



## 空间时代的天文学研究 ——从空间天文观测到诺贝尔物理学奖\*

文 / 张双南

中国科学院高能物理研究所 北京 100049

**【摘要】** 首届诺贝尔物理学奖授予了揭开了现代物理学序幕的X射线的发现,随后的20多年中与X射线密切相关的诺贝尔物理学奖层出不穷。而一个世纪之后空间天文领域的一个诺贝尔物理学奖于2002年授予了空间X射线天文的突破,由此打开了人类观测宇宙的新窗口。从1962年发现第一个宇宙X射线源至今半个世纪以来,已经有约70个携带天文仪器的空间飞行器(以专用卫星为主)发射运行,极大地促进了人类对于宇宙和基本物理规律的认识。随后2006年的诺贝尔物理学奖授予了“宇宙背景探索者”(COBE)卫星对宇宙微波背景黑体辐射谱的精确测量和观测到空间分布的各向异性。2011年诺贝尔物理学奖授予了宇宙加速膨胀的发现,著名的哈勃空间望远镜对此做出了关键贡献。这样在新世纪空间天文的研究就直接产生了两个诺贝尔物理学奖,并且对第三个起了重要作用,非常类似20世纪初X射线对于诺贝尔物理学奖的作用。文章通过分析这三个以及天文学研究所获得的所有其他诺贝尔物理学奖,发现除了2006年的诺贝尔物理学奖之外,其他所有的获奖成果都和项目最初的科学目标没有关系或者完全相反。与此同时,探讨了重大天文发现的偶然性和必然性,这对于处于快速发展初期的中国空间天文具有很好的借鉴作用。

**【关键词】** 空间天文, 诺贝尔物理学奖, X射线, 宇宙微波辐射

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2014.05.010

### 1 百年诺贝尔物理学奖:从X射线到观测宇宙新窗口

1901年,首届诺贝尔物理学奖授予德国物理学家伦琴以表彰他在1895年发现X射线。X射线的发现揭开了现代物理学的序幕。1914年诺贝尔物理学奖授予德国物理学家劳厄,以表彰他发现

了晶体的X射线衍射。这一发现不但确认了X射线是电磁波的一部分,而且还第一次对晶体的空间点阵假说做出了实验验证,使晶体物理学发生了质的飞跃。1915年诺贝尔物理学奖授予英国父子物理学家亨利·布拉格和劳伦斯·布拉格,以表彰他们用X射线对晶体结构的分析所做的贡献。1917年诺贝尔物理学奖授予英国物理学家巴克拉,以表彰他发现了标识伦琴射线。1924年诺贝尔物理学奖授予瑞典物理学家西格班,以表彰他

\* 资助项目:“千人计划”(292012312D1117210)  
修改稿收到日期:2014年8月25日

在X射线光谱学领域的发现与研究。这样在前23个诺贝尔物理学奖中(1916年未获奖),X射线的发现和以X射线作为工具进行的物理学研究共获6次(7人)诺贝尔物理学奖,占当时总数的1/4以上。由此可见,X射线的研究成果在现代物理学的发展中占有何等重要的地位。

在X射线的发现获得第一个诺贝尔物理学奖一个世纪之后,2002年度诺贝尔物理学奖授予了美国科学家雷蒙德·戴维斯、日本科学家小柴昌俊和美国科学家里卡多·贾科尼,分别表彰雷蒙德·戴维斯和小柴昌俊发现宇宙中微子,以及里卡多·贾科尼发现了宇宙X射线源,他们的发现开创了人类观测宇宙的新窗口。贾科尼发现的新类型的天体和常见的恒星以及星系不同,令人吃惊地主要发出强烈的X射线辐射。这个发现开创了一个新的天文学观测研究领域——空间天文学,也就是利用空间平台、在空间进行天体观测和研究天体的形态、结构、组成、运动、物理状态、演化规律的学科,而这正是本文的主题。

## 2 从地面到空间:全波段多信使天文学时代的到来

自从伦琴发现X射线以及劳厄确认了X射线是电磁波的一部分之后,人们认识到电磁波的频率可以从极低频的微波和射电,到高频的红外和可见光,甚至到极高频的X射线和伽玛射线,不同的物质、物理条件和物理过程产生不同特征频率的电磁波辐射,而利用不同频率的电磁波可以研究物质世界的各种现象和规律以及产生丰富多彩的技术应用。

伽利略在400多年前发明可见光天文望远镜是现代天文学观测历史的第一个里程碑,从此人们对宇宙的认识发生了多次根本的改变,直到20世纪20年代哈勃的观测

建立了现代宇宙观,即宇宙是膨胀的<sup>[1]</sup>。尽管人们认识到天体也应该像在地球环境和实验室中能够产生各种频率的电磁波辐射,但是受观测仪器的制约,人们对宇宙的认识一直到哈勃时代都只能通过可见光的观测进行。直到20世纪30—60年代随着射电天文的高速发展,人们终于可以在可见光之外的电磁波波段探索宇宙的奥秘,这是天文学观测历史的第二个里程碑。这个时期的射电天文学观测取得了举世瞩目的四大发现,脉冲星、星际分子、类星体和宇宙微波背景辐射,其中脉冲星和宇宙微波背景辐射的发现已经获得了诺贝尔物理学奖,宇宙分子的发现人汤斯因氨分子振荡器成功研制也获诺贝尔物理学奖。天文和物理界普遍认为,类星体的发现获得诺贝尔物理学奖是迟早的事情。

