

· 访谈 ·



张同杰,北京师范大学天文系教授,教育部新世纪人才获得者,国际天文联合会(IAU)宇宙学分会会员。

“天河二号”助力探寻暗物质

随着科学技术的向前推进,人类对宇宙大爆炸的认识也在不断提升,卫星和基地观测设备对宇宙微波背景的观测数据成果让人类以更精确的数据认识早期宇宙。不过,人类对宇宙 137 亿年的演化历程仍然知之甚少。虽然观测技术在近几年取得了巨大的进步,但理论模拟和计算机模拟等模拟技术仍然是天文学家探索未知宇宙的有力工具之一。

暗物质占宇宙成分的 26.8%,在宇宙中纵横交错编织了一张巨大而看不见的网,被认为是促成星系、恒星和行星产生的原因,影响了宇宙结构的形成。由于其不能为肉眼和现时的探测设备所发现,它的成分和结构都是一团迷雾。2015 年 5 月,北京师范大学天文系教授张同杰领衔的由北京师范大学、国防科技大学、加拿大理论天体物理研究所、北京大学、中国科学院高能物理研究所联合组成的宇宙中微子数值模拟团队,经过一系列技术攻关,在“天河二号”上成功进行了 3 万亿粒子数中微子和暗物质的宇宙学数值模拟,揭示了宇宙大爆炸 1600 万年之后至今约 137 亿年的漫长演化进程。《科技导报》采访了张同杰,请他为读者解读这一世界级科研成果。

超级计算机与暗物质

未知的暗物质占据了宇宙中 82% 的物质,其产生的引力作用是推动宇宙演化的关键因素,因此对宇宙的研究不可避免地要涉及到暗物质。张同杰说,超级计算机作为暗物质探测 3 种主流方法之外的“第 4 种”手段,通过间接手段来模拟和计算暗物质。天文学家认为,超级计算机通过天文观测手段为探测宇宙中暗物质打开了一扇新的大门,有望大大缩短人类探索宇宙起源与演化奥秘的时间进程,会对基础科学、宇宙环境、地球生态、矿藏勘探等领域的科学研究将起到积极的推动作用。

谈及中国超级计算机的发展历史,张同杰说,与世界其他发达国家相比,中国的超级计算机研制起步较晚,始于 20 世纪 60 年代。至今大体经历了 3 个阶段:20 世纪 60 年代末到 70 年代末,以大型机的并行处理技术研究为主;20 世纪 70 年代末至 80 年代末,主要从事向量机及并行处理系统的研制;

20 世纪 80 年代末至今,以 MPP 系统及工作站集群系统的研制为主。近几十年来,中国高端计算机系统研制发展迅速,使中国成为继美国、日本之后,第 3 个具备研制高端计算机系统能力的国家。

张同杰分析:“随着超级计算机的快速发展,目前国际上一些研究团队已经成功模拟了暗物质的存在。”例如,2010 年,丹麦哥本哈根大学尼尔斯·玻尔研究所的天体物理学家,在大范围不同类型的暗物质晕的基础上建立了一个计算机模型。丹麦的理论学家认为,在星系外围环绕许多暗物质晕,包括银河系的大多数的星系都镶嵌在这种暗物质晕当中。但让人不解的是,除了经由重力的作用之外,这些暗物质晕似乎与星系内的物质和能量没有任何的交互作用。在这一基础上拟建的模型表现出了完美的平衡感,研究人员通过对模型周围能量做出调整,施以可改变暗物质结构的力后,所有的暗物质晕的状态都向同一形式发生改变,这与恒星模型所作出的反应截然不同。由此研究人员首次发现了暗物质具有一个“吸引区”——就是暗物质晕,它在温度状况和暗物质密度间起着特别的联系。

2013 年,日本筑波大学一个研究小组宣布,他们利用日本最强的超级计算机“京”,成功模拟演算了约 2 万亿个暗物质粒子在初期宇宙空间的运动情形。模拟演算结果显示了约 2 万亿个粒子由于相互作用的重力而集中,产生了构造物的过程。除此之外,美国的天体物理学家也在计算机上模拟得到了暗物质。

2015 年 5 月,张同杰领导的中国宇宙中微子数值模拟团队成功完成了 3 万亿粒子数中微子和暗物质的宇宙学数值模拟。张同杰自豪地说,日美等国很早就开始了在计算机上模拟暗物质。但“天河二号”成功地运行了含有中微子和暗物质的 3 万亿粒子数的宇宙学数值模拟,远超之前 1.5 万亿粒子数的世界纪录,成为目前世界上运行粒子数最多的 N 体数值模拟。张同杰的研究团队在“天河二号”上模拟了宇宙从大爆炸之后 1600 万年开始至今的约 137 亿年的漫长演化过程,产生了大于 PB 级的科学数据。



张同杰(右一)及其研究团队

计算机上如何“观测”暗物质

暗物质的探测手段主要有地下探测、太空探测和对撞机上创造暗物质粒子3种。那么“天河二号”在暗物质探测领域担当怎样的角色?它又是如何助力暗物质探测的呢?

