

Российская Академия Наук



ПРОХОДИМЫЙ МОСТ ЭЙНШТЕЙНА-РОЗЕНА ВНУТРИ ЧЕРНЫХ ДЫР

Прокопьев К. Э., Докучаев В. И.

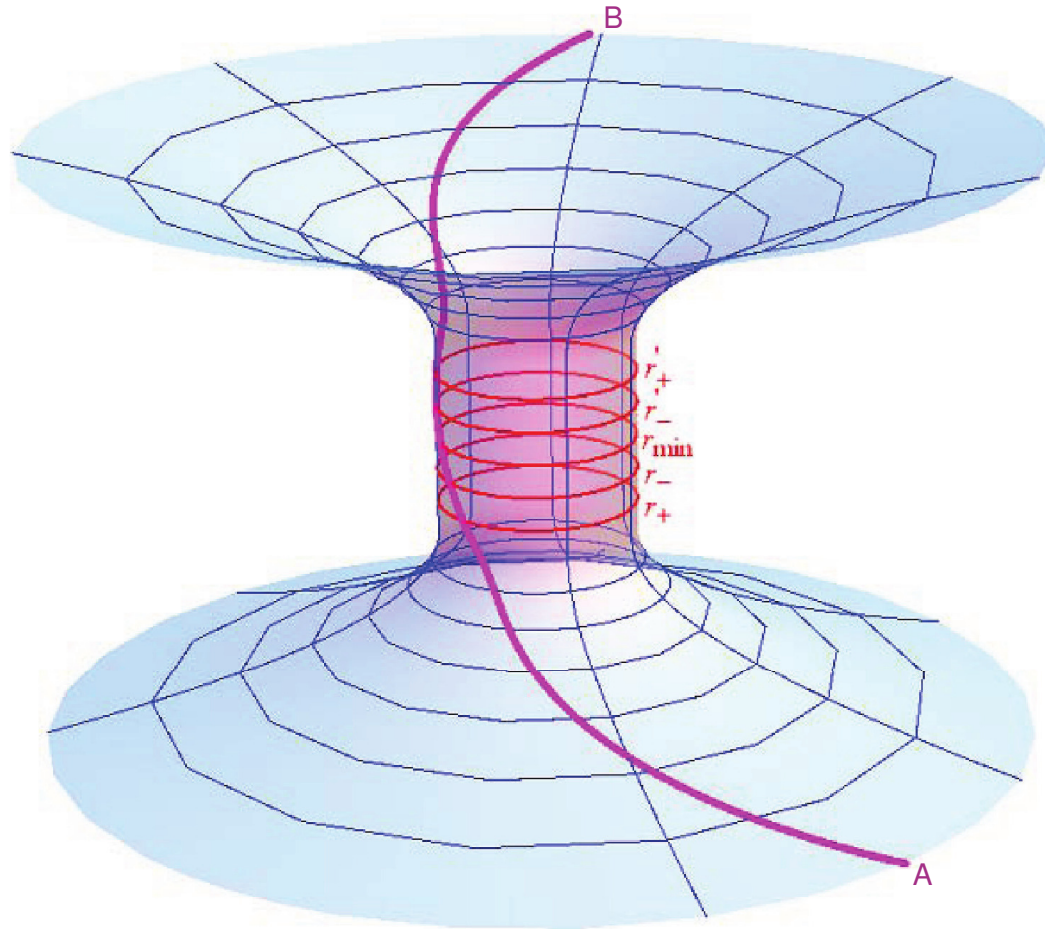
ИЯИ РАН

Научная сессия секции ядерной физики

ОФН РАН 2024

ЛТФ ОИЯИ, г. Дубна 2024

МОСТ ЭЙНШТЕЙНА-РОЗЕНА



Космический корабль стартует из нашей асимптотически плоской вселенной (точка А) и падает под горизонт событий черной дыры.

После того, как корабль пересекает горизонт Коши внутри чёрной дыры, он достигает точки поворота и вылетает наружу, но уже в другую асимптотически плоскую вселенную (точка В).

