

УДК 524.7

## Периодическое колебание блеска ядра NGC 4151: аномалия фазы

*В.А. Котов<sup>1</sup>, В.М. Лютый<sup>2</sup>, В.И. Ханейчук<sup>1</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, han@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 12 февраля февраля 2003 г.

### Аннотация.

Анализ быстрой переменности блеска ядра сейфертовской галактики NGC 4151 подтвердил присутствие периодичности  $P_0 \approx 160$  мин со средней амплитудой примерно 0.01 зв.вел. Спектр мощности данных наблюдений за 27 лет, с 1968 г. по 1994 г., обнаружил значимый пик, соответствующий периоду  $160.0105 \pm 0.0005$  мин. Он в пределах ошибки совпал с априорным периодом  $P_0 = 160.0101 \pm 0.0001$  мин, открытым ранее у колебаний Солнца. Специальный анализ также показал, что начальная фаза средней  $P_0$ -кривой блеска NGC 4151 не зависит от орбитального движения Земли. Это является сильным аргументом в пользу космологической природы  $P_0$ -осцилляции, частота которой инвариантна по отношению к красному смещению  $z$ . Сделан вывод, что явление представляет собой “когерентную космическую осцилляцию” метрики Вселенной.

PERIODIC OSCILLATION OF LUMINOSITY OF THE NGC 4151 NUCLEUS: THE PHASE ANOMALY, by V.A. Kotov, V.M. Lyuty, V.I. Haneychuk. Analysis of intraday luminosity variability of the nucleus of the Seyfert galaxy NGC 4151 confirmed the presence of the periodicity  $P_0 \approx 160$  min with a mean amplitude of approximately 0.01 mag. The power spectrum of 27-year data (1968 – 1994) revealed the presence of the significant peak corresponding to a period of  $160.0105 \pm 0.0005$  min. It coincides well, within the error limits, with *a priori* period  $P_0 = 160.0101 \pm 0.0001$  min, discovered earlier in oscillations of the Sun. Thorough analysis of the data showed also that initial phase of the mean  $P_0$  curve of NGC 4151 does not depend on Earth’s orbital motion. This gives strong evidence in favour of a cosmological nature of the “universal”  $P_0$  oscillation which frequency is invariant with respect to redshift  $z$ . It is concluded that the phenomenon represents “a coherent cosmic oscillation” of metric of the Universe.

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

---

## 1 Введение

В 70 – 80-х годах прошлого века были обнаружены колебания Солнца с периодом 160 мин (Брукс и др., 1976; Северный и др., 1976; Шеррер, Уилкоккс, 1983). Спектры мощности измерений эффекта

Доплера фотосферы, выполненных в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) и Стэнфордском университете за 1974 – 1995 гг., – в сумме около 13600 ч наблюдений (Котов и др., 1997а), – продемонстрировали совпадение максимальных пиков в районе периода 160 мин, что убеждает в его солнечном происхождении. Период  $\approx 160.010$  мин у Солнца, однако, регистрировался только первые 9 лет, с 1974 г. по 1982 г.; наиболее точное значение этого солнечного периода:  $P_0 = 160.0101 \pm 0.0001$  мин (частота  $\nu_0 \approx 104.160$  мкГц; Котов и др., 2000б). Причина явления неизвестна.

Период  $P_0$  впоследствии был обнаружен и в вариациях блеска активных ядер галактик (АЯГ):  $P_G = 160.0104 \pm 0.0005$  мин (Котов и др., 1997б). Совпадение “солнечного” периода,  $P_0$ , с  $P_G$  и независимость от красного смещения  $z$  послужили основанием для Котова, Лютого (1988) выдвинуть гипотезу о космологической природе осцилляции  $P_0$ . Гипотеза предполагает возможную инвариантность фазы “осцилляции” по отношению к движению наблюдателя относительно источника. Последнее следует из предварительного анализа наблюдений NGC 4151, выполненных отдельно при положительных и отрицательных поправках  $\Delta t_\odot$  (они приводят моменты наблюдений на Земле к координатной системе, связанной с Солнцем; см. Котов и др., 2002).

Сомнение части астрономической общественности в результатах по АЯГ вызвано (а) близостью  $P_0$  к 1/9-ой среднесолнечных суток, (б) малостью относительной амплитуды эффекта,  $\approx 10^{-2}$ , и (в) кажущейся абсурдностью результата – независимостью периода, наблюдаемого у Солнца и далеких АЯГ, от расстояния до внегалактического объекта (от  $z$ , т.е. скорости удаления АЯГ). Решение спора может быть найдено путем анализа новых данных о быстрой переменности блеска АЯГ.

