

望远镜 : 一件开拓知识疆域的利器

钮卫星[†]

(上海交通大学科学史与科学哲学系 上海 200030)

摘要 文章探讨了望远镜作为一件科学仪器, 从其在 400 年前被发明以来, 在扩展人类的宇宙视野、开拓人类的知识疆域方面发挥了极其重要的作用. 文章首先论述了伽利略利用其亲手改进的望远镜作出了全新的天文发现, 对哥白尼学说给予了决定性的支持, 其次阐述了随着望远镜的不断改进, 人类获得越来越多的关于天空的新奇知识, 这些知识帮助和推动人类掌握最基本的自然规律, 最后论述了望远镜在帮助人类探索宇宙尺度之大小的过程中发挥的重要作用, 并进而让人类认识到其自身在宇宙中的真实位置.

关键词 望远镜, 科学仪器, 知识疆域, 开拓

The telescope : an efficient instrument for carving out new territories of knowledge

NIU Wei-Xing[†]

(Department of the History and Philosophy of Science, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract Since its invention 400 years ago, as a scientific instrument the telescope has played a very important role in enlarging our human perspective of the cosmos, and in carving out new territories of knowledge. We first recall the series of entirely new astronomical discoveries made by Galileo with a telescope improved by himself; his discoveries provided crucial evidence to support Copernicus's heliocentric theory. Secondly, it is shown that more and more extraordinary knowledge of the heavens has been acquired along with the telescope's technical developments. This knowledge has helped people grasp the most fundamental laws of nature. Finally, it is discussed how the telescope has played a major role in the process of human exploration of the scale of outer space, helping us to find our true place in the universe.

Keywords telescope, scientific instrument, territories of knowledge, exploration

一般而言, 现代科学产生于 16、17 世纪的近代科学革命. 之所以会发生这样一场近代科学革命, 原因是多方面的, 而各种科学仪器的使用在其中起到了必不可少的推动作用. 科学仪器的功能各不相同, 它们能使观察者的感官得到延伸, 让他们发觉本来发觉不到的现象; 还能对各种现象作更精密的测量, 得到更精确的规律. 科学革命时期发明和使用的科学仪器主要有望远镜、显微镜、温度计、气压计、抽气机和摆钟等, 而望远镜的发明和使用, 无疑对近代科学革命起到了最重要、最直接的推动作用. 即使在以后的岁月里, 望远镜继续作为扩大人类的宇宙视野、开拓人类知识疆域的一件利器, 发挥着无可替代的重要作用.

1 当望远镜遇到伽利略 : 哥白尼主义者的好消息

当 1609 年底伽利略 (Galileo Galilei, 1564—1642) 把他亲手制作的望远镜首次指向天空的时候, 就注定了这是一次革命性的事件. 虽然望远镜的最早发明者还留有争议, 但一般都认为是在 1608 年的荷兰被发明出来的. 最有可能的发明者是一位荷

2008-10-06 收到

[†] Email: wxniu@126.com

兰眼镜制造商汉斯·利佩希(Hans Lippershey, 1570—1619),但也有人提出了其他人选^[1]。这些荷兰人也确实都制造过望远镜,然而去争执他们谁在时间上领先了一步,没有太大意义。因为他们仅仅把望远镜当作一种令人好奇的玩具来制造。只有到了伽利略手里,望远镜才变成了一件科学仪器。

伽利略在 1609 年夏天听到了荷兰人的发明,他马上利用他精湛的光学知识和灵巧的动手能力,亲手制造出了能把远处物体“拉近”30 多倍的望远镜^[2]。虽然刚开始伽利略想到望远镜可以用于军事目的^[3],但是他马上发现了它的更重要用途——观测天空。

当用望远镜观看恒星时,伽利略看到了许多肉眼无法看到的恒星。他发现神秘的银河实际上是由无数恒星所组成的,在这一点上,伽利略证实了将近两千年前古希腊哲学家亚里斯多德(Aristotle, 384 BC—322 BC)的推测^[4]。然而伽利略还发现,尽管行星的视圆面可以按望远镜放大倍数而扩大,但是恒星在望远镜视场里只是变得更加清晰、明锐,但不会随着望远镜的放大倍数而变大。在 1543 年出版的《天体运行论》一书中,为了应对地动说无法解释观测不到恒星周年视差这一矛盾,哥白尼(Nicolaus Copernicus, 1473—1543)强调,地球到宇宙中心的距离相比于恒星天球的半径来说“是微不足道的”^[5],后来第谷(Tycho Brahe, 1546—1601)根据他自己的测量精度做过估计,为了解释测量恒星周年视差的失败,哥白尼主义者将不得不把恒星放置到比土星还要远 700 倍以外的地方,这样一个“畸形”的宇宙在当时确实引起了人们的疑虑,但伽利略的望远镜观测证明,恒星即使被拉近 30 倍,仍旧看不出其被放大的效果,说明恒星的真实距离确实无比遥远,从而支持了哥白尼关于恒星距离无比遥远的推测。

当伽利略在 1610 年 1 月 7 日第一次观测木星时,他发现木星位于 3 颗小星的中间,而这 3 颗小星令人惊奇地排成一条直线。木星那时正向西(逆行)运动,因此,伽利略希望在这之后的夜里,木星将运动到这些小星的西面。但事实上它却出现在东面。到了 1 月 10 日,他发现木星到了 2 颗小星的西面,而第 3 颗小星不见了。到 1 月 13 日,小星变成了 4 颗。到 1 月 15 日,伽利略终于意识到那些小星实际上是绕木星旋转的卫星,象被太阳带动的行星一样,它们是被木星带动的月亮^[6]。

