Оптические осцилляции активных ядер и сверхвысокое угловое разрешение гравитационно-линзированных квазаров SDSS J1721+8842, SDSS J1433+6007 и SDSS J2145+6345

И.М. Асфандияров*,[1], Ш.А. Эгамбердиев[1] , M. Millon[2], F. Courbin[2]

[1]Астрономический институт им. Улугбека АН Узбекистана, ул. Астрономическая 33, 100052, Ташкент, Узбекистан
[2]Institute of Physics, Laboratory of Astrophysics, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Observatoire de Sauverny, 1290 Versoix, Switzerland

Получена 30.11.2020

* Corresponding author: e-mail ildar@astrin.uz

В работе представлены результаты обнаружения активной переменности и оптических осцилляций общих кривых блеска гравитационно-линзированных квазаров SDSS J1721+8842, SDSS J1433+6007 и SDSS J2145+6345 за период 2018-2020 гг. по наблюдениям с обсерватории Майданак. По наилучшим наблюдениям с телескопа АЗТ-22 с качеством seeing=0.6–0.7” с последующей цифровой обработкой получены изображения сверхвысокого углового разрешения со значением FWHM=0.26” отдельных линзированных компонентов и их кривые блеска. Получена прецизионная астрометрия отдельных линзированных компонентов, позволившая оценить точность измерений ±0.015”. Определена собственная активная оптическая переменность компонентов линзированных квазаров, характеризующих нестационарные процессы и осцилляции в результате переменного энерговыделения в активных ядрах и в аккреционных дисках вокруг сверхмассивных черных дыр. Определена последовательность переменности линзированных компонентов A-C-B-D SDSS J1721+8842 с задержкой времени: AC=–8.5±1.7 дней, AB=–10.3±1.7 дней и AD=–18.7±2.8 дней.

Ключевые слова: гравитационно-линзированный квазар, цифровая обработка изображений.

The paper presents the results of the detection of active variability and optical oscillations of the general light curves of gravitationally lensed quasars SDSS J1721+8842, SDSS J1433+6007 and SDSS J2145+6345 for the period 2018–2020 based on observations from the Maidanak observatory. Based on the best observations from the AZT-22 telescope with a quality of seeing=0.6–0.7”, followed by digital processing, ultra-high angular resolution images with a value of FWHM=0.26” of individual lensed components and their light curves were obtained. Precision astrometry of individual lensed components was obtained, which made it possible to estimate the measurement accuracy of ±0.015”. The intrinsic active optical variability of the components of lensed quasars that characterize nonstationary processes and oscillations resulting from variable energy release in active nuclei and accretion disks around supermassive black holes is determined. The sequence of variables of the lensed components A-C-B-D of SDSS J1721+8842 with a time delay is determined: AC=–8.5±1.7 days, AB=–10.3±1.7 days, and AD=–18.7±2.8 days.

Keywords: gravitationally-lensed quasar, digital image processing.

I. Введение

В настоящее время исследования гравитационно-линзированных квазаров (ГЛК) с обнаружением активной оптической переменности приобретают все больший астрофизический интерес в связи с нарастающим увеличением точности измерений константы Хаббла, H_0. Последовательное повышение точности измерений H_0 различными методами выявило разность 4.0 σ – 6.1 σ (рис. 1) в рамках общепринятой стандартной Λ-CDM модели Вселенной между измерением H_0 для ранней Вселенной с космической миссии Plank на основе флуктуаций микроволнового реликтового излучения (CMB), и ряда измерений H_0 для поздней Вселенной по локальным методам звезд типа цефеид, сверхновых, гравитационного линзирования ГЛК и др. [1]. Таким образом, дальнейшие исследования могут послужить как выявлению неучтенных или новых физических явлений и их возможного систематического влияния в одном или в обоих направлениях измерений H_0 для ранней и поздней Вселенной, так и пересмотру всей стандартной Λ-CDM модели и, возможно, открытию новой физики космологии.

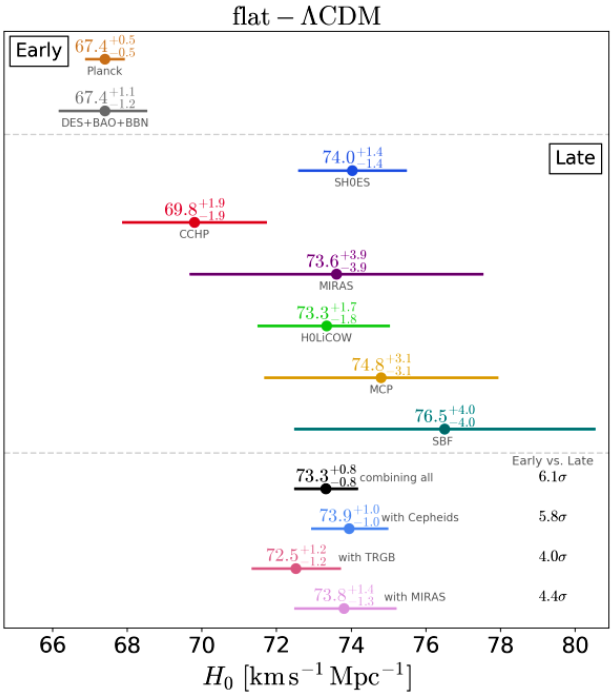

Рисунок 1. Разность измерений константы Хаббла H_0 для ранней (early) и поздней (late) Вселенной.

