

# 电影《星际穿越》中的科学问题

## ——黑洞、白洞和虫洞

刘元 廖进元 易疏序 容昱 贺健健 尹倩青 张双南\*

(中国科学院高能物理研究所 100049)

DOI:10.13405/j.cnki.xdwz.2015.03.015

### 1. 《星际穿越》成功的原因

《星际穿越》是一部科幻电影，讲述的故事发生在很多年之后，那时地球环境已经不再适合人类生存。一位宇航员库波为了拯救人类去探索新的宜居星球，期间历经艰险，最后和自己的女儿墨菲重逢。电影引人入胜，科学概念层出不穷，被评为2014年“年度最烧脑电影”，豆瓣网给出了9.1的高分。

该部影片是一位电影大师和一位科学大家对话的结果。科学大家就是该部影片的科学顾问索恩(K. S. Thorne)教授，他是全球著名的从事相对论和黑洞研究的理论物理学家。索恩为了解释这部电影专门写了一本书，名为《星际穿越的科学》。该部影片导演诺兰(J. Nolan)之前也已非常有名。在该部电影拍摄之前，索恩和导演之间有两条约定：第一，电影任何内容的核心都不能违反确立的物理规律和宇宙知识。这一条约定确保了电影在科学上的严谨性，因此该部影片被称作为硬科幻片。同时由于我们对于物理规律和宇宙并不完全了解，还有一些未知的领域，对于这些尚未理解的物理规律和宇宙的推测必须来自真正的科学，这些都是有根源的，是学者们正在研究的内容，不是凭空而来的，因此他在这个基础上加了第二条约定，即至少有些“受人尊敬”的科学家认为这些推测是可能发生的。该约定给艺术创作留下了足够的空间，这就是导演诺兰可以发挥的地方。我们可以看到，这部电影以人类的命运为主题，以父女亲情为主线。

本文只和读者分享《星际穿越》中主要的科学背景，而且是和宇宙有关的科学背景。

### 2. 什么是黑洞?

黑洞是非常简单的，如果读者没学过广义相对论，也可以在经典物理中讨论黑洞的事情。在经典物理中，我们知道任何一个物体或者说一个球形的天体，都具有一个逃逸速度。如果其逃逸速度大于光速，那么光从这个天体就逃不出去，

$$V = \sqrt{\frac{2GM}{R}} > c, \quad (1)$$

(1)式中， $V$ 是逃逸速度， $G$ 是引力常量， $M$ 和 $R$ 分别是球形天体的质量和半径。把(1)式反过来写

$$R < R_s \equiv \frac{2GM}{c^2}, \quad (2)$$

表示如果该天体的半径小于某个值，那么光从这个天体就出不去了。对于太阳来讲把太阳压到3千米半径以内，太阳表面的光就逃不出来了，所以在经典物理里面叫做暗星。只不过学术界不那么认真地看待这件事而已，因为在牛顿的经典理论中，是把光当作粒子看待的。我们知道光是电磁波，没有质量，所以引力对光线是不适用的，在牛顿理论里面你可以凑合着做，说它有能量所以等效于质量，做一些计算是可以的，但原则上是不对的。

黑洞的定义在广义相对论里就非常明确了，如果广义相对论理论是正确的，那么广义相对论场方程的第一个解就可以认为是一种黑洞的解(因为数学上最简单)。假设一个质量在一个点的地方，然后你同样可以算出来一个半径，这个半径就写成 $R_s$ ，脚标s代表史瓦西。史瓦西在爱因斯坦发表广义相对论几天后

\* 本文根据张双南教授2014年12月5日在中国科学院高能物理研究所的报告整理而成。整理人：刘元、廖进元、易疏序、容昱、贺健健、尹倩青。

就求出这个解。这件事令爱因斯坦非常震惊，爱因斯坦以为他的场方程没有解析解，因为该方程是两阶偏微分方程，非常复杂。爱因斯坦很尊重史瓦西，用他的名字来命名这个解。从这个解我们可以看到，当有一个物体趋近于史瓦西半径时，会感觉到等效的引力是无限大的。如果引力有限，那么总是有办法逃出去的，逃不出去的原因就是因为引力无限大。如果想向外面发射一个求救信号，比如说是个光信号，你会发现它的波长会变长，一直变到无限长，能量是0，没法看到。从这个角度来说它是“黑”的，又黑又是个“洞”，所以在1976年它被命名为“黑洞”。而且，在黑洞的边界（称为视界）附近的光也是不可避免的要被吸进去。

