

走近天文之五

从银河到银河系、从星云到星系

左文文[†]

(中国科学院上海天文台 上海 200030)

2020-06-27收到

† email: wenwenzuo@shao.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20200711

1 导语

如果说宇宙像一个无边无际的大海,那么星系就像大海中的一座座小岛。宇宙中有几千亿个星系,而我们的银河系是其中普普通通的一员。身在庐山中,难识真面目。那身在银河系中的我们,是如何分析出我们所处银河系的样子呢?我们对银河系之外的河外星系又有怎样的认知历程呢?接下来,请随笔者一起简要回溯我们对星系的认识历程,从银河到银河系,从银河系到河外星系。

2 从银河到银河系

2.1 银河

400多年前,伽利略首次将天文望远镜指向了银河,发现银河是由无数恒星构成的。然而,在伽利略的时代,甚至于在今天,很难通过直观地观察银河和恒星,就推测出银河系真实的样子。对银河系形状首先做出正确推论的是英国天文学家托马斯·赖特和德国著名哲学家伊曼努尔·康德。他们猜想,银河系中的恒星整体上应该呈盘状分

布,太阳也位于其中,这样就能解释为什么我们看到的银河像一条亮带。但这只是基于哲学的猜想,并没有直接的观测证据加以证明。

2.2 赫歇尔的恒星计数

对银河系形状首先作出定量估算的是英国天文学家威廉·赫歇尔。出生在德国的赫歇尔以七年战争的受难者身份,背井离乡来到英国。身无分文的他凭借自身努力和音乐天赋,在巴斯成为了一名出色的音乐家。略过这一段历史,直接进入18世纪晚期。1773年,他开始对天文学产生了浓厚的兴趣,并开始自制天文望远镜。在他的职业生涯中,共制作了400多支望远镜,其中最大最著名的是一架口径40英尺(1.2米)的反射式天文望远镜,是那之后半个世纪里全球口径最大的望远镜。英国皇家天文学会最初的会徽上就使用了这架望远镜的图像。

但这台望远镜操作起来并不是很方便,他和他的妹妹凯瑟琳·赫歇尔使用了另一架口径18.7英寸(47.5厘米)的天文望远镜,系统地

展开了巡天观测。他们把全天分为683个天区,对每个天区的恒星进行观测计数。在上述观测的基础上,赫歇尔进一步假设,恒星近似均匀地分

布在银河系中;假设他所使用的望远镜能分辨银河系中所有的恒星^[1]。如果观测到某个天区内恒星越密集,那么这个方向上恒星空间分布延伸的范围越大。他们发现,从不同方向看去,恒星的密集程度非常类似。1785年,他发表了天文学史上的第一个银河系模型(图1),认为银河系是个扁平状的系统;虽然太阳也是银河系中无数恒星中的普通一员,但它恰好处于银河系的中心^[2]。

受星际尘埃的消光影响,他们的望远镜并不能看到所有的恒星,因此,赫歇尔兄妹推导出银河系模型所依据的假设是存在问题的。尽管如此,基于恒星计数法,他们首次确认了银河系呈盘状结构,初步确立了银河系的概念。因其在恒星观测领域的卓越贡献,后人将赫歇尔誉为“恒星天文学之父”。

2.3 认识银河系

自赫歇尔之后,又过了100多年,在对恒星的长期监测中,天文学家们发现了一些亮度变化很有规律的星,称作“造父变星”。1908年,哈佛天文台的亨利埃塔·斯旺·勒维特对大麦哲伦云(图2)中的千余颗造父变星展开研究,这些造父变星到我们的距离基本相同。她发现这些变星本身的发光本领(光度)与亮度变化的周期(光变周期)存在紧密的关系:光变周期越长,发光本领越强;光变周期越短,发光本领越弱^[3]。

