

Млечный Путь – кривая вращения как твердого тела

Путенихин П.В.
m55@mail.ru

Аннотация

Принято считать, что кривая вращения звёзд Млечного Пути под влиянием темной материи имеет вид, отличающийся от кеплеровского. Однако, гипотеза о темной материи не устраняет противоречий наблюдаемой кривой вращения. С наблюдаемой кривой вращения рукава галактики не могут иметь такой формы.

Если рассмотреть имеющиеся данные о вращении галактики Млечный Путь, то можно обнаружить странное обстоятельство. Если бы галактика двигалась с такой кривой вращения, то всего два оборота назад – около 600 млн. лет – её рукава были «закручены» в обратную сторону. И, напротив, в течение следующих нескольких оборотов она должна полностью лишиться рукавов, которые туго свернутся, равномерно заполняя весь её диск. Учитывая, что возраст галактики предполагается порядка десятка миллиардов лет, её прошлое выглядит ещё более загадочно – возникновение рукавов невозможно объяснить по чисто кинематическим противоречиям.

Казалось бы, темная материя позволила привести в соответствие теорию и наблюдения, отклонение обнаруженных астрономами кривых вращения звёзд и галактик от кеплеровских. Однако, гипотеза о темной материи не устраняет противоречий самих наблюдаемых кривых вращения. Независимо от причин формирования таких кривых, они парадоксальны сами по себе. Например, анализ движения галактики Млечный Путь с такой кривой вращения, сформированной под влиянием темной материи, приводит к парадоксальным выводам. Примерно один-два оборота назад внешней структуры галактики рукава галактики были закручены в обратном направлении. А ещё ранее рукава вообще были плотно закручены в сплошной диск. Такая же картина будет и в пределах следующего оборота галактики: рукава сольются в один сплошной диск. И всё это следует из одного лишь обстоятельства – наблюдаемой кривой вращения. Её невозможно отбросить из рассмотрения, она формирует движение звёзд и в прошлом и в будущем.

Возможно, причина парадокса в том, что измеренная кривая вращения нестабильна и отражает лишь нынешнее, кратковременное состояние галактики, что она явно не указывает на её историю и будущее. Измеренные скорости звёзд соответствуют текущему моменту времени и, видимо, мало что говорят о своих прошлых или будущих значениях. Возможно, говорить о динамике их движения можно лишь с определённой степенью достоверности. А иначе, законы механики дают этот закономерный логический результат.

Исходя из формы кривой вращения галактики Млечный Путь можно утверждать, что она не может двигаться как твердое тело, сохраняя однажды сформированную закрученность рукавов. Действительно, если скорости ближней к центру галактики и удалённой от него равны, то их угловые скорости явно разные. Это означает, что за полный оборот вокруг центра удалённой звезды, ближняя к нему должна совершить большее число оборотов! Галактика должна либо закручивать рукава, либо распрямлять их. Для того чтобы галактика сохраняла свою форму на достаточно

длительном промежутке времени, кривая вращения должна иметь более крутой подъем. То есть, звёзды на окраине галактики должны двигаться с ещё большей скоростью, чем это допускает темная материя. Либо ближние к её центру – с существенно меньшей скоростью.

Рассчитаем форму кривой вращения галактики Млечный Путь, с которой она сохранит свою форму хотя бы за два-три оборота. Для вычислений удобно воспользоваться аналитическими выражениями для формы рукавов галактики. Опуская промежуточные выкладки, приведём эмпирически найденные уравнения рукавов галактики в полярных координатах:

$$\begin{aligned}
 \text{Рукав Щита-Центавра:} \quad R &= 0,7812\varphi^2 + 9,0328\varphi + 37,739 \\
 \text{Рукав Лебедя:} \quad R &= 0,8326\varphi^2 + 5,1622\varphi + 23,540 \\
 \text{Рукав Персея:} \quad R &= 1,2434\varphi^2 + 0,7542\varphi + 20,068 \\
 \text{Рукав Стрельца:} \quad R &= 0,9772\varphi^2 - 0,8418\varphi + 16,568
 \end{aligned} \quad (1)$$

