

实体书电子版系列·之一

# 太阳的故事

(太阳系三部曲·之一)

卢昌海

Copyright © 2025 by Changhai Lu

版权所有，侵权必究。

All rights reserved. No part of this book may be reproduced in any form or by any means, electronic, mechanical, now known or hereafter invented, without written permission from the author, except in the case of brief quotations embodied in critical articles and reviews.

For information, please email  
lu\_changhai@yahoo.com.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1



《太阳的故事》  
(不同版本的实体书封面)

# 目录

“实体书电子版系列”序 .....	I
电子版序 .....	XII
实体书序 .....	XIII
1. 重返古希腊 .....	1
2. 天文自助游：推算太阳的大小和远近 .....	14
3. 地心说 vs 日心说 .....	29
4. 日食——既寻常又稀有的奇观 .....	52
5. 插曲：爱丁顿在 1919 .....	77
6. 阳光里的奥秘 .....	100
7. 物理自助游：推算太阳的质量、光度和表面温度 .....	127
8. 光明的源泉 恐怖的核心 .....	153
9. 细小的粒子 巨大的谜团 .....	179
10. 标准太阳模型 vs 粒子物理标准模型 .....	203
11. 光子大逃亡 .....	227
12. 太阳的脉搏 .....	253

13. 谜团锦簇的太阳大气层 .....	281
14. 太阳的过去和未来 .....	317
太阳档案 .....	348
参考文献 .....	350

## “实体书电子版系列”序

我面向大众的写作大致始于 2002 年，最恒定的平台是我的主页<sup>1</sup>。自 2003 年起，有杂志编辑因主页与我联系，促成了我与纸媒的合作<sup>2</sup>。自 2009 年起，则有出版社编辑因主页与我联系，促成了以下实体书的出版<sup>3</sup>：

初版年份	书名	出版社
2009	《寻找太阳系的疆界》 <sup>4</sup>	清华大学出版社
2011	《太阳的故事》 <sup>5</sup>	清华大学出版社

<sup>1</sup> 关于我的主页及其历史，可参阅电子书《数字世界回忆录》（2022 年）。

<sup>2</sup> 在这一过程中“厥功至伟”的杂志是《科学画报》，具体可参阅电子书《致编辑·报刊卷》（2022 年）。

<sup>3</sup> 在这一过程中“厥功至伟”的出版社是清华大学出版社，具体可参阅电子书《致编辑·图书卷》（2023 年）。

<sup>4</sup> 该书于 2013 年出了修订版《那颗星星不在星图上：寻找太阳系的疆界》，于 2020 年出了繁体中文版《那顆星星不在星圖上：尋找太陽系的疆界》（清文華泉事業有限公司），于 2024 年出了繁体中文版《在遙遠蒼穹下探索未知星域》（沐燁文化）。

<sup>5</sup> 该书于 2015 年出了修订版《上下百亿年：太阳的故事》。

## II

2012	《黎曼猜想漫谈》 <sup>6</sup>	清华大学出版社
2013	《从奇点到虫洞：广义相对论专题选讲》	清华大学出版社
2014	《小楼与大师：科学殿堂的人和事》 <sup>7</sup>	清华大学出版社
2015	《因为星星在那里：科学殿堂的砖与瓦》 <sup>8</sup>	清华大学出版社
2016	《霍金的派对：从科学天地到数码时代》 <sup>9</sup>	清华大学出版社
2016	《经典行星的故事》	科学出版社
2017	《我的“微言小义”》	清华大学出版社
2018	《泡利的错误：科学殿堂的花和草》 <sup>10</sup>	清华大学出版社

<sup>6</sup> 该书于 2016 年出了修订版《黎曼猜想漫谈：一场攀登数学高峰的天才盛宴》，于 2015 年出了繁体中文版《黎曼猜想漫谈》（五南圖書出版公司）。

