

Переменные звезды 21, №1, 45–65, 1978.
Variable Stars 21, No 1, 45–65, 1978.

Новый взгляд на переменность квазаров

Н.Е. Курочкин

Изучены изменения блеска типичных квазаров 3C273, BL Lac, IV Zw 29 и др. Дана классификация типов переменности. За 13 лет фотоэлектрических наблюдений 3C273 выделены вспышки активности с максимумами в 1963.2–, 1968.1–, 1971.3 гг. и амплитудами $0.3-0.1^m$. Время затухания активности составляет около 10 лет. Энергетически эти вспышки идентичны вспышкам активности у BL Lac, но тонут в сильном фоне постоянного излучения. Для BL Lac и других квазаров характерны быстрые вспышки с временем затухания 2–15 дней. Такие вспышки усиливаются и сливаются в периоды максимумов активности квазаре. По времени затухания в предположении синхротронного механизма определена напряженность магнитного поля в квазарах ~ 10 Гс. В областях выделения энергии магнитное поле может быть сильнее на несколько порядков. Вспышки сверхновых с частотой 1 раз в 3–15 лет и индуцированное ими взрывное освобождение накопленной энергии плотной межзвездной среды (магнитных и электрических полей) может объяснить переменность квазаров и энергетику их излучения в разных диапазонах. Дана качественная интерпретация феномена квазаров как молодых областей в ядрах галактик с интенсивным звездообразованием, повышенной звездной плотностью и сверхплотной межзвездной средой. В этих областях происходит быстрая эволюция массивных звезд и межзвездных "магнитных ловушек" с взрывоподобным освобождением энергии и генерацией релятивистских частиц. Продолжительность стадии квазара оценивается в несколько десятков или сотен тысяч лет.

New Sight on Variability of Quasars by N.E. Kurochkin

Light variations of 3C 273, BL Lac, IV Zw 29 and other typical quasars are investigated. The classification of the optical variations of QSO is presented. During the recent 13 years maxima occurred in 3C 273 light curve in 1963.2–, 1968.1–, 1971.3 and possibly 1974.5. The time of relaxation of light variations is about 10 years. The energy

of these bursts appears to be the same as that of BL Lac ($L_{10} \sim 10^{51}$ erg), but bursts of 3C 273 are diminished by strong background radiation. For BL Lac and other QSO the fast bursts with relaxation times 2–15 days are typical. These bursts become more often and stronger during the maxima of QSO activity. The time relaxation of short bursts suggests that the magnetic fields in QSO are about 10 gauss, assuming the synchrotron mechanism of the radiation.

The QSO variability is explained by SN outbursts occurring in QSO with the rate of one SN per 3–15 years and generating relativistic electrons. There is also explosive release of the accumulated energy of the magnetic and electric fields. The qualitative interpretation of QSO phenomenon as young regions in galaxy cores is given. These regions are characterized by higher star density, superdense interstellar medium and intense stellar evolution. There occurs the rapid evolution of massive stars and interstellar magnetic fields with the burst-like energy release and generation of relativistic particles. The QSO state duration is estimated to be a few tens or hundreds thousands years.

Для понимания природы квазаров важно иметь ясное представление о характере их переменности. Нами были заново рассмотрены сводные кривые блеска наиболее типичных квазаров с привлечением наших фотографических наблюдений и результатов других авторов. Это дало возможность выделить типы переменности и высказать некоторые соображения о природе квазаров.

3 С 273. Этот объект оказался трудным для изучения, хотя именно на основе его предварительного изучения были сделаны первые выводы о природе квазаров. Фотографические наблюдения 3 С 273 оказались недостаточно точными, а фотоэлектрические проводились не систематично. Заслуживает внимания попытка построить сводную кривую блеска 3 С 273 (Лютый, 1976). Воспроизведем фотоэлектрические наблюдения 3 С 273 на рис.1, отмечая разных наблюдателей разными значками (точки-наблюдения Сэндиджа 1964, 1966; кружки-Бэркхид и др., 1968, 1975; крестики-Лютый, 1976). За 13 лет более или менее точной фотометрии можно выделить три надежных максимума: 1963.2–(нисходящая ветвь), 1968.1–, 1971.3. Амплитуда их падает от 0.3 до 0.1. В последние годы имелись наблюдения Бэркхида и Лютого, которые плохо согласуются. Трудно сказать, связано ли это с невыявленными ошибками или с реальными флуктуациями блеска. Фотоэлектрическое слежение в течение нескольких дней показало стабильность 3 С 273 по отношению к быстрым изменениям (Лютый и др., 1971, Кипплингер, 1975). Итак, реальными представляются три поярчания 3 С 273 с временем затухания около полугода и интервалами между ними 4.9^a и 3.2^a . Время полного спада активности, по-видимому, более продолжительно, так как часть нисходящей кривой скрыта фоновым излучением.

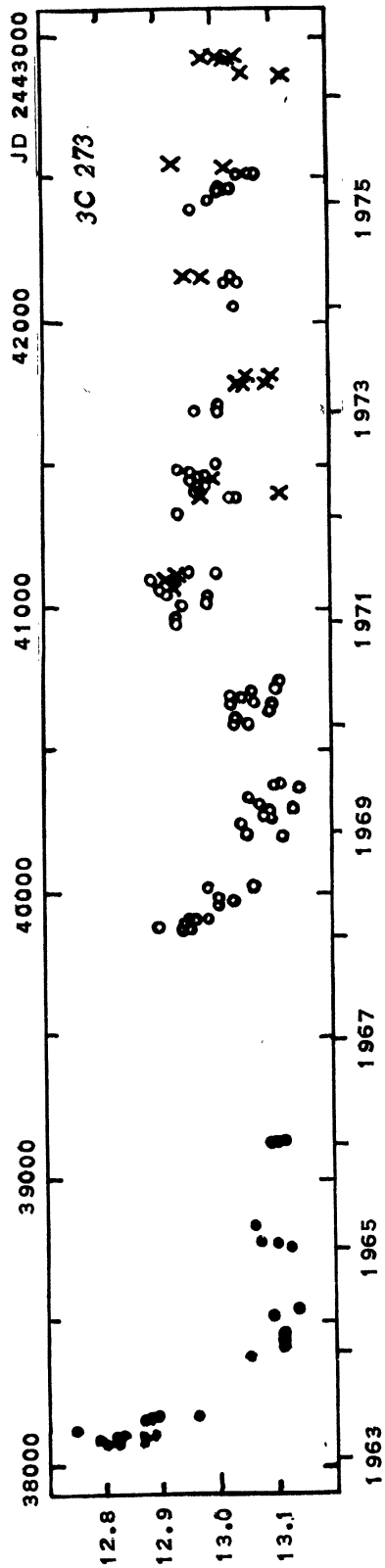


Рис. 1.
Сводная кривая блеска 3C 273 по фотоэлектрическим наблюдениям. Обозначения:
точки — наблюдения Сендижа (1964, 1966), кружки — Бархид и др. (1968, 1975);
крестики — Лютый (1976). Выделяются максимумы в 1963—, 1968—, 1971.44.

Даже фотоэлектрические наблюдения столь необычных по спектральным свойствам объектов как квазары, могут быть обременены систематическими ошибками, возможен недоучет атмосферных эффектов. Поярчания, которые отмечались у 3C 273, приходились в основном на зимний период, а возвращение блеска к нормальному — за полгода. В общем, следует более длительно и с большей тщательностью проследить за изменениями у 3C 273. Имеющиеся наблюдения не дают возможности сделать окончательные заключения.

BL Lac. По фотографиям Службы Неба ГАИШ нами получено около 340 оценок BL Lac в системе, близкой к В (1950–1977 г.). Наблюдения приведены в приложении (табл. 1). Для построения сводной кривой блеска использовались также наблюдения Берто и др. (1973) и Гаген-Торна и др. (1977 г.). Отдельные участки кривой блеска воспроизведены на рис. 2.

Трудно выделить какие-либо закономерности в поведении блеска BL Lac. Наиболее значительные вспышки до 13–13.5 происходили в 1929, 1953–1955, 1968 гг. Эти максимумы активности, однако, детально не пронаблюдены, имеются лишь разрозненные наблюдения Семакина (1955), Берто и др. (1969). Рассмотрим, что происходило с BL Lac в промежутках между вспышками.

