

Paradoxes of the rotation curve of the Milky Way galaxy

Парадоксы кривой вращения галактики Млечный Путь

Путенихин П.В.
m55@mail.ru

Аннотация

It is considered that the rotation's curve of stars of the Milky Way under the influence of dark matter different from Keplerian rotation curve. However, the hypothesis of dark matter does not resolve the contradictions of the observed rotation curve. From the observed rotation curve of the galaxy sleeves may not have such a form.

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

Ключевые слова

Темная материя, кеплеровская кривая вращения галактики, анимация, рукав галактики, спрямление рукавов, аппроксимация рукавов галактики аналитическими уравнениями, джет, черная дыра

Принято считать, что кривая вращения звёзд Млечного Пути имеет вид, отличающийся от кеплеровской кривой вращения. Это расхождение объясняют влиянием темной материи, которая увеличивает фактическую массу галактики, вследствие чего звёзды движутся с меньшим разбросом скоростей и на периферии быстрее, чем требуют законы Кеплера. Однако, гипотеза о темной материи на самом деле не устраняет противоречий наблюдаемой кривой вращения. Наблюдаемая кривая вращения не может объяснить возникновение рукавов галактики существующей формы.

Если рассмотреть имеющиеся данные о вращении галактики Млечный Путь и параметрах её кривой вращения, то можно обнаружить странное обстоятельство. Если бы галактика двигалась с такой кривой вращения, то всего два оборота назад, около 600 млн. лет, её рукава должны были иметь неожиданную форму. Чтобы прийти к нынешней форме при наблюдаемой кривой вращения, они должны были быть «закручены» в обратную сторону. И, напротив, в течение следующих нескольких оборотов она должна полностью лишиться рукавов, которые туго свернутся, равномерно заполняя весь её диск.

Это означает, что нет никакой стабильности формы рукавов даже в пределах одного оборота галактики. Учитывая, что возраст галактики

предполагается порядка десятка миллиардов лет, её прошлое выглядит ещё более загадочно – возникновение рукавов невозможно объяснить из-за чисто кинематических противоречий. Не менее странным является и время такого «перекручивания» рукавов. Почему именно в нашу эпоху в пределах одного оборота рукава галактики так странно меняют свою форму? А что было раньше?

Казалось бы, темная материя позволила привести в соответствие теорию и наблюдения, отклонение обнаруженных астрономами кривых вращения звёзд и галактик от кеплеровских кривых вращения. Однако, как видим, гипотеза о темной материи не устраняет противоречий самих наблюдаемых кривых вращения. Независимо от причин формирования таких кривых, они парадоксальны сами по себе. Как отмечено, простейший анализ движения галактики Млечный Путь с такой кривой вращения, сформированной под влиянием темной материи, приводит к выводу, что всего один-два оборота назад внешней структуры галактики рукава галактики были закручены в обратном направлении. Если продолжить анализ, то обнаружится, что ещё ранее рукава вообще были плотно закручены в сплошной диск. Такая же картина будет наблюдаться 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, является, по сути, главной кинематической причиной закручивания рукавов галактики.

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 приводят к этому закономерному логическому результату - парадоксу.

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 звёзды более близкой к центру галактики и удалённой от него равны, то их угловые скорости определённо разные. Это означает, что за полный оборот вокруг центра галактики более удалённой звезды ближняя к нему должна совершить большее или меньшее число оборотов! Галактика должна с каждым оборотом в зависимости от исходного направления рукавов либо распрямлять их, либо закручивать сильнее.

Для того чтобы галактика хотя бы приблизительно сохраняла свою форму на достаточно длительном промежутке времени, кривая вращения должна иметь более крутой подъем, более приближающийся к кривой вращения твердого тела. То есть, звёзды на окраине галактики должны двигаться с ещё большей скоростью, чем это допускает темная материя. Либо более близкие к её центру – с существенно меньшей скоростью. Очевидно,

что такая кривая вращения является практически полной противоположностью кеплеровской кривой вращения.

