

夜空为什么是黑的

宇宙是怎样形成的

张杰 王茨 王月楠 译

[俄] 弗·彼·列舍特尼科夫 著



上海科学技术文献出版社
Shanghai Scientific and Technological Literature Press

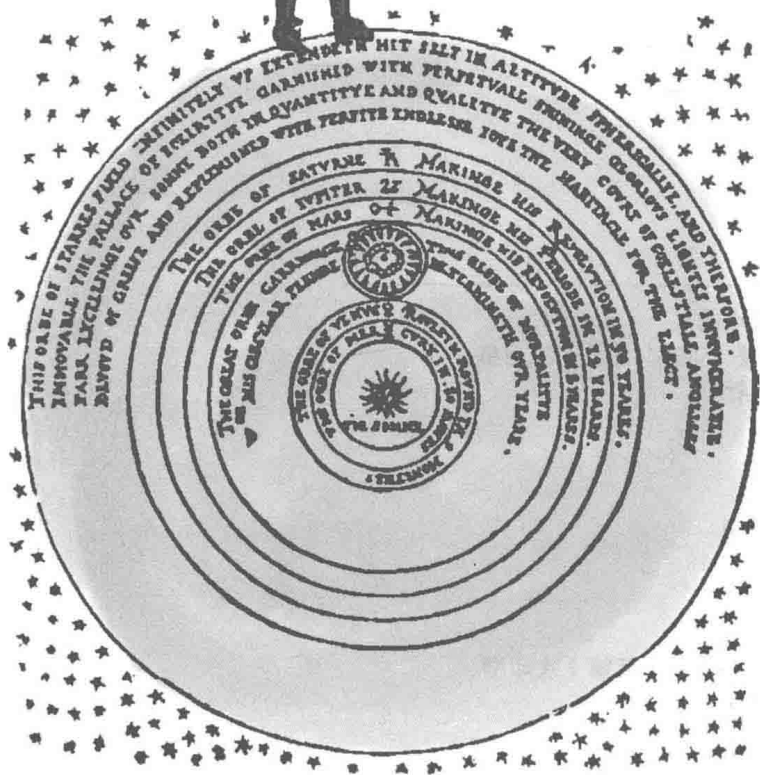
夜空为什么是黑的

宇宙是怎样形成的

张杰 王茨 王月楠 译



〔俄〕弗·彼·列舍特尼科夫 著



上海科学技术文献出版社
Shanghai Scientific and Technological Literature Press

图书在版编目 (CIP) 数据

夜空为什么是黑的：宇宙是怎样形成的 / (俄罗斯) 弗·彼·列舍特尼科夫著；张杰，王茨，王月楠译．—上海：上海科学技术文献出版社，2017

ISBN 978-7-5439-7594-1

I . ① 夜… II . ① 弗…② 张…③ 王…④ 王… III . ① 宇宙学—普及读物 IV . ① P159-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 280005 号

© Решетниуков В. П.
© Bek 2, 2012

Copyright in the Chinese language translation (Simplified character rights only) ©
2018 Shanghai Scientific & Technological Literature Press

All Rights Reserved
版权所有·翻印必究

图字：09-2017-969

选题策划：张 树
责任编辑：王倍倍 杨怡君
封面设计：周 婧

夜空为什么是黑的：宇宙是怎样形成的

[俄罗斯] 弗·彼·列舍特尼科夫 著 张杰 王茨 王月楠 译

出版发行：上海科学技术文献出版社

地 址：上海市长乐路 746 号

邮政编码：200040

经 销：全国新华书店

印 刷：常熟市人民印刷有限公司

开 本：720×1000 1/16

印 张：8.75

字 数：120 000

版 次：2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 978-7-5439-7594-1

定 价：20.00 元

<http://www.sstlp.com>

内容简介

本书讲述了科学家们在数百年间尝试解释的一种复杂现象——夜空为什么是黑的。原来，这与宇宙的结构有关。宇宙究竟是有限的还是无限的？宇宙还在继续膨胀吗？宇宙是由什么构成的呢？本书详细讲述并回答了这些令人感兴趣的问题。

