

# “星际穿越”的使命和途径 —人类文明的“大结局”？

张双南  
中国科学院高能物理研究所



# 星际穿越是科学和艺术的完美融合

电影科学顾问  
物理学家  
索恩教授

电影导演  
诺兰先生



《星际穿越的科学》（索恩，2014）

# 科学顾问和导演的约定

- ✓ 电影的任何内容都不能违反确立的物理规律和宇宙的知识。
  - ✓ 确保了电影的科学严谨。
- ✓ 对于尚未理解的物理规律和宇宙的推测必须来自真正的科学，而且至少有些“受人尊敬”的科学家认为是可能的。
  - ✓ 给艺术创作留下了空间。

以人类的命运为主题，以父女亲情为主线，普及了科学精神和科学知识，激发了社会对科学探索的热情，既宣传了正能量，也获得了商业成功！

# 地球的环境日益恶化



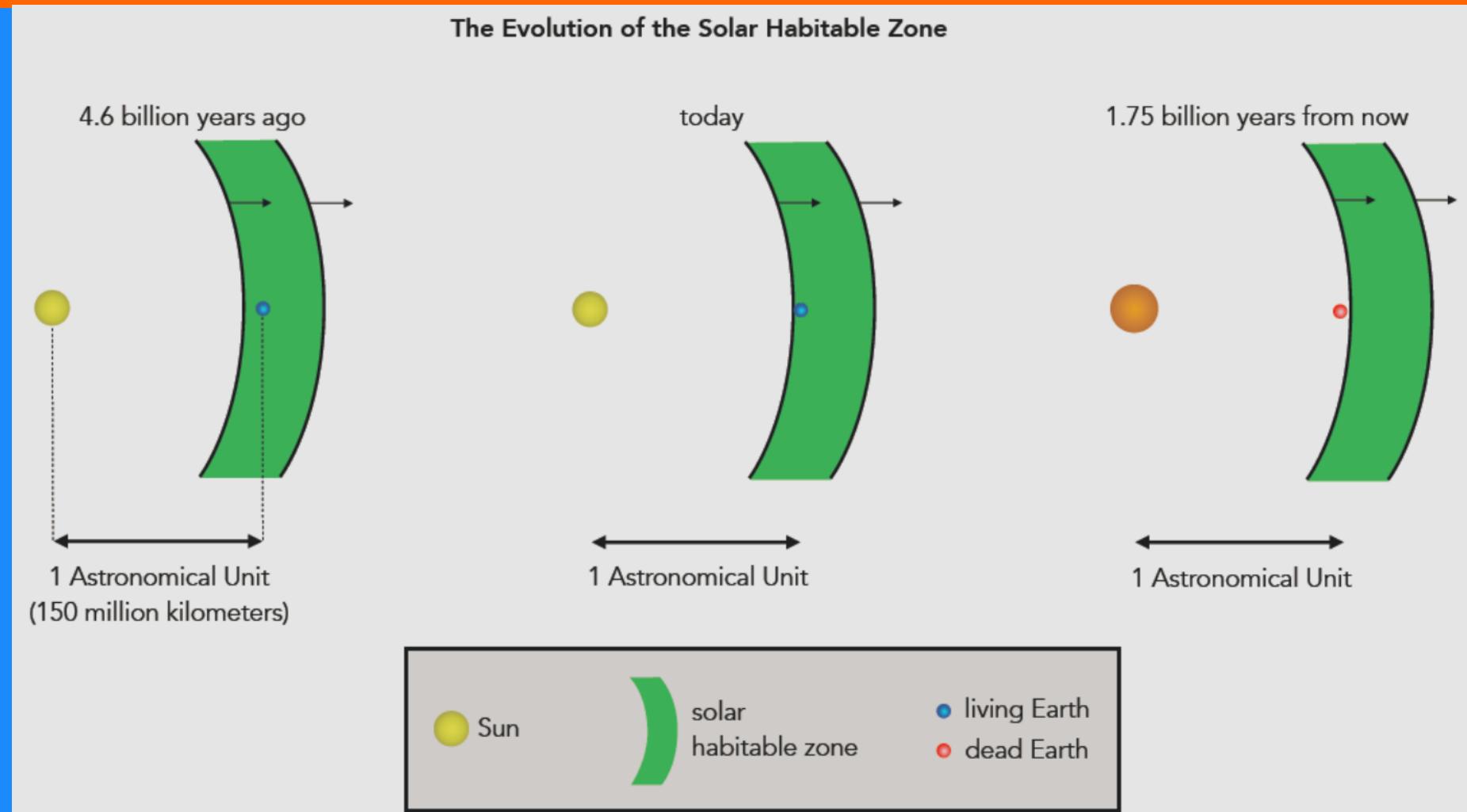
我们缺的是食物

# 地球环境的恶化已经不可逆转



我们救不了地球

# 太阳的演化最终还是会毁灭物种→死亡的地球



Rene Heller, Scientific American, 2015

《科学美国人》杂志独家授权

邮局订阅代号：80-498  
2015年3月号 总第111期  
定价：¥18

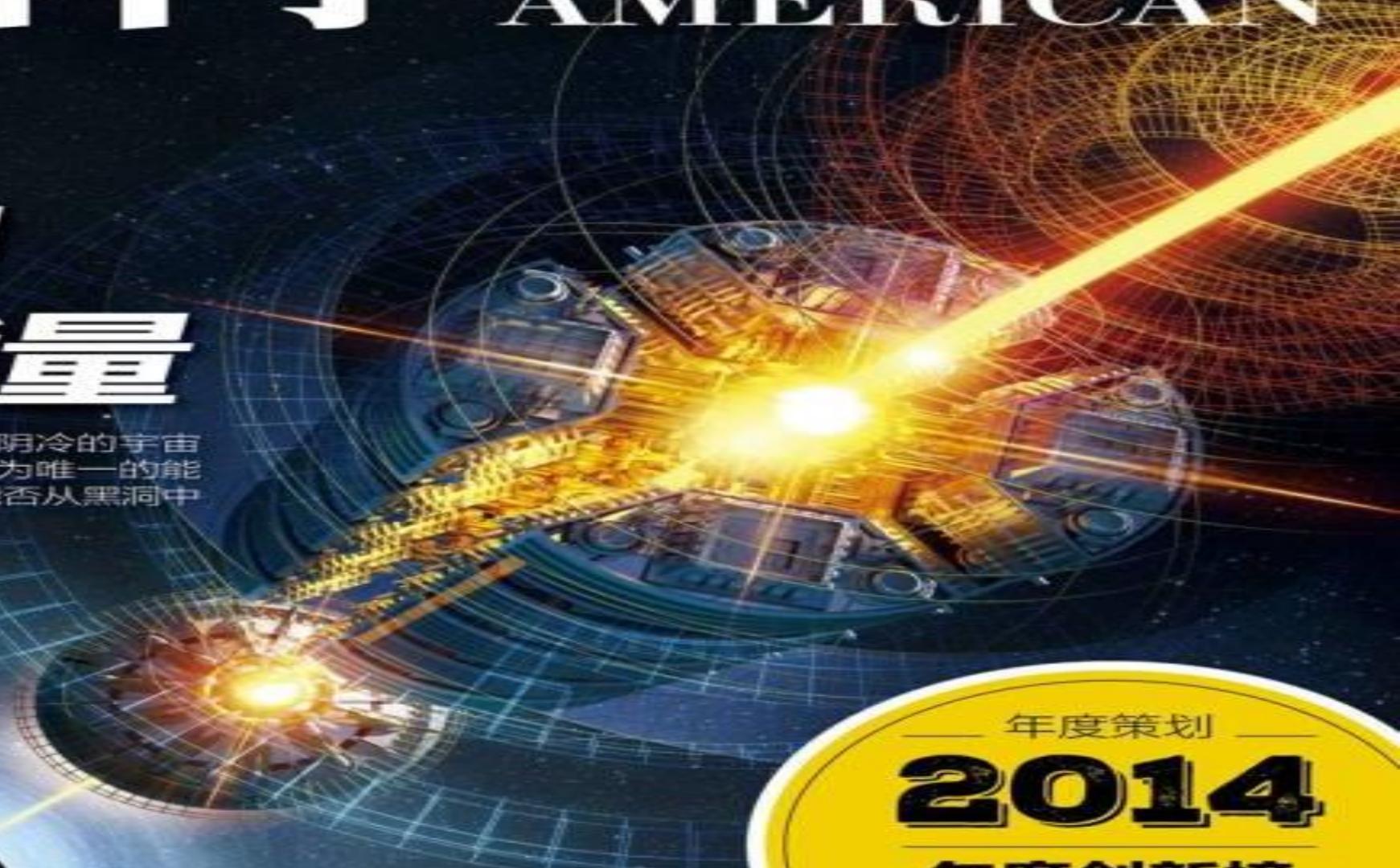
【封面故事】

## 从黑洞 提取能量

当所有恒星都熄灭之时，在漆黑阴冷的宇宙中，会发出霍金辐射的黑洞就成为唯一的能源。如果到那时人类仍然存在，能否从黑洞中提取能量，延续我们的文明？

【From nature】

9位科学家的新年计划  
生物炭：唤醒贫瘠土地  
乌贼与细菌的奇妙共生



年度策划

# 2014

## 年度创新榜

实验室内的灵感、简化器皿的技术  
