

The background of the entire page is a complex, abstract graphic representing the structure and dynamics of galaxy arms. It features numerous curved, overlapping lines in various colors including blue, cyan, yellow, orange, and red. These lines are interspersed with dashed white lines, some of which form radial patterns. The overall effect is a sense of dynamic motion and complex geometric relationships, typical of scientific illustrations in astrophysics.

Кладов В.Л.
**Как вращаются
рукава галактик**

Новосибирск 2026

Владимир Кладов

Как вращаются рукава галактик

<https://litres.ru/74033686>

SelfPub; 2026

Аннотация

Сформулирована гипотеза о формировании спиральных рукавов галактик в результате воздействия на газопылевую среду галактики потоков высокоскоростных частиц из ядер галактик. Источниками частиц являются спутники (звездных масс) сверхмассивной черной дыры в центре галактики (и таких спутников может быть несколько), а также спутники больших черных дыр в дополнительных центрах эмиссии. Такими спутниками могут быть быстро вращающиеся объекты звездных масс, такие как аккреционные диски черных дыр или пульсары, или быстро вращающиеся звезды-гиганты. Предложена программная модель для симуляции работы этого процесса и сравнения результатов моделирования с фотографиями галактик. Отмечено, что данная модель близко описывает реальные физические явления. Указано на возможную связь между вспышками сверхновых и воздействием потоков частиц на звезды. Показано, что гравитационное линзирование не требуется

для объяснения наличия колец и пятен в изображениях удаленных галактик.

Содержание

Введение	5
Шаг 1	6
Шаг 2	15
Шаг 3	20
Шаг 4	27
Шаг 5	33
Конец ознакомительного фрагмента.	38

Владимир Кладов

Как вращаются рукава галактик

Введение

В этой книге автор попытался ответить на вопрос, заданный в ее заглавии: как (в какую сторону, насколько быстро) вращаются рукава спиральных галактик? А также, на сопутствующие вопросы: насколько долго, сколько в них звезд и газа и другие, с первым вопросом связанные.

Выводы, которые следуют из проведенного автором исследования, могут обескураживать и даже шокировать. Вываливать на голову неподготовленного читателя все результаты сразу может оказаться контрпродуктивно. Поэтому предлагается двигаться вперед медленно, небольшими шагами, подводя после каждого шага некоторый итог.

Шаг 1

Исследователям становятся доступны все более детальные фотографии центральных областей галактик. То, что раньше выглядело как два серпа, соединенных ручками, теперь обнаруживает в центре небольшую четкую спираль, симметрично вытягивающуюся в двух противоположных направлениях. Например, как в галактиках NGC 1300, NGC 1512.



Рис. 1. Галактика NGC 1300. Источник – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo0501a.jpg>). Кадр 1 – получен из оригинального (кадр 2) с использованием графических фильтров (обесцвечивание, уменьшение размера, размытие), чтобы продемонстрировать то, как выглядели снимки этой галактики полсотни

лет назад. Кадр 2 – уменьшенное изображение ESA/Hubble. Кадр 3 – центральная часть исходного изображения ESA/Hubble (снижена яркость, поднята контрастность).

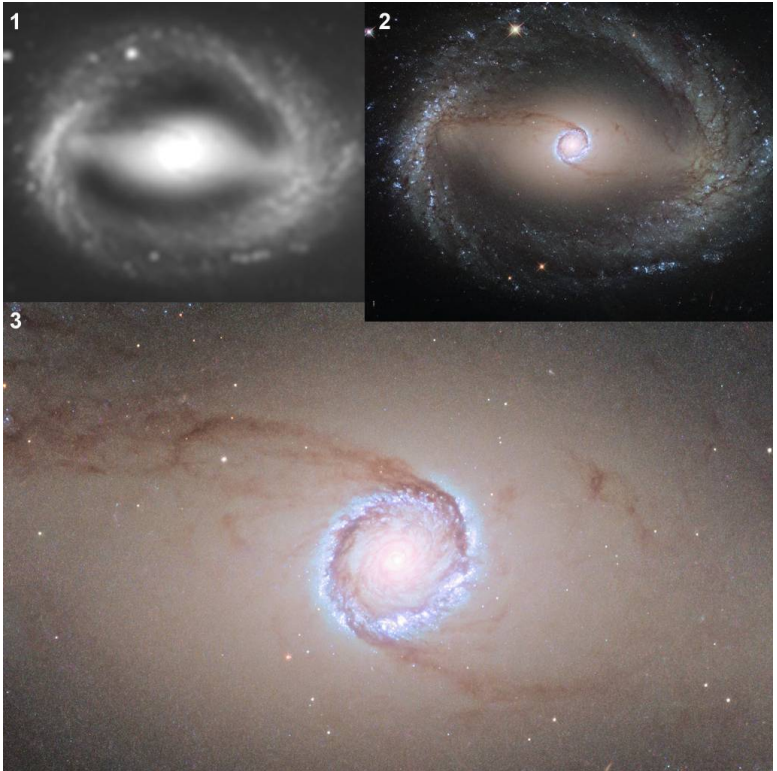


Рис. 2. Галактика NGC 1512. Источник – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/>

[heic1712a.jpg](#)). Используется только левая половина снимка с собственно галактикой NGC 1512. Кадр 1 – ухудшенное исходное изображение. Кадр 2 – уменьшенное исходное изображение. Кадр 3 – центральная часть галактики из того же исходного изображения.