本书适用于大学生、高中生和所有天文学、宇宙学爱好者。

引言

其实，“儿童式”的问题最难回答。为什么天空是蔚蓝色的，而小草是绿色的？为什么人有两条腿，而小猫却有四条腿呢？……回答这类问题或者需要一定的幽默感^①，或者需要具备相关事物的详尽知识。

我的这本书讲述的就是这些“儿童式”问题之一：为什么夜空是黑暗的？尽管看上去显得有些幼稚，然而这个问题却涉及我们宇宙的最基本结构概念——当宇宙中出现最初的天体时，宇宙在空间和时间上是有限的吗？夜空的黑暗——这是显而易见的简单事实，实际上，它也是历史上最为重要的原始天文观测，这种观测在我们对周围宇宙的认识中起到了重要作用。

对于大多数人来说，类似问题显然已经不太能引起人们的兴趣。尚在童年懵懂之时，我们就获得了有关周围宇宙结构的儿童式标准答案。这些回答总体上是正确的，可是往往索然无趣，晦涩难懂。如果学校开设了天文学课程，时间也非常短暂，毕业前以及选择将来职业的时候，这个领域往往不是同学们的选项。所以，天文学水平，或者说任何自然科学知识水平在社会中都非常低下。这一点的最好证明——每天电视和报纸上的天文现象预告、特异功能表演、出现日食和月食引起人们议论纷纷，更不用说大型粒子对撞机的启用……随便问一个人关于季节变化的原因——最好情形下，对方的回答是地球时而接近太阳，时而远离。而关于南北半球季节

^① 人从下面分成两半，而不是从上面——因为两个支点比一个支点更加稳固。

变换的时间不同，人们似乎知道，但并没有思考这种矛盾现象产生的原因。而至于季节问题——一项社会调查显示，我们当代很多人认为，太阳在围绕地球旋转！

然而，以前一直都是这样——每代人都觉得教育水平一直在下降。当然，这可能并非真实情况，因为人类仍然在发展进步。可是，看来针对我们周围的宇宙以及控制它们的定律（会使用电脑或者发动汽车并不属于这些知识），这些中等水平的知识，几乎没有变化。消除这种愚昧无知的方法之一就是科普书籍。当然，人们总是希望科普书籍既有可读性，又能够吸引读者，就像卡尔·萨根或者史蒂芬·温伯格写的那种书，不过，即使不是那么出色的科普书，对于普及大众的科学知识也是大有裨益。

令人遗憾的是，畅销的俄语科普书并不多，尤其是基于现代宇宙图景流畅地讲解，让内容变得通俗易懂，而不是枯燥地单纯讲述那些基础理论知识和实验事实。很多科普书籍的缺点在于试图“包罗万象”，导致内容过于简单化，成了示意图的讲述。结果，读者头脑中形成的科学概念，就像零散事实的大杂烩，而这些事实往往是理论家们加入个人主观想法的无据论断。

为了避免落入这种流行叙述模式的窠臼，我将只讲述一个问题——夜晚为什么是黑暗的？换句话说，就是讲述一下夜空背景问题。其实，即使这部分话题实际上也非常广泛，其中涉及当代宇宙学和银河系之外天文学的许多重要问题。

为了弄清楚夜空的秘密，我们首先应该认识一下以前关注过这个问题的思想家们。其中有些人我们绝对意想不到，例如，我们将会认识哈姆雷特亲王和埃德加·艾伦·坡的原型。详尽讲述这个故事的所有参与者，基本不可能，因此，我们将会特别关注那些相对不为人知的情况。

接下来，我们将汇集那些主要的天文观测事实，同时还有关于我们宇宙结构的推测，然后讲述现代科学解开夜空之谜的过程。书中有些内容可能显得略微深奥，因为我们面前不仅是一本畅销书，而且还是一本科普书。

