

据报道,爱因斯坦的方程描述了时空的三种典型构型。现在,科学家的研究表明,其中一个在量子引力研究中很重要的构型具有内在的不稳定性。

从2017年到今天,数学家已经在一系列工作中表明,一种名为“反德西特空间”(anti-de Sitter,简称AdS)的爱因斯坦时空构型是不稳定的。如果把一小块物质扔进AdS空间,最终会出现一个黑洞。这种机制也可以适用于与AdS无关的其他情况,即物质或能量被封闭在一个没有逃离出口的物理系统中。



爱因斯坦时空构型并不稳定:一小块物质都可形成黑洞

尽管我们并不是生活在一个反德西特宇宙中(如果是的话,我们就不会存在),但这项研究对我们理解引力理论与量子力学之间的神秘联系有着重要意义。

引力的膨胀

不稳定性猜想——以及由此产生的整个思想流派——可以追溯到爱因斯坦的广义相对论方程,后者精确地阐明了质量和能量如何影响时空的曲率。真空中没有任何物质,但由于真空本身的能量密度(用“宇宙常数”来描述),时空仍然是弯曲的,引力也依然存在。事实证明,真空其实根本就不是空的。

爱因斯坦真空方程的三个最简单的解是最对称的解,即时空曲率处处相同的解。在闵可夫斯基时空中,宇宙常数为零,宇宙是完全平坦的。而在德西特时空中,宇宙常数具有一个正值,宇宙的形状像一个球体。当宇宙常数为负时,你就获得了AdS时空,呈马鞍形。在宇宙学发展初期,科学家们想知道这三个时空中到底哪一个描述了我们的宇宙。

另一方面,数学家们则倾向于怀疑这些时空是否真的稳定。换言之,假如你以任何方式(比如向系统中注入一些物质或发送一些引力波)扰乱了真空时空,那它最终是会回到接近原始的状态?还是会进化成完全不同的东西?这就好比将一块石头扔进宇宙“池塘”,海浪是会逐渐减小,还是会逐渐

渐形成海啸?

1986年,一位数学家证明德西特时空是稳定的。1993年,两位数学家在对闵可夫斯基时空的研究中得出了同样的结论。AdS问题的研究花了更长的时间。一般的共识是,与其他两种构型不同,AdS是不稳定的,意味着数学家将不得不采用一种全新的方法。研究者已经开发了许多数学工具来解决稳定性问题,但不稳定性是一个完全不同的领域——尤其是这种类型的不稳定性。在本质上,这种不稳定性是非线性的,从而导致了固有的复杂情况,相应的计算也更加复杂。

研究人员怀疑AdS时空的不稳定性可能是由于其边界会反射,导致它“像一面镜子,任何击中它的波都会反射回来”。从物理的角度来看,边界上的反射是有意义的,这部分可能是由于AdS空间的曲率,但还有一个更简单的解释:能量守恒原理。

如果边界实质上是反射性的,那么就没有任何东西能从AdS时空中逃逸出来。因此,进入系统的任何物质或能量都有可能聚集起来,甚至聚集到形成黑洞的程度。问题是,这种情况真的会发生吗?如果会,是什么机制导致物质和能量聚集到这样的程度,而不是分散开来?

你可以想象自己站在AdS时空的中央,就像站在一个巨大的球体内,球的边缘或边界在无穷远处。如果从那里发出一个光信号,那它会在有限的时间内到达边

界。这种传播之所以成为可能,是因为一个众所周知的相对论效应:尽管到边界的空间距离确实是无限的,但对于以光速或接近光速运动的波或物体而言,时间变慢了。因此,站在AdS时空中央的观察者会看到一束光线在有限的时间内到达边界(这需要一些耐心)。

如果我们不使用光线,而是将一种通常在广义相对论模型中使用的物质——爱因斯坦-弗拉索夫粒子(Einstein-Vlasov particles)——放入AdS空间。这些粒子在时空中产生同心的物质波,类似于池塘里出现的水波。

当物质突然进入这个时空时,会产生许多同心波,其中前两个将是最大的。这两个波包含了最多的物质和能量,因此我们将重点关注它们。第一个波可以称为“波1”,会向外膨胀,直到到达边界,然后反弹回来,并在退回中心时收缩波形。第二个波,波2,会紧随波1之后。

当波1从边界反弹并开始向中心收缩时,它将击中仍在膨胀的波2。莫奇迪斯确信,爱因斯坦方程的一个结果是,在这样的相互作用中,膨胀波(这里的波2)总是将能量传递给收缩波(波1)。

