

第一篇

天体的视运动

第一章

周日运动

在晴朗的夜里，如果你站在空旷的地方注意天空的景象，便会看见它在不断地变化。星星都在升起或落下，有些从东方出来，有些向西方落下。例如，北极星与大熊座内的星在我们的地方绝不会达到地平线下^①。在这些运动里，所有的星的相对位置从不改变，它们都在圆周上运动，和我们认为是一个不动之点愈接近的星，它所走的圆周愈小。因此，天穹像是围绕两个固定点在旋转，这两点叫做天球的极点，天穹便带着众星所组成的体系而运动。在我们地平上的一个极点叫做北极，我们想象在地平下和北极相对的还有另一极点叫做南极。

这样便发生几个有趣的问题需要解决。夜间所看见的星在白昼怎样？刚出现的星从哪里来？落下的星往哪里去？仔细研究天象，便会对这些问题给予简明的回答。早晨当曙光逐渐增强之时，星光逐渐暗弱；夜晚当暮色逐渐变暗之时，星光逐渐明亮。由此可见太阳升起后我们看不见星，不是它们停止发光，而是它们为黎明的曙光和太阳的强光所掩蔽。望远镜发明后使我们能够证实这个解释，即使太阳升起相当高时，在望远镜里我们还可看见亮星。那些距北极相当近，不降到地平下面的星是经常可以看见的。至于那些从东方升起，向西方落下的星，我们自

然会认为它们继续在地平面之下而为地平所遮掩的那部分圆周上运动。如果我们到北方地区去，更会体会到这个事实，因为在天穹上对着北方地区的星所运行的圆周愈来愈高出地平，这些星永远不会隐没。至于另外一些在天穹上对着南方的星，便成了永远不会被我们看见的星。如果我们到南方地区去，将会看见相反的现象，有些星常在地平上，有些星交替地升起和落下，有些从前看不见的，现在开始出现。因此，地面并不像我们所看见的是支持天穹的平面，早期的观天者很快便纠正了这种幻觉；接着他们便了解天空四面八方地包围着地球，而且星在天穹上不断地发光，每颗星在天穹上每日描绘出一个圆周。以后我们还会看到天文学常常要纠正这一类幻觉，使我们透过骗人的表面现象去认识真正的事实。

为了对天体运动形成精确的概念，我们设想通过地球的中心与其两个极点有一根轴，天球便围绕这根轴旋转着。与这根轴正交的大圆叫做赤道，由于周日运动，天体在平行于赤道的小圆上运行，这些小圆叫做赤纬圈。观测者的天顶是其铅垂线与天球相交的一点；与天顶直接相反的一点叫做天底。经过天顶与两极的大圆叫做子午圈，它将天体在地平上所绘的弧平分为二，当天体达到子午圈时，它们便达到最高或最低处。最后，与铅垂线正交的大圆，或平行于观测处静止的水面的大圆，叫做地平。

北极的高度是不落的星在最高与最低处的平均高度，这是决定北极的高度的一个简易的方法。如果你向北行，将看见北极升高，升高的度数大约和你所走过的路程成正比。因此，地球的表面是凸出的，它的形状与球相似。地球的曲面表现在海洋面上，海船驶近岸时，海员先看见陆地上的最高点，跟着挨次出现被地球弧线所遮掩的较低的部分。太阳初升时，阳光先照山

峰，然后达到平原，这也是由于地球的曲面所造成的现象。

注 释

这是在法国所看见的情况，相当于我国黑龙江、吉林一带地区所看见的星空。——译者

第一章

太阳和它的运动

一切天体都参加天球的周日运动，但是有些天体有其自身的运动，追踪这些运动有其重要性，因为它们可以引导我们认识真正的宇宙体系。正如测量远处物体的距离，我们是从两个不同的位置去观测它的，因此为了发现自然的结构，我们应从各个观察点去考察它，在它给予我们的现象的变化里，观测它的规律的发展。在地球上我们可用实验的方法使现象改变，对于天象我们便只能仔细地测定天体运动呈现出的各种现象。用这些方法向自然界探询，并将其答案加以数学的分析，由于这一系列审慎处理的归纳，我们便会达到从一切特殊事实所导出的带有普遍性的现象。我们应该致力于发现这些带有普遍性的重大现象，并将它们的数目尽量减少，因为万物的本性及其“第一因”是我们永远不能认识的。