很自然,人们希望能够在可见光和射电波段以外的电磁波段开展天文学观测研究,如图1所示,地球大气对这两个波段以外的电磁波的吸收使得天文观测窗口的进一步扩展需要到地球大气层以外的空间开展天文观测研究,于是随着空间时代的到来就诞生了空间天文学,也就是利用各种空间观测技术所获得的观测数据开展有关天文研究,以及研究为实现这些观测所采用的空间探测技术。

空间天文的基本任务是避开地球大气对地面天文观测的影响,从空间进行观测,研究宇宙整体以及包括太阳在内的各种天体的起源和演化,探索大尺度和宇宙极端条件下的物理规律。该领域的研究是利用空间平台(包括火箭、卫星、飞船、月基和高空气球)开展对天文对象的观测和研究。其主要研究内容覆盖当代天体物理学的主要方面:恒星形成与演化、星系和宇宙学、粒子天体物理、高能天体物理以及与天文紧密相关的基本物理重大问题如暗物质、暗能量和引



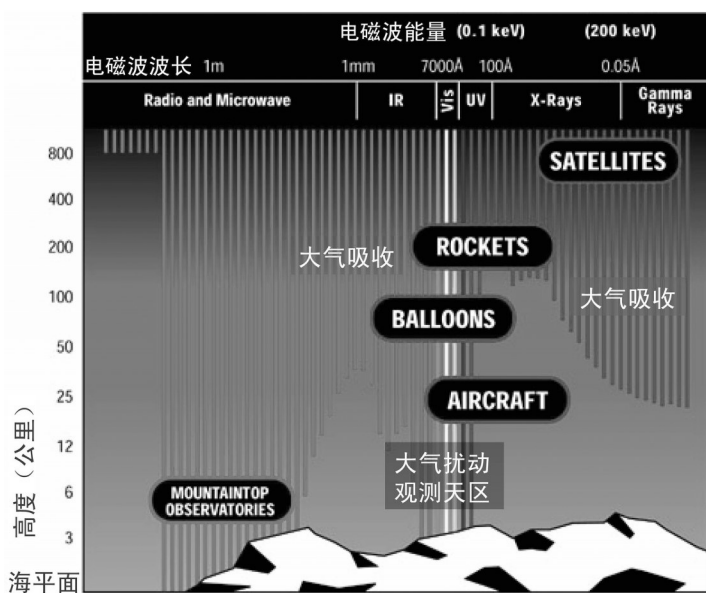


图1 不同波长的电磁波所能够到达的海拔高度

力波等。其相应的空间探测技术包括：空间X射线探测技术、空间 $\gamma$ 射线探测技术、空间紫外辐射探测技术、空间红外辐射探测技术、空间粒子探测技术、空间光学与射电探测技术、宇宙线探测技术、引力波探测技术等。

在天文学发展史上，空间天文学的兴起是天文学观测继可见光和射电观测的第三个里程碑，是人类认识宇宙的重大飞跃。在地球大气以外的空间进行天文观测的主要优点有以下几点：(1)克服地球大气对于大部分电磁波的吸收。由图1所示，在地面或者高山上开展天文观测只能“看到”整个电磁波段里面很窄的可见光和射电波段的天体辐射，这当然是地基的可见光天文学和射电天文学先于空间天文学得到发展的根本原因。因此地基天文实际上就是“以管窥豹”，只能观测获得绚丽多彩、千姿百态、变化多端的宇宙天体的很少的信息。(2)即使对于透过大气到达地面和高山的可见光和射电波段的天体辐射，由于地球大气(包括其等离子体层)的不稳定性，天体的图像被扭曲，天体的信号被干扰，使得地基天文观测或多或少有“雾里看花”的感觉。因此只有在太空中才能够做到高清晰度和高稳定度的天文观测。(3)地球的自转使得地球很难做到对天体的不间断观测，也

就很难获得很多天体的重要信息。因此只有脱离地球的影响才能够做到不间断的天文观测。(4)综合孔径射电望远镜的应用及其取得的巨大成就使人们认识到望远镜角分辨率的大幅度提高只能依赖扩展望远镜阵列的尺度，也就是不同望远镜之间的距离，而地基望远镜阵列的最大尺度只能是地球，因此未来更高分辨率的望远镜阵列就只能放置于太空中。(5)利用各种粒子在空间粒子探测器中的作用能够实现粒子的电荷、方向、质量和能量的直接测量；(6)利用极为稳定的空间平台和平台之间的巨大距离能够直接探测低频引力波辐射。

因此空间天文学使得在全电磁波段以及利用空间粒子和引力波探测的多信使开展天文学观测研究成为可能。

### 3 种豆得瓜：第一个空间天文观测诺贝尔物理学奖

1946年美国海军研究实验室的科学家利用V-2火箭在80 km高空进行了第一次空间探测，两年后，伯尼特(Burnight)在96 km高空对太阳X射线辐射进行了测量。这些测量揭开了空间天文学的序幕。自那以后，广泛应用飞机、探空火箭和气球进行了很多空间天文观测。从用V-2火箭首次探测到20世纪60年代初期，空间天文学处在探索试验阶段。这时，观测对象主要是离地球最近的太阳和地球大气中的高能辐射本底，主要工作是发展空间科学技术。

经过10多年的探索试验，到了60年代，空间天文学的潜力已经显露出来，其最突破性的成就来自于美国MIT的贾克尼率领的团队于1962年在第三次火箭飞行观测实验中成功地发现宇宙X射线源和X射线弥漫背景(图2)，开创了人类认识宇宙的一个新窗口，建立了天文学观测历史的第三个里程碑，贾克尼也因此在此后的40年后的2002年获