目 录

引言.....	001
第一章 光度悖论史	001
1.1 夜空	001
1.2 夜空的主要奥秘	006
1.3 奥秘的起源：哥白尼和迪格斯	010
1.4 从伽利略到哈雷	019
1.5 谢诺与奥伯斯	025
1.6 埃德加·艾伦·坡的动态宇宙	031
1.7 梅德勒与开尔文勋爵	038
第二章 我们的宇宙是如何形成的	044
2.1 宇宙膨胀	047
2.2 宇宙真的在膨胀吗？	061
2.3 宇宙膨胀意味着什么？	069
2.4 残留辐射	074
2.5 宇宙暗能量	083
2.6 加速膨胀	094
2.7 宇宙肖像	106
2.8 我们的宇宙之外	111

第一章 光度悖论史

1.1 夜 空

我抬头仰望繁星点点的夜空，脑海中浮现出的天文知识真是少之又少。

——列茨·斯坦尼斯拉夫

晴朗的夜空——这是让人百看不厌的景象之一。这里说的不是城市夜空，由于强烈的反射光，这里的夜空除了月亮和最明亮的恒星，其他什么都看不到。观察夜空要到远离城市的地方，而最好之处——就是高山之上。

观察星光闪烁的夜空，望着它气势恢宏地不停旋转——所有这些使我们感到巨大的审美愉悦。从古至今，星光闪耀的夜空一直是诗人、作家和艺术家的灵感源泉。

有时候，夜空景色以及主人公的感受，作家将这些用于“创作目的”——更好地刻画笔下人物的心理状态。例如曼弗雷德，这位乔治·拜伦长诗中的主人公，就对生活和人类深感绝望：

夜空群星闪耀，——星空下白雪皑皑的山峰

在月光下熠熠生辉。——一幅壮美的景色！

我爱这夜色，——相比人的形象，

我更钟情于夜晚的模样；

夜空 为什么是黑的

望着夜色中宁静而忧郁的美，
我完全理解来自另一个世界的话语。

亚历山大·库普林是这样描述夜空的：

“我仰躺下来，久久凝望着黑暗宁静、晴朗无云的夜空——就这么呆望着，有时我仿佛感觉自己是在望着无尽的深渊，然后，我的头开始出现一种愉悦般的眩晕。而我的灵魂去了一个令人陶醉的温暖世界。有人伸出有力之手抹掉过往失败的痛苦，消除渺小和苦恼的虚荣，拭去自尊受到伤害的痛苦耻辱，安抚为生计从未停息的操劳。”

与库普林的描述颇为相近的是阿法纳西·费特的诗句：

南方之夜，仰面朝天，
我躺在牧场的草垛上，
四面八方，声音回荡，
那是天体和谐的合唱。

大地惊梦般沉默不语，
悄无声息地销声匿迹，
作为天堂的首位居民，
我独自面对茫茫夜空。

我是去往午夜的深渊，
抑或群星向我而飞翔？
看来，似乎有只大手，
将我悬吊在深渊之上。

有时，诗人们直接赞美星空：

……仰望苍穹，
 整个天空撒满了金色的繁星；
 甚至最小的那一颗也看得清，
 天使般载歌载舞在尽情欢唱，
 如年轻的智慧女神反复吟唱。

或者这样来描写：

星辰的荣光燃烧在中天，
 天穹从深处窥视着小舟——
 我们飞翔在无际的天穹，
 被烈火熊熊的深渊包围。

公元一世纪，古罗马作家、哲学家塞涅卡面对夜空之美赞叹不已：“假如地球上只有一个地方能够看见星空，那么，渴望看见这一奇迹的人们一定会聚集在那里。”塞涅卡之后大约过了两千年，另一位哲学家——伊曼努尔·康德说道：“宇宙以其无限的浩渺、无穷的变化和缤纷的美丽简直让我们目瞪口呆。”康德还有一句经典名言：“有两种东西，我对它们的思考越是深沉和持久，它们在我心灵中唤起的赞叹和敬畏就会越历久弥新，一是我们头顶浩瀚灿烂的星空，一是我们心中崇高的道德法则。”

