

诺贝尔物理学奖解读： 揭开银河系中心最黑暗的秘密

2020年的诺贝尔物理学奖授予了英国理论物理学家罗杰·彭罗斯（Roger Penrose）与德国天文学家赖因哈德·根策尔（Reinhard Genzel）、美国天文学家安德莉亚·盖兹（Andrea Ghez）。

在之前，大众通过彭罗斯亲笔撰写的文章，了解了他在黑洞理论领域的工作。如果说彭罗斯的工作为我们认识黑洞提供了理论基础，那么另外两位获奖者根策尔和盖兹则是直接观测到银河系中心的超大质量天体——这很可能是一颗超大质量黑洞。

我们无法直接观测到黑洞，但通过其巨大的引力，我们可以间接感知这种神秘天体的存在。根策尔和盖兹就领导独立的研究团队，分别对银河系中心进行了探索。直径10万光年的银河系如同一个近乎平坦的圆盘，包含了数千亿颗恒星以及大量星际间的气体、尘埃。当我们从地球上向银河系中心看去，这些气体、尘埃阻挡了绝大多数的可见光。因此，天文学家通过红外及射电望远镜，观测到了银河系中心恒星的最新图像。

利用这些恒星的轨道作为指引，根策尔和盖兹找到了银河系中心有超大质量天体存在的明确证据。而超大质量黑洞，是其中一种可能的解释。

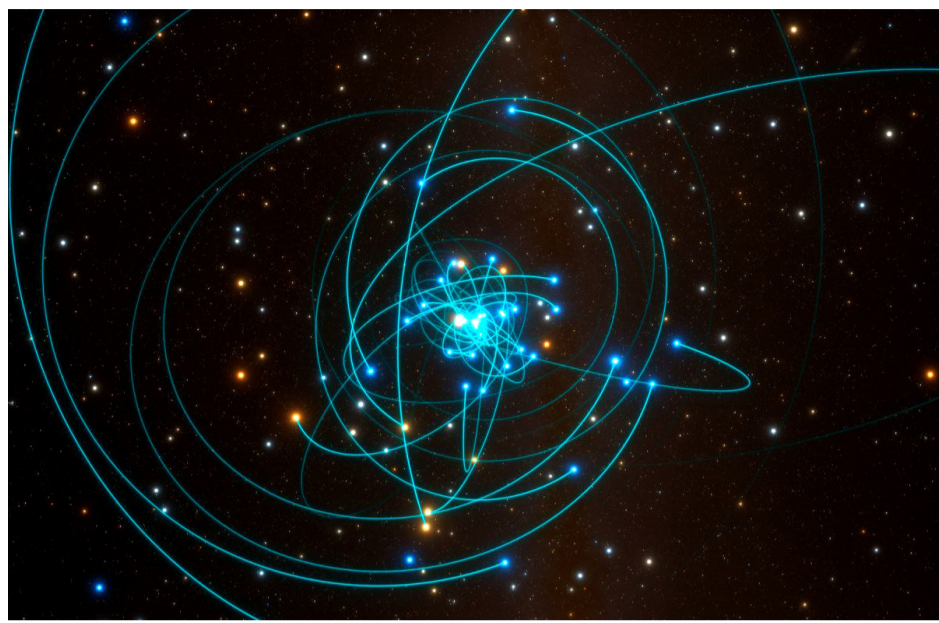
指向银河系中心

在半个多世纪前，天文学家就猜测，银河系中心可能有黑洞存在。在1962年发现类星体之后，天文学家认为，在大多数大型星系内部，都应该有超大质量黑洞，这自然也包括我们所在的银河系。但在当时，没有人能够解释，这些星系与其中那些少则数百万，多则数十倍太阳质量的黑洞，是如何形成的。

100年前，美国天文学家哈洛·沙普利（Harlow Shapley）首次推算出了银河系中心的位置，位于人马座方向。随后的天文学观测在那片区域发现了一处强烈的射电源，并将其命名为人马座A*。在上世纪60年代末，人们已经知道，人马座A*占据了银河系的中心位置，星系中的所有恒星都围绕其运行。

直到20世纪90年代，随着天文望远镜及其他设备的发展，天文学家得以对人马座A*进行更系统的研究。根策尔和盖兹分别启动研究项目，试图透过尘埃和气体，看见银河系中心的图像。