### 3. 黑洞的种类

一类就是所谓的量子黑洞，也叫做原初黑洞。如果把黑洞放在真空当中，根据海森伯不确定性原理，真空会不断地涨落产生正反粒子对。如果真空涨落事件恰好发生在黑洞附近，就可能发生正反粒子对中的一个粒子进到黑洞里，另外一个粒子跑掉了的情况。站在远处看这个黑洞，将会发现不断地有粒子跑出来，因为整体上能量守恒，那就相当于黑洞在辐射。霍金作了计算，发现黑洞质量越小，辐射越快，最后就只好爆炸。如果一个黑洞的质量为 $10^{15}\text{g}$ ，那么它从宇宙大爆炸产生到今天恰好到爆炸死亡的阶段。

另外一类黑洞是作为恒星坍缩遗骸的恒星级质量黑洞。银河系内已有20多个系统被天文学家确认为黑洞系统，它们都在银盘面上（图1）。目前找到的

仅是不到万分之一的恒星级黑洞，预期在银河系内至少有上百万个恒星级黑洞，但是把他们找到确实不容易，大部分情况下太黑看不到。只有它跟别的东西放在一起的时候，有一些现象使我们能够看到它。当然其他星系也一样，每一个星系里都有很多恒星级质量黑洞。

星系中心都存在超大质量黑洞。银河系中心也存在着一个超大质量黑洞，它周围有很多恒星，其中有一些恒星的轨道是围绕着黑洞做椭圆轨道运动，因此测量这些恒星的轨道，再利用开普勒定律就可以把黑洞的质量测出来，结果就是400万倍的太阳质量。

已有很多观测证据表明超大质量黑洞可以吞噬恒星。如果有恒星不幸跑到黑洞附近，由于潮汐力作用，恒星两端感受到的黑洞引力不同，恒星就会被拉长，最后被撕碎了，这个团块就往黑洞里面掉，理论可以预期这些物质在掉的过程中会发光。观测数据和理论预言符合得很好。虽然被观测到的事例还不多，但表明超大质量黑洞吞噬恒星的事情确实是发生了。

简要地总结一下，我们目前已知的和半知的黑洞的情况。黑洞的半径、密度、温度和寿命，基本是质量的单一的函数（和它自转也有点关系）。比如说，以黑洞视界为体积边界，黑洞质量越大，密度越小。常常听媒体上说黑洞质量大到一定程度，以至于它的密度非常的大，所以东西都吸进去了，完全是错误的。黑洞的温度是和质量成反比的，质量越小，温度越高，蒸发就越快，所以质量又变得更小，最后就爆炸了。这个过程是不稳定的一个过程，所以霍金辐射最后一定是不稳定的。前面讲到的质量为 $10^{15}\text{g}$ 的霍金黑洞，属于微小质量黑洞，是大爆炸的时候形成的，有一些可能正在死亡。恒星质量的黑洞其质量是10倍太阳质量，密度相当于原子核的密度，所以不能到这种黑洞里面去旅行，人进去就变成原子核了。在星系中心的超大质量黑洞，都在持续增长当中，它们吞噬恒星，也可以吃周围

