

黑洞果真无毛吗

肖胜利 朱 峰

(西安通信学院数理教研室 西安 710106)

黑洞是现代天文学中最诱人的发现之一,其含义极具魔力。它是宇宙中看不到的恒星,它起初被认为是封闭的世界,人们几乎无法探测;它是无底深渊,几乎能吞噬一切所有近旁的物质,包括光子在内,当然我们就看不见这一天体了,剩下的乃是一个绝对“黑”的恒星了,因此称为黑洞。黑洞如此奇特,目前已成为许多神话作品和科幻小说的主题。

广义相对论中通常将只有质量的黑洞称之为施瓦西黑洞;将既具有质量又兼有电荷的黑洞称之为里斯纳—诺兹特隆黑洞;将有质量且同时还在旋转(即具有角动量)的黑洞称之为克尔黑洞;将质量、电荷和角动量三个特征全有的黑洞称之为克尔—纽曼黑洞。质量、电荷和角动量是远方的观测者所能观测到的仅有的三个物理量,这就是广义相对论中著名的“黑洞无毛定理”,该定理是1972年由美国学者贝肯斯坦提出的。广义相对论在研究黑洞时没有用到量子力学所以通常将其称之为经典黑洞。黑洞果真除了这三根毛(质量、电荷、角动量)之外,再无它毛了吗?

将现代物理学中强有力的理论工具量子力学和量子场论用于黑洞研究,不但使黑洞研究获得了巨大的生命力,而且使一些最基本的物理概念受到了触动。贝肯斯坦证明了黑洞具有温度,英国物理学家霍金,认为黑洞能通过热辐射辐射出能量,并从完全不同的角度发现了黑洞发射各种粒子并具有热辐射能谱的量子效应。把黑洞具有量子性质的热辐射称之为霍金辐射。可见黑洞除了质量、电荷、角动量这三根毛之外,还有热辐射这根毛!

霍金在1974年证明了若黑洞的质量为 M ,则黑

洞的温度为 $T = \frac{\hbar c^3}{8\pi kGM}$ 。其中 G 为万有引力常数; k 为玻耳兹曼常数; c 为光在真空中的速度; $\hbar = h/2\pi$, h 为普朗克常数。

由此可见,黑洞的温度 T 与黑洞的质量 M 成反比,于是就有了“黑洞不黑它会蒸发,黑洞不黑越小越白”的结论。

霍金辐射的物理机制可以这样来理解。量子力学中狄拉克理论认为,真空中充满着“虚”的粒子和反粒子对,它们不断的“物化”为一对实粒子,分离开,再合并而湮灭,这种真空理论早已得到公认。正反粒子对的产生和湮灭过程中有物理效应,这已通过测量光谱中的“蓝姆移动”而被证实。在黑洞的视界附近也充满着这些“虚”的正反粒子对,它们产生了、又分开、再合并而湮灭,但由于黑洞的存在,使其中的一个粒子可能掉入黑洞,剩下的一个就失去了与之湮灭的对象,它也可能落入黑洞,也可能逃逸到遥远的地方去。对遥远的外部观测者来看,好像粒子是从黑洞发射出来的。正反粒子对中一个具有正能量,另一个具有负能量。逃逸出来的一个是正能粒子,落入黑洞的一个是负能粒子,结果使黑洞的能量(或质量)减小。这对经典黑洞理论无论如何都是不可能存在的,用经典黑洞理论无论如何也是无法解释的。

就霍金辐射的物理机制而言,也可以这样来理解:黑洞的引力场可以作为一个势垒,阻止粒子逸出。因此从经典的角度看,粒子无法从黑洞中逸出,即黑洞除了质量、电荷和角动量可探测外,其他特性无法探测,但是从量子的角度看,粒子有一定的几率穿透势垒,只不过是穿透几率随势垒的厚度在迅速减小(厚度出现在负指数上,所以下降极快)。黑洞大,势垒壁厚,因此穿透几率就小,实际上几乎为零。黑洞小,势垒壁就薄,因此穿透几率可达到相当可观的程度。结果有大量粒子穿透引力势垒逃逸到黑洞外面。

$1(\text{比特}) = k \ln 2 = 0.957 \times 10^{-23}(\text{焦耳}/\text{开})$ (8)
这就是信息熵与物理熵的当量关系。

有了两种熵的当量关系之后,就可以把(2)式理解为包含信息和信息熵概念在内的开放系统广义的熵原理。实际上,香农的狭义信息(或称“好信息”)、布里渊的负熵原理以及薛定谔的“有机体就是赖负熵为生”之说,仅仅反映了(2)式熵流项中的负熵流情况 $\Delta S_e < 0$;而 $\Delta S_e > 0$ 的正熵流则对应于系统汲

取某种增大无序(或增加不确定性)的“坏信息”或“正熵”物质。比如人们吸食营养物质或听到许多高兴的事,意味着获得负熵流;而吸食有毒物质或遇到许多心烦的事,则意味着正熵流的入侵。这才是描写生命“赖负熵为生”“遭正熵而病、而亡”的广义熵原理涵义之精髓。它生动表达了过程量与态函数之间的关系。而过程量和态函数之区分也正是厘清负熵、信息熵、熵原理等概念之关键所在。