

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА
имени МИРЗО УЛУГБЕКА**

*На правах рукописи
УДК 524.7/8*

АХУНОВ ТАЛЪАТ АХМАТОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ И
ЭФФЕКТА МИКРОЛИНЗИРОВАНИЯ В ИЗБРАННЫХ
ГРАВИТАЦИОННЫХ ЛИНЗАХ**

Специальность: 01.03.02 – Астрофизика, радиоастрономия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Ташкент – 2008

Работа выполнена в Астрономическом институте Академии Наук Республики Узбекистан.

Научный руководитель:

Доктор физ.-мат.наук, профессор
НУРИТДИНОВ С.Н.
(АИ АН РУз, НУУз, г. Ташкент)

Официальные оппоненты:

Доктор физ.-мат.наук, профессор
МИНАКОВ А.А.
(Радиоастрономический институт НАН
Украины, г. Харьков)

Доктор физ.-мат.наук, профессор
САТТАРОВ И.С.
(ТГПУ, г. Ташкент)

Ведущая организация:

Астрономический институт им.
Штернберга при Московском государ-
ственном университете (Россия)

Защита состоится “ ____ ” _____ 200__ г. в ____ час ____ мин. на заседании Специализированного Совета (шифр К.067.02.14) Физического факультета НУУз имени Мирзо Улугбека по адресу: 100174, г. Ташкент, Вуз-городок, физический факультет (кабинет-музей академика С.Азимова)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального Университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

Отзыв в двух экземплярах, заверенный печатью, просьба присылать по адресу Физического факультета Национального университета Узбекистана

Автореферат разослан “ ____ ” _____ 200__ г.

**Ученый секретарь
Специализированного Совета
кандидат физ.-мат.наук**

К.Т. МИРТАДЖИЕВА

1. Общая характеристика работы

Гравитационное линзирование (ГЛ) является одним из самых уникальных и первых экспериментальных подтверждений общей теории относительности [1-2]. Установлено, что лучи света от далекого источника отклоняются от прямолинейного движения и фокусируются под воздействием силы притяжения массивных тел по строго определенному закону. В результате в картинной плоскости мы наблюдаем в большинстве случаев мнимые кратные изображения источника излучения. Явление ГЛ в первую очередь связано с геометрическими и физическими свойствами Вселенной и ее основных образований, таких как галактики и квазары, так как излучение именно этих объектов имеет наибольшую вероятность подвергнуться гравитационному линзированию [3]. Одним из таких свойств гравитационно линзированных систем (ГЛС), содержащих кратные изображения, является время задержки, связанное с тем, что излучение от источника до наблюдателя идет через кратные изображения различными путями.

Актуальность работы. В настоящее время надежно найдено свыше 90 ГЛС. Интенсивность исследований ГЛС в последние десятилетия растет почти экспоненциально, что указывает на бурное развитие этого направления. Работают несколько крупных международных проектов, направленные на мониторинговые наблюдения различных ГЛ, главным образом, с целью изучения времени задержки и обнаружения явления микролинзирования.

В данной диссертационной работе для исследования этих двух явлений нами в качестве объектов наблюдений были выбраны ГЛС UM673, SBS0909 и Q2237. Первые два, имеющие двойные изображения, почти не изучены, а последний объект - Крест Эйнштейна, хотя и привлекает внимание многих авторов (см., например, [4]), но требует к себе особого интереса с точки зрения рассматриваемых нами в диссертации двух явлений.

Отметим, что до сих пор с избранными нами объектами связан целый ряд нерешенных проблем и вопросов. А именно, отсутствует необходимый их длительный оптический мониторинг; неясно как целесообразно обрабатывать изображения первых двух ГЛС и обязательно ли учитывать присутствие тусклой линзирующей галактики? Не известны период и амплитуда переменности источников-квазаров в этих ГЛС. Для всех избранных нами ГЛС до сих пор не известно время задержки; необходимо знать, было ли микролинзирование в них в наблюдаемый период; какой метод вычисления времени задержки лучше всего применять в каждом случае? Какая модель линзы правильно описывает ГЛС, особенно, UM673? Какова зависимость значения постоянной Хаббла от рассматриваемой модели ГЛС? Какова должна быть стратегия наблюдений ГЛС в рамках исследуемых проблем?

Все это показывает, что исследование физических свойств эффекта времени задержки и явления микролинзирования в UM673, SBS0909 и Q2237 является одной из актуальных задач современной внегалактической астрономии и космологии.

Степень изученности проблемы. Несмотря на то, что выбранные нами объекты были открыты относительно давно, до сих пор проблемы времени задержки в них почти не изучены. Для ГЛС UM673 известно, что источник-квазар показывает активную переменность, однако не известны ни ее амплитуда, ни ее период [5,6]. Время задержки для этой системы определено в очень широких пределах - от 7 недель до 5 месяцев [7]. Что касается микролинзирования, то только в одной работе сообщалось о косвенных признаках хроматического микролинзирования [6]. ГЛС SBS0909 изучена еще меньше, так как никто не имеет еще длительных мониторинговых наблюдений этого объекта. Исследование ГЛС Q2237 показывает, что эффект микролинзирования присутствует здесь почти постоянно, но этот факт, а также неопределенность в фотометрии компонентов, затрудняет вычисление времени задержки.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР. Диссертационная работа выполнена в рамках гранта ЦНТ и ККРНТ РУз "Гравитационные линзы и коллапсирующие галактики: наблюдательно-экспериментальные и теоретические проблемы" (тема Ф-2.2.1).

Цель исследования. Главной целью исследований является проведение многоцветного мониторинга избранных ГЛС, а также фотометрическая обработка ПЗС-изображений, построение и анализ кривых блеска компонентов отдельных ГЛС, вычисление соответствующих значений времени задержки в этих системах, обсуждение проблемы микролинзирования в них и расчет постоянной Хаббла.

Задачи исследования. Для достижения вышеуказанных целей нам надо было решить нижеследующие задачи:

- фотометрический мониторинг ПЗС-изображений избранных гравитационно линзированных квазаров при помощи ПЗС-наблюдений на телескопе АЗТ-22 Майданакской астрофизической обсерватории;
- создание банка наблюдательных данных;
- анализ методов фотометрической обработки применительно к изображениям каждой ГЛС;
- фотометрическая обработка компонентов наблюдаемых ГЛС;
- анализ и интерпретация полученных кривых блеска для выявления явления микролинзирования;
- анализ методов измерения времени задержки;
- измерение времени задержки;
- анализ различных моделей ГЛС;
- выявление зависимости постоянной Хаббла от модели.

Методы исследований. Методы многоцветных ПЗС-наблюдений с высоким разрешением; фотометрические методы обработки ПЗС-изображений; методы математического моделирования.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Созданный банк данных наблюдений ГЛС UM673, SBS0909 и Q2237 в V, R и I фильтрах за период 2003-2006 г.г. При этом впервые в R фильтре проведенные именно мониторинговые наблюдения компонентов ГЛС UM673 и SBS0909. Общий объем данных наблюдений составляет более 30Gb информации без учета калибровочных изображений.
2. Результаты фотометрической обработки многоцветных изображений ГЛС UM673, SBS0909 и Q2237. В частности, найденная переменность источника-квазара во всех указанных ГЛС. Обнаружение микролинзирования в ГЛС Q2237 и утверждение об отсутствии его в ГЛС UM673. При этом квазар UM673 имеет длительное время вариации (около 6 лет), а его амплитуда порядка $\sim 0.5^m$.
3. Предложенный метод определения времени задержки между компонентами ГЛС по модельным кривым блеска. Этот метод работает в случаях, когда наблюдательные данные представлены редко и имеются большие промежутки между наблюдательными сезонами.
4. Значения времени задержек в ГЛС UM673 и SBS0909. Эти значения соответственно равны $\Delta t(\text{UM673})=106.8\pm 17$ дней и $\Delta t(\text{SBS0909})=-44^{+1}_{-11}$ дней. Найденные значения постоянной Хаббла в зависимости от модели линзы.

