

УДК 523.9

## Периодическое колебание Солнца и блеска четырех активных ядер галактик

В.А. Котов<sup>1</sup>, В.М. Лютый<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Крымская астрофизическая обсерватория, 98409, Украина, Крым, Научный

<sup>2</sup> Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, 119899  
e-mail: vkotov@crao.crimea.ua, lyuty@sai.crimea.ua

Поступила в редакцию 23 октября 2002 г.

### Аннотация.

Предположение, что активные ядра галактик (АЯГ; в частности, ядро NGC 4151) испытывают колебания с “космологической” частотой  $\nu_0 = 104.1601$  мкГц, проверяется на основе анализа всех доступных данных о быстрой переменности светимости блазара OJ 287, квазара 3C 273 и ядра сейфертовской галактики NGC 3516. Наблюдения относятся к различным спектральным диапазонам и выполнены в Государственном астрономическом институте им. П.К. Штернберга, Крымской астрофизической обсерватории и других обсерваториях. Средние кривые трех объектов, построенные с априорным периодом  $P_0 = \nu_0^{-1} = 160.0101$  мин, показали наличие  $P_0$ -колебания со средней оптической амплитудой  $\approx 0.006$  зв.вел. и значимостью  $\approx 3\sigma$  (99.7%).

Наиболее примечателен средний спектр мощности четырех АЯГ (наблюдения 1968 – 1997 гг. с общим числом измерений блеска 6606), включая NGC 4151. Максимальный пик, с достоверностью  $\approx 5\sigma$ , отвечает частоте  $104.1598 \pm 0.0006$  мкГц, совпадающей в пределах ошибки с  $\nu_0$ . Результат дает новое свидетельство в пользу гипотезы о космологической природе  $P_0$ -колебания АЯГ. Поразительный факт независимости  $\nu_0$  от красного смещения  $z$  внегалактического объекта представляет особый интерес для стандартной космологии, основанной на идее Большого взрыва.

PERIODIC OSCILLATION OF THE SUN AND OF LUMINOSITY OF FOUR ACTIVE GALACTIC NUCLEI, by V.A. Kotov and V.M. Lyuty. A supposition that active galactic nuclei (AGNs; in particular, the NGC 4151 nucleus) undergo oscillations with a “cosmological” frequency  $\nu_0 = 104.1601$   $\mu$ Hz, is checked by analysis of all available data on rapid variability of luminosities of blazar OJ 287, quasar 3C 273 and nucleus of the Seyfert galaxy NGC 3516. The observations relating to various spectral ranges were carried out at the P.K. Sternberg State Astronomical Institute, the Crimean Astrophysical Observatory and other observatories. The mean light curves, constructed for three AGNs with *a priori* period  $P_0 = \nu_0^{-1} = 160.0101$  min, showed the presence of the  $P_0$ -variation with a mean optical amplitude  $\approx 0.006$  mag (at nearly  $3\sigma$  C.L., or 99.7%).

The most remarkable is the average power spectrum, obtained for four AGNs (1968 – 1997 observations with total number of luminosity measurements 6606), including NGC 4151. The highest feature, with confidence  $\approx 5\sigma$ , corresponds to frequency  $104.1598 \pm 0.0006$   $\mu$ Hz which agrees well, within the error limits, with  $\nu_0$ . This result strongly supports the hypothesis about a cosmological nature of the  $P_0$ -oscillation of AGNs. The puzzling fact of independence of the frequency  $\nu_0$  on redshift  $z$  of an extragalactic object presents particular interest for standard cosmology based on idea about Big Bang.

**Ключевые слова:** Активные ядра галактик, быстрая переменность

---

## 1 Введение

Характерная особенность активного ядра галактики (АЯГ; обычно сюда включают также квазары и объекты типа BL Lac) – значительная переменность светового потока, наблюдаемая, как правило, во всех спектральных диапазонах и на всевозможных временных масштабах. Исследование переменности потока энергии, излучаемого АЯГ, может пролить дополнительный свет на природу центрального источника.

Более десятилетия назад нами (Лютый, Котов, 1990) сообщалось об открытии периодичности  $P_0 = 160.010$  мин в вариациях блеска нескольких АЯГ, но с различной статистической значимостью  $W$  эффекта для разных объектов, от  $\approx 1.5\sigma$  до  $\approx 5.0\sigma$ . (Всюду  $\sigma$  означает “сигму” нормального распределения, а приводимые неопределенности отвечают стандартной ошибке  $\pm 1\sigma$ .)

Некоторые авторы подвергают сомнению факт  $P_0$ -колебаний АЯГ (см., например, критику Бирюкова, Теребижа, 1991, и ответ Лютого, Котова, 1992). В то же время, если факт  $P_0$ -колебаний АЯГ подтвердится, он будет иметь серьезные последствия как для физики АЯГ и черных дыр (если верна соответствующая модель центрального источника), так и для космологии. Последнее – в связи с отсутствием зависимости наблюдаемой частоты от красного смещения  $z$  внегалактического объекта; подробнее о космологической гипотезе см. Котов, Лютый (1988а, 1988б).

Имеются две альтернативы для объяснения частоты  $\nu_0 = P_0^{-1} = 104.1601 \pm 0.0001$  мкГц (Котов и др., 1997b): (а) артефакт, связанный с погрешностями наблюдений и/или обработки данных (особенно ввиду близости  $P_0$  к  $1/9$  среднесолнечных суток), или (б) новое космологическое явление. Поэтому наиболее важным сейчас представляется увеличение объема наблюдательных данных о быстрой переменности АЯГ. Здесь мы сообщаем об анализе дополнительных наблюдений ОJ 287, 3С 273, NGC 3516 и NGC 4151. Подтверждают ли они прежние результаты и какая из двух интерпретаций более предпочтительна?