<sup>7</sup> 该书于 2015 年出了繁体中文版《受爭議的科學史》（五南圖書出版公司）。

<sup>8</sup> 该书于 2018 年出了繁体中文版《因為星星在那裡：科學殿堂的磚與瓦》（華滋出版）。

<sup>9</sup> 该书于 2022 年出了繁体中文版《後人類時代》（崧燁文化事業有限公司）。

<sup>10</sup> 该书于 2022 年出了繁体中文版《包立的錯誤：量子時代的革命》（崧燁文化事業有限公司）。

## III

2019	《时空的乐章——引力波百年漫谈》	高等教育出版社
2020	《我的“页边杂写”》	清华大学出版社
2020	《书林散笔：一位理科生的书缘与书话》	商务印书馆
2021	《我的“微言小义”》 (二集)	清华大学出版社
2022	《你好，爱因斯坦同学》	新星出版社
2024	《最壮丽的世界线：卢昌海科学史随笔集》	清华大学出版社

这总计 16 种实体书不仅是我迄今出版过的全部实体书<sup>11</sup>，且很有可能会是目前预见得到的将来之内的全部实体书。这一方面是因为我所经历的实体书出版在最近几年已变得越来越困难，遭遇的审查也越来越严苛<sup>12</sup>，

<sup>11</sup> 这些实体书之中大多数的出版缘起及出版经过在电子书《致编辑·图书卷》(2023 年)中有详细记叙，可参阅。

<sup>12</sup> 比如《我的“微言小义”》(二集)在大量零星删节之外还被砍掉了整整一章，《最壮丽的世界线：卢昌海科学史随笔》则在交稿三年多之后才得以



## IV

不仅使我兴趣大减，出版社方面的积极性也看得出明显滑坡；另一方面，则是因为我自 2020 年开始制作电子书以来，已越来越喜欢以这种自制电子书的形式结集文字——那样的结集无需接受审查，可随时添加新作，发现错误亦可随时订正，有一种特别合乎心意的感觉。

由于上述两方面的原因，我在制作电子书之初虽只是将电子书视为实体书的补充，只结集不拟收录于实体书的文字，渐渐地，却开始拓展“领地”：首先是开始收录所谓“实体书素材”——即能够以实体书形式出版但尚未被实体书收录的文字<sup>13</sup>；然后是开始与实体书出现内容上的交叠——即开始收录某些已被实体书收录过的文字<sup>14</sup>；再后来，则是因前文脚注里提到的一度以为实体书《最壮丽的世界线：卢昌海科学史随笔》的出版已然“搁浅”的缘故，于 2023 年 7 月制作了拟在取代该实

---

出版，让我一度以为“搁浅”了。

<sup>13</sup> 这种电子书始于 2022 年 2 月初版的《书海的另一边》。

<sup>14</sup> 这种电子书始于 2022 年 5 月初版的《漫话科学哲学》。

体书的同名电子书《最壮丽的世界线》<sup>15</sup>。

而如今这个“实体书电子版系列”，则可以算是拓展“领地”的终极步骤：打算用**自制电子书**<sup>16</sup>——因其以主页为发布平台，亦称为**本站电子书**——彻底替代实体书，作为我所有值得结集的文字的最终归宿。

完成这一步骤的必要条件，显然是让自制电子书涵盖已出版的所有实体书的基本内容。不过由于之前的自制电子书与实体书已有内容上的交叠，因此这个“实体书电子版系列”只需涵盖其余部分即可。我大致规划了一下，发现恰好可以用一辑——即“第四辑”，总计十本——电子书来完成这一步骤。具体地说，未来我将制

---

<sup>15</sup> 电子书《最壮丽的世界线》比同名的实体书少收录了几篇文字，结构和体裁则因此反而比实体书更统一，也更契合书名——具体可参阅该电子书的自序。

<sup>16</sup> 这里必须强调“自制”二字——因为我的实体书大都本身也有相应的电子书，是出版社制作的。那些电子书的内容与实体书一致（也因此，删节之类的缺陷也与实体书相同），不是这里所说的作为本人文字定本的“自制电子书”——虽然后者有时也被简称为“电子书”。

作以下十本电子书<sup>17</sup>：

1. 《太阳的故事》
2. 《经典行星的故事》
3. 《寻找太阳系的疆界》
4. 《黎曼猜想漫谈》
5. 《从奇点到虫洞》
6. 《霍金的派对》
7. 《我的“微言小义”》
8. 《引力波百年漫谈》
9. 《书林散笔》
10. 《爱因斯坦的年轻时代》

