

Как бы выглядела галактика Млечный Путь с кеплеровской кривой вращения?

Путенихин П.В.
m55@mail.ru

Аннотация

Могла ли галактика Млечный Путь приобрести нынешний вид с кеплеровской кривой вращения? Или наблюдаемый вид галактики однозначно определён действием темной материи? В работе показано, что ни кеплеровская, ни наблюдаемая кривые вращения не могли сформировать нынешний вид галактики. Гипотеза о темной материи, таким образом, не способна объяснить формирование (поддержание формы) галактических рукавов наблюдаемой ныне кривой вращения.

Ключевые слова

Кеплеровская кривая скоростей вращения, галактика Млечный Путь, темная материя, анимация,

Наблюдаемый вид кривых вращения звёзд Млечного Пути, отличающийся от кеплеровских, ныне принято объяснять влиянием темной материи. Исследуя движение галактик в скоплениях и звёзд в галактиках, астрономы обнаружили, что имеющих в них масс недостаточно для наблюдаемых характеристик движения. Системы оказывались неустойчивыми. Решение проблемы нашли в добавлении к массе систем скрытой массы, известной сегодня как «темная материя».

Однако, решение оказывается не полным. Гипотеза о темной материи не устраняет противоречий самих наблюдаемых кривых вращения. Независимо от причин формирования таких кривых, они парадоксальны сами по себе.

Если взять за основу имеющиеся данные о вращении галактики Млечный Путь, то прямым сопоставлением этих данных можно обнаружить странное обстоятельство. С такой кривой вращения галактика должна была быть «закручена» в обратную сторону всего два периода назад – около 600 млн. лет. В течение следующих нескольких оборотов она должна полностью лишиться рукавов, которые равномерно рассеются по её диску. Учитывая, что возраст галактики предполагается порядка десятка миллиардов лет, её прошлое выглядит ещё более загадочно – возникновение рукавов невозможно объяснить по чисто кинематическим противоречиям. Можно предположить, что измеренная кривая вращения нестабильна и отражает лишь нынешнее состояние галактики, являются мгновенными снимками в их истории, которые явно не указывают на их прошлое и будущее. Измеренные скорости звёзд соответствуют лишь текущему моменту времени и мало что говорят о своих прошлых или будущих значениях. Поэтому

говорить о динамике их движения можно лишь с недостаточной степенью уверенности.

Интересно выяснить, какой вид имела бы галактика в различные моменты времени её существования, если бы кривые вращения были всё-таки кеплеровскими. Ведь возникает странная ситуация. Казалось бы, недостаток массы не позволяет звёздам в галактике двигаться по кеплеровским орбитам. Добавление темной материи в этом случае, как следовало бы ожидать, должно было сделать наблюдаемые орбиты кеплеровскими. Но распределение темной материи «оказалось» таким, что о кеплеровских орбитах нужно вообще забыть.

Для построения анимаций сделаем допущение, параметры кеплеровского вращения (движения) галактики были неизменными, по крайней мере, на протяжении двух оборотов её спиральной структуры, то есть порядка 700 млн. лет. Наличие или отсутствие темной материи, таким образом, значения не имеет, поскольку мы уже наблюдаем некий кинематический результат. Кеплеровскую кривую вращения мы сформируем на основе существующей кривой, скорректировав её в соответствии с законами Ньютона.

За основу возьмем [кривую вращения](#) звёзд галактики Млечный Путь, размещённую в интернете:

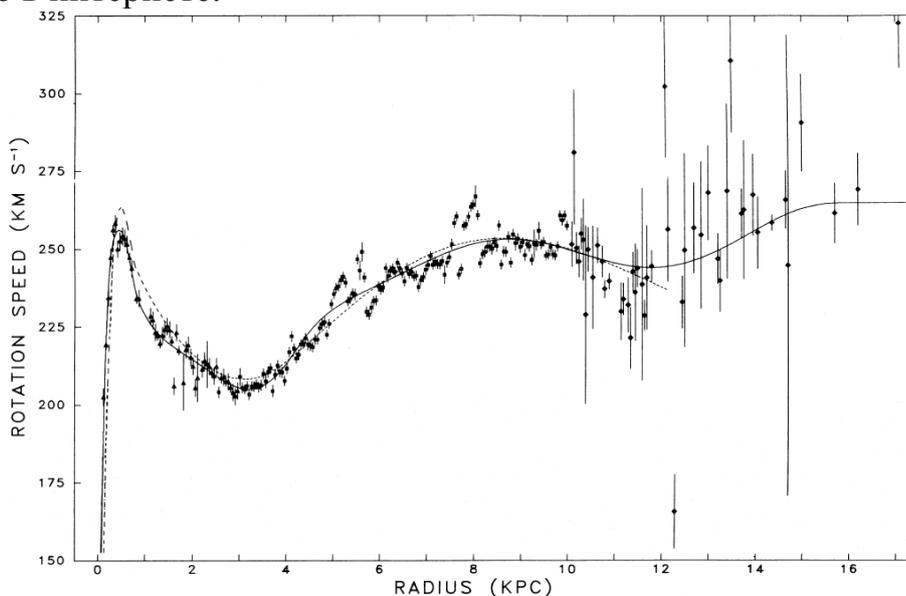


Рис.1 [Кривые скоростей вращения](#) звёзд галактики Млечный Путь.

Изобразить на анимации галактику Млечный Путь с высокой детализацией нет особой необходимости. Нас будет интересовать качественный вид движения групп звёзд в рукавах галактики. Движение каждой звезды в отдельности не представляет интереса. Поэтому звёзды в галактике мы изобразим укрупненно, как они сгруппированы в рукава. Такой способ изображения галактики не редкость, воспользуемся им и мы. Для этого возьмём одно из имеющихся в интернете изображений галактики Млечный Путь, аппроксимируем её рукава плавными геометрическими линиями и нанесём их для наглядности на изображение, чтобы быть уверенными, что аналитические выражения точно повторяют контуры рукавов:

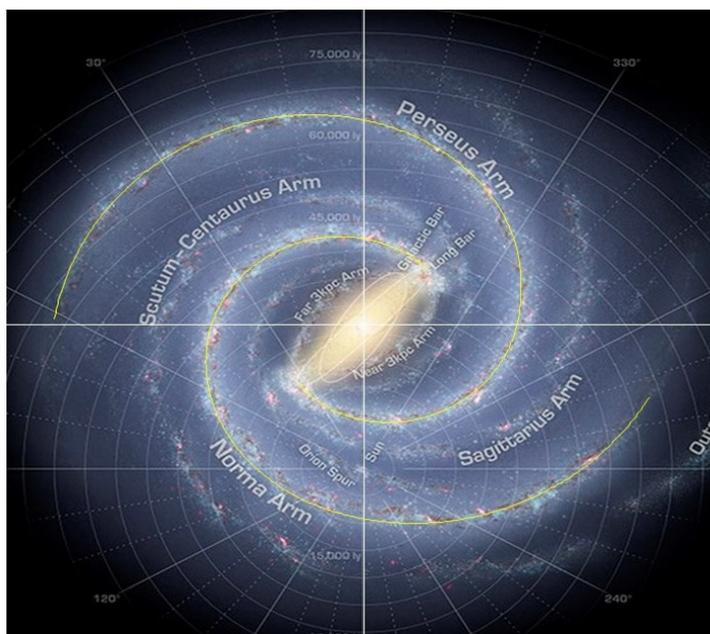


Рис.2 На изображение [галактики Млечный Путь](#) нанесены тонкие желтые аппроксимирующие линии рукавов Norma и Perseus.

Для аппроксимации подберём некоторые аналитические функции. Точность аппроксимации выбрана визуально, то есть относительно грубой, однако внешний вид галактики достаточно верно повторяет рисунок-оригинал. Для наглядности на этом рисунке показана только тонкая, осевая линия рукавов. На анимации мы пропорционально увеличим их толщину. Например, для рукава Perseus экспериментально подобрана функция следующего вида:

$$R_i = R_0 + (\varphi_i - \varphi_0) \cdot \sin(\varphi_i/k_0) + k_\varphi \cdot \sin((\varphi_i - \varphi_1))$$

$$x_i = R_i \cdot \cos(\varphi_i); y_i = R_i \cdot \sin(\varphi_i)$$

$$\varphi_i = (\varphi_0 \dots \varphi_{\max}) \cdot \pi/180^\circ, i=0, 1, 2 \dots 500$$

$$R_0 = 2,6$$

$$k_\varphi = 0,5, \text{ если } \varphi_i > \varphi_1, \text{ иначе, } k_\varphi = 0$$

$$k_0 = 8;$$

$$\varphi_0 = 225^\circ; \varphi_{\max} = 520^\circ; \varphi_1 = 375^\circ$$

Коэффициенты подобраны методом проб и ошибок. Величина дискретности (шагов) выбрана 500, иначе при закручивании галактики крайние элементы рукавов превратятся в ломаные линии. Оказалось, что рукав имеет излом на участке 375 градусов от начальной точки. Сглаживаем его условным оператором. Начальная точка рукава $R_0 = 2,6$ – также условна, она связана с масштабом рисунка, на который накладывается график. В дальнейшем все величины масштабируются к реальным размерам галактики.

Подобная аппроксимирующая функция подобрана и для рукава Norma.

В галактике на приведённом рисунке наиболее ярко просматриваются рукава, обозначенные как Perseus Arm и Norma Arm, поэтому для дальнейшего анализа будем рассматривать только эти два рукава, считая их основными. Именно эти два рукава имеют приблизительно симметричную форму и визуально начинаются на концах перемычки (бара, балджа). При этом отметим некоторые разночтения в обозначениях рукавов:

На анимации показано движение галактики во времени на 200 млн. лет в будущее, затем движение в обратном направлении времени на 600 млн. лет назад и обратно, после чего цикл повторяется. Кривая вращения звёзд соответствует наличию в галактике темной материи, это так называемая наблюдаемая кривая вращения.

Элементы галактики – рукава и перемычка – изображены схематично с соблюдением насколько возможно масштабов. Видим, что рукава галактики при такой кривой вращения через 200 млн. лет в будущее сливаются практически в сплошной диск, то есть галактика выглядит уже не как спиральная, а как обычная дисковая. Точно так же, 600 млн. лет назад галактика выглядела практически как сплошная дисковая галактика, а не спиральная. Это странная картина:

по какой причине диск галактики разделился на рукава, которые в дальнейшем изменили закручивание на противоположное, и, в конце концов, затем вновь слились в диск?

Время в 600 млн. лет – это время всего лишь двух оборотов галактики. Получается, что всего два оборота назад при движении с существующей кривой вращения галактика была просто невероятно сильно «выкручена» в обратном направлении. Крайне трудно допустить, что два оборота назад галактика была скручена столь плотно, что в ней невозможно было разглядеть рукава. Такая картина, видимо, должна вызывать недоверие. По сути, она означает, что представления о равномерном вращении галактики обоснованы недостаточно. Списание обнаруженных явлений на темную материю лишь добавляет «темноты» к этой картине, наделяя эту материю ещё более экзотическими свойствами. По какой причине галактика вращается столь странным образом?

Ну, а какой была бы картина, если бы кривая вращения была кеплеровской? Насколько сильно она будет отличаться от наблюдаемой картины? Варианты кеплеровской кривой вращения также разными авторами представляются в разных вариантах, поэтому постараемся рассмотреть несколько вариантов. Для этого мы построим эволюцию галактики, соответствующую каждому варианту кеплеровской кривой вращения. Мы полагаем, что все они достаточно близки, по крайней мере, качественно, поэтому расхождения не должны быть слишком велики.

Далее мы выбрали три наиболее характерные формы кеплеровских кривых вращения, имеющиеся в свободном доступе в интернете. Поскольку все они имеют графический вид, то есть не описаны уравнением, мы эти уравнения также составим путем аппроксимации рисунков.

