

行星物理

[苏] B. B. 沙罗诺夫 著

科学出版社

内 容 简 介

本书讨论太阳系诸行星和卫星的物理性质。书中着重介绍研究这些行星的各种方法,也提到一些研究成果。

全书共分九章:一、绪论,二、行星和卫星表面的远镜观测,三、太阳系天体的几何特性和力学特性,四、地形学与测绘学,五、太阳系内个别天体外形的描述,六、累积光度学,七、行星圆面的光度学,八、行星大气的光学,九、行星和卫星上的物理状况等。

本书主要供天文工作者阅读,也可供物理工作者参考。

В. В. ШАРОНОВ

ПРИРОДА ПЛАНЕТ

Физматгиз, Москва, 1958

行 星 物 理

В. В. 沙罗诺夫 著

张钰哲 张家祥

舒英发 尉淑玲 译

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1974 年 9 月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1974 年 9 月第一次印刷 印张: 16 插图: 1

印数: 0001—6,110 字数: 426,000

统一书号: 13031·212

本社书号: 360·13—5

定价: 2.00 元

只限国内发行

中 译 本 前 言

本书原著出版于 1958 年。译稿完成于 1964 年。现在出版，书中虽然未能反映近年新的进展，但仍可供有关人员作为入门参考。译文不当之处，希读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	1
§ 1. 作为物理研究对象的太阳系,行星学的对象	1
§ 2. 行星学史概述	8
§ 3. 太阳系概况	14
§ 4. 行星和卫星的轨道根数	17
§ 5. 各季节中行星可见的条件和形相	26
参考文献	32
第二章 行星和卫星表面的远镜观测	34
§ 6. 作为研究行星的工具的望远镜	34
§ 7. 视觉的特性	43
§ 8. 地球大气对于行星圆面上细节能见度的影响	50
§ 9. 行星目视观测的技术	59
§ 10. 照相底片上细节传真的理论	65
§ 11. 行星和卫星照相的技术	76
参考文献	83
第三章 太阳系天体的几何特性和力学特性	86
§ 12. 球状天体的圆面和位相	86
§ 13. 具有显著椭率的行星的圆面和位相	97
§ 14. 自转要素,物理坐标	103
§ 15. 测量行星圆面的技术	116
§ 16. 质量及其所确定的量	125
参考文献	135
第四章 地形学与测绘学	138
§ 17. 行星和卫星测绘研究的任务	138
§ 18. 行星面坐标的测定	140
§ 19. 由观测定自转的根数	148
§ 20. 研究行星自转的物理方法	151

§ 21. 测定天体表面各点高度的方法,对于这些点的太阳和地球的天顶距和方位角	157
参考文献	161
第五章 太阳系内个别天体外形的描述	162
§ 22. 月亮和月面学的问题	162
§ 23. 月亮表面的形态学	168
§ 24. 水星	177
§ 25. 金星	181
§ 26. 火星	188
§ 27. 木星	199
§ 28. 土星	208
§ 29. 土星光环	212
§ 30. 天王星和海王星	217
§ 31. 小行星及大行星的卫星	221
参考文献	224
第六章 累积光度学	233
§ 32. 作为行星和卫星物理研究方法的光度观测	233
§ 33. 行星亮度及其变化	236
§ 34. 行星和卫星累积测光的结果	241
§ 35. 色度学和分光光度学	255
§ 36. 定量地表示物体反射本领的一些量	263
§ 37. 几何反照率和示范反照率,小天体的光度直径	273
§ 38. 球面反照率	282
参考文献	291
第七章 行星圆面的光度学	295
§ 39. 太阳系天体的表面光度学的任务和问题	295
§ 40. 表面光度学的技术	297
§ 41. 标准化的方法,发光度与亮度因数的求得	302
§ 42. 在实验室和野外情况下的发光度测定	313
§ 43. 月亮表面的光度研究	323
§ 44. 以色度学和分光光度学的方法作月亮表面的研究	330
§ 45. 偏振学及其在月面偏振研究上的应用	338