上述十本电子书之中：前三本将合称为“太阳系三

---

<sup>17</sup> 细心的读者可能注意到了，这一辑没有为一本名为《作品·四〇》的文章合集预留位置，这当然首先是因为确实有十本对应于实体书的电子书需要制作，从而确实没有位置可留，但特别巧合的是，这种文章合集所效仿的阿西莫夫恰好也并没有出版过《作品·四〇〇》（虽然他出版过的书其实超过了400种），从而完美地维持了效仿。

## VII

部曲”——因其体裁及出版顺序虽异，依此处之排列却恰好能以空间上由内向外的顺序涵盖太阳系的主要天体<sup>18</sup>；《我的“微言小义”》将是同名实体书及其二集之合并（两书皆属微博选录）——不过将重新甄选，以控制篇幅；《书林散笔》将是同名实体书及《我的“页边杂写”》之合并（两书皆属“理科书话”）——不过将去除已被其他自制电子书收录过的文字；《爱因斯坦的年轻时代》则对应于实体书《你好，爱因斯坦同学》。

未被上述十本电子书所涵盖的实体书共有四本，其中三本为“科学殿堂的×××”，皆系散篇合集，所收之散篇已有一定比例被其他电子书所收录，余者也将陆续被未来的其他电子书所收录；《最壮丽的世界线》则如前文所述，已有一本同名的自制电子书<sup>19</sup>。

---

<sup>18</sup> 这点虽一目了然，在实体书上却无法标注——因实体书分属两个出版社，无法跨社“联姻”为“三部曲”。

<sup>19</sup> 当然，如前文脚注所述，该电子书比实体书少收录了几篇文章，那几篇亦属散篇，将会跟“科学殿堂的×××”里的散篇一样，由其他电子书所收录。

## VIII

以上便是“实体书电子版系列”的制作缘由及大致安排。这个系列之所以可能，深层的原因则是我在电子书《最壮丽的世界线》的自序里阐释过的——那段阐释对读者了解本站电子书的特点也不无助益，不妨在这里引述一下：

我跟所有合作过的出版社（及报刊杂志）之间的一个约定，那就是：我的任何文字哪怕发表或出版之后，我也依然可以保有主页版本。

本书正是来自主页版本——且本身也隶属于主页版本（只不过格式不是 HTML，形式不是免费而已）。

保有主页版本的约定原本只是由于我建主页比出书早得多，在主页上寄托过情感，不愿因出书影响主页，甚至视主页重于出书，而坚持的

原则。就内容而言，早年（即前文所说的“出版顺利的年代”）的实体书跟主页版本相差甚微，保有后者几乎纯系怀旧。但后来，随着实体书内容审查之日益严苛，两者的差异逐渐增大，后者渐渐有了一重保留原稿（或所谓“本人文字之定本”）的新意义，而包括本书在内的本站电子书由于来自后者，也就自动继承了这重新意义。

这里可以补充的是，我的自制电子书是不会对实体书销售造成负面影响的，原因有三条：

1. 国内读者购买我的自制电子书只有一个渠道：**PayPal**。这一渠道虽是——据我迄今所知——国内读者亦可注册及使用的（无需海外帐号），实际却很少有人用。因此，购买我的自制电子书的多为海外读者（最近两三年以来尤其如此），跟实体书的销售对象基本

不重叠。

2. 据国内友人告知，最近两三年以来，国内的搜索引擎和门户网站等已基本不收录未在国内备过案的网站。由此产生的一个结果是：我的自制电子书的“栖居之地”——即我的主页——在国内已近乎“隐形”，很难再被国内读者所知道<sup>20</sup>，遑论购书。
3. 对被自制电子书所收录的文字，我常会隐去其中一部分的网页版。因此，哪怕在上述两条所示的情形之下，我的自制电子书仍可对实体书销售造成某种不利影响，那影响也会被隐去网页版所带来的相反影响抵消并大大逆转——因网页版是免费的，电子书则不然，对销售的影响（如果有的话）显然是前

---

<sup>20</sup> 这种做法只是最近两三年以来的中国政治气候之冰山一角，但若早十几年施行，国内的杂志和出版社编辑恐怕一开始就不会知道我的网站，从而也就不会有我跟纸媒的合作，更不会有我那些实体书的出版——这是题外话，亦约略体现了所谓“时代的一粒灰，落在个人头上，就是一座山”。