На следующем [графике](#) кеплеровская кривая расположена достаточно далеко от центра и фактически не затрагивает рассматриваемые рукава (если не продлевать кеплеровскую кривую вверх):

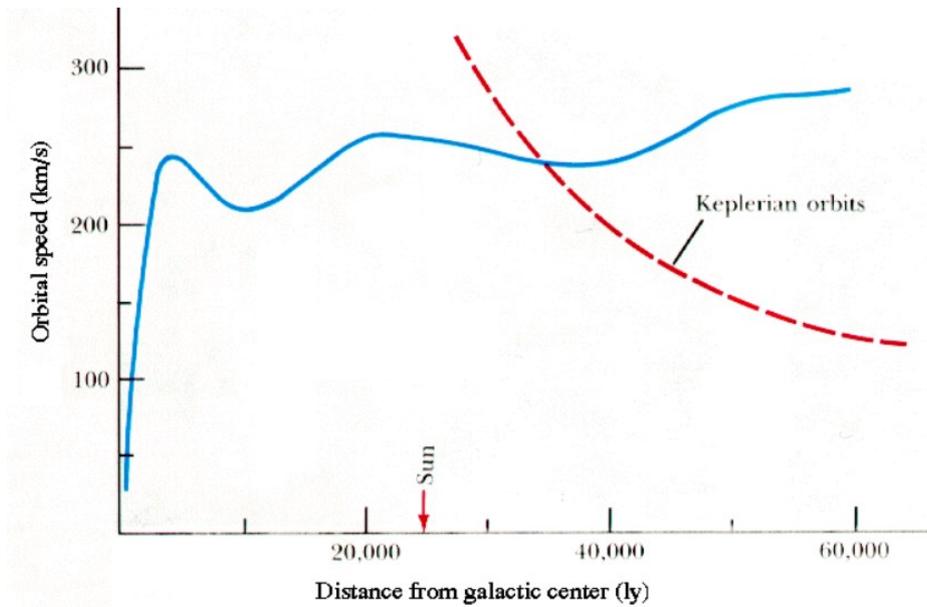


Рис.5 Кеплеровская [кривая вращения](#) за пределами рукавов

Вместе с тем кривые вращения галактик традиционно сравнивают с кеплеровской [кривой вращения планет](#) в солнечной системе:

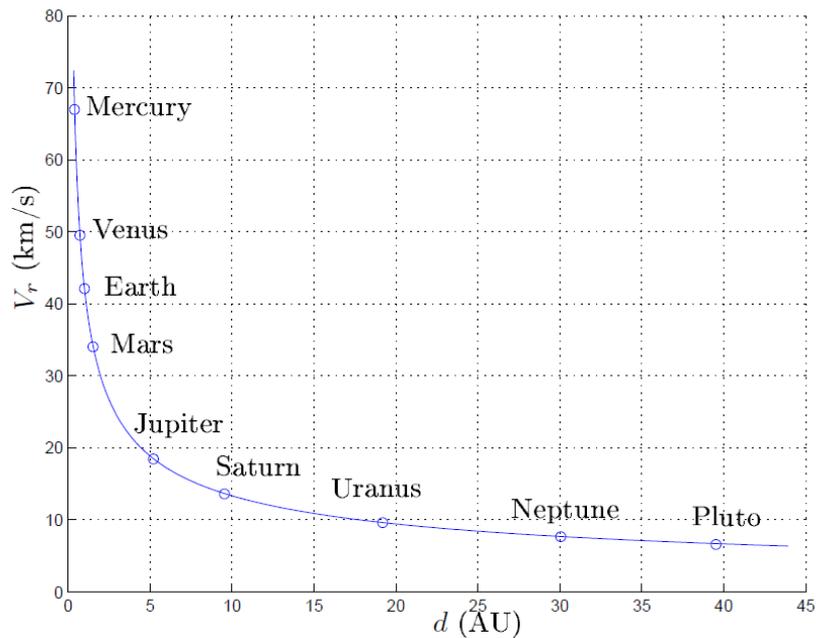


Рис.6 Кеплеровская [кривая вращения](#) в плане солнечной системы

Такое сравнение непосредственно ведёт к предположению, что кривая вращения звёзд в галактиках должна иметь подобный вид. На рисунке представлена приблизительная форма такой кривой вращения:

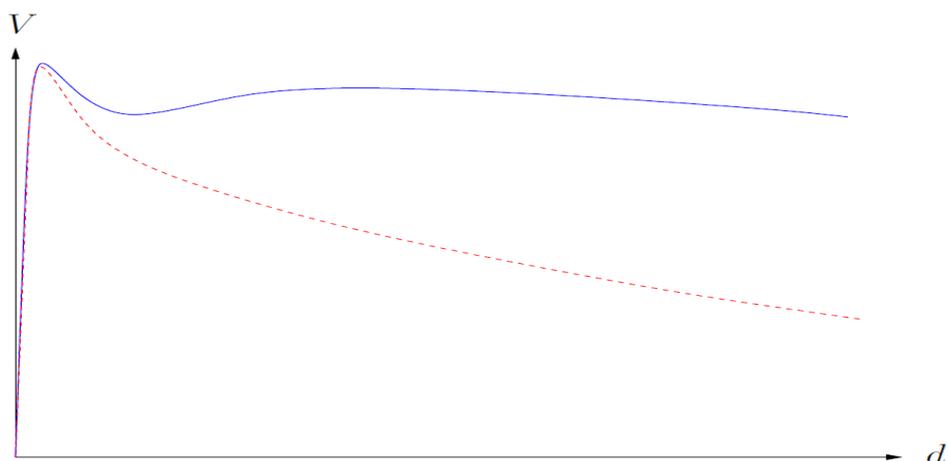


Рис. 7 Эскиз фактической кривой вращения Млечного Пути (сплошная голубая линия). Пунктирная красная линия, что мы ожидаем от использования закона Кеплера при вычислении кривой вращения.

Как вариант предполагается, что наблюдаемая кривая вращения ограничена сверху на начальном участке, поэтому кеплеровская кривая вращения изображается с отсечённой верхней частью:

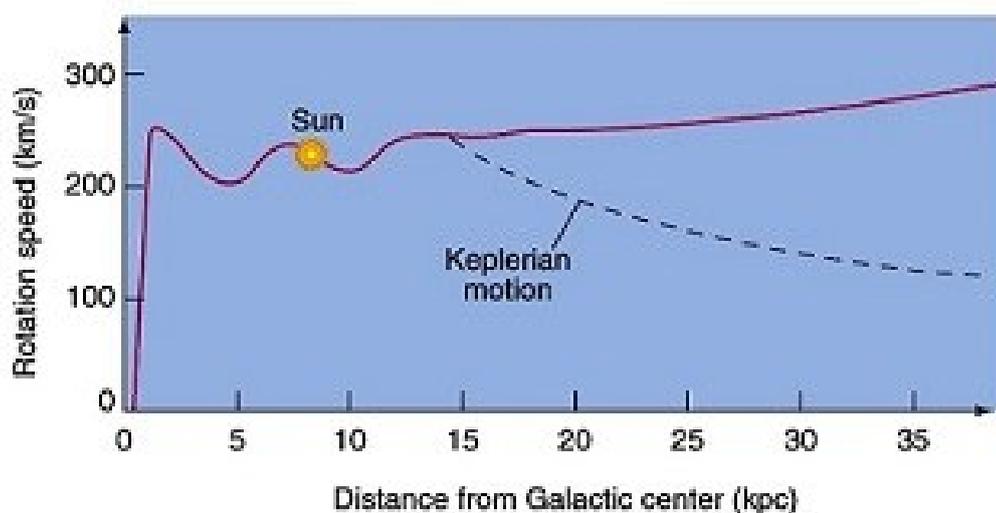


Рис. 8 Фактическая Кривая вращения и движение по Кеплеру

На этом графике кеплеровская кривая также расположена достаточно далеко от центра и, казалось бы, фактически не затрагивает рассматриваемые рукава. Однако, приведённая на рисунке комбинация двух разных кривых вращения некорректна, кеплеровскую кривую вращения следовало бы продлить влево вверх. Используется и другой вариант комбинации наблюдаемой и кеплеровской кривых вращения, в которых сглаживание перехода от одной кривой к другой производится от первого максимума наблюдаемой кривой вращения:

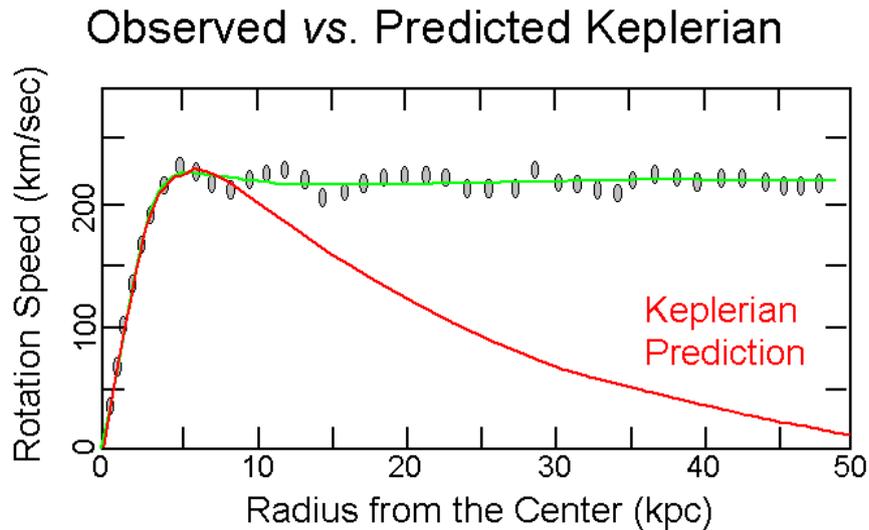


Рис. 9 [Кривые](#) дифференциального вращения галактик

Главное, что следует принять при вычислении кеплеровской кривой вращения галактики Млечный Путь – это её гиперболическая форма. Обобщенно уравнение запишем в виде:

$$y = \frac{k}{\sqrt{x}} + c \tag{1}$$

Решение задачи сводится к определению двух коэффициентов. Очевидно, что эти коэффициенты зависят от множества физических характеристик галактики: её общей массы, распределения масс в пространстве, наличия темной материи, гравитационной постоянной и так далее. В нашем случае можно просто выбрать две точки на графиках, которые, как мы полагаем, построены с учетом этих физических характеристик, и через которые проходит искомая гипербола:

$$\begin{cases} c = \frac{\sqrt{x_1}y_1 - \sqrt{x_2}y_2}{\sqrt{x_1} - \sqrt{x_2}} \\ k = \sqrt{x_1}(y_1 - c) \end{cases}$$

Первым и простейшим вариантом является выбор двух точек на ниспадающей траектории после первого максимума наблюдаемой кривой вращения. В этом случае мы получим кеплеровскую кривую вращения, полностью совпадающую с рисунками 9 и 7 и достаточно точно визуальную повторяющую кривую движения планет в солнечной системе рис.6. Выбираем две такие точки на аппроксимированном (оцифрованном) графике рис.1 и после решения уравнения строим кеплеровскую кривую вращения:

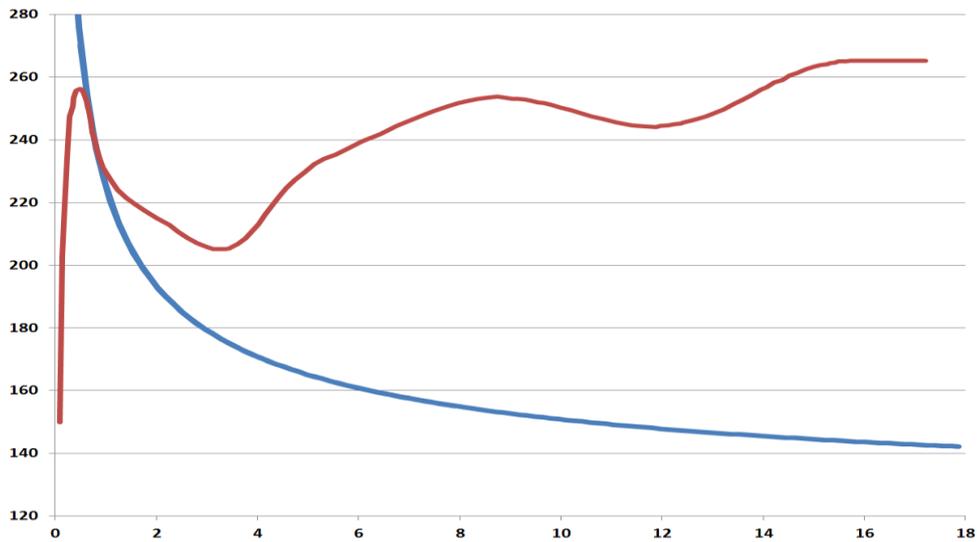


Рис. 10 Красная линия – наблюдаемая кривая вращения галактики Млечный Путь, синяя – кеплеровская кривая, вычисленная по уравнению (1) и двум точкам на наблюдаемой кривой

