

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра «ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ И ФИЗИКИ»**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**(бакалаврская работа)**

**На тему «ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ЗВЕЗД»**

**Исполнитель студентка группы Ф-Б19-1  
Захаро Катерина Александровна**

**Руководитель доц.каф. физики, к.х.н., доцент  
Михтеева Елена Юрьевна**

**защите допускаю»  
подписью руководящий кафедрой**

**к.ф.-м.н., доцент  
Зайцева Ирина Владимировна**

**» июня 2023 г.**

**Санкт-Петербург**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	2
1 Классификация небесных тел.....	4
1.1 Структура и основные астрономические объекты вселенной.....	4
1.2 Галактики.....	7
1.3 Активные ядра галактик (АЯГ).....	9
1.4 Блазары как предмет исследования.....	12
1.5 Исследуемое излучение АЯГ.....	17
1.6 Светимость объекта.....	22
1.7 Блазар S5 1803+784.....	24
2 Методы обработки и визуализации сигналов от тусклых космических объектов.....	28
2.1 Метод транзитной спектрометрии.....	28
2.2 Космический телескоп TESS-2.....	30
2.3 ПЗС-матрицы, применяемые в исследованиях космических объектов	32
2.4 Методы исследования снимков.....	35
2.5 Wolfram Alpha.....	37
2.6 Структурная функция.....	38
3 Обработка снимков телескопа TESS-2 для исследования блазаров.....	39
3.1 Обработка изображения от фоновых шумов.....	39
3.2 Анализ кривой блеска блазара S5 1803+784.....	45
4 Заключение.....	50
5 Приложение.....	54

## ВВЕДЕНИЕ

На данный момент, в связи с быстрыми темпами развития исследовательских приборов, таких как стационарные и космические телескопы, а также накоплением большого объема данных для исследования, стали появляться области данных, нетронутых обработкой учеными, требующих приложения большого количества усилий и времени.

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что только своевременное создание программ для автоматической обработки снимков телескопов позволит научному сообществу не отставать от технологических возможностей, идти в ногу со временем и оперативно замечать новые объекты или явления.

Целью данной выпускной квалификационной работы является обработка и исследование снимков космического телескопа TESS-2.

В данной работе необходимо выполнить следующие задачи:

- Создание программы, приводящей снимки космических телескопов к виду, подходящему для дальнейшей обработки с наименьшими потерями данных;
- Исследование полученных данных для блазара S5 1803+784 на принципиально новых периодах для проверки теории о высокочастотных колебаниях в излучениях подобных объектов.

Объектом исследования в выпускной квалификационной работе являются снимки космического телескопа TESS-2 и кривая блеска, полученная в ходе многолетних наблюдений от блазара S5 1803+784.

Предметом исследования выступает нахождение способа фильтрации данных со снимков космического телескопа, для дальнейшей программной обработки, а также поиск зависимости переменности кривой блеска от других параметров, детектированных для данных объектов на коротких промежутках времени.

# КЛАССИФИКАЦИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

## 1.1 Структура и основные астрономические объекты вселенной

В настоящее время астрономический объект определяется как физический объект или скопление объектов, расположенных в видимой вселенной. Помимо этого, как синоним для предыдущего определения, используется термин небесное тело, как правило, если описание даётся единой обособленной структуре тел, связанных гравитацией. Таким образом, отдельная звезда будет считаться астрономическим объектом, в то время как звёздная система или галактика уже может называться небесным телом.

Звезды – газовые шарообразные объекты, в которых идут постоянные реакции ядерного синтеза, а форма поддерживается за счёт сил тяготения, вызванных достаточно внушительной массой. Всю информацию о звёздах мы получаем, анализируя их излучение, и получая такие характеристики как: масса, возраст и химический состав, а также определить состав звёздной системы, наличие экзопланет.

На данный момент классификация звёзд строится на соотношении температуры и светимости тела. С этой целью была построена диаграмма Герцшпрунга-Рессела показанная на рисунке 1, где каждая изученная звезда была отмечена на графике. По вертикальной оси откладывается значение её светимости, а по горизонтальной – эффективные температуры или спектральные классы. В случае отсутствия зависимости, точки на диаграмме были бы расположены равномерно, но при использовании подобного распределения получается упорядоченное изображение, где все тела складываются в определённые сгущения точек – полосы или пятна – естественные последовательности, по которым на данный момент классифицируют звёзды. [1]

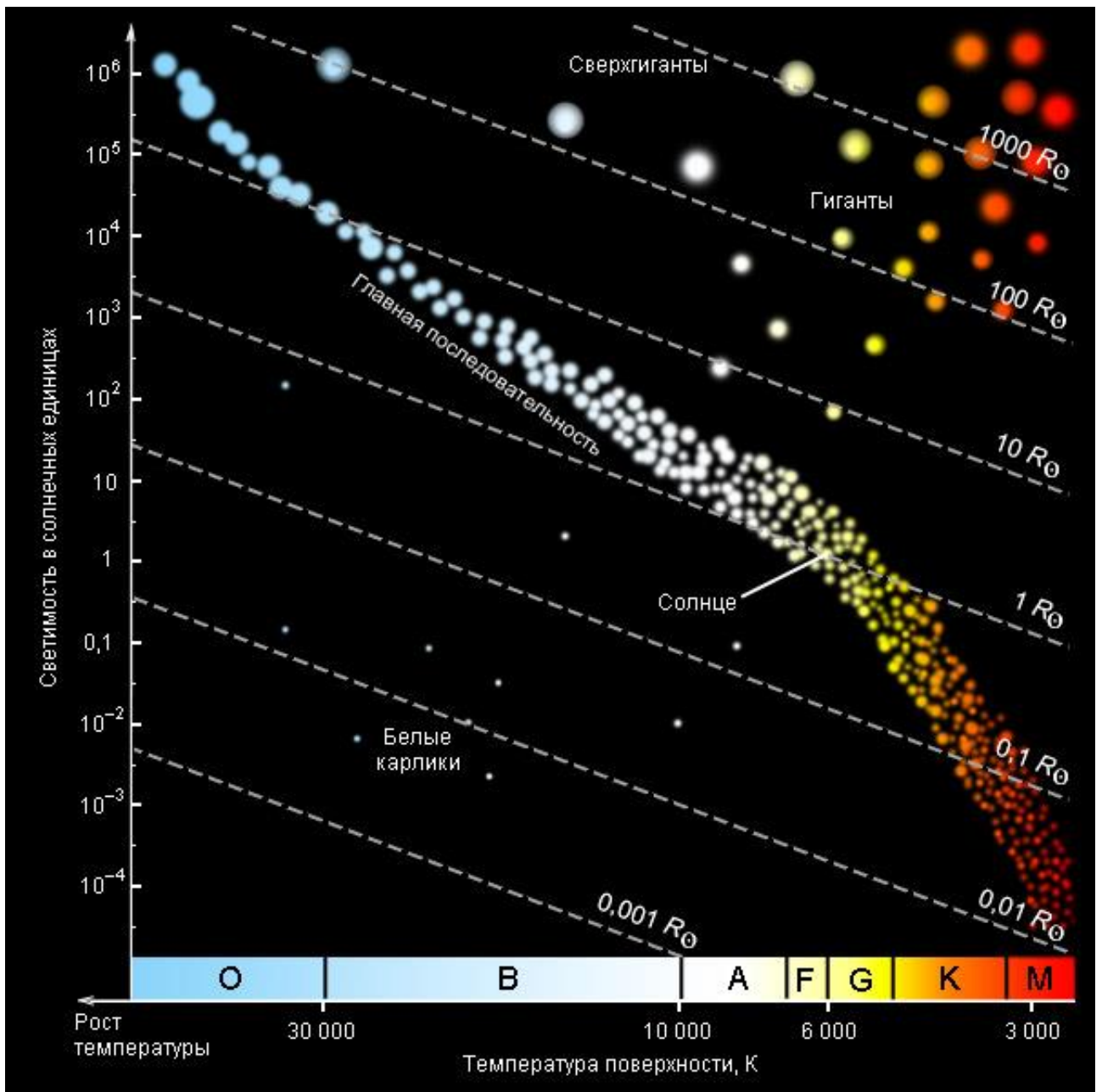


Рисунок 1. Диаграмма Герцшпрунга-Рессела

На данном изображении выделяются следующие основные последовательности:

- Сверхгиганты – 1 класс светимости
- Гиганты – 2 класс светимости
- Звёзды главной последовательности – 3 класс светимости, в ядрах которых происходит сгорание водорода

- Субкарлики – 4 класс светимости, содержат меньше металлов, чем звёзды главной последовательности
- Белые карлики – 5 класс светимости

Буквенное обозначение на горизонтальной оси диаграммы представляет собой разделение спектральных классов звёзд. На рисунке 2 дана расшифровка для каждого класса.

### Спектральные классы звезд

Обозначение класса звезд	Характерный признак спектральных линий	Температура поверхности, К
О	Ионизованный гелий	> 30 000
В	Нейтральный гелий	11 000 - 30 000
А	Водород	7 200 - 11 000
F	Ионизованный кальций	6 000 - 7 200
G	Ионизованный кальций, нейтральные металлы	5 200 - 6 000
K	Нейтральные металлы	3 500 - 5200
M	Нейтральные металлы, полосы поглощения молекул	< 3 500
R	Полосы поглощения циана (CN) <sub>2</sub>	< 3 500
N	Углерод	< 3 500

Рисунок 2. Буквенные обозначение спектральных классов звёзд

## 1.2 Галактики

Галактика – совокупность связанных гравитацией разнообразных астрономических объектов, таких как: звёзды, межзвёздный газ, звёздные скопления, планеты, движущихся вокруг общего центра масс – ядра, которым, как правило, является чёрная дыра.

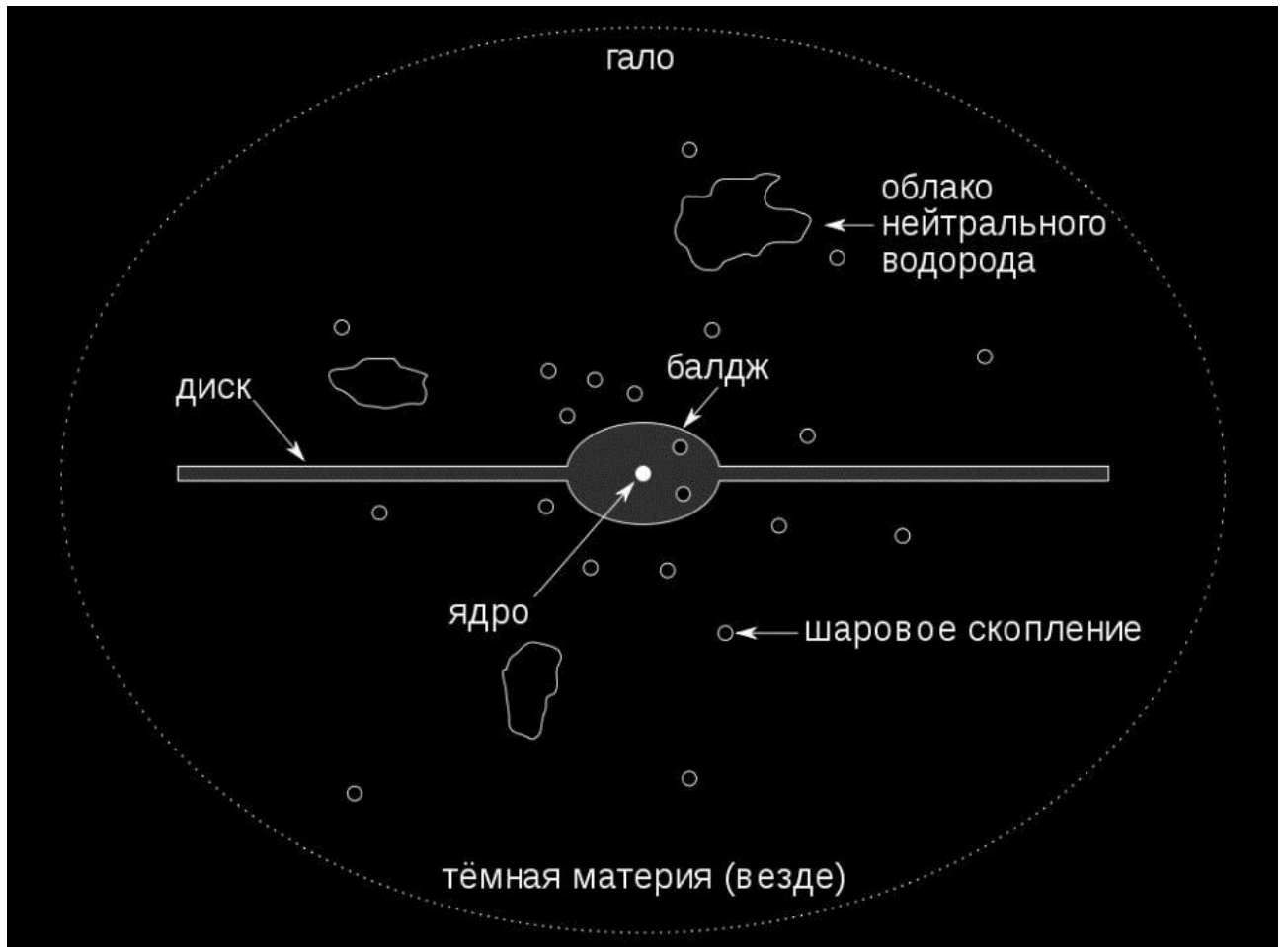


Рисунок 3. Схематическое отображение структуры галактики

На данный момент общая структура галактики предоставлена на рисунке 3 и включает в себя: ядро – как правило, активное ядро в самом центре, где располагается чёрная дыра; диск – тонкий слой, в котором сконцентрировано основное количество галактических объектов (пыли, звёзд); балдж – яркая часть в центре галактики, не имеющая чёткой границы; гало – внешний сфероидальный компонент без чёткой границы как внешней, так и при переходе



от балджа; спиральный рукав – структура из большого количества молодых звёзд и межзвёздного газа.

Как правило для классификации галактик используют их форму и, относительно видимых характеристик, делят на эллиптические, малоконтрастные галактики без дисковой составляющей; спиральные, со спиральными ветвями и неправильные с клочковатой или изорванной структурой. На данный момент существует и второй способ классификации, по состоянию их ядер, на спокойные и беспокойные, для чего определяется характеристики выделяемой ими энергии. В активных галактиках количество энергии достигает таких показателей, что их становится невозможно объяснить ничем другим, в том числе отдельными яркими звёздами или газовой-пылевыми комплексами.

