle N = 90^\circ - \phi$$

なり以上の定義に依れば $\angle N$ は天頂點の赤緯度なるを以て地球上に於ける某所の緯度は其天頂點の赤緯度と相等しきを知るなり

以上數多の軸式系中多くは赤經度と北極距離を用ひ他は之を用うると稀なり今此等二者に加ふるに天體の距離を知るとを得ば吾人は各星の所在を確知するとを得べし

二十 黃經度及び黃緯度 以上軸式系の外尙ほ一の軸式系あり之を黃經度及び黃緯度とす此軸式系は單に太陽系を論ずるに方りて用うる者にして黃經度は春分點を基點として之を黃道(地球軌道面)と天球と交叉してなせる大圓の上に測り黃緯度は之を黃道の極を通過したる大圓の上に測る猶ほ赤經度の赤緯度に於けるが如し而して赤經赤緯と黃經黃緯との關係は左の如し



第八圖

$\angle N$ を赤道とし $\angle P$ を黃道とし $\angle \phi$ を春分點とし S を某星とし S より $\angle N$ に垂直に SL を引くときは $\angle L$ は赤經にして SL は赤緯なり又 $\angle P$ に垂直に SL' を引くときは $\angle L'$ は黃經にして SL' は黃緯なり而して赤道と黃道との交叉してなす角を ω とし S 星の赤經赤緯を R 及び ϕ を以て表はし其黃經黃緯を l 及び λ を以て表はすときは

$$\angle L = R, \angle L' = \lambda, \angle L = l, \angle L' = \lambda, \angle L = \omega$$

なり然るに $\angle SL$ は直角球面三角形なるを以て

$$\cos \phi \sin S = \cos R \cos \omega$$

故に ω を知るとを得

$$\cos S'L = \sin P\cos \omega$$

に依りて $S'L$ を知るとを得然るに又球面三角形 $S'L'P$ に於て $S'L'P$ は直角にして $S'L$ は $S'L - \omega$ なるを以て

$$\sin \omega = \sin S' \sin(S'L - \omega)$$

又

$$\tan \omega = \tan P \cos(S'L - \omega)$$



なり然るに ω は観測に依りて之を知るを得るを以て若し赤經赤緯を知らば黃經黃緯を算出するとを得べし

二十一 観測者の位置を定むる軸式 観測者の位置は其經緯度を以て明示するとを得緯度とは其天頂點の赤緯度にして經度とは観測者に對する子午線と英國「クリーニッチ」司天台の子午線間の角距離なり故に其赤緯度は地球上の緯度に類似し其經度は亦地球上の經度に相當す

第二 天球と時の關係

二十二 恒星時 往時は水漏計及び口時計を用ゐて時間を計りたりしも社會の進歩するに従ひ事物は益々繁多となり従ふて正確なる時間の必要を感ずるに至れり特に星學に於ては微妙の時間を要するを以て一定の時を用ゐざるべからず

地球は日夜自轉して同一時間には必らず同一の角距離を回轉す故に時間を計るに地球の自轉を以てするとを得べし而して時間の單位として最も便利なる者は一日なり然れども一日に數多の別あり今順を逐ふて之を説かんとす 恒星日とは某星の子午線を通過して後再び子午線を通過する迄の時にして地球の自轉するに要する時間なり恒星日を二十四時に分ち一時を六十分して之を一分とし一分を六十分して之を一秒とし秒以下は其分數を以て之を測る故に恒星時の一時は地球の十五度を回轉するに要する時間なり 今某星子午線を通過せんとする時は其時角は零にして時の進むに従ひ其星

は子午線を去り時角は次第に増加し零度より三百六十度に至る是故に恒星時を以て時角を表はすとを得べし

恒星時の基點に星辰を用うるよりは寧ろ天球上の一定點を用うるは甚だ便利なり吾人は春分點の子午線を通過する時を以て其零時とす故に恒星時は子午線の赤經度に等し

二十三 大陽時 大陽の時角を表す時間を眞大陽時と云ふ故に大陽時は大陽の子午線を通過する後再び子午線を通過するに至る迄の時間にして大陽の子午線を通過するときは即ち其地の見懸けの正午なり

二十四 平均大陽時 地球の大陽を一週するや其速度時に依て同じからず故に大陽時の一日は時に依て長短あり此の如く常に相同じからざる時を用うるは甚だ不便なるを以て此不便を避けんが爲めに平均大陽時を用う

平均大陽時とは僞大陽のなす所の時角にして僞大陽とは常に同一の速度を以て赤道に沿ふて動き一ヶ年にして地球を一週する者なり故に平均大陽日とは僞大陽の子午線を通過して後再び子午線を通過するに要する時間にして僞

大陽の子午線を通過するの時は即ち平均正午なり

大陽時に於ても平均大陽時に於ても又之を二十四時に區分し其一を六十分し之を一分となし一分を六十分して之を一秒となす而して星學上に於ては恒星時に於けるが如く零時より二十四時に至ると雖ども社交上に於ては晝夜各々十二時に分ち午前午後の稱あり

二十五 平均大陽時と恒星時との比較 大陽の地球を一週するや毎日殆んど一度宛西方より東方に進む者なるが故に恒星時は平均大陽時より長きと明なり今大陽春分點にありて恰も子午線を通過するものと想像する時は恒星時の二十四時間を過るの後春分點は正に子午線上にありと雖ども大陽は日々殆んど一度宛西方より東方に向ふて進行するが故に其子午線を通過するは春分點に後ると殆んど四分時なるべし而して眞大陽の動くや其進み均一ならず僞大陽は同一の速度を以て赤道を進行するものなれば大陽時を以て平均大陽時に比すれば互に増減ありと雖ども之を恒星時に比すれば共に大なるを知るべきなり

二十六 時及び經度の關係 大陽子午線上に來るときは所謂其地の正午にして大陽は時の移るに従ひ西行し正午も亦東方の地より西方に移る換言すれば大陽は二十四時にして地球上各地の子午線を通過す故に今甲乙兩地ありて甲は東に位し乙は西に位するとき甲地の正午は乙地の午前にして兩地各々時間の差あるべし之を地方時といふ然るに大陽は一時間十五度の速度を以て運行するが故に經度十五度の差ある兩地の地方時は一時間にして三十度を距る地は其地方時二時間なり此の如く經度每一度は恰も四分時に相當するを以て多くは經度を表はすに時間を以てす

二十七 大陽の下方子午線を通過するとき其地の午前零時にして茲に日は改まりて翌日となる而して其地より西方に位する地は大陽が未だ下方子午線に來らざるを以て夜半に至らずと雖其東方に位する地に在ては早く已に翌日となる然らば即ち凡そ日の改まるは何の地に於て始まる乎之れ當に自然に起るべき疑問なるべし航海者は英國「グリーニッチ」司天臺の子午線を距る經度百八十度の所を以て改日の點となす若し人類社會一般に此決議を採用せば是

より東方の諸國の一日なるときは其西方の諸國に於ては正に二日なるべし

第三 地球上兩地に於ける經緯度の

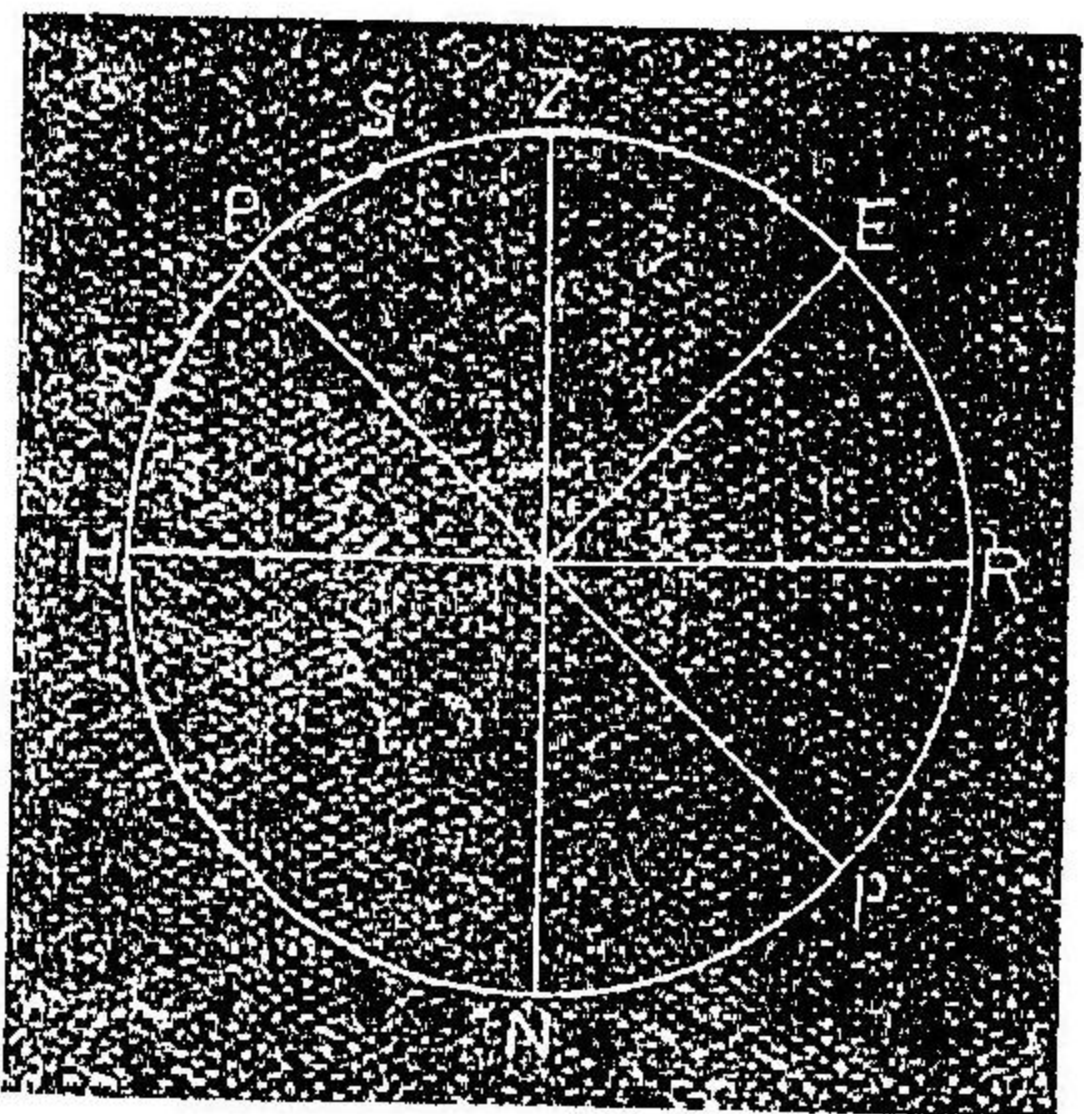
差の測定法

二十八 兩地經度の差を測定する法 吾人は已に甲乙兩地の經度の差は其是に相當する地方時を以て測るべきとを云へり實に兩地經度の差は唯だ地球上に於ける兩地子午線間の角距離にして其之を測るの用に供する恒星若くは大陽の運動如何に依て變ずるものにあらざ故に或は恒星時を用ゐて之を定むるも又或は大陽時を用ゐて之を定むるも二者各々同一の結果を與ふべきは蓋し疑を容れず故に甲乙兩地間經度の差は其各地に於ける地方時の差なり

二十九 緯度を測定する法 之を測る二三の法を説かんとす

第一 周極星を用うるの法 上圖に於てZを天頂としHNPZを子午線としPを北極としH'Pを地平面とし而して星Sは北極を過りて上下S'S'の二點に於て子午線を通過する者とす然るときはPS及びP'S'は共に星Sの北極距離な

第九圖



るを以て相等しく PH は緯度(φ)に等し故に

$$\frac{ZS + ZS'}{2} = \varphi$$

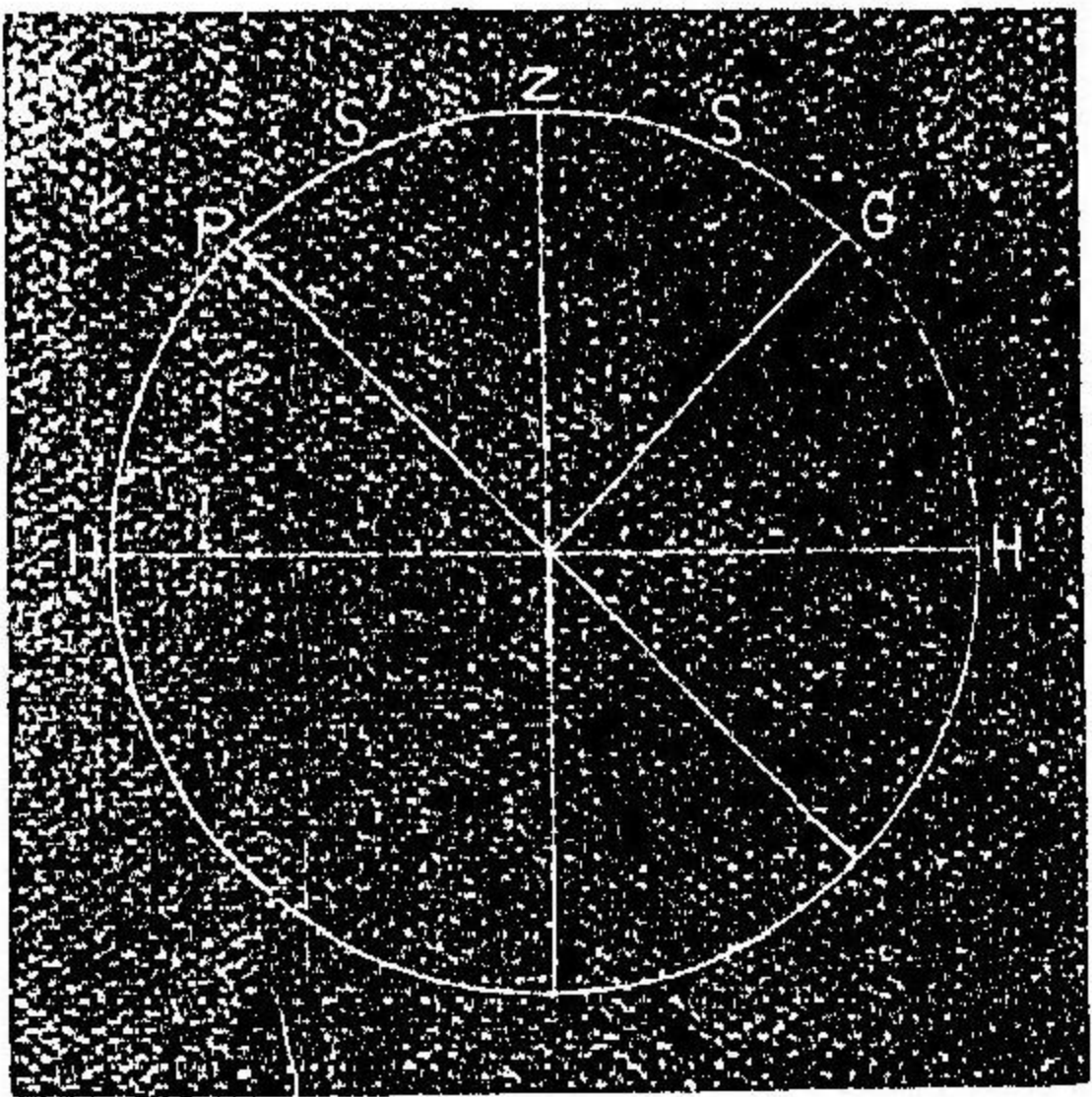
即ち $\varphi = 90^\circ - \frac{ZS + ZS'}{2}$

然るに ZS 及び ZS' は共に S 星の天頂距離なるを以て之を測るとを得べく従ひて其地の緯度を知るとを得るなり

第二 大陽若くは恒星の子午線上の高度を知て之を定むる法 此法は航海通例用うる法にして今圖に於て Z を天頂點とし P を北極とし Q を赤道と子午線 HZH' の交點とし HH' を地平面とし S を恒星とす

恒星の高度最大限に達する時は是れ正に南中の時にして其高度は即ち其星の高度なり今之を H'S とすれば其天頂距離(φ)は $90^\circ - H'S$ なり故に其星の赤緯を φ とすれば

第九圖



$$ZQ = QS + ZS$$

即ち $\varphi = \varphi + \varphi$

然るに φ は曆に依りては觀測に依りて知るを得るを以て従ふて φ を知るとを得べし

若し又恒星にして天頂の北 S' を通過するときは

$$ZQ = QS' - ZS'$$

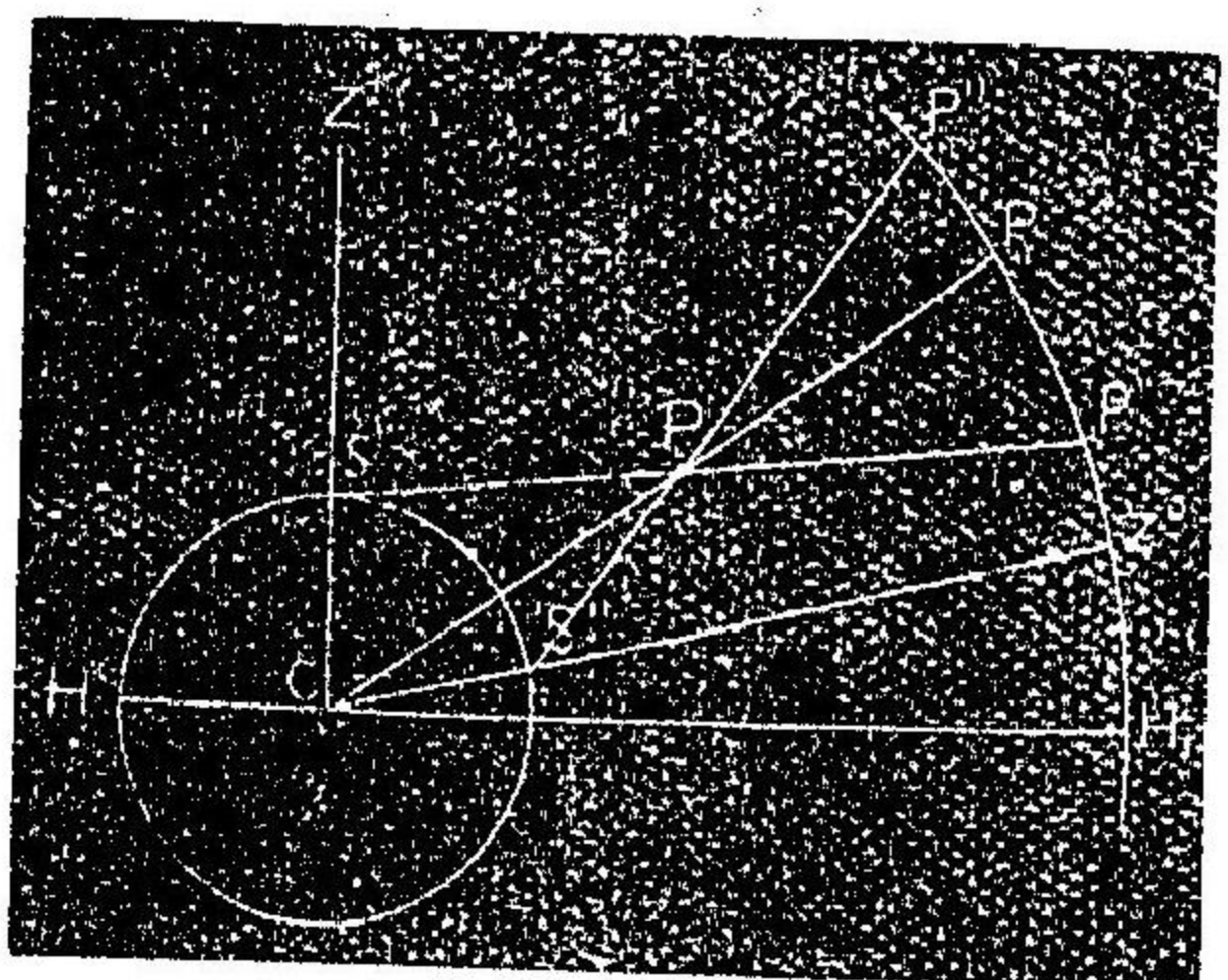
即ち $\varphi = \varphi - \varphi$

にして同しく φ を知るとを得べし而して茲に最も注意すべきは其星の子午線を通過するに際して其

南中するや若くは北中するやを見て天頂距離(φ)の正負を考察するにあり然らざれば實に不測の誤謬に陥るの恐あり又恒星に代ふるに大陽を以てするも其理之に異ならず

第四 天體の視差及び其視半徑

第十圖



三十 若し星辰の眞位置と観測者の位置にして變ずるとなくんば天球上星辰の位置は常に同一所にあるべし然れども観測者其位置を變ずるときは假令星辰にして常に一定の位置に止まるも其天球上に於ける位置は之に依て變ず尙ほ詳しく之を説かんに OH を地球とし O を其中心とし S' 及 S'' を地球上観測者の位置とし Z' 及 Z'' を之に相當する天頂點とし P を星の眞位置とす

今観測者 S' にあるときは P の天球上に於ける位置は P' にして S'' にあるときは之を P'' に望むべし此の如く観測者の位置變ずるに従ふて天球上星辰の位置の變ずるを某星の視差と云ふ

三十一 地平視差 此の如く P 星の視差は観測者の位置の如何に依て變ずるが故に之が基礎となるべき一定の視差を要す是れ即ち地平視差なり今 P 星観者 S' の地平面にありとすれば $\angle ZSP$ 及び $\angle PSC$ は共に直角なり而して三角形 SPC に於て其之を解するに必要なる三部たる二角

と及び一邊地球の半径は已知の數なるを以て其他の部分は之に依て知るとを得べし故に P 星の地平視差 $\angle SPC$ を知るとを得るなり今又観測者 S に在て P 星を地平面内に望むときは其地平視差は S' に於けるものと異なるとなし

今總ての事精を均一にし獨り P 星の距離 OP のみを變ずるも其視差は又變じ距離増々遠ざかるに従ふて視差は増々小となる故に各星辰の視差の大小は其距離の遠近に關係す

吾人をして去て P 點に行き遙に地球を望ましめば地球は観測者に對して某視角を有すべし而して地球の半径のなせる角は P 星の視差に等しきと明なり故に左の論斷を得

観測者に對する物体の視差は観測者を通ずる地球半径の其物体に對してなす處の角に等し

三十二 年期的視差 月及び大陽系に屬する諸惑星の視差は大は五十七秒より小は僅に〇・三秒の微に至るまで地球上所を異にして之を測るを得べしと雖ども所謂恒星に在ては其距離遙に遠くして地球上に於ける基線の如きは其

用をなすと能はず是故に之を測らんとすれば他に大なる基線を求めざるべからず然るに幸にして地球は大陽を週り一年にして之を一週するを以て其軌道の半徑を基線として用うる時は假令其視差は甚小なるも尙之を測るとを得べし

年期的視差とは地球軌道の半徑の一物體に對してなせる角を云ふ

前々圖に於てCを大陽としS'を地球としPを恒星とし而して $\angle PS'O$ を直角とすれば $\angle SOP$ は年視差なり

地平視差は大陽系に屬する諸惑星の距離を測定するに用ゐ一年視差は最近恒星の距離を測定するに用うるを以て尙ほ詳に之を後條に説かんとす

三十三 天体の半徑 物體の角半徑と其距離とを知らば其半徑の大きさを知るとを得べし大陽の角半徑は九百六十一秒にして其距離九千三百萬哩なるを以て其半徑は殆んど八十八萬哩に近く月の角半徑は十五分半にして其距離は二十四萬哩なれば其半徑は殆んど二千哩なり又同じく諸惑星の半徑も同一の法に依り之を知るとを得べし

第三章 星學上に必要なる諸器械

三十四 星學上に用うる器械は之を視るに供するものと及び時を計るに供するものとの二つに分つ前者に屬するものは望遠鏡六分儀等にして後者に屬するものはクロノメーターとす今順を逐ふて次第に之を説かん

三十五 望遠鏡に二種あり屈折望遠鏡と反射望遠鏡是なり屈折望遠鏡に於て重要なる部分は筒先レンズとアイピースにして前者は物體より來る光を屈折して觀測者の眼前數センチメートルの距離に於て其物體の像を作り後者は之を擴大するの作用をなすレンズはプリズムよりなると考へ得べきが故に之を通過する光は分散して真の一點に集るにあらざ殆んど一點に近き所に集るべし之れが爲めに或は象像に變形を生じ或は之に異様の色を與ふ此の不便を除かせん爲めに筒先レンズは二箇のレンズより成る一は平低レンズにしてフリントガラスを以て之を作り他は兩高レンズにしてクラウンガラスを以て之を作る此の如く二箇の異なりたる玻璃を用うるときは其屈折率の好都合なる

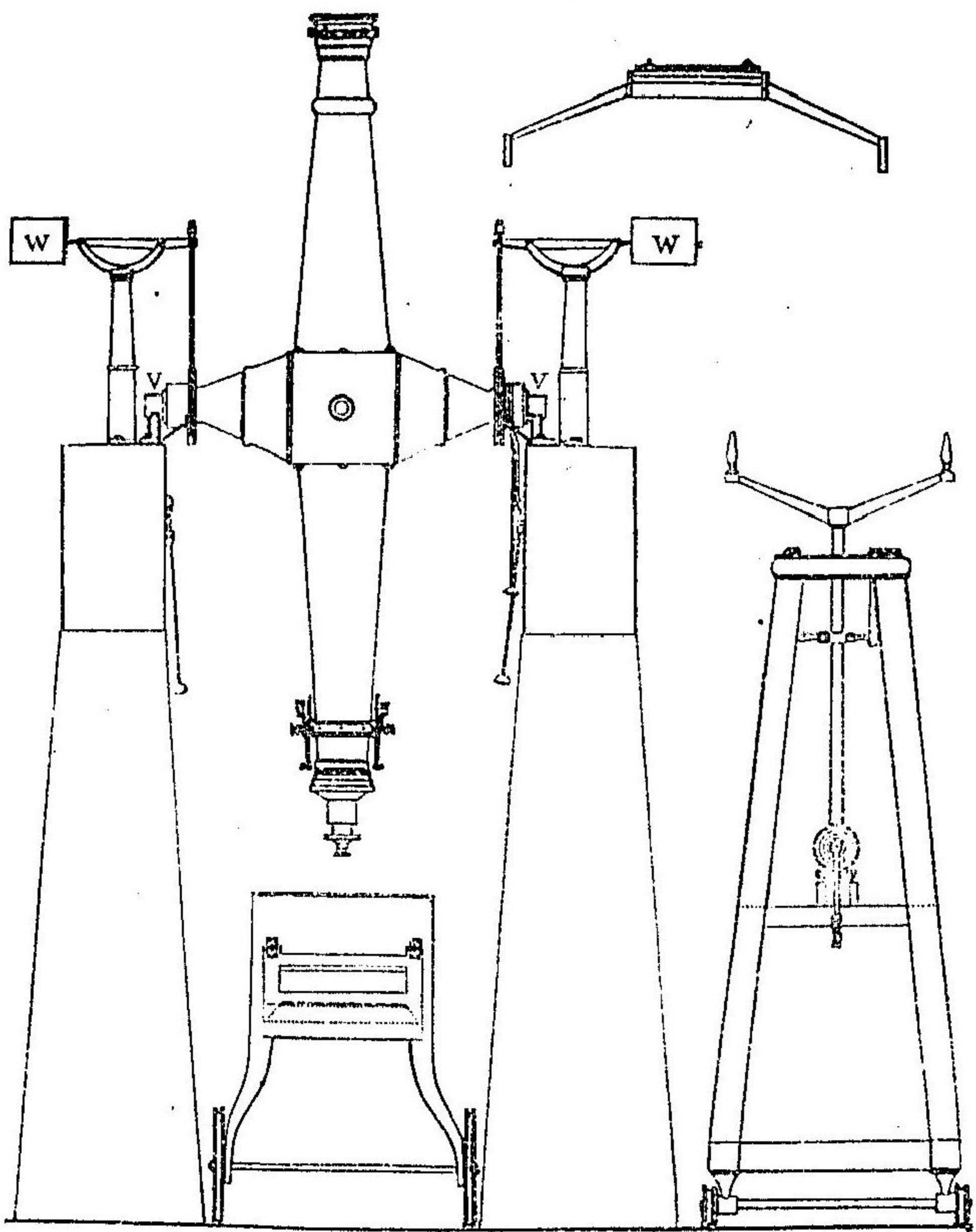
配合に依りて以上の不便を排するとを得べし「アイピース」は單に顯微鏡にして其構造之れと異なるとなく二箇の「レンズ」より成る此二箇の「レンズ」は「ハイゲン」氏の法則に依り一定の距離に置かれたるものにして此配合に依りて亦た前述べたる不便の幾分を除去す

反射望遠鏡には「筒先レンズ」なく之に代ふるに凹面鏡あり而して入り來りたる光は此凹面鏡の爲めに反射せられ方向を變じ其焦點に於て象像を作るべし之を擴大し明瞭に見せしむるの作用をなすは「アイピース」にあり

三十六 望遠鏡の功用 望遠鏡は獨り天体を観るの用に供するのみならず又其位置を正確に知るの用に供す十七世紀の中頃に至るまでは天体の角を測るに多くは六分儀を用ゐたりしも今や望遠鏡に種々の装置を加へ角度測定上に一大改良を施し容易に且正確に之を測るを得るに至れり

三十七 經緯儀 此器械は天球上の子午線を經過する星辰を観るの用に供するものなり今其構造の主要を云はん經緯儀の主要なる部分は「 Δ 」なる軸と直角をなせる望遠鏡にして其軸の兩端正しく圓柱狀をなす所は「Y」字形の金

第十一圖



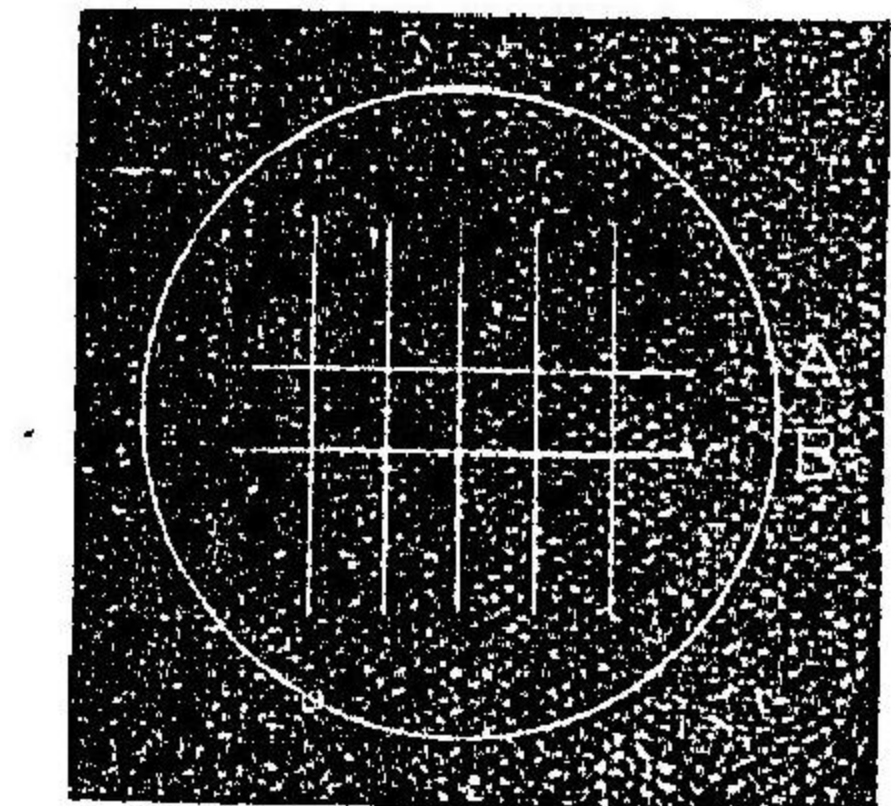
屬の支柱の上に安置せられ望遠鏡をして能く前後に回轉せしむ而して支柱は

其形に依りて通常之を「Y」と稱す

支柱は其基礎固くして動かざる盤石上に附着するを以て望遠鏡は一の平面内に於てのみ回轉し決して不規則の運動をなすとなし又「W」なる重量は望遠鏡の軸と連絡し其重量と相平均し以て「Y」に於

ける摩擦を減じ従ふて望遠鏡の運動をして圓滑ならしむ
 通常之を用うるに當りては其軸を水平にし且之を東西となし望遠鏡をして
 子午面内に回轉せしむ而してYの高さを加減して其水準を正確にし軸を左右
 に旋轉して東西を正す之を行ふに皆各々螺旋を用う

望遠鏡内筒先レンズの燒點に蜘蛛絲を張れる者あり之を「レチクル」と云ふ其
 狀圖に示すが如く縦に數條の蜘蛛絲あり其中央なる一線は望遠鏡の中央と相
 一致す又中央には横に二線あり之を導線と名く而して望遠鏡の軸の一端にあ
 る燈火は中空なる軸を通じて望遠鏡に來り以て蜘蛛絲を照し夜間に於ても明
 之を見るときを得せしむ



今星辰を望むに當りて望遠鏡を上下に回轉し星辰をし
 て導線の上に動かかしめ而して縦に緊張せる線を通じて
 の時を「クロノメター」を以て測定するなり
 望物軸とは望遠鏡の軸に直角に其筒先レンズの中央よ
 り引ける線にして視線とは筒先レンズの中心と中央にあ

