

我们为何仰望星空

李新乔

(中国科学院高能物理研究所 100049)

人静更初,月沉西去,小儿偷入庭中。举目巡天望,满院繁星。银汉斜横南北,河两岸、郎女难逢。东天上,英仙跨马,擎起苍鹰。

极空,化出仙后,华冠紫金衣,护驾双熊。瞬而西南暗,将隐长庚。星月轮番登场,人亦是、十载河东。青云涌,天龙显鳞,四字飞腾。

这首《凤凰台上忆吹箫·望星空》是我数年前所填。从中也引出一个问题:我们为何仰望星空?

我想,每个人都有着各自的答案。有人说:星空很神秘,我们仰望星空可以畅想未知的力量。有人说:从小就养成了看星星的习惯,看着满天星斗,让自己的思想徜徉在浩瀚的星海当中,可以暂时忘却心中的烦恼。还有人说:沧海桑田,物是人非,我们的存在之于宇宙、浩瀚星空来说,显得微不足道,我们的一生之于星星来说,也只是短暂的一瞬。仰望星空,让我们产生谦卑之心、敬畏之心。……作

为一名天文学家,我想在此文中从我的视角来阐述关于“我们为何仰望星空”的问题。

将星空二字拆分开来,星即天空中所见一切星体;空是无限的时空。因此,星空即宇宙——或者准确地说是地球之外的宇宙。

从天文学概念上讲,宇宙是万物的总称,是由空间、时间、物质和能量,所构成的统一体。宇宙是物质世界,不依赖于人的意志而客观存在,并处于不断运动和发展中,在时间上可能没有开始也可能没有结束,在空间上也可能既没有边界也没有尽头。

既然是宇宙的概念,我们不妨再提一下对于宇宙的其他方面的理解。在唯心主义者眼中,宇宙只是人类视觉和触觉下的产物,更根本的是种思维世界,它不是物质世界,只依赖人的意志而客观存在,它没有时间和空间,没有任何真理能证明它的存在。我们知道,这种观点是纯唯心主义观点,是不客观的。



图1 星空(图片来自网络)

近些年来,对于宇宙第三种解释逐渐被一些人所推崇,其中不乏一些具有广泛影响力的人物。在这种解释当中,认为我们所感知的宇宙存在于高级文明的超级计算机中。有点像《骇客帝国》的样子。事实上,我们目前还没有能力对这种解释进行证伪。也就是说,目前我们无法检验这种观点是否是真实的。

诚然,不识庐山真面目,只缘身在此山中——我们只是身处宇宙当中的一粒尘埃,对宇宙的认识必然受到局限。但人类认识宇宙、探索宇宙的脚步始终未曾停歇。

人类文明发展至今,我们对宇宙的观察和观测大致分为几个阶段:裸眼观察阶段、初级光学望远镜观测阶段、多波段望远镜观测阶段、多信使天文观测阶段。各阶段的划分实际上是技术上的进步导致的科学认识上的革命。下面,本文将对各阶段的一些特征和思想进行简要阐述。

1. 裸眼看宇宙——朴素的探索

从时间上来看,这个阶段持续时间最长,距今年代也最为久远,最早可追溯到人类诞生之初,一直持续到1609年第一台天文望远镜被发明出来。上帝创造人类的时候,赋予了我们双眼,让我们可以通过光线来感知世界。裸眼也是我们观察和探索宇宙的最基本的工具。最远可追溯到人类诞生之初,而基于裸眼对宇宙的观察,人类形成了古老

的宇宙观。

由于观察手段相似、观察对象相同,东西方的宇宙观也在很大程度上彼此契合。

比如,在我国古代,宇宙的结构主要有三派学说:

1) 起源于殷周时期地盖天说是中国古代最早的一种宇宙学说,《晋书·天文志》、《周髀算经》等都有所载。该学说一个基本观点认为大地是平坦的,天像一把伞覆盖着大地;

2) 浑天说是古代汉民族的一种宇宙学说,在《张衡浑仪注》中有比较详细地阐述。该学说认为天地具有蛋状结构,地在中心,天在周围。这与现代天文学的天球概念十分接近;

3) 宣夜说可以上溯至战国时代的《庄子》。该学说则认为天是无限而空虚的,星辰就悬浮在空虚之中。这个学说与现代天文学的许多结论相契合,体现了我国古人对宇宙的深刻思考。

