

# Ограничения на природу центрального сверхмассивного объекта нашей Галактики

Лобков Дмитрий Сергеевич, 204 группа

МГУ им.М.В.Ломоносова, Физический факультет, кафедра физики частиц и космологии

13 мая 2021 г.

Научный руководитель:  
доктор физ.-мат. наук, член-корр. РАН, г.н.с. ОТФ ИЯИ РАН  
Троицкий Сергей Вадимович

- Стрелец A\* - компактный радиоисточник, находящийся в центре Млечного Пути, на расстоянии 26000 световых лет от Солнечной системы.
- Точно не ясна природа SgrA\*, существуют аргументы «за» и «против» того, что это может быть СМЧД.

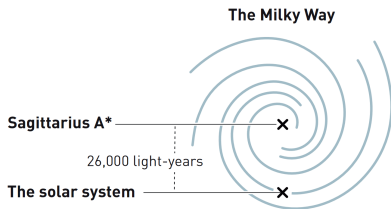


Рис.: Млечный путь, вид сверху. Источник: nobelprize.org

- По наблюдению (в течении 18 лет) положения SgrA\* относительно двух фоновых источников (J1745–2820, J1748–2907) были оценены: «внеплоскостная» компонента скорости, ускорение, отклонение от центра масс системы радиоисточника.
- **Особый** интерес представляет *оценка массы центрального объекта по параметрам орбит ближайших звёзд, а также оценка на массу радиоисточника с учётом ограничений на его движение.*

# Оценка массы центрального объекта

По движению звёзд и параметрам их орбит, было заключено, что масса центрального объекта примерно равна:

$$M \approx 4 \times 10^6 M_{\odot}$$

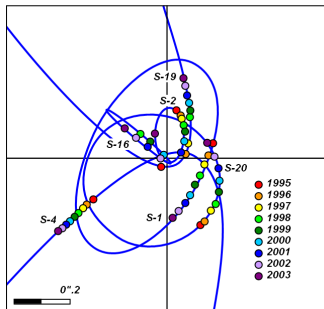


Рис.: Траектории звезд, ближайших к центру Галактики. Источник: wikipedia

## Какая доля приходится на радиоисточник..?

- Reid, Brunthaler (2004) приводят вывод формулы для оценки среднего квадрата скорости движения радиоисточника и получают первую оценку на его массу:

$$M_{\star} > 0.4 \times 10^6 M_{\odot}$$

- 2020: моделирование движения  $10^6 - 10^7$  звезд вокруг центрального объекта даёт новую оценку:

$$M_{\star} > 1 \times 10^6 M_{\odot}$$

Принципиальное отличие модели: «unseen mass» "размазана" в пространстве, не имеет четких границ. Её большая часть сосредоточена в центре.

**Цель:** ограничить массу радиоисточника в новой модели центр.объекта

- 1 Шар из темной материи (поэтому возможно движение радиоисточника внутри шара).
- 2 Шар имеет четкие границы, постоянную плотность.
- 3 Радиоисточник движется все время внутри шара.
- 4 В начальный момент времени  $t_0 = 0$  радиоисточник находится в начале координат - центре тяжелого шара.

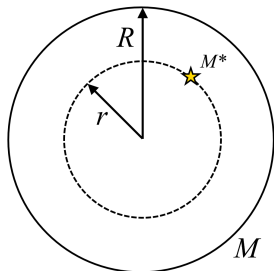


Рис.: Движение точечной массы внутри шара

По т.Гаусса:

$$\oint_S \vec{g} \cdot d\vec{S} = -4\pi GM \Rightarrow g(r) = \frac{GM}{R^3} r$$

# Движение внутри шара

Найдем силу и потенциальную энергию:

$$F(r) = M_* g(r) = \frac{GMM_*}{R^3} r = -\frac{\partial U}{\partial r},$$

откуда можем найти:

$$U(r) = -\frac{GMM_* r^2}{2R^3} = -\frac{kr^2}{2}.$$

Функция Лагранжа:

$$\mathcal{L} = \frac{m}{2} (\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) - \frac{1}{2} k (x^2 + y^2 + z^2).$$

Уравнение колебания по оси  $x$ :

$$x(t) = a \cos(\omega t + \alpha) = a \cos \varphi$$

Уравнение колебания по оси  $y$ :

$$y(t) = b \cos(\omega t + \beta) = b \cos(\varphi + \delta)$$



# Движение внутри шара

Получаем уравнение:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{2xy}{ab} \cos \delta = \sin^2 \delta,$$

это эллипс с центром в начале координат.