То же самое относится и к спиральным галактикам с баром, как например, приведенная ниже галактика Messier 100. То, что было похоже на очень яркое пятно в центре галактики, оказалось четко различимой спиральной структурой, сходящейся к самому центру ядра галактики.

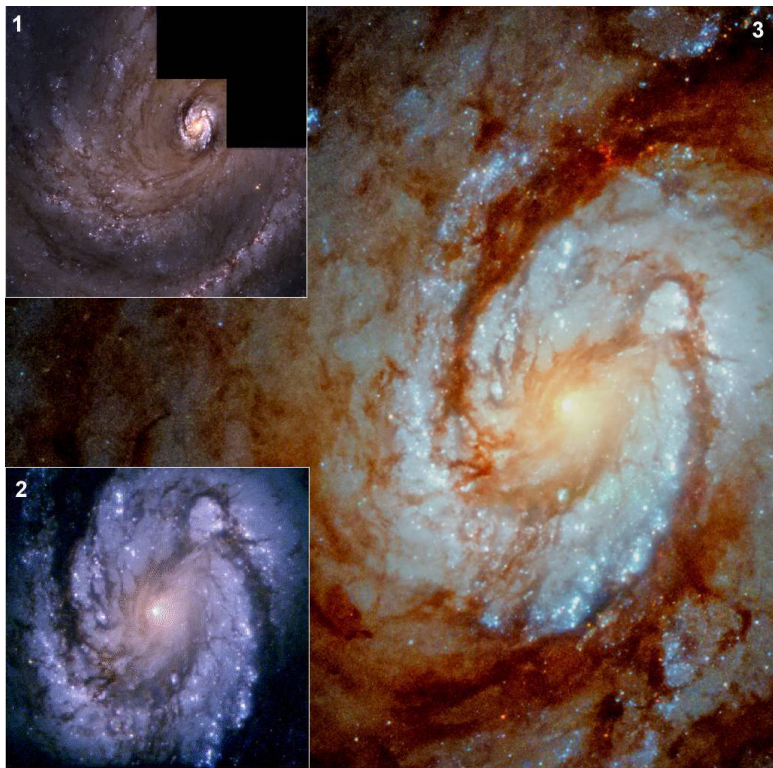


Рис. 3. Галактика M100. От старой фотографии с низким разрешением к более современной. Кадр 1 – старая фотография ESA/Hubble. Источник – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo9449c.jpg>). Кадр 2 – улучшенная версия фотографии ядра галактики (телескоп Хаббл). Источник

– ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/po9402a.jpg>), фрагмент. Кадр 3 – центральная часть обновленной фотографии Хаббл. Источник – ESA/Hubble (<https://esahubble.org/images/potw1850a/>), изменена яркость и контрастность.

На первый взгляд, ничего особенного не произошло. Если спирали образуются естественным образом в основном теле галактики, то почему бы подобным процессам не повторяться в более мелком масштабе в центре галактики. (Слово «естественным» употреблено здесь как отсылка на не слишком подробное описание астрономами причин возникновения спиральных рукавов в спиральных галактиках). Все еще возможно рассматривать данный процесс как закручивание в спираль некоторого вытянутого в прямую линию облака газа, в результате различия в скорости вращения частиц этого газа на различных расстояниях от центрального массивного объекта. Как известно в настоящее время, этот объект является сверхмассивной черной дырой (СМЧД), с массой в миллионы раз больше массы Солнца.

Возникает, тем не менее, вопрос о том, откуда это облако газа взялось, и как оно приобрело такую первоначально центрально-симметричную форму. Да, известно о джетах, иногда выбрасываемых СМЧД в космическое пространство. Масштабы данного явления поражают, иногда такие джеты имеют протяженность более миллиона световых лет. Но на

протяжении всей своей невероятной длины такие выбросы остаются в основном прямолинейными, из чего может быть сделан вывод о том, что они испускаются из полюсов СМЧД, а никак не в плоскости эклиптики. В то время как «ленты газа», закручиваемые в спирали в ядрах галактик, расположены именно в галактической плоскости.

Если это выброс газа в плоскости галактики, то причиной мог бы стать, например, разрыв на части звезды или планеты, слишком сильно приблизившейся к СМЧД. После чего вещество при этом могло бы направиться в двух противоположных направлениях.

Однако простая программная симуляция показывает, что даже если скорость фрагментов вещества, вылетевших из ядра галактики, достигла всего лишь $1/100$ скорости света, то эти фрагменты уже никогда не затормозятся силами гравитации (разве что немного в самом начале). Например, при массе СМЧД в 10 млн. солнечных, в случае взрыва на расстоянии в 1 световой год, начальная скорость выброса 0.01 скорости света почти мгновенно падает на 20% и далее остается постоянной вплоть до самого края галактики. В случае же, если начальная скорость составляет $2/100$ скорости света, то после быстрого падения ее с 0.02 до 0.019 скорости света она опять остается постоянной.