§ 46. 应用反射本领的研究结果探讨月亮表面的本质	348
参考文献	355
第八章 行星大气的光学	363
§ 47. 天体的大气层	363
§ 48. 行星大气的构造	367
§ 49. 大气折射	372
§ 50. 在行星上观测到的折光现象	377
§ 51. 消光	388
§ 52. 吸光, 行星大气的分光研究	392
§ 53. 气体和混浊物质内光的散射	400
§ 54. 散射介质的亮度	408
§ 55. 有大气包围的行星圆面上亮度的分布	414
§ 56. 散光的大气对行星颜色的影响	423
§ 57. 朦影现象	427
参考文献	440
第九章 行星和卫星上的物理状况	445
§ 58. 太阳辐射和温度条件	445
§ 59. 用辐射测量法决定温度	450
§ 60. 金星的大气	454
§ 61. 火星的大气和其表面	463
§ 62. 类木行星的性质	476
§ 63. 在沒有大气的天体上的温度情况; 月亮大气的问题	485
参考文献	491
附录	500

第一章 緒 論

§ 1. 作为物理研究对象的太阳系,行星学的对象

对于行星及其卫星,可以从两种观点来进行研究.

第一,可以研究它们在天穹上的视运动. 原始民族早已知道了这种运动. 从视运动又可进而研究这些星体在空间所描绘出的实际轨道,最后应用万有引力定律将所求得运动加以精密分析和严格计算. 从这个观点出发,太阳系的研究便归属于理论天文学和天体力学等天文学部门,而它的观测部分则归属于实用天文学或天体测量学.

这种用几何和力学的方法来研究行星和月亮的工作是非常古老的. 因为古代的天文学家早已勤恳地测定了行星在黄道十二宫背景上的位置,并思考了它们移动的本质,创立了幼稚的以地球为中心的“宇宙系统”学说. 只是在波兰杰出思想家哥白尼(Copernicus)不朽的著作以及后来克普勒(Kepler)的著作中,理论天文学(这便是根据从观测所得的行星在天球上的投影位移来决定星体真实轨道的技术)才形成为近代进步的科学. 因为在文艺复兴时代,天文学成了革命的旗帜,在这面旗帜下,新兴的自然科学与中世纪的经典学派进行了斗争,因此恩格斯曾这样写道:“在宗教领域内是路德焚毁教谕,在自然科学领域内是哥白尼的伟大的著作,在这部著作中,他(虽然还有些胆怯,在三十六年的踌躇之后并且可说是在临终时)向教会的迷信提出了挑战. 从此以后,自然科学基本上从宗教下面解放出来了,……”^{*}.

随后,牛顿(Newton)的时代到来了,当时发现了运动的基本定律和万有引力定律. 所有这些定律都非常成功地应用于月亮、行

^{*} 《马克思恩格斯全集》第二十卷,人民出版社出版,1971,534页.

星和彗星的运动,而且得到证实。从这时起,天体力学便成了那个时代的自然科学中最发达而且最成熟的一门科学。它以精确计算来预报多年以后天象的能力,今天已不象从前那样为人们所惊讶与钦佩了。这种预报(也就是天文年历和年鉴里所发表的数字)的绝对可靠和高度精确,现在被认为,这是专门的天文学机构所进行的大量计算工作的必然结果。当然,这并不是说,天体力学的问题已经穷尽枯竭而没有发展前途了。相反地,目前在它面前有很现实的问题,如进一步发展月亮、行星运动的绝对理论,创造更便于实际计算的新方法,以及解决三体和多体系统内一般的运动问题。

研究太阳系天体的第二方面是直接研究行星和卫星的本身,人们有时用“物理方面的研究”这个不恰当且陈旧的名字来表述。如果天体力学把太阳系成员只看成是在其它天体吸引下而运动的质点,那么这第二方面的研究便是把每个天体看成是物质的组合。此物质不但有运动,而且继续不断地在改变,从某一状态转变到另一状态,占据一定空间,具有一定形状、化学成分和物理性质。也就是这个方面,我们将要把它统称为行星学。

