



图片来源网络

芯片上的宇宙

王 乔

今年五月,中科院国家天文台与网络中心超算中心在目前世界排名第一的无锡太湖之光超级计算机上进行了测试,针对国产神威CPU的架构,综合最新的算法与优化方式,完成了超过10万亿粒子的宇宙模拟的测试工作。这个过程,动用太湖之光整机一千万CPU核进行计算,其规模可见一斑。

主导宇宙的力量

所谓宇宙,就是包含了大千世界中所有物质的存在,它的物质的演化非常复杂。要用计算机模拟宇宙演化过程,必须对宇宙演化有个基本了解。

根据暴胀理论,宇宙在经历过极早期的急速暴胀之后开始进入大爆炸阶段,宇宙中开始形成物质。由于当时的能量极高,整个宇宙中的物质处于高温状态,相互之间频繁地作用。打个比方,就像是煮开的一锅粥,物质分布的种子在宇宙童年时是非常均匀的。随着宇宙膨胀,物质能量密度越来越稀疏,最终炽热的原初火球逐渐冷却了下来,宇宙也进入了黑暗时期,恒星和星系开始形成,宇宙再次被电离。没有了中性氢的阻挡,光子自由地在宇宙空间中飞行了130亿年后来到我们的地球。

引力在宇宙结构演化中扮演主角。物质结构的种子在引力的作用之下,高密度的地方变得更加密集,低密度的地方变得更为稀疏。这非常类似于人口流动:“有吸引力的地方变

我们经常看到堪称完美的宇宙图景:明亮的节点、交错的条网。这样的图景很有可能并非来自观测,而是计算机模拟。实际上,超级计算机除了在地震、能源、大气等领域有应用的价值,在科学研究中也起到越来越重要的作用,其中天文学领域中的宇宙N体模拟就是一个非常好的例子。

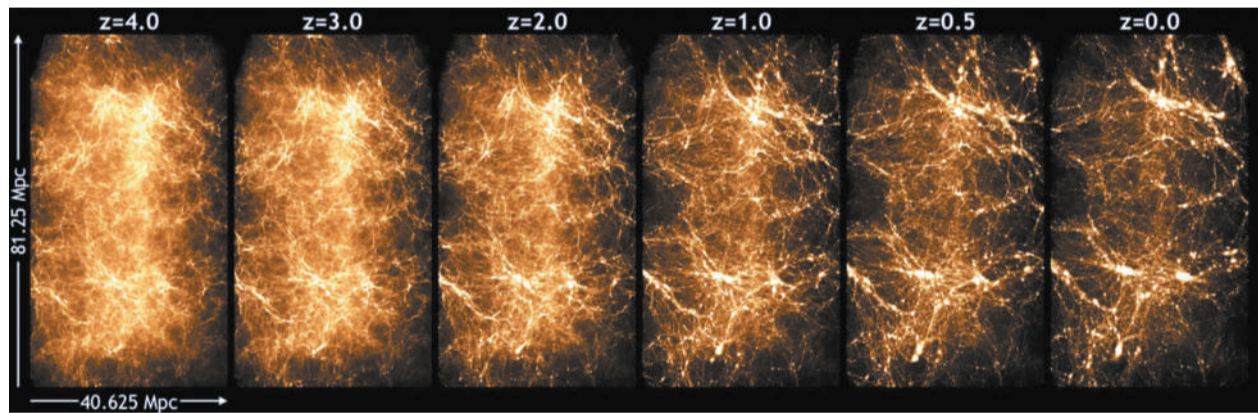
得更密集,而荒芜的地方变得更荒芜。”引力是人类认识得最久远的相互作用之一。对于三体引力系统还可以使用一些理论分析的方法,但是对于更为复杂的系统来说,理论常常是有局限的,这时数值模拟就是最好的工具。

实际上占比20%以上的暗物质,它在自身引力的强大吸引下,从宇宙创生之初的均匀状态渐渐演化成一个大尺度网状的结构。而我们通常熟悉的物质在宇宙空间中多以气体的状态存在着,它们比只有引力相互作用的暗物质要精彩得多:气体可以形成星系,星系中又能形成恒星,恒星死亡之后再次反馈气体到空间中去。这些过程在宇宙中各个角落不停地上演。而宇宙中可以观测的发光体与暗物质分布有着非常深刻的联系。我们的银河系到底是宇宙的一个典型的星系还是一个特别的存在,它形成的过程又是怎样的?本质上来说,这些都依赖于我们对于宇宙物质演化,乃至于星系形成的深刻理解。

