

## 重返古希腊

卢昌海



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。但是，有关太阳的其他问题可就不那么容易了，有些甚至直到今天也没有确切的答案。从某种意义上讲，对这个天空中最显眼的天体的持续探索，是人类为逐渐理解世界的某些方面所作的几千年漫长努力的一个缩影。

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，在今天已是很多小学生都知道的常识——不就是两个数字嘛。但是，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，这位小学生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他（她）的故事吗？他（她）能凭那些博学强记的知识就成为令后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，后者恐怕不是一位小学生能够做到的。

那么，假如不是小学生，而是读者您有幸（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，您能凭自己的能力找回其中的多少呢？

让我们就从这些假想的问题开始重温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。如果您的仰望只是偶一为之，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在一眼之下就让您察觉它们的移动。但即便如此，您也会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，而您一旦注意到它的存在，那么在下次仰望时，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。天上的星星虽然也和日月一样东升西落，但一个视力良好的人在晴朗的夜晚所能看到的星星有几千颗之多，若非特别留意，恐怕是不会对其中任何一颗留下具体印象的。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，您开始对不同时刻每颗星星的位置进行记录。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，您也许还会想要建造一些更复杂的参照物，那些东西若是建得足够牢固，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（图 1）。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地球转动，在历史上，这是著名的地心说。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。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，也是昼夜交替这一粗糙周期概念的精细版。



图 1 天体的周日视运动

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，那就是月相的变化（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体在不同日子里会呈现不同的形状，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这一时间计量单位。很多早期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。



图 2 月相的变化

当您的天文观测坚持到十几个月时，您还会发现一种更缓慢的天文周期现象，那就是太阳升起和落下的时候，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。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以及年（确切地说是回归年）这一时间度量单位，后者是太阳周年视运动的周期，也是四季变化这一粗略周期的精细版。

您不知疲倦地坚持着自己的天文观测，当您的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移动着。发现了这些被后人称为行星表观视运动的现象，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。

完成了上面这些观测发现，您就基本赶上了古希腊先贤们在观测天文学上曾经达到过的水准。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民的天文事业当作了自己的事业（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。您虽然忘记了天文知识，却还有几何与推理的能力，现在您要用这种能力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：太阳的大小以及它与我们的距离。

没有谷歌，没有百度，而且也没“病”（必应），您有办法自己找出那两个数字吗？

虽然要找的数字有两个，但您很清楚，实际上只要找到一个就行了。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，离我们就越远，两者之间只要知道一者，就可以推算出另一者。

那么，在两者之间应该选哪一者入手呢？是远近，因为测量物体的远近可以用间接的方法，比如可以通过从两个不同的位置来观测物体，然后利用观测到的视角差异来推算它的远近。这种被称为三角视差法的方法从古至今都是测量远近的重要手段。

但当您试图用三角视差法来测量太阳的远近时，却遇到了麻烦。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，地形的起伏，乃至您的观测误差都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？

您冥思苦想一整夜。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那样一边裸奔，一边大叫：“我找到了！”

是的，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经知道，月亮的月相变化并不是月亮本身在变，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，这等于是为您提供第二个观测点。

特别是，当您看到的月亮恰好是上弦月时（图3），您的视线方向与阳光照射月亮的方向正好是垂直的。这时如果您记下太阳的方向，那么它与月亮方向的夹角的一边是月亮到地球的距离，另一边是太阳到地球的距离，两者的比值就等于夹角的余弦值。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，而且还同时给出了月亮直径与太阳直径的比值，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（都在半弧分左右），它们与我们距离的比值显然就等于它们直径的比值。

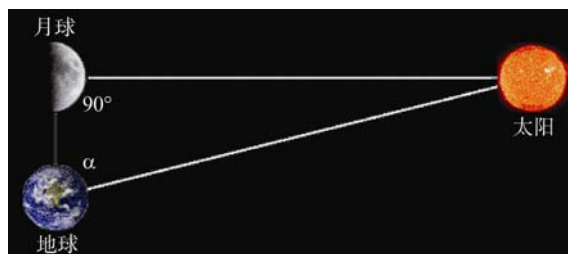


图3 太阳、地球与上弦月的相对方位

看来那个夹角很重要，但不幸的是，那个夹角非常接近  $90^\circ$ ，任何细微的测量误差都会对您的计算造成不可忽视的干扰。但不管怎么说，您的方法是正确的，并且即便在古希腊时期也有一定的可行性。事实上，古希腊先贤阿里斯塔克斯曾经用这种方法进行过测量，误差虽然很大，却是一件了不起的工作。如果现代人用您的方法来做观测并扣除诸如大气折射之类的干扰的话，将会发现那个夹角在  $89^\circ 51'$  到  $89^\circ 52'$  之间，由此得出的结论是太阳的直径约为月亮直径的 400 倍，或者等价地，太阳离我们的距离约为月亮距离的 400 倍。

这个结果无疑是漂亮的，但与您所要的答案仍有距离，因为它只是把有关太阳的数字和有关月亮的数字联系在了一起，除非您有办法知道有关月亮的数字，它并不能提供您所要的答案。那么，您有办法知道有关月亮的数字——即月亮的大小或月亮离我们的远近——吗？答案是肯定的。

