

# 中国物理学会引力与相对论天体物理分会 青年学者优秀论文奖 获奖论文介绍

为进一步推动和提高中国引力和相对论天体物理的研究水平，中国物理学会引力与相对论天体物理分会从2012年开始设立青年学者优秀论文奖，并在每年的学术年会上颁发当年的优秀论文奖。参选学者必须是分会会员，且年龄不超过35周岁。2016年的获奖者为兰州大学的魏少文，其获奖论文为：*Insight into the Microscopic Structure of an AdS Black Hole from a Thermodynamical Phase Transition*(*Physical Review Letters* 115: 111302)；北京师范大学的丁旭恒，其获奖论文为：*Is there Evidence for dark energy evolution?*(*The Astrophysical Journal Letters* 803: L22)；上海交通大学的张承勇，其获奖论文为：*Charged scalar perturbations around Garfinkle–Horowitz–Strominger black holes*(*Nuclear Physics B* 899: 37)；北京师范大学的范仲英，其获奖论文为：*Static and dynamic hairy planar black holes*(*Physical Review D* 92: 064008)。



获奖论文

## 反德西特黑洞的相变及其 微观结构

魏少文 刘玉孝

(兰州大学理论物理研究所 730000)

自从广义相对论建立之后，黑洞一直是理论物理研究和天文观测的焦点。从经典的角度来看，黑洞的引力之强，使得没有什么粒子，甚至光子，能够逃离它。然而在考虑了弯曲时空中的量子场论后，先驱 Hawking 和 Bekenstein 等人指出黑洞系统具有温度和熵，于是黑洞这一强引力系统便被映射到了一个热力学系统。随后，黑洞系统的四大热力学定律也被建立起来了。另一方面，黑洞的温度和熵都依赖于万有引力常数和普朗克常数，这一性质说明黑洞的热力学与其量子引力之间存在内在联系。又由于黑洞热力学实

际上是经典意义下的热力学，那么可以推测黑洞经典的热力学与量子引力之间存在某种对应。因此对黑洞经典热力学性质及其微观结构的研究将会为探讨量子引力提供一个重要窗口。

对黑洞热力学的研究表明，相变广泛存在于不同的黑洞系统中。特别地，受反德西特/共形场论对偶的激励，反德西特空间中黑洞系统的热力学性质得到了极大的关注，例如反德西特空间中，在稳定的大黑洞相和热气体相间存在一个著名的 Hawking-Page 相变，该相变可以解释为规范场的禁闭/解禁

闭相变。对于带电的黑洞，在正则系综下存在一个小黑洞 - 大黑洞的相变。最近，借助于宇宙学常数的新解释，即宇宙学常数可以看作是热力学压强，Kubiznak 和 Mann 将此小黑洞 - 大黑洞相变精确对应于范德瓦尔斯流体的液体 - 气体相变。进一步的研究表明，在这两种相变的临界点处，系统具有相同的临界指数和标度率。对于反德西特空间中其他黑洞热力学的研究发现，这里还存在重入相变、三相点等更为丰富的相图。

尽管越来越多的研究工作表明，黑洞具有非常普通的热力学性质，然而与普通的热力学系统相比，黑洞系统具有一个特殊的性质，即黑洞的熵正比于它的视界面积而不是体积。因而理解黑洞熵的微观起源是一个非常具有挑战性的问题。在众多的计算黑洞的微观态及研究其熵的微观起源的方法中，弦理论提供了一个很自然的方法。通过数弱耦合 D-膜态的数目，并将结果外推到黑洞相之后，Strominger 和 Vafa 得到了几类超对称黑洞精确的熵公式，类似的计算也已经运用到了其他类型的黑洞中。然而，尽管该方法取得了很大的成果，这种计算也仅仅局限在超对称和极端黑洞中，例如，对于最简单的 Schwarzschild 和 Kerr 黑洞，它们的微观态的构建仍旧没有完成。另一方面，假设引力对偶于规范理论或强耦合的共形场论，黑洞熵也可以通过不同的方法相应地计算出来，然而黑洞微观态是什么仍然不清楚。

