

# 黑洞的来龙去脉

王 振 华

天体物理学的研究表明,恒星演化到最后阶段的产物是白矮星、中子星与黑洞。白矮星与中子星已为观测所证实。而有关黑洞的理论与观测证实工作,至今仍是一个悬而未决的问题。

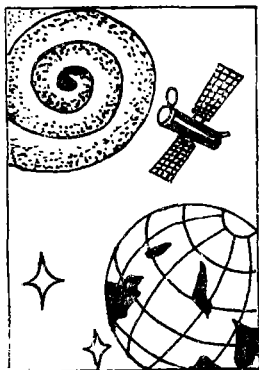
## 从拉普拉斯到史瓦西

从理论上提出黑洞的概念,可以追溯到十八世纪末,而广泛的研究是从本世纪七十年代开始的。

1798年,法国天文学家拉普拉斯在他著的《宇宙体系论》中指出,一个密度如地球而直径为太阳250倍的发光天体,由于其引力作用,光线将不能离开它。这种发光天体可能看不见。拉普拉斯的预言是建立在牛顿经典力学基础上的。我们可以从脱离速度(也叫逃逸速度或第二宇宙速度)来导出。设此速度为 $V$ ,地球的质量为 $M$ ,半径为 $R$ ,有关系式 $V^2 = GM/R$ 。式中 $G$ 为万有引力常数。将地球的有关数据代入,即可求得 $V \approx 11.2$ 公里/秒。若将 $V$ 换为光速 $c$ ,那么拉普拉斯所论的天体半径 $R_0 = 2GM/c^2$ 。由此可得 $R_0 \approx 250R$ 。(R<sub>0</sub>为太阳半径),它的质量为太阳的 $5.8 \times 10^7$ 倍。这个大质量的天体,其引力如此之大,将使光子也跑不出去,于是成为人们看不见的“黑洞”。

1915年爱因斯坦发表了广义相对论。在广义相对论中,空间和时间构成了一个四维的时空。时空的几何性质与物质紧密相关,且通过爱因斯坦引力场方程联系起来。在这里,物质是引力源,也决定了时空的弯曲。因此,时空的弯曲程度与引力场的强弱是两种等价的说法。时空弯曲得越厉害,引力场越强。

1916年德国科学家史瓦西对球对称的情况,求得了爱因斯坦方程的解。按照这个解,质量为 $M$ 的不旋转



的球形天体存在一个临界的半径 $R_0$ 。在这个半径的内、外,时空性质完全不同。 $R_0$ 叫引力半径或史瓦西半径,其表达式正好跟牛顿力学所推导的一个样。在 $R_0$ 的里面,时空弯曲是如此地厉害,以致光线也不能逃逸出去,因而成为看不见的“黑洞”了。

以 $R_0$ 为半径的球面,叫做黑洞的“视界”。一切物体,一旦进入视界,就都丧失它的个性,成为毫无差别

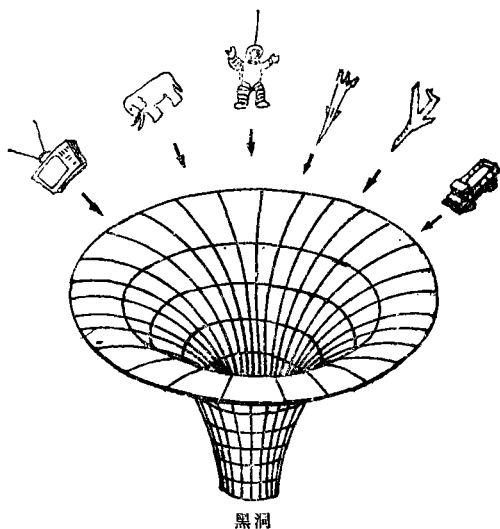


图1 临近黑洞的一切东西都会被吸入“无底洞”中,永无逃出之日

的黑洞。这种情况不能不令人惊奇,但理论是严格无误的。

史瓦西推导出来的静止的黑洞,通常叫“史瓦西黑洞”。按照上列公式,可以推知,如果地球压缩成半径为8.9毫米的球,就成为黑洞了。质量为 $2 \times 10^{33}$ 克的太阳,要是压缩成半径为3公里,也变成一个黑洞。

## 克尔黑洞

1963年新西兰年青的数学家克尔对爱因斯坦场方程,求得普遍解后,得到引力半径为

$$R_0 = \frac{GM}{c^2} + \sqrt{\frac{G^2 M^2}{c^4} - a^2}$$

式中 $a = J/Mc$ ,是一个与旋转角动量 $J$ 有关的量。 $a = 0$ 对应于静止的史瓦西黑洞通常将旋转的黑洞称为“克尔黑洞”,或称克尔-纽曼黑洞。

在强引力场中,辐射源发出的光会向长波方向(即向光谱的红端)移动。移动量与源及观测者两处的引力势差的大小成正比。光谱的这种红移,叫做“引力红移”。天体的质量越大,引力红移越显著,天体表面