Процедура обработки данных и критерии значимости изложены Котовым и др. (1997b). Если блеск АЯГ регистрировался квази-непрерывно в течение ночи, то в анализ входили наблюдения, длительность которых была не менее двух часов. Медленные тренды аппроксимировались и удалялись, как правило, с помощью парабол; иногда удалялся линейный тренд; в ряде случаев – для наблюдений в течение двух часов или несколько больше – удалялось среднее за ночь. Ниже приводим описание наблюдательных данных, – с тем, чтобы читатель мог убедиться в объективности анализа и, если надо, мог легко его проверить или улучшить.

Принятые обозначения:  $N$  – число отдельных измерений в данном массиве (число остатков, после удаления тренда),  $\Delta$  – среднеквадратичное (стандартное) отклонение массива,  $L$  – длительность измерений блеска в данную ночь или суммарная длительность наблюдений в течение нескольких ночей, характеризующая массив,  $A_h$  и  $\varphi$  – гармонические амплитуда и фаза максимума блеска средней кривой, построенной с данным периодом.

Оптические и инфракрасные (ИК) измерения сделаны относительно стандартных звезд, причем отдельному измерению блеска формально приписывается временной интервал 5 мин (хотя на деле, для оригинальных наблюдений, время интегрирования потока могло быть от  $\approx 1$  мин до  $\approx 15$  мин). Моменты времени перед обработкой приводились к Солнцу; начальная эпоха соответствует UT  $00^h 00^m$ , 1 января 1974 г.

Спектры мощности (СМ) вычислялись посредством дискретного фурье-преобразования; последнее фактически дает периодограмму, но, следуя Скарглу (1982), будем его называть СМ. Для оценки достоверности средних кривых применяем критерии Котова и др. (1997b). Значимость же пиков в СМ оцениваем с учетом экспоненциального распределения мощности (Скаргл, 1982);  $W'$  – априорная значимость результата (средней кривой или пика мощности на заданной частоте),  $W$  – фактическая значимость.

## 2 Наблюдения блазара ОJ 287

Результаты предварительного поиска  $P_0$ -периодичности (Котов и др., 1996) основаны на оптических и ИК-наблюдениях, выполненных разными авторами в 1972 – 1991 гг. с числом измерений блеска  $N = 599$ . Ниже приводим сводку всех данных, рассматриваемых здесь, с числом  $N = 1075$ ; по сравнению с предыдущей работой это число увеличено почти на 80% (см. табл. 1).

**Таблица 1.** Данные наблюдений блазара ОJ 287 в 1972 – 1995 гг.

Интервал (дата) наблюдений	Фильтр (полоса)	$N_n$	$L$ , ч	$N$	$\Delta$ , зв.вел.	Ссылка
14.02.1972	U, B, V	1	8.3	36	0.058	Эпштейн и др. (1972)
17.02.1972	K	1	5.3	9	0.091	– ” –
18.03.1972	V	1	2.0	31	0.007	Висванатан, Эллиот (1973)
11–12.02.1983	V	1	2.2	22	0.007	Котов, Люты́й (1992а)
2.12.1986	J	1	5.5	8	0.051	Лорензетти и др. (1989)
2–11.12.1986	H, K	5	14.7	149	0.059	– ” –
11 и 12.03.1988	B	2	6.9	18	0.057	Кси и др. (1990)
19.12.1988; 5 и 13.03.1989	V	3	14.4	190	0.010	Карини и др. (1992)
20.04.1990	B, V, R, I	1	2.5	32	0.082	Кси и др. (1992)
9.01.1991	U	1	5.8	21	0.025	Силланпаа и др. (1992)
15–18.01, 8–20.03.1991	H, K	8	40.7	136	0.052	Такало и др. (1992), Киджер и др. (1994)
15 и 16.01, 8–20.03.1991	J	7	34.4	118	0.186	– ” –
12–13.01, 16–17.03, 14–15.04, 13–14.11.1994	V, R	4	20.3	105	0.025	Гонсалес–Перес и др. (1996)
5, 8 и 29.03.1994	V, R, I	3	22.6	102	0.029	Болтвуд (1996)
8, 22 и 23.02.1995	I	3	8.9	98	0.014	Жиа и др. (1998)
Все вместе: 1972–1995	U – K	42	194.5	1075	0.030	–

Карини и др. (1992) опубликовали в виде графиков измерения в фильтре V. Наблюдения с длительностью  $L \geq 2$  ч сделаны 19.12.1988 г., 5 и 13.03.1989 г.; общая длительность около 14.4 ч. После удаления линейных трендов для каждой ночи отдельно нами получен суммарный массив остатков:  $N = 190$ ,  $\Delta = 0.010$  зв.вел.

В течение 2.5 ч измерения сделаны 20.04.1990 г. в фильтрах B, V, R, I Кси и др. (1992). Сняв линейный тренд для каждого фильтра отдельно, мы получили массив B–V–R–I–остатков:  $N = 32$ ,  $\Delta = 0.082$  зв.вел.

Фотометрические наблюдения в фильтре U выполнены 9.01.1991 г. Силланпаа и др. (1992) в течение 5.8 ч. После удаления линейного тренда нами получен массив остатков:  $N = 21$ ,  $\Delta = 0.025$  зв.вел.

Такало и др. (1992), Киджер и др. (1994) наблюдали объект в течение 8 ночей с длительностью каждой записи в ИК-области  $L \geq 2$  ч. Нами обработаны измерения, выполненные в H– и K-полосах 15, 16 и 18.01.1991 г., 8 – 9, 10 – 11, 15 – 16, 17 – 18 и 19 – 20.03.1991 г. Суммарная длительность  $L \approx 40.7$  ч. Данные были усреднены для H– и K-полос, затем для каждой ночи отдельно снимался линейный тренд. В итоге получен общий массив остатков:  $N = 136$ ,  $\Delta = 0.052$  зв.вел.