### 1.3 Активные ядра галактик (АЯГ)

Активные галактики являются особым предметом любви астрономов в связи с более яркими ядрами, а в следствие, большей светимостью, и намного большими потоками энергии, которые они излучают, а так же благодаря тому, что в их центре, как принято считать, располагаются массивные или сверхмассивные чёрные дыры (SMBH), схематическая структура АЯГ представлена на рисунке 4. Многие галактики имеют огромные джеты энергии, излучающие в основном в радио, но также и в оптическом диапазоне. Активные галактики делят на несколько основных типов: радиогалактики, они же эллиптические галактики, сейфертовские галактики (Sy), квазары (QSO), блазары (BL), Лайнеры (LINER) и более мелкие, которые не так часто исследуются. [2]

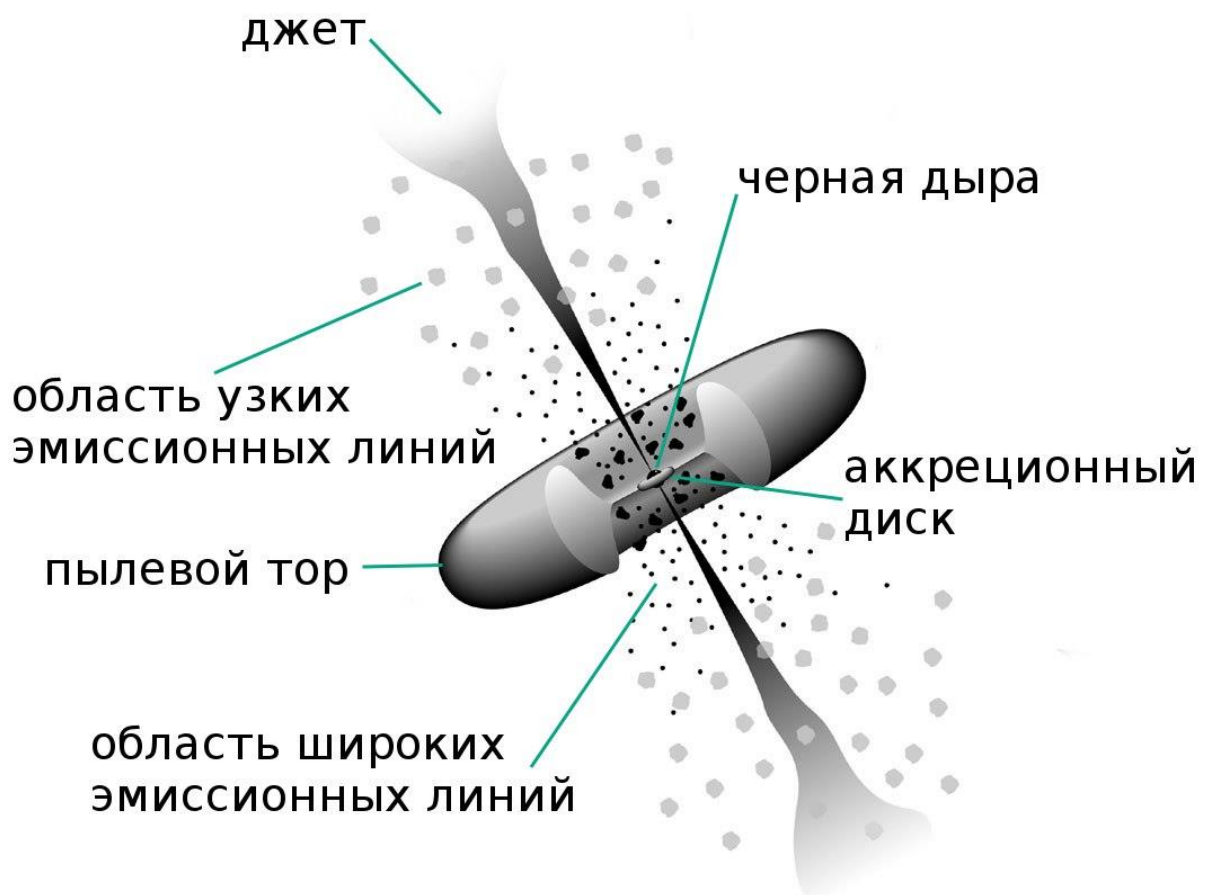


Рисунок 4. Схематическая модель АЯГ

В настоящее время известно, что, как правило, в центральной части галактики располагается чёрная дыра, во многих случаях она является сверхмассивной. Аккреция на сверхмассивную чёрную дыру - падение вещества на гравитирующий космический объект извне в околоядерную область – основная причина проявления подобной активности.

Активные ядра галактик - ядра галактик, в которых наблюдаются нестационарные процессы, сопровождающиеся выделением большого количества энергии, схематично устройство АЯГ показано на Рис.4. Галактики с подобными ядрами так же принято называть активными. Признаки активности и формы выделения энергии в ядрах галактик могут быть различными:

- быстрое движение газа со скоростью порядка тысячи километров в секунду, проявляющееся в сильном уширении спектральных линий излучения вследствие эффекта Доплера;
- нетепловое излучение большой мощности в коротковолновых (оптической, ультрафиолетовой и рентгеновской, а в некоторых случаях – и гамма) областях спектра;
- мощное излучение в далёкой инфракрасной области, вероятно, связанное с нагретой межзвёздной пылью вблизи ядра;
- выбросы газовых струй (релятивистских джетов);
- мощное радиоизлучение, связанное с выбросом из ядра заряженных частиц высоких энергий.

Излучение активных ядер галактик исходит из точечной, по сравнению с масштабом галактики, области, и его мощность, как правило, переменна на самых различных интервалах времени – от нескольких часов до нескольких лет.

На данный момент принято классифицировать АЯГ по мощности и характеристикам излучения на сейфертовские галактики, радиогалактики, квазизвёздные объекты (квазары) и лацертиды.

Сейфертовские галактики – наиболее многочисленный тип галактик с активными ядрами, включающий в себя не менее 10% массивных и в основном спиральных галактик, с центром из звездоподобных источников света малого размера и с широкими линиями в спектре, что обозначает движение газа в ядре.

Радиогалактики – наиболее многочисленная группа радиоисточников Вселенной, которые характеризуются аномально высоким уровнем радиоизлучения, благодаря чему и получили своё название.

Квazarы, они же квазизвёздные объекты – одни из самых мощных источников излучения во Вселенной, схожие с ядрами сейфертовских галактик, но превосходящие их на несколько порядков. При этом яркость квазара зачастую настолько велика, что значительно превышает яркость окружающей его галактики, в связи с чем последняя становится малозаметной на фоне ядра.

Лацертиды – довольно редкий тип АЯГ, встречающийся среди гигантских эллиптических галактик, и схожий с быстропеременными звёздами со слабыми спектральными линиями и частично поляризованным мощным гамма-излучением. Принято считать, что лацертиды – ядра радиогалактик или квазары, выбросы релятивистских частиц и газа которых засекают телескопы. Благодаря направленности в сторону наблюдателя, яркость и переменность ядра оказываются усиленными.

На основе каталогов, собранных многолетними наблюдениями, выявляют тысячи рентгеновских АЯГ и кандидатов в них. На данный момент, благодаря технологически развитым космическим телескопам, имеется возможность определить практически все параметры каждого объекта, такие как: лучевые скорости, расстояния, светимости и т.д. Во многом работу по обнаружению и исследованию наиболее интересных АЯГ, имеющие в своём спектре линии поглощения, но мешает зашумлённость снимков – многие из них, из-за низкой яркости, наблюдаются и находятся благодаря сильному рентгеновскому излучению и многолетним каталогам наблюдений.

## 1.4 Блазары как предмет исследования

Блазары — это подкласс радиоизлучающих активных галактических ядер (AGN), отличающихся релятивистскими струями, которые имеют небольшой угол к лучу зрения наблюдателя. Непрерывное излучение блазара не является тепловым по своей природе, оно усилено доплеровским излучением и сильно варьируется в широком диапазоне пространственных и временных частот. Блазары состоят из двух видов источников: радиокварзаров с плоским спектром (FSRQ) и объектов BL Lacertae (BL Lac). Из двух типов источников, FSRQ демонстрируют широкие линии излучения, в то время как BL Lac демонстрируют либо слабые линии излучения, либо их отсутствие по всему континууму. Тем не менее, объекты видны в диапазоне энергий ТэВ и представляют собой нетепловой спектр блазаров, который простирается от радио до гамма-лучей с наибольшей энергией, так как излучение ТэВ, демонстрирует две отчетливые компоненты низкой и высокой энергии, которые соответственно достигают максимума между радио- и мягкими рентгеновскими лучами и между рентгеновскими лучами и гамма-лучами. Низкоэнергетическая составляющая хорошо объясняется в терминах синхротронного излучения релятивистской плазмой в намагниченных струях. [3]

Исторически сложилось так, что FSRQ считаются более светящимися, чем BL Lac, однако новые отчеты предполагают, что некоторые из BL Lac могут быть более яркими, чем FSRQ. Изменчивость блазара обычно подразделяется на три группы: внутрисуточная вариация (IDV) или микровариабельность для вариаций потока до нескольких десятых величин, охватывающих от нескольких минут до суток, краткосрочная вариация (STV) для вариаций, превышающих 1 мкг в масштабе нескольких месяцев, и долгосрочная вариация - (LTV) для колебания на несколько величин в течение более длительного периода времени (от месяцев до многих лет). Однако тенденция долгосрочных кривых блеска может указывать, что, возможно, более длительные повторяющиеся временные рамки, механизмы и периодичность, лежащие в основе такого рода изменчивости

потоков, все ещё остаются не до конца изученными. Изменчивость потока в блазарах может быть объяснена вспышками, движущимися вдоль струи, нестабильностью аккреционного диска, гравитационным микролинзированием или изменением доплеровского фактора вследствие того, что эмиссионная плазма движется с релятивистскими скоростями по спиральной траектории.

Измерение потока и спектральных изменений блазаров с использованием многополосных наблюдений очень ценно, поскольку оно предоставляет информацию о местоположении, размере, структуре, динамике области излучения и временных масштабах охлаждения электронов в релятивистских струях, а также проверяет теоретические модели. Излучение блазаров охватывает весь электромагнитный спектр, что позволяет нам изучать их в более широком диапазоне частот, вплоть до гамма-лучей очень высокой энергии. Блазары демонстрируют двугорбую структуру в своих широкополосных спектральных распределениях энергии, что показано на рисунке 5. Первый бугорок, который является низкоэнергетическим компонентом, достигает максимума в инфракрасном диапазоне (ИК) до рентгеновских лучей, в то время как второй (высокоэнергетический) бугорок достигает максимума от частот ГэВ до ТэВ. Синхротронное излучение релятивистских частиц, связанное с релятивистскими струями, относится к низкоэнергетической части спектрального распределения энергии SED (spectral energy distribution), в то время как, согласно широко принятым лептонным сценариям, высокоэнергетический всплеск может быть вызван обратным комптоновским рассеянием низкочастотных фотонов высокоэнергетическими частицами. Однако происхождение последнего компонента все ещё остаётся под вопросом. Были предложены различные модели для понимания характеристик излучения с высокой энергии. Нетепловые лептонные процессы, которые могут объяснить второй компонент, включают синхротронную самокомптоновскую модель (SSC) и внешнюю комптоновскую модель (EC). Согласно модели SSC, излучение IC от популяции электронов, рассеивающих фотоны низкой энергии, ответственно за

высокоэнергетические характеристики SED. Напротив, согласно модели ЕС, второй бугорок возникает из-за фотонов из окружающей среды, например, аккреционного диска, области широких линий и пылевого тора.  $\gamma$ -лучи образуются с помощью различных механизмов, таких как фотопионные и фотопарные взаимодействия, которые также провоцируют появление нейтрино. Как лептонные, так и адронные модели показали большой успех в представлении

SED, за исключением определённых сценариев, где лептонные модели могут создавать некоторые проблемы с обработкой наблюдаемых данных. [4]

Блазары далее классифицируются на основе местоположения синхротронного пика ( $\nu_{\text{syn}}$ ) на три подкласса: низкочастотный синхротронный пик (LSP) с  $\nu_{\text{syn}} \leq 10^{14}$  Гц, промежуточный синхротронный пик частоты (ISP) с

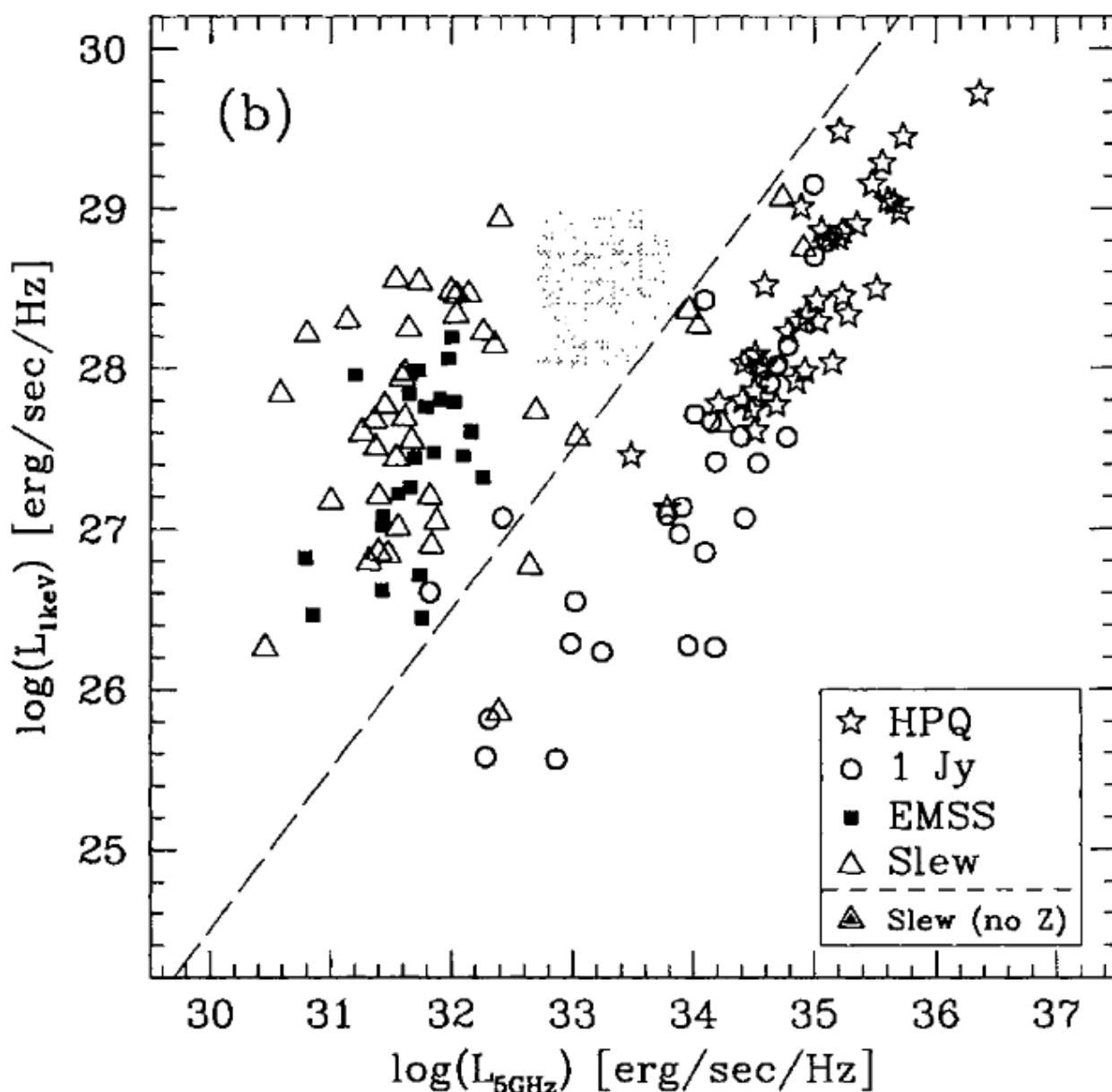


Рисунок 5. Спектральное распределение энергии для блазара, график зависимости энергии от частоты



$10^{14} < \nu_{\text{syn}} < 10^{15}$  Гц и высокочастотный синхротронный пик (HSP) с  $\nu_{\text{syn}} \geq 10^{15}$  Гц. По мнению некоторых авторов, LSP имеют одинаковое расположение синхротронного пика, но ISP лежат в диапазоне  $10^{14} < \nu_{\text{syn}} < 10^{15,3}$  Гц, тогда как HSP будут иметь  $\nu_{\text{syn}} \geq 10^{15,3}$  Гц. В дополнение к этим подклассам блазаров выявился растущий подкласс, который широко известен как объекты с экстремально высокочастотными пиками (Hbl), с частотой синхротронного пика в диапазоне от средней до жесткой, т.е.  $\nu_{\text{syn}}$  находится на уровне  $>1$  кэВ, при этом пиковая частота синхротрона колеблется от средней до высокой, т.е.  $\nu_{\text{syn}}$  находится на уровне  $>1$  кэВ, и поэтому EHBL считаются хорошими кандидатами для исследований в диапазоне ТэВ. [5]

## 1.5 Исследуемое излучение АЯГ

Вспышки в блазарах представляют собой один из самых бурных процессов, наблюдаемых во внегалактических объектах, они схематично отображены на рисунке 6. Исследования таких событий проливают свет на энергетику физических процессов, происходящих в самых внутренних областях блазаров, которые иначе не могут быть разрешены никакими современными приборами, включая внегалактический фоновый свет MWL (EBL), начальные потоки протонов, распределение источников и крупномасштабные промежуточные магнитные поля. [6]