光的波长越长。在黑洞的视界,红移达到无限大,因此,史瓦西黑洞的视界又是无限红移面,它是以旋转轴为对称轴的曲面,又称为静界(图2)。静界是黑洞能层的外边界。如果有一个物体进入静界,它就要跟黑洞一起旋转(图3),获得更多的旋转能。斐洛斯指出,在旋转到一定位置时,此物体会破碎为两块,一块被吸入黑洞,另一块获得更多的能量跑出来。因此称那个区域为能层。

依据斐洛斯的看法,旋转黑洞将一部分转动能提

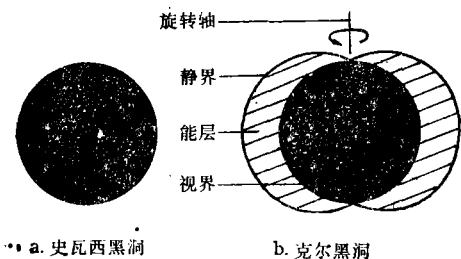


图2 两种黑洞剖面示意图

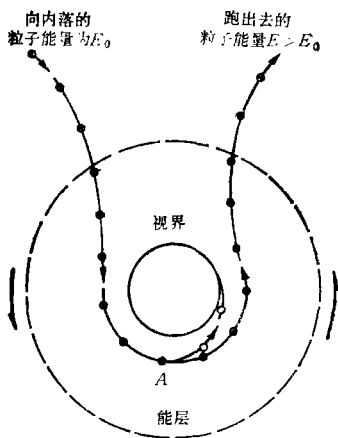


图3 斐洛斯过程示意图

供给抛进来的物体,因而黑洞本身的旋转变慢。其最终的结局是能层不再存在,能层的外边界与视界合二为一,也就是一个克尔黑洞变为简单的史瓦西黑洞。

黑洞除了质量与自旋外,还应有电荷。这个特性是德国的赖斯纳与丹麦的诺德斯特隆首先阐明的。但是在现实世界中,这种天体大概不会形成。因为一个带电的黑洞会排斥向它降落的带有同性电荷的物体,而只吸引带有异性电荷的物体。因此,就绝大多数黑洞而言,它应是中性的。

### 黑洞的蒸发

黑洞具有质量、角动量与电荷。除了这些简单的

特性以外,还有些什么呢?

理论物理学认为,黑洞除了上述三个特性外,再没有别的性质,这叫做“黑洞无毛定理”。毛发是比喻性的。从毛发的颜色、长度、类型,可以区别不同的人。因此毛发可作为人的一种特征。黑洞是“光秃秃”的圆球。黑洞仅有质量、自转的差别,在其它方面无差别。

但是,黑洞仍然具有不少有趣的特征。比如说,英国的霍金在70年代初证明了,任何黑洞的表面积(即视界面积)不可能随时间减小,这称为“黑洞面积不减定理”。根据这条定理,两个黑洞可以相碰,合成一个黑洞。其合成的黑洞视界面积一定不小于原先两个黑洞视界面积之和。但是一个黑洞不能分成为两个黑洞,因为黑洞分裂将导致表面积减小,这是违反上述定理的。

更令人惊奇的是,黑洞还会“蒸发”。这个概念是霍金于1974年提出来的。在这方面用经典物理学是难理解的,需要用到量子理论。

根据量子场论,真空并不是绝对的真空,而在不断地产生正、反粒子对,并且被迅速湮灭,以致难以检测到,故称之为虚粒子对(图4中的I)。

假定在真空中有一个黑洞,它可以吞噬虚粒子对的两个(图4中的II),也可能在虚粒子对湮灭之前吞噬其中一个(图4中的III)。对于后者,剩下的一个粒子丧失湮灭的对象。如果它是负能量粒子,随即掉入黑洞,如果它是正能量粒子,由于“隧道效应”存在一定的几率能穿透黑洞的引力势垒,而逃逸出去。总效果是一部分正能量粒子被辐射出去,而掉进黑洞的粒子中能量为负的多于能量为正的,导致黑洞的质量减小,这就是所谓的黑洞蒸发。

黑洞质量越小,粒子越容易穿透引力势垒,蒸发越快。理论算出,蒸发过程的能量释放率与黑洞质量的平方成反比,而黑洞的寿命与质量的立方成正比。

所以质量大的黑洞,寿命就长。如相当于一个太阳质量的黑洞,“蒸发”掉的时间约要 $10^{66}$ 年。这个数

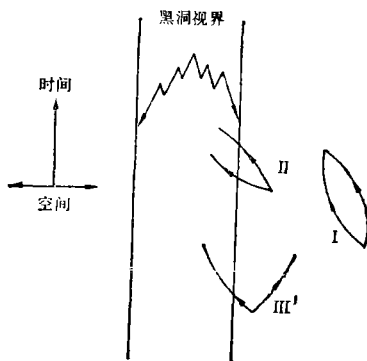


图4 黑洞与真空中的虚粒子对的作用示意图

字比已知最古老的大体的年龄要大不知多少倍。因此可以认为，恒星级黑洞(虽然有量子辐射)的大小几乎没有变化。

### 黑洞的候选者

黑洞不发光，用光学望远镜不能观测到。但是黑洞有强大的引力，可以对其邻近的天体发生作用，而被我们间接发现。

比如说，有一对双星，它们互相绕着公共质量中心在旋转。如果在双星附近有一颗黑洞，那么黑洞的引力作用将使双星的轨道运动发生变化。反过来，从双星的运动变化情况，可推知有否黑洞存在。

