Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова.

Система автоматизированной обработки спектров источника SS433.

Курсовая работа на степень бакалавра студента 4 курса
астрономического отделения физического факультета МГУ
Давыдова Виталия Валерьевича.

Научный руководитель: к.ф-м.н. Есипов В.Ф.

Москва, 2000.

Введение.

В настоящей работе представлена создающаяся на настоящий момент система автоматизированной обработки спектрограмм и результаты обработки спектров источника SS433 за 1998 год.

Объект SS433.

Объект SS433 последние 20 лет интенсивно исследуется во всех спектральных диапазонах астрономами многих стран мира. Этот объект удивителен тем, что в его спектре можно увидеть помимо основных эмиссионных линий водорода и неионизованного гелия движущиеся линии, которые вначале не удалось отождествить ни с одним элементом.

Этот объект находится в созвездии Орла. Он представляет собой звезду примерно 14-ой звездной величины, с сильным межзвездным поглощением. Блеск объекта периодически изменяется. По последним данным зарегистрировано несколько периодов изменения блеска.

Свое название SS433 получил по порядковому номеру в каталоге объектов с сильными линиями излучения, составленном Сандуллаком и Стефенсоном в 1977 году. Уже в 1975 году группой английских и австралийских ученых было обнаружено радиоизлучение этого объекта, а в 1976-78 годах объект был зарегистрирован как рентгеновский источник. Вначале не было уверенности в том, что все три объекта представляют собой один источник, но в 1978 году английские ученые Д.Кларк и П.Мардин указали на тождественность оптического, рентгеновского и радиообъектов в направлении на SS433. Кроме того, они обратили внимание на то, что объект по-видимому находится в генетической связи с необычным остатком вспышки сверхновой W50, в центре которого он расположен.

Спустя год, после того, как Д.Кларк и П.Мардин получили первый оптический спектр объекта с высоким разрешением и обраружили эмиссии, занимающие нестандартные положения, появилось сенсационное сообщение о том, что эти линии есть не что иное, как смещенные линии водорода и неионизованного гелия. После этого открытия началось интенсивное исследование этого источника.

Было обнаружено, что смещенные линии H и He (т.н. "линии-сателлиты") перемещаются по спектру на расстояние $\pm 900A$, причем смещение происходит с периодом в 164 дня. В спектре SS433 каждая линия водорода и неионизованного гелия имеет два спутника, центр симметрии которых относительно неподвижной (стационарной) линии смещен примерно на 12000 км/сек в красную часть спектра (примерно 200А).

В 1979 году появилась первая модель SS433. Основная идея заключается в кратности объекта, который согласно модели представляет собой двойную систему, состоящую из "оптической" звезды и релятивистского объекта с аккреционным диском. На двойственность объекта намекали исследования Кремптона, Хадчингса и Коли, в которых были обнаружены 13 дневные низкоамплитудные периодические вариации радиальных скоростей в стационарных линиях (Crampton, Cowley, Hutchings; 1980). Вскоре такая периодичность была зарегистрирована в интенсивностях $H\alpha$ и $H\beta$ эмиссий.

Существование линий-сателлитов описывается наличием двух коллимированных джетов, которые истекают из аккреционного диска. Уже в первых работах была определена скорость истечения вещества в джетах, которая оказалась равной 80000 км/сек. Перемещение линий-сателлитов происходит из-за прецессии джетов. Причем смещение центра симметрии объясняется поперечным эффектом Допплера. Благодаря отсутствию линий-сателлитов у ионизованного гелия было установлено, что температура вещества в джетах сравнительно низка, порядка 10000 К. Оба ждета прецессируют с периодом примерно 164 дня. На настоящее время замечено, что изменение прецессионного периода носит случайный характер. Уклонения прецессионного периода от среднего значения не превышают 16 дней.

В 1979 году Гладышевым и др. было установлена зависимость 13-дневной переменности среднего блеска от фазы периода прецессии. В этом году фотометрическую изменчивость также изучали Kemp and Arbabi, Gottlieb and Litter, Giles at al.