者远大于后者。

另外还可补充的是：尽管作出了迄今出版过的十六种实体书“很有可能会是目前预见得到的将来之内的全部实体书”那样的估计，但未来的出版形势若是好转，或有编辑“逆势”前来约书，我当然绝不会排斥。只不过，未来哪怕再出实体书，我也仍将维持“用自制电子书……作为我所有值得结集的文字的最终归宿”的做法——就像迄今始终维持着以主页作为我文字最完整的结集平台一样。我并且希望，对于因身处海外而不方便购买实体书的读者（他们中的一些曾来信询问过我的自制电子书会否涵盖实体书），这些自制电子书能起到一些便利作用。

2025年1月21日



## 电子版序

本书是实体书《上下百亿年：太阳的故事》的电子版，系自制电子书，隶属于“实体书电子版系列”（具体可参阅前序）。本书与实体书的差别如下：

1. 订正了个别笔误。
2. 对个别信息作了增补——主要是增补了原本因在世而空缺，如今则因去世而知晓的若干人物的去世年份。这种增补系电子版独有的——因网页版每篇都注了写作和发布日期，原则上要以补注形式增补才不会与日期相悖，就懒得增补了。
3. 添加了一些与我其他作品的关联。

2025年1月21日

## 实体书序<sup>21</sup>

《太阳的故事》初版于 2011 年，是我的第二本书，也是我迄今所有书中最受冷遇的一本<sup>22</sup>。如今，清华大学出版社以不怕亏损的绝大勇气，为此书出修订版，本该“避亲”的我也不便袖手旁观，就厚颜为此书“吆喝”几句吧。

《太阳的故事》虽然书名超土，题材也不稀有，但在我眼里，却是比其姊妹篇《寻找太阳系的疆界》写得更用心力并且也更好的。为什么呢？因为后者是单纯的“历史题材”，而且是“寻找太阳系的疆界”这单一领域内的历史，受到惯常的全局性时间顺序的限制。昔日鲁迅的《中国小说史略》被诬为抄袭时，鲁迅在回应时说

---

<sup>21</sup> 电子版注：这篇“实体书序”是《太阳的故事》出“修订版”时添加的自序，彼时的书名改为了《上下百亿年：太阳的故事》。

<sup>22</sup> 电子版注：这“最受冷遇”之说是当时的情形，此书后来的销售是否有起色，我后来的其他书是否不幸抢掉了这个头衔，则不得而知。

过这样一句话：“自然，大致是不能不同的，例如他说汉后有唐，唐后有宋，我也这样说，因为都以中国史实为‘蓝本’。我无法‘捏造得新奇’”。在一定程度上讲，像《寻找太阳系的疆界》那样的题材也有类似的尴尬：别人依天王星、海王星、冥王星的顺序写，我也只能这样写。不仅如此，由于“寻找太阳系的疆界”是比“中国小说史”还单一得多的领域，就连每个行星的发现者、发现过程等等也都没得挑拣，更遑论“捏造得新奇”。因此对作者来说，虽可作——并且也作了——文笔上的发挥、细节上的考辩、以及局部结构上的规划等，总体的写作自由度是比较小的，相应地，独特性也就比较低。

《太阳的故事》则不同，它侧重于历史但不是单纯的“历史题材”，而是科普与科学史的融合；而且它的历史部分也并非单一领域内的历史，而是涉及到天文和物理的多个分支。这种复杂性给了作者很大的写作自由度。作为结果，《太阳的故事》的整个结构——以“穿越”而

始，由几何至物理，从核心到外围，最后以太阳“通史”为终——都是我自己规划，并且自认为比较独特的。这其中以“重返古希腊”为开篇的“穿越”式写法更是我很久以前就萌生的一个写作思路的贯彻，在我自己是颇为珍视的。另外，从内容上讲，《太阳的故事》涉及的知识点比《寻找太阳系的疆界》多得多，对科学方法和科学探索过程的介绍也深入得多；在写作过程中，则参阅和甄选了多得多的资料。这些对作者来说，都是更用心力并且也更好的地方。

因此，《太阳的故事》出修订版是我非常乐意见到的。

不过另一方面，我也必须坦白，这修订版所“修订”的基本上也就只是“版”，以内容而论实在是微不足道的（因此已有初版的读者不必再次破费）。这一点其实是我所有作品的修订版共有的特点。之所以如此，主要是一