第十二圖

る蜘蛛絲を速ぬる線なり故に望遠鏡を用んと欲すれば第一其水準を正ふし第
 二其東西を正し第三に望物軸と視線とを一致せしむるを要す

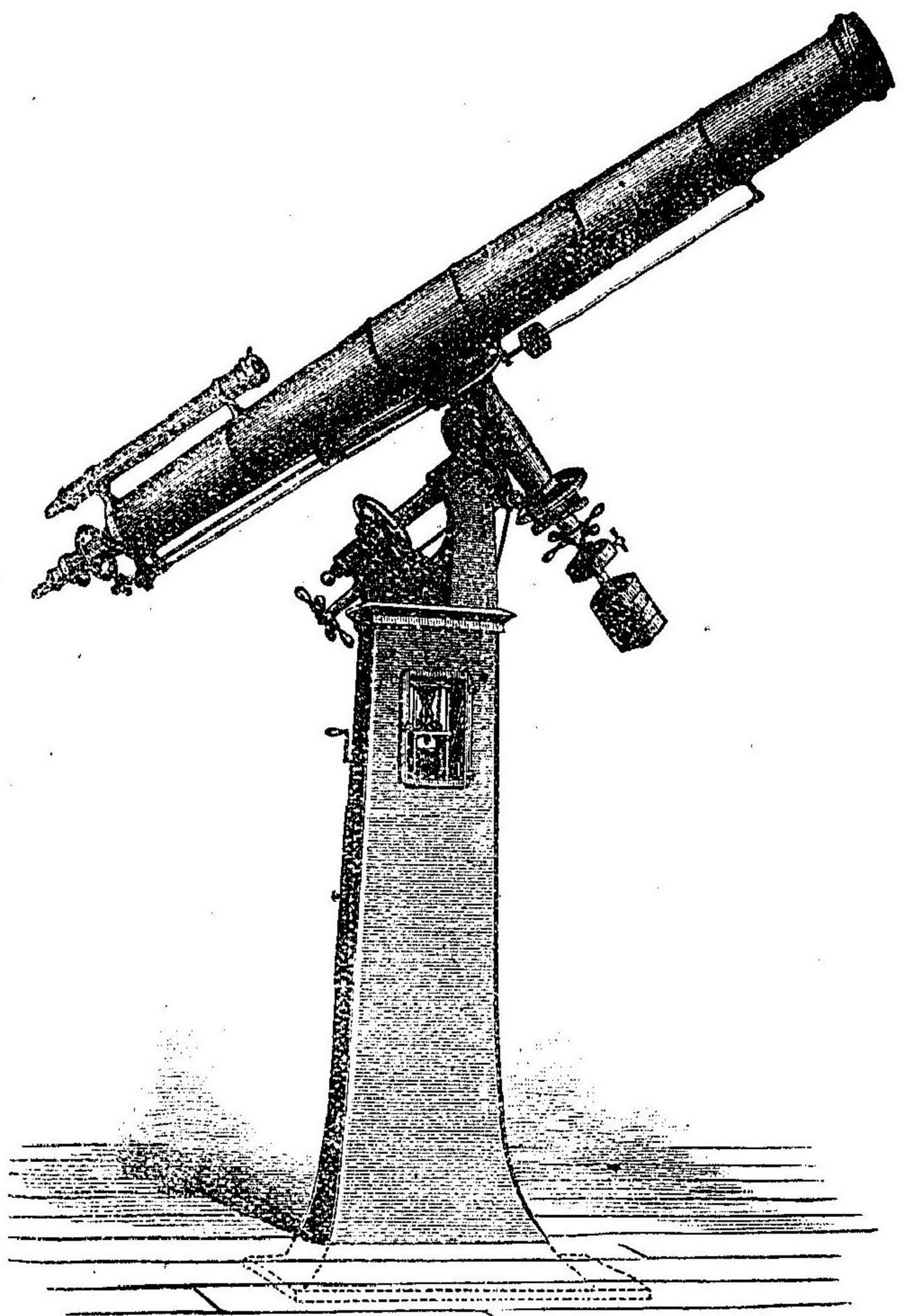
三十八 子午儀 子午儀とは經緯儀の軸に目盛りしたる金屬の圓ありて望
 遠鏡と共に旋轉し以て角を測るの用をなす其分割したる度を讀むには四つの
 單筒なる顯微鏡ありて各九十度を隔てゝ存在し而して其四箇の角を平均し以
 て所要の角となし目盛上の誤差をして少なからしむ

吾人は之を用るて各天体の赤緯度を測り或は其天頂距離を測定し又精確な
 る時計を用るて其子午線經過の時を測定す其時を計るの法に二種あり一は同
 時に目と耳とを用うるものにして一方に於ては毎秒時計の打聲を聞き他方に
 於ては星の進行を凝視し以て其蜘蛛絲を通過する時を秒の分數迄精確に計る
 ものなり若し此法に熟達すれば一秒の百分一迄正確に計るとを得るに至る一
 は即ち電氣作用に依る者にして「クロノグラフ」を用うるもの是なり其装置の大
 略を云はんには軸に沿ふて回轉する圓柱に白紙を纏ひ筆をして之に觸れしむ此
 筆は圓柱の回轉に従ふて漸次其所を變ずるものなれば紙上には一の螺旋を畫

く又此筆は電氣「マガネ」の仕懸に依て電流の切るゝ時は吸引せられ螺線上に一の破線を書き而して電流は毎秒時計の振子に依りて切らるゝのみならず又観測者をして任意に之を切るとを得せしむ而して毎秒時計に依りて印せられたる破線の螺線上に於ける距離は一様にして其印せられたる跡を見れば時計に依りたるや將た観測者に依りたるや直に之を辨別するとを得べし而して星辰經過の際観測者の電流を断絶して紙上に書きたる破線は即ち其經過の時を表示するものなれば之に依て星辰經過の時を測定するなり

子午儀を用んとすれば先づ其地の天頂點を定むるを要す天頂點を定むるには之に相當なる足下點を知らざるべからず今水銀盤を取りて之を子午儀の下に置き子午儀を回轉して之を下方に向はしめ望遠鏡に依り水銀盤面を望めば望遠鏡内の蜘蛛線より出づる光は水銀面の爲めに反射せられて再び望遠鏡内に來りて像を作るべし若し此像にして眞の蜘蛛線と能く符合するときは望遠鏡の視線は地平面たる水銀面に垂直なるを以て望遠鏡は常に足下點に向ふなり是に於て目盛りしたる圓板上の度數を讀めば其度數は即ち足下點を表示す

第十二圖



る度數なるべし是に依りて天頂點北極點等を知り又星辰の赤緯北極距離及び天頂距離等を知るなり
故に子午儀は各天躰の二軸式を知る用をなす
三十九
赤道儀 此器械は子午面内にのみ動くものに
あらず各天躰を退ふて

観測するを得べきものなり

堅固なる鐵柱上に一軸あり之を北極軸と云ふ此軸は望遠鏡をして回轉すべからむのみならず尙ほ自ら子午面内に於て自由に動く者なれば先づ之を動かし地軸と平行ならしむべし而して北極軸の上端に一軸あり之を赤緯軸と稱す此軸は北極軸に直角にして其軸心に沿ふて回轉す望遠鏡は此軸の上端に直角に固着し二軸の回轉に依りて地球上任意の諸點に向け得らるべし

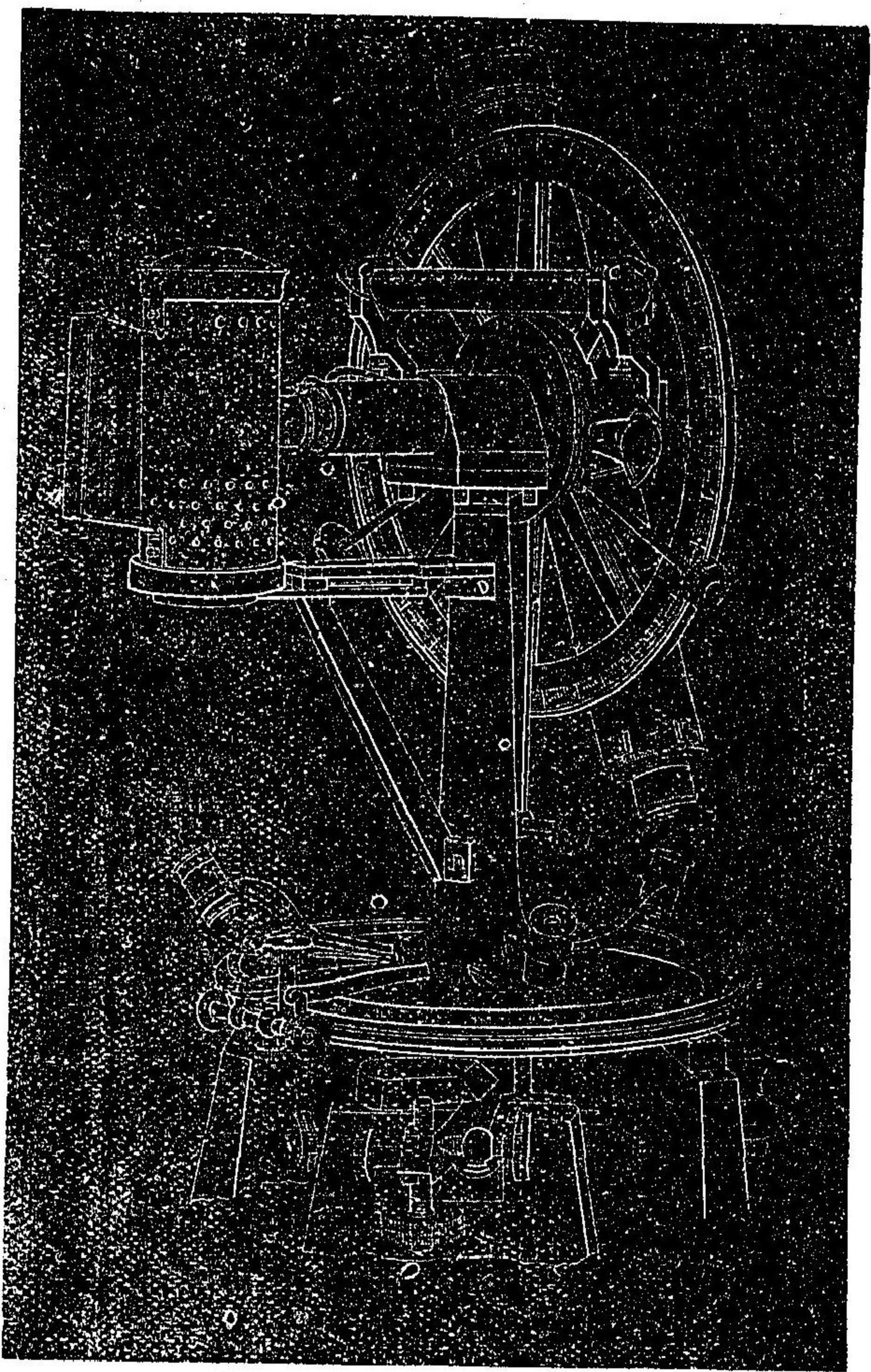
今之を用ゐて某星を望むときは其赤緯軸の下端に附着せる目盛り板上の度数に依りて其星の赤緯を知るとを得べし而して其の赤經度を知らんと欲せば先づ北極軸の下端に附着せる目盛り板を正しくすべし其圓板上には赤經度に相當して之を二十四時に區分す之と同平面に二つの「ヴァーニヤ」あり一は固着したるものにして一は望遠鏡と共に動くものなり而して固定「ヴァーニヤ」に依りて望遠鏡の位置を知るなり而して観測をなすに先つて圓板を回轉し圓板上に目盛せる赤緯を見て地方恒星時換言すれば其子午線の赤經度を固定「ヴァーニヤ」と一致せしむるを要す而して望遠鏡を回轉して星辰を望み圓板上の度数

を見れば直に其赤緯を知るべし然れども赤道儀は之を子午儀に比すれば其精疎同日の論にあらず従ふて是に依りて測知せられたる赤緯赤經も非常に精確なるものにあらざるなり

四十 地平經儀 是れ即ち高度及び方位を測るものにして其星の經過せし恒星時と其之に依りて測られたる高度及び方位に依りて其星の赤緯赤經を知るとを得るは前已に之を説けり

圖に示せる如く中央に金屬の柱あり其柱上に水平の軸あり其下部の目盛なき「ヴァーニヤ」附の圓盤は中央の金屬柱と共に回轉す而して此圓板を回りたる金屬の圓上に度を劃し以て水平面に於ける角を測るの装置をなす又其水平軸の一端に垂直なる目盛したる圓板あり此圓板は垂直面内に自由に回轉し望遠鏡は軸の一端に固着し軸と共に回轉す今望遠鏡正南に向ふときは水平なる圓板上の度数は零にして其天頂に向ふときは垂直なる圓板上に指示する度数は零度なり故に是を以て某星を望めば一は其天頂距離を指示し一は其方位を指示す

望遠鏡を垂直なる圓板に結着し單に水平面にのみ動かしむるときは吾人は同高度を有する各星を望むを得べく又之を水平なる圓板と結着して單に垂直面にのみ動くべからしめば同一の方位及び之と百八十度の



第十三圖

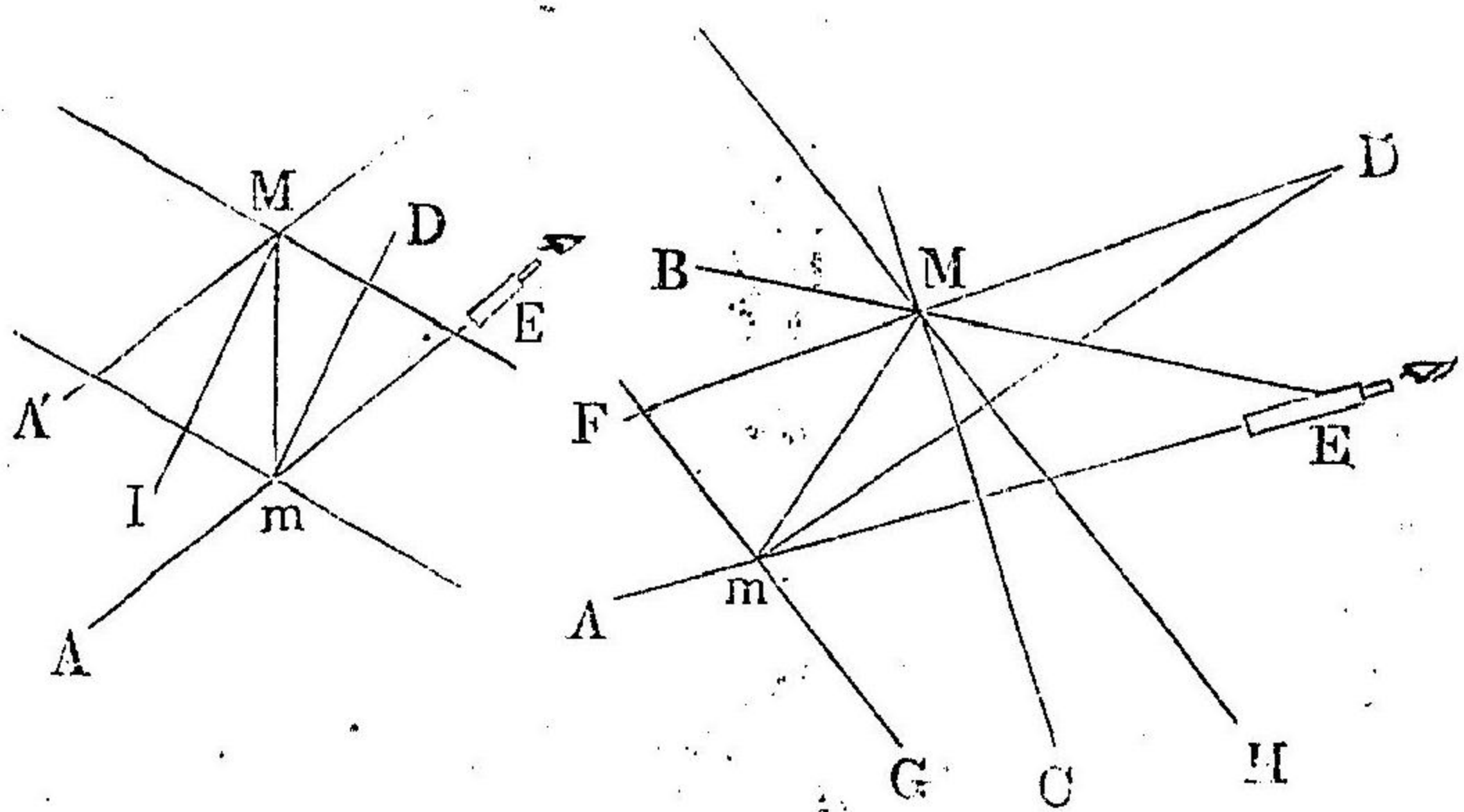
差ある方位内の各星の高度を測るとを得べし是に示せる圖は携帶し得らるべ

き地平經義なり

此器を用ゐて觀測をなさんと欲せば先づ其水準を正し其位置の如何に關せず垂直圓板をして垂直ならしめ水平圓板をして水平ならしむべし然る後に望遠鏡を子午線内に置き「ヴァーニア」を以て水平圓板上の度數を正確に測り又之を天頂に向はしめ其垂直圓板上の度數を正確に測るべし此の如くにして始めて各天幹の觀測をなすとを得べし

四十一 以上數多の器械を見るに皆分度を施したる圓板に依りて角度を測るの用に供せざるとなし若し其れ分度にして均一ならざるときは自ら其之に依て測定せられたる角度の正確を失す故に之を分度するに際しては注意に注意を加へ可成之を均一にすると最も緊要なりとす且又圓板の中心と其圓板の回轉する中心と能く相一致するとなくんば假令其分度にして正確なるも測定したる角度上に誤差を生ずるを免れず是を以て圓板の中心と其運動の中心とを能く符合せしむると是れ亦甚だ緊要なり而して望遠鏡の望物軸（アイシヤンツァク）を糺正するとも亦大なる注意を要す

第十四圖



四十二 六分儀 六分儀は兩點間の角距離を測る器にして其主要の部は分度圓の弧に在り其長さ通常六十度に至る是れ其名稱の因て起る所なり然れども其之を分割するや之を六十に分たずして却て之を百二十に分ち其一に命ずるに一度を以てす而して尙之を小分し「ヴァーニヤ」を以て十秒に至るまで之を測るを得せしむ

圖に於てMは指針にして指鏡Mは分度圓に直角に且其面に垂直なる平面鏡にして指針と共に動く水平鏡mも亦分度圓に直角なる平面鏡にして一所に固定し決して動くとなし此鏡の上半は裏面に塗銀なく透明にして光は自由に通過すEは望遠鏡にして水平鏡に向ふものなれば水平鏡の上半透明なる部分より來る光并びにMに依

て反射せられ再びmに依りて反射せられたる光は各々望遠鏡内に來るべし而して之を用る法は其指針を動かして是等二光線に依て作られたる像を相一致せしむるにあり

今兩點A Bの角距離を測らんとす若しA B二點相合するときはA Bより來る光線は互に平行してM鏡に依て反射せらるゝ光線は指針MO零を示しCはHと一致しNHED平行なるときEに來るべし何となればA Bは觀測者を去ると甚大なればなりEN及びDEを各々NH及びEDに垂直に引くときは此二垂線は互に平行なるを以て

$$\angle FmM = \angle MmD$$

$$\angle BmM = 2\angle mM4 = 2\angle MmD = \angle MmE$$

なるを以てなり然るに圖に於けるが如くA B二點相距りてEに於て某角を有するときは指針はHを去つてCに來り某角度を示すべし然るにAより來る光は鏡mの上半を通過してBより來る光は鏡M及びmに依て反射せられ其方向相合す今MOに垂直にMFをmに垂直にEDを引きDに會せしむ

$$\begin{aligned} \angle B M m &= \angle B E A + \angle M m E \\ &= 2 \angle F M m. \\ \text{然るに } 2 \angle F M m &= 2 \angle M D m + 2 \angle M m D \\ &= 2 \angle H M C + \angle M m E \\ \therefore \angle B E A &= 2 \angle H M C \end{aligned}$$

なるを以て指針は A B の角距離の半のみ回轉せしを知るなり故に分度圓上半度を以て一度となすときは是を二分するの煩なし之れ其目盛りの異なる所以なり

四十三 分光器 以上諸種の器械は皆角測に要するものにして各天体の位置を知るに必要なり而して今將に説かんとする處のものは其性質換言すれば其之を組成する所の物質を研究し及び其運動の幾分を研究するに必要な者にして即ち分光器及び寫真器是なり

光が三稜鏡を通過するときには分解して一帯の「スペクトル」を生すべし之を分光と云ふ分光器は此理に基きて作られたるものにして其分光を大ならしむる

が爲めに通常三四の三稜鏡を用ゐる其分光に依りて生じたる「スペクトル」を望むに小なる望遠鏡を以てす

人若し分光器を用ゐて燈火を望むときは連続したる七色を見るべしと雖ども今燈光に投ずるに食鹽の一片を以てせば此連続したる七色中黄色の部分に光輝一層他より甚しき二線を認むべし又水素を取りて之を燃焼せしめば同じく七色中に輝きたる數線を認むべし而して此等の各線は其物を異にするに従つて同じからずして實に其物質の何たるを表明するものなり故に天体の「スペクトル」を取りて之を吾人の知得したる「スペクトル」に比較審査するときには其天体の有する各物質を知るとを得るなり

此の如く天体の化學的性質を研究し得るの外尙ほ其運動に關する事をも知るとを得べし而して天体の運動若し天球上の位置を變ずるとなく唯だ其距離を變じ或は吾人に近づき時に或は遠かるも吾人は天体を望んで其運動を知るに由なく獨り空しく之を一定不易の位置を占むるものと考ふるの外なかるべし然るに幸にして分光器は此運動を吾人に報知して遺す所なし凡そ此の如き

星辰の劇烈なる運動に依りて之より發し來る所の光に於ける影響は恰も汽笛を鳴して汽車の停車場に來往するとき音響上に調子の高低を生ずるとど能く相類似す故に此の如き劇烈なる運動は亦全く光の振動に變化を來し従ふて其屈折度を變じ以て七色中黒線の位置をして時に或は赤色の方に時に或は紫色の方に偏倚せしむ而して其赤色の方に偏するときは天躰の我に近くの證にして紫色の方に偏するは其我を去るのときなり又人工に依り偏倚の度と其速力の關係を定めば各天躰より得たる「スペクトル」に於ける黒線の偏倚を比較して天躰運動の有様を知るとを得べし

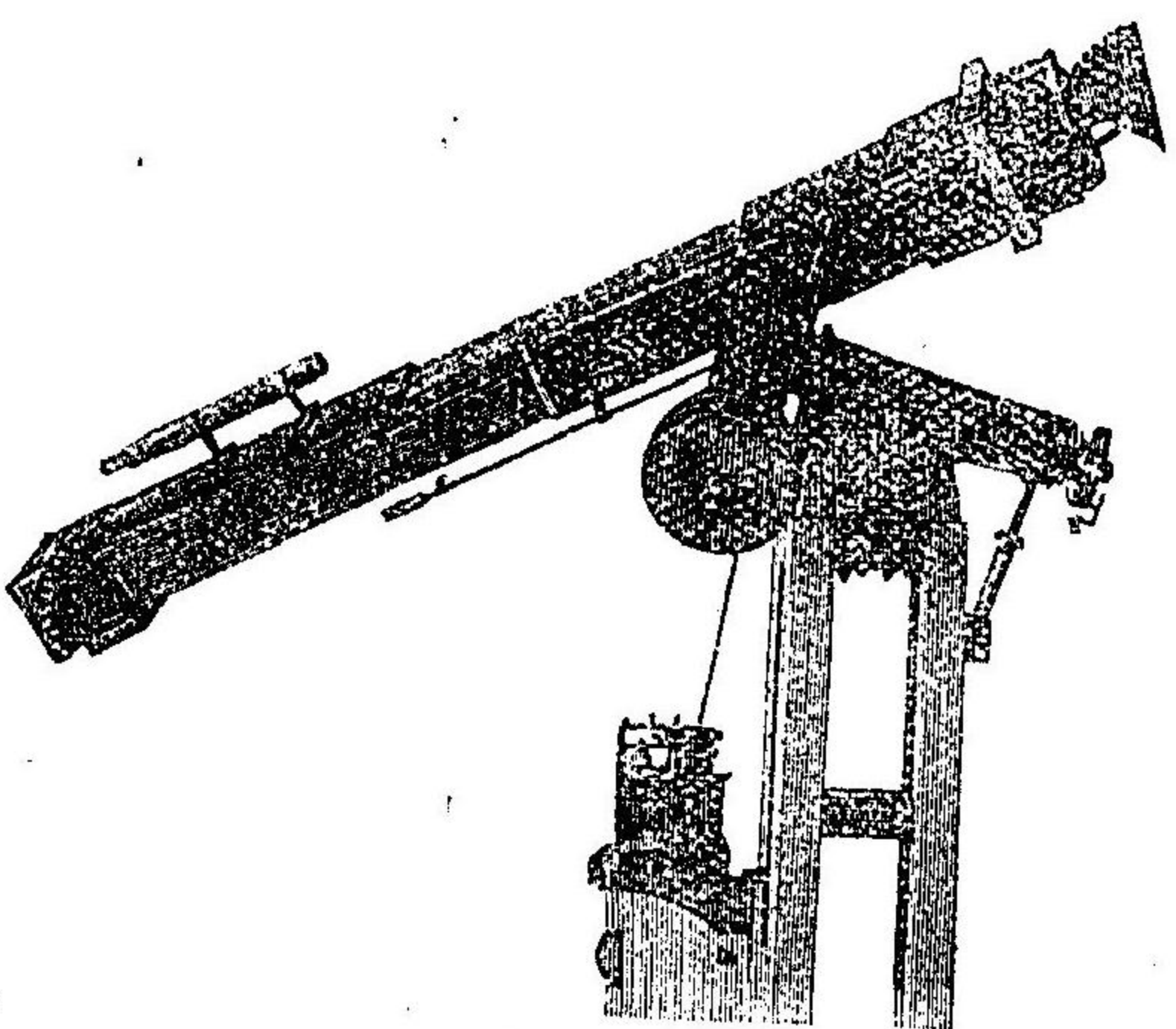
太陽及び諸惑星は皆圓面を有するを以て其分光に依て生じたる「スペクトル」は幅廣きものなりと雖ども恒星は單に一點として見ゆる者なれば假令分光するも幅廣き「スペクトル」を作らずして一條の線を作るべし而して此の如き一條の線に於ては之を研究する甚困難なるを以て之を幅廣きものとなさざるべからず

四十四 恒星に用うる分光器は多くは十四「インチ」許の燒點距離を有する圓

柱狀の「平高レンズ」を細隙の方向に直角に其前に置き「筒先レンズ」より來る收斂光線を分解して之に幅を與へしむ而して細隙の後には「色消レンズ」ありて其細隙よりの距離は恰も其「レンズ」の燒點距離に等し

分光部は屈折角六十度を有する「フリント、ガラス」の三稜鏡にして其之に依りて生じたる「スペクトル」は之を「マイクロメートル、チヂ」に依りて任意の處に動かすとを得べき小なる望遠鏡を以て望むの装置となす而して別に一物躰より發する光をして細隙の一半を通過せしめ以て恒星の「スペクトル」と直に比較し易からしむ然れども最も便利なる分光器は直視分光器とす即ち三稜鏡に入り來る光線の方向と、其之を去る光線の方向と一直線上にある者にして通常三稜鏡を作るに一半は「フリント、ガラス」を用ひ他の一半ハ「クラウン、ガラス」を用ひ以て光線をして假令分光するも其方向の偏倚を生ずるとなからしむ此理は即ち色消「レンズ」に於ける理に甚髣髴たり

四十五 寫真器 各恒星の「スペクトル」を研究するに最も便利なるは寫真器にして其法は大なる三稜鏡を望遠鏡筒先「レンズ」の前に置き恒星の「スペクトル」



第十五圖

をして子午線内にあらしむべし而して「スペクトル」を研究するに用うる望遠鏡は時計仕懸に依りて時と共に回轉する赤道儀なるを以て其時計にして正しからんには寫真板上には單に一線の「スペクトル」を得べし然れども此の如き「スペクトル」は甚だ明かならざれば之が研究は容易の業にあらず故に少しの誤差を生ずべき時計仕懸に依りて望遠鏡を回轉せしむるときは之に反して幅廣き「スペクトル」を得べし此の如くせば一箇の寫真板上に二百以上の恒星の「スペクトル」を取り得らるべし圖に示せるものは即ち其装置なり

望遠鏡及び分光器の研究は單に可視光線を用うるものなりと雖も化學的光線の存在は寫真術を星學研究に應用せしめ大に其進歩を助くるに至れり天躰

の寫真は「ドラルー」氏及び「ルザーフォード」氏始めて之をなせしより以來大に進歩して今日は殆んど完全の域に達せり其法は寫真板を反射望遠鏡若くは屈折望遠鏡の燒點に置き以て天躰の眞を寫し其取り得られたる寫真を擴大するの法なり「ドラルー」氏は直徑殆んど一「インチ」四分の一の月の寫真を取り文を三「フット」の大きに擴大したりしが毫も缺點なきものを得たり英國餘林の司天臺に於ては時を定めて大陽の寫真を取り以て之を研究す若し當時曇天なるときは之を印度及び「モリタス」に於て全一方法に依りて取りたるものと相比較審査し以て大陽の製圖をなす

現今に於ては寫真術は天躰を研究する最要の武器となりて吾人は望遠鏡に依りて發見する能はざる火雲星さへも是に依て發見し又十六等星の如き微小のものも尙且明に見るとを得るに至れり而して其寫し得たる像は實に明確なるものなれば數萬年の後之を現時のものと比較せば其變幻蓋し思半ばに過ぐるとあらん

四十六「クロノメター」及び時計 天躰の位置を測定するに際して假令ひ其角

度如何に精確なるも其之に對する時間にして確かならずんば是れ所謂九仞の功を一篋に缺くものにして其之より得たる結果は終に誤謬のものたるを免れず故に時を計るの器は最も正確なるを要す然り而して以上諸種の器を用うれば星學上角度測定の際一秒の如き微細の角すら正確に之を測ること蓋し容易の業なれば時間に於ても之に相當にして一秒の十五分一迄少なくも正確なる器械の必要なるは理の當に然るべき所なり然れば天躰觀測に用うる時計は其速度均一にして一日間に生ずる誤差僅に一秒の百分の二三に止まるものならざるべからず然れども若し其速度にして均一なるときは時計上の一時間は眞の一時間にあらずとするも計算に依りて眞正の時間を知るを得べし之を要するに時計製作の緊要なる點は速度の均一なるにあり

「クロノメター」は此主義に基きて作られたる者にして振子振動の速度は寒暖の差に依りて大なる影響を受くるとなく以て終始時間の正確を有するものなり

以上諸種の器械は皆悉く天躰觀測に必要なものにして其一を捨て、事を

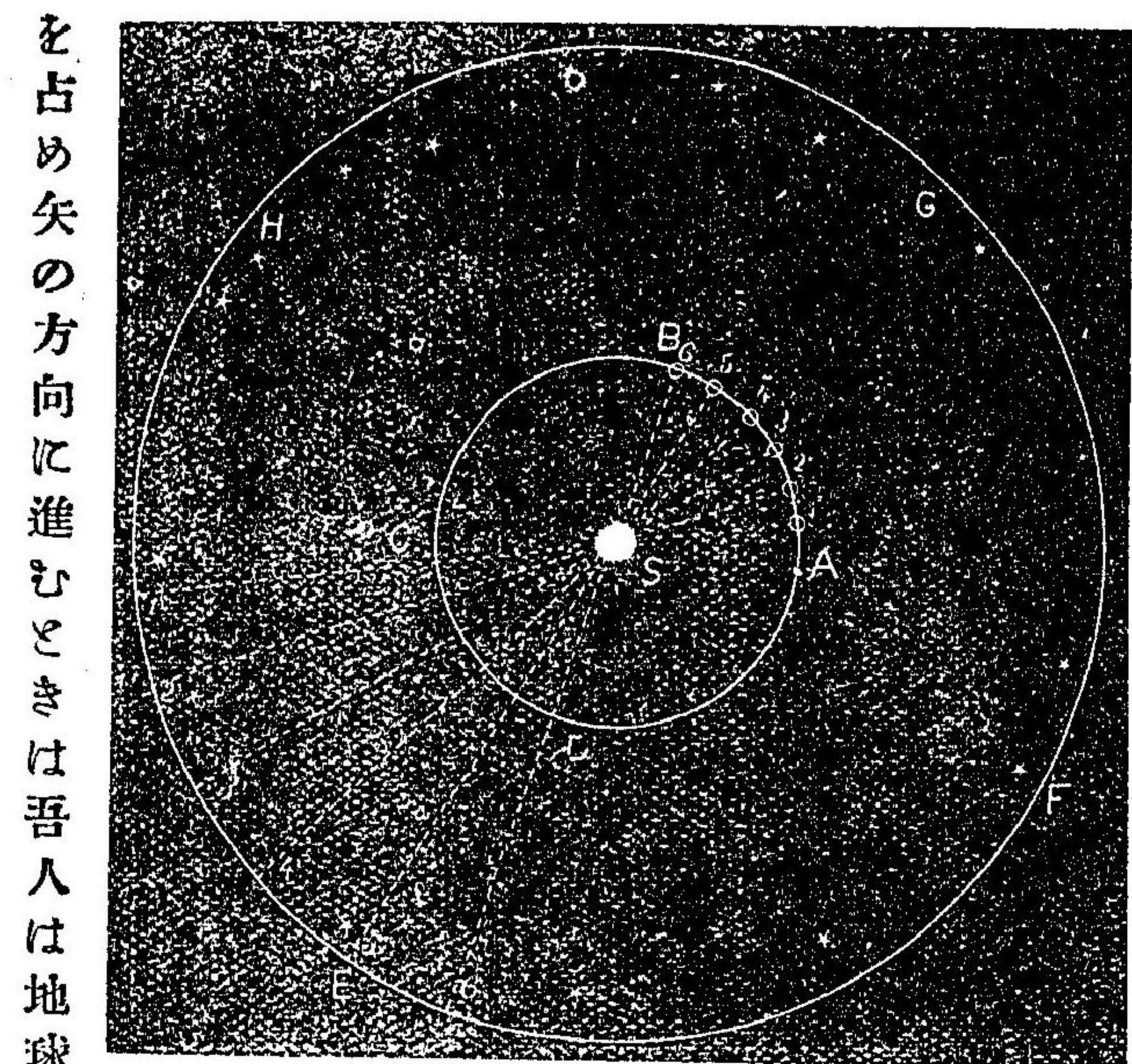
完ふすると能はず是に依りて天躰の性質形狀及び其運動を研究するものなれば其大切なると吾が言を待たず

第四章 地球の運動

四十七 夜間仰ひて大空を望めば光輝燦然たる無數の星辰の間に在りて其光り輝くとなく歳月の進むに従ひ靜に其位置を變ずる數星を見るべし之を惑星と云ふ我地球を回る月も亦此の群に屬し古人は已に水星より土星に至り七惑星(月を含む)を知れり而して是等の數星は肉眼を用ひて見るとを得たりしが爾來星學の進むに従ひ望遠鏡の力を假りて尙ほ幾多の惑星の存するを發見せり

