

سیاه چاله ها

از ابداع مفهوم تا شروع درک پیچیدگی آن

رضا منصوری
دانشگاه شریف و رصدخانه ملی

IRANIAN NATIONAL OBSERVATORY

A modern observatory in the land of ancient observatories



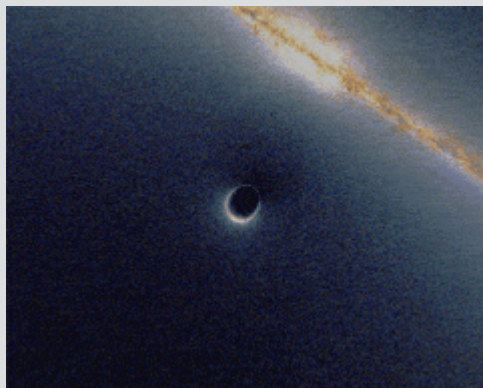
رصدخانه ملی ایران
Iranian National
Observatory
پژوهشگاه دانشهای بنیادی

ISI IPM

همایش سیاه چاله ها - ۱۲ آذر ۱۳۹۲ پژوهشگاه
دانشهای بنیادی

رفتار نور و سرعت فرار

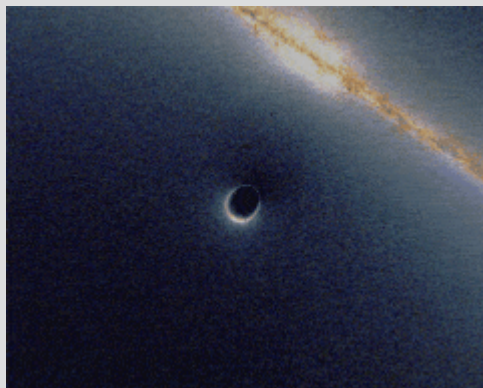
- جان میچل: ۱۷۸۳/۱۱۶۲
- لاپلاس: ۱۷۹۶/۱۱۷۵



همایش سیاه چاله ها- ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی

رفتار نور و سرعت فرار

- جان میچل: ۱۷۸۳/۱۱۶۲ علی مراد خان زند!
- لاپلاس: ۱۷۹۶/۱۱۷۵



همایش سیاه چاله ها- ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی

رفتار نور و سرعت فرار

- جان میچل: ۱۷۸۳/۱۱۶۲ علی مراد خان زند!
- لاپلاس: ۱۷۹۶/۱۱۷۵ پایتخت آغا محمد خان از ساری به تهران

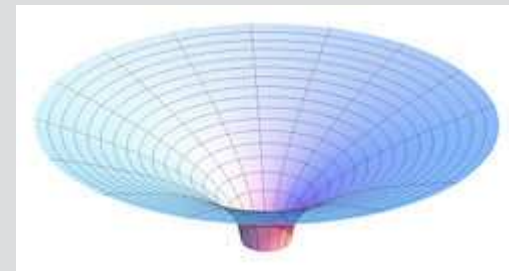


همایش سیاه چاله‌ها - ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی

متریک شوارتس شیلد و تکینگی



• کارل شوارتس شیلد: ۱۹۱۶/۱۲۹۵



همایش سیاه چاله ها- ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی

متریک شوارتس شیلد و تکینگی



• کارل شوارتس شیلد: ۱۹۱۶/۱۲۹۵



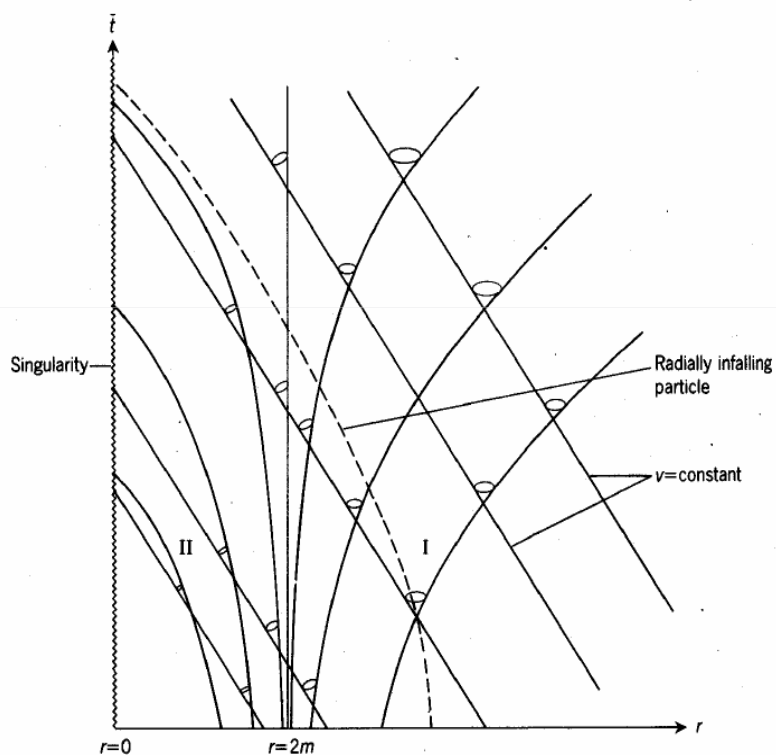
همایش سیاه چاله ها- ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی

متریک شوارتس شیلد و تکینگی

• کارل شوارتس شیلد: ۱۹۱۶/۱۲۹۵

• دیوید فینکلشتاین: ۱۹۵۸/۱۳۳۷

افق رویداد به عنوان یک شامهٔ یک-سویه



همایش سیاه چاله ها- ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه

دانشهای بنیادی

مفهوم سیاه چاله



- همایش AAAS در سال ۱۳۴۳/۱۹۶۴:

- مقاله خانم Ann Ewing:

- «سیاه چاله ها در فضا»؛

- کشف تپ اخترها: ۱۹۶۷؛

- ویلر ۱۹۶۷: واژه سیاه چاله

- را در جمع به کار برد!

- در شوروی آن زمان ابتدا واژه

- «ستاره منجمد» به کار رفت!



همایش سیاه چاله ها- ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه

دانشهای بنیادی

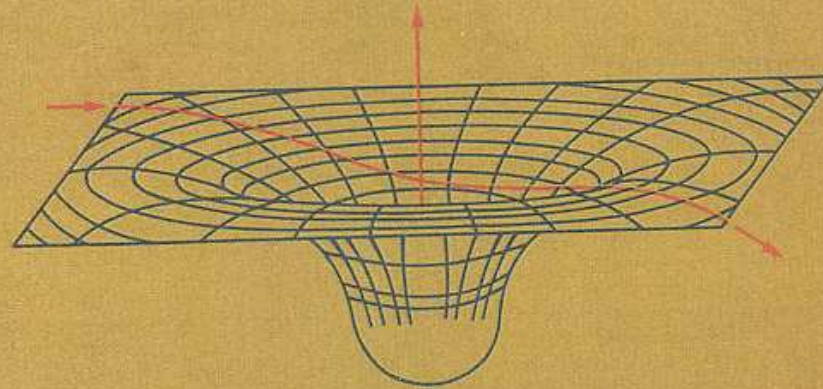


رصدخانه ملی ایران
Iranian National
Observatory
وزارتخانه و دانشگاه تهران

اختر فیزیک نسبیته

(کونوله های سفید و سیاه بهمانه ها)

نوشتة: رومن سکسل
هانہ لوره سکسل
ترجمه: رنما مخموری



موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف

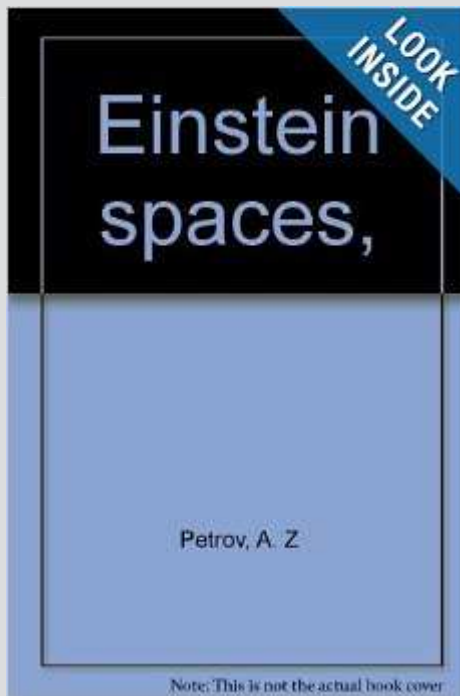


رصدخانه ملی ایران
Iranian National
Observatory
وزارتخانه دانشهای بنیادی

پتروف: فضا های انیشتین

• ص ۱۴۱:

روشن است که انیشتین و هیلبرت و هم-عصران آنها تصویری ابتدایی از مفهوم فضا زمان و تبعات آن داشتند... متوجه نبودند چه ابزار نیرومندی به هم بافته بودند.



