

月球上的天文台

Observatories on the Moon

克杰·O·伯恩斯、斯图尔特·约翰逊 等

—

沉寂的月面可能是人类研究宇宙最好的地方。月球上没有大气,极少月震,光波和无线电干扰小(尤其是月球的背面),有丰富的原材料,使它成为建立现代天文台理想的场所。月球上的天文台,其仪器的分辨率将比现今地球上的光学仪器高10万倍以上;可以检测来自宇宙深处的甚低频信号;通过研究重力波及难以捉摸的中性粒子——中微子,将开创天文学的新领域。

到目前为止,人们一直指望利用人造卫星来改善天文观测,并拟在本世纪末之前发射四种科学卫星,又称为大天文台(Great Observatories)。用这些卫星观测的电磁波谱极宽,包括光、无线电波,X射线及 γ 射线。实际上,天文学家关于宇宙的知识都是通过研究各种天体的电磁辐射获得的。每个电磁波段都能提供产生特定能量或频率的特殊物理过程的信息。这四种科学卫星是:

1. 哈勃空间望远镜(Hubble Space Telescope),1990年发射,将利用可见光谱进行观测,其分辨率差不多是地上最大的望远镜的10倍。

2. γ 射线观测站(Gamma Ray Observatory),1990年发射。它将考察发生在致密天体(例如中子星和黑洞)周围的能量过程产生的电磁辐射。

3. 高级X射线天体物理仪(Advanced X-Ray Astrophysics Facility),计划1996年发射,目的是观测银河系、活动星系、类星体的热气体及恒星大气层。

4. 空间红外望远镜(Space Infrared Telescope Facility),暂定1998年发射,用以观测星际间的冷气云,这些气云和恒星,也可能和行星的形成有关。

上述这些卫星的轨道高度都在500~600km之间,因而还存在许多严重的问题。

1. 那里环境不干净,有许多宇宙碎片云。随着空间飞行器的不断发射,碎片云的厚度每年都在增加。大部分碎片是由高速的微米级大小的物质组成的,对灵敏的卫星光学仪器及其他设备是个威胁。

2. 在这一高度,仍然有相当含量的尘埃和气体。尘埃能散射光并产生一个红外背景,影响对最微弱的宇宙红外光源辐射的观测。卫星的高速运动激发了上层稀薄大气中的原子,产生辐射谱线,干扰天文观测。

3. 大气的阻力使卫星逐渐降低轨道高度,这个过程在太阳活动剧烈期间会加剧,因为太阳的紫外线引起地球上层大气膨胀。

4. 地球本身也是辐射源,地球反射的光经散射至望远镜的光学系统,会降低观测质量。

5. 地球磁场产生低频无线电噪声,其强度远远超过宇宙源的强度。因此检测低频(公里级波长)的无线电波十分困难,而这一电磁波段正是天文学家从未观测过的。

6. 卫星沿低轨道运动,温度和重力变化都很大,这就限制了望远镜的大小,从而影响了灵敏度和分辨率。因为这种变化使镜子和抛物面天线变形,不能获得最佳图象。重新调整、稳定仪器,会浪费宝贵的观测时间。

二

一个解决上述问题的办法是提高轨道高度,比如,把望远镜送入地球同步轨道(约37 000 km高),或将仪器安置在月球(距地球384 000 km)上,来提高观测精度。但是,发射的费用也随距地球的距离的增加而增加,而增加的速度却随距离的增加而减小,将观测仪器送入同步轨道所需的燃料是送入低轨道的2.6倍;送到月球,只需再增加50%。更重要的是,对天文学来说,环境随距离的增加而大大改善。

月球是设置天文台最佳的地方。月球上可以安装大口径望远镜和用电子电路控制的、由小望远镜组成的巨型阵列,以提高天文观测的精度。两个相连的望远镜的信号是相互干涉的,因此它们又称为干涉仪。通过对信号的仔细处理,可以使分辨率达到其直径相当于两望远镜间距离的大望远镜的分辨率。在引力小的月球环境中,制造、安装复杂的结构比在地球轨道失重条件下要容易,这已为阿波罗和航天飞机的实践所证明。在月球上建造观测站,可沿用地球上的技术,因为月球上重力小,有可能建造更大的设备,比如,建造直径500m而且操纵灵活的抛物面天线或16m宽的镜面,用以观测可见光和红外辐射。

