



视觉中国供图

# 吞噬一切的黑洞竟然也有“压力”

◎ 实习记者 孙明源

人们在生活工作中，都有着或大或小的压力。不过，让人意外的是，深邃宇宙中，就连能够吞噬一切的黑洞，也有“压力”。

近日，一项最新研究表明，来自英国萨塞克斯大学的物理学家发现，黑洞实际上是更复杂

的热力学系统，不仅有温度，还有压力。这是科学家首次发现黑洞有压力，相关研究成果发表于《物理评论D》。

为何黑洞也有压力？此次研究人员是如何发现这一特性的？未来又应该如何验证？带着这些问题，科技日报记者采访了北京师范大学物理学系副教授、引力物理专家张宏宝。

## 黑洞从假说到显露“真容”

作为20世纪物理学界最重要的假说之一，黑洞让物理学家和天文爱好者都十分着迷。

早在1783年，英国地理学家约翰·米歇尔就提出，宇宙中可能存在一种天体，其密度大到连光都无法逃逸。1915年，爱因斯坦在广义相对论中提出某些大质量恒星会演化为巨大的引力场。1916年，德国天文学家卡尔·史瓦西的计算结果表明，如果大量物质集中于空间一点，其产生的引力可以让光也无法逃脱。1968年，美国天体物理学家约翰·阿奇博尔德·惠勒正式提出了“黑洞”一词。

然而，由于黑洞无法被直接观测到，人类只

能凭借一些间接的方式，例如借由其他物体的轨迹或被吸入物体的信息来证明黑洞的存在，并依据这些信息对黑洞进行研究。

随着科普和科幻作品的流行，黑洞已经成为大众最熟知的科学概念之一，黑洞的“神秘属性”也刺激着人们对于宇宙的好奇心。在过去的几十年间，科学家围绕黑洞的相关特征提出了大量的假说，但时至今日，黑洞仍有许多谜团待解。

2019年4月，经过200多名科研人员历时10余年的努力，人类才终于拍到历史上首张黑洞照片，这在黑洞研究历史上具有里程碑意义。

## “奇怪”的数字揭示黑洞压力

即便见到了黑洞的“颜值”，人类仍然对黑洞的属性知之甚少。不过，随着研究的不断深入，科学家正在不断获得新的发现，这些研究成果也让黑洞的科学形象越来越“丰满”。

事实上，早在1974年，著名物理学家霍金就已提出假说，认为黑洞能够不断向环境辐射热量，具有类似黑体的辐射光谱，即“霍金辐射”。这就意味着，黑洞应当有温度，而且黑洞最终会完全蒸发。根据霍金的理论，黑洞并不意味着绝对的虚无，而是会发射粒子，即散发出热辐射。霍金相信这种辐射最终会使黑洞失去足够的能量和质量，导致其最终消失。

在过去2年当中，已有多项研究对霍金的该项假说进行了探讨。例如2019年以色列理工学院的科学家利用“玻色-爱因斯坦凝聚”状态的极冷气体来模拟黑洞的事件视界（即黑洞的一个看不见的时空边界，任何东西都无法从

事件视界内部逃脱）。在这次实验当中，科学家观测到了“霍金辐射”。

而在此次最新研究中，2位来自英国苏塞克斯大学的物理学家泽维尔·卡尔梅以及福特·凯普斯教授所领导的研究团队在对史瓦西黑洞（一种最常见的黑洞模型）的熵进行量子引力校正时发现了一个“奇怪”的数字。随后，研究人员意识到他们所看到的数字代表的物理行为正是一种压力——黑洞也会对其周围的空间施加压强。

研究者基于量子引力的有效场论方法，利用沃尔德熵公式计算黑洞熵的量子引力修正，结果发现黑洞除了有温度外，对外界还会有压强。这种压力的效应极微弱，以太阳大小的黑洞来说，产生的压强只有地球大气压强的10—46倍。不过，研究者也表示，目前还不清楚造成这种压力更深层次的原因。