Те же авторы опубликовали измерения, выполненные за 7 ночей в фильтре J: 15 и 16.01.1991 г., 8 – 9, 10 – 11, 15 – 16, 17 – 18 и 19 – 20.03.1991 г. К ним мы прибавили J-запись из 8 измерений, сделанных 2.12.1986 г. Лоренцетти и др. (1989). Обработав эти измерения так же, как упомянутые выше H–K-измерения, мы получили массив J-остатков:  $L = 39.9$  ч,  $N = 126$  и  $\Delta = 0.180$  зв.вел.

Гонсалес-Перес и др. (1996) наблюдали объект в течение четырех ночей 1994 г. в V- и R-фильтрах. После удаления медленных трендов для V-измерений за 12–13.01.1994 г., 16–17.03.1994 г. и 13–14.11.1994 г. и R-измерений за 14–15.04.1994 г. нами получен общий массив V–R-остатков:  $N = 105$ ,  $\Delta = 0.025$  зв.вел.,  $L = 20.3$  ч.

Болтвуд (1996) привел данные о быстрой переменности OJ 287 по наблюдениям в фильтрах V, R и I, выполненным им 5, 8 и 29.03.1994 г.; суммарная длительность 22.6 ч. После удаления параболического тренда – отдельно для каждой ночи и отдельно для каждого фильтра – нами получен массив V–R–I-остатков:  $N = 102$ ,  $\Delta = 0.029$  зв.вел.

Жиа и др. (1998) измеряли I-блеск OJ 287 в течение трех ночей: 8, 22 и 23.02.1995 г., – с суммарной длительностью  $L = 8.9$  ч. После удаления параболических трендов нами получен I-массив:  $N = 98$ ,  $\Delta = 0.014$  зв.вел.

Данные о других наблюдениях приведены Котовым и др. (1996); сведения же обо всех отдельных массивах (остатков) 1972 – 1995 гг. содержатся в табл. 1, где дополнительно обозначено:  $N_n$  – число ночей для данного массива.

### 3 Средняя $P_0$ -кривая OJ 287

Оптические наблюдения в фильтрах U, B, V, R и I согласно табл. 1 были объединены в один временной ряд с числом остатков  $N = 655$  и  $\Delta = \Delta_{OPT} = 0.030$  зв.вел., а ИК-наблюдения (в полосах J, H, K) – в другой ряд:  $N = 420$ ,  $\Delta = \Delta_{IR} = 0.109$  зв.вел. Затем ИК-ряд по величине  $\Delta$  был приведен к  $\Delta$  оптического ряда с помощью нормировочного коэффициента  $k = \Delta_{OPT}/\Delta_{IR} = 0.275$ . В результате получен общий массив переменности OJ 287:  $N = 1075$ ,  $\Delta = 0.030$  зв.вел.,  $L = 194.5$  ч.

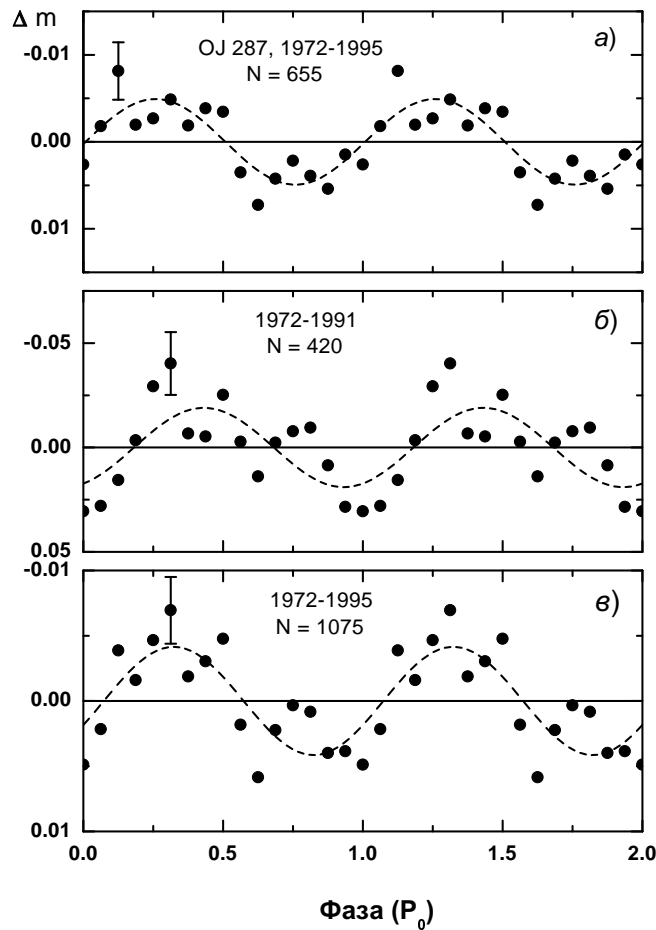
Эти данные были свернуты с априорным периодом  $P_0 = 160.0101$  мин (Котов и др., 1997b), причем сначала отдельно для оптического и ИК-рядов, а потом для суммарного нормированного ряда 1972 – 1995 гг. Результат показан на рис. 1, а параметры средних  $P_0$ -кривых приведены в табл. 2. Видно, что две верхние кривые – оптическая и инфракрасная – статистически достаточно значимы и, главное, имеют близкие друг к другу фазы максимума:  $\varphi \approx 0.35$ . (Имеет место некоторое запаздывание ИК-кривой относительно оптической кривой. Подобное запаздывание с ростом длины волны – от рентгеновского (X) диапазона к фильтру U и далее к фильтру V – отмечено ранее для NGC 4151, см. Котов и др., 1997b.)