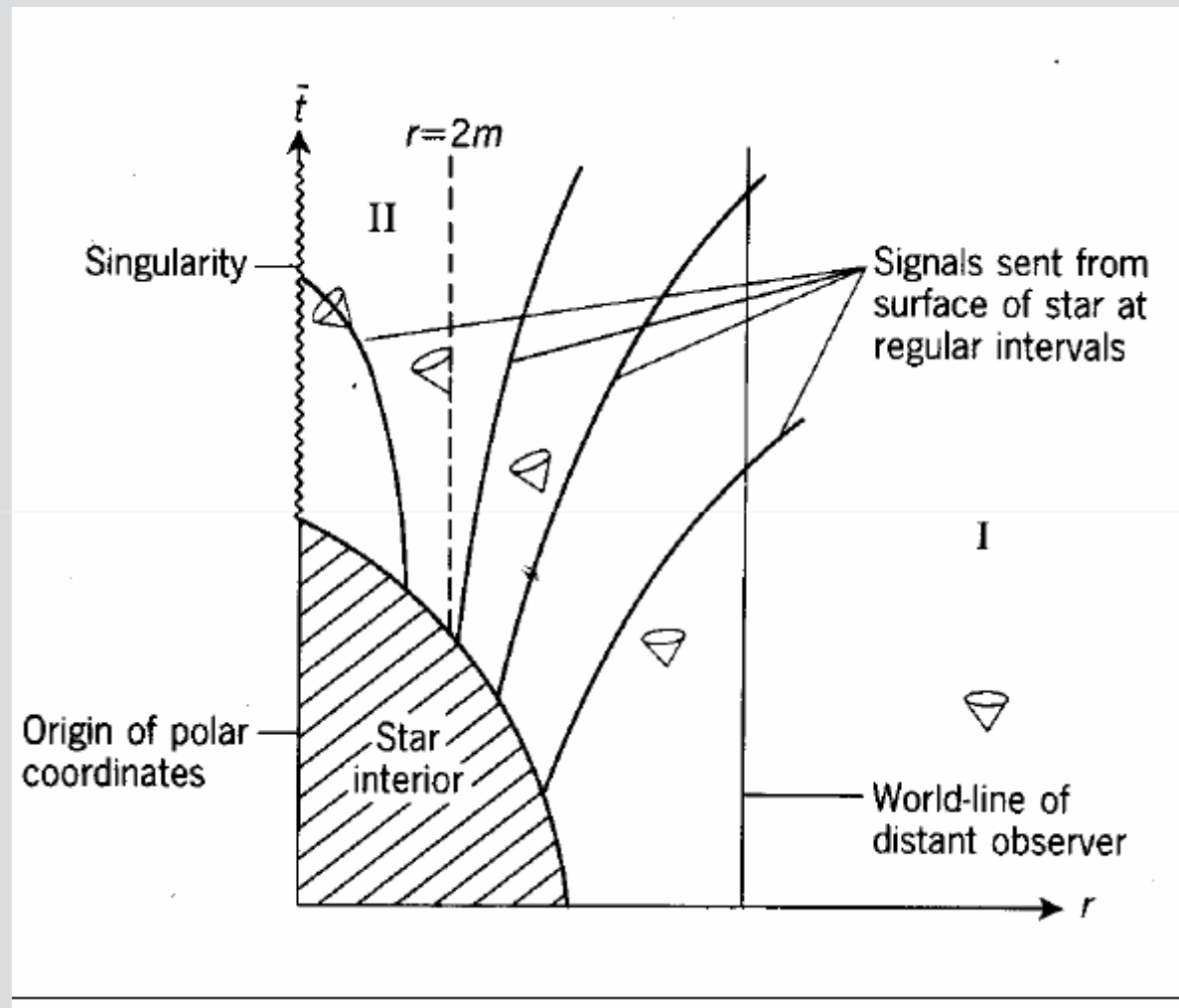
اُشتواد: این پیر مرد نمی دانست چه نوشته است (در یک سخنرانی در سال ۱۳۴۶ / ۱۹۶۷ در مورد جواب اُشتواد-شوکینگ یا گودل متناهی)

همایش سیاه چاله ها- ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه

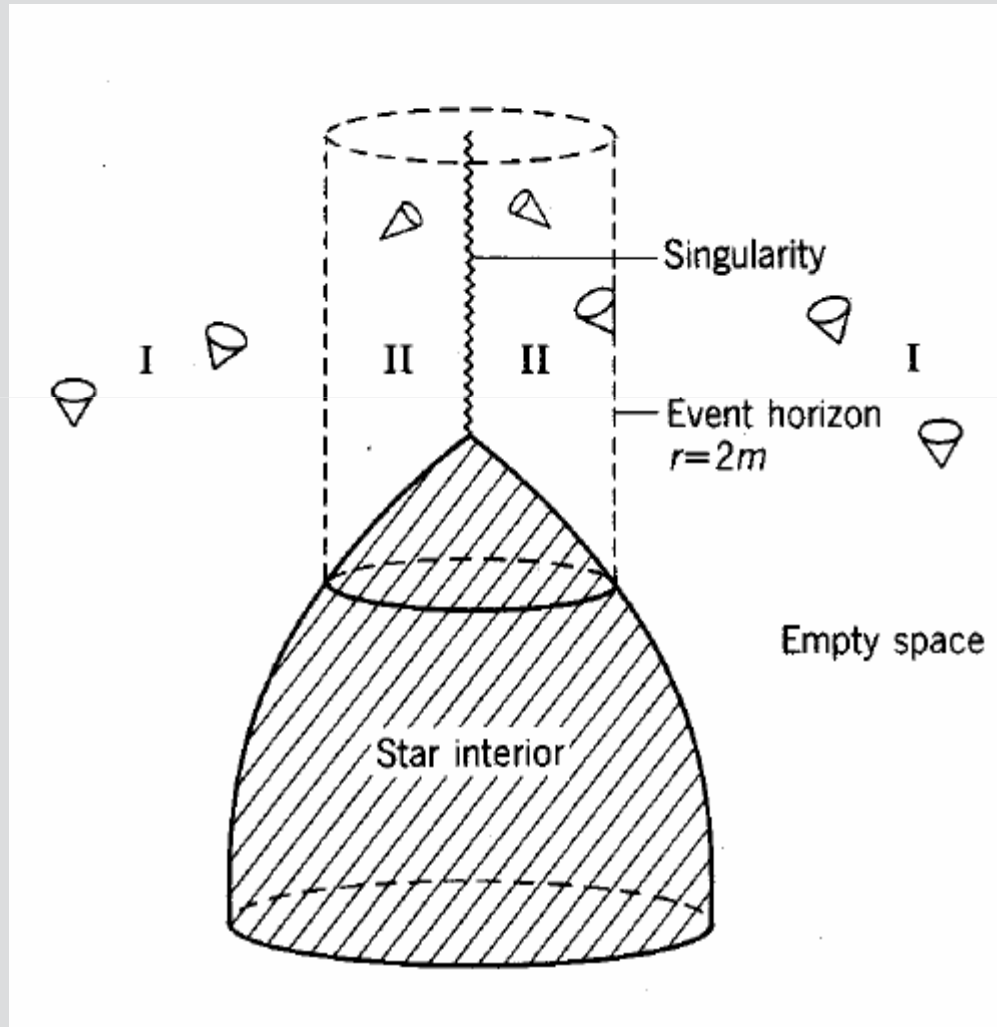
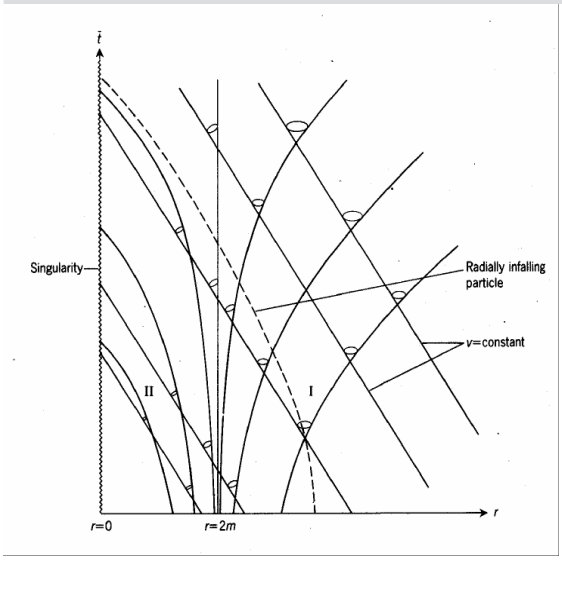
دانشهای بنیادی



