



卢昌海 著

太阳_的故事

清华大学出版社

卢昌海 著

太阳的故事



清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书将带读者从一次虚拟的古希腊之旅开始,逐步深入地了解太阳的奥秘,以及人类为探索这些奥秘所付出的艰辛和努力,所获得的成果和教训。除介绍知识外,本书还穿插了少许章节,引导读者运用逻辑推理及初等几何知识,再现古希腊先贤们的某些精彩推理,以及运用含义简明的物理学原理,推算太阳的某些物理参数,亲身体验科学探索的感觉。

本书融语言的生动风趣与内容的严谨翔实于一体,让读者在享受阅读愉悦的同时学到丰富的知识,并体验科学探索的严谨及科学发现的激动人心。本书适合广大天文爱好者及大、中学生阅读。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

太阳的故事/卢昌海著. —北京:清华大学出版社,2011.11

ISBN 978 7 302 27163 5

I. ①太… II. ①卢… III. ①太阳—青年读物 ②太阳—少年读物 IV. ①P182.49

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第216422号

责任编辑 邹开颜

责任校对 王淑云

责任印制 李红英

出版发行 清华大学出版社

地 址 北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编 100084

社 总 机:010 62770175

邮 购:010 62786544

投稿与读者服务:010 62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010 62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:148×210 印 张 6.875 彩 页 2 字 数 144千字

版 次:2011年11月第1版

印 次 2011年11月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:19.00元

产品编号:043565 01

作者简介

卢昌海 出生于杭州,本科就读于复旦大学物理系,毕业后赴美留学,于2000年获美国哥伦比亚大学物理学博士学位,目前旅居纽约。著有《寻找太阳系的疆界》一书,并曾在《科幻世界》、《现代物理知识》、《中学生天地》、《科学画报》、《数学文化》等刊物上发表几十篇科普及专业科普作品。



目 录

1. 重返古希腊 1
 2. 天文自助游：推算太阳的大小和远近 9
 3. 地心说 vs 日心说 19
 4. 日食——既寻常又稀有的奇观 33
 5. 插曲：爱丁顿在 1919 48
 6. 阳光里的奥秘 62
 7. 物理自助游：推算太阳的质量、光度和表面
温度 77
 8. 光明的源泉 恐怖的核心 93
 9. 细小的粒子 巨大的谜团 108
 10. 标准太阳模型 vs 粒子物理标准模型 123
 11. 光子大逃亡 138
 12. 太阳的脉搏 153
 13. 谜团锦簇的太阳大气层 170
 14. 太阳的过去和未来 192
- 附录 太阳档案 209
- 参考文献 211

重返古希腊

说到天文学，很多人的眼前都会浮现出深邃的天幕和宝石般闪亮的星辰。其实，在我们这个小小星球上所能看到的最显眼的天文现象并不在黑夜，而是在白天。

在每一个晴朗的白天，天空中都挂着一个极为显眼的天体：太阳。

对于像太阳这样显眼的天体，我们当然不必问它是什么时候被发现，以及怎样被发现的，因为那显然跟人类本身同样古老，跟睁开眼睛同样直接。但是，除了这两个不必问的问题外，有关太阳的其他问题可就大都不是省油的灯了，有些甚至直到今天也没有确切答案。不过虽然不“省油”，它们点亮的却是人类的智慧。从某种意义上讲，对这个天空中最显眼的天体的持续探索，对那些“不省油”的问题的认真求解，是人类从睁开眼睛看世界，到逐渐理解世界的某些方面所走过的几千年漫漫长路的一个缩影。

现在就让我们从那些问题当中最简单的两个说起吧：太阳有多大？它离我们有多远？

这两个问题的答案，在今天也许已是很多小学生都知道的常识——不就是两个数字嘛。但是，这两个问题的答案果真只是两个数字吗？让我们来作这样一个设想，假设

我们用时间机器把一位知道这两个数字的小学生送回人类文明发源地之一的古希腊。我们想知道的是：这位来自 21 世纪的小学生能做什么？

显然，单以某些知识——比如有关太阳有多大和离我们有多远的这两个数字——而论，他（她）已经远远胜过了古希腊的任何一位先贤。但我们会在从古希腊流传下来的史书中读到有关这位博学强记的小学生的故事吗？他（她）能凭那些博学强记的知识就成为令后世之人高山仰止的先贤中的一位吗？我想答案是否定的。原因很简单，知道两个数字和让别人理解并信服那两个数字是完全不同的事情，后者恐怕不是每一位小学生能够做到的。如果仅仅能说出两个数字，却无法让别人理解和信服，那只会被当成信口开河，而不会被载入史书。

