

宇宙新概念

第五章 致密星体



5.3 黑洞和白洞

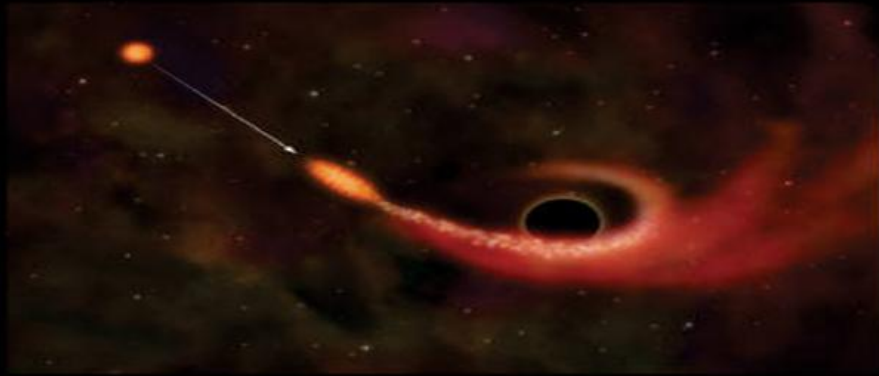


最大最古老的黑洞

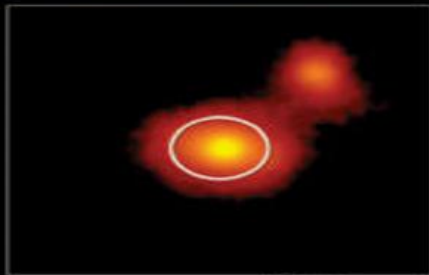
一、引力坍缩与黑洞

逃逸速度：地球表面上的火箭要飞出地球的引力控制所必须具有的速度，大小为11.2千米/秒。其数学表达式为：

$$V_{\text{逃}} = \sqrt{2GM/R}$$



CHANDRA X-RAY

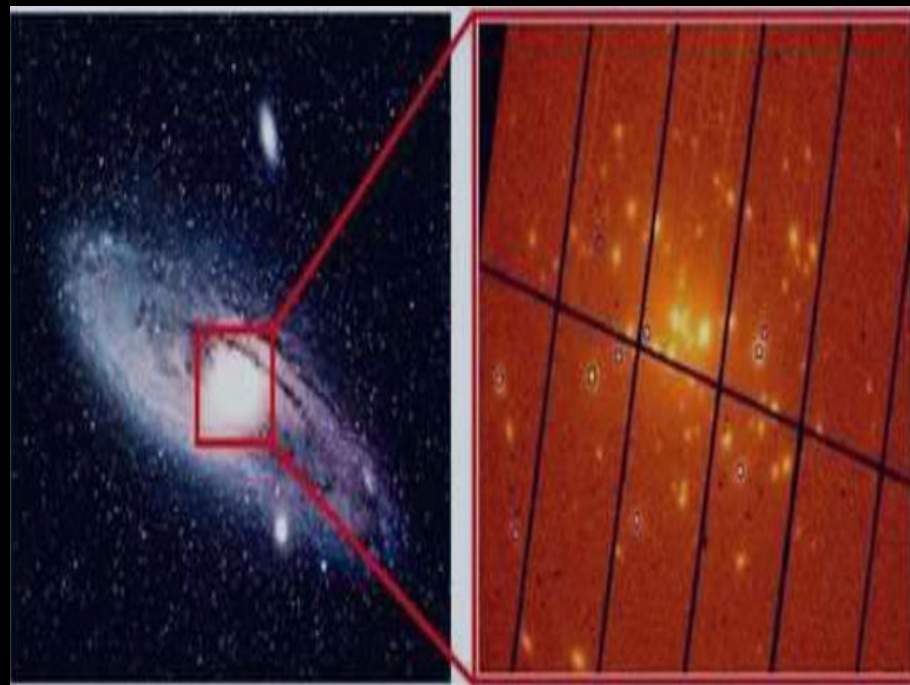


ESO OPTICAL

黑洞撕裂恒星

假定地球的半径由于某种原因缩小到原来的 $\frac{1}{4}$ 而质量不改变，那么其表面的引力就会增强到原来的16倍，此时所要求的逃逸速度为22.4千米/秒。为了理解引力坍缩，我们设想将地球的周长从40000千米缩小到10千米，这时火箭的速度要达到708千米/秒才能逃出地球。如果进一步把地球周长缩小到5.58厘米，则逃逸速度就达到了光速——每秒30万千米。这时地球上的任何信息都不可能送到外界，从外面的世界看，只留下一个周长为5.58厘米的“墓穴”。

令 $V_{\text{逃}}$ 为光速 c ，则可得
引力半径： $R_g = 2GM/c^2$ ，引力半径同质量成正比。引力半径的物理意义是：如果某天体的半径 R 小于其对应的 R_g ，则此天体发出的光也逃不出去。黑洞的视界并不是物质面，它的物理意义是指外部观测（ $R > R_g$ ）不可能知道其内部（ $R < R_g$ ）的任何信息。



