

Instructions for working with the program GalaxyModel

Introduction

The GalaxyModel program is designed to simulate the behavior of particle fluxes emitted by satellites of supermassive black holes (SMBHs), usually located in the cores of galaxies. The author of the program suggested that the shape of the spiral arms of galaxies is determined precisely by these streams of particles ejected from the surface of the rapidly rotating satellites of the SMBH. The ejected particles move at different speeds (up to the speed of light) in four pairwise opposite and perpendicular directions and these four directions constantly rotate as the satellite moves in its orbit around the SMBH. Since the motion of the radiating satellite obeys Kepler's laws, as the satellite approaches the SMBH, its orbital velocity increases, and as it moves away, it slows down, and this difference increases the more the satellite's orbit around the SMBH is elongated (that is, the higher its eccentricity).



Figure 1. Generation of four streams (c—f) during the movement of a rapidly rotating satellite (b) in an elliptical orbit around a supermassive black hole (a).

Modeling of the satellite's operation consists in calculating the new position of the satellite in orbit after equal periods of time, forming four "particles" and moving away from the center of radiation in a straight line in the appropriate directions and at a distance equal to the product of the velocity of the particles and the time of their movement. After that, the points obtained

Инструкция по работе с программой GalaxyModel

Введение

Программа GalaxyModel разработана для симуляции поведения потоков частиц, излучаемых спутниками сверхмассивных черных дыр (СМЧД), расположенных обычно в ядрах галактик. Автор программы предположил, что форма спиральных рукавов галактик определяется именно этими потоками частиц, выбрасываемых с поверхности быстро вращающихся спутников СМЧД. Выброшенные частицы движутся с различными скоростями (вплоть до скорости света) в четырех попарно противоположных и перпендикулярных направлениях, и эти четыре направления постоянно поворачиваются в процессе движения спутника по его орбите вокруг СМЧД. Так как движение излучающего спутника подчиняется законам Кеплера, при приближении спутника к СМЧД его скорость движения по орбите увеличивается, а при удалении замедляется, и это различие тем больше, чем сильнее вытянута орбита спутника вокруг СМЧД (то есть, чем выше ее эксцентриситет).

Рисунок 1. Генерация четырех потоков (с—f) при движении быстро вращающегося спутника (b) по эллиптической орбите вокруг сверхмассивной черной дыры (a).

Моделирование работы спутника состоит в том, что через равные периоды времени вычисляется новое положение спутника на орбите, формируются четыре "частицы" и отодвигаются от центра излучения по прямой линии в соответствующих направлениях и на дистанцию, равную произведению скорости частиц на время их перемещения. После чего

sequentially are connected and form a spiral line.

полученные последовательно точки
соединяются и образуют спиральную линию.

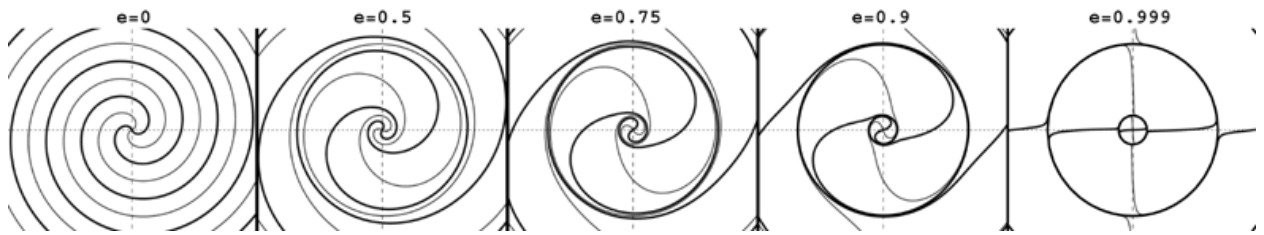


Figure 2. The shape of spirals formed by particle flows at different values of the eccentricity of the orbit of the radiating satellite.

The program takes into account the optical distortion that occurs due to the limitation of the speed of propagation of a light signal in space for particles moving at speeds comparable to the speed of light. In fact, for each point simulating a moving particle, the simple task is to find a position on the particle's line of motion where the light from the particle's collision with galactic gas will reach the observer simultaneously with other observed particles. As long as the galaxy is turned towards us flat or with a very small deviation of the galactic plane from perpendicular to the observation beam, the shape of the resulting spirals remains symmetrical, and optical distortion is not required. But even at an inclination of 20° or more, such an account becomes necessary, and only it allows us to explain the asymmetrical shape of the galactic spirals, which are considered circular.

Рисунок 2. Форма спиралей, образованной потоками частиц при различных значениях эксцентриситета орбиты излучающего спутника.

В программе учитывается оптическое искажение, возникающее вследствие ограничения скорости распространения светового сигнала в пространстве для частиц, движущихся со скоростями, сравнимыми со скоростью света. По сути, здесь для каждой точки, имитирующей движущуюся частицу, решается не слишком сложная задача – найти такую позицию на линии движения этой частицы, в которой свет от столкновения этой частицы с галактическим газом достигнет наблюдателя одновременно с другими наблюдаемыми частицами. Пока галактика повернута к нам плашмя или с очень небольшим отклонением плоскости галактики от перпендикуляра к лучу наблюдения, форма полученных спиралей остается симметричной, и учет оптического искажения не требуется. Но уже при наклоне 20° и более такой учет становится необходим, и только он позволяет объяснить несимметричную форму спиралей галактик, считающихся пекулярными.

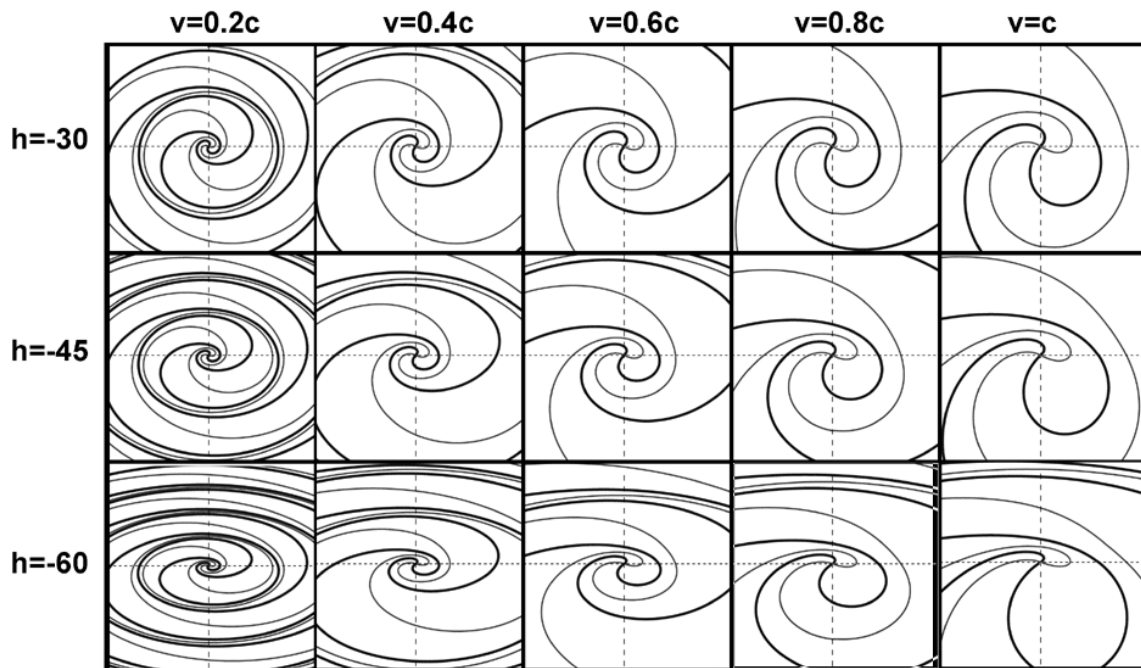


Figure 3. The shape of the simulated spirals for different particle velocities (v) and the slopes of the galactic plane (h , the upper side is further than the lower).

The program allows you to upload photos of galaxies and adjust satellite settings by displaying the resulting spirals on top of the photos. Also, the program has built-in the ability to create 3D relief stamps based on photographs, allowing you to identify the brightest lines corresponding to the particle flow fronts.

To view the pre-prepared models for the specified galaxies, use the short instructions in the next chapter.

Рисунок 3. Форма смоделированных спиралей для различных скоростей частиц (v) и наклонов плоскости галактики (h , верхняя сторона дальше нижней).

Программа позволяет загружать фотографии галактик и настраивать параметры спутников, отображая полученные спирали поверх фотографий. Также, в программу встроена возможность создания на основе фотографий рельефных 3D-штампов, позволяющих выявить наиболее яркие линии, соответствующие фронтам потоков частиц.

Для того, чтобы просматривать заранее подготовленные модели для заданных галактик, используйте краткую инструкцию из следующей главы.

Chapter 1. Viewing ready-made models

After launching the GalaxyModel program, two windows open on the screen – a window with an image of a simulated spiral and a window for configuring the model and the current satellite, as well as managing uploaded photos of galaxies and relief templates based on them. In the screenshot, the blue arrows mark the two most important buttons (1) and (2), which are required to download and view the finished models. There is also an inconspicuous button (3), which should be used if you want to make a 3D stamp yourself based on the uploaded photo (or modify the photo itself).

The settings dialog may be too large on some screens or when font scaling and/or screen

Глава 1. Просмотр готовых моделей

После запуска программы GalaxyModel на экране открываются два окна – окно с изображением смоделированной спирали и окно настроек модели и текущего спутника, а также управления загруженными фотографиями галактик и рельефными шаблонами на их основе. На снимке с экрана синими стрелками отмечены две самые важные кнопки (1) и (2), требующиеся для загрузки и просмотра готовых моделей. А также, малозаметная кнопка (3), которую следует использовать, если вы хотите самостоятельно изготовить 3D-штамп на основе загруженной фотографии (или модифицировать саму фотографию).

resolution are enabled in the system. This can be fixed by forcibly resizing the fonts used in this window: using the mouse wheel together with the Control key held down. Usually, the fields at the bottom of this window are not particularly needed, so after selecting a language, you can select a larger font size again.

Диалог настроек может оказаться великоват на некоторых экранах или при включенном в системе масштабировании шрифтов и/или разрешении экрана. Это может быть исправлено принудительным изменением размера шрифтов, используемых в этом окне: колесом мыши вместе с зажатой клавишей Control. Обычно поля в нижней части этого окна не особенно нужны, так что после выбора языка размер шрифта можно снова выбрать крупнее.

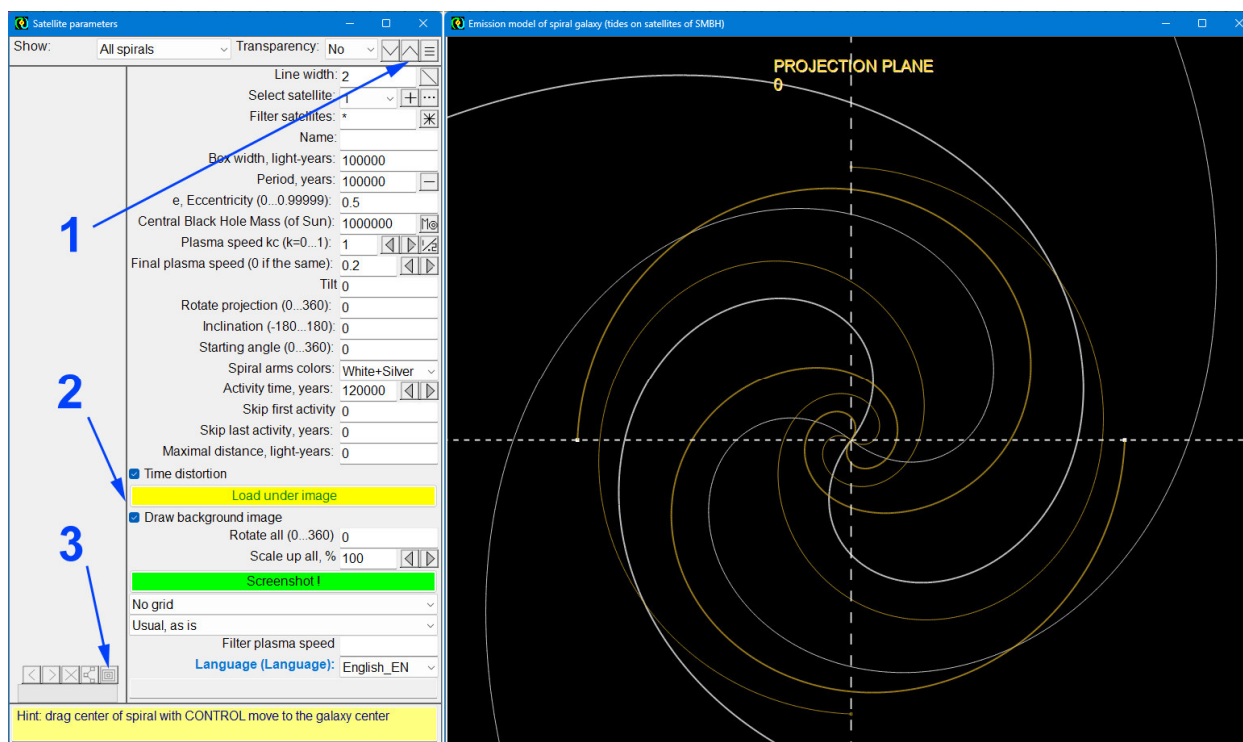


Figure 4. Screenshot of the two main windows of the program. The arrows mark the buttons: 1– the model upload button; 2 – the photo upload button; 3 – the button to open the dialog for forming a 3D stamp and other image post-processing.

To view the finished model, click (1) and download the model file (with the .gal extension) in the standard dialog that opens. This is a regular text file in which the parameters of the model and each satellite in it are described in the format of old ini files. If the model contains a link (URL) to an image on the Internet, a request will appear on the screen with permission to transfer this link to the clipboard. After placing the link in the clipboard, you can paste it into the browser's address bar and download the corresponding image. After saving the received photo to a local medium, you can upload it to the program using the (2) button. If only one image is uploaded and the checksum of this image matches the one recorded in the model

Рисунок 4. Снимок с экрана двух основных окон программы. Стрелками отмечены кнопки: 1– кнопка загрузки модели; 2 – кнопка загрузки фотографии; 3 – кнопка вызова диалога формирования 3D-штампа и другой пост-обработки изображений.