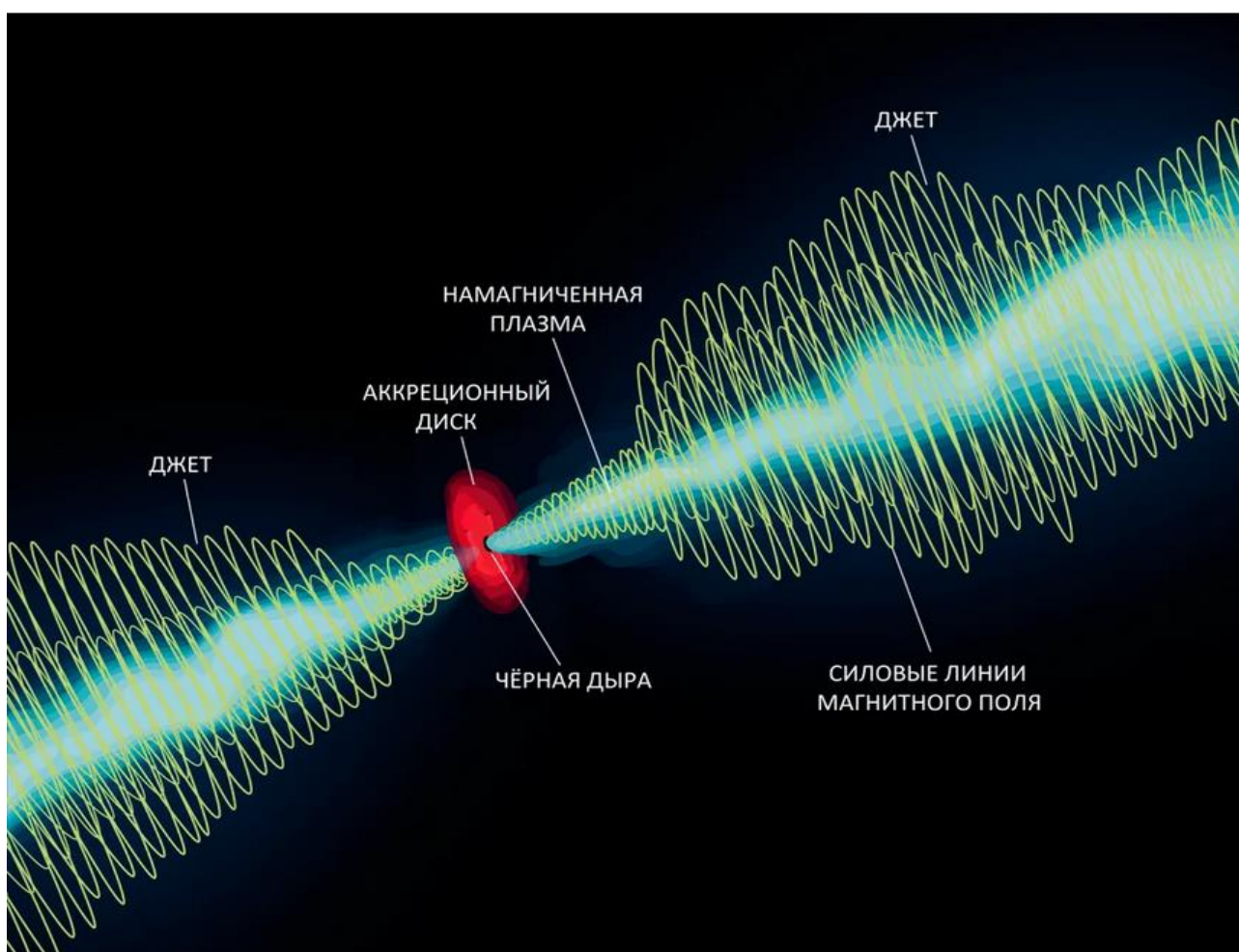


Рисунок 6. Схема образования релятивистских джетов

Как правило, обнаружение сверхвысокочастотных фотонов на Земле основывается на методах, которые отличают каскад взаимодействий частиц в атмосфере, вызванные адронами, от событий, инициированных сверхвысокочастотными фотонами. Используются некоторые из известных свойств, имеющих отношение к эволюции каскада. Подобный каскад, инициируемый фотоном UHE, развивается медленнее по сравнению с адронным каскадом, и, следовательно, максимум развития (обычно количественно определяемый  $X_{\max}$ ) может наблюдаться вблизи земли. Разница в природе электромагнитных каскадов по сравнению с адронными каскадами может проявляться в виде значения  $X_{\max}$ . Обнаружено, что в среднем моделируемый  $X_{\max}$  для каскадов, индуцированных фотонами, больше на 200 г/см<sup>2</sup> по сравнению с каскадами, индуцированными ротономми. Более того, каскады взаимодействий частиц в атмосфере, инициируемые фотонами UHE, имеют тенденцию демонстрировать более крутую функцию поперечного распределения, т.е. более узкую пространственную протяженность, и демонстрируют меньшее мюонное содержание. Однако, когда включается эффект Ландау–Померанчука–Мигдала (LPM), эффект, который снижает вероятность тормозного излучения и образования пар, обрабатываемых при более высоких энергиях, способность различать UHE- $\gamma$ -лучи и протоны может быть значительно ослаблен. [7,8]

Хотя фотоны с энергией 1 ЭэВ и выше до настоящего времени не были обнаружены, был предпринят ряд попыток оценить верхний предел потока фотонов UHE. Используя наблюдения космических лучей с KASCADE и KASCADE-Grande, был оценён верхний предел доли фотонов с энергией  $3,7 \times 10^{15}$  эВ в общем потоке  $CL 1,1 \times 10^{-5}$ . Аналогичным образом, EAS-MSU оценил верхние пределы диффузного потока фотонов в  $\approx 10$  км<sup>-2</sup> в диапазоне энергий от  $10^{16}$  до  $3 \times 10^{17,5}$  эВ. С помощью наблюдений обсерватории Пьера Оже (ПАО) было установлено, что верхний предел интегрального потока

сверхвысокочастотных фотонов выше 1018 эВ составляет  $\approx 0,008 \text{ км}^{-2}$  с достоверностью 95%.

Совсем недавно был проведен поиск фотонов UHE с энергиями  $> 2 \times 10^{17}$  эВ с использованием гибридных наблюдений. В результате исследования был получен верхний предел интегрального потока фотонов выше 1017 эВ  $\approx 3 \text{ км}^{-2}$ . Каскады частиц, инициируемые фотонами UHE в геомагнитном поле, были изучены с помощью моделирования методом Монте-Карло. Аналогичным образом, распространение сверхвысокочастотных фотонов в солнечной магнитосфере также изучалось с помощью моделирования методом Монте-Карло. Результаты показали, что фотон распадается, порождая многочисленные каскады, состоящие из тысяч пространственно-коррелированных вторичных частиц, которые теряют энергию в результате синхротронного излучения. На Земле наблюдательная сигнатура таких протяжённых каскадов может быть найдена в виде временной кластеризации событий космических лучей. Кроме того, глобальное сотрудничество под названием The Cosmic Ray Extreme Distributed Observatory (CREDO) посвящено поиску следов таких пространственно-коррелированных событий, связанных с космическими лучами, которые могли быть инициированы фотонами UHE.

Блазарные струи - джеты, возможные источники сверхвысоких фотонов AGN, питаемые сверхмассивными черными дырами, представляют собой одни из крупнейших энергетических резервуаров во Вселенной, снимок такой струи в радиодиапазоне показан на рисунке 7 [9]. Энергия, извлекаемая из черной дыры, может запускать мощные релятивистские струи, которые выбрасывают частицы со скоростями, сравнимыми со скоростью света. Блазары - это подкласс AGN, которые характеризуются релятивистскими джетами, расположенными близко к лучу зрения. В результате излучение значительно усиливается с помощью доплер-фактора и быстро меняется. Эти источники характеризуются высокой яркостью, широкополосным излучением и изменчивостью на всех временных и пространственных частотах. Широкополосное излучение блазаров может быть

обнаружено во всем наблюдаемом электромагнитном спектре, от радио до гамма-лучей с ТэВ. Блазары могут быть дополнительно классифицированы на радиокварзы с плоским спектром (FSRQs) и объекты BL Lac на основе наличия или отсутствия линий излучения, соответственно. Джеты блазаров, подпитываемые черными дырами диаметром  $\approx 10^9$  М, широко рассматриваются в качестве источников-кандидатов, способных ускорять частицы до диапазона UHE. Весьма вероятно, что CRS с энергиями около  $10^{20}$  эВ, что почти на семь порядков больше энергии частиц, образующихся на ускорителях Земли, произошли из источников, относящихся к семейству AGN. Радио-громкие AGN с их крупномасштабными (кpc/Мpc) реактивными двигателями, удовлетворяющими требованиям критерия Хилласа  $E_{\max} = qBR$ , который должен был бы выполняться потенциальными центрами ускорения, обеспечивает наиболее перспективные места, благоприятные для ускорения частиц до энергий EeV. Блазары являются доминирующими дискретными источниками, которые вносят вклад в излучение гамма-излучения с ТэВ, наблюдаемое с Земли.

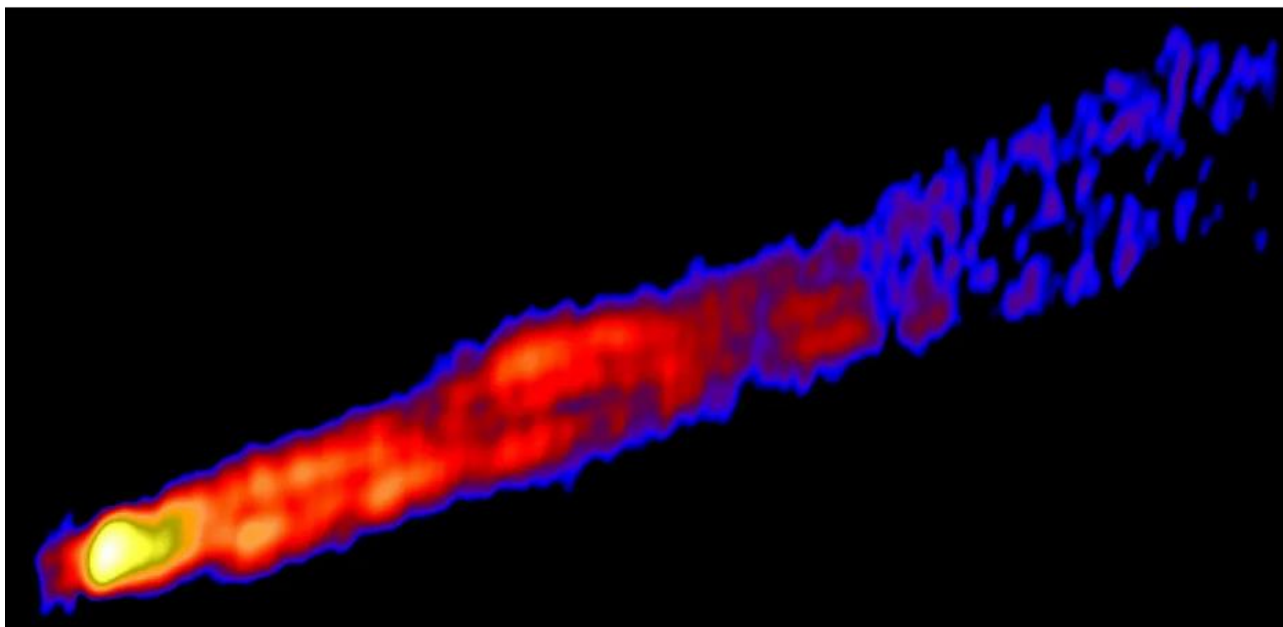


Рисунок 7.Изображение джета активной галактики M87 (Дева А), восстановленное по данным радиоинтерферометрических наблюдений на частоте 15 ГГц

Было обнаружено, что открытие нейтрино 170922А совпадает с усиленным гамма-излучением от блазара TXS 0506 + 056 с ТэВ [10]. Это совпадение укрепило идею о том, что блазары содержат условия, благоприятные для ускорения частиц, которые необходимы для образования нейтрино с ПэВ и, следовательно, являются наиболее вероятным классом источников, связанных с дискретными нейтринными событиями. Хотя точный механизм образования нейтрино в блазарах все ещё обсуждается, эти частицы тесно связаны с образованием UHECR. Несколько возможных сценариев, приводящих к испусканию нейтрино блазарами, широко обсуждались в нескольких работах. Сильно ускоренные протоны при взаимодействии с окружающей средой приводят к pp-взаимодействию, приводящему к образованию нейтрино. Взаимодействие протонов высоких энергий с внутренним и внешним фотонными полями также может привести к фотопроизводству пионов, которые впоследствии распадаются с испусканием нейтрино.

## 1.6 Светимость объекта

Как известно, основная часть астрономических объектов наблюдается как изменение одной точки на снимке телескопа, имеющей довольно скромный набор характеристик: координаты, спектр, если позволяет техническое оснащение телескопа, время или период и яркость, что даёт построить единственно возможный график на рисунке 8. Несмотря на это, из небольшого количества данных при дальнейшей обработке получают довольно подробные сведения о массе, составе, классификации объекта, наличии рядом схожих объектов, как, например, в двойных звёздных системах, а также объектов – спутников. Для подобного рода анализа используются разные методы обработки полученных изначально кривых блеска и спектральных линий.

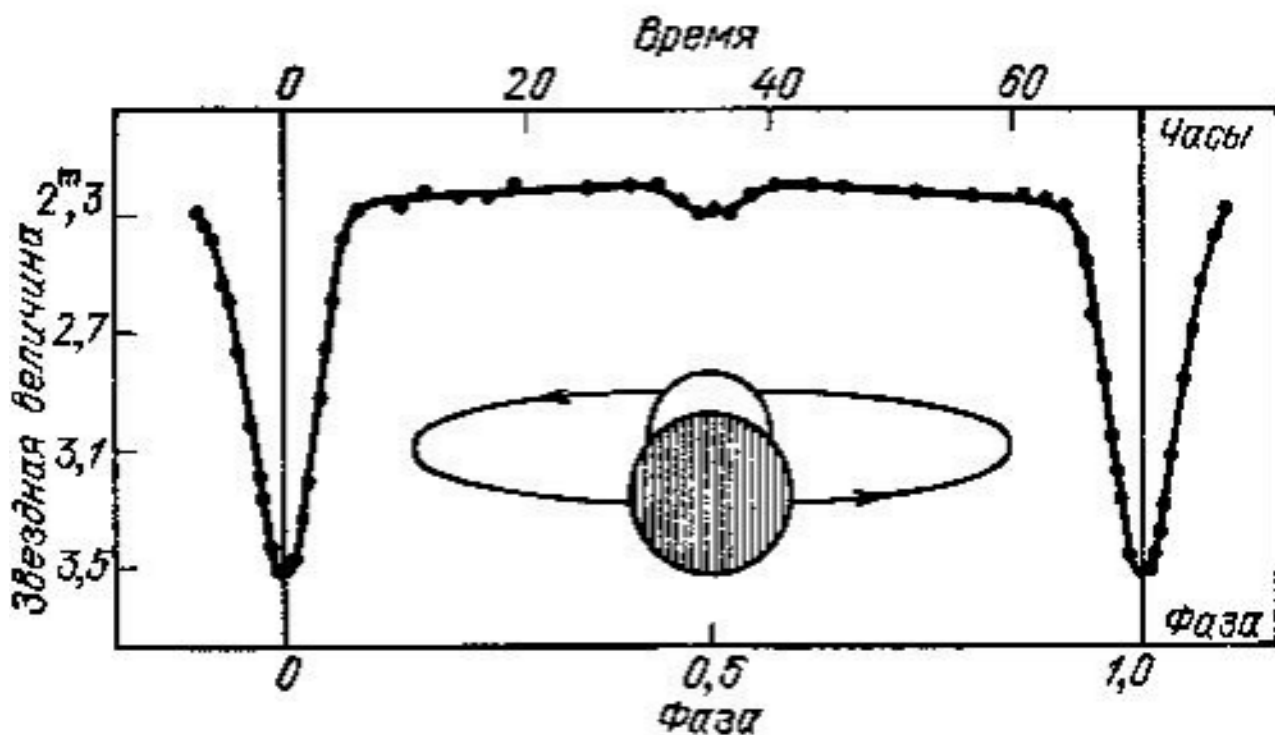


Рисунок 8. Кривая блеска для системы из двух звёзд

Кривые блеска - это графики, которые показывают яркость объекта за определенный период времени. При изучении объектов, которые меняют свою

яркость с течением времени, таких как новые, сверхновые и переменные звезды, кривая блеска является простым, но ценным инструментом.