将如何重塑未来，改变中国？  
在如潮的创新项目中，  
谁会成为这个科技时代的主角？

# 人类的未来：理解引力→操控引力→离开地球



现在你需要告诉我你打算怎么拯救地球

1845年创刊 139位诺贝尔奖得主撰稿 从爱迪生到比尔·盖茨都喜欢阅读

# SCIENTIFIC AMERICAN 环球科学

《科学美国人》独家授权  
邮局订阅代号: 80-498

www.scientificamerican.com  
Mar. 2009 3  
No. 39 300 • \$15

黑洞中心

科学  
在这里崩溃

吃1千克牛肉=开车70千米  
电火箭畅游外太阳系  
男人为什么要召妓  
雕刻大脑  
为何有人相信灵魂存在  
纳米“医生”  
经济危机与大停电



## 终极物理理论?

最终统一引力规律和量子规律，能够理解和描述黑洞中心的行为。

# 穿越回去请教爱因斯坦？



爱因斯坦的  
后半生都在  
试图建立物  
理学的大统  
一理论，但  
是没有成功



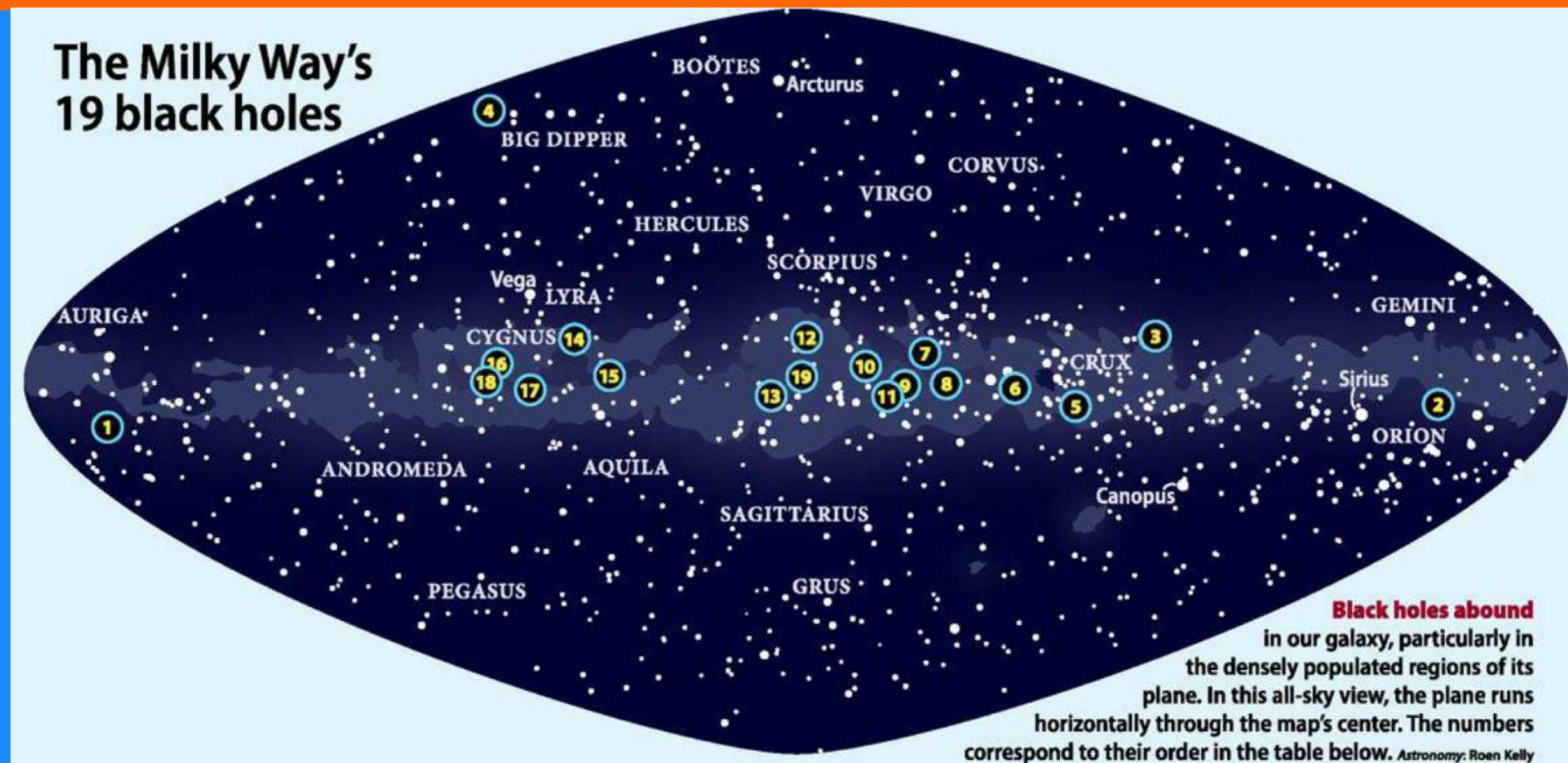
# 需要库波进入黑洞获取量子数据→理解引力



黑洞是否存在？  
需要去什么样的  
黑洞？能否找到  
合适的黑洞？

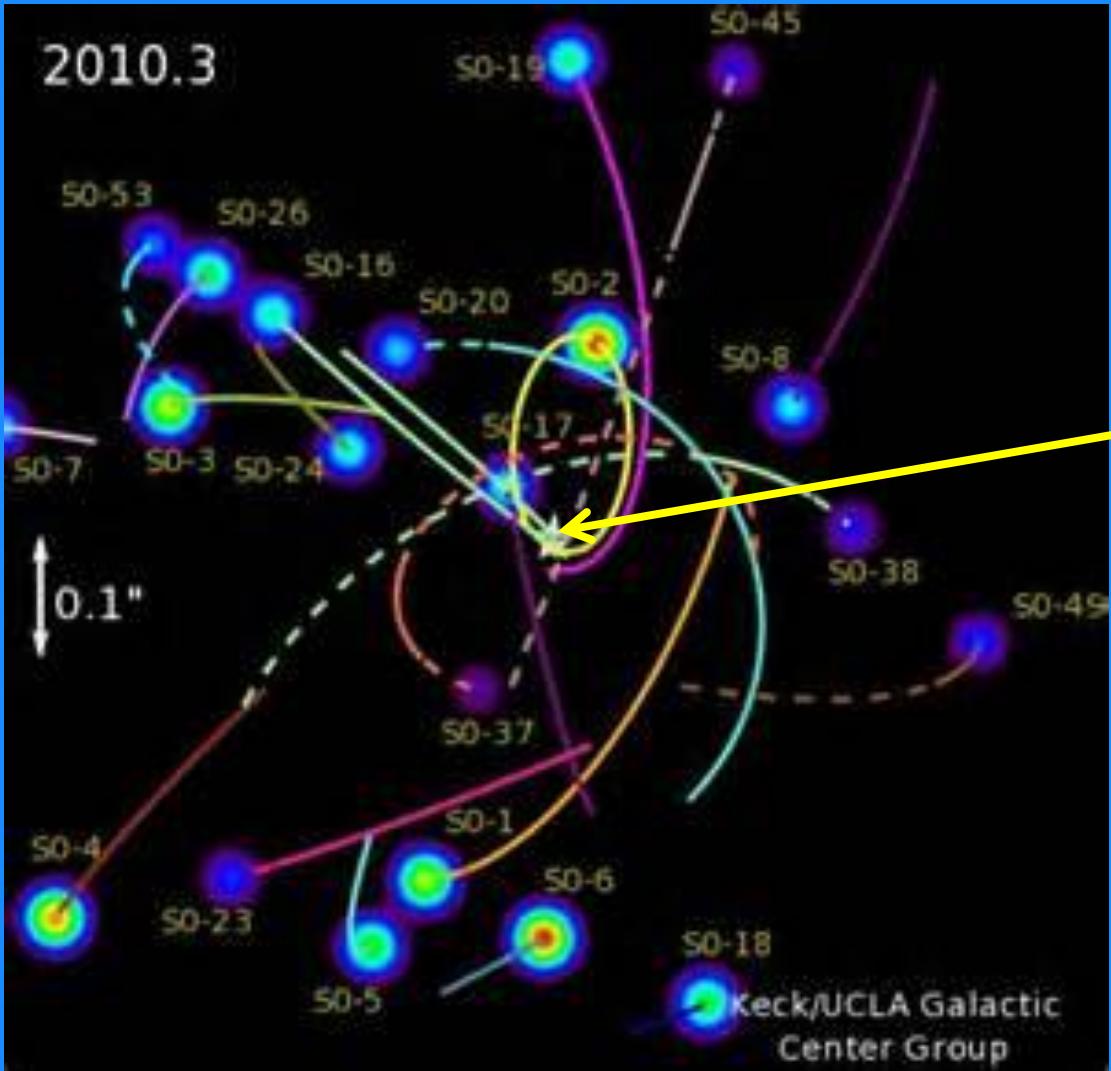


# 银河系内已经发现了几十个恒星级质量黑洞

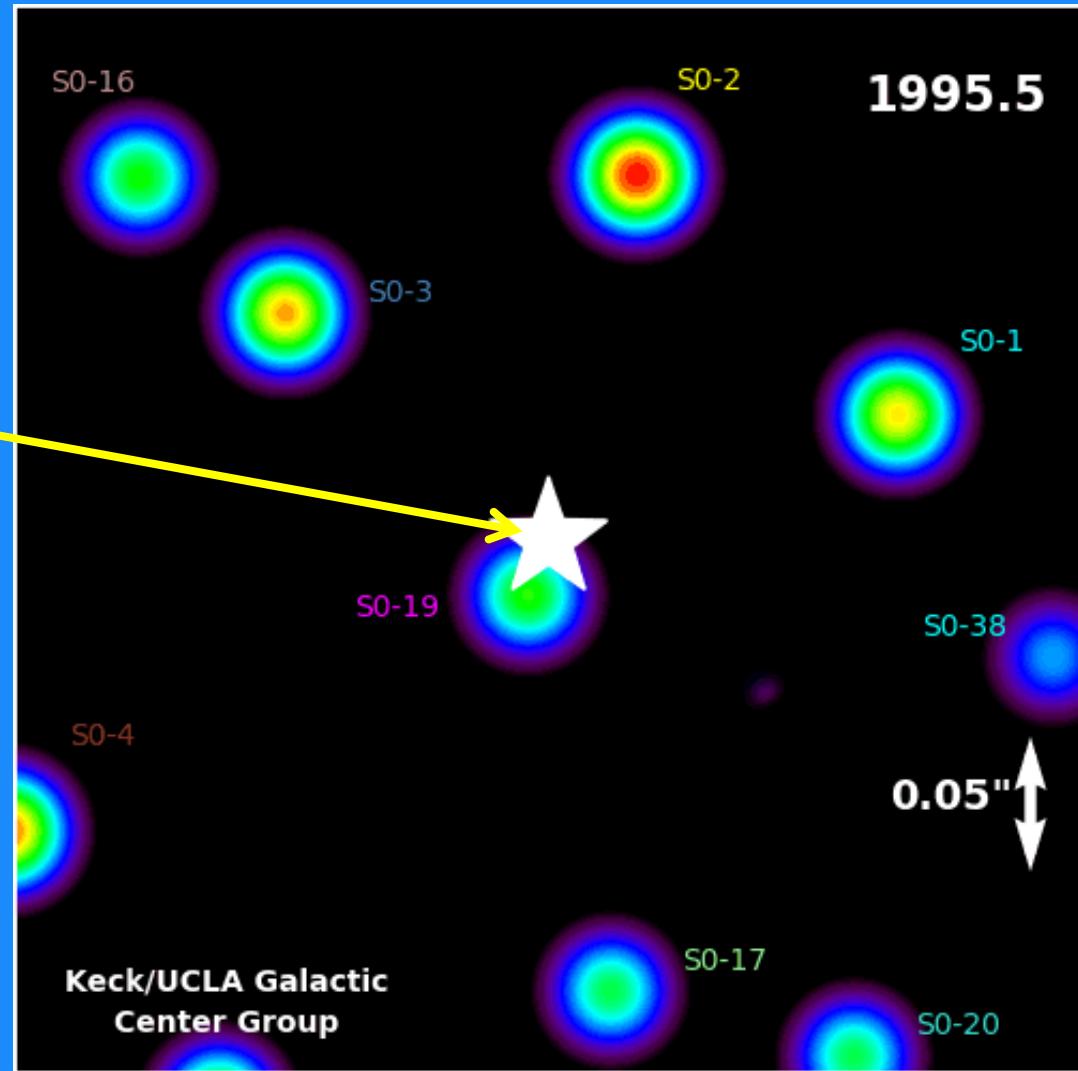


目前只找到了不到万分之一的恒星级黑洞?

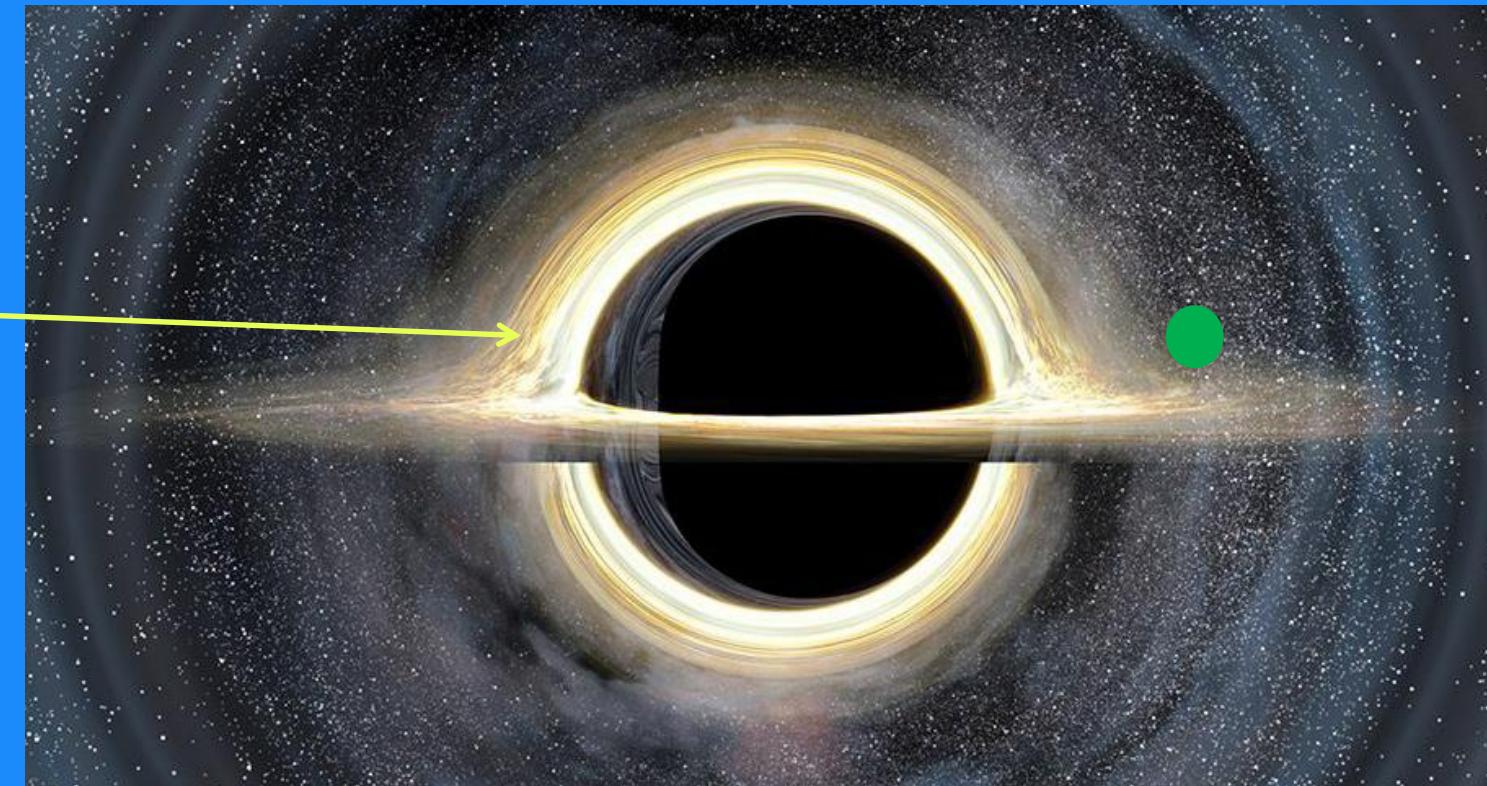
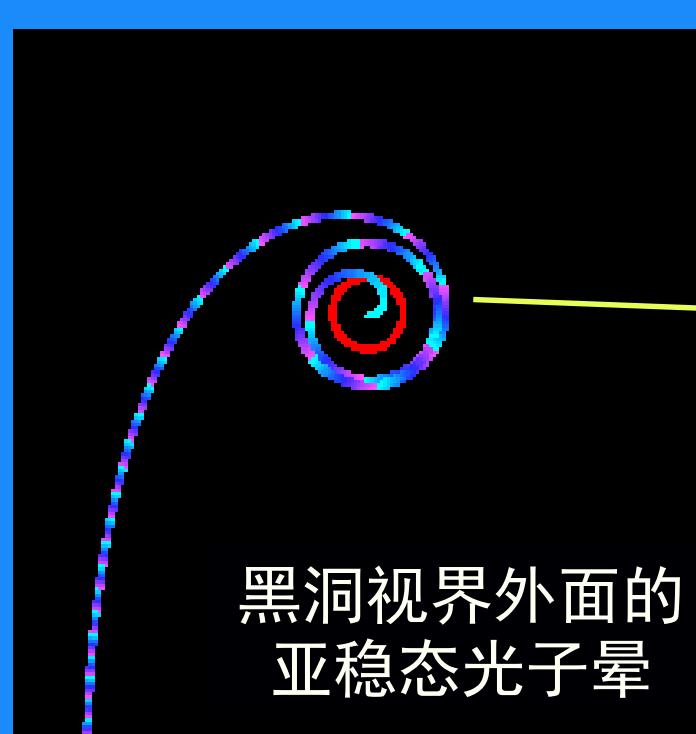
# 银河系中心有一个超大质量黑洞