在常年的天文观测中，您和其他古希腊先贤们一样，已经知道月食是由于地球挡住了射向月亮的太阳光所致。由此您想到了一个测量月亮大小的方法，那就是对月亮进入地球影子与它穿过地球影子所花的时间进行比较（图4）。在前一段时间里，月亮移动的距离等于它自己的直径，在后一段时间里，它移动的距离等于地球影子的直径。因此这两个时间的比值就等于月亮与地球影子的直径之比（当然，这种办法必须要在月亮恰好从地球影子正中间穿过的那种特殊月食下才能得到可靠的结果）。在历史上，前面提到过的阿里斯塔克斯曾经用这种办法测量过月亮的直径。

如果您进行了那样的测量，您也许会得到一个很接近正确的结果，即地球影子的直径约为月亮直径的 2.66 倍。当然，这个地球影子的直径是指地球影子在月亮轨道附近的直径，它要比地球本身的直径来得小——几乎恰好小了相当于一个月亮直径的



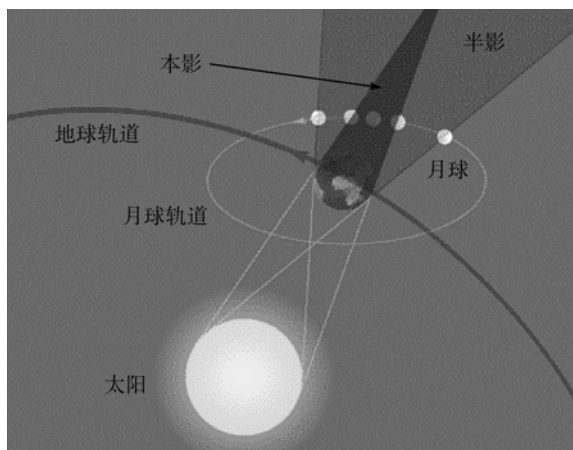


图4 测定月亮与地球的相对大小

大小（这个结果不是偶然的，感兴趣的读者可以结合太阳比地球大得多，以及太阳和月亮看起来几乎一样大这两点来证明一下）。把这个因素考虑在内，您就得到了另一个重要结果：地球的直径约为月亮直径的 3.66 倍。

将这个结果与前面的结果联系在一起，您就发现了太阳的直径约为地球直径的 109 倍。这个结果意味着太阳是一个庞然大物，在它肚子里可以装下 130 万个地球。

就像接力一样，您先把有关太阳的数字与月亮的数字联系起来，现在又进一步与地球的直径挂上了钩。凭借几何与推理的力量，一个天文问题已被您转变成了地理问题。但问题是，地球虽然就踩在您的脚下，它的直径却仍然不是可以拿尺去测量的。

不过您总是有办法的。

在所有使人相信地球是球形的天文现象中，很重要的一个就是不同纬度的人看到的星星或星座与天顶的夹角是不一样的。不仅星星如此，太阳也一样。住在北回归线附近的人大都知道，盛夏正午的太阳是位于天顶正中央的，而住在北回归线以北的您却发现盛夏正午的太阳是在天顶偏南方向的，具体偏南的角度可以用一根立在地上的垂直杆的投影来计算。这个角度占整个圆周的比例显然就等于您与北回归线的距离（这对您来说是可以测量的）占整个地球周长的比例（图 5）。由此您就可以算出地球的周长和直径。在历史上，古希腊先贤埃拉托斯特尼曾经用过这种方法。用这种方法，您会发现地

球的直径约为 12740 千米。

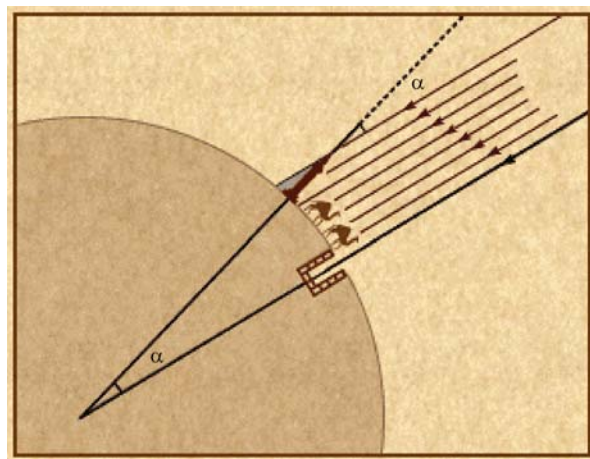


图5 测量地球的大小

这样，您就完成了漂亮的“三步走战略”先从太阳到月亮，再从月亮到地球，最后归结到地面上的两个地点。将这些环节联系在一起，您就得到了有关太阳的第一个数字：太阳的直径约为 139 万千米。由此您当然也可以推算出另一个数字：太阳离地球约有 1.5 亿千米。

站在我们这个小小星球上，居然能推断出如此遥远天体的性质，这是一件奇妙的事情。当然，我们在这里替您稍稍粉饰了一下，限于当时的观测条件，您在数值上是不可能得到像上面那样接近正确的结果的。但对于那个时代来说，最重要的不是数值，而是方法，那一系列精巧的方法足以使您跻身于人类最伟大的先贤之列，永载史册。

您的古希腊虚拟人生到这里就结束了，但我们的太阳之旅才刚刚开始。接下来，我们将追随历史的足印去探究另外一些重要问题：比如那个肚子里能装下一百多万个个地球的庞然大物究竟是什么？它真的是在围绕小小的地球转动吗？再往后，我们还将一起去探究许许多多更现代、更奇妙、当然也更困难的问题。

### 作者简介

卢昌海，本科毕业于上海复旦大学物理系，后赴纽约哥伦比亚大学从事理论物理学习及研究，并获物理学博士学位。现旅居纽约。个人主页：<http://www.changhai.org/>