

望远镜和天文学 400 年的回顾与展望*

苏定强^{1 2 †}

(1 南京大学天文学系 南京 210093)

(2 中国科学院国家天文台南京天文光学技术研究所 南京 210042)

摘要 联合国已宣布 2009 年为国际天文年,以纪念伽利略开始用望远镜观测天体 400 周年.作者将 400 年望远镜和相关技术的发展分为四个里程碑,讲述了它们的出现和随后的发展,介绍了中国已完成的和正在研制中的望远镜,作者支持未来 10 年中国再上三个大项目;作者紧密联系天文学和物理学上的重大学说总结了 400 年天文学的主要成就;作者赞同未来研究的重点应是暗物质和暗能量,尤其是暗能量的研究.

关键词 天文学,望远镜,国际天文年,天文学史,中国天文学,天文学的成就,暗物质,暗能量

Telescopes and astronomy : A 400-year retrospect and future prospects

SU Ding-Qiang^{1 2 †}

(1 Department of Astronomy, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

(2 The Nanjing Institute of Astronomical Optics and Technology, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042, China)

Abstract The year 2009 has been declared the International Year of Astronomy by the United Nations, to mark the 400th anniversary of the first observation of celestial bodies by means of a telescope, conducted by Galileo Galilei. In this paper the author identifies four milestones in the development of telescopes and relevant technologies during the past 400 years, then discusses each milestone and its subsequent developments. The paper proceeds to describe the telescopes that have been completed in China as well as those that are being developed. The author supports the development of three new telescope projects in China in the next decade. The author offers a summary of the achievements in astronomy over the past 400 years in terms of their close relationship to fundamental theories of astronomy and physics. For the future, the author believes that dark matter and dark energy, especially dark energy, should be the most important field of research.

Keywords astronomy, telescope, International Year of Astronomy, history of astronomy, Chinese astronomy, achievements in astronomy, dark matter, dark energy

联合国已宣布 2009 年为国际天文年,以纪念伽利略开始用望远镜观测天体 400 周年,本文专门为此而写.

1 四个里程碑及它们随后的发展:开始用望远镜观测天体,分光术的发明,射电天文学的诞生,全波段天文学时代的到来

1.1 开始用望远镜观测天体和光学望远镜的发展^[1]

望远镜的发明有几种不同的说法,一般讲,1608 年荷兰眼镜商(匠)汉斯·利普赫(Hans Lipperhey)(此处的人名和译名按 2008 年 10 月 15 日起在北京

天文馆由意大利佛罗伦萨科学史博物馆(IMSS)策划主办的《伽利略望远镜——改变世界的工具》展览上的材料)发明了望远镜.1609 年,消息传到伽利略那里,他很快就研制出望远镜,并用它开始了对天体的观测.到 1609 年底或 1610 年 1 月初,伽利略先后制造过 4 架望远镜,都是折射望远镜,物镜是正透镜,目镜是负透镜,成正像,视场小,最后一架物镜有效口径为

* 本文曾于 2008 年 6 月 26 日在中国科学院第 14 次院士大会数学物理学部学术年会大会、2008 年 8 月 29 日在中国天文学会学术年会大会和一些其他单位报告过

2008-10-06 收到

† Email: dlqsu@nju.edu.cn

3.8cm 焦距 169cm, 30 倍。从 1609 到 1611 年间,伽利略用这些望远镜先后发现月面是粗糙的,有山和谷,木星有 4 颗卫星,银河中有许多星星,金星有盈亏和太阳有黑子,从而开创了天文学研究的新时代。

人眼瞳孔最大时直径只有 8mm,分辨角约 1 角分,只要望远镜的放大率足够,使出射光瞳的直径小于 8mm,望远镜物镜收集的光就能全部进入眼睛,就能看到暗弱得多的天体,望远镜的另一个作用是放大天体的视角,看清天体的细节。望远镜的放大率等于物镜焦距除目镜焦距,只要用焦距短的目镜就可得到高的放大率,但望远镜的分辨率不仅取决于放大率,更重要的是它受限于(1)光学系统的像差;(2)面形误差(要获得接近理想的衍射像,波像差的均方误差应小于 $\lambda/14$, λ 是波长);(3)大气视宁度;(4)衍射极限(可以突破,但有限制,这里不讨论),衍射造成的分辨角 $\theta = 1.22\lambda/D$ (按习惯,本文中又常用另一个名词——分辨率,它是和分辨角成反比的一个量), D 是望远镜的口径,所以增大口径有双重意义:既收集更多的光,又提高分辨率(衍射是主要限制时)望远镜的发展史,就是沿着将望远镜的口径越做越大这条主线。

在 1609 年后,牛顿制成反射望远镜前,先后有人提出过两种很好的反射望远镜光学系统,对其中后一种还进行了制造,但镜面加工得质量太差,没有成功。1668 年,牛顿制成了第一架反射望远镜,物镜口径 2.5cm,焦距 16cm,31 倍。从此,折射望远镜和反射望远镜就平行发展。