而关于宇宙内在含义的理解,我国古代认为宇宙是指空间和时间的统一体。这是和现代宇宙观相一致的。很多典籍当中都有所涉及。比如,四方上下曰宇,往古来今曰宙(《尸子》);宇之表无极,宙之端无穷(张衡《灵宪》);天地大也,其在虚空中不过一粟而已耳(《伯牙琴》),等等。这说明我国自古代就对宇宙有着比较客观的认识。

古代西方欧洲人对宇宙的理解,是一个渐进的过程。从公元前六世纪到公元一世纪,关于宇宙的构造和本原有过许多学说。如:

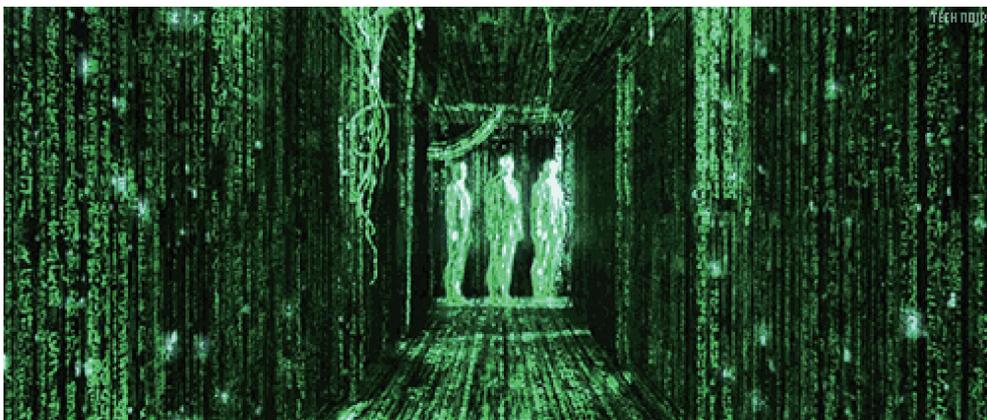


图2 超级计算机中的世界(图片来自网络)



图3 宣夜说宇宙想象图(图片来自网络)

1) 毕达哥拉斯学派(公元前6世纪~公元前4世纪)的中心火焰说,设想宇宙中心有一团大火焰,地球、月亮、水星、金星、太阳等八个天体绕着中心旋转,最外层是不动的满天恒星的火焰球;

2) 赫拉克利特(公元前390年~公元前339年)的日心说处于该学说的启蒙时期,认为水星和金星绕太阳运动,同时和太阳一起绕地球运动。阿里斯塔恰斯(公元前310年~公元前230年)继承并发展了该学说,提出了完整的地球运动和行星绕日运转的日心地动说;

3) 柏拉图(公元前427年~公元前347年)提出正多面体宇宙结构模型。他基于正多面体只能有五个这一事实,把这些正多面体当成宇宙万物的基本结构;

4) 在毕达哥拉斯之后100多年,希腊人亚里士多德(公元前384~公元前322)发展了地心说。他根据观察月亮的圆缺,指出这是由于地球遮挡月球所致。由此提出地球是圆球形的。并提出地球外有九重天。

中世纪后,宇宙学被纳入经院哲学体系,地心说占据正统的地位。十六世纪哥白尼倡导日心说,提出太阳是宇宙中心的观点,这也是宇宙观发展史

上一个重要里程碑。直到十七世纪,牛顿开辟了以力学方法研究天文学的途径,建立了经典宇宙学。在此之前,以伽利略发明了天文望远镜为标志,已经发展到了人类观察宇宙的第二个阶段。

2. 伽利略——打开天文观测天窗的人

记得小时候读过父亲的一本书,是鄂华写的《盗火者的足迹》,里面讲的是世界上著名科学家的故事。里面给我印象最深的就是意大利科学家伽利略。当我读到双眼已盲的伽利略在一个风雨交加的夜晚,在一个年轻人的引导下生动地描绘斗转星移的景象,不由得深深敬仰,萌发出对星空瑰丽景象的心驰神往。

伽利略最广为人知的事迹就是在比萨斜塔上用两个铁球做的自由落体实验(后来的考证并没有发现直接的证据)。事实上,伽利略在力学、天文学、哲学、热学等诸多领域都有重要贡献。而他的一个重要成就则是他于1609年发明了人类历史上第一架按照科学原理制造出来的望远镜。正是由于伽利略发明了科学望远镜,给人们打开了一个观测宇宙的窗口。望远镜的出现,使人类对宇宙的观