四百万倍太阳质量的黑洞！



# 星际穿越的道具：高速自转黑洞的“照片”



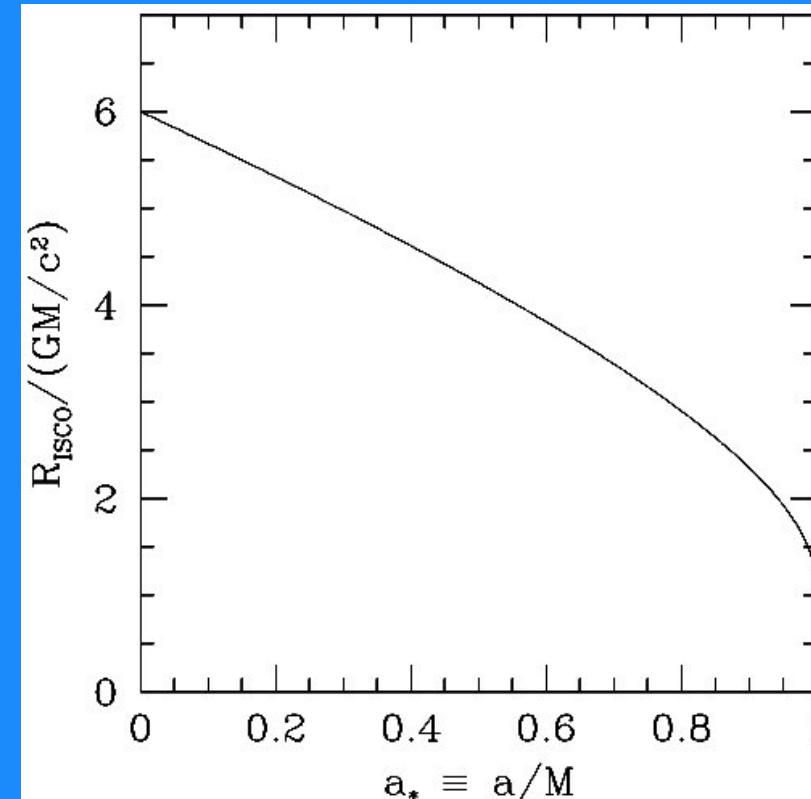
《星际穿越》的黑洞必须同时具有1亿倍的太阳质量和高速的自转，才能产生1小时=7年的效果，而且宇航员不被黑洞的潮汐力所撕碎、吸积盘辐射不太强等。

# 我们也可以测量黑洞的自转



$$L = 4\pi D^2 F = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

$$\left(\frac{R}{D}\right)^2 = \frac{F}{\sigma T^4}$$



张双南、崔伟和陈莞1997年提出了吸积盘辐射连续谱测量黑洞自转的方法。得到了广泛的应用（被300多篇论文引用），发现很多黑洞高度自转。

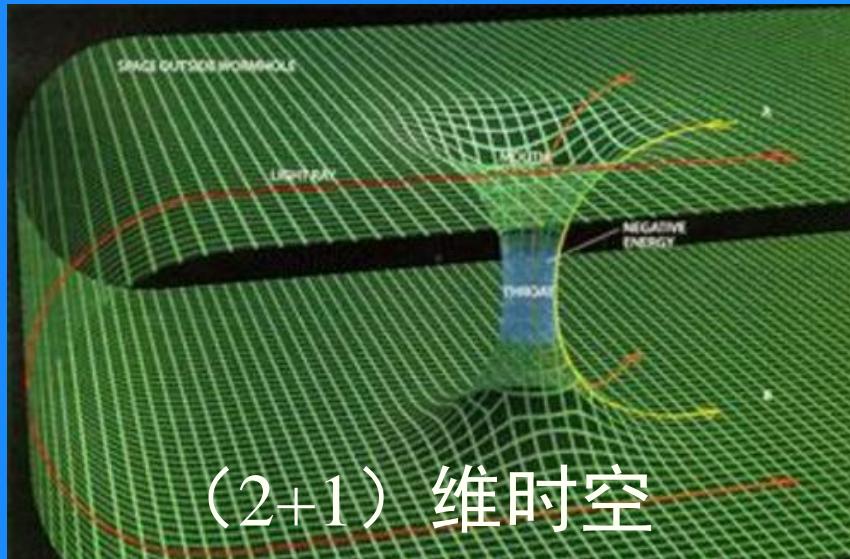
# 库波准备进入黑洞获取量子数据



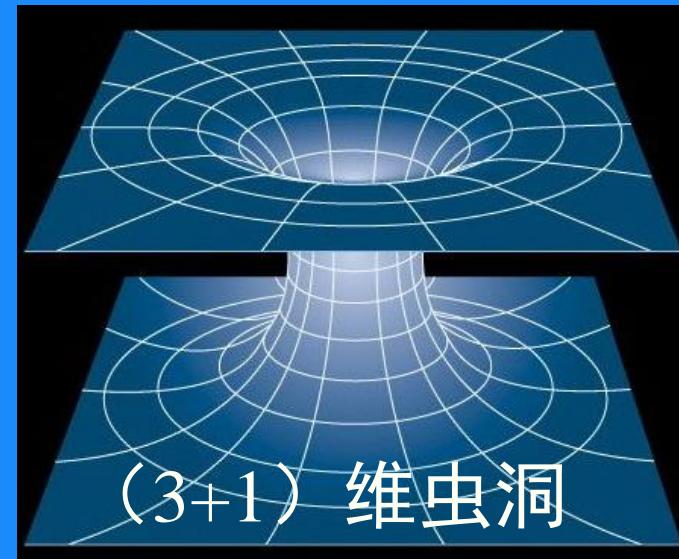
对于等待收到库波的数据的女儿墨菲，爸爸是否能够到达遥远的黑洞、安全进入黑洞、并且顺利出来？



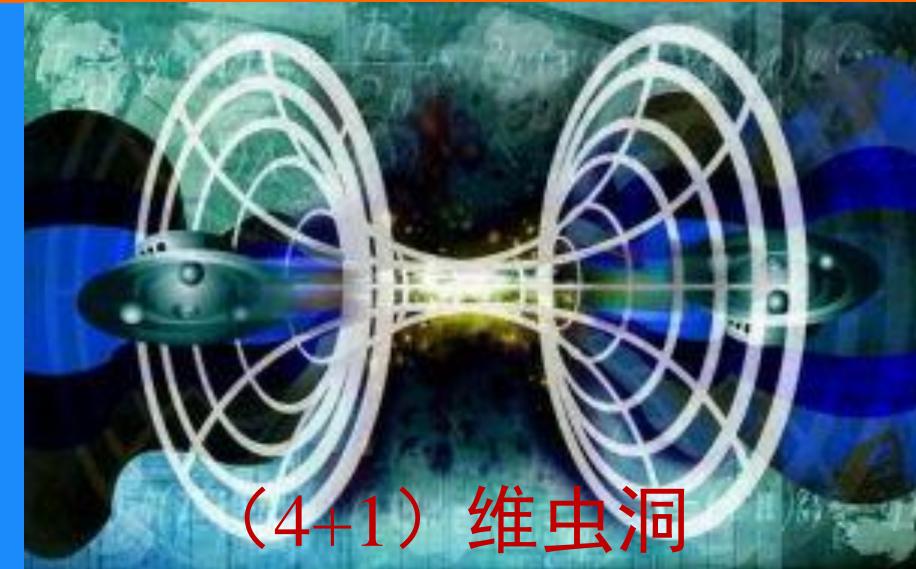
# 什么是虫洞？虫洞有什么用？



(2+1) 维时空



(3+1) 维虫洞



(4+1) 维虫洞

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。

但是穿越虫洞非常危险，而且目前没有证据表明虫洞存在，也没有发现虫洞形成的机制。

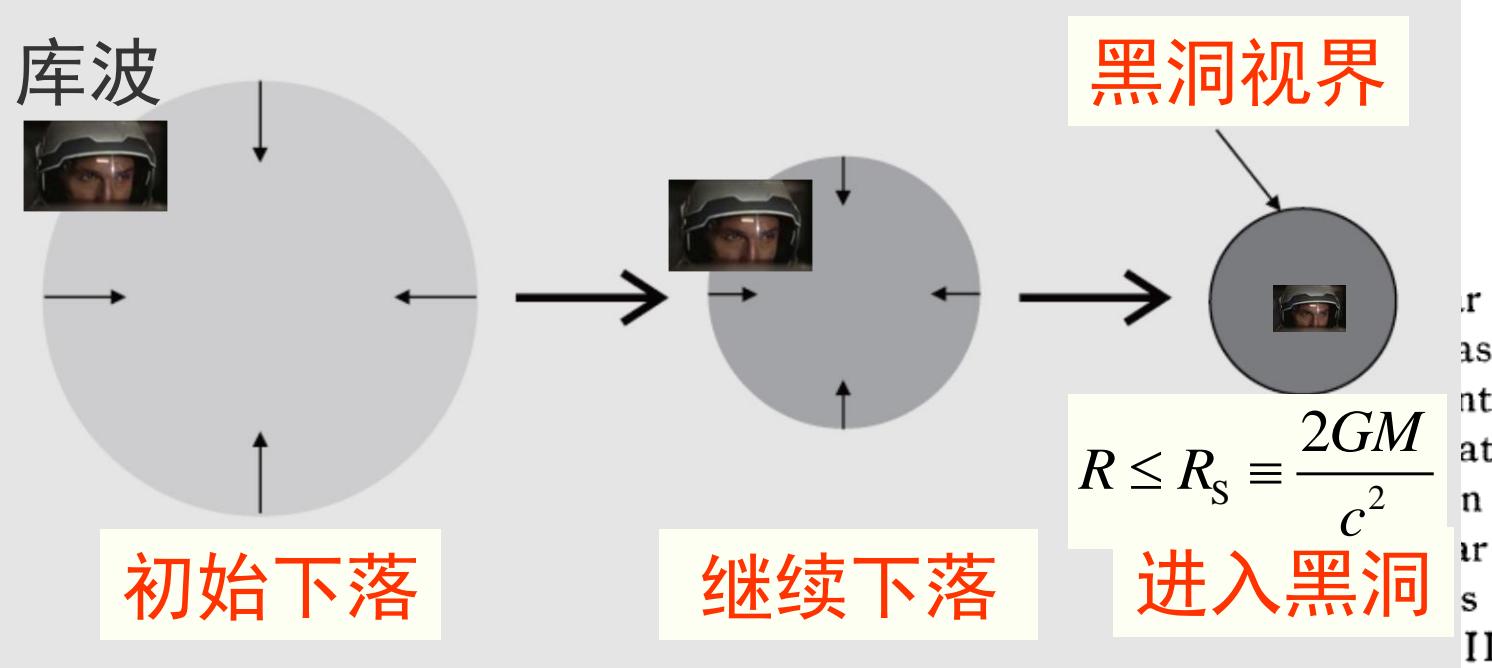
# 通过了虫洞的库波能够顺利进入黑洞吗？

SEPTEMBER 1, 1939

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 56

## On Continued Gravitational Contraction



analytic solution of the field equations confirming these general arguments is obtained for the case that the pressure within the star can be neglected. The total time of collapse for an observer comoving with the stellar matter is finite, and for this idealized case and typical stellar masses, of the order of a day; an external observer sees the star asymptotically shrinking to its gravitational radius.