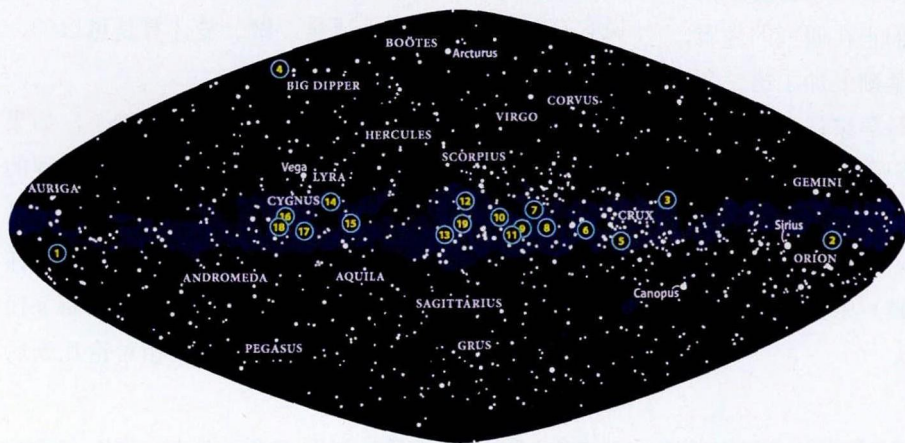


图1 银河系内的恒星级质量黑洞

的气体。

还有一种黑洞是中等质量黑洞，质量介于超大质量黑洞和恒星质量黑洞两者之间，有一些理论推测它们很可能会形成。

#### 4. 黑洞的性质

黑洞有三个属性：质量、自转和电荷。实际的黑洞有一个吸积盘，由掉落向黑洞的坍缩物质形成。吸积盘的概念在这部电影里面也是非常重要的，最终人类很幸福地生活在黑洞的周围，一个原因就是有吸积盘。

影片中飞行员要去的这个行星的位置是经过精心挑选的，不是随意的，既要产生1小时等于7年的效果，同时该点的潮汐力又不能太大。所以影片中利用了时空转动的扭曲，这时潮汐力大为减小，但是仍然可以产生导演要求的效果。同时该点距离吸积盘有一定距离，所以吸积盘的辐射不太强，在这个地方能够幸福地生活下去。约在1960年，理论上就知道黑洞会有自转，但是实验上一直没有好的测量方法。1997年，我们提出来利用黑洞附近吸积盘的X射线连续谱的辐射测量黑洞自转。因为吸积盘会产生X射线辐射，根据广义相对论效应，它有个最后稳定轨道半径，而这个半径的大小是和黑洞的角动量呈一个单调的关系，所以如果把把这个半径测量出来，就可以测黑洞的角动量。目前这是黑洞自转测量的两个方法之一。

黑洞还有一些其他有趣的现象。例如它周围的大气的温度结构和太阳相似。我们发现，把太阳大气结构的温度乘以500，就基本上重现了黑洞大气结构的温度。不管在太阳还是黑洞大气里面，磁过程，具体是磁重联过程，是能量释放的一个主要机制。该项工作已在 *Science* 上面发表。当然黑洞不仅仅是和太阳类似，事实上，它要比太阳能干得多，我们知道太阳内部能量的来源是核聚变，最高的效率只能达到0.7%。当物质往黑洞跑的时候，引力势场导致产生一个吸积盘，这样引力势能转化成辐射，相当于静止质量转化成的辐射，和核聚变是一样的，在这种情况下，辐射的效率是多少呢？如果黑洞不转动，辐射效率为6%，如果转动，辐射效率高达40%。这个效率是非常之高的，这就是影片中人类要生活在黑洞附近的原因。当

然还要精确计算适合人类生存的位置，辐射不能太强，也不能被潮汐力撕碎，也不能掉到黑洞里面去。

黑洞除了会产生辐射之外，还会产生强烈的喷射。超大质量黑洞的喷流速度是超过光速的，就是视速度超过光速，当然这是狭义相对论的一个效应，实际上它的速度比较接近光速。恒星级质量黑洞的喷流也是超过光速的。因此前面一类叫类星体，后面一类的叫微类星体。他们产生喷流的机制可能差不多，是一致的。我本人1994年的时候也有幸发现一个黑洞双星，恰好是银河系内第二个微类星体，目前是所有的黑洞双星系统里面研究得最充分的一个。

黑洞除了会产生喷流之外，还会照亮整个宇宙，比如说伽马射线暴（其中一类是大质量恒星引力坍缩演化到最后产生的）。我和我的合作者们得到结论，目前已经探测到的伽马射线暴，其中有一些红移是高于10的，这意味着宇宙年龄4%的那个时候产生的伽马射线暴今天我们能看到。