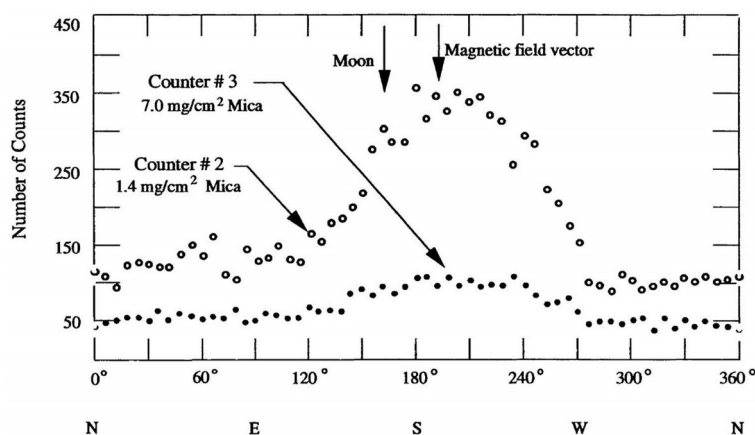


图2 发现第一个太阳系外X射线源(吸积中子星系统 Sco X-1)和X射线弥漫背景<sup>[2]</sup>

得了诺贝尔物理学奖。

锲而不舍的追求和科学探索的精神是贾克尼取得这个重大成果的关键。他们的前两次火箭飞行实验都以失败告终,但是资助部门对科学实验失败的宽容和这个团队的执着,使得他们进行了第三次实验并且终于取得了成功。但是观测的结果则完全出乎科学家当时的预料。因为当时已经知道太阳会产生X射线,而根据太阳的X射线的光度推测其他恒星的X射线到达地球的流强,贾克尼团队的X射线探测器根本不可能探测到来自其他恒星的X射线,顶多看到月亮反射的太阳的X射线的辐射。但是正是科学探索的精神促使他们没有被已有知识和理论所束缚,终于在这个未知领域开辟出一个全新的学科,发现了前所未知新的天体和现象。

#### 4 空间天文大大拓宽了人类的视野

随着贾克尼团队取得的突破性成果,以空间X射线和高能天文为突破口,空间天文开始了突飞猛进的发展<sup>[3,4]</sup>。20世纪60年代空间天文开始了探索性的研究。这时,人造地球卫星已经上天,月球探测器已经能环绕月球运行。因此,科学家的目光瞄向了近地空间、行星际空间、月球和行星。这些区域

的考察在60年代异常活跃。在对上述区域进行考察的同时,空间天文学也得到较大的发展。在这期间,一方面继续使用气球和火箭做空间探测的运载工具,另一方面使用卫星探测的已越来越多。人造卫星飞行时间长,飞行高度高,完全摆脱了地球大气的影响,使它逐渐取代了

探空火箭和气球。但是,在60年代,空间天文观测还没有或很少有专用的天文卫星,大多数卫星观测是搭载别的卫星进行的,这显然限制了空间天文学潜力的发挥。

60年代的空间天文成就有:(1)第一次发现宇宙X射线源和X射线弥漫背景;(2)1969年发现了蟹状星云射电脉冲星NP0532的X射线脉冲,这是首次在空间探测到空间脉冲星的短波辐射,脉冲星的空间研究就是从这里开始的;(3)第一次发现河外X射线源;(4)第一次发现来自地球以外的伽玛射线辐射;(5)第一次发射天文卫星系列,如轨道天文台(OAO)系列,太阳辐射监测卫星(Solarad)系列和轨道太阳天文台(OSO)系列;(6)第一次进行空间红外天文测量;(7)在空间天文观测中使用新的观测方法和技术。如盖革计数器、电离室、正比计数器,闪烁计数器、布拉格晶体频谱仪和光栅频谱仪、掠射式成像望远镜等都得到运用。新方法和技术应用不仅获得了很多有价值的资料,而且为70年代以后空间天文学全面发展奠定了坚实的基础。

从20世纪70年代起,空间天文学获得了全面发展,相继发射了各类天文观测卫星。表1(附后)列出了有史以来空间天文已经结束使命的主要项目,表2(附后)列出



中国科学院

了正在运行的空间天文项目。这些项目包括专用的X射线、伽玛射线、紫外、红外、光学和射电观测专用卫星等,覆盖了几乎全部的电磁波波段。从空间开展天文学观测研究的优势使得空间天文学研究的科学问题涉及了几乎所有最重要的天文学、天体物理,以及天体物理和基础物理交叉的前沿领域,包括对宇宙各种尺度的天体(包括太阳系行星和小天体、恒星、星系乃至整个宇宙)进行观测和研究,了解宇宙的起源、演化和将来的归宿,物质和能量的本质和分布,以及从宏观的天体到极端条件下原子与分子基本规律的探索,并从根本上揭示客观世界的内在联系。