- 1) 飞船会永远向黑洞飞去；
- 2) 对于随飞船下落的库波，飞船穿越了黑洞视界到达奇点！

# 外面的布岚能够看到库波进入黑洞吗？

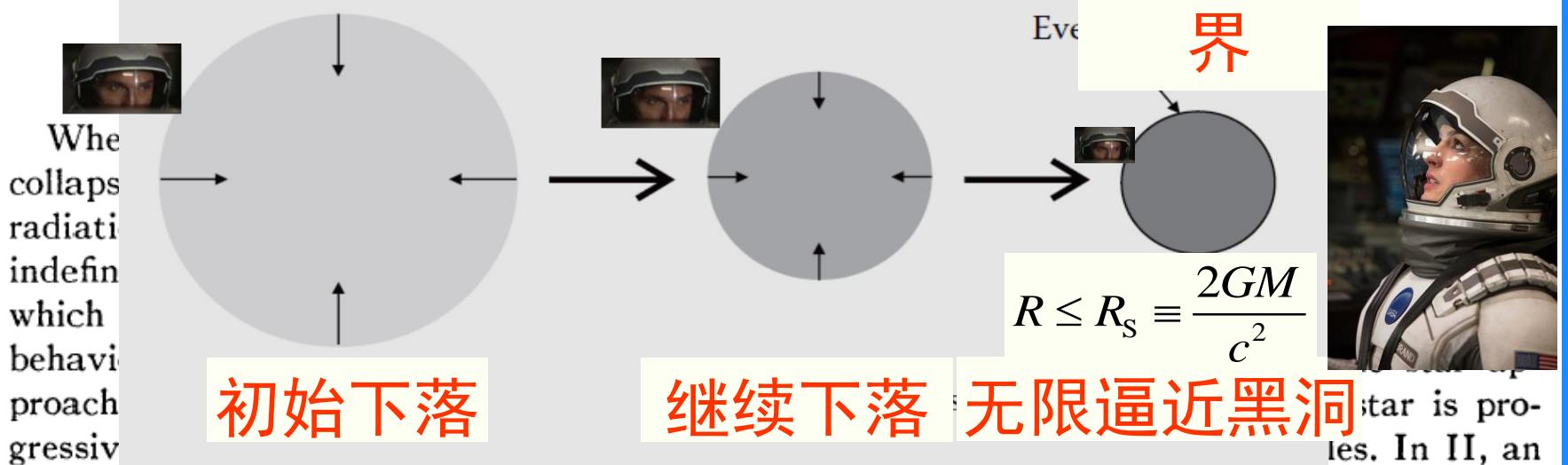
SEPTEMBER 1, 1939

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 56

## On Continued Gravitational Contraction

I. R. OPPENHEIMER AND H. SNYDER



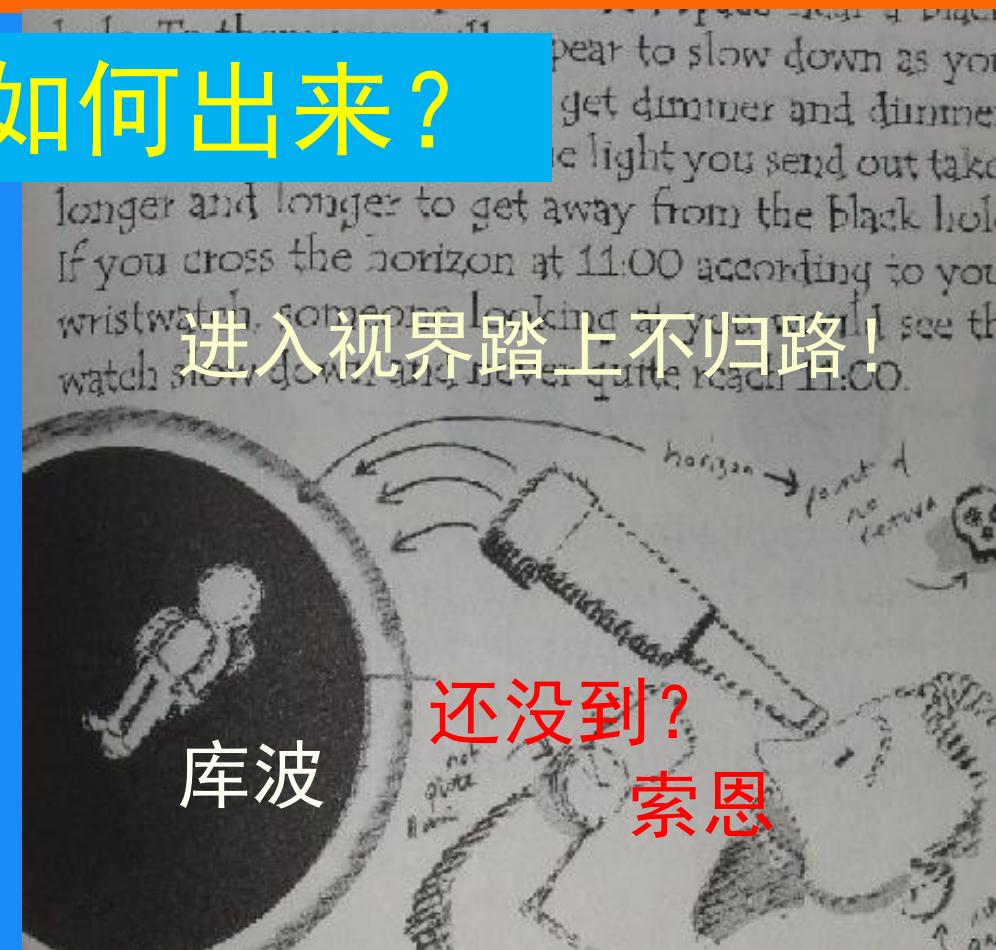
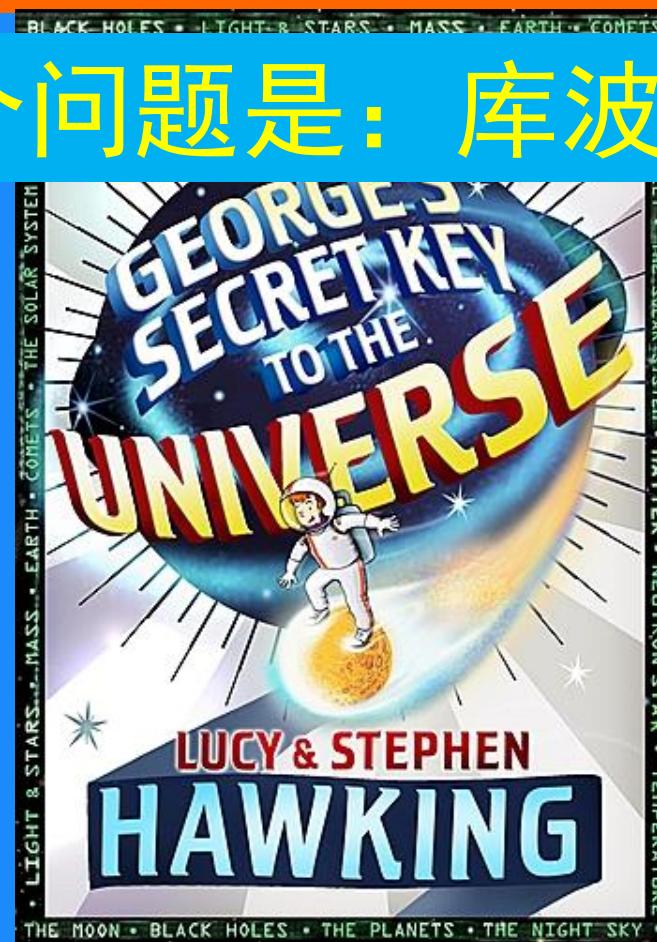
analytic solution of the field equations confirming these general arguments is obtained for the case that the pressure within the star can be neglected. The total time of collapse for an observer comoving with the stellar matter is finite, and for this idealized case and typical stellar masses, of the order of a day; an external observer sees the star asymptotically shrinking to its gravitational radius.

1) 对于随飞船下落的库波，飞船穿越了黑洞视界到达奇点；

2) 对于外面的布岚，飞船无限逼近黑洞视界，永远无法进去。

# 霍金在2007出版的科幻书《乔治的秘密宇宙》怎么看？

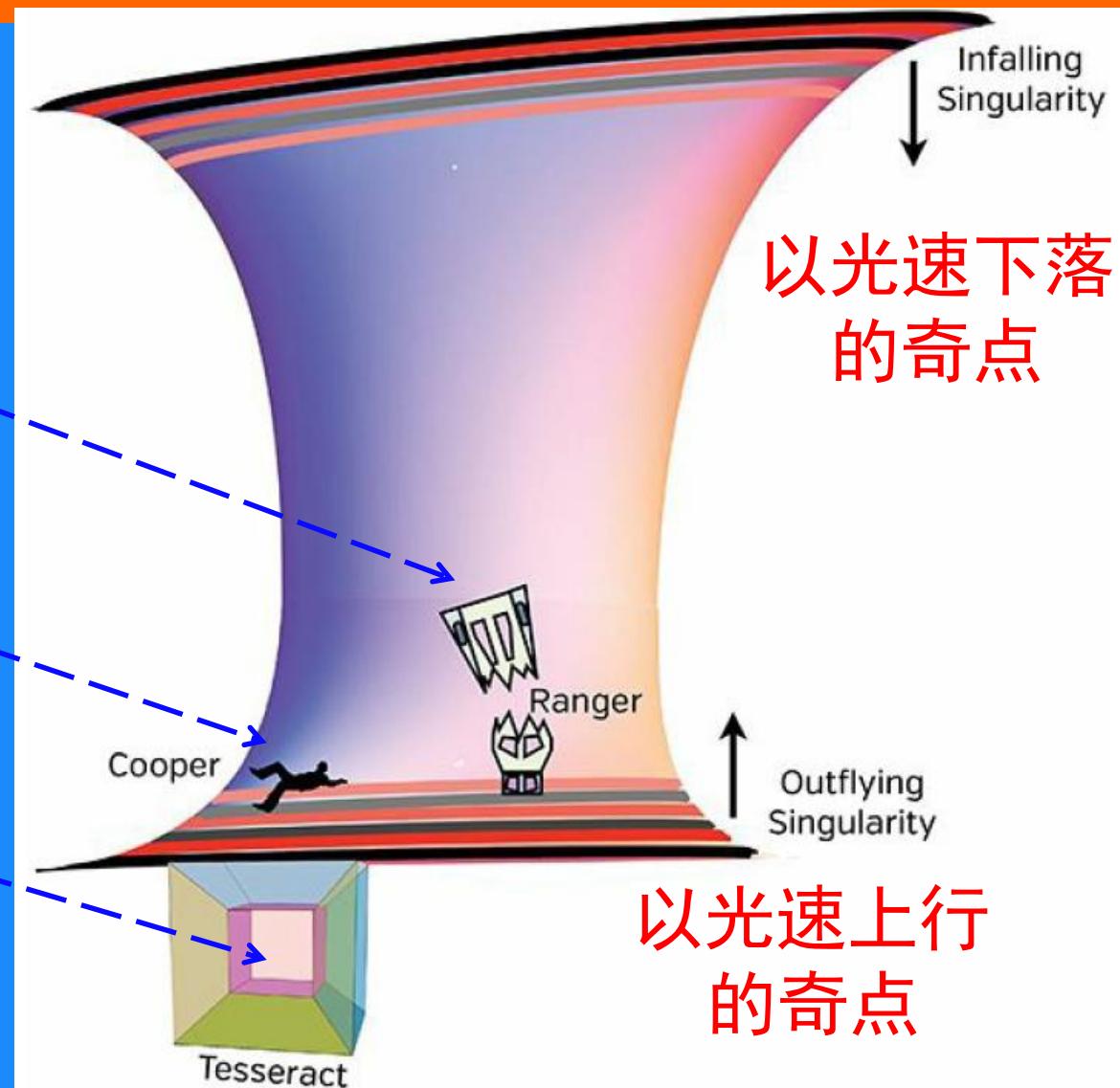
另外一个问题是：库波如何出来？



索恩在《星际穿越的科学》里说：“不管外面怎么看，  
库波反正进入了黑洞！”