假如从地球表面看不到星空，我们生活中会发生什么变化吗？这个问题听上去有些古怪，因为大多数人绝不会将夜空中纯粹美感的東西与某些实用或有用的东西联系起来。当然，文学和诗歌一旦失去灵感的重要来源，一定会贻害无穷，不过，也许还会产生更加严重的后果，极有可能在整体上严重阻碍科学与人类文明的发展。说得稍微夸张一些，假如天空没有星辰，可能就不会有现在的电视、网络、手机以及其他许多东西，没有这些

简直无法想象现代生活会是什么模样。很有可能，现在所有的这些都会被制造出来，但在时间上将会大大延迟。

与日常生活中经常存在偶然性截然不同，天文现象非常重要的特点是具有其周期性和可预见性。观察这些现象——月亮运行及其位相、太阳位移、天体的昼夜自转、一年内星系图的系统性变化，这些让远古时期的人们可以在时间和空间上进行计时和定向。针对天文规律的研究，让人们第一次形成了一种认识，即存在着控制周围宇宙的某种不可抗拒定律。这些思想的发展导致了现代意义上的科学勃兴。艾萨克·牛顿基于月球运行的天文数据而发现万有引力定律，这便是一个经典事例。古往今来的最伟大数学家——欧勒、拉格朗日、拉普拉斯、高斯、庞加莱等，他们创造了崭新的数学方法，并在解决纯天文问题过程中对其加以完善，这些问题涉及可观测的天体运动。正如阿尔伯特·爱因斯坦所言，“没有知识作为工具不可能促进现代科技，而这些知识主要来自星空观测”。

亨利·庞加莱就此写道：“假如没有天文学家的成功范例给予物理学家们以精神鼓励，他们早就在无数次的失败中丧失了信心！这个成功告诉他们，自然界受制于某些定律……而且，天文学绝不仅仅是为我们揭示了定律的存在；它还告诉我们，这些定律不可改变，无法与之对抗。假如我们仅仅知道地球世界，我们需要多少时间来接受这一思想呢？……”

在斯特鲁伽茨基兄弟的小说《人烟之岛》中，看不见星星的世界是这样一幅情景：“这儿的夜幕低垂，似乎有些凝固，没有透明度，似乎是深不可测的浩瀚宇宙和人满为患的世界——真正一幅《圣经》里描述的苍穹，光滑而密实。”这个星球大气层的独特属性——大量吸收和强烈折射，这导致其居民面对这样一幅宇宙景象：“人烟之岛是宇宙中的唯一世界。人们的脚下是球体世界的坚实表面。人们的头顶是广袤的地方，不过，这个面积有限的气体球其成分构成暂时不清楚，而且具有暂时不十分清楚的物理属性……简而言之，这个人烟之岛存在于宇宙中无限苍穹里一个巨大气泡的内部表面上。”显然，这个星球上的科学处于非常低的水平上。

1941年,《新奇科幻》杂志主编约翰·坎贝尔向艾萨克·阿西莫夫解释拉尔夫·沃尔多·爱默生的观点:“假如天空的繁星每隔千年才在一个晚上出现,人们绝对不会相信!人们怎会世代保存着对上帝之城的回忆……”

“你怎么认为,”坎贝尔询问阿西莫夫,“假如人们真的只能一千年看见一次群星,会出现什么情形呢?”