پژوهشگاه ملی اخترشناسی ایران
Iranian National
Observatory



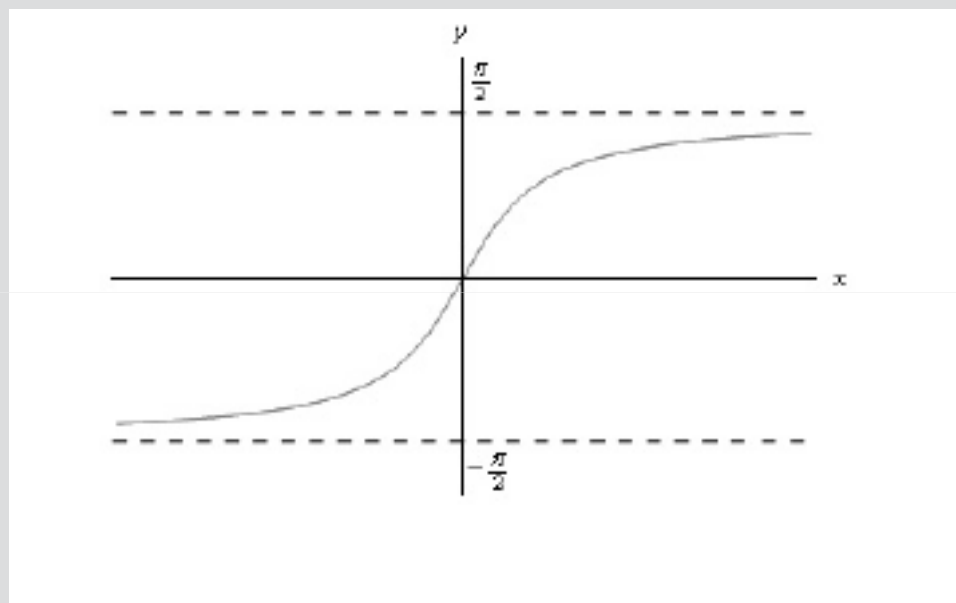
همایش سیاه چاله‌ها - ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی



مقایسه سیاه چاله با ...

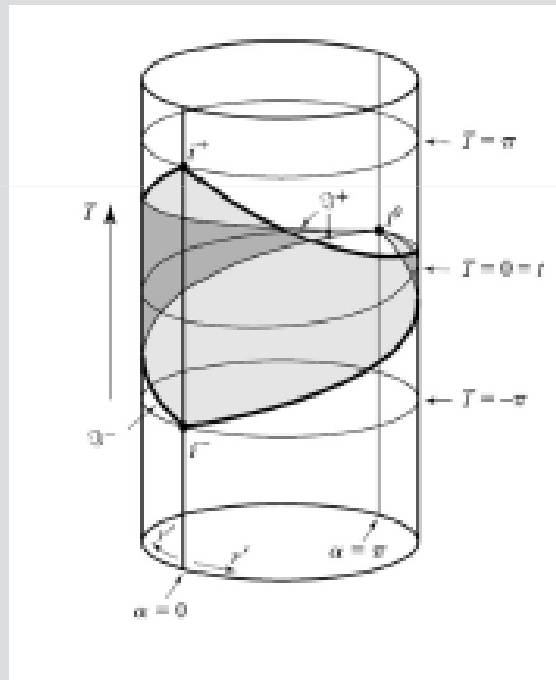


متناهی کردن بینهایت



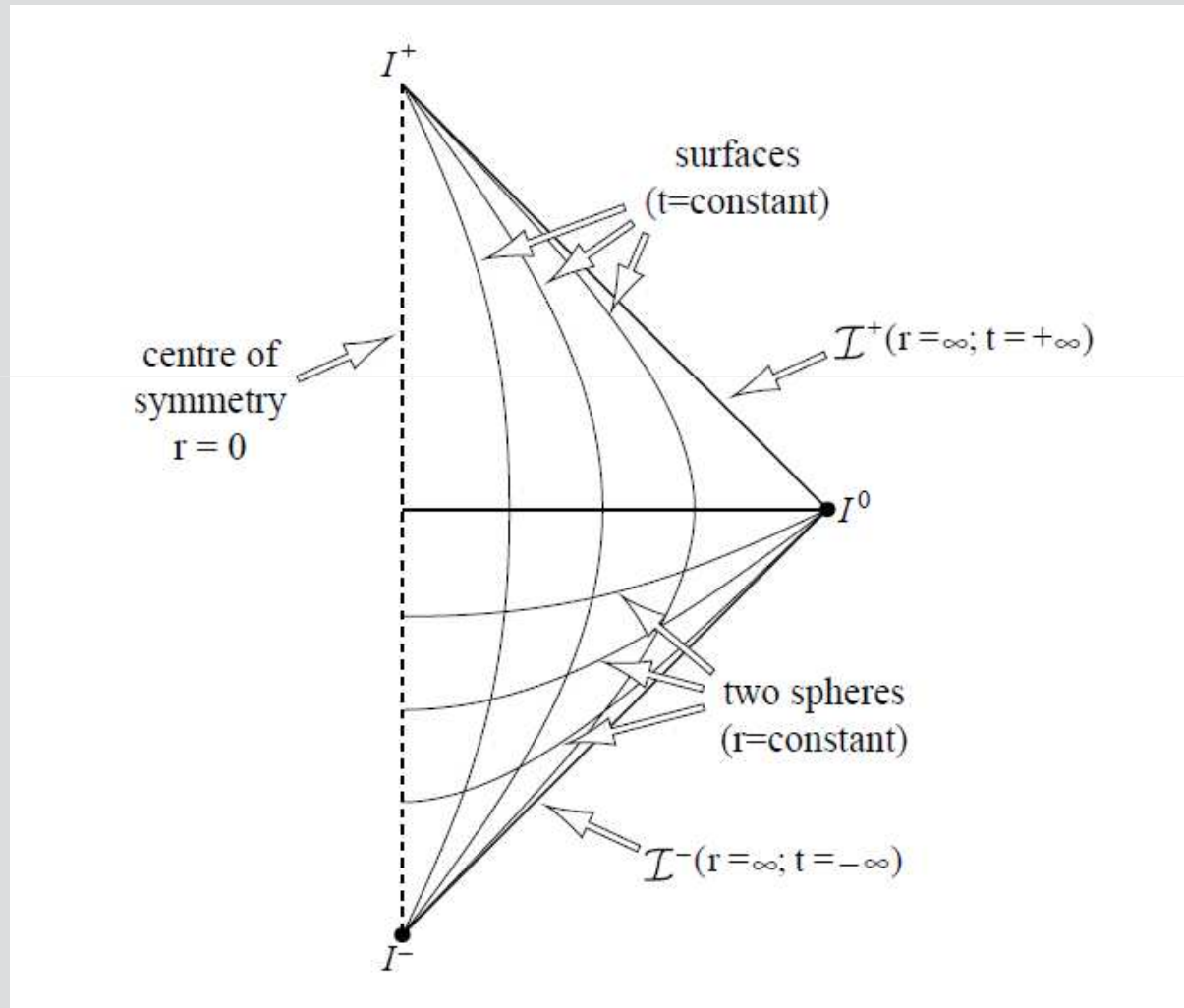
همایش سیاه چاله ها- ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی

فضای اینشتین همدیس مینکوفسکی

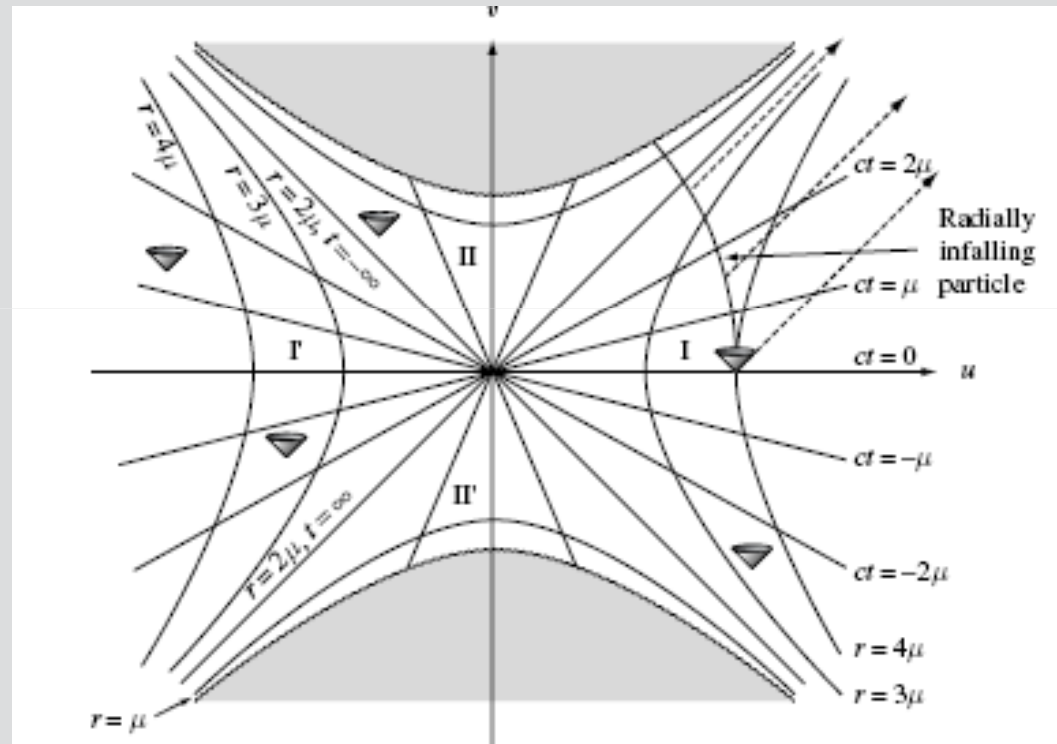


همایش سیاه چاله‌ها - ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی

نمودار فضا زمان مینکوفسکی

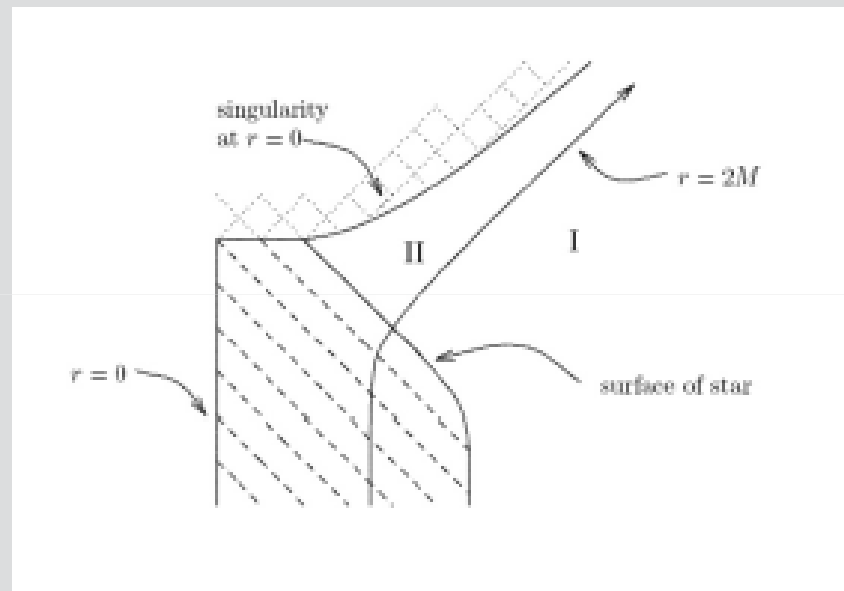


فضازمان کروسکال



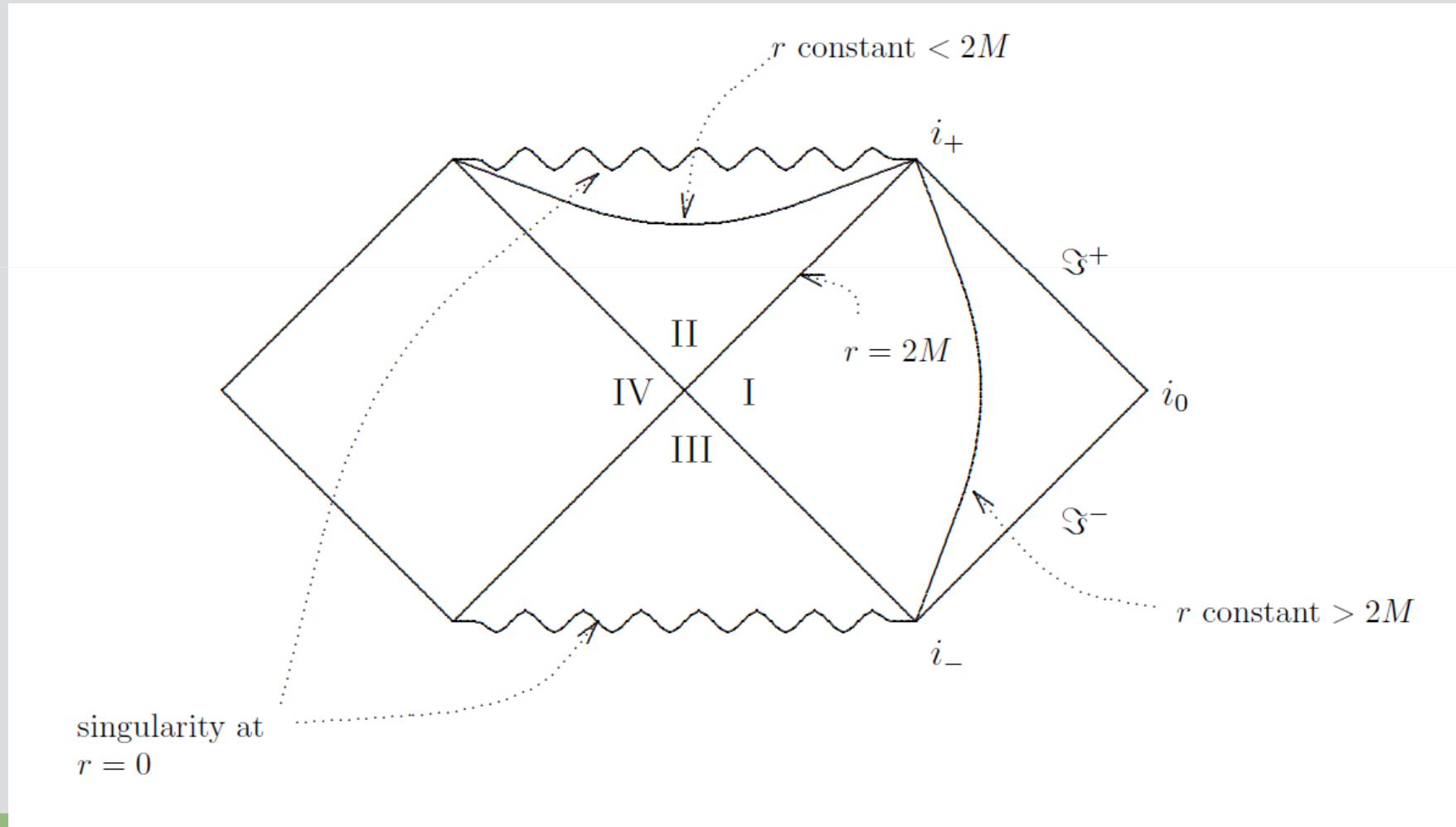
همایش سیاه چاله ها- ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی

نمودار پنروز برای ستارهٔ رمبمان

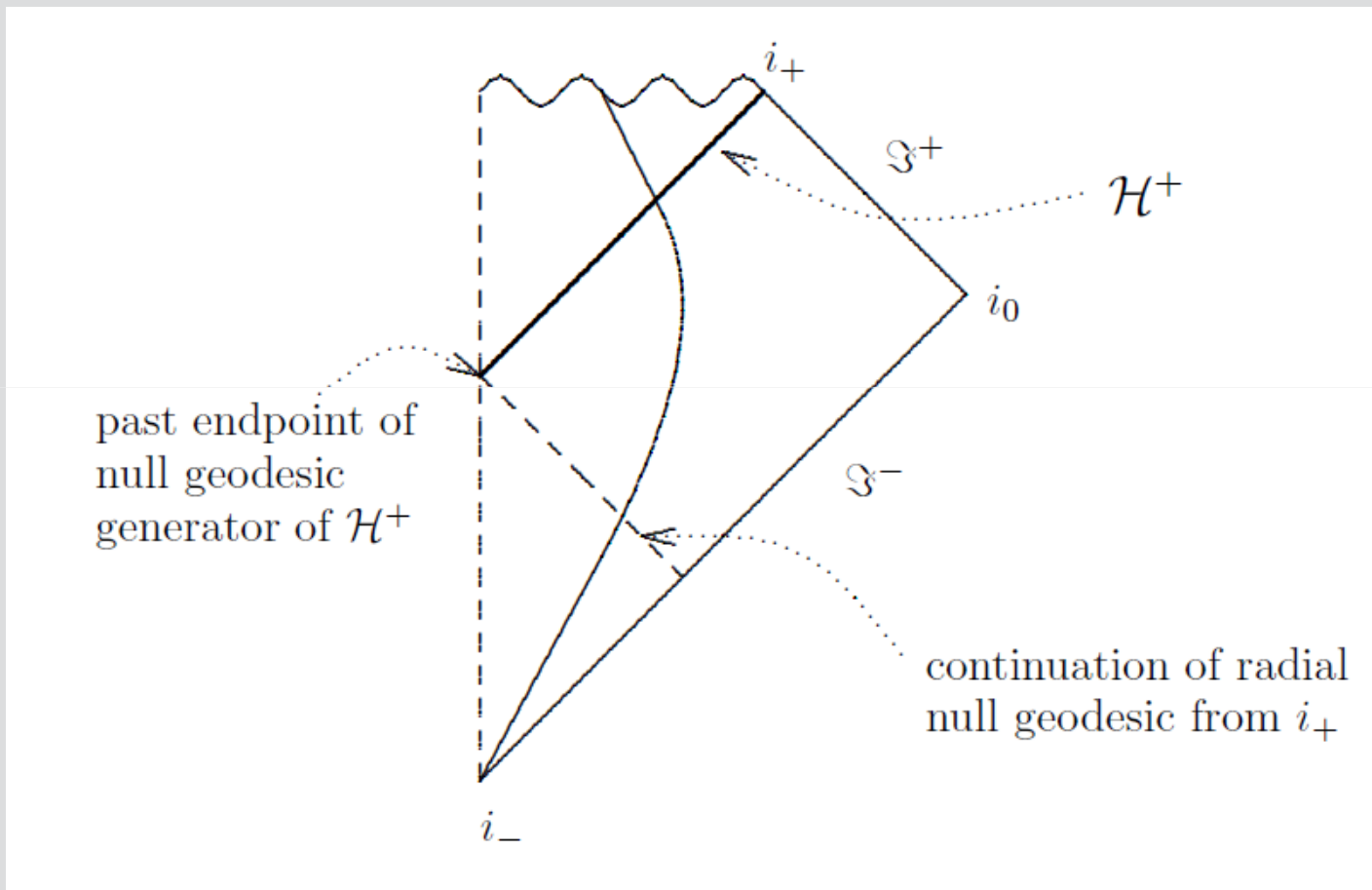


همایش سیاه چاله‌ها - ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی

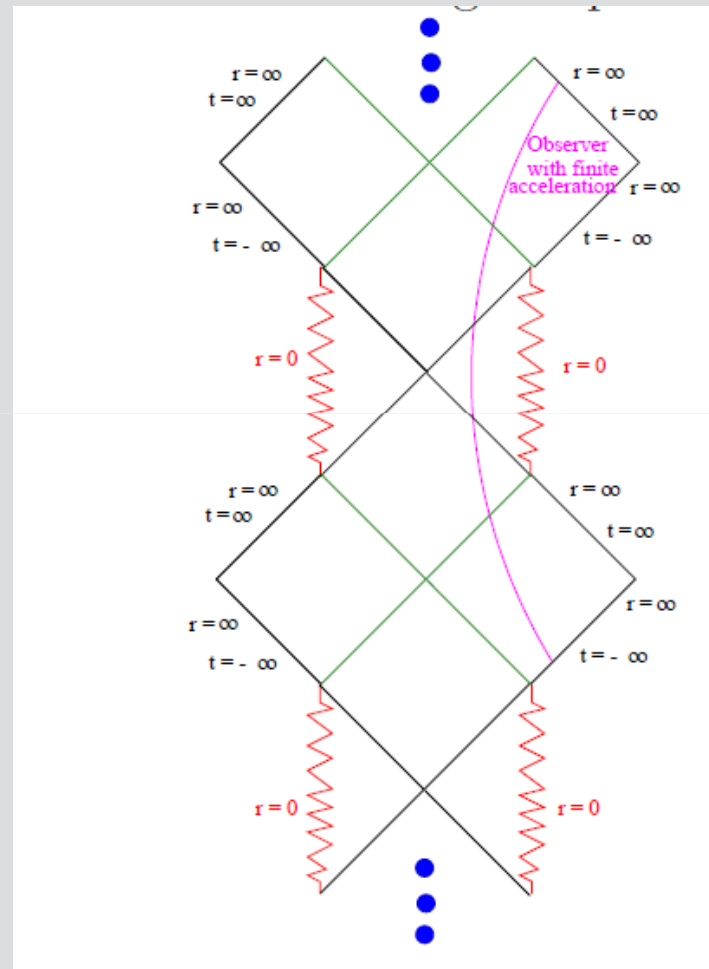
فشرده سازی: افق رویداد



\mathcal{H}^+ افق رویداد



همایش سیاه چاله ها- ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی



همایش سیاه چاله‌ها - ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی

افق رویداد \mathcal{H}^+

- پنروز: مولد های \mathcal{H}^+ هیچ نقطهٔ انتهایی آینده ندارند!
- هاوکینگ: افق رویداد هر فضا زمان مانای مجانباً تخت یک افق کیلینگ است!

افق رویداد مفهومی سراسری است نه موضعی
آیا افق رویداد در صد پذیر است؟

چند مفهوم کلیدی

همایش سیاه چاله‌ها - ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی



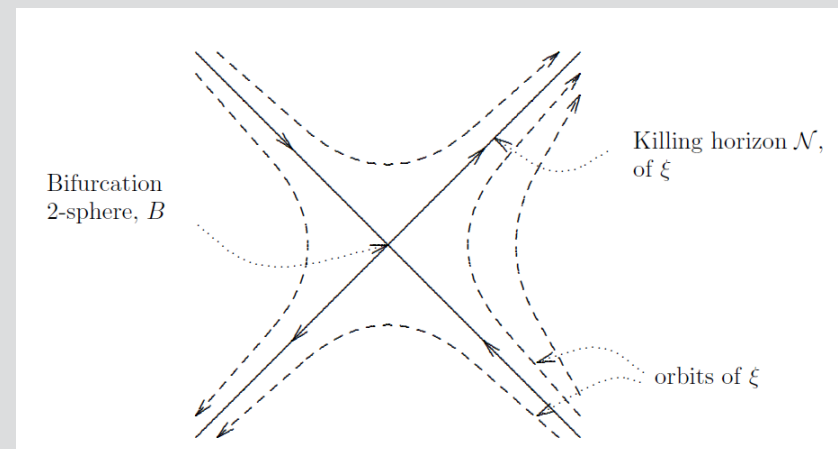
گرانی سطح

- افق کیلینگ:
- ابر سطح نورگونه با بردار کیلینگ که روی آن بر ابر سطح عمود است!