В связи с этим в настоящее время существенно возрос объем исследований в различных независимых направлениях измерений H_0, в том числе на основе гравитационного линзирования и ГЛК, позволяющих проводить измерения H_0 напрямую, в отличие от других локальных методов измерений, опирающихся на промежуточные калибровки. Также это обусловлено резким ростом обнаружения новых ГЛК [2] за последние годы и развитием новых методов цифровой обработки и анализа данных наблюдений для повышения углового разрешения [3, 4]. Возможность получения сверхвысокого углового разрешения необходимо для разделения компонентов и измерений времени задержки между ними с высокой точностью с использованием также интенсивных методик наблюдений и современных статистических методов анализа и программ [5, 6].

Под сверхвысоким угловым разрешением понимается возможность существенного повышения углового разрешения цифровых изображений ГЛК для данной обсерватории, данного телескопа и камеры, превышающего возможный фактический предел. Это становится возможным с применением современных цифровых методов обработки по принципу обращения математической свертки, называемой в зарубежной литературе деконволюцией, в частности, методы MCS [2] и FIREDEC [3], с детальным учетом инструментального профиля точечных источников по отдельным звездам, фильтрации шумов с разделением на точечные составляющие и фон галактики.

Так, например, для данных наблюдений ГЛК с обсерватории Майданак с предельным разрешением для 1.5 м телескопа АЗТ-22 на изображениях с качеством seeing~0.6–0,7” методом MCS деконволюции удается “восстановить” размытое атмосферой изображение до значения FWHM=0.26” точечных компонентов ГЛК, а также в основном удается выявить линзирующую галактику. Достоверность таких изображений со сверхвысоким разрешением подтверждается анализом изображений остатков фона χ^2 в результате работы программы MCS с последовательным итеративным приближением к минимизации и также в сравнении с прямыми изображениями ГЛК с космического телескопа Хаббла (КТХ). Такое высокое угловое разрешение необходимо для разделения отдельных точечных компонентов ГЛК с

© Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2020 г.

целью фотометрии и определения точных значений времени задержки для последующего вычисления H_0.

Таким образом, в результате совместного анализа данных ряда ГЛК в рамках проектов COSMOGRAIL и H0LiCOW по наблюдениям с нескольких обсерваторий, в том числе с обсерватории Майданак, ГЛК HE 0435−1223 и SDSS J1206+4332 получено определение H_0 с ошибкой 2.4% и выявлена разность в 5.3σ между ранней и поздней Вселенной [7, 8]. Это приводит к выводу, что Вселенная расширяется быстрее, чем ожидалось [9]. В связи с этим возникли вопросы о возможном влиянии неучтенных физических явлений, как возможное влияние гало темной материи линзирующей галактики и других эффектов, или систематики в методах измерений H_0 по гравитационному линзированию. Эти вопросы рассмотрены в рамках проекта TDCOSMO – космография времени задержки и моделирование [10-15].

На точность измерений в ГЛК также возможно влияние эффекта времени задержки микролинзирования. Это обусловлено вкладом различной оптической переменности микролинзирования аккреционного диска квазара для отдельных компонентов ГЛК. Учет этого позволит также оценить размеры аккреционного диска в случае получения наблюдений ГЛК в различных диапазонах длин волн и различных фильтрах [16].

II. Основная часть

До настоящего времени обнаружено 220 ГЛК обзорными миссиями GAIA [17-19], DES, SDSS и других. При этом около 100 из них обнаружены за последние два-три года, в числе которых 6-ти компонентный двойной линзированный квазар SDSS J1721+8842, 4-х компонентный SDSS J1433+6007 и 4-х компонентный SDSS J2145+6345, исследуемые в данной работе по наблюдениям с обсерватории Майданак. SDSS J1721+8842 и SDSS J1433+6007 наблюдались в обсерватории Майданак с 2018 по 2020гг., а SDSS J2145+6345 был недавно обнаружен и наблюдения были начаты в 2020 г.

Таким образом, в связи с возросшими требованиями к измерениям времени задержки в ГЛК, необходимых для прямой оценки H_0, и ростом общего количества обнаруживаемых ГЛК, в том числе и в северном полушарии, где наилучшим местом наблюдений в данной географической области остается обсерватория Майданак [20], возникает потребность в “быстрых” и точных измерениях времен задержек за 1-2 сезона наблюдений, возможного при более высокочастотном режиме (high-cadence mode) еженочных наблюдений. Такие интенсивные наблюдения позволяют надеяться на выявление быстрой собственной “внутренней” (intrinsic) переменности линзированных компонентов ГЛК по сравнению с ожидаемой, более медленной “внешней” (extrinsic) переменностью компонентов в результате различного внешнего влияния на них эффектов микролинзирования в линзирующей галактике.

Наблюдения исследуемых ГЛК в обсерватории Майданак проводили в период 2018-2020 гг. на телескопе АЗТ-22 с камерой SNUCAM 4Kx4K в фильтре R. По результатам комплексной обработки данных в среде IRAF для работ с астрономическими изображениями получена кривая блеска ГЛК SDSS J1721+8842 (рис. 2) за период наблюдений с 25 мая 2018 г. по 15 ноября 2020 г., включающая общую переменность всех 6 линзированных компонентов ГЛК.