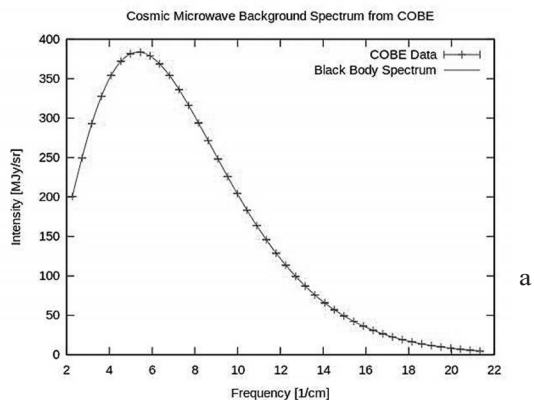
这些强大的空间天文卫星对太阳、银河系内的各类辐射源、河外星系、星际介质与星系际介质、星系团、宇宙辐射与粒子背景进行了大量观测,研究了太阳活动区物理、太阳磁场和磁活动,发现并确认了大批系外行星,观测到多种星际尘埃与气体物质和早期星系形态,发现了数以千、万计的红外、X射线和 $\gamma$ 射线源,发现并证实了黑洞/中子星等致密天体,确定了类星体是大质量黑洞的吸积过程并且深入认识了类星体对于星系和宇宙结构的起源和演化的认识,发现了各种类型的释放巨大能量的宇宙 $\gamma$ 射线暴并对其物理机制有了明确认识,高能天体物理促成了微观/宇观研究密切结合和基本粒子物理与天体物理领域的拓展;精细测定了宇宙微波背景辐射和宇宙年龄,有

力支持了大爆炸宇宙学理论并对宇宙加速膨胀的发现起了重要作用。空间天文的成就和相关研究建立了宇宙演化和宇宙重子物质循环基本物理图像,对于恒星结构演化和宇宙大爆炸模型两大理论框架的建立和完善起到了不可替代的作用,最终精确测量了宇宙微波背景的黑体辐射和各向异性特性(获2006年诺贝尔物理学奖),并对于获得2011年诺贝尔物理学奖的宇宙加速膨胀(暗能量存在的关键证据)的发现起到了关键作用。

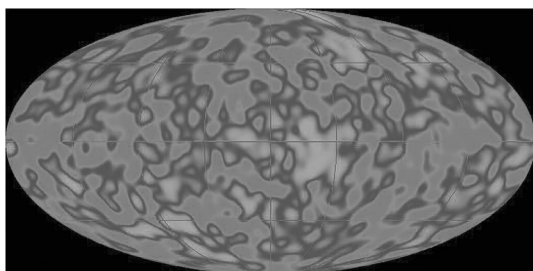
## 5 瞄哪儿打哪儿:看到了宇宙婴儿时期的照片

尽管在20世纪60年代就已经通过地面射电望远镜的观测意外地发现了宇宙微波背景辐射(于1978年获得了诺贝尔物理学奖),但是基于地球的宇宙微波背景辐射无法观测大爆炸宇宙学理论预言的宇宙微波背景辐射的完整的黑体辐射谱,而且也无法通过绘制宇宙微波背景辐射全天空图测量理论预言的宇宙微波背景辐射的各项异性,也就是宇宙婴儿期的照片,美国NASA的科学家马瑟和斯穆特等人于1974年提出了“宇宙背景探索项目”(COBE),经过15年的努力,终于于1989年成功发射运行,证实了宇宙微波背景辐射正是理论预言的完美的黑体辐射谱(图3a),而且也测量到了宇宙微波背景辐射的各项异性(图3b),对于宇宙大爆炸以及宇宙结构形成理论模型的完善起到了不可替代的作用。马瑟和斯穆特因此分享了2006年诺贝尔物理学奖。

尽管COBE把宇宙微波背景辐射的很多重大



a



b

图3 a COBE测量的宇宙微波背景辐射的黑体辐射谱  
b COBE测量的宇宙微波背景辐射的各向异性天图<sup>[5]</sup>

问题都留给了后续的威尔金森微波各项异性探针(WMAP)和普朗克(Planck)宇宙微波背景辐射卫星,但是COBE项目完美地完成了预定的科学任务,实现了其设定的科学目标,观测到了理论模型预言的结果,是一个典型的“瞄哪儿打哪儿”的项目,整个项目团队的表现可以说是无懈可击,因此两个项目负责人获得诺贝尔物理学奖也是名至实归。但是,令人遗憾或者说项目团队运气不好的是,COBE最重大的科学成果竟然是项目设计的时候预期的成果,而不是意外的发现,这在科学史是少有的情况。可以说,COBE项目令人意外地获得了预期科学成果、但是没有获得预料之外的重大科学发现。本文第7节还将专门讨论重大科学发现的偶然性和必然性。

## 6 瞄前打后:未知的暗能量主导今天宇宙的加速膨胀

1998年,三位年轻的天文学家普尔穆特、施密特和赖斯通过观测一类特殊(Ia型)的超新星的光度随宇宙红移的变化,发现了目前的宇宙在加速膨胀,确定了宇宙由未知的暗能量主导,于2011年获得了诺贝尔物理学奖。把他们的结果和其他的天文观测结果结合起来,可以得到如图4所示的宇宙从大爆炸开始(约140亿年之前)到今天的演化过程以及在不同时期宇宙中的普通物质、暗物质和暗能量的比例的演化。今天的宇宙中的普通物质、暗物质和暗能量的分别占宇宙总的物质-能量的比例为4%、23%和73%,但是物理学中最成功的粒子物理标准模型只能接受其中仅占宇宙组成5%的普通