“这个看似极其专业的研究,说白了就是用虚拟的3万亿颗粒子模拟宇宙演化的过程。”张同杰说,在计算机模拟中,宇宙形成初期,这3万亿虚拟粒子就像散沙一样分布在盒子中。随着时间推移,科学家根据天体物理与宇宙学模型设计好的引力作用下,这些粒子会相互聚合、分散,模拟宇宙的演化过程。他们的模拟正是要尽可能还原宇宙中微子和暗物质在宇宙中的真实演化情况。

宇宙中除了暗能量以外,暗物质在物质领域中占比非常大。通过引力透镜和星系旋转曲线可以证明暗物质的存在。“天河二号”在假定暗物质存在的基础上,模拟暗物质构成的构成结构,再与宇宙中的结构形成对比。“目前的探测手段只能探测当前宇宙的发展形态,无法观察描述宇宙的整个演化过程,但是通过超级计算机,却可以很好地模拟宇宙137亿年的发展过程,呈现整个宇宙的演化历史程。另一方面,从理论上讲,有些理论研究到了非线性阶段,就无法进行下去了,因为无法得到分析解,这时候就只能应用数值解,那么超级计算机的作用就逐渐重要起来。”张同杰说。

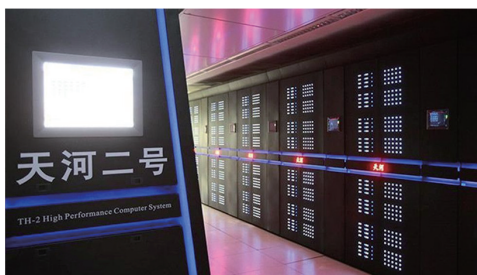
“探测暗物质不是我们的最终目的,暗物质只是我们课题的一部分,我们模拟出来的是宇宙的结构,将模拟出来的结构与望远镜观测到的宇宙进行对比。最终的目的是通过计算机模拟,从天体物理的角度,进一步加深对宇宙的认识。”张同杰说,模拟演算显示粒子由于相互作用的重力而集中,产生了构造物的过程,这将有助于弄清暗物质的性质和宇宙是如何诞生的。同时将“天河二号”的模拟结果与其他



“天河二号”超级计算机(图片来源:《科技日报》)

研究团队探测到的结果进行对比,可以进一步为暗物质存在提供证据,也可以为实际观测暗物质的存在提供新的手段和理论。

张同杰同时强调,用3万亿粒子做模拟是史无前例的,美国最大做到了1.5万亿粒子数的规模。进行多达3万亿粒子数中微子和暗物质的宇宙学数值模拟,目前世界上只有“天河二号”能做到。粒子数越大,模拟出的宇宙演化过程也就越清晰,可以把原来无法呈现的天体物理细节模拟出来,而这对计算能力提出了更高的要求。张同杰研究团队启用了“天河二号”全系统中的1.4万个结点,共计运算52 h,在“天河二号”上模拟宇宙大爆炸之后1600万年至今的演化过程,主要是通过中微子、暗物质,以及中微子与暗物质的比来计算。



“天河二号”超级计算机(图片来源:凤凰科技)

但与其他领域相比,宇宙数值模拟对运算存储能力的要求更高。于是,数据存储的问题就凸显出来了。“我们的在一个时间节点上模拟输出的数据就有约30 T,整个模拟完成产生的数据量是P量级的。”张同杰说,下一阶段他们的目标是把黑洞和虫洞的形成过程加进模拟中,那么现如今P量级的数据量在将来可能会达到几百P,如此大的数据存储将会成为“天河二号”的不得不解决的一个重要的问题。

后续数值模拟期待解开暗物质粒子性质之谜

“2015年我们对外发布的成果,仅仅是第一批的初步运算分析结果,目前这批数据的运算已经全部完成,下一步我们的工作重心是基于这些数据进行一系列的模拟。这当中主要是针对暗物质的模拟,也会与其他团队观测的结果进行对比。同时我们也非常希望能与国际上其他的观测团队合作,请他们用我们的数据进行对比分析。”张同杰说,接下来的数值模拟基本上就是科学的问题了。他们非常期待着在不久的将来能够利用模拟出的结果揭示中微子在宇宙演化中作用的详细细节,进一步在宇宙中微子质量顺序及其绝对质量限制上取得重要进展。并借此探寻暗物质的性质之谜。他说从天体物理角度,通过数值模拟,会让人类对宇宙的认识又近了一步。虽然目前看来,暗物质的模拟对人类现实的生活没有直接的作用,但这对科学有推动的作用,尤其是对粒子物理将是革新性的突破。

文/祝叶华(《科技导报》编辑部)

(责任编辑 陈广仁)