计算出那片星光

可以开始模拟一个宇宙了。由于光速的限制,我们观测到的永远是宇宙中的一部分,而且很可能是非常有限的一部

分。我们取一个方盒子,其中盛入一部分宇宙。这个盒子必须足够大,才能代表宇宙的整体。如果盒子中的物质流出去怎么办?只要



图为宇宙演化的过程中同一块区域在不同时间的密度演化。图中的亮度对比反映了物质密度的分布。最左边是宇宙年龄14亿岁的时候的样子,最右边的是宇宙今天的样子。可以看出,宇宙在初始密度稍高的地方开始不断聚集,空旷的区域也更加明显。在密度最大的地方,物质形成了星系团这样巨大的结构。

周期性地把流出的部分从盒子的另一边流回来,就能保证总的质量守恒。我们选取的这个盒子里的结构能与我们周围的宇宙一致吗?宇宙学原理告诉我们,在不同的地方宇宙的性质是一样的。也就是说,我们虽然造不出一模一样的银河系和太阳,但是我们不难在盒子里找到一些相似的对应物。

N体模拟的原理非常简单。把宇宙全部的质量分成一些粒子,每个粒子遵守膨胀空间的万有引力。计算粒子对之间的引力,由此决定粒子下一步的演化,不断迭代之后就能得到整个物质的演化。同一个系统或者宇宙模拟,使用的粒子数目越多,也就能够分辨越多的细节。

但是这在计算上的消耗是非常大的。使用上述直接法去计算引力的时间复杂度是粒子数的平方,也就是计算100个粒子需要计算10000对相互作用,而计算1万个粒子则需要1亿对。所以随着粒子数目增加,很快就会耗尽计算机的资源。20世纪70年代皮布尔斯等就是用这样的方法进行了第一个宇宙学意义上的模拟,当时的粒子数只有1500个。

通向更深的宇宙

即便如此,数值模拟只能给出宇宙总体的结构,我们感兴趣的很多物理现象依然淹没在数值的噪声中。解决这个问题的一种方法就是通过对宇宙中某些感兴趣的地方进行局地地放大再模拟,这可以在有限的计算能力下得到超过当时时代的解析能力。比如Volker Springel的宝瓶座项目和高亮的凤凰项目。

很多人可能会怀疑数值模拟的结果是否可信。对于一些特殊的系统,数值解的正确性确实有一些分析的方法,但对于高精度的数值模拟来说,类似的分析是很难的。通

上世纪80年代,算法的革新为计算宇宙学打下了坚实的基础,不过那时计算宇宙学的先驱者,其计算规模也只有几万的粒子而已,为了提高效率,他们提出多种近似的算法,并各自演化出不同的方向。不同时期占优势的算法与当时的计算机发展水平与实现的思路有关。特别是后来的并行技术的发展,模拟领域发生了飞跃。2005年德国马普研究所天体物理学家Volker Springel综合当时成熟的两种加速算法使得计算的规模首次超过百亿。

除了对于软件上的改良,在硬件上的加速也被引入数值模拟当中。比如牧野等开发了用于计算引力对的专用芯片Grape。最近,异构的计算平台的使用异军突起,比如在GPU和众核芯片上也取得了非常好的性能和重要的进展。目前在世界最大的一批超级计算机,如中国的天河二号、美国的泰坦、日本的京上都运行了超大规模的宇宙学模拟。2014年之后,最大的数值模拟规模已经使用了超过万亿的粒子。如果画出一条模拟粒子的历史增长趋势图的话,其速度是超过摩尔定律的。

常,低精度的模拟与更高精度的模拟相互符合的部分就是可以相信的部分。有些高分辨率的再模拟甚至让我们窥见暗物质在最小尺度上的细节,甚至进入了太阳系尺度的范围。

近年来,越来越多的数据积累为我们打开了了解宇宙的新窗口,其中主要包括宇宙背景辐射、超新星、大尺度结构以及引力透镜等方面的探测手段。然而,在理论上预言宇宙中物质演化和分布细节仍十分困难。考虑到气体演化和星系形成等问题与宇宙暗物质分布的关系,可以想见宇宙数值模拟在现代宇宙研究中不可替代的作用。它作为一种重要的工具成为了连接理论与观测的桥梁。