Для BL Lac характерна быстрая переменность в течение нескольких часов или дней, случаются как вспышечные явления, так и внезапные ослабления до 16.5–17.0. Выделим некоторый достаточно высокий уровень блеска, например, 15.0 и проследим, как часто происходит переход на этот уровень и возвращение к более слабому блеску. Наши фотографии охватывают около 14000 минут слежения, блеск ярче 15.0 наблюдался ~1600 минут, т.е. вероятность поярчания ~0.12. Более детализированное распределение по годам дает представление об изменениях активности BL Lac (табл. 1, рис. 3).

Таблица 1.

Год	24...	Все < 15.0		P	Год	24...	Все < 15.0		P
1950	33483–558	5	0	0.00	1972	41594–619	9	0	0.00
1951	33895	1	1	1.00	1973	41947–961	10	0	0.00
1953	34638–680	2	2	1.00	1974	42219–369	33	0	0.00
1955	35368	1	1	1.00	1975	42509–750	62	1	0.02
1968	40116–156	23	1	0.04	1976	42926–3078	51	3	0.06
1969	40473–539	44	20	0.45	1977	43155–461	53	3	0.06
1970	40774–839	18	9	0.50	-----				
1971	41177–272	26	0	0.00	Все		343	41	0.12

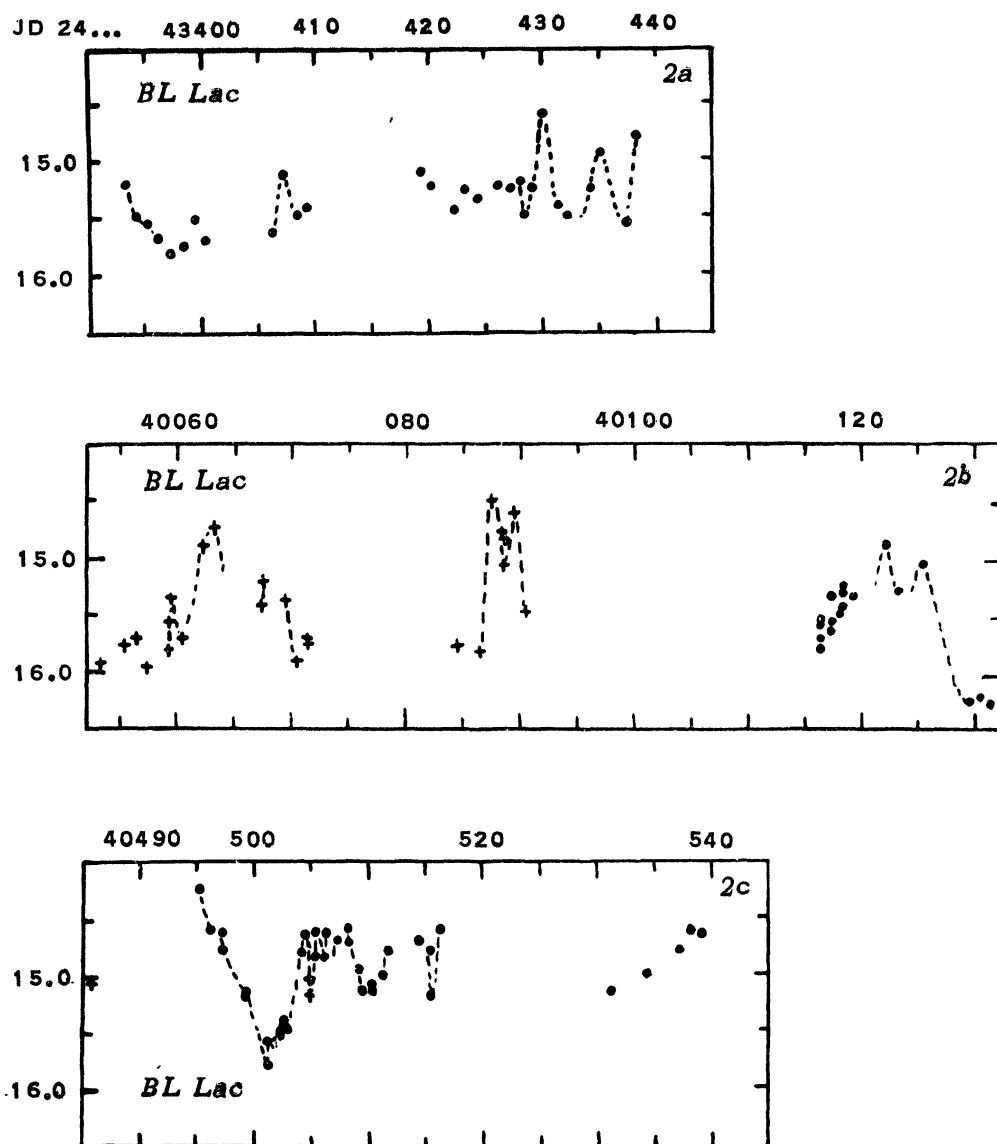


Рис. 2.

Отрезки сводной кривой блеска BL Lac с характерными быстрыми вспышками. Рис. 2а. Заметны изолированные вспышки (наблюдения автора). Рис. 2б. Серия быстрых вспышек. Видны две слившиеся вспышки облизии JD 2440087 и 2440090 с быстрым подъемом и спадом блеска (точки — наблюдения автора, крестики — наблюдения Берто и др., 1969). Рис. 2с. Здесь заметна нисходящая ветвь сильной вспышки, за которой следует серия более мелких и быстрых вспышек (по наблюдениям автора).

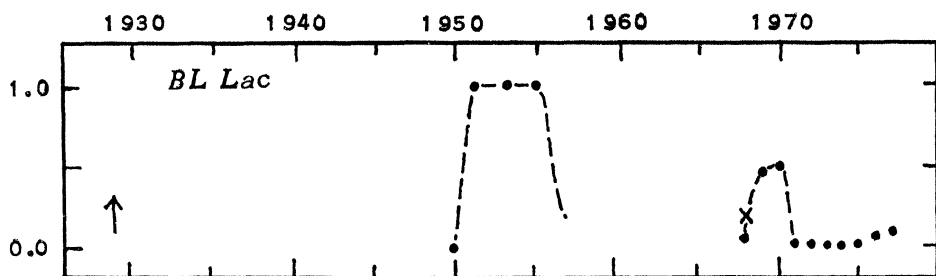


Рис. 3.

Ход активности BL Lac по индексу P ($m < 15^m.0$). Максимумы приходятся на 1953 и 1970 гг. Заметен подъем активности в последние годы. Ожидаемый максимум активности предполагается в начале 80-х годов.

Индекс $P(m < 15.0)$ дает грубое представление об активности BL Lac. Активность была низка в 1971–1974 гг, слабое возрастание активности замечается с 1976 г. По ярким вспышкам можно ожидать цикличность в 8–9 лет и следующее усиление активности может произойти в ближайшие годы между 1978 и 1982 гг с усилением блеска до 13^m-14^m . Желательны детальные наблюдения в этот период, чтобы проследить, как происходит у квазаров переход к активной фазе.

На рис.2 представлены наиболее выразительные отрезки кривой блеска BL Lac, когда блеск превышал 15^m . Видно, что наиболее типичной формой поведения в периоды активности являются вспышки. На рис.2а можно выделить несколько изолированных вспышек, на рис.2б видны две слившиеся вспышки вблизи JD.2440090, на рис.2с мы находим нисходящую ветвь изолированной яркой вспышки, за которой следует серия сливающихся поярчений. Поэтому есть основания думать, что все изменения блеска BL Lac сводятся к вспышечным явлениям, которые протекают как изолированно, так и сериями. Не исключено, что более сильная вспышка порождает ряд мелких вспышек, чем объясняется отчасти общее повышение блеска при усилениях активности. Характерное время протекания быстрой вспышки – несколько дней (2–15). Более быстрые спорадические вспышки также не исключены.