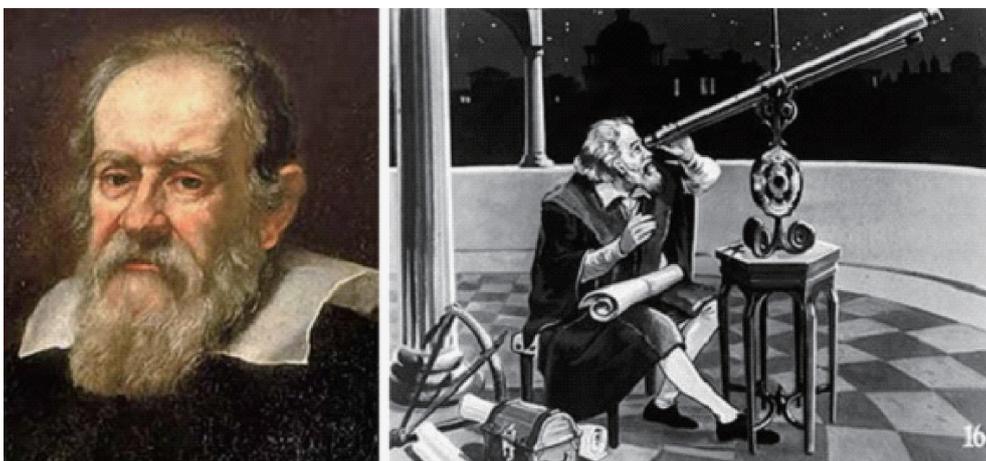


图4 伽利略以及他发明的折射望远镜(图片来自网络)

测进入崭新的时代。

对于光学望远镜来说,无论是折射式、反射式还是折反式,其基本原理都是收集和汇聚更多的光,以获取更为细节的物像信息。折射望远镜利用光在镜片材料当中的折射实现光的聚集和成像。反射式望远镜则通过光在反射镜表面的反射实现光的汇聚和成像。折反式望远镜则是通过折射和反射的组合,在实现光汇聚和成像的同时,消除纯折射式和纯反射式存在的缺陷。在望远镜的作用下,能把远物很小的张角按一定倍率放大,使之在像空间具有较大的张角,使本来无法用肉眼看清或分辨的物体变清晰可辨。

望远镜对天文学的影响从它诞生之日起,一直持续到今天。其最主要的原因是望远镜是利用技术手段,极大拓展了人眼对宇宙观测的精度、广度和深度。现代天文望远镜衍生出了很多种类,其复杂度和观测能力早已非伽利略时代所能比拟,但其观测和探索宇宙的主旨思想是从未改变的。在一定意义上说,没有望远镜就没有天文学。天文学也是伴随着望远镜技术的发展而发展的。

从1609年伽利略发明了第一部投入科学应用的实用40倍望远镜,在后面的数百年当中,人们对望远镜技术不断地进行改进。折射望远镜所遇到的一个大麻烦就是色散问题。我们知道,恒星发出的白光是由从红到紫无数不同颜色混合而成,不同

颜色的光的波长不同,这就使得它们经过一个单片透镜聚焦后,焦点不在同一个位置:红的离物镜最远而紫的最近。如果物镜无法把从被观察物体上任何一点来的光都集中到一个焦点上,那么从望远镜中观察这个物体就是模糊的。后来,人们利用调整匹配凹透镜与凸透镜曲度和聚焦能力的办法巧妙地解决了这个问题,不过,在紫外和红外波段的透光量较少,存在一定残余色差。此外,大型折射望远镜面临的另一个难题就是对玻璃的透光性有很高的要求,对支撑结构的强度和稳定性要求也很高。因此,折射望远镜很难做得很大,当今世界上最大的折射望远镜的口径只有1.02米。折射望远镜以其构型简洁,易于小型化等优势,经过了消色方法改良后的形式仍有最普遍的用途,广泛用在军事、民用等方方面面。

经过了将近200年,1793年,英国人赫歇尔(William Herschel)制做了反射式望远镜。反射式望远镜自诞生之日起,因其没有色差、造价低廉、可以造得很大等优点,在天文观测领域发挥了巨大作