В 1980 году появляется публикация П.Мардина и Д.Кларка, в которой было показано, что объект SS433 подвержен сильному межзвездному поглощению (полное поглощение в фильтре V равно около 8m. После учета межзвездного поглощения температура непрерывного спектра оказалась равной 40000 К. Определив расстояние до объекта (около 3 кпс), была оценена болометрическая светимость в 10^{39} эрг/сек.

В этом же году А.М.Черепащук обнаружил, что объект является затменной переменной с периодом 13.09 дня и глубинами главного и вторичного минимумов в 0.5 и 0.3m соответственно. Сопоставление кривой блеска с кривой лучевых скоростей, построенной по узким эмиссионным пикам стационарных эмиссий $H\alpha$ и $H\beta$ показало, что момент главного минимума соответствует максимуму лучевых скоростей.

Попытки оценки масс, исходя из предположений о том, что линия $H\alpha$

отражает орбитальное движение либо аккреционного диска, либо оптической звезды, привели к двум совершенно противоположным выводам. В первом случае мы имеем маломассивную двойную систему (Кремптон и др.; 1980), а во втором - довольно массивную систему с оптической звездой, имеющей массу порядка 100 масс солнца, и компактным объектом с массой примерно 19 масс солнца (Мардин и др.). Оба варианта плохо подтверждаются последующими наблюдениями. В 1981 году в издании "Письма в астрономический журнал" выходит статья А.М.Черепащука, в которой была оценена масса компактного объекта. Используя предположение о возможном образовании линии $H\alpha$ в струе, вещество которой перетекает в тепловой шкале времени с "оптической" звезды в аккреционный диск, А.М.Черепащук оценивает верхний и нижний пределы массы X-компонента - $0.3 <$ Mx < 5 масс солнца.

О современной модели источника SS433.

Современная наука рассматривает источник SS433 как массивную затменно-переменную двойную систему, состоящую из "нормальной" звезды спектрального класса О или В с массой более 10 Msun и релятивистского объекта, окруженного достаточно ярким аккреционным диском. Причем аккреционный диск является оптически толстым и прецессирует с периодом примерно 165 дней. Из центральных областей аккреционного диска вырываются противоположно направленные джеты, которые отслеживают прецессию диска. Случайные уклонения джетов от перпендикуляра к аккреционному диску не превышают угла раствора джетов и составляют примерно 3 градуса. Узкие эмиссионные пики стационарных линий формируются в газовой струе, истекающей из "нормальной" (оптической) звезды к диску.

Объект SS433 вполне подобен классическим массивным рентгеновским двойным системам типа Лебедь $X1$, Центавр $X3$ и др., с той лишь разницей, что в нем наблюдается исключительно яркий в оптическом диапазоне аккреционный диск, непрозрачный для рентгеновского излучения центрального аккрецирующего релятивистского объекта. Предполагается, что эта непрозрачность связана с высокой скоростью истечения вещества "нормальной" звезды на релятивистский объект (примерно $10^4 Msun/$год). Из-за большой скорости истечения вещества релятивистский объект не способен полностью аккрецировать все падающее на него вещество. Вследствие этого подавляющая часть аккрецируемого вещества (99%) выбрасывается наружу в виде двух джетов. Реализуется режим сверхкритической дисковой аккреции, впервые описанный

Р.А.Сюняевым и Н.И.Шакурой. Вполне возможно, что за ускорение и коллимацию вещества джетов отвечает давление излучения, но детали этого процесса пока неясны. Группа В.Ф.Шварцмана показала, что у SS433 отсутствует быстрая оптическая переменность на временах от 0.1 миллисекунды до 10 секунд, что свидетельствует в пользу наличия сверхкритического аккреционного диска.

Нормальная звезда находится на более поздней стадии эволюции и переполняет свою полость Роша, истекая в тепловой шкале времени. Такая стадия двойных систем длится около $10^3 - 10^4$ лет. Это объясняет тот факт, что SS433 пока единственный открытый объект, находяшийся в этой кратковременной стадии.

Постановка задачи.