所以,行星学的任务是解决下列一些问题:如行星的大小和形状,它表面的构造和细节,覆盖在表面上的物质的特性,表面上的温度和它在绕日公转一周中的变化,以及与此有关的行星上不同地带的景物随季节的变化。如果天体有大气的话,还要研究大气的构造、物理状态和化学成分。

大家知道,天文科学可以有两种分类法。第一,可以依照研究方法来分类。在我们的教程里,普遍采用了这种分类,从而便有了球面天文学、天体测量学、天体力学、天体物理学等学科。第二种方法便是经常采用的按所研究的天体的类型来分类。在这情况下,便有所谓的恒星天文学、彗星天文学、太阳天文学等学科。显然,行星学是属于按第二种分类法的一个天文学科。与第一种类型的各学科相比较,行星学是个综合学科,因为其中要使用到很不相同的各学科的资料和方法。

例如,行星表面坐标网和极轴在天球上的投影位置,显然是属

于球面天文学的问题。而在我们的天文年历里，至今仍旧把这数值按老名称叫作“行星物理坐标”。量度行星圆面角径大小和扁度的技术，以及测定圆面上不同细节的位置，都属于天体测量学的问题。天体形状和内部结构理论，通常都归在天体力学的范围以内。最后，行星光度、颜色、偏振和光谱的研究，以及这些观测结果的理论分析，都可看作是把天体物理方法应用到行星和卫星等方面来。

这类问题的研究在我们自然科学系统里到底具有什么样的重要性呢？行星的研究是宇宙一般研究所不可缺少的一部分，因为行星和卫星是一种分布很广的特殊类型的天体。除此以外，我们还能指出，在解决一系列重大的理论和实际问题时，行星学起着主导的作用。

首先，因为我们的地球就是一个行星，许多地理学和地球物理学中的问题是依靠与其它行星作比较研究后才能获得解决。我们注意一下历史上的事例：曾一度非常重要的地球形状问题，一部分就是由于比照月亮的球状所引起的；而它最后获得解决的根据便是月食时观测到月面上地影是圆形的。在用望远镜观测初期所发现的行星自转，是使人们承认地球周日自转观念的正确性的一个主要依据。再者，木星和土星显著的扁圆形状，引导牛顿去创立天体形状的理论。在这个基础上，他指出地球具有扁球的形状，虽然当时大地测量资料所给的结果与此恰恰相反。大气光学中的许多重要问题的提出和解决，都与行星研究中所提出的问题有关。地球上大气光学研究的大部分，是由天文学者，尤其是从事行星学工作的天文学家所完成，这并不是偶然的。

诚然，行星的研究在很大程度上是基于它与地球上我们所熟悉的情况的类似。例如，我们很容易倾向于这种观念：火星的白冠是雪，而绿色的区域是植物，因为这正是地球上的情况。因此我们可以很有把握地说，行星学与地球物理之间有异常紧密的联系。这必然是如此的，因为地球本身就是一个行星。若不是由于研究方法的根本差异，地理学和地球物理学也一定可以看作属于一般行星学的一个分科。诚然，当前研究上的实际可能性和仔细程度

的差別是如此之大，以致大部分的地球科学与其它行星的科学没有任何接壤的地方。但同时也有这两门学科紧密地交错在一起的情况。

这个问题的头一个例子便是天体形状和内部结构的理论。这是研究一切行星所共同的问题。我们发现，在创立描述地球内部结构的假说时，我们处于地球表面这个特殊地位并没给我们带来什么好处。尤其是地球内部具有铁质的金属核心的这个假说，并非是基于对地球作了某些研究，而是仿照陨星的化学与矿物成分得到的。当然，某些现象的分析，如地震波在地球内部的传播，固体地壳的潮汐变形和地极的移动等，能提供一些判断地球内部结构的资料。纵然如此，描述地球内部结构的假说，并不比其它行星内部结构的同类假说更为可靠。