勒维特的发现意味着,有可能

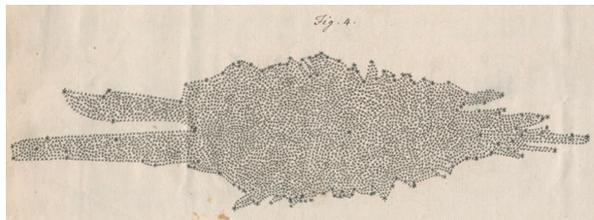


图1 威廉·赫歇尔基于恒星计数的方法所得到的银河系结构,他认为太阳就处于银河系的中心^[2]

根据造父变星的光变周期确定实际的发光本领,再根据它的视亮度,推导出它到我们的距离。这种方法将造父变星视作“标准烛光”。造父变星测距的适用范围可达5000多万光年,是建立河外星系距离标尺的重要的标准烛光。在银河系研究历史上,勒维特做出了重要贡献,却常常被忽略,因此笔者要专门着墨讲讲她的贡献。

普林斯顿大学的哈洛·沙普利论证出,造父变星不是由于两颗恒星的轨道运动而互相遮掩引起光变的双星系统,而是由于恒星大气层脉动(膨胀、收缩这种周期性变化)引起亮度变化的变星。沙普利的发现使他更加确定,可以使用造父变星作为标准烛光进行测距。

1915年,他在威尔逊山天文台任职,利用山上的1.5米反射式望远镜,研究了银河系中球状星团,利用其中的造父变星来确定球状星团到我们的距离。球状星团是由上万颗恒星在引力束缚下组成的集团。他发现,球状星团们的分布和围绕旋转的中心不是太阳,而是在人马座区域,那里才是银河系的中心^[4]。

也就是说,直到100多年前,我们才完全意识到,太阳不仅从物理性质上看,是银河系中的一颗普通恒星;而且从所处位置看,它也没体现出多少特殊性。

3 从银河系到河外星系

17世纪早期,天文学家在利用天文望远镜将银河分解为一颗颗恒星的同时,还发现了另外一种云雾状天体。这类天体在天文望远镜里无法分解为恒星,因此得名为“星云”。通过利用口径更大、分辨率更高的天文望远镜,天文学家发现有一些弥漫星云能够被分解为一颗颗恒

星,这些星云通常是由很多恒星组成的星团。还有一些星云,无论在多大口径的望远镜中都仍然是模糊一团。

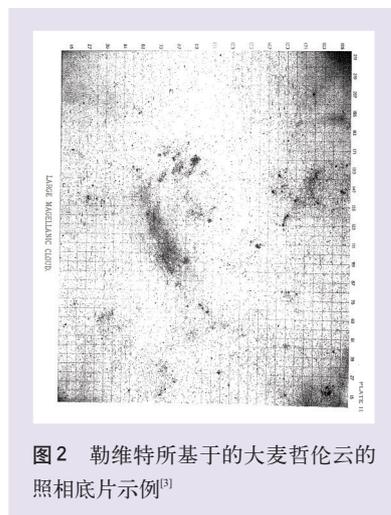
1781年,法国天文学家查尔斯·梅西耶发表了著名的《星云星团表》最终版,其中包括103个星团和星云状天体。这些天体就是今天我们常说的用M开头编号的梅西耶天体,比如M31就是著名的仙女座星云的编号。值得一提的是,梅西耶的主要研究对象是彗星,他编著这个星表的目的是为了提醒大家不要把这些弥漫状的天体和彗星混淆在一起。

那些仍然模糊一团的星云,是因为望远镜分辨能力有限而无法分辨的星团或星系,还是由气体尘埃组成的星云?这些星云位于银河系内,还是银河系外?对于一些外形呈现出明显的旋涡结构的星云,著名哲学家康德提出猜想,这些星云可能是和银河系一样巨大的恒星系统。宇宙就像是一个无边无际的大海,这些巨大的星云和银河系构成了宇宙中的一个一个岛屿。康德的“宇宙岛”猜想更多的是基于一种哲学的思辨,缺乏直接的科学证据。有关这些星云的问题和谜题一直持续到了20世纪。