3 C 446. Этот квазар вспыхивал в 1966, 1974, 1978 гг. Кривая блеска первой вспышки опубликована автором (Курочкин, 1972). Для нее характерна глубокая депрессия после сильного максимума и следующая за ней новая серия вспышек; конец этого процесса не был прослежен. В общем, кривая блеска 3 C 446 в 1966 г. напоминает кривую блеска на рис.2с. Во время второй вспышки в 1974 г. имеются лишь разрозненные наблюдения, однако характерные поярчения, свойственные вспышечным процессам, заметны (Курочкин, 1974). Весьма важно было бы установить, связана ли депрессия после вспышки 1966 г. с самопоглощением или образованием пыли, как у новых звезд, или она объясняется тем, что область главной

вспышки отстоит от области зарождения вторичных вспышек на некотором расстоянии.

Следующую вспышку 3 С 446 можно ожидать в 1981-1983 гг (если имеются циклы). Желательны комплексные наблюдения, к которым можно заранее подготовиться.

IV Zw 29=0039+4003= S 10721. Для этого объекта было собрано 443 оценки блеска по фотографиям 50-см Максудовского рефлектора ГАИШ (АЗТ-5) и по пластинкам Радиоастрофической обсерватории АН Латв.ССР (телескоп Шмидта 80/120/240). В табл. II приложения, где приведены наблюдения, последние отмечены звездочками. Использовались звезды сравнения из работы Барбье и др. (1970) в системе В. Сводная кривая блеска IV Zw 29 приведена на рис. 4. Для нее были использованы как наши наблюдения, так и наблюдения из работ Барбье и др. (1970, 1976).

Кварз IV Zw 29 представляет более спокойный вид переменности. Наблюдаются нерегулярные волны с амплитудой около 1^m продолжительностью 1000-2000^d. Эти колебания похожи на волны, наблюдавшиеся у 3 С 273. Однако, не исключено, что волны образуются в результате накопления быстрых вспышек, или вспышки накладываются на общее возрастание блеска, являясь первопричиной. Разброс точек на кривой блеска, как у многих квазаров, значителен, что свидетельствует о быстрых флуктуациях, форма которых еще не определена.

PKS 1217+023. Большой ряд наблюдений по фотографиям Службы Неба ГАИШ был получен Горанским (1977). По этому материалу мы провели независимые оценки блеска этого квазара и публикуем нашу кривую блеска с привязкой к звездам сравнения Горанского (Рис. 5). Поведение квазара 1217+023 аналогично поведению IV Zw 29 - наблюдаются сравнительно спокойные волны с возможным наложением спорадических вспышек. Так как точность фотографических наблюдений невелика, у многих квазаров выявляются сначала именно такие медленные колебания. Мы полагаем, однако, что лацертидные вспышки присутствуют в изменениях блеска всех квазаров, иногда в скрытом виде.

3 С 48. На 60 пластинках ГАИШ 1951-1977 гг. объект не показал существенных изменений (в пределах точности). На 53 фотографиях блеск был между 15.9^m - 16.1^m , крайние значения достигались в сторону ослаблений до 16.4^m - 16.6^m (на 2-х пластинках). Такие инструментальные флуктуации обычны для слабых или протяженных объектов (3 С 48 окружен туманностью).

Другой пример квазара с длительными периодами потухания блеска PKS 2134+004 (Курочкин, 1973). Наблюдения охватывали вторую половину 1960 г. (63 пластинки) и 1968 - 1970 гг. (56 пластинок). Блеск квазара был около 16.5^m с рассеянием, небольшим для предельно слабых объектов ($\sigma \sim 0.1^m$).

Итак, обзор изменений блеска наиболее изученных квазаров позволяет выделить следующие характерные типы переменности:

1. Вспышки с амплитудами от 0.5^m до нескольких зв. величин с характерными временами несколько дней ($2-15^d$). Можно думать, что амплитуды вспышек очень велики, так как они только слегка выделяются на сравнительно высоком фоне излучения квазара. Этот фон, возможно, имеет также вспышечное происхождение и представляет собой наложение групп мелких и еще не потухших вспышек. Вспышечные явления особенно характерны для объектов типа BL Lac, хотя, несомненно, встречаются и у более спокойных квазаров. Нам представляется, что вспышки являются основной формой проявления активности у квазаров.

2. Длительно, несколько месяцев или лет, протекающие усиления активности, которые выражаются в виде волн с небольшой амплитудой (типа слабых максимумов у 3 C 273 или волн у IV Zw 29). Иногда усиление активности носит взрыв-

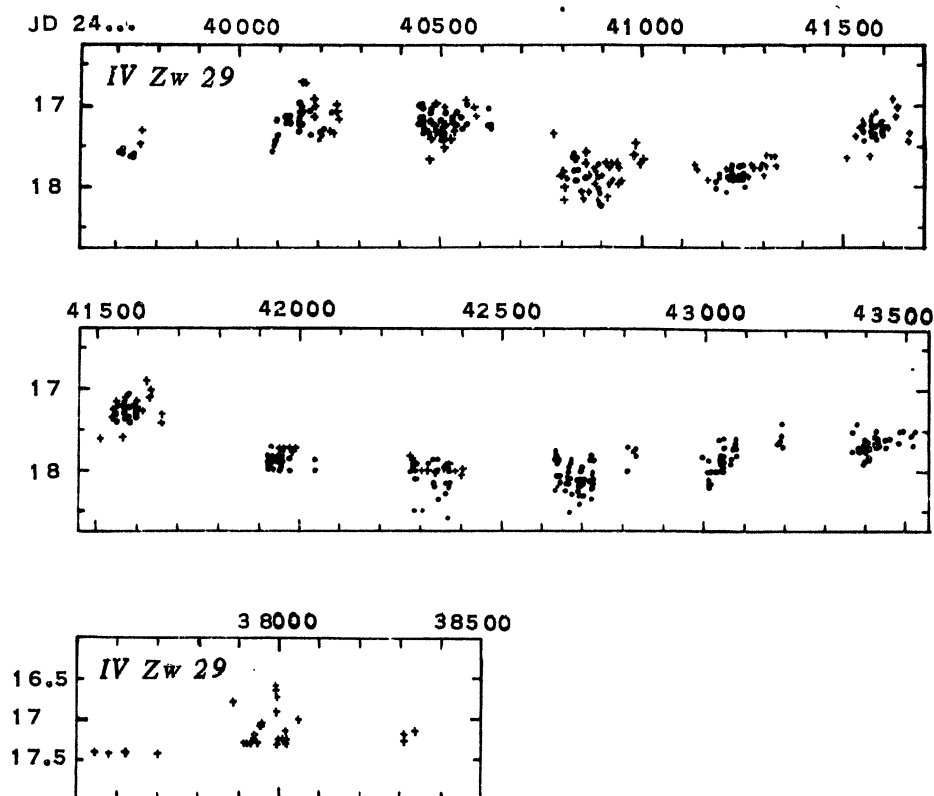


Рис. 4.

Сводная кривая блеска квазара IV Zw 29 (точки — наблюдения автора, крестики — наблюдения Барбье и др. (1970, 1976). Вблизи JD 2438000 замечен разброс точек, который свидетельствует о быстрых вспышках. Волнообразное повышение активности, судя по разбросу точек, также можно объяснить наличием множества вспышек.

ной характер, как у 3 С 446 или BL Lac, после чего активность затихает в течение месяцев или лет. Хотя внешне проявления такой активности разнообразны, общим для них является длительность затухания. Здесь возможны также квазициклические явления с циклами от 3 до 15 лет.

3. Характерной, но слабо изученной деталью на кривых блеска квазаров являются депрессии или глубокие ослабления. Такое ослабление наблюдалось у 3 С 446 непосредственно после яркой вспышки. У BL Lac глубокие ослабления до 16.5-17.0 случаются часто и обычны в периоды низкой активности. В последнем случае можно полагать, что ослабления связаны с отсутствием вспышек или с уходом их вглубь, когда блеск вспышек квазара становится слабее звездного фона галактики, в которой он находится.