Недавно Саншэ и др. (2003) на основе анализа фундаментальных констант физики показали, что метрика Вселенной должна действительно колебаться с частотой “когерентной космической осцилляции”  $\nu_0$ . Поэтому последний результат Котова и др. (2002) – независимость фазы колебания АЯГ (точнее: фазы максимума блеска) от положения Земли на орбите – приобретает особое значение. Здесь рассматривается ряд измерений блеска ядра NGC 4151, состоящий из 1731 отдельных величин, что почти вдвое больше, чем в предварительной работе Котова и др. (2002).

## 2 Спектр мощности NGC 4151

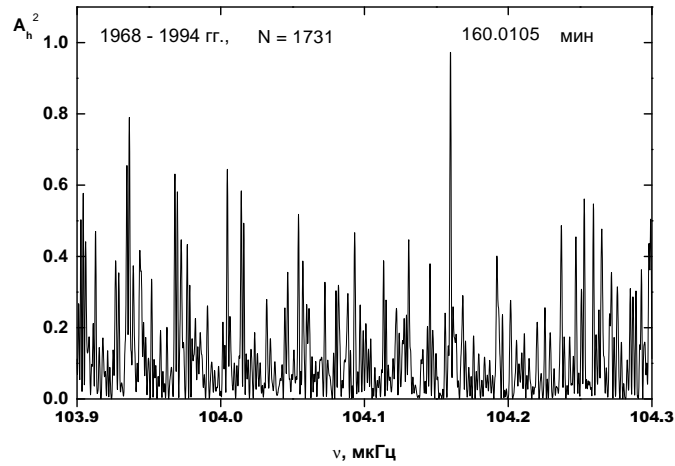
Моменты наблюдений приведены к Солнцу, причем каждое измерение блеска формально относится к 5-минутному интервалу. Медленные тренды удалялись полиномами порядка 1 или 2; в ряде случаев – обычно при длительности наблюдений от 2 ч до 3 ч – вычиталось среднее за ночь. Спектры мощности (СМ; точнее – периодограммы) вычислялись методом дискретного фурье-преобразования. Кривые блеска строились с *априорным* периодом  $P_0$ , начальная фаза которого отвечает UT 00<sup>h</sup> 00<sup>m</sup> 1 января 1974 г.

В качестве статистического критерия значимости средней кривой блеска или пика в СМ берется величина  $W$ , выраженная в “сигмах” ( $\sigma$ ) нормального распределения (Котов и др., 1997б). Другие обозначения:  $S$  – стандартное отклонение временного ряда,  $N$  – число остатков  $\delta$  (величин “измерение минус тренд”),  $A_h$  и  $\varphi$  – гармонические амплитуда и фаза максимума блеска средней кривой,  $\psi$  – фаза ее “пикового” минимума. Приводимые неопределенности отвечают стандартной ошибке  $\pm \sigma$ .

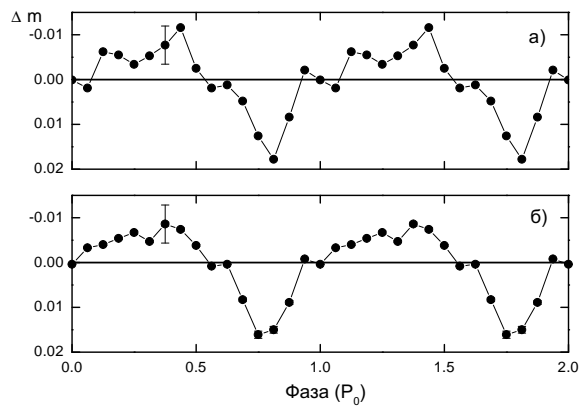
Наиболее полная сводка данных наблюдений NGC 4151 и результатов анализа приведены Котовым и др. (2000а). Показано, что  $P_0$ -периодичность наблюдается в “активные” ночи, когда имеет место вообще заметная – безотносительно к какой-либо периодичности – переменность центрального источника. В такие активные ночи некоторые остатки  $\delta$  превышают  $3\sigma_0$ , где  $\sigma_0 = 0.01$  зв.вел. – средняя эмпирическая точность отдельного измерения в фильтре U. В другие, “спокойные”, ночи объект не показывает заметной периодичности  $P_0$  на уровне  $A_h \gtrsim 0.001$  зв.вел.

Для проверки гипотезы об инвариантности фазы рассмотрим “активный” временной ряд NGC 4151, полученный в U- и V-фильтрах с добавлением рентгеновских (X) измерений (Котов и др., 1997б).