木卫的发现再次给予哥白尼学说以有力的支

持。哥白尼在《天体运行论》第一卷给出的日心体系模型中其实有一个严重的不规则现象,即地球一方面是一颗普通的行星,另一方面它是所有行星当中唯一的一颗带有一个卫星而绕太阳旋转的行星。现在,望远镜揭示了还有另外的带着至少 4 个卫星的行星——木星。地球不再特殊,哥白尼提出的宇宙中不存在唯一的绕转中心的推测也得到证实。

月亮被亚里斯多德列入在天界之中,并且同属于完美的天体。然而当伽利略把望远镜指向月亮时,他发现月亮的表面是不规则的,和地球一样也有高低起伏的山峰。高耸的山峰在太阳光照射下投射出长长的阴影,伽利略根据阴影长度的变化估算了这些山峰的高度。伽利略还冒着损害视力的危险,把望远镜指向太阳(伽利略晚年双目失明,可能与此有关),他发现在传统宇宙理论中作为完美象征的太阳,其表面实际上也是斑斑点点、不洁净的。这些观测结果大大冲击了亚里斯多德的完美天界的思想。

伽利略的望远镜观测成果最重要的莫过于金星位相变化的发现。伽利略在望远镜中看到金星有着与月相一样的位相变化,有时呈现满月那样的圆面,有时则如一弯新月那样(如图 1(a)所示)。这个观测结果完全不能与托勒密学说中关于金星的本轮—均轮运动(如图 1(b)所示)理论相容。伽利略的这一观测事实实际上宣判了被纳入基督教神学体系的托勒密(Ptolemy, 约 85—约 165)地心学说的“死刑”。

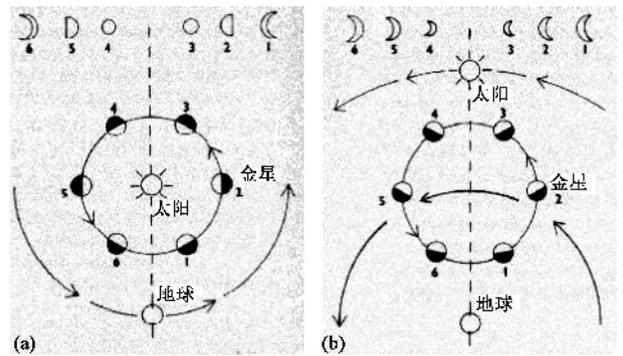


图 1 (a) 哥白尼日心说预言的金星运动和位相变化 (b) 托勒密地心说预言的金星运动和位相变化

在伽利略的这些望远镜观测成果的支持下,哥白尼日心学说的真实性前所未有地摆在了当时的保守学者们面前。罗马教廷终于作出了反应,宣布出版了 70 多年的哥白尼《天体运行论》是违背《圣经》的,在作出修正之前不得发行,伽利略不得再为哥白尼学说辩护。

实际上,在《天体运行论》一书中,无论从写作动机还是写作方法来讲,哥白尼都是一个传统主义者。但是把地球处理成是一颗行星,这毫无疑问是埋下了一颗革命的“种子”。在伽利略的辛勤“浇灌”下,这颗“种子”终于发芽了。于是,近代科学革命率先从天文学这个前哨阵地上取得了突破,宗教法庭的裁决也无法遏制革命的势头。在这场对后来欧洲社会带来深远影响的革命中,伽利略用望远镜做出的一系列天文发现,无疑是其中的关键性战役。

2 更多的星光:更多的惊奇

由荷兰眼镜商发明、经由伽利略改进的这种望远镜,后来就被叫做伽利略望远镜。它由一块凸透镜作为物镜、一块凹透镜作为目镜组成。开普勒(Johannes Kepler, 1571—1630)很快就在他的《屈光学》一书中提出了一种新的望远镜设计,物镜和目镜都用凸透镜。这种望远镜视场大,成倒像,用于天文观测更为方便。尽管这种望远镜后来被叫做“开普勒望远镜”,但开普勒本人看来并没有亲手制造过这样一架望远镜。

当时的这些折射望远镜都还存在着像差¹⁾和色差²⁾的缺陷,17世纪的研磨和抛光技术无法消除透镜的这两种差。但是为了抑制球面像差和色差,当时的天文学家还是想尽了各种办法,譬如采用小曲率、长焦距的望远镜等,有的望远镜长达数十米乃至上百米。惠更斯(Christiaan Huygens, 1629—1695)干脆设计了一架目镜和物镜之间只有一根绳子连接的望远镜。所有这一切努力都是为了收集到更多的星光,形成更清晰的像,而天文学家们得到的回报则是更多的惊奇。

实际上伽利略用望远镜仔细观测过的天体还有土星。他看到土星不象一个单独的发光体,它的形状犹如三联星,紧靠着大星的两侧附有两颗小星与中心联成一条直线。伽利略连续观测了3年,发现土星的这种形状没有什么变化,于是断言土星有两颗卫星,不过这两颗卫星丝毫不动地固定在土星两端。但是接着观测下去却发现这两颗卫星竟然完全消失了,过一段时间后又出现,而且看到了更多离奇古怪的土星形状。对此伽利略百思不得其解。

问题的答案是荷兰物理学家惠更斯给出的。惠更斯亲自磨制了更大的透镜,制成倍数更高的望远镜观测土星后,确认伽利略所描述的土星附属物决

不会是两颗卫星³⁾。1656年3月5日,惠更斯公布了他对土星形状之谜的解答。答案是一句话,但是他故意把这句话的字母打乱了:aaaaaaaccccccdeeeeeeeghiiii-iiiiiiiiimmmnnnnnnnnnooooooppqrrstttttuuuuu,据说惠更斯这么做的目的是为了鼓励他人继续独立探索土星形状之谜。后来在一位知名人物的请求下,他把这些字母复原成了一句拉丁文:Annu lo cingitur, tenui, plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato,译成中文为:有环围绕,环薄而平,到处不相接触,与黄道斜交^[7]。由于土星光环与黄道斜交,当土星处在黄道上的不同位置时,从地球望去,土星光环的视形状就会发生变化。