阿西莫夫耸了耸肩膀。

“他们早就发疯了!”坎贝尔说,“回家去写一篇小说吧。”

两周之后,阿西莫夫带来了他的小说《夜幕降临》。小说中的事件发生在一颗特殊的行星上,这颗行星位于一个六颗恒星构成的星系之中,大概需要两千年这颗行星才迎来一次黑夜——这时,五颗恒星沉入地平线以下几个小时,而第六颗恒星处于日食状态。这颗星球上的居民从未见过星星——关于星星只是一个传说而已,而且从未长时间处于黑夜之中,因此,人们在惊恐中等待夜幕的降临。而夜晚即将来临……文明将要毁于惊恐万状的人们纵火引起的火灾。然后,重新开始为期两千年的演化周期,这场灾难的结果是这颗星球的居民勉强可以发现万有引力定律,并意识到他们面临着一个新的启示,而它重新将他们的文明几乎打回原形。当然,阿西莫夫的小说有点夸张,不过,它明显强调了观测和研究夜空的重要性,它对人类世界观的形成以及科学发展具有重大意义。

现在,描述了夜空的美丽,同时也讨论了这么做的重要性之后,我可能会让读者感到失望——本书将要讲述的东西并非我们在夜空中看到的,而是我们在其中没有看到的。当然,这听上去有些奇怪,因为我们思考更多的是我们目睹的东西,而不是相反。

19世纪法国著名物理学家和天文学家雅克·巴比内将彗星称为“看得见却什么都没有的东西”。这一结论的理论根据是相对那些体积大、亮度高的彗星而言,其物质密度却非常低。借用巴比内的那句话,可以说,天空的背景——这是“看不见的东西”。这个“某个东西”以及为什么它“看不见”——就构成了本书的主要内容。

1.2 夜空的主要奥秘

消除这个黑暗！

——列茨·斯坦尼斯拉夫

我们来想象一种最简单、几乎所有人直觉上都可以接受的宇宙样式——时间永恒、浩瀚无垠的宇宙，其中均匀地布满恒星^①。例如，乔尔丹诺·布鲁诺就是这样想象着宇宙：“我们将这个空间称作无边无际，因为没有任何依据、计算方法、可能性、目的或条件来对其予以限制；这个空间里存在着数不清的类似我们地球的世界……”而早在他之前，伊壁鸠鲁就这样说过：“无论是天体的数量，还是空间的广阔，宇宙都是无边无际的。”对浩瀚宇宙也有诸如下面这种诗意般的描述：

夜晚推开天窗，遥望夜空星光点点宇宙，
而我看见的所有星辰，无论再添加多少，
也仅仅是宇宙中更遥远星系的边缘而已。
继续远离我们，不断膨胀，一直在膨胀，
通往边界、边界、永远通往宇宙的边界。

.....

无论望向多远，眼界之外还有未知远方，
无论怎样记数，数量多得几年也数不完。

感觉周围宇宙具有无限性其实很自然。因为事实上的确如此：

^① 当这个奥秘第一次被揭示，宇宙被认为由恒星构成。现在我们知道，宇宙的基本“构成物”并非恒星，而是星系。不过，这种不准确的表达其实并不重要，因为星系也是由恒星组成。

……如果认为宇宙空间有限，
 那么，如果有人突然跑起来，
 来到宇宙尽头，全力掷出矛——
 你认为结果会怎么样？——
 它会继续向前飞，一直奔向预定目标，
 还是有什么东西会挡住它的前行之路？

公元前一世纪，卢克莱修就提出了支持宇宙无限性的其他论据：

“……假如浩瀚的宇宙空间四周是封闭的，具有边缘界限，是有限的，那么处于稠密大气压力下的所有物质，早就沉积成一堆，在天空的遮掩下，任何东西也不可能形成；天空本身也将不复存在，太阳也不可能发出光线，因为所有物质由于无限的时间都将沉积得越来越低，拥挤成一堆。”

我们将卢克莱修的“万有引力”一词替换成“压力”一词，就可以描述压力的不稳定性现象。例如，牛顿对此这样写道：“我觉得，假如我们太阳和地球的物质，以及宇宙的所有物质都被均匀地散布于整个天空，而且每个粒子自身都具有吸引其他物质的内在引力，而这个物质分散在整个空间内，则整个空间就是有限的，这个空间之外的物质在自身引力的作用下，竭力靠向它内在的全部物质，所以，该物质就会向这个空间的中心坠落，并在那里形成一个质量巨大的球形体。”