# “早期暗能量”或让宇宙年轻10亿岁

## 天闻频道

近日，在预印本网站arXiv.com上公布的2篇研究论文显示，研究人员或许从阿塔卡马宇宙望远镜（ACT）2013年到2016年间收集的数据中首次找到了“早期暗能量”的迹象。

而如果真的存在这种假想中的“早期暗能量”，宇宙年龄就要比现在测量的小10亿多岁。

### 理论与观测间的矛盾

暗能量是一种普遍存在但又难以捉摸的宇宙成分，它可以加速宇宙的膨胀速度。如今，宇宙学家或已找到了第二种暗能量的信号，这种暗能量或许曾在宇宙大爆炸后30万年内存在。

据悉，通过测量得到的宇宙膨胀速度，和早期宇宙的数据不匹配，而如果“早期暗能量”的发现能被确认，科学家或许就能解决这一问题。

但研究人员也表示，目前数据仍然是初步

的，还不足以在较高的可信度下检测“早期暗能量”。不过研究人员说，ACT或南极望远镜（SPT）的进一步观测，能够提供更加翔实的数据。上述论文合著者、美国哥伦比亚大学的宇宙学家科林·希尔说：“如果宇宙早期的确充斥着‘早期暗能量’，我们就应该能看到强烈的信号。”

ACT和SPT的设计目的都是绘制宇宙微波背景（CMB），这是宇宙大爆炸后宇宙中第一缕自由传播的光。对于宇宙学家而言，CMB是他们宇宙理论的重要支柱之一。通过描绘CMB在全天各个方向上的细微差异，研究人员已经找到了“宇宙学标准模型”的有力证据。这个模型用3个初始参数描述了宇宙的演化：暗能量、暗物质和普通物质。暗物质的神秘程度和暗能量不相上下，它是星系形成的主要原因。而我们熟知的普通物质，还不到宇宙总能量/质量的5%。

当前最佳的CMB观测结果，是欧洲航天局的普朗克任务在2009年到2013年间绘制的。而根据宇宙学标准模型，科学家可以通过计算普朗克任务的数据来预言现在宇宙应该以

研究者基于量子引力的有效场论方法，利用沃尔德熵公式计算黑洞熵的量子引力修正，结果发现黑洞除了有温度外，对外界还会有压强。这种压强的效应极微弱，以太阳大小的黑洞来说，产生的压强只有地球大气压强的10—46倍。

## “发现黑洞压力”研究也有不足

对于此次最新研究，张宏宝解读说，从科学研究的角度来看，刚刚发表的这篇研究论文属于一个中规中矩的工作，并没有什么重大突破，而且还存在两个较大的问题。其一是我们还没有一个完备的量子引力理论。如前文所述，该计算是在有效场论下的计算结果，当熵获得了量子修正，也许它的质量也获得了量子修正，这样那个所谓的黑洞压力就不存在了，但热力学第一定律依然正确；其二，即使最终可以把这个量子修正解释为黑洞压力的存在，其具备可观测的效应很小，因而缺乏观测价值。在该成果同其他理论的对话当中，这两点

不足会有较大影响。

张宏宝表示，在天体物理学、宇宙学研究当中，物理学和数学之间、可观测和不可观测现象之间的各种对话和碰撞普遍存在。科学研究需要建立在严谨的方法论基础之上，人类认知的拓展也是个循序渐进的过程，单个研究很难具备决定性的意义。“在数学公式中发现黑洞压力”是一个有趣的发现，但也只是一个小小尝试。正是在这些不间断的探索当中，黑洞的形象逐渐走向“丰满”，其轮廓也愈加清晰。对于真正的科学家来说，“发现黑洞”是一项长期持续的，而非一次性的工作。

## 延伸阅读

### 史瓦西黑洞：“寻常”的黑洞模型

此次的最新研究发现是建立在史瓦西黑洞假说的基础之上。

1916年，德国天文学家、物理学家史瓦西提出了史瓦西黑洞假说，将史瓦西黑洞设定为一个不带电、不自旋的黑洞，黑洞中心为奇点，黑洞的外圈为事件视界，又称史瓦西半径。史瓦西黑洞又被称为“寻常黑洞”，其本身只是一种假说模型，并不能代表现实当中黑洞的真实面貌。