太阳有一种与周日运动相反的自身运动。我们从夜间看见随季节变化与循环的天象而认识这一运动。在太阳运动的路径上比太阳稍后一些时间降落的恒星，不久便淹没在阳光里，然后又又在太阳的前面升起，可见太阳是朝着这些恒星由西向东运行的。很多年代以来，我们跟踪太阳的运动（所以现在能以很高的精确度来测定它）即每天观测太阳中天（即到子午圈时）的高度和太阳中天与恒星中天之间所经历的时间。这些观测为我们提

供太阳运动在子午圈上与在赤纬圈上的两个分量，这些分量之和便是太阳围绕地球的视运动。由此我们求得太阳在其轨道（黄道）上的运动，1801年初黄道与赤道的交角为 $26^{\circ}07'31.5''$ ，即 $23^{\circ}.46584^{\text{①}}$ 。

四季的变化更是由于黄道与赤道不在同一平面内所引起的。当太阳由其周年运动达到赤道时，更由于它的周日运动，便在很接近于赤道的圆周上运行。由于赤道为各处的地平平均分为二，因而到处的昼夜都是等长的。所以赤道与黄道的交点称为二分点。太阳从春分点出发在其轨道前进时，它在我们地平上的中天高度日益增加，它每天所走的赤纬圈上可见的弧不断地增长，因而白昼逐日变长，直到太阳达到其最大高度时为止。这时白昼最长，因为太阳的中天高度达到其极大值，所以高度的变化小得不能觉察，如果只考虑与昼长有关的中天高度，这时太阳好像停止不动。黄道上与这一极大值相对之点叫做夏至点。那时太阳所走的赤纬圈叫做北回归线。接着太阳再向赤道运行，由秋分点通过赤道，直至冬至点而达其极小值。那时太阳所走的赤纬圈叫做南回归线，与之相对应的白昼在一年内为极短。自此以后太阳复向赤道运行，再由春分点过赤道，如此年复一年地周而复始。

这便是太阳与四季恒常的运行。春季是春分与夏至之间的一段时间；夏季是夏至与秋分之间的一段时间；秋季是秋分与冬至之间的一段时间；冬季是冬至与春分之间的一段时间。

由于太阳出现在地平上是使气候变热的原因，好像夏季与春季的温度应当相同，冬季与秋季的温度应当相同。但是温度高低不是太阳出现的瞬间效应而是长时间的累积效应。温度达到最高时应在太阳在地平上极高处之时（即夏至日）以后的某些日子里。

地球上从赤道至两极，气候有显著的变化。赤道上，地平将所有赤纬圈平分，因此那里昼夜终年等长。在二分日太阳中午上升到天顶。在二至日太阳中天高度最低，等于黄赤交角的余角；冬至和夏至中午的日影在相反的方向上，这是在我国的纬度地方绝不会有的现象，我们这里中午的日影总指北方。因此可以说赤道上每年有两个冬季和两个夏季。北极的高度小于黄赤交角的地方（热带）皆发生与这相同的现象；北极的高度超过黄赤交角的地方（温带）太阳绝不会到天顶，一年内只有一个夏季、一个冬季；愈近北极的地方，夏至白昼愈长，冬至白昼愈短，到了天顶与北极相距只有黄赤交角那样远时，夏至日太阳便不落下，冬至日太阳便不升起。在比这更接近两极的地方（寒带）二至日前后太阳出现在地平上或隐藏在地平下的日子可以延续几日或数月。最后，在两极点正下面的地方，地平即是赤道；当太阳与极点在赤道的同一侧时太阳常在地平之上；当太阳与极点不在赤道的同一侧时，太阳便常在地平之下；因此两极地方每年只有一昼和一夜，各长 6 个月。