3.1 有关旋涡星云本质的观测角逐

故事要从一位富有的波士顿商人帕西瓦尔·洛厄尔说起。他认为自己看到了火星表面的运河,并出版了《生命的栖居地——火星》,提及在遥远的过去,火星上曾出现过智慧生命。虽然他对火星做了过度解释,但他对天文的热情即将带来一个大发现。

1894年,他搬到美国亚利桑那州的旗杆镇,购建了一台24英寸的反射式望远镜。1901年,他为这台



望远镜购置了一台光谱仪,雇佣了一位天文学研究生维斯托·斯莱弗,让他协助自己观测。后来,斯莱弗成为了利用光谱仪观测天体的专家。

将天体发出的光色散分解开来,从而展示成在各个不同颜色(频率)处的发光情况。在某些特殊频率处,天体光谱中呈现一条条“谱线”。如果将谱线对应的特征频率比作是谱线发出的“声音”的话,接下来就与声音的多普勒效应进行类比:当天体朝向我们运动时,光谱向着频率更高处移动(蓝移),就像谱线的声音会变得更尖锐;当天体远离我们运动时,光谱向着频率更低处移动(红移),谱线的声音会变得更低沉。将观测到的谱线频率与该谱线的特征频率进行对比,就能得知该天体靠近或远离我们的速度。

洛厄尔鼓励斯莱弗去探索当时神秘的旋涡星云。终于,1910年12月,斯莱弗成功拍摄到仙女座星云的光谱。为了提高光谱仪的灵敏度,他对光谱仪进行了改进。1912年9月17日,斯莱弗利用改进的光谱仪发现,仙女座星云的光谱线有明显的蓝移,说明它正以相当快的速度向银河系靠近。这是人类首次对银河系外的宇宙所做的定量观测。不过当时,斯莱弗肯定不知道

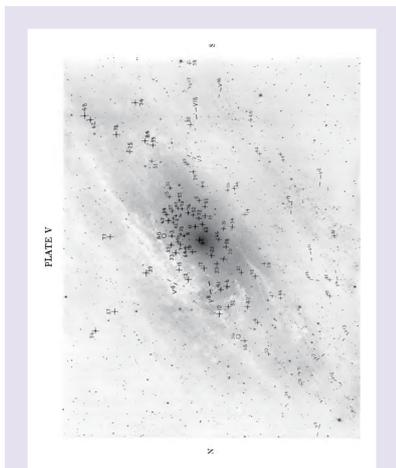


图3 1920年9月16日—17日,由100英寸胡克望远镜曝光9小时拍摄的M31中心区域的底片数据,其中1毫米对应16角秒。十字符号标记出新星(除去36和80之外),以“V”开头的编号指变星^[6]

自己的观测结果有如此重要的意义。事实上,他对这个结果很担忧。

1912年底,洛厄尔重复拍摄了仙女座星云并再次分析,他确认仙女座星云正以每秒300千米的速度向我们靠近。洛厄尔向斯莱弗表示祝贺,并劝他再测量一些旋涡星云。斯莱弗又拍摄了室女座里的草帽星系,结果让他舒了一口气。草帽星系正以每秒1000千米的速度远离我们。这表明,光谱线的移动是由运动造成的,而且该运动速度远远超过了已知所有其他天体的运动速度。斯莱弗继续拍摄其他旋涡星云的光谱,等到1914年夏天,他已经测量了14个旋涡星云。他发现,绝大多数星云都在远离我们。

1914年8月,美国天文学会第17届大会上,斯莱弗在大会上介绍了自己的发现。斯莱弗的惊人发现赢得了在场听众的起立鼓掌。当时,叶凯士天文台的一名研究生就坐在观众席中,他就是埃德温·哈勃。等到1917年,斯莱弗已经收集了25个旋涡星云的光谱,每个光谱

都能测出谱线的多普勒移动^[5]。这些数据显示,除了仙女座星云和3个小星云,其他21个星云都在远离银河系,最大的远离速度可达每秒1100千米。

不过由于当时对于旋涡星云的本质存在争议,斯莱弗未能指出该观测现象的宇宙学暗示。他相信这些旋涡星云就像康德曾提出的“岛宇宙”,之所以看到星云的运动,是因为银河系在这些星云中穿行。在进行了十几年的研究后,被测量误差困扰的斯莱弗放弃了这个领域。