3D визуализация моста Эйнштейна-Розена внутри черной дыры, соединяющего две асимптотически плоские вселенные

МЕТРИКА КЕРРА-НЬЮМЕНА

$$ds^2 = \frac{\Sigma}{\Delta} [dt - a \sin^2 \theta d\varphi]^2 + \frac{\sin^2 \theta}{\Sigma} [(r^2 + a^2)d\varphi - a dt]^2 + \frac{\Sigma}{\Delta} dr^2 + \Sigma d\theta^2 \quad (1)$$

$$\Delta = r^2 - 2Mr + a^2 + q^2 \quad (2)$$

$$\Sigma = r^2 + a^2 \cos^2 \theta \quad (3)$$

$$r_+ = M + \sqrt{M^2 - a^2 - q^2} \quad (4)$$

$$r_- = M - \sqrt{M^2 - a^2 - q^2} \quad (5)$$

$$\Sigma \frac{dr}{d\tau} = \sqrt{R} \quad (6)$$

$$\Sigma \frac{d\theta}{d\tau} = \sqrt{\Theta} \quad (7)$$

$$\Sigma \frac{d\varphi}{d\tau} = -\left(aE - \frac{L}{\sin^2 \theta}\right) + \frac{a}{\Delta} P \quad (8)$$

$$\Sigma \frac{dt}{d\tau} = -a(aE \sin^2 \theta - L) + (r^2 + a^2) \frac{P}{\Delta} \quad (9)$$

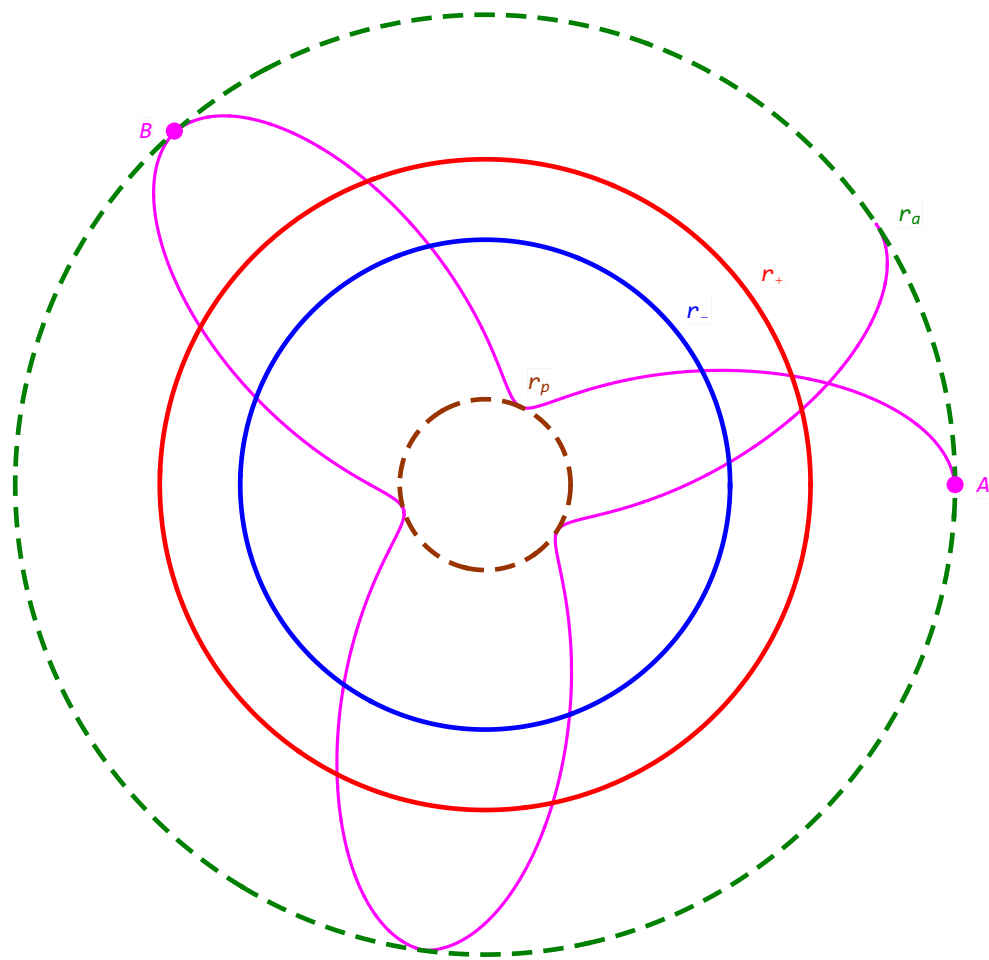
$$P = E(r^2 + a^2) - aL + \epsilon q r \quad (10)$$

$$R(r) = P^2 - \Delta[\mu^2 r^2 + (L - aE)^2 + Q] \quad (11)$$

$$\Theta(\theta) = Q - \cos^2 \theta \left[a^2(\mu^2 - E^2) + \frac{L^2}{\sin^2 \theta} \right] \quad (12)$$

$$r_{es}(\theta) = 1 + \sqrt{1 - q^2 - a^2 \cos^2 \theta} \quad (13)$$

2D ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА ЧЕРНОЙ ДЫРЫ



Розовые кривые – траектории космического корабля, падающего в черную дыру Рейсснера-Нордстрёма, вычисленные численно.