所以，让星辰均匀地分布于恒定的浩瀚宇宙中，其中 n ——表示体积单位内恒星的平均数， L ——表示一颗恒星的平均亮度，也就是单位时间内朝所有方向发出的射线的总能量。我们来看看位于离地球距离为 r 的一颗恒星。亮度，即抵达单位面积的能量流，从这个星球抵达地球表面为：

$$E(r) = L/4\pi r^2 \quad (1)$$

这个公式的含义非常简单——恒星发出分布在球半径为 r 的表面能量，其面积为 $4\pi r^2$ 。

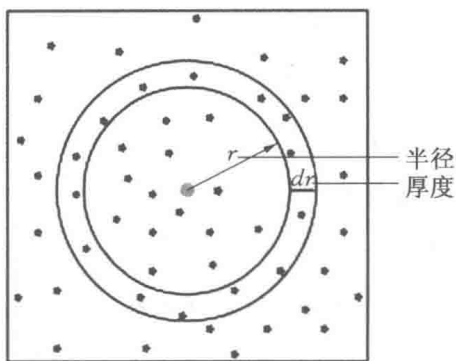


图1 浩瀚宇宙中的天球层剖面图

现在，我们来分析一下这个半径为 r ，厚度为 dr （见图1），围绕地球的同心层剖面图。这个同心层的体积为 $4\pi r^2 dr$ （球面积等于半径 r 乘以同心层的厚度），所以，其中可以容纳 $n \cdot 4\pi r^2 dr$ 颗恒星。计算结果是，这个同心层中恒星的整个亮度为

$$dE(r) = n \cdot 4\pi r^2 dr \cdot L/4\pi r^2 = nLdr \quad (2)$$

我们可以发现一个有趣的事实，位于任何球形同心层中的恒星总亮度只取决于这个同心层（ dr ）的厚度，并不取决于与它的距离。原因在于，随着这个同心层逐渐远去，构成该同心层的恒星亮度逐渐消减，与此同时，通过位于该同心层恒星数量的增加作为补偿（见公式（2））。

因此，如果我们将宇宙划分成等厚度的层，则每一个层都给地球提供了相同的亮度。宇宙无边无际，这就意味着，这种层数同样无穷无尽。由此得出一个简单的结论——浩瀚宇宙中所有天体产生的亮度，应该是无限的。然而，结果却令人困惑。夜空无穷尽的亮度显然违背了人们的日常体验。这难道是奇谈怪论吗？

我们可以做一种尝试，让我们的模式化宇宙显得更加现实。可以考虑，这些恒星并不是数学上的小数点，尽管自身具有很小、却是有限的角尺寸。例如，我们太阳1个角秒距（大约3.3光年）的角尺寸为0.01"（百分之一角秒），当然，数值非常小，但是不为零。这就意味着，离我们最近的恒星

阻碍并屏蔽了来自更远的辐射。为证明这一论点，一般用茂密的树林来比喻布满群星的空间。当你身处树林深处，周围全都是树木。如果树林不大，树干之间就可以看见透进来的光亮。如果树林非常大而且茂密，那么距你最近的树木树干就如同一面厚重的高墙，将你与远处的一切隔绝开来。

所以，望向浩瀚的宇宙，人的视线迟早都会与其中的某颗恒星相遇，因此，夜空应该就像经典的恒星那样均匀地闪烁着星光。这比无限的亮度要强一些，然而完全不像真正的夜空。确实，我们可以这样假设，太阳——是一颗普通的中等星（这实际上更符合事实）。这时所观察到的夜空，准确地说，是半球面，应该比太阳亮 10 万倍。这种强烈的辐射不仅无法研究夜空的亮度，我们地球上也不可能有生命的存在。