或许我们会问，对于黑洞这一特别的物体，它是否具有微观结构？根据 Boltzmann 的深邃思想：如果你能加热它，那么它就具有微观结构。在还不清楚物质是由原子构成的时代，这一思想在研究物质的微观结构上发挥了积极的指导作用。而对黑洞来说，它可以通过吸收或辐射物质来改变它的温度，因此根据该观点，黑洞应该具有热力学微观结构，只是目前我们还不清楚它的具体细节。

另一方面，既然反德西特空间中带电黑洞的热力学行为与范德瓦尔斯流体热力学行为高度一致，那么我们或许可以猜想它们可能具有类似的微观结构。从微观上讲，流体是由一个个流体分子构成的。那么我们也可以猜想黑洞也是由有效的分子构成的，并且黑洞分子本身携带了黑洞熵的微观自由度。根据这一假

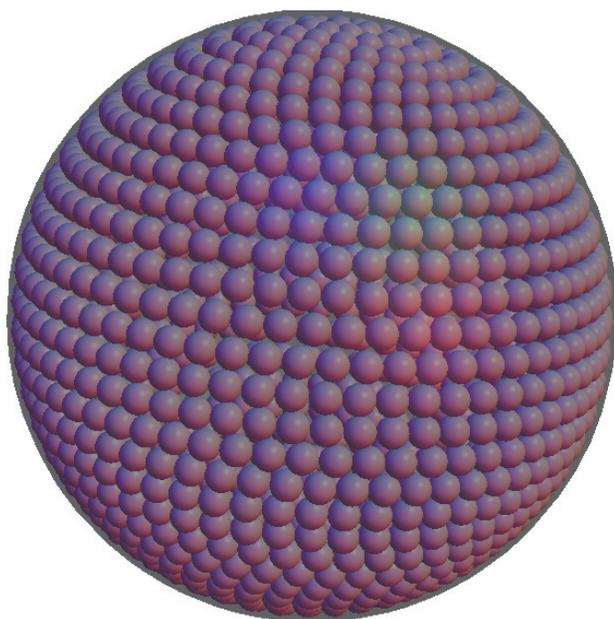


图1 黑洞分子假设示意图。从热力学角度来看，黑洞是由一个个有效的黑洞分子构成的，并且黑洞分子携带了黑洞熵的微观自由度，我们可以引入黑洞分子的数密度，通过相变来研究黑洞微观结构的某些性质。

当流体经历液体 - 气体相变时，系统的物理性质将发生质的变化，相应地，其微观结构会发生巨大的变化。因此对系统穿过两相共存曲线时物理性质的研究，将为我们理解系统微观结构提供一定的帮助。在此思想的指引下，我们希望通过研究黑洞系统穿过小黑洞 - 大黑洞相变来揭示黑洞微观结构的相关知识。经过初步的研究，我们发现，当黑洞系统发生相变时，其比体积和数密度会发生一个突变，这表明小黑洞和大黑洞的微观结构是不一致的。并且借助于数密度概念，我们可以定义一个序参量，即小黑洞和大黑洞数密度之差。该序参量在系统穿过小黑洞 - 大黑洞的一级相变时具有一个非零的数值，随着温度升高，该数值减小，最终在临界点处降为零。这也在一定程度上说明，在临界点处，即二级相变点，小黑洞和大黑洞的微观结构将趋于一致。另外，我们的研究还表明，黑洞在穿过小黑洞 - 大黑洞的一级相变时，系统伴随着潜热的吸收或释放，而该潜热在临界相变时消失。这些研究表明，在临界点以下，小黑洞和大黑洞具有不同的微观结构；而在临界点以上，小黑洞和大黑洞之间的区分将变得不明显，其微观结构也将趋于一致。

