

Методы исследования черных дыр

Егор Горяной

24 сентября 2022 г.

Черная дыра

Черная дыра - астрономический объект с настолько сильной гравитацией, что ничего, включая кванты света, не может покинуть её. Граница этой области называется горизонтом событий.



Рис.: Сверхмассивная черная дыра в центре галактики M87

Уравнения Эйнштейна

$$R_{\mu\nu} - \frac{R}{2}g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

- ▶ $R_{\mu\nu}$ - тензор кривизны Риччи
- ▶ R - скалярная кривизна ($R = g^{\mu\nu}R_{\mu\nu}$)
- ▶ $g_{\mu\nu}$ - метрический тензор
- ▶ $T_{\mu\nu}$ - тензор энергии-импульса
- ▶ Λ - космологическая постоянная

Решение Шварцшильда

$$T_{\mu\nu} = 0, \quad \Lambda = 0, \quad r_s = \frac{2GM}{c^2}$$

$$g = \begin{pmatrix} (1 - \frac{r_s}{r}) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -(1 - \frac{r_s}{r})^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -r^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -r^2 \sin^2 \theta \end{pmatrix}$$

$$ds^2 = (1 - \frac{r_s}{r})c^2 dt^2 - \frac{dr^2}{(1 - \frac{r_s}{r})} - r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2)$$

Более подробные математические выкладки

Гравитационное линзирование

$$L_0 = [\sqrt{r(r - r_s)} + r_s \ln(\sqrt{r} + \sqrt{r - r_s})] \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

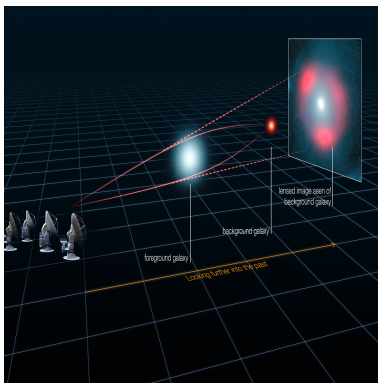
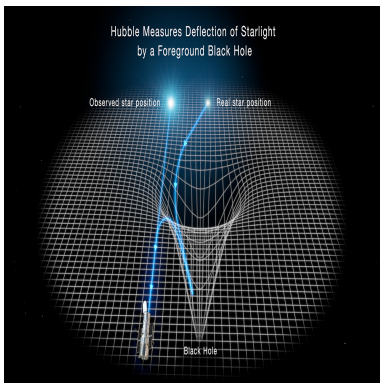


Рис.: Геометрия гравитационной линзы



Рис.: Слева: фотография, сделанная телескопом "Хаббл"
Справа: иллюстрация гравитационного линзирования черной дыры