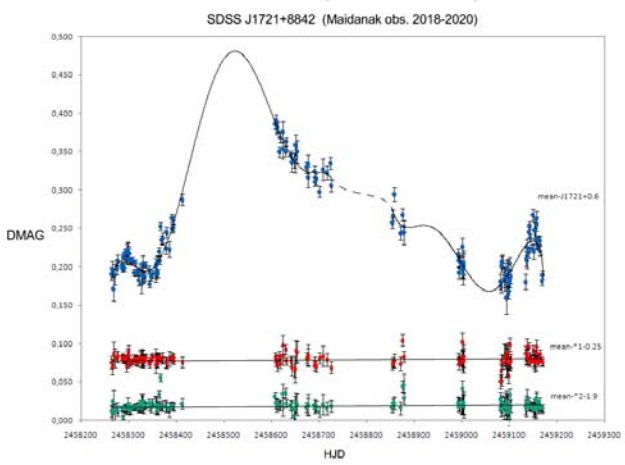

Рисунок 2. Кривая блеска общей переменности ГЛК SDSS J1721+8842 за 2018-2020 гг., аппроксимированная полиномами (вверху), и прямые первых двух постоянных звезд сравнения (внизу).

Дифференциальная фотометрия, характеризующая общую кривую блеска, проведена с апертурой измерений в 30 пикселей, составляющих ~8”, и выполнена относительно усредненного значения (mean) магнитуд 5 выбранных звезд сравнения и также с расчетом среднеквадратичных ошибок измерений. Кривые блеска периодов 2018-2019 гг. и 2020 г. аппроксимированы по отдельности полиномами 6-й степени (отделены пунктиром), отображающими характерную об-

© Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2020 г.

щую активную оптическую переменность амплитудой порядка 0.3 звездных величин и осцилляции, характеризующие переменное энерговыделение в акреционном диске данного линзированного квазара. Такая собственная относительно быстрая оптическая переменность с характерным временем порядка 10–30 дней по сравнению с ожидаемой медленной внешней переменностью порядка месяцев, обусловленной микролинзированием на звездах и их скоплениях в линзирующей галактике, позволит в дальнейшем по совместным результатам наблюдений вычислить время задержки с более высокой точностью.

Полученная кривая блеска ГЛК SDSS J1433+6007 (рис. 3) за период 2018-2020 гг. включает общую суммарную переменность всех 4 линзированных компонентов ГЛК.

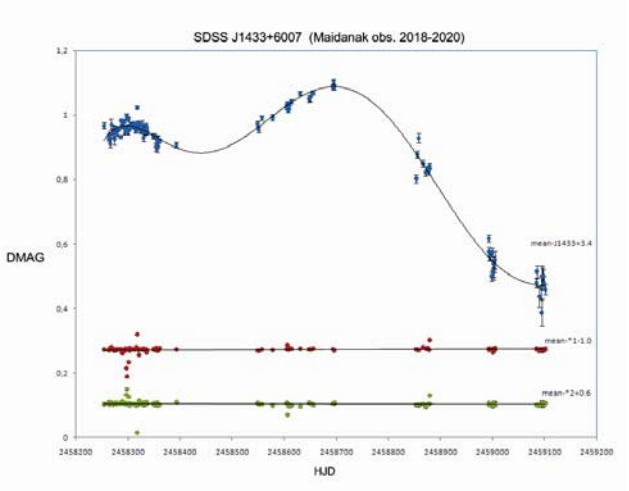

Рисунок 3. Кривая блеска общей переменности ГЛК SDSS J1433+6007 за 2018-2020 гг., аппроксимированная полиномом, и прямые звезд сравнения.

Кривая блеска аппроксимирована одним полиномом 6-й степени и отображает характерную активную оптическую переменность амплитудой порядка 0.5 звездных величин, но без существенных видимых осцилляций и уходом оптической яркости квазара в локальный минимум в конце 2020 г. Однако данное существенное уменьшение яркости, вполне возможно, будет продолжено ее активным повышением с определенными осцилляциями изменения яркости и частоты, необходимыми для точных измерений времени задержки в ГЛК SDSS J1433+6007, что требует дальнейших более интенсивных и непрерывных наблюдений.

Получена кривая блеска ГЛК SDSS J2145+6345 (рис. 4) за период 2020 г. которая включает также переменность всех 4 линзированных компонентов. Вся кривая блеска показывает рост оптической яркости порядка 0.2 звездных величин, но без выявления существенных осцилляций из-за больших перерывов в наблюдениях в 2020 г. Однако данный ГЛК имеет большую относительную яркость, что повышает точность измерений и, как показывает результат, обладает определенной оптической активностью.

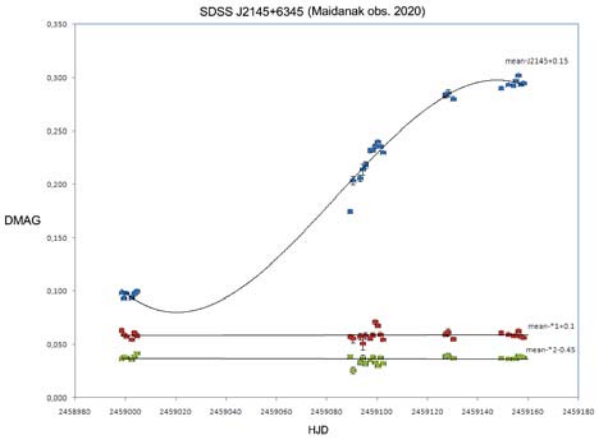

Рисунок 4. Кривая блеска общей переменности ГЛК SDSS J2145+6345 за 2020 г., аппроксимированная полиномом, и прямые звезд сравнения.