更深入地, 流体内分子间的相互作用是由兰纳-琼斯势来描述的, 该势函数可以产生一个长程吸引, 短距排斥的相互作用力。类似地, 对于黑洞而言, 我们也希望知道两个黑洞分子之间的相互作用的行为。为了回答这一问题, 需要对热力学涨落的性质进行研究。幸运的是, 著名的 Ruppeiner 几何就是根据涨落理论来构造出来的, 因此我们可以通过对黑洞系统 Ruppeiner 几何的研究来揭示黑洞分子间的相互作用类型。在电荷固定下, 仅考虑质量和压强的涨落, 我们得到了 Ruppeiner 几何的线元, 进一步得到了其标曲率。我们可以清楚地看到, 在小黑洞和大黑洞间, 标曲率存在一个间隙, 这从一定程度上说明小大黑洞间的微观结构是不一致的。并且这一间隙随着系统接近临界点而消失, 暗示着系统的微观结构在临界点附近

将趋于一致。另一方面, 根据标曲率符号的统计解释, 对于极大黑洞, 分子间具有弱的相互吸引作用, 而对于极小黑洞, 分子间是排斥相互作用。简单推测而言, 这一热力学机制可以阻止黑洞无限膨胀, 也可以阻止黑洞无限塌缩。因而一个稳定的黑洞应该是一个大小适中的黑洞。因此, 这一标曲率的图像在理解黑洞微观结构上给我们提供了一个全新的观点。

这一研究揭示了反德西特空间中黑洞的可能的微观结构, 并且这一研究方法值得推广到其他黑洞系统中, 例如高阶引力和旋转时空背景下, 这些将为我们进一步深入了解黑洞的微观结构提供一定的帮助。特别地, 对黑洞微观结构的深入研究将有助于我们理解黑洞引力方面的基本性质, 对量子引力的建立也具有非常重要的价值。



获奖论文

## 利用哈勃参数直接诊断标准暗能量模型

丁旭恒

(北京师范大学天文系 100875)

宇宙加速膨胀的发现使得现代宇宙学和理论物理的研究面临一个重大的挑战。包括 Ia 型超新星、宇宙微波背景辐射 (CMB)、重子声波振荡 (BAO) 等不同的观测方法, 都证实了宇宙加速膨胀这一个现象, 且探测的结果都和宇宙学常数项  $\Lambda$  不随时间演化的基本假设保持一致。

尽管观测结果倾向于此,  $\Lambda$  不随时间演化这一个简单的假设却存在着争议。包括巧合性问题, 精细调节问题还是没有得到很好的解决。实际上, 很多暗能量随时间演化的模型也被提出来, 最常见到的是如果暗能量满足状态方程  $p = w\rho$ , 暗能量项就会以  $3(1+w)$  进行指数演化。其中  $w$  可以为一个常数 (也就是著名的  $w$ CDM 模型), 也可以随时间演化 (比较著名的有 CPL 模型)。

我们的宇宙只有一个, 在描述它的众多模型中, 也只有一个正确的。要把正确的模型判断出来, 传

统的方法是使用已有的观测数据进行模型参数限制和模型比较。然而很多时候, 我们使用的观测数据都基于某些特定的模型得到, 这使得模型的判断存在循环性的逻辑问题。除此之外, 还存在很多修改引力理论模型, 也难以通过当前观测数据就被排除。因此, 为了更精确的确定宇宙的状态, 除了获取更多的观测结果进行传统的模型限制之外, 提出别的可以判断标准宇宙学模型的方法也显得尤为重要。