Для просмотра готовой модели следует нажать кнопку (1) и в открывшемся стандартном диалоге загрузить файл модели (с расширением .gal). Это обычный текстовый файл, в котором в формате старых ini-файлов описаны параметры модели и каждого спутника в ней. Если модель содержит ссылку (URL) на изображение в сети Интернет, на экране появится запрос с разрешением передать эту ссылку в буфер обмена. После помещения ссылки в буфер обмена ее можно вставить в адресную строку браузера и скачать соответствующее изображение. После сохранения полученной фотографии на локальный носитель ее можно загрузить в

file (.gal), and the model stores a sequence of actions for forming a 3D stamp based on this photo, then the program will prompt you to perform these actions in the same sequence. If the answer is 'yes', a 3D stamp generation control window will open, and the appropriate commands will begin to be executed. In the main window, against the background of the current image and model, the inscription PLEASE WAIT will be visible. Uploaded or generated images are displayed as thumbnails in the left column of the dialog. At the bottom of this column there are four buttons for moving images, duplicating, deleting, and opening a post-processing dialog (the same button 3). The current background can be selected either by clicking on the corresponding thumbnail, or in the main window with the model by scrolling the mouse wheel with the Control key held down.

When viewing the finished model, the following manipulations can be used first (in addition to switching the substrate):

1. Scaling – the Scale up all parameter
2. Panning – dragging the image with the mouse to place the desired fragment in the viewing area;
3. Temporarily disable the drawing of model lines by pressing and holding the right mouse button in the model window. Allows you to verify that the line actually runs over some physical line marked on a 3D stamp or photo.
4. Select a pair of spirals corresponding to two speeds (Plasma speed and Final plasma speed). It can be performed in the drop—down list (Select satellite), or with the mouse wheel in the main window.
5. Select a group of spirals by numbers or names by specifying a list (separated by a space) of their numbers or names in the Filter satellites field. The list item can include a range of numbers, for example 3-5 or B-D. The '*' symbol as the value refers to the current spiral (selected in the Select satellite field). If a single character '#' is

программу кнопкой (2).

Если загружено только одно изображение и контрольная сумма этого изображения совпадает с той, что записана в файле модели (.gal), и в модели сохранена последовательность действий для формирования 3D-штампа на основе этой фотографии, программа предложит выполнить эти действия в той же последовательности. В случае положительного ответа откроется окно управления формированием 3D-штампа, и начнут выполняться соответствующие команды. В основном окне на фоне текущего изображения и модели при этом будет видна надпись PLEASE WAIT (ПОЖАЛУЙСТА, ПОДОЖДИТЕ – если выбран русский язык в диалоге настроек модели).

Загруженные или сформированные изображения отображаются в виде миниатюр в левой колонке диалога. В нижней части этой колонки имеются четыре кнопки для перемещения изображений, дублирования, удаления и вызова диалога пост-обработки (та самая кнопка 3). Выбор текущей подложки может быть выполнен либо кликом по соответствующей миниатюре, либо в главном окне с моделью сочетанием прокрутки колеса мыши с зажатой клавишей Control.

При просмотре готовой модели в первую очередь (помимо переключения подложки) могут использоваться следующие манипуляции:

1. Масштабирование – параметр Scale up all, % (Масштабирование всего, %);
2. Паннинг – перетаскивание изображение мышью, чтобы поместить в область просмотра нужный фрагмент;
3. Временное отключение отрисовки линий модели – нажатие и удержание правой клавиши мыши в окне модели. Позволяет убедиться, что линия действительно проходит поверх некоторой физической линии, обозначенной на 3D-штампе или на фотографии.
4. Выбор пары спиралей, соответствующих двум скоростям (Plasma speed — Скорость плазмы и Final plasma speed — финальная скорость плазмы). Может быть выполнено в выпадающем списке (Select satellite — Выбор спирали), либо колесом мыши в главном окне.
5. Выбор группы спиралей по номерам или по именам заданием списка (через пробел) их номеров или имен, в поле Filter satellites (Фильтр спутников СМЧД). В том числе

- specified as the value, all lines are hidden.
6. Setting the line thickness (Line width field), or changing the display style in the topmost dropdown list – Show. Or setting the transparency of the lines is next to this list. As well as changing the display of lines through a large number of other options available through the menu, which is called up by clicking on the top button with three stripes on it.
 7. Increase or decrease the number of full revolutions of the satellite in its orbit using the $\langle \rangle$ buttons to the right of the Activity time, years field. Keep in mind that changing the activity time in another way will show the future or past states of the same spiral, and not just change the simulation time by lengthening or shortening the spiral.

It is also recommended to try changing line speeds. To do this, you can use "dragging" with the mouse cursor (with the left key pressed) on the label opposite the corresponding speed parameter. Dragging to the left decreases the speed, and dragging to the right increases it. You can also change the speed using the buttons to the right of the corresponding speed field, or by entering a direct value in the range from 0 to 1. Other manipulations with satellite parameters or the model as a whole are not described in this chapter, as they relate more to creating and editing models than to viewing ready-made models.

- элементом списка может быть диапазон номеров, например 3-5 или B-D. Символ '*' в качестве значения относится к текущей спирали (выбранной в поле Select satellite). Если в качестве значения указан единственный символ '#', все линии скрываются.
6. Задание толщины линий (поле Line width — Ширина линий), или изменением стиля отображения в самом верхнем выпадающем списке – Show (Отображать). Или задание прозрачности линий – рядом с этим списком. А также изменение отображения линий через большое количество других опций, доступных через меню, вызываемое по клику на верхней кнопке с тремя полосками на ней.
 7. Увеличение или уменьшение количества полных оборотов спутника по его орбите – кнопками $\langle \rangle$ справа от поля Activity time, years (Время активности, лет). Учтите, что изменение времени активности другим способом будет показывать будущие или прошлые состояния этой же спирали, а не просто изменять время симуляции, удлиняя или укорачивая спираль.

Также рекомендуется попробовать менять скорости линий. Для этого может использоваться «перетаскивание» курсором мыши (с нажатой левой клавишей) на метке напротив соответствующего параметра скорости. Перетаскивание влево уменьшает скорость, вправо – увеличивает. А также, изменять скорость можно кнопками справа от соответствующего поля скорости, или путем ввода непосредственного значения в диапазоне от 0 до 1 (в качестве десятичной точки используется символ '.'). Прочие манипуляции с параметрами спутников или модели в целом в этой главе не описываются, так как относятся уже скорее к созданию и редактированию моделей, нежели к просмотру готовых моделей.

Chapter 2. Choosing photos of galaxies to work with

It should be noted that high-resolution photographs are required to build models, and preferably in the infrared ranges. For example, from the Herschel Space Observatory — HSO) or Spitzer Space Telescope (SST) telescopes. The photographs from the James Webb Telescope (JWST) are very good, but they usually have a

Глава 2. Выбор фотографий галактик для работы

Следует учесть, что для построения моделей требуются фотографии хорошего разрешения, и желательно в инфракрасных диапазонах. Например, от телескопов Гершель (Herschel Space Observatory — HSO) или Спитцер (Spitzer Space Telescope — SST). Фотографии от телескопа James Webb (JWST) очень хороши, но

smaller viewing angle, and only a part of the galaxy falls into the viewing area. In 2026, it was promised to launch another space observatory with the same resolution as JWST, but with a much larger viewing angle. The photos from the famous Hubble Space Telescope (HST) are also quite good, but in them the infrared range is mixed with the optical range, which somewhat complicates the identification of thermal gradients.

In any case, you should avoid using photos from unreliable sources, which may be the result of manipulation (mixing several photos, resizing, distorting proportions, rotations, pinching with loss of initial information, etc.), or even the work of artists or neural networks. It is recommended to use NASA websites as sources (nasa.gov), ESA (esa.int) and affiliated with them, or at least thematically specialized. In particular, the website is a very good source. esahubble.org, which even grants the right to publish photos and materials from their website, including for commercial purposes, although with some reservations (requirements to indicate the source next to the image, including modified ones).

As for the sizes and formats of the images. The program understands PNG, JPEG, and TIFF formats, but if the image sizes exceed 6K x 4K (or so), there may be memory problems with some operations, not to mention a significant slowdown in 3D stamp creation operations. For photos that are too large, it is recommended to perform a preliminary size reduction, either using the operation built into the program (downscale), or preparing a reduced image using external graphical tools.

у них обычно меньше угол наблюдения, и в область просмотра попадает только часть галактики. В 2026 году обещали запустить еще одну космическую обсерваторию с таким же разрешением, как JWST, но со значительно большим углом обзора. Также неплохи фотографии от знаменитого телескопа Хаббл (Hubble Space Telescope — HST), но в них инфракрасный диапазон смешан с оптическим, что несколько усложняет выделение тепловых градиентов.

В любом случае, следует избегать использования фотографий из недостоверных источников, которые могут оказаться результатом манипуляций (смешивание нескольких фотографий, изменение размеров, искажение пропорций, повороты, пережатие с потерей исходной информации и др.), либо вообще творчеством художников или нейросетей. Рекомендуется в качестве источников брать сайты НАСА (nasa.gov), ЕКА (esa.int) и аффилированные с ними или хотя бы тематически специализированные. В частности, очень хорошим источником является сайт esahubble.org, который даже предоставляет право публиковать фотографии и материалы с их сайта, в том числе и в коммерческих целях, хотя и с некоторыми оговорками (требованиями указывать источник рядом с изображением, в том числе и модифицированным).

Что касается размеров и форматов изображений. Программа понимает форматы PNG, JPEG и TIFF, но если размеры изображения превышают 6K x 4K (или около того), могут возникнуть проблемы с нехваткой памяти на некоторых операциях, не говоря уже о значительном замедлении операций создания 3D-штампов. Рекомендуется для слишком больших фотографий выполнять предварительное уменьшение размера, либо используя встроенную в программу операцию (downscale), либо подготавливая уменьшенное изображение с помощью внешних графических инструментов.

Chapter 3. Setting satellite parameters

So, let's load an image into the program and create a 3D stamp based on it. In general, the preparation of a 3D stamp is described in the next chapter, but there is little point in doing this

Глава 3. Настройка параметров спутников

Итак, пусть в программу загружено изображение, и на его основе сформирован 3D-штамп. Вообще, подготовка 3D-штампа описана в следующей главе, но нет особого смысла

without understanding exactly what results you want to get with it. Therefore, it is suggested to take a ready-made model with 3D stamps for practice and reset the parameters for it. Or take a step forward and try to create a relief stamp for your chosen photo.

To reset the parameters and delete all spirals except the default spiral, which will replace them, use the last item in the large menu of the control window — Reset parameters.

заниматься этим без понимания того, какие именно результаты с его помощью требуется получить. Поэтому предлагается для практики взять готовую модель с 3D-штампами и выполнить для нее сброс параметров. Или все-таки заглянуть на шаг вперед и попробовать создать рельефный штамп для выбранной вами фотографии.

Для сброса параметров и удаления всех спиралей, кроме спирали по умолчанию, которая их заменит, используйте самый последний пункт большого меню контрольного окна — Сброс параметров.

M101 — step 0

Let's consider the process of building a model using the example of the galaxy M101 "Pinwheel". After uploading the photo and stamp, the picture looks like this.

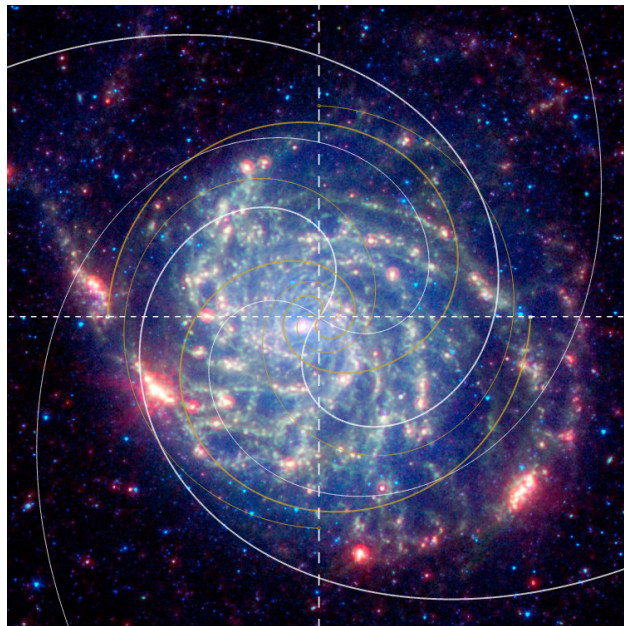


Figure 5. M101 – the beginning of work with the first satellite. On the left is the original photo (Spitzer Telescope, source: ESA/Hubble, <https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo0907g.jpg>). On the right is a 3D stamp based on the same photo.

M101 — шаг 0

Рассмотрим процесс построения модели на примере галактики M101 «Вертушка». После загрузки фотографии и штампа картинка выглядит следующим образом.

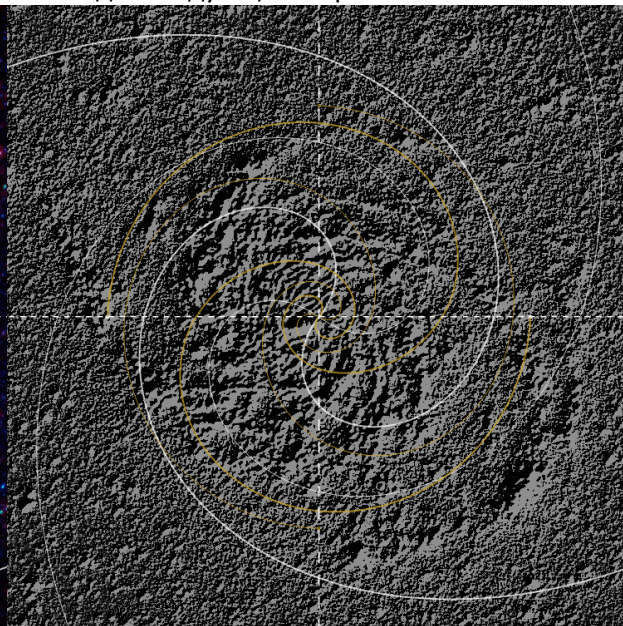


Рисунок 5. M101 – начало работы с первым спутником. Слева – исходная фотография (телескоп Спитцер, источник: ESA/Hubble, <https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo0907g.jpg>). Справа – 3D-штамп на основе этой же фотографии.