Проблема источника SS433 остается актуальной и на сегодняшний день. Особый интерес, проявляемый астрономами всего мира к этому объекту, обусловлен прежде всего многими нерешенными проблемами. В частности, до сих пор до конца непонятен механизм коллимации джетов, и неизвестна природа X-компоненты. Весьма важную роль играют многочисленные исследования проявлений объекта во всех спектральных диапазонах.

На сегодняшний момент накопилось огромное количество необработанных спектрограмм источника SS433, полученных В.Ф.Есиповым, начиная с 1993 года. Полная обработка этих наблюдательных данных имеет большой научный интерес. На сегодняшний день не существует более-менее подходящей системы обработки спектров, которая бы позволила эффективно обработать большое количество наблюдательного материала.

Конечной целью настоящей работы является разработка программ обработки массовых однотипных наблюдений для быстрого получения первичных результатов. В связи с этим было принято решение о создании системы автоматизированной обработки, удовлетворяющей следующим требованиям.

1. Программное обеспечение должно непосредственно работать с SBIG графическими форматами файлов (в этом графическом формате хранится подавляющее количество спектрограмм).

2. Оно должно обеспечить необходимые функции, используемые при обработке спектров (в частности, обрезание спектров, вычитание, исправление за плоское поле, построение дисперсионной кривой, математические функции, в частности аппроксимацию).

3. Программное обеспечение должно иметь функциональные возможности для обеспечения эффективной работы с большим количеством файлов.

4. Интерфейс должен отвечать современным требованиям (создание окон, диалогов, обеспечение удобной работы с программой).

5. Программное обеспечение должно работать под операционной системой типа UNIX.

О создании автоматизированной системы обработки спектров.

Многие вышеперечисленные программы плохо приспособлены к обработке спектров. Например, программа CCDOPS неприспособлена для одновременного обрезания спектра источника и вычитания из него спектра неба. Для этого приходится использовать пакет PCVISTA. Кроме того, ни одна программа не позволяет эффективно устранить высокие пиксели в спектре (шумы). Они отличаются от спектральных линий тем, что занимают только один пиксель и связаны с шумами матрицы. Процесс устранения таких пикселей в своем простейшем варианте заключается в усреднении на основании значений соседних пикселей. В программе SPE для их устранения надо вручную указать пиксели (пометить маркером), что достаточно неэффективно при большом объеме данных.

Из-за небольшого количества, имеющихся в распоряжении научного работника, программ, удовлетворяющих современным требованиям, проблема разработки перспективного программного обеспечения для астрономических целей остается весьма актуальный.

Для достижения поставленной в работе цели автором была проделана большая работа по освоению методов программирования под Unix. Началось непосредственное создание программного обеспечения. На данный момент созданы несколько программ в рамках проекта. В конечной стадии все программы будут объединены в одну программу с современным интерфейсом (окна, диалоги, выпадающие меню). Всевозможные операции над числами будут основаны на создаваемой "математической библиотеке", которая на данный момент поддерживает следующие функции: функция обрезания точек, выходящих за поставленные пределы, и нахождение периодов повторяемости заданной зависимости.

Функция нахождения одного периода использует алгоритм перебора периода (и фазы) и аппроксимации "табличной функции" при помощи sin для каждого значения периода с использованием МНК. Для этого используется формула (1).

$$y_i = A\sin(\frac{2\pi}{P}t_i + \phi) + C. \quad (1)$$

Алгоритм построен на основании определения минимальной невязки, вычисляемой по формуле (2), и соответствующего ей периода. Полученный период является результатом работы алгоритма.

$$S = \sum_{i=1}^{n}(A\sin(\frac{2\pi}{P}t_i + \phi) + C - l_i)^2. \quad (2)$$

Аналогичный алгоритм используется при нахождении двух периодов, только в качестве аппроксимирующей функции была выбрана сумма двух синусов. На настоящий момент была написана программа "tpfinder", которая непосредственно использует возможности "математической библиотеки" для нахождения периода.