一个被广泛使用的方法被称作 Omh 诊断。其具体形式如下:

$$Om h^2 = \frac{h^2(z_i) - h^2(z_j)}{(1+z_i)^3 - (1+z_j)^3}$$

其中  $h(z)$  为无量纲的哈勃参数, 即  $h(z) = H(z)/100\text{km}\cdot\text{sec}\cdot\text{Mpc}$ 。可以看到, Omh 方程从两个红移处的哈勃参数出发, 进行的简单数学运算。方程有如此形式, 是因为在  $\Lambda$ CDM 模型下的哈勃参数满足方程:

$H^2(z) = H_0^2 [\Omega_m(1+z)^3 + (1-\Omega_m)]$ , 当带入任意两个红移处的哈勃参数于公式右边, 通过简单推导, 得到的 Omh 值刚好等于  $\Omega_m, 0h^2$ 。而  $\Omega_m, 0h^2$  是可以通过 CMB 的观测直接得到的有着很高的精度的量。于是, Omh 诊断的方式也很简单——带入两个哈勃参数数据, 得到的 Omh 值与 CMB 的观测的  $\Omega_m, 0h^2$  进行比较, 推断  $\Lambda$ CDM 的假设是否出现问题。

在最近一篇的 Omh 诊断的文章中, Sahni, Shafieloo 和 Starobinsky 使用三个哈勃参数的数据 ( $H(z=0) = 70.6 \pm 3.3 \text{ km}/(\text{sec}\cdot\text{Mpc})$ ,  $H(z=0.57) = 92.4 \pm 4.5 \text{ km}/(\text{sec}\cdot\text{Mpc})$ ,  $H(z=2.34) = 222 \pm 7 \text{ km}/(\text{sec}\cdot\text{Mpc})$ ), 两两计算, 发现得到的三个 Omh 结果 ( $\sim 0.122 \pm 0.010$ ) 和最新 PLANCK 观测结果 ( $0.1426 \pm 0.0025$ ) 存在很大的偏差。文章预示了  $\Lambda$ CDM 模型与当前观测数据存在着较为明显的偏差。而如此重要的结果不能只依赖于三个哈勃参数数据, 我们有必要利用大数据  $H(z)$  的样本, 进行一个系统的 Omh 诊断。

我们收集到 29 个  $H(z)$  数据, 其中 6 个  $H(z)$  数据来自 BAO 的观测, 另外 23 个  $H(z)$  的数据来自星系年龄随着红移演化 (DA) 的观测。利用收集的 29 数据, 依次两两选取, 我们得到 406 个可以与 PLANCK 观测比较的 Omh 数据。如果对 400 多个 Omh 数据点一一比较, 会使得判断的过程变得极为复杂, 处理大数据的时候, 比较合理的做法是用统计学原理, 把 406 个点整合起来, 与 PLANCK 的结果进行比较。在统计学中, 多数据整合最常用的方法是自然是加权平均法, 我们

直接对 406 个点进行加权平均, 得到的结果 ( $0.1253 \pm 0.0021$ ), 和 PLANCK 观测结果 ( $0.1426 \pm 0.0025$ ) 相比, 发现了较大偏差。然而使用加权平均得到的偏差并不能证明  $\Lambda$ CDM 模型与数据的不符合。这是因为, 当对 406 个 Omh 数据进行分布检验的时候, 我们发现其不满足高斯分布, 而使用加权平均的前提是数据满足高斯分布, 这说明之前整合数据产生的偏差可能是由于统计学方法不合理使用而产生的。于是, 我们使用了中值法再次对数据进行整合。中值法的基本思想是, 如果 Omh 存在一个真实的值, 那么我们每次通过观测数据得到的 Omh 值有可能等概率的大于或小于这个真实值, 当数据点足够多的时候, 数据的中间值会非常接近于真实的值 (利用这个概念还可以算出  $1\sigma$  置信区间)。我们从中值法得到的 Omh 结果 ( $0.1550^{+0.0065}_{-0.0072}$ ), 与 PLANCK 的结果比较, 发现还是存在差异。