为了探究神秘星云的本质,当时利克天文台的赫伯·柯蒂斯也一直利用36英寸折射式望远镜拍摄星云的光谱。1919年3月,柯蒂斯做了一个有关旋涡星云的学术报告。加利福尼亚州的威尔逊山天文台的台长乔治·埃勒里·海耳听到报告后,意识到这些结果意义重大,提议双方合作。

“对旋涡星云展开广泛调查”成了一场多个天文台共同角逐的观测活动。时至今日,我们仍能感受到当时天文学家的兴奋和好奇。

3.2 有关仙女座星云的大辩论

1920年4月26日,美国国家科学院召开了一次“宇宙的尺度”专题辩论会,辩论的焦点是类似仙女座星云的旋涡星云究竟是位于银河系之内还是银河系之外。这次专题讨论会规模并不大,但是在历史上却被记录为“Great Debate”。我们知道英文里面的Great是伟大的意思,比如我们的长城叫Great Wall,所以“Great Debate”指这是人类历史上一次伟大的辩论

这次辩论会指向了一个重要认知问题,即人类所处的银河系在宇宙中处于一个怎样的地位,旋涡星云究竟

是银河系内的气态云团,还是遥远的“岛宇宙”?著名天文学家沙普利和柯蒂斯作为双方代表发表意见。

沙普利曾经通过球状星团计数分析得知太阳并非银河系的中心,他在这次辩论中认为,银河系尺度巨大,旋涡星云M31就位于银河系中;而柯蒂斯则认为,这些旋涡星云不是银河系内的天体,而是像银河系那样的岛宇宙。在这次辩论会上,双方都没有说服彼此,也没有最终得到明确的结论。不过由于双方的演讲风格,对于辩论的现场听众来说,柯蒂斯的演讲略胜一筹。1921年,他们各自发表论文详细阐述自己的观点。

旋涡星云究竟位于银河系之内还是银河系之外?解决问题的关键在于要测定“星云”的距离,如果观测到的“星云”的距离大于银河系的尺度,而且可分解为恒星,那就证明这些星云是处于银河系之外,而且是和银河系差不多尺寸甚至更大的河外星系。

3.3 仙女座星云是仙女座星系

最终,揭开旋涡星云之谜、证实河外星系存在的是美国天文学家哈勃。1917年,美国威尔逊山上建成了口径为100英寸(2.54米)的胡克望远镜,是当时世界上口径最大的望远镜。1923年,哈勃和他的观测助手米尔顿·赫马森用这架望远镜观测了仙女座星云。在高分辨率照片上,仙女座星云的外缘被分解成一颗颗恒星。哈勃在其中辨认出了一些被称为造父变星的特殊恒星。

哈勃据此推算出仙女座星云的距离大约为100万光年,远远超过了当时已知的银河系的尺度。因此,仙女座星云无疑处于银河系之外,而且自身是一个星系,故“仙

女座星云”更名为“仙女座星系”。至此，我们便确认了河外星系的存 在，仙女座星云位于银河系之内还是 之外的争论也画上了一个句号。1929 年，哈勃对旋涡星系 M31 进行了 详细的汇总介绍，基于的部分数据 如图 3 所示。

顺便提一句，银河系与仙女座星 系之间的距离约 254 万光年。之所以 哈勃测出的距离要比真实距离低， 是因为哈勃不知道造父变星存在两种 类型，在用标准烛光时应区别对 待。发现造父变星存在两种类型的 科学家是曾与哈勃一起合作研究超 新星和星系的科学家沃尔特·巴德。