#### 5. 黑洞是如何形成的？

黑洞到底是怎么形成的，得有一个天体物理机

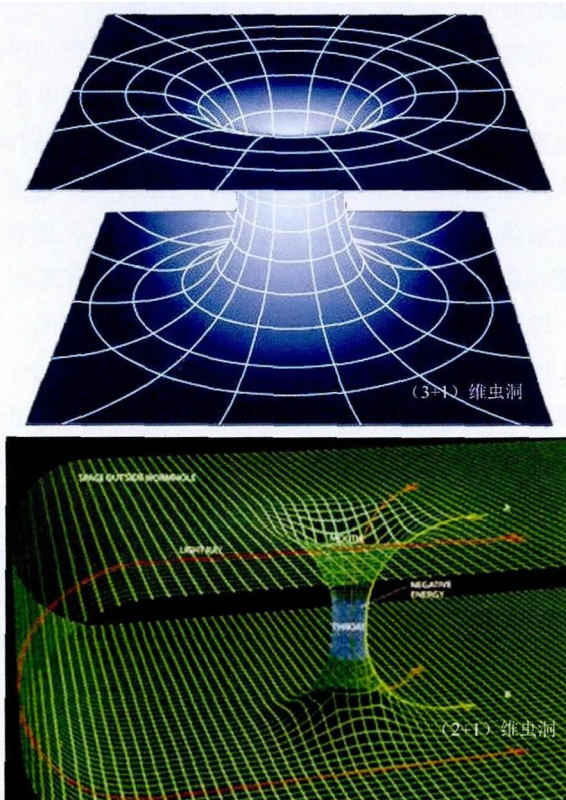


图2 (3+1) 维虫洞和 (2+1) 维虫洞示意图

制让恒星最后变成一个黑洞，而不需要人工的干预。1939年的时候，奥本海默（J. R. Oppenheimer）写了一篇文章，他在这篇文章中把几件事情都说清楚了。第一件事情说：当恒星燃烧到最后它不可避免地要塌缩，而且这个塌缩会无限制地进行下去，最后能够形成黑洞。总的塌缩时间是有限的，即所有的塌缩的物体掉到黑洞里的时间是有限的。如果有观测者随着塌缩往下走的话，比如说这个人就是库波，他就会在有限的时间之内，到达黑洞中间的奇点处。总结一下：核燃料耗尽后将会永远塌缩，对随物质共动下落的观测者库波而言，他会到达奇点，黑洞形成了，库波本人也变成黑洞奇点的一部分。当然这不是这部电影里的结果，这是经典广义相对论的理论结果，它不一定是对的。在库波准备进入黑洞获取量子数据的时候，他的女儿等待接受数据，那么她必然要问这样的问题：爸爸是否能够到达遥远的黑洞？这就引出影片中穿越虫洞这件事情，是解决能不能到达黑洞的问题。

## 6. 如何进入黑洞？如何穿越虫洞实现时间旅行？

虫洞就是时空隧道，可以把低维空间很远的点在高维空间建立捷径，而且可以实现时间旅行。

三维的空间里面要想实现穿越就需要一个四维的虫洞，或者说 $(4+1)$ 维的时空才可以，所以电影里面就出来一个 $(4+1)$ 维的时空，就是所谓五维的空间。

下面讲如何建立捷径来实现时间旅行。穿越虫洞非常危险，因为目前我们对虫洞的性质还不太理解，甚至在现实宇宙中有没有这种可穿越的虫洞还不知道，即便有的话，现在看来它们也是很很不稳定的。如图3所示，以两维空间为例，在两维空间的底部放一个黑洞。我们知道因为黑洞附近的引力场更强，下面的表就要比上面的表要慢。如果你从上面出发到下面去，必须要注意调整你的表。然后你在如图3所示位置放一个虫洞。虫洞的一个特点是它内部没有引力，