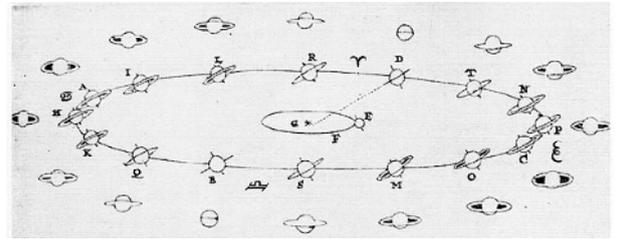


图2 惠更斯手绘的土星光环视形状变化图

1699年,著名天文学家卡西尼(J. D. Cassini, 1625—1712)受聘为巴黎天文台台长,他为该天文台定制了一台很好的望远镜。1671年,卡西尼用这台望远镜发现了土星的第二颗卫星,此后数年间又发现了另外3颗土星卫星。1675年,卡西尼观测到惠更斯的土星光环实际上是双重的,内外两重环之间被一条黑暗的缝隙分隔,此缝现在被命名为卡西尼缝。卡西尼猜测土星光环可能由无数小颗粒组成,但当时及以后200年里的大部分天文学家们都认为土星光环是固态的,卡西尼缝只是固态环上的一个暗黑的标记。直到1856年,英国著名物理学家麦克斯韦(James C. Maxwell, 1831—1879)用力学理论证明,土星光环如果是固体的或液体的,那么它在转动时万有引力将会把它撕裂,它如果是由无数小的固定颗粒构成,在力学上就是稳定的。后来通过更高倍率的望远镜观测和行星际探测器的近距离观测,获得了更多的土星光环的细节,当然也证实了卡西尼

- 1) 透镜的球形曲率使得平行光不能被聚焦,因此不能形成清晰的像,这就是像差。
- 2) 即使透镜能使单色光聚焦,但白光为合成光,不同颜色的光有不同的折射率(将由半个多世纪后的牛顿指出这一点),因此还是无法聚焦于一点,形成清晰的像,这就是色差。
- 3) 不过惠更斯真的发现了一颗土星卫星,后被命名为提坦(Titan),这是迄今所知所有土星卫星中最大的一颗。

的猜测和麦克斯韦的理论预言是正确的。

这里麦克斯韦的引力理论毫无疑问来自牛顿 (Isaac Newton, 1642—1727), 而牛顿是在哈雷 (E. Halley, 1656—1742) 的激励下撰写《自然哲学的数学原理》一书时, 才真正形成“万有”引力的概念的, 其中重要的触动因素就是伽利略发现的木星系统和惠更斯、卡西尼发现的土星系统。牛顿先证明了跟距离平方成反比的引力与开普勒行星运动三定律之间的充要关系, 然后证明了开普勒第三定律也适用于木星和土星的卫星。这些卫星显然也受到了它们所围绕的行星的平方反比引力的作用。如果土星吸引土卫六, 它为什么不吸引太阳呢? 天体的确相互吸引。这一认识使牛顿走上了通向万有引力之路。

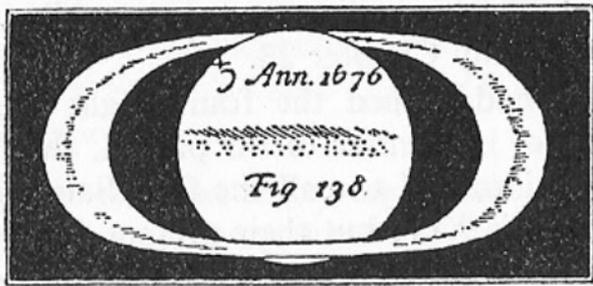


图3 卡西尼绘制的土星光环缝隙示意图

而至于开普勒三定律, 固然是牛顿推导万有引力定律的重要基础, 而其重要性却已经在它们被提出之后不久由一次天文观测得到了强调。实际上, 由于开普勒物理思想中包含的某种从中世纪到近代的过渡色彩, 以及行星运动定律推导过程中存在的各种随意和不严密的步骤, 所以开普勒三定律刚被发表之时, 并没有引起重视, 譬如伽利略尽管与开普勒同样是支持哥白尼学说的志同道合者, 但伽利略的书中并没有提到开普勒的行星运动定律。

1631年11月7日, 距开普勒去世已有一年, 这一天一早, 法国天文学家皮埃尔·伽桑迪 (Pierre Gassendi, 1592—1655) 就把架设好的望远镜对准了太阳, 然后把太阳的像投射到一张白纸上。尽管经常有云挡住太阳, 但是他还是很清楚地看到一个小黑点出现在太阳圆面上, 并随着时间的流逝移动着位置^[8]。全欧洲的天文学家都在等待着这一天的太阳观测, 因为这是根据开普勒三定律于1627年编算完成的《鲁道夫星表》中预言的水星凌日发生的日子⁴⁾。观测证明开普勒星表的预言很成功, 误差仅仅只有太阳半径的 $\frac{1}{3}$, 而被该表取代的哥白尼星表对此次水星凌日预言的误差是开普勒星表误差的30

倍^[9]。这样一来, 尽管开普勒行星定律的推导过程令人很不放心, 但是根据它们编算的星表却是非常精确的, 因此这些定律本身必须引起人们的重视。

到此为止, 无论是伽利略和伽桑迪, 还是惠更斯和卡西尼, 他们使用的望远镜虽然都还存在着前面提到的两种缺陷, 但已经带来了足够多的惊奇。为了消除这两种或者哪怕一种缺陷, 人们做了各种努力。牛顿在发现了白光的合成性质之后, 以为折射望远镜的色差无法消除, 因此他在1668年提出了一种反射望远镜设计并亲手制造了一架⁵⁾。1671年他又造了一架送给皇家学会 (图4)。