Продолжение непрерывных интенсивных наблюдений ГЛК SDSS J2145+6345 позволит получить высокоточное измерение времени задержки за 1–2 сезона наблюдений с обсерватории Майданак.

Получены результаты наилучших наблюдений исследуемых ГЛК (рис. 5, 6) с качеством seeing=0.6–0.7” и результаты цифровой обработки изображений методом MCS деконволюции. Это дало возможность получить разделение линзированных компонентов и получить сверхвысокое угловое разрешения с FWHM=0.266”.

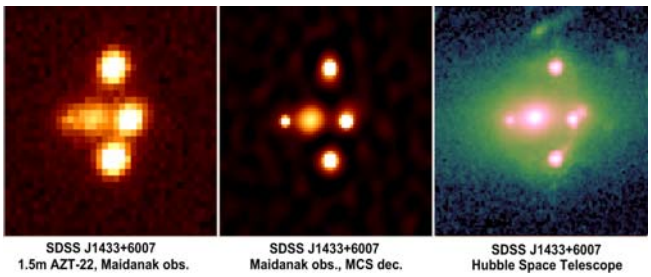

Рисунок 5. Результаты наблюдений и цифровой обработки ГЛК SDSS J1433+6007 в сравнении с прямым изображением с космического телескопа Хаббла [21, 22].

© Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2020 г.

В ГЛК SDSS J1721+8842 также ранее удалось оценить степень оптической переменности, выделить 6 точечных линзированных компонентов с линзирующей галактикой и определить ее профиль для моделирования [23, 24].

В ГЛК SDSS J1433+6007 удалось выделить 4 точечных линзированных компонента и также линзирующую галактику, позволивших провести сравнение с прямым изображением с КТХ.

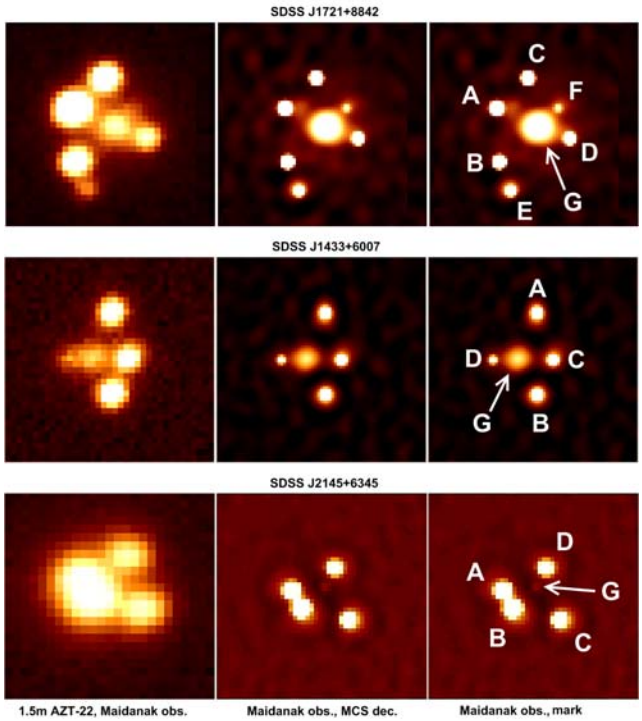

Рисунок 6. Результаты наилучших наблюдений ГЛК SDSS J1721+8842, SDSS J1433+6007 и SDSS J2145+6345 с обсерватории Майданак (слева), цифровой обработки изображений методом MCS деконволюции (в центре), отождествление линзированных компонентов ABCD и линзирующих галактик G (справа).

В ГЛК SDSS J2145+6345 удалось выделить 4 точечных линзированных компонента, но пока не удалось выделить саму линзирующую галактику из-за ее малой светимости. Дальнейшие наблюдения SDSS J2145+6345 с хорошим качеством seeing<1” в обсерватории Майданак должны позволить выделить данную линзирующую галактику и воссоздать ее профиль, необходимый для моделирования.

Для возможности дальнейшего моделирования ГЛК и вычисления H_0 необходима прецизионная астрометрия компонентов и профиль линзирующей галактики. С этой целью по результатам цифровой обработки скомбинированного множества наилучших изображений ГЛК SDSS J1721+8842, SDSS J1433+6007 и SDSS J2145+6345 с последующим использованием метода MCS деконволюции получена прецизионная астрометрия компонентов (таблица).

Таблица. Результаты астрометрии ГЛК изображений сверхвысокого разрешения.

SDSS J1721+8842

	X-XG	Y-YG	Δα_AZT(")	Δδ_AZT(")
A	13.831	6.109	1.840	0.813
B	12.995	–11.556	1.728	–1.537
C	3.364	16.073	0.447	2.138
D	–10.536	–3.846	–1.401	–0.512
E	9.114	–21.071	1.212	–2.802
F	–6.687	6.178	–0.889	0.822
G	0.0	0.0	0.0	0.0

SDSS J1433+6007

	Δα HST(”)	Δδ HST(”)	Δα AZT(”)	Δδ AZT(”)	Δα_HST-Δα_AZT	Δδ_HST-Δδ_AZT
A	-0.941	2.058	-0.940	2.037	-0.00054	0.02101
B	-0.943	-1.691	-0.940	-1.719	-0.00254	0.02780
C	-1.721	-0.083	-1.721	-0.101	0.00017	0.01799
D	1.075	-0.138	1.096	-0.138	-0.02050	-0.00037
G	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