恒星は天球上始終一定の位置を占め敢て變ずるとなし惑星は然らず各恒星の位置に依りて之を檢するに時に或は前進し時に或は後退し或は近く我地球に來り或は遠く地球を去り一定の位置を保つとなし而して是等幾多の惑星は全一系統に屬し皆太陽を中心として其軌道を一周す其他尙ほ一惑星を回りつ

之に伴ふて太陽を一周するものあり之れを衛星と云ふ而して此系統を太陽系と云ふ惑星中尤も太陽に近きものは水星にして之を去る遠きものは海王星なり



を占め矢の方向に進むときは吾人は地球上にありて太陽を望み自己の運行を

四十八 一年を以て地球の回轉すること 太陽は晨に東山を出で夕に西海に没し始終變ずるとなしと雖も能く之を見るときは時日の進むに従ふて天球上其位置を異にするものにして古人も亦已に之を知れり而して此運動たるや太陽の我地球を一周するにあらず地球の太陽を一周するに基くものなり今太陽Sにありて地球は其軌道上順次1 2 3 4 5 6の位置

第十六圖

忘却し却て地球1にあるときは太陽は1Sの引長線の天球を貫く點1'にあるが如く地球2に在るときは2'にあるが如く順次3' 4' 5' 6'等の位置を占め我地球の運行に反對に運轉するが如く感ずべし加之若し地球の運行速かなるときは従ふて太陽の運行は速かなるが如く地球の運行遅きときは太陽の運行速きが如く感ずべし蓋し運動は相對なるを以て地球の眞運行と太陽の視運動とは兩者悉く相一致し獨り其方向相反するのみ故に地球運轉の狀況を研究せんと欲せば太陽の視運動を研究すれば足れり而して晝間は太陽の光赫々として仰ひて蒼天に群星を望むと能はず何に依りてか其位置の變化を知るとを得んや是れ自ら起るべき疑問なるべし

今地球1にあるときは太陽は恰も1'にあるべし然るに地球は自轉に依り日夜西より東に轉するを以て太陽は曉に東天に顯れ午時天に冲し夕に西海に没す而して太陽1'に在るとき之と百八十度を距て、反對の位置に某恒星ありとすれば太陽將に東天に昇らんとする時は其星は西山に没するを見るべく太陽西海に没する時は之を將に東山の上に望むべし然るに地球2に來るときは太陽

陽は去て²に來り其星を距る百八十度ならざるに至る故に是時に於ては其星は大陽の出沒に伴ふて出沒するとなし却て²と反對の位置にある一星の隱顯するを見るべし爾來歲月の進むに従ふて大陽に反對なる位置は一星より一星に移り遂に再び全一の星に復すべし其間日を経ると殆んど三百六十五日之を恒星年と云ふ

四十九 吾人は已に大陽の位置及び其方向を定むること及び其變することを知れり而して大陽の距離は其角直徑に反比例するものにして直徑の角距離大なるときは其距離小にして角距離小なるときは其距離大なり然るに大陽の角直徑は之を直接に測るとを得るを以て吾人は大陽視運動の軌道の形狀を知るとを得べし即ち其方向に一點より一線を畫き其方向に相當する角直徑の倒數に等しく長さを取るときは其長さは大陽の距離に相當なる長さを表はし其終點は大陽の位置に相當なる點を示す次に同一の點より其次に於ける大陽の方向に平行に一線を畫き之に相當なる角距離の倒數を取れば又其長さは其時に於ける距離に相當なる長さを表し其終點は其位置に相當なる點を示すべし

順次此の如く一年間大陽の位置に相當する線を畫き其長さを取るときは各線の終點は大陽各時の位置を示し此等の諸點を連ね得たる曲線は其運行する軌道を示すべし而して此く如くにして得たる結果を見るに是等の諸線は盡く一平面内にありて其曲線は楕圓を形成し地球は其焦點の一にあり然るに地球の眞運行と大陽の視運行とは全一にして獨り其方向の相反するを以て地球の軌道は大陽の軌道と同じく一平面内にありて大陽を焦點とする楕圓なるを知るべし故に地球と大陽の距離は時に従ふて同じからず其尤も大陽に遠き所を最高點と云ひ其尤も近き所を最卑點と云ふ大陽と此二點は一直線上にありて此直線を高卑線ハイテアフラインと云ふ而して地球に對して之を云ふときは大陽及び諸惑星の地球に尤も遠き所を遠地點と云ひ之に最も近き所を近地點と云ふ

地球軌道の平面を無限に擴張すれば天球と一大圓に於て交るべし此圓を黃道と云ひ又其面をも黃道と云ふ而して大陽を通じて此面に直角に畫ける線为天球と交る所を黃道の極と云ふ是れ即ち大陽系に屬する諸惑星の運動を研究するに便なる黃緯度黃經度を測るに用うるものなり

一物體を太陽より望むとき其占むる位置を太陽に對する位置と云ひ地球より望むとき其占むる位置を地球に對する位置と云ふ故に地球Iにありて太陽I'にあるときはIは太陽に對する地球の位置にしてI'は地球に對する太陽の位置なり

五十 太陽の視運動 若し太陽の軌道にして赤道と一致するときは大陽は常に正東に出て正西に没し同一高度に於て子午線を経過するのみならず晝夜各々十二時なるべしと雖も吾人は時に或は大陽を赤道の北に望み時に或は其南に望むを以て黃道と赤道と一致せずして之に傾斜するを知るなり今猶能く之を説明すべし子午儀及び恒星時の「クロノメートル」を用ゐて太陽を観測せしに三月十九日に於て太陽赤經二十三時五十五分二十三秒赤緯零度三十分南にありて翌二十日には赤經二十三時五十九分二秒赤緯零度六分南又翌日二十一日には赤經零時二分四十秒赤緯零度七分北其翌二十二日には赤經零時六分十九秒赤緯零度四十一分北にありと假定すれば太陽の中心は赤道の南より漸次北に移り二十日と二十一日の間に於て赤道を通過せしを知るべく又比例

に依りて其通過の時と及び其點を知るとを得べし之れ即ち春分點にして星學上主要の點に屬し赤經度も之を基とし黃經度も之に依て計るとは前已に屢々之を説けり

尙ほ太陽の運行を追つて之か觀測を繼續すること六ヶ月なるときは始めは太陽の赤緯漸次増加し殆んど六月二十一日に至りて北方の赤緯最高に達し之れより漸次減少し遂に九月二十二日頃に至りて復ひ赤道を横り北より南に移る其交點を秋分點と云ふ秋分點は春分點を距ること百八十度にして正に同一直線上にあり而して太陽の秋分點を通過するや其赤緯度は漸次南方に増加し殆んど十二月二十二日に至りて其最高に達し然る後復ひ漸次減少し終に春分點に歸る其北方緯度最高點を夏至點と云ひ春分點より赤經九十度の所にあり又其南方赤緯度最高點を冬至點と云ひ赤經二百七十度の所にあり而して二點は春分秋分二點の關係と同じく正に相對して同一直線の上において各々赤緯殆んど二十三度三十分を有す

我日本の如き地に在て太陽の赤緯北方に於て最大なるときは其高度最高に

して南方に於て最大なるときは其高度最小なり故に子午儀を用ゐて日々太陽の高度を觀測するときには其最高のときは大陽夏至點にありて其最小のときは大陽冬至點にあり而して此二高度の平均は即ち赤道の位置を與ふるものなり

五十一 二分點と二至點とを測定するとは往昔重要なる問題たりしが如し而して殆んど千九百年前あれきさんどりヤの某星學者の分點測定に用ゐたる器は隨分面白き工夫のものなり即ち其器は金屬の環にして之を用ふるには其平面を北極に直角ならしむ換言すれば其平面をして其地の緯度と等しき角度を以て水平に傾斜せしめ其平面の水平面と交叉する點をして正東正西たらしむ然るときは其平面は明に赤道面なるを以て大陽來て此平面内にあるときは正に分點の上にあるを知るべし然るに大陽若し此平面内にあるときは環に依りて生ぜらるべき影は又全一平面内にあるが故に環の上部の影は其下部に落ち其全部を蔽ふて過不足なし若し大陽にして同一平面内にあらざるときは其影は横に下部に投ずるを以て環の下部と一致することなし是に依りて大陽の分點に來るの時を測れり又一法あり支那等に於て用ゐたるものにして尖頂を

有する一物を垂直に立て之に依りて生ずる像影を日々測定し大陽の最大高度と其最小高度とを測り其間の角を二分して分點の位置を定む蓋し大陽の高度最大なるときは其影尤も短く其高度最小なるときは其影尤も長し而して大陽の方向は物躰の長さとその影の長さを計り三角法に依りて之を算出することを得可し

五十二 大陽の軌道を測定する此方法は彼の恒星に對する位置の變化を見て之れを定むるの方法と大に趣を異にし其間何等の關係あることなし蓋し大陽の軌道を測定するに全く相全じからざる二法あり一は即ち經緯儀と恒星時の時計を用ひて大陽の位置を觀測し之を各恒星の位置と比較し天球上全一點に歸來したるや否やを研究し其周期を尋ねるものにして一は即ち大陽の高度を測り大陽の春分點より出で復び春分點に歸るを見て其一周を終るものとなすものなり故に前法に依るときは大陽の一周は天球上眞の一周なりと雖も後法に依るときは決して然らず何となれば春分點は歳月と共に漸次其位置を變ずるを以てなり其理由の如きは後條に至りて之を説かん

五十三 天宮及び其區域 黃道の南北に各々殆んど八度を隔てたる圈を畫き此二圈に依りて包有せられたる區域を十二に分つ故に各區域は十六度の幅と三十度の長さを有する天球上の一區域にして古來星辰の位置を示すに用ゐたり而して其基點は春分點なり今之れが名を示さん



而して是等諸宮の區域は天球に於ける同名を以する星群の區域と殆んど一致すも雖も全然相符合するにあらず是れ蓋し分點變移に基因せるものなり

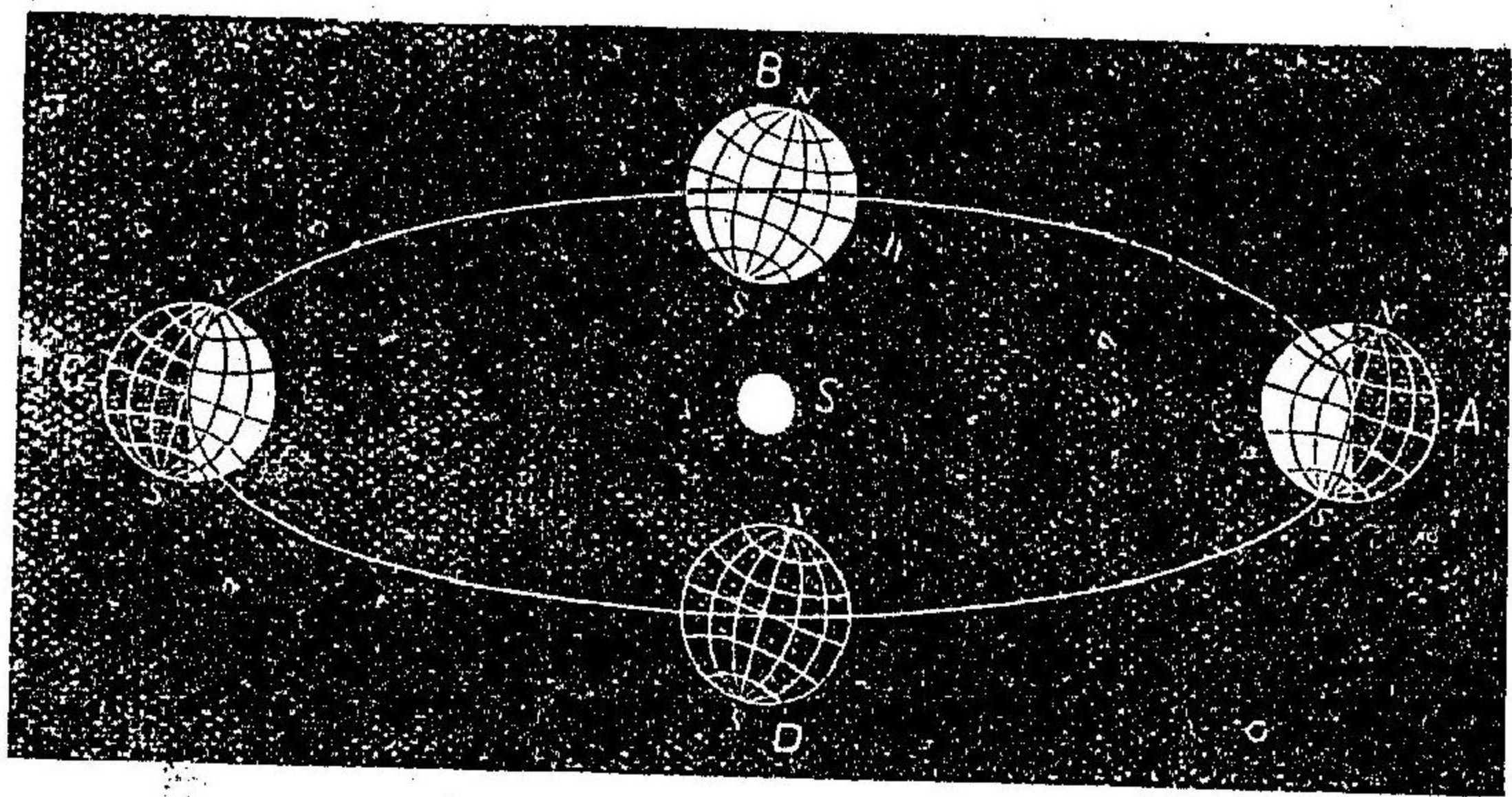
五十四 黃道の傾斜 太陽夏至點にあるときは其赤緯殆んど二十三度三分北にして其冬至點にあるとき又全しく二十三度三分南なるとは前已に之を説けり是れ實に黃道の赤道に傾斜すると殆んど二十三度三分なるを示す所以にして此角を稱して黃道の傾斜と云ふ之を測る法は甚だ單簡にして太陽の北方に於ける最大赤緯と南方に於ける最大赤緯を測るにあり若し其觀測に

して正確なるときは其北方に於ける値と南方に於ける價と常に全く相一致すべしと雖も種々の原因に依り常に同一の値を得ると難し故に屢々之れが觀測をなし其平均を取り黃道の傾斜を定むべし

且つ夫れ黃道の傾斜は一定不變のものにあらず各惑星間の引力の爲めに變し一年に殆んど四十七秒宛減少す然れども其減少するや又無限に繼續するにあらず數千年の後又漸次増加す詳に之を言へば黃道の傾斜は一定の限界の間に増減す

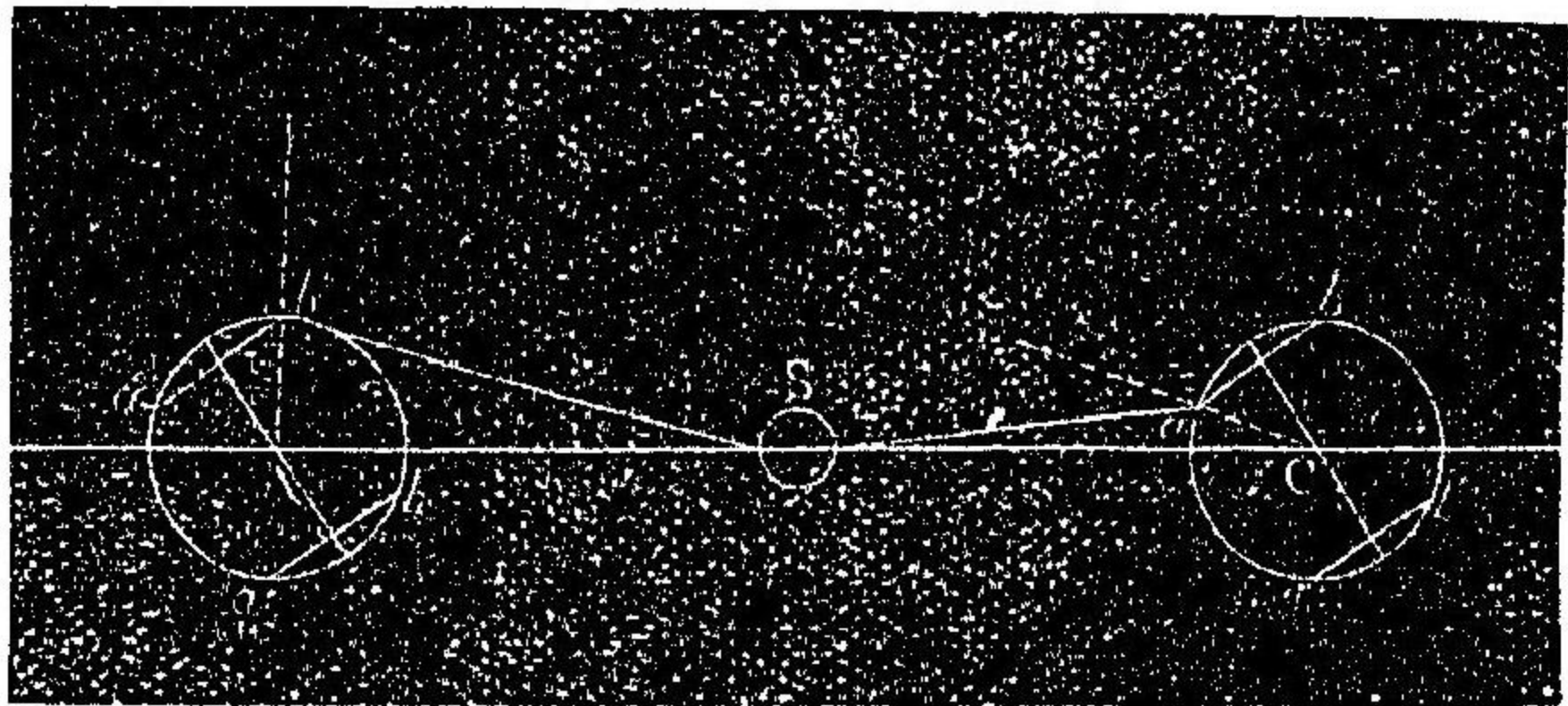
五十五 期節 地球の一周に依り期節の變化を論ずるに先ち地軸の方向に就て一言せんとす天球上の極は地軸を引長したる一直線の天球を貫ける處にして其赤道は地軸に直角なる地球赤道面を擴張して天球と交る處なれば天球の兩極と赤道とは地軸の方向にして變ずるとなくんば始終同じかるべし従ふて星辰の此等に對する天球上の位置も亦變ずるとなかるべし而して一年間觀測の結果に依れば天球極の各星辰に對する所在は一定不變のものにあらず然れども其變化たる甚だ微なるを以て期節の變化を論ずるに當りては地軸は常

第十七圖



に同一方位に向ふものとすも決して不都合なかるべし
 Sを太陽としA B C Dを以て地球の至點及び分點の位置とすNを地軸の方向としNを北極としSを南極とす然るに天球の極は一年間之れを各恒星位置に比するに常に同一なるを以て地軸の方向は其軌道の各所に於て常に平行なり而して黄道の傾斜は二十三度三十分なるを以て地軸の黄道に對する傾斜は二十三度三十分なると明なり今A C Sを通し地軸を含んて一の平面を畫くときは此位置に於ける地球及び太陽の截斷圖を得べし而してAに於ては地軸は太陽に反して傾斜の極に達し太陽の北極距離は百十三度三十分なり又Cに於ては地軸は太陽に向ふて傾斜の極に達し太陽の北極距離

第十八圖



は六十六度三十分なり今Pを以て北半球に於ける同緯度を表しQを以て南半球に於ける同緯度を示し點線を以て天頂の方向を示せばAの北半球Pに於て點線との角はCの北半球Pに於て之に相當する角よりも大なるを見るべし即ちCに於ては太陽の高度大にしてAに於ては小なり之に反して南半球のQに於ては正に前者と相反す故に地球Aにあるときは北半球は冬にして南半球は夏なり又Cにあるときは北半球は夏にして南半球は冬なり
 今又B C Sを通じて截面を畫くときは地軸はB D線と直角をなす故に地球B Dに在るときは地球上の同緯度に於ては太陽を同一高度に望むべし故にB D二所に於ては温度殆んど相等し(假令種々の原因に依りて差あるも)くBは即ち春分點にしてDは即ち秋分點なり
 加之太陽は僅に地球の半面を照し地球は二十四時間にして一轉するが故に

地球軌道の各所に従ふて晝夜長短相同じからず今地球Aにあるときは北半球に於ては晝短くして夜長く南半球に於ては之に反して晝長くして夜短し北極を距ること緯度二十三度三十分より以北を於ては日光到達するとなく終日闇黒にして南半球に於て同緯度以南は終日日光を受けて白晝なるべし而して赤道は常に晝夜長短の差なし地球若しCにあるときは其狀況全く前者と相反す今地球Bに於けるときは地軸はBのDに直角なるを以て地球上各所に於て決して晝夜長短の別あるとなし

今赤道より極に至る各地に於て晝間最長の時を示さん

緯度		時間	
度	分	時	分
0	0	12	00
16	44	13	06
30	48	14	12
41	24	15	18
65	48	22	00
66	21	23	06
66	32	24	12

月

49	2	16	69	23	01
54	31	17	76	51	02
58	27	18	73	40	03
61	19	19	78	11	04
63	23	20	84	5	05
64	50	21	90	0	06

實に期節の變化と晝夜長短の起るは黃道傾斜の爲めに太陽の北極距離に變化を生ずるに依るなり

五十六 地球は斯く一年を以て太陽を一周するの外尙ほ日夜自轉するものなり然れども此運動は前已に之を詳述せしを以て今又茲に之を贅せず

第五章 諸惑星ノ運動論

第一 諸惑星ノ視運動

五十七 太陽系に屬する惑星は左の諸星と及び之に屬する衛星なり

太陽 ☉ 水星 ♀ 金星 ♀ 地球 ⊕ 若くは ♀ 小遊星

火星 ♂ 木星 ♃ 土星 ♄ 天王星 ♅ 海王星 ♆

小遊星は圓を以て數字を包み之を示す假令へは 100 の如し

而して此等の諸惑星は地球の自轉に依りて恒星と同じく東山に出て、漸次其高度を増し遂に吾人の子午線を經過して後又漸次其高度を減し西天に没す然れども其天球上に於ける運動は各恒星の如く單一なるにあらざ地球の一周及び自己の運動の結果に依り甚た複雑なり

五十八 左圖は諸惑星の大陽を一周するを示す各惑星は皆異りたる速度を以て運行し各惑星間の距離は常に變するものなり而して地球は是等の諸惑星

第十九圖



第一編 第五章 諸惑星の運動論

と或は大陽を中間にして一直線上にあるとあり又或は大陽を外にして一直線上にあるとあり地球若し外惑星と一線上にあるとき此二様の場合に於ける距離の差は地球軌道の直径に等しくして殆んど一八六〇〇〇〇〇哩なり然れども各惑星の軌道は楕圓にして大陽は其焦點の一に位するを以て必しも前者の數にあらざ左に地球より各惑星に至る最大及び最小距離の平均數を示す

遊星名	最小距離	最大距離
水星	56,974,000 哩	128,952,000 哩
金星	23,720,000	160,210,000
火星	48,685,000	234,615,000
木星	390,713,000	576,643,000
土星	793,814,000	979,744,000
天王星	1,690,418,000	1,876,348,000
海王星	2,701,035,000	2,886,965,000

五十九 距離の變化に伴ふて其光輝の度及び盈缺の狀況も亦同しからず而し

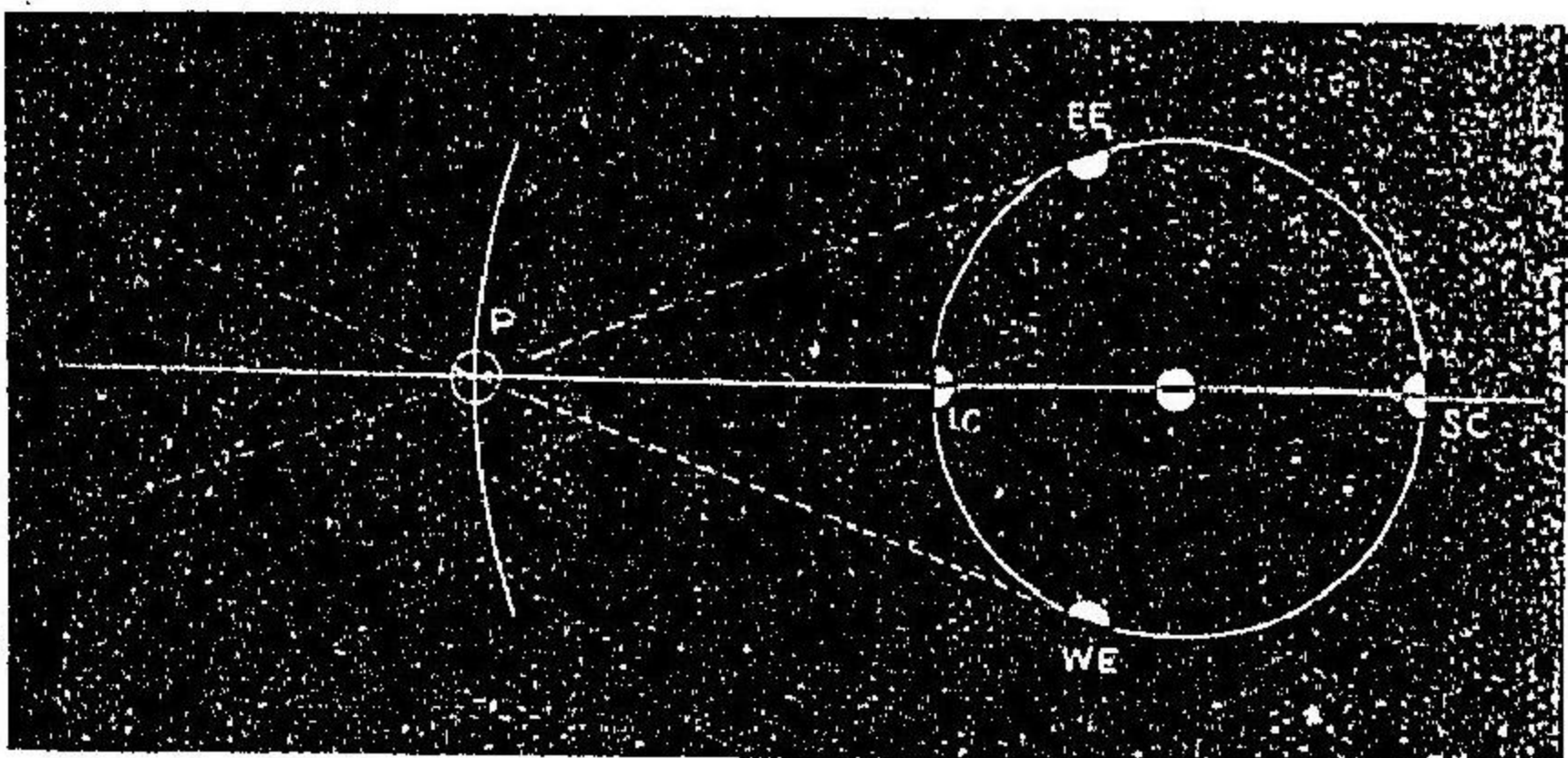
て内惑星と外惑星とに依りて大に狀況を異にするを以て之を區別する必要あり

地球と大陽との間に位する諸惑星を内惑星と云ひ地球より外部に位する諸惑星を外惑星と云ふ水星及び金星は前者に屬し火星より以上海王星に至る諸星は後者に屬す

地球より諸惑星を望むとき若し内惑星にして大陽と全一線上にありて地球と大陽の中間にあるとき之れを退合と云ひ大陽内惑星と地球の中間にあるとき之れを順合と云ふ又外惑星の地球及び大陽と一直線にあるとき大陽若し外惑星と地球との中間に位するときは之を合伏と云ひ地球其中間に位するときは之を衝と云ふ

六十 離日ヘリオン及び留 吾人若し大陽に在て諸惑星の運行を観るときは皆悉く同一方向に異なりたる速度を以て大陽を一周するを見るべしと雖ども吾人は日夜運行する地球にありて之を観測するを以て諸惑星の運動甚た複雑なるのみならず其星の如何に依て之を観測するに難易の別あり而して外惑星に屬す

第二十圖



る各星は時に大陽に反する位置を占むるを以て夜間殆んど常に其運動の景状を詳にするを得べしと雖も内惑星に在ては然らず此等は殆んど大陽に接近して運行するものにして観測を怠るなくんば吾人は金星水星の漸次大陽より早く出沒し一定の界限に達し而して又大陽に接近し來るを見るべし之れ金星の曉星夕星の稱ある所以なり而して其大陽に對し最大角距離にあるとき之れを昏見若くは晨見と云ふ水星に在ては其離日の度は二十九度にして金星に於ては四十七度なり

第二十圖は内惑星の留及び離日を表するものにしてSは大陽Pは地球なり此圖を一見するときは月に盈缺あるが如く惑星にも亦盈缺を生ずると自から瞭然たるべし今假りに地球を靜止するものとして論ずれば順合に於ては惑星は外部の矢に依て示せる方向に進み其運動は進行的なるも離日の所に至れば一時靜止せるの觀を呈すべし之れを留と名く何とな

れば當時惑星は地球に向ふて進行するを以てなり此より後再び離日に至るまでは左より右に逆行的の運動をなし又離日に至りて一時靜止の觀を呈す地球運行の場合も其状況之に異ならず地球運行の方向は惑星と同一にして其速度小なるを以て唯だ離日より離日に至るに長き時間を要するのみ

六十一 地球より外惑星を望むとき内惑星と同じく一時靜止するの状を呈するとあり然れども其理は前者と同じからず實に外惑星靜止の觀を呈するの時は其星よりして我地球を望めば地球は正に離日の位置にあり今前圖に於てPを外惑星としMを地球とすれば地球の晨見より順合を経て昏見に至る間に外惑星の運動は進行的にして其一たび離日に達するや惑星は一時靜止の状をなす是より再び離日に至る間は其運動逆行的なり而して吾人は外惑星を靜止せるものとして之を論ぜり若し眞に靜止せるものならんには其逆行留順行の時間は各惑星に通じて同じかるべしと雖も各星は常に運轉するを以て順行留逆行の起る決して時を同ふするものにあらず然れども其理に至りては之に異なるとなし

六十二 諸惑星の地球及び太陽に對して同一の位置を占むるに要する時間は其太陽を一周する時間と同じからず何となれば地球亦太陽を一周するを以てなり而して前者を會合周期シンダクペリヤドと云ふ故に會合周期は合伏より合伏に至り順合より順合に至る時間にして次の如し

水星	一一五、八七平均太陽日
金星	五八三、九二
火星	七七九、九四
木星	三九八、八七
土星	三七八、〇九
天王星	三六九、六六
海王星	三六七、四九

六十三 會合周期 は觀測に依りて之を定むるを得べし而して之れを知るときは計算に依りて直に其惑星の周期を知るとを得今内外二惑星の太陽を一周する時間をI及びOとし其會合周期をTとするときは $\frac{360}{I}$ 及び $\frac{360}{O}$

は二惑星の角速度にして其差は二惑星の比較角速度なり即ち内惑星は日々外部の惑星より進むこと $\frac{360}{I} - \frac{360}{O}$ なり然るに此二惑星はT時にして復ひ一直線上に來るを以て $\frac{360}{T}$ は二惑星の比較角速度即日々相分離する角速度なると明なり故に

$$\frac{360}{T} = \frac{360}{I} - \frac{360}{O} \dots\dots\dots(1)$$

即ち $\frac{1}{T} = \frac{1}{I} - \frac{1}{O} \dots\dots\dots(2)$

なり故に若し外惑星の周期Oと及び會合周期Tを知らば直にIを知るべし今外惑星を地球とし内惑星を水星とすれば $T = 115.87$ 日 $O = 365.256$ 日なり然るに

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{I} + \frac{1}{O}$$

なるを以て

$$\frac{1}{115.87} + \frac{1}{365.256} = \frac{1}{I}$$

即ち $I = 87.7$ 日

なるを知るべし今内部の遊星を地球とし外惑星を木星とすれば

$$T = 398.87 \text{ 日}$$

$$O = 365.256 \text{ 日}$$

にして

$$\frac{1}{O} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T}$$

なるを以て

$$\frac{1}{O} = \frac{1}{365.256} - \frac{1}{398.87}$$

$$\text{即ち } \frac{1}{O} = \frac{1}{4332.9}$$

$$\text{即ち } O = 4332.9 \text{ 日}$$

なるを知る

六十四 又此方程式(2)を用ひ二惑星の周期OとTとを知らば會合周期を知るとを得べし地球と火星を以て之を例せん

$$O = 365.256$$

$$O = 686.9$$

なるを以て

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{365.256} - \frac{1}{686.9} = \frac{1}{779.6}$$

$$\text{即ち } T = 779.9$$

なり

六十五 惑星軌道の黄道に對する傾斜 諸惑星の軌道若し黄道と一致するときは惑星は大陽と同一の道を取り順行逆行留の三運動を以て進行すべし然れども其軌道は黄道に傾斜するが故に吾人は時に或は之を黄道の上部に見時に或は之を其下部に望む而して一千八百九十四年に於ける各惑星軌道の黄道に對する傾斜及び正交點の黄經は次の如し