——如我在文章合集自序中所述<sup>23</sup>——由于我写作速度较慢，“使得写作过程往往长到了对题材的兴趣将尽而书稿远未完成的程度”。由此造成的后果，则是书稿的完成之日，往往也就是兴趣的透支极限，从而在很长的时间之内都不会再对同一题材感兴趣，更不会去修订。从某种意义上讲，一本书出版后，在我眼里它本身也就成为了历史，除订正笔误外，在文字上我一般是让它维持原貌的。对这种有懒惰之嫌的做法，容我略作辩白：我作为一个喜欢买书的人，屡次吃过大幅变更内容的“修订版”的亏。比如有一年我买了一套有关民国大师的三卷本的“大书”<sup>24</sup>，还没高兴太久，就听说该书出了修订版，“新增 10 万字全新内容”，让“故事真正完整”。那一刻的心情，固然有一分是叹服作者的勤奋，却有九分是为自己

---

<sup>23</sup> 电子版注：“文章合集自序”是指《小楼与大师：科学殿堂的人和事》（清华大学出版社，2014 年）及《因为星星在那里：科学殿堂的砖与瓦》（清华大学出版社，2015 年）的共同序言。

<sup>24</sup> 电子版注：在实体书里因不想给出版社添乱而隐去了书名，电子版没这顾虑，就不遮掩了——何况渊博的读者多半早就知道了：这套“有关民国大师的三卷本的‘大书’”乃是岳南的《南渡北归》。

的版本缺了“10 万字全新内容”，及故事的并非“真正完整”而沮丧。我希望，喜欢我作品的读者无需在短短几年间就尝到同样的沮丧——当然，前提是作品本身不会在那样的时间内过时，而这，我寄望于写作时付出过的心力，以及科学史这个我所侧重的领域本身的相对稳定。

最后，让我以对修订之处的罗列，来结束自己的“吆喝”吧：

1. 增添了一篇“自序”（即本文）。
2. 订正了几处笔误（大都为措辞、标点、译名的微调）。
3. 变更了书名——“太阳的故事”这个超土的书名作为本书受冷遇的替罪羊，遭到了编辑的撤换。我效仿昔日的历史畅销书《上下五千年》，提议了《上下百亿年》这一新书名。

## XVIII

4. 增添了一些手绘插图。
5. 增添了人名和术语索引。

以上就是对这本修订版的说明，但愿有更多的读者注意到并喜欢上本书。

2015年4月9日

# 1. 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，有关太阳的其它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”的问题的认真回答，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：这位来自二十一世纪的小学生能做什么？

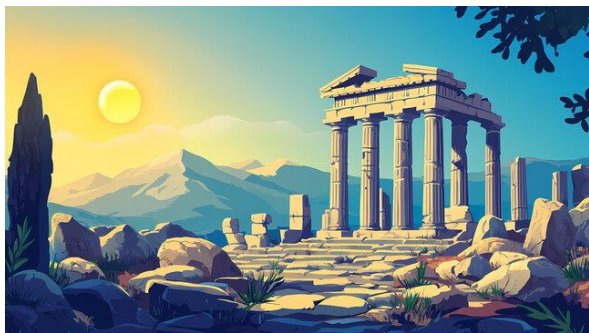
显然，单以某些知识——比如有关太阳有多大和离我们有多远的这两个数字——而论，他（她）已经远远

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**)。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



星星的周日视运动

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<sup>25</sup>。

---

<sup>25</sup> 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

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。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，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**

---

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章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。

calendar) 这一历法的基础<sup>26</sup>。



月相的变化

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

---

<sup>26</sup> 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章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的关系远比月亮密切，我们日常所用的“月”是指阳历中的月。