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

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

Для того, чтобы убедиться, что приведённые функции достаточно точно повторяют форму рукавов галактики, нанесём их на карту галактики тонкими желтыми линиями. Для этого наложим кривые этих уравнений на карту галактики. Отметим, что на имеющихся в интернете картах Млечного Пути имеются некоторые разночтения в названиях его рукавов. Здесь мы будем использовать названия рукавов, как они приведены на следующем варианте карте, найденной в интернете:

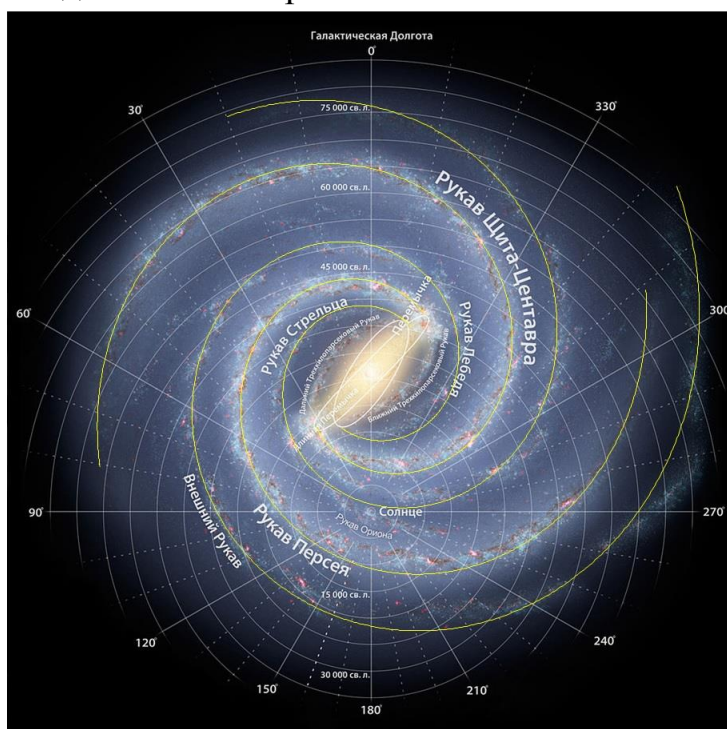


Рис.1 [Карта галактики Млечный Путь](#) с нанесёнными на неё функциональными кривыми, аппроксимирующими форму рукавов.

Как видим по наложению наших линий (желтые спиральные линии) на карту, совпадение линий и реальной формы рукавов достаточно хорошее. Теперь можно удалить карту-подложку и заменить тонкие линии на более широкие - аналоги рукавов галактики:

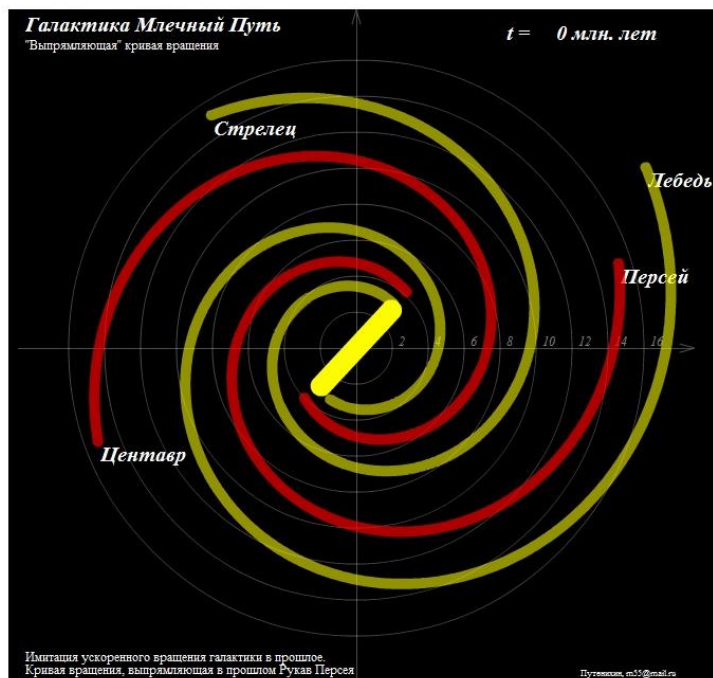


Рис.2 Изображение галактики Млечный Путь с рукавами, аппроксимированными аналитическими функциями. Названия рукавов краткие.

В дальнейшем анализе мы принимаем, что параметры вращения (движения) галактики были неизменными, по крайней мере, на протяжении двух оборотов её спиральной структуры, то есть порядка 700 млн. лет. Анализ будем проводить путём анимации, то есть построения последовательности кадров – изображения галактики Млечный Путь в различные моменты времени. В этом случае на кадрах или на анимации будут хорошо видны все описанные выше странности с плотной закруткой рукавов в пределах одного-двух оборотов галактики:

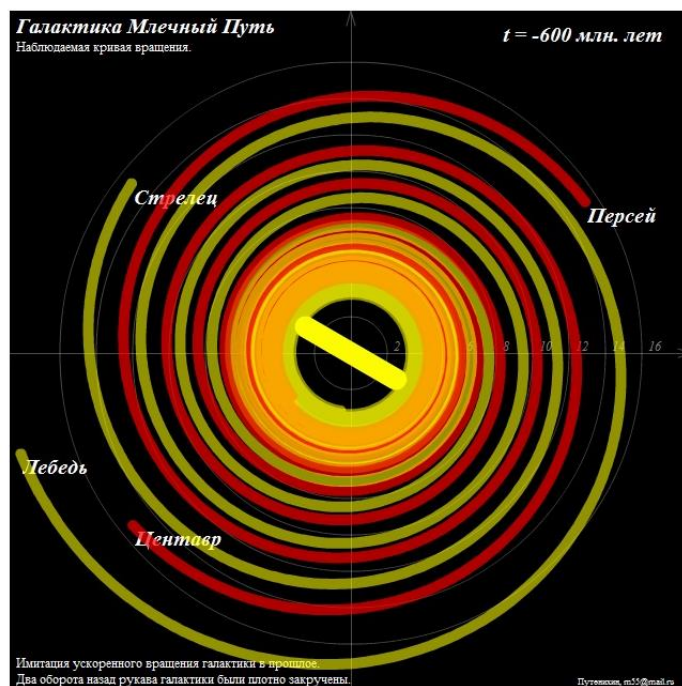


Рис.3 Если наблюдаемая кривая вращения существовала в прошлом, то всего два оборота назад внешней структуры галактики Млечный Путь её рукава были плотно закручены в один сплошной диск.

На рисунке показан кадр, на котором мы «провернули» галактику назад на 600 млн. лет в соответствие с наблюдаемой в наше время кривой вращения. Рукава оказались настолько сильно закрученными, что плоскость галактики из спиральной превратилась практически в дисковую, рукава вблизи центра галактики слились в один сплошной диск. Понятно, что единственной причиной такого плотного закручивания рукавов является именно эта наблюдаемая кривая вращения.

Можно 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:

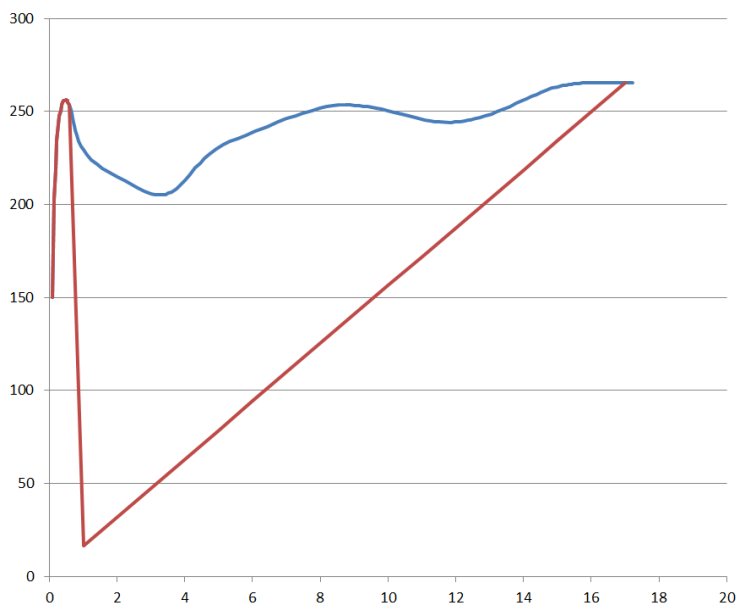


Рис.4 Кривая вращения галактики Млечный Путь как твердого тела, то есть, без закручивания рукавов выделена красным цветом