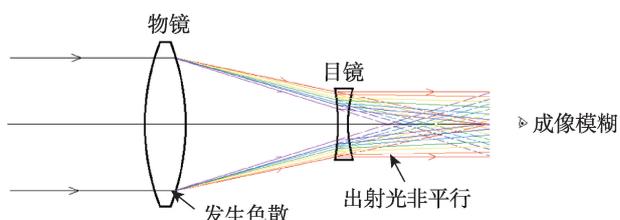


图5 伽利略型透射望远镜色散示意图

用。美国人哈勃(Edwin Hubble)利用威尔逊山天文台的100英寸反射式胡克望远镜发现了宇宙正在膨胀,总结成了著名的哈勃定律。

1930年,德国人施密特(Bernhard Schmidt)将折射望远镜和反射望远镜的优点结合起来,制成了第一台折反式望远镜。自此,望远镜技术日渐成熟。

在天文观测当中,安装于地面上的天文望远镜不可避免地会受到地球大气层扰动折射的影响,还要面对天气、光污染等问题。随着航天事业的兴起,大量围绕地球运行的航天器也对地面的天文观测产生了很多不利影响。尤其在近两年,动辄数以千、万计的卫星计划被批准,可以想见,数年后,地球的夜空将很难找到一块不受人造地球卫星干扰的区域——这无疑对天文观测来说是一场灾难。

面对大气干扰问题,天文学家在几十年前已经在考虑将天文望远镜送入太空。著名的哈勃太空望远镜于1990年被送入观测轨道,由于不受大气干扰,它的图像清晰度是地面上同类望远镜拍下图像的10倍。然而,它的镜面出现故障。1993年完成了对望远镜的修复之后,哈勃望远镜在天文观测上发挥了巨大作用,取得了举世瞩目的成就。

事实上,哈勃望远镜所处的时代,已经进入了多波段天文观测时代。

3. 灿烂的星光不只有七种颜色

在四周没有灯光的晴朗的夜里,我们仰望天

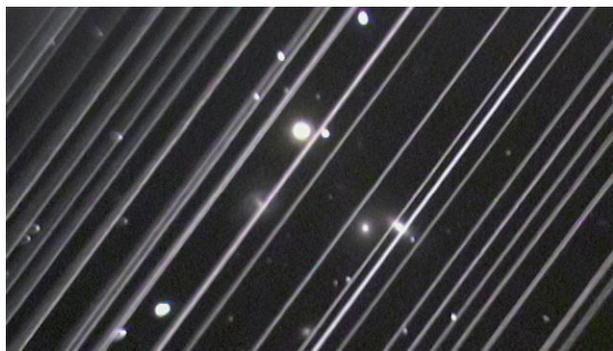


图6 美国亚利桑那州洛厄尔(Lowell)天文台在拍摄NGC5353/4的时候星链卫星自对角线贯穿望远镜整个视场(图片来源:Victoria Girgis/Lowell Observatory)

空,能看到满天星斗。而这些肉眼可见的星星当中,绝大多数都是恒星。用望远镜观看,星星有不同的颜色,有的偏红,有的偏蓝。实际上,恒星发出的光往往都是多种颜色的混合光。偏红还是偏蓝只跟温度有关系,温度越低,颜色越偏红,温度越高,颜色越偏蓝。光既是一种微观粒子,同时又有波动性。从波长上说,红光的波长要比蓝光更长。如下图,电磁波的波长范围很宽,而我们的肉眼所能感知的波长只是380 nm~760 nm的很窄一段可见光。

根据电磁波的波长特点,人们设计了工作在不同波段的望远镜。除了最为常见的可见光学望远镜之外,还有红外望远镜、紫外望远镜、射电望远镜、X射线望远镜、伽马射线望远镜等多个种类。

比如,我国广为人知的“天眼”——FAST就是一台大型球面射电望远镜。射电望远镜是观测和研究来自天体的射电波的设备,可以测量天体射电的强度、频谱及偏振等物理量。20世纪60年代天文学取得了四项非常重要的发现:脉冲星、类星体、宇宙微波背景辐射、星际有机分子,被称为“四大发现”。这四项发现都与射电望远镜有关。