M101 – Step 1

It can be seen that the center of the spiral is located above and to the right (northeast) of the brightest spot in the center of the galaxy, which obviously contains its SMBH. To move the center, place the mouse cursor approximately in the center of the image, hold down the Control key and the left mouse button (LMB) and drag the

M101 – шаг 1

Видно, что центр спирали находится выше и правее (северо-восточнее) самого яркого пятна в центре галактики, очевидно, содержащего ее СМЧД. Для перемещения центра поместите курсор мыши примерно в центр картинки, нажмите клавишу Control и левую клавишу мыши (ЛКМ) и перетащите перекрестье в центр

crosshairs to the center of the bright spot. (The cursor should be exactly close to the center of the window at the beginning of the drag, and not to the center of the galaxy or the simulated spiral – this is important). To increase accuracy, it is sometimes necessary to zoom in on the image while dragging the center.

In addition, the default modeled spirals are clearly twisted in the wrong direction. To fix this, change the sign in the Period field of the control window (you can use the [-] button to the right of this field). Now the picture looks like this.

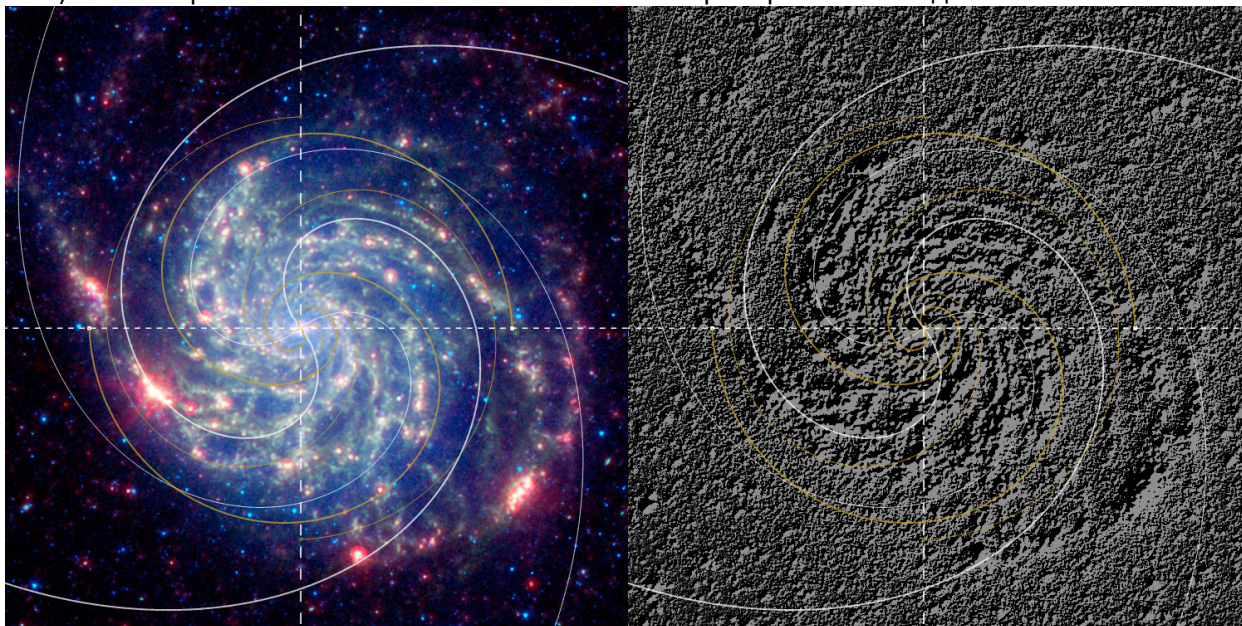


Figure 6. M101. Source: ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo0907g.jpg>). After the operation of aligning the center of the model with the assumed SMBH of the galaxy and changing the direction of rotation of the satellite.

яркого пятна. (Курсор должен быть именно близко к центру окна в начале перетаскивания, а не к центру галактики или смоделированной спирали – это важно). Для увеличения точности иногда стоит увеличить масштаб изображения на время перетаскивания центра.

Кроме того, смоделированные по умолчанию спирали закручены явно не в ту сторону. Чтобы это исправить, измените знак в поле Period (Период) контрольного окна (можно использовать кнопку [-] справа от этого поля). Теперь картинка выглядит так.

Рисунок 6. M101. Источник: ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo0907g.jpg>). После операции совмещения центра модели с предполагаемой СМЧД галактики и изменения направления вращения спутника.

M101 – Step 2

Now let's take advantage of the fact that each satellite leaves a fairly noticeable "cross" on the 3D relief of two straight lines corresponding to the major and minor axes of the ellipse of its orbit. These lines are not very noticeable, and you need to look closely to see them. And often they cannot be seen at all until, during the rotation of the model around the center, the axes of the model coincide with these physical rectilinear gradients. But they are always there, and if there are sufficiently high-resolution photographs, they are well identified and greatly facilitate the procedure for restoring the parameters of the emitting satellite's orbit.

We will perform such a rotation of the projection plane by selecting a relief stamp as the current

M101 – шаг 2

Теперь воспользуемся тем, что каждый спутник оставляет на 3D-рельефе достаточно заметную «крестовину» из двух прямых линий, соответствующих большой и малой осям эллипса его орбиты. Эти линии не очень заметны, и нужно приглядываться, чтобы их увидеть. И часто их вообще невозможно разглядеть до тех пор, пока в процессе поворота модели вокруг центра оси модели не совпадут с этими физическими прямолинейными градиентами. Но они есть всегда, и при наличии фотографий достаточно хорошего разрешения они хорошо идентифицируются и значительно облегчают процедуру восстановления параметров орбиты излучающего спутника.

substrate. To do this, place the mouse cursor in the upper part of the model window until the label PROJECTION PLANE appears, and then simultaneously hold down the Control key and the left mouse button (LMB) and drag the cursor to the right. Until the crosshair falls on more or less noticeable potholes forming a straight cross. Since there can be several satellites, there can also be several crosses. In this case, we will stop after turning 72° , and at the same time both perpendicular lines have found a suitable rectilinear track on the stamp. In fact, the right angle between the lines in the crosshair is a very rare case, corresponding to the case when the galactic plane looks at us strictly flat. This should not apply to the case of galaxy M101, its asymmetry is immediately noticeable. This means that there must be at least two, if not more, satellites. Or indeed one of the satellites has an orbit with a plane strictly perpendicular to the ray between our galaxy and M101. But then there should be at least one more satellite providing the observed asymmetry.

Выполним такой поворот плоскости проекции, выбрав предварительно в качестве текущей подложки рельефный штамп. Для этого поместим курсор мыши в верхнюю часть модельного окна – до появления надписи PROJECTION PLANE (ПЛОСКОСТЬ ПРОЕКЦИИ), и так же зажимая одновременно клавишу Control и левую клавишу мыши (ЛКМ), перетаскиваем курсор вправо. До тех пор, пока перекрестье не ляжет на более или менее заметные выбоины, образующие прямой крест.

Так как спутников может быть несколько, то крестовин может быть так же несколько. В данном случае мы остановимся после поворота на 72° , и при этом обе перпендикулярные линии нашли себе подходящую прямолинейную дорожку на штампе. В действительности прямой угол между линиями в перекрестье – это очень редкий случай, соответствующий случаю, когда галактическая плоскость смотрит на нас строго плашмя. К случаю галактики M101 это не должно бы относиться, ее несимметричность заметна сразу же. Что означает, что спутников должно быть, как минимум, два, если не больше. Либо действительно один из спутников имеет орбиту с плоскостью, строго перпендикулярной лучу между нашей галактикой и M101. Но тогда тем более должен быть как минимум еще один спутник, обеспечивающий наблюдаемую несимметричность.

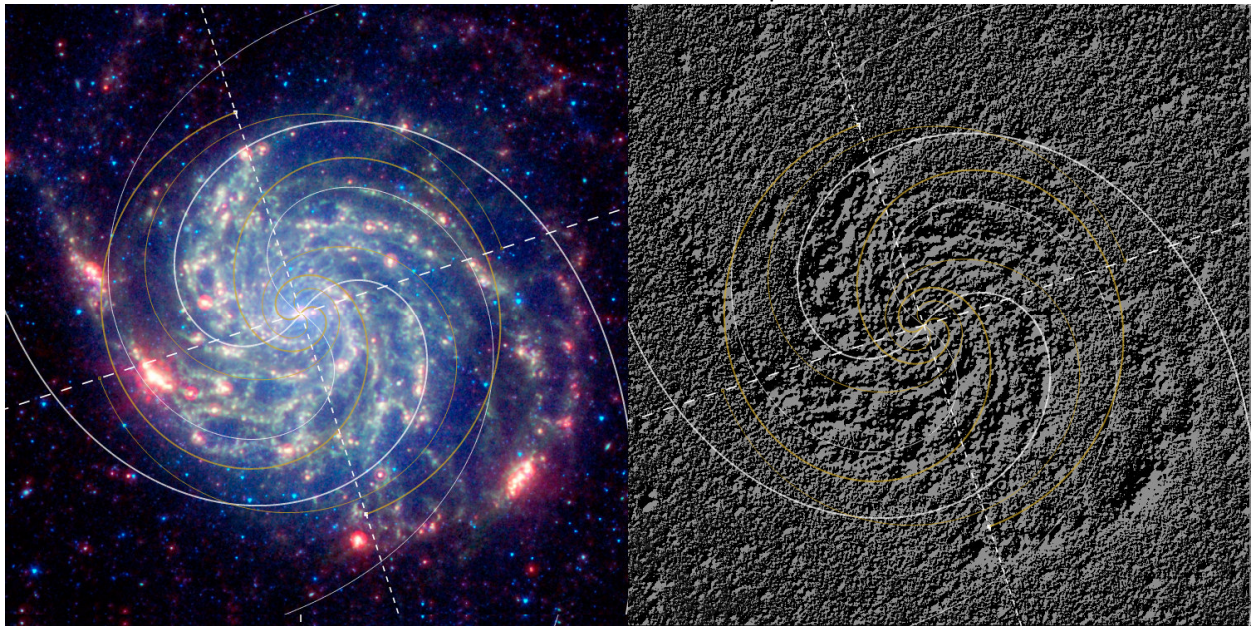


Figure 7. M101. Source: ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo0907g.jpg>). After rotating the projection plane by 72° clockwise.

Рисунок 7. M101. Источник: ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo0907g.jpg>). После поворота плоскости проектирования на 72° по часовой стрелке.

M101 – Step 3

Suppose a "perpendicular" satellite has been found (i.e., a satellite with an orbit strictly parallel to the projection plane). Reduce the activity time: place the mouse cursor in the active window approximately in the middle of the label of the Activity time field, and by clicking LMB, move the cursor to the left. After reaching a value of about 110 thousand years, the picture will become very close to what is available in the photo. Moreover, if you increase the number of satellite orbits by one by clicking on the [>] icon to the right of the activity field, then the continuation of the spiral at a speed of $0.2c$ (golden color) will neatly fall into the hollow, which seemed to be waiting for it there. For clarity, in the following image, the thickness of the lines in all four directions is chosen to be the same. In this case, it is clearly seen that all four arms of the white quadruple spiral correspond very well to the four brightest spiral-like arms of the galaxy M101. Only the large circular arc on the right remains uncovered, for which it would be strange to have only slower particle flows as a generator. Moreover, there is no clearly symmetrical arc in the opposite corner of the galaxy.



Figure 8. M101. Source: ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo0907g.jpg>). After reducing the activity time and adding the time of one satellite orbit.

M101 – шаг 3

Предположим, найден «перпендикулярный» спутник (т.е. спутник с орбитой, строго параллельной плоскости проектирования). Уменьшим время активности: установим курсор мыши в активном окне примерно на середину метки поля Activity time (Время активности), и нажав ЛКМ, передвинем курсор влево. После достижения значения около 110 тыс. лет картинка станет очень близка к тому, что имеется на фотографии. Более того, если увеличить количество витков спутника на один, нажав на значок [>] правее поля активности, то продолжение витка спирали со скоростью $0.2c$ (золотистого цвета) аккуратно ляжет в ложбинку, которая словно его там ждала. Для наглядности на следующем снимке толщина линий всех четырех направлений выбрана одинаковой. В этом случае хорошо видно, что все четыре рукава белой четверной спирали очень хорошо соответствуют четырем наиболее ярким спиралеподобным рукавам галактики M101. Остается не накрытой только большая круговая дуга справа, для которой было бы странно иметь в качестве образующей только лишь более медленные потоки частиц. Тем более, что явно симметричной ей дуги в противоположном углу галактики не наблюдается.

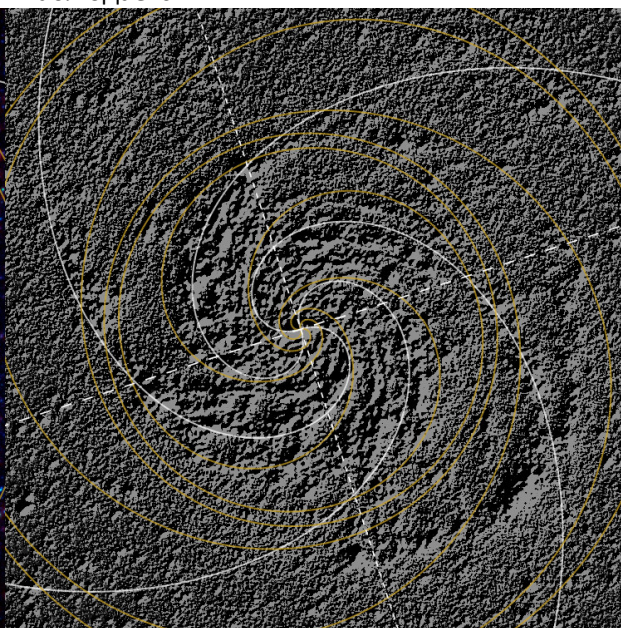


Рисунок 8. M101. Источник: ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo0907g.jpg>). После уменьшения времени активности и добавления времени одного витка спутника.