作为行星学和地球物理学问题紧密结合在一起的另一个例证，一方面是行星表面和大气的光度研究，另一方面便是地面上远处景物能见度的问题。从实质上讲，这两个问题实际是同一个问题的正反两面，因此很自然地，它们的解决是建立在应用同一个理论体系和类似的实验资料的基础上。天文学者从观测测定行星圆面各部分的亮度和颜色，又按它们的数据来求行星表面和大气的物理性质。反过来，在计算从飞机看地面景物的能见度时，便把地球表面和大气的性质看成为已知的，而计算的对象乃是透过大气所看到的地面背景与它上面物体的亮度和颜色。这样便可决定某个物体能否有借目视观测或照相方法发现的可能。

和物理行星学有紧密联系的第二个大问题，便是其它世界上有无无人居住的问题。关于其它星球上有无居民的模糊的推测，在古代著作中已能见到。但只是到哥白尼建立了地球和行星在宇宙间的一致性之后，这种概念才获得适当的天文的论证。这问题最初是在布鲁诺（Giordano Bruno）杰出的著作中得到明晰的叙述。在以后的四个世纪中，它成为非常尖锐热烈的争辩对象。

今天的行星学实际只包括了太阳系的行星。在这些行星中间，最少有两个可以看作是生命发展可能的场地，这便是火星和

金星。目前关于火星深暗地区颜色季候性的变化被认为是由于某种植物覆盖现象所引起的这种见解，在许多学者之间还有很大分歧。基霍夫(Г. А. Тихов)和他的学生们的许多文章和演讲，便是维护这种观点和肯定“天文生物学”的方向的。这是人们对于行星可供人居住问题感兴趣的例证。

当然，后来的研究表明，火星上有植物存在的判断是过于乐观了；但也不能认为，在我们太阳系里现在除了地球以外就没有一个可以居住人的行星。不过纵然是如此的话，也丝毫不会损及这样的一种概念，即认为有许多可以住人的世界。显然，象生命这样微妙而又复杂的现象，只能在很特殊而有利的条件下产生和发展起来。这种条件在宇宙间远不是可以经常遇到的。虽然这种条件难以满足，但在宇宙的无限空间里，还是应该有不少的行星具有这种条件；在它们的上面，生命可以发展到和有利条件相称的规模 and 水平。

摆在自然科学总体面前的第三个大问题便是地球的起源、发展和将来的命运。大家早已公认，这样的问题不可能仅从研究地球本身而得到解决（例如只从地理学和地球物理学所供给的资料）。只有通过对整个太阳系的研究，通过与其它行星相比较，才有可能尝试建立地球诞生以来的有科学根据的历史。

从罗蒙诺索夫(М. В. Ломоносов)、康德(Kant)、赫歇耳(W. Herschel)和拉普拉斯(Laplace)开始研究之后，科学界的思想坚持致力于宇宙论的创立，提出了多种行星和卫星形成的模型。在这个难题上，人们进行了大量而有效的工作。我们的著名科学家，如阿姆巴楚米扬(В. А. Амбарцумян)、费森科夫(В. Г. Фесенков)、施密特(О. Ю. Шмидт)等，在他们的著作里所提出的见解可作为这方面的例证。尤其是施密特所倡说的太阳系起源理论，成为我们国内活跃的宇宙研究和广泛交流见解的基础。

最后，行星学能预先给我们准备好一部分宇宙的图景，而这一部分宇宙是人类早晚不但在思想上而且在实际上能够掌握的。这也许是研究行星学的最重要的意义。历来幻想家所醉心的到其它

行星去旅行的问题,目下已走出幻想世界而转入精确知识的领域。曾经齐奥尔科夫斯基(К. Э. Циолковский)指出并加以科学论证了的反作用运动原理,即依靠反作用而产生位移的原理,是在真空的宇宙空间里从事飞行的唯一方法。现在这原理已经得到广泛的应用:在快速喷气式的飞机上,它代替了螺旋桨;它被使用来把导弹发射到远距离的目的地;它也成为把带有自动记录仪器的火箭送到500公里高处的大气层里去的工具,而在从前是达不到这种高度的。