Что означает, что частицы, выброшенные черными дырами со скоростями, близкими к скорости света, никогда не остановятся. Они будут рассеиваться в пространстве, но ни-

когда не завернутся в спираль, чтобы образовать рукава спиральных галактик.

Но если скорость изначально меньше некоторого предела, то она еще быстрее уменьшается до нуля – вещество почти сразу падает на СМЧД. В той же самой симуляции достаточно уменьшить начальную скорость до 0.005 скорости света, чтобы такое произошло. Если допустить, что вещество продолжает двигаться по той же орбите, по которой вокруг СМЧД двигалось разорванное тело, то, как минимум в одном из двух направлений выброса вещество должно очень быстро упасть на СМЧД, и мы никак не смогли бы наблюдать симметрично закручивающуюся двойную спираль из потока вещества.

Тем не менее, есть еще одно возможное решение задачи. Если предположить, что спутник на орбите СМЧД не разрывается на части, а лишь постепенно отрывается от него вещество (постоянно или порциями, но регулярно), и приобретает скорость не менее $1/10$ скорости света, то в итоге имеет место вращающийся вокруг СМЧД источник частиц.

Огромное притяжение СМЧД, вокруг которой обращается этот излучающий частицы спутник, вызывает на его поверхности настолько гигантскую приливную волну, что форма спутника изменяется, и на его поверхности оказываются ровно две области, в которых сосредотачивается выброс частиц. При этом частицы покидают спутник СМЧД в двух строго противоположных направлениях, достигая огромных

скоростей.

Когда спутник, двигаясь по эллиптической орбите, приближается к СМЧД, его скорость движения увеличивается, и вместе с этим увеличивается скорость поворота двух направлений, в которых частицы вещества выбрасываются. Когда спутник удаляется от СМЧД, его движение замедляется, и соответственно замедляется поворот линии выброса частиц. В результате фронт частиц, выброшенных вблизи СМЧД, формируют туго завернутую спираль, а на остальной части траектории этот фронт вытягивается в длинную почти прямую линию.

Вопрос о том, какие объекты могут являться такими спутниками СМЧД, от которых постоянно или регулярно отрывается вещество и улетает с большой скоростью в двух направлениях, не является принципиальным на этом шаге. Но обязательно будет рассмотрен позже.

Краткий итог шага 1: *предложена гипотеза эмиссионного характера формирования спирали в ядре галактики.*

Шаг 2

Такой процесс несложно смоделировать программно. Все, что для этого требуется из физики, – это формулы движения спутника пренебрежимо малой массы по орбите. Пренебречь массой объекта, являющегося звездой, вполне допустимо, если он обращается вокруг сверхмассивной черной дыры, в миллионы раз тяжелее его. В программе следует задавать в качестве входных параметров:

e – эксцентриситет орбиты (от 0 до 1),

T – период обращения спутника (в годах),

M – масса СМЧД (в массах Солнца).

$$v = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$$

$$\mu = G M$$

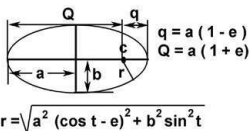
$$a = \sqrt[3]{\mu \frac{T^2}{4\pi^2}}$$

$$\begin{aligned} x &= a \cos t \\ y &= b \sin t \\ 0 &\leq t \leq 2\pi \end{aligned}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}}$$

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$$

$$b = a\sqrt{1 - e^2}$$



$$\begin{aligned} q &= a(1 - e) \\ Q &= a(1 + e) \\ r &= \sqrt{a^2 (\cos t - e)^2 + b^2 \sin^2 t} \end{aligned}$$

Рис. 4. Формулы элементов эллиптических орбит: r – радиус-вектор между СМЧД (в точке c) и текущим положением спутника на орбите.

G – это гравитационная постоянная, все прочие величины вычисляются из трех заданных выше:

a – большая полуось (св. лет),

q – минимальное расстояние от спутника до СМЧД (св.

лет),

Q – максимальное расстояние от спутника до СМЧД (св. лет),

$R(t)$ – расстояние от спутника до СМЧД в каждый момент времени t ,

$v(t)$ – скорость движения спутника по орбите в момент времени t .

Кроме того, требуется задавать скорость частиц, выбрасываемых спутником в двух направлениях (v_1). Предполагаем, что эта скорость выброса постоянна на всех участках орбиты спутника.

Симуляция, по сути, заключается в том, что для каждого исходного момента времени генерируются условные «частицы» и перемещаются в позицию, которую они должны занять, двигаясь прямолинейно с фиксированной скоростью в заданном направлении. После чего полученные точки можно соединить прямыми линиями, формируя ломаную линию, которая образует в приближении смоделированную спираль. Осталось провести такое моделирование для заданного периода активности, и отобразить результат на экране.