Сразу можно догадаться, что данная кривая вращения вряд ли сильно изменит характер вращения галактики, поскольку скорость звёзд на окраине галактики, по оценке графика, уменьшилась всего лишь в 2 раза. Мы видим, что скорости на периферии падают с удалением от центра, но визуально картина вращающейся кеплеровской галактики не сильно отличается от вращения по закону скоростей темной материи:

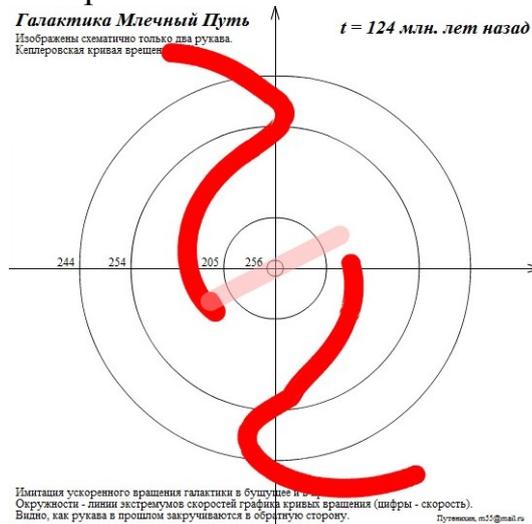


Рис.11 Анимированное изображение галактики Млечный Путь с кеплеровской кривой вращения, аппроксимированной на рис.7, 9, 10. Запустить анимацию к рисунку можно по любой из ниже приведённых ссылок, все они равноценны:

[kepler](#) | [kepler](#)

Этот рисунок и анимации соответствуют кеплеровской кривой вращения, аппроксимированной по рисункам 7, 9 и 10. Но можно построить ещё две кривые вращения, по точкам рис.8 и рис.5. Мы построим эти кривые прямо на рисунках – оригиналах. На рисунке 8 приблизительные координаты точек для кривой: (14, 240) и (35, 130). Аппроксимация даёт такую кривую вращения:

Скорость вращения центральной части галактики и балджа существенно возросла. Галактика в течение нескольких десятков млн. лет закручивается до состояния сплошного, безрукавного диска.

И, наконец, последняя, третья кеплеровская кривая вращения представелна на рис.5. Для её аппроксимации используем точки, через которые должна пройти гипербола кривой вращения (35, 240) и (60, 130). После решения уравнения и ручной подгонки точек, через которые проходит гипербола для её лучшей аппроксимации, получаем следующую картину:

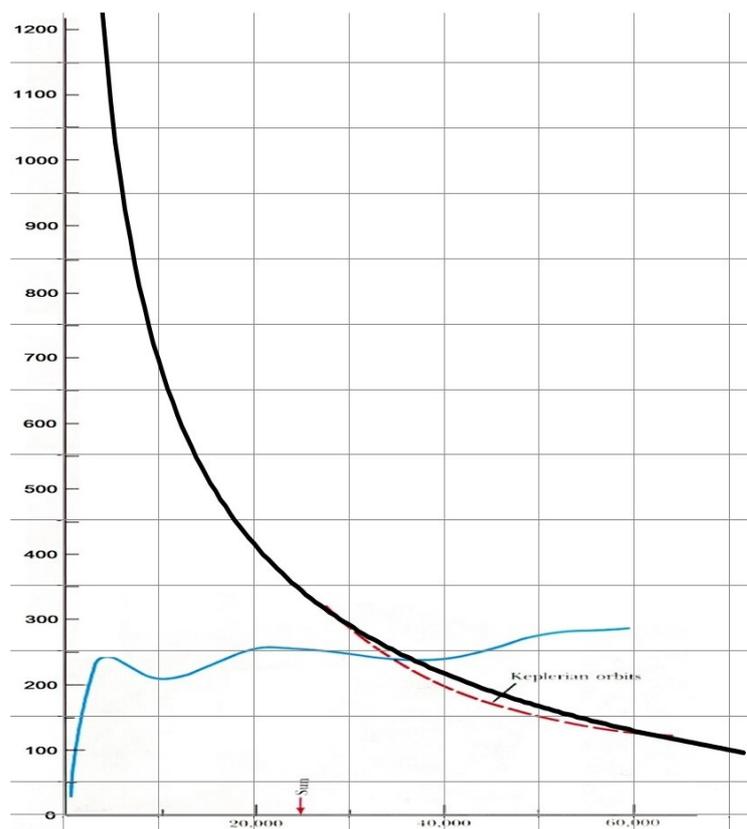


Рис.14 Аппроксимация кеплеровской кривой вращения на рисунке 5.

Здесь исходная кеплеровская кривая вписалась в аналитическую гиперболу не очень хорошо, что связано, видимо, с погрешностью рисунка при печати. Как отмечено, мы предполагаем, что в исходных фрагментах кеплеровских кривых на рассмотренных рисунках учтены все физические характеристики галактики — её масса, распределение масс, гравитационная постоянная, массы звёзд и так далее. При построении на их основе полных кеплеровских кривых мы фактически получаем кривые, также содержащие в своей форме все эти характеристики. Разумеется, исходные кривые являются всё же приблизительными и даже условными, демонстрационными, они не обязаны быть точными, что называется, до трёх знаков после запятой. Но мы и не преследуем цель получить абсолютно точные результаты, нас интересует визуальный, приблизительный характер поведения галактики в процессе её эволюции. По найденной полной кеплеровской кривой вращения рис.14 мы получаем соответствующую анимацию вращения галактики:

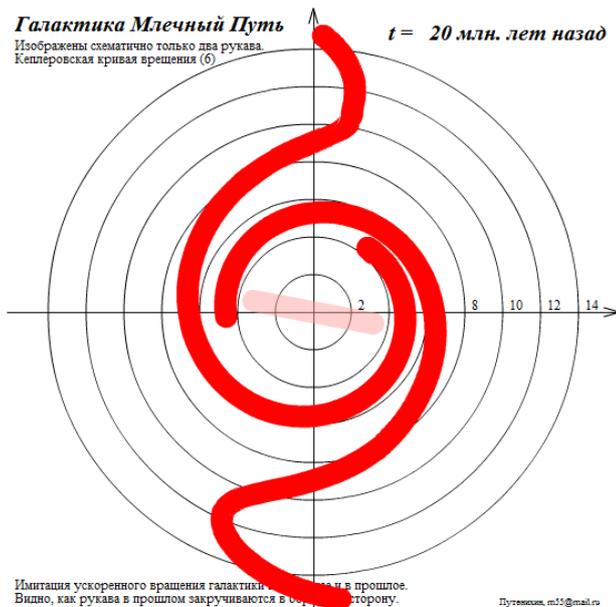


Рис.15 Анимированное изображение галактики Млечный Путь с кеплеровской кривой вращения, аппроксимированной на рис.5, 14. Запустить анимацию к рисунку можно по любой из ниже приведённых ссылок, все они равноценны:

[kepler](#) | [kepler](#)

Итак, мы получили три кеплеровские кривые вращения, которые заметно отличаются друг от друга и от наблюдаемой кривой вращения. Поэтому получен также и существенно отличающийся результат в характере вращения галактики.