400 年的发展中望远镜的口径越做越大,设计和加工的质量越来越好,并且选择大气视宁度好的地方来建立天文台,安置望远镜。除伽利略、牛顿外,许多著名科学家参与了望远镜的研究和制造,如:开普勒、笛卡尔、惠更斯、赫歇尔(F. W. Herschel)、高斯、夫琅和费、史瓦西(K. Schwarzschild)等。

赫歇尔制造过数百架反射望远镜,最大的一架口径 1.22m,焦距 12.2 m。他发现了天王星。他用视星等定距离,计算不同方向、不同距离(视星等)处恒星的密度,得出银河系是一个扁平的盘状系统的结论。

1897 年,在美国叶凯士天文台安装了当时最大的折射望远镜,口径 1.02m。由于炼不出高质量大口径的光学玻璃,和玻璃在紫外、红外波段的吸光,它至今仍是世界最大的折射望远镜。更大的望远镜都是反射望远镜,还有一类折反射望远镜,由透镜和反射镜组成,因透镜较薄,最大的口径为 1.34m)。

1918 年,在美国威尔逊山天文台安装了当时最

大的 2.54m 望远镜。1924 年,哈勃(E. P. Hubble)用它证明了旋涡星云是银河系之外的、和银河系类似的星系。1929 年,哈勃又用这架望远镜发现了河外星系谱线红移大致同距离成正比的规律(哈勃定律)。

1948 年,美国建成了 5.08m 望远镜。1976 年,苏联建成了 6m 望远镜。望远镜的口径到了 5—6m 似乎很难再做大了。因为望远镜要对准不同方向的天体,还要对天体作跟踪观测,由于重力变化,镜面不能保持应有的精确形状,此外,镜面暴露在不能恒温的观测室中,还有温度变化引起的镜面变形,口径大,这两类变形就更严重。到上世纪 80 年代,由于技术进步,一种称为“主动光学”^[2]的技术诞生了。主动光学具体分为两种:一是薄镜面主动光学,它采用整块薄的反射物镜,工作时实时检测镜面的形状,实时对它作校正(镜子背后有很多力促动器,用来对它加力),使镜面保持精确的形状;二是拼接镜面主动光学,其反射物镜由许多小的子镜组成,每块子镜不变形(子镜小容易做到),工作时实时检测和调整各子镜的倾斜和上下,使它们保持在同一个面上(共面)。主动光学成功,使制造比 5—6m 更大的望远镜可行了,并将大大降低造价。地面上即使大气视宁度好的地方大望远镜也不能获得衍射极限的像,采用和主动光学相似的原理,实时检测被大气扰动变形的波前,实时对它作校正,就可克服大气扰动的影响。大气扰动变形的波前变化得非常快,对可见光波段,校正的时间频率需高达几百赫兹,物镜处的空间起伏也达到 10cm 左右,用物镜作变形是困难的,大气扰动的等晕区(扰动性质相似的角范围)很小,校正后的可用视场是很小的,于是就采用了在经过物镜后光束变得较细处,放置较小的变形镜来作校正,这种技术称为“自适应光学”^[3]。目前,对大望远镜,可见光波段仍有困难,但对红外波段,大气扰动变形的波前变化的时间和空间频率都显著降低,包括 1—2 μm 的波段已经成功。由于早期宇宙是当前研究的前沿,天体是高红移的,自适应光学仅用在红外波段也是有价值的。还有一种提高分辨率的办法就是把分开一定距离的数架望远镜的光引到一起,记录下干涉的结果,经过处理可以得到各望远镜最大距离对应的分辨率,这种技术在上世纪 50 年代即已用到射电望远镜中。由于这些技术的成功,一批新的、运用这些技术的大望远镜诞生了。

1993 年以来,建成了 13 架 8—10m 的大望远镜,如 Keck 天文台的 2 架 10m 望远镜,主镜由 36 块六角形子镜拼成,两望远镜相距 85m,可单独工作,也可和另外 4 架 1.8m 的望远镜共同组成一个干涉阵。欧

洲南方天文台的 VLT,它是 4 架 8.2m 的望远镜,主镜是整块的薄镜面,可单独工作,也可和另外 3 架 1.8m 的望远镜共同组成一个干涉阵,最长基线达 200m。

通过 Keck 望远镜拼接主镜的成功,给制造 30—50m 地面望远镜创造了可能。现在美国和欧洲南方天文台分别在预研 30m 和 42m 地面光学/红外望远镜。

1.2 分光术的发明^[1]

1663 年,牛顿将太阳光分成光谱。1802 年,渥拉斯顿(W. H. Wollaston)发现了太阳光谱中的暗线。1814 年,夫琅和费也发现了太阳光谱中的暗线,并对它作了详细的研究,他记录下了 576 条太阳光谱中的暗线,发现地面和行星反射的太阳光有相同的暗线,他又观测了天狼星和一些一等星的光谱,发现它们以及它们和太阳之间是不尽相同的,夫琅和费还发现太阳光谱中他称为 D 线的两条暗线,与地面钠灯中的两条亮线相当,夫琅和费的研究已经接近问题的本质。1859 年,基尔霍夫、本生阐明了谱线的本质:含有某种元素原子的气体,它的光谱中出现该元素所特有的明线(发射线),若强的连续波长的光通过该气体,则在相同的波长处出现暗线(吸收线)。可以说,夫琅和费发现了太阳光谱中的暗线是太阳光的标记;基尔霍夫、本生发现了光谱中的明线(或暗线)是发光(或吸光)元素的标记,后来发现通过谱线不仅能识别发光(或吸光)物质,还能得到许多其他信息,天体物理学的主要手段就是从谱线中提取各种信息并通过它作研究。有了光谱才能精确研究天体的化学成分和物理状态(温度、压力、磁场、电场、视向速度),这标志着天体物理学的诞生。