在史瓦西黑洞假说当中，还有一个等同概念叫做史瓦西度规，即史瓦西于1915年针对广义相对论的核心方程——爱因斯坦场方程——关于球状物质分布的解。史瓦西度规是爱因斯坦

场方程最一般的真空解，这个解就是史瓦西黑洞。换言之，史瓦西黑洞和史瓦西度规，就是同一事物在物理和数学领域的不同模型形式。正如史瓦西本人在1913年当选德国科学院院士时说的“数学、物理学、化学、天文学是向前行的，无所谓谁落在后面，也无所谓谁在前头并施以援手……数学、物理学、天文学构成了一个‘知识’，只能作为一个完美的整体而被理解。”

当然，除史瓦西以外，其他科学家也提出了一些黑洞模型。例如一种同时带有角动量和电荷的黑洞假说，叫做克尔-纽曼黑洞，相比于静态的史瓦西黑洞，克尔-纽曼黑洞更接近于实际的黑洞。

### 仍需不同模型交叉检验

与“普通的”暗能量不同，“早期暗能量”不会强到导致宇宙加速膨胀。但它会让宇宙大爆炸时产生的等离子体以更快的速度冷却。这将影响科学家解释CMB的方式——特别是涉及用整个宇宙的等离子体冷却成气体之前，声音在其中传播的距离，来计算宇宙年龄和宇宙膨胀速率（即重子声学振荡相关问题），普朗克任务和其他类似的观测，正是用这种效应在天空

中留下的印记来进行计算。

此次最新研究发现，相比于宇宙学标准模型，带有“早期暗能量”的宇宙学模型更能符合ACT在CMB中观测到的偏振信息。希尔表示，用“早期暗能量”模型来解释ACT观测到的CMB数据，宇宙的年龄将会是124亿岁，比用标准模型计算出的138亿岁小了11%。因此，现在宇宙膨胀的速率应该比标准模型预测的快5%，与天文学家计算得到的结果更为接近。

但普朗克任务团队的一名成员却提醒道，ACT的数据和普朗克团队计算出的数据不一致；尽管ACT的偏振数据支持“早期暗能量”的存在，但目前还不清楚主要数据集——CMB的温度分布——是否表现出同样的偏向。她补充道，出于这些原因，用SPT的数据对结果进行交叉检验是十分必要的。

美国芝加哥大学的天文学家温迪·弗里德曼说：“追求不同的模型，并将其和标准模型进行对比，这非常重要。”

（Davide Castelvecchi撰文，王昱翻译，据《环球科学》）

## “日凌”来袭 我国电视画面或受影响

新华社讯（记者周润健）电视机前的观众朋友们注意了！9月26日至10月16日，用于我国广播电视节目传输的卫星将进入秋季“日凌”期，卫星广播电视节目接收会受到“日凌”影响，电视画面可能会短时出现“马赛克”“雪花”“黑屏”甚至信号中断的情况。

所谓“日凌”，是卫星的通信信号受到太阳强大辐射干扰的自然现象，发生在每年“春分”和“秋分”前后。“在此期间，太阳直射地球赤道。从地面上看，这段时间里太阳每天东升西落的过程中，会划过卫星所在的位置附近，太阳强大的电磁辐射会对卫星信号造成强烈的干扰，从而使接收的信号质量下降，导致电视画面出现图像、文字不清晰，‘马赛克’‘雪花’‘黑屏’甚至信号中断的情况。”天津市天文学会理事、天文科普专家修立鹏说。

修立鹏表示，“日凌”是一种自然现象，不可避免，它每次持续的天数和每天持续的时间长短，会根据地面站的地理位置和天线的大小的不同而不同，不过一般不会持续太长时间，每天出现5至10分钟，且发生在中午前后。“日凌”现象不会损坏电视机，也不会对人体健康造成危害，公众不用担心。