波1到达中心后,它将再次开始膨胀,与波2相遇,而后者此时正在收缩。这一次,波1将把能量传递给波2。这个循环可以重复很多次。

越靠近中心的地方,波占据的空间越少,携带的能量越集中。正因为如此,波在靠近中心的相互作

用过程中,比在靠近边界的相互作用过程中交换了更多的能量。最终的结果是,波1在中心给波2的能量要比波2在边界给波1的能量更多。

经过无数次的重复,波2变得越来越大,不断从波1吸收能量。因此,波2的能量密度持续累积。在某一时刻,当波2向中心收缩时,其能量会变得非常集中,从而形成一个黑洞。

这就是不稳定性的证据。当在AdS时空中加入极少量的物质时,一个黑洞(或更多黑洞)将不可避免地形成。然而,根据定义,AdS时空到处都有统一的曲率,这意味着它不能容纳像黑洞这样扭曲空间的物体。如果你扰乱了AdS时空,并等待足够长的时间,你最终会得到一个不同的几何体,其中将包含黑洞,而它也不再是AdS时空。这就是我们所说的不稳定。

不久前,数学家已经通过另一种物质扰动——所谓的“无质量标量场”(massless scalar field)——证明了AdS不稳定性。由于标量场产生的波可以视为引力波的替代品,因此使证明真正真空中的AdS不稳定性又近了一步。在真正的真空中,时空在没有引入任何物质的情况下只严格受到引力扰动。

AdS空间与湍流

AdS时空的不稳定性对我们如何理解所处的宇宙有着重大的影响。首先,由于AdS时空是不稳定的,因此“你在自然界看不到这样

的东西”。

但是,即使AdS不是真实的,它仍然可以引导我们发现并研究真实的现象。例如,当能量从大尺度集中到小尺度时,就会产生“湍流”(turbulence),当AdS时空受到扰动时,就会发生湍流。但是,湍流是一种广泛存在于各种流体系统中的现象,而且人们对它的了解很少。AdS时空是一个“干净”且相对简单的系统,这也是为什么AdS是研究湍流的“一个很好的理论试验台”。在AdS时空的设定中,湍流是由引力引起的,但正在开发的数学工具也能够帮助分析流体力学中出现的湍流。

AdS在所谓的“AdS/CFT对偶”(AdS/CFT correspondence,全称为反德西特/共形场论对偶)中也有显著作用,这是将量子力学与引力统一在一个无所不包的量子引力理论中的关键线索。此对偶表明,AdS空间中的引力系统可以等价于少一个维度的非引力量子系统。我们可以用一个不包含引力的量子力学系统来描述它,而不是用引力理论——AdS宇宙中的引力理论而非我们宇宙中的引力理论。

新的研究结论结合AdS/CFT对偶,可以帮助阐明人们更熟悉的粒子相互作用领域。例如,利用AdS时空的微小扰动来创造黑洞,而这个过程通过对偶关系,与促使量子系统达到平衡态——几乎是普遍存在的真实世界现象——的热化过程相关联。

证明AdS的不稳定,并不意味着它变得无趣。

人类将在什么时候灭绝?

一些物种留下了后代,但大多数物种——如蛇颈龙、三叶虫、雷龙等——则彻底消失。其他人类物种也是如此。尼安德特人、丹尼索瓦人、直立人都消失了,只留下智人(Homo sapiens),也就是正在思考这一问题的我们。人类正不可避免地走向灭绝,问题并不是会不会灭绝,而是什么时候灭绝。

我们常常看到一些耸人听闻的新闻标题,暗示这样的灭绝即将来临。掠地小行星的威胁是媒体的最爱,火星则经常被认为是人类未来逃避灭绝灾难的去处。此外,气候危机的威胁也一直在持续。

人类堪称这个地球上最成功的物种,但也存在弱点。作为大型温血动物,我们并不能很好地应对环境破坏引起的生态剧变。体型较小的变温动物,如海龟和蛇类等,可以在缺乏食物的情况下生存好几个月,这也是它们历经多次灭绝事件幸存下来的原因。新陈代谢较快的大型动物,如霸王龙或人类等,则需要大量的食物,而且要频繁进食。在火山爆发、全球变暖、冰河时代或小行星碰撞后的“撞击冬季”等灾难过后,短暂的食物链中断会对这些动物造成严重影响。

人类的寿命较长,一个世代的时间也很长,后代很少。缓慢的

繁殖过程会使动物难以从种群崩溃中恢复,这也减缓了自然选择,使动物难以适应快速的环境变化。这就注定了猛犸象、地懒和其他巨型动物的灭亡。此外,这些大型哺乳动物的繁殖太慢,也无法承受或适应人类的过度捕猎。

因此,人类也是脆弱的,但我们有理由认为自己能够避免对抗灭绝,这或许是独一无二的。人类是一个非常奇怪的物种,分布广泛、数量众多,而且极容易适应环境,这一切都表明我们会在地球上逗留相当长一段时间。