使用从模拟中学习到的星系的知识,还能够反过来对宇宙基本规律参数等进行限制。最为常见的是统计宇宙中星系的空间分布,可以反推宇宙的几何性质、膨胀速度、成分比例等参数信息,也可以为理解宇宙中的其他天体过程提供一个基础的平台。

如果宇宙是一个海洋,星系就是一个岛屿,而宇宙数值模拟就像一个水族馆。在其中我们不能指望发现一个我们没有放入的物种,但是我们可以学习到已知物种的行为的细节和它们之间的相互影响。天文学是无法进行孤立重复实验的,而宇宙数值模拟可以让研究者掌握它全部信息。

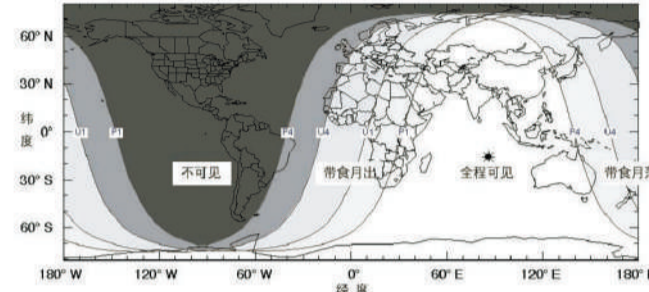
(作者系国家天文台副研究员)

天象早知道

这个八月 你去看日全食吗

李 昕

8月的天象,堪称全年最精彩。其中重头戏是即将发生在美国当地时间8月21日的日全食。在国内也有一些天象值得大家关注,如8月7日夜至8日凌晨可以观测到一次月偏食。此外,著名的英仙座流星雨也将在本月上演,虽然月相对观测不太有利,但这个流量大而且稳定的流星雨依然值得期待。



8月7日至8日月偏食全球可见地区图

我国大部分地区可见月偏食

8月诸多精彩天象中,率先登场的是月偏食,它发生在日全食前的那个满月之夜。其实这次月偏食的半影食开始于北京时间7日23时48分,初亏已经到了8日1时22分,全过程多数时间都发生在8月8日凌晨至黎明时分。食甚出现在2时21分,3时19分复圆,偏食阶段持续将近2个小时。4时53分半影食终,我国大部分地区天色已经很亮了。

这次月偏食,全球有一半以上的地区能观测到它的部分过程。几乎覆盖亚洲、大洋洲、南极洲的全境,欧洲、非洲的大部分地区也能观测到。我国除东北部分地区不能观测到后半部分的半影食之外,其他地区都能观测到月食的全过程。

稍显遗憾的是,本次月偏食的最大食分只有0.2464,也就是说月球只有很小一部分进入地球本影。但对于一次月偏食来说,只要天气晴好,还是非常值得观测的。更让大家高兴的是,2018年1月31日晚,将有一次我国大部分地区都可见的月全食发生。届时大家就可以大饱眼福,一睹“红月亮”的风采了。



英仙座流星雨极大时辐射点位置示意图

英仙座流星雨值得期待

每年的暑期,英仙座流星雨都是最标志性的天象。它的活跃期从7月17日持续至8月24日,基本覆盖学生的暑假。

英仙座流星雨的母彗星是109P/Swift-Tuttle彗星,它的远日点距离太阳约51个天文单位,近日点0.96个天文单位,回归周期长达133年。这颗彗星上一次回归是在1992年,当时它距离地球最近时大约1.1个天文单位。它的下一次回归预计发生在2126年,当年的8月14日,彗星距离地球最近时将只有不到0.2个天文单位。

虽然距离母彗星上一次的回归越来越远,但是近些年英仙座流星雨的流量并没有出现明显下降。不过随着彗星留下的尘埃进一步弥散,未来英仙座流星雨的流量将不可避免地呈现下降趋势。

今年的极大将出现在北京时间8月12日22时至13日10时30分。这个时间非常适合我国的观测,在英仙座流星雨的活跃期,其辐射点会在午夜之前升起到比较理想的高度。然而,今年的这个夜晚,盈凸月将位于双鱼座天区内,会对我们的观测带来很大影响。即便如此,英仙座流星雨依然是全年最值得观测的天象之一,只是需要提醒大家,即使是在这个季节,后半夜气温依然会比较低,大家不要忽视保暖的问题。再有就是野外观测一定要防止蚊虫叮咬,穿长袖长裤就可以一举两得了。