4. Длительные периоды постоянного блеска также являются характерной чертой некоторых квазаров. Трудно сказать, бывают ли постоянные по блеску квазары. Квазары большой светимости с большими красными смещениями обычно слабо переменны (например, PKS 2134+004). Среди далеких квазаров происходит отбор абсолютно ярких с сильным фоном, который доминирует над переменной компонентой. Наибольшими амплитудами обладают сравнительно близкие объекты, которые слабы в минимумах.

Разнообразные типы переменности квазаров мы должны сопоставить с другими их свойствами. Не все явления в спектрах квазаров относятся к самим квазарам. Так, системы линий с разными красными смещениями у многих квазаров связаны с межгалактической средой (поглощение в промежуточных галактиках или в межгалактических облаках; см., например, Боросон, Саргент, 1978). Такие следствия этих наблюдений как релятивистские скорости или движения газа вблизи релятивистских объектов теперь могут не обсуждаться.

Не следует также различать квазары с туманностями или выбросами, или находящиеся в галактиках, от случаев с изолированными квазитоочечными источниками. Прежде всего, неизвестно, насколько они точечны в оптическом диапазоне. Спектры этих объектов обычно сходны, а типы переменности не выделяются. Так, 3 С 48 окружен туманностью, но не показывает существенных изменений блеска, тогда как BL Lac, связанная с фоновой гигантской эллиптической галактикой, обнаруживает существенную активность. Явление квазара может возникнуть в самых разнообразных внегалактических объектах, включая ядра эллиптических и спиральных галактик.

Важной характеристикой квазаров являются эмиссионные линии. Однако, и этот признак не является довлеющим. Так, объекты типа BL Lac, у которых наиболее выражены свойства переменности и синхротронного спектра (поляризация и плоский спектр) не имеют эмиссий. "Классические" квазары 3С273 и 3 С 48, имеющие в спектрах широкие эмиссии, не показывают

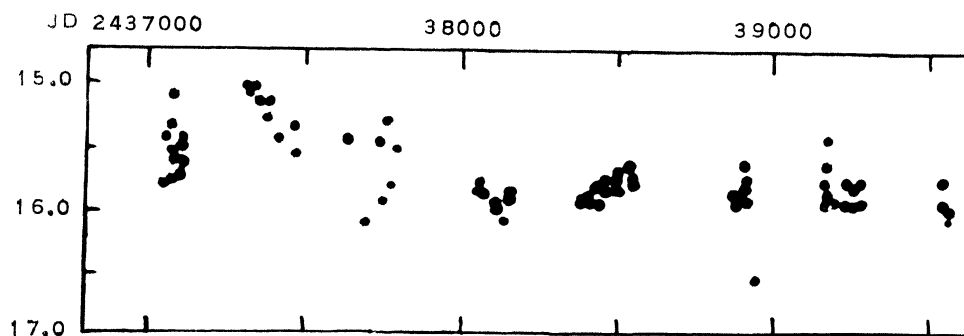
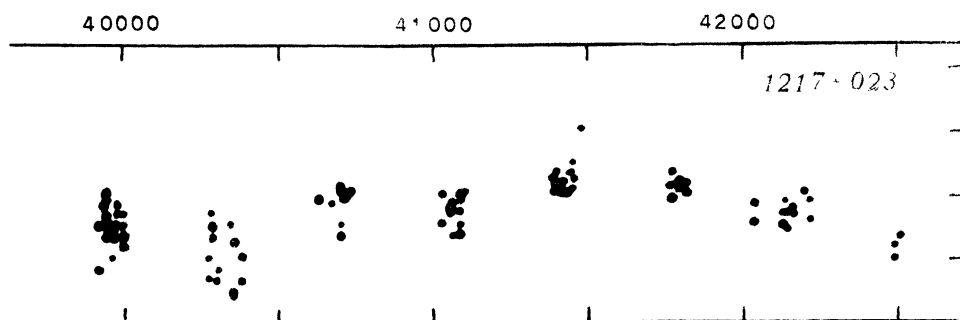


Рис. 5.

Фотографическая кривая блеска квазара PKS 1217+023.

существенной активности. Обычно изменения блеска в оптике у квазаров не синхронизированы с изменениями в радиодиапазоне. Это означает, что квазары нельзя считать целостными объектами. Разнообразие свойств и взаимонеобусловленность поведения на разных уровнях излучения делает более вероятным предположение, что квазары являются конгломератами тел разной природы (подобно ядрам галактик обычного типа). Различия состоят в степени компактности и скорости эволюции тел, связанных с квазарами. Ключом к пониманию природы квазаров является их переменность, которую, однако, нельзя считать достаточно изученной.

Разнообразные типы переменности квазаров рассмотрим с более общей точки зрения. Что общего между вспышками у BL Lac на 3-4^m и едва заметными поярчаниями у 3 C 273? Прежде всего — время затухания активной фазы, которая охватывает несколько лет. Уровень минимального блеска у BL Lac 17.0 соответствует фоновой галактике с $M_B = -20.2$ (при $z=0.07$ и $H=75$ км/сек/Мпс). Для 3 C 273 блеск в минимуме 13.1, $M_B = -25.9$. Чтобы блеск 3 C 273 возрос на 0.3 до 12.8, переменный объект внутри квазара должен достичь в максимуме $M_B = -24.65$. BL Lac достигает в максимуме -23.2 при обычных вспышках до 14.0, а иногда -24.2 , при этом фоновая галактика практически не играет роли. Затухание явлений активности происходит у этих объектов почти одинаково, хотя у 3 C 273 вспышки происходят чаще (наиболее сильные). Считая, что полное энергосодержание 3 C 273 составляет около $5 \cdot 10^{45}$ эрг/сек (переменный компонент примерно в 3 раза слабее постоянного), можно принять, что энергосодержание BL Lac при вспышках составляет $1.2 \cdot 10^{45}$ эрг/сек. Энергия во время вспышек сравнима, несмотря на сильно различающиеся внешние проявления переменности. Можно говорить об общем источни-



ке переменности разных по поведению квазаров и предполагать у них общую природу.

Природа излучения квазаров. Излучение квазаров состоит из постоянного и переменного компонентов. Но собственно только переменный источник проявляет себя как квазар. Постоянный фон, на котором протекает переменность, часто бывает просто галактикой. В других случаях постоянное излучение может быть синхротронным и вызываться источниками релятивистских частиц в квазаре и промежуточным магнитным полем среды. У одних квазаров переменный компонент доминирует (лацертиды), у других — едва заметен, его подавляет постоянный фон. Синхротронное излучение представляет основную долю переменной составляющей, что обнаруживается в меняющейся поляризации. У 3C 273 поляризация мала или отсутствует, у других квазаров она возрастает при поярчаниях. В спектрах таких квазаров многочисленны линии поглощения, в основном, высокого возбуждения. Неоднократно отмечалось, что спектры типичных квазаров (к ним относят нелацертиды) похожи на спектры молодых областей в галактиках, где, в основном, излучают скопления молодых звезд и ассоциации, звезды типа Вольф-Райе и звезды типа ядер планетарных туманностей. Видны также линии оболочек и туманностей, так что можно предполагать своеобразную среду обитания для звезд. Горячие звезды создают сильный ультрафиолетовый спектр, который продвигается в видимую область за счет красного смещения. Так можно представить условия, в которых возникает сложное излучение постоянного фона в квазаре. В этих областях интенсивной эволюции после недавно прошедшего этапа звездообразования можно ожидать также многочисленные вспышки сверхновых, которые и вызывают переменность блеска. Но вспышки сверхновых — это только внутренняя причина, толчок к переменности. Сами вспышки тонут в ярком постоянном фоне излучения квазара. Как происходит трансформация энергии при вспышках сверхновых в квазарах, мы опишем дальше.

Наиболее конкурентноспособными теориями квазаров в наше время являются следующие: 1) теория аккреции на массивные черные дыры; 2) гипотеза о магнитоиде в центре ядер галактик; 3) гипотеза о вспышках сверхновых как источнике переменности квазаров.