Наблюдения выполнены в 1968 – 1994 гг., причем суммарный ряд нормирован: X- и V-остатки по  $S$  приведены к U-остаткам;  $N = 1731$  и  $S = 0.063$  зв.вел. в U-фильтре. На рис. 1 приведен СМ этого



**Рис. 1.** Спектр мощности вариаций блеска NGC 4151 за 1968 – 1994 гг. Число измерений  $N = 1731$ , временные моменты приведены к Солнцу; по вертикали – квадрат гармонической амплитуды,  $A_h^2$ , выраженный в единицах  $(0.01 \text{ зв.вел.})^2$ , по горизонтали – частота  $\nu$ ; см. также Котов и др. (1997b)



**Рис. 2.** Средние кривые блеска NGC 4151, построенные по наблюдениям, моменты которых приведены (а) к Солнцу и (б) к Земле. Точки (измерения) соединены отрезками прямых линий; вертикальные черточки – типичные стандартные ошибки ( $\pm\sigma$ ) средних значений вариаций светимости (то же на рис. 4 и 5); интервал усреднения по фазе  $\tau \approx 20$  мин

ряда, вычисленный в достаточно широком диапазоне частот около 9-ой гармоники суток. Максимальный пик отвечает периоду  $160.0105 \pm 0.0005$  мин; амплитуда  $A_h = 0.009$  зв.вел., значимость  $W \approx 4.2\sigma$ .

### 3 Две средние кривые блеска

Далее будем иметь дело с двумя временными рядами, моменты наблюдений которых приведены, как обычно, к Солнцу, т.е. с поправкой  $\Delta t_{\odot}$ , или к Земле (без поправок; подробнее о поправках см. п. 5, а также Котов и др., 2002).

Кривая первого ряда для периода  $P_0$  приведена на рис. 2а:  $A_h = 0.0088 \pm 0.0026$  зв.вел.,  $W = 4.2\sigma$ ,  $\varphi = 0.55 \pm 0.05$ ,  $\psi = 0.01 \pm 0.03$ . Она имеет резко выраженный негармонический вид: широкий, “изломанный” максимум и узкий, сильный минимум.

На рис. 2б приведена  $P_0$ -кривая для “неправильных” данных, т.е. приведенных не к Солнцу, а к Земле (без поправок  $\Delta t_{\odot}$ ). Удивительно, но факт: вид ее более гладкий, гармонический, чем у верхней кривой. И она имеет большие амплитуду и статистическую значимость:  $A_h = 0.0094 \pm 0.0022$  зв.вел.,  $W = 4.6\sigma$ ,  $\varphi = 0.53 \pm 0.04$ ,  $\psi = 0.99 \pm 0.03$ . Асимметрия кривой осталась заметной: узкий, глубокий минимум и широкий, более или менее “гладкий”, максимум.

При сравнении гладкости кривых воспользуемся критерием Лафлера, Кинмана (1965). Для приведенной к Солнцу кривой величина  $\theta$ , характеризующая гладкость, равна 0.57, тогда как для кривой без временных поправок  $\theta = 0.37$ . Поскольку меньшее значение  $\theta$  соответствует большей значимости периодичности, заключаем, что поправки понижают значимость периодичности.

Следует ожидать, естественно, улучшения формы и значимости кривой после введения поправок  $\Delta t_{\odot}$ . На деле же, как следует из рис. 2 и критерия Лафлера-Кинмана, ситуация с  $P_0$ -колебанием обратная. В пп. 6 и 7 попытаемся определить, насколько “эффект фазы”, или эффект поправок  $\Delta t_{\odot}$ , значим статистически.

### 4 Космологическая гипотеза

Согласно  $P_0$ -гипотезе (Котов и др., 1997b, 2000a) независимость частоты  $\nu_0$  от  $z$ , при перманентном “расширении” Вселенной, обусловлена “замедлением” времени  $t$ , носящем также *космологический* характер. В терминах общей теории относительности, ОТО, период  $P_0$  трактуется как временной масштаб “флуктуаций пространственно-временной метрики”. При этом выполняется соотношение (Котов, Лютый, 1988)

$$dP_0/dt = H_0 \times P_0 = \Psi \approx 2 \times 10^{-14}, \quad (1)$$

где  $H_0 \approx 60 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпс}^{-1}$  – постоянная Хаббла, определяющая в стандартной модели “возраст” Вселенной  $T_0 = H_0^{-1} \approx 1.6 \times 10^{10}$  лет. Безразмерный параметр  $\Psi$  характеризует “универсальный процесс”  $P_0$ .