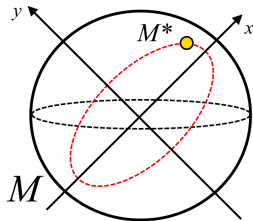


Рис.: Движение по эллиптической траектории

$U \sim r^2$ , ожидаем отлеты на меньшие расстояния, как следствие  
— ослабление ограничений на массу радиоисточника

# Движение радиоисточника с учетом ближайших звезд

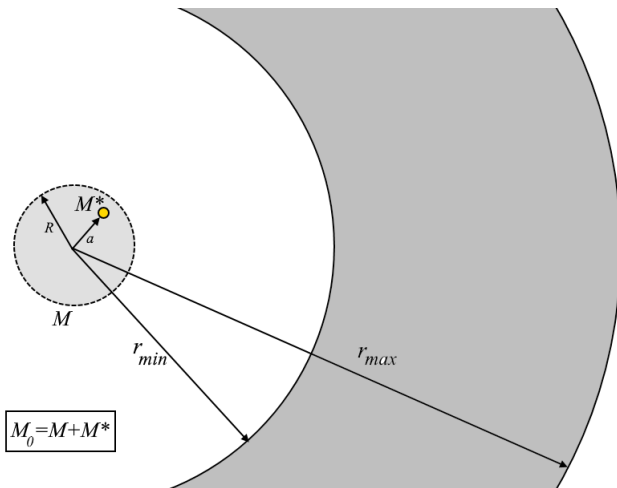


Рис.: Движение точечной массы внутри шара с добавлением равномерного распределения звездной массы

В силу консервативности системы:

$$M_* \vec{V} + \sum_i m_i \vec{v}_i = 0, \quad (1)$$

возведем в квадрат и возьмем среднее:

$$M_*^2 \langle V^2 \rangle = \sum_i \langle m_i^2 v_i^2 \rangle. \quad (2)$$

Для простоты возьмем единственную характеристическую звездную массу  $m$  и заменим суммирование в уравнении (4) интегралом:

$$\sum_i \langle m_i^2 v_i^2 \rangle = m^2 \int_r v^2(r) \left( \frac{dN}{dr} \right) dr, \quad (3)$$

# Движение радиоисточника с учетом ближайших звезд

Учитывая, что предполагается:  $\rho(r) = \rho_0(r/r_0)^{-\alpha}$ , находим:

$$v^2(r) = \frac{GM(r)}{r} = \frac{G}{r} \cdot \left( M_0 + \int_0^r \rho(r) 4\pi r^2 dr \right), \quad (4)$$

а также:

$$\left( \frac{dN}{dr} \right) dr = \frac{\rho}{m} 4\pi r^2 dr = N_0 \left( \frac{r}{r_0} \right)^{2-\alpha} d \left( \frac{r}{r_0} \right). \quad (5)$$

Подставим (4),(5) в интеграл, а также отыскав среднее квадрата скорости (анализ колебательных уравнений), получаем итоговую формулу:

$$\boxed{\frac{MM_*^2 a^2}{2R^3} = m^2 N_0 \left[ (M + M_*) \cdot \frac{r^{2-\alpha}}{2-\alpha} + \frac{4\pi\rho_0 r_0^\alpha}{3-\alpha} \cdot \frac{r^{5-\alpha}}{5-\alpha} \right]_{r_{min}}^{r_{max}}}, \quad (6)$$

**Цель:** ограничить массу радиоисточника в зависимости от параметра  $R$

Принимая амплитуду  $a = 4$  а.е и посчитав  $R_s(M)$ , заключаем, что  $50R_s \leq R \leq 1500R_s$  (см.[1,2]) и взяв распределение  $\rho(r)$  (см.[3]) получаем:

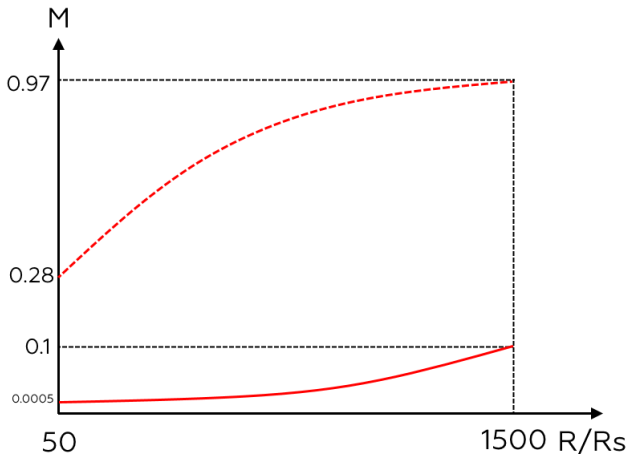
$R = 50R_s$	$M \geq 2500M_\odot$
$R = 1500R_s$	$M \geq 400000M_\odot$




**Как и предполагалось ранее, ограничения на массу источника ослабли!!!**

# Результаты расчетов

Ограничивающая скорость:

$$V < V_{max} = a\omega \Rightarrow M_{\star} \leq M_0 - \frac{1}{n} \frac{c^2 a}{\sqrt{8G}}.$$



-  M. J. Reid, A. Brunthaler. *The Proper Motion of Sgr A\*: II. The Mass of Sgr A\**, 2004//arXiv:astro-ph/0408107v1
-  S.V.Troitsky. *Supermassive dark-matter Q-balls in galactic centers?*, 2016//arXiv:1510.07132v2
-  M. J. Reid, A. Brunthaler. *The Proper Motion of Sagittarius A\*: III. The Case for a Supermassive Black Hole*, 2020//arXiv:2001.04386