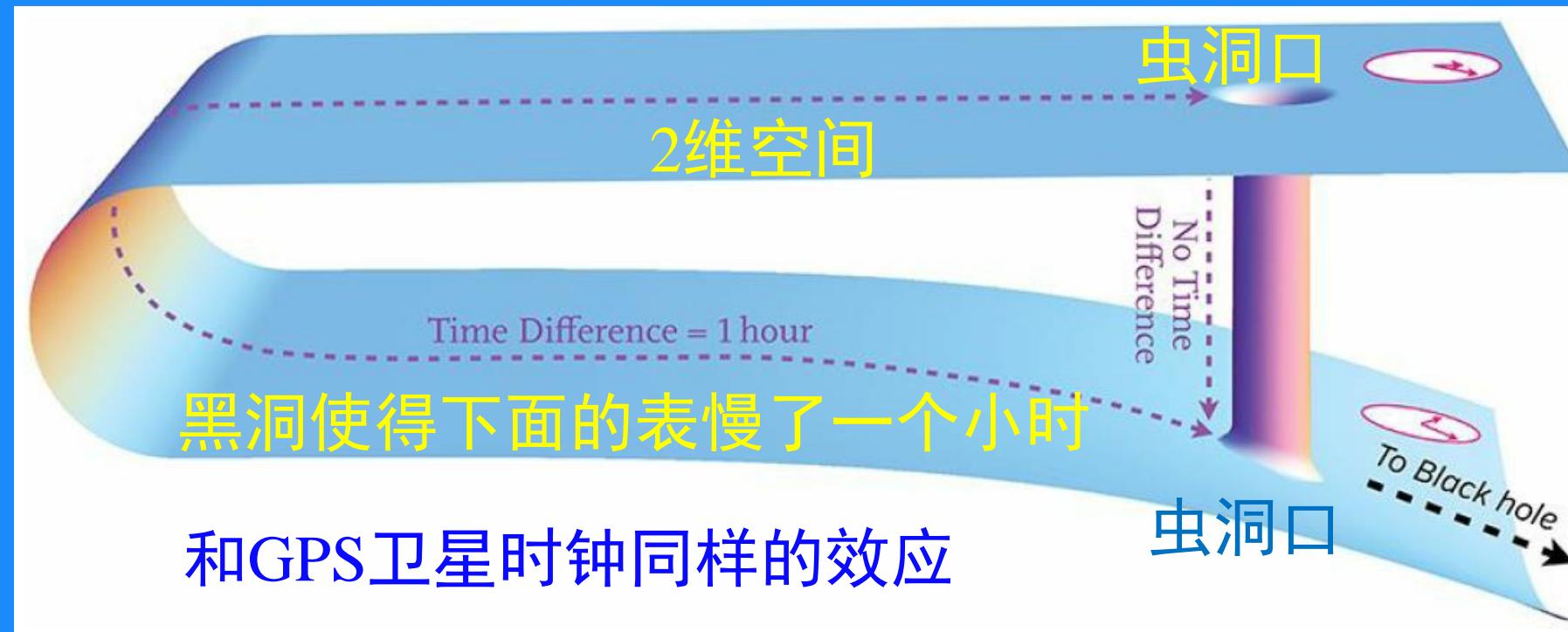
# 《星际穿越》如何救出库波？

1. 飞船被潮汐力撕裂
2. 库波晕倒侥幸逃出
3. “掉入”4维空间（5维时空）和墨菲联系



《星际穿越的科学》（索恩，2014）

# 如何做穿越旅行？虫洞+黑洞



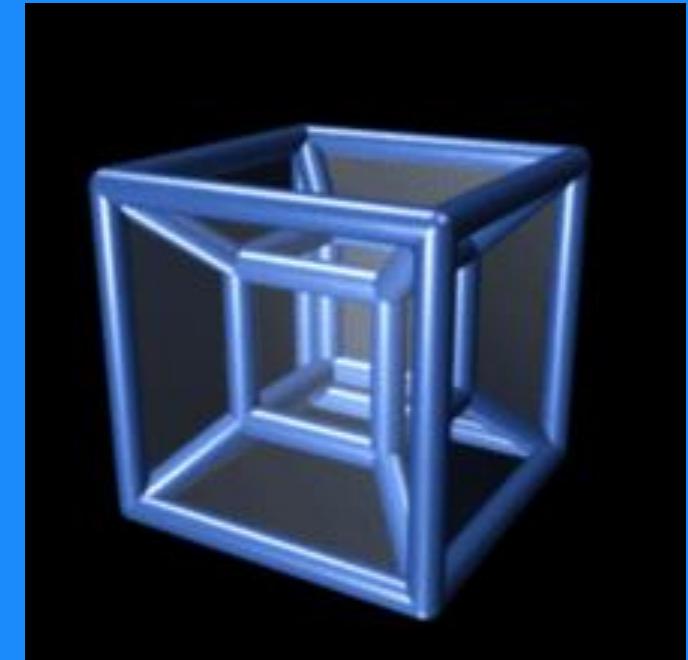
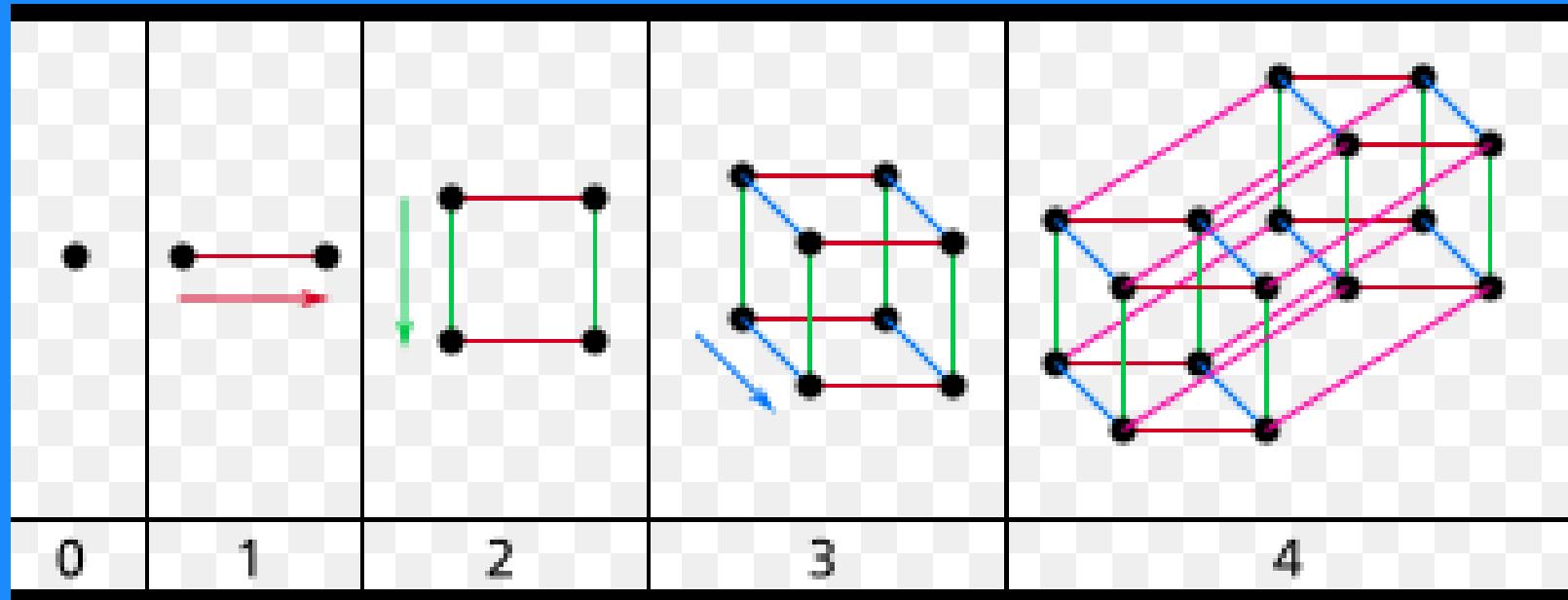
虫洞两个口的表一样  
黑洞