STD_ Δα Δδ (HST-AZT)= 0.015”

SDSS J1433+6007 lensing galaxy G: α =218.345420 δ =60.120777 [22]

SDSS J2145+6345

	X-XG	Y-YG	Δα_AZT(")	Δδ_AZT(")
A	7.793	–0.923	1.036	–0.123
B	5.543	–5.062	0.737	–0.673
C	–5.692	–7.815	–0.757	–1.039
D	–2.326	4.523	–0.309	0.602
G	0.0	0.0	0.0	0.0

G-D: α=0.309±0.015” δ=–0.602±0.015”

Полученные прецизионные значения астрометрии ГЛК приведены относительно центра линзирующей галактики G, координаты которой приняты за 0.0”.

Для ГЛК SDSS J1721+8842 и SDSS J2145+6345 в первых двух столбцах приведены значения в пикселях ПЗС камеры обработанных изображений методом MCS(0.133”/pix), а в последующих двух значения в угловых секундах из расчета углового размера пикселя для АЗТ-22.

Для ГЛК SDSS J1433+6007 проведено сравнение результатов полученной астрометрии с

© Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2020 г.

последними опубликованными и уточненными данными астрометрии с КТХ [21, 22]. По результатам сравнения среднеквадратичное отклонение координат точечных компонентов A, B, C, и D для измерений КТХ-Майданак составило STD_ΔαΔδ(HST-AZT)=0.015".

Для ГЛК SDSS J2145+6345 по результатам астрометрии удалось оценить возможное местоположение линзирующей галактики G относительно компонента D: α=0.309±0.015" и δ=–0.602±0.015". Дальнейшие наблюдения этого объекта должны подтвердить и уточнить данное предположение.

Вычисление времени задержки требует разделения и фотометрии отдельных линзированных компонентов. По результатам MCS деконволюции всех данных наблюдений получены кривые блеска отдельных линзированных компонентов 3-х исследуемых ГЛК (рис. 7, 8 и 9), на основе которых по совместным данным с других обсерваторий планируется получение значений времени задержки с высокой точностью.

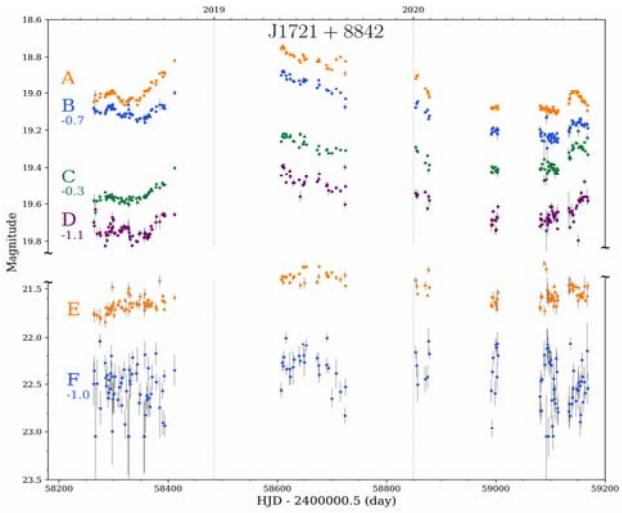

Рисунок 7. Кривые блеска компонентов A, B, C, D, E и F в ГЛК SDSS J1721+8842 за 2018-2020 гг, полученные методом MCS деконволюции.

Для всех компонентов ГЛК SDSS J1721+8842 выявлена общая внутренняя активная оптическая переменность квазара и влияние малой внешней переменности микролинзирования, которое при совместном анализе с данными других ведущих обсерваторий (Ла Пальма, телескоп NOT и др.) в дальнейшем должно позволить получить высокоточные измерения времени задержки.

Для ГЛК SDSS J1433+6007 пока не выявлены быстрая переменность и оптические осцилляции отдельных компонентов, но определенно прослеживается влияние микролинзирования, которое важно учитывать при вычислении времени задержки на основе будущих совместных данных с других обсерваторий. Для ГЛК SDSS J2145+6345 пока выявлен общий возрастающий тренд, однако требуются более интенсивные и непрерывные наблюдения с обсерватории Майданак.

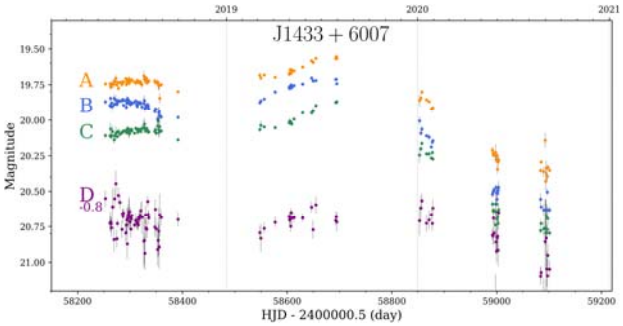

Рисунок 8. Кривые блеска компонентов A,B,C и D в ГЛК SDSS J1433+6007 за 2018-2020 гг.