19 世纪 30 年代照相术发明,40 年代底片开始用到天文上,乳胶感光有累积性,能记录下比人眼看到的暗得多的天体像,便于作精密测量,还可长期保存,此后,天体像和光谱的观测,主要都采用了底片。20 世纪 70—90 年代,底片又渐渐地为 CCD(电荷耦合器件)所取代。

此后,望远镜和光谱仪(频谱仪)、辐射探测器(接收机)共同构成了天文观测的最基本的设备。

1.3 射电天文学和射电望远镜的诞生

1931 年,央斯基(K. G. Jansky)发现了来自银河中心方向的天体的(因为信号以 23 小时 56 分的周期重复,所以是天体的)无线电波,开辟了另一个电磁波窗口,标志着射电天文学诞生。

射电波长比光学波长长得多,分辨率与波长成反

比,射电望远镜的分辨率比同口径的光学望远镜要低得多,为提高分辨率,射电望远镜更需要做大,镜面面积允许的误差与波长成正比,这给制造大口径射电望远镜又提供了可能。当前,最大的单天线射电望远镜是波多黎各的 Arecibo 望远镜,面板(反射镜)是一个固定放在山谷中的直径为 305m 的大球面镜,观测时使用直径为 200m 的区域(照明区域),馈源(接收机)在空中由缆绳带动作指向和跟踪运动。J. H. Taylor 和 R. A. Hulse 就是用这架望远镜,测得了脉冲双星 PSR 1913+16 转动周期的衰减量(减小量),间接证实了引力波的存在,最大的全可动射电望远镜是美国的 Green Bank 望远镜,其面板面积为 110m × 100m,也用了主动光学技术。射电波长比光学波长长得多,也给制造干涉阵提供了方便,干涉技术在射电天文领域得到了空前的发展。有一种射电干涉阵,将它对准同一个天区,变化基线的长度(部分是借助于地球自转),接收到的信号通过逆傅里叶变换就可求得天图,这称为综合孔径射电望远镜,这种技术的创始人之一 M. Ryle 获得了诺贝尔物理学奖。美国的甚大阵(VLA)就是这样的望远镜,它由 27 架 25m 的天线(望远镜)排列在呈 Y 形的三条臂上组成,基线的最长距离为 36km,于 1981 年建成。VLA 正在改建中,称为 EVLA,包括提高灵敏度,扩大频率范围,最终增加 8 个天线,基线的最长距离达到 350km。还有一种重要的甚长基线干涉仪(VLBI),它不是直接将各望远镜收集的电磁波聚到一起进行干涉,而是分别记录下每个望远镜的观测结果和精确的时间(相当于记录下了位相),通过后处理得到干涉结果,基线可长达几千公里,分辨率超过光学望远镜,如美国的 VLBA,它由 10 架 25m 的天线组成,最大跨距为 8000km。

射电波能使我们透过尘埃观测到银道面上比光学观测远得多的范围(早期,银河系旋臂就是通过中性氢的 21cm 线观测的),使我们透过尘埃观测到较深的恒星形成区,观测到银河系和其他星系的近核区。射电星系、射电星、类星体、脉冲星、超新星遗迹、星际气体在射电波段都有辐射。很多分子谱线在毫米、亚毫米波段。中性氢的 21cm 线对研究早期宇宙(此时它已红移到米波)有重要意义。VLBI 是高精度天体测量和地球板块运动测量的重要仪器。射电望远镜又是深空探测的重要设备。射电天文学取得了辉煌的成就,例如上世纪 60 年代天文学四大发现——类星体、脉冲星、微波背景辐射、星际有机分子都是射电天文学取得的。

国际上,由 64 架 12m 望远镜组成的毫米波、亚毫

米波阵 ALMA 正在研制中. 总面积为一平方公里的射电望远镜阵正在计划中.

1.4 空间观测设备和全波段天文学时代的到来

大气除了扰动影响分辨率外, 对天文观测还有两大害处: 一是大气有辐射(在红外区更严重)和散射; 二是吸收和反射电磁辐射, 波长 $< 350\text{nm}$, $20\mu\text{m}$ — 1mm 的辐射几乎全被吸收(透不过大气), 700nm — $20\mu\text{m}$ 也只有带区(窗口)的辐射能透过, 波长 $> 30\mu\text{m}$ 则被电离层反射, 地面上不同地方, 情况是不同的, 在海拔 3000m 以上并经过精心挑选的一些地方, 情况好一些, 但仍然是相当严重的, 波长 $< 300\text{nm}$, 40 — $200\mu\text{m}$ 仍几乎不能观测.