仙女座中心存在着10个新的准黑洞

不同质量黑洞的半径和密度

质量（千克）	相当质量的物体	引力半径	相当大小的物体	平均密度（千克/米 ³ ）
10^{12}	山岳（微黑洞）	3×10^{-12} 毫米	电子半径	8.8×10^{45}
7.35×10^{22}	月球	0.11毫米	细砂	1.36×10^{34}
6×10^{24}	地球	8.9毫米	豌豆	2.03×10^{30}
2×10^{30}	太阳	2.96千米	步行半小时路程	1.80×10^{19}
2.0×10^{32}	最大的恒星	296千米	约沪宁铁路长度	1.80×10^{15}
2×10^{35}	球状星团	2.96×10^5 千米	地月距离的78%	1.8×10^9
2.2×10^{41}	银河系	0.03光年	比邻星距离的0.7%	0.002

二 黑洞的性质



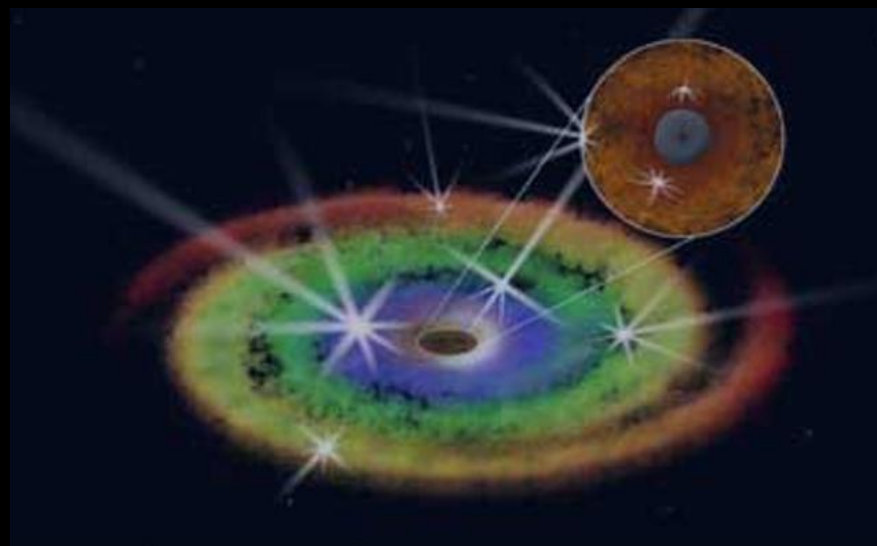
黑洞可以用质量、电荷和角动量三个量完全确定——黑洞无毛发定理。

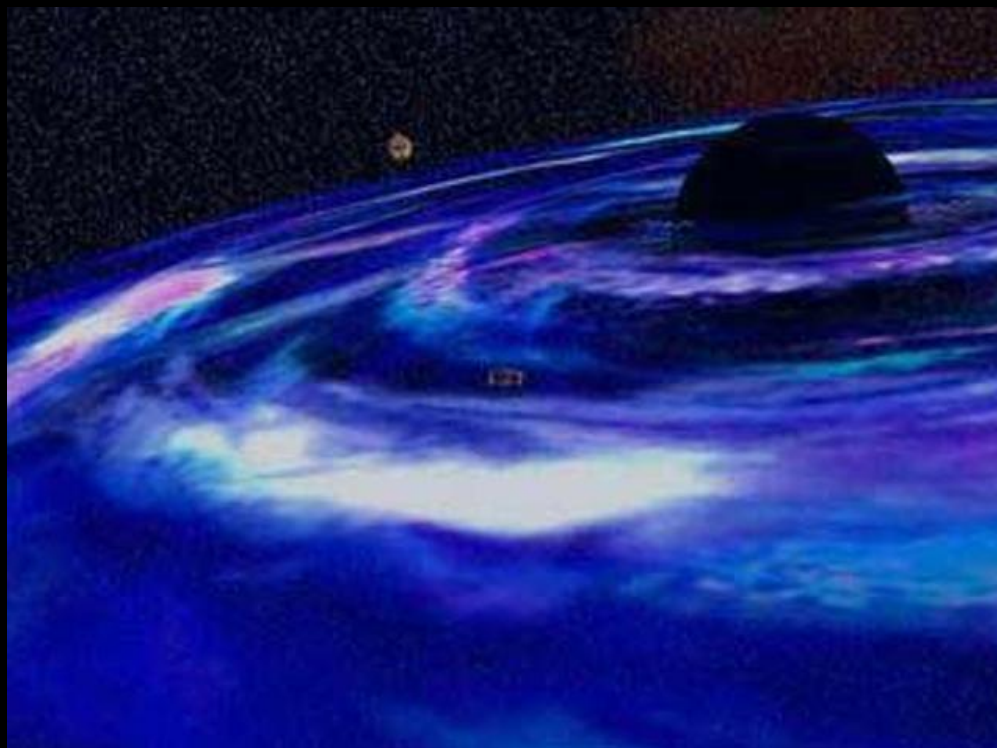
黑洞可以分为四大类：最简单的无电荷、无转动的球状黑洞只需质量一个参数就可描述，又称为史瓦西黑洞；有电荷、无转动的球对称黑洞，又称为雷斯勒-诺斯特诺姆黑洞；无电荷但有转动的黑洞，又称克尔黑洞；带电荷又有转动的旋转黑洞需要质量、电荷和角动量三个参量描述，又称为克尔-纽曼黑洞。