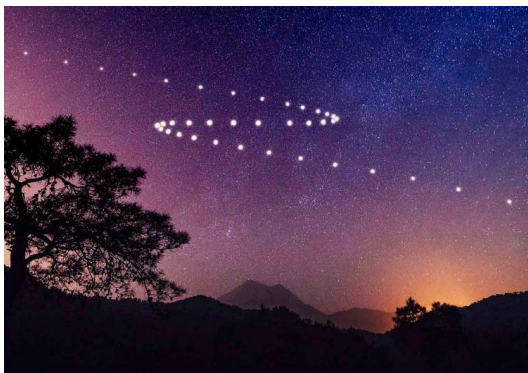


现象。您会注意到在太阳升起和落下的时候，天空中依稀可见的那些星星的位置在一天天缓慢地改变着。这种缓慢改变的逐渐积累，使得在不同的季节里，伴随太阳升起和落下的星星是不同的。这说明什么呢？说明太阳在背景星空中的位置不是固定的，除了周日视运动外，它还参与了一种更加缓慢的运动。仔细的观测表明，那种运动大约每隔 365.24 天重复一次，它既沿东西方向，也沿南北方向，与周日视运动所在的平面有一个  $23.4^\circ$  左右的夹角，这个夹角决定了太阳在冬天和夏天所能到达的最大纬度——即南北回归线的纬度。注意到了那种运动，意味着您发现了所谓的太阳周年视运动（*apparent yearly motion*）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<sup>27</sup>。

---

<sup>27</sup> 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章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。

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。



行星的表观视运动

如果您发现了这些被后人称为行星的表观视运动（*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，而发现一种在您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  $\alpha$  星（ $\alpha$  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十七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，您这位来自二十一世纪的人，已几十年如一日地将古希腊人民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，也有其它古文明国度的人——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。您虽然忘记了天文知识，却还有几何与推理的能力，这种能力无疑是一种智慧。现在您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？

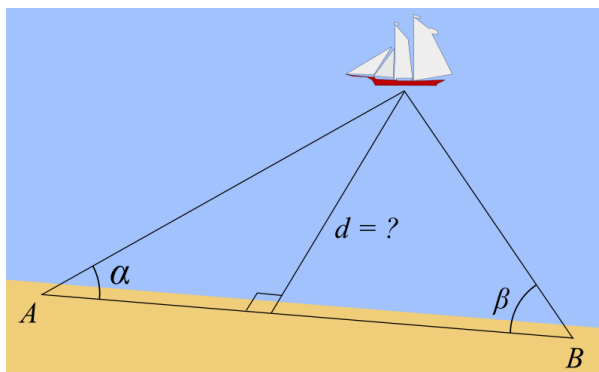
## 2. 天文自助游

### （推算太阳的大小和远近）

虽然您要寻找的数字有两个，但您很清楚，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



三角视差法

从古至今都是测量远近的重要手段。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<sup>28</sup>。

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？

您冥思苦想了一整夜。当黎明的曙光照到您身上时，

---

<sup>28</sup> 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, 287BC – 212BC）那样一边裸奔，一边大叫：“我找到了！”<sup>29</sup>

是的，您找到了，您终于找到了第二个观测点，那就是月亮！

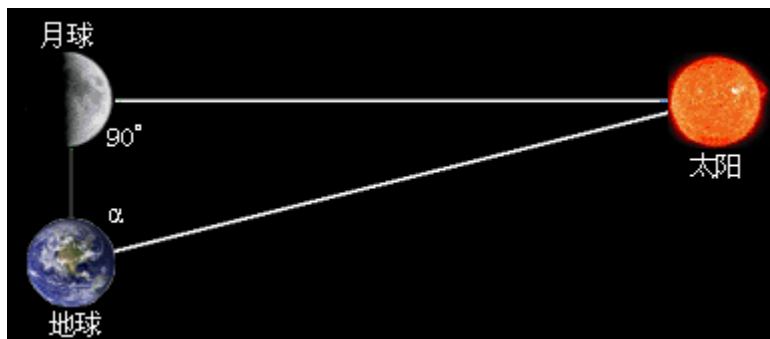
别紧张，您没喝酒，您并不是要到月亮上去观测。在古希腊时代人们就已知道，月亮的月相变化并不是月亮本身在变（在古希腊人眼里，天上的东西是永恒不变的），而只是因为阳光从不同角度照射月亮所致。在刚才看见月亮的一刹那，您忽然想到，既然月相是阳光从不

---

<sup>29</sup> 传说阿基米德受国王所托，要鉴定一顶皇冠是否被掺了杂物。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（感兴趣的读者可参阅拙作“阿基米德的传说”——收录于电子书《最壮丽的世界线》，2023年）。



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。



太阳、地球与上弦月的相对方位

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（如上图所示）。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<sup>30</sup>。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。

