

今日天文世界

Astronomical World Today

王绶琯

(北京天文台名誉台长, 学部委员)

一、认识天文世界的“视觉功能”

有史以来直到伽利略年代, 人们极目力所及, 只能看到六七千颗星星。天文探测的焦点基本上集中在太阳、月亮和几颗比较亮的行星上, 范围没有超出太阳系。

1609年, 伽利略用手制的望远镜观察天空, 揭示了横亘天上的银河实际上是成千上万个恒星的集聚。他一举突破了大自然加于人体视觉能力的限制, 把浩瀚的恒星世界纳进了天文研究的视野。他还用他的望远镜披露了月亮、行星和太阳的真实面目。他是第一个创造天文工具以扩大人类视觉功能的人。他的望远镜虽然很小, 但聚光能力已经比人的眼睛强几百倍。

伽利略的这一历史功绩得力于他对同时代技术发展的敏感性。十六七世纪之交, 玻璃透镜的制造技术随着对各式放大镜的需求而日臻精致。据说当时荷兰一位眼镜商人利帕席偶然透过一前一后的两块透镜看到了肉眼无法看清的远方景物。当伽利略听到这个消息时, 立即“引进”这项技术, 投入到“观测工具”的研究, 不久后磨制出的“伽利略望远镜”便以前面所说的天文发现而载入史册。

应当提到, 就在伽利略望远镜问世的几年间, 望远镜已在不同天文学家的手中得到应用。尤其值得一提的是, 当时的另一位天文学巨人开普勒, 曾于1610年拥有一架望远镜, 并立即潜心于透镜光学研究。

还应当提到, 利帕席和伽利略都曾经用他们的望远镜技术, 贡献于各自所在国家的海防。用望远镜了望海上出现的船只, 比肉眼所能看到的要远得多。在当时, 这无疑是非常“尖端”的技术, 其时代作用堪与今天的侦察卫星相匹敌。

我们叙述这段历史, 因为它的启示包含着科

学和技术发展中交互作用的规律。天文学, 作为一门“观测的科学”, 它的发展很大程度上依靠观测工具的发展, 而观测工具的发展则在很大程度上依靠同时代其他有关技术的发展。近代天文学家步伽利略、开普勒的后尘, 无时不在他们的研究前沿上引进和消化一切可供利用的新技术, 使他们的观测工具——天文望远镜不断发展, 不断革新。今天, 光学望远镜的口径已经发展到5米级, 聚光能力达肉眼的几百万倍。而近百年来, 照相、光电、光敏半导体技术相继在望远镜上的应用, 极大地增强了“感光能力”。这是人类“视觉功能”的另一种超越。到80年代末, 用灵敏感光器件配备的大型望远镜, 辨察微弱天体的能力已超过了肉眼不下一百亿倍。

天文望远镜的这些巨大进展与同时代的科学技术进展同步。天文研究中需要探测的微弱天体的微弱程度没有止境, 因而对望远镜和探测器的要求也没有止境, 因而天文研究者跟踪新技术以发展观测工具的努力也没有止境。

近40年中这种努力取得了历史性的进展。主要体现在射电天文和空间天文手段的兴起。两者和传统的光学手段鼎足而三, 把当代天文实测推进到“全波段”的新纪元, 见图1。

在整个电磁波谱中, 人的视觉器官敏感的只有“可见光”波段, 波长范围约从0.3到0.7微米左右。图中可以看出, 这是一个比较窄的范围。可见光以外的波段, 包括无线电、红外、紫外、X射线、伽玛射线, 都只是在现代科学技术的开拓中才逐一地被发现、被认识, 并接着被发展为尖端技术而应用于生产、生活、科研等方方面面。对天文学来说, 引进这些技术, 好比是使观测者“视觉神经”的敏感范围扩展到无线电、红外、紫外、X、伽玛谱。天文学家利用这些技术, 加以再创造, 逐一产生了在各个不同波段“聚光—感光”的新型天文望远镜。

30年代,当时的无线电通讯技术为接收天体射电(无线电)创造了条件,并在一次通讯实验中偶然地收到了天体射电。历史上用这次事件来标志射电天文的诞生。隔了十多年,第二次世界大战