那么，假如不是小学生，而是本书的读者，您有幸（或不幸）被送回到了古希腊，您有办法让那些喜爱思考的古希腊先贤们相信那两个数字，相信天空中那个看上去只有贝壳大小的太阳其实是肚子里能装下一百多万个地球的庞然大物吗？或者换一个说法：若是您被送回到了古希腊，却忘记了那两个数字，您有办法凭自己的能力，以一种令人信服的方式重新找回它们吗？或者更一般地，如果您站在了古希腊的天空下，却忘记了所有的天文知识，您能凭借自己的能力找回其中的多少呢？

让我们就从这个假想的问题开始重温一下人类智慧的启蒙时代，并从那里开始讲述我们有关太阳的故事吧。

要想找回已被忘记的天文知识，您要做的第一件事情显然就是仰望天空，因为那里——并且只有那里——才是

天文知识的直接来源。如果您的仰望天空只是偶一为之，您也许会觉得天上的日月星辰都是静止的，因为它们当中没有一个会像飞鸟一样在一瞥之下就让人察觉它们的移动。但即便如此，您也会在一天之内就发现太阳的东升西落，因为它直接影响到周围环境的明暗和冷暖。要发现月亮的运动也很容易，因为在任何一个有月亮的夜晚，您仰望天空时都很难不注意到这个独一无二的天体，而一旦注意到它的存在，那么在下次仰望天空时，就很难不注意到它的位置变化。

对一般人来说，自己所能发现的天文知识也许就到此为止了。天上除日月之外虽然还有很多星星，星星虽然也和日月一样东升西落，但一个视力良好的人在一个晴朗的夜晚所能看到的星星有几千颗之多，若非特别留意，除了有一种繁星似尘的感觉外，恐怕是不会对其中任何一颗星星留下具体印象的。而如果没有对任何一颗星星留下具体印象，那么在下一次仰望天空时就很难注意到它们的移动。

要想找回尽可能多的天文知识，您当然不能像一般人那样过目就忘。为了研究星星的运动，您开始进行细致的观测，并对不同时刻每颗星星的位置进行记录。您很清楚，观测越细致，记录越详尽，有可能找回的天文知识就越丰富。由于在苍穹之上缺乏参照，不易度量位置或角度，您也许会想到在地上立一些固定的物件作为参照，如果手下有一些可以使唤的人的话，您也许还会想要设计建造一些更复杂的参照物，那些东西若是建得足够牢固，以至于能一直保留到今天的话，就会变成重要的历史遗迹：古观象台。

无论您的记录详尽还是粗略，只要记录了，哪怕只记录几天，您也会发现所有的星星都和日月一样东升西落。用

后世的术语来说,这是天体的周日视运动(apparent diurnal motion),如图 1.1 所示。由此您也许还会进一步总结出一个规律,那就是日月星辰都在围绕着地球转动。在历史上,这是著名的地心说(geocentric model),它后来受到宗教势力的维护,成为垄断天文界长达两千年的正统理论。随着观测数据的积累,以后您会发现很多理由让您放弃这一理论。它后来也的确被放弃了。在某些后世之人的眼里它甚至有些声名狼藉(那其实是宗教惹的祸)。但在一开始,在只有粗略观测数据的年代里,它是一种既符合观测数据,又符合直觉的理论。您有理由为发现这一理论而自豪。周日视运动的发现也意味着您已经发现了“日”这个时间计量单位,它是周日视运动的周期,也可以说是昼夜交替这一粗糙周期概念的精细版。^①

当您的天文观测坚持到几十天时,除了周日视运动外,您还会注意到另一种很重要的天文周期现象,那就是月相(phases of the moon)的变化(彩图 2)。与太阳总是圆的,以及星星总是像一个点不同,月亮这个夜空中最显眼的天