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

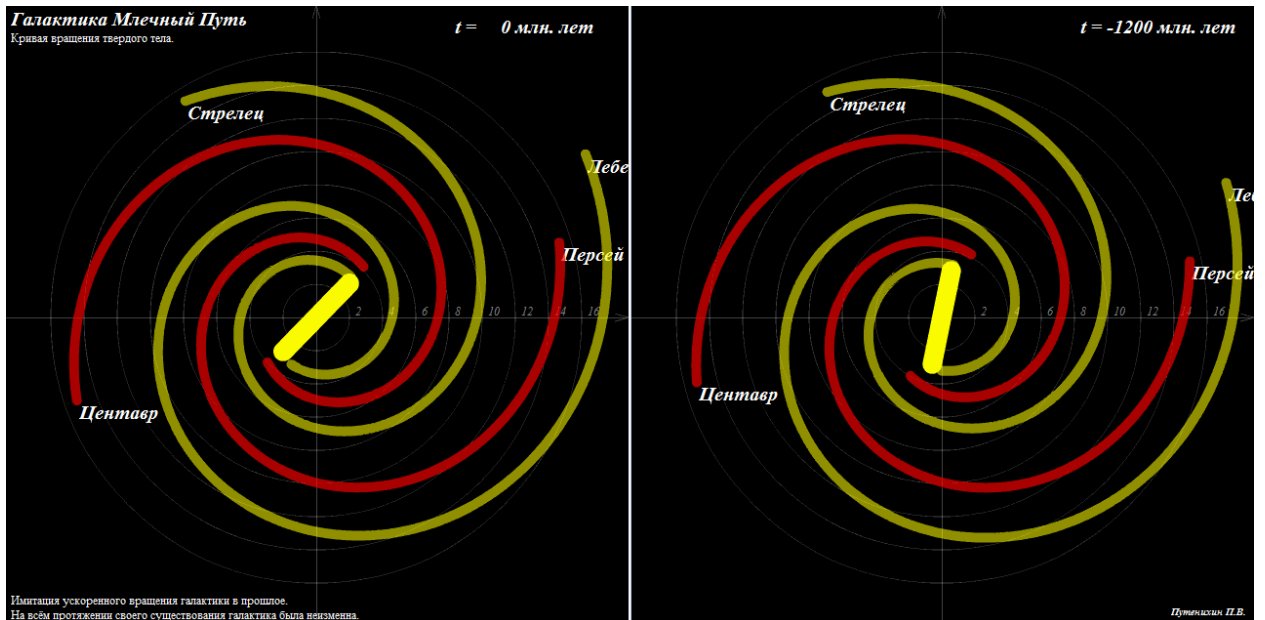


Рис.5 Галактика Млечный Путь на разных этапах своего движение с кривой вращения твердого тела имеет одинаковый вид, то есть, без закручивания рукавов.

Однако, это предельный случай. При этом остаются очевидные вопросы. Реальные наблюдаемые рукава галактики имеют явно закрученный вид почти на полный оборот. То есть, они всё-таки были закручены из какого-то исходного состояния. Как выглядели рукава до начала закручивания? Как, с какой скоростью это происходило и когда началось?

На первый вопрос напрашивается достаточно очевидный ответ. Скорее всего, до начала закручивания рукава были прямыми. Это наиболее простой и вероятный ответ. 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?

Произведём покадровое вращение галактики в обратном направлении времени. Мы ожидаем, что рукава должны выпрямиться в соответствии с выдвинутой гипотезой. Одно из промежуточных состояний галактики Млечный Путь, соответствующее наблюдаемой кривой вращения 100 млн. лет назад показано на рисунке:

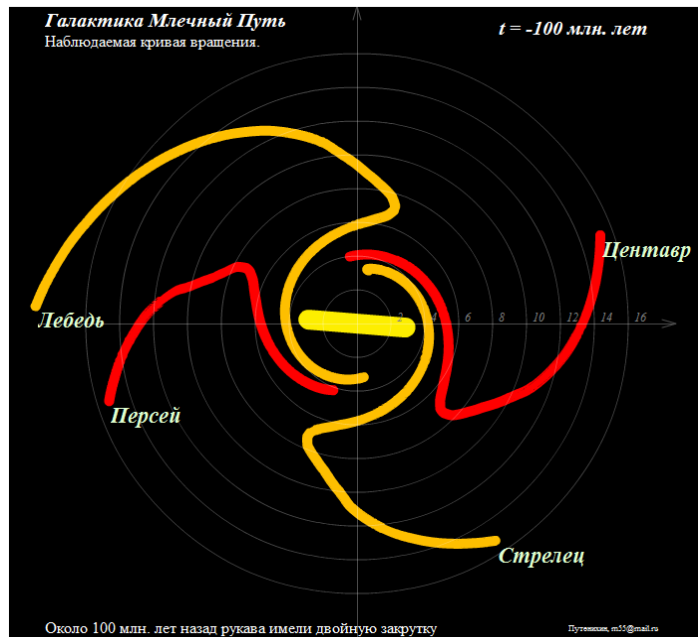


Рис.6 Галактика Млечный Путь с наблюдаемой кривой вращения имела двойную закрутку.

Как видим, наблюдаемая кривая вращения темной материи при ретроспективном анализе не привела даже к приблизительному спрямлению рукавов. Наоборот, она закручивает их от центра таким образом, что внутренняя часть галактики оказывается через некоторое время закрученной в противоположном направлении к внешней. Даже с учетом больших погрешностей при аппроксимации формы рукавов и уравнения кривой вращения результат слишком сильно отличается от ожидаемого.