Научная новизна работы. Новизна работы заключается в том, что на основе наших наблюдений на 1.5-м телескопе АЗТ-22 создана уникальная база данных по ГЛС UM673, SBS0909 и Q2237. Впервые получено наблюдательное значение времени задержки в ГЛС UM673. Найденны значения постоянной Хаббла в зависимости от модели линзы. Результаты позволили точно определить модель линзирующей галактики. Впервые время задержки было измерено с помощью кривой показателя цвета и Фурье разложения. Впервые получены длительные мониторинговые данные для ГЛС SBS0909. Получена 1.5 месячная задержка времени в этой системе. Анализ кривых блеска компонентов ГЛС Q2237 позволил получить значения времени задержки между ее компонентами, что указывает на необходимость ежечасных наблюдений этого объекта.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость работы определяется, прежде всего, полученными наблюдательными данными по избранным ГЛС. Они существенно дополнили существующую базу данных и стали основой для дальнейшего его изучения и детального исследования других ГЛС. Предложенный метод определения времени задержки с помощью кривой показателя цвета является еще одним инструментом в изучении физики ГЛС. Найденные нами значения времени задержки для двух ГЛС позволит в дальнейшем выявлять микролинзирование в этих системах.

Реализация результатов. Расширенный нами банк наблюдательных данных, а также результаты обработки изображений ГЛС будут основой для дальнейших исследований в этой области. Результаты данной работы включены в специальные курсы по физике гравитационных линз и квазаров в рамках бакалавриатуры и магистратуры по направлению “Астрономия” в Национальном университете Узбекистана.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на различных научных конференциях (“Улугбековские чтения, 2004”, “Современные проблемы астрономии в Узбекистане, 2004”). Кроме того, результаты докладывались на объединенном семинаре Астрономического отделения и Астрономического института им. В.В.Соболева при Санкт-Петербургском Государственном университете, научных семинарах кафедры астрономии Национального университета Узбекистана, Астрономического института АН РУз, Ташкентского государственного педагогического университета.

Опубликованность результатов. Основные результаты диссертации опубликованы в 8 научных статьях, из них 5 в научных рецензируемых изданиях, 3 в сборниках трудов республиканских конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из Введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 141 наименований. Полный объем диссертации 118 страниц, объем полного текста 118 страниц, включая 36 рисунков и 9 таблиц.

2. Основное содержание диссертации

Во Введении диссертации обосновывается актуальность и новизна работы, выбор предмета и объекта исследований, степень изученности проблемы, ее научная и практическая ценность, основные положения, выносимые на защиту, а также приведена апробация работы. Затем дана общая характеристика диссертации с указанием краткого ее содержания.

В первой главе дан обзор о явлениях времени задержки в ГЛС и микролинзировании, описано использованное оборудование, методы наблюдений и фотометрической обработки полученных изображений. В первом параграфе данной главы приводятся основы физики ГЛ и главные направления исследования. Приводятся основные формулы и понятия, в том числе физический смысл коэффициента усиления, а также критических и каустических кривых. Второй параграф представляет собой общую постановку задачи, выбор объектов наблюдения и рассказывается об использованном инструментарии. Долгое время исследования в этой области носили теоретический характер, в которых изучались какие объекты могут участвовать при линзировании, вероятность их обнаружения и другие аспекты. Оказалось, что чем дальше находится источник, тем больше вероятность того, что его излучение подвергнется линзированию. Эти выводы полностью подтвердились в 1979 году, когда была открыта первая ГЛС [8]. Основной же целью данной работы является создание непрерывного банка данных наблюдений избранных гра-

витационных линз и анализ явлений микролинзирования и эффекта времени задержки.

Для отбора объектов наблюдения были введены несколько критериев – по условию видимости ($-10^0 < \delta < +70^0$); по расстоянию между компонентами ($< 1''$ дуги) и блеска объектов (не слабее 19^m). Количество таких объектов доступных наблюдениям свыше десяти. Не изученность времени задержки и учет возможности непрерывных наблюдений привели автора к выбору следующих трех избранных объектов (таб.1).

Таб.1. Избранные ГЛС, наблюдаемые нами на АЗТ-22

Объект	α (J2000)	δ (J2000)	$m_{\text{ист}}$	$m_{\text{линз}}$	θ_{im}
UM 673	01:45:16.5	-09:45:17	I=16.47/2	I=18.72	2.24
SBS0909	09:13:01.05	+52:59:28	I=15.97/2	I=17.12	1.17
Q2237	22:40:30.34	+03:21:28	I=15.16/4	I=14.15	1.78

Отмечено, что Майданакская обсерватория удовлетворяет всем требованиям наблюдения ГЛС, а телескоп АЗТ-22 оборудован профессиональным ПЗС-приемником. В частности ПЗС-камера BroCam снабжена набором стеклянных фильтров UBVRI близко соответствующих фотометрической системе Джонсона-Коузинса. В третьем параграфе описываются основные методы фотометрической обработки полученных изображений. Эта процедура состоит из двух этапов – предварительной обработки и непосредственно фотометрического анализа. В ходе предварительной обработки удаляются различного рода шумы – темновой ток, смещение нуля, шум считывания, неравномерность чувствительности матрицы и др. Далее идет описание двух подходов в фотометрии – простой апертурный метод, основанный на прямом суммировании потока в пределах определенного радиуса и метод, основанный на пригонке различного вида ФРТ. В четвертом параграфе обсуждаются проблемы, связанные с нахождением и детектированием времени задержки и микролинзирования. Кратко описываются методы вычисления времени задержки и обнаружения микролинзирования. Отмечается, что эти проблемы взаимосвязаны друг с другом. Без информации об одном из них невозможно определенно говорить о другом.

Вторая глава посвящена исследованию ГЛС UM673 (Q0142-100). Эта система представляет собой двойное изображение квазара ($z_q=2.719$) как результат линзирования более близкой галактикой ($z_g=0.49$). Угловое расстояние между компонентами равно $\theta=2''.2$. Звездные величины в период открытия в R фильтре равнялись $16^m.9$ для A, $19^m.1$ для B компонент, а для галактики-линзы $19^m.1$, общий блеск системы $16^m.65 \pm 0.2$. Теоретические расчеты вероятного значения времени задержки давали очень широкий диапазон (от 50 до 150 дней) [7]. Многолетние, но бессистемные фотометрические исследования этого объекта показали, что источник-квазар в этой системе показывает активную переменность порядка $\Delta m \approx 0.26^m$ [5] без определенного периода.