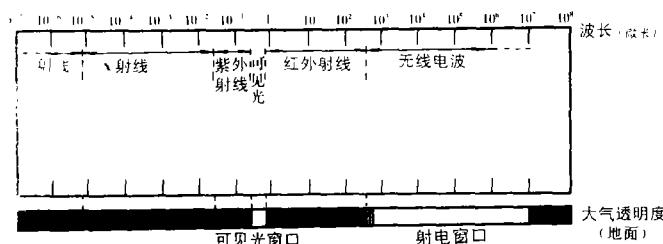


图1

后,雷达技术被移植于天文学,于是在随后的年月里,随着无线电电子学的突飞猛进,射电天文学的观测工具——射电望远镜和射电干涉仪同步飞跃,在聚“光”、感“光”、成象等方面发挥了“超级视觉”的功能。今天的精密射电望远镜系统,有效口径达100米以上,配备有极其灵敏的探测器,能够很容易地测到放在月球距离上不足1毫瓦的日光灯辐射;今天的大型射电干涉仪——“甚长基线干涉仪”,分辨天体细节的能力达万分之几弧秒,相当于能在北京辨别出放在天津上空的两根并在一起的头发丝。射电天文技术的这些成就,反过来又为同时代的“技术宝库”增添了可贵的“储藏”。

电磁波其他波段的“天文使命”开始得更晚一些。这是因为居住在地面上的观测者和天体之间隔着一层地球大气,地球大气遮挡了电磁波谱上大部分的辐射,允许通过的仅仅有一个与可见光基本上对应的光学波段和一个波长从1毫米左右到10米左右的射电波段。人们形象地把它们称为大气的“光学窗口”和“射电窗口”。处在这两个窗口以外的波段,天文观测只有到地球大气以外才能进行。图1的下半部分表明了这种情况。

大气外的天文观测从50年代的高空气球和探空火箭开始,然后随着航天技术的发展,天文卫星很快地成为空间天文的主力以迎接学科的挑战。除了远访行星和其他太阳系天体的飞船系列和一批批针对日地空间和太阳活动的卫星系列外,到80年代为止最有成就的空间项目可以由1978年发射的IUE紫外卫星和“爱因斯坦”X射线卫星,以及1983年发射的IRAS红外卫星来代表。空间天文问世,天体的全部波谱展在我们面前。今日天文观测的能力升到了以往难以企及的高度,把天文研究带到了我们将在下一节里叙述的巨大“征服和挑战”的前沿。

二、今日天文世界的认识与再认识

今天我们认识到的天文世界是一个“有机的整体”。我们的地球属“太阳系”中九大行星的一员。尽管它在浩瀚无边的宇宙中有如沧海里一粒微尘,但它所属的太阳系却是我们迄今观测所及的“行星系统”的“孤本”,而地球本身则是迄今所知的唯一繁衍着生物,尤其是高智能生物的星球。它们当然地成为当代科学关注的对象。太阳,作为太阳系的主体,是离我们最近、对人类影响最大的一颗恒星,尽管它在恒星世界中貌不出众,但却是我们唯一得以详加研究,也必须详加研究的一个目标。太阳带着地球,以及居住在地球上的我们,处在一个称为“银河系”的星系里,它离银河系中心约3万光年,以每秒钟250公里的速度绕中心飞奔。银河系的形状如图2中所示,象一块铁饼。这“饼”纵横10万光年,其中稀疏地散布着约一千亿个恒星,以及极为稀薄、但是成团成块地弥漫在整个空间中的“星际物质”。所有的恒星都是由星际物质吸聚而成,而各类恒星一生中都在不停地向星际空间抛射物质。抛射的方式大部分是持续而比较和缓,但有的表现为不同程度的“激变”;相当多的恒星在“正常”生命结束的刹那,会发生剧烈的爆炸,把自身物质的大部分猛烈地抛到四围空间。