График показывает яркость определённого астрономического объекта, наблюдаемого в телескоп с определённой периодичностью. Это даёт кривую блеска объекта, который мы измерили. Но кривые блеска могут быть сгенерированы для любого показателя яркости, который измеряется с течением времени. Если измерить количество рентгеновских лучей, испускаемых звездой каждую секунду в течение часа, то появится возможность построить кривую блеска на основе данных наблюдений. [11,12]

Запись изменений яркости, которую обеспечивает кривая блеска, может помочь понять процессы, происходящие внутри исследуемого объекта, и определить конкретные категории (или классы) звёздных событий. В целом известно, как выглядят кривые блеска для набора объектов, поэтому, когда строится новая кривая блеска, можно сравнить её со стандартными кривыми блеска, чтобы, возможно, определить тип наблюдаемого объекта.



## 1.7 Блазар S5 1803+784

Блазар S5 1803+784 (J1800+7828), показанный на рисунке 9, расположен около полярной звезды, поэтому главный вклад в его оптический мониторинг был сделан северными телескопами глобальной сети МАСТЕР МГУ, один из которых расположен на Канарских островах, а все остальные в России – Благовещенск, Иркутск, Кавказ и Крым.

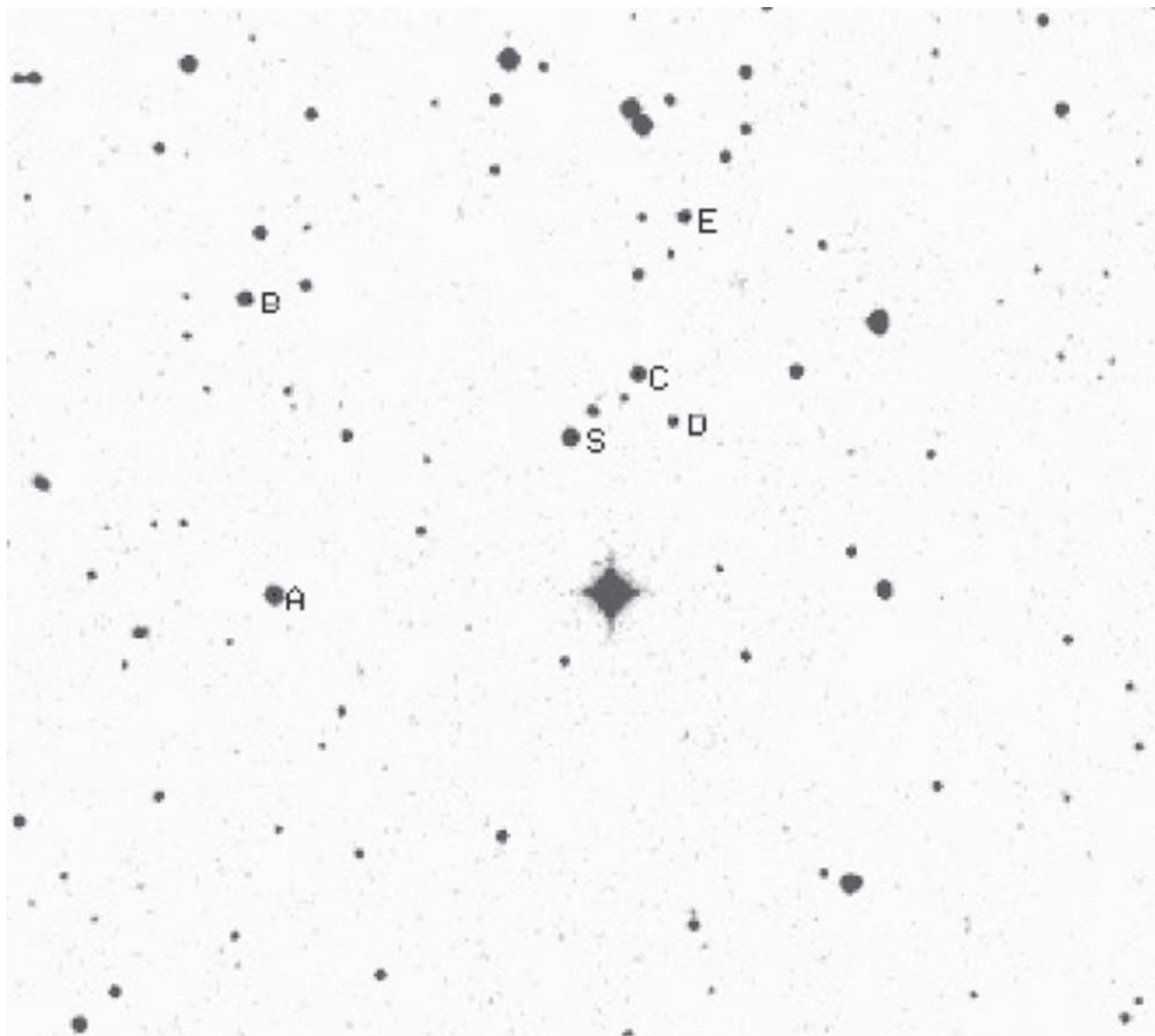


Рисунок 9. Блазар S5 1803+784 на снимке космического телескопа TESS-2

Кроме того, исследователи использовали две космические гамма- и рентгеновские обсерватории: имени Энрике Ферми и Нэйла Гехреля Swift (США), Европейскую сеть радиотелескопов ENV (European NetWork) и

американскую VLA (Very Large Array). Оптические наблюдения были проведены также автоматическим телескопом имени Каца (США).

Блазар является мощным источником рентгеновского и гамма-излучения. На данный момент была найдена переменность с периодами от 1-2 дней и до десятков лет во всех диапазонах. [13]

В имеющихся наблюдениях за 1981-2010 годах за 2009 была найдена переменность на некоторых частотах, для которых на рисунках 10 (a)-(c) приведены структурные и автокорреляционные функции источника, вид которых предполагает наличие циклической переменности с характерным временем переменности равным 35 дням. На рис. 10 (d) показана кривая блеска на 11.1 ГГц, а на 10 (e) кросс-корреляционная функция между частотами 11.1 и 7.7 ГГц [14]

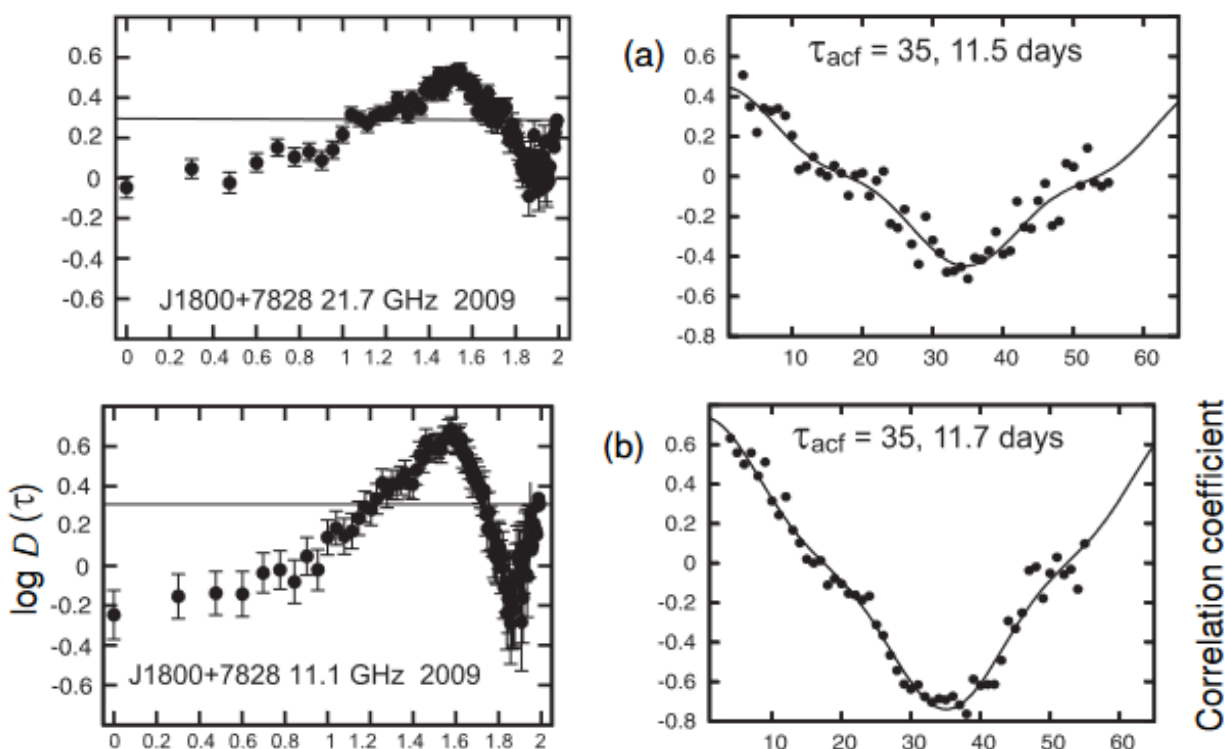
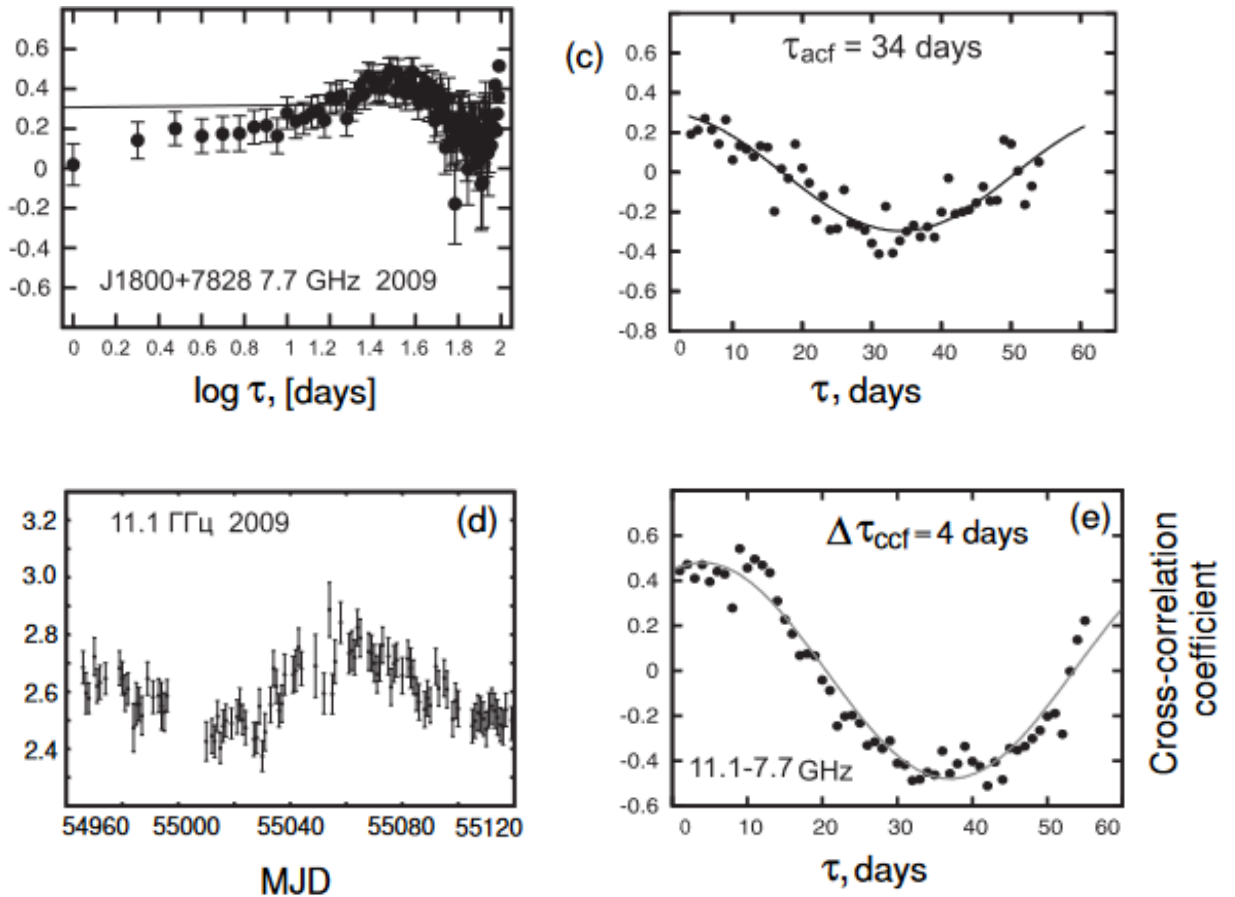


Рисунок 10. (a), (b), (c) - структурные (слева) и автокорреляционные (справа) функции на частотах; (d) - кривая блеска в наблюдениях 2009 г. на частоте 11.1 ГГц; (e) кросс-корреляционная функция между частотами 11.1 и 7.7 ГГц



Продолжение рисунка 10

Наиболее вероятная модель обнаруженной переменности — распространение ударной волны в джете радиисточника. Для этой модели типична временная шкала переменности от нескольких недель до нескольких месяцев, а также запаздывание максимума спектра при прохождении ударной волны через оптически толстую часть джета. Кроме того, на этот механизм указывает растущий спектр переменной компоненты, динамика изменения интегрального спектра — смещение максимума в низкочастотную область после прохождения максимума плотности потока.

Интересно сравнить яркость и поведение S5 1803+784 с другими источниками BL Lac при их максимальной яркости. На самом высоком уровне ( $R = 14$ ), принимая  $H_0 = 65$  км с-1 и  $q_0 = 0,5$ , абсолютная звездная величина источника составляет  $MR = -28,7$ , что соответствует интегральной оптической

яркости  $3,6 \times 10^{46}$  эрг с<sup>-1</sup>. Самое высокое зарегистрированное значение потока ( $R = 12,2$ ) весной 1998 года при красном смещении  $z = 0,10$  достиг абсолютной светимости  $M = -26,2$ , т.е. на 2,5 мэг слабее, чем S5 1803+784. BL Lac во время крупной вспышки в 1997 достиг  $R = 12,3$ , что соответствует  $M = -25,2$ , т.е. на 3,5 мэг слабее, чем S5 1803+784. Эти разные абсолютные значения яркости могут быть обусловлены различной внутренней мощностью или различным коэффициентом излучения. Была проведена оценка доплеровских коэффициентов усиления  $\delta$  по вариациям яркостной температуры на частотах 22 и 33 ГГц и были найдены значения 1,6 для ON 231, 3,9 для BL Lac и 6,5 для S5 1803+784. Более высокое излучение может быть причиной кажущейся более высокой яркости нашего источника. Однако в этом случае более сильное сокращение времени подразумевало бы большие амплитудные вариации потока на довольно коротких временных масштабах, которые не были обнаружены в ранних наблюдениях, в отличие от ON 231 и BL Lac. [15]

Простой механизм радиационного охлаждения только что ускоренных электронов не может объяснить цветное поведение ярких вспышек на S5 1803+784. На самом деле, можно было бы ожидать значительного увеличения наклона спектра в фазе затемнения, подобного тому, что четко обнаружено во вспышках ON 231, но это не так. Возможным объяснением было бы то, что наблюдаемая форма спектра является результатом состояния равновесия между процессами ускорения и излучения, в то время как общее количество вовлеченных частиц, определяющих уровень потока, изменяется со временем. В этом случае, однако, следует учитывать, что временные рамки закачки и утечки должны быть одинаковыми. Альтернативная теория заключается в том, что вспышки возникают из-за изменения  $\delta$ . Поскольку поток пропорционален  $\delta(3 - \alpha)$ , изменение величин  $\Delta m$  потребовало бы изменения  $\delta$  в соответствии с их соотношением.