现在特别跟踪太阳的运行。首先我们注意到二分日之间的时间与二至日之间的时间是不等的：从春分到秋分（即春夏两季），比从秋分返回到春分的时间（即秋冬两季）约长 8 天，因此太阳的运动不是均匀的。由精密而众多的观测，得知太阳在轨道上与冬至点接近的一点运行最快，而在轨道上与此相对的一点，即与夏至点接近的一点，太阳运行最慢。太阳在前一点每日走 $1^{\circ}.0194$ 在后一点每日走 $0^{\circ}.9532$ ；因此一年内太阳的运动速率是有变化的，其最大和最小值可以或快或慢于平均值的 $336/10000$ 。

这一变化累积起来可以在太阳的运动上产生一个感觉得到的差数。为了从这差数寻觅定律，我们可以考虑这样一些角度

适宜于表达这些差数，即它们的正弦与余弦在这些角度增加并在圆周上运行一周时能回到原来的数值。因此，按照这个方法去表达天体运动的一切差数有两个困难，一方面是分开这些差数，另一方面是决定这些差数所依赖的角。我们所讨论的差数，是于太阳每运行一周时恢复其原值，因此可使它依赖太阳运动的角度和这角度的整倍数。而且将这差数表达为这角度的正弦级数时，我们发现只须保留这个级数的头两项便可得到很好的近似值，其中第一项与太阳和它在轨道上运行最速的一点之间的角距离的正弦成正比，第二项比第一项约小 95 倍 与这角距离的 2 倍的正弦成正比^②。

太阳视直径的测量向我们证明了它和角速度相同，是随地球—太阳间的距离而变化的。这视直径按照角速度变化的规律而变化，但小 2 倍。太阳运行速度最快时视直径是 $32'35''.6$ 速度最慢时视直径是 $31'31''.0$ 因而其平均值是 $32'3''.3$ ^③。

太阳—地球之间的距离是其视直径的倒数，这距离的变长与其视直径的变短遵循相同的规律。太阳轨道与地球最近的一点叫做近地点，最远的一点叫做远地点。在近地点处太阳的视直径与速度均最大，在远地点这两者均最小。

要太阳的视运动变缓，只须使它更远离地球。但是如果只是这个原因造成太阳运动的变化，而且假设太阳的真速度不变，那么，它的视速度与其视直径将按相同的比例而变小。然而，实际上视速度是按视直径的 2 倍而变小，因此当太阳远离地球时，太阳的运动将有真实的变缓。由于这一变缓与距离的增加两者的综合效应，太阳的角速度按距离的平方增加而减少，因此角速度与距离的平方数的乘积差不多是一个常数。太阳视直径的测量与其日常运动的观测的比较，证实这个结果。

连接太阳中心与地球中心的直线叫做向径，并知道一天内

这个向径绕地球扫过的扇形面积与这向径的平方和太阳每天的视运动（即扫过的角度）之乘积成正比。因此这个面积是常数，而且从一定向径开始后，它在若干日内所扫过的总面积和太阳在这个定向径上开始所经过的日数按正比增大。所以向径所扫过的面积和时间成正比。太阳的角速度与其对于焦点的距离之间的关系，应当看作是这运动理论的一个基本定律，除非观测须使我们加以修改。

如果每天记下太阳的位置及其向径的长度，而且通过这些向径的末端绘一条曲线，我们便会发现只在连接最长与最短两向径末端的直线那个方向上特别伸长。这一曲线形似椭圆，使我们将它与椭圆比较而认出这两曲线确是相同的，于是我们断定：太阳的轨道是椭圆，地球的中心在其一个焦点上。

椭圆是一条有名的曲线，在几何学里属于一种圆锥曲线。其绘法是简易的 即固定两点 叫做焦点 于一平面上 而将一根丝线（应比两焦点间的距离长）的两端系在两焦点上，并将其拖紧于一笔尖上，则这个笔尖在这平面上运动时所绘出的曲线便是椭圆。这样绘出的椭圆显然在连接两焦点的直线的方向上伸长，这条直线延长到椭圆的两端形成长轴，其长度等于所用的丝线的长度。由中心与长轴正交而延长到椭圆上一段直线叫做短轴；一个焦点与中心之间的距离与长轴之比叫做椭圆的偏心率。如果两焦点相合为一点，则椭圆变为正圆；如果使两焦点离开愈远，则椭圆愈扁即偏心率愈大，如果两焦点间的距离无限地增长 而一焦点与曲线最接近之点（顶点）间的距离仍是有限的 则椭圆便成了抛物线。