- 1) 2点从上面出发沿着2维空间花5分钟到达下面，下面1:05，上面2:05；
- 2) 从虫洞花1分钟到达上面，时间是1:06分，比出发时年轻了54分钟！

《星际穿越的科学》（索恩，2014）

# 五维时空是怎么回事？

由于宇航员旅行的时空是 $3+1=4$ 维的，  
只能利用 $4+1=5$ 维时空做穿越旅行。



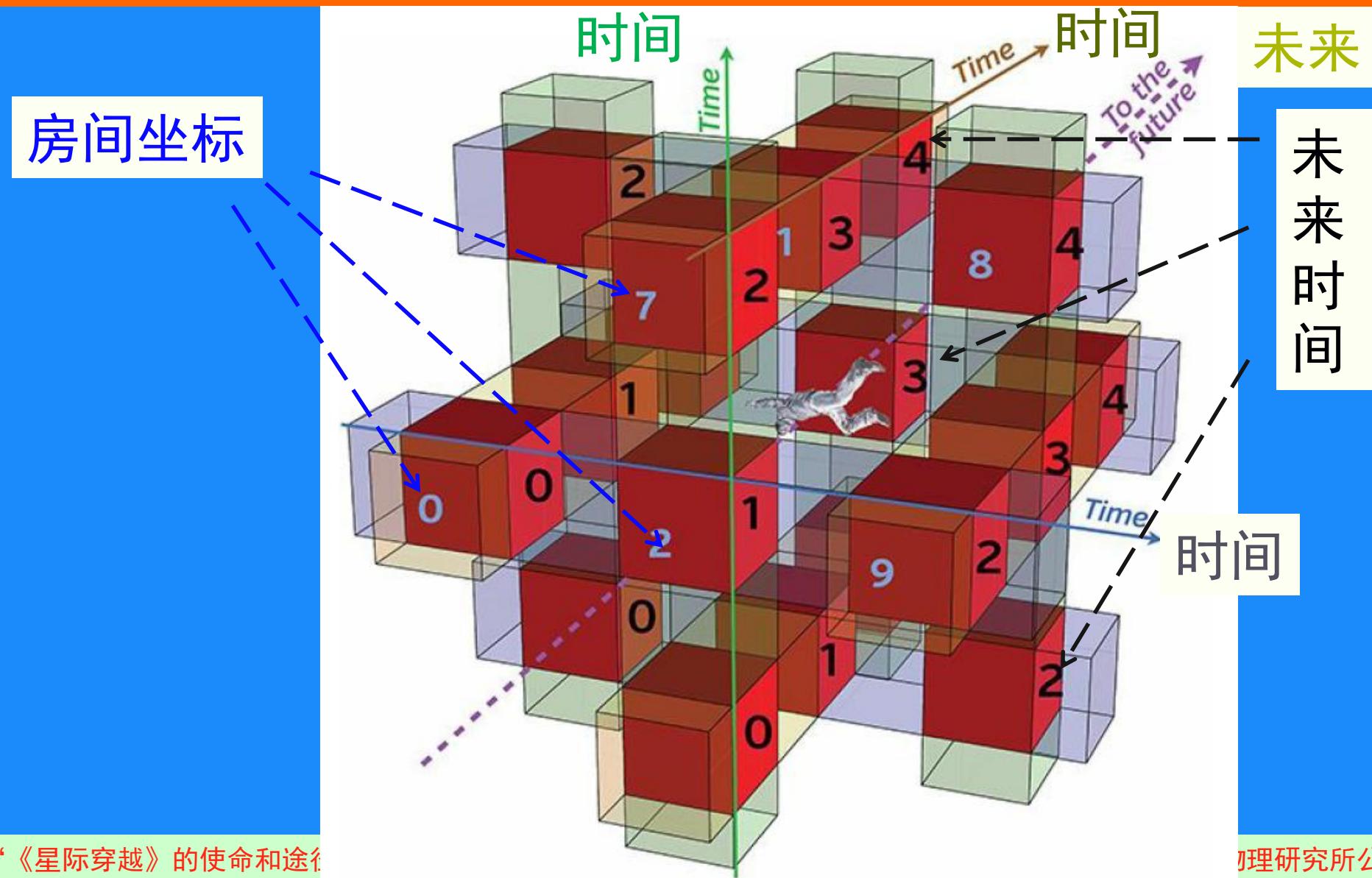
5维时空的一个“面”相当于一个4维时空

# 库波“飘”在“5维”时空



通过引力向不同年龄的墨菲传递从黑洞里面获得的量子数据，帮助墨菲破解了电影开始时的“引力异常”之谜，从而拯救了人类，父女团圆！

# 库波在墨菲房间的穿越旅行原理



## 《星际穿越的科学》(泰恩, 2014)

# 《星际穿越》的救援方案是否靠谱？

- ✓ 我认为这个救援方案比较不靠谱：
  - ✓ 库波在黑洞“奇点”附近活着离开被撕裂的飞船的可能性非常小；
  - ✓ 库波如何“掉入”4维空间很不清楚；
  - ✓ 如何从4维空间“回到”3维空间也不清楚。
- ✓ 但是索恩不知道还有更好的选择，而且这么做非常刺激和震撼！
  - ✓ 所以导演就在遵守“约定”的前提下，让电影里面的库波为了拯救人类并且最后和女儿团聚，义无反顾地冲进了黑洞！

那么还有别的方案吗？

# 我们的“黑洞旅行”理论

刘元、张双南，高能物理研究所粒子天体物理中心：  
“...这个结果原则上可以通过实验进行检验”  
...”

Physics Letters B 679 (2009) 88–94

---

 ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Physics Letters B

[www.elsevier.com/locate/physletb](http://www.elsevier.com/locate/physletb)



---

Exact solutions for shells collapsing towards a pre-existing black hole

Yuan Liu<sup>a,\*</sup>, Shuang Nan Zhang<sup>a,b,c</sup>

<sup>a</sup> Physics Department and Center for Astrophysics, Tsinghua University, Beijing 100084, China

<sup>b</sup> Key Laboratory of Particle Astrophysics, Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

<sup>c</sup> Physics Department, University of Alabama in Huntsville, Huntsville, AL 35899, USA

---

**ARTICLE INFO**

Article history:

Received 21 February 2009

Received in revised form 12 July 2009

Accepted 14 July 2009

Available online 21 July 2009

Editor: S. Dodelson

---

**B.C.:**

04.20.Jb

04.70.Bw

---

**Keywords:**

Black holes

Classical theories of gravity

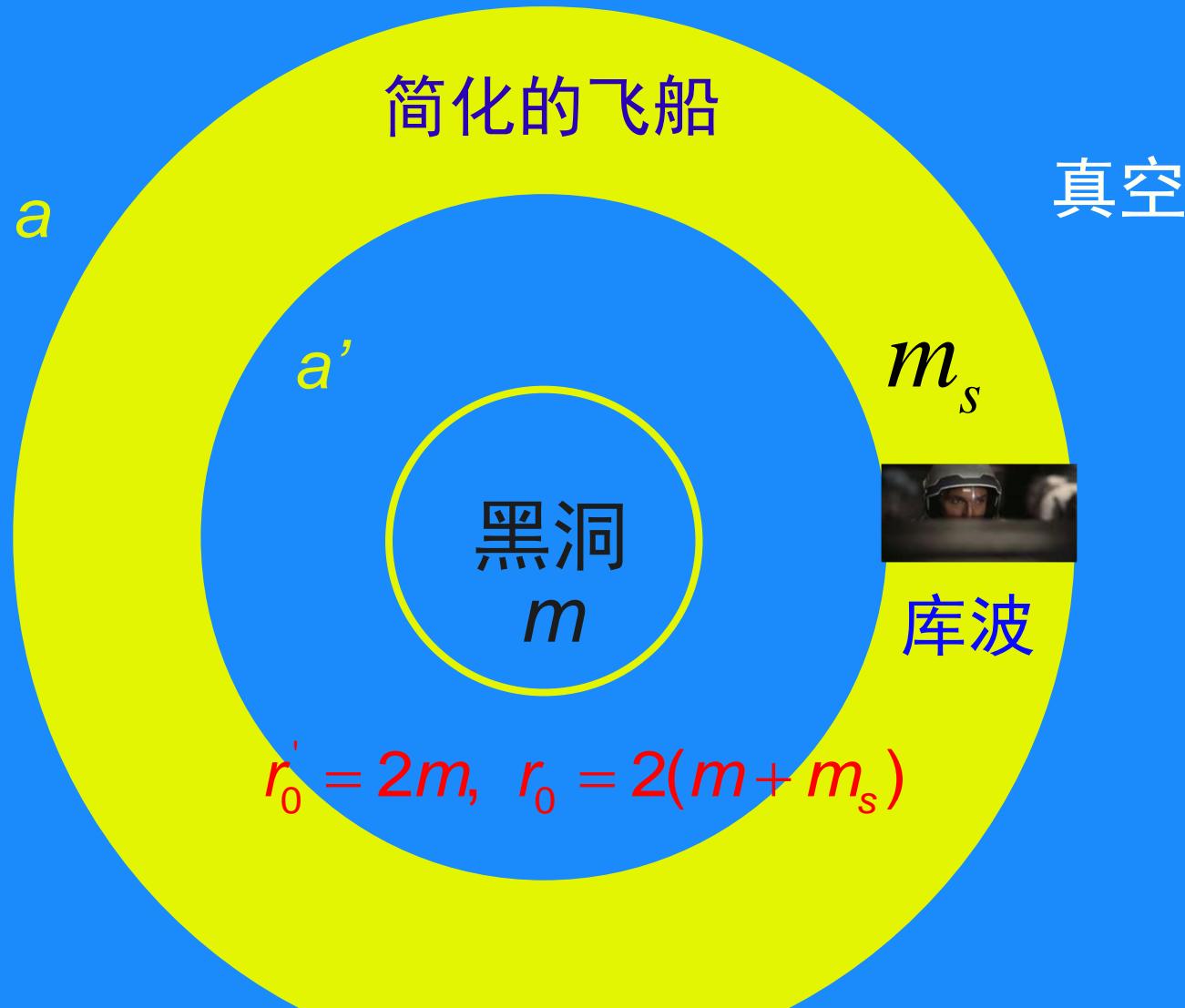
Space-time singularities

---

**ABSTRACT**

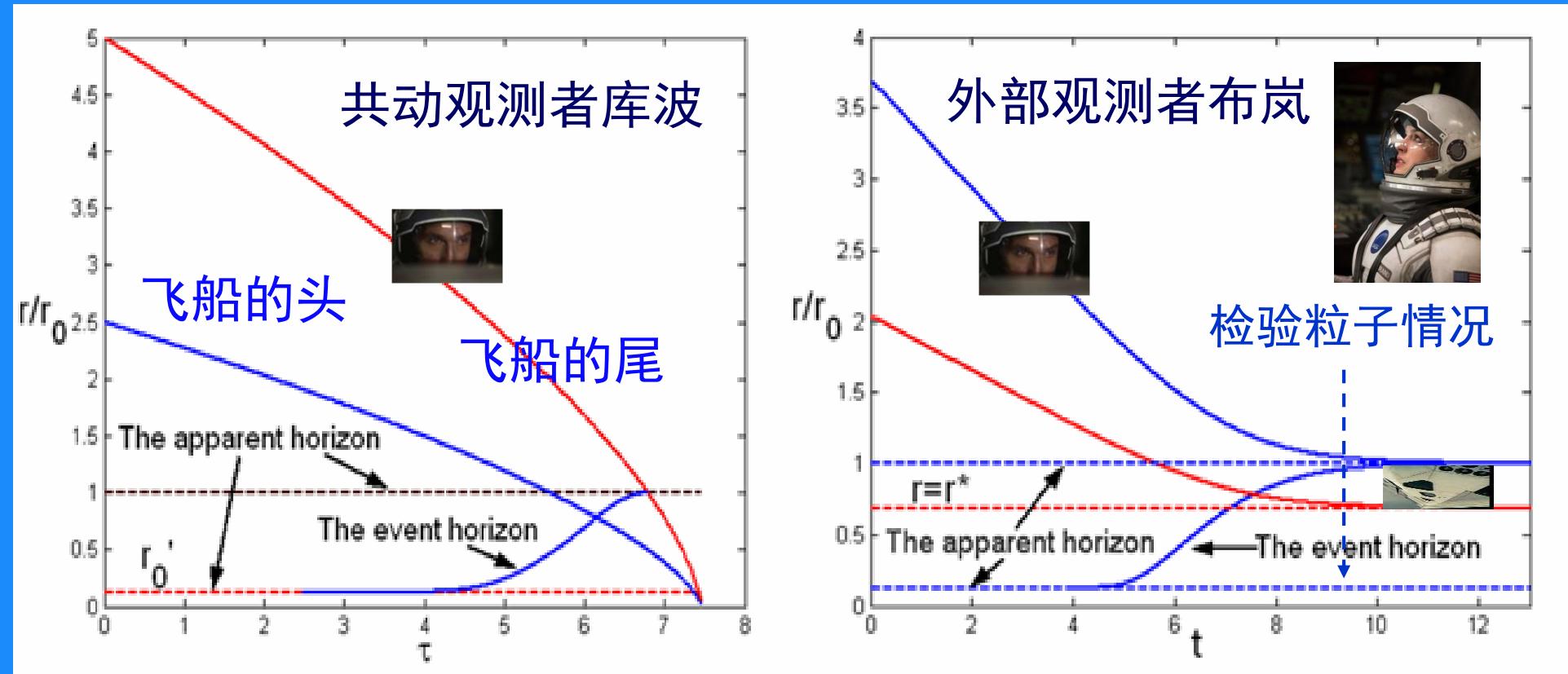
The gravitational collapse of a star is an important issue both for general relativity and astrophysics, which is related to the well-known “frozen star” paradox. This paradox has been discussed intensively and seems to have been solved in the comoving-like coordinates. However, to a real astrophysical observer within a finite time, this problem should be discussed in the point of view of the distant rest-observer, which is the main purpose of this Letter. Following the seminal work of Oppenheimer and Snyder (1939), we present the exact solution for one or two dust shells collapsing towards a pre-existing black hole. We find that the metric of the inner region of the shell is time-dependent and the clock inside the shell becomes slower as the shell collapses towards the pre-existing black hole. This means the inner region of the shell is influenced by the property of the shell, which is contrary to the result in Newtonian theory. It does not contradict the Birkhoff’s theorem, since in our case we cannot arbitrarily select the clock inside the shell in order to ensure the continuity of the metric. This result in principle may be tested experimentally if a beam of light travels across the shell, which will take a longer time than without the shell. It can be considered as the generalized Shapiro effect, because this effect is due

# 库波进入黑洞揭秘的模型



布岚

# 库波进入黑洞的广义相对论计算结果



布岚的结论：1) 飞船能够穿越黑洞的视界；2) 飞船永远不能到达中心的奇点；3) 是膨胀的视界吞噬了飞船，而不是飞船落入了视界！这就是检验粒子不能进入视界的原因：检验粒子不能影响视界！