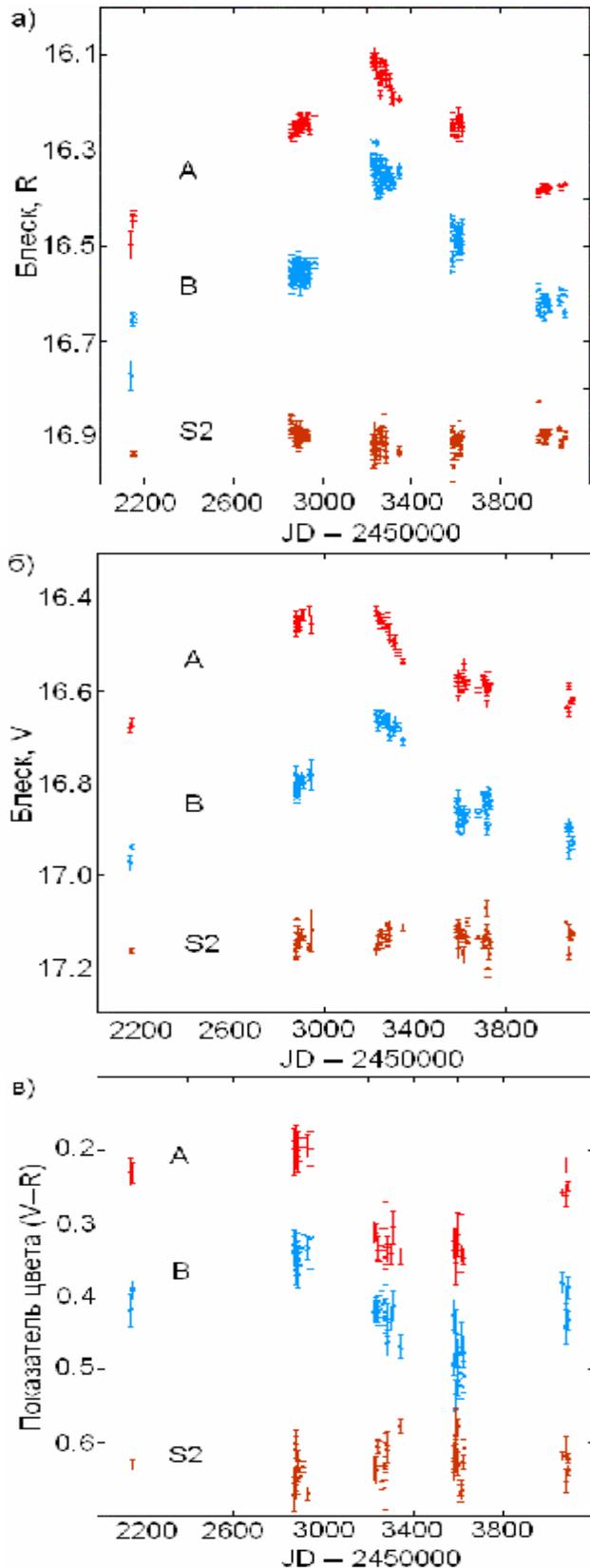


Рис1. Кривые блеска компонентов A, B UM673 и звезды сравнения в R фильтре (а) и V фильтре (б). Показана кривая показателя цвета (V-R) (в).

Была также затронута и проблема микролинзирования. Так, было показано, что в компоненте A имеется тренд в зависимости показателя цвета (V-R) от магнитуды в V фильтре [6]. Наличие тренда авторы объясняли наличием микролинзирования. Однако, в работе [9] была получена спектрограмма обоих компонентов. Обнаружилась почти абсолютная идентичность спектров обоих компонентов и не было никаких следов микролинзирования. Однако надо учитывать, что спектральные наблюдения были проведены через три года после оптических наблюдений. Во втором параграфе обсуждаются фотометрические проблемы для этой ГЛС – метод обработки, выбор ФРТ звезды и объектов сравнения. Наблюдения этого объекта велись в R и V фильтрах в течение 2003-2006 г.г. Кроме того, у нас имелись несколько изображений UM673, полученных в 2001 г. Из дальнейшего анализа мы были вынуждены исключить кадры, где фон неба превышает 2000 отсчетов и синг больше 1.5" дуги. В итоге у нас осталось 69 точек в V фильтре и 122 точки в R фильтре. Фотометрическая обработка ГЛС UM673 велась полностью в рамках пакета DAOPHOT-IRAF. В итоге были получены кривые блеска и показателя цвета (V-R), представленные на рис.1-а,б,в.

Эти кривые показывают долговременную переменность обоих компонентов UM673 в течение всех наблюдательных сезо-

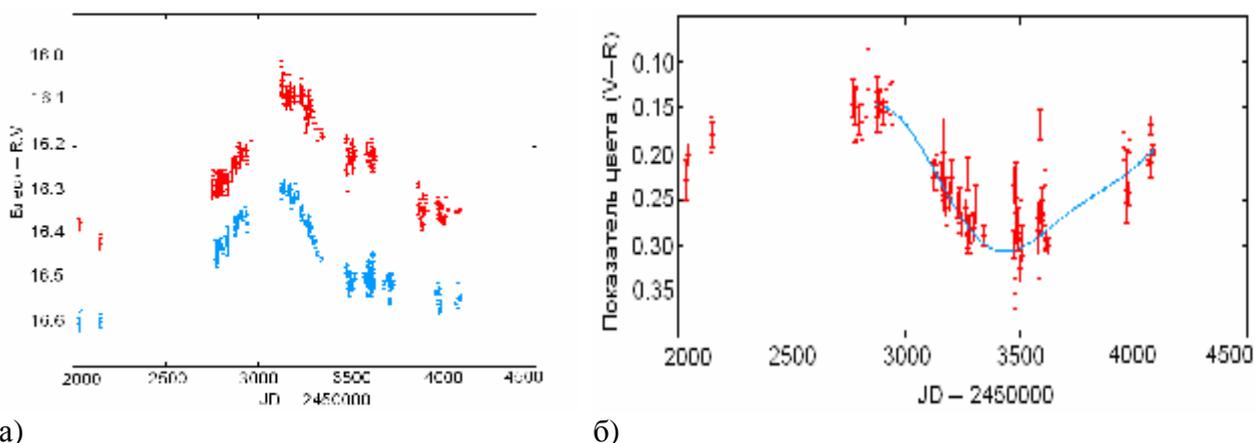
нов (более 2000 дней), максимум блеска соответствует 2004 г. Однако амплитуда вариаций в двух фильтрах несколько отличаются, а именно в R фильтре переменность компонентов более активна. Кроме того, четко видна также переменность показателя цвета (V-R) обоих компонентов. В периоды увеличения яркости цвет смещается в красную сторону. Явных признаков микролинзирования здесь не видно. Из-за больших пробелов между наблюдательными эпохами дискретные методы определения времени задержки не дают удовлетворительного результата. С их помощью можно получить лишь нижний (< 70 дней) и верхний (> 270 дней) пределы этого параметра. Здесь имеет смысл использовать интерполированные кривые и использовать при этом не кривые блеска, а показателя цвета. Так, мы избавимся от возможного влияния микролинзирования, потому, что цвет – достаточно “консервативный” параметр и его изменения больше всего говорят именно о переменности самого квазара. Однако при интерполировании необходимо сделать одно допущение – изменения показателя цвета квазара происходят очень гладко, без резких скачков. Интерполяция данных проводилась с помощью формулы разложения Фурье:

$$(V - R)_{Model}(t) = a_0 + \sum_{k=1}^n \left(a_k \cos \frac{2\pi kt}{T_0} - b_k \sin \frac{2\pi kt}{T_0} \right) \quad (1)$$

где a_i и b_i – Фурье коэффициенты, t – время и T_0 – Фурье период. Функция (1) подгонялась к общей кривой показателя цвета, содержащей кривые обоих компонентов. При этом кривая компоненты B сдвигалась как назад по времени, так и по цветовой оси. При этом мы получали модельную кривую показателя цвета. Для каждой наблюдательной точки в кривой цвета вычислялась сумма:

$$c^2 = \sum_N \frac{\left((V - R)_{obs,i} - (V - R)_{Model} \right)^2}{s_i^2} \quad (2)$$

где $(V-R)_{obs,i}$ – наблюдаемое значение показателя цвета, а σ_i^2 – ошибки их измерений. Сдвиг, соответствующий наименьшему значению χ^2 принималось за истинное время задержки. Эта процедура применялась для 10000 случайных реализаций кривой цвета обеих компонентов методом Монте-Карло. В результате мы получили, что время задержки в ГЛС UM673 есть $\Delta t = 106.8 \pm 17.0$ дней, соответствующее значение Фурье периода $T_0 = 1497.8 \pm 82.7$ дней и $\Delta_{V-R} = 0.138^m \pm 0.004$. Результирующие кривые показаны на рис.2(а,б). Значения ошибок вычислений соответствуют стандартным отклонениям из всего набора результатов. Для проверки этих результатов был использован и несколько другой подход. Мы попробовали получить модельные кривые блеска и на их основе, вычисляя коэффициент корреляции между ними, получить время задержки.