在天文学中，“越大越好”是绝对的真理。只有最大的天文望远镜，才能捕捉到遥远恒星的画面。德国的根策尔团队最初使用的是位于智利La Silla天文台的新技术望远镜（New Technology Telescope, NTT），随后，他们转而使用了同样位于智利，性能更强的甚大望远镜（Very Large Telescope, VLT）。VLT

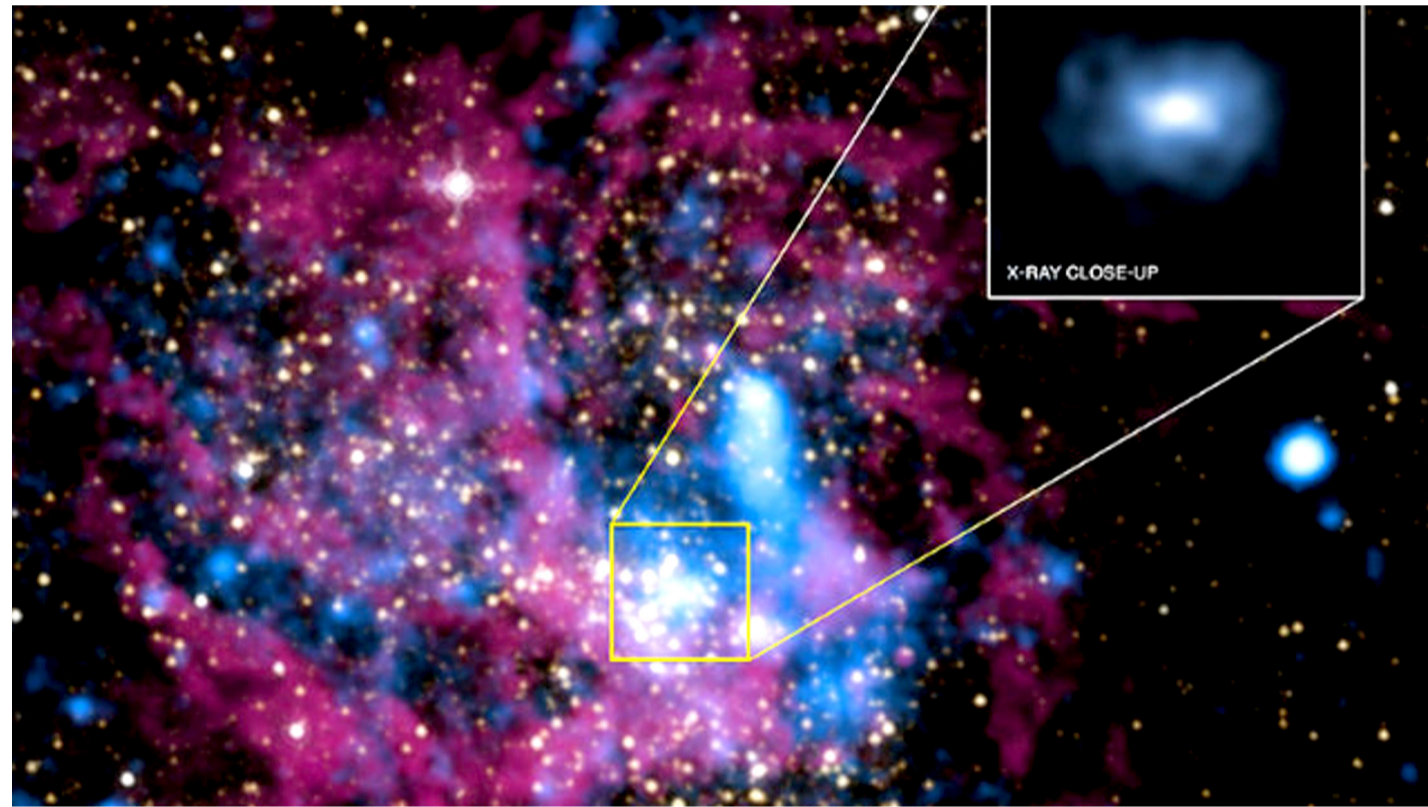


由4台大型望远镜组成，每一台的体型都相当于NTT的两倍。VLT还拥有全世界最大的单一镜面，每一面的直径都超过8米。

而在美国，盖兹带领的研究团队使用位于夏威夷冒纳凯阿火山的凯克天文台（Keck Observatory），其镜面直径接近10米，同样位于全球前列。这个镜面形状

会受到限制。如果大气层中某些区域的温度与周围不一致，它们就会像透镜一样，扭曲通往望远镜的光线。这就解释了为什么星星会“眨眼”，为什么我们对星星的成像如此模糊。

自适应光学（adaptive optics）的出现，对改良观测结果极其重要。如今，望远镜有了一层额外的薄镜，可以自动对空



钱德拉X射线望远镜拍摄的银河系中心超大质量黑洞。

如同蜂巢，由36块六边形的镜面部件组成，它们可以独立移动方向，从而更好地聚焦光线。

气中的不稳定因素进行补偿，从而矫正扭曲的图像。

在将近30年时间里，根策尔与盖兹一直追踪着银河系中央繁星中，他们各自感兴趣的那些恒星。他们逐渐发展、改善观测技术，搭配上越来越敏感的电子光线传感器和自适应光学设备，使得图像的分辨率提升了一千倍有余。现今，这些设备已能更精确地判断恒星的位置，夜复一夜地跟踪它们的轨迹。

研究人员在众多恒星中选出了三十多颗最亮的。这些恒星在距离银河系中央1/12光年的范围内高速移动，如同蜂群般翩翩起舞。与之相比，在这个圆周之外的