国家广播电视总局近日发布了2021年全国主要城市秋季卫星“日凌”时间预告。预告指出，2021年9月26日至10月16日，用于我国广播电视节目传输的卫星将进入“日凌”期，并公布了“中星6A”“中星6B”“中星6C”“中星9号”“亚太5C”“亚太6C”“亚洲6号”“亚洲7号”等卫星在国内主要城市的“日凌”时间。

“提前预告后，广播电视节目传输卫星的各家运营商可以采取相关措施加以解决，比如通过其他卫星工作等。”修立鹏说。



视觉中国供图

## “天琴”+“太极”+LISA 三大计划联合锁定引力波

◎ 本报记者 吴纯新 刘志伟 通讯员 高翔 江可凡

近日，《自然》杂志子刊《自然·天文》发表题为“中国空间引力波探测计划的概念与现状”的论文，这是中国科学家第一次在顶尖国际杂志上对中国空间引力波探测做出完整、系统的介绍。

2016年2月，美国激光干涉引力波天文台（LIGO）宣布在2015年9月14日人类首次直接探测到了引力波，这是21世纪物理学最重大的发现。引力波在宇宙中几乎自由传播，是探究包括引力本质在内的新物理及宇宙奥秘的窗口。引力波探测的国际竞争，目前已经到了白热化程度，为了参与这一国际最前沿、最基本的科学研究，中国科学家提出了“天琴”与“太极”两个空间引力波探测计划。

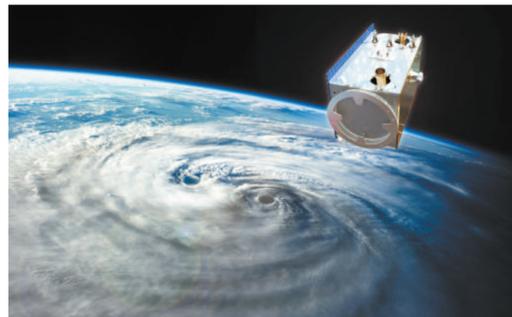
“天琴计划”是中国科学院院士罗俊于2014年3月在华中科技大学的一次国际会议上提出，2015年7月在中山大学发起，以中国为主导的国际空间引力波探测计划。其目标是在2035年前后，在约10万公里高的地球轨道上，部署3颗全同卫星，3颗卫星将构成边长约为17万公里的等边三角形编队，建成空间引力波天文台“天琴”，开展引力波的空间探测，进行天体物理、宇宙学及基础物理前沿研究。“天琴一号”已于2019年12月20日成功发射，并实现了所有预期目标。

2016年，中国科学院提出了我国空间引力波探测“太极计划”。类似欧美LISA计划，“太极计划”的3星编队轨道是以太阳为中心，设计干涉臂臂长即卫星间距300万公里。“太极计划”对卫星的稳定性提出了更高要求，3颗卫星必须构成超稳超静平台。2019年8月31日，我国首颗空间引力波探测技术实验卫星“太极一号”成功发射，标志着“太极计划”第一步任务目标已成功实现。

“中国空间引力波探测计划的概念与现状”一文由华中科技大学龚云贵、罗俊教授，上海交通大学及扬州大学王斌教授共同撰写。

龚云贵教授长期从事引力理论、引力波物理及宇宙学方面的研究，在国际上最先开展中国“天琴”及“太极”联合观测方面的研究，发现“天琴”及“太极”联合观测，可以把对于引力波源的空间定位能力提高至少两个数量级，这为引力波作为标准汽笛去研究哈勃常数危机及宇宙演化提供了理论基础。

单个引力波探测器对于不同空间方位的敏感度不同，龚云贵教授团队发现LISA、“天琴”及“太极”联合起来，不仅可以覆盖更宽广的空间，而且可以更加精确地确定引力波源的物理参数，从而更好地理解种子黑洞的起源及演化、宇宙的起源、演化及引力的本质特性等。



“太极一号”示意图 人民视觉供图