а) б)
Рис.2. Кривая блеска источника-квазара в ГЛС UM673 (а) и показателя цвета (б) с учетом полученного значения времени задержки $\Delta t = 106.8 \pm 17.0$ дней. Сплошной линией показана интерполированная кривая.

При этом интерполяция проводилась с помощью функции вида:

$$f_i = \sum_{i=1}^n a_i \frac{\sin(x_i)}{x_i} \quad (3)$$

где $x_i = \frac{\pi}{h} t_i$, параметр h представляет собой ширину окна в днях. Достоверность модельной кривой проверялась с помощью метода наименьших квадратов. Для оценки ошибки вычислений хватило 500 случайных реализаций кривой блеска. Максимум этого распределения приходится на $\Delta t = 102^{+10}_{-5}$ дней. Примечательно, что распределение имеет ассиметричный вид – отклонение времени задержки в большую сторону более вероятно. Интересно было посмотреть какое значение постоянной Хаббла даст найденное нами значение времени задержки. В работе [10] были представлены результаты расчетов для 4 моделей (сингулярного изотермического эллипсоида и модели постоянного отношения массы к светимости с внешними сдвигом и без него) SIE, SIE+ γ , M/L и M/L+ γ . Было показано, что величина Δt равно $(80.1 \pm 0.3)/h$, $(84 \div 87)/h$, $121.3/h$ и $(115 \pm 3)/h$ дням соответственно указанным моделям. Здесь и далее h – нормированная постоянная Хаббла ($H_0/100 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$). Результаты вычисления показали, что значение постоянной Хаббла сильно зависит от выбора модели. Аналогичные результаты можно получить, если использовать другие модели. Действительно, рассмотрим например модель сингулярной изотермической сферы (SIS) с внешним сдвигом в виде нормализованного уравнения линзы:

$$\mathbf{y}_s = \begin{pmatrix} 1 - \gamma \cos \Phi_\gamma & -\gamma \sin \Phi_\gamma \\ -\gamma \sin \Phi_\gamma & 1 + \gamma \cos \Phi_\gamma \end{pmatrix} \mathbf{x} - \mathbf{a}(\mathbf{x}) \quad (4)$$

где $\alpha(\mathbf{x}) = x^{\beta-1} \frac{\mathbf{x}}{x}$ угол отклонения луча относительно центра линзы, \mathbf{y}_s, \mathbf{x} - положения источника и его изображений, γ - величина внешнего сдвига, Φ_γ - позиционный угол сдвига в направлении Восток-Север. При $\beta = 1$, характеризующий степенной закон распределения массы, мы получаем уравнение изотермической сферы с внешним сдвигом. Решение этого уравнения дает нам значение $\gamma = 0.064$. Подставляя его в уравнение времени задержки:

$$\Delta t_{A,B} = \frac{D}{2c} (1 + z_1) \{ (r_B^2 - r_A^2) + \gamma [r_B^2 \cos 2(\theta_B - \Phi_\gamma) - r_A^2 \cos 2(\theta_A - \Phi_\gamma)] \} \quad (5)$$

получим, что $\Delta t = 80.02/h$ дням. Видно, что модели SIS и SIE дают очень близкие результаты. Учитывая найденное время задержки $\Delta t = 106.8 \pm 17.0$ дней можно вычислить постоянную Хаббла. Получается, что $H_0 = 74 \pm 12$ в модели SIS+ γ ; $H_0 = 75 \pm 12$ и $H_0 = 80 \pm 12$ в моделях SIE и SIE+ γ ; $H_0 = 113 \pm 12$ и $H_0 = 107 \pm 12$ в моделях M/L и M/L+ γ . Размерность постоянной Хаббла везде (km/s/Mpc). Полученные значения постоянной Хаббла с учетом наиболее достоверной его величины $H_0 = 72 \pm 8$ (km/s/Mpc) [11] позволяют нам утверждать, что сингулярные изотермические модели наиболее адекватно описывают модель линзы в ГЛС UM673.

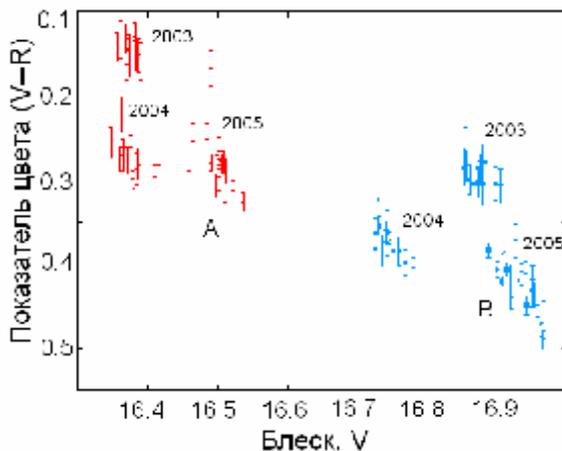


Рис.3. Зависимость показателя цвета ($V-R$) компонент UM673 от звездной величины в V фильтре.

Любопытная картина получилась, когда нами была построена зависимость показателя цвета ($V-R$) от звездной величины в V фильтре (рис.3). Каждая группа точек соответствует отдельному году наблюдений. Поведение обоих компонентов почти идентичны, только смещение компоненты B несколько больше чем у A . Такое поведение цвета компонентов объясняется внутренней переменностью самого квазара, а не влиянием микролинзирования. Строить такие зависимости и судить о микролинзировании необходимо только с учетом времени задержки.

Третья глава посвящена исследованию ГЛС SBS0909 в рамках международного сотрудничества с нашими коллегами из Университета Кантария (Испания). Эта ГЛС была обнаружена в 1997 году [12] и состоит из двух изображений квазара ($z_q = 1.377$). Расстояние между компонентами $1.1''$, красное смещение галактики-линзы $z_g = 0.83$. Отношение потоков между компонентами в R фильтре или $\Delta m = m_B - m_A = 0.58^m$. В рамках модели SIE до нас было предсказано время задержки в диапазоне от $-10 \div -87$ дней. Знак “-” означает, что сигнал должен появиться сначала в слабой компоненте B и только

потом в А. Согласно результатам программы COSMOGRAIL в распределении значений времени задержки в SBS0909 есть две особенности, главная из которых это 2 пика около значений -80 и -45 дней, т.е. согласно этой программе время задержки должно быть между $[1\div 3]$ месяцев. Для анализа ГЛС SBS0909 у нас имелись два различных набора данных. Первый ряд был получен в период март–июнь 2003 года на 1.52-м Испанском телескопе обсерватории Калар-Альто, оборудованный ПЗС приемником Tektronics 1024x1024. Второй набор данных был получен в феврале-мае и октябрь-ноябре 2003 года на телескопе АЗТ-22. Предварительная обработка изображений содержала стандартные процедуры и выполнялась с помощью пакетов программ IRAF и MIDAS.