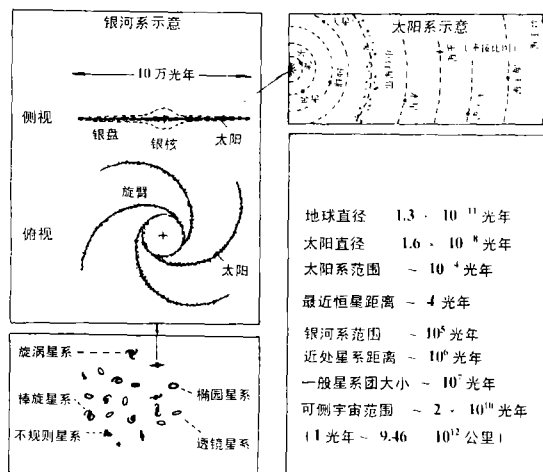


图2

银河系好比是广阔宇宙中的一个岛。我们住在这个“岛”上,可以就近领略它的“内部风光”。(可是要看到它的全貌却不那么容易!)银河系以外的星系,近一些的离我们约100万光年,远的达100亿光年以上。用现代望远镜可以观测到的星系不下10亿个,它们在空间中常常结成团,典型的“富”星系团含有数以千计的星系,占据空间范围近千万光年。1929年,美国天文学家哈勃发现,距离我们越远的星系,相对于我们的“退行速度”越快。这种现象可以解释为宇宙在膨胀。人们常用一种形象化的比喻来描述这种膨胀:设想把每个星系都当作画在玩具气球上的一个点。当气

球膨胀时,上面任何一个点上的“观测者”都会看到所有其他的点都在和他拉大距离,也就是说都在“退行”,离开愈远的退得越快。由引力理论制约的宇宙膨胀当然要比气球复杂得多。不过,从膨胀这一事实还是可以通过简单的逻辑引申出几条重要的结果:

其一是,假设我们现在看到的是正在膨胀中的宇宙,那么回过头来看,必定会有一个时候整个宇宙都压缩在一个极小的范围里,密度极大,温度极高;必定是在那个时候发生了一次“大爆炸”,启动了宇宙膨胀。由此出发,应用广义相对论和粒子物理理论,可以推断出膨胀中各个时期的宇宙物质状态,直到演变成我们今天所看到的宇宙。这是一种能够科学地描述整个物质世界的起源与发展全过程的学说,被称为“热大爆炸宇宙学”。这种宇宙学还能够根据观测来推测宇宙的归宿。

第二个重要结果是,用哈勃定律 $v=HD$ 描述的宇宙膨胀如果得到承认,那么我们就可以通过测量星系的退行速度 v 来求出它的距离 D 。这是当前用以估计远方(例如亿光年以外的)天体距离的唯一方法。天文观测所得到的仅是天体的二维形象,如果没有距离的概念,就无法判定天体的尺度、光度以及一切与之有关的物理实质,就会根本谈不上对宇宙的实测研究。用哈勃定律,哈勃常数 H 可以通过对“近”距离星系的测量定出,而退行速度 v ,在这里被认为是被测天体的光谱线波长向长波方向偏移的物理起因。这种偏移被称为谱线“红移”。这样,靠测量星系、类星体等远方天体的谱线红移,就可以求出它们的距离。

膨胀宇宙带来的第三个结果是,由于光速是一个常数,对于距离为 D 光年的天体,我们收到的它的信息在空间中恰好走了 D 年,因此所看到的是它在 D 年前的状态。如果宇宙万物的年龄从“大爆炸”时刻算起,那么我们视野里距离愈大的天体年龄就愈小。有些类星体,以及近年测到的个别星系,距离大达100多亿光年,它们的发现使我们对“幼年宇宙”得以略见一斑。我们还可以估计出热大爆炸发生的时间近似地为 $1/H$ 年以前(H 为哈勃常数)。按目前测量的 H 值,这大约是150亿到200亿年前。相应地,“可测宇宙”的边沿大约在150亿到200亿光年的范围。