Наблюдения переменности квазаров феноменологически удовлетворяют каждой из этих гипотез. Они просто недостаточно детальны, чтобы сделать выбор. Как мы отметили, постоянное излучение квазаров является сложным и не всегда связанным с феноменом квазара. Если предполагать, что квазары являются конгломератами тел с быстрой эволюцией, то в них могут быть и коллапсары, черные дыры или предсверхновые. Современные теории сосредоточены, в основном, на объяснении энергетической стороны вопроса, особенности переменных квазаров не затрагиваются. Но, как будет показано, представлений о вспышках сверхновых в квазарах достаточно, чтобы объяснить как энергетику, так и основные черты переменности квазаров. Если это так, то нет нужды привлекать для объяснения другие экзотические механизмы.

Изменения блеска квазаров, как мы говорили, можно разделить на относительно быстрые вспышки (протекающие за 2-15 дней) и медленные поярчения с флуктуациями, охватывающие месяцы и годы. Исходной формой переменности является, по-видимому, кратковременная вспышка, при которой происходит освобождение энергии. Медленную компоненту, а иногда и яркий постоянный фон у многих квазаров можно объяснить накоплением энергии от быстрых вспышек. За несколько лет активности выделяется энергия 10^{52} - 10^{54} эрг. За это время происходит несколько тысяч вспышек, так что на одну вспышку приходится 10^{49} - 10^{51} эрг. Но такова примерно энергия вспышек сверхновых II типа с массами до $30 M_{\odot}$ (Грасберг, Надежин, 1969; Надежин, Утробин, 1975). Кинетическая энергия разлета газа при взрывах сверхновых может достигать 10^{52} эрг при скоростях до 13000 км/сек. Неизвестно, какая доля энергии при этом переходит в энергию релятивистских частиц и не происходит ли на границе области обратной трансформации лучевой энергии в энергию движения газа. Но именно такие скорости в несколько тысяч км/сек наблюдаются в квазарах с эмиссионными линиями и в ядрах сейфертовских галактик. Разрыв в расчетах энерговыделения возникает, если вспышки сверхновых относить к медленной переменности квазаров. В этом случае нет необходимости требовать частых вспышек сверхновых, достаточно одной вспышки в несколько лет. Разрыв на 2-3 порядка в энергиях может быть преодолен, если предположить, что при вспышках сверхновой распространяющаяся от нее ударная волна в плотной межзвездной среде стимулирует в ней освобождение дополнительной энергии (аккумулированной энергии среды). Это основное предположение в нашей гипотезе.

При вспышках в квазарах мы наблюдаем не тепловое излучение, а высвечивание релятивистских частиц, генерированных при взрыве. То, что мы видим, это трансформация релятивистского спектра в видимую область. При достаточной частоте вспышек и значительной плотности межзвездной среды возникает высокий средний уровень излучения и переменная часть излучения квазара, что камуфлирует более существенные процессы в квазарах.

Для оценки напряженности магнитного поля в области высвечивания электронов применим известные соотношения (Келлерман, 1976):

$$t_{1/2} = \frac{3.02}{B^2 \cdot E \text{ (Гэв)}} \quad ; \quad \nu_c = 1.6 \cdot 10^4 \cdot B \cdot E^2 \quad (1)$$

($t_{1/2}$ — время высвечивания, за которое теряется половина энергии электрона: B — напряженность поля в гауссах, E — энергия в Гэв; ν_c — гирочастота излучения в ГГц). При $t \sim 5^d = 0.0137$, $\nu_c = 6 \cdot 10^5$ ГГц (оптический диапазон $\lambda \sim 5000 \text{ \AA}$) находим:

$$t_{1/2} = \frac{7.73 \cdot 10^8 \cdot E^3}{\nu_c^2} \quad ; \quad E = 1.85 \text{ Гэв} ; \quad B = 11 \text{ гс.} \quad (2)$$

Оценка магнитного поля по кинетической энергии в предположении асимметричного разлета газа в ядре NGC 1275 дает $B = 1$ гс (Дибай, 1969). Скорости и профили линий у Сейфертовских ядер и у квазаров сравнимы, поэтому эта оценка применима и к квазарам. Высвечивание электронов и движение газа в таких объектах могут происходить в разных оболочках и при разных полях. Более сильное поле может соответствовать более глубоким частям квазара.

Разлет газа в квазарах и сейфертовских галактиках, судя по эмиссиям, происходит с примерно одинаковыми скоростями, но здесь кроется противоречие. "Квазарные" свойства сейфертовских галактик существенно слабее, переменность слабо выражена, если вообще существует, светимости меньше, а движения газа одной "мощности" с квазарами. Значит, механизм разброса газа одинаков и не связан с феноменом квазара? Мы видим в этом аргумент в пользу механизма сверхновых, как основной причины выброса газа из ядер галактик. Скорости движения газа унифицированы кинетической энергией, выделяемой при взрывах сверхновых примерно одинаковых масс, но явление квазара в ядрах галактик выражено слабее потому, что плотность межзвездной среды в них меньше и дополнительные источники энергии не возникают. В квазарах среда плотнее, магнитные поля усилены, что приводит к быстрой эволюции остатков сверхновых, к индуцированию в среде явлений, приводящих к дополнительному освобождению энергии. Плотность межзвездной среды в квазарах оказывается основным фактором, создающим феномен квазара.

Область, в которой происходит быстрая вспышка в квазаре при $t \sim 1^d$, имеет размеры 10^{15} см. Но разные вспышки могут возникать в разных частях области, захваченной ударной волной. На границе области, где высвечиваются быстрые электроны, поле имеет напряженность ~ 10 Гс. В области вспышки поле может достигнуть тысяч гаусс, а энергия, заключенная в этой области, может быть собрана из большего объема и достигать $B^2 \cdot \tau^{3/6} \sim 10^{50}$ эрг. Спектр вспышки у BL Lac плоский, а основная энергия типичного квазара сосредоточена в ИК-области (где происходит накопление энергии многих вспышек, переизлучение на пыли и другие явления, не связанные с переменностью). Переменное оптическое излучение составляет не более 1% в спектре, т.е. для 3C 273, например, около 10^{43} – 10^{44} эрг/сек. Освобожденная энергия в 10^{50} эрг высвечивается с такой скоростью за несколько дней, т.е. за время короткой вспышки в квазаре. Таким образом, энергетика вспышек в квазаре в нашей схеме вполне согласована.

Характерной особенностью такой схемы является необходимость накопления газа и с ним, магнитной энергии в областях, где уже произошла вспышка ("магнитные ловушки"). Прежде чем становится возможной другая вспышка или серия вспышек в данной области, должно пройти некоторое время накопления. Поэтому возникает квазицикличность активных явлений в квазарах с циклами в несколько лет. В свое время мы называли этот механизм "гейзерным" (Курочкин, 1974).

Возможно, имеется некоторый механизм втекания газа в активную область из менее плотных областей (при некотором регулярном поле). Если активное ядро захватывает область около 100 пс, то при поле 0.1–1 Гс в этой области запасена магнитная энергия около 10^{58} – 10^{60} эрг. При средней энергии быстрой вспышки 10^{50} эрг и частоте 10^3 в год эта энергия может обеспечить светимость квазара в течение около 10000 лет. Хотя следует учесть возможность накопления газа из внешних областей, все же продолжительность стадии квазара можно оценить в несколько сотен тысяч лет.

Рассмотрим некоторые другие свойства квазаров. Из формул (1) следуют важные следствия об излучении в радио- и ИК-диапазонах. В ИК-диапазоне (при $\lambda \sim 0.03$ см) энергия высвечивания электронов в 24 раза меньше, чем в оптике, а время $t_{1/2}$ в столько же раз больше, т.е. составляет около года. За это время накапливается энергия нескольких десятков или сотен вспышек, переменность замыкается, а общий уровень энергии в этой области спектра может стать на 1–2 порядка больше. Наблюдается накопление энергии на низких частотах. Согласованный ход изменений между длинноволновыми диапазонами и оптикой наблюдается лишь при значительных изолированных вспышках. Существование пыли, которая переизлучает энергию в ИК-область, усложняет картину.

Можно ожидать также, что в рентгеновском и γ -диапазонах происходят быстропотекающие (за несколько минут или секунд) вспышки, которые предшествуют оптическим. Однако, они могут не наблюдаться, так как должны протекать в областях с сильным поглощением.