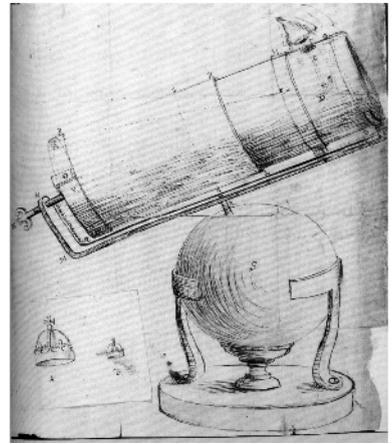


图4 皇家学会秘书给巴黎的惠更斯画的反射望远镜草图

由于反射望远镜制造 (如反射镜抛光等) 方面的困难, 又加上1733年切斯特·霍尔 (Chester Moor Hall, 1703—1771) 成功地制造出了消色差透镜, 所以折射望远镜仍然具有一定的优势。但是折射望远镜的这种优势终于在威廉·赫歇尔 (William Herschel, 1738—1822) 手中被超越了。

赫歇尔于1738年出生在德国汉诺威的一个军乐师的家庭, 由于厌倦这种军旅生涯, 他于1757年偷渡到英国。在以音乐谋生之余, 自学了拉丁语、意大利语, 探究音乐理论并接触了数学、光学和牛顿的书。赫歇尔很想亲眼看看天体的样子, 但买不起好的望远镜, 于是自己动手研磨透镜, 制造望远镜。1772年, 他把妹妹卡罗琳·赫歇尔 (Caroline Herschel, 1750—1848) 接到身边。卡罗琳像他哥哥一样迷恋透镜的磨制。兄妹俩合作制造出了当时世界上最好的望远镜, 使反射望远镜在性能上首次超过了折射望

4) 伽桑迪是第一个观测到水星凌日的人。

5) 苏格兰数学家格里高利 (James Gregory) 在1663年、法国人卡塞格林 (Cassegrain) 于1672年也都曾提出过一种类似的反射望远镜设计, 但牛顿的设计成为后来大型望远镜的主流。

远镜。

有了性能卓越的望远镜,赫歇尔心目中的研究目标是恒星系统,但他在 1781 年“顺便”发现了一颗新的行星天王星,这在当时引起极大轰动。天文学家曾经以为在牛顿之后天空不会再出现让人惊奇的东西了,因为行星的运行、彗星的回归、潮水的涨落,一切都在“算计”之中了。天王星的发现无疑是一股吹向天文学和物理学的新鲜空气,它告诉人们天空中总有让人惊奇的东西在等着我们去发现。

以后的历史表明,随着望远镜性能越来越强,人们感受到越来越多来自天空的惊奇。随着照相术的发明和与望远镜相结合使用,天文学家能够收集到来自越来越遥远的微弱星光。分光术的发明使得恒星的化学组成不再是像哲学家孔德(Auguste Comte, 1798—1857)所说的“决不能得到的知识”。测光术的使用则揭示了恒星隐藏的更多秘密,尤其通过对造父变星光变周期的测定并以此作为“量天尺”,把人类的宇宙视野扩大到了河外星系的尺度。至于哈勃太空望远镜带来的绚烂天体图片,仅从美学的角度,就足够让人们惊叹宇宙的神奇了。

3 探索宇宙的边缘:确定人类自身的位置

人类思索日月远近和宇宙大小的历史已经很长,但在实测证据基础上探索宇宙的边缘以及确定人类自身在宇宙中的位置,这要等到高精度的望远镜发明之后。

在前望远镜时代,人们已经在思考人类生存于其中的宇宙的尺度问题了。希腊化时期的阿里斯塔克(Aristarchus, 约 310 BC—约 230 BC)在《论日月的大小和距离》一文中,从 6 个假设前提出发,用严格的几何法证明了(1)太阳和地球间的距离大于地球到月球距离的 18 倍,但小于其 20 倍(2)太阳与月球的直径比大于 18,但小于 20(3)太阳与地球的直径之比大于 19 比 3,但小于 43 比 6^[10]。虽然阿里斯塔克的前提条件中有关数据有较大偏差,但得出的结论已经大大超越我们的感官,是向真理迈出的一大步。

托勒密根据他的地心体系,假定天空依次被诸行星占满:每颗行星占据从近地距离到远地距离之间的宽度带,这些宽度带相互之间既不重叠,也没有缝隙。托勒密从月亮的远地距离 64 个地球半径出

发,推算出整个宇宙的半径是地球半径的 19865 倍^[11],或者说 120700000 公里。有人可能会认为这一宇宙图像错得很离谱,托勒密的宇宙尺度甚至还小于今天我们知道的日地距离。然而,从历史的角度看,也可以说正是托勒密首次把宇宙尺度变得如此巨大。

在哥白尼日心体系和第谷修正了的地心系中的宇宙继续跟托勒密的宇宙一样是有限的。伽利略和开普勒在这一点上没有多少推进。直到笛卡尔(René Descartes, 1596—1650)在《方法论》一书(1637 年)中才打破了禁锢在哥白尼、伽利略和开普勒等人脑袋里的有限宇宙概念,提出了无限宇宙思想。笛卡尔认为宇宙是一个充满物质的空间,这些充满空间的物质的运动形成无数的旋涡。太阳系就处于这样一个旋涡中,这个旋涡如此之巨大,以至于整个土星轨道相对于整个旋涡来说只不过是一个点。宇宙由无数的这种旋涡组成,每颗恒星就是一个旋涡的中心。笛卡尔试图用旋涡学说解释行星的轨道运动和彗星的形成等,这些具体的理论最后都被牛顿的万有引力理论取代了,但是无限宇宙的概念已经在人们头脑中扎下了根。