月球相当稳定,平均月震的能量只有平均地震能量的亿分之一。月震引起的月面移动,不过10亿分之一米。这种稳定性对光学干涉仪的工作十分有利。月球上几乎没有大气,所以对所有辐射都是透明的。月球有一面始终背离地球,它形成一垛巨大的墙,挡住了自然及人为的干扰源,这些干扰源使我们不可能在地球上观测低频无线电信号,甚至在绕地球轨道上观测也很困难。

还有使月球成为理想的天文观测环境的其他原因。例如,月球两极附近的某些环形山始终是背阳的。其温度大约为70K,所以热噪声很小,从而大大改善了电子、红外敏感检测仪的性能。在低温条件下,望远镜机架本身的红外辐射也大大减少,因而有利于红外敏感器的工作。

月球上原材料丰富,可以进行加工、制造建造望远镜所需的铝、陶瓷及高强度玻璃。这种玻璃的抗拉强度可以和钢媲美,而且热胀系数很小。预计到下个世纪中叶,就没有什么望远镜部件需要从地球上带去了。

三

当然,在月球上设置基地会有很多困难。比如,地球有一个使带电的宇宙线、太阳风粒子偏转而不能进入近地空间和地球表面的磁场。而月球则没有这种磁场,所以需要采取措施保护人和敏感的电子设备免受辐射的损害。

在月球上,也不断受到小流星的冲击。在地球上,因有大气层,小流星在上层大气中就陨毁了。在月球上,这种小流星就像下雨一样,以每秒十到几十公里的速度落到月面。所以,光学镜面之类的设备需有防护罩。由于月球的缓慢自转(27.3天一次),又没有空气,所以温度变化很快、很大(夜间100K,白天385K),必须有防护措施以减小其对望远镜工作的影响,最好是采用复合材料,比如用热胀系数很小的石墨环氧树脂作望远镜材料。在

月面上进行各种活动,如采矿、制造及定期发射等也会污染月球大气,干扰天文观测。不过,月球上的污染主要在采掘和发射设施的附近,这种活动产生的大气原子很快被土壤吸收或被太阳风带走。因此,观测站设在离这些活动地区10~100km以外,就可基本上不受这种污染的影响。

四

最初的月球观测站规模不会太大,但即使只用一个1m直径的光学望远镜也可以作许多非常有价值的工作。因为在这里没有大气的影响。这种望远镜的分辨率可达0.1''(弧秒),比地面上最大的设备还高。月球上的望远镜可以观测紫外和红外辐射,从而可研究各种天文现象。大视场望远镜能绘制出整个天空的星图。这种望远镜也能对太阳活动进行监测,预报太阳宇宙线的爆发。有人建议建造一个1m直径的光学望远镜,用以监测变星和类星体的亮度变化,亮度测量需要的曝光时间不到地球上的1%,而且测量可连续进行,不因昼夜和气候变化而中断。

γ 射线爆发检测器及X射线可变性监测仪也是适合月球环境的仪器。可用它们搜索天空中短暂莫测的 γ 射线爆发(历时仅0.01~80s),其强度比背景大几百或几千倍,关于 γ 射线爆发源,人们知道得甚少,主要原因是天文学家无法识别、确定这种爆发源的位置。通常的 γ 射线检测器定位只能准确到几度,但月球上的这种检测器与散布在太阳系的其他站配合,定位可以准确到弧秒级。X射线可变性监测仪可以研究闪烁辐射。据认为,这种辐射和中子星及黑洞周围的热盘状物有关。

五

建立月球观测站的一个特别重要的原因是可以在月球背地球那面研究低频无线电波。在过去20年中,使用新发展的技术观测了宇宙X射线及红外辐射,从而发现了若干新的射电源及奇妙的物理现象。但30MHz以下这个电磁谱段还是空白,因为上层大气的反射作用使这些频率的信号达不到地球。在月球上建造甚低频阵列(VLFA)将为研究宇宙打开一个新的窗口。VLFA包括200个和电视机天线相似的偶极子天线,每个长1m左右,分布在20km宽的圆环上,接收50kHz~30MHz频率的信号。天线间用电子电路连接,使之协同工作,形成阵列,指向不同的射电源,而无需移动各天线单元。各组天线的信号经中继站送到中心站进行对比和标定,然后在月球或地球上用计算机分析其数据,以揭示辐射源的表