通过更为细致的筛选哈勃参数样本 (其中包括去掉一个争议比较大的  $H(z)$  数据、只用 BAO 的 6 个数据、只用 DA 的 23 个数据), 我们得到的 Omh 结果都和 PLANCK 之间存在差异。差异可以从两个方面解释。首先, 可能  $\Lambda$ CDM 存在问题, 也就是暗能量项可能是随时间演化的 (值得一提的是, 文章中我们还对  $w$ CDM 和 CPL 模型进行了初步的 Omh 检验, 发现他们的偏差反而更大)。第二种解释是这种差异是由于观测数据的内在偏差导致的, 事实上, 我们确实发现了 BAO 与 DA 得到的  $H(z)$  数据本身存在着数据的不自洽。这些都促使我们进入接下来更为细致的研究。



获奖论文

## 黑洞的特征声音

张承勇 张少君 王 斌

(北京大学高能物理研究所 100871)

黑洞是时空中的一个区域, 任何东西都不能从这个区域里面跑出来。跑不出来的原因, 是因为这一区域存在极强的引力, 即使是宇宙中跑得最快的光, 也逃脱不了其吸引, 这使得该区域在光学上是不可见的, 所以称之为黑洞。形象地讲, 黑洞像是空气中一个不透明的气泡。气泡的边缘, 是黑洞的视界; 视界之内,

外部是看不见的。与气泡不同的是, 黑洞内部存在奇点, 接近奇点处, 引力变得无限大, 人们熟知的物理理论在这里失效。对黑洞更深入的理解, 是当今理论物理的一大任务和热点。

由于人们早期并不相信宇宙中存在真实的黑洞, 20 世纪 50 年代后期, 有人试图证明黑洞在微扰下是

不稳定的。在进行扰动研究时，一般假设扰动足够小，对黑洞背景的反作用可以忽略。经过几十年的研究，已知 4 维渐近平直时空中的黑洞在多数扰动下都是稳定的，扰动场随着时间演化最终消失。这在直观上比较容易理解：初始扰动之后，这个扰动要么被黑洞吸

收，要么逃逸到无穷远，扰动振幅自然变得越来越小，呈现出似正规模的行为（图 1 左下的几条线）。似正规模的振荡频率为复数，实部表征振荡的快慢，虚部表征衰减的快慢。如果扰动频率为实数（即没有虚部），则其振幅不随时间而衰减，称为正规模。

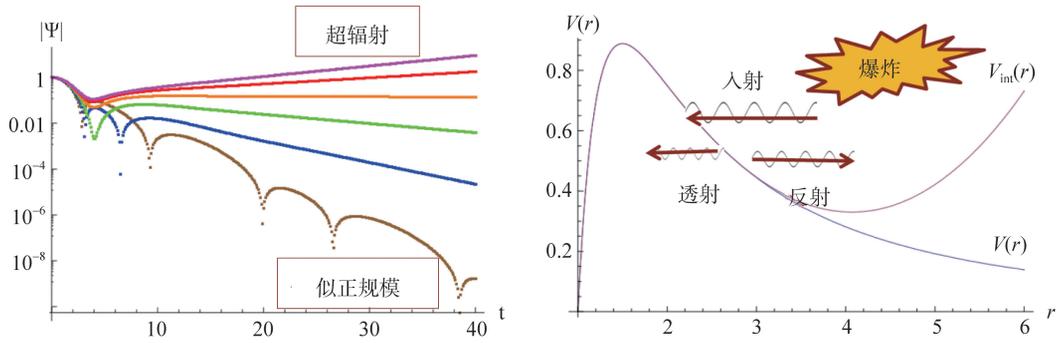


图 1 左：超辐射与似正规模对比。横坐标为时间，纵坐标为扰动振幅（注意为对数坐标）。右：黑洞外有效势能示意图。横坐标为径向，最左侧为黑洞视界位置，纵坐标为有效势能