И как по заказу, программа выдала именно такие формы спиралей, как и на фотографиях центральных областей галактик. Особенно похожи формы спиралей, полученных при значениях эксцентриситета от 0.5 до 0.75.

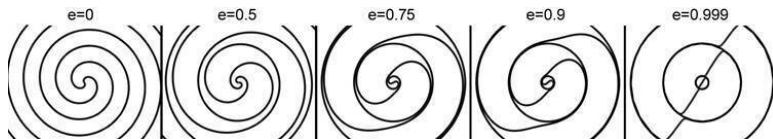


Рис. 5. Формы двойных спиралей, образованных фронтом частиц, в зависимости от эксцентриситета орбиты спутника СМЧД. Результаты моделирования в программе.

Следует сразу же отметить, что форма спирали в случае эмиссионного происхождения спиральной линии не остается постоянной во времени. По мере движения спутника вокруг СМЧД (и потоков частиц в пространстве) эта форма изменяется. Вот только чтобы увидеть эти изменения, придется наблюдать галактику на протяжении многих тысяч лет. Например, для орбиты спутника с эксцентриситетом $e=0.5$ и периодом обращения вокруг СМЧД $T=100$ тысяч лет последовательность будет следующей.

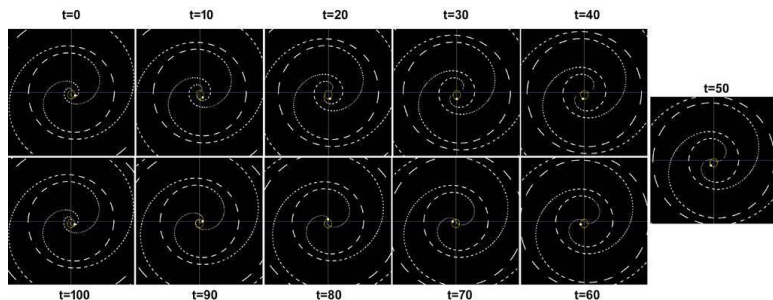


Рис. 6. Эволюция спирали на протяжении полного цикла движения спутника СМЧД по эллиптической орбите, $e=0.5$. Время (t) указано в тысячах лет. Результаты работы программы моделирования.

В центре изображена условная траектория и положение спутника, формирующего спираль (но они увеличены в тысячу раз). Как видно на диаграмме, через сто тысяч лет конфигурация спирали совпадает с первоначальной. На приведенной последовательности кадров линия фронта частиц, выброшенных спутником-излучателем, изображена штриховой линией. Каждый штрих (или его отсутствие) формируется за одну тысячу лет. На участке спирали, где эти штрихи сокращаются до точек, спутник движется по дальней части орбиты медленно, и при этом направление выброса частиц поворачивает также не спеша. Чем длиннее штрихи, там быстрее они были сформированы, тем ближе спутник

находился к центру притяжения.

Краткий итог шага 2: предложена программная модель эмиссионного формирования спирали в ядре галактики, и она выдает результаты, близкие к тем, что наблюдаются на фотографиях ядер галактик.

Шаг 3

Чтобы иметь возможность сравнивать полученные спиральные линии с фотографиями галактик, в программу нужно добавить возможность отображать результат моделирования поверх имеющейся фотографии галактики. А также поворачивать спирали вокруг трех осей в пространстве и иметь возможность масштабировать изображение.

Однако есть еще лучший способ сравнить результат – использовать не саму фотографию, а 3D-рельеф, созданный на ее основе по такому же принципу, как работает фильтр «штамп» (emboss) в графических редакторах. А именно, копия изображения инвертируется и накладывается на исходную фотографию в режиме сложения, с небольшим сдвигом на несколько пикселей в выбранном направлении. Перед сложением исходные значения величин яркости по каналам цветности R, G, B увеличиваются на некоторую величину. В итоге совпадающие или близкие по цвету/яркости пиксели становятся серыми или близкими к серому цвету, в то время как в областях, где цвет/яркость быстро изменяется, итоговый пиксель становится значительно светлее или темнее (в зависимости от направления сдвига).