红外和紫外望远镜可能很多人并不陌生,可以分别对来远处的红外和紫外波段的光进行成像。这里,我们简单介绍一下X射线/伽马射线望远镜。X射线和伽马射线是能量很高的光子,有着很强的穿透能力,其中,伽马射线的能量和穿透性要高于X射线。人们已经将X射线的强穿透性广泛应用在安检、医疗、探伤等很多领域。我们体检时拍摄胸片的胸透仪、机场和车站的安检机都是利用了

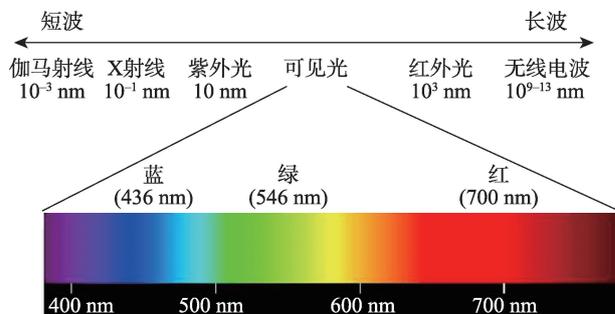


图7 光的波长和分类(图片来自网络)

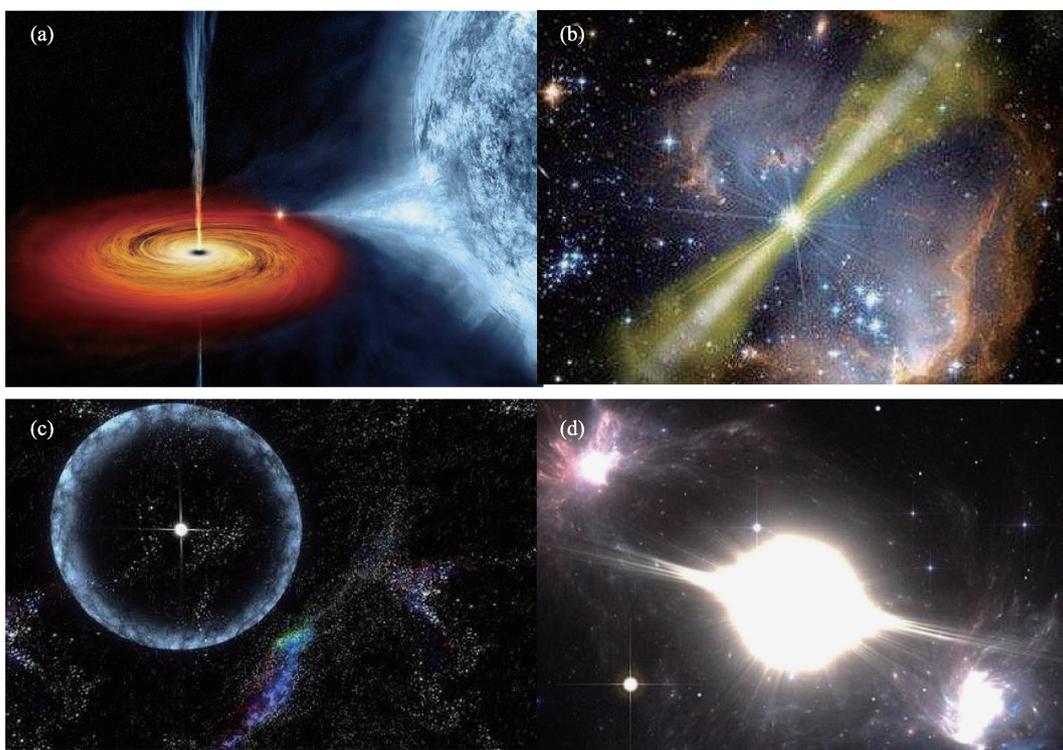


图8 宇宙中的高能事件(图片来自网络) (a) 黑洞吸积临近天体物质形成吸积盘和喷流;(b) 中子星向两端射出喷流;(c) 大质量恒星死亡后,发生超新星爆发,将大量物质抛出,中心留下一颗中子星;(d) 超新星爆发的亮度可以照亮整个星系。

X射线。伽马射线也用在了肿瘤治疗领域,如伽马刀等。

宇宙中的恒星和致密天体活动往往伴随着巨大的能量释放,大量X射线和伽马射线被发射出来。可以穿过数以百万乃至亿光年计的遥远距离到达地球。但由于地球周围的大气层对这些高能射线有强烈的吸收,它们中的绝大多数并不能到达地面。厚厚的大气为生活在地面的我们提供了重要的保护,使我们免遭高能辐射的危害。与此同时,这也使得对来自遥远天体的X射线和伽马射线的探测只能在外太空进行。