# 论文中引用并批评的著名专著、教科书和科普书

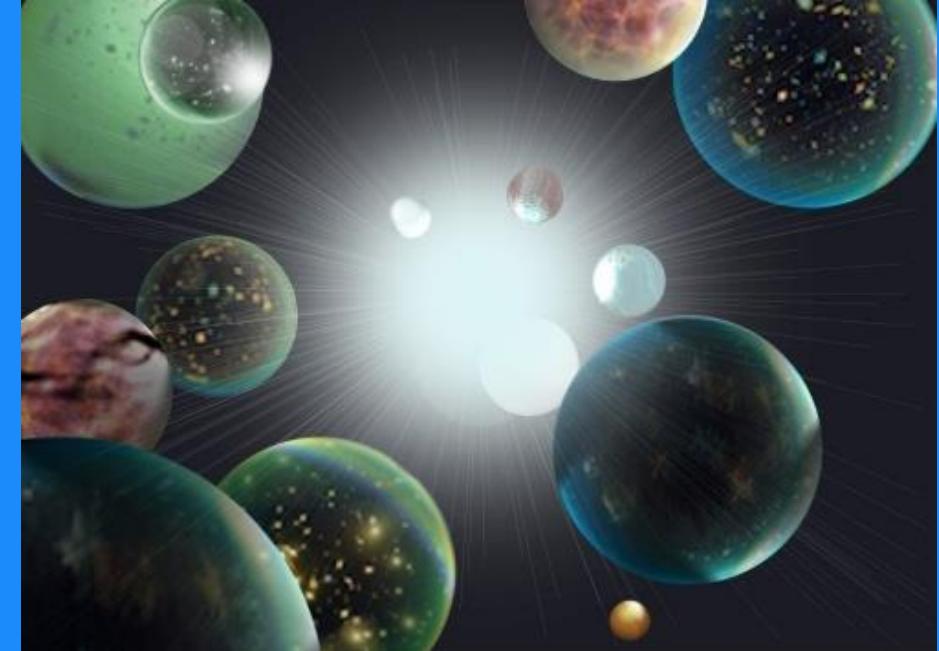
1. C.W. Misner, K.S. Thorne, J.A. Wheeler, *Gravitation* (1973)
2. S.W. Hawking, G.F.R. Ellis, *The large scale structure of space-time* (1973)
3. S. Weinberg, *Gravitation And Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity* (1977)
4. S.L. Shapiro, S. A. Teukolsky, *Black Holes, White Dwarfs & Neutron Stars* (1983)
5. V.P. Frolov, I.D. Novikov, *Black Hole Physics* (1998)
6. B.F. Schutz, *A first course in general relativity* (1990)
7. D. Raine, E. Thomas, *Black Holes - An Introduction* (2005)
8. J.P. Luminet, *Black Holes* (1992)
9. K.S. Thorne, *Black Holes & Time Warps - Einstein's Outrageous Legacy* (1994)
10. M.C. Begelman, M.J. Rees, *Gravity's fatal attraction - black holes in the universe* (1998)

# 库波进入天文黑洞的命运？

- ✓ 如果库波进入的是恒星级黑洞，在进去之前黑洞的潮汐力就会把他撕碎。幸好库波没有去错黑洞！
- ✓ 由于库波进入的是超大质量黑洞，他会顺利（活着）进入然后停留在黑洞里面的某个地方，但是不会最终到达中心的奇异点而粉身碎骨。
- ✓ 但是我们将永远和库波失去联系！
- ✓ 布岚和墨菲又哭了！