Если рассмотреть имеющиеся в интернете карты Млечного Пути, то можно обнаружить некоторые разночтения в названиях его рукавов. Здесь мы будем использовать названия рукавов, как они приведены на следующей карте, найденной в интернете [1]:

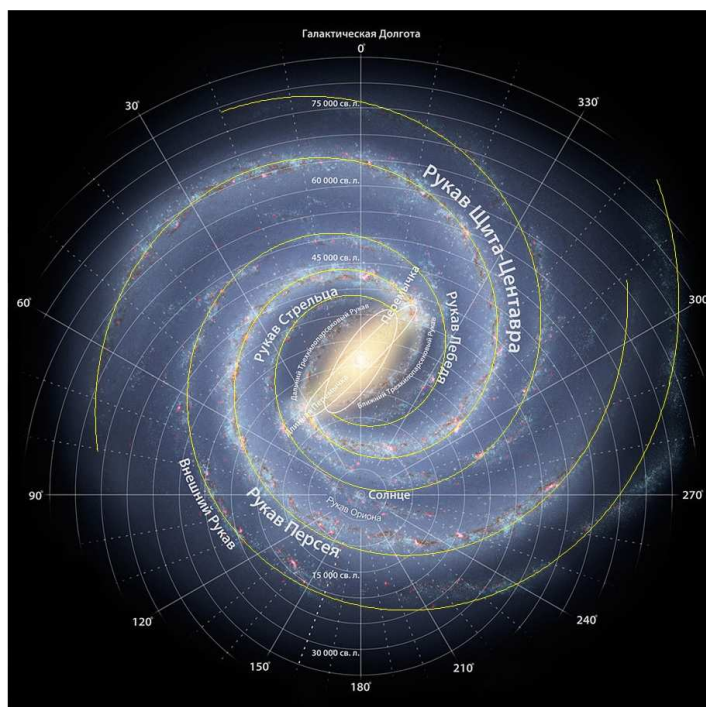


Рис.1 Карта галактики Млечный Путь [1] с нанесёнными на неё функциональными кривыми, аппроксимирующими форму рукавов.

Для того, чтобы убедиться, что приведённые выше функции достаточно точно повторяют форму рукавов галактики, нанесём их на карту галактики тонкими желтыми линиями. Можно считать, что совпадение линий и реальной формы рукавов достаточно хорошее. Теперь можно удалить карту-подложку и заменить тонкие линии на более широкие аналоги рукавов галактики:

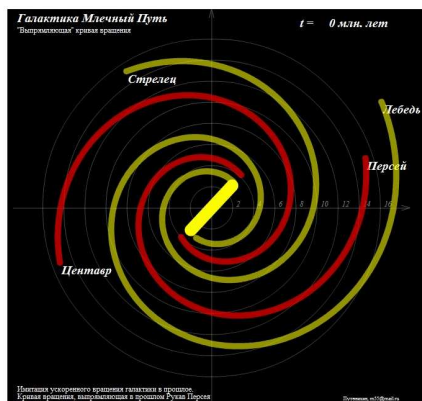


Рис.2 Изображение галактики Млечный Путь с рукавами, аппроксимированными аналитическими функциями. Названия рукавов краткие.

Мы приняли, что параметры вращения (движения) галактики были неизменными, по крайней мере, на протяжении двух оборотов её спиральной структуры, то есть порядка 700 млн. лет. В этом случае на анимации видны все описанные выше странности с плотной закруткой рукавов в пределах одного-двух оборотов галактики:

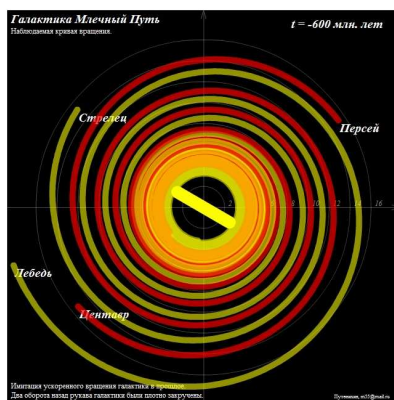


Рис.3 Если наблюдаемая кривая вращения существовала в прошлом, то всего два оборота назад внешней структуры галактики Млечный Путь её рукава были плотно закручены в один сплошной диск.