恒星则更守规矩，循着它们各自的椭圆形轨道移动。

其中一颗叫“S2”（或“S-O2”）的恒星，用不到16年的时间围绕银河系中央的轨道完成了一次周转。在这样一个极短的时间内，天文学家得以画出完整的轨道地图。我们可以把这个环绕时长与太阳的相比：太阳围绕银河系中心完成整个环绕需要2.2亿年；在如今这一轮环绕的开端之初，恐龙还在我们的地球上漫步呢。

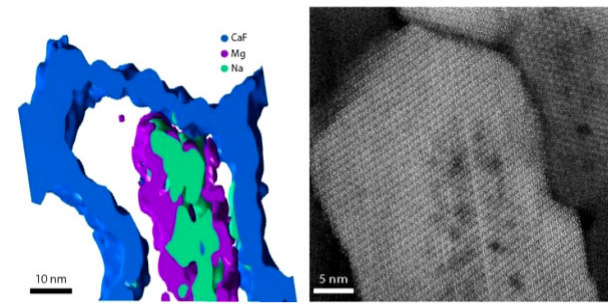
理论与观察结合

两组观测结果十分吻合，研究人员因此得出结论：在我们的星系中很可能存在着一个约为400万个太阳质量、近似于太阳系体积的黑洞。

下一步，我们将要对人马座A*进行直接观测。就在去年，事件视界望远镜（Event Horizon Telescope）天文学网络成功对一个超大质量黑洞的周围进行了成像。在距我们5500万光年的M87星系中央，坐落着一个由一圈火环围绕着的黑洞。

M87星系中央的黑洞规模惊人，质量是人马座A*的1000倍有余。而近期观测到的引力波，成因是两个黑洞的相撞——这两个黑洞相比起M87星系中央的黑洞要轻得多。与黑洞一样，引力波也

材料科学家深入研究 人类蛀牙的缺陷



“世界上最小的三明治”的两个视图（带有比例尺）：左图显示了牙釉质微晶核心处的镁（洋红色）夹层，这是由原子探针断层扫描获得的。右图显示了牙釉质微晶沿长轴向下的原子分辨率扫描透射电子显微镜图像。原子探针断层扫描（右图）发现，由于镁和钠等杂质的存在，使得晶体晶格中的黑暗区域出现畸变。

美国西北大学的研究人员破解了一个蛀牙的秘密。在一项对人类牙釉质的新研究中，材料科学家首次发现了少量杂质原子，这些原子可能有助于提高牙釉质的强度，但也使牙釉质更易溶解。他们也是首次在原子尺度分辨率上来确定杂质的空间分布的科学家。