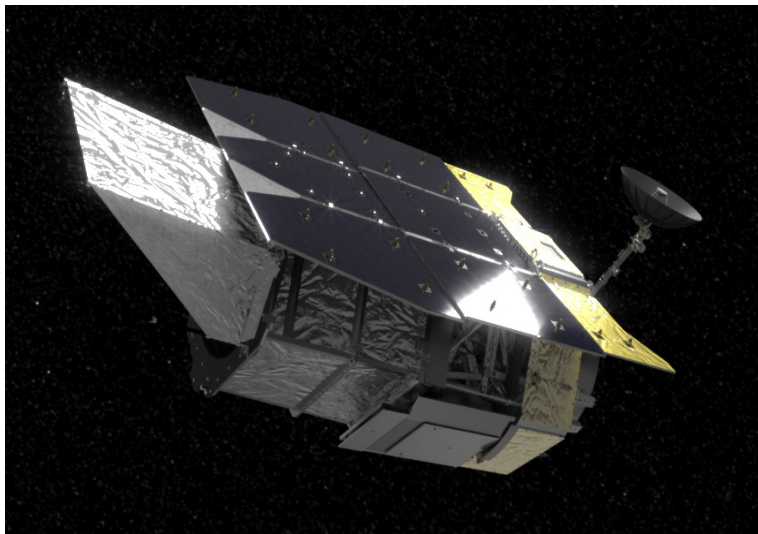


Рис.: Nancy Grace Roman Space Telescope

Аккреционный диск и излучение

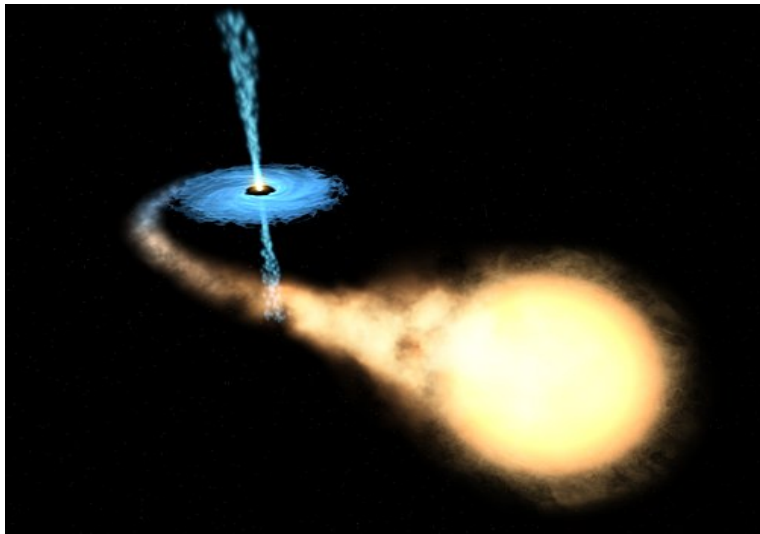
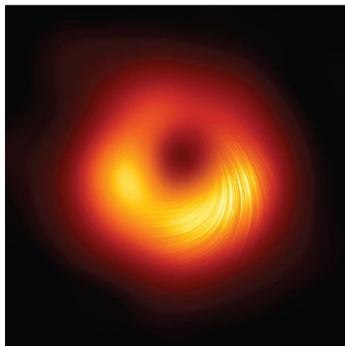


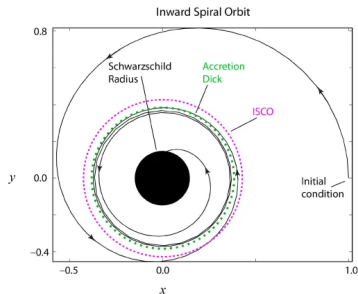
Рис.: Аккреционный диск

Аккреционный диск и излучение

Black Hole Accretion Disk



Event Horizon Telescope M87



$$\Phi_{\text{eff}}(r) = -\frac{GmM}{r} + \frac{1}{2} \frac{l^2}{mr^2} - \frac{R_s}{2} \frac{l^2}{mr^3}$$

Рис.: Эффективный потенциал вблизи черной дыры

Джет черной дыры



Рис.: Иллюстрация джета

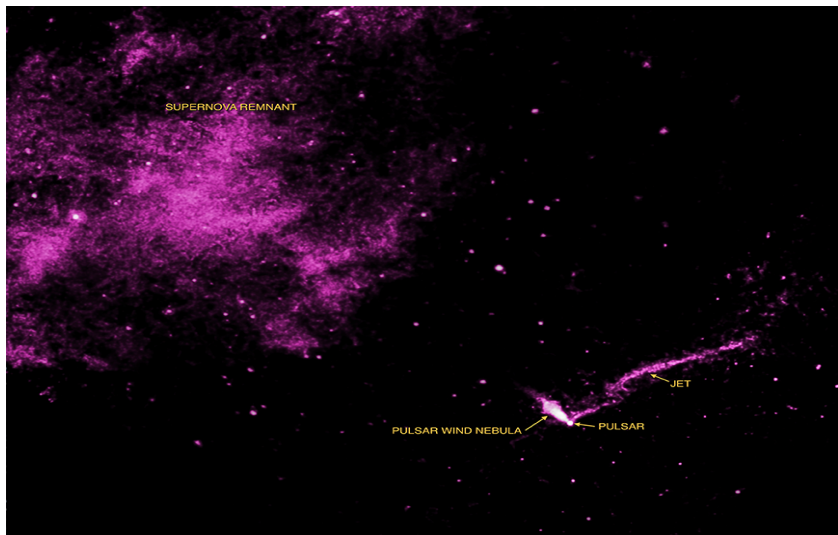


Рис.: Пульсар IGR J11014-6103

Слияние двух черных дыр

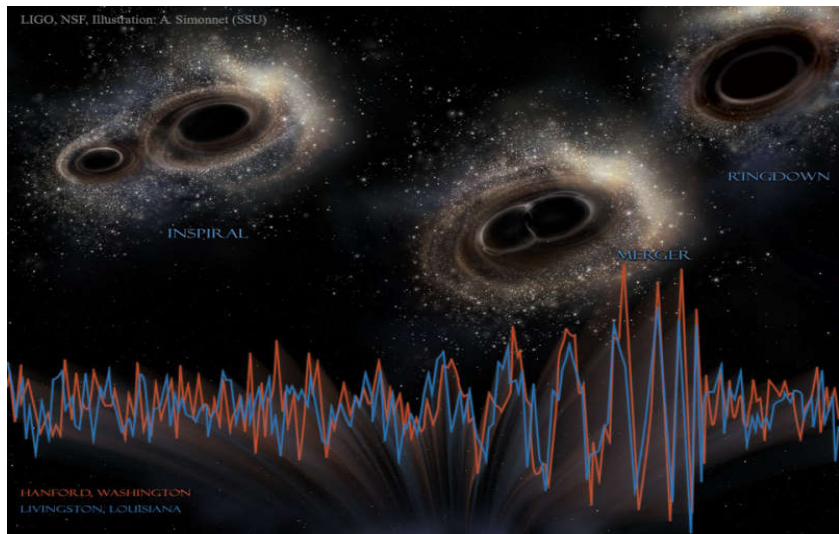


Рис.: Гравитационные волны при слиянии черных дыр

Спасибо за внимание!