1957 年 10 月 4 日, 苏联成功地发射了第一颗人造地球卫星, 开创了空间观测和太阳系探测(本文不包括)的新时代. 在空间可以获得各波段的、极深(极暗)的、衍射极限的像. 特别是观测可以在各个波段进行, 这种观测不仅是分工, 而往往是对同一个目标各波段的协同观测, 表明全波段天文学的时代到来了.

为了不同目的、工作在不同波段的设备是非常多的, 包括已停止工作、正在工作和计划未来发射的空间设备, 本文只能极简略地各讲几个例.

哈勃空间望远镜(HST), 口径 2.4m , 近地轨道, 不致冷, 1990 年 4 月发射, 其上装有 5 台仪器, 覆盖波段为 0.115 — $2.5\mu\text{m}$, 得到过大量深的、高分辨的天体像, 相当一部分是早期宇宙星系形成时期的. 1989 年发射的宇宙背景探测器(COBE), 精确测得微波背景辐射谱确是黑体谱, 也粗略地测得了它的涨落. 1995 年发射的太阳和太阳风层探测器(SOHO), 装有 12 台仪器, 观测太阳从内部、低层大气、高层大气(日冕)到太阳风的广阔范围, 在地球、太阳之间, 在离地球 150万 km 的 $L1$ 点附近(在此点, 望远镜和地球、太阳的关系是不变的) 24 小时监测太阳活动. 1999 年发射的 Chandra X 射线天文台(望远镜), 获得了大批高分辨像和新的 X 射线源, 黑洞候选者、高温气体、高能过程的源都是 X 射线源. 2003 年发射的 Spitzer 空间望远镜, 口径 85cm , 工作波段为 3.6 — $180\mu\text{m}$, 属红外波段, 红外是研究恒星形成和星际介质的重要波段. 刚于 2008 年 6 月 11 日发射的 γ 射线大面积空间望远镜(GLAST), 其覆盖能段为 30MeV — 300GeV , 研究极端高能过程(包括黑洞的喷流、 γ 暴、暗物质组分), 也研究太阳耀斑、脉冲星和宇宙线起源.

1998 年 B. P. Schmidt^[4]和 S. Perlmutter^[5]分别领导的两个组, 以 Ia 超新星作为标准烛光, 发现宇宙

膨胀是加速的, 使用的就是哈勃空间望远镜、一些 3 — 4m 的望远镜和 Keck 望远镜、欧洲南方天文台的 VLT.

国际上, 欧洲空间局的项目赫歇尔空间天文台, 是一架口径为 3.5m 的远红外、亚毫米波望远镜, 波段 60 — $670\mu\text{m}$, 发射到 $L2$ 点附近(与 $L1$ 点相当, 只是在外侧), 已推迟到 2009 年初发射. 美国正在研制的下一代空间望远镜 JWST, 其口径为 6.5m , 采用拼接主镜, 波段为 0.6 — $28.5\mu\text{m}$, 致冷, 它将于 2011 年发射到 $L2$ 点附近. 欧洲空间局的新的天体测量卫星 GAI-A 将测定直到 20 等(约 10 亿颗)恒星的精确位置、距离、运动(包括视向速度)、星等, 它将于 2011 年发射到 $L2$ 点附近. 还有探测类地行星的 TPF、Darwin 和为了其他目的的许多别的项目.

下一代地面和空间望远镜的主要科学目标是: 观测经过黑暗时期后第一代星系的形成, 它们的红移 $z = 5$ — 20 , 主要辐射移到了红外区; 观测早期宇宙中的中性氢, 此时它的 21cm 谱线已移到米波; 恒星的形成, 银河系和近邻星系的近核区, 用的主要波段是射电和红外; 黑洞、高能过程、极端高能过程的研究, 需要 X 波段、 γ 波段; 类地行星的探索; Kuiper 带中的天体. 暗物质和暗能量的研究常常是通过观测资料的分析得到的.

2 我国已完成的和研制中的望远镜, 支持未来 10 年再上三个大项目

首先要说明, 本节中没有包括台湾的工作.

上世纪 60—90 年代, 我国研制了一批天文观测设备, 其中包括 2.16m 望远镜、 1.56m 望远镜、 1.26m 红外望远镜、米波综合孔径望远镜、甚长基线干涉仪(VLBI)、 13.7m 毫米波望远镜(望远镜本体是中美联合研制的)、太阳磁场望远镜、光电等高仪、人卫激光测距系统等. 这些仪器是我国老一代天文学家、工程专家和工人在艰苦条件下自力更生研制成功的. 龚祖同、王绶琯、叶叔华等前辈科学家领导和参与了部分仪器的研制. 这些仪器中有不少创新, 特别是太阳磁场望远镜、光电等高仪、 2.16m 望远镜的光学系统. 这些望远镜至今仍然是我国天文观测的主力仪器(向英国订购的 2.4m 望远镜, 已于 2008 年 4 月通过验收, 下一步也会是主力仪器之一).