M101 – Step 4

Yes, the alignment here looks somewhat inaccurate, but it's easy to correct by changing the *Tilt* and *Inclination* values. To do this, you can move (drag) along the bottom and right sides of the main window, similar to changing the rotation of the projection with the Control and LMB keys pressed. As a result, the alignment turned out to be more accurate for $Tilt=-3^\circ$ and $Inclination=2^\circ$, and the overall slope (the acute angle between the satellite's ecliptic plane and the projection plane) is now -3.6° (it is displayed in the yellow panel at the bottom of the control window with the last value when the mouse cursor is on the model window). Notice that this made the crosspiece look even better. To make sure of this, it is enough to "blink" the model by pressing and releasing the right mouse button (RMB) on the model window. The second speed of the satellite has been changed from 0.2c to 0.26c to better match the relief grooves on the stamp. In general, if you move this speed, you will find a whole fan of spirals, each corresponding to its own particle velocity. The fact that some of these spirals leave a deeper mark than others can be explained by various reasons. For example, by the interference of streams of different velocities colliding with slower streams of particles ejected on previous orbits of the satellite (of course, not streams of particles collide, but atoms of galactic gas dispersed by streams of these particles – but it sounds shorter). Or by the fact that a satellite is not a single object, but a group of objects moving around a common center of mass, and together in an elliptical orbit around the central SMBH. If the objects in the group have different rotational speeds around their own axis, this could explain why the spirals form such a fan – each spiral would correspond to its own object in the group.

M101 – шаг 4

Да, совмещение здесь выглядит несколько неточным, но это несложно поправить, меняя значения *Tilt* и *Inclination* — для этого можно выполнять перемещения (перетаскивания) вдоль нижней и правой стороны основного окна, подобно изменению поворота проекции – с нажатыми клавишами Control и ЛКМ. В результате, совмещение получилось более аккуратным для $Tilt=-3^\circ$ и $Inclination=2^\circ$, и общий наклон (острый угол между плоскостью эклиптики спутника и плоскостью проекции) теперь равен -3.6° (он отображается в желтой панели внизу контрольного окна последним значением, когда курсор мыши находится на модельном окне). Заметьте, что при этом крестовина стала выглядеть еще лучше. Чтобы в этом убедиться, достаточно «помигать» моделью, нажимая и отпуская правую клавишу мыши (ПКМ) на модельном окне. Вторая скорость спутника изменена с 0.2c на 0.26c, чтобы лучше соответствовать имеющимся на штампе рельефным углублениям. Вообще, если эту скорость подвигать, то обнаруживается целый веер спиралей, соответствующих каждая своей скорости частиц. То, что некоторые из этих спиралей оставляют более глубокий след, чем другие, может объясняться разными причинами. Например, интерференцией потоков различных скоростей, сталкивающихся с более медленными потоками частиц, выброшенных на предыдущих витках спутника (сталкиваются, конечно, не потоки частиц, а атомы галактического газа, разогнанного потоками этих частиц – но так звучит короче). Или же тем, что спутник – не единственный объект, а группа объектов, движущихся вокруг общего центра масс, и совместно – по эллиптической орбите вокруг центральной СМЧД. Если при этом объекты в группе имеют разные скорости вращения вокруг собственной оси, это могло бы объяснить то, что спирали составляют такой веер – каждая спираль соответствовала бы своему собственному объекту в группе.

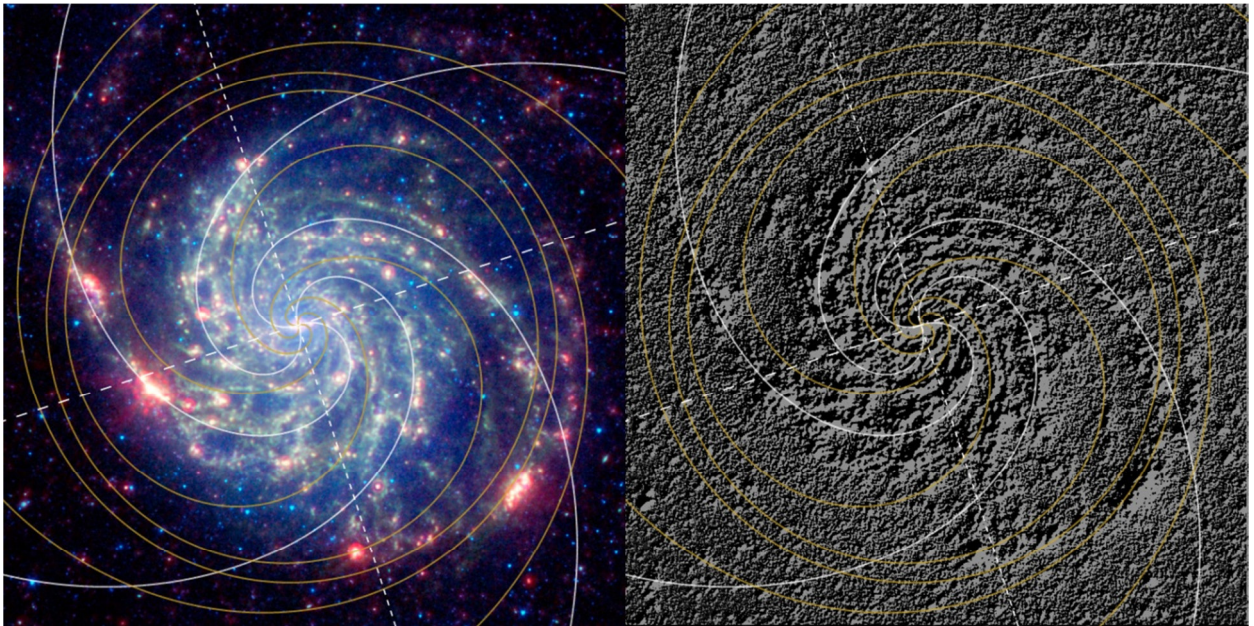


Figure 9. M101. Source: ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo0907g.jpg>). After specifying the Tilt and Inclination parameters. Thus, we can assume that the first (and main) radiating satellite in the Pinwheel galaxy has been successfully found. Note that the eccentricity of its orbit remains 0.5, which is the default average value.

Рисунок 9. M101. Источник: ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo0907g.jpg>). После уточнения параметров Tilt и Inclination. Таким образом, можно считать, что первый (и основной) излучающий спутник в галактике «Вертушка» успешно найден. Обратите внимание, что эксцентриситет его орбиты остался равен 0.5 – среднее значение по умолчанию.

M101 – the second satellite

What about the second satellite? After copying the first satellite (the [+] button next to the spiral selection field), choose a different color for it so as not to get confused, and manipulate it a little. Increase the eccentricity and rotate, move Tilt and Inclination. It is also convenient to change the eccentricity by dragging the mouse cursor along the left edge of the model window with the Ctrl and LMB keys pressed. And even without changing the period of the satellite's rotation, we got a completely different set of spirals. And the new satellite also has a crosspiece, separate and independent. Let's display the result – both satellites found, each with its own two spirals at $v_1=c$ and $v_2=0.26c$. The second satellite has an eccentricity of almost 0.7, Tilt= -2° , Incl= -15° , the total angle with the projection plane is about 15° . Now it can be seen that the possible reason for the visual asymmetry of the galaxy M101 is most likely that its two main satellites rotate slightly differently, they have slightly different eccentricities, slightly different inclinations, etc. As a result, their spirals "met" in a more parallel way

M101 – второй спутник

Что насчет второго спутника? Скопировав первый спутник (кнопка [+] рядом с полем выбора спирали), выберем для него другой цвет, чтобы не путаться, и немного поманипулируем с ним. Увеличим эксцентриситет и повернем, подвигаем Tilt и Inclination. Эксцентриситет удобно изменять также перетаскиванием курсора мыши вдоль левого края модельного окна с зажатыми клавишами Ctrl и ЛКМ. И даже не меняя период обращения спутника, мы получили совершенно другой набор спиралей. И крестовина у нового спутника тоже имеется, отдельная и независимая. Отобразим результат – оба найденных спутника, каждый со своими двумя спиральями при $v_1=c$ и $v_2=0.26c$. У второго спутника эксцентриситет получился равным почти 0.7, Tilt= -2° , Incl= -15° , суммарный угол с плоскостью проекции – около 15° . Теперь видно, что возможная причина визуальной несимметричности галактики M101 заключается, скорее всего, в том, что ее два основных спутника немного по-разному

in the southeastern direction, but diverged in the northwestern corner.

обращаются, у них немного разные эксцентриситеты, немного разные наклоны и т.д. И в итоге их спирали более параллельным образом «повстречались» на юго-восточном направлении, но разошлись в северо-западном углу.

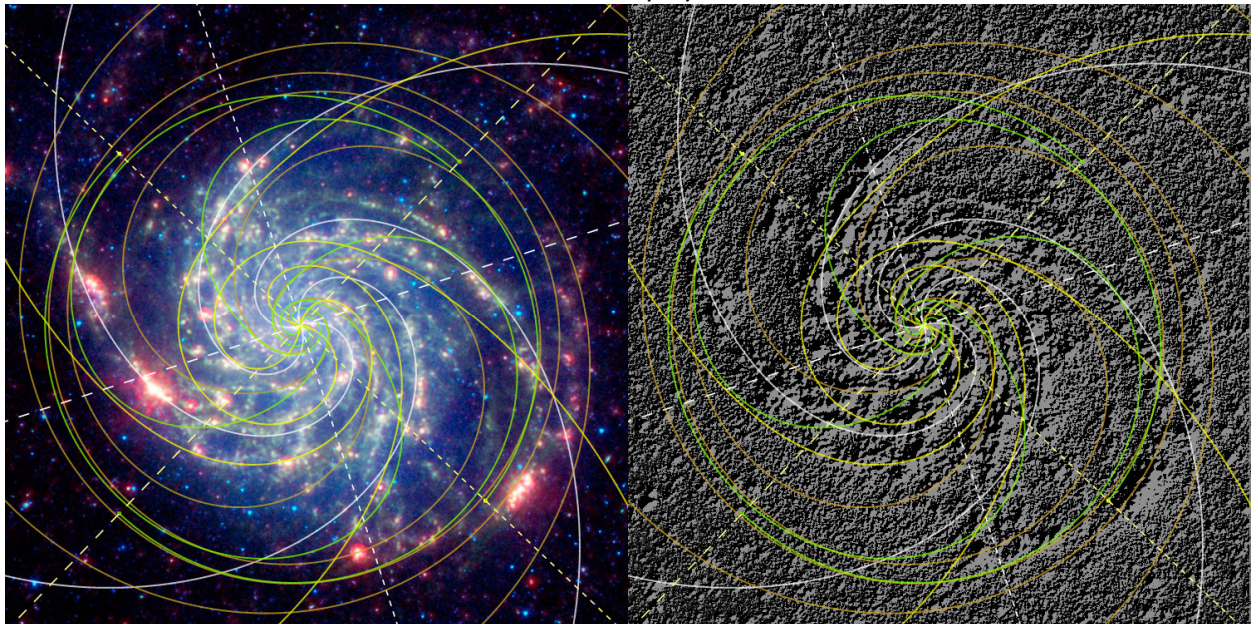


Figure 10. M101. Source: ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo0907g.jpg>). A second satellite has been added: the yellow line is $v_1=c$, the green line is $v_2=0.26c$.

Рисунок 10. M101. Источник: ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo0907g.jpg>). Добавлен второй спутник: желтая линия – $v_1=c$, зеленая – $v_2=0.26c$.

Changes in the period and time of activity

We could stop there for now, but there are still important settings that simply weren't needed in this example. It is often important to change the period and move the activity time (the activity time has already changed in the third step of working with M101). If more than two turns of the galactic spiral are visible, and there is a suspicion that they are the same spiral, but when one turn of the simulated spiral hits, the other turns diverge in approximately the same proportion, then most likely a change in the period can correct the situation. But after that, you almost always have to turn the activity time.

Изменения периода и времени активности

Пока на этом можно бы и остановиться, но есть еще важные настройки, которые просто не понадобились в этом примере. Часто бывает важно изменять период и двигать время активности (время активности уже менялось на третьем шаге работы с M101). Если видно более двух витков спирали галактики, и есть подозрение, что это одна и та же спираль, но при попадании одного витка смоделированной спирали другие витки расходятся примерно в одинаковой пропорции, то, скорее всего, изменение периода может исправить ситуацию. Но после этого почти всегда приходится крутить время активности.

Geometric meaning of the parameters

It was not emphasized above what geometric meaning the Tilt, Inclination, and Project plane rotation parameters have. But it's probably understandable that we're talking about rotations

Геометрический смысл параметров

Выше не акцентировалось, какой геометрический смысл имеют параметры Tilt, Inclination и Project plane rotation. Но, наверное, понятно, что речь идет о поворотах

around the three axes of the Cartesian coordinate system. If, as is customary in 3D visualization programs, such a coordinate system is linked to the SMBH by pointing the Z-axis at the viewer, the X-axis to the right, and the Y-axis up, then the rotation of the projection plane corresponds to a rotation around the Z-axis, Tilt — around the Y-axis, and Inclination - around the X-axis. There is another twist – changing the starting angle. This is also a rotation around the Z axis, but after completing the three rotations listed above sequentially. Sometimes it may be easier to use such a rotation than to rotate around the X and Y axes several times, while simultaneously adjusting several other parameters.