1957年人造地球卫星发射成功,使我们可以相信,在不长的时间内,人们就有可能飞到月球上*,以后再到火星、金星以及其它行星上去。一旦人们到了那里,掌握了它们,便可从这些遥远的世界为人类取得实际的经济利益。考虑到现代技术进展的高速度,飞往月球的业绩可在本世纪内完成,甚至我们这代人就能亲眼看到。但是,不管什么时候能作到这一点,行星学所累积的知识便可很快得到极有价值的实际应用。现代的行星研究者还不能想象当第一个星际航行的火箭把第一个星际旅行者送到地球大气以外去时,他们将有多种多样的研究任务要进行。

行星的物理研究,从一方面看来比研究恒星容易;但从另一方面看来又比较困难。好处是行星离地球较近,因而在望远镜里可以看出行星是一个相当大的圆面;在这圆面上,可以分辨出各种的细节,从它们的位移可以很容易的跟踪行星的自转。各细节的一般性质,如固体表面上的斑点或条纹,飘浮在大气上面的云雾,以及它们随季节或其它因素所引起的变化,这些丰富的资料可供我们判断行星整体或其上个别区域的特性。许多问题,如天体形状的测定,绕轴自转的研究,圆面上亮度的分布,对于恒星很不易解决,而且必须通过繁复间接的途径来求得;对于行星则常可快速而简单地得到解决。

遗憾的是,这种便利并不是经常可以得到的。例如,金星绕轴的自转,对我们来说,至今还是一个谜;虽然这个行星是除了月亮

* 1969年“阿波罗”宇宙飞船登上月球——译者注

以外和我们最接近的天体。冥王星的大小、形状和表面上亮度的分布我们尚未知晓。对于大多数的卫星和小行星也是如此。所以，行星天文学比恒星天文学所具有的便利也是很有限的。这种便利只存在于某些个别的研究对象上。

在行星物理研究上所遇到的困难是具有普遍性的。研究太阳、恒星和星云物理性质的基本方法是光谱观测，这种科学分析的有效方法能够很可靠地得出遥远的天体的化学成分和物理状态；但对于较近的行星，还没有能充分使用这个方法。

问题在于：行星、卫星是与恒星、星云不同的，它们在寻常观测所用的光谱波段上没有自身的辐射，它们的光线只是来自于固体表面所反射或悬浮于大气中的颗粒所散射的太阳光。因此，所有行星的光谱主要也就是具有复杂的方和斐(J. Fraunhofer)谱线的太阳光谱。行星表面的反射对这些谱线并没有什么新的增加，至多只使连续光谱强度的分布稍有变化，并使反射光起偏振。固然行星和地球间的相对运动可以引起多普勒(C. Doppler)原理的谱线位移，但对于研究行星本身的运动，我们并不利用这种现象，因为由天文定位方法给出行星在天球上的位置更精确而且更方便。不过在行星绕轴自转的研究上，光谱方法的应用具有很大的价值。

光谱应用的另一个重要的方面，便是行星大气化学成分的研究。穿过行星大气层两次的光线，一次是从太阳到行星表面，另一次是从该表面到观测者，受到了选择性的吸收，这表现在光谱里便是吸收谱带的出现。对于一些行星，如木星、土星、天王星、海王星等，这些谱带很强，而且在上一世纪便已发现，但仅在不久前才能对它们作出恰当的解释。在火星和金星的光谱里直到最近才发现吸收谱带，因为它们处于光谱的红外区而且难于观测。太阳系里绝大多数的成员是没有大气的，因而它们所给出的光谱和太阳的相比较，无所增益。显然，光谱分析的方法对于这些行星是不能使用的。

研究行星的第二个困难，尤其是对于大行星，是在于它们数量的稀少。恒星天文学家拥有无限大量的对象，这样就有可能广泛

使用统计的方法,从大量天体中把特殊的划分出去,而很可靠的认定某些恒星是正常的或普通的。对于行星,情况完全不是如此。我们称为大行星的这些天体都是不一样的,各成为一个特殊的典型,在天上再也看不到和它类似的天体。这种行星世界的特殊性和单一性只是表面的现象,一方面是由于太阳系成员数目的稀少,另一方面是由于受了观测技术的限制,还不能观测研究银河系内其它的行星系统。在太阳系范围内,作为科学研究方法的统计学只能应用于数以千计的小行星。