На рисунке мы «провернули» галактику назад на 600 млн. лет в соответствии с наблюдаемой в наше время кривой вращения. Очевидно, что основной причиной закручивания рукавов является именно эта кривая вращения. Легко догадаться, что должна существовать и какая-то другая кривая вращения, при которой рукава были бы стабильны на достаточно протяженном интервале времени. Такое движение без деформации напоминает вращение твердого тела – спирального диска.

Ясно, что условие «твердого вращения» требует одинаковой угловой скорости вращения или близкой к ней всех элементов галактики. Чтобы вычислить такую кривую «твердого вращения», примем за основу тангенциальные скорости звёзд на краю галактики (рукавов). Согласно наблюдениям, эта скорость равна приблизительно 265 км/сек. Радиус, по которому движутся звёзды с такой скоростью, согласно графикам кривой вращения, составляет приблизительно 16 кпс. Следовательно, при равенстве угловых скоростей, звёзды на расстоянии 1 кпс должны двигаться в 260/16 раз медленнее, то есть, со скоростью около 16,5 км/сек. Нанесём вычисленную кривую вращения на график наблюдаемой кривой и соединим её касательной с

наблюдаемой кривой вращения, просто чтобы новый график имел более - менее законченный вид:

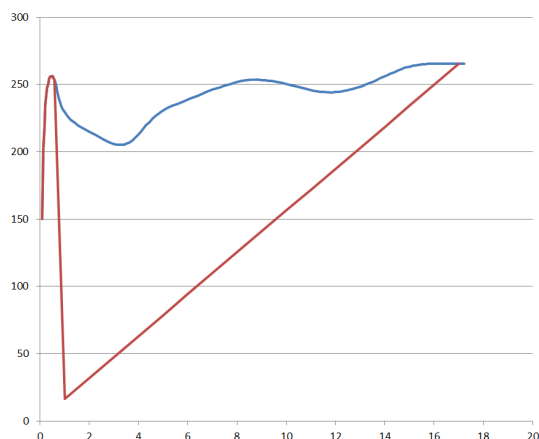


Рис.4 Кривая вращения галактики Млечный Путь как твердого тела, то есть, без закручивания рукавов выделена красным цветом

Подставляем новую кривую вращения в нашу модель и видим, что теперь галактика движется без закручивания или раскручивания рукавов на длительных этапах своего вращения:

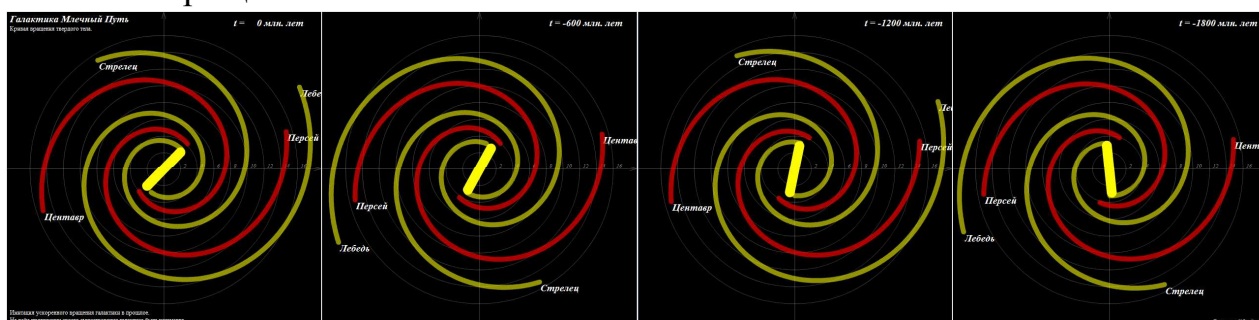


Рис.5 Галактика Млечный Путь на разных этапах своего движение с кривой вращения твердого тела имеет одинаковый вид, то есть, без закручивания рукавов.