热大爆炸宇宙学并不是唯一的宇宙学模型,也不是无懈可击的。但是它提供了一种可预测、可验证,因而能够接受理论和实测挑战的物理模型。

60年代射电天文的一个发现奠定了大爆炸宇宙学的主流地位。

在大爆炸发生的刹那,处于极高密度和极高温度的宇宙开始膨胀。随着膨胀,密度、温度急剧下降。借助于粒子物理理论,可以描述出,在这种

情况下,早期宇宙物质结构一步步向我们熟悉的世界演变的过程。其中特别值得一提的有两个阶段。其一是在大爆炸发生后约3分钟,这时宇宙温度已经下降到 10^9 K(K 为绝对温度单位),“冷”到了可以进行核合成。根据计算,这一时期形成的原子核中氢约占74%,氦24%,还有一些锂。轻元素的这种比例与今天测量到的相符。这被认为是大爆炸宇宙学的一种实测验证。另一个阶段是当宇宙年龄10万岁时,宇宙温度低到4000K,这时电子被原子核俘获结合成为原子,原有充满宇宙的辐射脱离了与物质的“热平衡”,表现为4000K的黑体辐射。随着宇宙的继续膨胀,此辐射仍旧充满空间,但是波长不断增长,相应的“黑体温度”不断降低。到今天成为3K左右的黑体辐射。彭齐亚斯和威尔逊于1964年用射电望远镜在微波波段测到了这种布满空间的“微波背景”。当时量出的为3.5K。这个发现为大爆炸宇宙学提供了一个关键性的验证。发现者为此获得了诺贝尔物理奖。

大爆炸宇宙学使我们的科学能够追溯到“可测宇宙”的起点,然后科学地循着它演化的轨迹,看到物质从最原始的状态演变到今天我们熟悉的内容——原子核、电子、原子、光子(辐射)……。这可以称为宇宙演化的早期阶段。微波背景辐射是这一时期的遗迹。

我们注意到,这幅早期宇宙的图景是一种理论描述。仅仅得到三项实测验证(如果把哈勃定律也算作一项的话)的支撑。但是,我们同时也注意到,迄今也还没有其他理论能够如此完满地解释这三项实测事实。

从早期宇宙出发,宇宙从以微波背景辐射为代表的均匀、各向同性的混沌状态,经200亿年,演变到今日我们在“近处”所见到的天文世界,一个成团结块、很不均匀的世界!

让我们回过头再看一看这“近处”所见的世界。从前面的叙述中可以看到,这里可以自然地分为三个不同尺度的层次,即:

行星层次:地球与太阳系行星(以及小天体);

恒星层次:太阳与银河系恒星(以及星际物质);

星系层次:银河系与“近处”星系(以及星系际物质)。

这里的“近处”指30~40亿光年以内。这是目前对星系资料作过比较系统处理的范围。

对行星层次的研究,20余年来宇宙探测器远航太阳系空间,耗资巨亿,成绩可观。但是,前面说过,地球和太阳系行星系统都属“孤本”,从宇宙整体研究的角度,寻找更多的“样本”是极其重要的。探寻邻近恒星的行星踪迹,以及搜索“地外文明”的努力一直坚持不辍。不过要取得突破尚须假以时日。

恒星层次的研究在20世纪中成果辉煌。宇宙原始气体是一切恒星的原材料。在演化过程中气体局部聚结,积聚成云。有的气体云含的是原始物质,有的则掺杂着恒星抛射出来的气体以及聚结的微尘。引力作用使气体云愈积愈密,最终坍缩成“原恒星”。原恒星继续吸积周围气体,直到中心温度达1 000万℃左右,产生了原材料中最丰富的氢转换成氦的核聚变,开始了恒星生涯。核聚变的辐射顶住了引力收缩的压力,并提供恒星发光所需的能量。恒星一生中的大部分是在“氢燃烧”的过程中度过的(太阳已在这种情况下过了50亿年,它的氢燃料还足以支持它再过50亿年)。在气体云收缩成恒星的阶段,云的自转会有一部分物质形成围绕着中心体的气体盘,盘上的物质最终集聚为行星系统。

现代物理理论可以精细地计算出不同初始质量的恒星以内部核燃烧为线索的整个演化过程,可以给出它们不同时期的外部表征和内部演变。由此描述的外部表征可以解释观测到的所有恒星的表面特性,而内部演变中最重要的一个结果是在不同阶段的核燃烧中形成了愈来愈重的原子核(氢燃烧形成氦,然后氦燃烧形成碳……)。这结合到许多星体在演化末期的大爆发(所谓的“超新星爆发”)中合成更重的元素,并把大量的内部物质抛射到了空间,就可以全面解释元素周期表中所有元素的来源。这样,在物质演化的意义上,可以把恒星演化看成是把宇宙原始物质“加工”成全部化学元素的过程。