① 从周日视运动的周期中衍生出的“日”的概念其实不止一种:由同一颗星星(行星除外)在两个相邻夜晚经过天空中同一个位置的时间间隔所定义的“日”称为恒星日(sidereal day);由太阳在两个相邻白天经过天空中同一个位置的平均时间间隔所定义的“日”则称为平均太阳日(mean solar day)。由于后文即将提到的太阳周年视运动的影响,平均太阳日比恒星日长了约 3 分 56 秒(感兴趣的读者可以用本节给出的数据自行推算一下这两种“日”的差异)。由于太阳与我们日常生活的关系远比星星密切,我们在普通日历中所用的“日”是指平均太阳日。细心的读者可能会问:平均太阳日中的“平均”二字是什么意思?那是指将地球公转轨道等效为一个平均圆轨道,以避免“日”的长短受地球公转轨道的椭圆性影响。当然,不作那样的平均也可以谈论“日”这个概念,那样的“日”被称为表观太阳日(apparent solar day),它的长短会随季节而变。

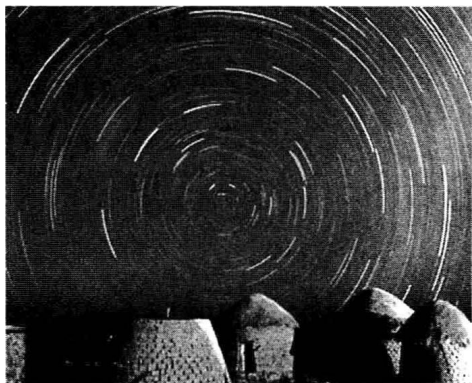


图 1.1 星星的周日视运动

体在不同日子里会呈现不同的形状：有时是满月，有时是半月，有时则是弯月。这种变化被称为月相的变化，它大约每隔 29.53 天重复一次。注意到这种有趣而美丽的周期现象，意味着您发现了“朔望月”(synodic month)这一时间计量单位。很多早期的文明都曾用过这一时间计量单位，直到今天它仍有一定的应用，是阴历(lunar calendar)这一历法的基础。^①

① 朔望月这一中文名称中的“朔”指的是新月，“望”指的是满月。要注意的是，朔望月只是月相变化的周期，而不是月球绕地球公转的周期，后者是所谓的恒星月(sidereal month)，只有 27.3 天(感兴趣的读者可以用本节给出的数据自行推算一下这两种“月”的差异)。另外，朔望月不同于以太阳周年视运动为基础的阳历(solar calendar)中的月。之所以不同，是因为朔望月并不恰好等于阳历中一年的十二分之一，如果我们用它来表示“月”，就无法与“年”合拍，由此会导致很多不方便之处，比方说北半球的 7 月就无法稳定地对应于夏天(因为当“年”和“月”的不合拍累积到六个月时，它就会变成冬天)。不过有得就有失，阳历中的“月”虽然保证了与“年”的合拍，却失去了表示月相的作用，比方说“中秋月圆”在阳历中就没有一个固定的日子。由于太阳与我们日常生活关系远比月亮密切，我们日常所用的“月”是指阳历中的月。

当您的天文观测坚持到十几个月时,除了周日视运动和月相的变化外,您还会发现一种更缓慢的天文周期现象。您会注意到在太阳升起和落下_下的时候,天空中依稀可见的那些星星的位置在一天天缓慢地改变着。这种缓慢改变的逐渐积累,使得在不同的季节里,伴随太阳升起和落下的星星是不同的。这说明什么呢?说明太阳在背景星空中的位置不是固定的,除了周日视运动外,它还参与了一种更加缓慢的运动。仔细的观测表明,那种运动大约每隔 365.24 天重复一次,它既沿东西方向,也沿南北方向,与周日视运动所在的平面有一个 23.4° 左右的夹角,这个夹角决定了太阳在冬天和夏天所能到达的最大纬度——即南北回归线的纬度。注意到了那种运动,意味着您发现了所谓的太阳周年视运动(apparent yearly motion)以及“年”这一时间度量单位,后者是太阳周年视运动的周期,也可以说是四季变化这一粗略周期的精细版。^①

您不知疲倦地坚持着自己的天文观测,当头发都快花白了的时候,您在天空中又发现了一些更微妙的运动。您会发现在那看起来彼此相似的满天繁星之中,有五颗星星的位置与日月一样相对于背景星空在缓慢地移动着,其中有几颗星星的移动方式还相当复杂,比如有时会停止,有时还会逆行。如果您发现了这些被后人称为行星表观视运动

① 确切地说,这个“年”是所谓的回归年(tropical year),它比地球绕太阳的公转周期,即所谓的恒星年(sidereal year)短了约 20.4 分钟,这两者的差异是由后文即将提到的地球自转轴的进动造成的(感兴趣的读者可以用本节给出的数据自行推算一下这两种“年”的差异)。我们在阳历中所用的“年”是指回归年。