但对于转动或带电黑洞，人们发现了与似正规模不同的另一种扰动模式：超辐射（图 1 左上的几条线）。这是因为对于带电或旋转黑洞，反射波可以携带出黑洞的电磁能或转动能，使得反射波振幅比入射波振幅更大。对于不同的物质，黑洞外部存在一个相应的有效势垒，如图 1 右所示。从远处入射的波，需要越过势垒才能被黑洞吸收，还有一部分被势垒反弹回去。如果反弹回去的波，振幅小于入射波，则为似正规模；反之，则为超辐射。对于能发生超辐射的黑洞背景，如果远处存在一个很高的势垒（图 1 右），把反射出去的波再反弹回黑洞，则扰动会在两个势垒之间来回运动，不断抽取黑洞的能量，使黑洞背景变得不稳定。

的扰动。（GHS 是三个人名字首字母的缩写，GHS 黑洞是这三个人从弦论低能有效作用量得到的一个 4 维球对称带电黑洞解）。考虑对 GHS 黑洞的带电扰动，所得结果见图 2。图中  $Q$  代表黑洞的电荷， $q$  代表扰动场的电荷。从图 2 右可以看到，扰动频率的虚部都小于 0，表示扰动随着时间增加振幅不断减小，GHS 黑洞是稳定的，扰动表现为似正规模。

以上介绍了黑洞扰动的一般性质。为得到一个具体的图像，在此举一个特殊的例子，考虑 GHS 黑洞

我们来看图 2 中  $Q=1$ （红线）时似正规模频率随扰动电荷  $q$  的变化，其实部单调增加，表示扰动电荷越大，扰动振荡得越快；其虚部绝对值增加，表示扰动衰减得更快。这种现象在图 3 中可以用有效势能很好的解释。图 3 左右分别是扰动电荷  $q=1$  和  $q=10$  时的势能图。黑洞电荷  $Q=1$ （红线）时，随着扰动电荷  $q$  的增加，有效势减小，势阱变深。这意味着扰动更易