軌道の傾斜角

正交點の黄經度

水星 七度零分五秒

四十五度五十七分

金星 三度二十三分二十九秒

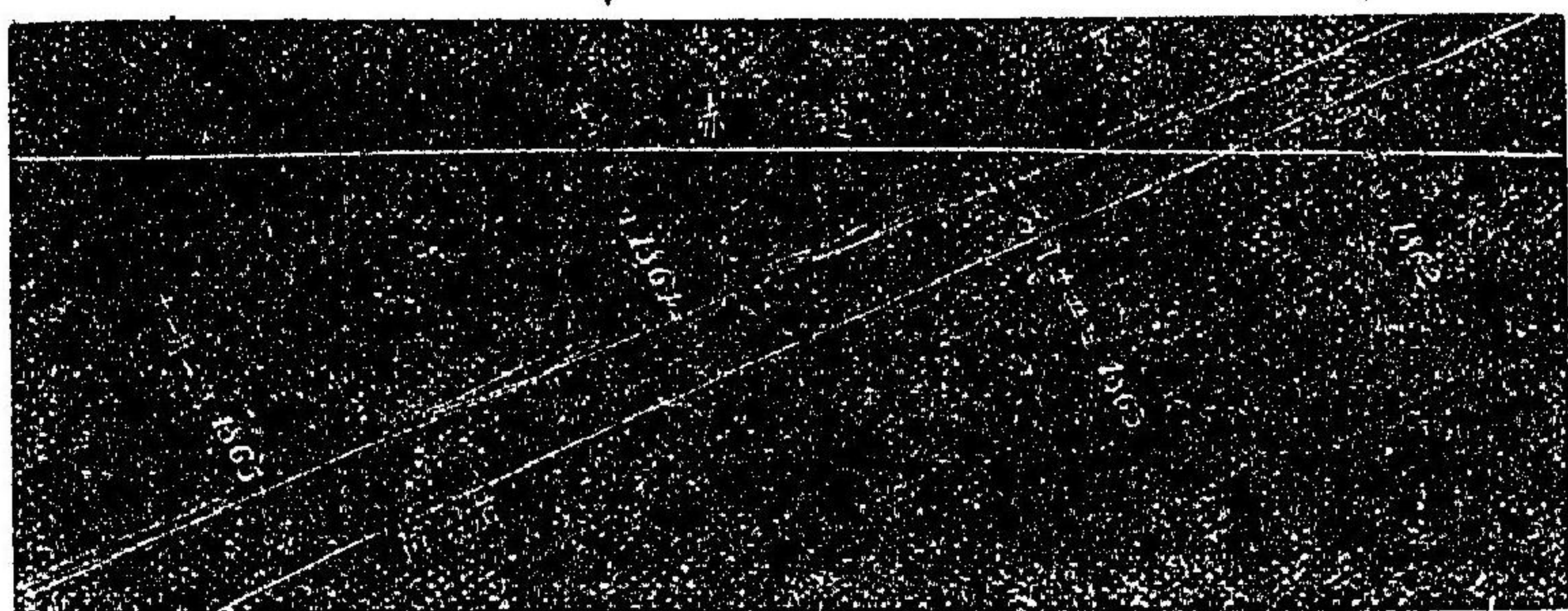
七十四度五十一分

火星	一度五十一分	六秒	四十七度五十九分
木星	一度	十八分五十二秒	九十八度二十五分
土星	二度二十九分三十六秒		百十一度五十六分
天王星	零度四十六分二十八秒		七十二度五十九分
海王星	一度四十六分五十九秒		百三十度
			六分

黄道面に對する惑星の見懸の距離は惑星と地球の距離の大小如何に依るものにして惑星と地球の距離最小なる時は其黄道に對する見懸の距離最大なるとは深慮を要せずして明なり吾人若し太陽に在りて惑星を望めば其位置の黄道に對する關係は一定の規律に従ふべしと雖も吾人は地球と共に日夜運行するが故に諸惑星の位置と黄道の關係は甚だ複雑にして一見して其律を知ると難し而して惑星若し其交軌點にあるときは正に黄道上にあると明なり

六十六 惑星の視運動 吾人は已に云へり惑星は橢圓軌道を畫きて太陽を一周するとを又地球より之を望めば地球の運動に依り其運動に順行留逆行の三者あるとを今其軌道の黄道に傾斜せるに依り各惑星は如何に順行留逆行の

第二十一圖

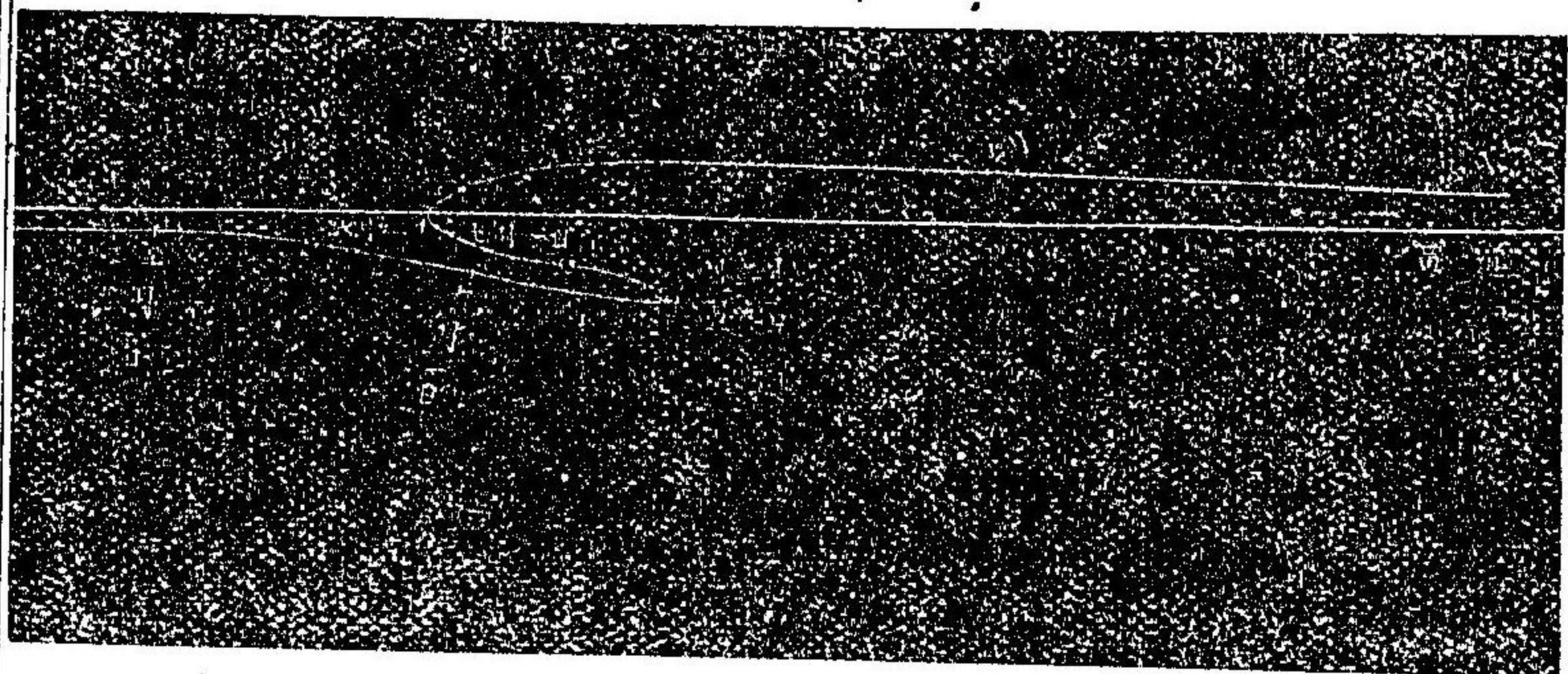


運動をなすやを少しく述べんとす而して金星の運行を以て内惑星の例となし土星の運行を例として外惑星の運行を示さんとす

第二十一圖は一千八百六十八年四月より十月に至る金星運行の跡を示すものにして四月より六月に至る間は金星黄道の北方にありて漸次黄緯を増し之より以後其黄緯漸次減少し遂に六月二十五日に至りて黄道を横過して其下部に顯る其黄道を横過するの際は是れ金星交軌點をあるの時なり然るに此場合に於て留點は交軌點と一致し金星は此より以後逆行し其速度を速め八月九日に至りて再び留の狀を呈す之より以後再び踵を回らして順行的行路を取り其黄緯は漸次減少して金星は再び黄道に接近し來るを見る

又次に示せる圖は一千八百六十三年より一千八百

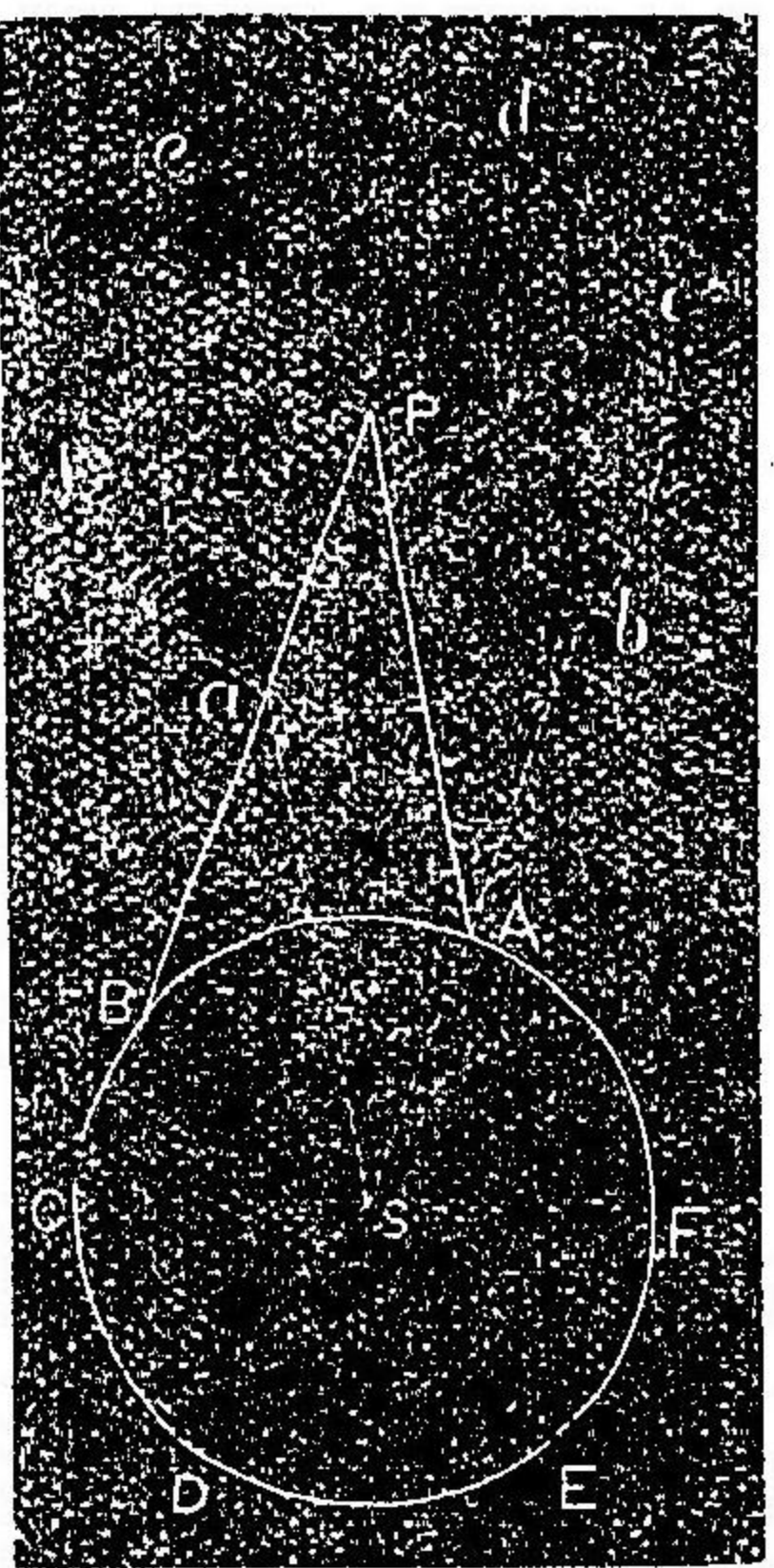
第二十二圖



六十五年に至る三ヶ年間に於ける土星の行路を示すものなり此圖を以て前圖に比較し審査すれば地球と惑星の距離の如何に惑星行路の状況に影響するや否やを知るとを得べし此場合に於ては其運行金星の時に於けるが如く速ならず而して衝より衝に至るの間に必ず一環を書き留逆行順行の三運動をなし且黄道の北方に位し漸次黄緯を増すも赤道に對して漸次下方に赴くを見るべし尙ほ此行路を逐ふて進まは土星は遂に黄道を横斷し其下部に顯はれ同一の運行をなし遂に再び其上部に來るべし

六十七 外擺線の理 此の如く諸惑星の順行逆行留の運動をなすを見て古人は二運動の合成の結果となせり即ち各惑星は一小圓の周を一定の規律に従ひ而も不同の速度を以て運行し此小圓は又大圓に沿ふ

第二十三圖



て地球を一周するものとなせり然れども之れ固より謬説にして其真理に至りては今將に説かんとすSを太陽としA B C D E Fを地球の軌道としPを惑星とす而してPを静止するものとして論すべし今吾人Aに在てPを望むときは吾人は自己の運動を忘却して恰もSより之れを望むが如きの感をなしSよりA Pに平行に且等しく引きたるSa線上のa點に惑星Pの所在を感すべし今又地球BにあるときはB Pに平行に且等しくSよりB Pを引きて惑星Pをb點に望むべし即ち地球AよりBに至る間にPはaよりbに逆行するの觀を呈すべきなり地球尙ほ運行してBよりC Dに至るときは惑星Pはbよりe dに進み地球E Fを経て再びAに來るときは惑星はe fを経て再びaに歸り來るべし故に惑星P若し一處に静止して動くことなくんば地球の一周に依りて惑星Pは同形の圓上に運動するが如き狀を呈すべし然るに惑星Pは一定の所に静止するにあらずして又大陽を一周

するが故に其視運動は是等二箇の運動の合成にして惑星は小圈 *abcdet* を回りつゝ其圓心 *P* は又大陽を一周す而して *cc* を運行するとき其運動逆行的に且速度尤も大にして其他の部分に於ては或は留或は順行の運動をなす

六十八 コパーニカスの地動説 往昔は地球を静止するものとなし諸惑星の運動の如きも皆地球を中心とするものとなし以て之が説明を附したりしも新事實に遇ふ毎に複雑なる假説を加へて之を説明せざるべからざるの困難に陥れりコパーニカスは此の如き謬想を打破して一新説を立て地球及び諸惑星は皆悉く大陽を中心とする圓周上に運動するものとなせり是れ實に星學の大進歩にして此説に依れば諸惑星の視運動の如きも前述の理を以て之を説明し得べしと雖も尙ほ外擺線上の運動をして一定の律に従はしむると能はず種々の複雑なる運動を加へて之を説明せざるべからず之れ氏の惑星の軌道を以て大陽を中心となせる圓周とせしに依るなり實に惑星の軌道は橢圓の圓周なるを以て惑星の視運動も亦橢圓の運動に依りて之を説明するときはその運動の規律一定し來り敢て複雑なる假想を要するとなし是れ即ちケプレルの創めて

發見せる處なり

第二 諸惑星の其運動を論ず

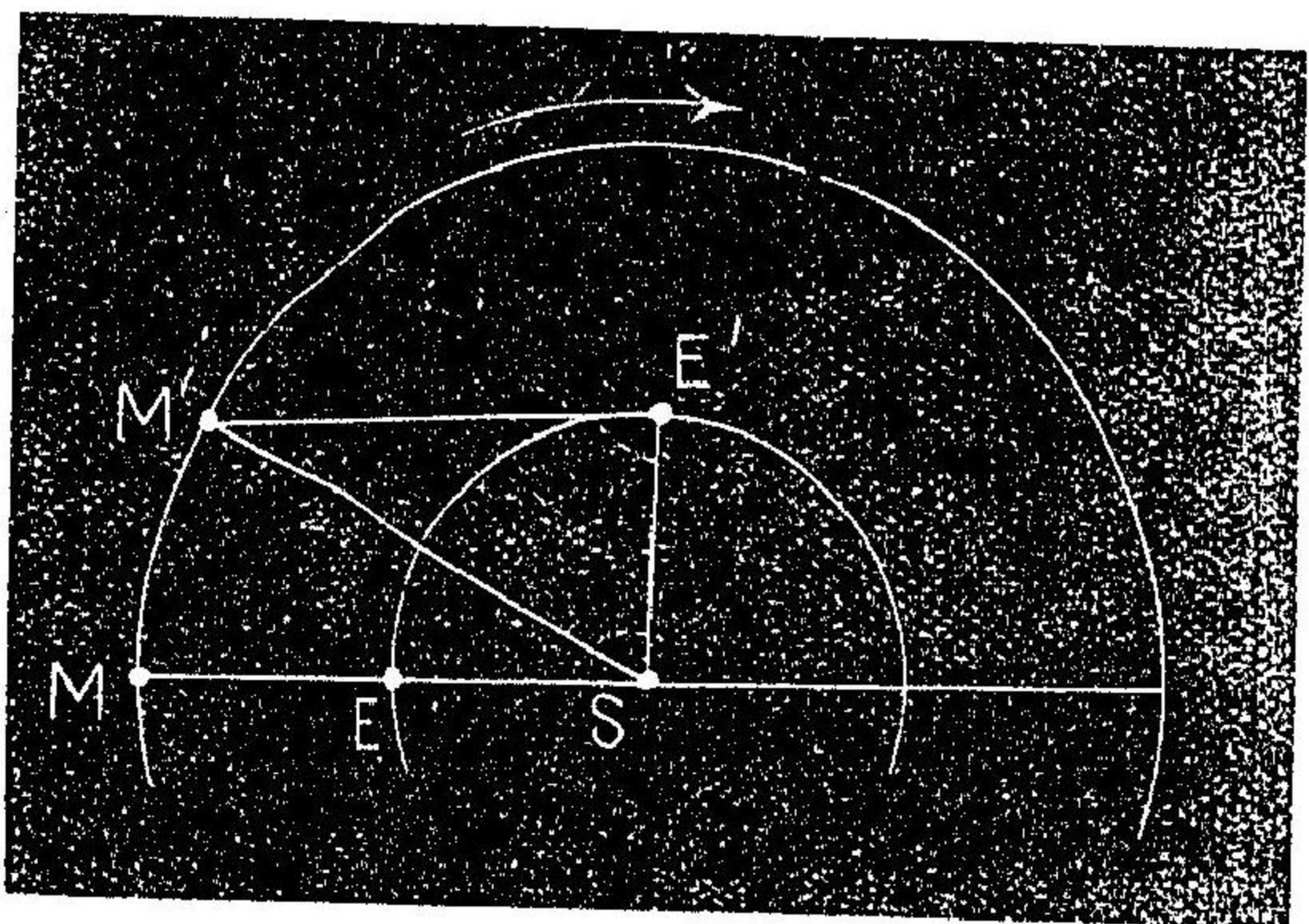
六十九 コパーニカスの地動説は星學上に一大世紀を作り爾後星學の進歩は長大足をなレケブレルニョートンラプラス等の諸學者を経て今日は諸天體の運動の狀況明瞭となれり蓋し大陽系に屬する諸惑星は橢圓狀をなせる軌道に沿つて其の焦點に位する大陽を一周し而して其之を一周する時間相同からず次表の如し

星名	日	時	分	星名	日	時	分
水星	八七	二三	一五	木星	四三三二	一四	二
金星	二二四	一六	四八	土星	一〇七五九	五	一六
地球	三六五	六	九	天王星	三〇六八八	七	一二
火星	六八六	二三	二一	海王星	六〇一八〇	二〇	三八

諸惑星の地球に對する周期を知て大陽を一周する時間を計算する法は前已

に詳述せるを以て今又茲に之を説くの要なし

七十 惑星及び地球より大陽に至る距離の比較 Sを大陽としEを地球としMを惑星とし始めMESの三者は衝にあるものとし其後時を経てEはE'にMはM'に來りたるものとす然るに吾人はM及びEの周期を知り且MよりM'或はEよりE'に來る時間を測知するものを以て $\angle M'SE'$ 及び $\angle E'SE'$ を算出するとを得べく従ふて此二角の差 $\angle E'SM'$ を知るとを得るをり而して吾人E'にある時は一方に於ては大陽を望み又同時にMを望むとを得て従ふて $\angle M'E'S$ を測るとを得べく之に依りて三角形 $M'E'S$ の各角を知るなり故に吾人は $M'E'S$ と同一の形状を有する三角形を作るとを得べく従ふて各邊の比を知るとを得べし換言すれば地球より大陽に至るの距離 ES の比を得べし而して地球



第二十四圖

より大陽に至る距離を一とすれば

水星	$a_1=0,3871$	火星	$a_4=1,5237$
金星	$a_2=0,7233$	木星	$a_5=5,2028$
地球	$a_3=1,0000$	土星	$a_6=9,5388$

なり之れ已に古人の知る處にして惑星軌道の各所に於て此の如き觀測をなすときは地球大陽の距離を單位とする惑星の距離を得べし今一點より惑星の方向に直線を畫き其線上に相當の距離を取るときは此等の各點は一の曲線を作り此曲線の形狀は其惑星の軌道と同一なると明なり然るに此の如くにして作られたる各惑星の軌道は皆悉く楕圓を形成す而して惑星と大陽を連ぬる直線を惑星の動徑と云ふ

七十一 ケプレルの法則 ニュートンの引力の法則の未だ發見せられざる前ケプレルは已に惑星動運の觀測に依り之に關する三法則を發見せり蓋しケプレルの法則はニュートンの引力の法則の結果に過ぎずして其法則は

第一 各惑星は大陽を燒點とする楕圓形の軌道を畫く

第二 惑星の動徑に依りて書かれたる面積は之を書ける時間に正比例す
 第三 惑星周期の平方を太陽よりの平均距離の立方を以て除せる商は各惑星に通して全一なり

七十二 其説明 法則第一は屢々之を説きたるを以て今又喋々するを要せずと雖も第二第三の法則は少しく之を述るを要す而して先づ第二則より説かんとす今若し惑星にして圓周を書き始終太陽より全距離にある時は其動徑の長さは常に變ずるとなく従ふて運行の速度常に全一なるべしと雖も楕圓に於ては然らずして其所在を異にするに従ふて其速度全一からず而して其長さ大なるときは其運行する行路小にして其長さ小なるときは其行路大ならざるべからず然らずんば其畫きたる面積等しかるべき理なければなり故に第二則は各所に於ける惑星の速度を正確に示すものなり

次に法則第三を説かんとす此法則は各惑星の周期と其平均距離の關係を説明するものにして之に依て各惑星間の關係を知るなり吾人は已に各惑星の周期及び地球と太陽間の距離を知れり故に單簡なる比例式に依り各惑星の平均

距離を算出するとを得べし今若し地球の周期と其平均距離を一とすれば木星の平均距離と周期の關係は

$$1 \times 1 \left\{ \begin{array}{l} 1,186 \times 1,186 \\ \text{地球の周期の平方} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} 1,186 \\ \text{木星周期の平方} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} 1^3 \\ \text{地球平均距離立方} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} 140,559 \\ \text{木星平均距離の立方} \end{array} \right\}$$

にして木星の平均距離は地球の $\sqrt[3]{140}$ なるを知るなり

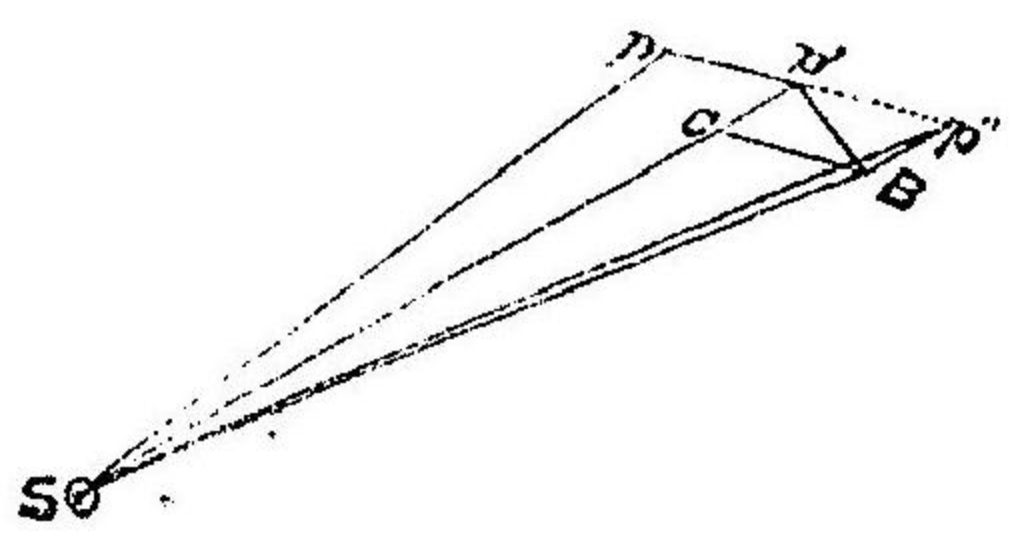
七十三 左表を見れば第三則の眞理なるを知るに足る

星名	周期	平均距離	周期の平方	平均距離の立方
水星	87.97日	0.3811	133421	3413
金星	227.70日	0.7233	3413	3408
地球	365.25日	1.0000	3410	3294
火星	686.98日	1.5237	3401	3404
木星	4332.58日	5.2028	3411	
土星	1075.922日	9.5388		
天王星	3068.830日	19.1834		
海王星	6018.086日	30.0544		

以上の三法則は大陽系に屬する惑星論の基礎を作るものにして皆悉く觀測の結果に過ぎず然るに精密なる觀測に依るときは此三大法則は全然正確なるにあらずして近似の法則たるを免れず蓋し各惑星は幾萬里の遠きに在て各々其軌道を運行すと雖も其間各々互に相引く力ありて相近らんとす之れ即ち此法則をして近似の法則たらしむる所以なり若し夫れ宇宙間に唯一の大陽と之を一週する唯一の惑星ありとすれば第一及び第二の法則は全然正確なるものなり又此惑星に代ふるに他の惑星を以てし其平均距離と其周期とを測りて第三法則に示せる商を作れば彼惑星に於ける時と毫も異なることなかるべし

七十四 ニュートン出てケプレルの法則は物體間に存する引力の結果たるに過ぎざるを證せり第二十五圖に於てSを大陽としPを某時に於ける惑星の位置とす然るにPは瞬時にして其軌道の一部分たるPP'を運行し動徑のPP'はPよりP'P'と同一直線に進み全一瞬時の後にはP'に至るべく而してケプレルの第二則に依りて其畫きたる面積P'SP'はP'SP'に等しかるべし然るに實

第二十五圖



際惑星はP'よりP'に赴かずしてPBの方向にBに至りP'SP'と全一の面積を畫くべし故に三角形P'SP'及びP'SBは全積にして且底邊相等しきを以て高さ相全しく従てP'BはPSに平行なるべしBよりP'P'に平行にBOを作り平行邊形PP'B'Oを作るときはP'に於ける惑星は全時にP'P'及びP'Oに依て表はさるべき二速度を有するを見る即ち始の速度と及び大陽の方に向へる一新力に依りて生したる速度を有す是に依りて之を觀ればケプレルの第二則は大陽の方に向へる力の存在を示すものなり

七十五 ケプレルの第三則と引力の關係を論ずるに先て物體の圓周上の運動を考究するを要すOを中心とし一端Aに球を結びOを中心として之を運動せしめ球はAより瞬時にしてCに至るものとす而して絲の球に與へたる加速度をfとしCに至る時間をtとすれば

$$AD = \frac{1}{2}ft^2$$

又球の速さをvとすればAO=vtなり然るに弧ACは甚た小なるを以て弦ACに

ニュートンの引力の法則たるに過ぎず

七十七 ケプレルの第一則も亦距離の自乗に反比例する引力の法則の結果たるとはニュートンの證明せる處なりと雖も茲に之を説明すると難し凡そ二物體あるときは其間に引力の作用するものにして今其一を衝動せしむるときは他の一物體を回り軌道に沿ふて動くべし而して其軌道は衝動力の大小及び方向の如何に依りて全しからず或は圓となり或は楕圓となり又或は雙曲線となり又或は拋物線となる若し夫れ二物に引力の作用するとなくんば物體は之を動す力の方向に飛び去て復び歸り來るとなく又之を動す力の作用するとなくんば物體は互に相接近し來るべし太陽系統に屬する諸星の軌道も之に異ならず或は惑星に於けるが如く其軌道楕圓なるあり或は彗星に於けるが如く其軌道拋物線なるあり然れども皆是引力法則の然らしむる所にして其道を異にするは其始原の衝動力の如何に依るものなり

七十八 惑星軌道を定むる要素 軌道の長徑 a 及び短徑 b を知るときは其形状及び大きさを知るとを得べし而して a を知るときはケプレルの第三則に依

りて其周期 T を知るとを得べし

惑星軌道を含める平面は黃道に傾斜するものにして其間の角を軌道の傾斜角と云ひ此二平面の交叉する線を交軌線と云ふ故に軌道の一半は交軌線上にありて他の一半は交軌線下にあり而して惑星の軌道を運行するや黃道面を通過すると再度にして其南より北に向ふて進むとき通過する點を正交點と云ひ其北より南に進むとき通過する點を中交點と云ふ吾人若し單に軌道面の傾斜のみを知るも黃道に對して此の如き平面は其數限りなきを以て軌道面の位置を定むると能はず然れども若し一たひ交軌點の位置を定むる時は直に軌道面の位置を定むるとを以て其經度を知らんと必要なりとす此の如くにして吾人は已に軌道面の位置を知れり又軌道の形状をも知れり而も尙ほ太陽に對する位置を定むると能はず之を定めんと欲せば最遠點の經度を知るを要す以上述ぶる所に依りて之を見れば惑星軌道を定むる要素は

第一 軌道面の黃道に對する傾斜(是に依て軌道面を定む)

第二 交軌點の經度(之に依りて軌道面の位置を決定す)

第三 最遠點の經度之に依りて大陽に對して軌道の長徑の位置を定む故に
又空間に對して軌道の位置を定む)

第四 平均距離 a 及び偏心率 e (之に依りて軌道の形狀及び其大きさを定む)

第五 周期 T 及び其時に於ける惑星の經度之に依りて軌道上惑星の位置を
知り又過去及び未來に於て惑星の空間に對する位置を知る)

第三 引力及び其結果

七十九 引力の法則 二物互に相引くとき其吸引せらるゝ物體に生ずる加
速度はその物體の質量の大小に關するものにあらず今地球を吸引物とし大陽
及び木星を被吸引物と見做し同距離に在りて且相互の吸引なしとすれば地球
の引力に依て此兩者に生ずる吸引の加速度は相等しく大陽及び木星の質量に
關せずと雖ども其被吸引物に及ぼす加速度は吸引物の質量に比例し質量大な
れば其力強く質量小なるときは其力從ふて弱し是に依りて之を見れば二物體
の引力は其質量の相乗に正比例するものなり

然るに數多の被吸引物にして吸引物を距ると全しからずんは其之に依りて
生ずる加速度は皆全しからず而して距離大なるときは加速度小にして距離小
なるときは加速度大なりとす實に二物體の引力は距離の自乗に反比例す以上
の理に依り之を見るときは

凡そ二物體の引力は其質量の相乗に正比例し距離の自乗に反比例す
之れ即ちニュートンの引力の法則にして諸星の運動を支配するものなり

且つ大陽及び地球の如き大小の二物體ありて地球大陽を一周するとき大陽
は其引力に依りて地球を引くのみならず地球亦全一の引力を以て大陽を吸引
す故に地球は大陽の中心を中心として一周するにあらず地球及び大陽は兩な
がら彼等の重心點を中心として回轉す彼の水星金星等の諸惑星も皆之に異な
るとなし然るに大陽の質量は之を地球の質量に比すれば甚だ大にして從ふて
其重心點は大陽の表面下にありて其中心を距ると遠からず從ふて大陽を中心
として周轉すると做すも敢て不可なるとなし

八十 引力より生る顯像 宇宙間に唯一の大陽と唯一の惑星とのみあると

きは其運動はケプレルの法則に従ひて變ずるとなきは前已に之を説けり然れども物体の引力は其距離の如何に關せず物体あるときは必ず存するものなれば諸惑星及び衛星は皆互に相互作用して其運動を擾亂す之を攪動バスターベイションと云ふ而して其擾亂にして大なるときは其運動上の變化を運動の不同と云ふ其擾亂小なりと雖も久しくして其影響の顯著となるもの之を永時の運動の不同と云ふ此等の攪動及び其依て生ずる影響を研究するとは星學上重要な問題にして且至難の業なりとす故に茲に之を説明すると能はず單に引力に依りて生ずるものにして其趣を異にする主要なる一二の顯像を説かん

八十一 歳差 春分點は天球上常に全一所にあるにあらずして時を経るに従ふて變移し二萬五六千年にして始めて全一所に歸り來るものなり之を歳差と稱す歳差の顯像は古來より已に知られたるものにしてピッパिकासは各恒星の位置を觀測し其赤緯は變ずるも其黃緯の變せざるを見て此顯像の基因は赤道の變移に存するものとなせり實に歳差の原因は氏の言の如く地球の形狀の球体ならず赤道に隆起するが爲に太陽の引力に依りて赤道の變移を生ずるに

依るなり今此理を説明せんとす

地球若し眞の球体なるときは太陽の引力地球の各所に均一に働くを以て地球自轉の運動に毫も影響するとなく従ふて地軸の方向變ずるとなし然るに地球は楕圓體にして兩極に扁平に赤道に隆起するものなれば地球より球体の部分を除き單に赤道に於ける隆起部の影響を考究せんとす

赤道上の隆起部を一環を以て表はし而して此環は水平なる他の一環の直径の兩端なる二點に依りて支えられ其水平なる環に傾斜すると猶赤道の黃道に於けるか如くならしむ今長き絲を其環の高所に結び之を水平に環の中心に反して引くときは其力は恰も地球赤道の隆起部に於ける太陽の引力に相當すべし然るに此引力の結果は環の高所をして下らしめ低所をして上らしめ水平なる一環と全一平面に至らしむべし太陽の赤道隆起部に對する關係も亦之に異るとなし然れども地球は日夜自轉するのみならず又太陽を一周するを以て此問題は環に於けるが如く簡單なるものにあらざ

地球の太陽を一周する時に於ける此影響は其處を異にするに従ふて全むか

らず地球若し二分點にあるときは毫も影響を蒙るとなくして二至點にあるとき其影響大なると言を要せずして明なり加之地球の大陽に面する點は自轉に依り時に從ふて全じからず故に其影響を受くる點も亦異なるものなり

若し地球にして靜止するものならんには隆起部に對する大陽の影響は地球の赤道をして直に黃道面と相一致せしむべしと雖ども地球の自轉と周轉とに依りて妨害せられて之を爲すと能はず故に隆起部に於ける大陽の引力は其隆起部に於ける點をして黃道に會せしむると引力の影響なき時よりも一層速ならしむるの止むを得ざるに至るなり今地球の自轉は西より東に向ふものたるを心に銘し其冬至點にある時を考ふべし此時に於て大陽の引力は赤道上に於ける分子を引き下る作用をなすが故に其東方に向て降る速度は其引力の作用を受くるとなきときよりも大なるべし之を要するに大陽の引力は赤道上の物體をして速に黃道に會せしむる作用をなす