大天区面积多目标光纤光谱望远镜(LAMOST)是经国家计委立项, 已处在精调和试运行阶段的国家大科学工程^[6,7]. 王绶琯和苏定强提出了这个望远镜

的初步方案. 这是一架特殊的(会主动变化形状的)反射 Schmidt 望远镜. 第一块反射镜 M_A 由 24 块对角线长 1.1m 的六角形子镜拼接成, 球面镜 M_B 由 37 块对角线长 1.1m 的六角形子镜拼接成, 通光口径 3.6—4.9m, 视场 5° , 望远镜固定地沿南北方向安放在地面上, 天体经过子午圈前后作 1.5 小时的观测, 观测时仅 M_A 和焦面作转动. 焦面上设置 4000 根光纤, 联接到 16 台光谱仪, 作光谱观测. 光谱是天体物理研究最重要的资料, 得到有缝光谱(有缝光谱是指有入射狭缝的光谱仪拍摄的光谱, 这样, 光谱的分辨就不受大气扰动的影响, 能得到更高的分辨率, 同时大大降低夜天光的影响, 另外, 这样的光谱仪可拍摄比较光谱, 能更准确地确定天体谱线的波长)的天体数目仅约为记录下位置的天体的万分之一. LAMOST 的主要目的就是获取大量天体的有缝光谱, 作星系红移巡天, 银河系结构研究和多波段巡天的交叉证认等, 它将会对宇宙学、暗能量、宇宙大尺度结构、高红移天体、Ia 型超新星、银河系结构、太阳系外行星等领域的研究作出重要的贡献. LAMOST 中第一块反射镜 M_A 既要使不同方向的光反射到球面镜 M_B 方向, 同时要改正 M_B 的球差, 对不同方向的天体(包括同一个天体在观测过程中), 要求的 M_A 面形是不同的, 按传统, 这样的光学系统是不能实现的, 而在 LAMOST 中, 创造性地将主动光学用在这里, 实时改变 M_A 的面形, 使它得以实现. 技术上另一个重要的创新是分区并行的光纤定位系统, 更换天区时各光纤能同时迅速地对准新的目标. 以崔向群为首的工程专家和天文学家为这个项目的研制作出了最主要的贡献, 他们花费了十几年心血, 攻克了其中的各项关键技术并有多项创新, 这些技术不仅对 LAMOST 的研制且对今后我国研制巨型光学/红外望远镜有重要意义. 2008 年 8 月底, LAMOST 总装完毕, 10 月 13 日已达到在一次曝光中能获得约 3000 条(即约 3000 个天体)的光谱. 2008 年 10 月 16 日在国家天文台兴隆观测站隆重举行了 LAMOST 落成典礼. LAMOST 的研制成功使我国的望远镜上了一个新台阶. LAMOST 是一架独特的望远镜, 是当前世界上最大的大视场望远镜, 也是当前世界上光谱观测获取率最高的望远镜.

500m 口径球面射电望远镜(FAST)^[8]是 2007 年国家发展和改革委员会批准立项的另一个大项目, 其反射面板的基本形状是一个直径为 500m 的球面, 它将固定安放在贵州黔南州平塘县的大窝凼洼地(喀斯特洼坑)中, 观测时使用直径为 300m 的区域(照明区域)随着天体的周日运动, 照明区域在 500m 的大球

面上移动. 它和 Arecibo 射电望远镜重要的不同是: 照明区域将实时地变形成抛物面, 也就是说, 它用的是一个主动的、不断变形的面板, 这样就不存在消球差的问题(馈源处始终没有球差). 由此带来的好处是: 只要面板来得及变化, 面板的曲率半径可以尽量短, 观测的天区就大, FAST 可达到天顶距 40° (甚至 60°), 而 Arecibo 只能到天顶距 20° . FAST 的工作频率为 70MHz—3GHz(未来可升级到 8GHz). 望远镜的指向、跟踪由馈源的空间运动来实现, 由于缆绳在风荷载下的震动, 馈源舱内需装置二次精调系统. 主动面板和馈源舱运动是 FAST 的两大关键技术. FAST 将于 2008 年底或 2009 年初开工, 耗时 5 年半, 2014 年开工. FAST 建成后将是世界上最大的射电望远镜. FAST 的科学目标是: 中性氢线巡天, 脉冲星研究, 分子线观测, 地外文明搜索(SETI), 深空探测的地面支持. 以南仁东为首的一批天文学家和工程专家已为这个项目花费了十几年心血, 对其中的各项关键技术作了预研究.

从 LAMOST 和 FAST 中看到, 中国专家创造性地发展了主动光学, 用它产生了新的动态的光学、射电望远镜系统.

硬 X 射线调制望远镜(Hard X-ray Modulation Telescope, HXMT)^[9]是我国的一颗工作于硬 X 射线能区(20—200keV)的天文卫星, 已正式列入计划, 将于 2010—2011 年发射, 它将是世界上灵敏度和空间分辨本领最高的硬 X 射线望远镜. 它将完成硬 X 射线巡天, 发现大批高能天体和高能辐射现象, 并对黑洞、中子星等进行高灵敏度定向观测, 推进人类对极端条件下的高能天体物理学、粒子加速和辐射过程的认识. 对于研究天体极端条件下的高能过程, 硬 X 射线比 X 射线更重要, 但硬 X 射线源的定位和成像比 X 射线源困难得多, HXMT 的工作原理是基于我国李惕碛和吴枚 1992 年建立的创新的直接解调方法. 硬件方面也是成熟的. 现已完成有效载荷系统地面样机研制, 成功地进行了气球飞行检验. 我国成熟的“资源二号”卫星平台基本能满足 HXMT 的需要. HXMT 不仅将实现我国空间天文卫星零的突破, 并且会对高能天体物理学作出重要的贡献. 以李惕碛为首的一批天文学家和工程专家已为这个项目花了十几年心血, 对其中的各项关键技术作了预研究.