Naming of satellites

And a few more words about names. Each satellite contains two spirals corresponding to the same set of orbital parameters, but two different particle velocities. But sometimes it may be necessary to store more spirals for the same satellite. In this case, setting the same name for several satellites leads to the fact that when the parameters of one named satellite are modified, all other satellites with the same name copy these parameters – everything except particle velocities and color settings. Unnamed satellites are not synchronized with other unnamed satellites.

Note that pressing the [+] symbol next to the satellite number field adds a copy of the current satellite to the end of the list, resetting the name. That is, it is a completely separate satellite, and if you do not type in the same name, any parameter changes in it will no longer update the parameters of the original satellite, and vice versa. However, if the Shift key was pressed when pressing the [+] button, then a copy of the current satellite is created immediately after it in the list, and with the same name. This is convenient for creating additional spirals of the same satellite, with different speeds. If you now specify the name of this satellite in the filter, then all its spirals will be displayed simultaneously, which can be convenient for selecting the most suitable satellite parameters.

вокруг трех осей декартовой системы координат. Если, как принято в программах 3D-визуализации, привязать к СМЧД такую систему координат, направив на зрителя ось Z, вправо – ось X, и вверх – ось Y, то поворот плоскости проекции соответствует повороту вокруг оси Z, Tilt– вокруг оси Y, а Inclination — вокруг оси X. Есть еще один поворот – изменение стартового угла. Это тоже поворот вокруг оси Z, но уже после последовательного выполнения трех выше перечисленных поворотов. Иногда может оказаться проще воспользоваться таким доворотом, чем снова несколько раз вращать вокруг осей X и Y, одновременно корректируя несколько других параметров.

Именованние спутников

И еще несколько слов об именах. Каждый спутник содержит две спирали, соответствующие одному набору параметров орбиты, но двум различным скоростям частиц. Но иногда может потребоваться хранить больше спиралей для одного и того же спутника. В этом случае установка одинакового имени для нескольких спутников приводит к тому, что при модификации параметров одного именованного спутника все остальные спутники с тем же именем копируют эти параметры – все, кроме скоростей частиц и настройки цвета. Безымянные спутники при этом не синхронизируются с другими безымянными спутниками.

Учтите, что нажатие символа [+] возле поля с номером спутника добавляет копию текущего спутника в конец списка, сбрасывая имя. Т.е. это совершенно отдельный спутник, и если ему не впечатать то же имя, то любые изменения параметров в нем уже не будут обновлять параметры исходного спутника, и наоборот. Но если при нажатии на кнопку [+] была зажата клавиша Shift, то создается копия текущего спутника непосредственно вслед за ним в списке, и с тем же именем. Это удобно для создания дополнительных спиралей того же спутника, с другими скоростями. Если теперь в фильтре указать имя этого спутника, то все его спирали будут отображаться одновременно, что может быть удобно для подбора наиболее подходящих параметров спутника.

Chapter 4. Preparation of 3D relief stamps

To prepare a stamp based on the uploaded photo, you need to open a dialog using the button (3) on the program's control window (the last button in the bottom row of the thumbnail column). In the 3D stamp parameters window that appears, change the parameters (or leave them at their default values) and click the most noticeable button labeled [Create Stamp]. If the current image is a newly created stamp and the [Replace previous stamp] checkbox is checked (set by default), then the new stamp will replace this stamp instead of building a stamp based on the stamp. If you need to save the current stamp and create another one in order to leave the best option later, just switch to the original image – a new stamp will be created immediately after it in the list of images.

What is a 3D stamp?

The relief stamp is similar to the emboss operation in graphic editors. The essence of such image processing is that a copy of it is taken, for each pixel the values of the channels R, G and B are "inverted" (according to the formula $Y = 255 - X$), and the resulting image is stacked pixel by pixel with the original image. More precisely, each pixel is averaged using the formula $Z = (X + Y)/2$ for each channel R, G, B. But previously, the inverted image is shifted several pixels vertically and/or horizontally. If you do not shift, then the final image will obviously be a perfectly gray rectangle with a value of 127 in each R, G, and B component of each pixel.

Bull's Eye Galaxy – Attempt 1

But simply adding with a shift may not be enough to reveal the brightness gradients in the original image. For example, for the following photo of the LEDA 1313424 Bullseye galaxy, this operation results in this (an X and Y offset of 9 pixels is

Глава 4. Подготовка рельефных 3D-штампов

Для подготовки штампа на основе загруженной фотографии требуется вызвать диалог кнопкой (3) на контрольном окне программы (последняя кнопка в нижнем ряду колонки миниатюр изображений). В появившемся окне параметров 3D-штампа следует изменить параметры (или оставить их значения по умолчанию) и нажать самую заметную кнопку с надписью [Создать штамп]. Если текущее изображение – недавно созданный штамп и установлен флажок [Replace previous stamp] (установлен по умолчанию), то новый штамп заменит этот штамп вместо того, чтобы строить штамп на основе штампа. Если нужно сохранить текущий штамп, и создать другой, чтобы потом оставить лучший вариант, просто переключитесь на исходное изображение – новый штамп будет создаваться непосредственно после него в списке изображений.

Что такое 3D-штамп

Рельефный штамп аналогичен операции emboss в графических редакторах. Суть такой обработки изображения заключается в том, что берется его копия, для каждого пикселя значения каналов R, G и B «инвертируются» (по формуле $Y = 255 - X$), и полученное изображение складывается попиксельно с исходным изображением. Точнее, каждый пиксель усредняется по формуле $Z = (X + Y)/2$ для каждого канала R, G, B. Но предварительно, инвертированное изображение сдвигается на несколько пикселей по вертикали и/или по горизонтали. Если сдвиг не делать, то итоговое изображение, очевидно, будет представлять собой идеально серый прямоугольник со значением 127 в каждом компоненте R, G и B каждого пикселя.

Галактика Бычий глаз – попытка 1

Но просто сложения со сдвигом может быть недостаточно, чтобы выявить градиенты яркости на исходном изображении. Например, для следующей фотографии галактики LEDA 1313424 Bullseye такая операция дает вот что

applied for the 3843x3607 image). Not a very good attempt, is it?

(применен сдвиг по X и по Y на 9 пикселей для изображения 3843x3607). Не слишком удачная попытка, не так ли?

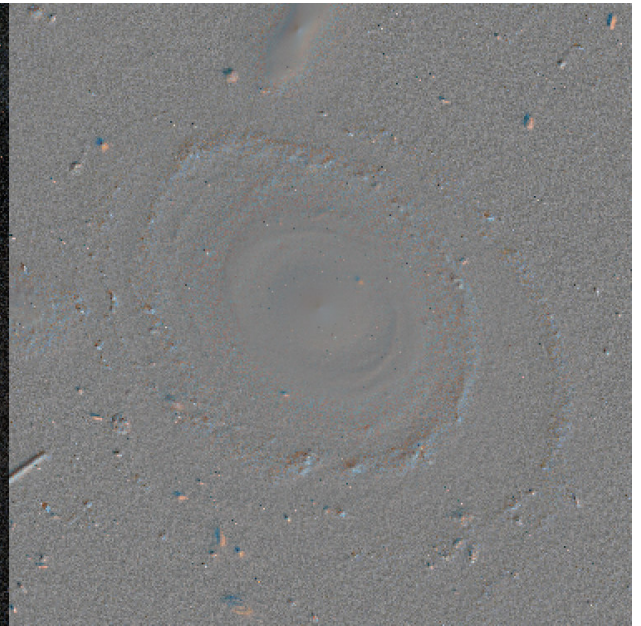


Figure 11. Galaxy LEDA1313424 Bullseye. Source – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>). The central part. On the right is a 3D stamp without reinforcement.

Рисунок 11. Галактика LEDA1313424 Bullseye. Источник – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>). Центральная часть. Справа – 3D-штамп без усиления.

Bull's Eye Galaxy – Attempt 2

In order for the changes on the stamp to be clearly visible, the values of the folded pixels on the original and inverted images are pre-enhanced (increased). It is convenient to set the gain factor as a percentage. If you set the gain to 1500%, the result will be as follows.

Галактика Бычий глаз – попытка 2

Для того, чтобы изменения на штампе были хорошо заметны, значения складываемых пикселей на исходном и инвертированном изображении предварительно усиливаются (увеличиваются). Коэффициент усиления удобно задавать в процентах. Если задать усиление 1500%, то результат будет следующий.

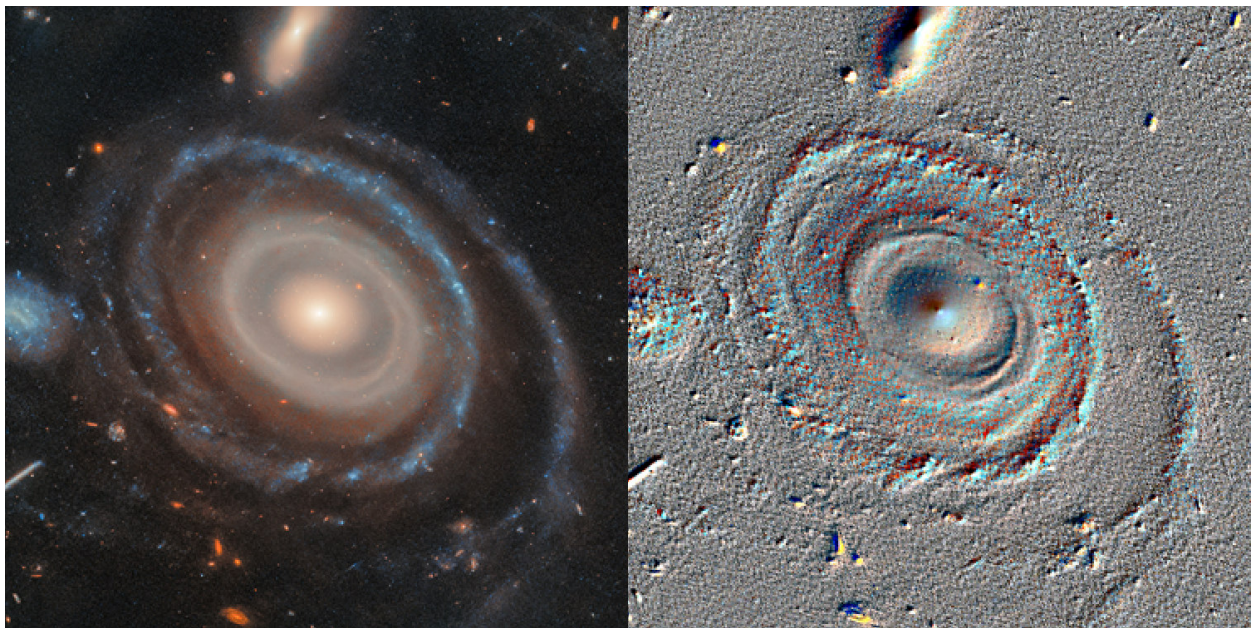


Figure 12. Galaxy LEDA1313424 Bullseye. Source – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>). The central part. On the right is a stamp with a gain of 1,500%.

Рисунок 12. Галактика LEDA1313424 Bullseye. Источник – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>). Центральная часть. Справа – штамп с усилением 1500%.

Bull's Eye Galaxy – Attempt 3

But even this may not be enough. Set the gain to 15,000%. In the slides below, the [Always use 24-bit gray bitmaps] checkbox has been returned (in the large menu of the control window). In this mode, for internal purposes, images are stored as grayscale with one color channel from black to white, but 24 bits are allocated to the channel, not 8. Thus, all operations (dimming, contrast, blurring, lightening, and others) almost do not lead to information loss, which is very important if, in order to achieve the desired image clarity, you have to perform several operations on the image sequentially.

For example, the right slide of the above image shows the same 3D stamp after applying the [To most dark neighbor] filter with the current Multiplier value=2 (which means that the darkest pixel for each pixel will be found in a 5x5 pixel square). The lines of the simulated spirals are better visible on a darker background.

Галактика Бычий глаз – попытка 3

Но и этого может быть недостаточно. Установим усиление 15000%. На слайдах ниже возвращен флажок [Всегда использовать 24-битные серые битмапы] (в большом меню контрольного окна). В этом режиме для внутренних целей изображения хранятся как полутоновые с одним цветовым каналом от черного к белому, но на канал выделено 24 бита, а не 8. Таким образом, все операции (затемнение, контрастность, размытие, осветление и другие) почти не приводят к потере информации, что очень важно, если для достижения нужной четкости изображения приходится выполнять над изображением несколько операций подряд. Например, в правом слайде приведенного снимка изображен тот же 3D-штамп после применения фильтра [To most dark neighbor] с текущим значением Multiplier=2 (что означает, что наиболее темный пиксель для каждого пикселя будет отыскиваться в квадрате 5x5 пикселей). На более темном фоне лучше видны линии смоделированных спиралей.

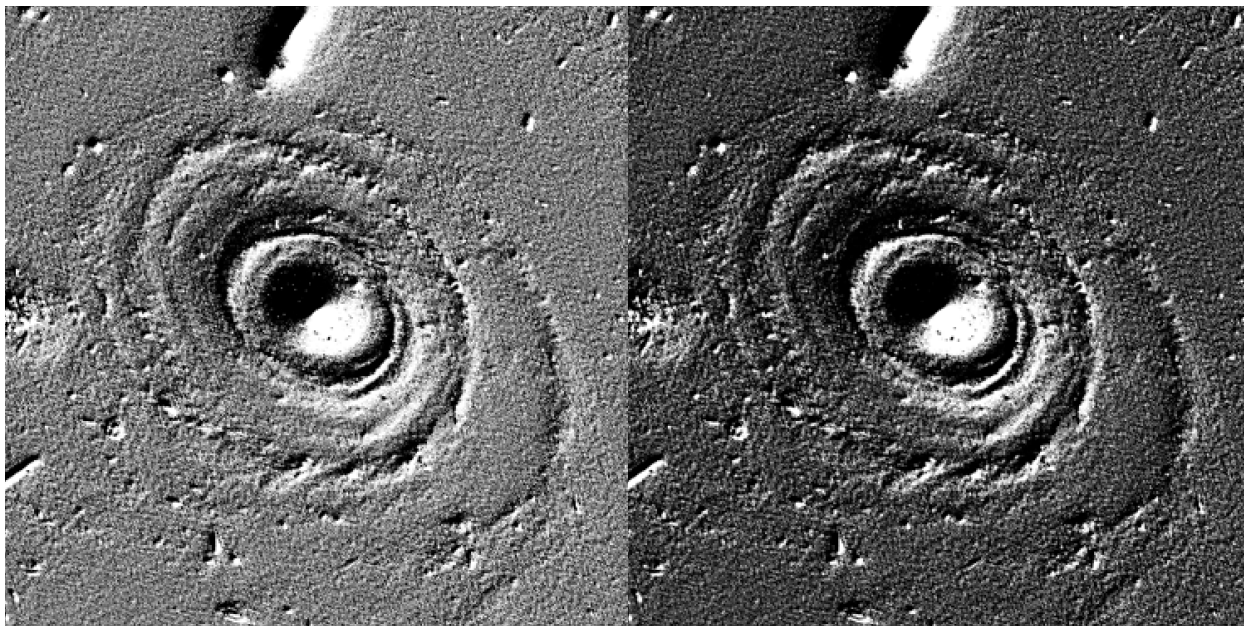


Figure 13. Galaxy LEDA1313424 Bullseye. Source – ESA/Hubble
<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>. The central part. Stamps with a gain of 15,000%, darkened on the right.