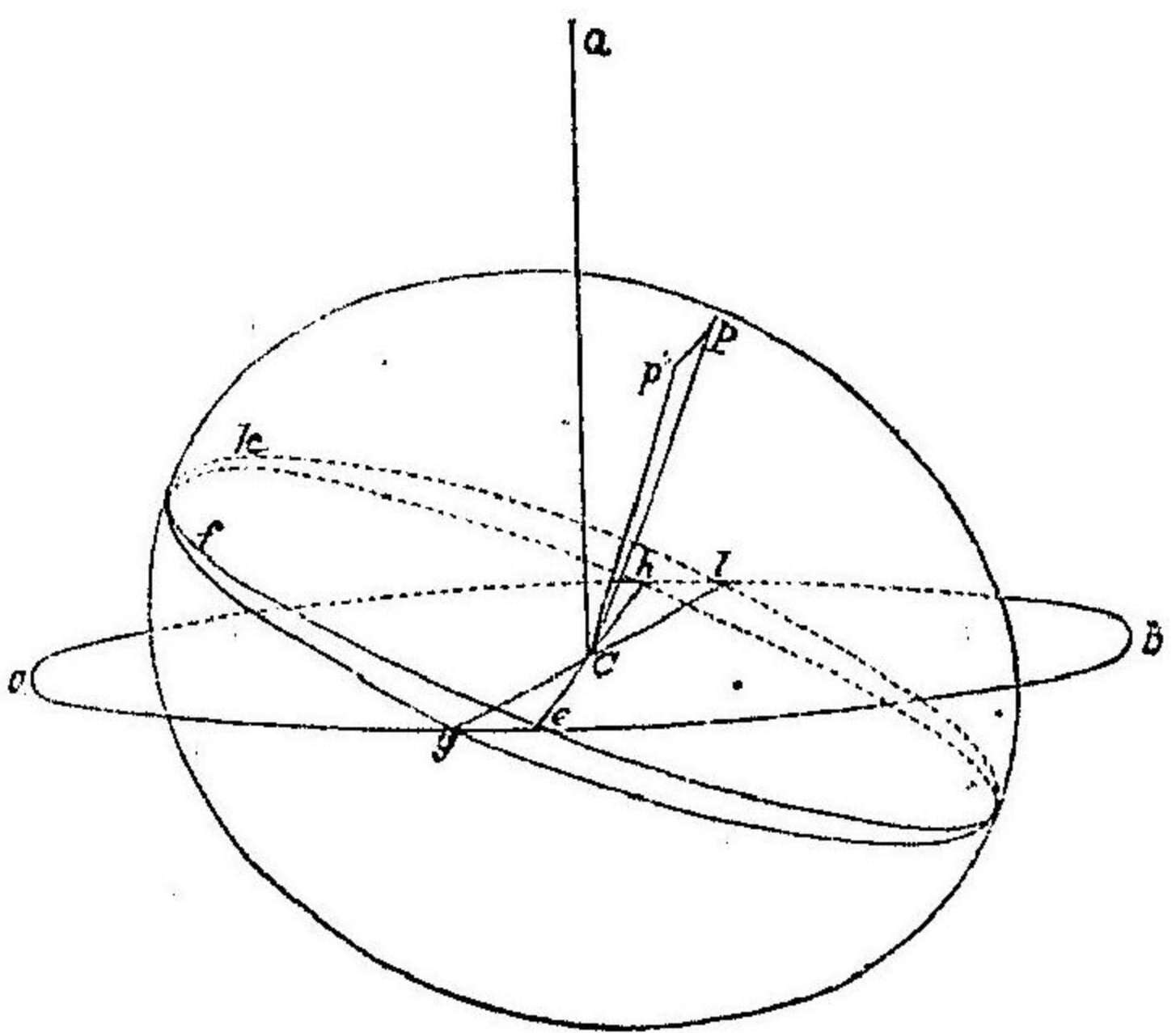
吾人は赤道隆起部の一分子に就て之を言へり然れども此事たるや各分子に通して正確なるを以て大陽の引力は赤道隆起部の一半をして降下し他の一半

をして上昇するの傾向を有せしむ故に地球は其自轉に依て拉緊せられ赤道隆起部の各點をして已むを得ず早く黃道面に至らしめざるべからず然るに地軸の黃道面に對する傾斜は此影響に依りて毫も變すべきの理なきを以て已むを得ず赤道面と黃道面との交叉點をして變移せしめ赤道上の各點をして早く黃道面に達せしめんとするに至る之れ即ち歳差の依て起る所以なり

吾人は此顯像を考究するに地球の球體なる部分を排除したりしも此顯像の一年間の平均運動を論ずるに際しては之を算入するを要す何となれば地球の分點にあるときは毫も此影響を蒙るとなしと雖も尙惰性に依て此運動を繼續するものなればなり而して此顯像は獨り地球にのみ存するにあらずして他の惑星も亦此の如き影響を蒙るものなり

八十二 赤道と黃道との交叉點の變移を論ずるに方りて吾人は月の引力の之に及ぼす影響は捨て、之を問はず單に大陽の引力の影響をのみ攻究せり然れども是れ唯だ此説明を容易ならしめんが爲めにして月の引力の之に影響せざるにあらず蓋し月の引力を大陽の引力に比すれば甚だ小にして一と百二十

の比をなすと雖も月の距離は之を大陽の距離に比すれば甚だ近きを以て其地球上に及ぼす加速度は大陽の加速度に比すれば殆んど三倍にして従ふて其影響も亦甚だ大なり

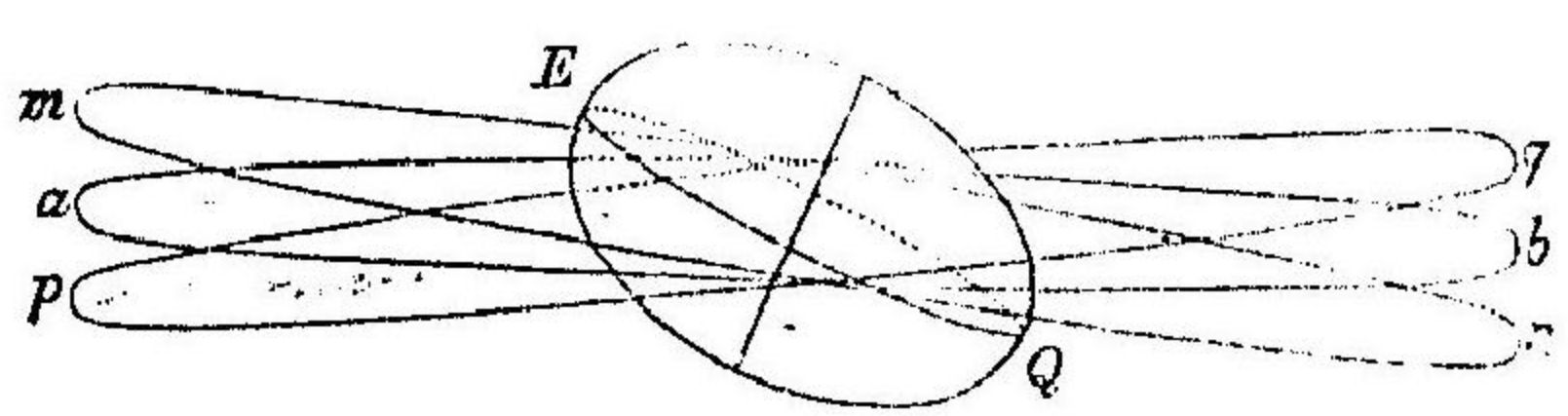


し而して其頂角は赤道の黄道となす傾角の二倍なり

第二十七圖に於て cc を黄道面とし oo を之に垂直なる直線とし pp を某時に於ける赤道面とし o に於て黄道に交るものとし op を某時に於ける地軸の方向とす而して分點の變移運動に依り赤道 cc の位置を占め o に於て黄道に交るときは地軸の方向は op となるなり然るに赤道の黄道に對する傾角は全一なるを以て op 及び op' の oo とす角は互に相等し故に分點變移の運動に依り地軸は黄道に垂直なる一直線の周圍に徐々に一の圓錐を畫くべし

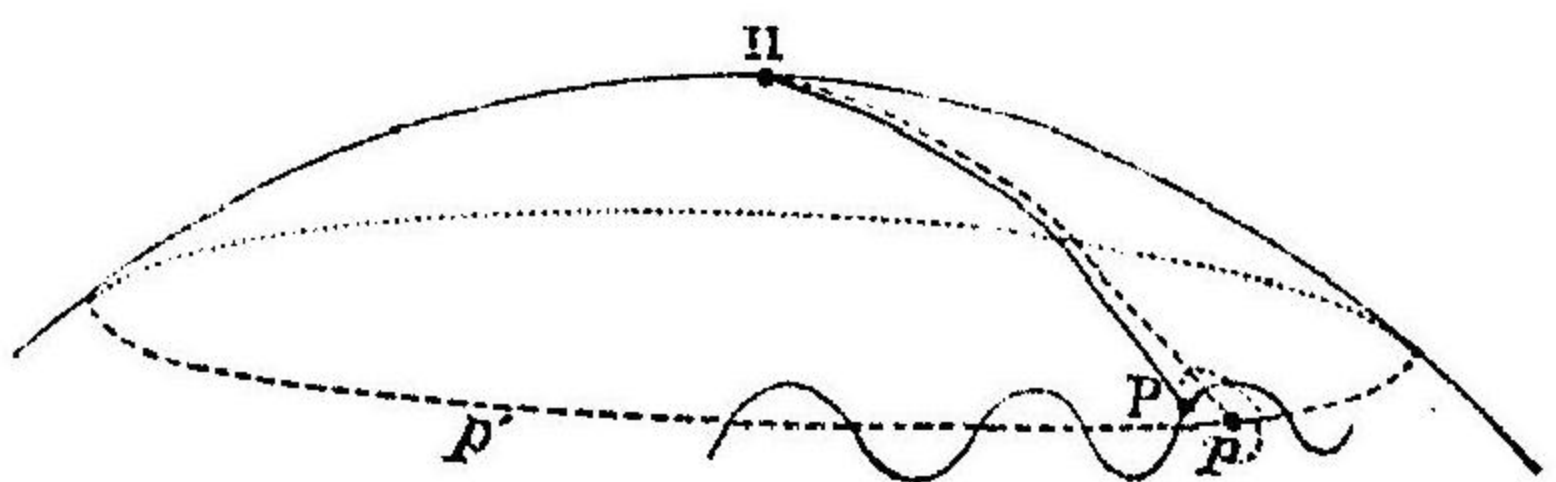
第二十七圖

第二十八圖



八十三 地軸の振動 月及び大陽の引力合成の結果に依りて起る歳差の顯像の外に獨り月のみに依りて起る顯像あり之を地軸の振動と云ふ而して月の交軌點は殆んど十九年にして一周するものなれば此周期の半に在ては月の軌道は假令ひ其傾角小なりと雖ども地球に於ける赤道の如く黄道に傾斜し(圖に於て EE は其位置を示し cc は其中間の位置を示す)又其一半に於ては地球赤道面 bb のより大に遠ざかるべし(圖に於て pp は其位置を表はす)是に依て之を觀れば月の軌道 EE にあるときは交軌點變移の運動は軌道 cc にある時よりも小なると明なり然れども其影響の大小に係はらず交軌點の變移を起すものなれば地軸の圓錐を畫きて歳差の顯像を起すものは獨り前已に説明せる大陽の引力に依りて起る者のみにあらず此原因に依りて地軸は又一振動を生ず而して獨り此原因のみ存在するとき地軸は殆んど十九年にして一の楕圓錐を畫くべし然るに既に説明せる處に依れば頂角殆んど四十七度を有する一の圓錐を畫くを以て

第二十九圖



地軸の運動は此二運動の合成にして小楕圓錐を畫きつゝ又大なる圓錐を畫くべし故に極點の天球に於ける行路は圓にあらざりて浪波狀をなす

八十四 潮の干満 此顯像も亦物躰間の引力の結果にして大陽及び月の引力に基因せるものなりと雖も月の影響甚大なるを以て月の運動を論し然る後其餘下に之を論すべし

第六章 月の運動を論す

八十五 金星及び水星を除く外他の惑星は皆各々之を周る處の衛星あり衛星は殆んど圓に類似する軌道を書きて其主星を周り主星は又大陽を一周す而して惑星と其之に屬する衛星の距離は大陽と其惑星の距離に比すれば甚だ小にして同日の論にあらざ加之其大きに至りても之を惑星に比すべくもあらず

惑星及び之に隸屬する衛星は一の系統を作り惑星は猶ほ大陽系統に於ける

大陽の如く衛星は之を周る惑星の如し故にケプレルの法則は又大衛星の運動を支配して毫も謬るとなし而して我地球は一の衛星を有す之れ即ち月なり今月の運動を論して以て各衛星の運動如何を示さんとす

八十六 月は二十九日半にして我地球を一周す之を大陰月と云ふ故に其運動の速度を均一なるものとすれば一日に殆んど十三度つゝ西より東に向ひて天空を涉り其出沒は一夜より一夜と遅るべし此周期は月の大陽に對して某位置より同一の位置に至る時間にして地球に對し某位置より同一の位置に至る時間にあらず後者は前者より小にして二十七日七時四十三分十一秒半なりとす

八十七 月の自轉 月は惑星及び大陽の如く自轉し其自轉に要する時間は地球を一周する時間と殆んど符合して廿七日七時四十三分なり是故に吾人は其盈缺に關せず常に僅に其半面のみを窺ふとを得然るに月の軸は其軌道面に對し一度三十二分の傾斜を有するを以て時に或は北極部を望み時に或は南極の一部を望むとを得べし之を緯度に於ける秤動と云ふ又月の自轉の速度は均

一にして嘗て變ずるとなしと雖も其周轉の速度は時に依りて同しからざるを以て吾人は時に或は西部の多くを見時に或は東部の多くを見るにあり之を經度に於ける秤動と云ふ加之地球の自轉は吾人觀測者に乗せて西より東に送るを以て吾人は始めは地球及び月の中心を連する線に對して其右に位するも終には其左に位するに至る而して其右に位する時は月の右側を多く望み其左に位する時は其左側を多く望む之れを毎日の秤動と云ふ

八十八 月の軌道 月の軌道は地球の黃道面と一致せずして之れと殆んど五度の傾斜をなす之れ即ち毎月日蝕及び月蝕の起らざる所以なり而して月の軌道の中交點に近くときは其北緯は漸次減少し其行路漸次下るべし又正交點に近くときは其南緯は漸次減少し其行路亦漸次下るべし

月の交軌點は靜止するにあらず月の進む方向に反して退行し殆んど十八年十日を以て一周す故に月は太陽に對して全一の位置に達する前已に軌道上の全一點に達し其間二十七日五時六分を要す太陽に對し全一位置に達するには二十九日十二時四十九分を要す前者を白道月の軌道に對する周轉と云ひ後者

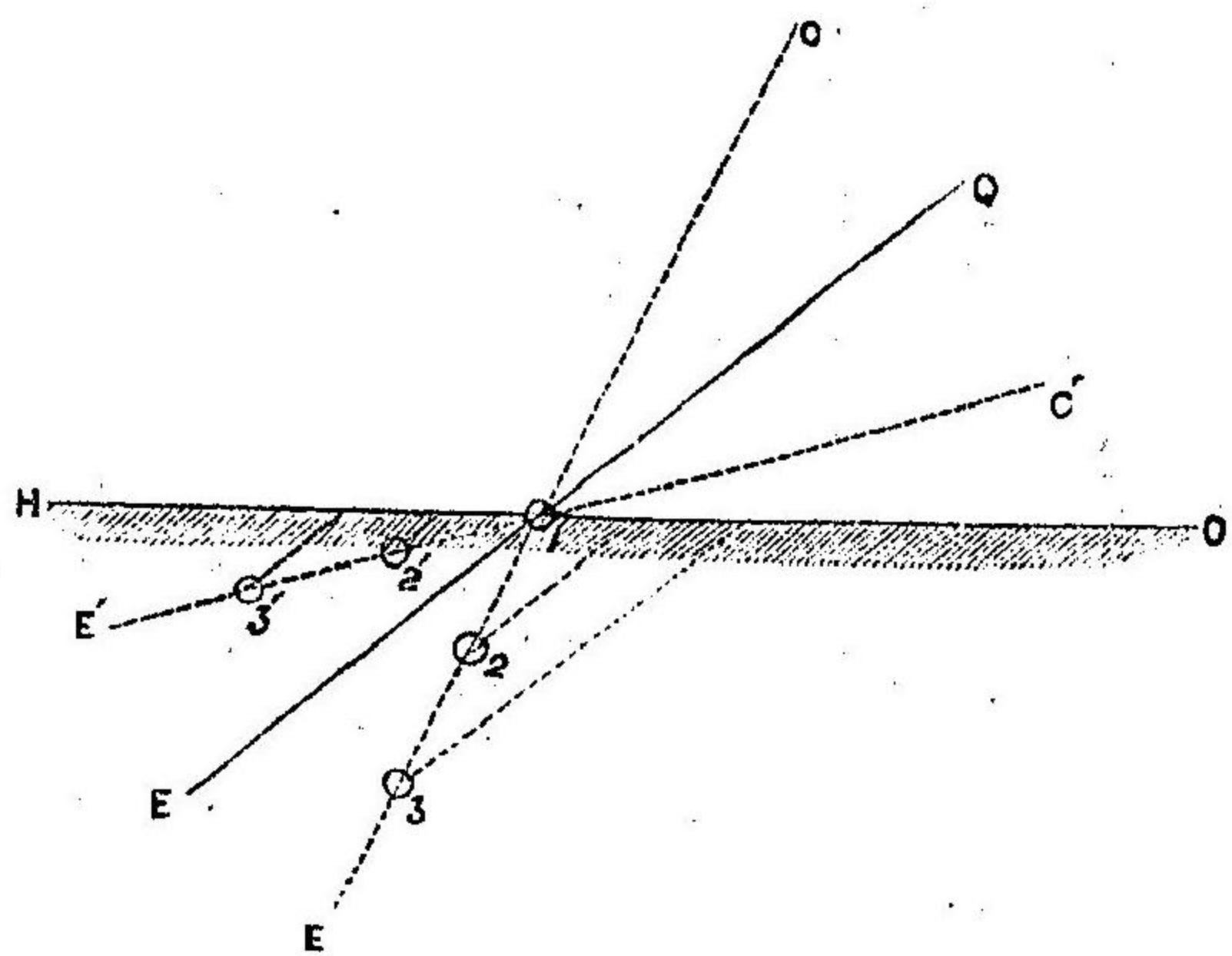
を月の會合周轉シノヂツクレヒトシヨウと云ふ而して交軌點の太陽に對して全一位置に達する時間は三百四十六日十四時五十二分なりとす之れを交軌點の會合周轉と云ふ

月の軌道は太陽の軌道(地球を靜止せるものとす)と僅々五度の角を有するに過ぎずと雖も時として太陽の行路と五度以上の角をなすとあり是れ即ち太陽は最北に在て月は其最南に位する時なり而して月若し南に位するときは子午線上の高度は低く北に位するときは其高度大にして其最大差は $90 + 23\frac{1}{2}$ の二倍即ち五十七度なり

今假りに月をして黃道上に運行するもの想像すれば満月の際月の南中するときは太陽は正に吾人の足下にありて子時を報するときなると論を俟たす而して冬期に在ては太陽は低くして月は満月の時尤も高し故に冬期に在ては満月の際夏時よりも月光の輝くを見るは之れが一因にして夜間の長きか爲めのみにはあらざるなり

八十九 月は二十四時間に殆んど十三度つゝ東方に赴くものなれば其東天に顯はるゝ一夜は一夜より後るべしと雖も其後るゝ差時毎夜同じからず今此

理を説明せんとす月の軌道若し赤道の上にあるときは赤道は終始水平面と同一角度をなすを以て其遅るゝ必ず時を同ふすべし然るに月は殆んど黄道面に運行し黄道は赤道と傾斜すると殆んど二十一度半なるを以て月の地平線に對する角は時の異なるに従ふて異なるものなり而して黄道は此傾斜の爲めに其一半は赤道の北にありて他の一半は其南にあり今月若し交軌點を距ること尤も遠き高所にあるときは其運動の方向殆ど赤道に平行なるを以て二三日間は出沒の遲差相同じかるべし然るに春分點に在ては黄道は南より北に赤道を横り秋分點に在ては北より南に横るが故に其赤道に對する位置は其兩側に各々同一の角をなすものなり今圖に於て吾人東面して望みたる各線の位置を示さば \odot は地平にして \odot は赤道なり



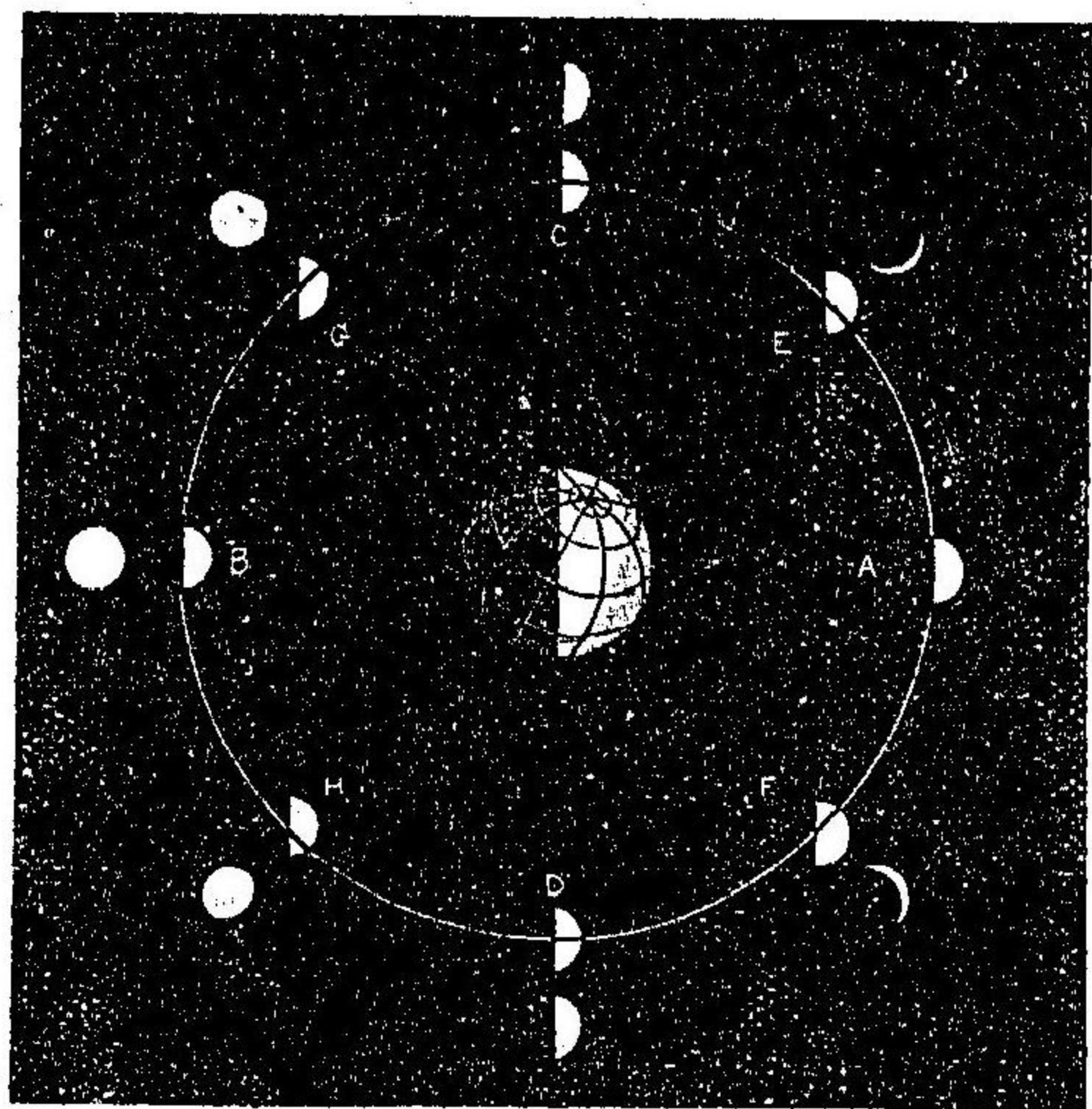
第三十圖

而して \odot は秋分點附近の黄道の位置にして \odot は春分點附近の黄道の位置なり

蓋し月の東天に顯はるゝは地平面月の方に向て降下するの謂なれば月若し漸次1'2'3'の三位置を占むるも毎夜殆んど時を同して顯出し恰も地平線に沿ふて運行するの觀を呈すべし何となれば其軌道の地平線に傾斜すると小なればなり然るに若し順次123の位置を占むるときは其地平線に對する傾斜は赤道よりも尙大なるを以て其遲差大なるべし而して月は始んど一ヶ月にして軌道を一周するを以て其遲差の大なると毎月之れなきはなし

九十 月の盈缺 月は自から輝くものにあらざ地球及び他の惑星と同しく大陽の光を受け此光に依て我地上を照す故に其大陽に而する半面は常に明にして之に反する半面は常に闇黒なり吾人若し月に對して大陽と同一の位置にあるときは其明なる部分是我に反するが故に天に玲瓏の月なく唯た星辰の輝くを見るべし而して之を説明するに方り便利の爲めに月は黄道上に運行するも

のと考ふべし左圖は月の軌道及び其位置と地球を示し太陽は其右に在て月及び地球の半面を照すものとす今月Aに在るときは地球は月と同一線上にあり



て月はその中間に横るが故に明なる部分はいかに反して之を望むこと能はず是れ正に朔月の時にして月は大陽と共に出沒すべし而して矢の方向に進みEに至る時は月は次第に其形を顯はし吾人は其輝ける部分の四分の一を望むべし此時に於ては地球より反射する光を受けて其太陽の光を受けざる部分も亦微光を漏し吾人は月の半面を窺ふを得又往てCに至るときは其明なる部分は増々我に向ひ吾人は其一半を右側に望むべし之れ即ち上弦の時にして午後六時に月は子午線上に来るべし又Gに在るときは漸次其光を増し其四分の三ば我に面す尙ほ進んでBに至

第三十二圖

るときは月は再び我地球と同一線上に來り地球は其中間に位するを以て其輝ける全部は我に面し吾人は玲瓏掬すべきの月を見る是れ即ち満月の時にして月は大陽と十二時を隔て、出沒すべし又進みてH D Fにあるときは其形状E C Gに於けると毫も異なることなく前には之を右側に望みしも今は之を左側に見るの異なるあるのみ而してDにあるときを下弦と云ふ此の如くにして月は復ひAの處に歸るべし之を月の盈缺と云ふ

九十一 潮の干満 茫々限りなきの大洋に在ては海水は二十四時二十五分を隔て交々昇降するものなり詳言すれば一大陰日に二回時を隔て、海水の昇降を見るべし而して海水の尤も高きとき之れを満潮と云ひ其最も低きとき之を干潮と云ふ此の如く海水は一日に二回の干満あるのみならず尙ほ一大陰月に二回の干満あり即ち満月の後殆んど三日にして海水の干満は平常よりも一層甚し之を大潮と云ふ而して弦月の後殆んど三日を経て海水の干満の度は平常よりも一層小なるを見る之を小潮と云ふ以上の事實に依りて之を見るに潮の干満は月と相關係するが如し實に此顯象の起るは大陽及び月の引力の然ら

しむる所に外ならず

今地球の半径を一とすれば地球表面より太陽の距離は二三四八一にして月の距離は五九なり又地球の質量を一とすれば太陽の質量は八三三〇〇〇にして月の質量は〇、〇一二三なり故に太陽の地球に及ぼす引力は一方に於ては

$$\frac{330000}{(23481)^2}$$

にして他の一方に於ては

$$\frac{330000}{(23483)^2}$$

なり又月の地球に及ぼす引力は同じく

$$\frac{0.0123}{(6)^2}$$

及び

$$\frac{0.0123}{(6)^2}$$

なり之に依りて之を見れば月の地上に及ぼす作用は太陽よりも一層大なるを知る

潮の干満に就て能く之に注意すれば月に依りて二回の干満を生ずるの外尙ほ太陽に依りて干満の來るを見るべし然れども其干満の度は月に於けるが如く著しからず而して大潮小潮の生ずるは實に月と太陽の引力の合成したる結果にして新月及び満月の時に於ては地球は月及び太陽と一線上にありて月に依りて生ずる干満と同時に太陽に依りて生ずる干満の起るものなれば従ふて干満の度著し之れ即ち大潮にして弦月の時に於て月は太陽と互に直角の位置にありて月の引力に依りて干満を生ずる處は太陽に依りて満潮を生ずるを以

て其結果互に相減却す是れ即ち小潮を生ずる所以なり而して今毎日の干満の理を説かんとす

九十二 月は其引力を地球上の萬物に及ぼし其固體たると液體たると論なく皆盡く之を自己に接近せしめんとする傾向を有す而して其物體にして地球の固體部に屬する時は單獨に月の方向に接近すると能はずして地球固體全部と共に月の方向に動かんとすべし然れども其物體にして液體なるときは單獨に月に接近せんとするの傾向を有す今地球の全部は均一に海水を以て包圍せらるゝものとして之を論すべし而して月に近き所に在りては其引力遠き部分に於けるより大なるが故に月の之に面する海水に及ぼす力は其中央の固體部に及ぼす力よりも遙に大なり是に依りて月に面する海水は高昇し其深さを増す同一の理に依りて其反對にある海水に及ぼす力は固體部に及ぼす力よりも遙に小なるが故に海水の吸引せらるゝ距離は固體部の吸引せらるゝ距離よりも遙に小にして従ふて海水高昇し恰も地球の兩側に吸引體あるが如き觀を呈すべし即ち月に面する地方と之に反する地方は満潮にして之に直角なる地方は

干潮なり之れ即ち一日に再度の干満ある所以なり而して海水は恰も長徑の月に向ひたる橢圓體を形成す

海水の高昇するは月の引力の單に其直下に位する海水の分子に働くにあらず月に而する海水は皆悉く其影響を蒙るものなり而して此等の分子に働く月の引力は切線の方向に分解せる力にして此力は地球引力の方向に直角なるを以て海水を月の直下に集中するが爲めには大なる働きをなすものなり

大潮及び小潮は月と太陽との黄經の異なるに依て起るとは前已に之を説けり又若し二者の黄緯にして變ずるとあらんには其干満に及ぼす影響も亦從ふて異なるべきは理の見易きものなり故に大潮と雖も常に一樣なるにあらずして月の交軌點附近に於けるとき海水の高昇尤も甚し同一の理に依りて日々の干満も一樣ならず月の黄緯の異なるに從ふて變ずるものなり

九十三 以上想像せるが如く地球若し均一に海水に於て包圍せらるるものならんには海水の干満は其規律甚だ正しかるべしと雖も地球上に於ける大陸及び島嶼の不規則なる分布は之を妨害し其運動をして甚だ複雑ならしめ以て

潮の干満をして所を異にするに從ふて同しからしむ故に某所に於ては月天に冲して後直に満潮を見るも他所に於ては數時間を経て後之を見るとあり加之大洋に在ては干満の波動一時間に五百哩乃至九百哩なりと雖も狭き海に在ては波動の速度大に殺減せられ僅に七哩に至ることあり而して海水干満の度は却て大に増加するを見る彼のフアンデー灣の如きは海水の高昇二十一メートルに達するも大西大平兩洋に於ては僅に一メートルなりとす

九十四 干満の地球自轉に及ぼす影響 干満の波動は地球の自轉に伴ふて動くものにあらず蓋し潮の干満は月に依りて左右せらるゝが故に西より東に向ひたる地球運動に反し干満の波動は却て東より西に向ふて進行し其摩擦に依りて地球の自轉に抵抗すべし固より其影響たる甚だ極微なるべしと雖も地球自轉の速度は之に依りて漸へす減少せらるべきは理の當に然るべき所なり故に若し恒星時を不變のものとして定め引力の法則に依り數千年後の月の位置を算したらんには月の正に占むべき位置と異なりたる位置を得べし實に此法に依りて算出せられたる月の位置は一世記間に角距離六秒の差を生すべし是れ

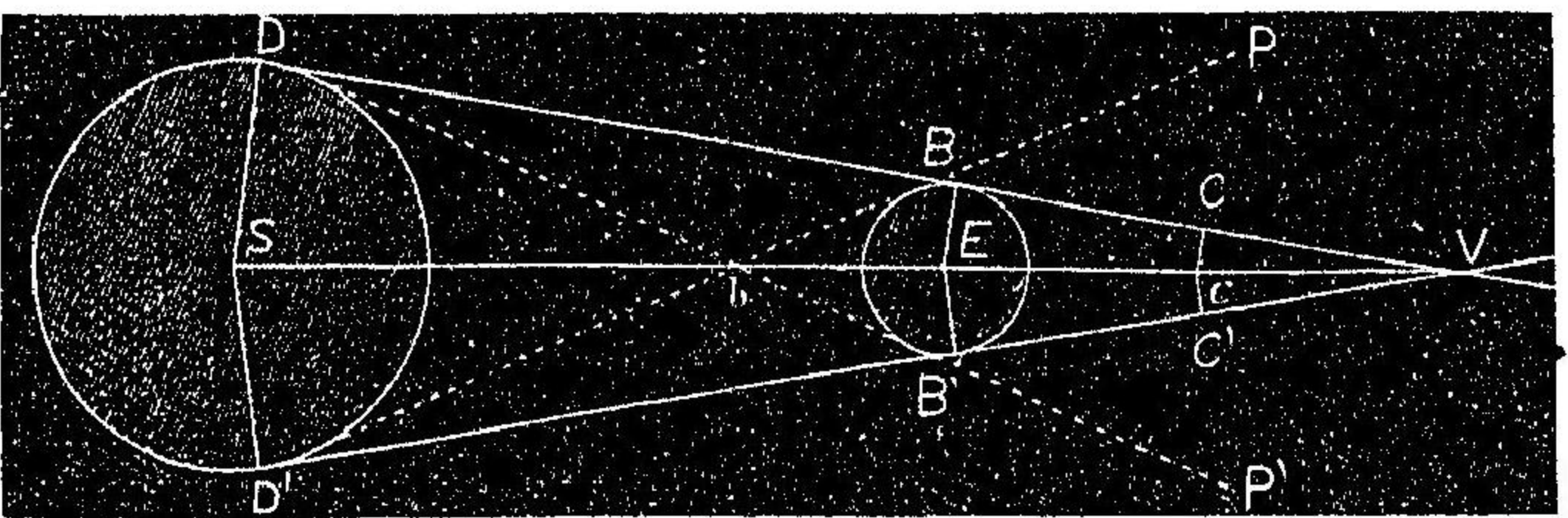
他なし地球自轉速度の減少して恒星日の短縮するにも係はらず之を一定不變と見做せるの致す所なり干満波動の摩擦抵抗により恒星日短縮の割合は二五千百年に六十六分の一秒なりとす