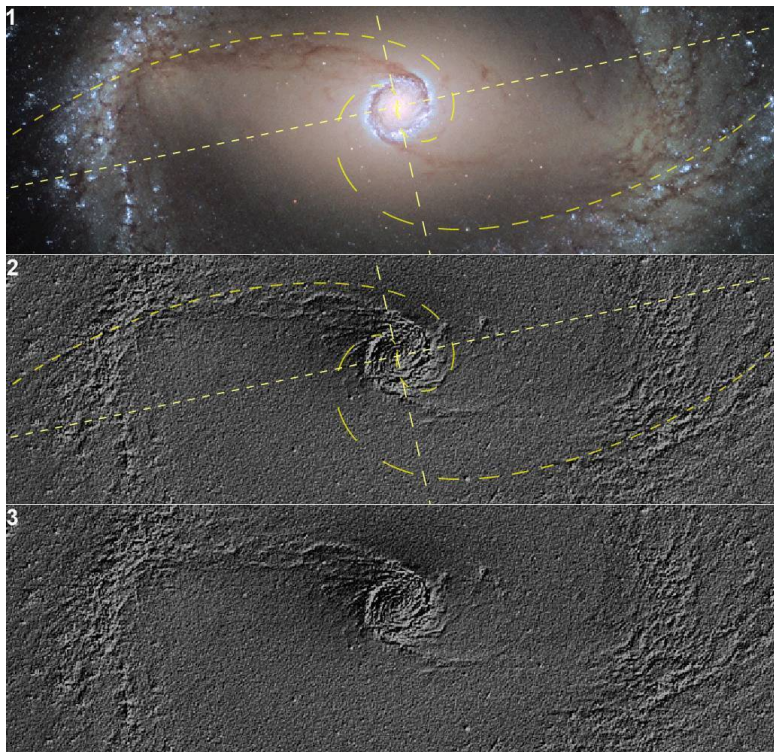


Рис. 7. Сравнение моделированной линии фронта частиц и реальной фотографии ядра галактики NGC 1512. Источник – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/screen/heic1712a.jpg>), фрагмент (полоса, содержащая центральную область галактики). Кадр 1 – на фотографию наложена моделированная спираль при скорости частиц

$v=0.735c$. Кадр 2 – та же спираль наложена на 3D-рельеф, сгенерированный программой на основе исходной фотографии. Кадр 3 – только 3D-рельеф.

На снимке из программы представлено такое совмещение со спиралью, которые могли бы быть сформированы как результат эмиссии потока частиц со спутника СМЧД в галактике NGC 1512. Параметры орбиты спутника: эксцентриситет $e=0.708$, наклон эклиптики к плоскости проекции около 23° . Скорость выброса частиц, формирующих эту линию, выбрана равной $0.735c$. «Выбрана» – здесь это слово употреблено не случайно. Позже будет понятно, почему употреблено именно оно.

В штриховой линии, изображающей смоделированную спираль, штрихи завершаются или начинаются каждые 1000 лет моделирования. Более длинный почти прямой участок сформирован за значительно большее время, чем центральная, почти кольцевая часть спирали.

Пунктирные прямые линии, пересекающиеся почти точно в точке, где должна находиться СМЧД (с некоторым сдвигом, что позволяет рассмотреть те элементы рельефа, по которым должны бы пройти смоделированные линии). Эти линии соответствуют большой и малой осям эллиптической орбиты спутника с указанными параметрами. Большая ось отмечена более длинными штрихами, малая ось – более короткими. Внимательное изучение снимка с 3D-штампом по-

казывает, что на фотографии галактики этим линиям соответствуют физические градиенты яркости, что на 3D-штампе выглядит как почти прямая (хотя и прерывистая) канавка вдоль этих линий.

Чтобы убедиться, что случай галактики NGC 1512 не уникален, может быть приведено подобное совмещение, например, для галактики NGC 1300.

Параметры орбиты спутника СМЧД: эксцентриситет $e=0.937$, наклон плоскости эклиптики h около 2° . Скорость выброса частиц около $0.3c$. Если масса СМЧД около 17 млн. солнечных, то период обращения такого спутника составит приблизительно 21 тыс. лет.

Следует отметить, что для корректности визуального сравнения смоделированных спиральных фронтов не является существенным обязательное указание точных размеров галактик на фотографиях (в световых годах) или использование точных масс СМЧД этих галактик. Все параметры могут быть рассчитаны для условной галактики размером 100 тыс. св. лет, с СМЧД в центре с массой 10 млн. солнечных масс. При получении более точных размеров и массовых значений окончательные параметры орбит излучающих спутников могут быть пересчитаны в соответствии с формулами, указанными ранее. При этом такие важные характеристики орбиты спутника, как эксцентриситет и угол наклона плоскости его орбиты, останутся неизменными, как и форма спирального фронта эмиссии частиц.

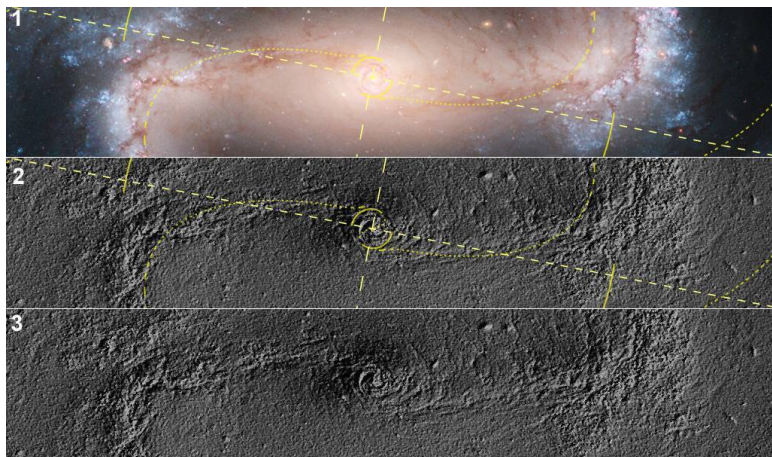


Рис. 8. Сравнение смоделированной линии фронта частиц и фотографии ядра галактики NGC 1300. Источник – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo0501a.jpg>). Исходная фотография повернута на 20° и из нее выбран горизонтальный фрагмент, захватывающий ядро галактики. Кадр 1 - на фотографию наложена смоделированная спираль при скорости частиц $v=0.763c$. Кадр 2 – та же спираль наложена на 3D-рельеф, сгенерированный программой на основе исходной фотографии. Кадр 3 – только 3D-рельеф

