



Часть А. Модификация ньютоновской динамики

Зависимость орбитальной скорости звёзд и газа в галактике от расстояния до центра галактики называется ротационной кривой галактики. В соответствии с ньютоновской динамикой скорость должна падать по мере удаления от центра галактики (рис. 1А), считая что большая часть массы галактики находится в её центре. Однако оказывается, что фактически скорость является практически постоянной функцией от радиуса (рис. 1В). Одно из решений данного несоответствия может быть получено путем модификации ньютоновской динамики следующим образом.

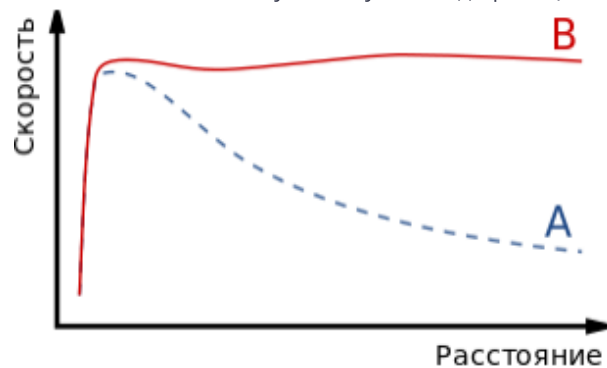


Рис. 1.

Ускорение за счет силы тяжести зависит не просто от массы m , а от $m \cdot \mu\left(\frac{a}{a_0}\right)$, где $\mu(x)$ – некоторая функция, величина которой стремится к единице для больших аргументов ($x \gg 1$), и к x для малых аргументов (x немного меньше 1), a – ускорение, обусловленное силой тяжести, a_0 является константой. Таким образом, 2 закон Ньютона приобретает вид: $F = m \cdot \mu\left(\frac{a}{a_0}\right) a$.

Центростремительное ускорение звёзд газовых облаков на окраине спиральных галактик, как правильно, будет меньше a_0 .

График реально измеренной ротационной кривой Млечного Пути приведён на рисунке 2.

1 kpc = килопарсек, 1 парсек = $3 \cdot 10^{16}$ м.

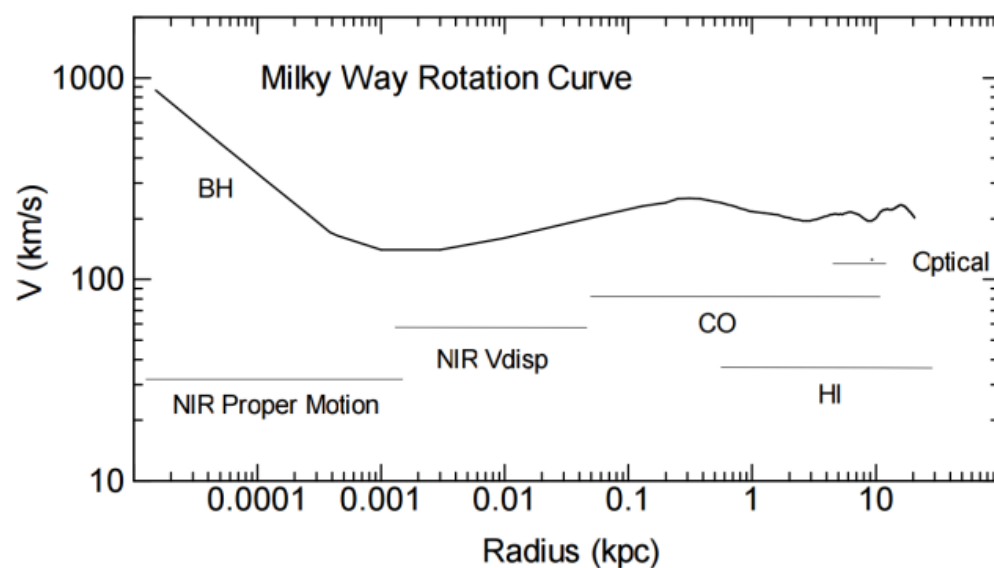


Рис. 2.

- A1^{0.50} Как зависит орбитальная скорость вращения от расстояния до ядра галактики в случае обычной ньютоновской динамики? Считайте, что масса галактики сосредоточена в ее ядре.
- A2^{1.00} Пусть в реальности орбитальная скорость вращения
- A3^{1.00} Используя участок кривой на графике $r < 1$ парсек, оцените массу ядра Млечного Пути, считая, что ньютоновская динамика работает вблизи ядра при расстояниях до ядра галактики $r < 1$ парсек. Считать, что основной вклад в тяготение вносится только массой в ядре.
- A4^{1.00} С учетом модифицированной ньютоновской динамики, описанной выше, докажите, что на больших расстояниях от ядра галактики, где ускорение за счет силы тяжести мало, орбитальная скорость не зависит от расстояния до центра и равна константе. Пусть эта скорость вдали равна v_∞ . Как связаны константы a_0 и v_∞ ? Используя график оцените v_∞ .
- A5^{0.50} Оцените значение константы a_0 исходя из данных графика и считая, что в реальности масса всего Млечного Пути в $k = 10^6$ раз больше массы ядра.

Часть В. Приливные силы

- B1^{3.00} Известно, что мощность действующих на Землю приливных сил трения, обусловленных обращением Луны вокруг неё, составляет $N \approx 10^{12}$ Вт. Оцените по порядку величины приращение длительности земных суток ΔT_3 и лунного месяца ΔT_L за время $\tau = 100$ млн. лет. Средний радиус орбиты Луны $R = 4 \cdot 10^5$ км, масса Луны $m_L = 10^{22}$ кг, период обращения $T_L = 27,3$ сут, момент инерции Земли $I = 8 \cdot 10^{37}$ кг $\cdot$ м². Орбитальное движение Луны сонаправлено с вращением Земли вокруг своей оси.

Часть С. Релятивистские процессы

- C1^{1.00} Релятивистский π^0 -мезон распался на два гамма-кванта с энергиями $E_1 = 81$ МэВ и $E_2 = 450$ МэВ. Найдите угол φ между направлениями разлёта гамма-квантов. Масса π^0 -мезона 135 МэВ.
- C2^{2.00} Позитрон с энергией ($\gamma = 3$) сталкивается с покоящимся электроном. Образовавшиеся гамма-кванты разлетаются симметрично относительно направления позитрона. Найдите угол φ между направлениями разлёта гамма-квантов.

 [Website in English](#)

2020 — Мы те, кого должны превзойти.