Котов и др. (1993) нашли указание на то, что АЯГ разделены на две группы, осциллирующие в (а) фазе и (б) противофазе с Солнцем. Это обстоятельство, связываемое с потенциальным наличием антивещества во Вселенной (объекты б), а также инвариантность  $P_0$  по отношению к  $z$  требуют особого внимания к поведению фазы.

### 5 Есть ли орбитальный эффект ?

При анализе  $P_0$ -периодичности АЯГ, в связи с космологической гипотезой, имеет смысл рассмотреть две возможности.

#### 5.1 Стандартный подход

Если периодичность связана с обычными процессами (например, аккреция диска, вращающегося вокруг черной дыры, обычная пульсация АЯГ некосмологической природы), то моменты наблюдений необходимо приводить к Солнцу с помощью поправки

$$\Delta t_{\odot} = -\tau_0 \times \cos \beta \times \cos (\lambda - \lambda_{\odot}), \quad (2)$$

где  $\tau_0 \approx 8.3$  мин – среднее время распространения света от Солнца к Земле,  $\beta$  и  $\lambda$  – эклиптические координаты АЯГ. Долгота Солнца

$$\lambda_{\odot} = 360^{\circ} \times (t' - 0.2183), \quad (3)$$

где  $t'$  – момент наблюдения, отсчитываемый в долях года от UT 00<sup>h</sup> 00<sup>m</sup> 1 января данного года. Эклиптические координаты NGC 4151:  $\beta = 36.^{\circ}66$ ,  $\lambda = 163.^{\circ}30$ .

Без исправления моментов за  $\Delta t_{\odot}$  амплитуда и значимость кривой блеска будут занижены из-за рассеяния фаз отдельных измерений на величину  $\Delta\varphi = \Delta t_{\odot}/P_0$ .

## 5.2 Подход нестандартный

В случае космологической трактовки (п. 4) данные не следует исправлять за  $\Delta t_{\odot}$ : они должны анализироваться в системе координат, связанной с наблюдателем. Если  $P_0$ -колебание – свойство метрики пространства-времени, то движение Земли не должно сказываться на фазе сигнала.

До сих пор в данные АЯГ вводилась поправка  $\Delta t_{\odot}$  (за исключением пробного анализа Котова и др., 2002). Теперь если из моментов этих, скорректированных, данных вычесть  $\Delta t_{\odot}$ , то получим “истинный” временной ряд с моментами наблюдений на Земле. Для такого ряда кривая блеска и амплитуда пика в СМ будут уменьшены – по сравнению с скорректированным рядом – в случае подхода 5.1 и увеличены в случае подхода 5.2. Вопрос в том, насколько уверенно эффект может быть зафиксирован ввиду малости поправок фазы  $|\Delta\varphi| \lesssim 0.05$ .

## 5.3 Новый спектр мощности

Был рассмотрен полный нормированный ряд с числом  $N = 1731$ . Так как поправки малы, а влияние скважности велико, общий вид СМ без коррекции за  $\Delta t_{\odot}$  остался похожим на СМ с коррекцией (рис. 1; ввиду малого изменения новый спектр не приводим). Мощность пика  $P_0$  практически не изменилась, но (1) уровень шумов заметно понизился, а (2) период главного пика приблизился к  $P_0$ : 160.0104 мин вместо 160.0105 мин. Заметим, однако, что изменение периода находится в пределах ошибки.

## 6 Две группы измерений

Гистограмма распределений данных по поправкам приведена на рис. 3. Из них выделим две группы остатков  $\delta$  с наибольшими по абсолютной величине поправками:

- (1) данные с  $\Delta t_{\odot} \geq 0.002$  сут, 1968–1994 гг. ( $N = 1157$ ,  $S = 0.054$  зв.вел.) и
- (2) данные с  $\Delta t_{\odot} < 0.001$  сут, 1968–1993 гг. ( $N = 381$ ,  $S = 0.089$  зв.вел.).

Для данных наблюдений этих групп припишем нижние индексы 1 и 2 соответственно. Средне-взвешенные значения поправок для них:  $\Delta t_{\odot 1} = 5.3$  мин и  $\Delta t_{\odot 2} = -4.6$  мин соответственно. Их разность,  $\approx 9.9$  мин, отвечает фазовому сдвигу  $\Delta\varphi_0 \approx 0.06$ . Следовательно, если космологическая гипотеза оправдывается, разности фаз двух групп должны быть примерно 0.06 и 0.00 – соответственно для массивов, приведенных к Солнцу или к Земле, т.е. при сравнении пар массивов  $1_{\odot} - 2_{\odot}$  и  $1_{\oplus} - 2_{\oplus}$ .