无处不在的人类

首先,我们真的是无处不在。当生物体在地理上分布足够广泛时,就能在灾难事件(如小行星撞击)和大规模灭绝事件的间隔期间生存得更好。大的地理范围意味着一个物种不会“把所有鸡蛋放在一个篮子里”。如果一个栖息地被破坏,它们可以前往另一个栖息地生存。

分布范围较小的北极熊和大熊猫如今已濒临灭绝,而有着巨大活动范围的棕熊和红狐则境况尚可。人类是所有哺乳动物中地理分布范围最大的,遍布所有大陆,活跃在遥远的海洋岛屿、沙漠、苔原和雨林等各种栖息地。

我们不仅无处不在,而且数量

众多。人类目前约有78亿人口,是地球上最常见的动物之一。我们的生物量超过了所有的野生哺乳动物。即使假设一场流行病或核战争消灭掉99%的人口,也有数百万人能存活下来,重建家园。

我们也不挑食。从灭绝恐龙的小行星撞击事件中幸存下来的物种很少依赖单一的食物来源。这其中就包括杂食性哺乳动物,或者诸如短吻鳄和鳄鱼这样的食肉动物,它们几乎什么都吃。人类的食物中也包括成千上万种动物和植物。根据所能获得的食物,我们既可以是食草动物,也可以是食肉动物,当然更多的还是杂食动物。

但最重要的是,我们不像其他任何物种那样只通过DNA来适应环境,而是通过习得行为,也就是文化。人类是动物,属于哺乳动物,但我们又是如此怪异、特殊的哺乳动物。我们在动物界中与众不同。

我们不是用几代人的时间来改变我们的基因,而是利用智力、文化和工具,在几年甚至几分钟内就改变我们的行为。鲸类花了数百万年才演化出鳍状肢、尖齿和声呐。但在几千年里,人类就发明了鱼钩、船舶和寻鱼器。文化演变甚至超过了病毒的演化。病毒基因的突变可能需要几天时间,但说服别人洗手或许只要几秒钟。

文化演化不仅比基因演化更快,而且有着非同寻常的意义。对

于人类,自然选择造就了一种具有智能设计能力的动物,这种动物不是盲目地适应环境,而是有意识地重塑环境以适应其需要。马进化出研磨用的臼齿和复杂的肠道,适应了以植物为主的食物。人们则驯养植物,然后砍伐森林,种植庄稼。猎豹演化出极高的速度,在追逐猎物时保持优势,而我们却大量饲养不会奔跑的牛羊。

我们的适应性是如此独特,甚至有可能在一次大灭绝事件中幸存下来。如果在小行星撞击地球之前能有10年的预警时间,那人类可能会储存足够的食物来度过寒冷和黑暗的岁月,从而挽救大部分人口。像冰河时期那样的长期破坏也可能导致大范围的冲突和人口崩溃,但文明很可能会保留下来。

不过,这种适应性有时会让我们的成为自己最大的敌人,因为我们太聪明了。改变世界有时意味着将世界变得更糟,制造新的危险——核武器、环境污染、人口过剩、气候变化、流行病……。因此,我们也通过核协议、污染控制、计划生育、廉价太阳能、疫苗等手段来降低这些风险,希望逃脱自己设下的每一个陷阱。

到目前为止,情况并没有那么乐观。

相互联系的世界

人类的全球文明也发明了相

互支持的方式。世界某地的人们可以向其他地方的弱势群体提供食物、资金、教育和疫苗。但是,互联互通和相互依存也会造成脆弱性。

国际贸易、跨境旅游和发达的通讯把世界各地的人们联系在一起。因此,华尔街的金融赌博可能会摧毁欧洲经济,某个国家的暴力会引发地球另一端的极端主义仇杀,新型病毒的蔓延也可能威胁数十亿人的生命和生计。

这一切都表明我们的乐观情绪很有限。智人已经存在了超过25万年时间,历经冰河时期、火山爆发、流行病和世界大战等无数灾难。可以想象,我们应该很容易能再延续25万年甚至更长时间。

当然,悲观的场景也可能出现,我们或许会看到自然或人为灾难导致社会秩序的普遍崩溃,甚至是文明崩溃和大部分人口的消失。那将是一个残酷的后末日世界。即便如此,人类还是有可能存活下来,利用之前社会的遗留物作为生活资料,就像电影《疯狂的麦克斯》里呈现的那样。我们或许会回归自给自足的农业,甚至再次成为狩猎采集者。

这样看来,人类免于灭绝的门槛很低。或许问题并不在于人类能否在未来的三、三十万年中存活,而在于我们能否做得更多,而不仅仅考虑生存。