## 2 МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СИГНАЛОВ ОТ ТУСКЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

### 2.1 Метод транзитной спектроскопии

Для определения характеристик звезды – является ли она одиночной или имеет планеты, вращающиеся вокруг неё – как правило используют метод транзитной спектроскопии. Для его использования необходимо, чтобы были выполнены всего 2 условия: наблюдения должны проводиться непрерывно и орбита потенциальной планеты должна проходить между светилом и наблюдателем. В таком случае, при прохождении экзопланеты перед наблюдаемым источником, она сможет называться транзитной, а наблюдатель сможет засечь снижение яркости, вызванное скрыванием части звезды планетой, а на графике будет отображена ситуация, схожая с рисунком 11.

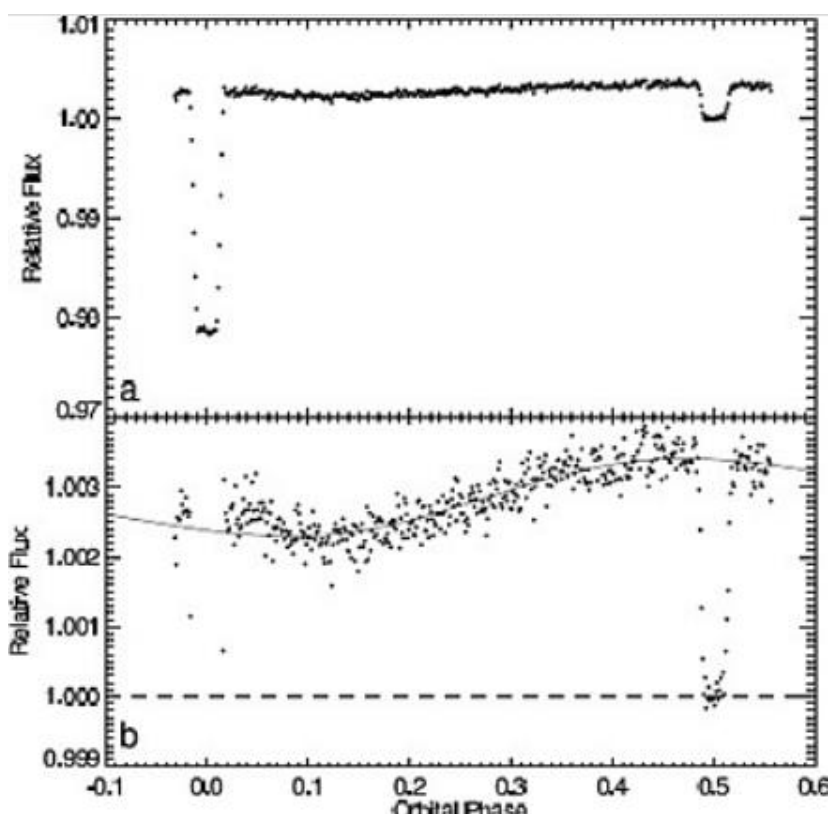


Рисунок 9. Типичный пример детектирования транзитной планеты на кривой блеска

При повторении схожих снижений с одинаковым периодом более трёх раз, принято считать, что случайное событие было исключено, следовательно, звезда будет для нас являться уже не одиночным объектом, а планетарной системой.

## 2.2 Космический телескоп TESS-2

Космический телескоп TESS-2 (*Transiting Exoplanet Survey Satellite*) изначально был разработан в рамках малой исследовательской программы НАСА для поиска экзопланет транзитным методом.

Основной его целью стало нахождение экзопланет, попадающих в обитаемую зону и находящихся на расстоянии не более 200 световых лет.

Телескоп оснащён четырьмя объективами с общим разрешением матриц 67,2 мегапикселей, с диапазоном от 600 до 1000нм, каждый объектив представляет собой широкоугольный рефрактор с полем зрения 24 на 24 градуса и апертурой 10 см.



Рисунок 10. Фрагмент снимка космического телескопа TESS-2

Все полученные данные телескоп хранит три месяца, в течение которых происходит внутренняя обработка, фильтрация, поиск заданных объектов по координатам, отслеживание транзитных явлений, благодаря накоплениям данных, а так же детектирование новых объектов с необычным поведением, после чего высылает на Землю только снимки, представляющие научный интерес. На рисунке 12 представлен пример снимка, получаемого космическим телескопом TESS-2.



### 2.3 ПЗС-матрицы, применяемые в исследованиях космических объектов

Устройство с зарядовой связью, известное как CCD, является еще одним очень популярным фотоприемником, обычно используемым для получения цифровых изображений и видео (Theuwissen, 1995). В отличие от фотодиода на основе рп-перехода, ПЗС-матрица основана на структуре металл-оксид-полупроводник (MOS). [16]

На рисунке 13 показан пример ПЗС-структуры с полупроводниковым корпусом р-типа, тонким изолирующим слоем из диоксида кремния и массивом стробирующих электродов. Положительное напряжение смещения, приложенное к затворному электроду, отталкивает отверстия от области под электродом, создавая область истощения.

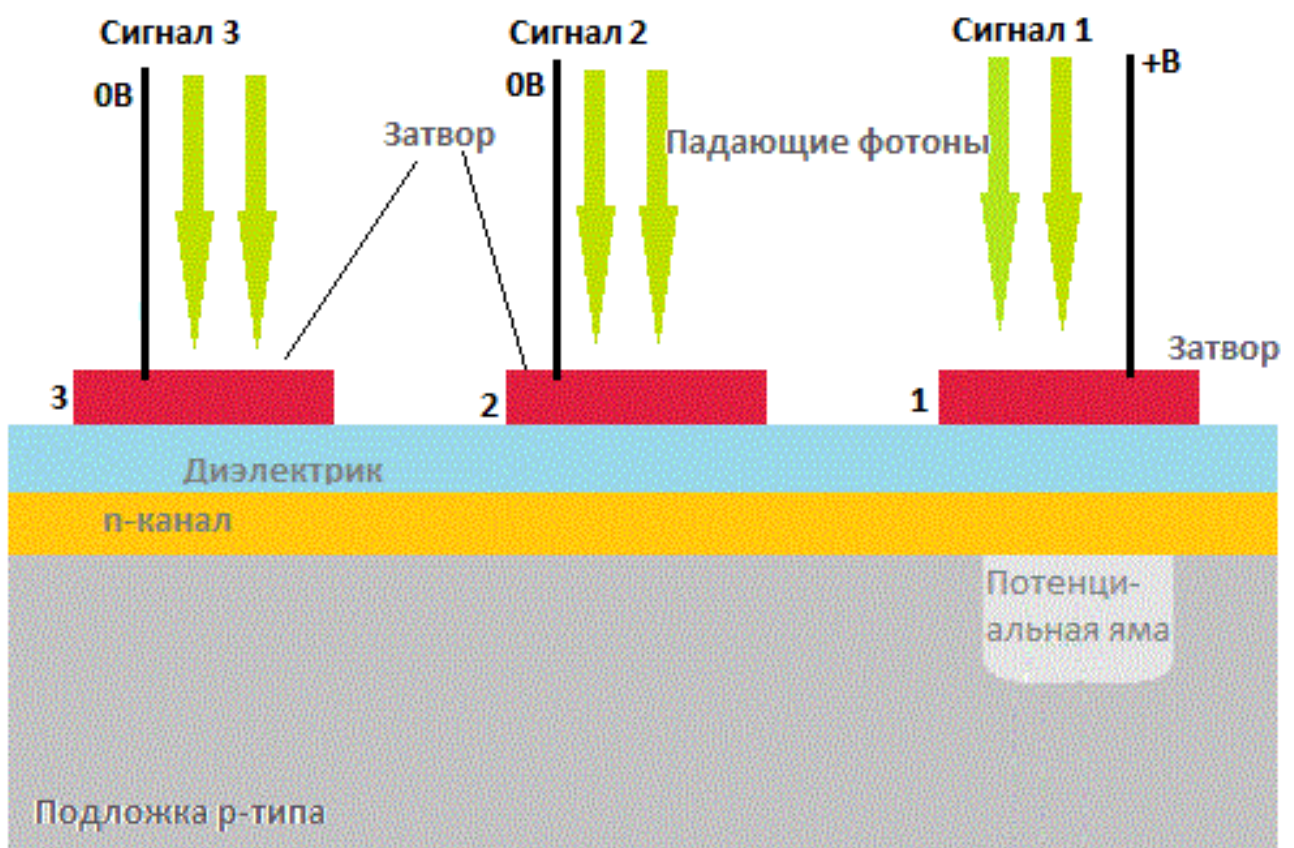


Рисунок 11. Схема работы ПЗС-матрицы

Поступающие фотоны способны генерировать фотоэлектроны в области истощения. Эти индуцированные фотонами заряды затем программируемо смещаются в горизонтальном направлении на одну сторону матрицы, чтобы их можно было электрически усилить и собрать. Сдвиг заряда может быть осуществлен путем постепенного сдвига напряжения на затворе вдоль матрицы. Стробирующие электроды ПЗС-матрицы, предназначенные для получения изображений, обычно расположены в виде двумерной (2D) матрицы. В качестве датчика изображения ПЗС-матрица обычно устанавливается в фокальной плоскости камеры. После каждой экспозиции на двумерной плоскости ПЗС-матрицы создается картина распределения заряда, которая пропорциональна распределению интенсивности изображения. Схемы считывания ПЗС-матрицы выполняют параллельное преобразование в последовательное. Схема переключения строк перемещает заряды, записанные каждой строкой, вниз в вертикальном направлении в горизонтальные регистры. В соответствии с каждым шагом сдвига строк схема сдвига пикселей перемещает заряд, сохраненный в горизонтальных регистрах, попиксельно в горизонтальном направлении в предусилитель. Этот процесс эффективно преобразует массив двумерных изображений в форму сигнала во временной области, которая затем может быть оцифрована, обработана и записана.

Качество ПЗС-матрицы определяется несколькими параметрами, включая квантовую эффективность, уровень темнового заряда и динамический диапазон. Здесь квантовая эффективность определяется как количество произведенных фотоэлектронов, деленное на количество падающих фотонов, что совпадает с тем, что определено для фотодиода. Темновой заряд определяется как количество заряженных электронов, которые просачиваются в пиксель во время экспозиции в отсутствие света. Уровень заряда в темноте ограничивает минимальную интенсивность света, которую может обнаружить ПЗС-датчик. Фактически, количество полученных фотонов, умноженное на квантовую эффективность, должно быть больше, чем темновой заряд, чтобы обеспечить

качество изображения. Динамический диапазон связан с глубиной ячейки, определяемой как максимальное количество заряженных электронов, которое пиксель может хранить, не перетекая в соседние пиксели. Насыщенность ПЗС-камеры, часто наблюдаемая при слишком высокой интенсивности освещения, вызвана недостаточным динамическим диапазоном ПЗС-устройства.

Из-за относительно большой емкости пикселя и времени, необходимого для накопления заряда и последовательного считывания, скорость работы ПЗС-датчика обычно недостаточно высока для приемников в системах оптической связи. Но ПЗС-матрицы часто используются в составе оптических датчиков и спектрометров для мониторинга производительности оптических систем и сетей.

ПЗС-матрица разделена на строки, а в свою очередь каждая строка разбита на пиксели. Строки разделены между собой стоп слоями ( $p^+$ ), которые не допускают перетекания зарядов между ними. Для перемещения пакета данных используются параллельный, он же вертикальный (англ. VCCD) и последовательный, он же горизонтальный (англ. HCCD) регистры сдвига.

Простейший цикл работы трехфазного регистра сдвига начинается с того, что на первый затвор подается положительный потенциал, в результате чего образуется яма, заполненная образовавшимися электронами. Затем на второй затвор подадим потенциал, выше, чем на первом, вследствие чего под вторым затвором образуется более глубокая потенциальная яма, в которую перетекут электроны из под первого затвора. Чтобы продолжить передвижение заряда следует уменьшить значение потенциала на втором затворе, и подать больший потенциал на третий. Электроны перетекают под третий затвор. Данный цикл продолжается от места накопления до непосредственно считывающего горизонтального резистора. Все электроды горизонтального и вертикального регистров сдвига образуют фазы (фаза 1, фаза 2 и фаза 3).

## 2.4 Методы исследования снимков

Для поиска объектов на снимках на данный момент используется несколько методов поиска объектов и их характеристик, и первый из них – функция координат в телескопах, что позволяет им сразу снимать интересные объекты, даёт возможность записи новых координат и в сотни раз уменьшает количество работы для сотрудников, поскольку нет необходимости вручную каждый раз проверять снимок и находить, что именно он отображает.

Одним из них и первым применяемым при просмотре снимка является программа Алладин, являющаяся своеобразным космическим атласом, позволяющим рассматривать и изучать космические снимки без дополнительных подготовительных преобразований. На рисунке 14 представлен интерфейс программы.

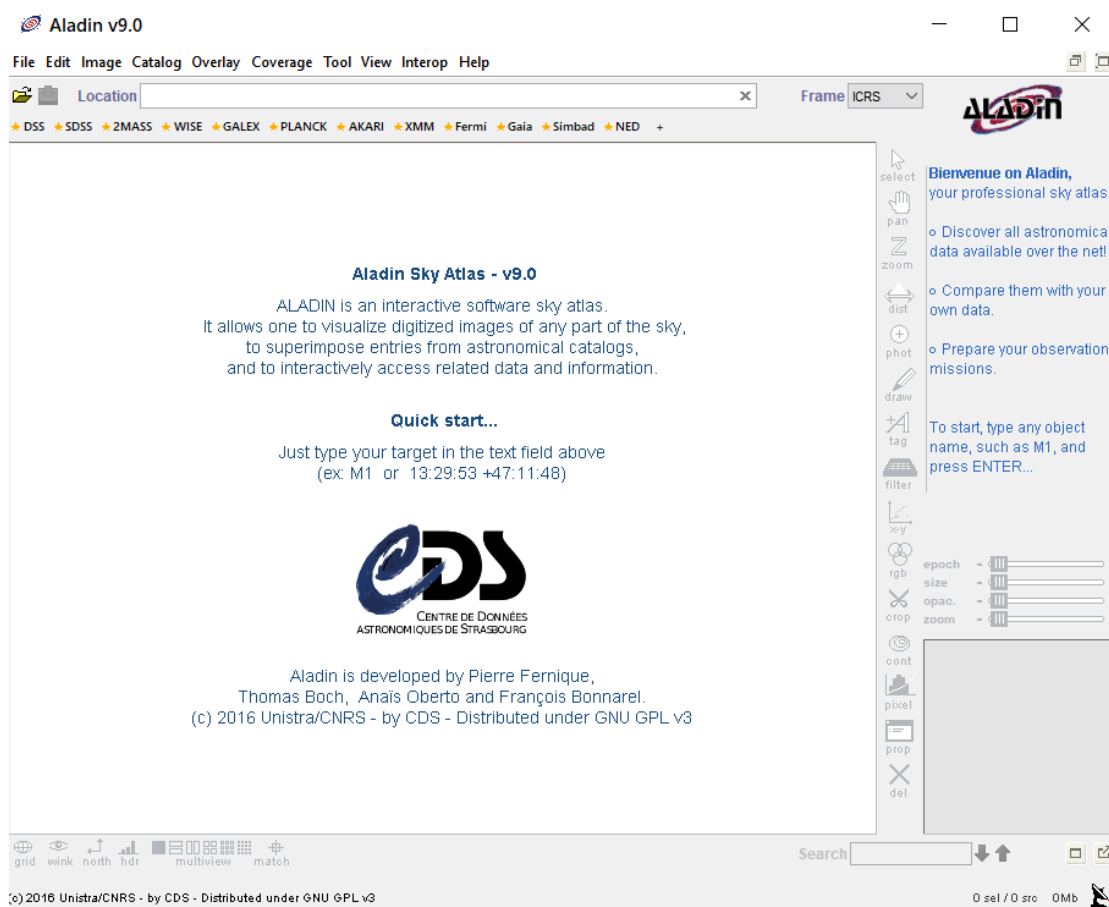


Рисунок 12. Интерфейс программы Алладин

Аладин, в рассматриваемой в данной задаче теме, использовался для выявления тусклых объектов на снимке путём изменения контрастности и яркости изображения для дальнейшей обработки в программах, которые именно по этому принципу сравнивают и отмечают объекты, пример его работы показан на рисунке 15. Далее, именно с помощью подобных снимков программы смогут выделять отдельные объекты и фиксировать характеристики.