Механизм, объясняющий переменность квазаров, не во всяком случае следует связывать с вспышками сверхновых. Вторичные вспышки могут в свою очередь способствовать освобождению энергии среды и вызывать серии мелких вспышек. Сверхновые являются основным источником кинетической энергии, которая турбулизирует газовую и межзвездную среду и усиливает магнитные поля.

Итак, мы рассмотрели следующую схему квазара. На первых этапах в области ядра галактики (может быть, будущей галактики), где плотность межзвездной среды велика, происходит интенсивное звездообразование, причем в небольшом объеме с размерами около сотни парсек образуются звезды большой массы. Наиболее массивные неустойчивые звезды быстро эволюционируют, сбрасывают оболочки, взрываются как сверхновые, что приводит к уплотнению межзвездной среды, заполненной остатками звездообразования. Когда плотность среды оказывается достаточно велика, всякая вспышка сверхновой порождает в ней не только быстрое высвечивание релятивистских частиц, что мы можем наблюдать, но также приводит к сериям дополнительных вспышек, связанных с уплотнением и диссипацией магнитного поля. На этом этапе наиболее явно выступают нестационарные явления в квазарах. В областях, где высвечиваются электроны, поле достигает напряженности ~ 10 Гс, но в областях вторичных вспышек концентрируется энергия полей до нескольких тысяч гаусс. В такой сверхплотной среде со скоростями турбулентии до 10000 км/сек возможно возникновение процессов, аналогичных тем, которые протекают в поверхностных слоях Солнца и звезд: образование активных областей, накопление энергии магнитных и электрических полей, наконец, диссипация полей и освобождение энергии. Оптические вспышки, аналогичные солнечным, но более грандиозные по масштабам, могут и не наблюдаться непосредственно, но они проявляют себя в растекании газа со скоростями тысяч км/сек и синхротронным излучением. В такой ситуации не исключена возможность сопутствующих ядерных взрывов, что дает дополнительный источник энергии (в объеме вспышки при плотностях, которые наблюдаются в жгутах за фронтом ударных волн, потенциальная энергия протон-протонной реакции сравнима с энергией магнитного поля). Наконец, остатки сверхновых в виде пульсаров вносят свой вклад в генерацию быстрых частиц и повышают светимость постоянной составляющей квазара. Внешние области (оболочка) квазара более холодны, и здесь возникают линии поглоще-

ния типа межзвездных линий, но более высокого возбуждения. Бывают, однако, "прозрачные" квазары, типа лацертид. Последние обычны для гигантских эллиптических галактик, в которых существенно меньше межзвездной среды. В минимумах в спектрах квазаров нередко наблюдаются линии чисто звездного компонента.

Идея об освобождении энергии среды в результате вспышек сверхновых не должна казаться невероятной. То же самое, по современным взглядам, происходит при вспышках сверхновых в плоскостях галактического диска, где плотность межзвездной среды достаточно велика. Взрывы сверхновых приводят к уплотнению межзвездной среды, что делает возможным процесс звездообразования. В дальнейшем в звездах развиваются ядерные реакции, т.е. происходит освобождение энергии, рассеянной прежде в среде. Сходство ряда характеристик активных ядер и квазаров с молодыми комплексами в галактиках неоднократно отмечалось (Харвит, Пачини, 1975; Ефремов, 1975). Размеры ячеек звездообразования типа области 30 Dor в Большом Магеллановом Облаке составляют ~ 500 пс, продолжительность существования 10^7 – 10^8 лет. Квазары более компактны, звездообразование и эволюция среды происходит в них быстрее, способствуя развитию в межзвездной среде сверхплотных образований. Это приводит к процессам разбрасывания газа и диссипации энергии, которые идут с большей скоростью. Стадия квазара поэтому должна быть короче, по нашим оценкам, около сотен тысяч лет, а может быть и короче. Следы взрывов и остаточные явления после периода активности в ядрах галактик могут наблюдаться более длительное время. Возможно, сейфертовские ядра представляют такие последние этапы в жизни квазаров.

В активных областях возможно существование нескольких центров освобождения энергии. Такие центры возникают вблизи остатков сверхновых и существуют несколько лет. Мы наблюдаем в этом случае несколько максимумов интенсивности в радиодиапазоне, которые как бы "мигрируют" скачками, так как инициирующие их взрывы сверхновых происходят то в одном месте, то в другом. В некоторых случаях этим можно объяснить существование феномена "сверхсветовых скоростей" в квазарах. Постоянное слежение за центрами активности, как мы полагаем, возможно в радиодиапазоне при больших разрешениях и кажется крайне желательным.

В заключение выражаю благодарность Ю.Н.Ефремову за обсуждение ряда принципиальных и методологических вопросов.

Приложение.

Таблица I.

Наблюдения BL Lac.

JD 24...		JD 24...		JD 24...		JD 24...	
33483.483	16.36:	40510.247	15.08	41605.348	15.67	42607.498	16.2:
484.492	16.30	.396	15.16	618.273	15.18	608.478	15.94
486.506	16.10	511.368	15.02	619.226	15.00	609.446	16.35
532.455	15.66	512.384	14.78	947.363	16.32	610.505	16.52
558.360	15.60	514.485	14.70	951.337	16.37	626.486	15.76
895.385	14.90	515.462	14.80	.433	16.45	627.459	15.84
34638.396	12.91	.480	15.20	952.464	16.73	628.351	16.15
680.300	14.52	516.495	14.60	953.440	16.92	630.431	15.90
35368.319	13.72	531.204	15.14	954.449	16.46	632.432	16.40
40116.331	15.76	534.197	15.00	957.343	16.37	633.469	16.5:
.374	15.66	537.188	14.78	958.366	16.52	635.486	16.30
.411	15.48	538.242	14.62	960.504	16.8:	636.535	16.24
.446	15.53	539.201	14.65	961.480	16.8:	639.439	15.78
117.234	15.60	774.493	14.31	42219.497	15.19	640.503	16.10
.315	15.28	779.489	14.58	277.460	15.80	641.466	16.46
.392	15.52	783.506	15.24	278.404	15.62	643.537	16.72
.466	15.28	798.500	15.25	280.402	15.80	652.261	16.90
118.236	15.44	801.530	15.16	281.460	15.76	657.488	16.68
.344	15.38	803.483	15.74	282.407	15.32	658.463	16.62
.440	15.26	805.486	15.67	286.409	15.66	659.416	16.22
.476	15.20	806.507	15.18	300.333	16.32	660.397	16.40
119.229	15.32	808.482	15.45	301.368	16.06	661.359	16.10
122.255	14.84	810.439	15.46	302.417	15.88	662.403	16.05
123.240	15.26	812.470	15.38	303.377	15.94	665.342	16.23
125.350	15.00	826.491	14.56	305.298	16.23	667.358	16.09
129.402	16.23	827.435	14.60	307.396	16.0:	668.430	16.30
130.434	16.17	828.490	14.58	308.447	16.35	669.468	16.17
131.468	16.25	833.420	14.60	309.411	16.5:	684.342	15.70
145.387	16.98	.458	14.62	310.401	16.17	685.297	15.55
150.388	16.08	839.439	14.50	311.314	16.05	687.290	15.46
153.415	16.11	.490	14.43	312.436	15.70	689.354	15.42
156.409	16.38	41177.479	15.46	313.333	16.00	.388	15.18
473.458	15.20	206.318	15.42	314.427	15.88	691.335	15.5:
.492	15.62	207.251	15.22	316.449	15.78	.373	15.3:
475.401	15.32	210.298	15.45	328.286	16.1:	693.283	15.6:
.438	15.44	211.243	15.38	329.251	15.94	.318	15.76
.473	15.35	212.258	15.60	330.238	15.6:	696.330	16.0:
477.408	15.38	213.368	15.62	.266	16.3:	699.424	16.4:
.443	15.64	217.284	15.30	.434	15.7:	.459	16.40
.476	15.55	.396	15.20	331.337	16.33	715.290	15.22
495.224	14.25	218.238	15.68	333.377	15.96	718.362	15.12
496.252	14.60	.436	15.86	334.245	15.94	719.332	14.78
498.290	14.62	219.239	16.22	337.359	16.15	743.209	15.14
.337	14.78	220.245	15.95	341.325	16.46	744.201	15.45
.359	14.65	.278	15.90	343.395	16.10	745.199	15.66
499.211	15.16	221.331	15.87	345.257	16.30	746.157	15.58
.324	15.20	.363	15.96	364.258	16.38	747.185	15.52
501.293	15.60:	222.352	15.78	366.178	16.25	748.167	15.56
.407	15.8:	223.431	15.78	367.249	16.00	749.196	15.58
502.209	15.52	224.510	15.60	368.192	15.95	750.169	15.50
.367	15.50	236.275	16.05	369.233	16.35	867.568	15.18
.405	15.44	238.256	16.00	509.576	16.17	926.466	15.60
503.219	15.40	240.244	16.27	510.572	16.0:	927.509	15.55
.415	15.50	241.249	15.88	520.547	15.8:	928.506	15.6:
504.214	14:80	246.272	15.80	552.456	15.5:	929.477	15.54
.445	14.65	268.199	15.76	567.442	16.0:	930.458	15.14
506.249	14.85	272.184	16.05	578.458	15.35	934.501	15.03
.371	14.62	594.365	15.80	580.446	15.45	950.489	15.16
507.425	14.70	595.310	15.7:	599.439	15.45	952.498	15.06
508.229	14.72	596.300	15.80	601.465	16.35	954.463	14.70
.384	14.60	598.412	15.85	602.484	15.78	958.487	15.23
509.200	14.95	599.301	15.94	605.497	15.70	959.462	15.10
.460	15.15	604.294	15.88	606.488	15.00	960.473	15.00