太阳运行的椭圆轨道与正圆相差很少，太阳—地球间的最长距离与其平均距离（即长轴半径）之差，如上所说只是长轴的0.0168（约 $1/60$ ）。这个差数便是偏心率，太阳轨道的偏心率变

小很慢，在一个世纪里也难以觉察。

为了对于太阳的椭圆运动有一个正确的概念，假想有一点在以地心为中心、半径为近地距的圆周上作等速运动；更假设这一点与太阳同时从近地点出发，而且这一点的角运动等于太阳的平均角运动。当这一假想点的向径围绕地球作等速运动时，太阳的向径的运动是不等速的，只是它和近地距与椭圆的弧常常形成与时间成正比的扇形面积。起初，太阳的向径在假想的运动点的向径前面，这两个向径之间形成一个角，这个角增大到某一极限值后开始变小，当太阳到远地点时再度为零，于是这两个向径与长轴重合。在椭圆的第二个半周里，假想点的向径开始在太阳的向径前面，这两向径间夹角，与前半周里在和近地点有相同的角距处两向径的夹角完全相等，以后假想点的向径与太阳的向径又和长轴重合。太阳的向径在假想点前面的角度叫做中心差。中心差的极大值在本世纪之初（即 1801 年 1 月 1 日开始的子夜）是 $1^{\circ}.92426$ ，中心差每世纪大约减少 $17''.2$ 。绕地球运动的这个假想点的角运动由太阳在其轨道上的运行周期而定。将这角运动加上中心差便得太阳的角运动。中心差的研究是数学上一个有趣的问题，这个问题只能够有近似解；但由于太阳轨道的偏心率小，致使级数收敛得很快，因而容易编制为数字表。

太阳椭圆轨道的长轴不是固定在天空里，这个长轴对于恒星的周年运动约为 $11''.7$ ，转动方向与太阳的转动方向相同。

太阳的轨道与赤道相当接近，据计算求得这轨道与赤道的交角（黄赤交角）每世纪减少 $48''$ 。

太阳椭圆运动的理论还不能确切地表示近代的观测，由于观测精度的增高发现有些小的差数只靠观测还不能得出其规律。这些差数属于从原因追索现象的那一部分天文学，将在本

书第四篇内讨论。

太阳—地球间的距离一向使观测者感觉兴趣，他们曾经使用不断提出的各种方法进行测量。最自然与最简单的方法是几何学家用以测量地上物体的距离的方法。从一条已知长度的基线两端测量该物体与两端连线之间的角度，从 180° 减去这两角之和便得这两条视线的交角，这个角叫做那物体的视差，既知视差便容易算出物体与基线两端的距离。将这个方法应用于太阳，我们应当选择地球上尽可能长的距离作为基线。假使在地面同一经度圈上有两位观测者在正午同时观测太阳中心和北极之间的角距离。这两个角距离之差便是在太阳中心对这两位观测者之间的直线距离所张之角；由这两处的北极高度之差，可将这段直线表为地球半径的分数；因此容易得出从太阳中心看地球半径所张之角。这个角叫做太阳的地平视差；但是这个角很小，用这个方法不能作精确的测量，这个方法只能表示太阳至少在 9000 倍地球直径之外。以后我们要说天文学还有更精确得多的方法去求太阳的视差。我们现在所用的数值是在日—地间平均距离处太阳的视差很接近于 $8''.60$ 由此算出日—地间的平均距离是地球半径的 23984 倍^④。

我们在太阳表面上观测到不规则而有变化的黑子，有时黑子多而面积大，曾经发现过比地球表面大 4、5 倍的黑子^⑤。有时（虽然很少）太阳表面在一两年的时间内像是纯洁而无黑子的。黑子外围常有半影，半影之外有比太阳的其他部分更亮的光斑，黑子即在其中出现或消逝。黑子的性质还不明白，但由黑子我们认识太阳有自转现象。由黑子位置与大小的变化，我们得以分辨出它们运动的一些有规则部分，假设太阳有围绕与黄道差不多正交之轴的自转运动，且方向与绕地球运行方向一致，那么这些黑子运动的有规则部分，恰和太阳面上相应点的运动