Общая кривая для всех 1075 измерений (рис. 1в) имеет априорную значимость  $W' \approx 3.2\sigma$  и оптическую амплитуду  $A_h \approx 0.004$  зв.вел. Таким образом, увеличение данных примерно на 80% (по сравнению с предварительным сообщением Котова и др., 1996) демонстрирует устойчивость и достаточно высокую значимость эффекта.

### 4 Наблюдения квазара 3C 273

Первые результаты, основанные на 340 измерениях в фильтре B, сообщены Котовым и Лютым (1988a). Основу данных составили: (1) 157 остатков, полученных обработкой патрульных измерений одного из авторов (В. Л.) и других наблюдателей за 1968 – 1986 гг. (как правило, 1 – 2 измерения B-потока за ночь) и (2) 183 остатка, основанных на квази-непрерывных в течение ночи измерениях В. Л. с соавторами (8 ночей 1971 – 1986 гг. с общей длительностью  $L \approx 22.7$  ч). К этим данным здесь добавляем обработку новых измерений, опубликованных разными авторами.

Девять отдельных – одно измерение в ночь – B-величин за 1985 г. опубликовали Молес и др. (1986). Для этих наблюдений нами снят параболический тренд, в результате получено 9 остатков с величиной  $\Delta = 0.031$  зв.вел.



**Рис. 1.** Свертка оптических (а), инфракрасных (б) и всех измерений (в) светимости OJ 287 с периодом  $P_0 = 160.0101$  мин. Вертикальные черточки – средние стандартные ошибки  $P_0$ -вариаций потока (точки) в каждом фазовом интервале шириной  $\approx 20$  мин; штриховые линии – синусоиды, проведенные через точки МНК. Число измерений  $N = 655$  (а), 420 (б) и 1075 (в)

Рентгеновские измерения, выполненные спутником EXOSAT 1.02.1985 г. в диапазоне энергий 1 – 8 кэВ, приведены Гранди и др. (1992); длительность непрерывных измерений  $L \approx 6.7$  ч. Убрав линейный тренд, мы получили массив X-остатков:  $N = 32$ ,  $\Delta = 6.5\%$  (что примерно соответствует стандартному отклонению  $\Delta_X = 0.065$  зв.вел.).

Гусейнов (1997б) привел свои измерения, сделанные в В-фильтре 19–20.04.1988 г. на протяжении 2.8 ч. После фильтрации параболического тренда нами получено 9 остатков с  $\Delta = 0.040$  зв.вел.

ИК-измерения в полосе К сделаны 26.05.1990 г. Валтаоя и др. (1991) в течение около 3.1 ч. Сняв параболический тренд, мы получили массив К-остатков:  $N = 17$ ,  $\Delta = \Delta_K = 0.016$  зв.вел.

Данные о массивах ЗС 273, анализируемые ниже, приведены в табл. 3. Оптические наблюдения, сделанные в фильтре В, были объединены в один временной ряд 1968 – 1988 гг. с числом  $N = 358$  и  $\Delta = \Delta_B = 0.037$  зв.вел. Затем рентгеновские и ИК-измерения были приведены по величине  $\Delta$  к

В-ряду с помощью нормировочных коэффициентов  $k_X = \Delta_B/\Delta_X = 0.564$  и  $k_K = \Delta_B/\Delta_K = 2.250$  соответственно.

**Таблица 2.** Параметры средних  $P_0$ -кривых OJ 287, 3C 273 и NGC 3516

Объект (фильтр, полоса)	Интервал, гг.	$N$	$\Delta$ , зв.вел.	$A_h$ , зв.вел.	$\varphi$	$W'$
OJ 287 (U, B, V, R, I)	1972–1995	655	0.030	$0.05 \pm 0.02$	$0.26 \pm 0.05$	$3.2\sigma$
OJ 287 (J, H, K)	1972–1991	420	0.109	$0.02 \pm 0.01$	$0.43 \pm 0.08$	$2.6\sigma$
OJ 287 <sup>a</sup> (все данные)	1972–1995	1075	0.030	$0.004 \pm 0.002$	$0.32 \pm 0.06$	$3.2\sigma$
3C 273 <sup>b</sup> (X, B, K)	1968–1990	407	0.037	$0.010 \pm 0.004$	$0.14 \pm 0.05$	$4.0\sigma$
NGC 3516 <sup>в</sup> (U, B, V)	1968–1993	382	0.021	$0.005 \pm 0.002$	$0.13 \pm 0.04$	$3.9\sigma$

<sup>a</sup>ИК–массив по величине  $\Delta$  приведен к оптическому массиву.

<sup>b</sup>Массивы X и K по величине  $\Delta$  приведены к B–массиву.

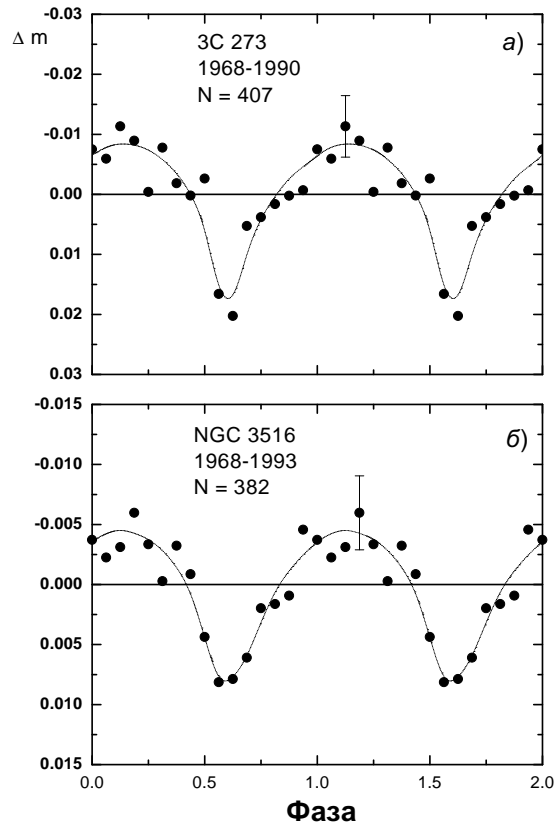
<sup>в</sup>Массив U–B–V по величине  $\Delta$  приведен к U–массиву.