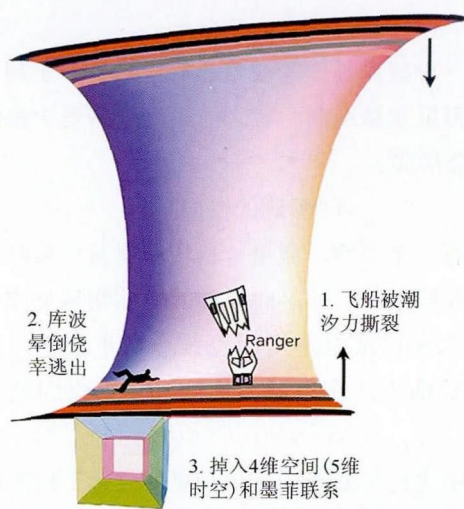


图4 影片中库波穿越虫洞示意图

即虫洞上下口的引力差等于0，因此虫洞口的两个表的时间是一样的。如果我们2:00时从上面坐蚂蚁沿着虚线走，5分钟到达下面，但是下面的表本身要慢一个小时，所以到下面之后你的表变成了1:05分了。关键问题是，我们从虫洞返回，花一分钟到达上面，我们的表是多少？是1:06分，所以奇迹产生了，你比出发的时候年轻了54分钟！这就是把虫洞和黑洞组合在一起产生的效果，所以你到达终点的时候可以比出发的时候年轻，当然这会产生很多悖论，如果不停地重复上面的路线，你就会变得越来越年轻。

前面讲到影片中女儿墨菲担心的第一个问题，就是爸爸能不能通过虫洞到达遥远的黑洞做一个时间旅行，从上面分析看来是可以的。但是墨菲还担心另外一个问题，爸爸能不能进入到黑洞里面去。如果她读过奥本海默上述论文她一定会非常担心。因为根据奥本海默的理论，库波觉得自己掉到了黑洞，但在外部观测者墨菲看来，物质无限逼近视界，但不能进去，所以墨菲看到爸爸永远进不了黑洞。这个事情在物理学上叫冻结星伴谬。对于同一个物理事件，两个观测者得到了截然不同的结论。逻辑上怎么解决这个问题，我们暂且不表，剩下的问题就是怎么出来。星际穿越里面库波的飞船往里面落，库波将会看到两件事情：第一，他看到前面的奇点会冲着他以光速飞来；第二，后面随着他掉下来的东西，可能是救援队也是以光速、以奇点的形式向他压来。这两个奇点，根据理论计算将会同时撞上库波。在这个时候，他必然会变成奇点。

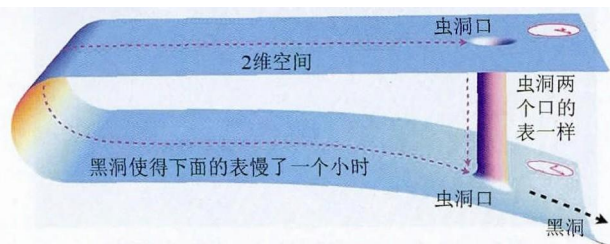


图3  $(2+1)$  维空间穿越虫洞示意图

所以他的选择就是，或者说导演的选择就是，在这件事发生之前，让他稍微早一点接近奇点，然后他的飞船变成两半，所以第一步，在奇点这个地方，飞船被撕裂，当然奇点的潮汐力还是比较大的。飞船被撕成两半。如果说库波也被撕成两半了，那这事情就不好办了。还好，库波晕了，没有被撕成两半，侥幸逃出，从这地方逃出来了，躺在那儿了。第三步，晕着“掉”入了四维空间，即一个五维时空。他在多维时空里就很容易穿越，并可以和低维的时空去联系。所以进去之后，这个电影就进入了最后一步。库波就飘在了墨菲的五维时空里，当然，墨菲还是在三维空间里。库波从不同的方向看墨菲的睡房，看到的是墨菲睡房的不同时间，也包括他们曾经看到的引力异常信号。所以他就可以向不同年龄的女儿墨菲来传递信号了。

影片中信号是通过引力传递的。为什么通过引力传递？因为我们知道，光线是三维空间的事，它本身携带着时间信息，所以光线不能在二维空间里面传播，同样也不能在四维空间里面传播，只能在三维空间里面传播。那么在四维空间里面，信号怎么传递？影片中假设用引力传播，因为在各种相互作用当中，只有引力目前无法同其他三种作用力统一起来，所以引力看来是个比较高级的东西。在高维时空里，这还是有道理的，因为根据广义相对论，引力的本质就是时空的扭曲，因此引力就一定能够传递。但是广义相对论在高维空间尚未得到验证，所以这一部分是属于外推的东西。我们来看库波在墨菲的房间里面是怎么做时间旅行的：一旦他进入了高维的时空，时间和空间是一样的。从不同方向上看过去都有时间坐标，所以可以在时间坐标上走，也可以在空间里面走。因为他在4+1维的时空里面看，不同的方向看过去实际上时间坐标也是不同的。库波在不同方向看到的墨菲的睡房，他就看到了不同的时间。所以他就可以来向墨菲传递信号。当然有一条非常重要的，他不能改变历史，这一点是需要坚持的，否则就会有悖论出现。