第七章 月蝕及び日蝕

九十五 凡そ物の蝕するは一物の陰影を他物の上に投ずるより起るものにして日蝕は月來りて其影を地球に投ずるが爲めに生じ其陰影中にある人をして大陽の全部若くは其一部を窺ふと能はざらしむ月蝕に於ても亦之に異なるとなく地球は日月の中間に來り日光を遮り之れをして月に達せざらしめ以て月の一部若くは其全部を自己の陰影の中に投ず而して此顯象は獨り地球と月のみに限るにわらず他の惑星及び其衛星に於ても屢々之を見るときあり木星及び其衛星に於ける顯象は能く之を觀測し得べし

九十六 地球の闇虛及び其外虛 左圖に於てSを大陽Eを地球とす地球及び大陽に切線DBV及びD'B'Vを引くときは此二線はVに於て交るべし而し

第三十二圖



て地球及び大陽を球體と見做さば此二線は圓錐DV'D'の截面を示すべし然るときは圓錐BVB'は地球の陰影にしてBV及びB'Vは其界限なり之れを闇虛と名く而して此圓錐を闇虛の圓錐と云ふ今又切線D'B'P及びD'B'P'を畫くときは此二線に依りて包圍せられたる部分に於ては全く大陽を見るに能はざるにわらずして少しく之を窺ふとを得べく而して其部分を外虛と云ふ月に於けるも亦全じ

九十七 影の長さ 陰影の頂點VよりEに至る距離を求めんと欲す三角形VEB及びVSDに於てB及びD角は直角なるを以て相似形なり故に

$$V E : E B :: V S : S D :: E S : (S D - E B)$$

$$l = V E (EよりVに至る影の長さ)$$

$$r = E S (地球と大陽の距離)$$

$R = SD$ (太陽の半徑)

$\rho = EB$ (地球の半徑)

とすれば

$$l = VE = \frac{ES \times EB}{SD - EB} = \frac{r}{R - \rho}$$

にして ρ 及び R は已知の數なるを以て l を知るとを得べし其圓錐の半徑は Z を E より距離とすれば殆んど $(1 - \frac{r}{R}) \rho$ を以て表はすとを得べし

九十八 月蝕 地球の中心より月に至る平均距離は地球半徑の殆んど六十倍にして地球の陰影の長さは其半徑の二百十七倍なるを以て月の闇虚を通過する時に於ては陰影の半徑は $\frac{217-60}{217}$ 即殆んど四千六百「キロメートル」なり然るに月の半徑は殆んど一千七百三十六「キロメートル」なるを以て月の通過するに方りて其中心若し闇虚の軸 EV を去ると殆んど二千八百六十四「キロメートル」より小なるときは月は全く地球の陰影に蔽はれ月蝕皆既を生すべく若し其距離にして之より少しく大なるときは月の一部は闇虚圓錐の界限 ED 線の外に落ちて月の一部は大陽の光を受く是れ即ち分蝕の時なり若し又其距離に

して月及び闇虚の半徑の和よりも大なるときは外虚の中を過ぎて陰影圓錐に來るとなく唯た月光の朦朧となるのみにして嘗て蝕するとなかるべし

蓋し月蝕皆既に於ては月は西より東に向て進行するが故に其未だ蝕せざる前先つ外虚の中に来るべし而して終に闇虚の中に進行し來る故に月の蝕するに當りては其東方先つ蝕し地球の圓形は明に投影せられ漸次全體に及ぶを見る然るに其全く蝕するに及んでも月は全く闇黒となるにあらざ尙ほ赤銅色の光を放つ是れ抑も何に依りて然る乎他なし地球を圍繞せる空氣は大陽より來る光を屈折して其方向を變せしめ之に依りて月界を照さしむるが故なり而して其赤色を呈するは空氣の綠色及び青色光を吸収するの然らしむる所にし猶ほ日没に大陽の赤色を呈すると同理なり

月の蝕する時間は其闇虚圓錐の軸を距る遠近に従ふて同しからず故に其長さ僅に數分なるときあり又或は二時間余に涉るとあり

凡そ月蝕皆既は月の交軌點若くは其接近點にありて同時に満月の際起るものなり故に月若し交軌點を離ると稍々大なるときは分蝕を生し月の位置交

軌點の北にある時は月の下部に蝕を起し其南にあるときは上部に蝕を生ず
 九十九 日蝕 前圖に於て ED を月とすれば其幾何學的理論は月蝕に於けるも毫も異なるとなし然れども月の半徑は之を地球の半徑に比すれば甚だ小なるを以て其之に依りて生ずる陰影の長さは固より甚だ小にして其平均の長さは三七七〇〇キロメートルなり然るに此長さは日月會合の際地球と月との距離に殆んど相等しきを以て地球の月影に入るや殆んど圓錐頂點 V の近傍にあり而して尙詳しく之を考究せんとす

今前圖に於て E を月とし S を太陽とし切線 DBP 及び DBP を畫き之をしてりに交らしむ而して觀測者若し HBP の外にあるときは月の之を遮るなきを以て太陽の全面を望むとを得べしと雖も此部分の中にあるときは太陽の光は多少月の遮るる所となりて太陽は赫々の光を失ふべし此の如く地球の位置即觀測者の位置異なるに依りて太陽の觀を異にするを以て吾人は之を左の如く區別するの必要を見る

第一 今若し吾人闇虛圓錐 BVP の中にあるときは太陽の光は全く月の蔽

ふ所となり毫も之を望むと能はず四海盡く闇黒と變む鳥鳴き草眠り禽獸蟲魚より草木の末に至るまで森羅萬象盡く悲哀の狀を呈すべし是れ即ち皆既なり
 第二 次に吾人若し BVP 及び BVP の引長部即ち V を頂點とせる右方の圓錐部の中にあるときは吾人は太陽の表面に投影せられたる月を見るべし故に太陽は恰も金環の如く中央は闇黒にして邊緣に光輝を發す之を稱して金環蝕と云ふ之れ即ち吾人の月を距る其陰影の長さよりも大なるときなり而して其之を去る益々遠ければ投影せられたる太陽面上の月は益々小となり金環は益々大となるなり

第三 吾人若し BVP 若しくは之と相連續せる部分 PBP にあるときは月は大陽の全部を蔽ふと能はずして僅に一部の光線を遮り之をして地上に達せざらしむ故に此時に於ては吾人は太陽面上に月影の一部分を認むべし是れ即ち分蝕なり而して其分蝕の度は觀測者の位置に依りて同しからず觀測者にして闇虛圓錐に近き時は月影大に其之を去る遠き時は月影の小なると説明の要なし

百 以上説く所に依れば皆既蝕及び金環蝕の起るときは地球は圓錐の頂點 V を去る遠からざるを以て闇虛の中にある所は其區域甚だ狭小にして闇虛の半徑は零乃至百五十里の間にあり是故に日蝕皆既若くば金環蝕を望み得べき區域は月蝕皆既の時と異にして僅に一地方に限るものなり然り而して月は西より東に向ふて地球を一週するを以て月影も亦是れと同一の方向に進むべし故に地球若し靜止するときには月影は此速度を以て地上を通過すべしと雖も地球は又二十四時にして西より東に向ひて自轉するを以て月影の地上に對する速度は此兩者の差なるべし而して月の地球に對する速度は一時間に三千四百「キロメートル」なるを以て月影の比較速度は一時間に二千乃至三千四百「メートル」なりとす此の如く月影の速度は甚だ大なるを以て假令皆蝕線上に當れる地方に於ても皆蝕の時間甚だ短くして最も長きものと雖も七分を超ゆるとなし

然れども分蝕の見ゆる區域○は之れを前者の區域に比すれば甚だ大にして殆んど地球の半徑に等し概言すれば分蝕の區域は地球表面六分の一乃至五

分の一なりとす

尙ほ一の注意すべき事あり他なし日蝕は之を月蝕に比すれば其起る頻繁なると之れなり實に日蝕は一年に二回或は二回以上時としては五六回も起るとありと雖も月蝕は一年に二回起ると甚だ稀にして數年間之を見さると之れあり然れども之を一地方に就て云ふときは月蝕の區域は之を日蝕の區域に比すれば甚だ大なるを以て日蝕よりは寧ろ月蝕を見ると屢なり故に吾人をして日蝕は稀にして之に反して月蝕は甚だ屢なるが如く感せしむ

金環蝕若くは皆既蝕の時太陽及び月の中心を連結したる線の地上に會する點に在て之を望めは太陽の中心と月の中心とは正に相一致するを見るべし之れを中央蝕と云ふ

百一 若し白道面にして黃道面と同一なるときは吾人は朔月の時必ず日蝕を見満月の時必ず月蝕を見るべしと雖ども月の軌道は黃道に對して傾斜をなすと五度なるを以て朔月の時月の闇虛及び外虛は多くは或は地球の上を横り或は其下を經過し満月の時地影も亦多くは或は月の上部を通過し又或は其下

部を經過するを以て朔月及び満月の時日月の蝕すると甚だ稀なり蓋し此顯象の起るは朔月若くは満月の際月の交軌點附近に存在する時にあり果して然らば日月蝕の起るとき月の交軌點を距る距離は如何なる乎今之か説かん

朔月の際月若し交軌點を離るゝと十八、六度なるときは已に日蝕の顯象を生ずるとなく十三、七度以下なるときは必ず起るものなるとは人の能く知る所なり故に此界限内に於ては其顯象或は起り或は起らざるとあり而して此二界限の中間十六度に在ては其起り得べき偶然の折は起り得べからざる偶然の折と相等しく十三、六度の所に近くに從ふて起り得べき場合を増し十八、七度に近くに從ふて起り得べき折を減し遂に十八、七度の所に至れば零となるべし月蝕の場合に於ては其界限は九度及び十二度半なりとす詳言すれば満月の際月の位置交軌點を起ると九度以内なるときは必ず月蝕を生し十二度半以上なるときは決して之を見るときなし故に平均界限は殆んど十一度なり

然るに數萬年の久しき間に於ては交軌點附近に於て朔月の起り得べき回数
は満月の起り得べき回数と同じかるべし換言すれば朔月と満月とは一樣に交

軌點近傍に於て起り得べし何となれば吾人は之を否定する一の理由をも有せざればなり是に依りて之を見れば日蝕の起り得べき度数と月蝕の起り得べき
度数は十六と十一の比をなすべきと明なり

今朔月の際月の距離交軌點を距る十度半より小なるときは吾人は中央蝕を
見るを得べしと雖も其距離之より大なるときは決して此の如き顯象を見る能
はず

百二 月の交軌點にして始終變するとなくんば日月の蝕する必ず六ヶ月を
距てたる兩月の中に起るべくして一年に二面之れあるべし例へば月の交軌點
の黄經を五十四度と二百三十四度とすれば月蝕の起るとき太陽は之を距る殆
んど十二度以内にあらざるべからざるを以て太陽の黄經は四十二度乃至六十
六度若くは二百二十二度乃至二百四十六度ならざるべからず然るに太陽の此
の如き位置を占むるは五月及び十一月なるを以て月蝕の起るは必ず五月及び
十一月なるべく而して日蝕の起るべき期節も此と異なるとなし故に此兩月に
於ては皆既蝕を見る能はざるも尙ほ太陽の小分蝕を見ると屢々なるべし然れ

ども前已に説けるが如く月の交軌點は一定不易にあらずして月の進む方向に反して退行し殆んど十九年にして一周するを以て交軌點の方向は年を経るに従ふて變じ其大陽と會合する之を前年に比すれば早きこと殆んど二十日なり故に某年に於て五月と十一月となるも次年に於ては之れと異なりたる月なるべし此の如く年に對して一定の日月蝕の期節あるを以て其月を稱して其年の日月蝕の期節と稱す例へば一千八百七十三年に於ける十一月の期節は一千八百七十八年に於ては七月若くは八月となり一千八百八十二年には五月となり其五月の期節は反つて十一月となるべし今大陽の月の交軌點と會合せる數年間の月日を示さんに

	正交點	中交點
一千八百七十九年	一月二十四日	七月十七日
一千八百八十年	一月六日	七月廿七日
一千八百八十一年	十二月十八日	六月八日
一千八百八十二年	十一月三十日	五月二十日
一千八百八十三年	十一月十二日	五月一日

一千八百八十四年	十月二十五日	四月十二日
一千八百八十五年	十月八日	三月廿五日

此表中に於て月蝕は十一日若くは十二日に當る時に於て起り日蝕は十五若くは十六日に當れる時にのみ起るものなり

百三 日月蝕を考査するに際しては時に從ふて同じからざる三箇の角を考査するを要す即ち交軌點の黃經大陽の黃經及び月の黃經之れなり而して月は交軌點に歸るに平均二十七、二一二二日を要し大陽は三百四十六、六二〇一日を要するとは前已に之を説けり

今日月共に同一の交軌點より出發するものとすれば三百四十六、六二〇一日の後には大陽は再び交軌點に歸來するも當時月は已に之を過ぐると十二回にして正に十三回の途中にありて尙ほ一週を過ぐるも茲に歸來するとなし次に大陽再び交軌點に歸來する時も同じく月と一致するとなし此の如く十八回の中嘗て會合するとなく其通過する大陽より或は早く或は遅し實に以上の數に依りて之を計算するに月の交軌點を通過すると二百四十二回なるときは其日

數六千五百八十五三五七日にして太陽の交軌點を通過すると十九回なるときは其之に要する日數は亦六千五百八十五七八〇日にして殆んど相同しきを見る故に日月の交軌點を通過する時間の差は僅々十時に過ぎず而して此會合の時は恰も第二百二十三回の月に當るべし何となれば大陰月(即ち朔月より朔月に至る時間)は二十九五三〇五八八日にして二百二十三回に要する時間は六千五百八十五三二日なるを以てなり故に朔月は日月の未だ交軌點に達せざる前に起り月の之に達するより早きと〇〇三六日にして太陽の之に達するより早きと〇四五九日なり此距離は角を以て之を測れば僅に二十八分にして日月の角半徑よりも稍々小なりとす蓋し此年月間に朔月の際月の交軌點に近づく此の如きと嘗て之れあるとなし而して第三十五回及び第四十七回の朔月は之に次きて交軌點に近くものなり前者は日月の交軌點に達する前六度に起り後者は反對の交軌點を通過する後に於て起るものにして其角距離一度半なりとす而して此二百二十三回の朔月に要する時間即ち十八年と十一日を「サロス」と稱す之れ往古の星學者の命名せるものにして古人は已に之に依りて豫め日月

蝕の來る年月を知れり

百四 日蝕皆既の起るや月の角半徑太陽の角半徑よりも大なると僅少なるを以て此顯象は僅々數分にして終るものなり而して此顯象を觀測することは星學上甚だ重要な問題なれば吾人は其繼續時間の長からんことを欲す故に其時間の長きとは如何なる時に於て起るものなるやを考究するは敢て無用の業にあらざるなり而して恰好の時は

第一 月と地球と最も接近するにあり換言すれば月は其軌道の近地點にある時なり何となれば此時に於ては月の角半徑尤も大なればなり

第二 太陽の地球を距る尤も遠き所にあるにあり換言すれば太陽は其軌道の遠地點にあるを要す何となれば此時に於ては太陽の角半徑最小なればなり然るに太陽の遠地點に來るは六月の末なれば日蝕皆既の繼續する最長の時は夏時なり而して月亦其軌道の最近點にあるを要するを以て其最近點の黃經と太陽軌道の最遠點の黃經と殆んど相同しからざるべからず然るに六月の末に於ける太陽の黃經は殆んど百度なるを以て白道の最近點も百度の黃經を有せ

さるべからざると明なり

第三 月影の中心赤道上に落ちさるべからず即ち月は交軌點に尤も接近せさるべからず吾人は已に云へり地球の自轉は皆既繼續の時間に影響するものなるを又地球上に於て其速度大なる所は其繼續の時間大にして之を反して其小なる所は其時間短き所以を説けり然るに地球上速度尤も大なる所は赤道にして一時間に一千六百六十「キロメートル」の速度を有す此速度は月の運行に依りて月影の地上を奔る速度の殆んど半に近し故に赤道に於ては月影の比較速度は二分の一となり従ふて皆既繼續の時間は之を地球自轉なき時に比すれば殆んど二倍に達すべし是れ即ち第三の理由なり

以上三箇の事情一時に總合するときは吾人は日蝕皆既最長の時を得べし而して此の如き時に於てすら尙ほ繼續の時間は僅に七分半たるを免れず然るを况んや三箇の事情一時に總合すると容易ならざるをや

百五 月の大陽面を經過して日蝕を起すと同しく恒星と我地球との間を過きて之を蔽ふとあり之を恒星に對する月の經過と云ふ然れども月光は之を恒

星の光に比すれば甚だ明なるを以て月の恒星に近くとき恒星は多くは其光を失ひ其觸接の時を知ると難し唯一等星の月の光輝なき部分に觸接する時之を見らんとを得るのみ

第八章 時を論ず

百六 吾人は章を重ね條を追ひて天體の運動を論し來れば今は之を計るべき時を要するに至れり而して人類社會に在らば多くは大陽の子午線經過に依りて時間を計ると雖も大陽の運動は常に變するを以て之を星學上に應用すべからざるなり蓋し一定不變の單位を用ゐて時間を測定するは星學上重要な問題たるのみならず此の如き時間の單位を社會に報するは社會交通に便利を與へ人文の發達を助くる少小ならずを以て之を尋ね之を究むるは甚だ重要なことなりとす而して現今は時計を用うるも往古に在ては漏壺若くは日晷を以て時間を計る用に供せり

漏壺は日晷に比すれば之を用うるに尙ほ早く往古の希臘羅馬に盛に行はれたる法にして水桶より漏出する水量に依りて時間の長短を測るものなり而

して其夏時なると冬時なるとに論なく日出より日没に至る迄之を十二時間に分てり日晷も亦往昔より行はれかる法にして紀元前七百四十年には猶太人は確かに尙ほ之を用ゐたり此法は時間測定に一進歩をなしたりしも夜間及び曇天には之を用ゐる能はざるは蓋し此法の欠點なりとす而して紀元後一千一百八年に於て尙ほ用ゐられたるとは歴史の證する所なり此法は不透明の軸を有する圓柱を取り其軸の方向をして地軸と平行せしめ大陽の光線に依て圓錐側に投せられたる軸影の位置を見て時間を計るものなり而して大陽は二十四時にして地球を一週するか故に二十四時間にして圓柱の軸を一週し水平面上に顯出する間は軸影を生すべし今圓柱側を二十四等分し大陽の子午線を通過するるとき軸影を其線中の一に投せしめ而して之を十二時とし其次を一時とし順次東方に向て其數を増し以て時間を計る法なり故に此法は大陽の不規則なる運動を利用するものなり

時計の發明は時間測定の上にて一大進歩を與へたり其之に用ゐる一日は大陽の眞運動に依らずして平均大陽日なりとす而して所謂大陽日の如何なるやは

前已に之を説明せるを以て今又茲に之を贅するの要を見ず茲に述べんとすは平均大陽日と大陽日との關係如何を述べんとす

百七 大陽ノ運動は時に依て異なるのみならず赤道と二十三度半の傾斜を有する黃道上に存するを以て赤道に對して之を見る時は尙一層不規律なり而して其原因二あり

第一 黃道上の運動已に均一ならず

第二 其運動の方向は赤道に對して常に變ず故に赤道に對する傾斜最も大なるときは赤道上の速度最も小なり

先づ第一より之を論ぜんとす地球の大陽に最も近く時(殆んど一月一日)は大陽は一日に黃道上一度一分十秒を運行するも其最遠點(殆んど七月一日)に於ては行進の速度僅かに五十七分十二秒なり故に吾人は一の偽大陽を作り之をして均一の速度を以て進行せしむるを要す而して眞の大陽は三百六十五日五時四十七分八にして三百六十度を運行す故に

(一年) : (一日) : : 360° : 一日の角速度

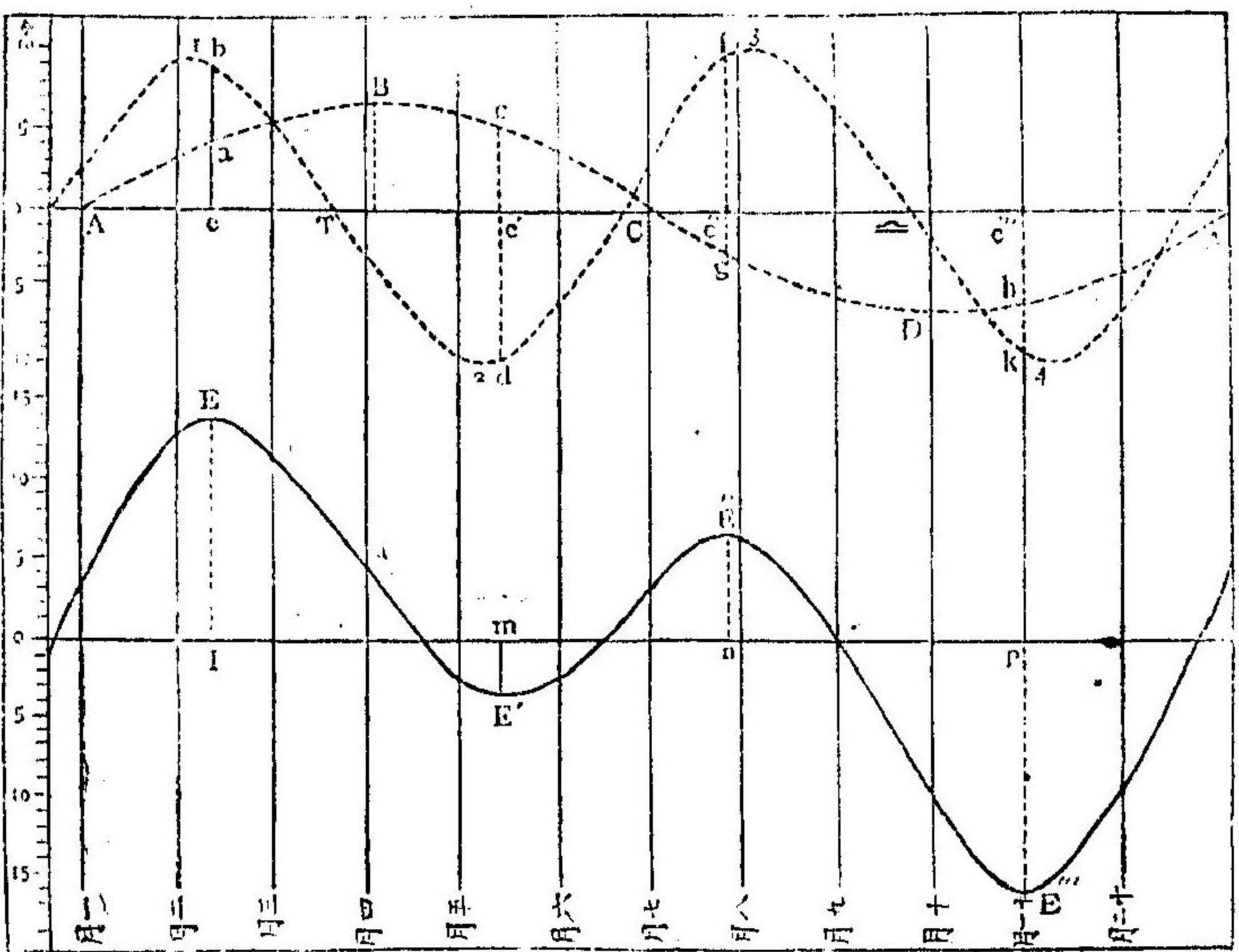
に依りて之を算するに五十九分八秒二三を得之れ即ち平均太陽の速度なり加之太陽は黄道上を運行するが故に其運動時に或は赤道に平行なるあり時に或は之と二十三度半の角度をなすあり然るに平均太陽は均一の速度を以て赤道上を進むるものなれば或は眞の太陽に後るゝことあり或は之に先つことあり若し眞の太陽にして平均太陽と全一の速度を以て黄道上に動くものとすれば赤道に對して之を見るときは至點及び分點に於ては平均太陽の位置と正に相一致すべし然れども已に屢々説けるが如く太陽の運動は地球よりの距離の遠近に依りて變ずるが故に其位置平均太陽と一致するときは至點及び分點にあらずして却て左表に示せる時にあり

四月十五日 六月十五日 八月三十日 十二月二十四日
又左に示せる時に於ては眞の太陽と平均太陽との差は

二月十一日 正十四分二分の一 七月二十五日 正 六分
五月十四日 負四分 十一月一日 負十六分四分の一

而して其差を時差率と云ふ故に時差率とは平均太陽時を算出するが爲めに眞

第三十三圖



太陽の運動に依りて測られたる時より加減する數を云ふ假令へば平均太陽の南中すること眞の太陽より早きときは平均太陽に依りて示さるべき時を得るには眞の太陽に依りて示されたるべき日晷の示す時に時差率を加ふべし即ち見懸の時より平均太陽に依りて示さるべき時を得んと欲せば十一月に於ては十六分四分の一を去り二月に於ては十四分半を加るを要す是の故に太陽の経過を観測するときは時差率に依りて其平均時を知るなり假令へば一月一日の零時に太陽線の子午線を通過するときはその時は恰も其子午線に於ける見懸の

正午にして且時差率を三分四十六六九秒とすれば此正午に相當なる平均太陽時は一月一日零時三分四十六六九秒なるべし換言すれば平均太陽は太陽の南中する前已に早く南中せるものなり

右圖は曲線を以て時差率を示すものにして點線 $ABOD$ は眞の太陽運動の不同より生ずる時差率を表はし曲線 ABC は黃道の傾斜に基因する時差率を示すものなり故に此二曲線の合成したる曲線は各時に於ける時差率を示すものにして $ABOD$ は即ち之れなり

百八 星學上に用うる太陽日及び平均太陽日は共に之を二十四時に分ち太陽若くば偽太陽の子午線通過の時を零時とし二十四時に至る然れども日常社交上に用うる一日は平均太陽日にして其基點は夜半に起り爾後十二時間を午前と云ひ而して正午を再び零時となし爾後十二時間を午後と稱す故に社交的時刻は之を星學上の時刻に比すれば十二時間進むが故に前者より後者を算せんと欲せば午前に於て一日を減して之に十二時を加へ午後に於ては之を換算すれを要せず假令へば社交上に於ける一月二日午後七時二十分は星學上に於

ては一月二日七時二十分にして彼れの一月二日午前七時二十分は此の一月一日十九時二十分なり然るに現今伊太利に於ては社交上に於ても十二時式を廢して二十四時式を用うるに至れり

平均太陽日は偽太陽の南中に始るが故に各地に於て時刻の基點同しからず然れども現今に於ては諸國多く標準時の設けありて之に屬する區域内の各地は皆全一の時間の基點を用う

百九 前二者の外星學上には尙ほ恒星日を用うるとを説けり今平均太陽日と此等數者の關係を示さば

大陽日 不全 恒星日 二十三時五十六分四零九秒
平均太陽日 二十四時零分零秒 平均大陰日 二十四時五十四分零秒
にして各々相同じからざるを見るべし

百十 正午に於ける恒星時 春分點の子午線を通過する時恒星時の零時なるとは前已に之を説けり而して平均太陽日の正午に於ては春分點は子午線上にあらざして之と角距離を有す之を平均正午に於ける恒星時と云ふ即ち平均

百十一 次に月の關係を論せんとす而して其種類數多あり今一々之を説か

第一 朔望月 朔望月とは朔月より朔月に満月より満月に至る時間にして月の大陽及び地球に對して同一の位置を點むるまでの時間なり

第二 分點月 分點月とは其位置の常に動ける分點に對して月の一週する時間なり

第三 恒星月 恒星月とは月の某恒星と會合して再び某恒星と會合するに要する時間を云ふ

第四 最卑點月 最卑點月とは月の軌道上に於て同一の位置に歸來する間の時にして假令へは最卑點より最卑點に至るの時間なり

第五 交軌點月 交軌點月とは月の交軌點より再び同一の交軌點に達するに要する時間なり

第六 曆月 曆月とは曆に用ゆる月にして其日數は一様ならず月を異にするに従ふて異なるものなり今以上數者の關係を示さば

朔望月	二十九日	十二時	四十四分	二、八四秒
分點月	二十七日	七時	四十三分	四、七一秒
恒星月	二十七日	七時	四十三分	十一、五四秒
最卑點月	二十七日	十三時	十八分	三十七、四〇秒
交軌點月	二十七日	五時	五分	三十五、六〇秒

なり

百十二 一年とは地球の大陽を一週する時間の長にして數多の別あり即ち地球及び大陽の某恒星と會合して後再び會合するに至る時間を恒星年と云ひ春分點より春分點に至る時間を大陽年と云ふ而して此を以て彼に比すれば其時間短し何となれば春分點の變位あるを以てなり又地球は其軌道の一處より同一位に復するの時を交軌點年と云ふ然るに最卑最高兩點は空間に對して順行をなすが故に之と恒星年に比すれば其時間長し而して此等三者の關係は左の如し

平均恒星年 三百六十五日六時九分九六秒(平均大陽時)

平均大陽年 三百六十五日五時四十八分四十六〇五四秒(同上)
 平均交軌點年 三百六十五日六時十三分四十九三秒 (同上)
 百十三 曆 以上の表に據れば平均大陽年は平均大陽日の倍数ならずして其分數なるを見るべし今之を三百六十五日とすれば四年にして殆んど一日の差を生ず之れ已に往古セーベス人の發見せる所なり而して其誤差は假令甚た小なりと雖も歲月の久しき蓄積して大となりシーザルの時代に至り曆數の時日と實際の時日の齟齬を生し曆數上非常の混亂を來せしかは埃及の星學者シゲエテスに命じて之れが改良をなさしめたり氏は即ち四年毎に閏年を置き二つの三月六日を作りて其生すへき誤差を治せり之を「ヂュリアン曆」と云ふ而して現今に於ては閏日は二月の末に加ふるとなれり然るに此の如く四年毎に一日を増すときは其加ふべき數よりも多きを以て猶ほ過きたるは及はざるが如く再び曆數の混亂を生し十六世紀に至りて春分點は三月二十一日に來らずして却て三月十一日に來れり是に於て法王クレゴリー再び曆數の改正をなし遂に左の如く之を定めたり即ち四を以て除し得へき年を閏年とし三百六十六日

を以て一年とし四を以て除し得へからざる年を三百六十五日とし又各百年に於て四百を以て除し得へき年を閏年とし然らざるものを三百六十五日となせり
 四年毎に一日の附加をなすときは四百年にして殆んど三日の過増をなすを以て此法に依るときは殆んど之を正すことを得たり然れども尙ほ全く誤差なきものにあらざ即ち四百年間は二十二三八秒の差あるを以て三千八百六十六年の後に至らば一日の誤差を生すへし是れ現今用ゆる所の曆なりとす
 百十四 平均大陽年と分點年と其長さ等しからんには期節の變化は平均大陽年に依りて之を知ることを得へしと雖も高卑線は漸次回轉し二萬一千年にして一週するが故に兩者の相違を來すなり而して期節の長短は大陽よりの距離の如何に依るものなれば期節の變化は最卑點若くは最高點の位置の變化に伴ふこと直ちに之を了解し得べし

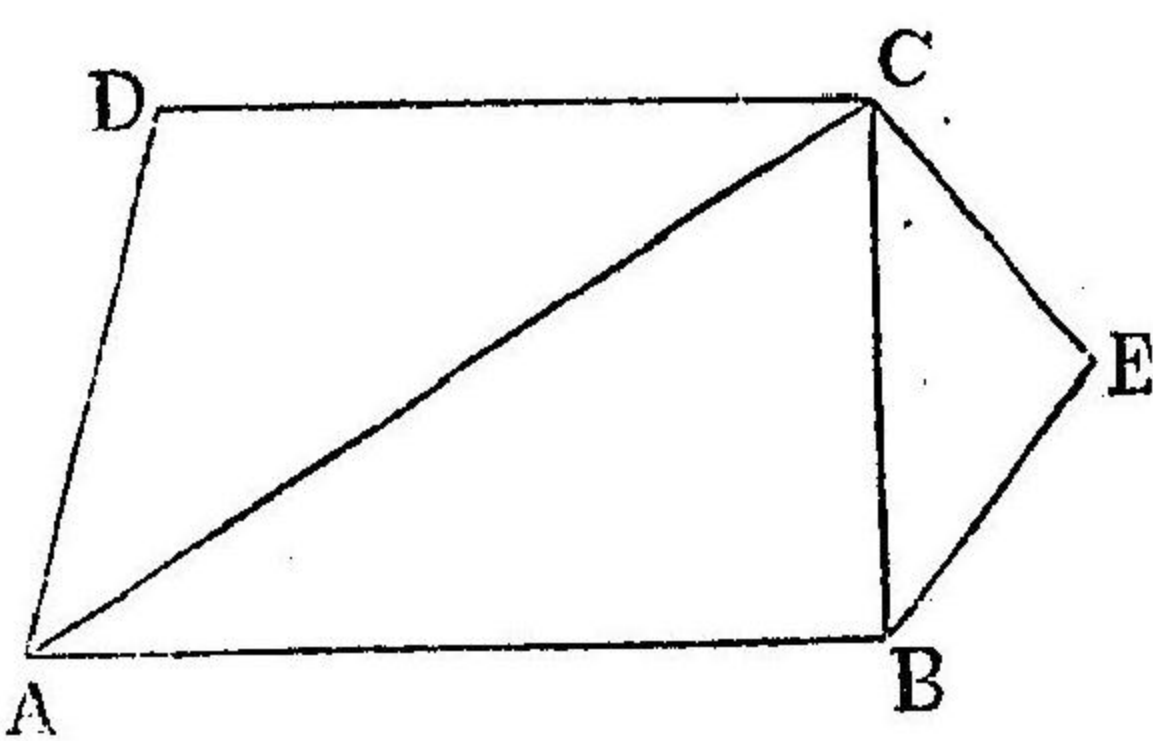
第九章 地球より各天體に至る距離の測法

百十五 吾人は陸地測量に於けると全しく三角法に依りて天體の距離を測定す而して三角形の一邊と二角を知るときは之を解するを得べきを以て此法は角の測定と基線の長さを精確に測るにあり若し其距離甚だ遠からざるときは長からざる基線を用ゐて充分之を行ふを得べしと雖ども甚だ遠きときは基線長からざれば其物體に對してなす角は小にして之を測ると能はざるに至る故に基線の長さは物體の距離に相當せざるべからず