Красная окружность – горизонт событий черной дыры. Синяя окружность – горизонт Коши внутри черной дыры.

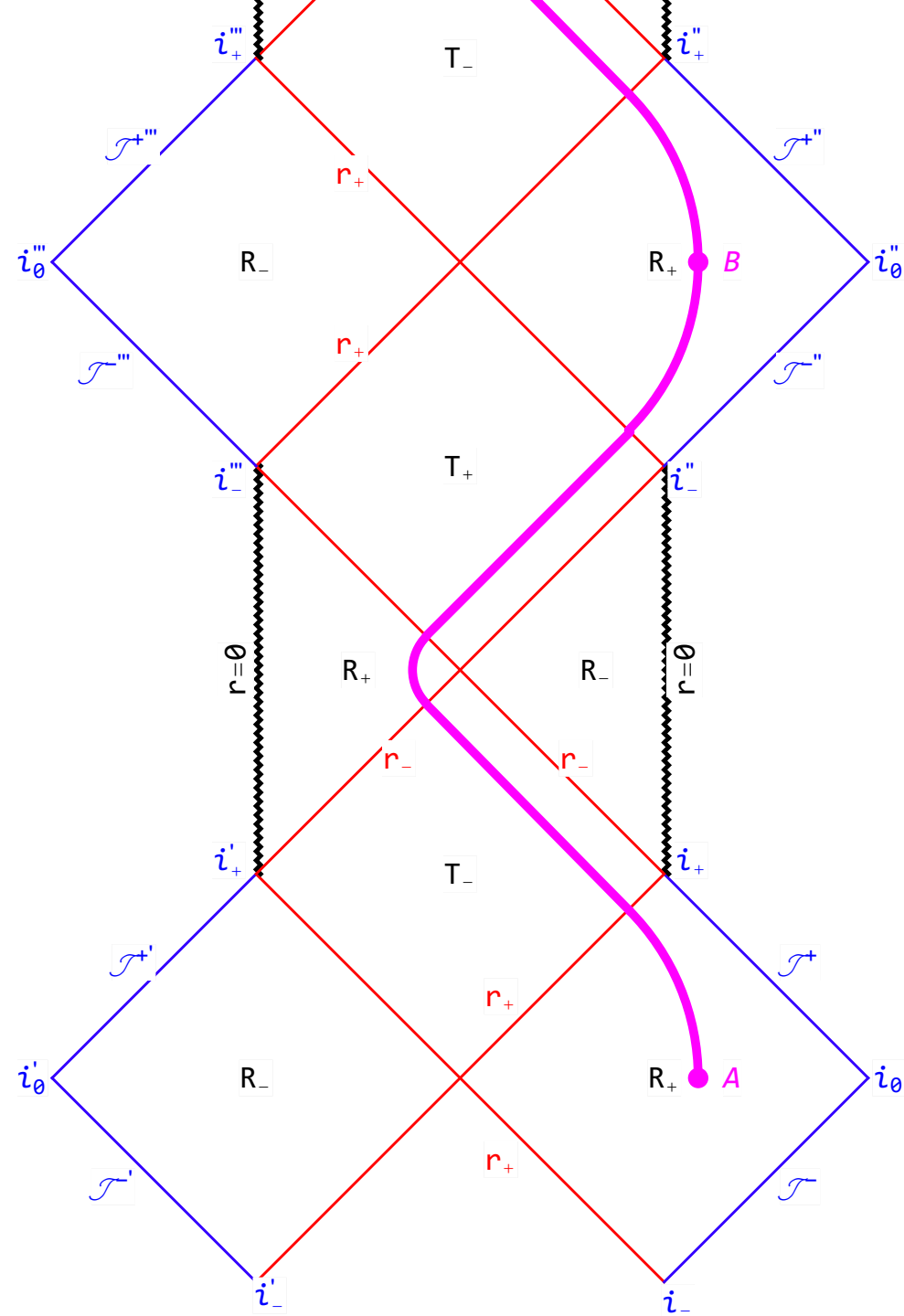
Пунктирные окружности – точки поворота.