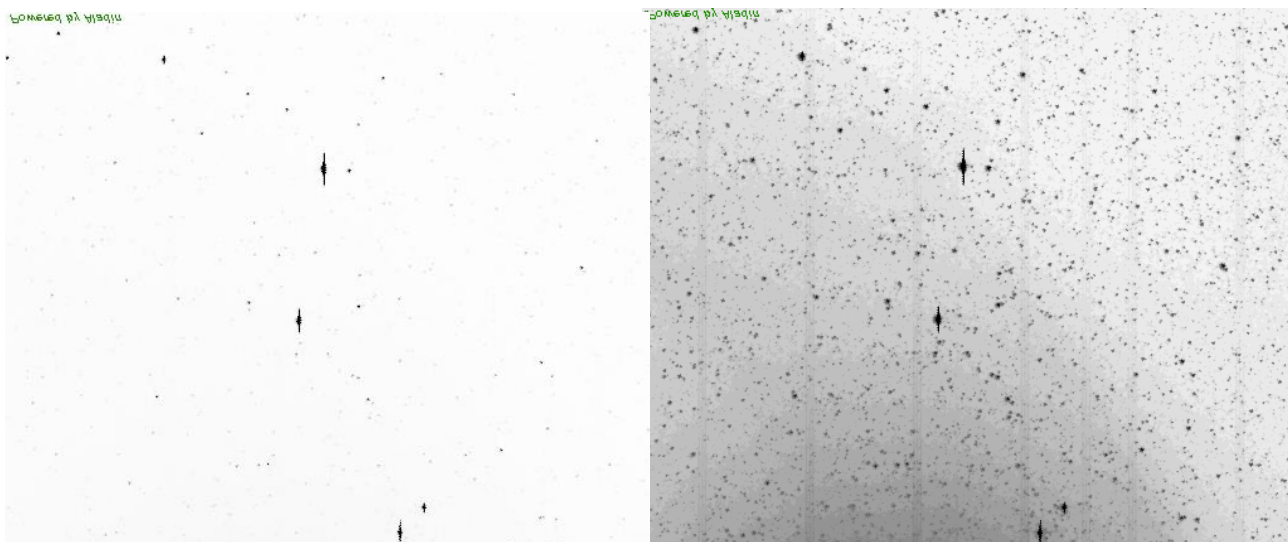


Рисунок 13. Обработка снимков программой Алладин, повышение резкости и контраста (сверху) и понижение резкости и яркости (слева)

Так же ранее для исследования снимков использовались параметрические методы, но они очень массивны, тяжелы в обработке и недостаточно чувствительны к тусклым маленьким объектам [13]. Для изучения мелких объектов были разработаны не-параметрические программы, позволяющие больше узнать об их морфологии, развитии и таких параметрах, как зависимость цвета галактики от формы хвостов её спиралей (синие более круглые). В 2012 был создан пакет PyMorph, включающий в себя необходимые функции для определения структурных параметров галактик и с открытым кодом, на базе которого любой желающий может создавать свои программы обработки. В данной работе был использован изменённый и встроенный в PyMorph пакет NumPy. [17]

## 2.5 Wolfram Alpha

Для обработки и визуализации сигналов существует множество разных программ, практически в каждом научном или образовательном заведении свои, зачастую очень локальные.

Одной из таких является пакет программирования Wolfram Alpha, база знаний и набор вычислительных алгоритмов, сочетающий удобный интерфейс и огромный справочник, дающий возможность использовать пакет даже тем, кто не особо хорошо разбирается в программировании. Его основной глобальной особенностью является база всех функций, формул и команд с удобным поиском и примерами применения и результатов, где довольно простым языком объясняются возможности применения и правила ввода тех или иных команд, а так же есть калькулятор для финансовых вкладов, переводчик, исторический справочник, функции решение математических задач любого уровня.

Для более узкого применения, актуального для физики и расчёта данных для более серьёзных и конкретных задач преимуществом является блочность интерфейса. Она позволяет самостоятельно разбивать весь код на участки и запускать их изолированно друг от друга, что облегчает процесс написания и поиска ошибок, особенно ближе к концу, когда код уже состоит из десятков строк.

Так же преимуществом данной программы для неопытных пользователей будут всплывающие подсказки, которые возникают при написании функции или указании имеющегося массива или значения, что уменьшает количество ошибок, связанных с неправильными отсылками к имеющимся данным, типам данных или последовательности.

## 2.6 Структурная функция

Для оценки периодичности изменений кривых блеска используется метод структурных функций, который является эффективным инструментом для исследования периодических составляющих в регистрируемых вариациях потоков и шкал времени переменности. Структурная функция, формула 1, первого порядка для измерения величины  $X$  из ряда данных наблюдений определяется как  $D_{X^1}(\tau) = \frac{1}{N(\tau)} \sum_{i=1}^N [X(i + \tau) - X(i)]^2$ , где  $\tau$  — сдвиг по времени,  $N(\tau) = \sum_{i=1}^N w(i)w(i + \tau)$ , где весовой фактор  $w(i)=1$ , если измерение существует, и  $w = 0$ , если измерения нет. Типичная шкала времени кривой блеска, т.е. время между максимумом и минимумом, проявляется как локальный максимум структурной функции. В случае монотонного возрастания структурной функции типичная шкала времени больше, чем продолжительность наблюдений на данном этапе. Начало горизонтального плато указывает на наличие характерного времени переменности источника. Минимум структурной функции указывает на возможность периодичности кривой блеска источника на данном интервале времени. При использовании метода структурных функций исключается переменность, соответствующую задержкам времени более половины наблюдаемого цикла. Для сохранения однородности ряда данных проводится усреднение по интервалам, заданным условиями задачи. [18,19]

$$D_{X^1}(\tau) = \frac{1}{N(\tau)} \sum_{i=1}^N [X(i + \tau) - X(i)]^2 (1)$$

### 3 ОБРАБОТКА СНИМКОВ ТЕЛЕСКОПА TESS-2 ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БЛАЗАРОВ

#### 3.1 Обработка изображения от фонового шума

Первостепенной задачей, которая решалась в данной бакалаврской работе, была обработка сигнала с космического телескопа TESS-2, а именно очистка полученных данных от засветов ярких звёзд и получение возможности изучить интенсивность и периодичность мерцания более тусклых и далёких объектов.

Яркость записана в диапазоне 0-1, где 0 – максимальная яркость, а 1 – отсутствие полученного сигнала. Для наглядности изображений программы обработки выводят негатив снимка, поскольку нашему глазу проще увидеть чёрное пятно на белом фоне, чем белое пятнышко в темноте. При полностью инструментальной обработке данный шаг опускается, т.к. итоговое значение разности от этого не изменяется, но можно значительно снизить нагрузку на вычислительный аппарат.

Целью первой части работы стало создать такую программу, чтобы её было легко модифицировать под свои задачи, результаты были понятны всем, при этом использовать её мог любой человек – даже не разбирающийся ни в программировании, ни в снимках. Например, для обработки результатов, в нашем случае, для оценки изменения светимости в разные временные периоды, для поиска планетарных систем.

В ходе анализа снимков, было выяснено, что многие тусклые объекты обозначают себя не более чем одним-двумя пикселями, в то время как особо яркие могут испускать свечение на сотни ячеек, в связи с чем, при выборе подхода было необходимо отойти от функций, которые выполняют задачи относительно масштаба всего изображения, как функция Гаусса, т.к. они изменяют значения всех данных на снимке. Используя такую функцию, можно только находить примерные координаты, а далее возвращаться к исходному



снимку и вручную находить необходимое тело, что требует огромного количества ручного труда и времени, особенно с учетом, что каждый снимок, которых только с этого телескопа получают тысячи, смещается в координатах относительно предыдущего, из-за чего появляется необходимость проводить поиск координат заново на каждом новом снимке.

Для такой задачи было принято решение сначала зафиксировать все самые яркие объекты – было выбрано значение 0,2, но, в зависимости от снимка, яркости фона и тел, его можно изменять. Такое значение в нашей ситуации было подобрано эмпирически, но его можно изменять под свои нужды. В нашей задаче: увеличивать, чтобы больше тел сохраняли первоначальные значения, или уменьшать, чтобы убрать большее количество шума. В таком случае рекомендуется расширить границы сравнения, речь о которых пойдет ниже.

Изначально, программа, код которой находится в приложении 1.1, построчно находит самые яркие значения пикселей – те, что были заданы нами как 0,2, и заменяет их значения на 0, параллельно записывая координаты в отдельную таблицу. Таким образом на нашем первоначальном снимке остаются только тусклые объекты и ореолы свечения, оставшиеся от больших светил.

Далее, мы приступаем к поиску фонового свечения – поочередно сравниваем по 20 пикселей по всему снимку и находим их минимальное значение. Число 20 было выбрано не случайно – необходимо было подобрать такое число, которое даёт возможность избавиться от большей части остаточного свечения от ярких тел, то есть больше, чем длина основного количества засветов, но в то же время достаточно мало, чтобы сохраняют значения фонового шума, а, следовательно его значение должно быть меньше минимальной ширины полосы шума. В промежутках, где не удалось зафиксировать никаких объектов можно увидеть, что значения практически не изменяются, но, если в этот промежуток попадает небольшое тело, например 1-2 пикселя, то значение его яркости заменяется нами на минимально значение из соседних точек, несущих только

значение фонового света. Благодаря такому подходу, по итогу работы программы выводится изображение, практически не имеющее в себе каких-либо астрономических объектов, но отображающее значение фонового света.

На этом этапе нашу основную цель для первой части можно считать завершённой, так как значения шума уже получены. Последним действием программа вычитает значения шума из начального изображения. Таким образом, пиксели, в которые был записан изначально только шум, приобретают значение, близкое к 0, а пиксели, записавшее излучение какого-либо объекта – практически сохраняют свои характеристики. Стоит учитывать, что значение тусклых объектов после обработки немного снижается, так как производится вычитание шума, на величину засветов.

Благодаря тому, что разница между значениями яркости тел и новым уровнем шума в новых изображениях намного выше, появляется возможность с помощью стандартных программ производить нахождение новых тел и определение координат уже известных, на Рис. 116-19 наглядно представлены результаты работы программы.

Очень важным в создании было сделать универсальный инструмент, который мог бы помочь в выполнении схожих задач из других областей – и, благодаря отсутствию в программе специфических для космических объектов формул, она может применяться для очистки от шумов данных любой отрасли, например, в ботанике или при обработке звуковых сигналов.