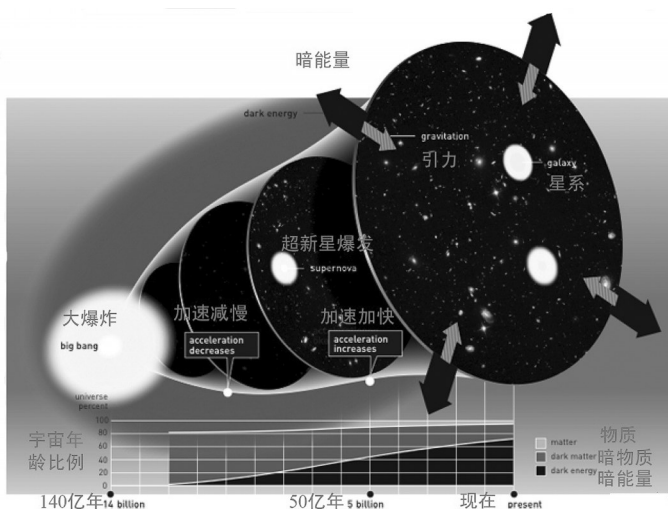


图4 宇宙自大约140亿年之前的大爆炸直到今天的演化示意图。在大爆炸之后初期,由于宇宙中暗物质主导(下半图),物质之间的引力导致宇宙减速膨胀(上半图)。随着暗能量占的比例越来越大,暗能量的排斥力使得宇宙的膨胀变成加速膨胀。在任何时期,粒子物理的标准模型能够解释的普通物质都只占宇宙的物质和能量约5%左右

物质,也就是说我们目前对宇宙成分的95%几乎毫无所知。这是物理学和天文学共同面临的巨大挑战。

尽管获奖者的项目团队所使用的观测数据主要来自于多个地面大型可见光(包括近红外)望远镜,但是哈勃空间望远镜的观测数据也对这项重大成果的获得做出了重要贡献。由于躲开了大气湍流对于天文图像的扭曲,正在天上的口径2.4米的哈勃空间望远镜宽波段测光星等可以达到30,角分辨率0.1角秒,可以探测到红移超过1的原始星系,这些能力都超过了地面10米甚至更大口径的光学望远镜。因此哈勃空间望远镜能够以更高的精度通过对造父变星距离的测量来测定哈勃常数,而这与宇宙在今天的膨胀速度有关。此外,只有哈勃空间望远镜才能够对最高红移的超新星的光变进行精确的测定,从而确定超新星的亮度,进一步限制宇宙早期膨胀的属性,为宇宙加速膨胀和暗能量模型提供了强有力的限制。

这项重大发现的最有趣之处还在于他



中国科学院



们取得的成果和项目最初的科学目标背道而驰。因为现有科学理论告诉我们,主导宇宙结构和演化的长程作用力是引力,在引力的作用下,宇宙的膨胀只能逐步减速。因此他们研究的最初目标是精确测量宇宙是如何减速膨胀的,也就是精确测量哈勃常数。但是实际观测结果表明,宇宙晚期(也就是最近)的膨胀是加速进行的,需要引进一种目前未知的在大尺度上产生排斥力的所谓暗能量才能理解他们的观测结果,而这种暗能量的空间密度在今天的宇宙不但远远超过了已知的发光物质的密度,甚至还比不发光的暗物质的密度大了很多。可以说他们的发现动摇了现有物理和天文理论的基础,最终解决暗能量问题有可能带来一次新的科学革命。

## 7 重大天文发现的偶然性和必然性<sup>①</sup>

前文在介绍空间天文发展历史的同时,重点介绍了空间天文的三项诺贝尔物理学奖。在新世纪空间天文的研究直接产生了两个诺贝尔物理学奖,并且对第三个诺贝尔物理学奖起了重要作用,非常类似20世纪初X射线对于诺贝尔物理学奖的作用,空间天文对自然科学的重要作用变得越来越重要。

回顾这些科学成就,有必要问一个问题:这些成果是计划的、规划的还是从事这些研究的科学家个体在开展这些研究之前就预期了这些成果?问这个问题的一个主要原因是:在论证一些重大科学项目的时候,必须回答项目的预期科学成果,越大规模的项目,越需要明确说明预期的成果的重要性。这当然很有道理,因为重大项目需要投入的资金和人力很大,如果不能说清楚预期的成果,自然就难以得到资助来实施,任何政府或者其他资助方都会有这样的要求。因此探索重大天文发现的偶然性和必然性对于处于快速发展初期的中国空间天文具有重要意义。

但是前文提到的三项成果的取得有明显不

同:(1)2002年获奖的开创观测宇宙新窗口的X射线天文成果是发现了宇宙X射线源和X射线弥漫背景辐射,而这完全出乎当时科学家的预料,也不在最开始的科学目标的预期中;(2)2006年获奖的宇宙微波背景辐射的黑洞辐射和各向异性测量恰好是项目的预期科学成果;(3)2011年获奖的宇宙加速膨胀的测量则完全和事先预期的成果相反。这三个情况恰好反映了天文学研究重大科学发现的三种典型情况。表3(附后)列出了所有天文学研究获得的诺贝尔物理学奖<sup>①</sup>。

从表3可以看出,除2006年授予发现宇宙微波背景辐射的各向异性的诺贝尔物理学奖之外,其他的天文学研究获得的诺贝尔物理学奖的最初研究目的和最后获奖的天文发现明显不一样,不但“不是”预期结果,而且大部分的成果是和预期结果“没有关系”就是“完全相反”。从研究类型看获奖的理论研究成果数量远远少于观测研究,表明天文学研究的重大而且是开创性的突破主要来自于观测研究,而这些突破大部分都不是项目的预期科学成果,也就是大部分重大天文观测成果的获得看起来都是偶然的。