空间太阳望远镜(SST)^[10]是艾国祥等提出的一个创新的空间项目. 这个项目已经过十多年的预研, 各项关键技术几乎都已解决, 如果发射将会在太阳活动区磁场和速度场的精细结构和演化, 耀斑的储能、

爆发、太阳风的形成等方面取得重要成果。这是正式列入计划的预研项目，希望它能够尽早实现，对我国，近期发射两颗天文卫星是不算多的。

我国正在研制中的三个大项目 LAMOST、FAST、HXMT 和 SST 都是自主创新的，它们是我国下一步天文研究的主力仪器，作者相信通过这些仪器将对天文学作出突出的甚至重大的贡献。作者不反对参加一些国际合作的大项目，但我国自主研制天文仪器的这条路仍应当继续下去，不要中断。

作者支持未来十年我国再上三个大项目：一架 15—30m 的光学/红外/亚毫米波望远镜，一架 80—100m 全可动的射电望远镜和一个空间项目（这是极重要的，具体请其他专家考虑）。其中 15—30m 的光学/红外/亚毫米波望远镜，是崔向群等和我设想的，它可在光学、红外、亚毫米波三个波段工作。国外已经发现南极冰穹 C (Dome C) 是地面上最好的台址，要比现有的好得多，我国科考队 2005 年在国际上首先到达南极冰穹的最高点 Dome A，作为台址它很可能比 Dome C 更好，我国应当积极利用这一机遇。当前，以姚永强为首的选址组正在我国西部非常艰苦的地区选址，希望他们也负责起南极 Dome A 的选址工作，最后，在 Dome A 或我国西部选定一个优秀的台址。在我国新疆建一个口径为 80—100m 的射电望远镜，是王娜建议的，我赞同。它是全可动的，观测的目标可达天顶距 85° ，用主动光学技术，一期工作到 7mm (43GHz)，二期到 3mm (100GHz)，在新疆不难找到电波干扰低、能工作到 3mm 的台址。它不仅能做很多天体物理工作，而且将成为我国 VLBI 网的一个重要成员，也将是我国今后太阳系深空探测的重要设备。15—30m 的光学/红外/亚毫米波望远镜和 80—100m 的全可动射电望远镜，是通用型大设备，能适应多种课题。

3 400 年天文学的主要成就

(1) 人类凭肉眼看到的恒星只有 6000 多颗，现在记录下的恒星和星系约 10^{10} 颗；

(2) 天体位置，目视的测量精度约 1 角分，现在约 10^{-4} 角秒；

(3) 通过光行差的发现和三角视差的测定，更精确地验证了哥白尼学说；

(4) 精确地检验了牛顿力学，把它推向巅峰，接着又发现了它的限制；

(5) 验证了爱因斯坦的广义相对论，并在继续验

证中；

(6) 确立了天体演化的概念，系统地建立了恒星演化理论；

(7) 观测到并研究了多种天体的剧烈活动；

(8) 发现了太阳系外的(候选的)行星系统，累计已超过 200 个；

(9) 人类的认识由太阳系扩大到银河系，再扩大到河外星系，甚至整个宇宙；

(10) 启发并验证了热大爆炸宇宙学。

这里总结的天文学的主要成就，也可以说是天文学的价值或天文学的意义。

应当说明，以上这些成就绝大部分是通过望远镜观测取得的，至于望远镜和技术方面的主要成就在前面已详细讲过，上面 10 点中就未再包括。下面对以上 10 点主要成就中的部分再作一些补充：

(1) 如果用望远镜加 CCD，在太空作长曝光，记录下的星和星系还会多得多；

(2) 这是 VLBI 技术的贡献，下一步空间光干涉天体测量将获得更高的精度；

(3) 在第谷目视观测基础上总结出的开普勒定律，已对哥白尼日心说作了有力的支持，望远镜发明后，光行差的发现和三角视差的测定，更精确地验证了哥白尼学说，三角视差已成为天文学上一切距离测定的基础；

(4) 这里牛顿力学指的是牛顿万有引力定律和牛顿运动第二定律。开普勒定律就很好地验证了牛顿力学，牛顿力学修正了开普勒定律。用了望远镜后，天体位置的测量精度大为提高，对牛顿力学作了极精确的检验。1846 年，根据天王星运动的偏离，在按牛顿力学计算出的预期位置上发现了海王星，更把牛顿力学推到了巅峰。以后，就是计算出海王星位置的勒威取 (Urbain Le Verrier) 为了探索水内行星，发现了水星近日点进动，他按此计算了水内未知行星的位置，但始终没有观测到，当时人们认为牛顿力学是绝对精确的，是天文学上首先发现了它的问题(限制)。需要说明，这里发现的并不是高速运动中牛顿力学的限制，而是牛顿万有引力定律用在较强引力场(靠近太阳)中的限制；