黑洞无毛发定理表明，引力坍缩前千差万别的物体，坍缩为黑洞之后各自的细节都消失了。我们无法根据黑洞的现状来推断它坍缩前的具体性状。

黑洞具有电荷的原因是作为黑洞前身的恒星都有电磁场，黑洞形成以后还可从星际介质中吞噬带电粒子，因此在黑洞视界周围成带电的外部时空，但黑洞的大部分电磁属性已被引力波带走，只留下总电荷这一个与电相关的参量。黑洞具有角动量的原因是因为作为黑洞前身的恒星都有自转，形成黑洞以后按角动量守恒定律依然要保持转动特性。

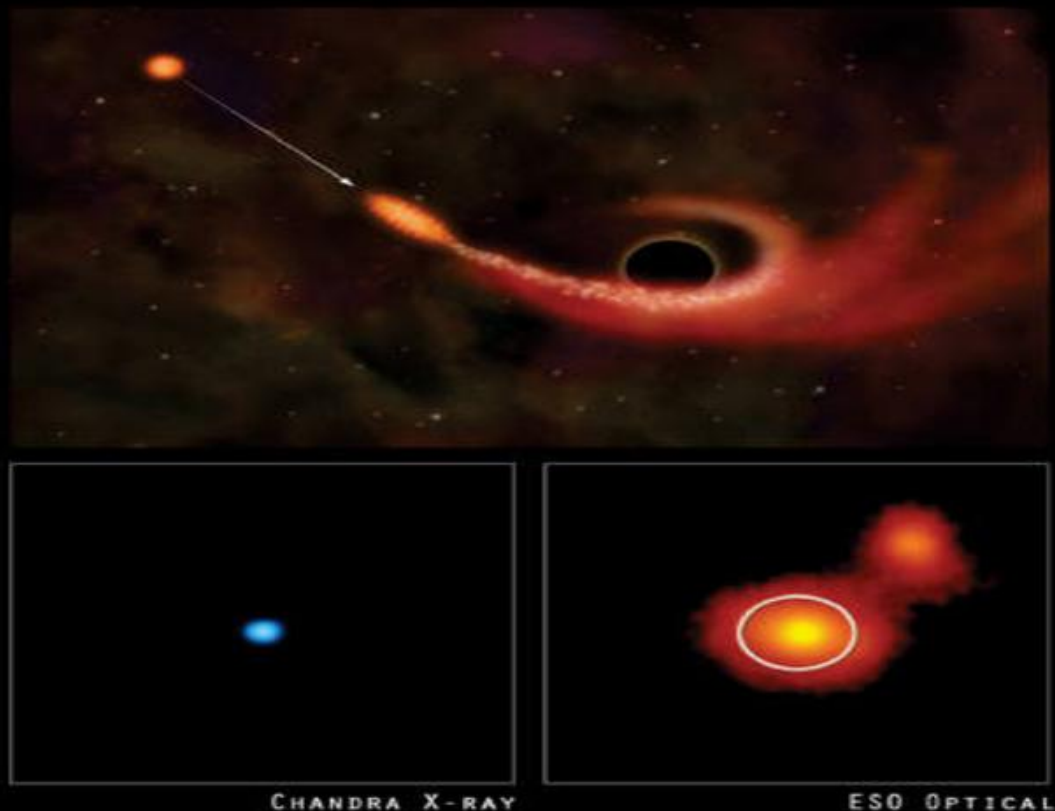




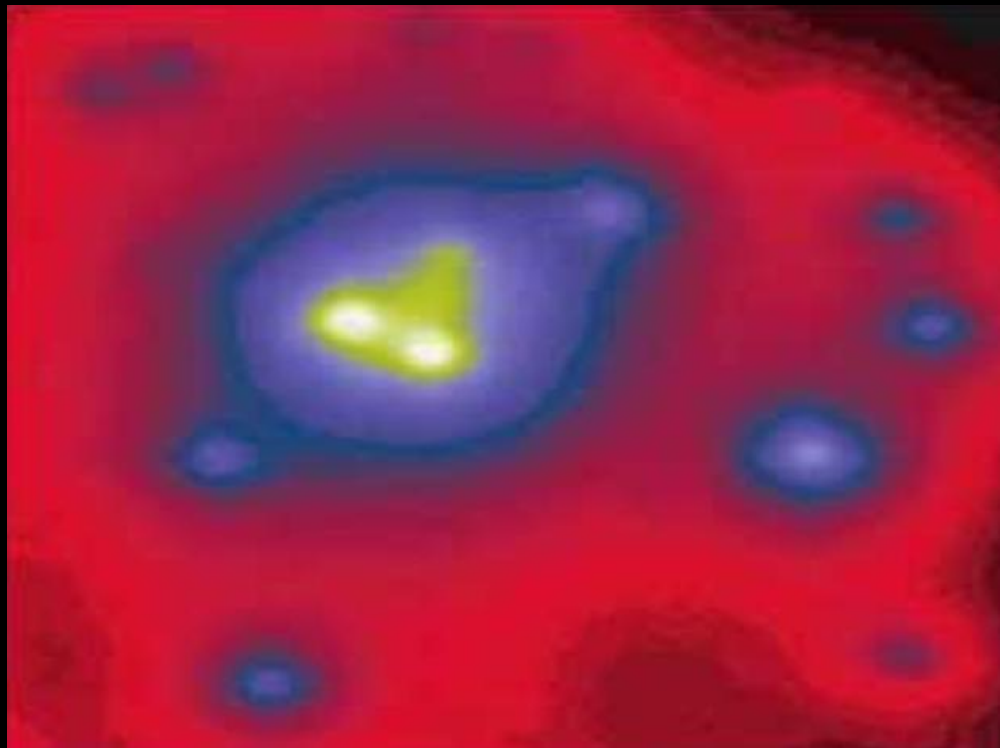
没有电荷的黑洞容易理解，正负电荷刚好中和。

没有转动的黑洞是则因为某些物质通过彭罗斯过程从旋转黑洞中提取完黑洞的全部角动量，进而使黑洞停止转动，能层消失，只剩下质量，旋转的克尔黑洞变为静止的史瓦西黑洞。

黑洞还有一个特别的行为，就是当两个黑洞相撞而合二为一时，合成的黑洞的视界表面积一定不小于原来两个黑洞视界表面积之和，这种黑洞的合并还会释放出巨大的能量。合成后的黑洞还可以再合并，再释放能量。



黑洞撕裂恒星



围绕着中等黑洞旋转的星群

著名的黑洞理论家霍金证明，黑洞一分为二是办不到的。他的“面积不减定理”规定，黑洞在变化中视界表面积只能增加，不能减小。而黑洞的分裂将导致表面积减小，所以是禁止发生的。

对日常所见的物体，如果两个小球合并成一个大球，则大球的表面积一定小于两个小球的表面积之和。设两同种材料同样大小的小球，半径为 R_0 ，则合并前两小球的表面积为

$$S_0 = 2 \times 4\pi R_0^2 = 8\pi R_0^2$$

合并成一个半径为 R 的大球，表面积为 $S = 4\pi R^2$

又两个小球的质量等于大球的质量 $2 \times \frac{4}{3}\pi R_0^3 \rho = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$

所以

$$\text{设 } S < S_0 \quad \text{即 } 4\pi R^2 < 8\pi R_0^2$$

$$\text{即 } \frac{R}{R_0} < 2^{\frac{1}{2}} \quad , \quad \text{又 } 2^{\frac{1}{3}} < 2^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{故 } S < S_0 \quad \text{成立}$$