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  $90^\circ$ ，接近到了让您无法分辨的程度。而且在那个夹角如此接近  $90^\circ$  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

---

<sup>30</sup> 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  $31'05.3''$ 。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。

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，您的方法是正确的，并且即便在当时也有一定的可行性。如果现代人用您的方法来做观测并扣除干扰的话，将会发现那个夹角在  $89^{\circ}51'$  到  $89^{\circ}52'$  之间，由此得出的结论将是太阳的直径约为月亮直径的 **400 倍**，或者等价地，太阳与我们的距离约为月亮与我们距离的 **400 倍**<sup>31</sup>。

这个结果无疑是漂亮的，但与您所要的答案仍有差距，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（这两个

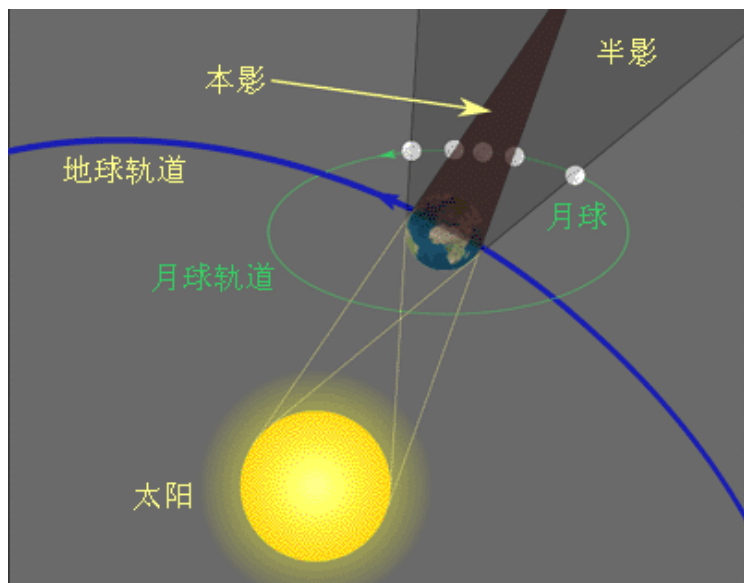
---

<sup>31</sup> 在历史上，古希腊先贤阿里斯塔克斯（Aristarchus, 310BC – 230BC）曾经用这种方法进行过测量。他估计出那个夹角为  $87^{\circ}$ ，与实际数值只相差不到  $3^{\circ}$ 。可惜对于这种很接近  $90^{\circ}$  的角度来说，哪怕只相差  $1^{\circ}$  也足以造成很大的误差。阿里斯塔克斯估算出的太阳直径只有月亮直径的 18–20 倍。

数字您也只要知道其中一个就行了)——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。您并且还注意到,当地球的影子——确切地说是本影(umbra),即完全阻隔阳光的那部分影子——“蚕食”月亮时,影子的边缘是圆弧状的(这是最早使人推测地球为球形的现象之一)。您很快就想到,通过对比影子边缘的形状与月亮本身的形状,您就可以估计出地球影子与月亮的相对大小。不过,这种方法实践起来并不容易,因为地球的影子投射在球状的月亮上并不是一个很简单的几何问题。您想到的一个更好的方法,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。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的月食下才能得到可靠的结果）。



测定月亮与地球的相对大小

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<sup>32</sup>。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——如上也图片所示——要比地球本身的直径来得小。到底小多少呢？几乎恰好小了相当于一个月亮直径的大小（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自行证明一下）。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——顺便说一下，那是指“剁碎”了装，如果要问最多

---

<sup>32</sup> 在历史上，这个方法也同样被阿里斯塔克斯采用过，他估计出的地球影子直径约为月亮直径的两倍，由此得到的太阳直径约为地球直径的 7 倍。这个结果虽然误差极大，但——如我们在下一章中将会提到的——仍给了阿里斯塔克斯一个很重要并且很正确的启示。阿里斯塔克斯之后的其他先贤们对地球影子的直径给出了更好的估计，比如喜帕恰斯（Hipparchus, 190BC – 120BC）给出的估计为月亮直径的 2.5 倍；托勒密（Ptolemy, 90 – 168）给出的估计为月亮直径的 2.6 倍。