Программирование ведется на языке программирования C++ с использованием современных библиотек. Для создания диалогового интерфейса (окна, выпадающие меню, и т.д.) используется библиотека Qt фирмы "Troll". Создание программного обеспечения носит некоммерческий характер и создается в рамках "GNU GPL". "Скриншот" программного интерфейса можно увидеть по адресу lnfm1.sai.msu.ru/~vit.

Обработка спектров SS433.

В этом разделе представлены результаты обработки спектрограмм уже имеющимися средствами с активным использованием уже созданных программ в рамках системы автоматизированной обработки спектров. В частности использовалась программа, обрезающая т.н. "высокие" и "нулевые" пикселы и программа *"tpfinder"*, при помощи которой были определены периоды в полученных в результате обработки спектрограмм зависимостях (см.ниже).

Исходные данные.

Начиная с 1993 года В.Ф.Есиповым было получено большое количество спектров источника SS433. Спектры были получены в Крымской лаборатории ГАИШ на 1.25 метровом телескопе "ЗТЭ" в 1998 году. Фокусное расстояние составляет 22 метра. Для получения изображений спектра использовался А-спектрограф с "высокой" щелью (5'). Фокусное расстояние камеры спектрографа F = 58 мм. В качестве приемника излучения использовалась ПЗС-матрица ST-6(I). Спектральное разрешение аппаратуры составляет около 5А. Источник экспонировался с выдержкой 30 минут.

Используемая методика обработки спектров.

Выбор методики обработки спектров напрямую зависит от того, что необходимо определять из спектрограмм. В качестве примера достаточно упомянуть об определении истинных интенсивностей линий в спектре и об определении их положения. Используемые методики обработки в этих двух случаях довольно сильно различаются. Если при определении положения линий в спектре достаточно построить хорошую дисперсионную кривую, то для определения истинных интенсивностей линий надо также учесть искажения, вносимые оптической системой. В настоящей работе конечным результатом обработки спектров является определение длин волн и эквивалентных ширин линий (изучаемые линии передвигаются по спектру).

Для того, чтобы получить правильную форму спектра источника, не искаженную какими-либо причинами, недостаточно только "вырезать" его из ПЗС-изображения. Полученный спектр будет искажен благодаря многим причинам. Во-первых, наличие темнового тока способно полностью подавить полезный сигнал. Во-вторых, каждый пиксел матрицы имеет свойственную только ему чувствительность. Кроме того эта чувствительность зависит от длины волны падающего излучения.

Темновой ток исправляется довольно просто. Для этого достаточно сделать экспозицию с закрытым затвором (внешнее излучение не падает на матрицу). При этом время экспонирования должно быть равным времени экспонирования объекта. Кроме того, температура матрицы, при которой получается ПЗС-изображение при закрытом затворе, должна быть равной той температуре, которую имела матрица в момент получения спектра источника. Это связано с тем, что физика темнового тока напрямую связана с температурой матрицы. После получения двух изображений: изображения объекта и темнового тока, достаточно программно вычесть одно из другого. В итоге мы получим изображение объекта без темнового тока.

Гораздо сложнее учесть плоское поле. Для этого матрицу равномерно по ее поверхности засвечивают источником света (лампой). В случае идеального приемника излучения зарегистрированные интенсивности каждого пиксела были бы равны. В действительности получается более сложная картина. Имея ввиду равномерную по поверхности засветку матрицы, можно определить чувствительность каждого пиксела в отдельности и исправить изображение объекта за "плоское поле". Сложность такого рода обработки заключается в трудности создания пучка света достаточно большого диаметра (пучок должен полностью освещать поверхность матрицы), интенсивность в котором остается постоянной на протяжении всего диаметра.

В случае получения спектра ситуация становится более сложной, потому что помимо индивидуальной чувствительности каждого отдельно взятого пиксела, надо учесть спектральную чувствительность. Это означает, что для точного учета различий в чувствительности формально надо для каждой длины волны получить "плоское поле". Существует методика, при помощи которой можно учесть одновременно и плоское поле, и спектральную чувствительность. Она довольно проста и заключается в получении спектра "лампы". Полученный спектр будет искажен. Зная эталонный спектр "лампы", можно зафиксировать возникщие искажения и в дальнейшем использовать для исправления получаемых в будущем спектров.