Можно видеть, что после выхода из черной дыры корабль возвращается на тот же радиус и может далее продолжить движение по схожей траектории.

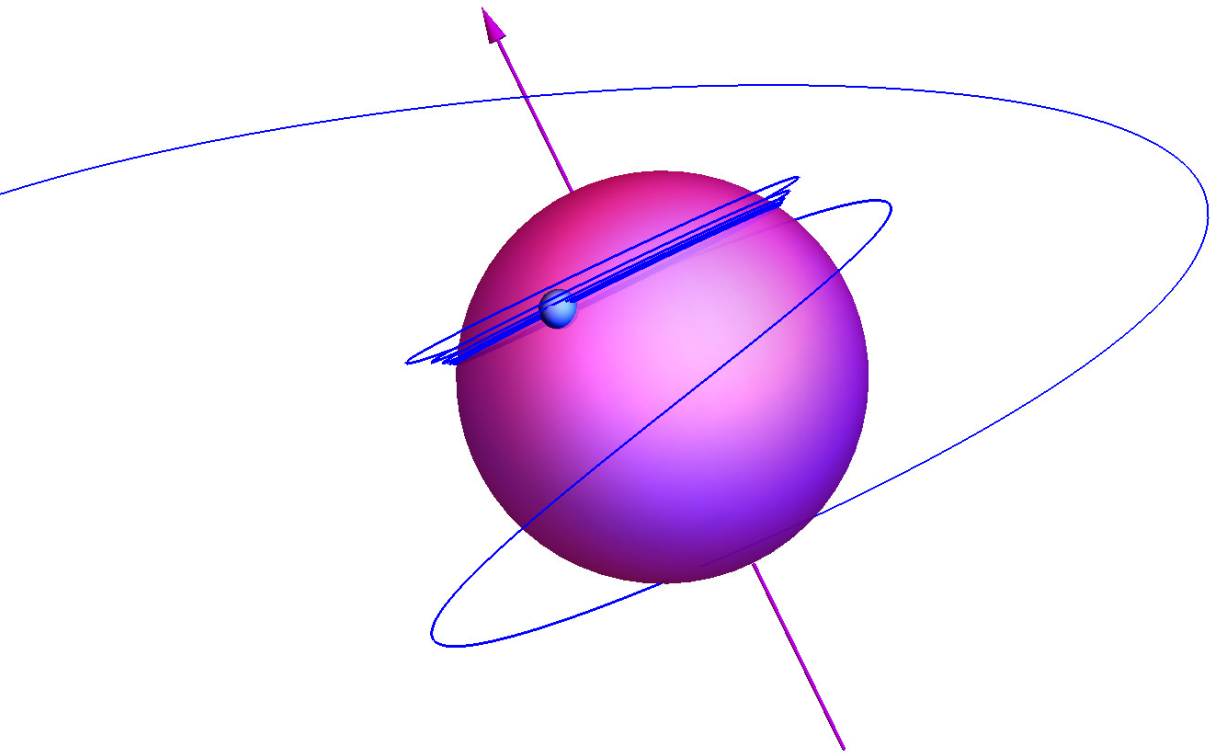
ДИАГРАММА КАРТЕРА-ПЕНРОУЗА

На диаграмме Картера-Пенроуза видно, что движение корабля направлено в область пространства-времени, не связанную с исходной вселенной.