(5) 广义相对论的验证主要是由天文观测进行的，最早是根据爱因斯坦场方程的史瓦西解成功地解释了水星近日点进动，接着是利用日全食的观测，验证了引力场中光线弯曲的量是符合广义相对论的，稍后，又由天狼星 B (一颗白矮星) 观测到了谱线的引力红移；上世纪 70 年代，通过对脉冲双星 PSR 1913 + 16

转动周期衰减的测量,间接证实了引力波;有关广义相对论的验证还在继续中;

(6) 在生物进化论之前,康德、拉普拉斯就提出了太阳系形成的假说,现在,天文学家已建立了恒星演化学说:分子云引力收缩形成恒星,恒星的核心区进行的热核聚变产能,並产生热压和辐射压与引力抗衡;恒星晚期核燃料枯竭,星体在引力作用下塌缩,形成致密星(白矮星、中子星、黑洞);

(7) 观测到并研究了多种天体的剧烈活动,如:太阳耀斑、超新星爆发、 γ 暴、活动星系核、天体中的吸积和喷流等,这是一些巨大规模的高能、超高能过程,释放的不仅有磁能、核能,还有引力能,类星体的产能就是黑洞周围物质巨大的引力能转化为辐射,研究这些现象的高能天体物理学已成为当代天文学最重要的前沿之一;

对上面列举的第(10)点成就作一些补充:哈勃用 2.54m 望远镜发现的河外星系谱线红移(退行)规律,启发了热大爆炸宇宙学的提出,而热大爆炸宇宙学预言的微波背景辐射和原初元素核丰度,后来又为天文观测证实.热大爆炸宇宙学不仅涉及广义相对论,而且涉及核物理学和粒子物理学,通过宇宙学和天文观测提出的暗物质、暗能量已是当代天文学和物理学最重要的前沿(之一).

天文学就是这样一门涉及物理学、哲学,涉及人类思想和宇宙观的科学,并且对这些学科作出了重大贡献.

4 未来研究重点

从学科,从对象来讲,未来的研究重点是很多的;但作者赞同对暗物质、暗能量的研究,尤其是对暗能量的研究,是最重要的.

4.1 暗物质^[11]

通过原初元素核丰度的观测(测定),不仅表明了理论计算是正确的,而且求得了核子数密度与光子数密度之比,光子数密度可以由温度推出,于是就得到核子的数密度,进而求得核子物质的密度,这其中包括不发光的核子物质,它与临界密度 ρ_c 之比约为 0.04,重子物质的密度近似地与核子物质的密度相同, $\Omega_b = 0.04$.利用动力学方法和引力透镜方法测得的物质密度要比 0.04 大好几倍,约为 0.26,其中大部分不是重子物质,它的密度 $\Omega_d = 0.22$,人们称之为“暗物质”,它比重子物质多得多,它究竟是什么?目

前尚不清楚.这里“利用动力学方法和引力透镜方法测得的物质密度”指的是测得的结团物质的密度,可以想象这种物质是由某种弱作用的有质量粒子(WIMPs)组成的.

4.2 暗能量

根据暴胀理论和微波各向异性探测器(WMAP)^[11,12]等的观测,宇宙的密度 $\Omega = \rho / \rho_c$ 应当等于 1,上面已经指出 $\Omega_b + \Omega_d = 0.26$,剩下的大部分 0.74 是什么?不清楚,有人给它取了个名字“暗能量”.真空并不一定是虚无的,百年前人们就认为它充满了“以太”,量子场论认为真空是场的基态,人们自然会想到 0.74 可能是真空的能量密度.

根据弗里德曼的宇宙学原理,得到宇宙时空的度规——罗伯森-沃克(Robertson-Walker)度规:

$$ds^2 = -dt^2 + R^2(t) \left(\frac{dr^2}{1 - kr^2} + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\varphi^2 \right),$$

式中 $R(t)$ 是宇宙膨胀的尺度因子.

爱因斯坦场方程(下式中未含宇宙项):

$$R_{\mu\nu} = -8\pi G \left(T_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} T \right)$$

将罗伯森-沃克度规和均匀各向同性流体(质点群)的能量动量张量 $T_{\mu\nu}$ 代入上式,由它的 00 分量得到下式:

$$\ddot{R} = -\frac{4}{3}\pi G(\rho + 3P)R,$$

式中 R 是宇宙膨胀的尺度因子.对于物质为主的宇宙,压强接近于零,取 $p = 0$,只要 $\rho > 0$ 就有 $\ddot{R} < 0$,宇宙膨胀是减速的.如果真空能只是对能量密度加上一个 0.74,那么宇宙膨胀仍应当是减速的,但 Ia 超新星的观测(S. Perlmutter 等,1998 年;B. P. Schmidt 等,1998 年)表明,宇宙膨胀是加速的,因之,真空能还必须产生一个负的压力 p ,以使 $\ddot{R} > 0$.