与观测可见光的光谱和光度变化类似,对X射线和伽马射线的观测主要观测它们的能谱和光变曲线。随着空间探测技术的发展,国际上有多数X射线和伽马射线望远镜被发射到太空。进入21世纪后,我国的高能天文事业迎来了巨大的发展契机。从2001年神舟二号搭载了我国第一台用于探测宇宙伽马暴和太阳耀斑的空间X射线探测器升

空以来,探月工程的嫦娥一号(2007年10月24日发射)、嫦娥二号(2010年10月1日发射)、嫦娥三号(2013年12月2日发射)都搭载了X射线探测设备,用于观测太阳X射线耀斑活动以及月壤元素成分。搭载在天宫二号(2016年9月15日发射)上的POLAR伽马暴偏振探测仪,开展了对伽马光子的偏振探测。以我国著名物理学家何泽慧先生命名的“慧眼”卫星,则是我国第一台X射线天文望远镜,在2017年6月15日被送入太空。她在轨运行以来,取得了丰硕成果,大幅提高了我国在国际高能天文领域的影响力。

目前,我国仍有多个开展空间X射线和伽马射线探测的卫星项目正在研制或预研当中。比如,探测和引力波相关联的伽马射线暴的双星GECAM将于今年年底发射。此外,还有爱因斯坦探针(EP)卫星、先进天基太阳天文台(ASO-S)卫星、中法空间变源监测天文卫星(SVOM)、增强型X射线时变与偏振空间天文台(eXTP)卫星等。



图9 “慧眼”卫星空间运行艺术想象图

通过对天体源发出的电磁波在不同波段的探测,天文学家可以研究其中的物理过程,深入研究极端条件下的引力理论、量子理论等基本理论,揭示宇宙天体的演化规律和极端特性。

4. 光不是宇宙的唯一信使

本节标题里的光指的是广义的光,即电磁波。我们身处自然世界当中,无时无刻不在同自然世界进行着各种信息的交换。而我们也经过不断地进化,获得了多种感知世界的能力:视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉、冷热等。可以通过不同的维度去感知周围的环境。

人眼获取来自宇宙的信息主要来自于可见光,但人类利用望远镜,将获得宇宙行星的能力拓展到了整个电磁波波段。目前,除了电磁波之外,来自茫茫宇宙的信使还包括宇宙线、中微子和引力波。

区别于光子,宇宙线是来自于宇宙中的一种具有相当大能量的带电粒子流,早在1912年就被发现。大约89%的宇宙线是单纯的质子或氢原子核,10%是氦原子核或阿尔法粒子,还有1%是重元素。宇宙线的能量极高,可以超过 10^{20} eV,远超过地球上的粒子加速器可以达到的 $10^{12}\sim 10^{13}$ eV,携带着大量极高能天体物理过程中的宝贵信息。因此,基于

宇宙线观测的研究也是天体物理研究的重要手段。在该领域,我国学者也有重要的贡献。例如,2019年,我国西藏羊八井国际宇宙线观测站发现迄今为止最高能量的宇宙伽马射线,这些宇宙伽马射线来自蟹状星云方向,能量高达 4.5×10^{14} 电子伏特,比此前国际上正式发表的75 TeV的最高能量高出5倍以上。在四川稻城海子山,我国正在建设高海拔宇宙线观测站,该观测站已成为世界上最高灵敏度的超高能伽马射线巡天观测站。

中微子一种微观粒子,它有一个别号——“幽灵粒子”。中微子广泛存在于我们周围的空间,大约每个立方厘米有几百个中微子,核电站附近的中微子数量会多得多。但我们丝毫感觉不出它们的存在。这主要是因为中微子作为电中性的基本粒子,只参与弱相互作用,因此,任何物体相对于它们来说基本上都是透明的。中微子的“惰性”使得它们可以轻而易举地穿过整个地球,真正是“如入无人之境”。同时,中微子的这个属性使得对于它们的探测变得困难。一般只能通过大量的纯水、重水或液体闪烁体等材料结合光敏器件探测中微子在其中产生的次级射线。中微子探测器要建在高山下面或很深的地下,通过足够多的物质把宇宙线屏蔽。受观测能力限制,现今已确认来自地球以外的