(apparent motion of planets)的现象,那表明您已经发现了金、木、水、火、土五大经典行星。除了这些发现以外,在经年累月的观测中您还会偶尔发现一些流星和彗星,并观测到一些日食和月食。

在古希腊的条件下,您自己所能从事的天文观测大致就是这些。不过,假如您能有幸找到一些前人留下的观测记录的话,您也许能通过将彼此的记录相互比较,而发现一种在自己的有生之年里很难单独发现的东西,即周日视运动的轴线本身的缓慢转动。这种转动的周期约为25 800年。这一现象用后世的术语来说就是所谓的地球自转轴的进动(precession of the Earth's rotation axis)。在它的影响下,因距离北天极(即周日视运动的轴线北端)很近而被称为北极星(Polaris)的小熊座 α 星(α Ursa Minor)在几千年后将会失去北极星这一光荣称号。

完成了上面这些观测发现,您就不仅凭借自己的能力赶上了古希腊先贤们在观测天文学上曾经达到过的水准,而且也基本上穷尽了17世纪之前天文学上几乎所有重要的观测发现。罗列起来似乎不难,做起来却不无艰辛。在不知不觉间,您这位来自21世纪的人,已几十年如一日地将古希腊人的天文事业当成了自己的事业。(这是一种什么精神?)

不过,这些天文发现虽然了不起,却还不足以让您被写入史书。因为眼睛是人人都有的,很多勤奋的普通人——其中既有古希腊人,也有其他古文明国度的人——也能作出同样的发现。真正将智者区别于普通人的除了勤奋,还有智慧。例如几何与推理的能力,这种能力无疑是一种智

慧。现在您就要用自己的智慧来做一些单纯的天文观测无法做到的事情。比方说,您要寻找前面提到过的那两个数字:太阳的大小以及它离我们的远近。

没有谷歌(Google),没有百度(Baidu),而且也没“病”(Bing),您有办法自己找出那两个数字吗?

天文自助游：推算太阳 的大小和远近

虽然您要寻找的数字有两个,但很清楚,实际上只要找到其中一个就行了。因为太阳就在天上,它看起来有多大您早就知道了,它的真实尺寸越大,意味着离我们越远,反之,真实尺寸越小,意味着离我们就越近。这表明,在太阳的大小和远近这两者之间存在完全确定的关系,只要知道任何一者,就可以推算出另外一者。

那么,在大小和远近这两者之间您该选择哪一者入手呢?从兴趣上讲,您也许会对大小更感兴趣,因为那才是属于太阳本身的性质,但在实际上,您却只能从远近入手。对于普通物体来说,这两种选择并无多大分别,只要用一把尺子,您爱测量哪一个都行。可惜太阳却并非普通物体,您无法直接拿一把尺子去测量它的大小。当然,您同样也无法直接拿一把尺子去测量它的远近。但您知道,测量物体的远近有一种很常用的间接方法,那就是通过从两个不同的观测点来观测物体,然后利用观测到的角度差异——即所谓的视角差异——来推算它的远近。这种被称为三角视差法(triangulation)的方法从古至今都是测量远近的重要手段(图 2.1)。事实上,远在其基本原理被理解之前,我们的

大脑和眼睛就已在本能地采用这种方法了,我们的大脑正是利用了左右两眼之间的视角差异,来判断物体远近的。^①

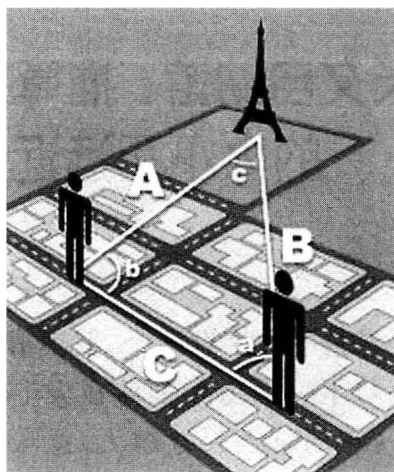


图 2.1 三角视差法

但当您试图用三角视差法来测量太阳的远近时,却遇到了巨大的麻烦。三角视差法需要两个观测点,但您很快就发现,从您能够走得到的相距无论多远的两个观测点去看太阳,那视角差异都太小了。地球表面的弧度,地形的细微起伏,乃至您的观测误差都远比您要测量的视角差异大得多。在这种情况下进行测量,犹如在惊涛拍岸声中去倾听远处一只水龙头的滴水之声,您就算长一对兔耳朵也不够用。

怎么办呢?在哪儿才能找到第二个观测点呢?