既然大部分重大天文观测成果的获得看起来都是偶然的,那么是否重大科学发现都是“瞎猫碰死耗子”?其实这些看似偶然的成果背后有三个要素构成了科学发现的必然性,如表4(附后)所列。其中前两个要素是对这个项目本身的要求,也就是必须有“保底”的科学目标,同时应该具备做出新的科学发现的能力。而第三个要素则是对项目科学团队的研究水平的要求。一个科学项目在满足了这三大要素的情况下,必然会做出新的科学发现,这是必然性。但是到底做出什么科学发现、尤其是在新的发现空间里面的预料之外的发现,则很有可能是偶然的,至少在天文学领域是这样的情况。这正是偶然性和必然性之间的辩证统一。

为什么重大的开创性天文发现大部分都是事

<sup>①</sup> 诺贝尔本人没有设立诺贝尔天文学奖,天文学的研究成果只能根据其对其他学科的重要性获得其他学科的诺贝尔奖

先没有预料或者计划的？这是由于宇宙和自然界太复杂，人的认识的渐进性，科学家能够预料或者计划的成果一般都是普通的成果，也就是表4中满足第一要素的“保底”的科学成果。爱因斯坦或许是人类历史上最聪明、最有远见和洞察力最深刻的学者，但是他坚信宇宙中没有黑洞（而这恰恰是爱因斯坦的广义相对论的最重要预言之一）、没有暗能量（当时被称为宇宙学常数，而这恰恰是爱因斯坦本人首先提出的），同时认为量子力学有基本错误（而他本人获得诺贝尔物理学奖的光电效应理论证明了量子力学是正确的）。因此在宇宙和自然面前我们只能谦卑，人类能够理解宇宙和自然已经非常了不起<sup>②</sup>，试图预言宇宙和自然会发生什么事情则是可望而不可及的事情。

但是预料之外的成果往往是重大成果，这是科学研究尤其是天文学研究最引人入胜和激动人心的地方。但是要“碰上”这样的成果，固然需要一点运气，但是满足表4中的后两个要素则是必须的。第二个要素保证了该项目有取得预料之外的重大发现的机会。但是这并不能保证获得重大科学成果。我们知道很多历史上和重大科学成果“擦肩而过”的故事，也有人明明做出了重大发现但是自己浑然不知或者没有胆量公布，没有做好“事后诸葛亮”，这都是缺乏第三个要素的后果。因此第三个要素是能够最终兑现重大科学发现的保证。

## 8 结语——空间科学规划的重要性

毫无疑问，空间天文作为空间科学的一个重要组成部分，是人类进入空间时代的之后科学研究的需求所必然产生的学科。空间时代的一个主要标志就是大工程和大科学的蓬勃发展。美国的阿波罗登月计划、一

系列空间科学卫星和国际空间站，国内相应的人造卫星、探月和载人航天等都是大工程和大科学的标志性成就。由于这些项目的重要性、耗资大、技术牵引性强、执行周期长以及公众的关注度高，都毫无例外地是经过长期论证和规划之后分阶段开始实施的，并且都取得了标志性成果。

正是由于科学前沿研究的探索性以及不可预知都很强，空间科学的长期战略规划才显得更加重要。长期战略规划可以保证优先的科学目标是当前科学前沿最重要的科学问题而且技术上具有可实现性，满足前面谈到的科学发现的必然性的第一个要素。而根据规划开展的项目遴选和论证则可以确保项目设计具有新科学发现能力，满足科学发现的必然性的第二个要素。最后，确定项目承担团队则可以保证做好“事后诸葛亮”，产生重大原创性成果。因此世界各国尤其是美欧日等空间科学强国极为重视空间科学战略规划的实施。我国应加强空间科学战略规划，抓住机遇，力求在空间科学领域对世界科学做出贡献。

### 参考文献

- 1 张双南. 天文学与现代自然科学. 中国国家天文, 2012, (9): 14-57.
- 2 Giacconi R, Gursky H, Paolini F et al. Evidence for x Rays From Sources Outside the Solar System. Physical Review Letters, 1962, 9(11): 439-443.
- 3 张双南. 世界空间高能天文发展展望. 国际太空, 2009, (12): 6-12.
- 4 张双南. 高能天体物理学研究与发展. 中国科学院院刊, 2012, 27(1): 504-514.
- 5 Bogges N W, Mather J C, Weiss R et al. The COBE Mission: Its Design and Performance Two Years after the launch. Astrophysical Journal, 1992, 397(2): 420.

② 爱因斯坦曾经说过，宇宙最令人费解的地方是她竟然可以被理解





表1 已经结束使命的主要空间天文项目(除特别注明外,都是美国NASA的项目)