**Таблица 3.** Данные о наблюдениях квазара 3C 273 в 1968–1990 гг.

Интервал (дата) наблюдений	Фильтр (полоса)	$N_n$	$L$ , ч	$N$	$\Delta$ , зв.вел.	Ссылка
1968–1986	B	–	–	157	0.051	Котов, Лютый (1988а)
1971–1986	B	8	22.7	183	0.017	–”–
1985	B	–	–	9	0.031	Молес и др. (1986)
1.02.1985	X	1	6.7	32	0.065	Гранди и др. (1992)
19–20.04.1988	B	1	2.8	9	0.040	Гусейнов (1997б)
26.05.1990	K	1	3.1	17	0.016	Валтаойя и др. (1991)
Всего*: 1968–1990	X, B, K	–	–	407	0.037	–

\*X– и K–данные по  $\Delta$  приведены к B–массиву.

В итоге получен общий массив переменности 3C 273: 1968 – 1990 гг.,  $N = 407$  и  $\Delta = 0.037$  зв.вел. Средняя  $P_0$ -кривая для него приведена на рис. 2а; она имеет амплитуду  $A_h = 0.010 \pm 0.003$  зв.вел. и высокую статистическую значимость,  $W \approx 4.0$ ; параметры кривой приведены в табл. 2.



**Рис. 2.** То же, что на рис. 1, для квазара 3C 273 (*a*) и NGC 3516 (*б*) согласно рентгеновским, оптическим и ИК-данным. Интервал наблюдений и полное число измерений: *a* – 1968 – 1990 гг.,  $N = 407$ , *б* – 1968–1993 гг.,  $N = 382$ . Пунктирные линии через точки проведены "от руки"

## 5 Наблюдения ядра сейфертовской галактики NGC 3516

Первые результаты, основанные на 166 измерениях в фильтрах U, B и V, сообщены нами 14 лет назад (Котов, Лютый, 1988б). Основу данных составили патрульные фотометрические измерения В. Л. за 1968 – 1986 гг. Затем к ним были добавлены 116 U-остатков, полученных после обработки четырех ночей: 19–20.03, 20–21.03, 21–22.03 и 17–18.05.1990 г. ( $\Delta = 0.023$  зв.вел.; Котов, Лютый, 1992б).

Гусейнов (1997а) опубликовал свои U–B–V-измерения, выполненные 9.05.1989 г. в течение 3.7 ч. Усреднив данные трех фильтров и сняв параболический тренд, мы получили массив U–B–V-остатков:  $N = 12$ ,  $\Delta = 0.030$  зв.вел.

19 отдельных измерений U–B–V-блеска в 1990 г. опубликованы Лютым, Дорошенко (1993). Добавив к ним еще 46 измерений этих же авторов (неопубликовано) и сняв медленные тренды, мы получили общий массив U–B–V-остатков 1990 – 1993 гг.:  $N = 65$ ,  $\Delta = 0.047$  зв.вел.

В течение 3.6 часов один из авторов (В. Л.) измерял U-блеск объекта 19–20.12.1993 г. Сняв линейный тренд, мы получили 23 остатка с величиной  $\Delta = 0.010$  зв.вел.

Данные о массивах NGC 3516 приведены в табл. 4. Наблюдения, сделанные в фильтрах U, B и V, объединены в один временной ряд 1968 – 1993 гг. с числом  $N = 243$  и стандартным отклонением  $\Delta_{U,B,V} = 0.062$  зв.вел., а все U-наблюдения – в единый U-ряд 1990 – 1993 гг. ( $N = 139$ ,  $\Delta_U = 0.021$  зв.вел.). Первый ряд по величине  $\Delta$  был приведен к ряду U-измерений (с помощью фактора  $k =$

$\Delta_U/\Delta_{U,B,V} = 0.339$ ), затем оба ряда были объединены в общий ряд 1968 – 1993 гг. с числом  $N = 382$  и  $\Delta = 0.021$  зв.вел.

**Таблица 4.** Данные о наблюдениях ядра NGC 3516 в 1968 – 1993 гг.

Интервал (дата) наблюдений	Фильтр	$N_n$	$L$ , ч	$N$	$\Delta$ , зв.вел.	Ссылка
1968–1986	U, B, V	–	–	166	0.069	Котов, Лютый (1988б)
9.05.1989	U, B, V	1	3.7	12	0.030	Гусейнов (1997а)
1990	U	4	12.5	116	0.023	Котов, Лютый (1992б)
1990–1993	U, B, V	–	–	65	0.047	–
19–20.12.1993	U	1	3.6	23	0.010	–
Всего*: 1968–1993	U, B, V	–	–	382	0.021	–

\*В шкале U–величин.