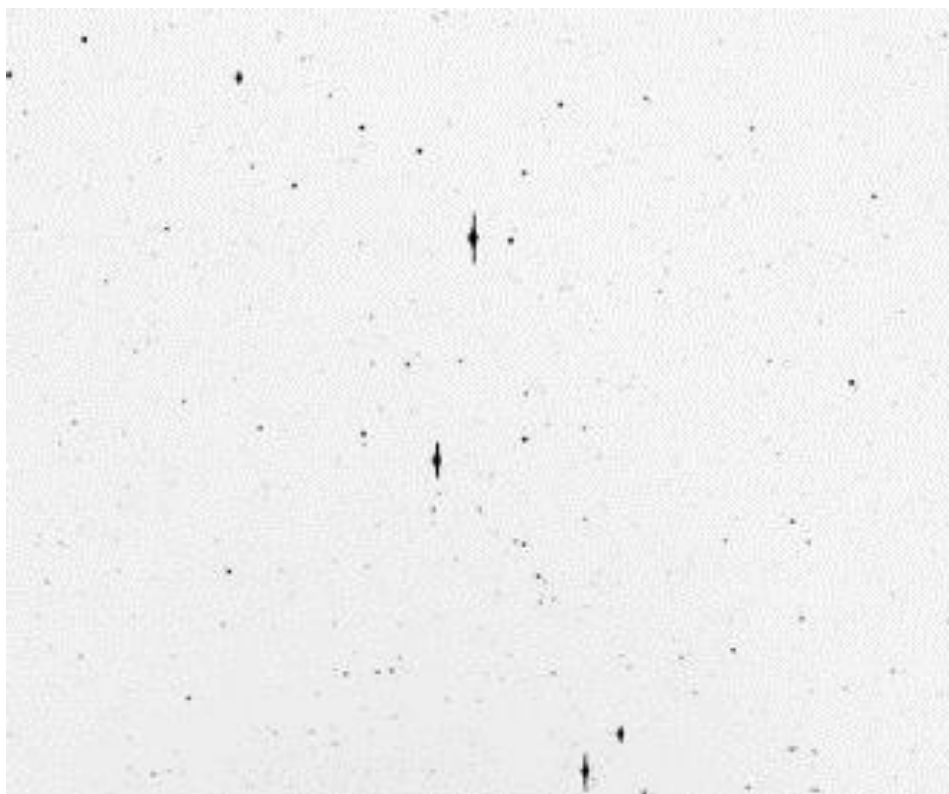


Рисунок 14. Оригинальный снимок космического телескопа

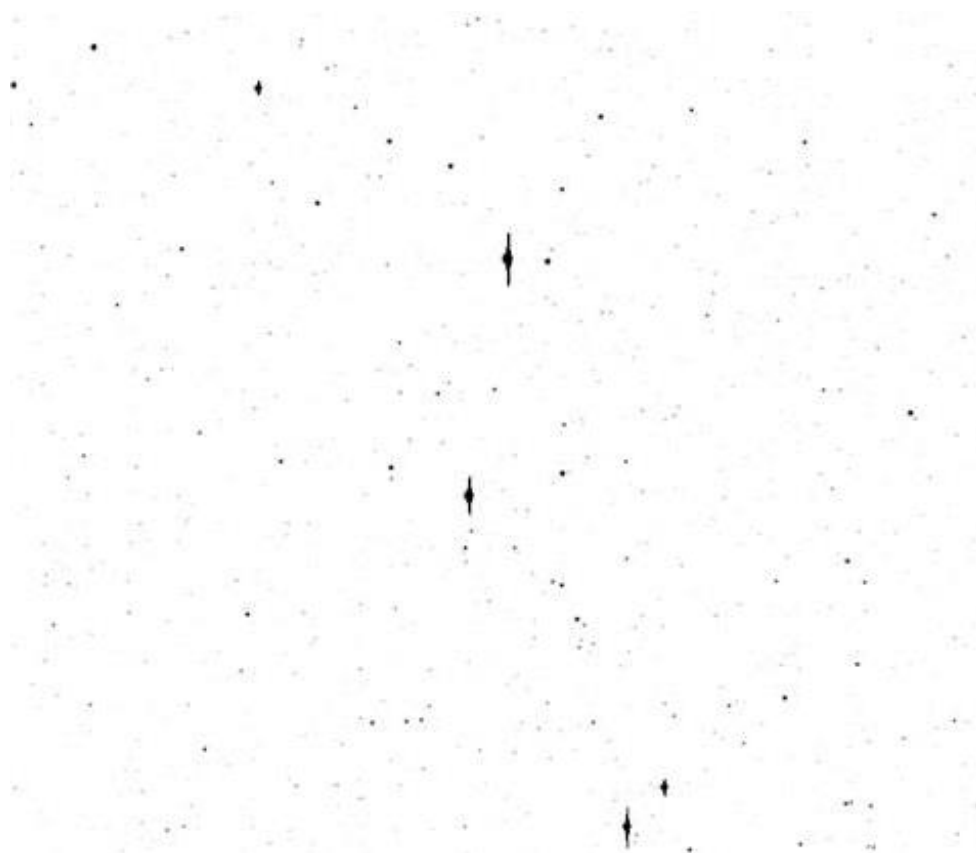


Рисунок 15. Изображение, полученное в ходе работы программы

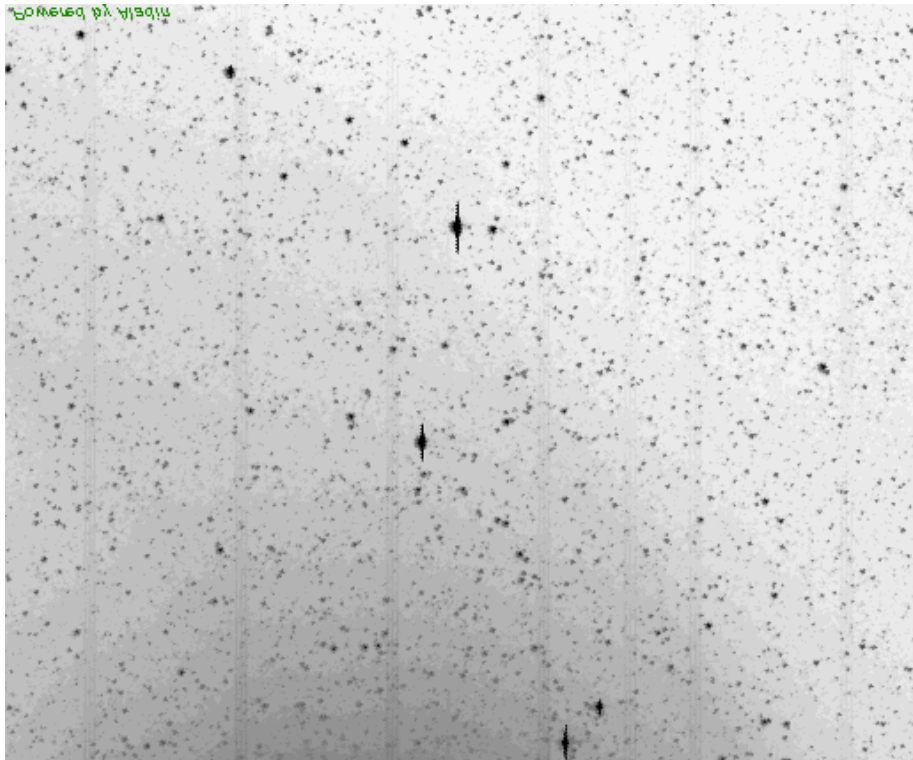


Рисунок 16. Снимок, обработанный повышением контраста старой программой



Рисунок 17. Снимок, обработанный старой программой с понижением контраста

Далее, благодаря полученным снимкам, стало возможным более точно определять координаты интересующих нас объектов и уменьшим период между имеющимися данными, благодаря реанализу снимков, в которых должен быть виден искомый объект, но по техническим причинам не был определён ранее, таким объектом для данной работы стал блазар S5 1803+784.

### 3.2 Анализ кривой блеска блазара S5 1803+784

Ранее для данного объекта уже проводились исследования, но они затрагивали лишь кривую блеска в разных спектрах и с характерным периодом от нескольких часов. Сейчас, благодаря технологиям, появилась возможность исследовать более малые периоды, которые помогут понять, какие процессы происходят с самим объектом.

На момент начала исследования существовало две теории причины изменения потока в излучении, засекаемом от джетов АЯГ:

- Изменение доплер-фактора, в связи с движением излучение относительно наблюдателя, в нашем случае - космического телескопа.
- Внутренние процессы в объекте.

Так как ранее теория, подобная второй, никем не рассматривалась, и она не была ничем подпитана, то и предположений о конкретных процессах выдвинуто до этого момента не было. [20]

Как ранее было указано, до сих пор блазары исследовались только на низкочастотных колебаниях, в связи с чем, задачей данной работы было рассмотреть новый для исследования сегмент – колебания с коротким характерным периодом.

Для данного исследования был выбран объект VL Lac, имеющий достаточно полные данные для поставленных задач. Для нахождения зависимостей было использована структурная функция, которая хорошо себя зарекомендовала при поиске подобных взаимосвязей на более длинных периодах.

При первоначальном применении структурной функции к имеющимся данным, были получены неподходящие для использования данные с характерным периодом ровно в 2 минуты, что являлось аппаратной помехой,

вызванной устройством космического телескопа. Для избавления от данных помех, на данные был наложен фильтр – функция Гаусса, компенсирующая ошибку измерения, но несколько увеличивающая период, и зарекомендовавшая себя ранее в научных кругах для решения подобных задач. Помимо этого, благодаря её применению ликвидировалась проблема пустых ячеек, поскольку данная функция записывает значения в каждый элемент массива.

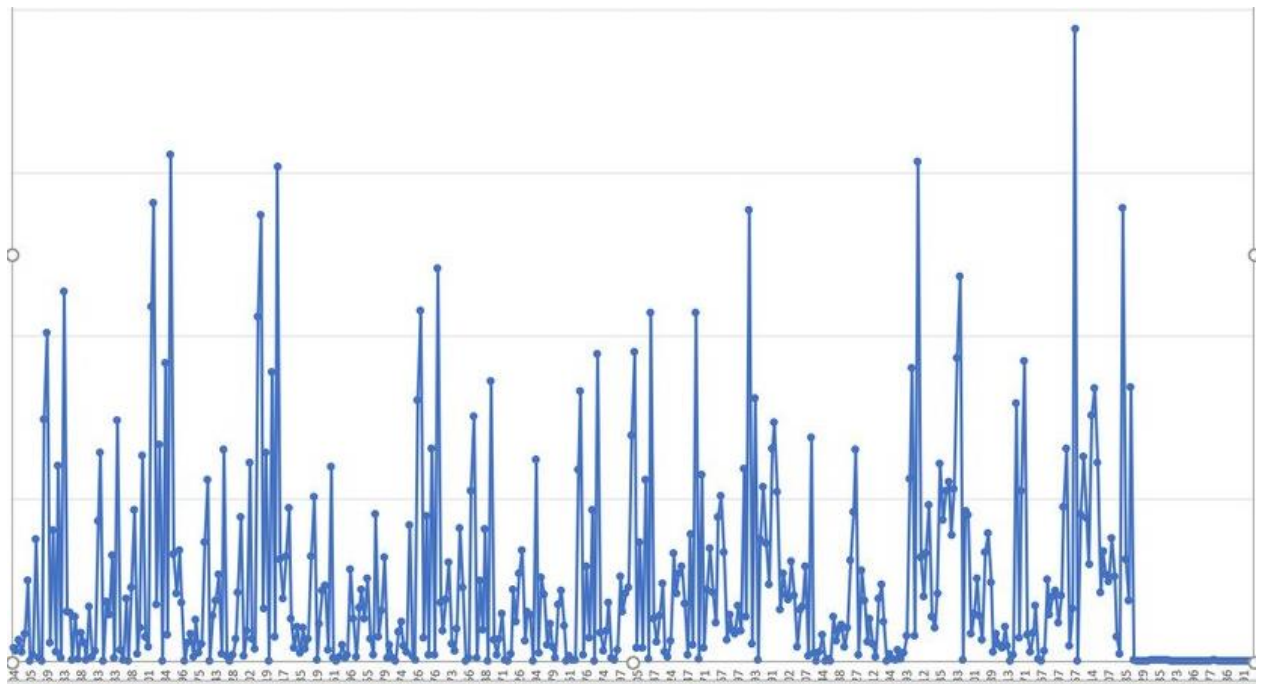


Рисунок 18. Структурная функция для первоначальных данных

Структурная функция была несколько изменена и записана в пакете программирования python для применения к имеющимся данным.

$$D_{X^1}(\tau) = \frac{1}{N(\tau)} \sum_{i=1}^N [X(i + \tau) - X(i)]^2$$

Так как, применяемая функция подразумевает под собой исследование большого объёма данных без предварительной обработки, а данные, использованные в работе, уже прошли некоторую фильтрацию, для оптимизации и упрощения работы стало возможным исключить первый член, отвечающий за

ячейки без значений – весовой фактор  $N(t)$ . Помимо этого, в связи с выборкой небольших отрезков и отсутствием необходимости рассматривать суммы отрезков для больших периодов, так как все искомые полностью обозначают себя на одном рассматриваемом отрезке.

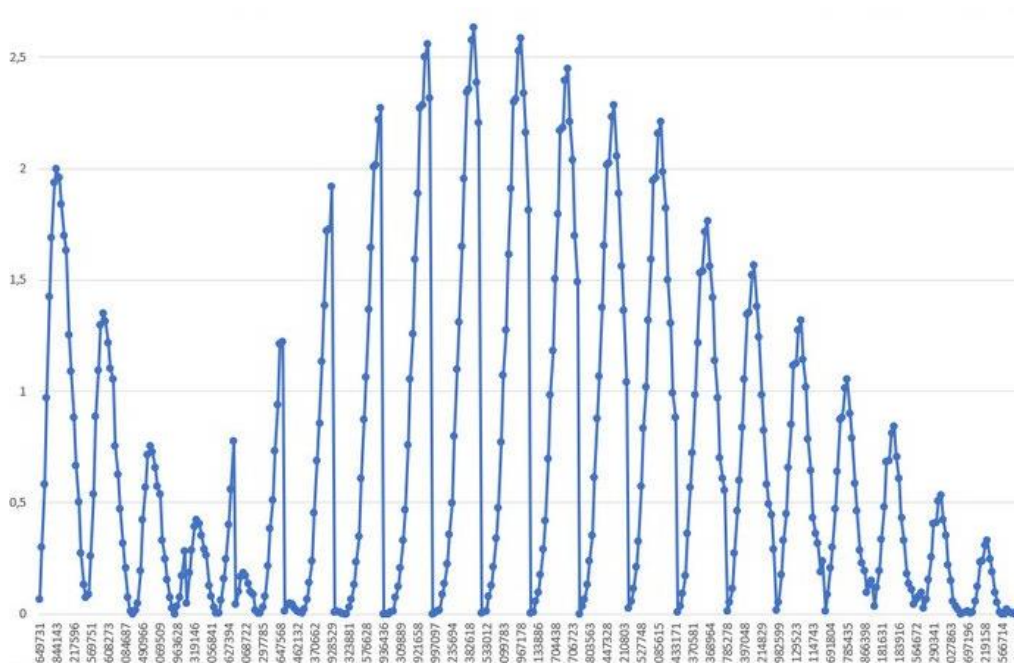


Рисунок 19. Первое полученное изображение колебаний структурной функции

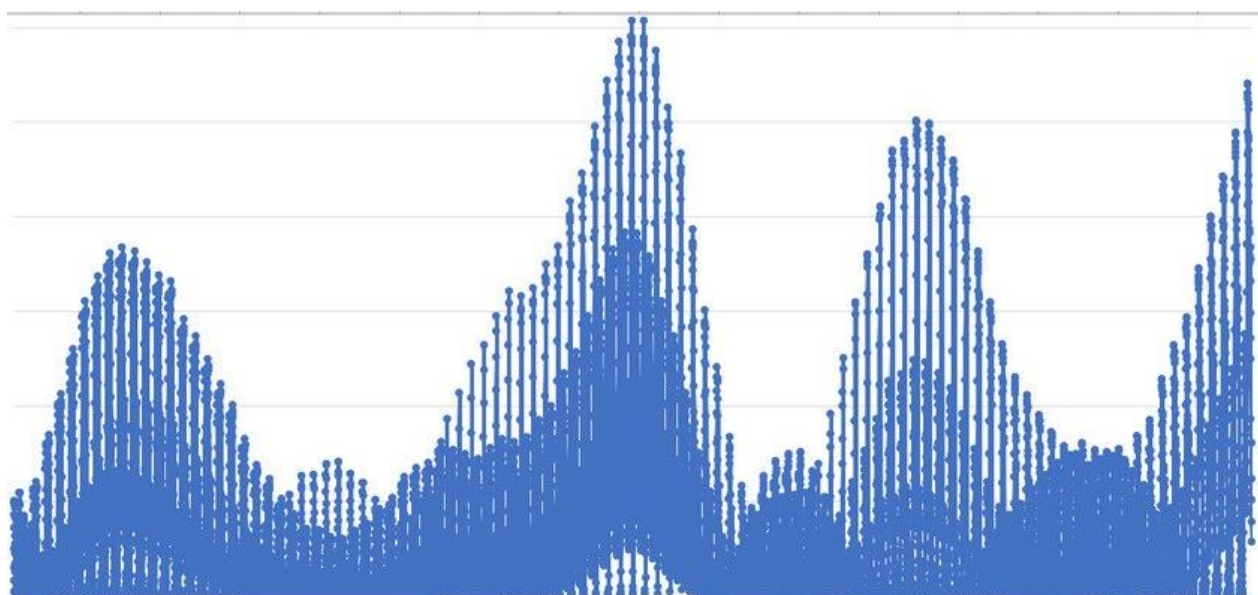
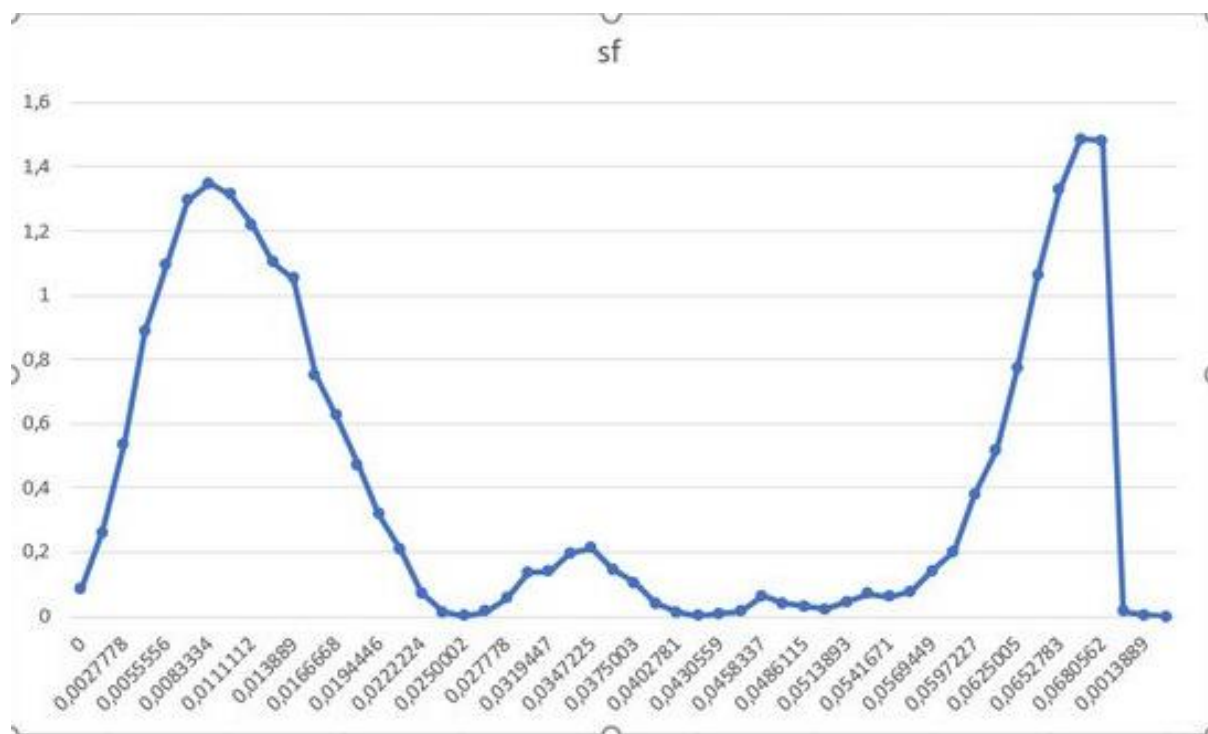


Рисунок 20. График зависимости структурной функции от периода колебаний



При наложении видеоизменённой функции, были получен график выше, отображающий некие колебания, что позволяет сделать первоначальный вывод о наличии искомым колебаний, но не даёт возможности записать их характеристики, в связи со скачками в графике, обусловленными особенностью программы обработки – она одновременно рассматривает разные периоды, в связи с чем примерно каждая десятая точка отображает значение для немного другого колебания, и благодаря чему их видно только на совместном графике.