从恒星演化理论可以推算出不同质量的各类恒星演化到末期时的归宿,即成为密度高得出奇的“白矮星”(那里一汤匙的物质重约5吨),或比白矮星还要密100万倍的“中子星”,或引力强到连光都“逃脱”不出的“黑洞”。目前,白矮星已经有了成批的实测资料;20余年来测到的近500颗“脉冲星”可说是中子星的样本;对于黑洞,目前正通过探测“X射线双星”来搜索。

“近处”星系层次的研究,目前集中了一系列重大的前沿课题。如:(1)不同形态的星系(旋涡,椭圆,不规则),它们结构上的区别的起因是一个仍须研究的基本问题。(2)星系内的恒星运动以及星系团内的星系运动都表明,恒星以及星系的整体引力远远不足以维持相应系统的聚结。这就是说至少有90%的“隐物质”在施加引力。这些隐物质的性质,其对整个演化过程的影响,以及如何进一步探测,是当前大自然对我们的一大挑战。(3)近年来研究星系的大尺度空间分布发现它们往往结成丝状或片状,有的在空间中留下“巨洞”。这种很不均匀的分布在尺度大达2亿光年时仍然非常显著。对比最近“COBE”卫星测量到的微波背景辐

射的各向同性均匀度非常之高(起伏少于几十万分之一),两者之间的矛盾可能隐伏着大爆炸宇宙学的危机。(4)超出“近处”到早期宇宙之间是长达100多亿光年的空档。在这个空间中,60年代以来探测到的为数不多的高红移、大光度的天体——类星体,活动星系……一直处在天文研究的前沿。它们演示出宇宙间极大的能量转移和物质抛射,被认为是星系早期的过渡现象。但是对它们的真正理解还有待于更多的取样和研究。

今天我们可以认为,对天文世界的认识已经有了一个连贯的科学描述。由此带来的一连串“再认识”的要求,已经又把观测能力的“再加强”提到议事日程。90年代将迎接一批空间设施,使所有波段的“聚光、感光”能力提高1至几个量级,地面上一批10米级口径的光学望远镜将接替目前4米级的任务。射电天文设备也将相应提高。同样重要的是,当前天文学开拓的巨大吸引力正在推动各种新颖思想和方法(往往并不依靠望远镜的口径)的发展,它们中突起的异军将一如以往历史所表明,使“意料之外”的进展与“意料之中”的并驾齐驱。

(责任编辑 宋义荣)

(上接第28页)

作用,能有效地改进反应途径或放松某些不利于反应的限制。因此,通过设计具有良好选择性的、能促进反应进行的超分子“试剂”,将能对催化反应的基本步骤和机制有进一步的了解,从而逐步揭开酶催化机理的奥秘。

在超分子条件下的光化学反应也同样因反应物处于特殊环境而发生变化。例如在水相中的钴离子(Co^{3+})在光照下有较大的光水合化量子产率,但当钴离子作为一底物与大环多胺接受体相络合后,其光水合化量子产率大大降低,即受体对底物起到了抑制作用。因此可以设想,通过有选择的结合可改变许多光化学反应的行为。显然这对于光电子功能材料和光化学分子器件的研究具有特别重要的意义。

从上面简要的讨论中可以看到,这门从现代生物科学进展而逐步发展起来的新兴学科,不仅为化学学科开辟了一个崭新的研究领域,丰富了化学学科,而且反过来又为生物科学中许多未能解决的重大问题提供新的解决思路,促进生物科学的发展,同时它还是新兴学科——光电子材料及分子器件的重要基础。三位对此学科作出了卓越贡献的化学家,美国的克拉姆、法国的莱恩和美国的彼德森,于1988年荣获诺贝尔化学奖。这是说明了超分子化学不仅已趋于成熟,而且还表明这一领域已在化学学科中占有重要的地位,值得引起我们的重视。

(责任编辑 宋义荣)