На этом совмещении снова имеется «крестовина», с большой точностью совпадающая с линиями большой и малой осей эллипса орбиты предполагаемого спутника СМЧД. Не затрагивая пока возможные причины появления таких линий, отметим, что их наличие в каждой галактике позволяет уточнять параметры орбиты спутников СМЧД с большой точностью.

Небольшое примечание: если линии на штампах (приведенных здесь и далее по тексту) кажутся слишком малозаметными, чтобы быть убедительными, то это означает только, что изображение следует увеличить. Если возможности конкретного способа представления информации не позволяют изменить масштаб изображения, то следует брать другое издание, а еще лучше – программу моделирования, и рассматривать результаты непосредственно в ней. Это касается как изображений рассматриваемой здесь галактики, так и любых других приведенных здесь изображений.

Краткий итог шага 3: *программная модель позволяет подобрать параметры спутников СМЧД, являющихся источниками частиц, и визуально сравнить формы спирали, образованной фронтом этих частиц, со спиральными формациями в ядрах галактик. Такое сравнение показывает, что модель может повторить форму спирали в ядре галактики с очень высокой точностью. Спираль, сформированная в ядре галактики, распространяется вплоть до ее гра-*

ницы, сохраняя свою строго геометрическую форму практически без искажений.

Шаг 4

Если зафиксировать параметры орбиты отдельного спутника, и начинать изменять одну лишь скорость выброса частиц, то при некоторых значениях скорости, отличающихся от первоначально выбранной скорости, спираль начинает очень неплохо совпадать с другой группой особенностей на фотографии и на 3D-штампе. Например, для галактики NGC 1512 и ранее подобранного спутника СМЧД, если изменять скорость от 0.6с до 0.144с, приостанавливаясь, когда такое совпадение наиболее заметно, то в сумме получается следующая картина. Образуется целый веер спиральных линий, пересекающих спиральные рукава галактики многократно, и в некоторых местах пересекающихся между собой.

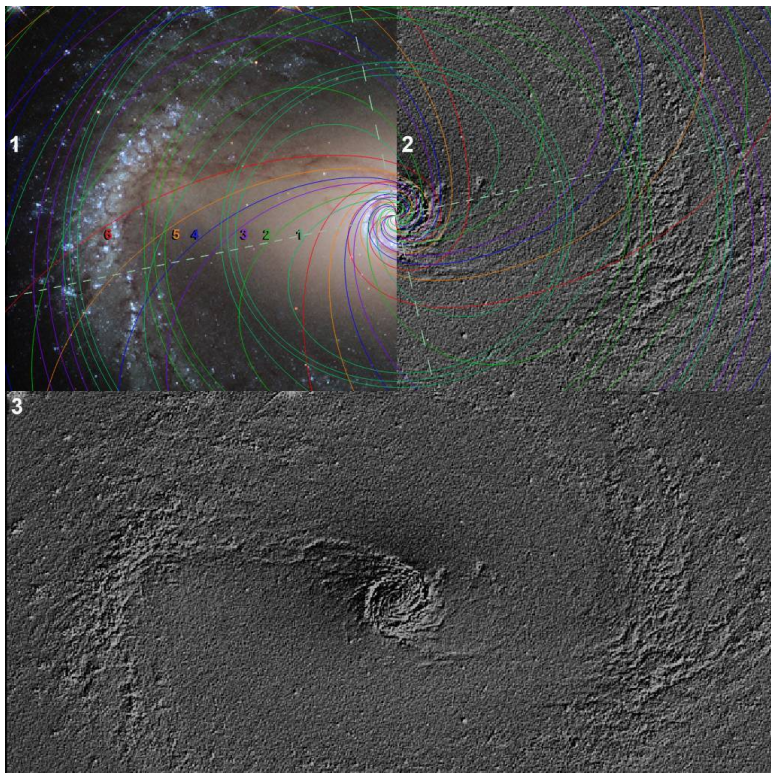


Рис. 9. Сравнение смоделированных линий фронта частиц в галактике NGC 1512 – телескоп HST. Источник – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/heic1712a.jpg>). Спутник с эксцентриситетом $e=0.708$, наклон $h=23^\circ$. Спирали: $v_1=0.144c$, $v_2=0.207c$, $v_3=0.298c$, $v_4=0.356c$, $v_5=0.452c$, $v_6=0.6c$. Кадр 1 – наложение смодели-

лированных спиралей на фотографию (слева от центра галактики). Кадр 2 – наложение тех же линий на 3D-штамп той же фотографии (справа от центра галактики). Кадр 3 – чистый 3D-штамп на основе исходной фотографии.