龋齿通常被称为蛀牙，是由细菌导致的牙齿损坏。它是最常见的慢性病之一，特别是随着人类平均预期寿命的增加，它也成为重大的公共卫生问题。

西北大学在牙釉质结构单元上的发现——细节可达纳米级——可能有助于更好地理解人类蛀牙，以及影响牙釉质形成的遗传条件，这些可能导致牙釉质高度受损或完全缺失。牙釉质是人类牙齿的外部保护层，覆盖着整个牙冠。它的硬度来源于其含有极高的矿物质。

领导这项研究的Derk Joester说：“牙釉质已经进化得坚硬耐磨，足以承受几十年的咀嚼力。”然而，牙釉质很难再生。我们的基础研究帮助我们理解牙釉质是如何形成的，这也有助于采取新的措施及开发新的材料来预防和治疗龋齿。这些知识也能帮助我们预防或减轻患有先天性牙釉质缺陷患者的痛苦。

这项研究发表在《自然》杂志。Joester是本文的通讯作者，他是麦考密克工程学院（McCormick School of Engineering）的材料科学与工程专业的副教授。Karen A. DeRocher和Paul J.M. Smeets分别是Joester实验室的博士生和博士后研究员，是本文的共同第一作者。

阻碍牙釉质研究的一个主要障碍是其复杂的结构，因为其具有跨越多个长度尺度的特征。牙釉质的厚度可达几毫米，是一种三维的棒状结构。每根棒状物大约有5微米宽，由数千个单独的非常细长的羟基磷灰石晶体组成。微晶的宽度大约是几十纳米。这些纳米微晶是牙釉质的基本组成部分。

Joester说，低温下显微镜的中心（低温透射电镜）微晶似乎更容易溶解，这也许是人类牙釉质所特有的。Joester的团队想要弄清其中的原因。研究人员开始测试是否较小的牙釉质成分在单个微晶中有所不同。

研究团队利用最先进的定量原子尺度技术发现人类牙釉质微晶有一个核壳结构。每个微晶都有一个连续的晶体结构，钙、磷酸盐和羟离子呈周期性排列（外壳）。然而，在微晶的中心，大量的离子被镁、钠、碳酸盐和氟（核心）取代。在核内部，两层富含镁层的侧面是钠、氟和碳酸盐离子的混合物。

DeRocher说：“令人惊讶的是，镁离子在核的两侧形成了两层，就像世界上最小的三明治，直径只有60亿分之一米。”

检测和观察三明治结构需要用到低温扫描透射电子显微镜（cryo-STEM）和原子探针层析成像（APT）。冷干分析揭示了晶体中原子的规则排列。研究人员利用APT以亚纳米级的分辨率确定少量杂质原子的化学性质和位置。

研究人员找到了充分的证据证明核壳结构，以及由此产生的影响人类牙釉质微晶溶解的其他因素，同时也为增加牙釉质外部硬度提供了一条可行的途径。

Smeets说：“将化学梯度显现到纳米级的能力增强了我们对牙釉质形成机制的理解，并可能带来改善牙釉质健康状况的新方法。”他的研究建立在2015年发表的一项早期研究的基础上，在这项研究中，人们发现微晶是由一种与微晶成分不同的极薄的非晶态薄膜粘合起来的。（汪茹）

电池研究新路径——用核废料制成的“钻石电池”

一块手机电池能连续使用9年而无需充电，一个电池组能让新能源汽车跑100年，一个电池模块能给心脏起搏器持续供电28000年。这些超现实的说法，最近由美国加州一家名为NDB的能源公司提出，该公司表示，目前在纳米金刚石电池上成功进行了早期测试，使其更接近于实现。

这种令人惊奇的电池，其关键是，这种废料污染性极强，辐射能持续数千年，核电站设施每年都会大量产生，且在安全处理（掩埋和包装）方面构成越来越大的挑战。NDB公司称，它可以通过从石墨核废料中提取碳-14，然后放进钻石内，当核废料衰变时，它与碳相互作用可以产生一个小电流。

根据耗电量的不同，这种无需充电的电池有可能使用很长时间，它有望用于为普通移动设备、医疗产品、卫星等供电，并可以为偏远地区提供能源。

不过，目前该公司尚未生产出产品原型，只是做了相关概念验证。NDB首席战略官尼尔·奈克（Neel Naicker）表示：“想象一下，一个你一天都不用给电池充电的世界。一块电池能供电几十年将会怎样？这就是我们利用专有技术所能做到的。”无疑，这种设想充满了诱惑力。在NDB官网上写道，到2040年重塑电力，并打造