Все вышесказанное справедливо для идеальной оптической системы, через которую проходит излучение, прежде чем попадет на ПЗС-матрицу. В действительности спектр искажает не только ПЗС-матрица, но и оптическая система. Это прежде всего связано с различной пропускной (отражательной) способностью оптических элементов (линзы, зеркала) в зависимости от длины волны проходящего через систему излучения, говоря другими словами, спектр источника необходимо исправить за т.н. "аппаратную функцию" оптической системы.

В настоящей работе для получения спектров используется ПЗС-матрица типа ST-6(I). Вносимые оптической системой (с приемником излучения) искажения можно разделить на две группы: искажения спектра "по форме" и искажения спектра, связанные с неполным попаданием на приемник излучения светового потока от звезды, "собираемого" оптической системой (зеркалом телескопа). Последнее искажение только "опускает" спектр объекта по вертикали в координатах "длина волны - поток", где поток соответствует ординате. Под искажениями спектра "по форме" подразумеваются такие искажения спектра, которые нельзя исправить простым переносом вдоль оси, соответствующей потоку (ось Y) в вышеописанных координатах. Искажения спектра, связанные с неполным попаданием света от звезды на приемник излучения, никак не влияют на эквивалентные ширины линий. Это вытекает непосредственно из определения эквивалентной ширины линии и связано с тем, что при этом поток от линии и от континуума уменьшаются одинаково. Исходя из этого, получаемые спектры источника в данной работе исправляются только за форму спектра.

Для исправления за искажения, вносимые оптикой и самой матрицей, использовались эталонная звезда и "спектральное плоское поле". Изображение спектра эталонной звезды получалось аналогичным способом, что и изображение исследуемого источника. Спектр эталонной звезды, проходя через оптическую систему и попадая на матрицу, искажается. По регистрируемой форме спектра эталонной звезды, можно определить вносимые оптической системой и приемником излучения искажения и в будущем исправить за эти искажения спектр исследуемого объекта. В настоящей работе за "спектральное плоское поле" исправляется не тольно спектр источника, но и спектр эталонной звезды.

Построение дисперсионной кривой.

Важным свойством спектроскопии с высокой щелью является возможность удаления из спектра источника линий неба, так как кроме спектра источника одновременно получается спектр неба. Эта операция осуществляется программно. Кроме того, спектр неба можно использовать для получения дисперсионной кривой. Такой способ используется для получения дисперсионной кривой в данной методике.

В качестве "эталонных" линий использовались линии неба: 5577, , 6300 и 6363, 6833, 6863, 7240, 7600. В качестве аппроксимирующего полинома была выбрана квадратичная парабола. Точность построения дисперсионной кривой по этим линиям, определяемая по отклонениям истинного положения линий от положения, определяемого аппроксимирующей параболой, вполне удовлетворяет требованиям работы.

Используемые в методике программы.

Исходные снимки спектров были представлены в цифровом виде (файл), в графическом формате "ST-6 Compressed". Для вычитания темнового тока и исправления за "спектральное плоское поле" использовалась программа CCDOPS фирмы SBIG, которая входит в прилагаемый к матрице пакет программного обеспечения. Данная программа непосредственно работает с "ST-6" графическим форматом и имеет возможности по конвертированию в другие графические форматы, в частности, в FITS, TIFF. После исправления за темновой ток и плоское поле спектрограмма сохранялась в FITS-формате. Впоследствии из нее "вырезались" спектры неба и источника при помощи пакета PCVISTA. Для построения дисперсионной кривой использовался пакет программ SPE. Аналогичные операции проводились с изображением спектра эталонной звезды. После этого спектр источника исправлялся за спектральную чувствительность всей аппаратуры при помощи утилит, написанных сотрудником ГАИШ специально для настоящей методики, при этом