Однако, остаются очевидные вопросы. Реальные наблюдаемые рукава галактики имеют явно закрученный вид почти на полный оборот. Как и когда это произошло? Почему больше не происходит? Как выглядели рукава до начала закручивания?

На последний вопрос напрашивается столь же очевидный ответ. Скорее всего, до начала закручивания рукава были прямыми. Действительно, если бы они были закручены в обратном направлении, то вопрос остался бы без ответа: каким же они всё-таки были до закручивания, из какого состояния это закручивание началось? Только прямые рукава позволят сделать вполне разумное предположение. Например, рукава образовались из джетов, выброшенных вращающейся звездой при её коллапсе, при переходе в состояние нейтронной звезды и затем черной дыры. Струи материи отставали от вращения самой звезды, закручиваясь в спирали. Возможно, что в дальнейшем они, вращаясь, «подметали» окружающее пространство, собирая в себя газ и звёзды.

Данная гипотеза является умозрительной, бездоказательной, лишь попыткой хоть как-то объяснить исходное, первичное состояния рукавов. Если под нею имеются хоть какие-то основания, то какой в этом случае была длительная история её кривой вращения? Как мы видели, наблюдаемая кривая вращения темной материи при ретроспективном анализе не приводит к выпрямлению рукавов. Наоборот, она

закручивает их от центра таким образом, что внутренняя часть галактики оказывается через некоторое время закрученной в противоположном направлении к внешней.

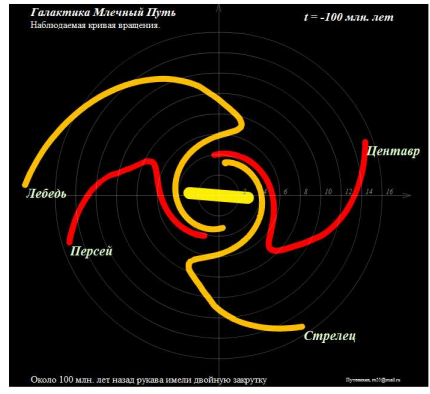


Рис.6 Галактика Млечный Путь с наблюдаемой кривой вращения имела двойную закрутку.

Попробуем ответить на этот вопрос, спроектировав принудительно такую кривую вращения, при которой галактика Млечный Путь в ретроспективном анализе, то есть, при вращении её в обратном во времени направлении, окажется с выпрямленными рукавами. Или, по крайней мере, частично выпрямленными. Рукава закручены в разной степени, поэтому при ретроспективе они не обязательно выпрямятся все вместе.

Для проектирования требуемой кривой вращения выберем один из рукавов, который наиболее вероятно был в прошлом прямым. Для этого каждую точку этого рукава обратим вспять с такой скоростью, чтобы через несколько миллиардов лет все точки, пройдя разный путь, выстроились в прямую линию. Время на выпрямление мы можем задать любое, в течение которого предположительно существуют рукава. Принцип здесь един, но мы возьмём не очень большое время, поскольку для большого времени потребуется много оборотов галактики и, соответственно, длительность анимации. Например, для возраста в 12 млрд. лет потребуется около $12/0,3 = 40$ оборотов внешней структуры. Поэтому для простоты возьмём 2-3 млрд. лет. Будем считать, что рукава галактики Млечный Путь возникли именно тогда.

Итак, за «рабочий рукав», который задаст форму кривой вращения, выберем Рукав Персея. Он достаточно длинный и наиболее яркий, то есть, содержит большее число звёзд и скоплений.

До «выпрямления» внешняя часть рукава должна сделать на один оборот меньше, чем его внутренняя часть. Все остальные участки рукав – пропорционально их удалённости от центра. Каждый участок рукава, таким образом, должен пройти путь L_i от спрямленной линии рукава до нынешнего положения:

$$L_i = (\Omega_0 + \Delta\Omega_i) \cdot R_i$$

где:

R_i – радиус-вектор участка, его удалённость от центра галактики,

Ω_0 – угол, который пройдёт внешняя точка Рукава Персея

$\Delta\Omega_i$ – дополнительный угол, который пройдёт i-ая точка рукава.