再来证明黑洞的面积不减定理，以球状的史瓦西黑洞为例，黑洞的视界面积为

$$S_0 = 4\pi R_0^2$$

其中 R_0 为视界半径，又 $R_0 = \frac{2GM}{c^2}$

所以

$$S_0 = 4\pi \left(\frac{2GM}{c^2} \right)^2 = \frac{16\pi G^2}{c^4} M^2$$

为简单起见，令两个小黑洞质量相同均为 M_0 ，大黑洞质量为 $2M_0$ ，视界表面积为 S ，则

$$S = \frac{16\pi G^2}{c^4} (2M_0)^2 = 2 \times \left[\frac{16\pi G^2}{c^4} M_0^2 + \frac{16\pi G^2}{c^4} M_0^2 \right] = 2 \times 2S_0$$

当两个小黑洞的质量分别为 M_1 ， M_2 ，视界面积分别为 S_1 ， S_2 ，则

$$S = \frac{16\pi G^2}{c^4} (M_1 + M_2)^2 = \frac{16\pi G^2}{c^4} M_1^2 + \frac{16\pi G^2}{c^4} M_2^2 + \frac{32\pi G^2}{c^4} M_1 M_2 > S_1 + S_2$$

在上述证明中要求大黑洞的质量等于两小黑洞的质量之和，而这一条件在黑洞的合并过程中并不满足。按照广义相对论，在两个具有强引力场的黑洞猛烈碰撞的过程中，将有引力波发射出来。由于能量守恒，引力波的能量是由两个黑洞的总质量的亏损来提供的。霍金从理论上证明即使两个黑洞碰撞时，通过引力波发射能量的形式损失掉的质量多达总质量的50%，黑洞的面积不减定理仍然成立。

霍金在研究量子力学对黑洞附近物质的行为的影响时，发现黑洞似乎总以稳定的速度发射粒子，而且发射的粒子具有热辐射的性质。黑洞的辐射看起来好象是一个普通的热物体在辐射，所以黑洞并非绝对的黑，它有一个温度。



黑洞也要受到量子力学的影响，然而，量子效应只是在微观领域中才表现出显著的影响。对于通常的黑洞，它的辐射实在太小而完全可以忽略。例如，对于一个太阳质量的黑洞，它的辐射所对应的温度只有 6×10^{-8} 开。这种温度下的热辐射是微乎其微的。