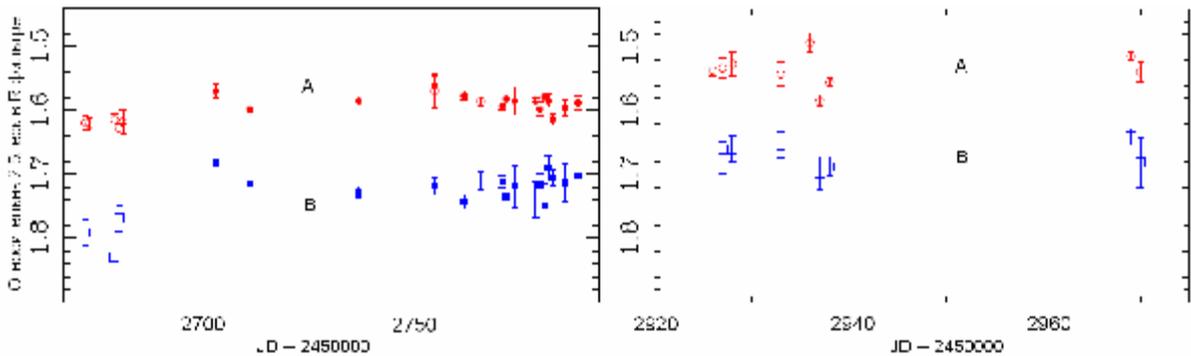


Рис.4. Кривая блеска в R фильтре для компонентов ГЛС SBS0909, наблюдавшейся в 2003 году. Кривая компоненты B смещена на величину -0.45^m . Левая кривая соответствует зимне-весеннему наблюдательному сезону, а правая осеннему.

Большинство полученных нами изображений SBS0909 не содержит следов линзирующей галактики из-за малой ее яркости. Максимальное ее влияние на компоненты будет $\sim 0.04^m$, а реальное его значение для обоих компонентов, естественно, намного меньше. Для получения кривых блеска компонентов A, B в SBS0909 был использован метод прямой подгонки ФРТ. Эти кривые в R фильтре показаны на рис.4. Для анализа времени задержки был использован зимне-весенний участок данной кривой, во-первых, из-за достаточно плотного набора данных, а во-вторых, в этот период наиболее четко видна переменность источника. Вычисления производились с помощью обычной минимизации χ^2 . При этом сравнивается кривая блеска компоненты A (или B) со смещенной по времени кривой блеска компоненты B (или A). Для данного смещения находится разница между звездными величинами двух компонентов, которая минимизируется χ^2 аналогично выражению (2). Для всего набора смещений можно получить соответствующий ряд минимумов χ^2 , что позволяет построить их спектр, т.е. зависимость χ^2 от смещения. Наиболее вероятным значением времени задержки будет считаться смещение соответствующее минимальному значению из спектра χ^2 . Эта процедура была опробована на 1000 случайных реализаций кривых блеска обоих компонентов, результаты вычислений представлены на рис.5.

Для распределения времени задержки характерна сильная несимметричность, а максимум, с достоверностью 55%, приходится на значение -44 ± -45 дней. А если учесть ошибки вычислений, то получится, что время задержки $\Delta t_{BA} = -44_{-11}^{+1}$ дням. Подобный результат получится и на основе

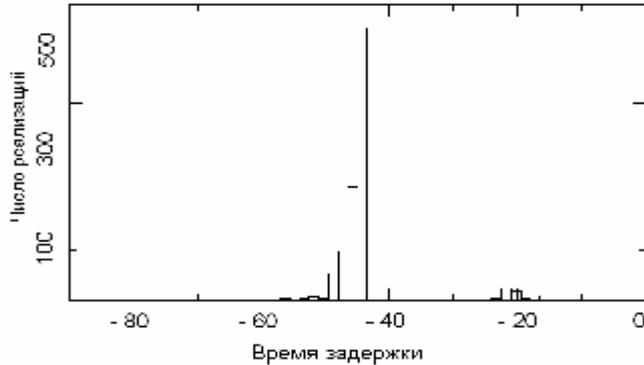


Рис.5. Гистограмма 1000 реализаций кривой блеска и минимизации χ^2 .

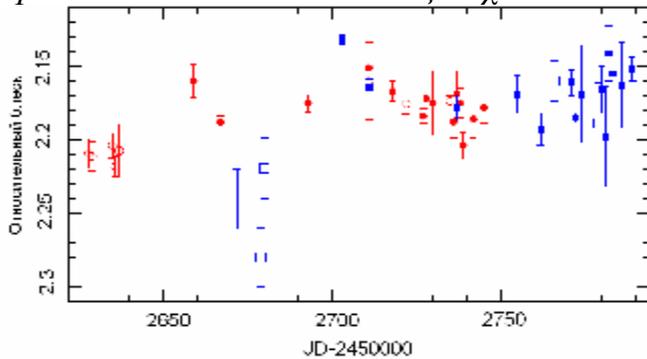


Рис.6. Кривая блеска источника-квазара в ГЛС SBS0909 с учетом времени задержки $\Delta t = -44$ дней.

других методов. Например, метод спектральной дисперсии дает $\Delta t_{BA} = -48_{-6}^{+7}$ дней. На рис.6 показана общая кривая блеска источника-квазара в SBS0909, полученная в результате смещения компоненты А (кружочки) назад по времени на $\Delta t = -44$ дня. Корреляция показывает, что начальные изменения яркости компоненты В вполне согласовываются с конечными флуктуациями яркости компоненты А. Найденное нами время задержки прямо согласуется с результатами работы [10], где с помощью модели SIE было показано, что $\Delta t = (-34 \pm 27)/h$, откуда $H_0 = 75 \text{ km/s/Mpc}$. Как видно, величина времени задержки в ГЛС SBS0909 равно $\Delta t_{BA} = -44_{-11}^{+1}$

дням подтверждается как кривыми

блеска, так и численной моделью этой системы.

Четвертая глава посвящена исследуемым двух явлениям в ГЛС Q2237 (Крест Эйнштейна). Этот квазар был открыт в 1984 году, причем наблюдения показали, что на фоне центральной части галактики ($z_g = 0.039$) проявляются расположенные почти симметрично на максимальном расстоянии $1''.7$ друг от друга четыре компоненты квазара с $z_q = 1.695$ [13]. Эта ГЛС очень удобна в плане исследования микролинзирования. Из-за коротких временных задержек (порядка суток и меньше) переменность квазара должна проявляться практически одновременно во всех компонентах, поэтому любая переменность только в одной компоненте должна быть отнесена к микролинзированию. Вероятность обнаружения микролинзирования в Q2237 с большим усилением намного больше, чем у других ГЛС – ожидаемое число микролинзирования примерно 0.3 событий в год на одну компоненту. Поэтому мониторингу этого объекта уделяется очень много внимания, в частности на Майда-накской обсерватории, где ее начали наблюдать с 1995 г. За эти годы были получены существенные результаты, например, были найдены цветовые из-

менения компонентов в 1999 г. Эти изменения были свидетельством микролинзирования в этой системе. Анализ результатов наблюдений 2002–2003 г.г. показал, что яркость компонентов *A, C* и *D* уменьшилось между двумя эпохами, а вот *B* компонента не изменилась. В данной работе используются наблюдательные данные за период с июня по октябрь 2003 г. Наблюдения велись в *V, R* и *I* фильтрах почти ежедневно, насколько позволяла погода. ГЛС Q2237 – один из самых проблематичных ГЛС в плане фотометрического анализа из-за присутствия яркой фоновой галактики спирального типа и очень компактного расположения 4 компонентов. Для фотометрической обработки данных применялся метод описанный в [14]. Этот метод использует известные относительные координаты компонентов и аналитическую модель распределения яркости в галактике, представляющую собой сумму трех двумерных функций Гаусса. Соответствие модельного распределения яркости наблюдаемому распределению проверяется минимизацией суммы квадратов остатка вычитания:

$$\Phi(\mathbf{p}) = \sum_i \sum_j (F(i, j) - f(i, j))^2 = \min \quad (6)$$

где $F(i, j)$ – наблюдаемое распределение яркости, $f(i, j)$ – модельное, под \mathbf{p} понимаются все неопределенности. В результате получились кривые блеска всех четырех компонентов ГЛС Q2237+030, показанные на рис.7.