现在分析一下，库波掉到黑洞里面去，然后在奇点附近进到五维时空，最后向墨菲传递信息，这个救援方案，是不是靠谱？个人觉得比较不靠谱。因为他在这个奇点附近活着离开被撕裂的飞船的可能性非常

小，飞船建得一定比他结实。飞船被撕裂了他没被撕裂，这事不太容易做到。然后，库波是如何掉入四维空间的，而且他还要回来，所以他还得再过一次虫洞。过一次虫洞就很危险了，过两次虫洞，都能够侥幸的逃过去，这个几率比较小。

是不是还是有更好的方案？可以看我们的方案。我和我的学生（也是本文的作者之一刘元）的文章研究的是球壳落向一个事先存在的黑洞的精确解，事实上就是电影里库波掉进黑洞这件事。主要是解决他能不能安全进去的问题。在我们的模型里面，有一个飞船，当然飞船在我们模型里就是一个球壳。我们要解决的问题是，墨菲看库波是什么结果。我们详细计算了库波本人看到的他的情况，当然他看到的情况和奥本海默70年前计算的情况没有区别，他的头和尾同时撞到了奇点处，粉身碎骨。重点是墨菲看到的库波的这个情况，我们计算的结果是，他的这个飞船真的进去了。不是像奥本海默那篇文章说的，他们进不去。所以墨菲观测的结论是，除了飞船的尾部之外，库波是能进去的，而且他不能到达中心的奇点，这个是我们给墨菲的一个保证。什么原因使得我们计算结果和奥本海默结果不一致呢？我们说得非常的明白，在他下落的过程当中，由于他的影响，事件视界（事件视界是全局的性质，是引力系统的全局性质）是随着时间膨胀的。所以在膨胀的过程当中，在这一点他的头进入了视界，在这个过程中，飞船逐渐的都进入视界，所以是膨胀的视界吞噬了物质，而不是物质落入了视界。而在奥本海默的文章及其以后的教科书里面，都是假设了飞船是检验粒子，检验粒子的质量是零，因此不能影响视界的性质。这就是他们悬在视界外面不

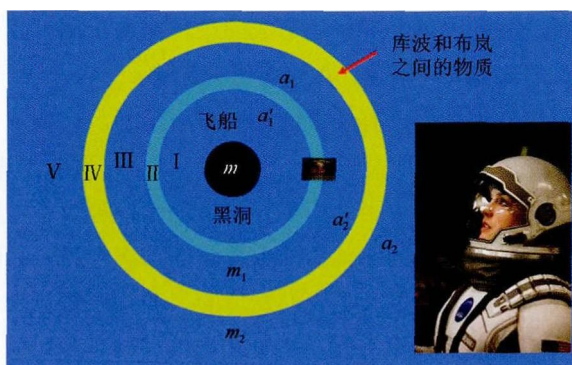


图5 双球壳下落过程示意图

能进去的原因。当然我们计算的是一个理想的球壳的情况，是库波在真空中向黑洞掉落的情况。根据影片中的情节，在他下落附近有吸积物质，这些物质也会落入黑洞里面去，最终也会随着飞船往下落。实际上更现实的情况是，在飞船和布岚（库波的合作者）之间有额外的物质，这些物质我们也把它简化成另外的球壳。实际上是双球壳下落的情况。我们也计算了这个情况。结果当然对于库波来讲没有什么区别，还是在有限的时间之内，他要撞到奇点处。但是在墨菲看来，库波整体上是进入了黑洞。所以他进入了黑洞里面去，能够穿越，不会停在黑洞的外面。换句话说，这个争论的冻结星根本就不应该存在，因为他不是在真空当中的一个东西。但是，即使考虑这些东西之后，库波还是到不了奇点处。这倒是件好事，因为到不了他就不至于粉身碎骨。我是愿意到这种黑洞旅行的。但是出来是另外一回事。至少进去还是没问题的。