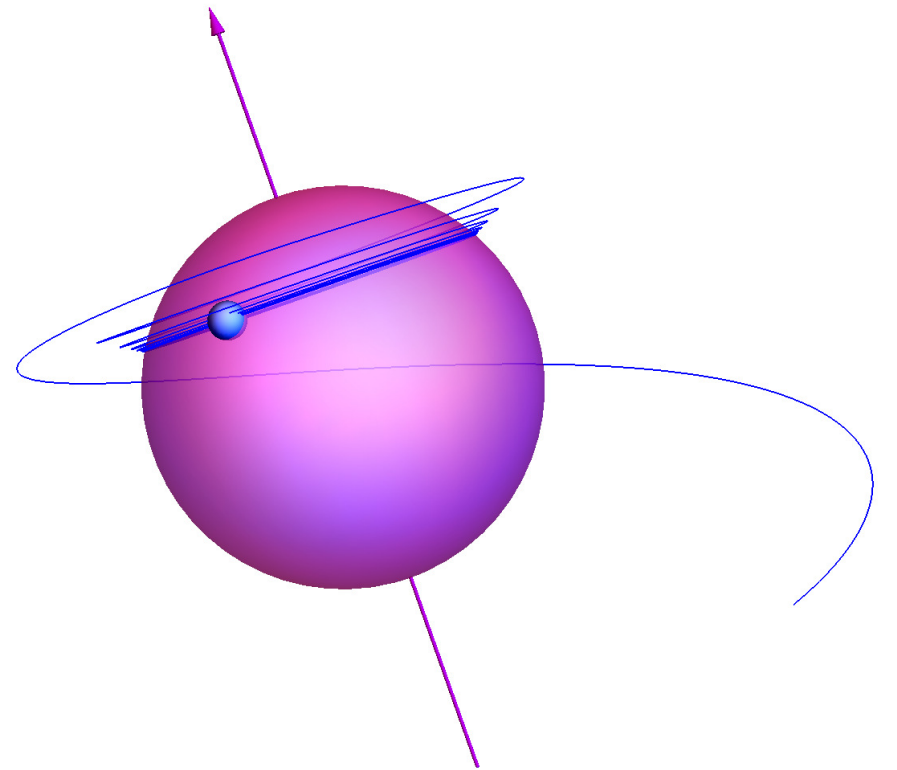
Эта область, находящаяся внутри черной дыры – другая вселенная, которая так же является асимптотически плоской вдали от горизонта черной дыры.



СИММЕТРИИ И АСИММЕТРИИ ТРАЕКТОРИЙ ПРОБНЫХ «ПЛАНЕТ»

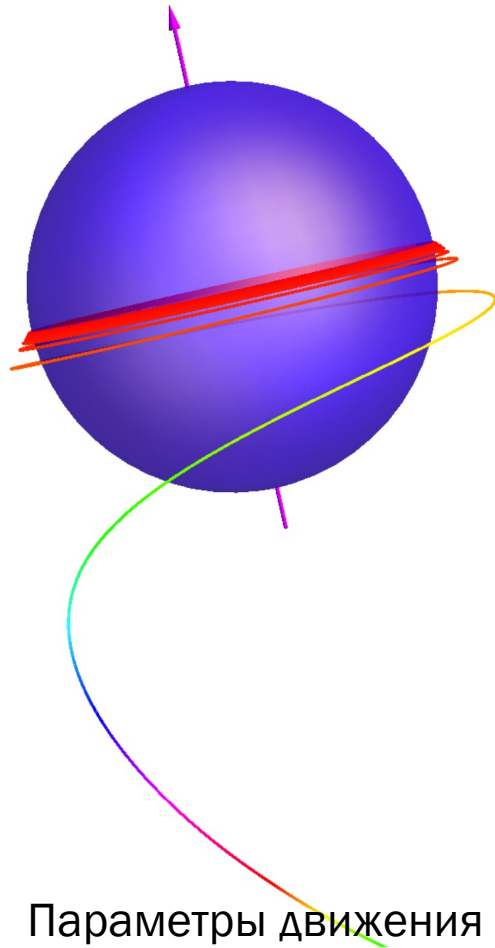


Параметры движения
 $\gamma = 0.85$, $\lambda = 1.7$ and $Q = 1$



Параметры движения
 $\gamma = 0.85$, $\lambda = 1.7$ and $Q = 1$

СИММЕТРИИ И АСИММЕТРИИ ТРАЕКТОРИЙ ПРОБНЫХ ФОТОНОВ



Параметры движения
 $\lambda = -1.493$ and $Q = 12.99$



Параметры движения
 $\lambda = 2$ and $Q = 1$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

- Сделано обобщение понятия моста Эйнштейна-Розена, определенное как пространственно-подобная связь между двумя вселенными с асимптотически минковскими областями пространства-времени в пределе больших расстояний от горизонтов.
- Соответствующие свойства симметрии и асимметрии обобщенного моста Эйнштейна-Розена рассматриваются на примерах метрик Рейсснера-Нордстрёма и Керра.
- На примере диаграмм Картера-Пенроуза демонстрируются свойства симметрии и асимметрии при движении пробного тела, например, космического корабля, сквозь множество различных вселенных внутри черной дыры.
- Важно отметить, что проходимый (хотя и только в одну сторону) мост Эйнштейна-Розена существует только в случае или вращающихся черных дыр Керра ($a \neq 0$), или электрически заряженных черных дыр Рейсснера-Нордстрёма ($q \neq 0$). Внутри черной дыры Шварцшильда он вовсе отсутствует.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!