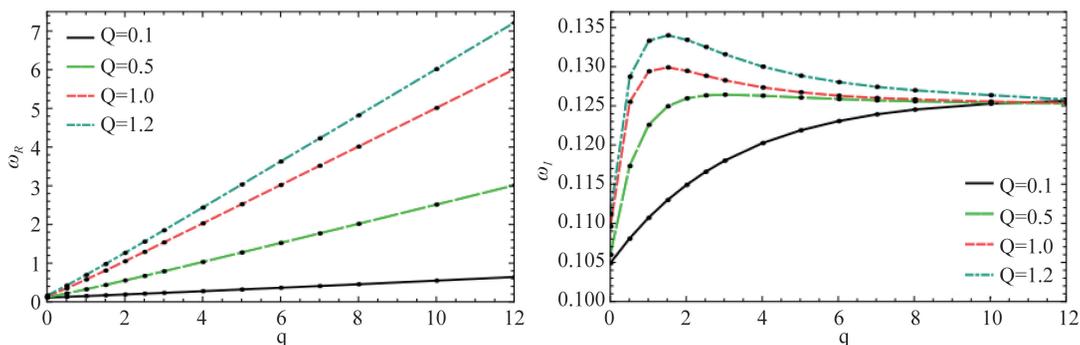


图 2 GHS 黑洞基模频率。左边为频率实部，右边为频率虚部的负数。横坐标为扰动量场的电荷

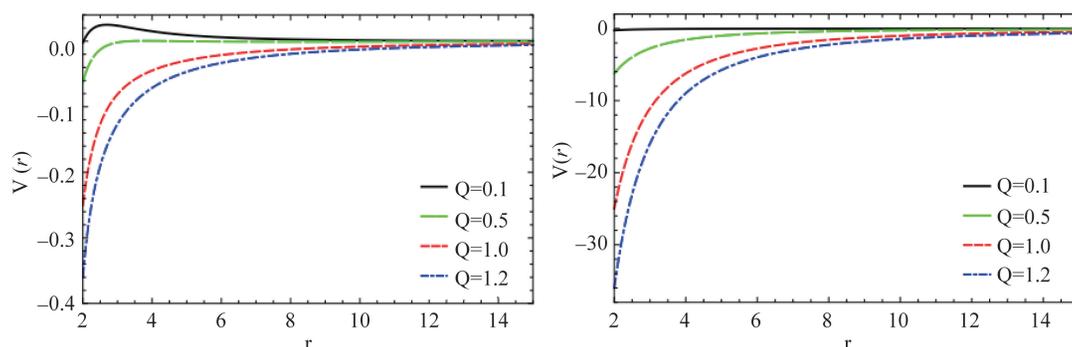


图 3 GHS 黑洞基模的有效势。左边为扰动标量场电荷较小  $q=1$  时，右图为扰动标量场电荷较大  $q=10$  时。横坐标为径向坐标

被黑洞吸收，因而衰减得更快，扰动频率的虚部绝对值更大。另外，由于能量守恒，势阱变深时，有更多的引力势能转化成动能，因此扰动振荡得更快，频率的实部更大。从图 2 右边还可看到，扰动电荷很大时，不管黑洞电荷多少，扰动频率的虚部趋向一个常值。这在图 3 右边也有很好的反应：当扰动电荷大时，不管黑洞电荷多少，都没有势垒，扰动可以无阻碍地被黑洞吸收，因此扰动衰减的快慢是一样的，频率虚部应该相同。

从数值结果可知，虽然 GHS 黑洞是带电黑洞，

但它在带电扰动下，并没有超辐射行为。从解析的角度，这一性质也是可以得到证明的。

无论是似正规模还是超辐射，它们都完全由黑洞本身的参数，如质量、电荷或角动量所决定，因此可以当作是黑洞的特征声音。正如可以根据声音来判断来者是何人，我们也可以根据似正规模或超辐射，来判断相应黑洞的性质。除此之外，黑洞扰动还可用来研究引力波、区分不同的引力理论、黑洞信息丢失悖论，等等。总之，虽然黑洞扰动的研究已兴起了几十年，但仍是一个很活跃的研究方向。



获奖论文

## 精确的动态黑洞解

范仲英

(北京大学高能物理研究所 北京 100871)

黑洞的存在是广义相对论最重要的预言之一。1915 年 11 月，爱因斯坦公布了他的广义相对论的基本方程。仅仅在两个月以后，史瓦西 (K. Schwarzschild) 便首先得出了广义相对论的第一个精确解。它是质量呈球对称分布的客体的外部解。当处于引力场中心的源是一个黑洞时，我们便称这个解为史瓦西黑洞。史瓦西黑洞是自然界中可能存在的最简单的黑洞。由于不可避免的要和周遭的物质发生相互作用，在自然界中真实存在的黑洞一般而言是动态的。仅仅当相互作用十分微弱时，我们才能将黑洞近似地看成是静态的或稳态的 (所谓稳态是指黑洞带有旋转)。不过，作为理论研究的第一步，取静态或稳态极限是

十分有益的。这方面的研究也取得了丰硕的成果，例如霍金辐射的发现和黑洞热力学的最终确立。随着黑洞理论的发展和逐渐成熟，人们对动态黑洞的研究也开始变的迫切起来。然而，由于引力场的场方程是一组高度非线性的偏微分方程组，对它进行精确求解十分困难，因此通常人们都必须借助于数值手段来进行研究。

非最小耦合的标量 - 张量理论有一些突出的优点值得深入的研究。非最小耦合是指标量场和时空几何之间有直接的相互作用。在经过一段时间的努力后，我们成功地构造出了一类新的动态黑洞解，它在任意高维的时空中都是成立的，只不过这些解在无穷远处