## 7. 不同学科中的黑洞定义

回过头来再问这个问题，什么是黑洞？你如果问数学家，数学家会毫无疑问地告诉你爱因斯坦场方程点质量的解。不管这个点存在与否，但在数学上总是可以研究的。你问物理学家黑洞是什么，他会说引力质量在事件视界以内就行了。在黑洞视界里面怎么样，至少实验物理学家没法检验。对天文学家来讲，我们关心的就是物理黑洞，但是要有明确天体物理形成机制的黑洞。物理学家提出了很多种物理黑洞，但是我们只关心其中的一种，就是能够通过某种物理机制形成，而且有观测效应的黑洞。别的我们不关心，因为我们没法研究。这个分类是我第一次在《天文学革命：仰望星空 400 年》中提出的。天文黑洞，就是要通过某种天体物理机制形成的某种物理黑洞。我们关心的也是奥本海默 70 年前研究的那一类。一旦做了这个分类之后，有些事情就变得清楚了。比如说我们发现几个新的广义相对论效应。冻结星佯谬的本质，就是忽略了检验粒子的质量。如果考虑检验粒子本身引力的话，物质的下落会导致膨胀的动态视界，吞噬了下落的物质，这个是我们发现的。我们研究了单球壳的情况，我们发现物质不会在黑洞外面堆积。因此黑洞可以形成和增长。这一点很重要，否则如果东西

进不了黑洞，黑洞怎么增长呢？最初又是怎么形成的，成了逻辑上一个无法自洽的事情。对双球壳的情况，我们研究清楚了，即便是你先给他一个黑洞，放在那个地方，东西也不会在那个地方堆积。所以在物理宇宙中不存在冻结星。还有一点很重要，也是我们觉得很欣慰的就是，在静止观测者看来，在有限时间之内，我们的生命都是有限的。布岚的生命也是有限的，她不希望在那个地方等库波，永远地等下去。她希望在有限的时间之内，她们俩的关系有个结果。所以在有限的时间之内，物质不可能到达黑洞中间的数学奇点。当然，物理宇宙的寿命也是有限的，所以我们得到一个结论，物理宇宙中没有奇点问题。数学家研究的毕竟还是数学问题，跟我们的宇宙没有什么关系。

## 8. 如何离开黑洞？白洞与黑洞的关系？

按照我们的计算，库波是能够进去的，那么进去之后怎么样？因为他进入的是超大质量黑洞，所以进去的时候潮汐力很小。根据我们的计算，他会顺利地活着进去，然后会幸福地停在里面某个地方等待被解救。因为我们的结果是库波在有限的时间之内不会掉到奇点去，所以他不会粉身碎骨。但是，我们的计算结果仍表明：他与布岚之间被黑洞的视界隔开，所以布岚将永远和库波失去联系。问题就在于我们如何把他救出来。

这时就可能需要白洞（该部电影中没有出现白洞，我很理解它为什么没出现，因为导演不想把事情搞得复杂了）。白洞是什么？就是东西只出来不进去，任何东西都可以出来，任何东西都不会进去。在广义相对论场方程里，可以求出黑洞的解，同时也会求出一个白洞的解，完全是对称的。只不过白洞到底是怎么形成的，是否存在，我们不知道。

既然黑洞是外面的物质只进去不出来，白洞是只出来不进去，那么是否可以把白洞和黑洞之间建立一个虫洞，让库波从黑洞进去，然后在虫洞里面绕一圈，从白洞里面出来呢？理论上是可行的。但是按照传统的观点，也就是按照那些“受人尊敬的”学者们的观点，库波将会落到奇点粉身碎骨。所以我刚才讲，他在那个地方勉强逃了出来，其实基本上是发生不了的。所以即便这个奇点处是连着虫洞的，出来的也是库波

的白骨，而不是活着的本人。

如果按照我们的观点，库波不会到达奇点，这当然是件好事。但是如果他不能到达奇点，也无法和现有的虫洞建立联系，所以可能还得研究另外一套虫洞的理论来和我们这个黑洞的解建立关系。