Тем не менее, сравнивая эволюцию галактики Млечный Путь с каждой из сформированных здесь кеплеровских кривых вращения, можно прийти к выводу: всего через 200 млн. лет галактика из спиральной превратится практически в монолитную дисковую, безрукавную галактику. Этот результат практически не зависит от разброса формы кривых вращения. Анализ, проведённый ранее для наблюдаемой кривой вращения [1] привёл к схожему результату. На рисунке представлен для сравнения предполагаемый на основе проведённых выше расчетов вид галактики Млечный Путь через 200 млн. лет:

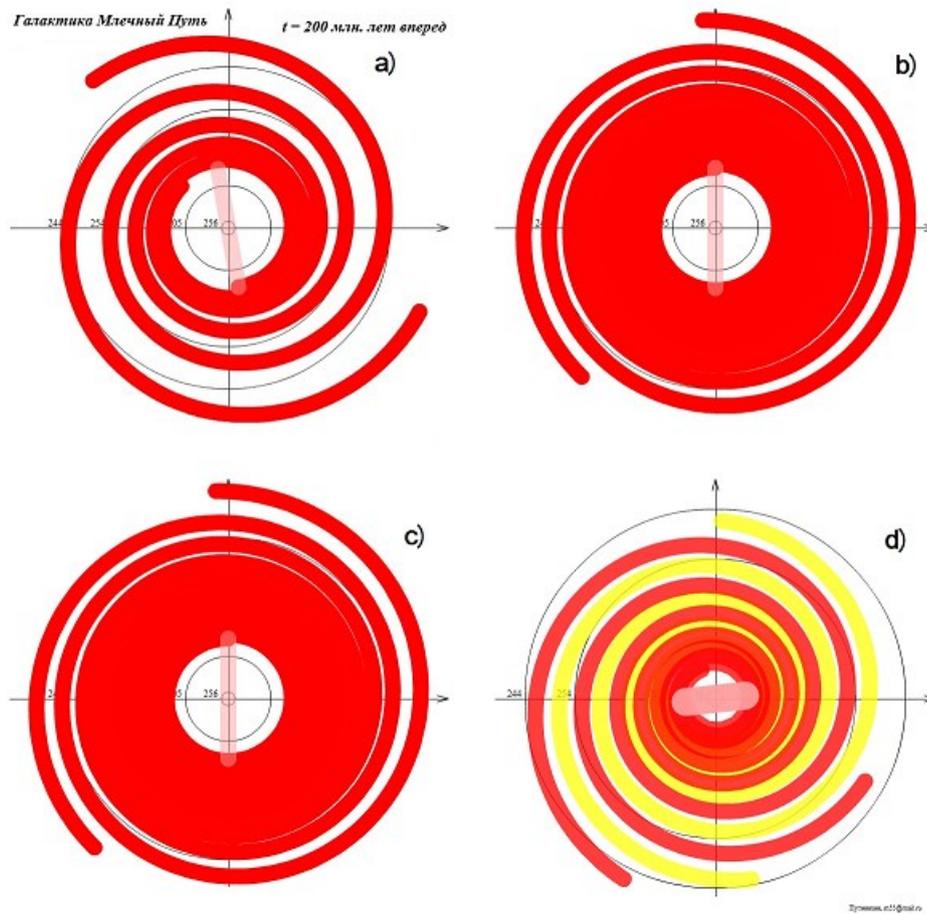


Рис.16 Возможно, так будет выглядеть галактика Млечный Путь через 200 млн. лет при движении - а), b), c) - с вычисленными кеплеровскими кривыми вращения и d) – с наблюдаемой кривой вращения (тёмная материя)

Представленные на этом рисунке виды галактики Млечный Путь через 200 млн. лет получены для каждой из рассмотренных четырёх кривых вращения. Первые три соответствуют движению с вычисленными выше кеплеровскими кривыми вращения а), b) и c), изображенным на рис.10, 12 и 13 соответственно, а четвертый d) – наблюдаемой кривой вращения, сформированной под действием темной материи. Вспомним, что на рисунках и в анимациях представлены только два из четырёх рукавов галактики. Поэтому, если добавить недостающие рукава, рисунок а) будет, видимо, также представлять сплошной диск, как и рисунки b) и c). На рисунке d) показаны все четыре рукава и на нём галактика тем более выглядит как сплошной, безрукавный диск. Это весьма странная картина:

всего через 200 млн. лет, то есть менее чем за один оборот внешней структуры в галактике Млечный Путь рукава перестанут быть различимыми; галактика превратится в обычную дисковую.

Странность картины состоит не только в том, что галактика претерпит указанные изменения, но и в том:

по какой причине именно за последние 200 млн. лет предполагаемого срока жизни галактики Млечный Путь порядка 10 млрд. лет она претерпит такие деструктивные (для рукавов) изменения?

При этом обращаем внимание, что изменения произойдут для любой модели вращения: и кеплеровской и темной материи. То есть, наблюдаемая форма галактики придёт к указанному итогу независимо от характера кривой вращения.