Получается, что один объект (спутник СМЧД) испускает частицы сразу с несколькими различными скоростями, причем, этот набор скоростей не изменяется на достаточно большом промежутке времени, в течение как минимум нескольких оборотов этого спутника вокруг СМЧД.

На сравнениях с изображениями, выполненными в инфракрасном диапазоне, совпадения еще более заметны, настолько, что часто даже не требуется создавать 3D-штамп, чтобы получить совпадения смоделированных спиралей с наиболее заметными световыми линиями.

На снимках хорошо заметно, что имеются пересечения линий, направленных в основном от центра, с линиями, расположенными вдоль эллипса, что косвенно подтверждает гипотезу об эмиссионном характере этих линий, так как потоки, сформированные в результате только лишь вращения газа, вряд ли смогли бы образовывать такие пересечения течений газа.

На изображении дополнительно показаны «перпендикулярные» спирали, и им также соответствуют протяженные неровности на рельефном штампе, но об этом позже.

Чтобы двигаться дальше, необходимо иметь представле-

ние о физическом процессе, приводящем к подобным результатам. Требуется хотя бы понять, что это за объект, от которого отрывается вещество и летит в пространстве в двух противоположных направлениях со скоростями, сравнимыми со скоростью света.

Очевидно, что это нечто вращающееся с большой скоростью, например, аккреционный диск черной дыры, или быстро вращающаяся звезда. О черных дырах известно, что вблизи их поверхности линейная скорость практически равна скорости света. Если же это звезда, то, для того, чтобы вещество на поверхности голубого сверхгиганта радиусом 20 солнечных (около 14 млн. км) «летело» со скоростью света, достаточно, чтобы он делал один оборот вокруг своей оси примерно за 5 минут.

Из-за приливных сил СМЧД этот быстро вращающийся источник материи вытягивается в двух направлениях, и в результате в двух областях на его поверхности вещество может достигать критических скоростей, позволяющих частицам покинуть поверхность этого спутника.

Если частицы выбрасываются постоянно или периодически, то не очень ясно, как именно может получиться представленная выше картина, согласно которой скорости выбрасываемых частиц сосредотачиваются вокруг некоторых избранных значений. Хотя разнообразие скоростей легко объясняется некоторым разбросом скоростей отрывающихся частиц, вторая часть вопроса остается без ответа.

Решением может быть снова работа приливных сил, а именно наличие дополнительных компаньонов нашего спутника СМЧД, период обращения которых вокруг этого спутника достаточно мал, чтобы порции вещества, оторвавшиеся во время их сближений, в итоге воспринимались как один сплошной поток. Сближение с каждым таким спутником-компаньоном несколько усиливало бы приливное воздействие на поверхность спутника-источника, в результате она растягивалось больше, и при этом возрастала мощность потока. Такое сближение может длиться короткое время (например, земные годы), после чего в течение достаточно длительного периода времени (десятки или сотни лет) влияние данного спутника существенно снижается, пока он движется по удаленной части своей орбиты.

Для возникновения линий фронтов частиц, соответствующих некоторым выделенным скоростям, могут быть и другие причины. Например, интерференция потоков частиц, движущихся с разными скоростями, достигнутыми газом при воздействии на него частиц, выброшенных на разных циклах движения спутника. Или же возможен вариант, в котором излучающий спутник – это не единичный объект звездной массы, а конгломерация таких объектов, сгруппированных вокруг некоторого центра масс и движущихся компактной группой по общей эллиптической орбите вокруг СМЧД.

Краткий итог шага 4: *один спутник СМЧД (вместе со своими гравитационными компаньонами) может формировать цуги спиральных фронтов частиц в виде двойных спиралей, соответствующих определенным скоростям выброса частиц.*

Шаг 5

Если продолжить наращивать скорость выброса частиц до максимально возможной $v=c$, то оказывается, что вплоть до скорости света обнаруживаются соответствующие линии на рельефном оттиске.

На самом деле, в серии различных скоростей частиц следует находить сначала именно линию фронта частиц, движущихся со скоростью света, а затем уже сравнивать спиральные фронты, соответствующие меньшим скоростям. Именно спиральные линии, соответствующие скорости частиц, равной скорости света, оставляют наиболее яркие следы на фотографиях, что очевидно. Если удачно найдена спираль частиц, соответствующая максимально возможной скорости частиц, то с большой вероятностью меньшим скоростям будет соответствовать большое число параллельных им «бороздок» на 3D-рельефе. Именно так и были «вычислены» линии для данного спутника галактики NGC 1512.

Что означает «найдена удачно»? Дело в том, что, если скорости движения частиц даже начинают приближаться к скорости света, изображение спиралей размером в десятки тысяч световых лет для удаленного наблюдателя оказывается искаженным. При моделировании обязательно требуется учитывать оптические искажения наблюдаемых линий фронтов частиц.