Рисунок 13. Галактика LEDA1313424 Bullseye. Источник – ESA/Hubble
<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>. Центральная часть. Штатпы с усилением 15000%, справа – затемненный.

Radial stamps

In addition to the stamps produced by linear shifting, several other types of stamps have been added to the program. For example, a radial stamp in which each pixel is shifted radially from the center (of the current spiral) or to the center, depending on the sign of the sum of the X and Y offsets. The image consists of discrete square pixels, and the shift uses trigonometry to accurately select the direction of the shift, and to eliminate this discrepancy, each shifted pixel is added not to a specific pixel square of the inverted image, but to a weighted average pixel between the two closest to the target point. Examples of radial stamps are given below.

On the left is a stamp with a positive shift (outward), on the right – with a negative one. In any case, the central part turns out to be either too overexposed or too darkened with this method. However, the relief looks very good further on, and to some extent it is free of artifacts arising from the linearity of the shifts. For example, rectilinear sequences of relief features are unlikely to result from the choice of one or another direction of the shift.

Радиальные штампы

В дополнение к штампам, получаемым линейным сдвигом, в программу добавлены несколько других видов штампов. Например, радиальный штамп, в котором каждый пиксель сдвигается радиально от центра (текущей спирали) или к центру, в зависимости от знака суммы смещений по X и Y. Изображение состоит из дискретных квадратных пикселей, а сдвиг использует тригонометрию для точного выбора направления сдвига, и чтобы устранить это несоответствие, каждый сдвигаемый пиксель складывается не с конкретным пиксельным квадратом инвертированного изображения, а со средневзвешенным пикселем – между двумя ближайшими к точке целеполагания. Примеры радиальных штампов приведены далее.

Слева – штамп с положительным сдвигом (наружу), справа – с отрицательным. В любом случае центральная часть оказывается либо слишком пересвеченной, либо слишком затемненной при таком способе. Однако дальше рельеф очень неплохо выглядит, и в некоторой степени избавлен от артефактов, возникающих из-за линейности сдвигов. Например, прямолинейные последовательности рельефных особенностей вряд ли станут здесь следствием выбора того

или иного направления сдвига.

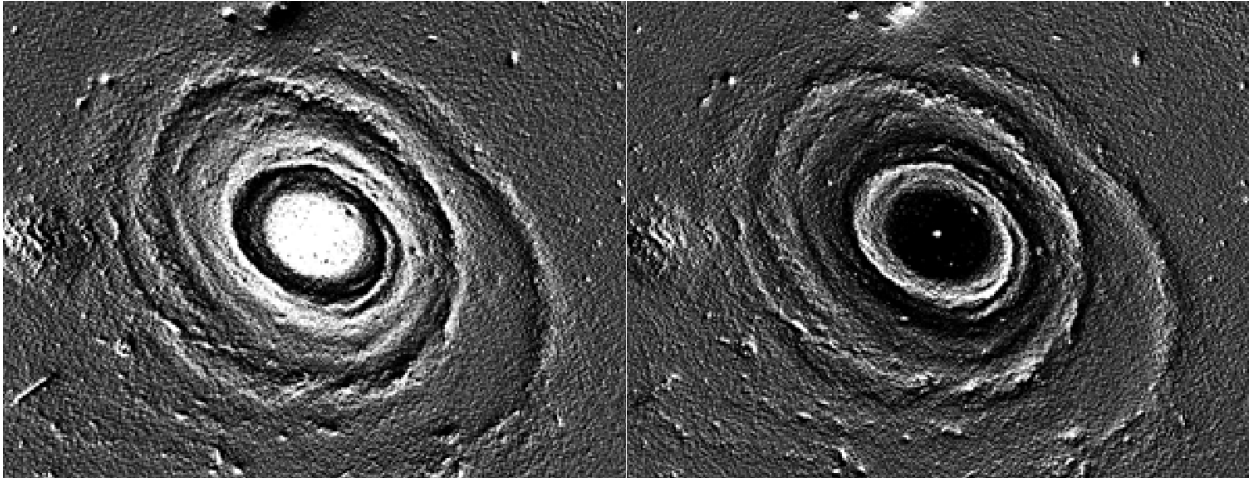


Figure 14. Galaxy LEDA1313424 Bullseye. Source – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>). The central part. Radial stamps with a gain of 15,000%, on the left – with a shift from the center, on the right – to the center. Both stamps are additionally shaded with the [To most dark neighbor] filter.

Рисунок 14. Галактика LEDA1313424 Bullseye. Источник – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>). Центральная часть. Радиальные штампы с усилением 15000%, слева – со сдвигом от центра, справа – к центру. Оба штампа дополнительно затенены фильтром [To most dark neighbor] (К наиболее темному соседнему пикселю).

Locally-limited stamps

Another group of relief stamps implemented in the program are local stamps. The idea of such stamps is that for each pixel, one of its neighboring pixels is selected for addition according to the principle of maximum difference.

Локально-ограниченные штампы

Еще одна группа реализованных в программе рельефных штампов – это локальные штампы. Идея таких штампов заключается в том, чтобы для каждого пикселя выбирался для сложения с ним один из соседних с ним пикселей по принципу максимального различия.

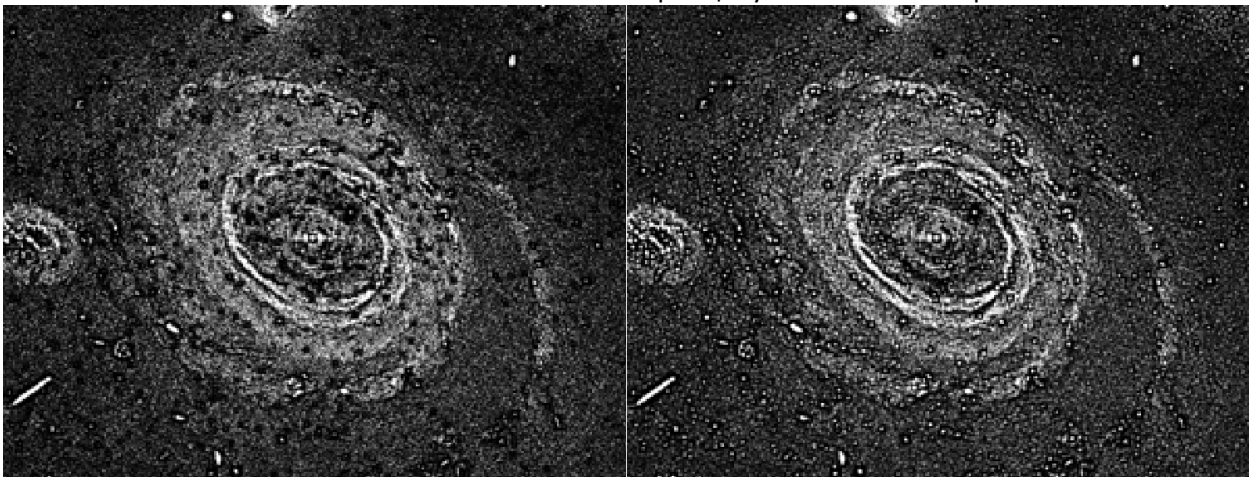


Figure 15. Galaxy LEDA1313424 Bullseye. Source – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>). The central part. Star and curb stamps with a gain of 15,000%. Both stamps are additionally shaded with the [To most dark neighbor] filter.

Рисунок 15. Галактика LEDA1313424 Bullseye. Источник – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>). Центральная часть. Звездочный и бордюрный штампы с усилением 15000%. Оба штампа дополнительно затенены фильтром [To most dark neighbor].

That is, for example, the square in the center with the current pixel is taken, among all the pixels in this square, the one that differs from the original

Т.е. берется, например, квадрат в центре с текущим пикселем, среди всех пикселей в этом квадрате отыскивается тот, который отличается

pixel by the maximum value is found, and then the addition performed with it. Since it takes a lot of time to find the most perfect pixel, accelerated variations of this type of stamp have been developed. The snowflake option – the search is performed on four lines inscribed in a square and passing through the source pixel. And the "border" option - the search takes place only along the perimeter line of this square. The results of applying both relief options are shown below.

от исходного пикселя на максимальное значение, и далее сложение выполняется с ним. Для ускорения поиска максимально отличного пикселя были разработаны вариации этой разновидности штампа. Вариант снежинка – поиск выполняется на четырех линиях, вписанных в квадрат и проходящих через исходный пиксель. И вариант «граница» - поиск происходит только по линии периметра этого квадрата. Ниже приведены результаты применения обоих вариантов рельефа.

Semi-transparent overlay of stamps and photos

In difficult cases, when infrared photographs are not available, it is advisable to use several types of stamps to check or refine the resulting models. Additionally, a transparent overlay mechanism for two consecutive stamps can be used – a field [Viewing the previous one semi-transparent]. The transparency percentage is set in the field itself, the small button on the right turns on transparency, and the checkbox below determines whether the image of the previous frame will also scale and rotate like the current one.

Полупрозрачное наложение штампов и фотографий

В сложных случаях, когда нет доступных инфракрасных фотографий, желательно использовать несколько видов штампов, чтобы проверять или уточнять получаемые модели. Дополнительно, может использоваться механизм прозрачного наложения двух последовательных штампов – поле [Просмотр предыдущего полупрозрачным]. В самом поле задается процент прозрачности, маленькая кнопка справа включает прозрачность, а флажок ниже определяет, будет ли изображение предыдущего кадра также масштабироваться и поворачиваться, как текущее.

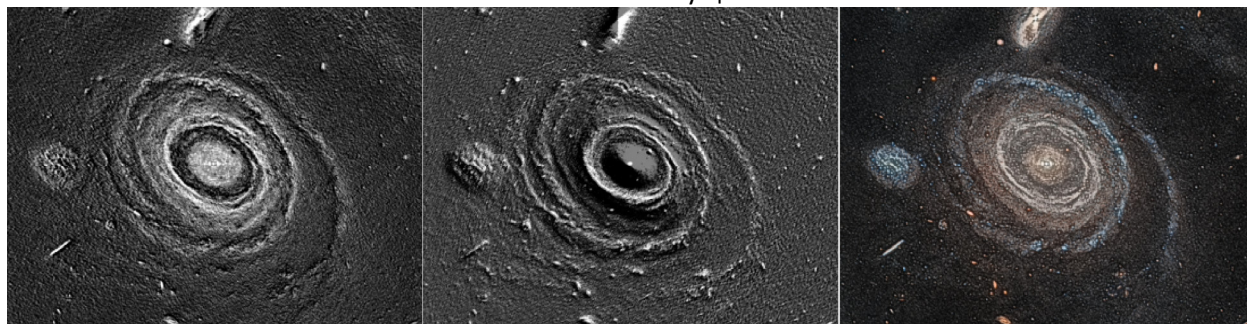


Figure 16. Galaxy LEDA1313424 Bullseye. Source – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>). The central part. On the left is an overlay of radial and linear stamps, in the center – radial and star stamps, on the right – a curb stamp and the original image.

Рисунок 16. Галактика LEDA1313424 Bullseye. Источник – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>). Центральная часть. Слева – наложение радиального и линейного штампов, в центре – радиального и звездочного, справа – бордюрного штампа и исходного изображения.

Chapter 5. Restoring satellite parameters with a predominance of slow spirals

In chapter 3, devoted to the search for the

Глава 5. Восстановление параметров спутника с преобладанием медленных спиралей

В главе 3, посвященной поиску параметров

parameters of the satellites of the galaxy M101, it was obvious that it was the fastest particle flows that formed the four most noticeable spirals. In the case of the Bull's Eye galaxy, the situation is exactly the opposite: here the most noticeable ring formations are formed by relatively slow flows, whereas fast flows are much less visible, and in many cases they are noticeable precisely because they create darkened paths in slow bright spiral rings.

Slow flows of the LEDA 1313424 galaxy

First, let's look at the slow spirals. They look like rings, but in fact they are exactly spirals connected by jumpers. Checking on several types of stamps shows that the jumper lines strictly fit the corresponding wrinkles on the embossed stamps, and the rings almost perfectly match the corresponding tracks on the relief. That is, with brightness gradients in the original photo. The number of bright rings does not correspond strictly to the reconstructed spirals, but it should be understood that bright rings are built not only by these slow flows, firstly. And secondly, they are the result of collisions of gas flows accelerated by particles ejected by the satellite from the galactic core.

Note that the crosspiece formed by the lines of the major and minor axes of the ellipse of the orbit of the radiating satellite is noticeably distorted. This is the result of a certain orientation of the satellite's orbit in space relative to the terrestrial observer. The total inclination of the orbit of the found satellite with an eccentricity of 0.771 turned out to be 42.5° .