В этой связи вполне естественно возникает вопрос, а что было те же 200 млн. лет назад? Из какого состояния галактика перешла в ныне наблюдаемое? Посмотрим это на анимациях и вновь сгруппируем результаты в один рисунок:

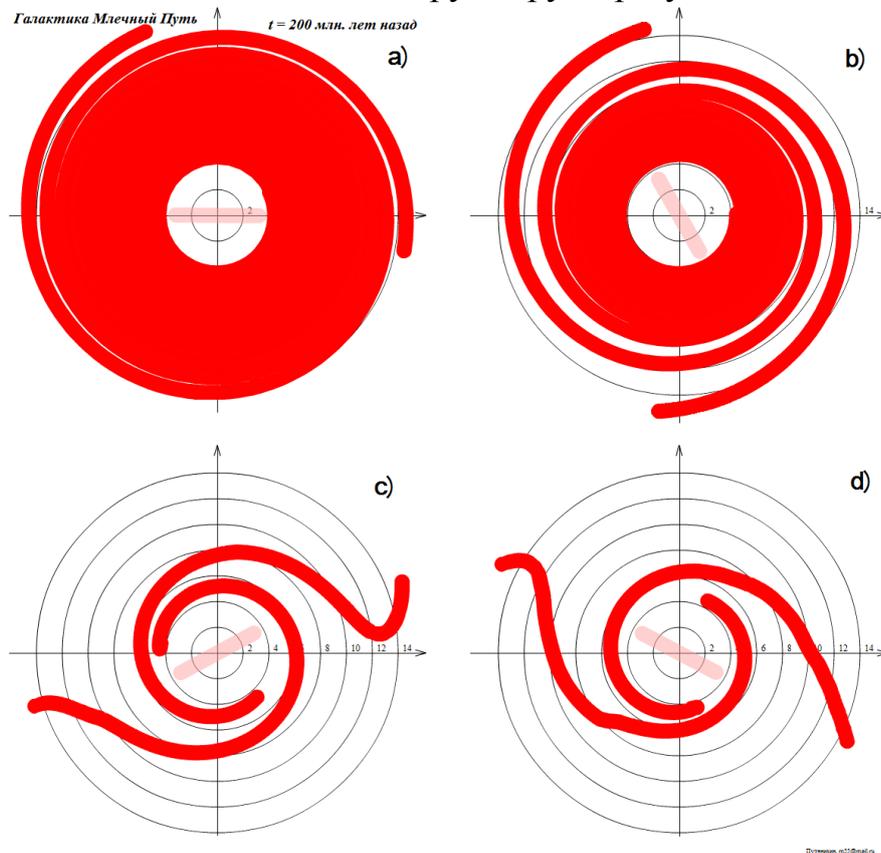


Рис.17 Возможно, так выглядела галактика Млечный Путь 200 млн. лет назад при движении - а), b), c) - с вычисленными кеплеровскими кривыми вращения и d) – с наблюдаемой кривой вращения (тёмная материя)

На рисунке показан предполагаемый вид галактики 200 млн. лет назад, если бы она двигалась с каждой из рассмотренных кеплеровских кривых вращения и наблюдаемой кривой вращения (тёмная материя). Главное, на что сразу же можно обратить внимание – при всех кривых вращения галактика 200 млн. лет назад была закручена в обратном направлении. Это означает, что независимо от кривой вращения галактика изменила направление своего вращения. Причём это произошло раньше, чем она совершила один оборот внешней структуры. Если «прокрутить» галактику в прошлое ещё на несколько сотен миллионов лет, то рукава, очевидно, сольются в сплошной диск и для двух других кривых вращения. Ситуация, мягко говоря, странная. Выясним, когда в прошлом галактика имела «в последний раз» противоположное нынешнему направлению рукавов для каждой из рассмотренных кривых вращения. Считаем, что эта дата соответствует однозначному, без перегибов обратному направлению рукавов, на дату, ближайшую к дате начала изменения их направления. Кроме этого, видимо,

существует и дата, когда в прошлом галактика уже имела нынешнее направление рукавов «в первый раз», то есть уже определённо, окончательно была закручена в нынешнее состояние.

Если просмотреть в замедленном темпе анимации, то можно определить эти даты. Для кривых вращения рисунков 5, 8, 10 и наблюдаемой кривой вращения эти даты, соответственно равны: 55...8; 125...20; 450...70; 280...70 млн. лет назад. Галактика для этих кривых вращения в соответствующие даты «в последний раз», предположительно, имела следующий вид:

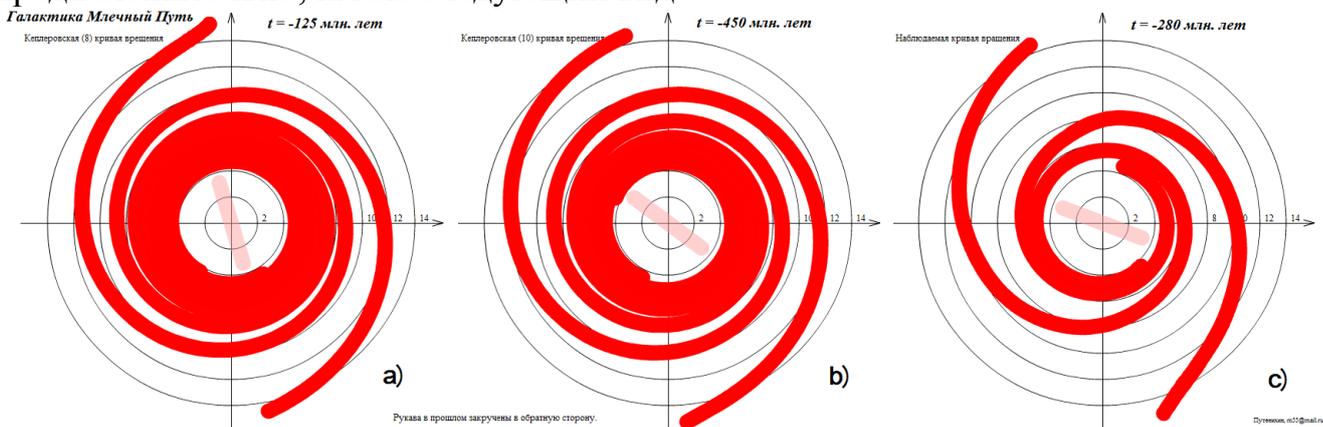


Рис.18 Возможно, так выглядела галактика Млечный Путь в то время, когда рукава ещё только начали закручиваться в направлении, наблюдаемом в наши дни.