按照现在的虫洞理论，我们是不行的。如何让库波安全的出来？我也想了个办法。都是在这个电影拍摄之前研究的，提出一个叫做“裸致密天体再循环猜想”。

我们知道，可以在任何天体外面放一个吸积盘，吸积盘有一个内边缘的半径。吸积盘的辐射效率和内边缘的半径成反比。已知的天体，大致上可以用一个简单的图（图6）描述。Kerr 黑洞能量转换效率是40%，假如在它外面放一个吸积盘。因为受黑洞视界的限制，天体的半径必须小于视界，而外面的吸积盘的内半径不可能比视界小，因此该天体效率不能高于40%。如果有办法把视界去掉，而让吸积盘半径继续变小，在我们的黑洞的这个解里面，物质在黑洞里面没有在奇点，而是在里面待着的。所以你一旦把黑洞视界给它剥去，吸积盘的半径就可以变小了。换句话说，东西可以到半径更小的地方了。小到一定程度，就可以出来的东西比进去的东西多，就会违反能量守恒，在牛顿力学里面也是这样子的。计算一下这个引力势场， $R=0$  这个地方释放能量是无限大。只不过说我们不谈这个事情，是因为被黑洞视界这个事情给迷惑了。如果把黑洞视界去掉，就可以了。

读者以前可能都听说过裸奇点，把黑洞的视界剥掉就变成裸奇点。如果裸奇点存在，就违反了因果律。而我们的黑洞和上述黑洞不一样，把黑洞视界剥掉之后，是一个正常的天体，只不过半径比较小而已，我们把它叫做裸致密天体。这种情况下，物质就可以循

DOI:10.13405/j.cnki.xdwz.2015.03.016

**科苑快讯**

黑猩猩有类似人类语言习得行为

英国研究者发现，圈养猩猩能够学习同伴的叫声指示食物，类似于人类的语言习得行为。对于英国动物园原来的6只黑猩猩和从荷兰新入住该园的7只黑猩猩，英国约克大学（York University）的沃森（Stuart Watson）和同事比较了它们的叫声。入住一年后，荷兰黑猩猩用高亢的喊叫声代表苹果，明显区别于英国黑猩猩较

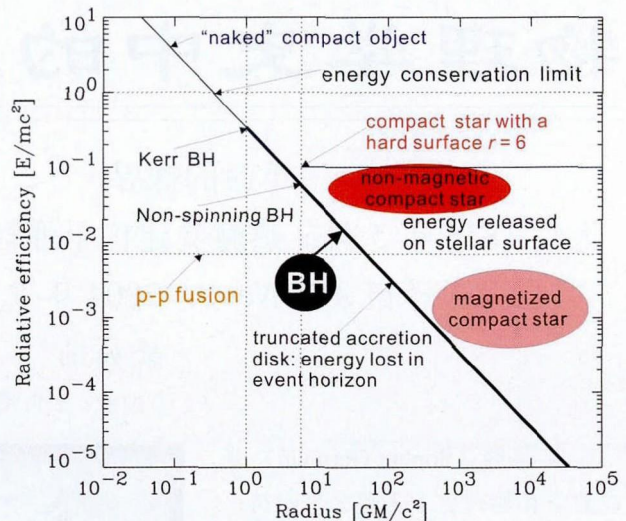


图6 辐射效率与吸积盘半径的关系

环了，可以把它以前吃进去的东西吐出来，实现宇宙物质的再循环。

这样库波待在那个地方，等视界撕掉之后，他把火箭发动机一开就出来了，当然发动机要比较厉害才行。但不管怎么样，原理上是可行的。至于宇宙中是否真实存在，就需要寻找裸致密天体存在的证据。

我们的计算表明，库波在天文黑洞里面没有危险，但是有两个问题：第一，我们没有找到可靠的办法把视界剥开救出库波和女儿团聚。很多学者找过一些办法把视界剥开，但是都很不稳定，视界剥开后很快又会合上。第二，即便可以做到，当库波出来的时候，他两手空空，因为我们的理论里面没有奇点，也就是说没有量子数据。

9. 总结

整部电影的科学内核严谨，经过导演在合理范围内的艺术想象和发挥，使得这部电影普及了科学知识，激发了社会对科学探索的热情，宣传了正能量，当然也获得了巨大的商业成功。

为低沉的咕噜声。然而，荷兰黑猩猩在三年后就适应了英国黑猩猩的咕噜声。

虽然这并不足以视为语言习得，却是首次在非人类物种中发现类似行为，表明人类指示性词语社会学习的出现时间比原来认为的更早。

（高凌云编译自2015年4月9日《欧洲核子中心快报》）