面亮度,弄清其结构。

建造VLFA有许多棘手的技术问题。天线阵列安置在远离有人基地的月球背面,所以需要设计具有人工智能的无人驾驶车辆,在20km宽的范围内活动,把天线安置在最佳位置。还需要研制复杂的多路无线电或激光发射—接收设备以便将信号从各偶极子传送到中心处理站。有了VLFA,天文学家们就能研究太阳耀斑中加速高能粒子的过程,从而有可能找到早期预报太阳能量爆发的方法;也能研究行星磁场、超新星残骸、脉冲星以及银河系外射电源中的高能电子流,而这些领域中的天体物理学过程目前还不为人知。VLFA可探测行星际及恒星际间介质的结构,还能观测到伴随活动星系及类星体那些明显行为的细微低能过程。

有人已经勾画出月球上16m光学—红外望远镜的蓝图。它检测物体的能力比现有的空间望远镜强40倍,其16m宽的采光镜由若干个六方块构成,易于建造和安装。利用这种望远镜,通过搜寻大气臭氧的特征辐射信号,可探测到围绕其他恒星的类似地球这样的行星。

更宏伟的计划是在月面上安装一个巨大的光学干涉仪,称月球光—紫外—红外综合阵列(LOUISA),其分辨率比地球上最大的望远镜高10万倍。如位置放得适当,它能分辨出地球上10美分的硬币。由于大气湍流和地壳运动,在地球上无法建造这种干涉仪。在低轨道上,10 km以上基线的重力梯度就需要对望远镜的各单元进行不断的重新定位,要实现这样复杂的操纵,花费很大。初步设计的LOUISA是由1.5 m望远镜组成的两个同心环,外环有33个望远镜,直径为10 km,内环有9个望远镜,直径0.5 km。各望远镜采集的光线送到中心站处理和贮存。LOUISA可观测从紫外(0.1 μm)到近红外(1 μm)的广泛波长范围,分辨率约为10万分之一弧秒,还可以观测其他恒星的行星,甚至能确定其大气成分,这是确定银河系内其他星球上是否存在生命的第一步。在太阳系,它能提供的行星及小行星资料比“探险者”(Voyager)飞船所获得的还要详尽。它可以直接看到恒星表面的结构,从而揭示太阳和其他恒星活动之间的联系。它能研究恒星表面的细微运动,这种运动提供了关于恒星内部结构的信息,进而为了解

其演化过程提供线索。天文学家将有可能查明银河核的动力学规律,观测以螺旋形式旋入黑洞及中子星的盘状物质,探索分裂星系的结构。在宇宙学领域内,LOUISA可观测类星体的运动,揭示宇宙膨胀中的任何不平衡性。

六

天文学家还提议建造其他更现代化的月球望远镜,一种以月—地为基线的无线电干涉仪实际上相当于一台384 000km宽的射电望远镜,当工作频率为10 GHz时,其分辨率达10万分之一弧秒。

还有人建议在月球的一个环形山建造一个1 500 m的抛物面天线,对宇宙中性氢的辐射进行观测,随着人为干扰的增加,这种观测在地球上很快就不可能进行了。在月球上建立观测站,还可以对重力波及中微子进行观测,这方面的工作过去做得很少。重力波是爱因斯坦的广义相对论所预言的,对它的检测是对这个理论及星系形成模型的检验。理论上推论,超新星爆炸中发生的恒星核心坍塌或和在早期宇宙中形成的所谓宇宙弦有关联的极高能量过程都会产生重力波,但很弱,要用超过1 000 km的高稳定检测器才能探测到。月球是安放这种检测器的理想场所。

中微子事实上可能是宇宙中的主要物质形式,数量极大。它是了解太阳热核反应的关键,但它和物质的相互作用极端微弱,不易检测。由于有高能粒子(包括中微子)不断进入大气,使在地球上进行观测更加困难。而在月球上,中微子背景不到地球上的千分之一。

建立永久性的月球基地也是人类征服其他星球(如火星)的第一步。在月球上建造VLFA、LOUISA这样的庞大工程,无疑会带动有关科学技术的发展,造福人类。

(江锡仁、王玉摘译自《科学美国人》(Scientific American) 1990年第3期,王竞校)

(责任编辑 刘先曙)