Для решения возникшей проблемы был изменён подход к обработке данных и в конечной версии программы они обрабатывались поочерёдно на разных значениях разницы структурной функции, что дало возможность выявить цельные колебания и автоматически записать в таблицу. Для достоверности результатов, в неё записываются только пики, отвечающие следующим условиям: три точки до пика должны возрастать и три точки после убывать. Данные условия позволяют исключить возможную случайную запись небольшого плато или снижения скорости падения значений, вместо настоящих пиков.



## 4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге выпускной квалификационной работы были обработаны и исследованы снимки космического телескопа TESS-2. Решены следующие задачи:

- Разработана программа первичной обработки снимков космических телескопов по очистке от светового шума;
- Разработана программа по исследованию кривых блеска блазаров для установления наличия высокочастотных колебаний
- Исследованы результаты работы обеих программ

По итогу выполнения выпускной квалификационной работы можно сделать вывод о наличии в кривой блеска блазара ранее не исследованных волн с коротким периодом, что свидетельствует о наличии неустановленных внутренних процессов в объекте.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. КЛАССИФИКАЦИИ ЗВЁЗД // Астронет URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1222187/sect13.html> (дата обращения: 26.05.2023).
2. А.В.Абрамян, А.М.Микаелян, Г.М.Паронян, Г.А. Макаелян Классификация по типам активности выборки активных галактик с радиоизлучением // *Астрофизика*, том 63. - Ереван, Армения: 2020. - С. 15-19.
3. А.В.Абрамян, А.М.Микаелян, Г.М.Паронян, Г.А. Макаелян Типы активности галактик, отобранных из выборки HRS/BHRS // *Астрофизика*, том 63. - Ереван, Армения: 2020. - С. 23-27.
4. Keith Horne, G. De Rosa , В. М. Peterson, А. J. Barth , J. Ely , М. М. Fausnaugh, G. A. Kriss etc. Space Telescope and Optical Reverberation Mapping Project. IX. Velocity–Delay Maps for Broad Emission Lines in NGC 5548 // *The Astrophysical Journal*. - The American Astronomical Society, 2021 February 1. - С. 76-95.
5. А. Г. Горшков, В. К. Конникова, М. Г. Мингалиев, А. К. Эркенов СПЕКТРЫ И ПЕРЕМЕННОСТЬ ВЫБОРКИ ПОЛЯРНЫХ ИСТОЧНИКОВ // *АСТРОФИЗИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ*. - 2013. - С. 423-438.
6. Gopal Bhatta, Staszek Zola, M. Drozd, Daniel Reichart, Joshua Haislip, Vladimir Koupryanov, Katsura Matsumoto, Eda Sonbas, D. Caton, Urszula Pajdosz-Śmierciak, A. Simon, J. Provencal, Dariusz Góra and Grzegorz Stachowski Catching profound optical flares in blazars // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. - Oxford University, April 2023. - С. 2633–2643.
7. J. H. Simonetti, J. M. Cordes, and D. S. Heeschen FLICKER OF EXTRAGALACTIC RADIO SOURCES AT TWO FREQUENCIES // *The Astrophysical Journal*. - 1985. - С. 46-59.
8. Air shower physics // Universidad de Santiago de Compostela URL: <https://indico.cern.ch/event/963826/contributions/4061731/attachments/2130658/3588126/air-shower-phys.pdf> (дата обращения: 23.05.2023).

9. M Villata, S G Jorstad, A P Marscher, J A Acosta Pulido, D Carosati, W P Chen, M D Joner, S O Kurtanidze, C Lorey, A Marchini and etc. Catching profound optical flares in blazars // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. - Oxford University, June 2023. - С. 102-116.
10. Z. R. Weaver, K. E. Williamson, S. G. Jorstad, A. P. Marscher, V. M. Larionov, C. M. Raiteri, M. Villata, J. A. Acosta-Pulido, R. Bachev, G. V Baida Multiwavelength Variability of BL Lacertae Measured with High Time Resolution // The Astrophysical Journal. - The American Astronomical Society, 2020 September 9. - С. 137.
11. Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, И.А. Тутынь Учебное пособие "Нуклеосинтез во вселенной". - М.: Изд-во Московского университета, 1988. - 208 с.
12. Light Curves and What They Can Tell Us // National Aeronautics and Space Administration National Aeronautics and Space Administration URL: <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/timing1.html> (дата обращения: 20.05.2023).
13. В. С. Бычкова, А. Е. Вольвач, Н. С. Кардашев, М. Г. Ларионов, В. В. Власюк, О. И. Спиридонова, Л. Н. Вольвач, А. Лахтеенмаки, М. Торникоски, М.Ф.Аллер, Х.Д.Аллер МНОГОЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ БЛАЗАРОВ АО 0235+164 И S5 0716+714 В ОПТИЧЕСКОМ И РАДИОДИАПАЗОНЕ // АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ. - 2015. - С. 728–741.
14. R. NESCI, E. MASSARO, M. MAESANO, F. MONTAGNI, AND S. SCLAVI OPTICAL AND RADIO MONITORING OF S5 1803+784 // The Astrophysical Journal. - The American Astronomical Society, 2002 July. - С. 53-64
15. G. Fossati, A. Celotti, G. Ghisellini and L. Marasche Unifying models for X-ray-selected and radio-selected BL Lac objects // Mon. Not. R. Astron. Soc.. - Trieste, Italy: Royal Astronomical Society, 1997. - С. 136-150.
16. Пзски

17. Vinu Vikram, Yogesh Wadadekar, Ajit K. Kembhavi, G.V.Vijayagovidan  
PyMorph: automatied galaxy structural parameter estimation using PYTHON  
// Mon. Not. R. Astron. Soc.. - Royal Astronomical Society, 2010. - С. 1379-1392.
18. Agarwal, Ashwani Pandey , Aykut Özdönmez , Ergün Ege , Avik Kumar Das and Volkan Karakulak Characterizing the Optical Nature of the Blazar S5 1803+784 during Its 2020 Flare // The Astrophysical Journal. - The American Astronomical Society, 2022 July 1. - С. 42-56.
19. Gopal Bhatta Blazar Jets as Possible Sources of Ultra-High Energy Photons: A Short Review // Universe. - Kraków, Poland: Institute of Nuclear Physics Polish Academy of Sciences, 2022. - С. 513-521.
20. С.Сутини, С.Стагнеллини, Ф.Мартинелли, А.Массели, В.М.Липунов, В.Корнилов Почему светит блазар? // Наука и жизнь. – Июнь 2023. - №06. - С. 3-4.

## 5 ПРИЛОЖЕНИЕ

### Приложение 1.1

T	FLUX
2419,98867	183,1273872
2419,990059	182,8751719
2419,991447	182,582273
2419,992836	182,3636064
2419,994225	182,1425606
2419,995614	181,9336473
2419,997003	181,8284603
2419,998392	181,7366165
2419,999781	181,7140543
2420,00117	181,7286232
2420,002559	181,7713108
2420,003948	181,8251318
2420,005336	181,8493559
2420,006725	182,0078557
2420,008114	182,0841554
2420,009503	182,1887448
2420,010892	182,3104489
2420,012281	182,4190301
2420,01367	182,6068379
2420,015059	182,7627102
2420,016448	182,8584049
2420,017837	182,998266
2420,020614	183,1110987
2420,022003	183,2443924
2420,023392	183,248415
2420,024781	183,3184112
2420,02617	183,3361891
2420,027559	183,2580815
2420,028948	183,198723
2420,030337	183,0746549
2420,031726	182,991897
2420,033114	182,8454589
2420,034503	182,7879225
2420,035892	182,7523818
2420,037281	182,6233088
2420,03867	182,6748741
2420,040059	182,6984778
2420,041448	182,7257636
2420,042837	182,6624239
2420,044226	182,6093085
2420,045615	182,6264543
2420,047003	182,5969478

## Приложение 1.2

```
ff1size = Import["C:\\Users\\Катерина\\Desktop\\Новая папка (2)\\sum_3_reduced_tess2019113072933-s0011-1-2-0143-s_ffic.fits", "ImageSize"]
ff1 = Import["C:\\Users\\Катерина\\Desktop\\Новая папка (2)\\sum_3_reduced_tess2019113072933-s0011-1-2-0143-s_ffic.fits", "Data"][[1]]
{{2136, 2078}}

{ 1 }

large output show less show more show all set size limit...

n = ff1size[[1]][[2]]
k = ff1size[[1]][[1]]
2078
2136

bg = Table[0, n];
sr = Table[0, n];
nebo1 = Table[0, n];
nebo2 = Table[0, n];
itog1 = Table[0, {i, n}, {j, k}];
itog2 = Table[0, {i, n}, {j, k}];

Do[srez1 = Table[ff1[[i]][[m]], {i, 1, n}];
graf = srez1;
bg = Table[0, n]; sr = Table[0, n];
nebo1 = Table[0, n];
nebo2 = Table[0, n];
Do[If[srez1[[i]] >= 0.2, graf[[i]] = (srez1[[i-5]] + srez1[[i+5]]) / 2];
bg[[i]] = srez1[[i]], {i, 6, n-5};
Do[sr[[i]] = Min[graf[[i]], graf[[i+1]], graf[[i+2]], graf[[i+3]], graf[[i+4]], graf[[i+5]], graf[[i+6]], graf[[i+7]], graf[[i+8]], graf[[i+9]], graf[[i+10]]], {i, 1, n-10, 1};
Do[nebo1[[i]] = srez1[[i]] - sr[[i]], {i, 1, n}];
Do[If[bg[[i]] != 0, nebo2[[i]] = bg[[i]], nebo2[[i]] = graf[[i]] - sr[[i]], {i, 1, n}];
Do[itog1[[i]][[m]] = nebo1[[i]], {i, 1, n}];
Do[itog2[[i]][[m]] = nebo2[[i]], {i, 1, n}, {m, 1, k}];
```



## Приложение 1.3

```
C:\Users\Катерина\spyder-py3\temp.py
temp.py × temp.py ×
1 import pandas as pd
2 #перед началом программы нужно очистить файлы, оно записывает просто сверху, хвосты остаются
3 df = pd.read_csv('gauss10.csv')
4 kitten = open('kitten.csv','r+')
5 itog = open('itog.csv','r+')
6 print('F','SF','T1','T2','Ta',sep=',',file=itog)
7 print('F','Ta','SF',sep=',',file=kitten)
8 k=0
9 h=0
10 i=0
11 kitten.close()
12 #дальше надо написать, сколько раз ему прогонять всё
13 for nado in range(15839):
14     kitten = open('kitten.csv','r+')
15     print('F','Ta','SF',sep=',',file=kitten)
16     t = nado+3
17     b = t+10
18     d=b-t-4
19     i=i+1
20     for ii in range(t,b):
21         a = (float(df['FLUX'][i + ii]) - float(df['FLUX'][i]))**2
22         sumf = float(df['FLUX'][i])+float(df['FLUX'][i+ii])/2
23         sumt = df['T'][i+ii]-df['T'][i]
24         print(sumf,sumt,a,sep=',',file=kitten)
25     # print(sumf,sumt,a,sep=' ')
26     kitten.close()
27     dk = pd.read_csv('kitten.csv')
28     maxzn=max(dk['SF'])
29     for g in range(3,d):
30         if maxzn == dk['SF'][g]:
31             if (float(dk['SF'][g]) > float(dk['SF'][g+1]) and
32                 float(dk['SF'][g]) > float(dk['SF'][g-1])):
33                 if (float(dk['SF'][g+1]) > float(dk['SF'][g+2]) and
34                     float(dk['SF'][g-1]) > float(dk['SF'][g-2])):
35                     if (float(dk['SF'][g+2]) > float(dk['SF'][g+3]) and
36                         float(dk['SF'][g-2]) > float(dk['SF'][g-3])):
37                         print(dk['F'][g],dk['SF'][g],df['T'][g],df['T'][g+1],dk['Ta'][g],f
38 kitten.close()
39 itog.close()
```

## Приложение 1.4

F	SF	T1	T2	Ta
273.7321990352302	1.3481940654776283	2419.9942252	2419.9956141	0.0097222999997939
273.4394054042117	2.448844095027068	2419.9942252	2419.9956141	0.0236112999996294
273.82631792472404	1.8013990685756038	2419.9956141	2419.997003	0.0402781999996477
273.9391506608582	2.117009936209624	2419.9928363	2419.9942252	0.0375003999997716
275.3845493360408	1.3757640094488486	2419.9956141	2419.997003	0.0486115999997309
275.2604812501116	1.682203177428553	2419.9928363	2419.9942252	0.0472227000000202
274.26131983917384	0.0995539853291154	2419.9942252	2419.9956141	0.0861117999997986
276.97291588135545	4.612708363441003	2419.9942252	2419.9956141	0.1194454000001314
273.9437706222183	0.6885232971947841	2419.9956141	2419.997003	0.1513902000001508
274.03247589746377	0.8436024147835052	2419.9928363	2419.9942252	0.1500012999999853
275.65164057098434	11.639594520360706	2419.9942252	2419.9956141	0.1722237000003588
280.96801227647	29.411774343787744	2419.9956141	2419.997003	0.2708357000001342
280.91777262510175	29.959223984238943	2419.9928363	2419.9942252	0.2694468000004235
278.9975203167181	34.583897302177	2419.9956141	2419.997003	0.2847248000002764
278.80779837407425	36.851328178648295	2419.9928363	2419.9942252	0.283335900000111
274.3249976190788	1.6350687729644735	2419.9928363	2419.9942252	2.718083000000206
276.2930503129281	30.22616981912565	2419.9942252	2419.9956141	2.775028200000179
275.74826055553547	30.62037946360141	2419.9956141	2419.997003	2.804195300000174
275.9246430834009	32.603539831961776	2419.9928363	2419.9942252	2.8028064000000086
276.10043947593647	33.81335932245082	2419.9942252	2419.9956141	2.816695400000299
278.77914800620385	108.72957041955512	2419.9956141	2419.997003	2.904196599999977
278.7899616121023	108.9552018008201	2419.9928363	2419.9942252	2.902807699999812
276.18353094663706	115.95145293725749	2419.9942252	2419.9956141	2.926419200000055
279.5382297087792	136.5063597692508	2419.9956141	2419.997003	2.961141900000257
279.64853105099405	139.09595827068222	2419.9928363	2419.9942252	2.959753000000092
271.46161237423416	11.726573746820616	2419.9942252	2419.9956141	0.5819510000001173
272.5303412690164	22.194119400816135	2419.9956141	2419.997003	0.5930622000000767
272.6825559743294	23.651475005280204	2419.9928363	2419.9942252	0.5916732999999113
273.3745057552014	40.26825184853849	2419.9956141	2419.997003	0.6083401999999296
273.3677045812128	40.18198131694455	2419.9928363	2419.9942252	0.6069512999997642
273.2479630792606	23.68948942377883	2419.9942252	2419.9956141	0.6194514999997409
268.4230830639166	34.174820258673975	2419.9942252	2419.9956141	0.6819522000000688
269.71827279288493	80.89026158753404	2419.9956141	2419.997003	0.7305639000001065
269.4507882266667	76.15034997547473	2419.9928363	2419.9942252	0.7291749999999411
267.9630030795536	146.61351249283237	2419.9942252	2419.9956141	0.7902868000001035
264.84836233114294	123.01083694759964	2419.9942252	2419.9956141	0.8152870999997504
265.2348138173899	54.65817836545216	2419.9956141	2419.997003	0.8791768000000957
265.19141262050266	54.01832177987112	2419.9928363	2419.9942252	0.8777878999999302
266.07396013182904	61.373489829519066	2419.9942252	2419.9956141	0.8916770000000724
266.05509487275765	82.37652237824548	2419.9956141	2419.997003	0.9097326999999495
266.16096336822176	84.30948748155524	2419.9928363	2419.9942252	0.908343799999784
266.57445472973814	49.58829339156374	2419.9942252	2419.9956141	0.9208440000002156
264.0001279287966	83.309814451625	2419.9942252	2419.9956141	0.9458442999998624