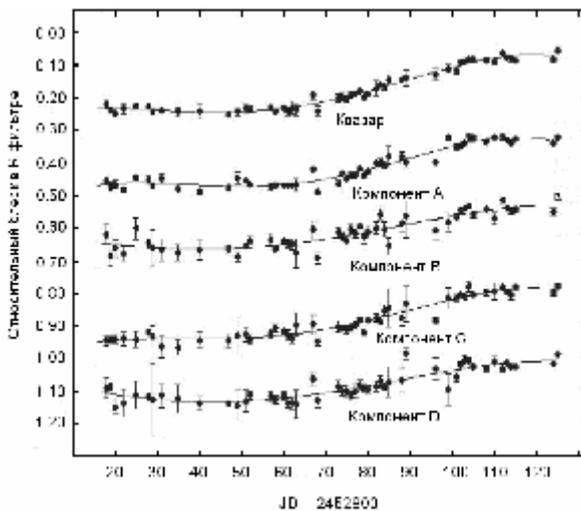


Рис.7. Изменения яркости компонентов *A, B, C, D* и системы в целом в *R* фильтре.

Для удобства восприятия они сдвинуты произвольно по оси звездных величин. Верхняя кривая – полная кривая блеска системы в целом с вычетом интенсивности галактики. Также показаны сглаженные кривые, полученные полиномом пятой степени. Видно, что все кривые хорошо коррелируются между собой. Это свидетельствует о чрезвычайно слабом влиянии микролинзирования. Квазар показывает активное изменение блеска с амплитудой $\sim \Delta m = 0.15^m$ и темпом переменности 0.003^m в день. Это почти в пять раз больше, чем переменность, наблюдавшаяся в 1994 году. Средние темпы этих изменений соответственно компонентам *A, B, C* и *D* равны 0.000136^m , 0.000125^m , -0.000251^m и 0.000264^m в день. Учитывая вклад микролинзирования можно попробовать вычислить время задержки между компонентами. Для этого мы использовали следующий подход. Мы предположили, что изменения яркости квазара довольно медленны и поэтому их можно представить полиномом четвертого

Для удобства восприятия они сдвинуты произвольно по оси звездных величин. Верхняя кривая – полная кривая блеска системы в целом с вычетом интенсивности галактики. Также показаны сглаженные кривые, полученные полиномом пятой степени. Видно, что все кривые хорошо коррелируются между собой. Это свидетельствует о чрезвычайно слабом влиянии микролинзирования. Квазар показывает активное изменение блеска с амплитудой $\sim \Delta m = 0.15^m$ и темпом переменности 0.003^m в день. Это почти в пять раз больше, чем пере-

или пятого порядка. Тогда, представляя изменения яркости одной из компонент, например A , в виде гладкой кривой $f_A(t)$, мы можем вычислить нормализованную кросскорреляционную функцию (НККФ) этой гладкой кривой с реальной кривой блеска другой компоненты, скажем, B , представленный дискретными данными:

$$k(\Delta t) = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [f_A(t_i + \Delta t) - \bar{f}_A(\Delta t)][m_B(t_i) - \bar{m}_B]}{\sqrt{\sigma_f^2 + \sigma_m^2}} \quad (7)$$

где $m_B(t_i)$ - дискретные данные яркости в момент времени t_i , $f_A(t_i + \Delta t)$ - соответствующие значения аппроксимированного полинома в момент времени $t_i + \Delta t$, \bar{f}_A и \bar{m}_B - их средние значения, Δt - время сдвига. При этом мы использовали не только наши данные, но и фотометрические результаты программы OGLE. Для каждого набора был выполнен поиск времен задержки для трех пар компонентов BA, CA и DA и их средние. Однако ошибки измерений оказались очень большими. Самый лучший результат для пары CA составляет $\Delta t = 35 \pm 30$ часов, а для других пар ошибки во много раз больше самих значений. Это свидетельствует о том, что для измерений времени задержки в ГЛС Q2237 недостаточно даже ежедневных наблюдений. В связи с этим нами была предложена следующая стратегия для наблюдательного определения времени задержки в ГЛС Q2237+030:

- Так как переменность квазаров становится более активной по мере смещения в коротковолновую часть спектра наблюдения этой системы должны вестись в более коротковолновых диапазонах, насколько это возможно;
- Мониторинг должен вестись в течение нескольких недель с интервалом в несколько часов;
- Наблюдения должны проводиться при высоком атмосферном качестве, а фотометрическая точность должна быть 0.005m и лучше.

В Заключение приводятся выводы и перечисляются основные результаты, полученные в этой диссертации (см. стр. 16)

Цитируемая литература

1. Блиох П. В., Минаков А.А. Гравитационные линзы. – К.: Наукова думка, 1989. – 239 с.
2. Schneider P., Ehlers J., Falco E.E. Gravitational Lenses. – Berlin – Heidelberg– New York: Springer-Verlag, 1992. – 560 p.
3. Zwicky F. On the Probability of Detecting Nebulae Which Act as Gravitational Lenses // Phys. Rev. Lett., 1937, v. 51, No 8, p. 679.
4. Wambsganss J. Gravitational Lensing//Astrop.&Sp.Sci.,2001,v.278,p. 123

5. Sinachopoulos D., Nakos Th., et al. Photometric Variability of the Gravitational Lens 0142-100 (UM 673) // *Astron.J*, 2001, v. 122, p. 1692
6. Nakos Th., Courbin F., et al. Photometric monitoring of the doubly imaged quasar UM 673: possible evidence for chromatic microlensing // *A&A*, 2005, v. 441, p. 443
7. Surdej J., Magain P., et al. Observations of the new gravitational lens system UM 673 = Q 0142-100 // *A&A*, 1988, v. 198, p. 49
8. Walsh D., Carswell R.F., Weymann, R.J. 0957+561 A,B: twin quasistellar objects or gravitational lens? // *Nature*, 1979, v. 279, p. 381
9. Wisotzki L., Becker T., et al. Integral field spectrophotometry of gravitationally lensed QSOs with PMAS // *Astron.Nachr.*, 2004, v. 325, p.135
10. Lehar J., Falco E., et al. Hubble Space Telescope Observations of 10 Two-Image Gravitational Lenses // *ApJ*, 2000, v. 536, p. 584
11. Freedman W.L., Madore B.F., Gibson B.K., Ferrarese L. et al. Final results from the Hubble Space Telescope key project to measure the Hubble constant // *ApJ*, 2001, v. 553, p. 47
12. Kochanek C., Falco E., et al. SBS 0909+532: A New Double Gravitational Lens or Binary Quasar? // *ApJ*, 1997, v. 479, p. 678
13. Adam G., Bacon R., et al. Observations of the Einstein Cross 2237+030 with the TIGER Integral Field Spectrograph // *A&A*, 1989, v.208, p. 15
14. Vakulik V., Schild R., Dudinov V., et al. Color effects associated with the 1999 microlensing brightness peaks in gravitationally lensed quasar Q2237+0305 // *A&A*, 2004, v. 420, p. 447

3. Заключение

В заключении данной диссертационной работы перечислены полученные основные результаты:

- 1) Получен длительный наблюдательный ряд для ГЛС UM673. Мониторинг компонентов этой системы в R фильтре проводился впервые.
- 2) Показано, что квазар UM673 имеет многолетнюю переменность. Найдена амплитуда вариаций яркости квазара ($\sim 0.4^m$) и вероятное значение периода переменности его цвета ($T \sim 1500$ дней).
- 3) Впервые на основе наблюдений найдено значение времени задержки в ГЛС UM673, $\Delta t = 106.8 \pm 17$ дней.
- 4) Показано, что сингулярные изотермические модели (SIE и SIS) наиболее точно описывают наблюдаемую картину в ГЛС UM673.
- 5) Наблюдательное время задержки и теоретическая модель позволили получить новое значение постоянной Хаббла $H_0 = 74 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$.
- 6) Анализ кривых блеска и цвета компонентов UM673 не показал явных свидетельств наличия микролинзирования. Зависимость цвета от блеска объясняется внутренней переменностью источника квазара.