地球上に於て一物體に至る距離を測らんと欲せば其距離に應じて地上に一の基線を取り之に依りて之を行ふとを得べく毫も地球の大小及び形状の如何に關せずと雖ども地球外の一物體(例へば水星金星月の如し)に至る距離を知んと欲せば地球上に一大基線を取らざるべからず然るに其基線の兩端たる地球上兩點間の距離は甚だ遠くして到底尺度を以て之を測ると能はず陸地測量に依りて之を知るの外道なかるべし故に諸惑星の距離を知るに先ち聊か陸地測量のとを述べん

百十六 三角測量法 陸地測量を行ふに當ても先づ基線を取らざるべから

ず基線は之を原野若くは海濱の如き平坦なる地上に取り尺度を以て之を測る之を測るの法は二箇の尺度を接觸せしむるとなくして相接近せしめ其間隔は顯微鏡を用ゐて之を測り順次此の如くして基線兩端間の距離を測るものなり固より尺度は外氣の温度に依りて或は膨脹し或は收縮するものなれば其之を行ふ際外氣の温度を測りて其尺度を作れる金屬の膨脹率に依り其長さを正さるべからず而して其測りたる基線の長さの誤差をして僅かに耗の分位に止るが如く之を精密に測るを要す



第三十四圖

此の如く基線の長さを測りたる後其兩端に經緯儀を置き寺院の高堂若くは丘上の一點の如き甚だ見易き一點を望み其方向の基線となす角を精密に測定すべし今ABを以て基線となしCを丘上の一點とすれば三角形ABCに於てABなる長さと $\angle CAB$ 及び $\angle ABC$ を知るを以て此三角形を解するとを得べし換言すればAC及びBCの長さ及び $\angle BCA$ を知るとを得べし今又AOを基線としてDを望みBCを基線として

Eをを望み三角形 AOD 及び BOE を解すべし順次此の如くして陸地の測量をなす之を三角測量と云ふ

三角測量完了せば其各點を紙上に書き以て各點間の距離を計るべし而して測量の結果の正確なるや否やを知らんと欲せば數多の線中任意の一線を取り基線の長さを測りし時と同一の方法を以て其長さを實測し之を計算上より得たる長さと比較すべし若し兩者能く相一致するときは其結果良好なりと雖も然らざるときは再び之を行はざるべからず而して平地に於ける線は實測に便なるを以て之を撰ふと必要なり此の如にして一地方の陸地測量を行ふ然らば此一地方の陸地測量を以て如何にして地球の大きさを知る乎曰く緯度一度の長さを測るにあり

百十七 地球は殆んど球形なるを以て人若し子午線に沿ふて地球赤道より北極に至らば天頂にある恒星は吾人の所を異にするに従ふて變ずべし詳言すれば吾人は始めに赤緯零度の星を天頂に望み終りに赤緯九十度の星を天頂に望むべし今吾人通路の長さを知らば吾人は地球周圍四分の一の長さを知るべし

く又一度の長さを知るべし然れども此の如きは到底不可能のとなれば他に之が法を求めざるべからず之をなすの法他なし正確に三角測量を行ふたる土地に於て一恒星の天頂距離の變化を測るか若くは能く其位置の明なる二恒星の天頂距離の變化を測るにあり而して其二點子午線内にありて其距離測定せられたるものとすれば

天頂距離の差 : 兩點間の距離 : : 1° : 一度の長さ

にして地球を球体とすれば

1° : 360° : : 一度の長さ : 地球の周圍

なるを以て直に地球の周圍を知るとを得べし

然れども地球は眞の球体にあらずるとは陸地測量の證する所にして各地に於ける緯度一度の長さを示せば

國名	平均緯度	緯度一度の長さ
印度	一一二	一一〇、六二九米突
印度	一六	一一〇、六五六

佛蘭西	四五	一一一、一二二
英吉利	五二	一一一、二三七
魯西亞	五六	一一一、三四一
瑞典	六六	一一一、四七九

なり此表を見れば赤道近傍に於ける一度の距離は之を北極近傍に於ける一度の距離に比すれば小なるを知るべし故に地球表面彎曲の度は赤道近傍に小にして北極近傍に甚しきと明なり

吾人は之に依りて地球表面彎曲の有様を知るを得るのみならず又從ふて地球の周圍及び其直徑を知るとを得るなり即ち

赤道に於ける直徑	一二、七五六、六一二米突
極を通ずる直徑	一二、七一二、一四四米突

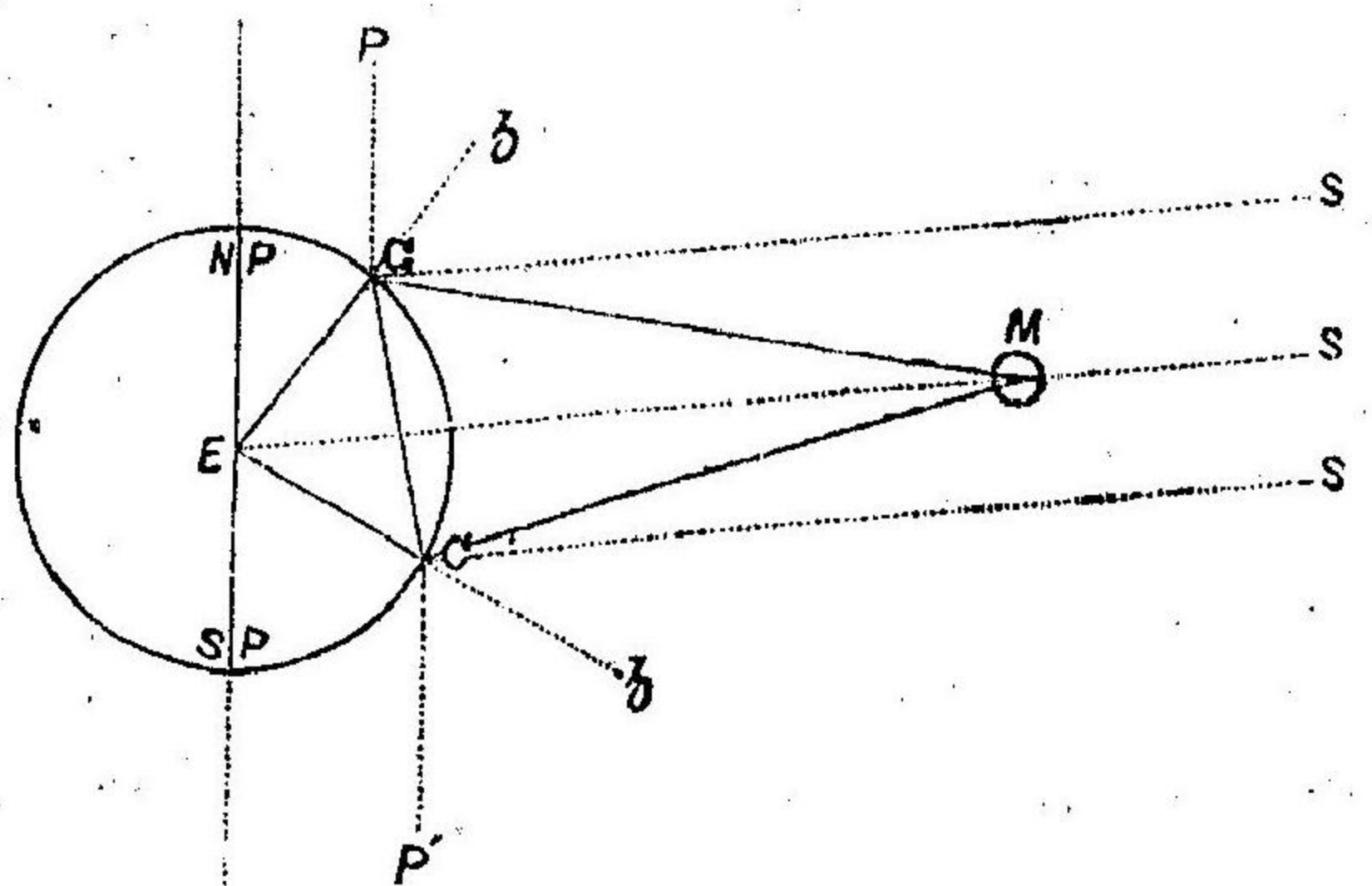
然るに輓近陸地測量の結果に依れば地球は兩極に於てのみ扁平なるにあらずして赤道に於ても眞の圓をなすにあらざるとを知れり即ち赤道圈は一の橢圓形にして其直徑の一は一二、七五六、八七三メートルにして他は一二、七五五、九

四四メートルなり一は西經八度十五分と百八十八度十五分の兩點を貫くものにして他は之に垂直なるものなり

百十八 月の距離 此の如く地球の大きさと其形状とを充分に知るとを得たりしかば之を用ひ月の距離を測らんとす地球上全一子午線内にありて其距離甚だ大なる兩點(假令へば英國綠林と亞非利加の喜望峰)に在て月を望むときは月の蒼穹に於ける位置は相全しからずして視差を有すべし而して兩點間の距離を基線とし視差を用ひて其距離を測るなり

然るに此兩點は相距るゝと甚だ遠くして互に見るとを得ざるを以て兩點に於て月の北極距離を測るべし今Eを以て地球の中心としGを以て綠林司天台としCを以て喜望峰の天文台としMを月としNPを北極としSPを南極としGN及びCNをG及びCに於ける天頂の方向とすGCに於て某恒星Sを望む時は其距離非常に遠きを以てGに於ける其北極距離とCに於ける其南極距離の和は百八十度に等し何となればGS及びCSを其恒星の方向とすればGS及CSは互に平行にしてSGP(GPは地軸に平行なり)はGに於ける其北極距離を表しSCP

第三十五圖



GEOCは兩地間緯度の差なるを以て直に之を知るとを得べし今又三角形 GCMに於てGC及び其兩端の二角を知るを以て之を解するとを得べし何となれば

$$\angle MGC = 180^\circ - \angle EGC - \angle ZGM (\text{天頂距離})$$

(OP)も亦地軸に平行なりはCに於ける南極距離を表はす然る時は $\angle PGS + \angle POS = 180^\circ$ なること明なり

然るに月を望むときは月の我を去ると此の如く大ならざるを以て其北極距離はS星の北極距離より大にして其南極距離亦S星の南極距離よりも大なり従ふて兩者の和も亦百八十度より大なること蓋し瞭然たり實に兩者の和は二直角と $\angle GME + \angle OME = \angle GMS$ の和に等し故に月の極距離を知るときは $\angle GMC$ を知るとを得べし而して $\angle GMC$ は観測上得たる結果に依れば殆んど一度二分の一なりとす然るにEG及びEOは地球の半径なるを以て之を知るとを得べく且角

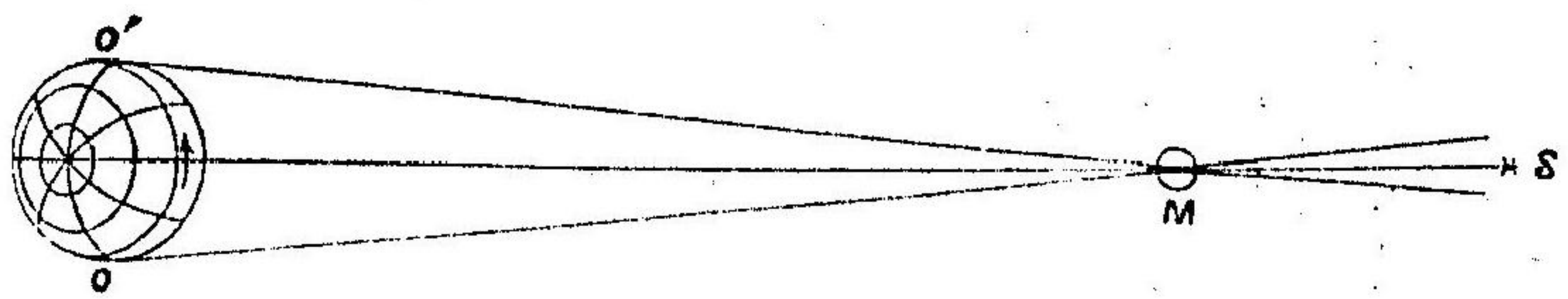
$$\angle MOG = 180^\circ - \angle EOG - \angle Z'OM (\text{天頂距離})$$

なるを以てなり斯くの如くにして $\angle GME$ 及び $\angle ME$ を測定するとを得べし且G及びOに於ける視差 $\angle GME$ 及び $\angle OME$ をも知るとを得べし此法に依りて測られたる赤道に於ける月の平均地平視差は殆んど五十七分二秒なり

百十九 火星の距離 之を測る法數多ありと雖も地球及び一恒星の一直線にある時に用ふる法を論ぜんとす此法は單に一箇の観測所を要し大なる距離を要するとなし然れども其観測後十二時を隔て、又之を観測せざるべからず若し観測所赤道上の一點にありとすれば其再度の観測點は空間に對して正に同じ直徑の上にあるべし左圖は地球の赤道を通したる截面を示すものにしてO及びO'は十二時を距てたる観測者の位置としMを火星としSを恒星とし而して地球は矢の方向に自轉するものとす

観測者Oにあるときは火星恰も東天に昇る時にしてS星の東に顯はるべし此時に於て火星Mの角測を行ふ其後十二時間にして観測者O'に至るときは是れ正に火星西海に没する時にして之をS星の西に望むべし是時に於ても亦其

第三十六圖



角測を行ふ然るときは其得たる材料は月の場合に於けると同一なるを以て同一の方法に依りMの距離を測定すると得べし何となれば観測者赤道上にあるを以て其基線は地球の半周にして直に其距離を知るとを得べければなり固より地球及び火星は其道を運行するが故に其實測したる角度は此運行に依りて生したる誤差を以て正算せざるべからず然るに吾人は赤道上にあると殆んど稀にして赤道外に於て観測をなすと多し然れども此時に於ても吾人は其距離を測定すると敢て難きにあらざ何となれば已に地球の形状及び其大きさを知得するを以てなり

地球の直徑は之を太陽の距離に比すれば甚だ小にして到底基線に用うると能はず故に太陽の距離を知らんとせば他に之が法を講せざるべからず之をなすの法他なしケプレルの發見を基礎としたるものにして間接に之を測るもの之れなり蓋し惑星軌道の距離と太陽の距離とは互に密着の關係を有し彼を知らば自から此を知

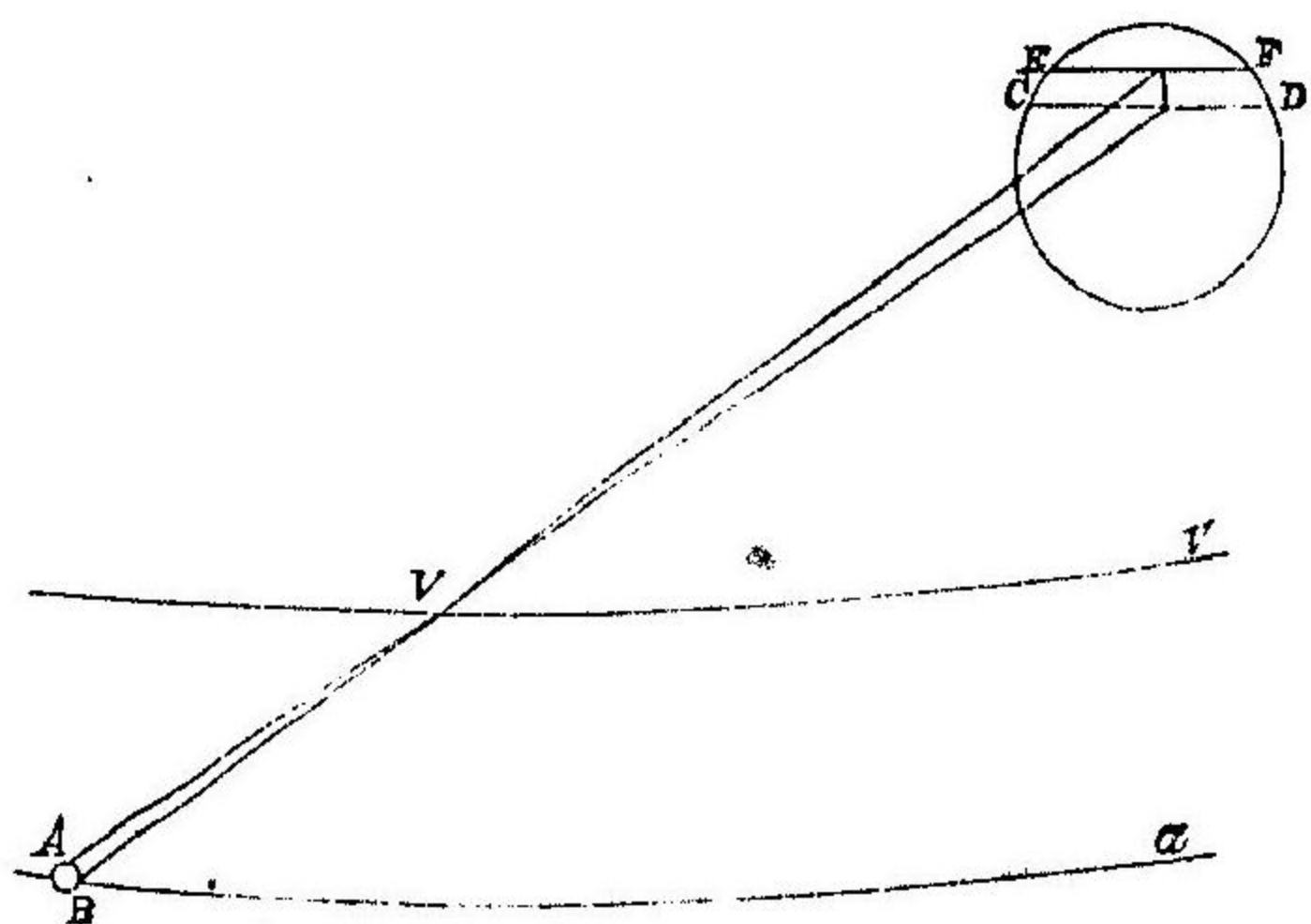
るべく此を知らば自から亦た彼を知るべし千八百七十七年ギル氏は火星の観測よりして太陽の距離を測定し之を九三〇八〇〇〇哩とせり

百二十 太陽の距離及び金星經過 金星は我地球に近くと火星よりも一層甚しきことあり是れ即ち太陽金星及び地球の一直線上にある時にして金星の太陽に面する所は其光を受けて明なるも我に對する面は闇黒なり故に遙に之を望めば太陽面上を進行する一斑點に過ぎず之を金星の經過と云ふ凡そ太陽面上金星經過は稀有にして其間數百年の久しきに渉る而して吾人は之を一千八百八十二年に見たりしかば二十四年迄復び之を見るとを得ざるべし

金星の大陽面上を經過するや大陽面中の一黒點として進行す故に大陽面は金星の位置を定むる精密なる尺度となりて大に吾人に便利を與ふべし而して吾人は此經過に依りて次に述べんとする法を用ひ星學上主要の問題たる太陽の距離及び其大きさを確定するのみならず亦之に依りて各惑星及び衛星の距離を知ることを得べし之れ即ち一千八百十六年にハーレーの創めて説明したる所なり

百二十一 二人の観測者地球上の二點にありて金星經過を望むものとし一人は北半球の一點Aにありて他の一人は南半球の一點Bにありとす然るに金星は恰も大陽と我地球の中間にあるを以てAに於ける観測者は之を大陽面上に投影し線ODに沿ふて進行するものと認むべく又Bに於ては線OBに沿ふて進むものと認むべし而して大陽の距離を求めんとせば必ず此二線の距離を知ることゝ要す

若し二點相距ると充分に大なるときはAに於ける観測者とBに於ける観測者は時を異にして金星の大陽面上に來往するを見るべし換言すれば金星は全にからざる二箇の弦に沿ふて進行する者にして一般に此二箇の弦は其長さ異なる者なり故に金星經過の間も從て異なるべし而して時間の差に依りて弦の長さを知り又大陽面上に於ける弦の位置をも知るとを得べく從て二線間の角距離をも知るとを得るなり



第三十七圖

然るに地球と金星との距離は之を大陽と金星との距離に比すれば殆んど二十八と七十二の比例にして假令ひ其實距離の如何に關せず全一の比例を有すべし今若し金星にして大陽と我地球の中央に位する時は二弦の距離の地球の直徑に等しかるべしと雖も金星は大陽を距ると我地球を去るよりも大にして恰も七十二に對する二十八の比例を有するを以て二弦の距離は正に地球直徑と七十二に對する二十八の比を有すべし即ち一八〇〇哩なるを知るなり彼の千八百七十四年と千八百八十二年とに於ける金星經過の際は非常に隔りたる二點に於て之れが經過を撮影せり而して之を比較して二弦の位置を知り從ふて又二弦の距離の大陽の直徑に對する關係を知れり然るに吾人は已に二弦の距離は一八〇〇哩なるを知るを以て大陽の直徑を知るとを得べし已に大陽の大きを知る以上は直に大陽の距離を知るとを得るなり何となれば其直徑の角距離を知るを以てなり然るに其撮影したる寫眞は甚だ鮮明にして一點の非議すべき所なきにも係はらず其之より得たる結果は之を他の法に依りて得たる結果に對照するに其差著しきを以て尙ほ之を研究するの必要あり

百二十二 遠望鏡を以て精密に金星の大陽面上に來往する時間を測るときは其大陽面上に於ける位置を明知し得べく從ふて二弦の距離を測定し得べきは已に之を説けり而して其誤差を小ならしめんと欲せば二弦の距離の大なるを要す故に二觀測所に於て觀測せる來往の時間の差を大ならしめざるべからず從ふて任意の所に於て之が觀測に従事すると能はず必ず適當の地を撰ぶを要す而して其位置を撰ぶに方りては地球の自轉を考へざるべからず之れ吾人の觀測器を携へて遠く他方に赴く所以なり今千八百八十二年に起れる顯象を以て之が説明をなさんとす

空間に對する地球の所在地軸の方向地球兩極扁平の有様及び其顯象の起るべき時に於ける地球の位置を正確に知る時は吾人は計算に依りて金星經過の行路及び其時を知るとを得るを以て豫め之れか計算をなし之れが準備をなさるべからず

今地球の中心と大陽面上金星の出入する點を通じて二平面を畫くときは地球上或る場所に於ては他の場所に於てよりも早く金星の來るを見又某所に於

て他所よりも後く其去るを見るを知るべし實に金星の出入する時間は地球上所を異にするに從ふて全じからず故に吾人は觀測所を撰ぶに際し其來ると早くして其去ると遅き一所と其來ると遅くして其去ると早き一所とを撰ばざるべからず然らずんば吾人の必要とする二弦の距離大ならざるべし千八百八十二年金星經過の際は經過時最短の觀測所としてベルムタとシャマイカを撰び其最長の觀測所として喜望峯西蘭等の諸地を擇び以て之れが觀測をなせり然れども其結果は未だ世に公にするに至らず

百二十三 大陽の距離を測るに尙ほ一方法あり即ち光の速度に依りて計算するもの之れなり大陽并びに各恒星より來る所の光の速度と地球の大陽を周りて運行する速度に依りて「アベラッソ」Aberrationと稱する顯象を生ずべし而して此顯象と其之を生ずる理由等は後條詳に之を説明すべしと雖も茲には單に光と地球との速度に依りて此顯象を生ずるを知らば充分なり今若し光の速度と地球の速度とを知るときは此顯象の理に依りて地球と大陽の距離を算するとを得るなり近年ニールカム氏米國華盛頓にありて之が精密なる實驗に従事し其結果を

報告せり而して其結果の精密なる僅に十八哩の誤差を有するに過ぎずして之を九二、九六五、〇〇〇哩と算出せり之を彼の一千八百七十七年ギル氏の火星の衝に依りて計算し得たるものに比するに甚だ能く相一致するを見る

五十七 太陽の距離の比較 一千七百六十九年に於ける金星経過よりして算出せる太陽の距離は九五、〇〇〇、〇〇〇哩にして精密なる観測と計算に依れば實距離より二、〇〇〇、〇〇〇哩大なるとは皆人の能く知る所なり故に今數多の星學者の得たる結果を示さん

人名	方法	視差の大きさ
エンク	金星経過	八、五七八秒 (舊)
ハンセン	月の視差方程式より	八、九一六秒 (新)
ウインチック	火星に依りて	八、九六四秒 (全)
ストーン		八、九三〇秒 (全)
フリコル	光の速度に依り	八、八六〇秒 (全)
コルヌ		

ルベリエー 火星金星及び月の運動に依り 八、八六六秒 (新)
 ギル 火星の 八、七八〇秒 (全)
 ニューカム 光の速度に依り 八、七九四秒 (全)

以上の表を見れば太陽距離新舊の値の差は角度一秒の五分の二なるを見るべし而して其角度の大きさは三十八米突を隔て、頭髪を望むとき頭髪の我に對してなす所の角と相似たり

百二十四 太陽より各惑星に至る距離を示さば

水星	三五、九八七、〇〇〇哩
金星	六七、二四五、〇〇〇哩
地球	九二、九六五、〇〇〇哩
火星	一四一、六五〇、〇〇〇哩
木星	四八三、六七六、〇〇〇哩
土星	八八六、七七九、〇〇〇哩
天王星	一、七八三、三八三、〇〇〇哩

海王星

二七九四〇〇〇〇〇哩

百二十五 恒星の距離 各人は地球上に一基線を設けて地球表面を測量し地球の形状と其大きさを知り相距りたる二點の距離を用ひて月と地球の距離を測り地球の直徑を用ひて火星の距離を測り之に依りて大陽と地球の距離を知り又金星の經過に依りて大陽と地球の距離を知れり而して地球軌道上に於て相隔りたる距離は八八六〇〇〇〇哩にして其大なると實に驚くに堪へたり然らば此距離を基線として基布散在する各恒星と地球の距離を定むるを得る乎曰く否假令地球軌道の直徑は此の如く大なりと雖も之を恒星の距離に比すれば全日の論にあらず一月より十二月に至るまで一年間恒星の位置を觀測するに多くは其位置に移動なきを見るなり實に吾人をして此く遠距離の恒星に在て我地球軌道の直徑を望ましめは此驚くべきの長さと雖も僅に一點の觀を呈すべし

加之吾人の觀測に用うる諸器械は頗る精巧に作られたるものなりと雖も其角極微に至るときは之を測ると能はず其最低限は一秒なり故に此等の器械を

用うるも大陽の距離を基線としたる各星の視差一秒以下即ち其距離大陽の距離の二〇六、二六五倍以上なるときは之を測ると頗る難し况んや各恒星の位置の變化は主として空氣の爲めに光の屈折の如何に依り或は各星固有の運動に依ることあるべきを以て其得たる角を以て全然之を視差に歸する能はざるをや然るに「ヘンデルソン」は此法を用ひて「アルファ・セント・オーリ」星の視差を〇・九一八七秒と算出せり

百二十六 此の如き不完全の方法に依りて恒星の距離を測る進路を取りたる間は其進歩は遅々たりしが「ベツセル」出で、此法を改良し種々の原因より生すべき誤謬を殆んど排除し去り距離測定上に一大進歩を與へたり即ち氏は定りたる固有運動をなす一星を取り「マイクロメートル」のみを用ひて其星の位置と其近傍にありて固有運動を有せざる一小星即ち氏は之を非常に遠距離の星となせりとの位置を地球軌道の各所に於て觀測し而して之を比較して其位置の變移を知り以て恒星の距離を測定せり爾來此法を數多の恒星に適用せしに頗る好結果を得たり今之を次に示さん

第一表 北半球に於て精密に測られたる恒星の視差

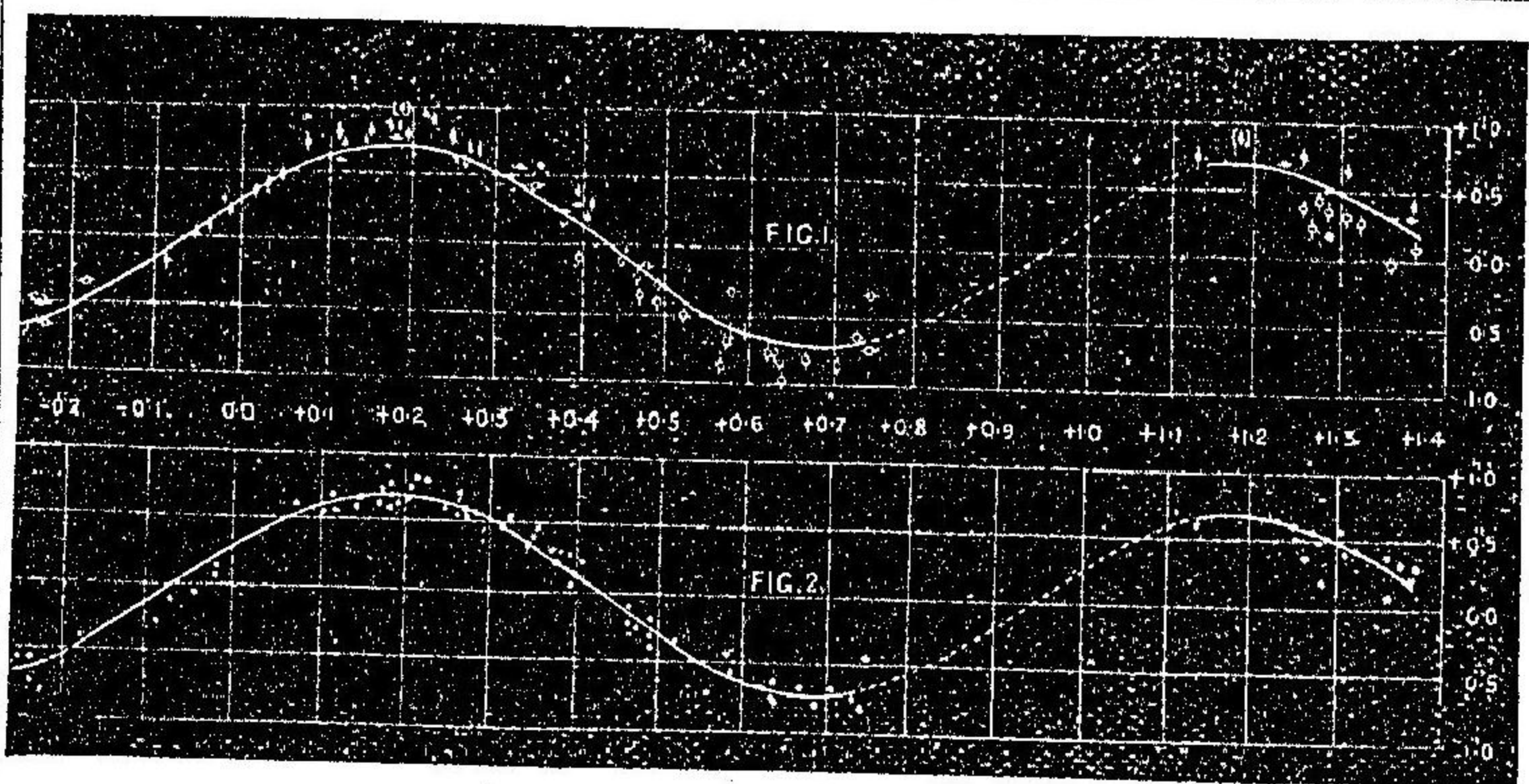
星名	等級	固有運動	視差
六一シグニ	五	五、一四秒	〇、五〇秒
ラランド	七四分ノ一	四、七五	〇、五〇
三四グルームブリッヂ	八	二、八一	〇、二九
ラランド二一二五八	八	四、四〇	〇、二七
ドラコニス	一	一、八七	〇、二五
ライラ	一	〇、三五	〇、二〇
ビー、チ、フ、ユ、チ	四、二分ノ一	一、〇	〇、一七
ブーチス	一	二、四三	〇、一三
グルーム、ブリッヂ一八三〇	七	七、〇五	〇、〇九
ブラドレー三〇七七	六	二、一九	〇、〇七
八五ヘガシ	六	一、三八	〇、〇五