$$\xi \cdot D\xi^\mu = \kappa \xi^\mu, \quad \text{on } \mathcal{N}$$

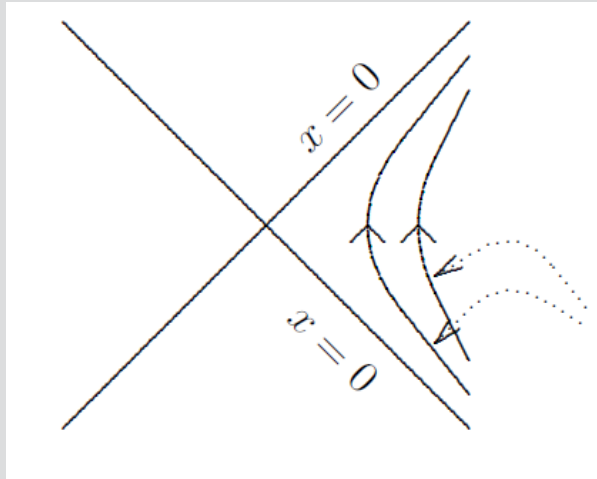
- گرانای سطح
- گرانای سطح روی افق کیلینگ انشعابی ثابت است

$$\kappa = \xi \cdot \partial \ln |f|$$



همایش سیاه چاله‌ها- ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه

دانشهای بنیادی



گرانی سطح

برابر است با شتاب ذره یی ایستا نزدیک افق

همایش سیاه چاله ها- ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی

دمای هاؤ کینگ

- دمای تولمان

تعدادل ترموستاتیکی ساختار کروی

$$(-k^2)^{1/2} T = T_0$$



$$T_0 = T_H = \frac{\kappa}{2\pi}$$

- دمای هاؤ کینگ

میدان در دمای غیر صفر در تعدادل در فضای ریمانی

$$T_H = \frac{\kappa}{2\pi}$$

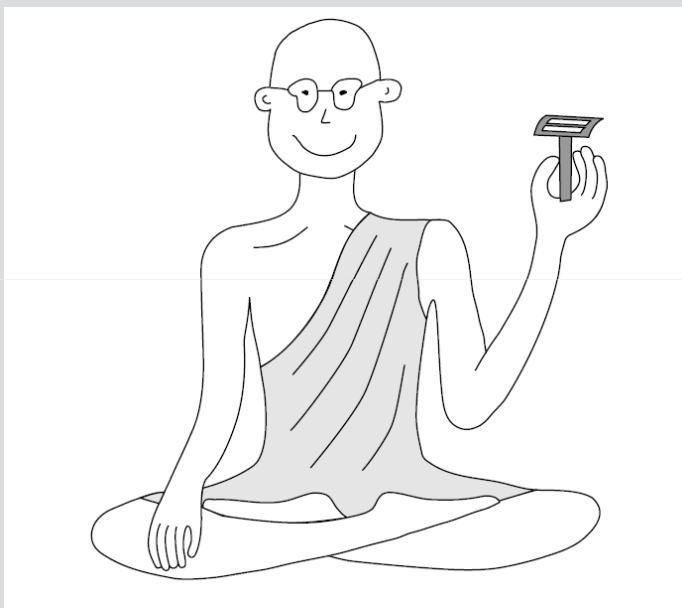
- دمای اونرو (Unruh)

دما در فضای مینکوفسکی برای ناظر شتابدار

$$T = \frac{a}{2\pi}$$



قضیه تاسی سیاه چاله ها



همایش سیاه چاله ها- ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی

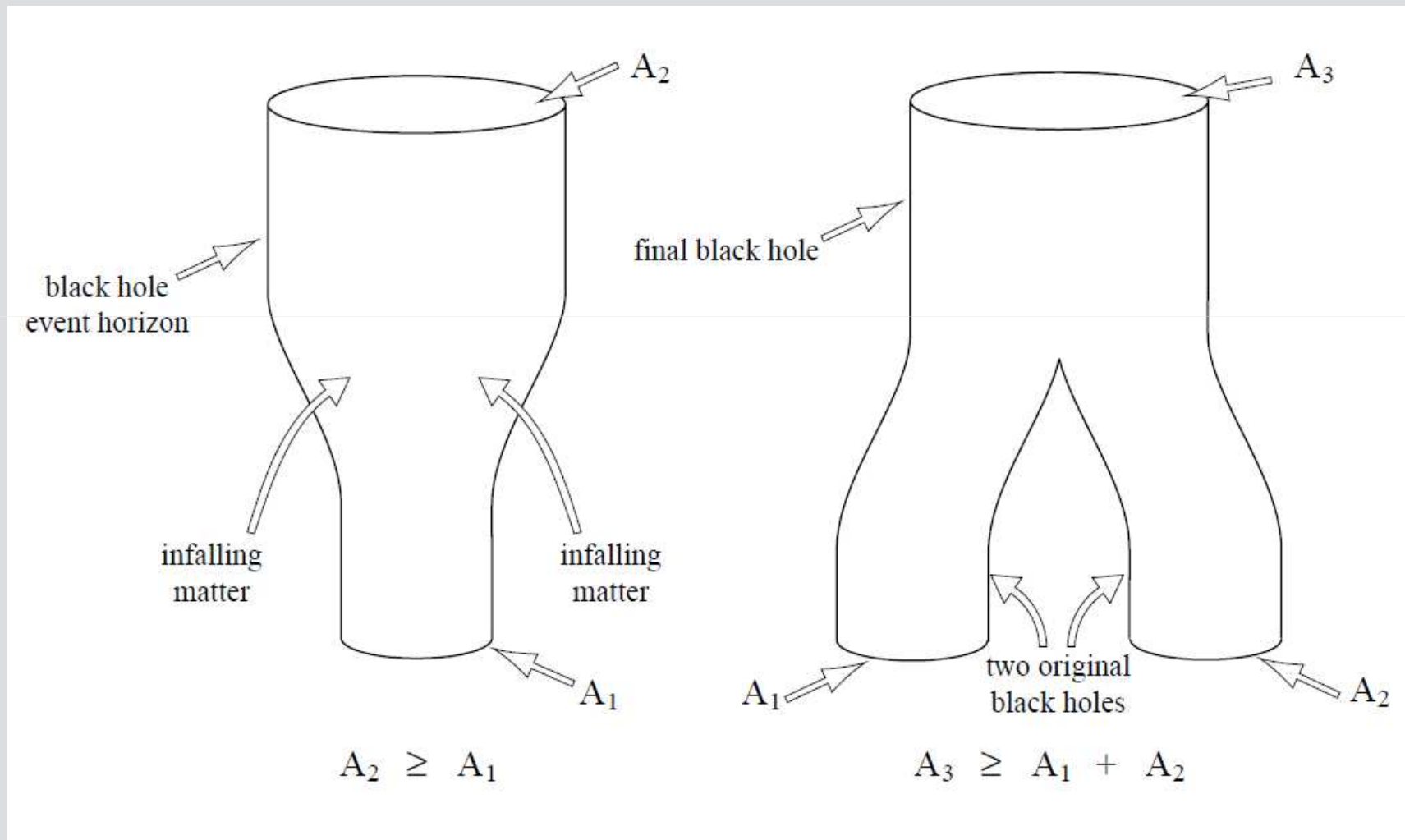
سانسور کیهانی

افق عریان وجود ندارد

همایش سیاه چاله‌ها - ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی



ترمودینامیک سیاه چاله ها



ترمودینامیک سیاه چاله ها

hep-th/9409195 •

Zeroth Law of Black Hole Mechanics

κ is the same everywhere on the horizon of a time independent black hole.

Zeroth Law of Thermodynamics

T is the same everywhere for a system in thermal equilibrium.

First Law of Black Hole Mechanics

$$\delta E = \frac{\kappa}{8\pi} \delta A + \Omega \delta J + \Phi \delta Q$$

First Law of Thermodynamics

$$\delta E = T \delta S + P \delta V$$

Second Law of Black Hole Mechanics

$$\delta A \geq 0$$

Second Law of Thermodynamics

$$\delta S \geq 0$$

همایش سیاه چاله ها- ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهش

دانشهای بنیادی



این ویژگی های مألوف سیاه چاله ها برای فضازمان های مجانباً تخت و مانا معتبر است

اگر فضازمان دینامیک داشته باشد چطور؟
اگر سیاه چاله رنگ داشته باشد چطور؟

آیا سیاه چاله ها اینقدر ساده هستند؟

ما که می دانیم بیرون سیاه چاله ها همواره ماده
وجود دارد!