那么我们如何救出库波？

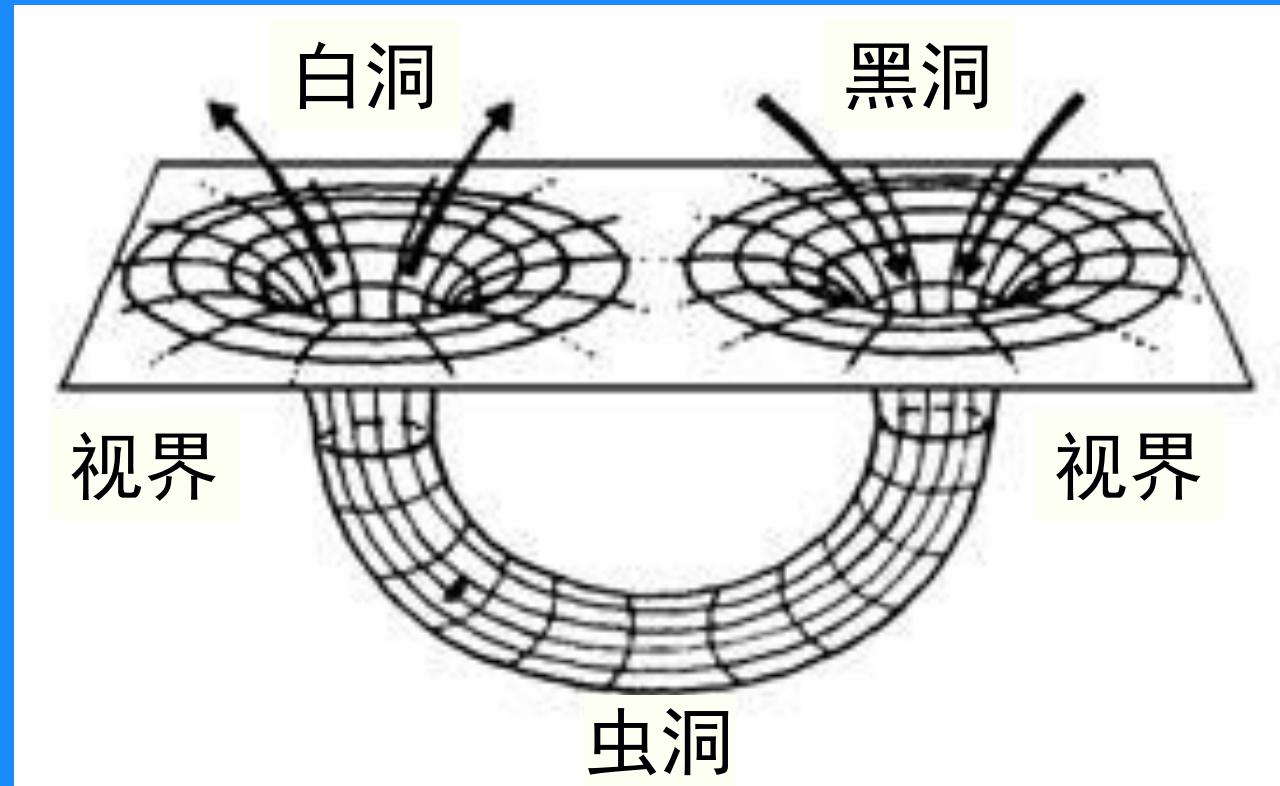
# 什么是白洞？



白洞是具有质量、电荷和转动，但是物质和能量只出不进的时空“奇点”。

目前没有证据表明白洞存在，也没有发现白洞形成的机制。

# 库波可以从黑洞进去、白洞出去？



(1) 按照传统的观点，库波将会落到奇点，粉身碎骨。

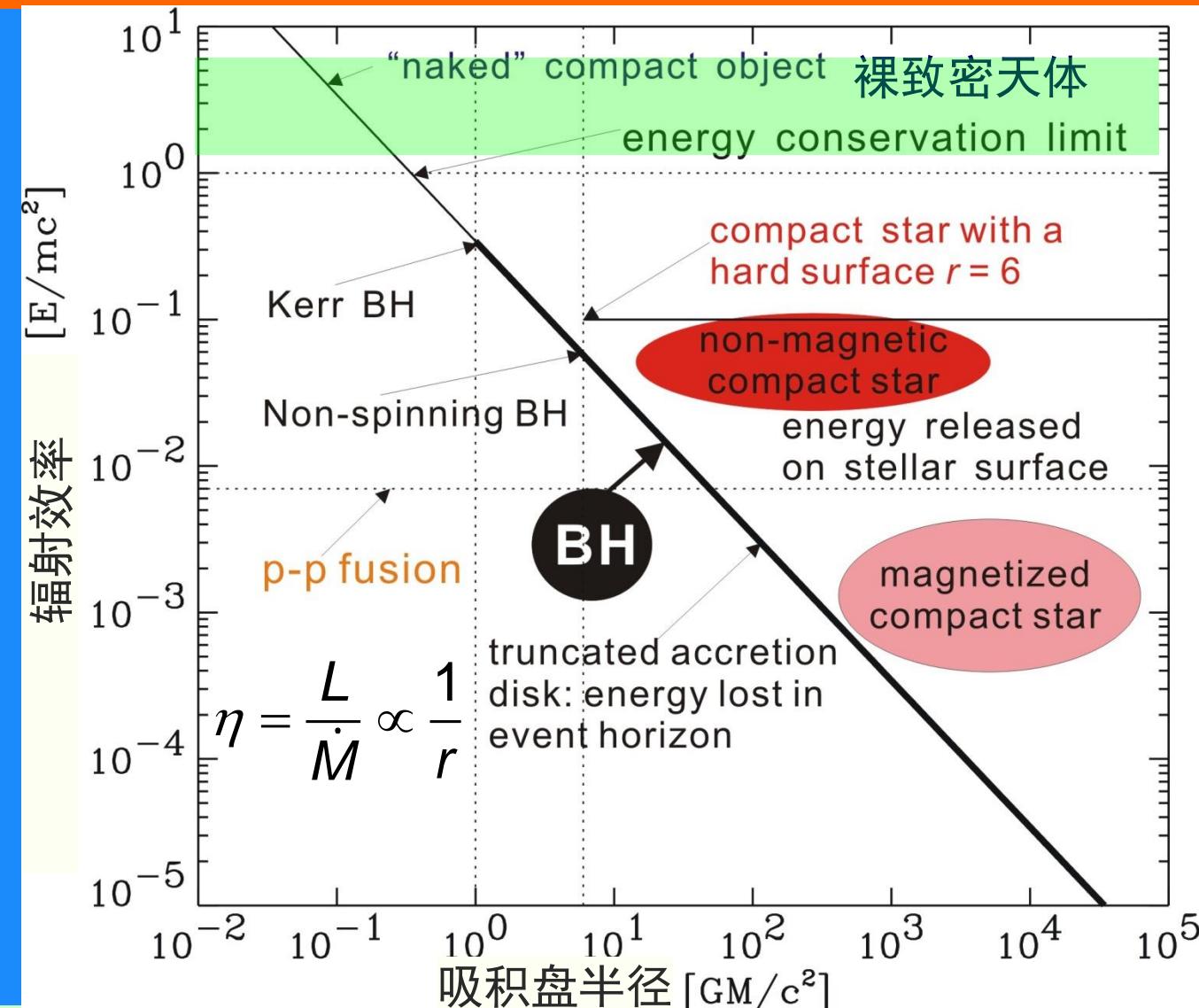
(2) 按照我们的观点，库波不会到达奇点，因此无法穿越虫洞从白洞出来。

## 如何让库波安全出来？

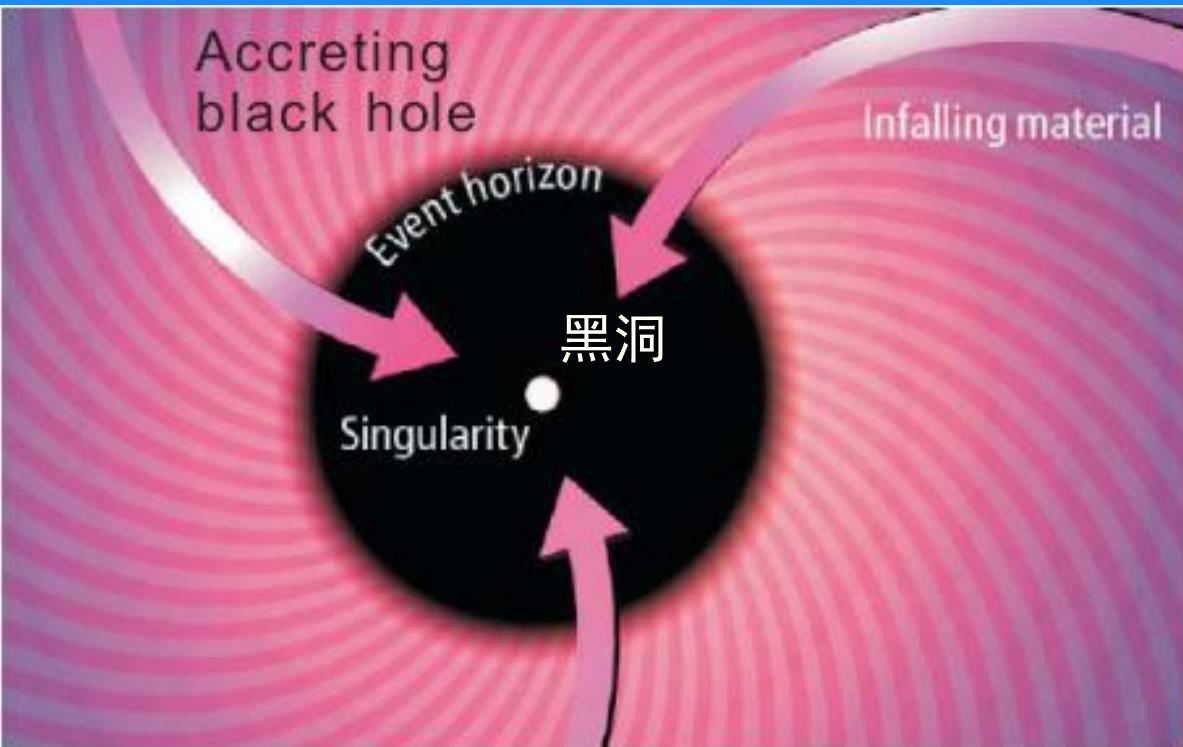
# “裸”致密天体再循环猜想（张双南2011）

“裸”致密天体的辐射效率可以超过100%：吐出的东西超过吃进去的东西。

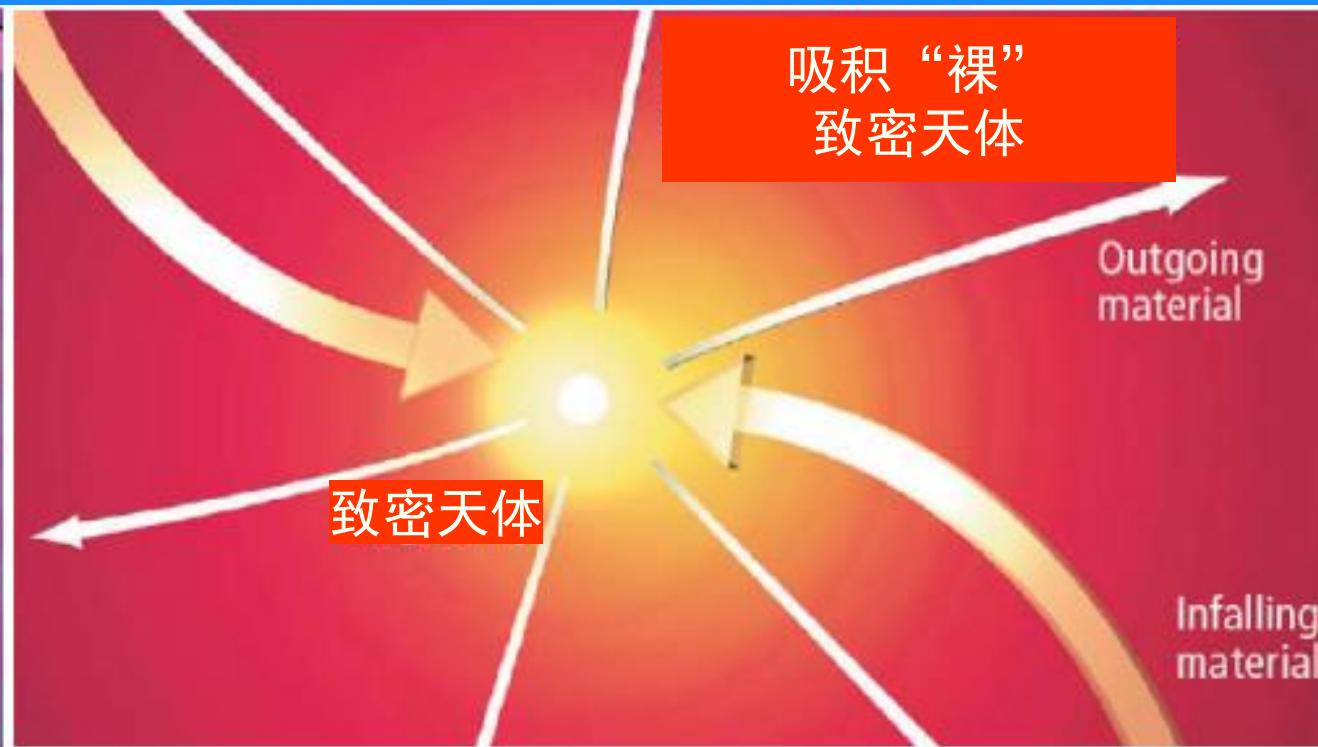
因此它可以把这个黑洞以前吃进去的东西吐出来，实现宇宙物质的再循环。



# “裸”致密天体：剥掉视界的天文黑洞



吸积黑洞：东西只进不出



吸积“裸”致密天体：东西可以出来

“裸”致密天体的预言→辐射效率 $>100\%$ .

# 《天文学革命——仰望星空400年》

透过天文望远镜看李约瑟难题  
——中文版序（张双南）



NATIONAL PUBLISHING FUND PROJECT

中外物理学精品书系

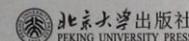
引进系列 · 31

**The Astronomy Revolution:  
400 Years of Exploring the Cosmos**  
天文学革命  
——仰望星空400年

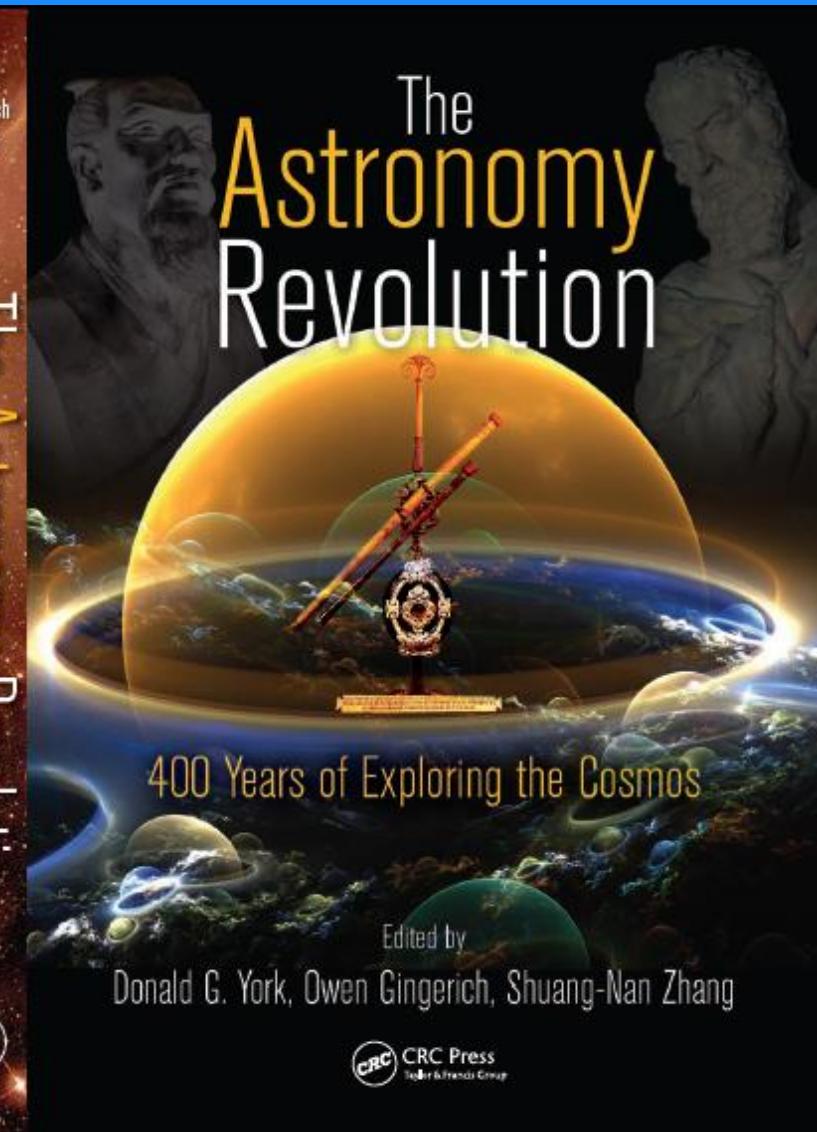
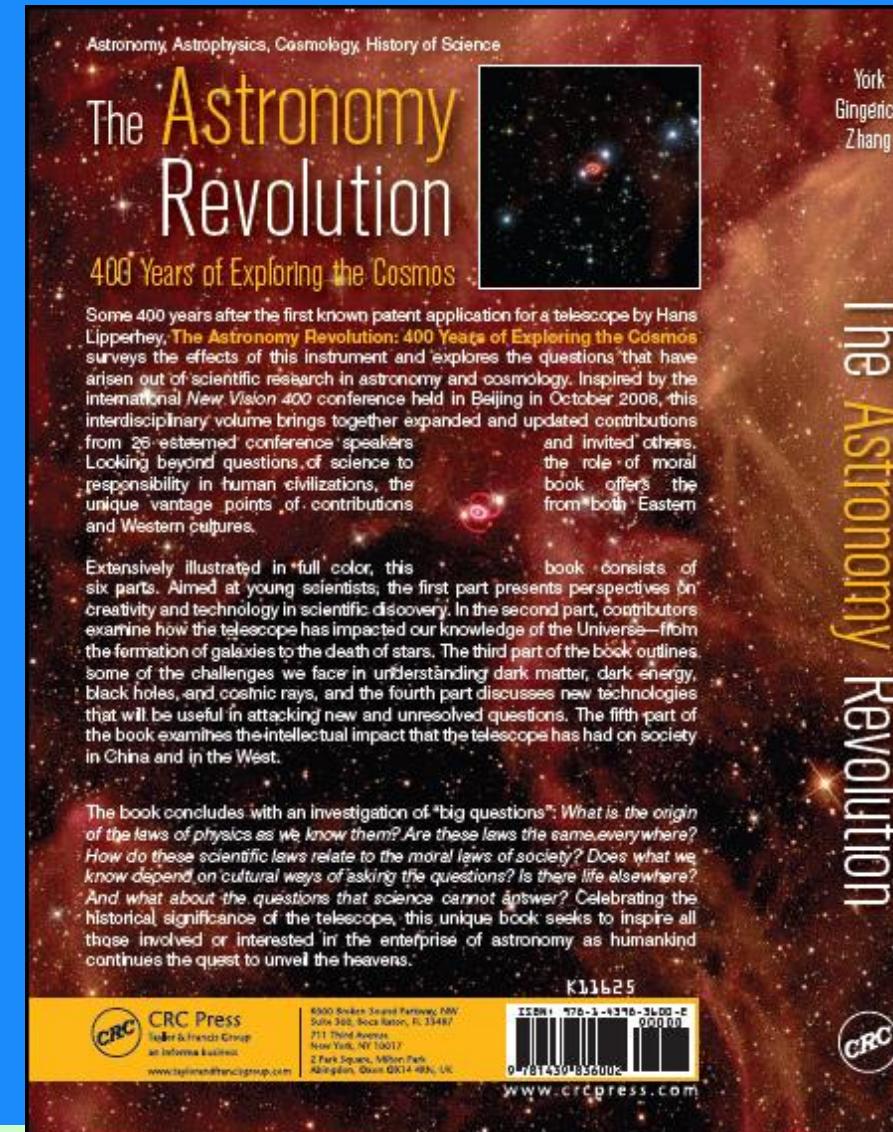
〔美〕唐纳德·G·约克 (Donald G. York)  
〔美〕欧文·金格里奇 (Owen Gingerich) 主编  
张双南 (Shuang-Nan Zhang)

涂泓方伟 译  
冯承天 译校  
张双南 校

第10章 物理宇宙中的  
天文黑洞（张双南）



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS



# 但是我们的方案是否更好？

- ✓ 我们的计算表明库波在天文黑洞里面没有危险。
- ✓ 但是我们也没有可靠的办法把视界“剥开”救出库波和女儿团聚。
- ✓ 而且我们的黑洞里面没有量子数据，进入黑洞就很难和拯救人类的高大上目标联系起来了。
- ✓ 但是库波仍然可以为了理解天文黑洞的性质而进入黑洞，为科学献身。
- ✓ 不过这就是另外一个电影了，搞不好就平淡无奇。

因此我叹服《星际穿越》是  
科学、艺术和人性的完美结合！

# “星际穿越”的使命和途径——人类文明的“大结局”？

- ✓ 地球环境日益恶化，太阳也在演化之中，地球能够永远承载人类文明吗？人类文明的大结局是什么？
- ✓ 文明处于没有创新就会灭绝的境地？
- ✓ 而人类在地球上的终极创新取决于物理学理论的终极统一能否完成？
- ✓ 《星际穿越》这个科学和艺术完美结合的硬科幻大片是如何完成这一壮举的？
- ✓ 黑洞、白洞、虫洞以及五维时空是怎么回事？电影中的科学是否可靠？还有没有别的途径？

感谢中国政府多个部门和机构用纳税人的钱资助我们的科学研究！