**Таблица 5.** Колебание  $P_0$  Солнца и четырех АЯГ

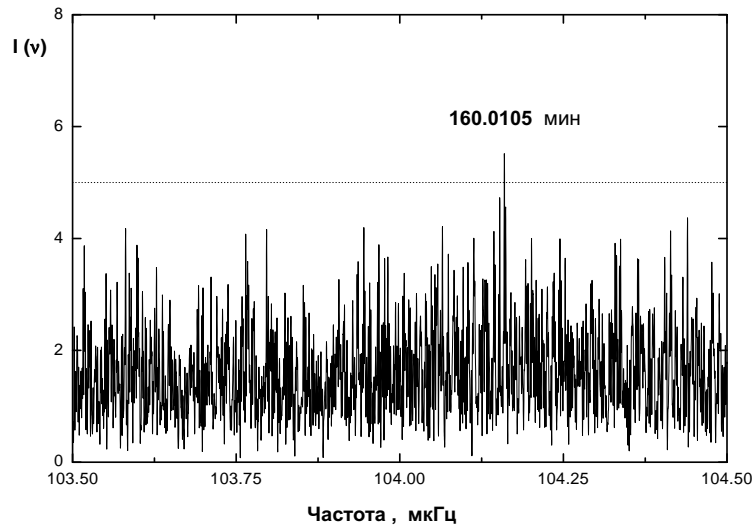
Объект	Интервал (гг.)	$N$	Период (мин)	$W$
Солнце*	1974–1982	32630	$160.0101 \pm 0.0030$	$5.0\sigma$
Солнце **	1947–1980	18877	$160.0101 \pm 0.0001$	$4.0\sigma$
OJ 287	1972–1995	1075	$160.0084 \pm 0.0020$	$3.2\sigma$
ЗС 273	1968–1990	407	$160.0108 \pm 0.0012$	$3.5\sigma$
NGC 3516	1968–1993	382	$160.0101 \pm 0.0010$	$3.2\sigma$
NGC 4151	1968–1994	2771	$160.0104 \pm 0.0010$	$3.6\sigma$
Четыре АЯГ	1968–1997	6606	$160.0105 \pm 0.0009$	$5.0\sigma$

\*По измерениям лучевой скорости фотосферы (Котов и др., 1997а); для них  $N$  – число измерений скорости с 5-минутным усреднением.

\*\*Из анализа временной последовательности хромосферных вспышек ( $N$  – число вспышек; Котов, Левицкий, 1987).

Средняя кривая для периода  $P_0$  приведена на рис. 2б. Она имеет амплитуду  $A_h = 0.005 \pm 0.002$  зв.вел. и значимость  $W \approx 3.9\sigma$  (см. также табл. 2). Форма кривой существенно отличается от гармонической и весьма похожа на кривую квазара ЗС 273. Более того, фазы обеих кривых в пределах ошибок совпадают, что может быть неслучайным (см. обсуждение этого интересного обстоятельства у Котова, Лютого, 1992б).





**Рис. 3.** Средний спектр мощности вариаций светимости четырех АЯГ (ОJ 287, 3C 273, NGC 3516 и NGC 4151) по данным рентгеновских, оптических и ИК-измерений 1968 – 1997 гг. ( $N = 6606$ ). Горизонтальная пунктирная линия соответствует уровню значимости  $W = 3\sigma$ ; по вертикали – мощность  $I(\nu)$  в произвольных единицах. Максимальный пик отвечает периоду  $160.0105 \pm 0.0009$  мин

## 6 NGC 4151

Быстрая переменность ядра NGC 4151 ранее изучалась нами наиболее подробно, поскольку для него получен наиболее обширный ряд наблюдений. Котовым и др. (1997b) изложены результаты анализа рентгеновского излучения и фотометрических U- и V-измерений блеска ядра за 1968 – 1994 гг.; данные были получены на различных инструментах и в сумме состояли из 2771 остатков. С высоким уровнем значимости найдено, что блеск ядра флуктуирует с частотой  $104.1599 \pm 0.0003$  мкГц и средней амплитудой  $A_h \approx 0.006$  зв.вел. в фильтре U (см. табл. 5).

Здесь мы не будем подробно останавливаться на NGC 4151, но отметим, что сейчас нами увеличен массив X–U–V-остатков до  $N = 4742$ , т.е. на 71% (общий массив 1968 – 1997 гг. со стандартным значением  $\Delta = 0.044$  в шкале U-величин). Анализ всех этих данных, со ссылками на первоисточники, готовится к печати отдельно.

## 7 Средний СМ четырех АЯГ

Спектры мощности для каждого из четырех объектов – ОJ 287, 3C 273, NGC 3516 и NGC 4151 – вычислены в достаточно широком диапазоне частот: от 103.5 до 104.5 мкГц (с шагом 0.1 нГц; всего примерно  $10^3$  независимых пробных частот; для NGC 4151 взяты все без исключения X–U–V-данные 1968 – 1997 гг. с числом остатков  $N = 4742$ ). Ординаты каждого из четырех спектров делились на свое среднее значение, определяемое выражением (Скаргль, 1982)

$$\langle I \rangle = 4 \Delta^2 / N .$$

Затем четыре *нормированных* спектра были усреднены, результат показан на рис. 3. В этом спектре только один пик превышает уровень фактической (т.е. с учетом числа пробных частот) значимости  $W = 3\sigma$ . Его частота

$$\nu_G = 104.1598 \pm 0.0007 \text{ (мкГц) ,}$$

а уровень значимости, определенный с учетом экспоненциального распределения мощности в каждом из четырех базовых СМ и с учетом числа независимых пробных частот, составляет  $W \approx 3.5\sigma$ .

Но если принять во внимание, что частота пика в пределах ошибки согласуется с априорной частотой  $\nu_0$ , то его фактическая значимость  $W \approx 5.0\sigma$ . Вероятность случайного появления пика  $\nu_G$  на данной частоте составляет  $\approx 6 \times 10^{-7}$ . Таким образом, значимость  $P_0$ -периодичности существенно возросла по сравнению с предыдущим СМ, построенным ранее для трех АЯГ с суммарным числом измерений  $N = 3513$  и  $W \approx 3.3\sigma$  (Котов и др., 1997b).