上文所述的困难以及许多其它在行星物理研究道路上的障碍和复杂情况,使得行星物理发展的程度不但落后于天体力学,而且也赶不上恒星物理,所以我们应该对于这一部门的天文知识给以更大的关注。

§ 2. 行星学史概述

假如我们广义地了解行星学,把肉眼估计行星的亮度和颜色也包括在内,那么这门学问早在上古社会便已诞生了。但作为天文知识的一个独立部门,具有自己综合性的问题和独特的解法,这样的行星物理学到十六世纪之后才建立起来。那时哥白尼所发起的天文学中的大革命,给行星物理性质的研究创造了适宜的土壤。由于当时已认为,行星是类似地球的天体,于是很自然地产生了这样的问题:地球和行星不但在位置和运动方面相类似,而且也联系到物理性质领域方面的类似。由于和地球的类似,很自然会联想到行星上的山脉、海洋、大气以至于居民。这类的见解在布鲁诺的著作中早已明显地表现出来了。

作为当代伟大的唯物思想家布鲁诺,他领导了对神学和学院(经院哲学)派作坚强不屈的这一斗争。他不但传播和维护了在当时很新颖的哥白尼系统,而且比哥白尼更进了一步。他所发表的关于无限宇宙结构和发展的卓越见解在一定程度上与后来的科学结论相吻合。这类的见解包括有各行星自成世界,也就是说,这些天体从物理观点看来是和我们地球相类似的。在布鲁诺关于天文

问题的主要著作“无限的宇宙和世界”一书中,可以看到如下的记载:

“因为宇宙是无限的,因此其中必定有许多的太阳。围绕着这些太阳也很可能有地球在运行,而它们的质量可能比我们的地球略大或略小。可见,存在着无数的太阳,而无数的地球绕着各自的太阳,就好象我们的七个行星围着我们太阳运转一样。……在土星范围以外的那些恒星是无数的太阳或火焰,在它们的周围也有我们所看不见的地球在运转。……从此,我们可以断言,在那无数恒星当中必定有许多的月亮和许多象我们地球那样的世界。……这些星体存在着,运动着,生活着,发展着,它们彼此间互相作用,它们产生、供养和维持着自己的居民和动物。……在这些世界上居住着生物,他们耕种着星球的土地”。

为着这些和其它许多“离经叛道”的思想,这位伟大的革命家和思想家于1600年死于薪火之刑。但在他殉难十年之后,另一位伟大人物伽利略(Galileo Galilei)发明了望远镜。从此,行星学的问题便从纯理论和空想的领域中引出,带到了实际中去。

正如大家所知道的,望远镜的应用使得伽利略首先在太阳系内获得大量的发现。他看到了月亮上的山脉、平原和其它形象,金星的位相,火星、木星、土星的圆面,木星的四颗大卫星,土星光环等现象。在那时候,关于行星是一个固体的不透明不发光的星体、并具有粗糙散射表面的这种概念尚未建立起来,而伽利略就支持这个观点,时常与其它各种观点相争辩。关于这方面的通俗且有趣的资料,可在他的名著“两种主要世界系统的对话”中看到。

以后,行星学就和其它天文部门并肩发展。观测技术不断进步也给行星学以发展的可能。1655年,惠更斯(Huygens)辨别出伽利略在土星旁所看到难以理解的东西乃是围绕着这行星的一个扁平的光环。他也发现了土星最大的卫星“提坦”(Титан)。稍后,卡西尼(Dominica Cassini)察觉到光环内的缝隙(即以他的名字来命名),又发现了四个卫星。他也注意到木星、土星圆面的扁状,发现了木星和火星上的斑点。这些斑点的视运动证实了行星绕轴的

自转,从此也有了定出自转周期的可能。

类似的观测和发现一直继续到十八世纪。在这世纪的中叶,出现了一个对于行星物理学来讲非常重要的事件。这就是罗蒙诺索夫在 1761 年 5 月 26 日(新历为 6 月 6 日)观测金星凌日时所发现的金星大气。

