

# 物理学史中的一月



1965年1月:彭罗斯开创性地证明了黑洞  
(译自 *APS News*, 2021年1月)

萧如珀<sup>1</sup> 杨信男<sup>2</sup> 译

(1. 自由业; 2. 台湾大学物理系 10617)

卓越的物理学家彭罗斯(Roger Penrose)因“发现黑洞的形成是广义相对论的确凿预测”,和根策尔(Reinhard Genzel)以及盖兹(Andrea Ghez)因“发现位于银河系中心的超大质量致密天体”,同获2020年诺贝尔物理学奖。其实,黑洞的初步概念可以追溯到18世纪,在爱因斯坦形成他的广义相对论之前,也在彭罗斯的发现之前。



彭罗斯

英国天文学家米切尔(John Michell)于1783年11月写了一篇奠基性论文,后来发表在皇家学会的杂志上,是最早猜测类似黑洞物体存在的人。他的目的是要找出测定恒星质量的可用方法,他认为他能测量从恒星出来的光通过棱镜后光速会减少多少;光速会因为能量减少而有不同的偏折,他相信可由此比较不同恒星曲折的影像来决定它们的表面重力,再计算它们各别的质量。

米切尔了解脱离速度的概念,这关键的速度是由恒星的质量和体积而定。他再三思考,假如星体很庞大,它的重力很强大,以至于脱离速度和光速相当的话会怎样,他下结论说:

“如果和太阳密度相同的星体半径比是500比1,并假设光被星体所吸引的引力与其质量成正比,如此星体所放射出的光将会被它自己的引力吸引回去。”

这就会让天文学家看不见那颗恒星。他认为

宇宙间可能有许多这样的星体,但因为它们没放射出光线,所以无法探测到。米切尔也推测说,双星系统的运动也许可以帮助科学家间接探测到这些“暗星”。

大约13年后,法国的博学家拉普拉斯(Pierre Simon LaPlace)也独立地得到相似的结论。在

他1796年的专著《宇宙系统论》(*Exposition du Systeme du Monde*)中,他特别考虑一个密度是太阳4倍的恒星的情形,并提出明确的数学方程式说明米切尔“暗星”的假设。

100多年后,爱因斯坦提出他的广义相对论,彻底改变了我们对于时空和重力的理解,开启了一个全新的理论领域。物理学家立即开始探讨那些可能性,最有名的是史瓦西(Karl Schwarzschild),他在第一次世界大战期间正在前线服役。史瓦西一面躲避激烈的炮火,一面计算爱因斯坦场方程的各式解答,最终发现那些方程组都会“发散”的一个点。此研究就是我们现在所知的黑洞(狄基(Robert Dicke)于1960年造了这个词,而惠勒(John Wheeler)将它普及)早期的数学描述。

之后数十年,物理学家大多认为黑洞纯粹是理论上奇特的东西,而不是真的会存在于宇宙间。即便如此,在20世纪30年代,奥本海默(J. Robert Oppenheimer)和史奈德(Hartland Snyder)还是以数学说明一个巨大的恒星可能崩塌而形成黑洞。他们于

1939年的论文中下结论说,黑洞会“自己阻断和远方观察者的任何联系;唯有它的重力场持续存在。”

但是大部分得到的解都假设恒星和黑洞均有理想完美的对称,而真实的宇宙则凌乱多了。1963年发现的类星体大大地改变了大家讨论的内容,因为物理学家了解到,宇宙中来自最明亮物体的辐射源,都是正在掉落入巨大黑洞中的物质。

再来谈到彭罗斯,他接受挑战,思考黑洞可能形成的真实机制。彭罗斯选择在当时相当先进的方法:他不考虑时空复杂的几何结构,而着重在拓扑空间。

彭罗斯在伦敦散步时得到此突破性的深刻想法,他想象所谓的“闭陷表面”:一个封闭的二维表面,会将所有的光线集中到无穷致密的中心,就是我们现在所谓的黑洞奇异点。他同时使用以他命名的彭罗斯图表来说明,一旦这个闭陷表面形成的话,根据广义相对论,朝向奇异点崩塌是不可避免的。这个结论就是1965年1月发表于《物理评论快报》(*Physical Review Letters*)的论文,标题为《重力的崩塌和时空的奇异点》(*Gravitational Collapse and Space-Time Singularities*)(图1)。

4年后,彭罗斯推测出他的“弱宇宙审查”假说,接着于1979年又提出“强宇宙审查”假说,这仍被广泛认为是理论物理学中最重要,但尚未解决的挑战之一。假说主旨:黑洞的奇异点不能是“裸露的”;它一定要被禁锢住,永远躲在事件视界(event horizon,不可能从该区逃离的边界)里,然而,会有一个看得见、强烈弯曲(虽然有限)的外部区域。

彭罗斯甚至还想出一个复杂的过程(现在称它为彭罗斯过程),在过程中可能撷取一些运行中的黑洞重力能量,具体地说,时空会沿着黑洞转动被拖曳着,由强大的重力而产生强烈的效果。就在事件视界外有“动圈”(旋转黑洞外面的区域),在动圈内的每个观察者也都会被拖着和黑洞一起转动。

彭罗斯想象,去发射一个抛射体进入动圈,让它裂成两半,一半掉入黑洞中,而另一半逃逸。这个过程可以产生半个逃逸,从黑洞撷取能量,携带的能量比原先的抛射体还多。布兰德福(Roger Blandford)和日纳杰(Roman Znajek)后来使用此概念,建造了他们从转动的黑洞产生能量实际可行的模型。

黑洞不再只是主要存在于理论中的奇特天体,它继续吸引着物理学家,在理论和实验上都有所突破。根策尔和盖兹在我们银河系中心发现了一个超大质量的黑洞存在,已被诺贝尔审查委员会所认可,这将有助于赋予黑洞的研究,除理论外,注入活力。

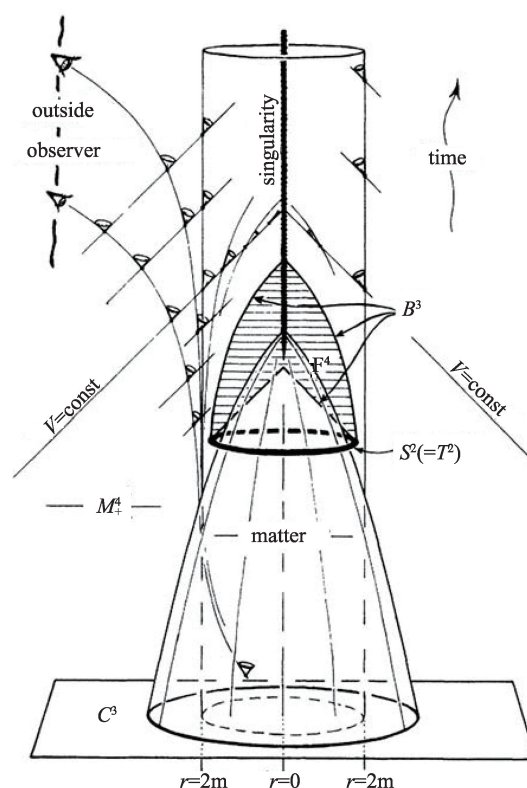


图1 彭罗斯在《物理评论快报》的论文图表,说明物质(下方)掉进黑洞奇异点(粗的垂直线)的情形

(本文转载自台湾大学科学教育发展中心,网址 <http://case.ntu.edu.tw/blog/>)