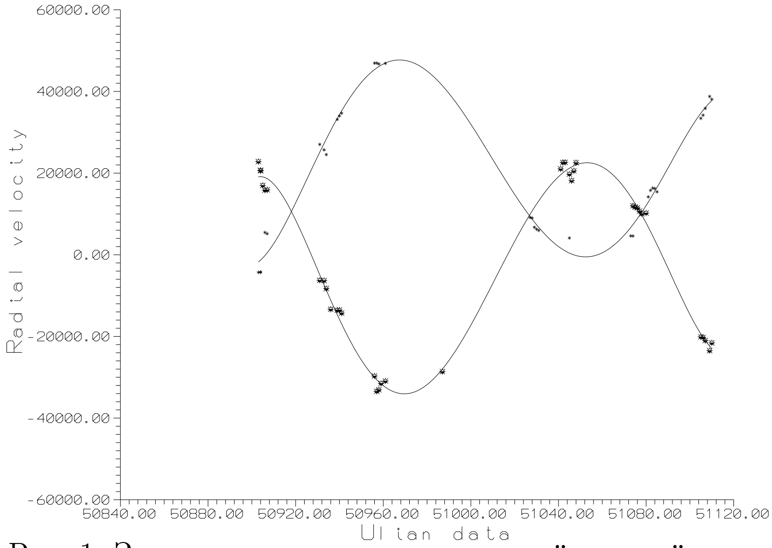

Рис. 1: Зависимость смещения красной и синей компонент от времени.

использовался спектр эталонной звезды. Заключительным этапом являлось выделение из спектра при помощи программы SPE континуума и непосредственное измерение эквивалентных ширин линий и их положения по длине волны (программа SPE).

Результаты, полученные в процессе обработки спектров.

В настоящей работе были обработаны спектрограммы, полученные в 1998 году. В результате обработки спектрограмм были получены следующие зависимости: зависимость эквивалентных ширин линий-сателлитов от времени и зависимость смещения линий-сателлитов в шкале скоростей от времени (графики зависимостей прилагаются ниже).

Графики зависимостей "эквивалентная ширина – время" приведены к фазовому интервалу по формуле (3).

$$T = 2450930.0^d + 162.2E. \tag{3}$$

Анализ полученных результатов.

1. При помощи программы tpfinder были получены следующие периоды в движении линий-сателлитов, которые были определены по зависимости "смещение-время": 1 компонент - 162.2^d, 2 компонент - 161.4^d.

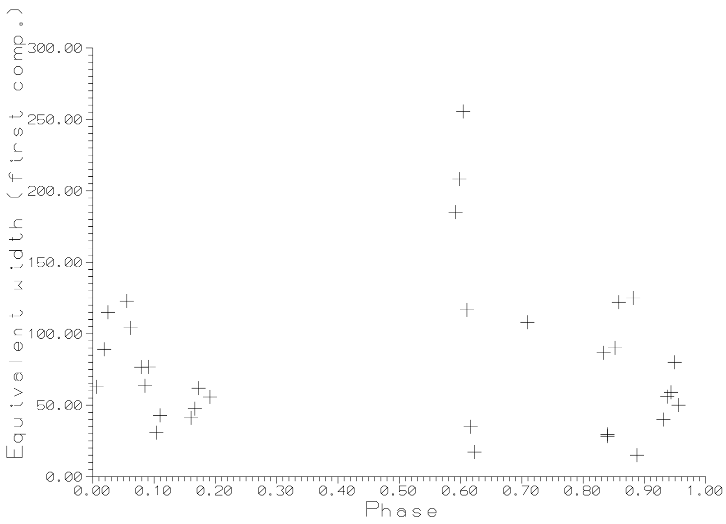

Рис. 2: Зависимость эквивалентной ширины линии (первый компонент) от времени.