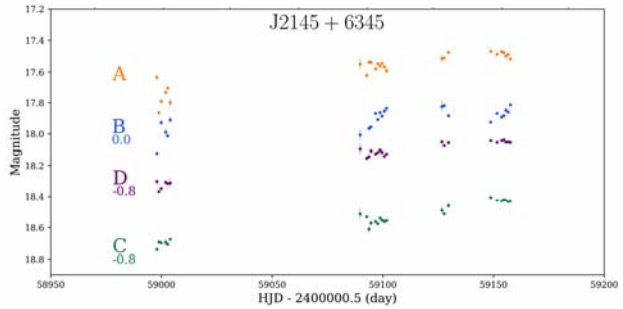

Рисунок 9. Кривые блеска компонентов A,B,C и D в ГЛК SDSS J2145+6345 за 2020 г.

Таким образом, с использованием метода MCS деконволюции определена собственная, активная оптическая переменность отдельных компонентов исследуемых линзированных квазаров, характеризующая нестационарные процессы энерговыделения в ядрах и в аккреционных дисках, окружающих сверхмассивные черные дыры, что позволит в дальнейшем определить время задержки с высокой точностью.

Исследование активных энергетических процессов в данных линзированных квазарах с учетом времени задержки также может более эффективно проводиться на телескопе АЗТ-22 включением UBVRI фотометрии и внедрением для этой цели систем автогидирования и автофокусировки

© Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2020 г.

изображений ГЛК, которые позволят получать экспозиции более 300 сек.

Также, на основе полученной прецизионной астрометрии возможно проведение спектральных наблюдений отдельных линзированных компонентов с применением стандартных 50 мкм оптических волокон [25]. Например, на основе полученных точных X, Y положений астрометрии компонентов ГЛК SDSS J1721+8842 (см. таблицу) возможно изготовление пластины с микроотверстиями для расположения торцов 7 волокон (рис. 10) для ввода в спектрограф и получение экспозиций до 1 часа и более.

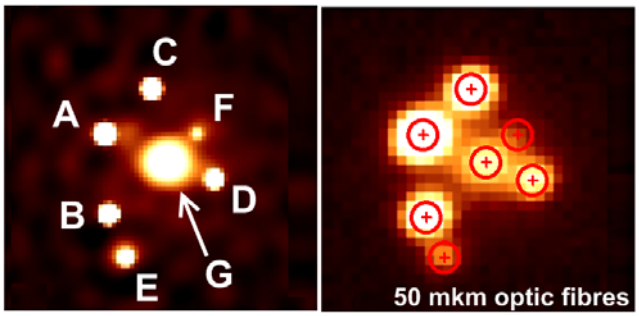

Рисунок 10. Изображение ГЛК SDSS J1721+8842 сверхвысокого разрешения с обозначениями (слева) и возможное расположение 50 мкм торцов оптических волокон в фокальной плоскости АЗТ-22 (справа) для спектральных исследований.

В результате совместной работы и комплексного анализа ГЛК SDSS J1721+8842 с коллегами из лаборатории астрофизики EPFL (Швейцария) получены оценки времени задержки между компонентами A, B, C и D с учетом компенсации микролинзирования кривых блеска (рис. 11).

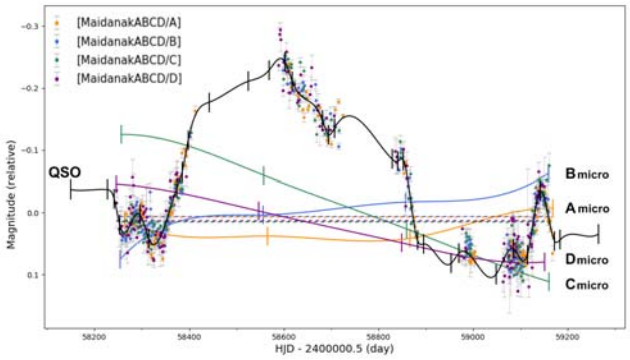

Рисунок 11. Определение собственной переменности квазара (QSO) и кривых микролинзирования (A, B, C, D micro).

Анализ кривых блеска проводился с применением техники аппроксимации сплайнами - гибкими кривыми с узловыми точками, специально разработанного программного обеспечения PyCS.

Данная техника позволяет корректно аппроксимировать различные кривые блеска наблюдаемой оптической переменности линзированных квазаров, отражающие реальные интенсивные физические процессы резкого энерговыделения в аккреционных дисках.

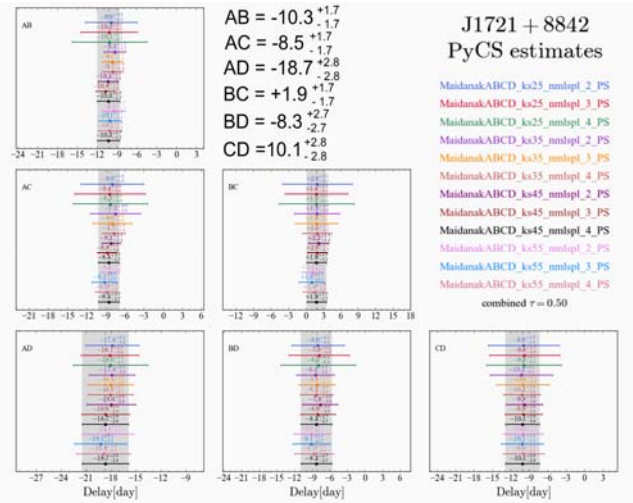

Рисунок 12. Результаты вычислений времени задержки ГЛК SDSS J1721+8842 (AB - CD) программой PyCS.

Таким образом, определены изменения яркости компонентов линзированного квазара SDSS J1721+884 в последовательности A-C-B-D с задержками времени: AC = –8.5±1.7 дней, AB = –10.3±1.7 дней и AD = –18.7±2.8 дней (рис. 12). Дальнейшие совместные наблюдения и более детальный анализ позволят повысить точность и достоверность полученных результатов.