Таблица I (продолжение).

JD 24...		JD 24...		JD 24...		JD 24...	
42965.426	15.18	43040.504	15.32	43283.480	16.46	43408.464	15.48
967.501	14.64	045.402	15.22	.509	16.50	409.469	15.40
983.415	15.16	046.375	15.36	287.499	17.0:	419.266	15.12
984.398	15.18	049.385	15.44	334.440	16.80	420.212	15.22
987.427	14.95	.417	15.38	.473	16.80	422.369	15.44
989.361	15.14	050.364	15.38	.504	16.95	423.329	15.26
992.430	15.22	065.292	15.50	.527	15.5	424.308	15.35
993.320	15.62	067.211	15.40	337.501	16.30	426.280	15.22
.353	15.48	069.286	15.52	339.392	15.5	427.315	15.26
.385	15.45	072.300	15.32	346.455	16.8:	428.255	15.18
.418	15.42	077.201	15.12	348.520	16.46	.420	15.50
.450	15.45	.236	15.16	350.430	16.5:	429.270	15.23
.483	15.26	.269	15.14	370.351	15.94	.482	15.25
.516	15.43	.301	15.16	393.326	15.20	430.281	14.60
995.382	15.48	.355	15.3:	394.324	15.48	431.407	15.4:
996.443	15.32	078.323	15.2:	395.306	15.54	.446	15.40
43008.328	15.62	155.178	16.08	396.327	15.67	432.295	15.50
017.419	15.40	159.177	15.50	397.415	15.80	434.300	15.26
026.557	15.7:	160.176	15.54	398.420	15.73	435.360	14.95
027.568	15.20	161.179	15.76	399.334	15.50	437.431	15.57
036.320	16.06	183.191	16.38	400.345	15.68	438.483	14.78
038.505	15.8:	192.194	16.0:	406.326	15.62	457.229	15.14
039.319	15.95	196.616	15.08	407.375	15.12	461.249	15.26

Таблица II.

Наблюдения объекта IV Zw 29=0039.5+40 03.

JD 24...		JD 24...		JD 24...		JD 24...	
36520.312	17.23	40211.300	17.25*	40511.423	17.30	40841.504	17.75
39706.474	17.56	230.240	17.05*	.465	17.36	888.543	17.70:
712.450	17.56	449.505	17.20	515.504	17.50*	889.356	17.82*
715.487	17.57	451.423	17.12	.610	17.05	890.399	17.85
716.409	17.52	.524	17.20	.652	17.40	892.301	18.00
736.395	17.62	452.388	16.95	531.328	17.10	895.303	18.05
.430	17.58	453.385	17.25*	.344	17.30*	.385	18.20:
737.349:	17.72:	.426	17.10	.370	17.15	944.328	17.70:
.394	17.50	454.388	17.15	539.379	17.05	41182.438	17.90:
739.320	17.60	.490	17.40*	.385	17.30	.490	18.00:
.425	17.58	455.345	17.20	.420	17.22	183.484	17.80*
40087.380	17.55	.541	17.25	555.236	17.25	191.478	17.85
091.486	17.47*	456.409	16.95	556.158	17.10	.529	17.82
092.510	17.40*	.529	17.00	564.237	17.20	209.306	18.05*
096.452	17.40	457.420	17.32	.253	17.25*	.401	18.05*
.569	17.15	.523	17.00	.328	16.95	210.599	17.85
099.500	17.35*	458.505	17.25	586.311	17.33*	213.481	17.70*
120.435	17.10*	.555	17.10	617.236	17.00:	217.324	17.90
122.463	17.20	475.406	17.47*	618.252	17.22	.409	17.85
130.470	17.10	.454	17.15	626.186	17.26	220.326	17.80
.516	17.20	.496	17.05	.233	17.20	.391	17.75
151.434	17.12*	478.457	17.02	807.468	17.70*	221.520	17.75
152.356	17.22	.499	17.05	808.450	17.75:*	.570	17.70
.394	17.15	482.460	17.60*	809.484	17.70*	222.372	17.80
153.434	17.10	499.310	17.15	812.482	17.85	.427	17.70
154.345	17.05	502.352	17.24	826.206	17.85:*	223.497	17.73
.421	16.95	.414	17.36	.420	17.85*	224.511	17.70
157.518	17.10*	.454	17.40	827.381	17.56	225.541	17.85
158.379	17.00	503.422	17.25	.439	17.60	236.248	17.92
177.449	17.33*	.469	17.15	.565	17.50:	237.235	17.90
180.460	17.04*	506.368	17.55*	830.354	17.72	.287	17.88
201.260	17.40	.401	17.52*	.436	17.80	238.431	17.72
203.335	17.28	508.324	17.15	832.341	17.88:	239.368	17.75
.375	17.15	.362	17.40*	834.352	17.65	.415	17.85
204.225	17.00	.373	17.30	839.390	17.60	240.365	17.75
207.413	17.30*	.417	17.35	840.426	17.61	.415	17.75

Таблица II (продолжение).