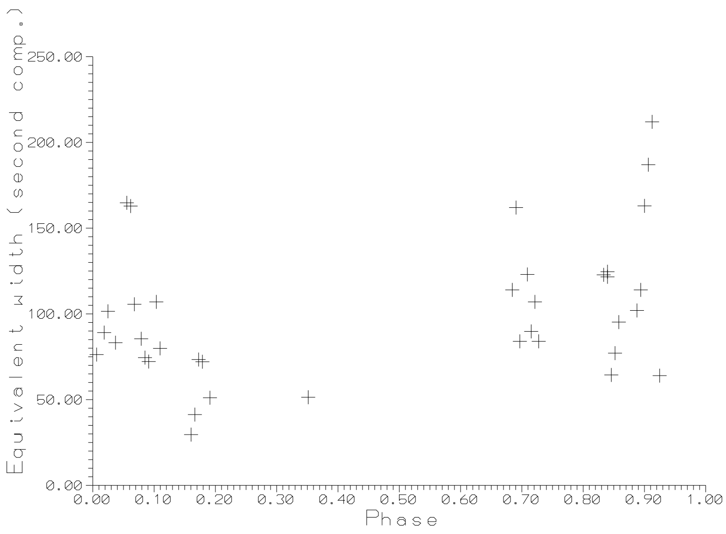

Рис. 3: Зависимость эквивалентной ширины линии (второй компонент) от времени.

Таблица 1. Параметры аппроксимации для зависимости "смещение - время".

	Первый компонент	Второй компонент
T	162.2^d	161.4
A	26271.4	28777.6
C	23687.9	-6039.9
ϕ	0	5.9

Ошибка определения периода не изучалась. При определении периодов в качестве начального значения был взят $P = 100^d$, а в качестве конечного $P = 200^d$. Определение периода по зависимости "Эквивалентная ширина - время" выявило следующие периоды в диапазоне $140^d - 180^d$: 1 компонент - 166.5^d, 2 компонент - 154.9^d. Такой большой разброс по-видимому связан с большой ошибкой определения периода, на которую влияют как малая статистика (около 30 точек) так и нечетко выраженная зависимость (на графике визуально этот период не прослеживается).

По зависимости "смещение-время" для первой компоненты была получена формула (3) для приведения юлианских дат к фазам.

2. В процессе обработки спектров было замечено, что в движении линий-сателлитов существует несколько периодов (как минимум два). Кроме прецессионного движения линии-сателлиты вероятно участвуют в движении, период которого равен нескольким дней. Из-за малой статистики не удалось получить численное значение периода. По-видимому такое движение связано с нутацией.

3. Временами линии-сателлиты подвергались расщеплению на две накладывающиеся друг на друга линии.

Заключение.

Создаваемая система автоматизированной обработки спектрограмм проектируется как универсальная система обработки, отвечающая современным требованиям. Планируется сделать первую работающую β-версию программы к концу лета. Она позволит исправлять спектр за плоское поле и темновой ток, "вырезать" спектр из спектрограммы, строить дисперсионную кривую, исправлять за звезду. После тестирования и начала эксплуатации планируется обработать все существующие спектры источника SS433.

Литература.

1. Фотометрия и орбитальный период SS433. Астрономический циркуляр, N 1145, 1980г. 26 декабря.

2. Основные закономерности в изменении блеска SS433. Астрономический циркуляр, N 1146, 1980г. 27 декабря.

3. Прецессирующий аккреционный диск в затменной системе SS433. Астрономический циркуляр, N 1147, 1980г. 30 декабря.

4. О массе компактного объекта в системе SS433 (Черепащук). Письма в астрономический журнал, т.7, N 4, 1981г.

5. Фотометрическая переменность SS433 (V 1343 Aql) в 1979-1981 гг. (Гладышев, Горанский, Черепацук) Письма в астрономический журнал, т.9, N 1, 1983.

6. SS433 (V 1343 Aql) как двухпериодическая звезда. (Горанский В.П.) Письма в астрономический журнал, т.9, N 1, 1983.

7. Периодичности в фотометрической переменности SS433. (Черепащук А.М., Яриков С.Ф.) Письма в астрономический журнал, Т.17, N 7, 1991, стр. 605.

8. О характере переменности спектра SS433 с 6-ти дневным периодом (июль-август 1981 г.). Копылов И.М., Кумайгородская Р.Н., Сомов Н.Н., Сомова Т.А., Фабрика С.Н. Астрономический журнал, т. 64, вып. 4, 1987, стр. 785.