序号	卫星名称	发射日期	说明
1	MIT的第3次火箭飞行 (前两次失败)	1962	发现第一批太阳系外X射线点源:中子星双星系统(2002年诺贝尔物理学奖)
2	海军实验室的一次火箭飞行	1963	发现蟹状星云超新星遗迹的X射线辐射
3	海军实验室的两次火箭飞行	1964	发现第一个黑洞双星系统(大质量X黑洞X射线双星)和银河系中心的X射线辐射
4	哥达空间飞行中心的气球实验	1965	发现Coma星系团的X射线辐射(暗物质存在的证据之一)
5	核爆监视器 Vela	1967	发现宇宙伽玛射线暴
6	海军实验室的火箭飞行	1967	发现类星体3C 273的X射线辐射
7	OSO-3	1967	50—1 000MeV,银盘宇宙伽玛射线观测
8	Uhuru	1970.12	第一颗X射线专用卫星,发现大批各种类型的X射线源
9	SAS-2	1972	伽玛射线观测,发现伽玛射线弥漫辐射
10	COS-B	1975	ESA第一颗伽玛射线卫星
11	KAO	1975.5.21	红外
12	ANS	1974	荷兰,软X,UV,发现太阳以外的普通恒星的X射线辐射
13	探空火箭	1974	发现白矮星的X射线辐射
14	ASTP	1975	美国-苏联,发现白矮星的极紫外射线辐射
15	Ariel-5	1975	英国,X射线
16	SAS-3	1975	英国,X射线
17	HEAO-1	1977	第一个大型X&伽玛射线天文卫星
18	IUE	1978.1.26	美欧合作,紫外
19	Einstein	1978.11.13	HEAO-2,第一个使用聚焦光学、成像探测器的X射线卫星,灵敏度提高2个量级
20	HAKUCHO	1979.2.21	日本,准直器调制X射线计数器
21	HEAO-3	1979.9.20	宇宙线和伽玛射线(50keV—10MeV)
22	Exosat	1983	ESA第一颗X射线天文卫星
23	TENMA(ASTRO-B)	1983.2.20	日本,X射线天文卫星
24	Ginga(ASTRO-C)	1988.12.17	日本,高分辨X射线谱仪以及伽玛暴观测

25	AKARI(ASTRO-F)	1988.12.17	日本第一颗红外天文卫星
26	Hipparcos	1989.8.8	ESA 卫星,主要测量恒星的位置,运动
27	Granat	1989	前苏联,低能伽玛
28	COBE	1989.11.18	测量早期宇宙弥漫红外和微波辐射
29	ROSAT	1990.6.1	德国、美国和英国联合研制,X射线
30	ASTRO 1& 2	1990.12.2	在航天飞行搭载,可重复飞行主要在紫外波段
31	BBXRT	1990.12.2	搭载航天飞机,第一台空间聚焦望远镜,能区 0.3—12keV
32	CGRO	1991.4.5	高能伽玛射线天文台
33	EUVE	1992.6.7	极紫外 70 – 760 Å
34	DXS	1993.1.13	主要测量银河系弥漫 X 射线谱
35	ASAC(ASTRO-D)	1993.2.20	日本,空间 X 射线天文首次使用 CCD;首台具 有宽波段成像、能谱能力的天文卫星
36	ISO	1995.11.17	ESA 卫星,红外
37	RXTE	1995.12.30	X 射线时变天文卫星
38	BeppoSAX	1996. 4.30	意大利等,0.1 – 200keV
39	HETE-1	1996.11.4	多波段伽玛暴天文小卫星,失败
40	SAC-B	1996.11.4	阿根廷与美国合作卫星,X射线,失败
41	ORFEUS-SPAS II	1996.11.20	远和极紫外
42	HALCA	1997.2.12	日本,空间射电,与地面射电配合
43	IEH-3	1998.10.29	国际合作,7个搭载仪器,极紫外
44	Leonid MAC	1998.11.17	多飞行器仪器联合观测流星
45	SWAS	1998.12.6	亚毫米波天文卫星
46	WIRE	1999.3.4	宽视场红外
47	FUSE	1999.6.24	远紫外谱仪
48	HETE-2	2000.10.9	探测伽玛暴小卫星
49	WMAP	2001.6.30	微波背景各项异性探测,宇宙学
50	CHIPS	2003.1.12	宇宙热星际等离子谱仪,90 – 260Å
51	GALEX	2003.4.28	星系演化,紫外
52	GP-B	2004.4.20	检验爱因斯坦广义相对论
53	Kepler	2009.3.6	系外行星
54	WISE	2009.12.14	宽视场中红外巡天



中国科学院

表2 还在运行的主要空间天文项目(除特别注明外,都是美国NASA的项目)

序号	卫星名称	发射日期	说明
1	HST	1990.4.24	携带紫外、可见光、红外的大型空间空间望远镜
2	Chandra	1999.7.23	软X聚焦大型望远镜
3	XMM-Newton	1999.12.10	ESA,X射线聚焦。大型望远镜
4	INTEGRAL	2002.10.17	欧美多国联合研制,伽玛射线天文台
5	Spitzer	2003.8.25	红外天文望远镜
6	Swift	2004.12.20	多波段伽玛暴观测
7	Suzaku(Astro E2)	2005.7.10	日美合作,0.2—600KeV
8	AGILE	2007	意大利 高能伽玛射线天文卫星
9	Fermi	2008.6.11	伽玛天文台
10	Herschel	2009.5.14	远红外和亚毫米波段,早期、最遥远恒星和星系
11	Planck	2009.5.14	宇宙背景辐射
12	NuSTAR	2012.6.13	高能X射线,核谱仪
13	MAXI	2009	日本,国际空间站X射线巡天实验
14	WISE	2009	美国,红外巡天小型天文卫星
15	RadioAstron	2011	俄罗斯,欧洲多国、美国,空间射电 VLBI
16	Gaia	2013.12.19	ESA 卫星,精确测量恒星位置与速度,绘制三维星图
17	LOT	2013.12	中国,月基望远镜