每一颗恒星都是一个太阳,那么这些恒星离我们有多遥远呢?惠更斯也主张恒星是遥远的太阳,并假设(1)恒星与太阳一样在真实亮度上没有差别(2)光线在空间没有衰减,光线只是按照距离的平方减弱。惠更斯通过比较天狼星与太阳的光度,得出天狼星距离地球至少达 27664 倍日地距离。英国的格里高利(James Gregory, 1638—1675)利用行星反射的太阳光来估算天狼星与太阳的光度比,得到天狼星距离为 83190 倍日地距离^[12]。牛顿用同样的方法,采用修正后的太阳系尺度数值,得到天狼星在 1000000 倍日地距离之外⁶⁾。

如果上面的这些恒星距离估算让人觉得有点不可靠的话,那么 18 世纪上半叶,英国人布拉德雷(J. Bradley, 1693—1762)用精密仪器进行测量而作出的一次“偶然”发现,让人们对于恒星距离的远近有了一次更为真切的感受。

当时开普勒定律和牛顿引力理论已经成功地运用于日心体系了,但是地球绕日运动的实测证据——恒星周年视差仍旧没有被观测到。布拉德雷立志寻找恒星的周年视差,他得知居住在伦敦附近的

6) 由于天狼星真实亮度是太阳的 16 倍,所以牛顿的估算也有偏差,天狼星距离地球的真实距离是 550000 倍日地距离。

业余观测者莫利纽克斯(Samuel Molyneux, 1689—1728 年)决定测量天龙座 γ 星的周年视差,他前去帮忙。他们从著名的仪器制造商格雷厄姆(George Graham, 1674—1751)那里定做了一架专门用来测量头顶正上方恒星位置的望远镜。

1725 年这架“天顶测量仪”被安装在莫利纽克斯家中房子的烟囱上。莫利纽克斯和布拉德雷仅仅测量天龙座 γ 星沿南北方向的一维坐标。简单的计算表明,周年视差会导致这颗恒星在 12 月 18 日达到其最南位置。但是布拉德雷于 12 月 21 日发现它走到比几天前更靠南的位置,在随后的几周里继续向南,直到次年 3 月,它走到了比其 12 月时的位置更靠南约 20"时才停止。此后这颗恒星开始转向北移动,到 6 月回到它在头年 12 月时的位置,9 月达到其最北端^[13]。

莫利纽克斯和布拉德雷对上述现象做了各种可能的解释。甚至考虑到是否地球的大气层没有形成真正的球形环层,以至于当恒星即使在天顶时也会受到折射的影响?布拉德雷认为,应该对更多的恒星进行测量。为此,他委托格雷厄姆制作了另一架视场更大的天顶仪。

更多观测证明,恒星的这种运动模式确切无误,但布拉德雷却迟迟找不到对其合理的物理解释。据一个可信的传说,直到有一天,当他在泰晤士河上泛舟游玩时,突然找到了解决问题的答案。他注意到当船转向时,船上的风向标也随之转向,这当然不是由于风向发生了变化,而是因为风向标的指向不仅取决于风的速度,也取决于船的速度。1672 年,丹麦人罗默(O. Römer, 1644—1710)在巴黎天文台通过对木星卫星系统的观测,证明光速是有限的。所以星光的方向不仅取决于该恒星所发出的光的速度,也取决于地球的运动速度。

布拉德雷一直在寻找的恒星周年视差是地球轨道的几何投影,而他发现的这种恒星周年差(后被命名为光行差)是由地球本身的速度所造成的,沿地球轨道的切线方向。半径与切线相互垂直,因此光行差与周年视差之间有 3 个月的位相差。

尽管光行差的发现是以全然未曾预料到的形式出现的,但它为地球环绕太阳的运动提供了确切的证据。从光行差可以推得光速是大自然的一个常数,这是爱因斯坦狭义相对论的主要实验基础之一。布拉德雷在探寻周年视差上的失败则表明,这种视差太小了,所以即使用他的那种高精度的仪器也探测不到。最近恒星的周年视差也一定小于 1",因此恒

星距离地球至少为日地距离的 400000 倍。这一估算表明,测量恒星周年视差是对极端精密技术的巨大挑战。事实上,要等到新一代仪器制造家出世、天文仪器的精度得到很大改进之后的 19 世纪早期,天文学家才又开始来挑战这个难题。

但这个难题总象是一个未了的夙愿,常常萦绕在天文学家们的心头。只要有哪怕一丁点的希望,人们都会努力去寻找恒星周年视差。上文提到赫歇耳发现了天王星,其实这是赫歇耳研究恒星问题的副产品。赫歇耳心目中的大问题是:恒星的周年视差和恒星的空间结构。

赫歇耳企图用他性能优良的望远镜测出恒星周年视差。他设想:如果在某一方向上存在着靠得很近而实际上离我们的距离相差很悬殊的两颗星(光学双星),那么由于地球的周年运动,近星会相对于远星有周期性的位移,由此可以定出近星的视差。因此,赫歇耳尽量搜索双星,1782 年和 1784 年,他两次发表双星和聚星表,其中 511 对双星是他的新发现^[14]。

问题是,双星数目如此之多,以至于远远超出了两颗恒星由于透视效应偶然接近的概率。这说明,大部分双星必定有物理上的联系——物理双星。到 1802—1804 年间,赫歇耳发现好几对双星存在一个子星绕另一个子星的轨道运动。这表明它们被某种引力束缚在一起,但这种力是否就是牛顿的引力呢?1827 年,巴黎的天文学家菲利克斯·萨瓦里(Félix Savary, 1797—1841)证实大熊座 ξ 的双星在围绕其引力中心的椭圆轨道上运动^[15],与牛顿理论所要求的一样,从而证明了万有引力定律同样适用于远离太阳系的恒星系统。赫歇耳尽管没有能够测量出恒星周年视差⁷⁾,却为万有引力定律的普适性提供了证据。