III. Заключение

Высокочастотные интенсивные наблюдения ГЛК позволяют выявить быструю переменность линзированных квазаров и очень актуальны, так как должны позволить измерять время задержки за 1-2 сезона наблюдений, в том числе для новых ежегодно обнаруживаемых ГЛК.

Представленные результаты оптических осцилляций, активной переменности кривых блеска гравитационно-линзированных квазаров SDSS J1721+8842, SDSS J1433+6007 и SDSS J2145+6345 за период 2018-2020 гг. позволят по совместным данным с других обсерваторий полу-

© Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2020 г.

чить более точные измерения времени задержек, а полученная высокоточная астрометрия позволит проводить детальное моделирование.

Обнаруженная активная переменность линзированных квазаров характеризует нестационарные процессы и осцилляции в результате переменного энерговыделения в активных ядрах и аккреционных дисках вокруг сверхмассивных черных дыр. Исследования физики выявленных активных энергетических процессов с учетом времени задержки в ГЛК возможны с получением UBVRI фотометрии и внедрением спектральных наблюдений с применением 50 мкм оптоволоконной техники.

В результате комплексной обработки изображений и анализа кривых блеска линзированных компонентов ГЛК SDSS J1721 по данным наблюдений за 2018-2020гг. с обсерватории Майданак получены оценки времен задержек AB-CD необходимые для дальнейших вычислений константы Хаббла, H_0.

Благодарности. Авторы выражают свою признательность сотрудникам Астрономического института и руководству по организации многолетних наблюдений в обсерватории Майданак, а также наблюдателям обсерватории, что позволило получить значимые результаты данной работы.

Метаданные

Optical oscillations of active nuclei and ultra-high angular resolution of gravitationally lensed quasars SDSS J1721+8842, SDSS J1433+6007 and SDSS J2145+6345

I.M. Asfandiyarov[1], Sh.A. Ehgamberdiev[1], M. Millon[2], F. Courbin[2]

[1]Ulugh Beg Astronomical Institute of the Uzbek Academy of Sciences, Astronomicheskaya 33, 100052 Tashkent, Uzbekistan
[2]Institute of Physics, Laboratory of Astrophysics, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Observatoire de Sauverny, 1290 Versoix, Switzerland

The paper presents the results of the detection of active variability and optical oscillations of the general light curves of gravitationally lensed quasars SDSS J1721+8842, SDSS J1433+6007 and SDSS J2145+6345 for the period 2018-2020 based on observations from the Maidanak observatory. Based on the best observations from the AZT-22 telescope with a quality of seeing=0.6-0.7”, followed by digital processing, ultra-high angular resolution images with a value of FWHM=0.26” of individual lensed components and their light curves were obtained. Precision astrometry of individual lensed components was obtained, which made it possible to estimate the measurement accuracy of ±0.015”. The intrinsic active optical variability of the components of lensed quasars that characterize nonstationary processes and oscillations resulting from variable energy release in active nuclei and accretion disks around supermassive black holes is determined. The sequence of variables of the lensed components A-C-B-D of SDSS J1721+8842 with a time delay is determined: AC=−8.5±1.7 days, AB=−10.3±1.7 days, and AD=−18.7±2.8 days.

Keywords: gravitationally lensed quasar, digital image processing.

Литература (References)

[1] Licia Verde, Treu Tommaso, Riess Adam G. Tensions between the early and late Universe. Nature Astronomy **3**, 891-895 (2019).
[2] https://research.ast.cam.ac.uk/lensedquasars/images.html and https://research.ast.cam.ac.uk/lensedquasars/index.html
[3] P. Magain, F. Courbin, S. Sohy. Deconvolution with Correct Sampling. ApJ **494**, 472 (1998).
[4] N. Cantale, F. Courbin, M. Tewes, P. Jablonka, Meylan, G. Firedec: A two-channel finite-resolution image deconvolution algorithm. A&A **589**, A81 (2016).
[5] M. Millon, F. Courbin, V. Bonvin et.al. COSMOGRAIL XIX: Time delays in 18 strongly lensed quasars from 15 years of optical monitoring. A&A **640**, id.A105, 31 pp. (2020).
[6] M. Millon, F. Courbin, V. Bonvin et.al. TDCOSMO. II. Six new time delays in lensed quasars from high-cadence monitoring at the MPIA 2.2 m telescope. A&A **642**, id.A193, 14 pp. (2020).
[7] V. Bonvin, F. Courbin, S.H. Suyu, et.al. H0LiCOW V. New COSMOGRAIL Time delays of HE 0435−1223: H0 to 3.8 per cent precision from strong lensing in a flat lCDM model. MNRAS **465**, Issue 4, 4914-4930 (2017).
[8] K.C. Wong, Sh.H. Suyu, G.C. Chen. H0LiCOW – XIII. A 2.4 per cent measurement of H0 from lensed quasars: 5.3σ tension between early and late Universe probes. MNRAS **498**, Issue 1, 1420-1439 (2020).
[9] A.G. Riess. The expansion of the Universe is faster than expected. Nature Reviews Physics **2**, Issue 1, 10-12 (2019).
[10] M. Millon, A. Galan, F. Courbin et.al. TDCOSMO. I. An exploration of systematic uncertainties in the inference of H0 from time-delay cosmography. A&A **639**, id.A101, 19 pp. (2020).
[11] D. Gilman, S. Birrer, T. Treu. TDCOSMO. III. Dark matter substructure meets dark energy. The effects of (sub)halos on strong-lensing measurements of H0. A&A **642**, id.A194, 26 pp. (2020).
[12] S. Birrer, A.J. Shajib, A. Galan, et.al. TDCOSMO. IV. Hierarchical time-delay cosmography – joint inference of the Hubble constant and galaxy density profiles. A&A **643**, id.A165, 40 pp. (2020).
[13] S. Birrer, T. Treu. TDCOSMO V: Strategies for precise and accurate measurements of the Hubble constant with strong lensing; eprint arXiv:2008.06157, 2020.

© Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2020 г.

[14] G.C. Chen, Ch.D. Fassnacht, Sh.H. Suyu. TDCOSMO VI: Distance Measurements in time-delay, cosmographyunder the mass-sheet transformation; eprintar Xiv: 2011.06002 (2020).
[15] X. Ding, T. Treu, S. Birrer. Time delay lens modelling challenge: II. Results; eprint arXiv: 2006.08619 (2020).
[16] J.H. Chan, K. Rojas, M. Millon. Measuring accretion disk sizes of lensed quasars with microlensing time delay in multi-band light curves; eprint arXiv: 2007.14416 (2020).
[17] C.A. Lemon, M.W. Auger, R.G. McMahon. Gravitationally lensed quasars in Gaia: I. Resolving small-separation lenses. MNRAS **472**, Issue 4, 5023-5032 (2017).
[18] C.A. Lemon, M.W. Auger, R.G. McMahon. Gravitationally lensed quasars in Gaia. II. Discovery of 24 lensed quasars. MNRAS **479**, Issue 4, 5060-5074 (2018).
[19] C.A. Lemon, M.W. Auger, R.G. McMahon. Gravitationally lensed quasars in Gaia. III. 22 new lensed quasars from Gaia data release 2. MNRAS, **483**, Issue 3, 4242-4258 (2019).
[20] Sh. Ehgamberdiev. Modern astronomy at the Maidanak observatory in Uzbekistan. Nature Astronomy **2**, 349-351 (2018).
[21] A.J. Shajib, S. Birrer, T. Treu, et.al. Is every strong lens model unhappy in its own way? Uniform modelling of a sample of 13 quadruply imaged quasars. MNRAS **483**, Issue 4, 5649-5671 (2019).
[22] A.J. Shajib, S. Birrer, T. Treu, et.al. Erratum: Is every strong lens model unhappy in its own way? Uniform modelling of a sample of 13 quadruply imaged quasars. MNRAS **501**, issue 2, 2833-2835 (2021).
[23] I.M. Asfandiyarov, Sh.A. Egamberdiev, O.A. Burkhonov, F. Courbin, M. Millon. Active variability of double gravitationally lensed quasar SDSS J1721+8842. Doklady Akademii nauk Uzbekistana №6, 37-41 (2019).
[24] I.M. Asfandiyarov, Sh.A. Egamberdiev. Three-component model of the gravitationally lensed quasar SDSS J1721+8842. Doklady Akademii nauk Uzbekistana №5, 14-19 (2020).
[25] https://www.shelyak.com/description-eshel/?lang=en

Гравитацион линзаланган SDSS J1721+8842, SDSS J1433+6007 ва SDSS J2145+6345 квазарларнинг фаол ядроларнинг оптик осцилляция-лари ва юқори фазовий фарқланиши

И.М. Асфандияров[1], Ш.А. Эгамбердиев[1] M. Millon[2], F. Courbin[2]

[1]Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси Улугбек номидаги Астрономия институти, 100052, Тошкент шаҳри, Астрономия кўчаси, 33-уй, Ўзбекистон
[2]Institute of Physics, Laboratory of Astrophysics, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Observatoire de Sauverny, 1290 Versoix, Switzerland

Мақолада Майданак обсерваторияси кузатувлари асосида 2018-2020 й. давр учун гравитацион линзаланган квазарлар SDSS J1721+8842, SDSS J1433+6007 ва SDSS J2145+6345 умумий ёруғлик фаол ўзгарувчанлигини ва оптик осцилляциялар аниқланиш натижалари келтирилган. АЗТ-22 телескопда энг яхши сифати seeing=0.6-0.7" кузатувларининг рақамли тасвирларни қайта ишлаш натижасида алохида линзаланган компонентлари FWHM=0.26” ёй сониягача яхшиланди ва уларнинг ёруғлик ўзгарувчанлигини аниқланди. Линзаланган компонентларнинг ўлчаш аниқлигини ±0.015" баҳолашга имкон берувчи аниқликдаги астрометрияси олинди. Ностационар жараёнлар ва супермассив қора туйнуклар атрофида фаол ядролари ва аккреция дисклар ўзгарувчан энергия ажралиш натижасида осцилляцияларини тавсифловчи линзаланган квазарлар компонентларини ички фаол оптик ўзгарувчанлик аниқланади. SDSS J1721+8842 линзаланган компонентларнинг A-C-B-D кетма-кетлиги ва кечикиш вактлари аникланган: AC=–8.5±1.7 кун, AB=–10.3±1.7 кун и AD=–18.7±2.8 кун.

Калит сўзлар: гравитацион линзаланган квазарлар, тасвирларни рақамли қайта ишлаш

© Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2020 г.