

# Частицы с отрицательной энергией в эргосфере чёрных дыр

Выполнил: магистрант факультета физики, Демин А. Г.

Научный руководитель: д. ф.м. н., профессор, Гриб А.А.



# История

- 1783 г. – «тёмная звезда» Джона Мичелла

$$r_g = \frac{2GM}{c^2}$$

- 1916 г. – метрика Шварцшильда
- 1939 г. – Оппенгеймер и Снайдер
- 1963 г. – метрика Керра
- 1967 г. – «Черная дыра» Уиллера
- 1971 г. – процесс Пенроуза
- 1974 г. – излучение Хокинга

# Обнаружение чёрных дыр

- 1. Компактность одного из компонентов двойной системы
- 2. Масса компактного объекта превышает предел Оппенгеймера-Волкова

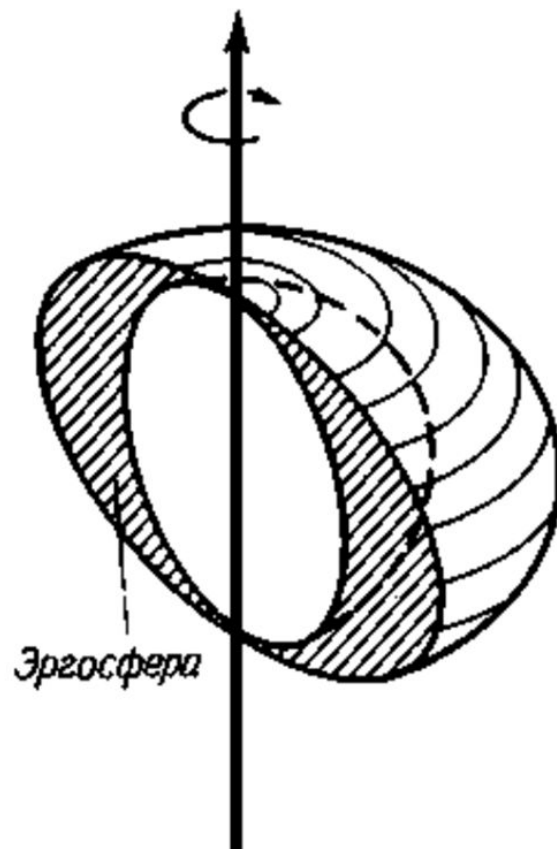
Система	Спектральный тип оптического компаньона	Орбитальный период, сут	Масса компактного компаньона в $M_{\odot}$	Масса оптического компаньона в $M_{\odot}$	Рентгеновская светимость, эрг $\text{с}^{-1}$
Cyg X-1 (V 1357 Cyg)	O9.7Iab	5,6	7–18	20–30	$\sim 8 \times 10^{37}$
LMC X-3	B(3–6)II–III	1,7	7–11	3–6	$\sim 4 \times 10^{38}$
LMC X-1	O(7–9)III	4,2	4–10	18–25	$\sim 2 \times 10^{38}$
A0620-00 (V616 Mon)	K(5–7)V	0,3	5–17	$\sim 0,7$	$\leq 10^{38}$
GS 2023+338 (V404 Cyg)	K0IV	6,5	10–15	0,5–1,0	$\leq 6 \times 10^{38}$
GRS 1121-68 (XN Mus 1991)	K(3–5)V	0,4	9–16	0,7–0,8	$\leq 10^{38}$
GS 2000+25 (QZ Vul)	K(3–7)V	0,3	5,3–8,2	$\sim 0,7$	$\leq 10^{38}$
GRO J0422+32 (XN Per 1992 = V518 Per)	M(0–4)V	0,2	2,5–5,0	$\sim 0,4$	$\leq 10^{38}$
GRO J1655-40 (XN Sco 1994)	F5IV	2,6	4–6	$\sim 2,3$	$\leq 10^{38}$
XN Oph 1977	K3	0,7	5–7	$\sim 0,8$	$\leq 10^{38}$

# Чёрная дыра Керра

$$ds^2 = \left(1 - \frac{r_g}{r}\right) c^2 dt^2 - \left(1 - \frac{r_g}{r}\right)^{-1} dr^2 - r^2 (\sin^2 \theta d\varphi + d\theta^2) + \frac{4G\tilde{M}}{c^3 r} \sin^2 \theta dt d\varphi$$

$$a = \frac{\tilde{M}}{cM} \quad - \text{приведённый угловой момент}$$

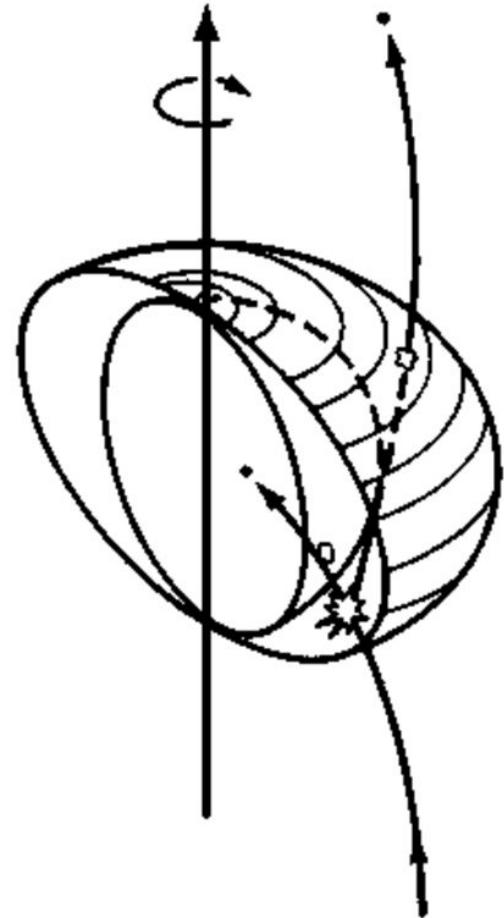
$$a \leq M \quad - \text{условие существования горизонта событий}$$



# Процесс Пенроуза

Энергия, которая может быть извлечена из вращающейся чёрной дыры посредством процесса Пенроуза

$$E_{rot} = Mc^2 \left[ 1 - \sqrt{\frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{4a^2}{r_g^2}} \right)} \right]$$



# Какова плотность излучения отрицательной энергии?

- Чёрная дыра Шварцшильда

$$\frac{dE}{dt dS} = \frac{\hbar \omega^3}{4\pi^2 c^2} \left( e^{\frac{\hbar \omega}{kT}} \mp 1 \right)^{-1} d\omega$$

$$T = \frac{\hbar c^3}{8\pi kGM}$$

- Чёрная дыра Керра

$$\frac{dE}{dt dS} = \frac{\hbar \omega^3}{4\pi^2 c^2} \left( e^{\frac{\hbar(\omega - m\Omega)}{kT}} \mp 1 \right)^{-1} d\omega \quad \mathbf{T = ???}$$

**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!**