赫歇耳相信存在更大的恒星空间结构。他用自制的 46cm 口径、6m 焦距的反射望远镜,选定他所在地理纬度所见的天空中 683 个取样天区,通过 1083 次观测,数了 117600 颗恒星,确定了各天区亮星与暗星的比例。在一定的工作假设基础上,赫歇耳

7) 德国天文学家贝塞尔(F. W. Bessel, 1784—1846)于 1838 年公布了天鹅 61 的周年视差大约为 1/3 角秒,了却了天文家 300 年来的宿愿。贝塞尔拥有一架德国著名光学仪器制造者夫琅和费(J. Fraunhofer, 1787—1826)制造的 16cm 孔径“太阳仪”,这是一架测量小角度的理想仪器。威廉·赫歇耳的儿子约翰·赫歇耳以皇家天文学会的身份对此表示祝贺,说他们终于活着看到了探测恒星宇宙的测深索终于测到了它的底部。

分析了他的观测资料. 赫歇耳的工作假设是 (1) 宇宙空间是完全透明的; 他的望远镜能看到银河系的最外沿 (2) 恒星的空间分布是均匀的, 某一天区的恒星密集就表明这个方向上恒星延伸得越远 (3) 所有恒星的亮度是一样的, 恒星视亮度的不同只是由于距离远近造成. 赫歇耳关于银河系的结论是: (1) 存在更大的天体系统银河系 (2) 银河系直径大约是其厚度的 5 倍 (3) 以一等星的平均距离为单位, 银河系的直径约 950 单位, 厚约 150 单位 (4) 太阳位于银河系的中心.

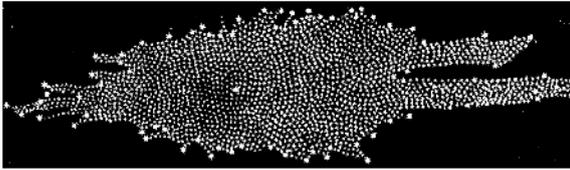


图 5 赫歇耳获得的第一幅银河系结构图

尽管赫歇耳拥有当时最好的望远镜, 但其功能仍不足以看到银河系的最外沿. 加上空间也不是完全透明的, 所有的恒星也不是一样亮的. 因此赫歇耳的工作假设都存在一定的问题, 所以他关于银河系的结论也有一定偏差. 但是, 作为第一个在恒星计数基础上探讨银河系结构的天文学家, 赫歇耳开创的工作方法至今仍有意义. 他的工作还激励了人们去认真探索银河系乃至河外星系这样的大恒星系统的存在. 至于得出太阳居于银河系中心的错误结果, 一定程度是受到了人类中心论的影响, 客观上也受限于当时的观测手段和理论水平. 确定人类在宇宙中的真实位置, 要靠更精密的观测仪器.

20 世纪早期, 美国连续建成当时世界上最大的望远镜, 为解决许多宇宙学问题提供了坚实的观测基础. 首先是沙普利 (Harlow Shapley, 1885—1972) 改变了从威廉·赫歇耳以来人们一直认为太阳在银河系中心的观念^[16], 为建立正确的银河系图像跨出了重要的一步.

沙普利在 1915 年利用 11 个造父变星的自行和视向速度资料求出了它们的距离, 并用统计方法定出了勒维特 (H. S. Leavitt, 1868—1921)^[17] 提出的周光关系⁸⁾ 的零点⁹⁾, 确立了利用“造父视差”测量天体距离的方法. 沙普利假定单颗的造父变星与小麦哲伦星云中的以及球状星团中的造父变星在物理上是类似的, 然后寻找球状星团中的造父变星.

沙普利利用威尔逊山天文台 1.5m 反射望远镜研究当时已知的 100 个左右的球状星团. 1917 年,

沙普利得到最远的球状星团的距离大约为 200 000 光年, 这是所公认的整个银河系直径的好几倍. 沙普利测得了这些球状星团的造父视差, 并对它们的空间分布进行统计, 发现: 其中有 $\frac{1}{3}$ 数目的球状星团位于占天空面积只有 2% 的人马座内, 90% 的球状星团位于以人马座为中心的半个天球上. 沙普利猜测, 球状星团在银河系内是均匀分布的, 由于太阳不在银河系中心, 造成了这种视觉上的不对称. 沙普利从球状星团的距离统计估算银河系中心在人马座方向, 太阳离它约 5 万光年, 银河直径为 30 万光年¹⁰⁾.

在沙普利看来, 银河系就是宇宙. 但是也有天文学家同意赫歇耳的猜测, 漩涡星云是像银河系那样的星系 (当时称之为“岛宇宙”). 1920 年 4 月 26 日, 威尔逊山天文台台长海耳 (G. E. Hale, 1868—1938) 发起了一次著名的关于“宇宙的尺度”辩论会, 由沙普利与柯蒂斯 (H. D. Curtis, 1872—1942) 分别代表对立双方, 论题就是银河系的大小、结构和漩涡星云的真相. 虽然这场辩论胜负未分, 但是不久之后, 河外星系的真相便由哈勃 (Edwin P. Hubble, 1889—1953) 揭示给了世人.

1923 年, 哈勃在威尔逊天文台用当时最大的 100 英寸反射望远镜 (胡克望远镜) 通过照相观测将仙女座大星云的外围分解成单个恒星, 从中证认出第一颗造父变星, 确认了这颗变星的光变曲线的特征形状和 31 天多的光变周期. 造父变星的光变周期越长, 它的光度就越大, 而这颗星最亮时看起来只有 18 等. 它是这样亮, 而看起来又是这样暗, 它的距离必定非常遥远. 计算表明, 仙女星云的距离有一百万光年. 即使按照沙普利对银河系大小的估计, 这个星云也远远位于银河系之外. 1925 年 1 月 1 日, 在美国天文学会召开的一次会议上, 哈勃的重要发现得到宣布¹¹⁾. 哈勃与沙普利使用了同样的“尺子”. 所

8) 1908 年, 勒维特 (H. S. Leavitt, 1862—1921) 把小麦哲伦云中周期长于 1.2 天的变星按照亮度排列起来, 发现它们的周期也按照数值大小排列, 周期越长的恒星也越亮. 1912 年她发表了小麦哲伦云内 25 个周期从 2 天到 120 天、视星等从 12.5 等到 15.5 等的变星资料, 正式提出这些变星的视星等与光变周期之间存在某种确定的关系, 即周光关系.