By the way, note an interesting fact: the model lines intersect the neighboring galaxy (on the left) exactly where the corresponding lines on the 3D stamp pass. In no case does this mean that the galaxy on the left lies strictly on the plane in which the spiral fronts of the Bull's-eye galaxy extend. If you look at other recoveries, a similar phenomenon is often observed there. Most likely, we are talking about the fact that light from one source, superimposed on differently structured light from another source, enhances the structural features of the galaxy we are interested in. Or, to put it more simply, it uses a second galaxy (more distant or closer) as a canvas for drawing.

спутников галактики M101, было очевидно, что именно наиболее быстрые потоки частиц формировали четыре самые заметные спирали. В случае галактики Бычий глаз ситуация совершенно противоположная: здесь наиболее заметные кольцевые образования сформированы относительно медленными потоками, тогда как быстрые потоки видны значительно хуже, и во многих случаях заметны именно потому, что создают затемненные дорожки в медленных ярких спиралях-кольцах.

Медленные потоки галактики LEDA 1313424

Сначала посмотрим на медленные спирали. Они выглядят как кольца, но на самом деле это именно спирали, соединенные перемычками. Проверка на нескольких видах штампов показывает, что линии перемычек строго ложатся на соответствующие им морщины на рельефных штампах, а кольца практически идеально совпадают с соответствующими дорожками на рельефе. То есть – с градиентами яркости на исходной фотографии. Количество ярких колец не соответствует строго восстановленным спиралям, но надо понимать, что яркие кольца построены не только этими медленными потоками, во-первых. А во-вторых, являются результатом столкновений потоков газа, разогнанных частицами, выброшенными спутником из ядра галактики. Обратите внимание на то, что крестовина, образованная линиями большой и малой оси эллипса орбиты излучающего спутника, заметно скошена. Это результат определенной ориентации орбиты спутника в пространстве относительно земного наблюдателя. Общий наклон орбиты найденного спутника с эксцентриситетом 0.771 оказался равен 42.5° . Кстати, заметьте интересное обстоятельство: модельные линии пересекают соседнюю галактику (слева) именно там, где проходят соответствующие линии на 3D-штампе. Это ни в коем случае не означает, что галактика слева лежит строго на плоскости, в которой распространяются спиральные фронты галактики Бычий глаз. Если посмотрите другие восстановления, там часто наблюдается подобное явление. Скорее всего, речь идет о том, что свет от одного источника, накладываясь на иначе структурированный свет от другого источника, усиливает структурные

особенности интересующей нас галактики. Или, проще говоря, использует вторую галактику (более дальнюю или более близкую) как холст для рисования.

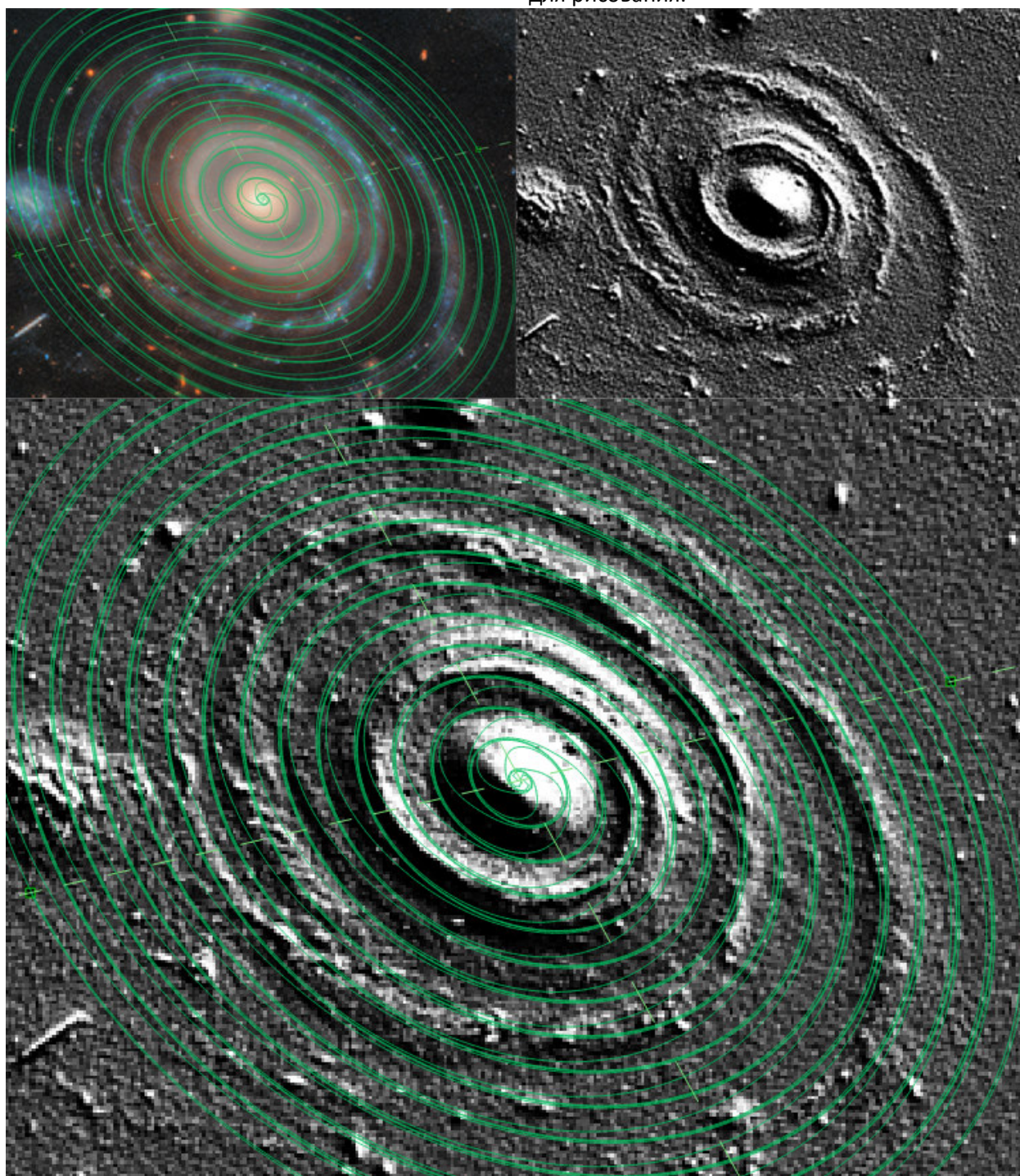


Figure 17. Galaxy LEDA1313424 Bullseye. Source – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>). The central part. Recovery of slow ($v=0.2c$) spirals.

Рисунок 17. Галактика LEDA1313424 Bullseye. Источник – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>). Центральная часть. Восстановление медленных ($v=0.2c$) спиралей.

Fast spirals of the LEDA 1313424 galaxy

And now let's show the two fastest quadruple

Быстрые спирали галактики LEDA 1313424

А теперь покажем две самые быстрые

spirals of the same satellite. The red lines correspond to velocity $v_1=c$, and the orange lines correspond to velocity $v_2=0.938c$.

четверные спирали этого же спутника. Красным линиям соответствует скорость $v_1=c$, оранжевым – скорость $v_2=0.938c$.

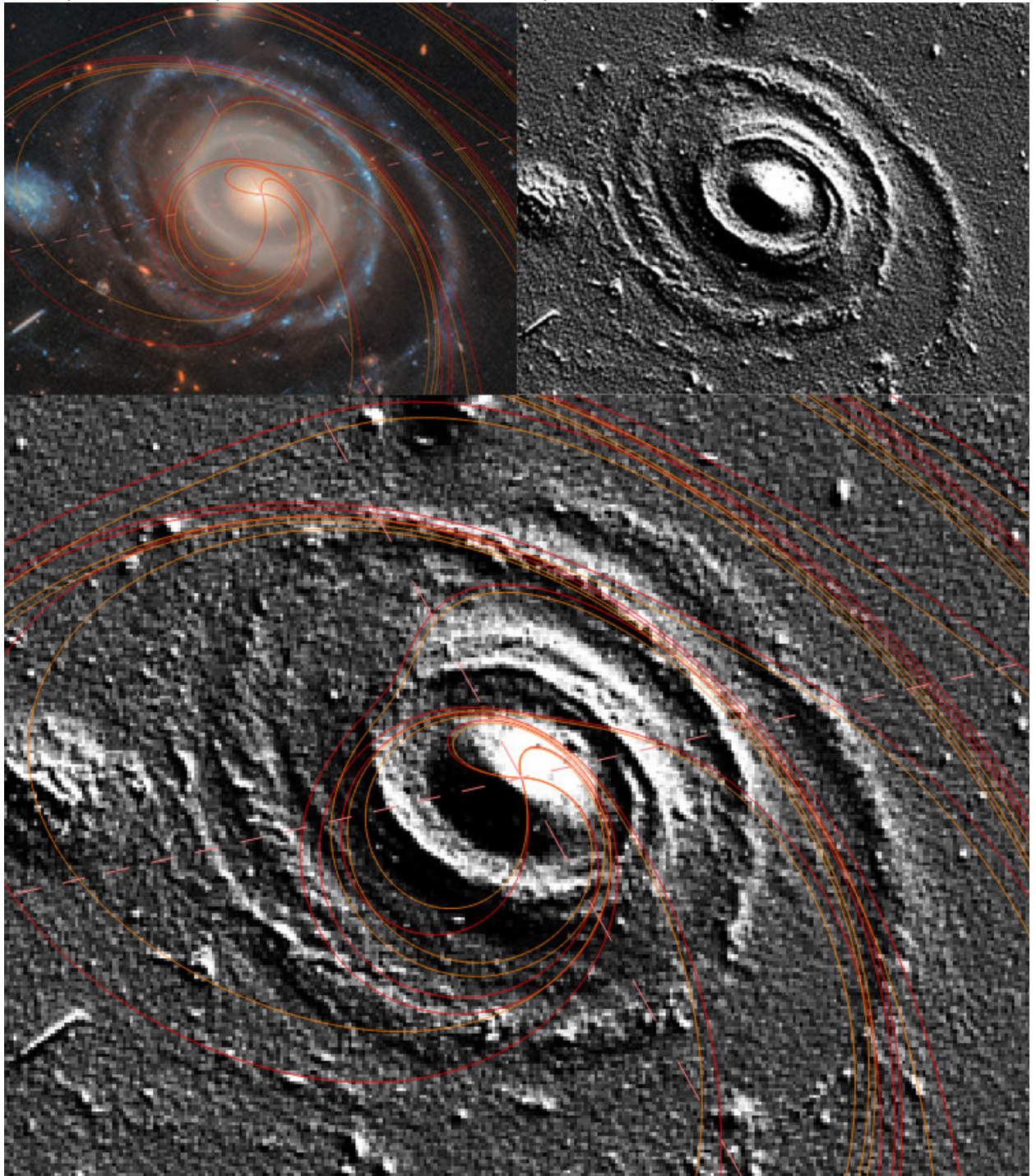


Figure 18. Galaxy LEDA1313424 Bullseye. Source – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>). The central part. Fast ($v_1=c$, $v_2=0.938c$) spirals of the same satellite.

Рисунок 18. Галактика LEDA1313424 Bullseye. Источник – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>). Центральная часть. Быстрые ($v_1=c$, $v_2=0.938c$) спирали того же спутника.

The middle spirals of the LEDA 1313424 galaxy

And another pair of medium spirals, now at

Средние спирали галактики LEDA 1313424

И еще одна пара средних спиралей, теперь при

$v_1=0.805c$ (blue) and $v_2=0.604c$ (blue). Thus, only one SMBH's satellite was enough to explain the appearance of the Bulls Eye galaxy.

$v_1=0.805c$ (голубая) и $v_2=0.604c$ (синяя). Таким образом, для объяснения внешнего вида галактики Бычий глаз оказалось достаточно всего одного спутника СМЧД.

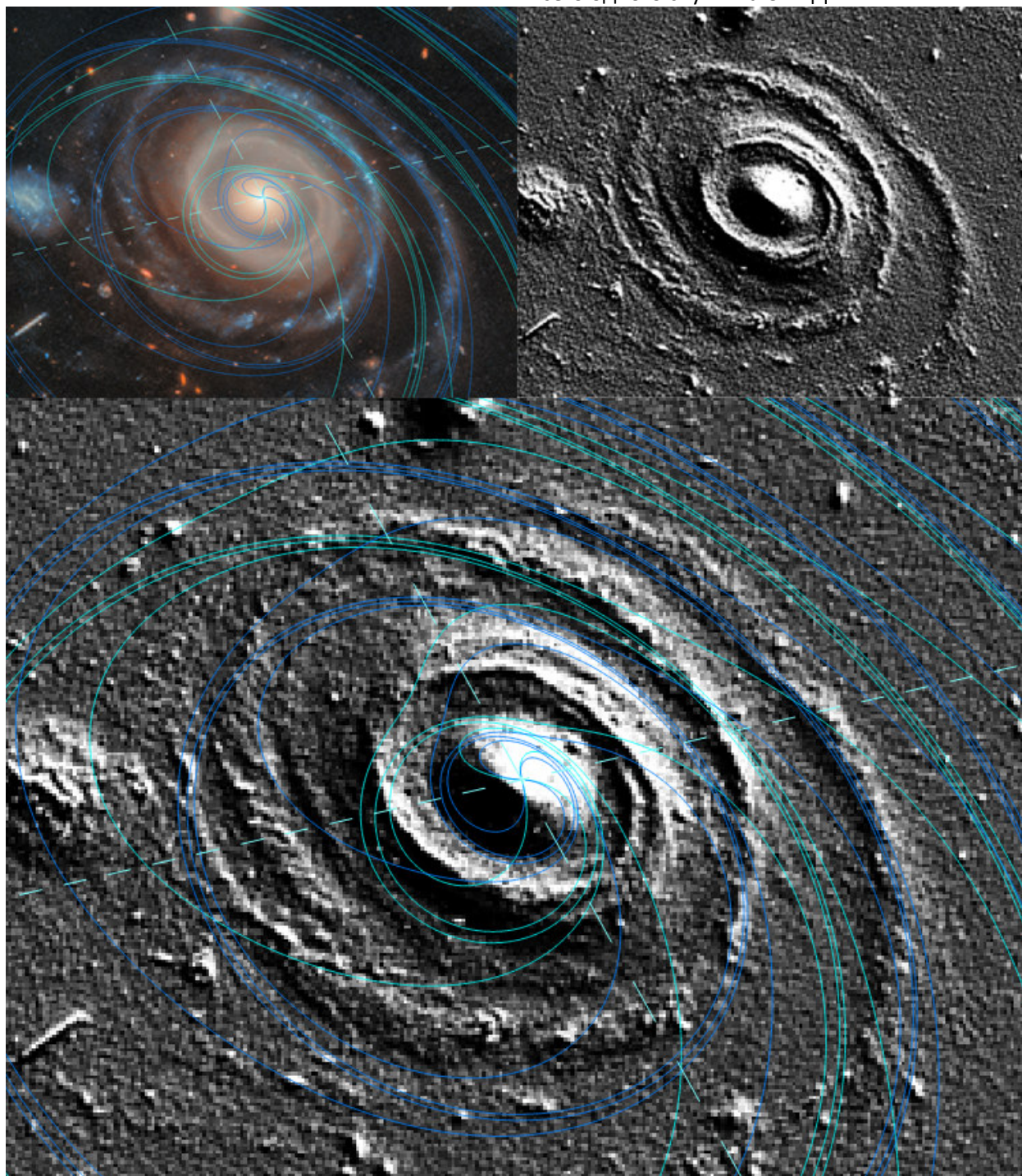


Figure 19. Galaxy LEDA1313424 Bullseye. Source – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>). The central part. Medium-fast ($v_1=0.805c$, $v_2=0.604c$) spirals of the same satellite.