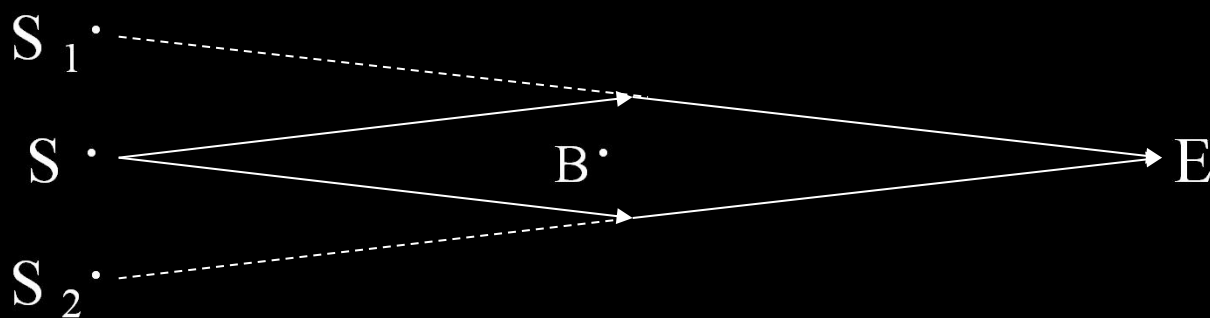
有人认为，在黑洞中心的“奇点”处，物质不可能被压缩到无限大的密度，在小于 10^{-33} 厘米的空间尺度上，广义相对论也要失败，而应代之以量子化的引力理论。