9) 赫茨普龙 (Ejnar Hertzsprung, 1873—1967) 看到勒维特的周光关系之后指出, 小麦哲伦星云中的变星都是造父变星. 这样, 只需要测出银河系内一颗造父变星的距离并测定它的视星等和光变周期, 就能把勒维特发表的周光关系图中的纵坐标改为绝对星等. 这就是所谓的周光关系零点的测定.

10) 由于沙普利忽略了星际消光, 所以他的银河系偏大.

以, 尽管沙普利持有大银河系概念, 但也立即承认了哈勃的发现所预示的结论, 即存在着河外星系^[18]。

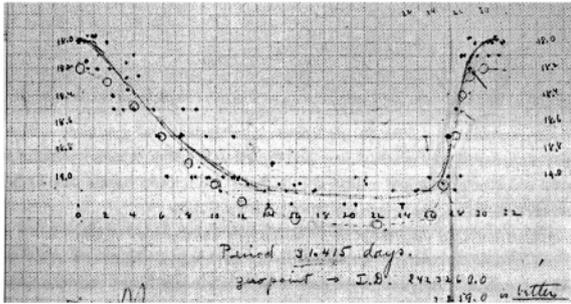


图6 哈勃手绘的仙女座星系造父变星光变曲线

然而, 一个新的矛盾随之而来. 根据沙普利从球状星团的距离统计估算银河系直径大约有 300 000 光年, 根据哈勃的仙女星系距离推出它的直径只有银河系直径的十分之一, 而体积仅有千分之一. 这个矛盾由于 1930 年特伦普勒(Robert J. Trumpler, 1886—1956)发现的星际消光而减弱了. 这种消光削弱远处银道面上天体的光线, 让沙普利认为银河系造父变星比它们的真实距离更远. 因此银河系的直径减小到了 100 000 光年. 同时, 增加了敏感度的照相底片显示仙女星系的直径比以前认为的伸展得更远. 即使这样, 银河系仍旧是一个超级系统, 而相比之下仙女星系很小.

天文学发展到 20 世纪, 已经让人们彻底抛弃了人类在宇宙中处于一个特殊的优势地位的想法, 以至于许多天文学家本能地对任何使我们在宇宙中处于优势地位的理论感到不舒服. 是德裔天文学家巴德(Walter Baade, 1893—1960)最终消除了这种不舒服.

1943 秋天, 巴德用威尔逊山 100 英寸望远镜拍摄了仙女星系的中央核球部分^[19], 每张底片曝光约 4 个小时, 照片上显现出成千上万颗恒星. 进一步证实了旋涡星云确实是与银河系一样的恒星系统. 当时天文学家认识到有一类变星叫天琴 RR 型变星, 这类变星在球状星团中尤其多, 所以常被叫做“星团变星”. 周期为半天的天琴 RR 变星比周期为 10 天的造父变星要暗大约两个星等. 在用 100 英寸反射镜拍摄的仙女星系照片中, 10 天周期的造父变星视星等大约为 20 等, 那个距离上的天琴 RR 型变星亮度为 22 等左右, 这超出了 100 英寸反射镜的分辨率, 但在正建造于帕洛玛山的 200 英寸反射镜能力所及之内.

1948 年, 帕洛玛山的 200 英寸反射望远镜一投

入使用, 巴德就开始用它拍摄仙女星系. 但是原本应该出现在底片上的“星团变星”却怎么也找不见. 所以根据造父变星求得的仙女星系距离是偏小的. 巴德通过提出星族的概念, 把恒星分成星族 I 和星族 II, 指出沙普利用来校正周光关系零点的近距离造父变星位于银河系的旋臂中, 属于星族 I, 这些恒星现在被证明是比以前认为的要更亮, 所以也更远. 哈勃在仙女星系旋臂中搜寻到的造父变星也属于星族 I, 它们同样要被移到更远的位置上. 但是沙普利用来确定球状星团距离也即银河系直径的造父变星属于星族 II, 它们的亮度被准确估测了. 结果就是银河系的直径维持原状, 而仙女星系的距离要加倍, 所以它的直径也要加倍^[20]. 这样我们的银河系失去了沙普利曾经赋予她的优势, 而被给予了如今的地位, 某种程度上她是仙女星系的一个小妹妹.

综上所述, 人类在探索宇宙的尺度, 确定人类自身在宇宙中位置的过程中, 无论是布拉德雷和赫歇耳, 还是沙普利、哈勃和巴德, 都离不开当时最先进望远镜的参与. 上个世纪中叶往后, 又有更精良的望远镜被建造出来并投入使用, 包括各个波段的射电望远镜、空间望远镜等, 人类对宇宙的了解在细节和精度上达到了前所未有的程度. 同时人们也认识到了, 宇宙中还有更多的未知之谜等待我们去破解. 而建造更精密的望远镜, 应该还是有效的破解之法. 望远镜这件开拓人类知识疆域的利器, 在它被发明 400 周年之后的今天, 应该还能继续发挥它的重要作用.