所描述的这种悖论早在几百年之前就被意识到了。它被称作光度悖论或奥伯斯悖论。后面我们将会知道，奥伯斯并非第一个研究这个奥秘的人，不过遗憾的是，通常情况下，定律、公式以及任何发现，经常不是用第一位发现者的名字来命名——例如，美洲的发现就是如此。英国物理学家迈克尔·贝瑞戏称这是阿诺德定律（为了纪念俄罗斯的伟大数学家弗拉基米尔·伊戈列维奇·阿诺德）：如果某个物体或概念拥有个人名字，那么这——就不是发现者的名字。因而，贝瑞原则上声称，阿诺德定律也适用于他本人。^①

显然，光度悖论的存在意味着我们的模式化宇宙中存在着问题，因而，应该放弃某个原始假设。可见，宇宙在时间和空间上可能是有限的，恒星可能不是均衡分布，而是以某种特殊方式，宇宙可能不是恒定的，而是处于膨胀或者缩小的过程之中。所有这些以及其他考虑，在对光度悖论的分析过程中都屡次进行了表明。

意识到夜空的奥秘，而且在几百年期间人们努力尝试揭示它——这就

^① 贝瑞确认公正的明显原则，实质上就是阿诺德原则，即重复 1980 年提出的所谓斯基戈列法——没有一项发明以其发明者的名字命名。斯基戈列这时指的是这项法律措辞属于伟大的社会学者罗伯特·默顿。

是本书第一部分将要讲述的内容。光度悖论从未成为研究的流行方向，实质上，多年来它也并不在天文学家和物理学家的兴趣范围内。更令人感到奇怪的是，尝试解决这个悖论的包括许多著名的科学家。

1.3 奥秘的起源：哥白尼和迪格斯

可怜的天才们，他们被迫去发现我们在中学学过的东西。

——一个不知名的女学生

经常被视为科学革命标准的哥白尼革命，实际上完成得非常随意，对现代人而言几乎不被注意。据传说，在自己生命的最后一天——1543年5月24日，生命垂危的尼古拉·哥白尼终于看到了自己刚刚出版的书。这本书——《天体运行论》是他一生的成果，也标志人类精神生活向前迈出的

最重要一步。然而，生命垂危之际的哥白尼未必意识到身边发生的事情，也不知道自己手中拿的是什么。据当代人说，尼古拉·哥白尼死于“脑溢血，以及随之导致的身体右半部分瘫痪，在这之前长时间昏迷，丧失了意识”。

我们上学的时候就知道，哥白尼提出了日心说。他确认，不是太阳围绕地球转，而是所有行星，包括地球都在围绕位于中心的太阳运转。实际上这是真的，但并非完全准确。事实上，太阳系的日心模型早在古希腊时期就已经被认真研究过。例如，公元前3世纪，萨摩

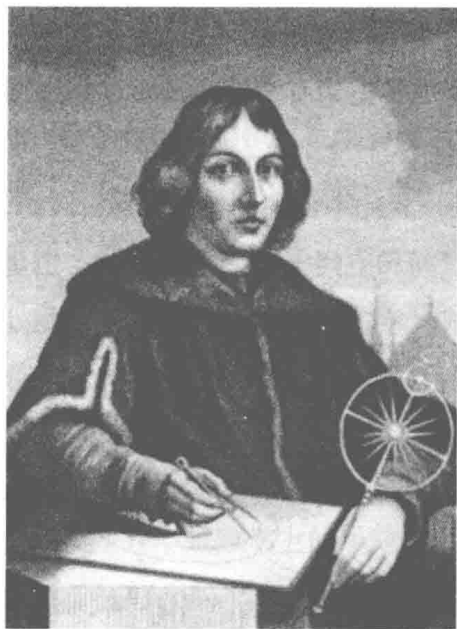


图2 尼古拉·哥白尼（1473—1543）