В таком случае попытаемся ответить на этот вопрос иначе. Спроектируем такую кривую вращения, при которой галактика Млечный Путь в ретроспективном анализе, то есть, при вращении её в обратном во времени направлении, принудительно окажется с выпрямленными рукавами. Или, по крайней мере, хотя бы частично выпрямленными. Вряд ли следует ожидать, что все рукава выпрямятся одинаково, поскольку они закручены в разной степени. Вероятнее всего при ретроспективе они распрямятся в различной степени или в разные моменты времени.

Для проектирования такой «спрямляющей» кривой вращения выберем в качестве эталонного, один из рукавов. Для этого каждую точку (звезду, скопление звёзд, газ) этого рукава обратим вспять с такой скоростью, чтобы через несколько миллиардов лет все точки, пройдя разный путь, выстроились в прямую линию. Точки всех остальных рукавов будут также двигаться в соответствии с этой кривой вращения. Время на выпрямление мы можем задать произвольно, в пределах времени предположительного существования рукавов. Принцип здесь един, но мы возьмём не очень большое время, поскольку для большого времени потребуется много оборотов галактики и, соответственно, число кадров и 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 эталонный, «рабочий рукав», который задаст форму спрямляющей кривой вращения, выберем Рукав Лебеда. Он не самый яркий и насыщенный звёздами, но наиболее длинный и перекрывает по радиусам все остальные рукава.

По степени закрученности рукава мы видим, что до спрямления внешняя часть рукава должна сделать почти на полтора оборота 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 Лебеда;

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

То есть, каждая точка рукава прошла от начала закручивания и 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 Лебеда (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 Лебеда, 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 3 000 млн. лет назад, если бы вращалась с этой кривой вращения:

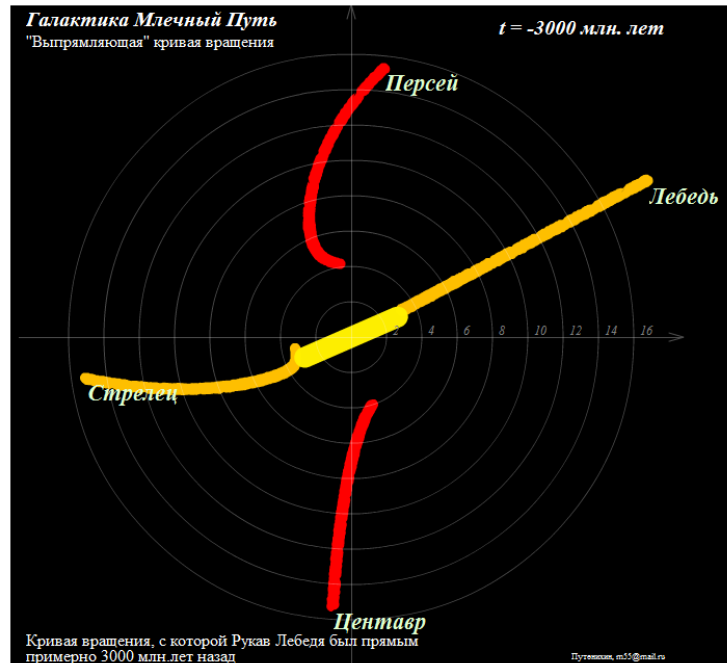


Рис.7 Около 3 000 млн. лет назад Рукав Лебеда галактики Млечный Путь мог быть прямым

И здесь мы обнаруживаем неожиданную картину. На рисунке видно, что помимо анализируемого Рукава Лебеда почти выпрямились также и остальные рукава галактики. Более того, весь вид галактики напоминает крест из двух пар разлетающихся в разные стороны джетов, согласно выдвинутой выше гипотезе. В самом деле, 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 имеет почти идеальную точность. Конечно, мы помним, что картинка построена на основе математически аппроксимированных рукавов галактики, а время спрямления рукавов мы выбрали произвольно, ничто не мешает нам построить картину для эволюции галактики хоть для 14 млрд. лет, хоть для 100 млн. лет. Но ведь 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 на их основе тоже являются достаточно точными.

Анимированную модель галактики Млечный Путь, разработанную на основе описанного алгоритма и вычислений, и с помощью которой были получены приведённые выше иллюстрации, можно увидеть по следующим ссылкам:

http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/t_16.shtml

http://scorcher.ru/theory_publisher/art_pic/584/image015.swf

<http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/6577/image015.swf>