9. Данные фотометрических наблюдений и их интерпретация. Черепащук А.М. Итоги наука и техники, Астрономия, т.38, 1988, стр. 60.

10. Оптические струи SS433. Анизотропия излучения струй. Панферов А.А., Фабрика С.Н., Рахимов В.Ю. Астрономический журнал, 1997, N3, стр. 392-406.

11. Оптические струи SS433. Физические параматры струй. Панферов А.А., Фабрика С.Н. Астрономический журнал, 1997, N4, стр. 574-585.

12. Анализ вспышечной активности SS433 на базе фотоэлектрических данных. Исрамбетова Т.Р. Письма в АЖ, 1997 (23), N 5, стр. 341-349.

13. Влияние фотоионизации на излучение ударных волн в резонансных переходах ионов FeXXV, FeXXVI при столкновении быстрых околозвездных потоков. Алексендрова О.В., Бычков К.В. Астрономический журнал, 1998 (75), N 2, стр. 188-196.

14. Оптическая переменность SS433 в 1979-1996 гг. Горанский В.П., Есипов В.Ф., Черепащук А.М. Астрономический журнал, 1998 (75), N 2, стр. 240-260.

15. Анализ многоцветных фотометрических наблюдений SS433 (V1343 Aql). Горанский В.П., Есипов В.Ф., Черепащук А.М. Астрономический журнал, 1998 (75), N 3, стр. 383-393.

16. Сверхкритический аккреционный диск в системе SS433. Фабрика С.Н. Astrophys and Space Science, 1997 (252), N 1-2, p. 439-450 (Англ.).

17. Асадулаев С.С, Черепащук А.М. Астрономический журнал, 1986 (63), стр. 94. (1986, 6.51.666).

18. Бескин Г.М., Неизвестный С.И., Пимонов А.А., Плахотниченко В.П., Шварцман В.Ф. Астрономический циркуляр, 1979, N 1087.

Полученные данные.

юлианская дата	смещ. 1 k.(км/сек)	экв.шир. 1к.(A)	смещ. 2 к.(км/сек)	экв.шир.2к.(A)
50903	-4309	86.7	22829	122.8
50904	-4231	29.6	20707	124.6
50904	-4292	28.3	20575	121.6
50905	—	—	16988	64.4
50906	5453	90.1	15825	77.1
50907	5166	122.0	15909	95.2
50931	27025	62.8	-6246	76.3
50933	25691	89.1	-6311	89.1
50934	24534	115.0	-8279	101.5
50936	—		-13330	83.2
50939	33157	122.8	-13563	164.8
50940	34002	104.1	-13537	162.9
50941	34678	—	-14286	105.6
50956	46929	41.1	-29684	29.6
50957	46949	47.6	-33441	41.3
50958	46741	61.9	-33061	73.4
50959	—	—	-31494	72.1
50961	46878	55.7	-30908	51.1
50987	—	—	-28602	51.4
51027	9141	208.3	—	—
51028	9007	255.5	—	—
51029	6735	116.7	—	—
51030	6259	34.9	—	—
51031	5976	17.2	—	—
51041	—	—	21043	114.0
51042	—	—	22589	162.0
51043	—	—	22645	84.0
51045	4108	108.0	19760	123.0
51046	—	—	18166	89.8
51047	—	—	20566	107.0
51048	—	—	22553	84.0
51073	4624	125.0	—	—
51074	4593	15.0	12000	102.0
51075	—	—	11663	114.0
51076	—	—	11495	163.0
51077	—	—	10689	187.0
51078	—	—	10037	212.0
51080	—	—	10227	64.0
51081	14180	40.0	—	—
51082	15774	56.0	—	—
51083	16342	59.0	—	—
51084	16226	80.0	—	—
51085	15427	50.0	—	—
51105	33422	76.6	-20093	85.5
51106	34178	63.6	-20203	74.5
51107	35857	76.7	-20993	72.2
51109	38772	30.8	-23476	107.0
51110	38063	42.9	-21575	79.9