То есть, каждая точка рукава прошла от начала до наших дней путь, равный произведению радиуса её траектории на полный угол. Этот угол равен углу, который прошла внешняя часть Ω_0 , плюс дополнительный поворот $\Delta\Omega_i$ по отношению к краю внешней части.

Этот же путь найдём по времени движения t_0 от точки, когда рукав был спрямленным, до наших дней и скорости элемента v_i :

$$L_i = v_i \cdot t_0,$$

Из двух полученных уравнений находим:

$$v_i = (\Omega_0 + \Delta\Omega_i) \cdot \frac{R_i}{t_0}$$

Дополнительный угол, который пройдёт i -ая точка рукава, и её радиус-вектор находим из уравнения для кривой Рукава Персея (1). Подставляем текущие углы точек рукава и получаем:

$$v_i = (\Omega_0 + \varphi_0 - \varphi_i) \cdot \frac{R_i}{t_0}$$

где:

φ_i – текущий угол i -ой точки от внутренней точки рукава

φ_0 – угол внешнего края рукава галактики от внутреннего края

Угол Ω_0 , который пройдёт внешняя точка Рукава Персея, находим по радиус-вектору этой точки и её скорости. В результате получаем окончательное уравнение для «спрямляющей» кривой вращения:

$$v_i = \left(\frac{t_0 v_0}{2R_0} + \varphi_0 - \varphi_i \right) \cdot \frac{R_i}{t_0}$$

И окончательно:

$$v_i = \frac{R_i}{R_0} v_0 + \frac{R_i(\varphi_0 - \varphi_i)}{t_0}$$

где:

v_i – искомая скорость i -ой точки галактики

R_i – радиус-вектор i -ой точки галактики

φ_i – текущий угол i -ой точки от внутренней точки рукава

φ_0 – угол дальнего края галактики от внутреннего края рукава

t_0 – время в прошлом, когда рукав был спрямленным

v_0 – скорость дальнего края спрямляемого рукава галактики

R_0 – радиус-вектор дальнего края галактики

Произведём вычисления «выпрямляющей» кривой вращения по найденным уравнениям и изобразим галактику, как она выглядела бы 3000 млн. лет назад, если бы вращалась с этой кривой вращения:

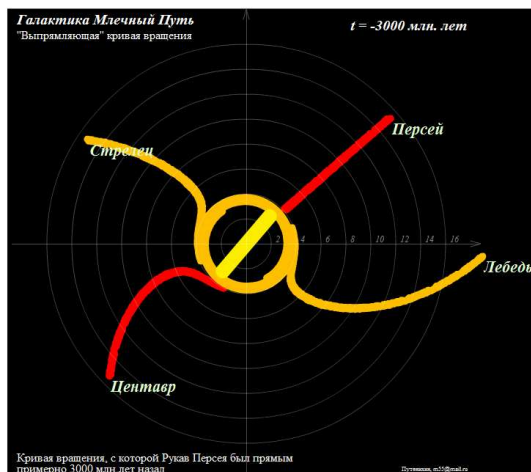


Рис.7 Около 3000 млн. лет назад Рукав Персея галактики Млечный Путь мог быть прямым

Круг в центре галактики возник потому, что внутренний край Рукава Персея находится дальше от центра, чем внутренние края других рукавов. Поэтому выпрямляющая кривая вращения Рукава Персея «не захватывает» ближние к центру точки других рукавов и они вращаются вместе со своим внешним краем, то есть, как бы «наматываются» на центр галактики.