表3 天文学研究获得的诺贝尔物理学奖

获奖年	获奖人	获奖天文发现	最初研究目的	研究类型	成果产生国家	是否预期结果	评论
1936	Victor Franz Hess	宇宙线	用热气球研究地球放射性随高度的下降	观测	奥地利	完全相反	第一次使用气球离开地面观测放射性
1967	Hans Albrecht Bethe	发现恒星的能量产生机制	核反应理论	理论	美国	不是	核天体物理交叉学科
1974	Antony Hewish	发现脉冲星	研究星际射电闪烁现象	观测	英国	没有关系	使用了当时最好的射电望远镜
1978	Arno Penzias, Robert Woodrow Wilson	发现宇宙微波背景辐射	试图去掉天线的噪声	观测	美国	没有关系	建造了世界上最灵敏的射电天线,竭力搞清所有噪声的来源



1983	Subramanyan Chandrasekhar	发现白矮星结构和演化机制	研究广义相对论的简并电子气的性质	理论	英国	不是	在船上没有杂事可以专心思考,有勇气挑战权威
1983	William Alfred Fowler	发现宇宙化学元素的合作机制	试图否定宇宙大爆炸模型	理论	美国	完全相反	坚持独立的学术思想,精益求精的理论计算
1993	Russell A. Hulse, Joseph H. Taylor Jr.	发现引力波辐射的证据	研究中子星的性质	观测	美国	没有关系	使用了最好的脉冲星观测射电望远镜
2002	Raymond Davis Jr., Masatoshi Koshiba	发现宇宙中微子	研究质子的衰变	观测	美国、日本	没有关系	建造了世界上最灵敏的大型地下探测器,捕捉所有能够探测到的信号
2002	Riccardo Giacconi	发现新类型的宇宙X射线源:中子星和黑洞	观测恒星的X射线辐射	观测	美国	没有关系	突破了地球大气层的束缚,建造了世界上最灵敏的空间X射线望远镜
2006	John C. Mather, George F. Smoot	发现宇宙微波背景辐射的各向异性	研究宇宙微波背景辐射的各向异性	观测	美国	是	突破了地球大气层的束缚,建造了世界上第一个宇宙微波背景辐射巡天空间望远镜
2011	Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt, Adam G. Riess	发现宇宙加速膨胀、暗能量存在的证据	研究宇宙减速膨胀	观测	美国、澳大利亚	完全相反	使用了世界上最强大的地面和空间光学望远镜,不受已有主流模型的束缚

表4 科学发现的必然性的三个要素

要素	内容	要求	例子
项目提出:确保成功的好目标	仪器指标和产出必须量化	重要的目标加上可行的实现途径,确保项目不会一无所获	COBE卫星发现了微波背景辐射的各向异性:和主流理论模型的预言一致。但是这种情况在天文发现中极少
仪器设计:确保具有新科学发现能力	仪器指标量化、定性论证新科学发现能力带来的产出	在某些参数空间必须有超越以前仪器的能力,确保具有新的科学发现能力	所有获得诺贝尔物理学奖的天文观测仪器都具有前所未有的新科学发现能力
获取结果:严谨求实、开放创新	做好“事后诸葛亮”	对领域的全面理解加上突破常规的新思想	除COBE卫星之外,几乎所有其他的天文观测研究获得的诺贝尔物理学奖的成果都不在项目的预期科学目标之列



中国科学院

## Astronomy in the Space Era: From Space Astronomical Observations to Nobel Prizes in Physics

Zhang Shuangnan

(Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** The first Nobel prize in physics was awarded to the discovery of X-rays that heralded the modern physics, following which abundant Nobel prizes were awarded to discoveries related to X-rays. One century later, the first Nobel prize in physics from space astronomy was awarded in 2002 to the breakthroughs in space X-ray astronomy, which opened a new windows in the observing the universe. For about half century since the discovery of the first cosmic X-ray source in 1962, about 70 space-crafts carrying astronomy instruments have been launched and operated, which have tremendously improved our understanding of the universe and fundamental laws of physics. Then in 2006, the Nobel prize in physics was awarded to the precise measurement of the blackbody spectrum of cosmic microwave background radiation and the discovery of its space anisotropy made with the COBE satellite. In 2011, the Nobel prize in physics was awarded to the discovery of the accelerating expansion of the universe, for which the famous Hubble Space Telescope made some important contributions. Therefore, in the beginning of the new century the two Nobel prizes in physics have been awarded to the discoveries of space astronomy observations, which also contributed significantly to the third one; this situation is quite similar to the contributions of the discovery of X-rays to the Nobel prizes in physics in the beginning of the 20th century. Through the analysis of the three Nobel prizes and all other Nobel prizes in physics awarded to discoveries of astronomy observations, we find that essentially all these discoveries were either not the original scientific goals of those projects, or even just opposite to that, except the COBE case. Finally, we discussed the serendipity and predictability of major astronomy discoveries, which are useful for China's space astronomy in the rapid, however, initial stage of development.

**Keywords** space astronomy, Nobel prize in physics, X-ray, cosmic microwave background

**张双南** 中科院高能物理所粒子天体物理中心主任,中科院粒子天体物理重点实验室主任,兼任中科院国家天文台空间科学部首席科学家和X射线成像实验室主任、中科院新疆天文台研究员和国防科技大学教授。曾入选教育部“长江学者”奖励计划和主持基金委杰出青年基金,获意大利Ferrara大学“哥白尼科学家奖”,以“溯及既往”方式入选中组部“千人计划”并被授予“国家特聘专家”称号,“973项目”首席科学家,载人航天二期有效载荷空间天文分系统首席科学家和领域论证组组长,中科院空间科学战略规划研究组副组长和空间天文领域负责人。发表SCI论文200余篇,总引用超过5 500次。  
E-mail: zhangsn@ihep.ac.cn