渐近地趋于德西特或反德西特时空而非平坦的闵氏时空。德西特或反德西特时空描写的是一类常曲率时空，若曲率为正则德西特时空，反之则为反德西特时空。尽管人们普遍相信真实的时空是渐近平坦的，但对德西特和反德西特时空进行研究仍然有很多重要的理论价值。特别是近年来，随着规范 / 引力对偶的发现，物理学界掀起了一股研究反德西特时空引力理论的热潮。在对场方程进行精确的求解后，我们发现整个时空的动态演化由以下简单的方程来描述：

$$\frac{da}{du} + \alpha a^2 \log\left(\frac{a}{q}\right) = 0,$$

这里  $a=a(u)$  是标量荷， $u$  是时间， $a$  是一个耦合常数， $q$  则是一个积分常数。当  $a=0$  时，对应的是反德西特真空，而  $a=q$  对应的则是稳定的黑洞态。可以看到在这两点，标量荷的一阶导数都等于零，因此这两个点是数学上的稳定点，而这个简单的方程描写的正是时空从一个稳定点（真空）到另一个稳定点（黑

洞）的演化过程。这一点十分类似于量子场论中的重整化群流。实际上，根据规范 / 引力对偶，我们的解确实描述了一个对偶场论的热化过程，因此这一相似性或许有更深刻的物理解释，但遗憾的是我们尚不知晓该如何在这一点上走的更远。另一方面，整个时空的动态演化过程完全是自发的。演化的能量来源于标量场，它在无穷远处源源不断的获得能量从而驱动时空的动态演化。当演化逐渐趋于平衡态时，标量场所获得的能量也逐渐减少，直至系统最终达到平衡态时不再获得任何新的能量。

我们所得到的精确的动态黑洞解为描述高维反德西特时空中带标量毛黑洞的形成过程提供了解析的例子。此外，我们的工作也为构造精确的动态黑洞解提供了一套可操作的程序。虽然在大多数情况下，这套程序都不能得到新的动态黑洞解，但无论如何相比于过去，现在至少有一种方法可以尝试去构造精确的动态黑洞解了。



## 封底照片说明

### 中国的“诺亚方舟”

在西方宗教中，有一个家喻户晓的神话故事：上帝让诺亚建造一艘大船，装上各种畜兽珍禽逃过了世界末日的大洪水。今年 9 月在深圳市大鹏新区观音山脚下，我国首个国家基因库、全球第四个国家级基因库——“深圳国家基因库”正式开启运营，中国从此也拥有了承载人类及其他生物的遗传样本和密码的“诺亚方舟”。

在我们生活的地球上，生命之树枝茂纷繁，从广袤的草场到深在地下的溶洞，从高海拔的喜马拉雅山到太平洋深海海沟；从冰冷的极地到炙热的撒哈拉沙漠；大到蓝鲸、大象、犀牛……；小到昆虫、花粉、细菌……。各种生物无处不在，脱氧核糖核酸掌握着每一个生命的密钥。

中国国家基因库与美国、欧盟、日本其他三大世界级的基因库不同，中国国家基因库不仅仅是数据库，而是国际上现有的各类生物样本库、数据库、

生物多样性库、疾病库等的综合升级版。中国国家基因库除了“干库”（即基因、蛋白、分子、影像等多组学生物信息数据库）、“湿库”（多样性生物样本和物种遗传资源库），国家基因库还引入了“活库”，即生物活体库，包括动物资源、植物资源、微生物资源和海洋资源等。

中国国家基因库占地面积 5 万平方米，建筑总面积 11.6 万平方米，即将投入使用的 I 期建筑面积 4.75 万平方米。基因库地处山脚下，环境静谧，地址十分理想。在未来规划中，中国国家基因库将开放样本、数据资源，与国际上现有的三大基因库进行交换和数据共享，最终形成全球联盟体系，推动国家基因库向国际基因库转变，支撑和引领生物产业的经济快速发展。

（博之 / 供稿）