相同。由黑子观测算出太阳的赤道带自转的周期为 25.5 日 而日面赤道与黄道的交角为 $7^{\circ}.5$ ^⑥。

大黑子常出现在太阳赤道附近的一带内，在日面经度圈上测量，其宽度不超过赤道两侧 31° 也曾观测到 40° 处的黑子。

春分日前后的日出前或日落后，地平上出现以黄道光而得名的纺锤状的白色微弱光辉，其底部落在日面赤道上。因此我们所看见的像一个很扁的回转椭球，其中心与赤道面和太阳的中心与赤道面似相合。黄道光的长度有时看起来像张开 90° 的角。由于星光可以透过黄道光，因而反射它的流体是异常稀薄的。一般认为，这流体是太阳的大气，但是这大气可能不会伸长得这样远。我们将于本书结尾部分对于黄道光提出我们的看法^⑦。

注 释

本书《编者的话》里说过：作者所采用的角的单位，是直角的 $1/100$ 叫做 *gradé* 表为 *g*) 如改为现今的测角单位(度)应以 0.9 乘之。因此得出 $26g07315 = 23^{\circ}.46581$ 。为了使读者不致混淆，译者已将书中这种未为人使用过的单位都改为一向沿用的单位。——译者

② 这差数名叫时差，即由太阳位置所测算得的时刻(视时)与平太阳时之差，以公式表达是 $\odot = l + 2e \sin M + 5/4 e^2 \sin 2M$ 式内 \odot 表太阳的真黄经， l 表太阳的平黄经， e 表太阳轨道的偏心率，约为 $1/60$ ， M 表平近点角，即差数所依靠的角度。——译者

太阳的视直径，据现今测得的数字是：极大值 = $32'32''.0$ ，极小值 = $31'26''.5$ ，平均值 = $31'59''.26$ 。——译者

这是 18 世纪末的数字，已经经过许多次精密观测的修订。1966 年以来采用的数字是：太阳的地平赤道视差为 $8''.79418$ ，日一地间的平均距离(天文单位)为 149690×10^6 米，即地球的赤道半径的 23454 倍。近年来求得的天文单位为 149597906 ± 106 公里。——译者

⑤ 1946 年发现经历 3 个月的大黑子群，长 32 万公里，面积 91 亿平方公

里，其中最大一颗的面积为 144660×96000 公里，超过地球的面积 12 倍。——译者

- ⑥ 现今采用的数字：日面赤道与黄道的交角是 $7^{\circ}15'$ ，日面赤道的自转周期是 25.38 日。——译者
- ⑦ 黄道光的成因现时认为是地球轨道上的尘埃质点散射太阳光所造成的，也有人说是日冕的延长部分。——译者

第三章

时间和它的测量方法

时间是一联串接续而来的事件在人们记忆里所留下的印象。运动适用于测量时间，因为一个物体不能同时占几个位置，它由一处到另一处必须经过这两处中间的一切地方。假使在它经过这两处之间的直线上的每一点，受到相同的力量，它的运动便是等速的，这直线的各段可用以测量物体经过它们所用的时间。一只摆在每次振荡之末复回到与原先完全相同的地位，这些振荡的周期相同，时间便可用振荡的次数来测量。我们将这方法用于似有等时性的天球的转动，其实人们早已使用这个方法将太阳作为测量时间的目标，太阳复返子午圈与同一个二分点或二至点形成日与年。

平常说的昼是指日出与日没中间的一段时间；夜是太阳在地平面下的一段时间。天文日是周日运动的周期，即连续两个中午或两个子夜之间的时间。这段时间比天球自转一周所形成的恒星日稍长一点，因为如果太阳和一颗恒星同时中天，后一天太阳因有其自己的运动，将比那颗恒星稍迟一点中天。由于太阳绕地球的运动是由西向东，经过一年的时间它中天的次数比恒星中天的次数少一次（一天）。由此算出如果取天文上的平日为单位则恒星日之长为 0.99726957 日。