^① 不仅人类如此,就连某些无法直接利用双眼视差的动物,比如鸽子,也会通过移动自己的脑袋来造成不同的视角,进而判断物体的远近(鸽子虽有两只眼睛,但视野并不重叠,从而不能像人类一样直接利用两只眼睛的视角差异,而只能采用移动脑袋这样的“下策”)。

您冥思苦想了一整夜。当黎明的曙光照到您身上时，您把目光投向了天空。在那里，您看到了一轮淡淡的上弦月（在北半球，上弦月是指右半边可见的“半月”）。看见它，您心中忽然闪过一片灵光，激动得几乎要像传说中的阿基米德（Archimedes，公元前 287—前 212）那样一边裸奔，一边大叫：“我找到了！”^①

是的，您找到了，您终于找到了第二个观测点，那就是月亮！

别紧张，您没喝酒，您并不是要到月亮上去观测。在古希腊时代人们就已知道，月亮的月相变化并不是月亮本身在变（在古希腊人眼里，天上的东西是永恒不变的），而只是因为阳光从不同角度照射月亮所致。在刚才看见月亮的一刹那，您忽然想到，既然月相是阳光从不同角度照射月亮所致，那它实际上是在告诉您阳光照射月亮的方向，从而也就是太阳相对于月亮的方向。利用这一点，您无需登上月亮就可以推算出从月亮上看太阳的角度，这等于是为您提供了第二个观测点。

特别是，当您看到的月亮恰好是上弦月时，您的视线方向与阳光照射月亮的方向正好是垂直的（图 2.2）。这时候如果您记录下太阳的方向，那么它与月亮方向的夹角的一边是月亮到地球的距离，另一边则是太阳到地球的距离，而它的一个邻角恰好是直角。这样简单的三角关系对于即将

^① 传说阿基米德受国王所托，要鉴定一顶皇冠是否掺了杂物。他苦思良久，最终在洗澡时悟出了用浮力进行鉴定的方法，欣喜若狂的他连衣服都没穿就冲出浴室大喊：“我找到了！”这个故事并未被记录在阿基米德著作之中，它的真实性后来引起了一些有趣的争议。

跻身古希腊先贤行列的您来说无疑是小菜一碟,那两个距离的比值就等于那个夹角的余弦值(cosine)。事实上您还知道,那个夹角的余弦值不仅给出那两个距离的比值,而且还给出了月亮直径与太阳直径的比值。之所以如此,是因为在太阳和月亮之间存在一个美妙的巧合,那就是它们看起来几乎是一样大的。^① 对于两个看起来一样大的天体,它们与我们距离的比值显然就等于它们直径的比值。

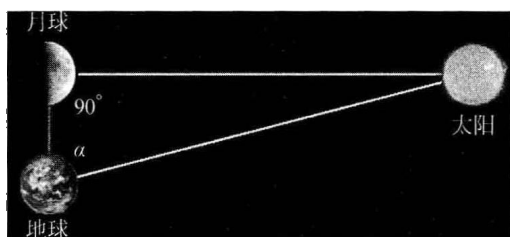


图 2.2 太阳、地球与上弦月的相对方位

看来那个夹角很重要,但它究竟是多少呢? 那就得靠观测了。不幸的是,那是一个难度很大的观测,因为那个夹角非常接近 90° , 接近到了让您无法分辨的程度。而且在那个夹角如此接近 90° 的情况下,一些在古希腊时代不为人知的因素,比如地球大气对阳光的折射,将足以对结果造成不可忽视的干扰。(感兴趣的读者请想一想,那种影响会使观测到的太阳距离偏大还是偏小?)但不管怎么说,您的方法

① 确切地讲,由于地球绕太阳和月亮绕地球的公转轨道都是椭圆,太阳和月亮看起来的大小都不是不变的。其中太阳的角直径最小时为 $31'27.7''$,最大时为 $32'31.9''$,平均为 $31'59.3''$;月亮的角直径最小时为 $29'23.0''$,最大时为 $33'31.8''$,平均为 $31'5.3''$ 。我们在后文中将会看到,月亮的角直径有时比太阳大,有时又比太阳小这一特点对于日食的种类有着很重要的影响。