همایش سیاه چاله ها- ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی

سیاه چاله های دینامیکی

همایش سیاه چاله ها- ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی



افق دینامیکی

Dynamical Horizons and their properties

Abhay Ashtekar^{1,2,4*} and Badri Krishnan^{1,3,4†}

-arXiv:gr-qc/0308033

رک رساله دکتري جواد تقی زاده، دانشگاه شریف، ۱۳۹۰

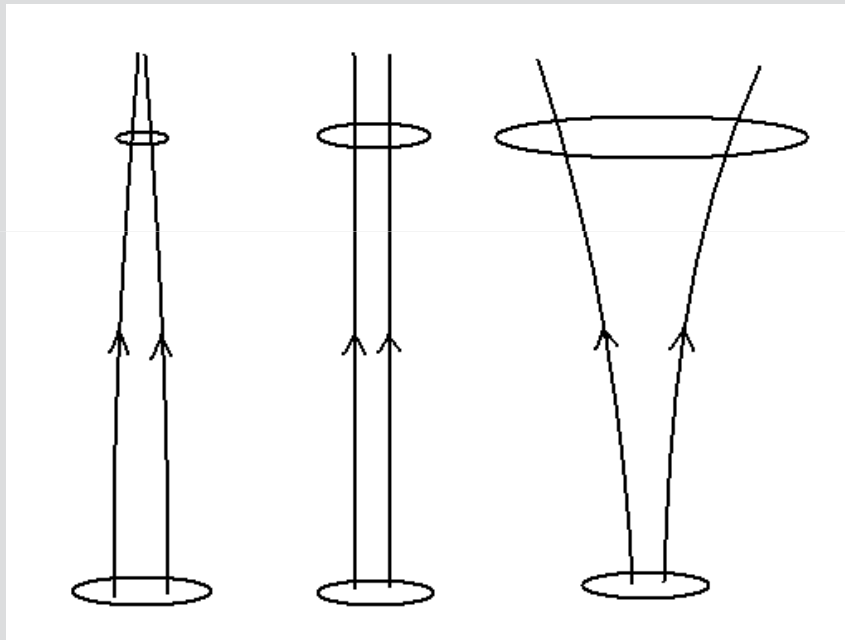
مفاهیم مرتبط

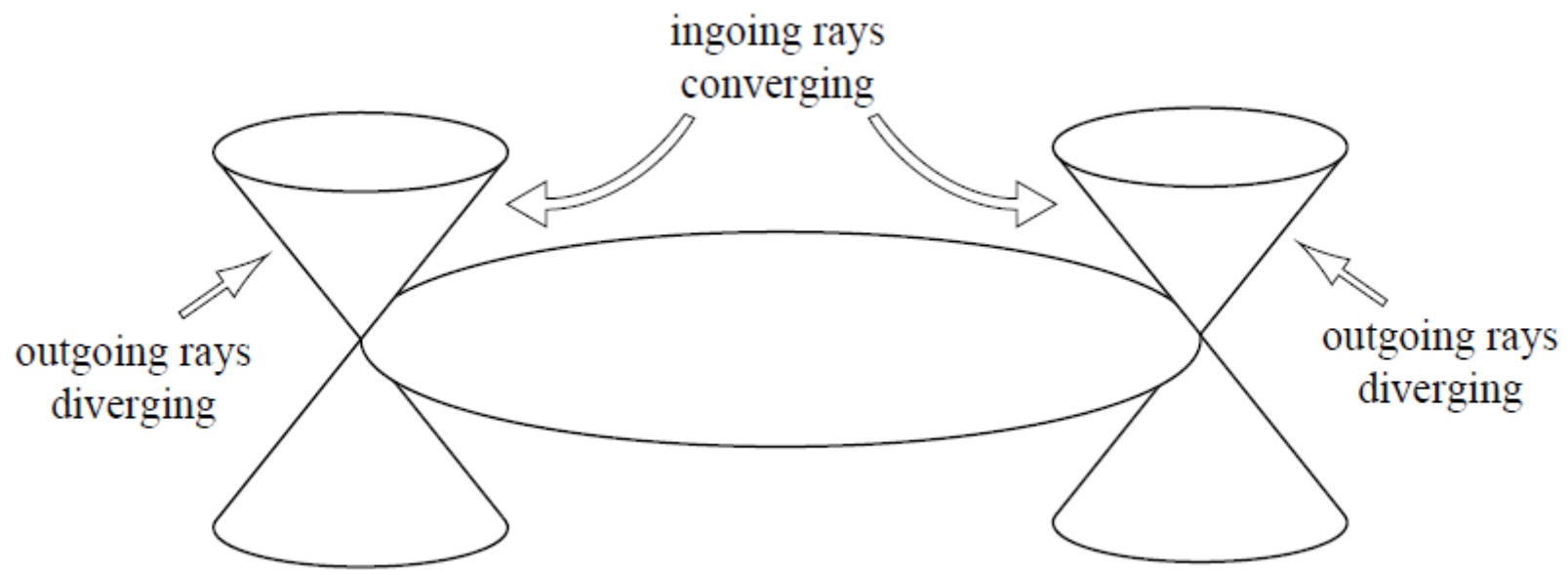
همایش سیاه چاله‌ها - ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی



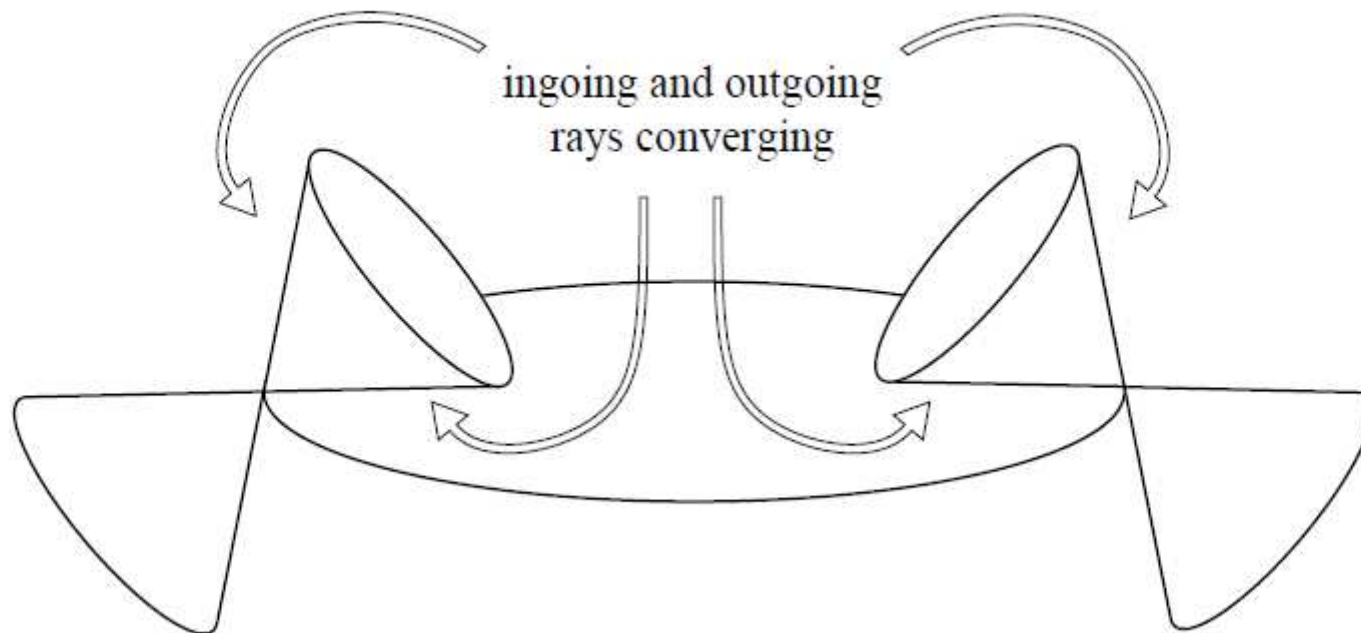
سطوح به دام افتاده

- سطوح فضاگونه دو بعدی که انبساط هر دو دسته ژئودزیک نورگونه متعاند آن منفی است.

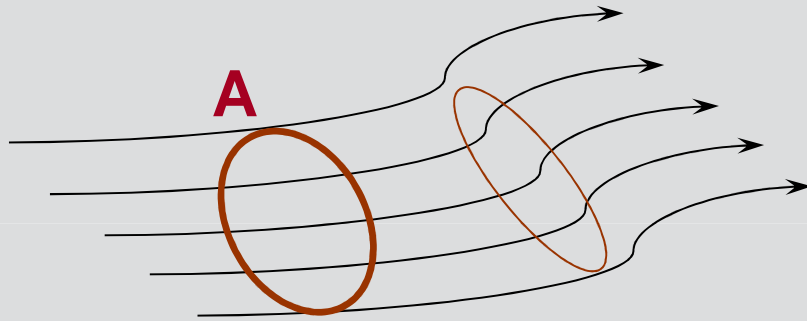




Normal closed 2 surface



نرده ای های اپتیکی



• انبساط



• چرخش



• برش

ناحیه به دام افتاده

ناحیه در برگیرنده سطوح دام افتاده

همایش سیاه چاله‌ها - ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی



سطح دام افتاده حاشیه

- Marginally Trapped Hypersurfaces
 - MOTS
 - OMOTS
 - EMOTS
- سطح به دام افتاده یی که انبساط دسته ژئودزیکهای درون رو آن صفر است!