天文日的长度每天不同，原因有二，即太阳围绕地球运行的

不均匀性是由黄赤交角所造成的。前一个原因的效应是明显的，例如夏至日前后太阳运动最缓时比冬至日前后太阳运动最快时，天文日更接近恒星日。

为了认识第二个原因的效果，应注意天文日对于恒星日的超差只是由于太阳绕地球运动在赤道上的分量。设连接太阳在黄道上一天运行所经过的弧的两端与天北极在天球上作两个大圆弧，它们与赤道相交的一段弧，便是太阳每日运动在赤道上的分量，这段弧经过子午圈所需的时间便是天文日超过恒星日的时刻。容易了解在二分日赤道上的这段弧比黄道上对应的一段弧短，两弧的长度之比等于黄赤交角的余弦与 1 之比；在二至日，这两段弧的长度之比等于 1 与黄赤交角的余弦之比。因此天文日在前一情形变短，后一情形加长。

为了得到一种与这两种原因无关的平日或平太阳日，假想有另外一个太阳在黄道上作等速运动，而且它和真太阳同时通过太阳轨道的长轴，这便消除太阳绕地球运动的不均匀性效应，然后再消除由于黄赤交角所产生的效应，于是假想有第三个太阳在赤道上运动，与第二假想的太阳同时过春分点而且这两个太阳与春分点的角距离总是相同的。于是这第三个太阳连续两次中天之间所经历的时间形成天文平日。平时由这第三个太阳运转次数而测定，真时则由真太阳的运转次数而测定。通过真太阳与假想的第三个太阳的中心所引的两个子午圈在赤道上所夹的弧 转化为时间(以赤道的全圆周为一天)叫做时差。

每日分为 24 时，并以子夜为每日的起点，每时再分为 60 分 每分再分为 60 秒 秒再分为 60' 计埃斯^m(tierces)。但如把一天分为 10 时，一时分为 100 分，一分分为 100 秒，似更合于天文学上的使用，我们在本书内采用这种百分计时制^①。

由假想的第二个太阳转回赤道而定平二分点，转回回归线

而定平二至点。太阳连续两次过同一个二分点或同一个二至点叫做一回归年，其长度为：365.2422419 日^②。由观测得知太阳复返相同的恒星所需的时间较长，这段时间叫做恒星年，比回归年长 0.014119 日。由此可见二分点在黄道上逆行，即与太阳运行的方向相反而移动，而且二分点所走的一段弧等于太阳以平均速度在 0.014119 日内所走的一段弧，即 $50''.1$ ^③。这运动对于每个世纪并不完全相同，它使回归年的长度稍有不同，现时（1801）比伊巴谷 的时代短了 $4''.2$ 。

年的开始（即元旦）宜在二分日或二至日中的任何一日。若将元旦放在夏至或秋分，则将把同样的工作（农事）划分和分摊到连续的两年中去，但同样按天文学家们习用的方法将中午作为一日的开始也不方便^④。春分日是大自然觉醒的时节，似应作为新年的开始；冬至也可作为岁首，古代人把这一天作为太阳的再生日来庆祝，在北极地方，这是一年内漫长黑夜的正中间一日。

若以 365 日为民用年，则它的元旦比较真回归年的元旦不断地提早，于是四季不断地后退，经过约 1508 年而逆行一周。这种民用年曾在古代埃及使用，这种历法便破坏了历法应有的优点，即月份与节日应和四季以及和农事发生联系。17 世纪末法国将每年的元旦作为一种天文现象，按计算定为夏至日或春分日前夕的夜半，以保存对农民有利的宝贵习惯。但是闰年（即 366 日的一年）按一种很复杂的规则计算，因此将某些年换算为其所含的日数便很困难，于是在历史与纪年学上造成混乱。并且人们必须预先知道的岁首，便成了不确定和任意规定的了（若元旦开始时刻与子夜相差比太阳运行表的误差还小时，便难确定前后两天的哪一天是元旦）。最后闰年的次序随经度圈而不同，这便成了各国希望采用同一种历法的障碍。由于事实上各国采用其主要天文台的所在处的经度为其地理经度，那么它