能装多少个完整的地球，那可就变成一道著名的数学难题了<sup>33</sup>。

就像接力一样，您先把有关太阳的数字与有关月亮的数字联系起来，现在又进一步将它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底下，它的直径却仍然不是可以拿尺去测量的。事实上，在古希腊时代，多数人一生的活动都局限在几公里的范围内，对他们来说，地平线以外的东西就像天边一样遥远。更不用说地球表面的大部分地区被当时还从未有人探索过的汪洋大海所覆盖。

不过您当然不是普通的古希腊人，您总是有办法的。

---

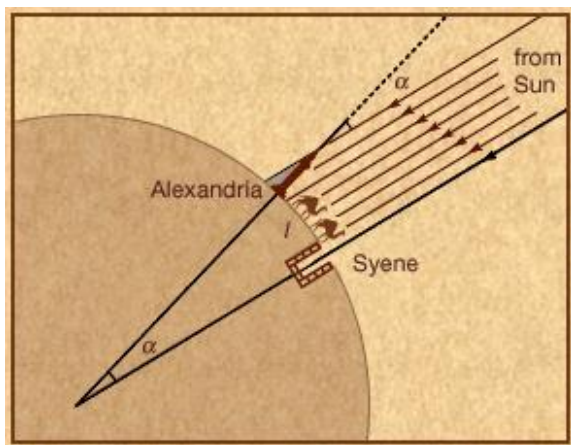
<sup>33</sup> 这个数学问题被称为“开普勒猜想”（Kepler Conjecture），是一个著名的数学难题。1998年，美国数学家黑尔斯（Thomas Hales, 1958-）发表了一个长达250页，并且需要计算机辅助的证明，但该证明迄今尚未得到数学界的公认。

在所有使人推测地球是球形的天文现象中，除了前面提到的月食时地球影子的边缘形状为弧形外，还有一个很重要的现象，那就是不同纬度的人看到的星空是不一样的。具体地说，那些熟悉的星星或星座在不同的纬度上看时，与天顶的夹角是不一样的（请读者想一想，为什么我们只提纬度而不提经度？）。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（证据是阳光能直射到垂直深井的底部），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。由此您就可以计算出地球的周长和直径。经过这样的测量和计算，您发现**地球的直径约为 12,740 公里**（当然，这是改用后世的距离单位来表示了）<sup>34</sup>。

---

<sup>34</sup> 在历史上，古希腊先贤埃拉托斯特尼（Eratosthenes, 276BC - 195BC）曾





测量地球的大小

这样，您就完成了一个漂亮的“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，步步相连，环环相扣。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 万公里**。由此您当然也可以推算出另一个数字：**太**

---

经用这种方法估算过地球的周长。前面插图中那两个城市（即 Syene 和 Alexandria，纬度分别为  $24^{\circ}05'N$  和  $31^{\circ}02'N$ ）就是埃拉托斯特尼所选的观测点。由于史学界对埃拉托斯特尼所用的距离单位尚有争议，今天我们尚无法确切知道他的估算结果，但一般认为是在 39,690 公里到 46,620 公里之间（相应的直径在 12,630 公里到 14,840 公里之间）。

阳离地球约有 1.5 亿公里（感兴趣的读者可以用第 19 页脚注 10 提供的数据自行推算一下）。如果您愿意，您还可以写下有关月亮的两个数字：月亮的直径约为 3,500 公里，它离地球约为 38 万公里（更精确的数字是 384,400 公里）<sup>35</sup>。

站在我们这个小小星球上，居然能推算出如此遥远天体的性质，这是一件奇妙的事情。在我们太阳故事的其它章节中，在后来的科学发展史上，这样奇妙的事情还将一再发生。事实上，直到今天为止，除少数飞往过月球，或在近地轨道上生活过的宇航员外，几乎所有人的足迹都从未离开过我们这个小小的星球（包括大气层），但我们却对越来越广阔的外部世界有了越来越精密的了解。这种能力就是智慧。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

---

<sup>35</sup> 有意思的是，月亮的存在对于上述推理具有极大的重要性。事实上，如果没有月亮，人类科学的很多早期探索都会遇到额外的困难。

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当之无愧地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兼自助游到这里就结束了，但我们的太阳故事才刚刚开始。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。

卢昌海电子书·之三十一

□□□ 更多电子书可查阅 □□□

<https://www.changhai.org/articles/introduction/ebooks.php>