除大型小型外的新中型黑洞

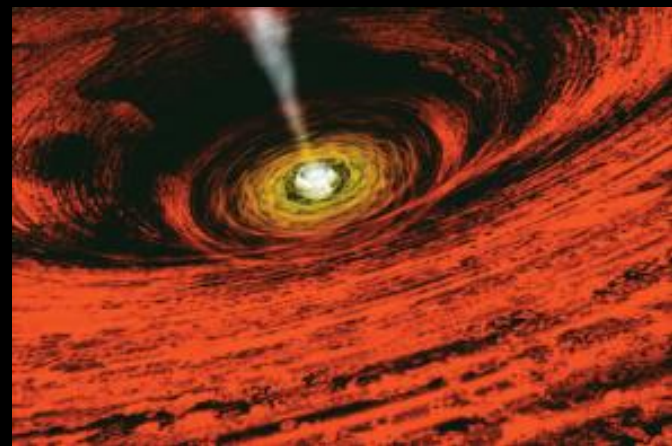
三 寻找黑洞

黑洞是引力辐射源、X射线源、 γ 射线源。单线双星光谱未出现的那个星可能是黑洞。引力透镜法是用来确定黑洞的一种方法。

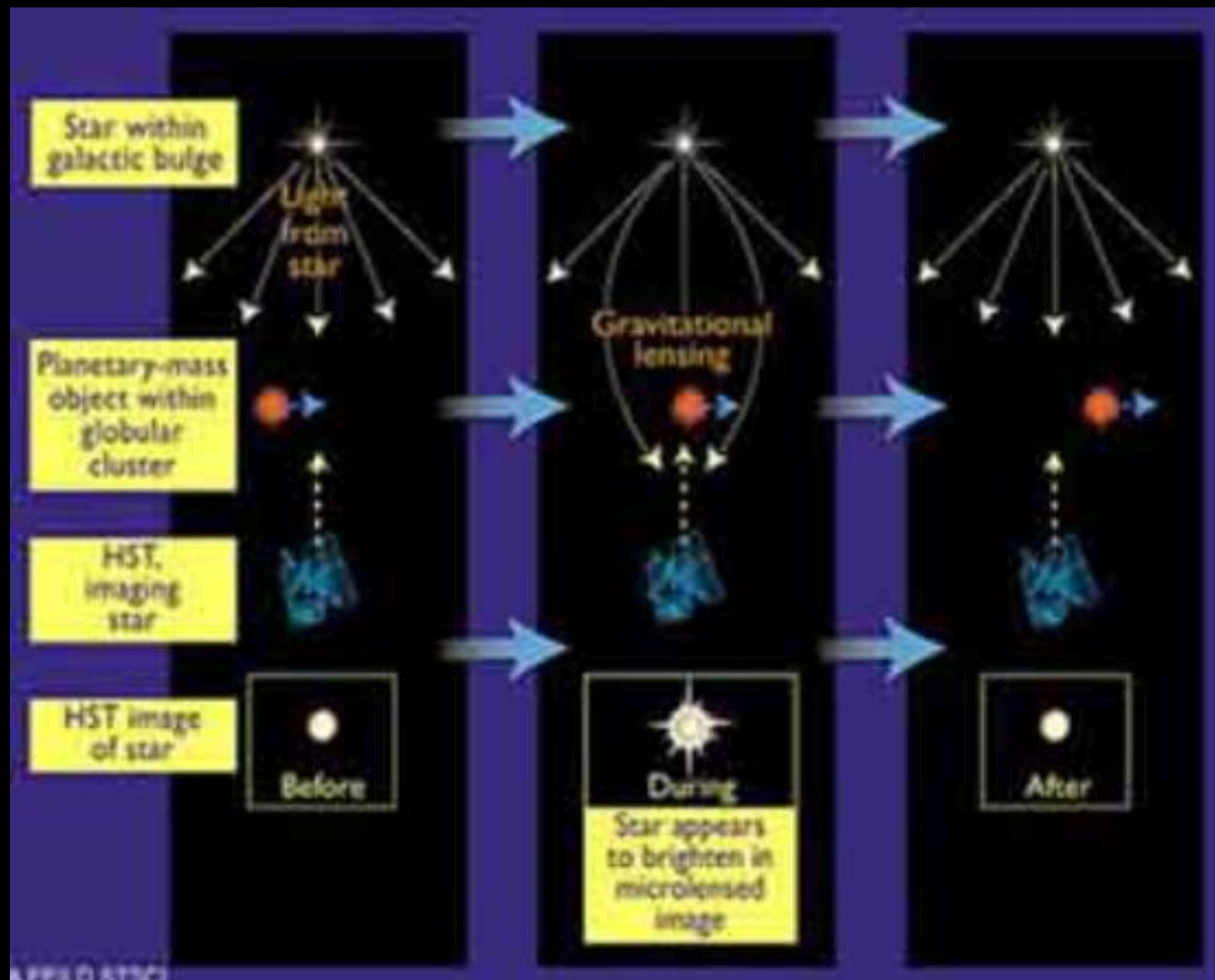


引力透镜示意图

根据量子力学理论，小黑洞会发射光和粒子而逐渐消亡，因此探测它们的存在及其发射，不仅能证实黑洞的存在与否，而且也能检验新发展的黑洞量子力学的正确与否。各国天文学家在20世纪70年代末就开始了对小黑洞的搜寻工作。根据理论预言，质量小于 10^{15} 克的小黑洞到今天都已经消失了，质量在 $10^{15} \sim 10^{16}$ 克的小黑洞正在走向死亡。这种死亡过程是很迅速的，最后将以猛烈爆炸告终，爆炸放出的能量非常巨大，并以高能 γ 射线的形式放出。



高速运行的黑洞

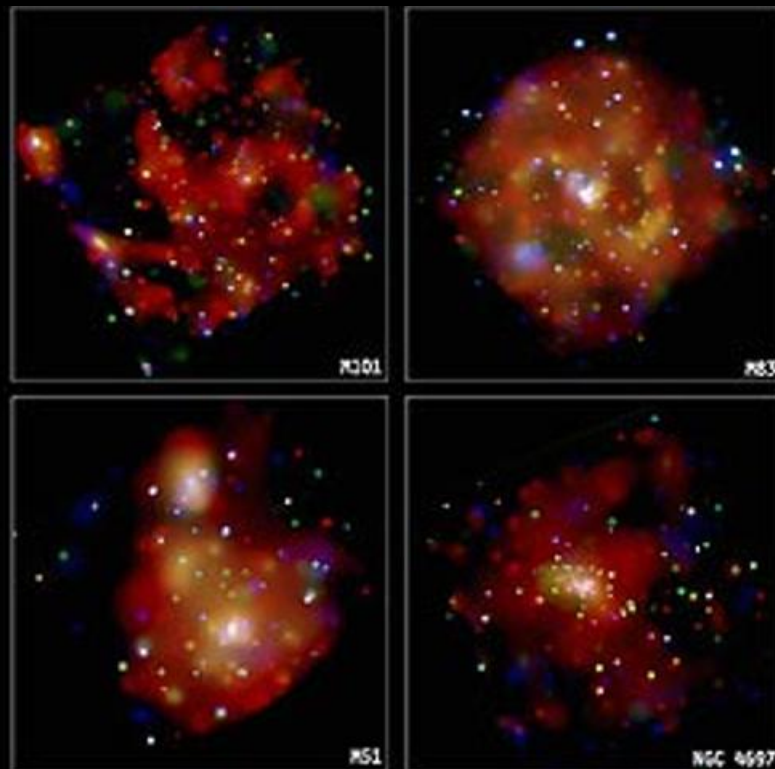


四 天鹅座X-1的特征

天鹅座X-1已为多数科学家承认为黑洞。

根据观测资料，天鹅座X-1成了黑洞最有希望的候选者，它的质量约为8个太阳质量。

光学望远镜在天鹅座X-1方向上观测到一颗亮度为9等的双星，双星的绕转周期为5.6天。经过精密的方位测定发现，它可能就是天鹅座X-1中与X射线源为伴的可见星，而且在这个方向上还有一个射电源。从光谱的比较分析还可看出，有迹象表明气体正从可见星流到它的伴星上去。