为日全食来一次越洋旅行

最精彩的日全食天象终于来了,就发生在北京时间8月21日至22日这一晚。从时间上就能看出这次日全食和我国无关,但在大洋彼岸的美国,很多人都将有机会欣赏这一壮观的天象。

本次日全食的全食带开始于东北太平洋,从美国本土西北部登陆,横穿至东南部,最后在大西洋中部结束。太平洋上的日全食开始于北京时间8月22日0时49分,大西洋上最后的全食结束于4时02分。最长见食点位于美国中东部的肯塔基州,那里的食分为1.0306,食甚时太阳高度为63°,可以看到2分40秒的全食。除此之外,在全食带两侧数千公里的区域内都能观测到食分不等的日偏食。

其实本次日全食适合观测的理由只有一个,就是美国的旅游、交通等基础设施发达,可以为观测提供很好的条件。当然,每次日全食都值得亲自去体验,如果你错过了这次,就要再等两年了。2019年和2020年将连续有两次日全食发生,比较好的观测地点都是南美洲的智利和阿根廷,到时候精心策划的观测之旅是必须有的。而下一次横穿美国的日全食也会很快到来,2024年4月8日,日全食带将从墨西哥进入美国,届时最长可以观测到4分28秒的全食。

(作者系北京天文馆副研究员,本栏目图片由《天文爱好者》杂志提供)

夏夜,与银河精灵共舞

光谱志

陈夏滨 王俊峰

在城市化快速发展的今天,每天被电子产品“绑架”的我们是否还记得在儿时夏夜,漫天星河下,山间田野处,一群群萤火虫像坠落凡间的精灵,伴随着星光闪烁,流萤飞舞。

在福建省南靖县云水谣古镇一带,就有着这样一片梦境般的萤火虫栖息地。每年的盛夏时节,萤火虫都会伴随着夏季银河如约出现,池塘边、草丛里,到处都是小精灵自在地飞来飞去,闪烁着荧光,像星的河流,灯的长阵。

7月15日,笔者踏上了期待已久的云水谣夏夜星河萤火虫之旅。我们穿过泥泞的山间小路,刚到达梦幻的萤火虫栖息地,就被眼前的场景震撼了。几十只萤火虫在星光下翩翩起舞,像是在欢迎我们这些远道而来的客人一般,这些小精灵同时闪亮,又同时熄灭,很有节奏地闪烁着,伴随着虫鸣,就像一场盛大的夏季音乐会。

想结合星空,拍摄好萤火虫并不难,只要参考以下关键部分,就能拍摄出较为满意的萤火虫星光作品了。

首先,拍摄星空及萤火虫,一套结实稳固的三脚架和能够设置间隔的快门线是必要的。

其次,因为萤火虫和星星发出的光相对较弱,为了能捕捉到较为明显的萤火虫光迹,同时保证星空的正常曝光,需要设定较高的感光度(ISO大于1000)较为合适;同时,建议使用大光圈镜头。使用大光圈的优点在于,由于景深的关系,在近处的萤火虫的光斑就可以变得比较大,而焦点范围内的萤火虫和星星就相对小,这样大大小小的萤火虫光斑就会和星空交织在一起,让画面十分丰富,更有层次感。

再次是曝光时间,基于上述条件,建议曝光时间8秒或者更长,越长的曝光时间就能记录越多的萤火虫光斑。但如果由于环境光太亮而无法增加曝光时间的话,我们也可以使用后期堆栈叠加的方法来增加照片中萤火虫光斑的数量,同时也可以形成美丽的星迹作品。

还有就是对焦,我们应该尽量将镜头的焦点设置在远处的物体上,例如南京灵谷寺萤火虫拍摄点,大家通常会把焦点设置在远处的灵谷寺主体建筑上,这样就使我们的建筑轮廓清晰,同时由远及近处,萤火虫光斑也越来越大,有一种萤火虫向你飞来的氛围感。当和星空

一起拍摄时,我们把焦点设置在无穷远的星星就可以了。

最后需要提醒的是,在拍摄萤火虫的时候

不要使用强光照射萤火虫。萤火虫害怕灯光,过强的灯光会造成它们的死亡,建议使用微弱的红光来辅助照明。



《鹊桥天使》,汤瑶琳2017年7月16日摄于福建省南靖县云水谣古镇