Этим дефектом, очевидно, не обладает выпрямляющая кривая Рукава Лебедя. Он самый длинный и перекрывает по радиусам все остальные рукава. Вычисляем эту кривую вращения и смотрим, как бы выглядела галактика, если бы двигалась по её закону:

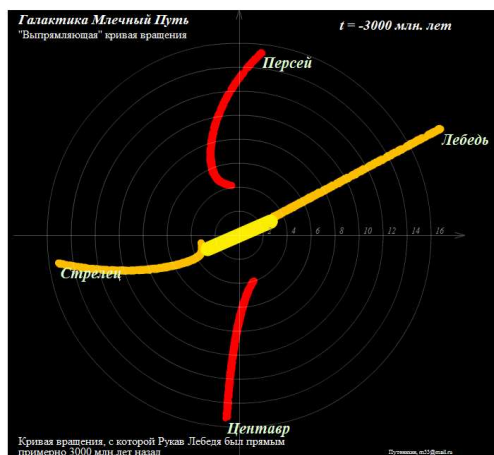


Рис.8 Около 3000 млн. лет назад Рукав Лебедя галактики Млечный Путь мог быть прямым

И здесь мы обнаруживаем неожиданную картину. На рис.8 видно, что помимо Рукава Лебедя также почти выпрямился и Рукав Центавра. Более того, весь вид галактики напоминает крест из двух пар разлетающихся в разные стороны джетов! Это похоже на то, что:

в центре галактики Млечный Путь находились две чёрные дыры, которые почти одновременно «выстрелили» свои джеты, ставшие основой для будущих рукавов галактики.

Действительно, по сравнению с «приближениями», с которыми в астрономической литературе строятся графики и диаграммы, рисунок 8 имеет почти идеальную точность. Конечно, мы помним, что картинка построена на основе математически аппроксимированных рукавов галактики, а время спрямления рукавов мы выбрали произвольно. Но и сам вид галактики нам известен лишь как

математическая модель, построенная на основе астрономических наблюдений. Если эти наблюдения мы считаем достаточно точными, то и модели являются тоже достаточно точными.

Все приведённые выше иллюстрации были получены с помощью анимированной модели галактики Млечный Путь, разработанной на основе описанного выше алгоритма и вычислений. Эту анимацию в gif-формате или в виде флэш-анимации можно увидеть в [3].

Литература

1. Карта галактики Млечный Путь, URL: http://dlux.ru/wp-content/uploads/2014/03/1024px-Milky_Way_full_annotated_russian.jpg
2. Путенихин П.В., Как бы выглядела галактика Млечный Путь с кеплеровской кривой вращения?, 2015, [ни кеплеровская, ни наблюдаемая кривые вращения не могли сформировать нынешний вид галактики], URL: http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/mw_57.shtml
3. Путенихин П.В., Млечный Путь – кривая вращения как твердого тела, 2015, [рассмотрены кривая вращения, при которой галактика вращается как твердое тело, и кривая вращения, с которой галактика приобретает нынешнюю форму рукавов из джетов, которые могли образоваться 3 000 млн. лет назад], URL: http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/t_16.shtml
http://scorcher.ru/theory_publisher/show_art.php?id=584
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/14778.html> (дата обращения 06.04.2015)
4. Путенихин П.В., Происхождение рукавов галактики Млечный Путь с наблюдаемой кривой вращения, 2015, [предложена гипотеза формирования нынешней формы рукавов из джетов, которые могли образоваться 120 млн. лет назад], URL: http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/ak120.shtml
5. Путенихин П.В., Происхождение рукавов галактики Млечный Путь, 2015, [предложена гипотеза формирования нынешней формы рукавов из джетов, которые могли образоваться 3 000 млн. лет назад], URL: http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/mw47.shtml
6. Путенихин П.В., Пульсар - образование спиральной структуры, 2015, [разлетающиеся от пульсара в противоположные стороны со скоростью света гамма-лучи должны описывать в пространстве спиральную траекторию; возможно, рукава спиральных галактик образуются схожим образом], URL: http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/p004.shtml
7. Путенихин П.В., Темная материя – парадокс создателя, 2015, [рукава галактики Млечный Путь с наблюдаемой кривой вращения имеют вид, не соответствующей естественной эволюции с этой кривой], URL: http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/creator.shtml
8. Путенихин П.В., Темная материя Млечного пути, 2015, [противоречия гипотезы о темной материи - её кривая вращения звёзд Млечного Пути не могла сформировать рукава галактики в известном ныне виде], URL: http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/mw_037.shtml