参考文献

- [1] [英] 亚·沃尔夫著, 周昌忠等译. 十六、十七世纪科学、技术和哲学史(上册). 北京: 商务印书馆, 1997. 90. [Abraham Wolf. A History of Science, Technology, and Philosophy in the 16th & 17th Centuries. translated by Zhou C Z et al. Beijing: The Commercial Press, 1997. 90(in Chinese)]
 - [2] [意] 伽利略. 望远镜天文学的创立. 节选自《恒星使者》(The Sidereal Messenger), 收录于宣焕灿编《天文学名著选译》. 北京: 知识出版社, 1989. 103 [Galileo Galilei. The foundation of Telescope Astronomy. extracted from The Sidereal Messenger, included in Selected Translation of Astronomical Masterpieces, edited by Xuan H C. Beijing: The Zhishi Press, 1989. 103(in Chinese)]
 - [3] [美] 达娃·索贝尔著, 谢延光译. 伽利略的女儿——科学、信仰和爱的历史回忆. 上海: 上海译文出版社, 2002. 34 [Dava Sobel. Galileo's Daughter: A Historical Memoir of Science, ...]
- 11) 由于哈勃的结果与范马宁(Adriaan van Maanen, 1884—1946)所谓的旋涡星系旋转的结果不相容, 所以哈勃对公开发表他的结果很犹豫. 最后他同意在他缺席 1925 年元旦的美国天文学会会议的情况下宣读一篇概述他的发现的文章.

Faith , and Love. translated by Xie Y G. Shanghai :Shanghai Yi-wen Press ,2002. 34(in Chinese)]

[4] Michael Hoskin (ed.), Cambridge Illustrated History : Astronomy. Cambridge :Cambridge University Press ,1997. 125

[5] [波兰]哥白尼著 ,叶生辉译 ,天体运行论. 北京 :北京大学出版社 ,2006. 9[Copernicus , On the Revolutions , translated by Ye S H. Beijing : Peking University Press ,2006. 9(in Chinese)]

[6] [意]伽利略. 望远镜天文学的创立. 节选自《恒星使者》(The Sidereal Messenger) ,收录于宣焕灿编《天文学名著选译》. 北京 :知识出版社 ,1989. 109—112[Galileo Galilei , The foundation of Telescope Astronomy , extracted from The Sidereal Messenger , included in Selected Translation of Astronomical Masterpieces , edited by Xuan H C. Beijing : The Zhishi Press ,1989. 109—112(in Chinese)]

[7] [荷]惠更斯. 土星环. 收录于宣焕灿编《天文学名著选译》. 北京 :知识出版社 ,1989. 161—167[C. Huygens , Saturn 's Rings , included in Selected Translation of Astronomical Masterpieces , edited by Xuan H C. Beijing : The Zhishi Press ,1989. 161—167(in Chinese)]

[8] Richard Panek. Seeing and Believing :The Story of telescope , or How We Found Our Place in the Universe , Fourth Estate , London ,2000 ,65

[9] Michael Hoskin (ed.), Cambridge Illustrated History : Astronomy. Cambridge :Cambridge University Press ,1997. 120

[10] 阿里斯塔克. 论日月的大小和距离. 收录于宣焕灿编《天文学名著选译》. 北京 :知识出版社 ,1989. 2—32[Aristarchus , On the Sizes and Distances of the Sun and Moon , included in Selected Translation of Astronomical Masterpieces , edited by Xuan H C. Beijing :The Zhishi Press ,1989. 2 - 32(in Chinese)]

[11] Michael Hoskin (ed.). Cambridge Illustrated History : Astronomy. Cambridge :Cambridge University Press ,1997. 46

[12] Michael Hoskin (ed.). Cambridge Illustrated History : Astronomy. Cambridge :Cambridge University Press ,1997 ,211

[13] [英]布拉德雷. 光行差的发现. 收录于宣焕灿编《天文学名著选译》. 北京 :知识出版社 ,1989. 131—137[J. Bradley , Discovery of Stellar Aberration , included in Selected Translation of Astronomical Masterpieces , edited by Xuan H C. Beijing : The Zhishi Press ,1989. 131—137(in Chinese)]

[14] [法]伏古勒尔著 ,李琦译. 天文学简史. 桂林 :广西师范大学出版社 ,2002. 69[Gérard de Vaucouleurs , An Outline of the History of Astronomy , translated by Li H. Guilin :Guangxi Normal University Press ,2002. 69(in Chinese)]

[15] Michael Hoskin (ed.). Cambridge Illustrated History : Astronomy. Cambridge :Cambridge University Press ,1997. 235

[16] [美]沙普利. 由以太阳为中心到以银心为中心. 收录于宣焕灿编《天文学名著选译》. 北京 :知识出版社 ,1989. 244—250 [H. Shapley , From Heliocentric to Galactocentric , included in Selected Translation of Astronomical Masterpieces , edited by Xuan H C. Beijing : The Zhishi Press ,1989. 244—250(in Chinese)]

[17] Leavitt H S. Periods of 25 Variables in the Small Magellanic Cloud , Harvard College Observatory Circular ,1912 ,173 :1—3

[18] Michael Hoskin (ed.). Cambridge Illustrated History : Astronomy. Cambridge :Cambridge University Press ,1997. 332

[19] Baade W. Astrophysical Journal ,1944 ,100 :137

[20] Baade W. A Transactions of the International Astronomical Union ,1952 ,8 :397

独家代理销售加拿大 GENTEC-EO 生产的激光功率能量计及光束分析仪 ,其产品具有功率、能量探测头规格全 ,宽光谱响应 ,探头损伤阈值高、灵敏度高 ,SOLO 显示器自动识别每个探头 ,带有自动校准功能 ;光束分析仪定量、定性分析激光束等特点.



独家代理销售美国 STELLARNET 生产的微型光纤光谱仪 ,其产品具有多种型号规格可选 ,坚固耐用、轻巧便携 ,波长范围覆盖 190—2200nm ,适合于实验室、现场及野外的光谱测量.



联系人 栗曼珊 sumanshan@goldway.com.cn 联系电话 D10 - 84562860 84562550 传真 D10 - 84569901



北京欧普特科技有限公司 <http://www.goldway.com.cn>
北京朝阳区酒仙桥东路一号 ,M7 栋东五层 ,100016