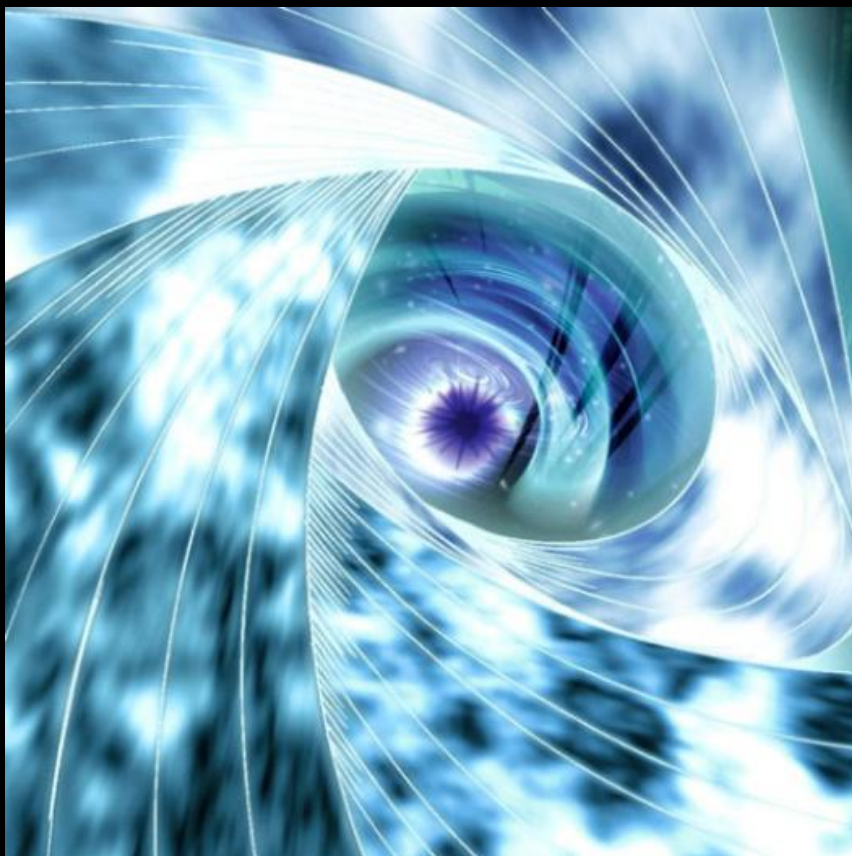


黑洞新类型

五 黑洞研究的最新成果

有人估计，在过去100亿年中银河系中平均每100年有一颗超新星爆发，而每100颗超新星中一颗会导致黑洞形成，如果这个估计是正确的，则银河系里应该有数百万个由恒星坍缩而成的黑洞，而我们根据X射线双星系统来确定的黑洞或黑洞候选者仅仅数十个，问题出在哪里呢？

六 白洞和虫眼（洞）



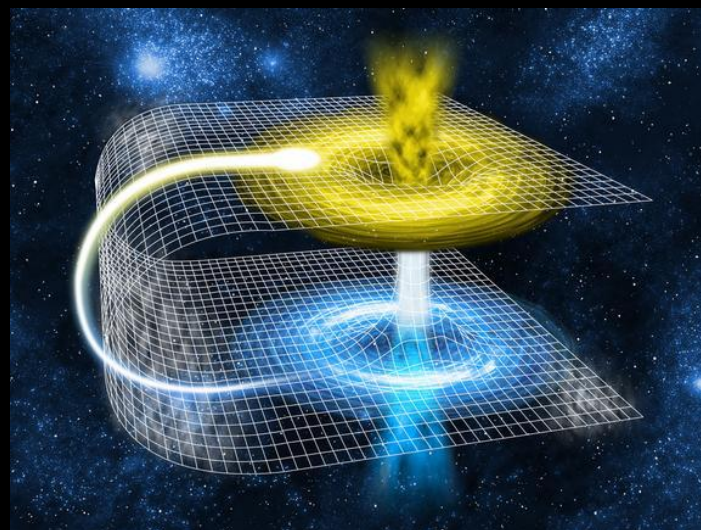
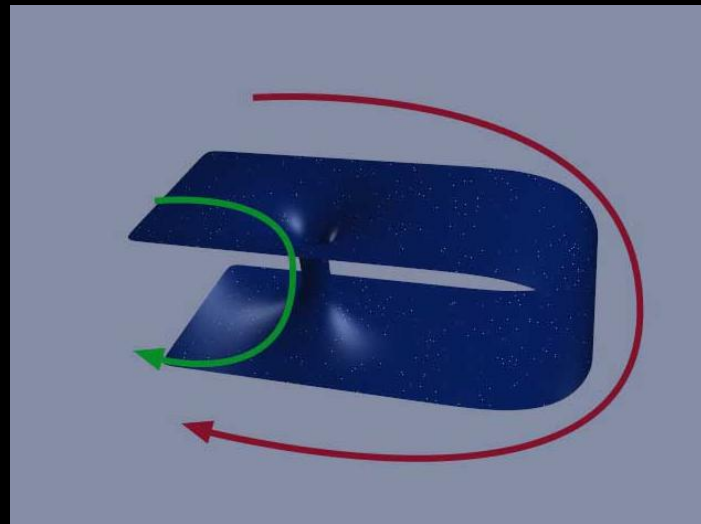
按照宇宙通常存在的对称性，应该有与黑洞相对应的天体存在，也就是恒星坍缩的逆过程，这就是宇宙物质的“火山口”，大量物质和能量从那里涌出来，这样的天体称为白洞。