Рисунок 19. Галактика LEDA1313424 Bullseye. Источник – ESA/Hubble (<https://cdn.esahubble.org/archives/images/large/opo2506.jpg>). Центральная часть. Средне-быстрые ($v_1=0.805c$, $v_2=0.604c$) спирали того же спутника.

Chapter 6. Preparing the model for publication

First, you should not post images, animations, or even videos. Not only does this take up a huge amount of space, but there may also be a problem with the copyright holders of the original photos. Images from the website esahubble.org were used in this program guide, which is almost the only site with officially published photos of galaxies that allows them to be used, even for commercial purposes, if certain conditions are met (there is a link to the image on the site esahubble.org and it is explicitly stated that the original image belongs to ESA/Hubble).

To publish a model, it is enough to publish a file with the extension `.gal`, previously saved in the control window by pressing [V] at the very top (next to the button (1) intended for loading the model). To save a link to the image to which it belongs along with the model, first copy the link to the clipboard and right-click on the thumbnail image in the left column of the control window, select [Set URL from clipboard]. If such a link has been assigned, after saving the model to a file. A message about the link will appear in the `gal`, and the link will be duplicated in it.

When loading a model containing such a link, you will be prompted to place it on the clipboard. After that, the program user can paste this link into the browser's address bar and upload the photo to a local medium, and then into the program.

Also, along with the model, the checksum of the first image and a set of commands for forming a 3D stamp are saved. If several stamps have been formed, the commands are saved only for the last one, starting with pressing the [Create Stamp] button. When loading a model, if there is only one loaded photo, or when loading the first photo after loading the model, if the checksum matches (that is, the photo is the same), you will be prompted to execute these commands and generate the same 3D stamp as the creator of the model.

Please note that the commands to reduce the image size when creating a stamp for an excessively large photo should not be executed separately, but by selecting a value in the [First downscale] drop-down list. In this case, the execution of the sequence of commands will begin with reducing the size by the specified amount.

Глава 6. Подготовка модели к публикации

Во-первых, не следует публиковать изображения, анимации или даже видео. Мало того, что это занимает огромный объем, так еще и могут возникнуть проблема с правообладателями исходных фотографий. В данной инструкции к программе использовались изображения с сайта esahubble.org, который практически единственный из всех сайтов с официально опубликованными фотографиями галактик разрешает использовать их, даже в коммерческих целях, если соблюдены некоторые условия (есть ссылка на изображение на сайте esahubble.org и указано явно, что исходное изображение принадлежит ESA/Hubble).

Для публикации модели достаточно опубликовать файл с расширением `.gal`, предварительно сохраненный в контрольном окне кнопкой [V] в самом верху (рядом с кнопкой (1), предназначенной для загрузки модели). Чтобы вместе с моделью была сохранена ссылка на изображение, к которой она относится, предварительно скопируйте ссылку в буфер обмена и нажатием правой кнопки мыши на миниатюре изображения в левом столбце контрольного окна, выберите пункт [Set URL from clipboard]. Если такая ссылка была назначена, после сохранения модели в файл `.gal` появится сообщение о наличии ссылки, и в нем ссылка будет продублирована.

При загрузке модели, содержащей такую ссылку, будет предложено поместить ее в буфер обмена. После чего пользователь программы может вставить эту ссылку в адресную строку браузера и загрузить фотографию на локальный носитель, а затем в программу.

Так же, вместе с моделью сохраняется контрольная сумма первого изображения и набор команд для формирования 3D-штампа. Если формировалось несколько штампов, сохраняются команды только для последнего, начиная с нажатия кнопки [Создать штамп]. При загрузке модели, если имеется только одна загруженная фотография, либо при загрузке первой фотографии после загрузки модели, если контрольная сумма совпала (то есть,

фотография та же самая), будет предложено выполнить эти команды и сформировать такой же 3D-штамп, что и у создателя модели. Учтите, что команды для уменьшения размера изображения при создании штампа для слишком большой фотографии должны выполняться не отдельно, а выбором значения в выпадающем списке [First downscale] – в этом случае выполнение последовательности команд начнется именно с уменьшения размера на указанную величину.

Chapter 7. Adapting the model to another photo of the same galaxy

Sometimes it becomes necessary to transfer the finished model to another photograph of the same galaxy, for various reasons. For example, if a photo has appeared in a better resolution, in a different wavelength range, or with a larger viewing angle, or, conversely, with greater detail of some parts (usually the galactic core).

In this case, you can try to adapt each model step by step, moving the center of each satellite, rotating and scaling them. The first step in optimizing this process is to use the "Rotate all spirals simultaneously" function (in the large menu) to rotate all spirals in the projection plane by the same degree. And for zooming, use the "Box width" field to change the width of the viewing window, set in light years. It only remains to correctly locate the emission centers.

But there is another way specifically designed to adapt the model – the "Transformation Model" window. It is called by the corresponding large menu item in the control window or by the keyboard shortcut Control+T in the control or main window.

It should be noted that all relative positions of additional satellites are calculated relative to the first satellite. Therefore, removing the first satellite or moving it from the first position may cause the model to malfunction. The good side of this approach is that it is enough to correctly position the center of only the first satellite in the transformation window, and after correctly setting the rotation and scale, all other emission centers that do not coincide with the first one will be in

Глава 7. Адаптация модели к другой фотографии той же галактики

Иногда появляется необходимость перенести готовую модель на другую фотографию той же галактики, - по разным причинам. Например, если появилась фотография в лучшем разрешении, в другом диапазоне волн, или с большим углом обзора, или, наоборот, с большей детализацией некоторых частей (обычно ядра галактики).

В этом случае можно попытаться адаптировать каждую модель пошагово, перемещая центр каждого спутника, поворачивая и масштабируя их. Первый шаг в оптимизации этого процесса – использование функции «Поворачивать все спирали одновременно» (в большом меню) для поворота всех спиралей в плоскости проекции на один и тот же градус. И для масштабирования – использовать изменение ширины окна просмотра, задаваемое в световых годах – поле «Ширина окна». Остается только правильно расположить центры эмиссии.

Но есть и еще один способ, специально разработанный для адаптации модели – окно «Трансформация модели». Вызывается соответствующим пунктом большого меню в контрольном окне или сочетанием клавиш Control+T в контрольном или главном окне. Следует учесть, что все относительные позиции дополнительных спутников вычисляются относительно первого спутника. Поэтому удаление первого спутника или перемещение его с первой позиции может вызвать расстройство модели. Хорошая сторона этого подхода в том, что в окне трансформации достаточно правильно расположить центр только первого спутника, и после корректного задания поворота и масштаба все остальные

the correct positions in the new photo.

So, the sequence of actions for adapting the model to the new photo should be as follows.

1. It is necessary to find out the angle of rotation as accurately as possible. To do this, use a graphical editor with the ability to work with layers. Copy and paste the primary photo on top of the second (target) photo as an additional layer, invert it, make it translucent by 50%, and perform a transformation while maintaining the aspect ratio – rotate, scale, and shift until you achieve the maximum match. Actually, the alignment itself as an image is not required – you just need to record the angle of rotation.

Note: if you do not have such a graphic editor at hand, you can use the features of the program itself. In the stamp generation window, turn on translucency without checking the "Scale transparent underlying image too" checkbox. The two photos, the old one and the new one, should be positioned sequentially. You can invert one of them on the spot by pressing the button with a diagonally crossed square with the CONTROL key held down. After that, you use panning to move your photo, scale it, and rotate it. Again, you only need the rotation angle.

2. Open the first model and the second photo, and in the transformation window that opens, enter the resulting angle (in the Rotation field).

3. Align the center of the first satellite by moving the mouse cursor in the blue field of the transformation window. To speed up movement over long distances, you can use CONTROL or right-click.

4. It remains to choose the right scale. Most likely, it will not work to use the value from the combination in the graphic editor, since our scale is not tied to the size of the image in pixels, but refers to the width of the observed window in light years. The easiest way, if there are secondary centers, is to simply move the scale until these additional centers are in the right place. It is possible to monitor the zoom accuracy is to create

центры эмиссии, не совпадающие с первым, окажутся в правильных позициях на новой фотографии.

Итак, последовательность действий для адаптации модели к новой фотографии должна быть следующей.

1. Необходимо выяснить максимально точно угол поворота. Для этого используйте графический редактор с возможностями работы со слоями. Первичную фотографию копируете и вставляете поверх второй (целевой) в качестве дополнительного слоя, инвертируете, делаете полупрозрачной на 50%, и выполняете трансформацию с сохранением соотношения сторон – поворачиваете, масштабируете и смещаете, пока не добьетесь максимального совпадения. Собственно, само совмещение как изображение не потребуется – необходимо лишь записать угол поворота.

Примечание: если у вас нет под рукой такого графического редактора, вы можете использовать возможности самой программы. В окне формирования штампа включите полупрозрачность, не устанавливая флажок «Scale transparent underlying image too». Две фотографии, старая и новая, должны располагаться последовательно. Одну из них вы можете инвертировать на месте, нажимая на кнопку с перечеркнутым по диагонали квадратиком с зажатой клавишей CONTROL. После чего паннингом перемещаете свою фотографию, масштабируете ее и поворачиваете, добиваясь максимально точного совпадения.. Опять же, вам нужен только угол поворота.

2. Открываете первую модель и вторую фотографию и в вызванном окне трансформации вводите полученный угол (в поле Rotation).

3. Совмещаете центр первого спутника, двигая курсор мыши в синем поле окна трансформации. Для ускорения перемещения на большие дистанции можно использовать CONTROL или двигать правой клавишей мыши.

4. Остается правильно выбрать масштаб. Использовать значение из совмещения в графическом редакторе, скорее всего, не получится, так как наш масштаб не привязан к размеру картинки в пикселях, а относится к ширине наблюдаемого окна в световых годах. Проще всего, если есть вторичные центры, просто двигать масштаб до тех пор, пока эти дополнительные центры не окажутся там, где

a 3D relief stamp for a new photo, and by moving the additional center to the vicinity of its intended position (changing the scale), refine the scale until the crosspiece of the ellipse of the satellite's orbit coincides with the corresponding crosspiece in the relief.

5. That's it. If you try to save the modified model without applying the resulting transformations, the program will notify you about this. In general, the transformation window can always be closed to return the model to its previous appearance. For example, to see what the lines look like on the background of an old photo or the corresponding relief stamp. Please note that if changes were made to the model in addition to the transformation window, they will not be returned to their original state. If such changes were made by mistake, it is easier to reload the model – this will not affect the transformation window in any way.

An even more straightforward and simple method is to use the transformation window directly. Use it to move the center of the first spiral to the desired position, and then, using only rotation and scaling, place other spirals whose centers differ from the center of the first one (if there is no such thing, add a marker to the original model centered on some noticeable landmark, such as a star or galaxy present in both photos).

Conclusion

This completes the practical course on using the GalaxyModel program. In fact, there are still a lot of features and nuances in the program, but these are all small details that you can do without. Or in some cases, try to figure it out on your own. Good luck exploring the galaxies!

Vladimir Kladov, Novosibirsk, 2026

надо. Можно за точностью масштабирования, создав рельефный 3D-штамп для новой фотографии, и, подвинув дополнительный центр в окрестности своей предполагаемой позиции (Изменив масштаб), уточнить масштаб, пока крестовина эллипса орбиты спутника не совпадет с соответствующей ей крестовиной на рельефе.

5. На этом все. Если вы попытаетесь сохранить измененную модель, не применяя полученные трансформации, программа сообщит об этом. Вообще, окно трансформации всегда можно закрыть, чтобы вернуть модель к прежнему виду. Например, чтобы посмотреть, как выглядят линии на фоне старой фотографии или соответствующем ей рельефном штампе. Учтите, что если в модель вносились изменения помимо окна трансформации, то они уже не будут возвращены в исходное состояние. Если такие изменения были сделаны по ошибке, проще перезагрузить модель – на окно трансформации это никак не повлияет.

Еще более прямолинейный и простой метод – использование непосредственно окна трансформации. Перемещаете с ее помощью центр первой спирали в требуемую позицию, и далее используя только вращения и масштабирование, размещаете прочие спирали, центры которых отличаются от центра первой (если такой нет, добавьте на исходную модель маркер с центром на каком-нибудь заметном ориентире, например, звезде или галактике, присутствующей на обеих фотографиях).

Заключение

На этом практический курс по использованию программы GalaxyModel, в основном, завершен. На самом деле, в программе есть еще очень много возможностей и нюансов, но это все мелкие детали, без которых можно обойтись. Или в некоторых случаях, попробовать разобраться самостоятельно. Удачи всем в исследовании галактик!

Владимир Кладов, Новосибирск, 2026