巴德早年在威尔逊天文台工作 时，利用 100 英寸望远镜，首次在 仙女座星系的内部分辨出单颗恒 星。他提出星族的概念：一类是主 要分布在星系旋臂中的年轻恒星， 称作星族 I；另一类是主要分布在星 系中心和晕中球状星团里的年老恒 星，称为星族 II。后来他在帕洛玛 山天文台工作时，利用新的 200 英 寸望远镜研究造父变星，发现两个 星族各自也都有独特的造父变星 族，两类造父变星遵循不同的周期 和光度的关系。

哈勃当年测量 M31 和银河系之 间距离时所观测和使用的造父变 星是星族 I 造父变星，但却使用了 星族 II 造父变星的周期—光度的关 系，造成了对距离的低估。巴德利 用正确的周光关系重新计算了 M31 和银河系之间的距离，得到的结果 是 200 万光年，更接近真实值。 1952 年 9 月，年已花甲的巴德在 国际天文学联合会大会上指出了这 点。

不管怎样，哈勃这项划时代的 发现标志着一门新学科——星系天 文学的诞生。为了纪念哈勃对星系 天文学开创性的贡献，美国国家航

空航天局把 1990 年发射的太空光学 望远镜命名为哈勃望远镜。

河外星系的发现让人类意识到 银河系并非整个宇宙，在银河系之 外还有其他星系，让人类对宇宙 的认识实现了又一次跨越。

3.4 丰富多彩的星系世界

在证实了仙女座星云是银河系 之外的星系之后，哈勃观测了更多 的星系。1926 年，哈勃将天文望远 镜拍摄到的星系分成三大类：椭圆 星系、旋涡星系和不规则星系，分 别用 E (elliptical)、S (spiral) 和 Irr (irregular) 表示，形成了著名的哈勃音 叉图^[7]，如图 4 所示。

椭圆星系(E)，外形呈正圆或椭 圆形，亮度分布高度集中，没有明 显子结构。而旋涡星系(S)带有明显 旋涡结构，如果旋涡星系中心区域 还呈现一个短棒状结构，就进一步 归类为棒旋星系(SB)。那些外形不 规则、没有明显的核和旋臂结构的 星系系统称为不规则星系(Irr)。介 于椭圆星系和旋涡星系之间，有一 类没有旋臂等子结构，但存在显著 核球的盘星系，称作透镜星系，用 S0 或 SB0 表示。

由于无法确定这些星系在空间 中的取向，因此这种分类法只适用 于从地球上所见的星系外形分类。 从哈勃进行星系形态分类的“音叉” 图，可以看出，椭圆星系在最左端， 按照椭圆程度形成一个序列；从椭圆 星系向右，中心稠密恒星结构相对越 来越小，呈盘状的恒星结构和旋臂结 构的显著性加强；

普通的旋涡星系和棒旋星系组成了 “音叉”的两个叉。

哈勃将椭圆星系和透镜星系称 为“早型”星系，把旋涡星系和不 规则星系称作“晚型”星系。这样 的名称容易让人误以为哈勃的星系 序列反映了星系的演化顺序。但实 际上，哈勃在 1927 年曾这样说过： “这种命名强调的是星系在序列中的 位置，但容易让人误会它含有演化 信息。这一整套星系分类纯粹是依 据我的经验得来的，对星系的演化 理论不带任何偏见。”

哈勃的星系分类下，我们所在 的银河系就属于棒旋星系，并非是 普通的旋涡星系。虽然 20 世纪 50 年 代就有观测暗示银河系中心存在一 个棒，但确切的观测证据是近 20 年 才发现的。

4 总结

400 多年前，伽利略将天文望 远镜指向银河，发现银河由无数的 恒星组成。约 250 年前，赫歇尔兄 妹孜孜不倦地开展恒星计数，首次 确认了银河系呈盘状结构，初步确 认了银河系的概念。约 110 年前， 以勒维特、沙普利等为代表的科学 家们发现了造父变星的秘密，并基 于造父变星分析出银河系中球状星 团分布，发现太阳只是银河系中的