这次金星凌日是被各国科学家广泛进行观测的首次现象,观测的主要目的是测定太阳的视差。那时所知道的这一视差值还很欠精确。罗蒙诺索夫热烈地响应在当时算是很巨大的这一国际科学事业。由于他的努力,俄国科学家组织了测定金星凌日准确时刻的观测队,分赴三个地点:彼得堡(在科学院的天文台),伊尔库茨克和色楞格斯克。到后两个城市去在当时说来是极度困难的远征。此外,俄国政府也大力协助和支持了以沙普·德·奥捷罗什为首的法国远征队,他们在托波尔斯克进行了工作。

罗蒙诺索夫本人在他自己的家里进行了观测,其目的是研究这现象的物理方面。当跟踪金星逐渐进入日面时,他看到,还留在天空背景上的金星圆面部分被很明亮的窄边所围绕,其亮度和光球不相上下。我们现在把这一现象称为罗蒙诺索夫现象。当金星离开日面时,也再度见到同样的现象。罗蒙诺索夫很正确地指出,他所看到的亮边其实是太阳的光线被金星周围的大气折射所产生的效果。他作图说明这个看法,图中将折射光的路线表示出来。从此罗蒙诺索夫得出结论:“金星被相当大量的大气包围着,正象围绕着地球的大气一样(但量并不多)。”关于这个现象的详情,读者可参阅 § 50。

罗蒙诺索夫关于金星凌日的论著于 1761 年 7 月间便已有俄文的单行本出版,不久还发行了这著作的德文版。

在十八世纪的后半叶,英国著名的观测者威廉·赫歇耳曾得到许多有价值的发现。大家知道,他发现了天王星和它的两个卫星以及土星的一些新卫星。他不倦地从事于观测行星的圆面,测量它们的扁度和自转周期等工作。他最先注意到火星极冠季节性的变化和金星峨眉弯尖的伸长。

这一时期另一位杰出的观测者便是约翰·舒洛特尔 (Johann Schröter), 他以三十多年的光阴在立连塔耳 (德国) 私人的天文台里从事于月亮和行星表面的研究。

十九世纪天体力学和天文学有了重要的进展。许多天文台建立了行星和卫星的测微观测, 开始量度行星圆面的直径, 而且为这类工作制成一些较大的望远镜。在这个时期的工作中, 我们注意到格尔曼·斯特鲁维 (Г. Струве) 在普尔科沃天文台所作的观测, 其中有许多方面直到今天仍然还是很有价值的。量日仪这件新仪器是德国天文家白塞耳 (Bessel) 发明的, 使用它能够增进行星大小和椭圆率测定的精确度。由于有了这些工作, 大行星的直径、形状、质量和密度等项数据的精确度都大为提高。

巨大望远镜的建成使行星地貌的研究得以很大的开展。勃烈基兴 (Ф. А. Бредихин) 曾在莫斯科大学天文台进行了这方面有价值的工作。意大利天文学者斯基亚巴雷里 (Schiaparelli) 的研究最享盛名, 尤其在火星观测上, 他于 1877 年发现了所谓运河的现象。后来将这项工作继续进行下去的, 在法国有安东尼亚迪 (Antoniadi), 在美国有罗威耳 (Percival Lowell)。罗威耳为了研究行星, 在佛勒格斯达夫 (Flagstaff) 山附近 (美国阿里佐纳州) 特别修建了一个天文台, 在这里进行了多年的火星和其它行星的观测工作。

在十九世纪的后半叶, 天体物理的迅速发展使得有可能应用新方法于行星的研究, 如照相、光谱、测热等技术。

有些关于测光的问题 (例如月亮圆面上亮度的分布), 在伽利略的著作中便已加以讨论, 但只是到十八世纪两位近代测光学的创立者——蓝伯特 (Lambert) 和布格尔 (Bouguer)——的名著出版之后, 这问题才有了科学的定义。在十九世纪, 天文测光的专门问题, 其中包括有太阳系天体的测光, 在俄国的泽拉斯基 (В. К. Церасский)、德国的策耳纳 (Zöllner)、美国的邦德 (Bond) 等人工作的推动下, 得到了蓬勃的发展。

彼得堡大学教授别特鲁歇夫斯基 (Ф. Ф. Петрушевский) 的著