设真空有能量密度 ρ_v 并有压强 $p = -\rho_v$ (这里只讨论这种最简单的情形),它的能量动量张量为

$$T_{\mu\nu} = (\rho_v + p_v)U_\mu U_\nu + p_v g_{\mu\nu} = -\rho_v g_{\mu\nu}.$$

把它加到场方程右端,由此场方程的 00 分量得到:

$$\ddot{R} = -\frac{4}{3}\pi G(\rho_m - 2\rho_v)R,$$

ρ_m 是其他物质的密度,只要 $\rho_v > \rho_m / 2$,就有 $\ddot{R} > 0$,宇宙膨胀就会是加速的.

因为加上的真空能量动量张量 $T_{\mu\nu} = -\rho_v g_{\mu\nu}$ 项与带 λ 的宇宙项相同(仅差一个常数),所以,也可以不依靠真空能而在爱因斯坦场方程中包括一个宇宙项,但不论怎样,真空能或宇宙项的本质是什么?

並沒有解决。(有两点要说明 :一是上面虽然得到的 R 值是正的(加速),但大小并不见得符合观测 ;二是对暗能量还有其他模型 ,在那些模型中 ,它的效果并不与带 λ 的宇宙项等效)。

暗能量和暗物质之和占据宇宙物质(能量)的绝大部分 ,暗能量还具有不成团和产生负压的神秘性质 ,对暗物质和暗能量(尤其是暗能量)的研究 ,很可能导致人类对物质世界认识的一次新的飞跃。

最后 ,引用一段美国科学院院士、美国芝加哥大学理论天体物理学和宇宙学教授特纳(M. Turner)的话 ,他说 :“ 虽然我们还不知道暗能量是什么 ,但可以肯定地说 ,弄清楚暗能量将会对统一宇宙间的力和粒子提供至关重要的线索 ,而弄清楚它的途径要的是望远镜而不是加速器。” 看来 ,望远镜不仅在这 400 年天文学的发展中起了重大的作用 ,它还将在今后的研究包括暗能量的研究中发挥重大的作用。

参考文献

[1] King H C. The history of the telescope , London : Charles Griffin & Company Limited , 1955

- [2] 苏定强 崔向群. 天文学进展 ,1999 ,17 :1 [Su D Q ,Cui X Q. Progress in Astronomy ,1999 ,17 :1(in Chinese)]
- [3] Devaney N. Review of astronomical adaptive optics systems and plans. SPIE ,2007 ,6584 :658407 - 1
- [4] Schmidt B P *et al.* Astrophys. J. ,1998 ,507 :#6
- [5] Perlmutter S *et al.* Astrophys. J. ,1999 ,517 :565
- [6] Wang S G , Su D Q , Chu Y Q *et al.* Appl. Opt. , 1996 ,35 :5155
- [7] Cui X Q , Su D Q , Li G P *et al.* Proc. of SPIE(SPIE , Bellingham , WA) , 2004 ,5489 :974
- [8] Nan R D. Science in China : Series G Physics Mechanics & Astronomy , 2006 ,49(2) :129
- [9] Li T P , Zhang S N , Lu F J. Chin. J. Space Sci. , 2006 ,26 Supplement 30
- [10] Ai G X , Jin S Z , Wang S *et al.* Advances in Space Research , 2002 ,29 :2051
- [11] 例如参阅 :俞允强. 广义相对论引论. 北京 :北京大学出版社 , 2000 ;俞允强. 物理宇宙学讲义. 北京 :北京大学出版社 , 2006 [See for example : Yu Y Q. An Introduction to General Relativity. Beijing : Peking University Press , 2000(in Chinese) ; Yu Y Q. Lectures on Physical Cosmology. Beijing : Peking University Press , 2006(in Chinese)]
- [12] Bennett C L *et al.* Astrophys. J. Suppl. , 2003 ,148 :1



北京欧普特科技有限公司

光学元件库—欧普特科技

欢迎访问:

www.goldway.com.cn

北京欧普特科技有限公司严格参照国际通常规格及技术指标 , 备有完整系列的精密光学零部件(备有产品样本供参考) 供国内各大专院校 科研机构 , 试验室随时选用 , 我公司同时可为您的应用提供技术咨询. 我公司可以提供美国及欧洲产的优质红外光学材料 , 如硒化锌 , 硫化锌 , 多光谱硫化锌等.



- 光学透镜 : 平凸、双凸、平凹、双凹、消色差胶合透镜等.
- 光学棱镜 : 各种规格直角棱镜 , 及其他常用棱镜.
- 光学反射镜 : 各种尺寸规格的镀铝 , 镀银 , 镀金 , 及介质反射镜. 直径 5mm—200mm.
- 光学窗口 : 各种尺寸规格 , 材料的光学平面窗口 , 平晶. 直径 5mm—200mm.
- 各种有色玻璃滤光片 : 规格为直径 5mm—200mm.(紫外 , 可见 , 红外) 及窄带干涉滤片.
- 紫外石英光纤 : 进口紫外石英光纤 , SMA 接口光纤探头 , 紫外石英聚焦探头.

地址 北京市海淀区知春路 49 号希格玛大厦 B 座#306 室

电话 010 - 88096218/88096217 传真 010 - 88096216 网址 www.goldway.com.cn

联系人 陈翎先生 施楠小姐 , 曾安小姐

E - mail kevinchen@goldway.com.cn shinan@goldway.com.cn zengan@goldway.com.cn