- 7) Впервые получены мониторинговые данные для ГЛС SBS0909 в R и V фильтрах.
- 8) Найдено, что амплитуда изменений яркости источника-квазара примерно $\sim 0.05^m \div 0.075^m$.
- 9) Впервые наблюдательно найдено время задержки в SBS0909. Анализ кривых блеска компонентов SBS0909 убедительно показывают время задержки равное $\Delta t_{BA} = -44_{-11}^{+1}$ дней (компонента B лидирующая).
- 10) Были проведены вычисления времени задержки между тремя парами компонентов в Q2237. Результирующие ошибки оказались очень большими, самый лучший результат у пары SA, где $\Delta t = 35 \pm 30$ часов.
- 11) Предложена стратегия наблюдений Q2237 с целью определения более точных значений времени задержки. Основной момент в котором это то, что наблюдения должны вестись в максимально возможно коротковолновой части спектра в течение нескольких недель с интервалом в несколько часов, естественно при самых благоприятных атмосферных условиях.
- 12) Нами найдено, что микролинзирование в Q2237 есть. Однако его темп намного отстает от темпа изменений блеска компонентов ($dm \sim 0.00025^m$ в день).
- 13) Найдено, что для фотометрической обработки двойных ГЛС, таких как UM673 и SBS0909 наиболее подходит, или, по крайней мере можно ограничиться методом ФРТ пригонки, что дает вполне приемлемые фотометрические результаты. В данном случае можно также пренебречь присутствием слабой линзирующей галактики между компонентами, так как это лишь незначительно (в пределах ошибок измерений) повлияет на цвета компонентов, но не на их переменность
- 14) Для вычисления времени задержки в случае SBS0909 и Q2237 мы применяли метод корреляции между кривыми блеска соответствующих компонентов. Однако в случае UM673 нами был предложен метод определения времени задержки путем вычисления сглаженной функции кривой цвета квазара в целом с помощью разложения в ряд Фурье.

Рекомендации: Созданный банк наблюдательных данных по трем ГЛС и найденные на его основе значения времени задержки особенно в ГЛС UM673 и SBS0909 нужно дальше применять для исследования переменности соответствующих источников-квазаров, что позволит определить их физические характеристики. А для точного определения времен задержки в ГЛС Q2237 нужно наблюдать ее с интервалом лишь несколько часов и согласно приведенным выше рекомендациям. Основные результаты диссертации могут быть использованы в ГАИШ МГУ, ГАО АН России, АО ХГУ, РИ НАН Украины, АИ АН РУз, НУУз, а также в специальных курсах для студентов и магистрантов по направлению “астрономия”.

4. Список опубликованных работ по теме диссертации

1. **Ахунов Т.А.**, Нуритдинов С.Н., Бурхонов О.А., Миртаджиева К.Т. О наблюдениях гравлинзы UM673 на АЗТ-22 Майданакской обсерватории в 2003 г. // Сб.: Современные проблемы астрономии в Узбекистане, Ташкент, 2004, стр. 53-55.
2. Нуритдинов С.Н., **Ахунов Т.А.**, Гайнуллина Э.Р., Миртаджиева К.Т., Таджибаев И.У. О наблюдениях гравитационных линз на Майданакской обсерватории: предварительные результаты по проекту DFG // Сб.: Современные проблемы астрономии в Узбекистане, Ташкент, 2004, с. 17-21.
3. **Ахунов Т.А.** Проблемы гравитационного микролинзирования излучения квазаров // Вестник НУУз, 2005, №3, с.24-26
4. Gaynullina E. R., Schmidt R. W., **Akhunov T.**, Burkhonov O., Gottlöber S., Mirtadjieva K., Nuritdinov S. N., Tadjibaev I., Wambsganss J., and Wisotzki L., Microlensing in the double quasar SBS 1520+530 // Astronomy and Astrophysics, 2005, vol. 440, p.53-58
5. Ullan A., Goicoechea L. J., Zheleznyak A. P., Koptelova E., Bruevich V.V., **Akhunov T.** and Burkhonov O.. Time delay of SBS 0909+532 // Astronomy and Astrophysics, 2006, vol. 452, p.25-35.
6. Vakulik V., Schild R., Dudinov V., Nuritdinov S., Tsvetkova V., Burkhonov O., **Akhunov T.** Observational determination of the time delays in gravitational lens system Q2237+0305 // Astronomy and Astrophysics, 2006, vol 447, p.905-913.
7. **Ахунов Т.А.**, Нуритдинов С.Н., Сергеев А., Бурхонов О., Миртаджиева К.Т., Таджибаев И.У., Бруевич В.В., Мирзаев Ас.Т., Коршунова Н.А. Гравитационно линзированная система UM673: обработка данных наблюдений // Узбекский физический журнал, 2007, Том9, №5-6, с. 291
8. **Ахунов Т.А.**, Миртаджиева К.Т., Нуритдинов С.Н. Об эффектах микролинзирования и времени задержки в гравитационно- линзированных системах // Сб.: Экспериментальная и теоретическая физика, Ташкент, 2007, с. 39-43

Личный вклад автора. В период с 2003-2006 г.г. автор диссертации регулярно участвовал в наблюдениях избранных ГЛС на 1.5-м телескопе Майданакской обсерватории. Примерно 25%–30% собранного материала в указанный период принадлежит автору данной работы. В той же пропорции доля автора в материалах, опубликованных во всех работах. Из опубликованных статей 7 были написаны совместно. В работах [5,6] автор выполнил соответствующие наблюдения, частично обработку и участвовал в обсуждениях. В статье [7] большая часть работы принадлежит автору диссертации, им

полностью выполнена фотометрическая обработка, проводились соответствующие расчеты для времени задержки и модели линзы, текст написан совместно с научным руководителем С.Н.Нуритдиновым. В [4] автор выполнял предварительную обработку, участвовал в обсуждениях результатов. Идея работ [1,2,8] принадлежит научному руководителю С.Н.Нуритдинову, а автору принадлежат наблюдательные данные, а также он участвовал в предварительной обработке данных и обсуждении результатов. На всех конференциях, где представлялись результаты работы, доклады были сделаны лично автором диссертации.

* * *

Автор хотел бы выразить глубокую признательность своему научному руководителю профессору С.Н. Нуритдинову, заведующему отделом Галактической астрономии и космогонии Астрономического института АН РУз за постановку задачи и обсуждение результатов. Выражаю благодарность директору Астрономического института АН РУз, профессору Ш.А.Эгамбердиеву за поддержку, искреннее внимание к моей работе и полезные советы. Необходимо отдельно отметить роль моих коллег О.А.Бурханова, И.У.Таджибаева, А.Сергеева, В.Бруевича и других за их огромный вклад в накоплении наблюдательного материала. На ряду с этим надо отметить помощь в наблюдениях сотрудников Майданакской астрофизической обсерватории А.Алиева и Б.Хафизова. Автор благодарит участников семинаров Астрономического института АН РУз, кафедры Астрономии НУУз и Астрофизического семинара ТГПУ за полезные советы, замечания и обсуждения.