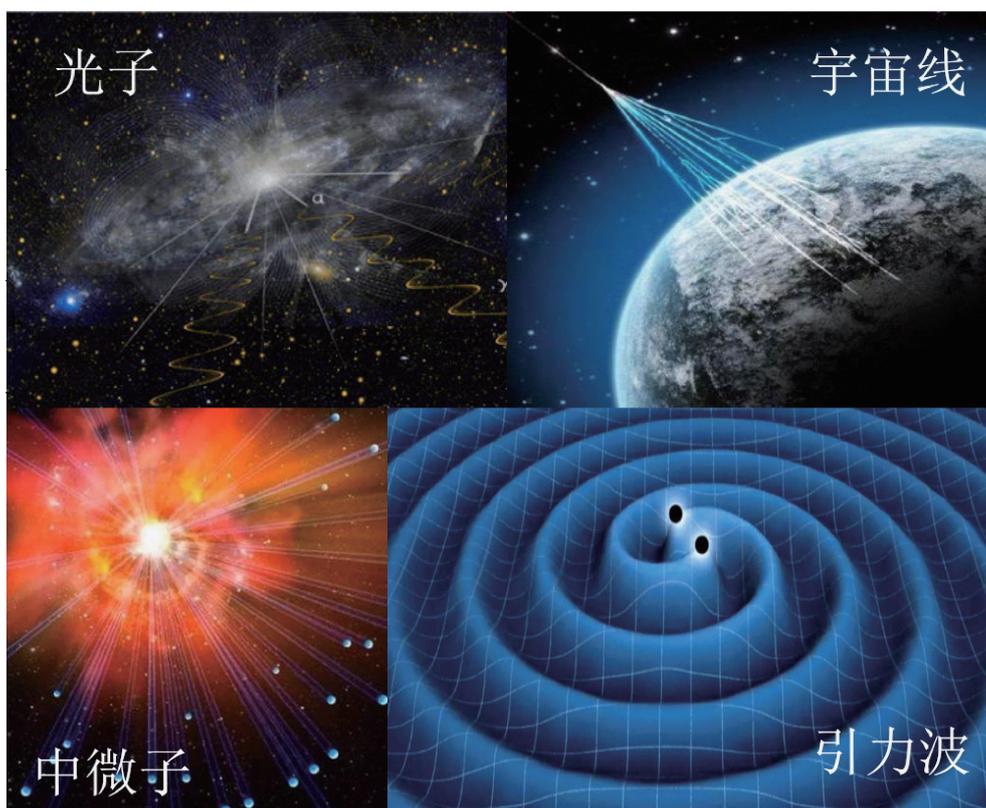


图10 宇宙的四种信使(图片来自网络)

中微子讯号来源很少,在2013年IceCube实验组宣称第一次探测到了来自太阳系以外的中微子之前,只有太阳和超新星SN 1987A的地外中微子讯号被确认。因此,中微子天文学目前仍未成熟,但可以预见,在不远的未来,中微子观测站将为天文学家提供透析宇宙的崭新视野。

引力波的概念源自广义相对论的预言。广义相对论当中,引力被认为是时空弯曲的一种效应,而引力波则是弯曲时空当中的涟漪。根据理论的估计,可能的可被现有技术探测的引力波源包括白矮星、中子星、黑洞等致密天体的相互作用。当两个致密天体发生并合的时候,会辐射出较为可观的引力波。区别于电磁波需要通过周围物质(比如黑洞周围的吸积盘)才能被感知,引力波不需要物质存在于引力波源周围。此外,引力波可以几乎不受阻挡地穿过行进途中的天体。这使引力波可以携带有更多的之前从未被观测过的天文信息。

关于引力波的探测,自2015年9月14日LIGO

(激光干涉引力波天文台)宣布观测到第一个引力波信号以来,各种各样的引力波探测器正在建造或者运行当中。2017年10月16日,全球多国科学家同步举行新闻发布会,宣布人类第一次直接探测到来自双中子星合并的引力波,并同时“看到”这一壮观宇宙事件发出的电磁信号——这意味着多信使天文学时代的正式到来。我国的科学家也赶上了这一波引力波探测热潮,推出了阿里计划(探测原初引力波)、“太极”计划和“天琴”计划(利用卫星阵列探测引力波)等多个引力波探测计划。计划今年年底发射的GECAM(引力波暴高能电磁对应体全天监测器)双星的主要科学目标是实现对同引力波事件相关联的伽马暴的高灵敏探测。国内外多颗在轨运行以及计划发射的天文卫星纷纷把探测引力波事件引发的伽马暴纳入重要观测任务。随着探测技术的不断提高,对天文事件开展多信使探测能力会不断增强。这无疑会对天文学的发展具有重要意义。