На рисунке а) и б) соответствуют вычисленным кеплеровскими кривыми вращения рис.8 и рис.10, с) – наблюдаемой кривой вращения (тёмная материя). Вариант с кривой вращения рис.5 не рассматривается, поскольку характер этой кривой математически недостаточно убедителен.

Видно, что галактика могла быть закручена в обратную сторону от 125 до 450 млн. лет назад, то есть практически в пределах одного оборота внешней структуры. Причём неважно, какой была при этом кривая вращения – кеплеровская или наблюдаемая, вызванная влиянием темной материи. Этот разворот рукавов соответствует только рассмотренным возможным кривым вращения: либо наблюдаемой, либо вычисленным по правилам небесной механики, законам Ньютона и Кеплера. Обстоятельство в высшей степени странное:

если галактика была закручена в обратном направлении, то выходит, что при таком характере вращения в далёком прошлом она была закручена ещё сильнее и даже до состояния сплошного диска. По какой причине галактика изменила направление закручивания на противоположное? Почему это произошло буквально на наших глазах, то есть в пределах всего одного цикла вращения?

Кроме этого неизбежен и такой вопрос: на интервале двух противоположных направлений вращения, очевидно, есть точка, когда галактика находилась в промежуточном состоянии закрученности. Понятно, что верхней точкой является время, которое выше мы назвали «в первый раз», то есть когда галактика впервые определённо имела нынешнее направление рукавов.

Считая, что движение было монотонным, понимаем, что эти точки времени зависят от характера кривой вращения. Казалось бы, они должны быть равны полу-

сумме этих времён: 73, 260 и 175 млн. лет назад, соответственно. Однако, просмотр анимации позволяет сделать заключение, что эти времена несколько отличны от полу-сумм. В зависимости от кривых вращения, галактика имела соответствующую среднюю форму во времена 25, 100 и 120 млн. лет назад:

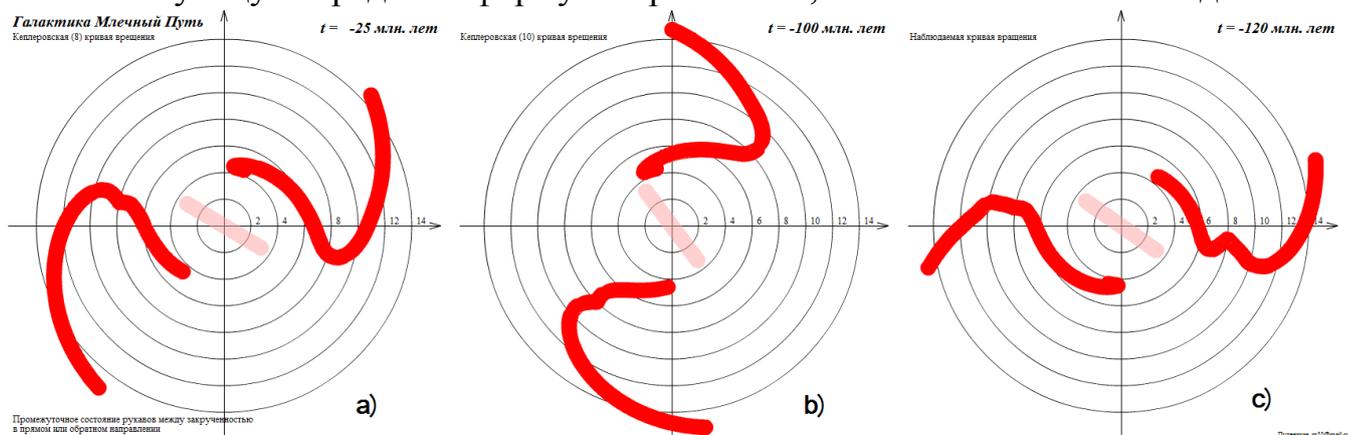


Рис.19 Возможно, так выглядела галактика Млечный Путь в указанное время t , когда рукава находились в промежуточном состоянии закрученности между прямым (нынешним) и обратным (предполагаемым) направлением в зависимости от кривой вращения

Как и на предыдущих рисунках, на этих рисунках а) и б) соответствуют вычисленным кеплеровскими кривыми вращения рис.8 и рис.10, с) – наблюдаемой кривой вращения (тёмная материя). Вариант с кривой вращения рис.5 здесь также не рассматривается.

И вновь возникает вопрос о форме рукавов. Не удаётся найти логически приемлемую исходную форму рукавов. Наиболее вероятной формой рукавов должна была быть, видимо, прямая. Прямые лучи рукавов в ходе вращения галактики, казалось бы, должны закрутиться в наблюдаемые ныне спирали. Однако, ни одна из кривых вращения не позволяет ретроспективно получить хотя бы приблизительно прямые исходные формы рукавов. Вновь приходится констатировать, что картина довольно странная:

ни одна из возможных кривых вращения галактики Млечный Путь не позволяет в ретроспективе получить исходную форму рукавов, предположительно, близкие к прямым лучам;

и наблюдаемая кривая вращения и вычисленные по законам небесной механики кривые вращения приводят в ретроспективе к изменению направления закрутки рукавов, причём практически в пределах одного оборота галактики, что плохо согласуется с логикой.

Таким образом, в заключение с неизбежностью напрашивается вывод, что наблюдаемая кривая вращения, измеренные скорости звёзд в галактике Млечный Путь не могли иметь таких значений даже на протяжении половины или одного оборота внешней структуры галактики:

следовательно, в отношении галактики Млечный Путь гипотеза о тёмной материи решает проблему несуществующей или непродолжительной по времени кривой вращения;

возможно, это относится и ко всем другим спиральным галактикам.

26.03.2015

Адрес полного текста статьи с анимациями в интернете URL:

http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/mw_037.shtml (Дата обращения 15.01.2016)

Иллюстрации (анимации) и уравнения к статье (зеркала)

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

<https://cloud.mail.ru/public/8WpP/qeaUMAiGz>

<https://cloud.mail.ru/public/Hq7e/jZ9YZGJW9>

<https://yadi.sk/d/EZg36rrKmJDwk>

<https://drive.google.com/folderview?id=0B0uM56->

[EnG4ZaUFJb0YzY3YtcVU&usp=drive_web](https://drive.google.com/folderview?id=0B0uM56-EnG4ZaUFJb0YzY3YtcVU&usp=drive_web)

<http://fileload.info/users/putenikhin/>