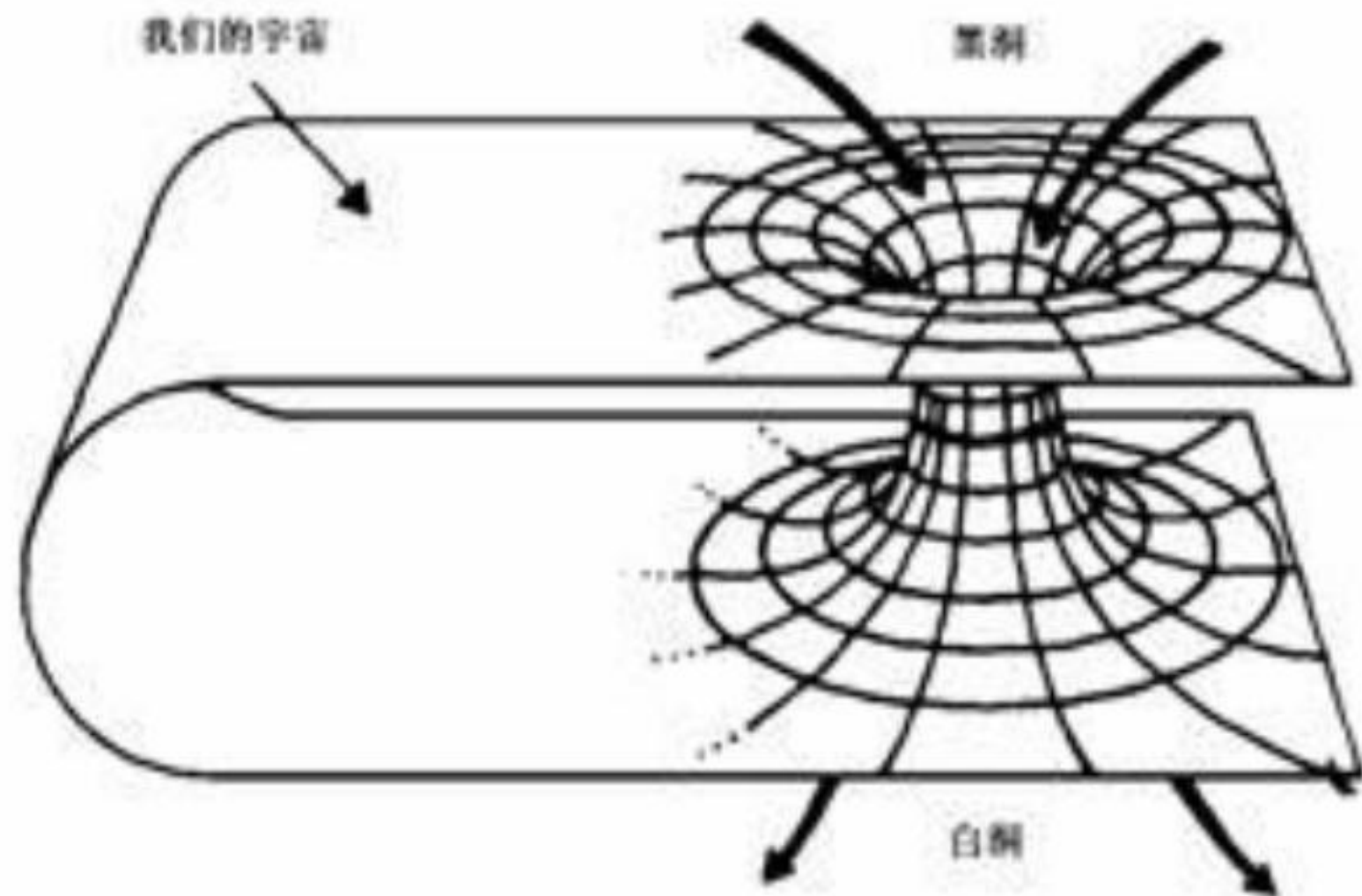
六 白洞和虫眼（洞）

黑洞和白洞的通道为虫眼。

物质一旦在虫眼的另一端出现，它就再次突然膨胀成了普通的物质。膨胀时，它发出炽烈的辐射能，而这种能量原先是陷在黑洞里的。也就是说，我们眼前出现了一个白洞。

有些学者认为类星体是虫眼某一端出现的一种巨大的白洞，其物质来自宇宙另一部分的一个巨大的黑洞。





七 白洞的性质

白洞内的时空有着一种奇异的特性，只允许洞内的物质和辐射向外运动，不允许外来物质和能量进入内部。

白洞和黑洞在广义相对论中是以时间上的反演互为对偶的。对于外部区域来说，白洞也是一个引力源，它可以被普通恒星所吸引，也可以吸引其他物质。白洞内中心附近的物质是一种超高密态物质，可能包含各种基本粒子。