JD 24...	JD 24...	JD 24...	JD 24...
41240.437 17.75*	41924.514 17.95*	42286.507 18.1:	42719.290 17.8:
245.295 17.85	926.409 17.90	300.324 18.15:*	722.194 18.0::
.347 17.70*	.488 17.90	303.363 18.5::	.252 18.05
.378 17.75*	927.439 17.85	314.432 17.90	723.265 18.20
.445 17.85	.538 17.90	329.233 18.15	.322 18.1:
246.254 17.70	928.370 17.90	330.234 17.85	724.246 18.20
247.233 17.70	.424 18.00	.284 18.20:	.299 18.15
.276 17.85	.503 17.85*	333.407 18.20*	725.337 18.15*
252.434 17.80	929.399 17.85	335.236 17.85	.410 17.85
266.362 17.85*	.455 17.70	340.590 18.0:	743.292 18.15*
268.421 17.75*	931.395 17.85	341.293 18.3:	807.225 18.00
276.279 17.85*	.445 17.82	.435 17.85	826.203 17.75
277.390 17.78*	932.438 17.82	358.420 18.15:	827.203 17.70:
278.284 17.70*	.463 18.15:*	359.193 18.3:	828.203 17.80
.324 17.68*	.498 17.85	362.189 17.95	829.213 17.82
305.301 17.70*	933.484 17.85	.236 18.15:	995.457 18.15*
335.237 17.75*	.507 18.00*	365.364 18.6::	996.479 17.82
353.238 17.65 *	.545 17.82	367.239 18.20	43 008.310 17.85
549.486 17.28	934.548 18.00	368.240 18.00	009.357 18.0:
.532 17.20	945.353 17.90	373.398 18.15:	010.299 18.1:
550.530 17.40	947.390 18.00	627.452 17.85	.347 18.15:
565.436 17.28	.436 17.85	628.375 17.75:	.396 18.2:
566.368 17.15	948.345 17.85	629.463 17.85:	012.345 18.0:
.438 17.15	.390 17.85	630.448 17.80	015.375 18.0:
567.462 17.24	949.344 17.80	631.438 18.25:	016.287 18.00
.535 17.36	950.354 17.5:	632.455 18.05:	017.440 18.15
569.529 17.22 *	.427 17.85*	635.381 18.20:	026.380 18.0:
570.388 17.25 *	951.311 17.85	636.471 17.90	038.495 18.0:
.450 17.22	952.339 17.70	637.521 17.85	.551 17.80
.509 17.30	.385 18.00	640.528 18.05:	039.396 17.90
575.404 17.60 *	953.412 17.88	641.513 18.15	040.478 17.90
.509 17.35	954.398 18.00	642.509 18.15	.513 17.85
577.523 17.22	.459 17.90	655.559 18.25:	045.478 17.95
.573 17.34	956.378 17.80	659.503 18.15	.524 18.05
578.512 17.05	.481 17.90*	660.465 18.08	046.443 17.85
.573 17.35	957.413 18.00	661.446 18.0::	.489 17.58
579.485 17.32	.458 17.90	.500 18.10	047.457 17.70
.551 17.35	958.355 17.85	662.451 18.15	.500 17.85
581.575 17.40	960.535 17.90	.546 18.05	049.445 17.80
593.425 17.18	.581 17.9:	663.537 17.95	.483 17.88
594.339 17.30	961.411 17.85	665.542 18.1:	050.470 17.70
.382 17.26	.458 17.90	667.418 18.5::	.513 17.8:
595.455 17.32	974.258 17.85	668.426 17.90	066.242 17.90
596.366 17.36	975.250 18.0:	669.495 17.85	067.231 17.85
.408 17.1:	.359 17.85	671.524 18.28:	070.391 17.80*
597.252 17.24	983.376 17.95*	686.424 18.12	072.388 17.90*
.317 17.28	42 002.303 18.00*	687.325 18.10	077.247 17.65
598.316 17.28	012.323 18.15*	689.356 18.25	.293 17.58
599.480 17.24	037.264 18.15*	.395 18.18:	078.280 17.78
655.286 17.60*	038.344 17.85	691.319 18.10	.326 17.70
681.293 17.55*	040.343 18.00	692.401 18.30	079.330 17.85*
682.168 17.70*	045.380 18.20*	.475 18.4::	080.346 17.70*
684.233 17.82*	059.224 17.87*	693.279 18.20	082.412 17.80
685.201 17.75*	061.238 17.95*	.319 18.00	103.337 17.55*
688.219 17.62*	088.273 17.5::	695.396 17.95	105.389 17.65*
917.360 18.0:	271.382 18.0:	696.333 18.12	160.288 17.70*
918.442 17.87	277.476 17.95	698.406 18.3:	161.258 17.70*
919.442 17.80	.522 17.90	699.456 18.15	163.193 17.75*
.472 17.95	278.482 17.85	700.482 18.15*	165.191 17.68*
920.463 17.92	280.536 17.90	701.540 18.10	183.199 17.63
.508 17.85	282.466 18.1::	716.301 18.15*	185.201 17.62
922.483 17.95	283.460 18.5:	718.235 18.12	187.196 17.6:
923.460 17.90	284.484 17.85	.332 17.85	188.204 17.40
.507 18.00	285.508 18.0:	.413 18.35:	

Таблица II (продолжение).

J D 24...	J D 24...	J D 24...	J D 24...
43192.206 17.70	43395.462 17.72*	43408.514 17.70	43430.377 17.70
364.408 17.75	396.365 17.88	409.515 17.70	431.449 17.60
365.351 17.5:	397.398 17.65	422.498 17.63	449.268 17.60
.410 18.0:	398.385 17.75	.536 17.65	450.284 17.72
374.340 17.4:	399.365 17.68	423.479 17.55	455.330 17.58*
.396 18.0:	400.375 17.70	424.459 17.70	479.288 17.65
379.469 17.7:	402.401 17.66	.486 17.65	481.340 17.50*
381.545 17.75*	404.431 17.83	426.431 17.48	489.288 17.48*
393.316 17.9:	405.388 17.82	427.396 17.58	511.199 17.55*
394.311 17.65	406.381 17.82	428.330 17.70	517.242 17.68
395.308 17.60	407.295 17.84	429.372 17.63	521.300 17.50

Литература:

- Барбье и др., 1970 — Barbieri C., Rosino L., Mem. Soc. Astron. Ital., 41, 507.
- Барбье и др., 1976 — Barbieri C., Romano G., Rosino L., Astron. Astrophys, 47, 153.
- Берто и др., 1969 — Bertaud Ch., Dumortier B., Véron P., Wlérick G., Adam G., Bigay J., Garnier R., Duray M., Astron. Astrophys. 3, 436.
- Берто и др., 1973 — Bertaud Ch., Wlérick G., Véron P., Dumortier B., Duray M., de Saevsky P., Astron. Astrophys. Suppl. 11, 77.
- Боросони Саргент, 1978 — Boroson T., Sargent W.L.W., Astrophys. J., 220, 772.
- Бэркхид и др., 1968 — Burkhead M.S., Parvey M.I., PASP 80, 483.
- Бэркхид и др., 1969 — Burkhead M.S., PASP 81, 691.
- Бэркхид и др., 1970 — Burkhead M.S., Lee V.J., PASP 82, 1150.
- Бэркхид и др., 1971 — Burkhead M.S., Stein W.L., PASP 83, 830.
- Бэркхид и др., 1972 — Burkhead M.S., Rettig T.W., PASP 84, 850.
- Бэркхид и др., 1975 — Burkhead M.S., Hill R.K., PASP 87, 824.
- Гаген-Торн и др., 1977 — Гаген-Торн В.А., Ключева Л.В., Перевозчикова А.И., Семенова Е.В., Тихонов Н.А. Труды Ленингр. Астрон. Обсерв. 33, 15.
- Горанский В.П., 1977 — Переменные звезды 20, 403.
- Грасберг Э.К., Надежин Д.К., 1969 — Астроном. ж. 46, 745.
- Дибай Э.А., 1969 — Астроном. ж., 46, 725.
- Ефремов Ю.Н., 1975 — Астроном. Цирк. №881; Proceed. III Europ. Astron. Meet., p. 413.
- Келлерман К.Е., 1976 — "Радиогалактики и квазары": в кн. "Галактическая и внегалактическая радиоастрономия", "Мир", стр. 496.
- Киплингер, 1975 — Kiplinger A.L., Astron. J. 80, 669.
- Кункель, 1967 — Kunkel W.E., Astron. J., 72, 1341.
- Курочкин Н.Е., 1972 — Труды ГАИШ, XLIII, вып. 2, 89.
- Курочкин Н.Е., 1973 — Переменные звезды 19, 128.
- Курочкин Н.Е., 1974 — Астрон. Циркуляр №884.

1978PZ...21...45K

Лютый В.М., 1976 – Астрон. Циркуляр №920.
Лютый В.М., Черепашук А.М., 1971 – Астроном. Циркуляр №647.
Надежин Д.К., Утробин В.П., 1975 – Препринт ИПМ, №122.
Семакин Н.К., 1955 – Переменные звезды **10**, 283.
Сэндидж, 1964 – Sandage A., Astrophys. J., **139**, 416.
Сэндидж, 1966 – Sandage A., Astrophys. J., **144**, 1234.
Терел, Олсен, 1970 – Terrel J., Olsen K.H., Astrophys. J., **161**, 399.
Харвит, Пачини, 1975 – Harwit M., Pacini F., Astrophys. J., **200**,
L 127.

Гос. Астрономический ин-т
им. П.К.Штернберга,
Москва

*Поступила в редакцию
10 июня 1978 г.*