## 8 Метод Монте Карло

Основной наш результат представлен на рис. 3, где присутствие *априорного* колебания с периодом  $P_0 = 160.0105$  мин достоверно на уровне  $> 99.999\%$ . Тем не менее желательно подтвердить  $P_0$ -эффект, применив, например, метод Монте Карло (с использованием случайно распределенных во времени массивов данных, имитирующих хаотические вариации блеска “случайных АЯГ”).

Для четырех объектов измерения блеска во времени распределены неравномерно. В нашем каталоге они собраны в отдельные “элементарные” массивы (числом от 19 до 49 для отдельного АЯГ) в соответствии со скважностью, определяемой наблюдениями на том или ином инструменте, и сезоном видимости.

Для каждого АЯГ мы перемешали *во времени* все отдельные “элементарные” массивы с помощью случайных чисел. При этом оставили практически неизменной общую длительность временного ряда каждого объекта. Такой метод по существу изменяет порядок следования измерений. Остальное остается неизменным: (а) стандартные значения  $\Delta$  “элементарного” и суммарного рядов, (б) распределение наблюдений в течение конкретного “элементарного” отрезка времени, покрытого наблюдениями, (в) шумы и остаточные погрешности каждого “элементарного” массива, (г) остаточное влияние трендов, земной атмосферы, ошибок гидирования и т.п. Таким образом получены четыре новых временных последовательности, имитирующих вариации блеска четырех “случайных АЯГ”.

После этого мы вычислили средний нормированный СМ для каждого из четырех полученных новых (“случайных”) АЯГ, а затем – средний СМ из четырех отдельных “случайных” СМ, причем с применением строго той же самой процедуры, что и при получении СМ действительных АЯГ (рис. 3). Результат для случайно распределенных во времени флуктуаций блеска “случайных АЯГ” показан на рис. 4. Он ничем не отличается от СМ *чистого шума*: “спектр шума дает шум”. Ни один пик здесь не превосходит уровня фактической значимости  $W = 2\sigma$ .

А это означает, что присутствие доминирующего пика  $P_0$  на рис. 3 отвечает такому распределению “элементарных” массивов, которые во времени расположены *не случайно*, а особым образом, а именно, – так, как наблюдается на деле. Вывод очевиден: в вариациях блеска реальных АЯГ *присутствует* периодичность  $P_0$ .

То обстоятельство, что “шумовые” пики действительного СМ (рис. 3) значительно выше “шумовых” пиков спектра “случайных АЯГ” (рис. 4) легко объяснимо.

Допустим, что одна или несколько периодичностей реальны (например, колебание  $P_0$ ). Тогда СМ покажет заметные повышения мощности, причем не только на “реальных” частотах, но и на множестве соседних частот, связанных с “реальными” частотами простыми формулами биений. Причиной является, как известно, наличие большого числа пропусков – отрезков времени без наблюдательных данных. Спектр же “случайного” временного ряда (рис. 4), естественно, таких повышений мощности – ложных пиков – не покажет ввиду отсутствия реального периодического сигнала.

## 9 Заключение

В 1974 г. было обнаружено колебание Солнца неизвестной природы с частотой  $\nu_0 = 104.160$  мкГц (Брукс и др., 1976; Северный и др., 1976; Шеррер и Уилкоккс, 1983). Позже было найдено, что та же – в пределах ошибки – частота является резонансной, или наилучшей общей кратной, частотой и для пульсаций звезд типа  $\delta$  Щита (Котов, Котов, 1997). Такому резонансу трудно найти

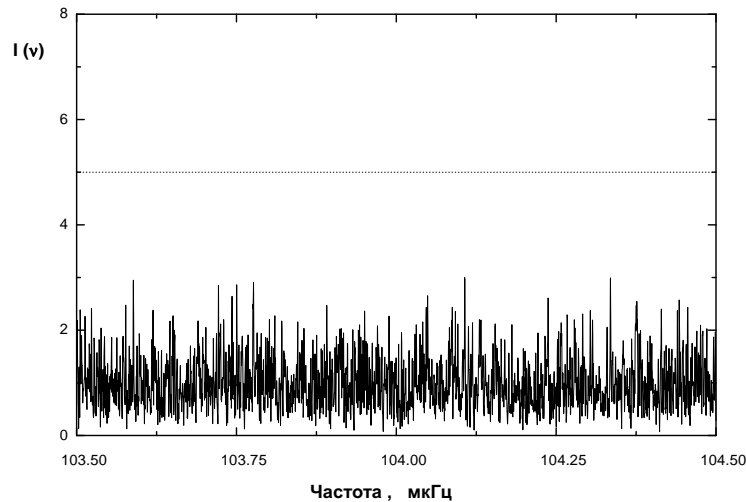


Рис. 4. То же, что на рис. 3, для хаотически распределенных во времени вариаций блеска четырех “случайных АЯГ”

разумное объяснение в рамках современных астрофизических теорий: колебание  $\nu_0$  нельзя считать исключительным свойством Солнца.

Еще более удивительно присутствие той же частоты в вариациях светимости далеких (*внегалактических*) объектов – АЯГ. Эти факты заставили нас более 15 лет тому назад выдвинуть гипотезу о *космологическом* происхождении осцилляции  $\nu_0$  ( $P_0$ ).

Анализ новых наблюдений быстрой переменности OJ 287, 3C 273, NGC 3516 и NGC 4151 убеждает в реальности явления и подтверждает космологическую гипотезу о его природе. В табл. 5 приведены сведения о присутствии  $\nu_0$ -колебания у Солнца и в вариациях светимости четырех АЯГ (значения периодов АЯГ определены по СМ соответствующих данных).