See G. Ellis

افق ظاهری

مرز ناحیه به دام افتاده را افق ظاهری می نامند

در فضا زمان های ایستا افق ظاهری و افق رویداد یکی می شوند!

افق دینامیکی

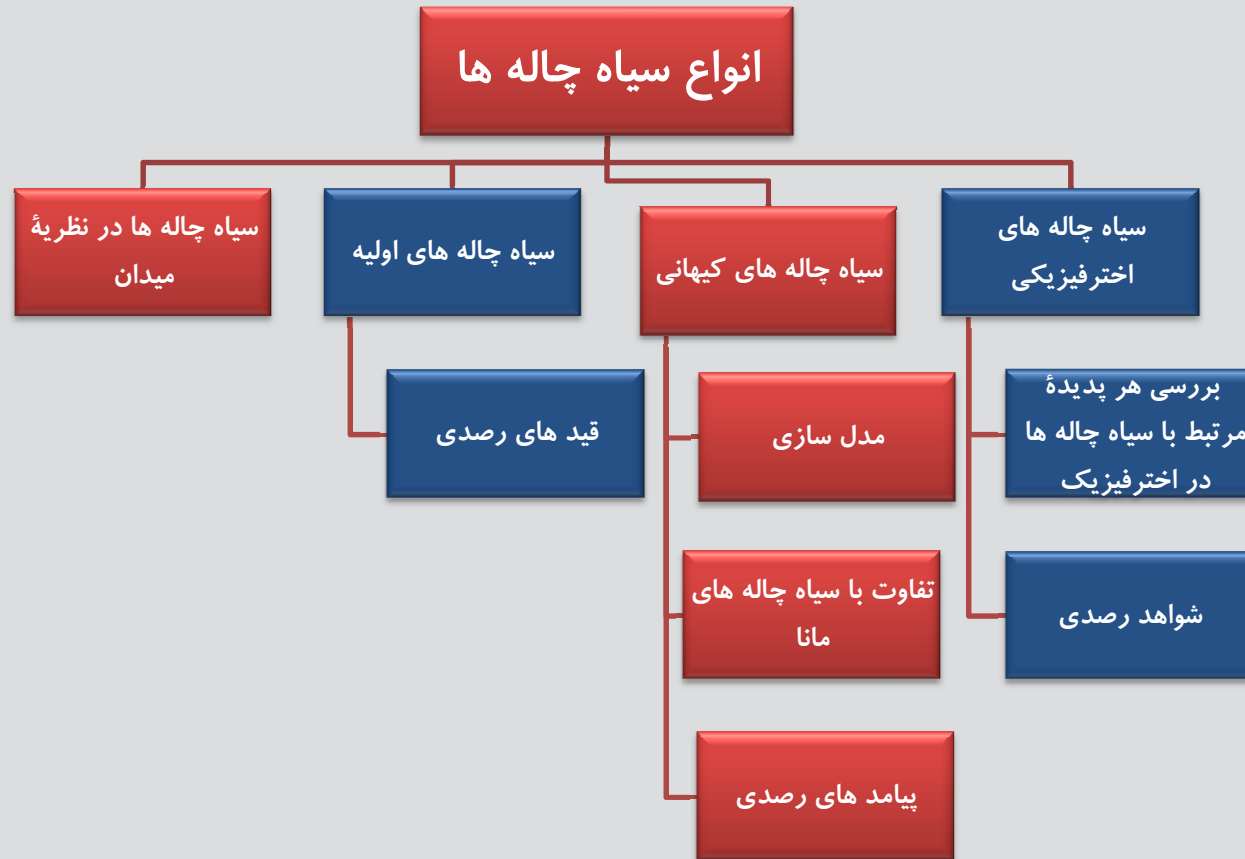
Dynamical Horizons and their properties

Abhay Ashtekar^{1,2,4*} and Badri Krishnan^{1,3,4†}

Definition 1: A smooth, three-dimensional, space-like sub-manifold H in a space-time \mathcal{M} is said to be a *dynamical horizon* if it can be foliated by a family of closed 2-surfaces such that, on each leaf S , the expansion $\Theta_{(\ell)}$ of one null normal ℓ^a vanishes and the expansion $\Theta_{(n)}$ of the other null normal n^a is strictly negative.²

• -arXiv:gr-qc/0308033

انواع سیاه چاله ها



همایش سیاه چاله ها- ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی

موضوع های پژوهشی

The Net Advance in Physics:

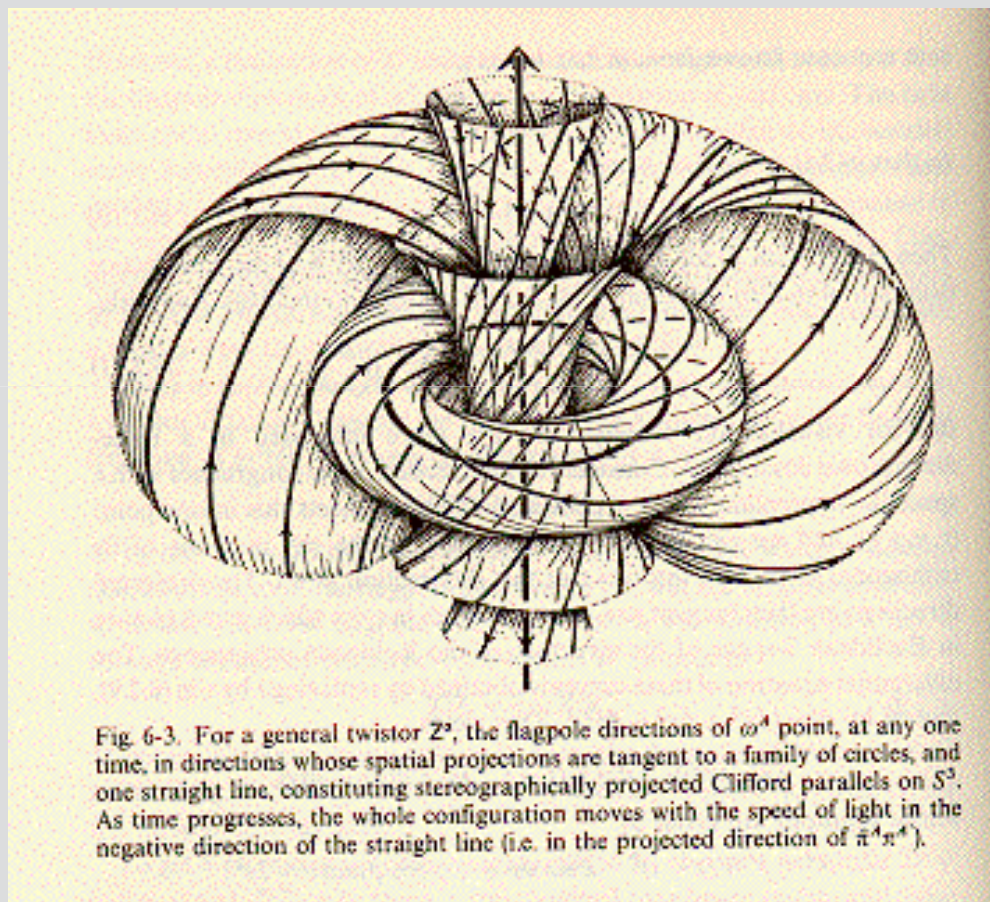
۵۰ عنوان + ۱۵ عنوان در نظریه میدان!

Event Horizon Telescope

A long standing goal in astrophysics is to directly observe the immediate environment of a black hole with angular resolution comparable to the event horizon.

Realizing this goal would open a new window on the study of general relativity in the strong field regime, accretion and outflow processes at the edge of a black hole, the existence of an event horizon, and fundamental black hole physics. Steady long-term progress on improving the capability of Very Long Baseline Interferometry (VLBI) at short wavelengths has now made it extremely likely that this goal will be achieved within the next decade.

The most compelling evidence for this is the recent observation by 1.3 mm VLBI of Schwarzschild radius scale structure in Sgr A*, the compact source of radio, submillimeter, near infrared and X-rays at the center of the Milky Way. Sgr A* is thought to mark the position of a ~4 million solar mass black hole, and because of its proximity and estimated mass presents the largest apparent event horizon size of any black hole candidate in the Universe.



همایش سیاه چاله‌ها - ۱۳ آذر ۱۳۹۲، پژوهشگاه
دانشهای بنیادی