第二表 精密に測られたる南半球恒星の視差

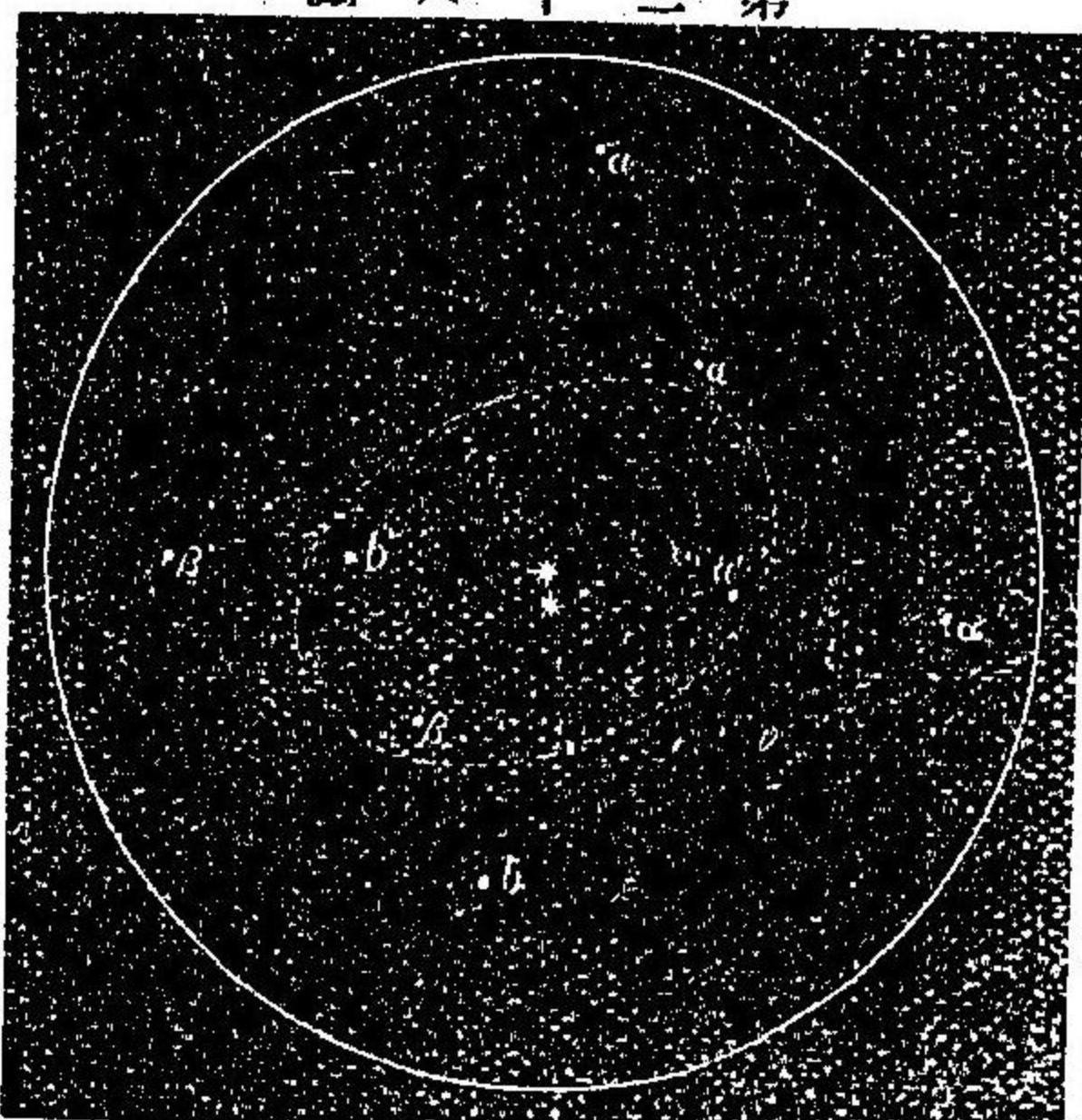
星名	観測者の氏名	等級	固有運動	視差	光の速度を單位とし、 恒星の距離即ち 光の達する年數	恒星の視線に直 角に運動する一 秒間の速度
α セントトリ	ギル及びエルキン	1	3"67	0"75	4.36	14.4
シリウス(天狼星)	全	1	1"24	38	8.6	9.6
ラカイユ九三五一	ギル	7 $\frac{1}{2}$	6"95	28	11.6	7.3
ε インヂ	ギル及びエルキン	5 $\frac{1}{2}$	4"68	22	15.0	6.3
O ₂ エリダニ	ギル	4 $\frac{1}{2}$	4"10	17	19.0	6.9
ε エリダニ	エルキン	4 $\frac{1}{2}$	3"03	14	23.0	6.4
δ ツカチ	エルキン	—	2"05	06	54.0	10.1
α ノバス	エルキン	1	0.00	—	—	—
β セントトリ	ギル	1	—	—	—	—

百二十七 現今ギル及びエルキン二氏は全法を用ひて精密に之が研究をなせり而して左圖中甲はαセントトリの視差に依りて生じたる楕圓と及び之を比較せる各星を擴大して示せるものにして乙は此等の恒星の一年内の位置の變化を示すものなり

第三十九圖



第三十八圖



百二十八 此の如く吾人は恒星の距離を知れり而して恒星の距離と其角直径を知らば其星の大きさを知るとを得べし然るに三百六十度は一、二九六、〇〇〇秒なるを以て全圓周(=2πr)には一、二九六、〇〇〇秒なりと明なり故に直径と相等しき弧は 1296000 秒
 を有し半徑に等しき弧は 31416 秒
 $\frac{1296000}{31416 \times 2} = 2062.65$ 秒
 を有すべし然るときは
 (直径の距離) : (距離の距離) : : (角直径) : 2062.65
 してdを以て直径の長さとしDを以て距離とすれば

$$d = \frac{D \times \text{角直径}}{206265}$$
 なり例へば月の平均角直径は三十一分八秒八即ち一

八六八、八秒にして其距離二三七、六四〇哩なるを以て月の直径は

$$d = \frac{237640 \times 18688}{200265} = 2153 \text{哩}$$

なるを知るべし

今之を反對にしてDを知るとを得べし

第十章 天体の比重及び質量

百二十九 地球の比重及び質量 吾人は地球に對する各惑星及び太陽の比較質量を定むることを得るを以て其基礎たる地球の比重を定むることを要す而して地球を構成する物質は或は瓦斯の如き軽きものあり或は金属の如き重きものありて其輕重一様ならず故に吾人は其平均比重を定め以て其質量を知らんと欲す而して之を行ふ法三あり

- 第一 地球の引力と重き金属の大地の引力とを比較すると
- 第二 振子を山麓に垂下せしむるときは振子は山の引力に依りて吸引せられ爲めに山に向て傾くへし而して此傾斜する角を測り以て比重を測定する

と

第三 振子振動の速度を測定し以て之を定むる法

(イ) 山上及び山麓に於て之を行ふと

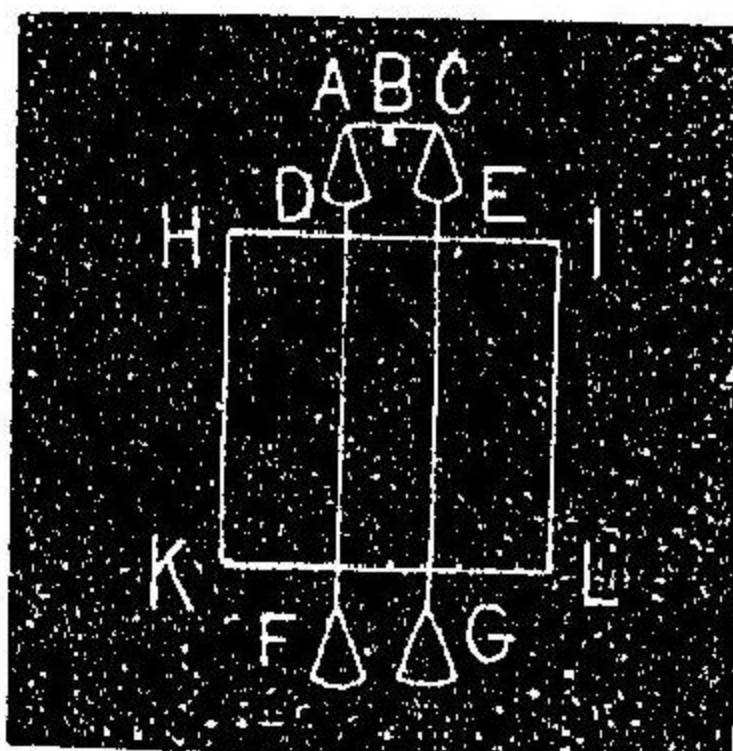
(ロ) 鐵山の内外に於て之を行ふと

吾人は第一法を説明せん。左圖に於てHIKLを立法體の大なる鉛塊とし之にDE及びEGなる小孔を穿つ而してABCは秤にしてDEFGなる四箇の皿を有しD及びFはDEなる孔を通して互に連絡しE及びGは又EGを通して互に相連絡し且秤は物體を載せざる時相平均するものとす

今重量WをDに載せ又一の重量をGに載せ相平均せしむるときはDに於ける引力は地球の引力とHIKLとの引力の和にしてGに於ては其差なり故に

(1) Gに於ける重量 = Dに於ける重量 + 2(鉛塊の引力)

次にWを取りて之をFに置き他の重量をEに載せ之をして互に相平均せしむるときは同様に依り



第四十圖

(2) Eに於ける重量 = Fに於ける重量 - 2(鉛塊の引力)

然るにFに於ける重量とDに於ける重量とは共にWなるを以て(1)及び(2)に依りて

Gに於ける重量 - Eに於ける重量 = 4(鉛塊の引力)

を得へし面して固よりDEFGに於ける高さの差より生ずる誤差を正すを要す

此の如くにして已に重量の知れたる鉛塊の物體に及ぼす引力を知るを以て之を已に知られたる地球の引力に比して地球の質量を定むるなり何となれば引力の法則に依りて物體間の引力は其質量に正比例するを知るを以てなり然るに吾人は又地球の容積を知るを以て其比重を定むるを得べし而して地球の比重は殆んど五、五五なりとす

百三十 吾人は已に地球の質量を知れり今之を用ひて太陽及び各惑星の地球に對する質量を定めんとす地球の中心を去ること四千哩なる地球表面に於ては物體の墜落する距離第一秒時に殆んど四、九メートルなるを以て太陽の中

心を距る四千哩の所に在ては物體の墜落する距離如何を知らば直に太陽の質量を知るべきなり然るに地球は太陽の周圍を運行し一秒時に太陽に向て近くと殆んど〇〇〇三〇二メートルなり而して太陽と地球の距離は九二、九六五、〇〇〇哩なるを以て太陽の中心を距る四千哩の處に於ては其墜落する距離は〇、〇〇三〇二メートルに二三二四一の平方を乘したるものなるべし即ち一六二七九一五メートルなり今地球の質量を一とすれば

$$4.9 : 1.627,915 : : 1 : \text{太陽の質量}$$

に依りて太陽の質量を定むるとを得べし月に於ても亦此一の法を以て之を測定するとを得べし

又衛星軌道の關係に依りて惑星に墜落する距離を測算し之を地球上墜落の距離に比較し以て惑星の質量を定む

百三十一 太陽の質量は又左の法に依るも之を測定すること得べし吾人は惑星運動の條下に於て地球に於ける求心力は $\frac{4\pi^2 R}{T^2}$ なるを論せり而して此求心力は即ち太陽の地球に於ける引力を表はすものにして其質量に正比例し其

距離の平方に反比例するが故に

$$\frac{\text{太陽の質量}}{R^2} = 4\pi^2 \frac{R}{T^2} \quad \text{即ち} \quad \text{太陽の質量} = 4\pi^2 \frac{R^3}{T^2} \quad (1)$$

次に $\frac{4\pi^2 R}{T^2}$ を以て月に對する地球の引力とすれば同様に依りて…… (2)

$$\text{地球の質量} = 4\pi^2 \frac{r^3}{T^2} \quad (3)$$

を得べし今方程式(3)を以て方程式(2)を除かるとせば

$$\frac{\text{太陽の質量}}{\text{地球の質量}} = \frac{R^3 \times T^2}{T^2 \times r^3} \quad \text{然るに} \quad (4)$$

然るに

(地球と太陽の距離)=11,744倍地球の直径

(地球の太陽を一週する日數)=365.265日

(地球と月の距離)=29,982倍地球の直径

(月の地球を一週する日數)=27.321日

なるを以て方程式(4)に依りて

$$\frac{\text{太陽の質量}}{\text{地球の質量}} = \frac{(11,744)^3 \times (27.321)^2}{(365.265)^2 \times (29,982)^3}$$

を得以て太陽の地球に對する質量を知るなり又同一の法に依りて木星土星天王星海王星等の質量を定むることを得べし
 若し此等各星の大きさを知らるときは已に其質量を知るを以て從ふて其比重を知るを得べく又其引力をも知るを得べし

百三十二 左に各惑星の質量比重容積を示さん地球を一〇〇とす

惑星名稱	容積	質量	比重
水星	6	7	121
金星	90	77	
地球	100	100	100
火星	15	11	74
木星	129.945	31.187	24
土星	71.795	9.333	13
天王星	6.287	1.466	23
海王星	5.430	1.686	20

太陽

1,305,000 × 100

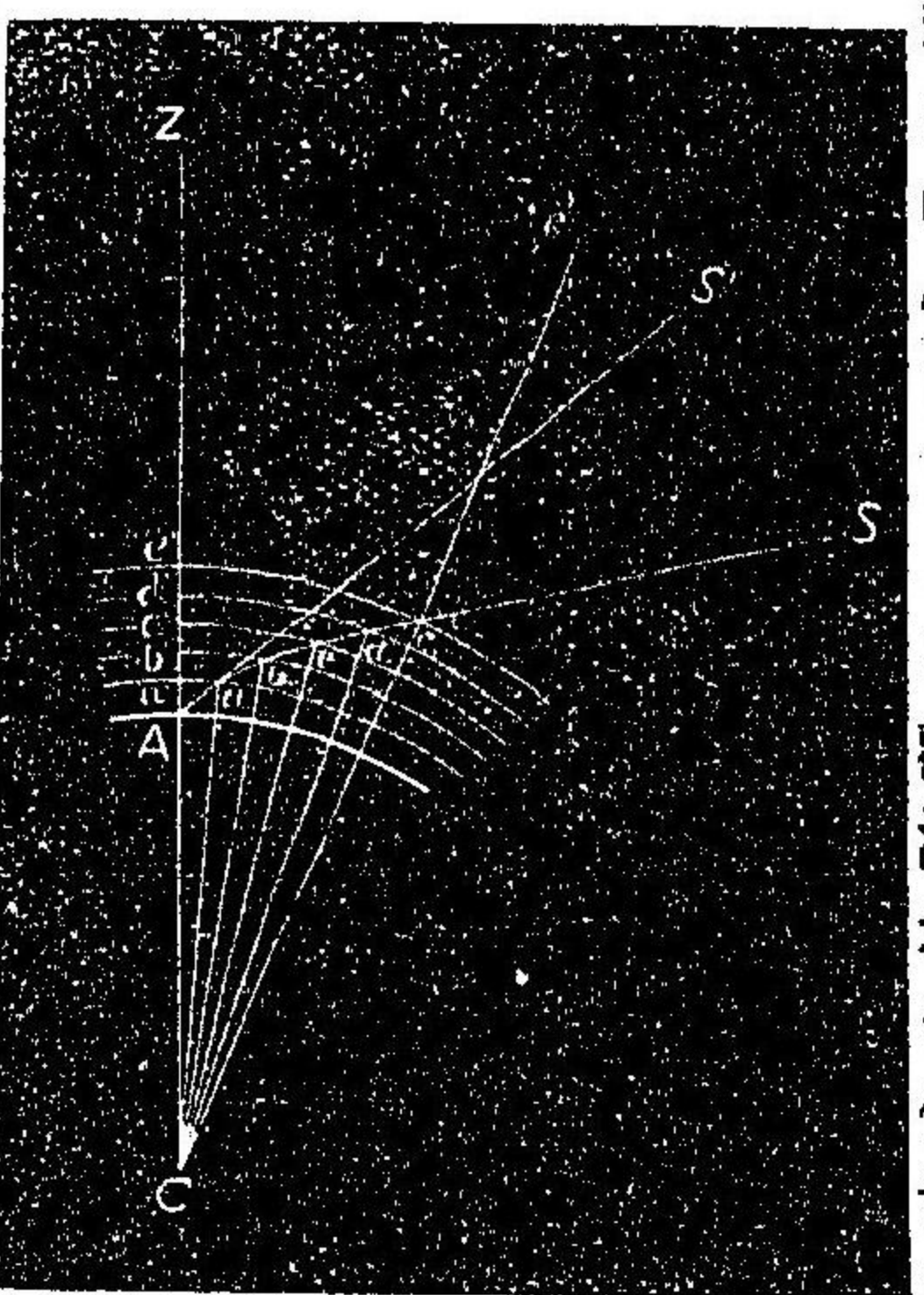
330,000 × 100

25

第十一章 光の屈折反射及び「アベラシヨ」及び其他必要なる誤差率

百三十三 地球上所を異にするに從ひて視差を生じ其視差は又天躰の遠近に依て變ずるが故に天躰の眞位置は悉く之を地球の中心より觀測せるものとなさざるべからざる所以は前已に之を説けり然るに唯だ視差のみを正すも吾人は未だ以て天躰の眞位置を知ると能はざるなり吾人は星辰を天球に投影し星辰より來る光は一直線に我眼底に落ち來るものと見做して之を説明せり然れども凡そ光の行路は眞空より空氣中に入るとき又は空氣の疎境より密境に移るときは必ず屈折して方向を變じ二境の分畫畫への垂直線に近くとは物理學上の確論にして各天躰より來る光も亦此法則に依て支配せらるゝを免れず故に眞空中に於ては直路を取るも其一たび空氣中に入るに及んでは其行路曲折して一の曲線を作り以て吾人の眼底に達す尙此理を説明せんとなす

地球を包圍する空氣は地球表面を去る高低に従ふて疎密の度全しからず地球表面に在ては甚だ密なりと雖も其高さを増すに従ふて漸次稀薄となり遂に真空の域に至る故に之を無數の平行なる層に分つときは各層其疎密の度を異にするも全一層中に於ては空氣の密度全一なりと見做すとを得べし今Cを地球の中心としAを觀測者の位置としSを某星とし a, b, c, d, e 等を空氣層とし而して e を空氣の限界とす然るときSはより來る光は一直線に e に達し此に於て屈折をなし垂直線 oe に近くべし故に其行路は So の引長線にあらざして is なり其一たび d に達するや又屈折して其行路 is となり順次 c, b, a 等の行路を経て遂にAに達す而して各層の厚さを非常に小とすればSより來る光は空氣中に於ては曲線の行路を取ると以上の理に依りて明なり教にAに於ける觀測者は其星をSに望まざして却て As の方向にSに望むべし即ち屈折の顯象は星辰をして天頂に近かしむ今



第四十二圖

若し天躰が天頂の方向にあるときは其光は毫も屈折せずして吾人の眼底に來るべく又地平に近き星辰より發する光は空氣を通過する距離大なるを以て屈折の影響を蒙ると甚だ大なり圖に於て As はS星の視天頂距離にして其眞の天頂距離は ZAS なり而して月を除くの外總ての天躰に於てはSAをSOと一致するものと見做すも敢て不可となし而して SAO を其屈折と云ふ今星辰の高度と屈折の關係を表を以て示せば

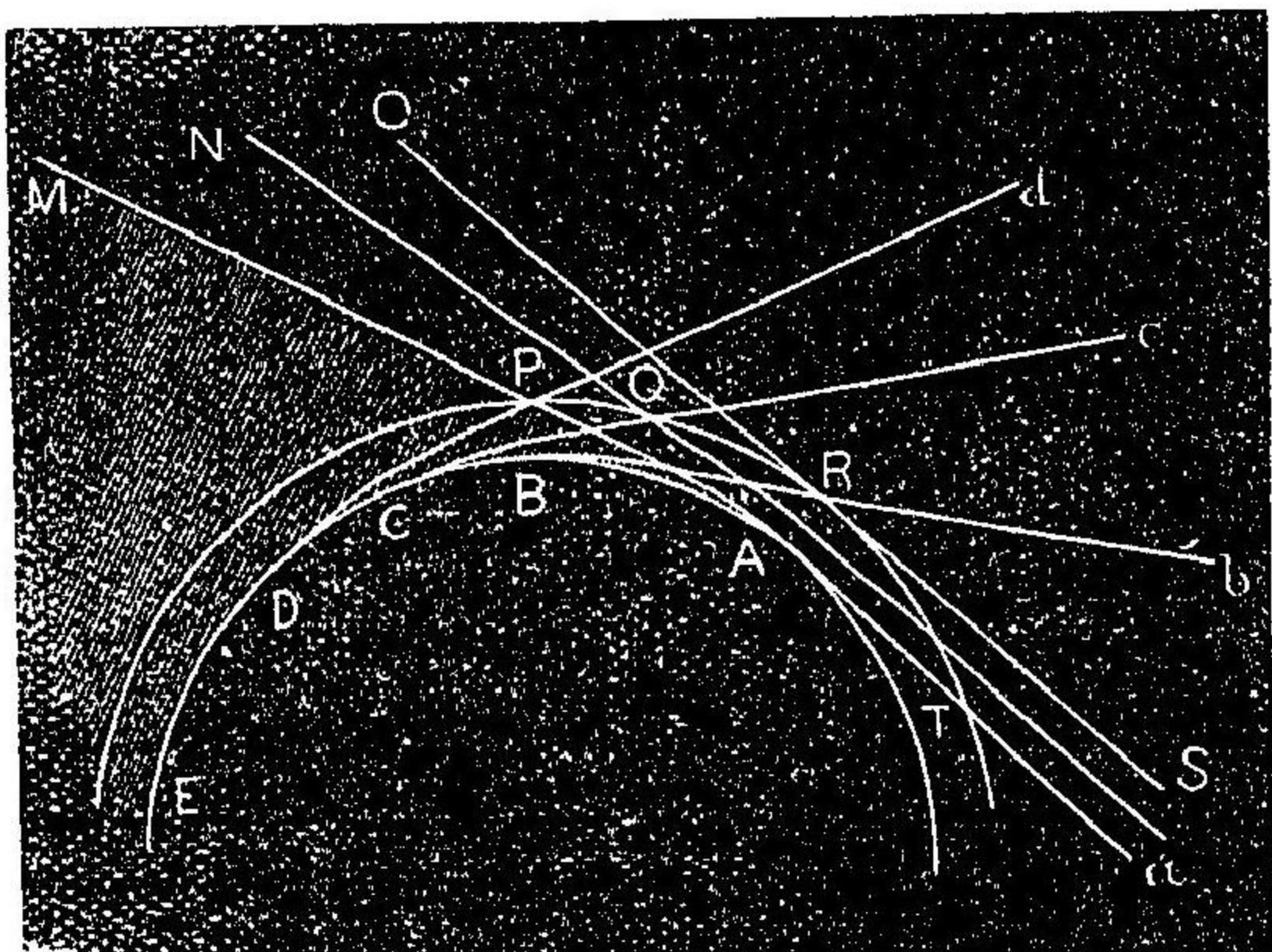
視高度	平均屈折	視高度	平均屈折	視高度	平均屈折	視高度	平均屈折	
0° 0'	34'	54"	6° 0'	8'	23"	25'	2'	3"
0 20	30	52	7 0	7	20	30	1 1	40
0 40	27	23	8 0	6	30	35	1 1	22
0 0	24	25	9 0	5	49	40	1 1	9
0 30	20	51	10 0	5	16	45	0 0	58
0 0	18	9	11 0	4	49	50	0 0	48
0 30	16	1	12 0	4	25	60	0 0	33
0 0	14	15	13 0	4	5	70	0 0	21
0 30	12	48	14 0	3	47	80	0 0	10
0 0	11	39	15 0	3	32	90	0 0	0
0 30	9	47	20 0	2	37			

なり然れども實際に於ては觀測當時に於ける空氣の密度を見て尙ほ之を正すを要す

百三十四 味爽及び黄昏 以上の理に依りて之を觀れば光の屈折に依り太陽の未だ地平線上に出でざるに早く之を認め其已に没するの後も亦尙ほ之を望むとを得べく從ふて晝間の長さを増すを知るべし且夫れ空氣中に浮遊せる極微の塵埃は大陽の光を反射して其未だ出でざるに已に東天をして白からしめ其没するの後も西天に異様の光彩を與へ以て晝間を増すの作用をなすと猶ほ細隙より來る光の塵埃に映じて暗室をして明かならしむるが如し今日没に就て之を論ぜん

大陽已に西山に没するの後其光地球の爲めに遮られ吾人は復た直接に之を見んと能はず然れども其光は雲に映じて下方に反射せられ空氣をして普く輝かしめ以て地上に明を與ふ今圖に於てABODを地球としAを觀測者の位置としAEを地平線とし而して大陽Sは正に地平線下に没せんとする時とす又BbをBに於ける地平線としCcをCに於ける地平線DdをDに於ける地平線とし圓PQR

第四十二圖



を以て空氣の界限とす

然るときはSより來る最下部の光線はSAMにしてAに於て地球に觸接し之より上部にある光はSN及びSQの方向を取りAの上部を通過してQ及びRに於て空氣外に出づSAPM及びSQNの如き光線は空氣の爲めに屈折せらるゝも獨りSBOは然らず之れ空氣の界限に觸接するを以て

なり

MABODEは地球の影なるを以てAに於ける觀測者は太陽より來る直接の光を見且暮天の紅彩を望むもBに於ける者は太陽を直接に望むと能はず又ABMの下部に於ける空氣よりは光Bに達することなし唯たBの地平線上にある空氣の一部DBx中の塵埃に依りて反射せられたる光に依り美麗なる黄昏の天を見るべし蓋し黄昏の光彩はBに於て尤も甚くしくPに赴くに從ふて漸次減少す而して其高

度は 90° なり

C に於ては P₀Z より来る光を認むるか故に之を B に於けるものに比すれば其光小にして其高度は 90° なり而して D に於ては已に夜にして空氣の輝ける部分に全く地平線 D₀ の下にあり

味爽及び黄昏の返照は冬時より寧ろ夏時に甚しく低緯度の地に於てよりは高緯度の地に於て著し盛夏の候英國に於ては黄昏の止むや東天已に白み殆んど適當に夜間と稱すべきの時なし之に反して熱帶地方に在ては嘗て此顯象を見るとなし而して黄昏の返照は大陽地平線下に没すると殆んど二十度にして消滅するものなり

百三十五 「アベシヨ」 光の屈折の外尙ほ星辰の位置に外見上變動を與ふる顯象あり之を「アベラシヨ」と云ふ凡そ光の來るや光射光を發すると同時に我に達するにあらすして一定の速度を以て進行す故に吾人は天球上に星辰を見るときは之れ其星辰の現今の位置にあらすして數年前の位置なるべく又光射の光消滅するを見るときは之れ光の現今消滅せるにあらす其消滅せる已に

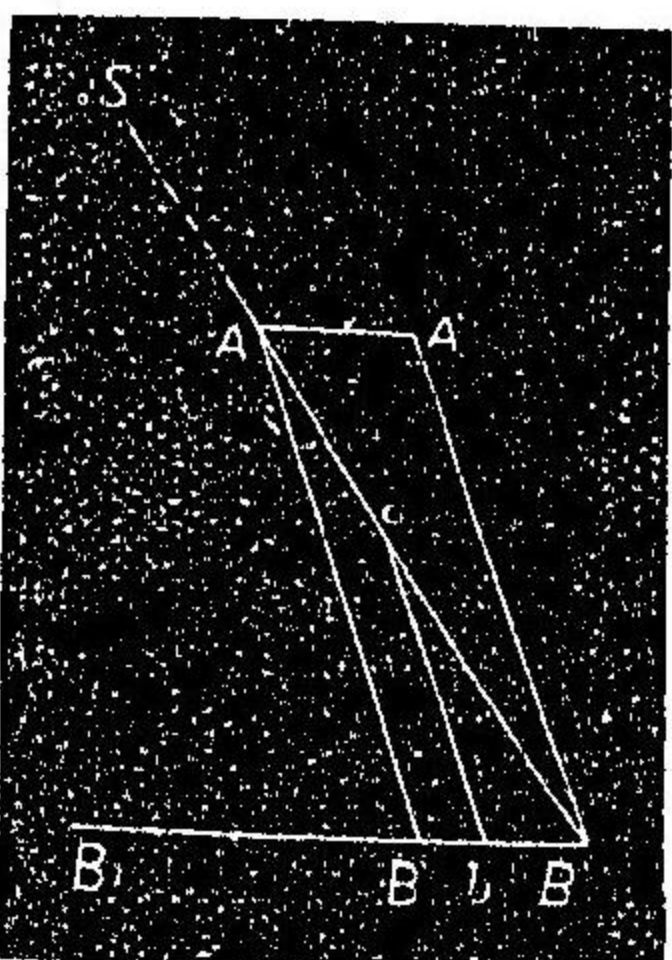
數年の前にあり

光の速度は甚た大にして地球上に在ては一所より一所に達する甚た瞬時なるを以て之を考察するの要なしと雖ども天球觀測に於ては天球距離非常に大なるを以て光の速度は又之を研究せざるべからず蓋し光の速度を有するを始めて發見せしは木星に於ける衛星の觀測に依れり木星に於ける衛星の蝕するや其木星の陰影中に出沒隱顯する景狀は地球より明に之を窺ふとを得べくして「レーム」は其蝕する時刻は木星と地球の距離に關係するを發見せり即ち地球と木星との距離近きとき衛星の蝕する時間の表を作り此表に依りて其距離大なる時に於ける蝕の時刻を算出し置きしに距離の大なる時に於ては其顯象の起る必ず常に後るゝとを發見せり是れ他なし光の速度は無量大にあらざして測定し得べきものなればなり

百三十六 「レーム」の説は當時充分に之を承認するものなかりしも一千七百二十九年に至りて「ブラドレー」は他の關係より之を證明したり即ち氏は「ドラコニス」星の視差の觀測に従事せしに視差の爲めに赤緯の變動するは六月に尤

も大に十二月に尤も小に而して三月と九月に於ては星辰は其中間の位置を占むべきに観測の結果は大に之に異りて六月及び十二月に於ける赤緯は相等しく而して九月に於ける赤緯は三月に於ける赤緯より四十秒大なるを見たり是れ實に光の速度と地球の速度の關係に依りて生ずる顯象にして今此理を説かんとす

第四十三圖



AB を望遠鏡の方向としSを恒星の位置とし光の方向はSABとし而して観測者BはB'の方向に動くものとす若し光AよりB'に達する時間に観測者BはB'に至るものならんにはS星を望むに際し望遠鏡をB'A'に平行になすことなく之をABの方位に向はしめは反つてS星の望遠鏡内にあるを見る何となればAに於ける光のaに達するときは望遠鏡ABはB'の所にあるべく其B'に達するときは観測者はB'にありて望遠鏡はA'B'の位置を占めて光は始終恰も望遠鏡の視軸に沿ふて進行するが如きを以てなり故に吾人はS星をB'A'の方向に望み A'B'Sの差を生ず之を「アベラシヨ」云ふ猶ほ數理を用ゐて之を説

かん而して光の速度をVとし観測者の速度をvとす今観測者にvなる速度を其進む方向に反對に又光に之れと全一の速度を加ふるも兩者運動の關係は敢て異なるとなし然るに此の如くせば観測者は静止し光の方向は變すべし今A'B'を以てVを表すときはB'B'はvなるを以て光の方向は此二者の合成したる結果にしてABの方向なると明なり而して

$$V:v :: \sin A'B':\sin B'A'B$$

即ち

$$\sin B'A'B = \frac{v}{V} \sin A'B'B$$

にして光の速度と観測者の速度とを知れば其變移せる角度を知るなり

百三十七 此現象の爲めに各星の位置は一年間常に變移するものなり然るに若し地球の進む方向中に星辰の存在するときは星辰の位置は毫も其影響を蒙るとなく又其方向之に直角なるときは其影響尤も大にして其中間に於ては其影響亦中間に位すると以上の理によりて明なり

星の位置若し黄道の極に位する時は其方向観測者の運動に直角($\sin A'B'B=1$)なるを以て星辰は一年にして極を中心とする小圓を書くを見るべく若し又星

辰の位置黄道面内にあるときは星辰は唯だ一線上に左右に運動し其中間の各所に於ける星辰は小楕圓を畫くを見るべし而して此等の圓の直徑楕圓の長徑及び左右に振動する長さは皆悉く相全しくして二十秒四九二なりと雖ども楕圓の短徑は黄道上に於ては零にして其極に近くに從ふて漸く大となり遂に貳拾秒四九二に達するなり而して二十秒四九二を「アペラシヨンの定數」と云ふ

第二編

第一章 大陽系統の構造を論ず

百三十八 大小數多の惑星衛星彗星無數の流星及び大陽は皆悉く大陽系に屬し惑星彗星流星は大陽を廻り衛星は惑星を回る而して彗星は或は一定の周期を有するものあり又然らずして時ありて顯はるゝあり其時ありて顯はるゝものは軌道凡べて拋物線にして大陽を回る際之を見ることを得るも復た去て茫然其跡を止めず
大陽系に屬する諸星は之を左の如く分類す

第一 中心躰 大陽

第二 四箇の内部惑星 水星金星地球火星

第三 小惑星の一群 其軌道は火星木星の間にあり

第四 四箇の外部惑星 木星土星天王海王星

第五 衛星 惑星を主星として之を周る

第六 彗星及び流星 其軌道の偏心率は甚だ大なり

又第二第三に屬するものを總稱して大惑星と云ひ第三に屬する小惑星と區別することあり而して「ハーシヨルの惑星彗星等」に關する定義は蓋し一顧の値なしとせず故に之を記せんとす

一、惑星は大なる天躰にして偏心率の大ならざる楕圓軌道に沿ひ西より東に向ひ大陽を一周す其軌道は地球の軌道と傾斜するも其角度甚だ小にして數度を越ゆることなし而して各惑星の軌道は互に隔絶す惑星中或は衛星を有するものあり或は環を有するものあり而して多くは「剪圍氣」に依りて包圍せらるる剪圍氣の高さは大なりと雖も之を其惑星の直徑に比すれば甚だ小なり

二、小惑星は其形小なる天躰にして大陽を一周す其軌道は楕圓にして或は偏心率の大なるあり或は小なるあり其軌道の地球軌道に傾斜すること一様ならず其角度或は大なるあり或は小なるあり而して又彗圍氣を有するものあり又之を有せざるものあり

三、彗星は一般に小なる天躰にして其軌道は偏心率の大なる楕圓若くは拋物線なり軌道面は其位置に依りて非常に異にして其運動の方向は全く不定なり而して皆彗圍氣を有す彗圍氣の高さは甚だ大にして彗星に長尾を曳くの觀を與ふ

百三十九 ボードの法則 今 0.3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384, 等の後者は前者に倍す(3は除くる數を作り之に4を加ふれば
4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196, 388,

等を得然るに此等の諸數は殆んど能く各惑星(海王星は除く而して其發見は此法則を唱道せし以後にあり)より大陽に至る距離と一致す之をボードの法則と云ふ即ち其距離と此數の關係を示さば

名稱	距離	ボードノ數	名稱	距離	ボードの數
水星	三、九	四、〇	木星	五二、〇	五二、〇
金星	七、二	七、〇	土星	九五、四	一〇〇、〇
地球	一〇、〇	一〇、〇	天王星	一九一、八	一九六、〇
火星	一五、二	一六、〇	海王星	三〇〇、四	三八八、〇
セレス	二七、七	二八、〇	(小惑星に屬す)		

而して獨り海王星のみ一致せざるを見るべし

百四十 大陽及び各惑星の光輝の比較 チェルナル氏の測定に依れば 誤差の百分比例

月	六一八、〇〇〇	一、六
火星	六、九九四、〇〇〇、〇〇〇	五、八
木星	五、四七二、〇〇〇、〇〇〇	五、七
土星環を除く)	一三〇、九八〇、〇〇〇、〇〇〇	五、〇
天王星	八、四八六、〇〇〇、〇〇〇、〇〇〇	六、〇