По сравнению с работой Котова и др. (1997b) число внегалактических объектов – не три, а четыре, а суммарное число остатков теперь  $N = 6606$ , т.е. увеличено почти вдвое (на 88%). Тем не менее видно, что значимость  $\nu_0$ -эффекта существенно возросла (рис. 3). С одной стороны, это усиливает статистическую обоснованность результата, а с другой – еще настоятельнее требует разумного объяснения.

Удивление вызывает независимость  $\nu_0$  от красного смещения  $z$ , на что указывалось неоднократно (Котов, Лютый, 1988б; Лютый, Котов, 1990). Последнее является главным аргументом в пользу космологического характера явления (а также, естественно, дает повод оппонентам для его упорного отрицания). Мы полагаем, что явление может иметь прямое отношение к проблемам общей теории относительности и космологии.

Авторы благодарны С.В. Котову и В.И. Ханейчуку за помощь в обработке наблюдательных данных и обсуждение результатов, а также Л.П. Грищуку, Б.В. Комбергу и В.И. Пронику за плодотворные дискуссии. Работа частично поддержана грантом INTAS (No. 2000 – 840).

## Литература

- Бирюков В.В., Терезиж В.Ю. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1991. Т. 83. С. 230.  
 Болтвуд (Boltwood P.) // Tuorla Obs. Rep. 1996. N. 176. P. 50.  
 Брукс и др. (Brookes J.R., Isaak G.R., van der Raay H.B.) // Nature. 1976. V. 259. P. 92.  
 Валтаоя и др. (Valtaoja L., Valtaoja E., Shakhovskoy N.M. et al.) // Astron. J. 1991. V. 102. P. 1946.  
 Висванатан, Эллиот (Visvanathan N., Elliot J.L.) // Astrophys. J. 1973. V. 179. P. 721.

- Гонсалес–Перес и др. (González–Pérez J.N., Kidger M.R., de Diego J.A.) // *Astron. Astrophys.* 1996. V. 311. P. 57.
- Гранди и др. (Grandi P., Tagliaferri G., Giommi P., Barr P., Palumbo G.G.C.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1992. V. 82. P. 93.
- Гусейнов Н.А. // *Кинематика и физика небес. тел.* 1997а. Т. 13. С. 78.
- Гусейнов Н.А. // *Кинематика и физика небес. тел.* 1997б. Т. 13. С. 80.
- Жиа и др. (Jia G.B., Cen X.F., Ma H.Y., Wang J.C.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1998. V. 129. P. 569.
- Карини и др. (Carini M.T., Miller H.R., Noble J.C., Goodrich B.D.) // *Astron. J.* 1992. V. 104. P. 15.
- Киджер и др. (Kidger M.R., Takalo L.O., de Diego J.A.) // *Astron. Astrophys.* 1994. V. 282. P. 369.
- Котов и Котов (Kotov S.V., Kotov V.A.) // *Astron. Nachr.* 1997. V. 318. P. 121.
- Котов В.А., Левицкий Л.С. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1987. Т. 77. С. 51.
- Котов В.А., Люты́й В.М. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1988а. Т. 78. С. 89.
- Котов В.А., Люты́й В.М. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1988б. Т. 79. С. 139.
- Котов В.А., Люты́й В.М. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1992а. Т. 85. С. 91.
- Котов В.А., Люты́й В.М. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1992б. Т. 86. С. 108.
- Котов В.А., Люты́й В.М., Ханейчук В.И. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1996. Т. 93. С. 90.
- Котов и др. (Kotov V.A., Haneychuk V.I., Tsap T.T., Hoeksema J.T.) // *Solar Phys.* 1997а. V. 176. P. 45.
- Котов и др. (Kotov V.A., Lyuty V.M., Haneychuk V.I., Merkulova N.I., Metik L.P., Metlov V.G.) // *Astrophys. J.* 1997б. V. 488. P. 195.
- Кси и др. (Xie G.Z., Li K.H., Cheng F.Z. et al.) // *Astron. Astrophys.* 1990. V. 229. P. 329.
- Кси и др. (Xie G.Z., Li K.H., Liu F.K. et al.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1992. V. 80. P. 683.
- Лоренцетти и др. (Lorenzetti D., Massaro E., Perola G.C., Spinoglio L.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1989. V. 71. P. 175.
- Люты́й В.М., Дорошенко В.Т. // *Письма в Астрон. журн.* 1993. Т. 19. С. 995.
- Люты́й В.М., Котов В.А. // *Письма в Астрон. журн.* 1990. Т. 16. С. 771.
- Люты́й В.М., Котов В.А. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1992. Т. 84. С. 104.
- Молес и др. (Moles M., García–Pelayo J. M., Masegosa J., Garrido R.) // *Astron. J.* 1986. V. 92. P. 1030.
- Северный и др. (Severny A.B., Kotov V.A., Tsap T.T.) // *Nature.* 1976. V. 259. P. 87.
- Силланпää и др. (Sillanpää A., Takalo L.O., Nilsson K., Kidger M., de Diego J.–A.) // *Astron. Astrophys.* 1992. V. 254. P. L33.
- Скаргль (Scargle J.D.) // *Astrophys. J.* 1982. V. 263. P. 835.
- Такало и др. (Takalo L.O., Kidger M.R., de Diego J.A., Sillanpää A., Nilsson K.) // *Astron. J.* 1992. V. 104. P. 40.
- Шеррер и Уилкокс (Scherrer P.H., Wilcox J.M.) // *Solar Phys.* 1983. V. 82. P. 37.
- Эпштейн и др. (Epstein E.E., Fogarty W.G., Hackney K.R. et al.) // *Astrophys. J.* 1972. V. 178. P. L51.