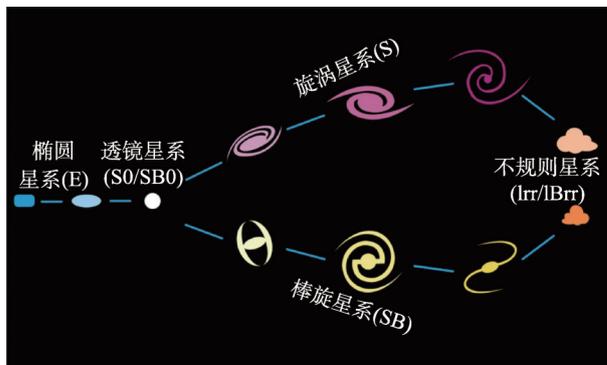


图 4 星系音叉图的示意图(图片版权：中国科学院上海天文台)

一颗普通恒星，银河系的中心不是太阳，而是位于人马座区域。

自从300多年前发现“星云”，旋涡星云的本质之谜就一直缠绕在天文学家们的脑海中，终于到了20世纪，自从斯莱弗发现了多数旋涡星云正远离银河系，掀起了一场对旋涡星云的广泛调查；1920年专门针对仙女座星云的本质展开了一次“大辩论”，最终哈勃基于观测数据，证实了仙女座星云是在银河系之外的星系，从此也让人类真正意识到银河系并非整个宇宙，银河系之外还有其他星系。在这样的历程中，人类在宇宙中所处位置的特殊性被一步步消除。不过，也正因为

此，宇宙的神秘帷幕才在人类的认知中被一步步揭开。

对星系的搜寻、分类和分析，揭开了丰富多彩的星系世界。而这并不是结束，实际上，根据形态对星系分类只是星系研究的开始。不同的形状反映了星系不同的形成和演化历史。棒状结构和旋涡状都起源于盘星系自身的不稳定性，这种不稳定性的触发有可能是星系内部的原因，也可能源于外部卫星星系的扰动。不同的扰动模式最终产生了不同的结构。椭圆星系的形成，通常认为是由于早期星系经历了主并合过程，彻底破坏了原有的结构(如盘、旋臂等)，而产生了一个由无规

运动主导的椭圆形星系。可以说，从星系形态的分类，到研究星系不同形态间的关系，这恰恰是星系研究中自然延伸出的一大步。

参考文献

- [1] Timberlake T. The Physics Teacher, 2013, 51:48
- [2] Herschel W. RSPT, 1785, 75:213
- [3] Leavitt H S. AnHar, 1908, 60: 87
- [4] Shapley H. ApJ, 1918, 48: 154
- [5] Slipher V M. The Observatory, 1917, 40: 304
- [6] Hubble E. ApJ, 1929, 69: 103
- [7] Hubble E. ApJ, 1926, 64: 321



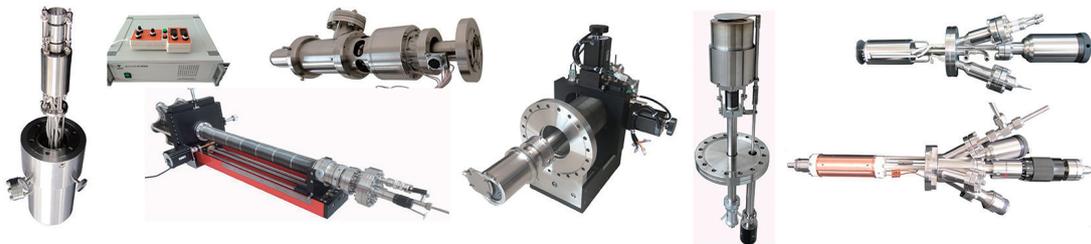
大连齐维科技发展有限公司

地址:大连高新园区龙头工业园龙天路27号

电话: 0411-8628-6788 传真: 0411-8628-5677

E-mail: info@chi-vac.com HP: <http://www.chi-vac.com>

表面处理和薄膜生长产品: 氩离子枪、RHEED、磁控溅射靶、束源炉、电子轰击蒸发源、样品台。



超高真空腔室和薄膜生长设备: PLD系统、磁控溅射系统、分子束外延系统、热蒸发镀膜装置。