但真正发现一批黑洞的候选者，则是在X射线天文学兴起以后。1970年“自由号”卫星及1978年“爱因斯坦X射线天文台”卫星上天，发现了许多X射线源是双星。这些X射线双星很可能包含了黑洞。

最引人注意的有天鹅座X-1、圆规座X-1与天蝎座V861等。

天鹅座X-1是一颗极特殊的X射线双星，主星是一颗蓝色超巨星(编号为HDE 226868)，视星等为9等，表面温度为2500度，质量约为30个太阳质量。此双星系统的绕转周期为5.6天，但是伴星则未见到。

天鹅X-1的X射线不断地发生变化，变化的时标从1毫秒到几十秒，强度变化十几倍。由此，推知射线源的直径必定小于300公里。那是一个很小的X射线源。

光谱分析发现，从主星有物质流向不可见的伴星区域，而伴星的质量至少为6个太阳质量(另一种估计为10~15个太阳质量)，已超过中子星的极限质量，被认为是一个黑洞。

对于天鹅座X-1发射强X射线的解释，我们用图5来表示。高温的大量物质很快地挤到黑洞周围的薄盘(称为吸积盘)，猛烈摩擦产生高温而辐射出X射线。

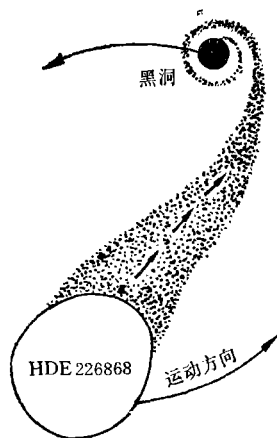


图5 质量转移示意图(主星应是旦形的)

吸积盘的半径约为160万公里，而X射线是从离黑洞只有3000公里处的吸积盘内边缘发射的。

从观测到理论都确认天鹅座X-1是一个黑洞，但持谨慎态度的人认为还应当进一步研究确定。还有其它一些黑洞候选者，比较而言，它们是黑洞的可能性都不如天鹅座X-1。

上面介绍的是恒星级的黑洞，那么星系级的、甚至更大的黑洞有没有呢？

有没有呢？

早就有人提出在我们银河系核心有黑洞，估计这个黑洞的质量约为一亿个太阳质量。它在吸积周围的气体物质时，会辐射强大的无线电波与红外光。对银心方向的观测，的确发现有这些辐射。但是从银心来的射电波与红外光也可以用别的因素来解释，所以银河系核心大黑洞仍是个悬案。在河外星系，特别是活动星系核中，也可能存在大质量的黑洞。

还有人提出，我们目前观测所及的最大时空——总星系也是个黑洞。假如取总星系半径为 $10^{10}$ 光年，那么它要成为一个黑洞，物质密度只有 $10^{-29}$ 克/厘米<sup>3</sup>就可以了，这又是多么小的密度啊！据估计，“我们的宇宙”的平均密度为 $10^{-30}$ 克/厘米<sup>3</sup>左右，与黑洞所要求的密度很接近。

如果“我们的宇宙”是个大黑洞，那么，在它的外面必定有其它的“宇宙”。这些有趣的问题已属于宇宙论的研究范畴了。

弄懂科学的新问题、当然也无从解决它们。这只能留待科学家去处理。”

### (3) 作用——喇曼

“科学界老的一代主要作用就是在年轻一代中发现才干和天赋，并提供充分的机会让其显示和扩展。”

### (4) 实践——卢鹤绂

“格物致知，运用自如。格物实质上就是物理。从现代的眼光来看格就是规格、规律；物就是物质，把物质的现象规律化。有了这个规律就可以作出科学的预言，可以指导实践了。学理科的学生毕业后到工业部门去，去搞发明创造，使我们的产品超过外国，从而占领世界市场。大企业应有直属它的科研机构，应吸收大部分理科毕业生到其中去工作。”

(一) (芜若辑)

## 物理学家名言录

### (1) 品质——爱因斯坦

“不管时代的潮流和社会的风尚怎样，人总是可以凭着自己的高贵品质，超越时代和社会，走自己正确的道路，他们不追求物质的东西，他们追求理想和真理，得到了内心的自由和安宁”。

### (2) 责任——特勒

“科学的飞速发展，已经将我们这个小小的星球置于岌岌可危的境地。那么，谁应对此后果负责呢？不用说，是科学家。现在，科学家应当寻求办法，从而将他们自己从握有过多权力的状态中解救出来。这正是他们道义上的责任。再说，科学已经变得复杂难懂，知识的疆界正在急速地向前推进。作为门外汉已无法