一个不用化石燃料的星球。

这个概念背后的基本原理其实并不新鲜，使用放射性同位素作为能量源在特殊设备中已非常成熟，例如现代的核动力潜艇、航空母舰，乃至火星车，已能够在没有安全问题的情况下产生电力。

但NDB利用核废料发电的说法，还是在科技界引起了谨慎的怀疑，例如：“NDB谈到了正在开发中的低功率和高功率版本的电池，但在我们看到一些实际产品和输出数据之前，这些说法仍然模糊不清，没有证据，它

们只是空谈。”这一切听起来都很棒，但还有一个关键因素被忽略了……这些设备的功率密度是多少？”“这种电池的功率密度极低，远低于锂离子电池等化学电池。”不过，NDB方面表示，一旦疫情相关的隔离措施得到缓解，他们将开始研制原型，并希望在两年内制造出来。

据官方资料披露，NDB钻石电池概念的证明由剑桥大学物理学家、2019年物理研究所牛顿奖章获得者、迈克尔·佩珀爵士（Michael Pepper）领导。在此过程中，NDB的专利电池

实现了充电40%的突破，核心技术是其专有的纳米金刚石表面处理的结果，它能有效地从钻石中提取电荷。

而类似这种把核废料封装在钻石里的电池，也不是首次被提出，一直存在较大争议。

2016年11月27日，英国布里斯托尔大学的一组科研人员就曾宣称研制出一种人造钻石，当置于放射性场中时，它能够产生小电流，这项技术开发也是为了解决一些核废料、清洁发电和电池寿命等问题。

传统发电机是驱动转子在定子中旋转，做切割磁力线的运动，从而产生电流；与此路径不同，人造钻石只要放在靠近放射源的地方就能产生电荷。

该研究的主要参与者之一，布里斯托尔大学材料教授汤姆·斯科特（Tom Scott）表示：“这里没有涉及运动部件，不产生排放物，也不需要维护，就是直接发电。通过将放射性物质封装在钻石中，我们就能将长期存在的核废料问题，转化为核动力电池和清洁能源长期供应。”

当时的研究小组展示了一种使用镍-63作为辐射源的钻石电池原型。后来，他们致力于通过使用碳-14显著提高了效率，碳-14是一种放射性的碳，产生于核电站反应的石墨块中。布里斯托尔大学的研究表明，放射性

碳-14集中在这些块体的表面，使得对其进行处理以除去大部分放射性物质成为可能。

提取出来的碳-14随后被封装进钻石中，制成核废料电池，英国目前拥有近9.5万吨石墨块，通过从中提取碳-14，其放射性降低，减少了安全储存这些核废料的成本和难度。

布里斯托尔大学化学学院的尼尔·福克斯（Neil Fox）博士曾解释说：“之所以选择碳-14作为源材料，是因为它发出短程辐射，任何固体材料都很快吸收这种辐射。这会使人或接触裸露的皮肤变得危险，但安全地将其置于钻石内，任何短程辐射都无法逃逸。”钻石是人类已知的最坚硬的物质，也是核废料电池的最佳外壳材料。

汤姆·斯科特和尼尔·福克斯还创立了一家名为Arkenlight的公司，探索将其核动力电池商业化，计划在2024年推出首批商用核电池。

不过，有人担心这种核废料电池即便能实现，也可能造成更分散或更危险的核污染，毕竟它存在于我们的家庭和生活之中；但也有有人认为，将核废料回收制成电池的想法完全不

靠谱，有一个关键问题是无法抑制碳-14的核衰变，因此电池将连续发电，电池会随之持续升温，故而需要主动冷却装置。该电池永远无法为手机或电动汽车供电，因为它肯定会一直感觉手机在发热。”一位网友评论道。

看过漫威电影的人，肯定对钢铁侠胸口的“方舟反应炉”印象深刻，一个小小的模块就能为强大的钢铁侠机甲提供充沛动力乃至攻击能量输出，可以说十分科幻。至于这种同样科幻的“钻石电池”距离能实际应用还有多远，可以拭目以待。（谭说）



用钻石封装放射性物质



NDB 电池概念模块