При скоростях движения частиц материи, сопоставимых со скоростью света, свет от следов столкновений частиц, движущихся в нашем направлении, приходит не одновременно со светом от столкновений частиц, от нас удаляющихся. След от частиц, летящих в нашу сторону, будет наблюдаться в их более поздней (близкой по времени) позиции по сравнению с частицами, от нас удаляющимися.

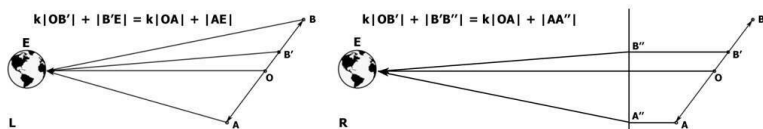


Рис. 10. Постановка задачи об учете задержки сигнала от объектов при движении их из точки O в противоположных направлениях A и B со скоростями $v=kc$, где $0 < k \leq 1$. Слева – точная постановка задачи, справа – упрощенная. Рисунок автора.

Например, в работе, посвященной исследованию квазара J1601+3102, авторы исследования (<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ad9609>) разницу в местоположении двух радио-выбросов (и в их яркости) объяснили некими «неизвестными условиями» вблизи черной дыры.

Тогда как достаточно было предположить, что более яркий и близкий к источнику выброса пучок движется в на-

правлении от нас и поэтому сигнал должен пройти более длинную дистанцию, при равном расстоянии от источника – черной дыры. В итоге мы наблюдаем его в его более раннем по времени состоянии, когда он был еще в 10 раз ближе к черной дыре, не успел рассеяться, и поэтому намного ярче, чем тот, что движется в нашем направлении.

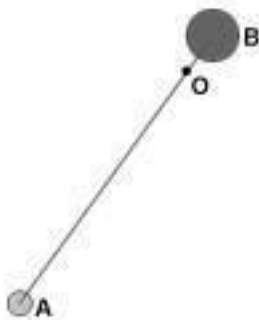


Рис. 11. Квazar J1601+3102. Схема расположения ЧД (точка O), северного (B) и южного (A) выбросов радио-джета. Выброс B значительно ближе к источнику и намного «ярче».

Аналогично, и при моделировании фронтов излучения, движущегося со скоростями, сравнимыми со скоростью света, следует учитывать эту разницу. В некоторых галактиках

только учет этой деформации позволяет подобрать параметры спутников, которые могли бы соответствовать спиральным линиям, наблюдаемым на фоне галактических рукавов. Ниже приведены результаты искажения формы спирали в зависимости от скорости частиц, и изображены наблюдаемые в различные моменты времени конфигурации для случая $v=0.8c$, $h=60^\circ$.

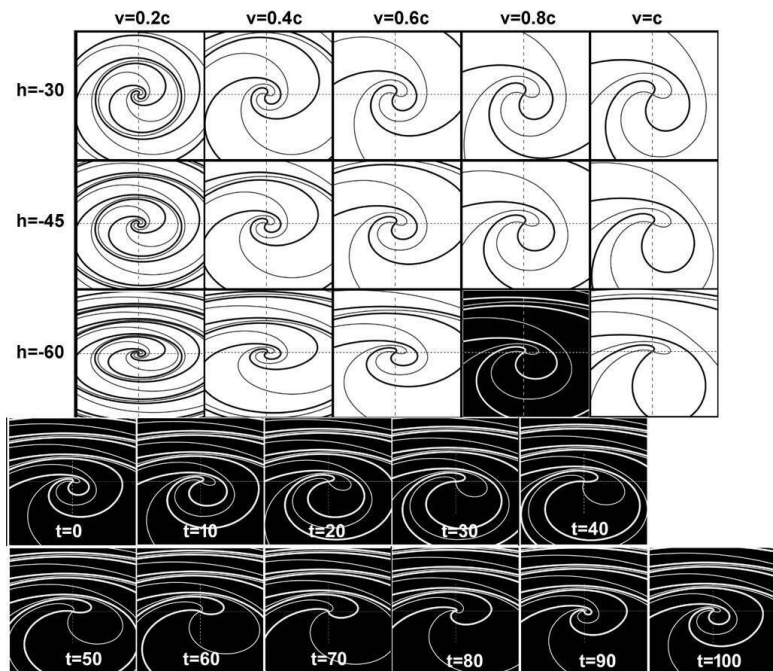


Рис. 12. Влияние скорости частиц на форму спирали с эксцентриситетом 0.5 при углах наклона плоскости спирали 30° , 45° и 60° относительно проекционной плоскости. Внизу (на темном фоне) – развертка во времени эволюции для $v=0.8c$, $h=60^\circ$ (для t в тыс. лет). Результаты получены в моделирующем приложении.

На этих схемах в дополнение к основным двум спиральным линиям более тонкими линиями показаны «перпендикулярные» им спирали, которые бы образовались, если бы излучение было направлено перпендикулярно тому, которое предполагается для утолщенных линий. Далее будет разъяснение по этому поводу.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.