5. 结束语

以上,我们从天文探测发展的四个阶段,对人类认识宇宙的脚步进行了简略的描述。人类文明的发展过程实质上就是人类对自然世界认知的不断加深的过程。天文探测的发展是人类文明发展的一个缩影,同时,也为人类认识宇宙自然提供了必要的素材。人类虽然渺小,但却是宇宙的一部分,我们时刻与周围进行着物质、能量和信息的交换。我们对于宇宙来说可能不是不可或缺的,但包括我们在内的地球上生命的出现却是宇宙的一个奇迹。

回到刚开始的问题:我们为何仰望星空?我想,真正的答案很可能是十分质朴和纯真的。正如孩子渴望了解母亲的本能与天性,作为造物主创造出的万物之灵,我们在不断思考“我们从哪里来?将往哪里去?”的问题。这个问题可能直到人类灭亡也无法找到答案,但是,追寻真理、探索未知的精神将永远伴随着人类这个物种而存在。

参考文献

- ① Shuang-Nan Zhang, et al., Overview to the Hard X-ray Modulation Telescope (Insight-HXMT) Satellite, *Science China Physics, Mechanics & Astronomy* volume 63, Article number: 249502 (2020), <https://doi.org/10.1007/s11433-019-1432-6>
- ② 彭文溪,王焕玉,张承模等,嫦娥一号X射线谱仪定标,《核电子学与探测技术》2009年02期。
- ③ 梁晓华,吴明焯,王焕玉等,嫦娥三号粒子激发X射线谱仪红外距离感知方法,《光谱学与光谱分析》,2013年,第33卷,第5期。
- ④ Spurio M. Constraints to a Galactic Component of the Ice Cube cosmic neutrino flux from ANTARES[J]. *Physical Review D*, 2014, 90(10).
- ⑤ Lal D. Cosmic ray labeling of erosion surfaces: in situ nuclide production rates and erosion models[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1991: 424-439.
- ⑥ LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration, Fermi Gamma-ray Burst Monitor, and INTEGRAL, Gravitational Waves and Gamma-Rays from a Binary Neutron Star Merger: GW170817 and GRB 170817A, *The Astrophysical Journal Letters*, 848:L13 (27pp), 2017 October 20.
- ⑦ 石最坚, SN1987A 超新星和中微子物理, *河北大学学报(自然科学版)*, 1987年01期。

(审校:刘晓静)

科苑快讯

汽车都碾不死的甲虫

当杰苏斯·里维拉(Jesus Rivera)第一次听到一位昆虫学家告诉他,有一种不起眼的黑甲虫即使被汽车碾过也能幸存时,他表示怀疑。然后他试了试,这只虫子果然毫发无伤地离开了。现在,这位加州大学欧文分校(University of California, Irvine)的新任博士发现了这种小虫子成功的秘密。

这种恶魔铁甲虫(*Phloeodes diabolicus*)生活在美国西部的橡树和其他树木下,以生长在那里的真菌为食。和其他甲虫一样,它遇到危险也会装死。研究人员发现,尽管这种小虫子比米粒大不了多少,但它却能承受相当于其体重3.9万倍的破碎力。这比最强壮的人用拇指和食指挤压甲虫时所消耗的能量多4倍。

在另外的实验里,里维拉和同事发现,这种甲虫的韧性和强度提高了,因为它们的两半外翅盖像拼图一样连接在一起。里维拉和同事在《自然》(*Nature*)期刊上报告说,球茎状环环相扣的叶状结构及其恰当的数量——大约5个——优化了这些特性。此外,翅盖与机体之间还设有支撑结构,以便在碾压过程中保护身体中部的重要器官。

科学家正在利用甲虫的设计构思,制造类似的坚固扣件,它们将有可能用于自行车、汽车甚至飞机。谁知道呢,也许有一天,你会看到一辆与铁甲虫一样坚硬的大众甲壳虫汽车。

(高凌云编译自2020年10月21日 www.sciencemag.org)