* * *

Физика-математика фанлари номзоди илмий даражасига талабгор Ахунов Талъат Ахматовичнинг 01.03.02 – Астрофизика, радиоастрономия ихтисослиги бўйича “**Танланган гравитацион линзаларда кечикиш вақтини ва микролинзаланиш эффектини тадқиқ қилиш**” мавзусидаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч (энг муҳим) сўзлар: Гравитацион линзаланган системалар (ГЛС), квазарлар, рақамли фотометрия, кечикиш вақти, микролинзаланиш.

Тадқиқот объектлари: ГЛСлар UM673, SBS0909, Q2237.

Ишнинг мақсади: Ишнинг мақсади танланган ГЛСнинг кўпрангли фотометриясини олиб бориш, ПЗС-тасвирларининг фотометрик тахлилини ўтказиш, ГЛС компоненталарининг равшанлик эгри чизиғини ҳосил қилиш ва уни таҳлил этиш, ушбу системаларда мос равишда кечикиш вақтини ҳисоблаш, микролинзаланиш муаммосини муҳокама қилиш ва Хаббл доимийсини ҳисоблашлардан иборат.

Тадқиқот усули: Юқори даражада фарқлаш хусусиятига эга бўлган кўп-рангли ПЗС-кузатув усуллари, ПЗС-тасвирларнинг фотометрик усуллари, математик моделлаштириш усуллари.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: ГЛС UM673, SBS0909 ва Q2237 бўйича маълумотлар базаси яратилди. ГЛС UM673 ва SBS0909 учун биринчи бор кузатув маълумотлари асосида кечикиш вақти қўлга киритилди. Хаббл доимийсининг янги қиймати топилди. Натижалар UM673 да линзаловчи галактиканинг моделини аниқ топишга имкон берди. Кечикиш вақти қиймати биринчи бор ранг кўрсаткичининг эгри чизиғи ва Фурье қатори ёрдамида топилди. Q2237 ГЛС компоненталарининг эгри чизиқлари тахлили орқали бу компоненталар орасидаги кечикиш вақти аниқланиб, янги кузатув принциплари тавсия қилинди.

Амалий аҳамияти: Ушбу ишнинг илмий аҳамияти, авваламбор, танланган ГЛС бўйича қўлга киритилган кузатув маълумотлари билан белгиладнади. Улар мавжуд бўлган маълумотлар базасини кескин даражада тўлдирди ва унинг кейинги тадқиқотига тўлдирилишига ва бошқа ГЛСни ўрганишга асос бўлади. ГЛСда топилган кечикиш вақти қийматлари келгусида уларда микролинзаланишни аниқлашда қўл келади ва улардаги манба-квазар физикасини батафсил ўрганишда асос бўлиб хизмат қилади.

Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: Диссертация кузатув – назарий тавсифга эга. Унинг натижалари квазар ва гравитацион линзаларни тадқиқ этишда қўлланилади. Бу илмий натижалар Ўзбекистон Миллий Университетида бакалавриатура ва магистратура доирасида ўқиладган “Квазарлар ва гравитацион линзалар физикаси” махсус курсига киритилди.

Қўлланиш соҳаси: Космология, Галактикадан ташқари астрономия.

Р Е З Ю М Е

диссертации Ахунова Талъата Ахматовича на тему “**Исследование времени задержки и эффекта микролинзирования в избранных гравитационных линзах**” на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – Астрофизика, радиоастрономия.

Ключевые слова: Гравитационно линзированные системы (ГЛС), квазары, цифровая фотометрия, время задержки, микролинзирование

Объекты исследования: ГЛС UM673, SBS0909, Q2237.

Цель работы: Целью исследований является проведение многоцветного мониторинга избранных ГЛС, фотометрическая обработка ПЗС-изображений, построение и анализ кривых блеска компонентов отдельных ГЛС, вычисление соответствующих значений времени задержки в этих системах, обсуждение проблемы микролинзирования в них и расчет постоянной Хаббла.

Метод исследования: Методы многоцветных ПЗС-наблюдений с высоким разрешением, фотометрические методы ПЗС-изображений, методы математического моделирования.

Полученные результаты и их новизна: Создана база данных по ГЛС UM673, SBS0909 и Q2237. Впервые получено наблюдательное значение времени задержки в ГЛС UM673 и SBS0909. Найдено новое значение постоянной Хаббла. Результаты позволили точно определить модель линзирующей галактики в UM673. Впервые значение времени задержки было измерено с помощью кривой показателя цвета и Фурье рядов. Путем анализа кривых блеска компонентов ГЛС Q2237 получены значения времен задержки между ее компонентами и предложить новые наблюдательные принципы.

Практическая значимость: Научная значимость этой работы определяется, прежде всего, полученными наблюдательными данными по избранным ГЛС. Они существенно дополнили существующую базу данных и стали основой для дальнейшего его изучения и исследования других ГЛС. Найденные нами значения времени задержки в ГЛС облегчат в дальнейшем выявление микролинзирования в этих системах и послужат основой для подробного изучения физики их источников-квазаров.

Степень внедрения и экономическая эффективность: Диссертация носит наблюдательно-теоретический характер. Его результаты используются при изучении квазаров и гравитационных линз. Эти научные результаты внедрены в специальный курс “Физика квазаров и гравитационных линз”, читаемых в рамках бакалавриатуры и магистратуры в Национальном Университете Узбекистана.

Область применения: Космология, внегалактическая астрономия.

R E S U M E

Thesis of Akhunov Talat Akhmatovich on the academic degree competition of the candidate of physics-mathematic sciences, speciality 01.03.02 – Astrophysics, radioastronomy subject: **“Research of time delay and microlensing effect in the selected gravitational lenses”**

Key words: Gravitational lensing systems (GLS), quasars, digital photometry, time delay, microlensing

Subjects of the inquiry: GLS UM673, SBS0909, Q2237.

Aim of the inquiry: The purpose of researches is carrying out of multi-colour monitoring of the selected GLS, photometric processing of CCD-images, construction and the analysis of light curves of the components of separate GLS, calculation of corresponding values of the time delay in these systems, discussion of a microlensing problem in them and calculation of the Hubble constant.

Method of inquiry: Methods of multi-colour CCD-observations with high resolution, photometric methods of CCD-images, methods of mathematical modeling.

The results achieved and their novelty:

The database on GLS UM673, SBS0909 and Q2237 is created. For the first time observant value of the time delay in GLS UM673 and SBS0909 is received. The new value of the Hubble constant is found. Results have allowed to determine precisely model of lensing galaxy in UM673. For the first time the value of time delay has been measured by means of colour index curve and Fourier series. By the analysis of light curves of GLS Q2237 components the values of time delays between its components are received and offered new observant principles.

Practical value: The scientific importance of this work is defined, first of all, by the received observant data on selected GLS. They have essentially added an existing database and became a basis for its further studying and detailed research of other GLS. The values of time delay found by us in GLS will facilitate in the further revealing of microlensing in these systems and will be a basis for detailed studying of physics of their sources-quasars.

Degree of embeds and economical efficacy: The dissertation has observant - theoretical character. Its results are used at studying of quasars and gravitational lenses. These scientific results are introduced in the special course “ Physics of quasars and gravitational lenses ”, reading in the range of baccalaureate and magistracy at National University of Uzbekistan.

Field of usage: Cosmology, extragalactic astronomy.

Соискатель:

Подписано к печати -- 01.03.2008. 1,5 п.л.
Формат 60x84 1/16. Тираж 100 экз.
Отпечатано в Астрономическом институте АН РУз