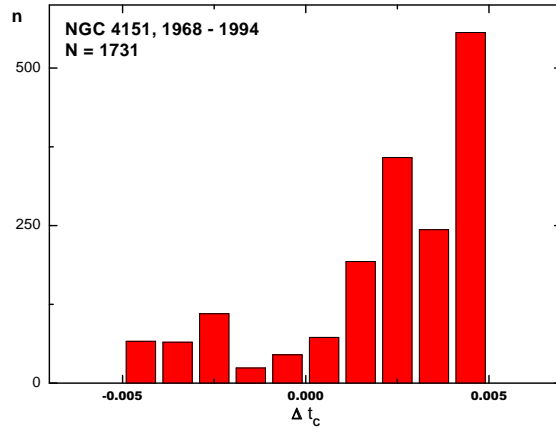
Усредненные кривые для двух групп и для обоих рядов – некорректированного и скорректированного за  $\Delta t_{\odot}$  – приведены на рис. 4 и 5, параметры же кривых – в табл. 1. Далее будем говорить о среднем фазовом смещении, определенном по соотношению фаз  $\varphi_h$  и  $\psi$ .

Из табл. 1 видно, что фазы  $\varphi_h$  и  $\psi$  двух групп, не приведенных к Солнцу, в пределах ошибок совпадают, а их средняя разность,  $\Delta_{\oplus} = 0.02$ , не превышает ошибки, равной  $\pm 0.05$ ; амплитуды  $A_h$  близки друг к другу.

Другой результат имеем для кривых с коррекцией  $\Delta t_{\odot}$ : разность фаз,  $\Delta_{\odot} = 0.08 \pm 0.05$ , согласуется с расчетной величиной  $\Delta\varphi_0 \approx 0.06$  и несколько превосходит собственную ошибку. Амплитуды

**Таблица 1.** Параметры средних кривых блеска NGC 4151

Группа	$\Delta t_{\odot}$ , сут	$N$	$A_h$ , зв.в.ел.	$\varphi_h$	$\psi$
$1_{\odot}$	$\geq 0.002$	1157	$0.009 \pm 0.003$	$0.58 \pm 0.04$	$0.09 \pm 0.03$
$2_{\odot}$	$< 0.001$	381	$0.012 \pm 0.007$	$0.49 \pm 0.09$	$0.02 \pm 0.03$
$1_{\oplus}$	$\geq 0.002$	1157	$0.010 \pm 0.003$	$0.55 \pm 0.05$	$0.03 \pm 0.03$
$2_{\oplus}$	$< 0.001$	381	$0.012 \pm 0.006$	$0.52 \pm 0.07$	$0.03 \pm 0.03$

**Рис. 3.** Распределение наблюдений NGC 4151 по поправкам  $\Delta t_C \equiv \Delta t_{\odot}$  (1968 – 1994 гг.,  $N = 1731$ )

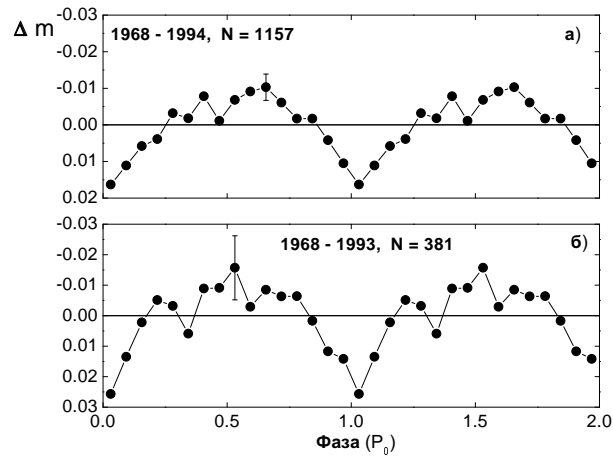
$A_h$  кривых на рис. 5а и 5б равны  $0.009 \pm 0.003$  и  $0.012 \pm 0.007$  зв.в.ел. соответственно, т.е. в пределах ошибок совпадают.

Следовательно, гипотеза о том, что моменты наблюдений NGC 4151 приводить к Солнцу *не следует* (Котов и др., 2002), подтверждается, но пока лишь на уровне значимости, в среднем, примерно  $1.6\sigma$  (90%).

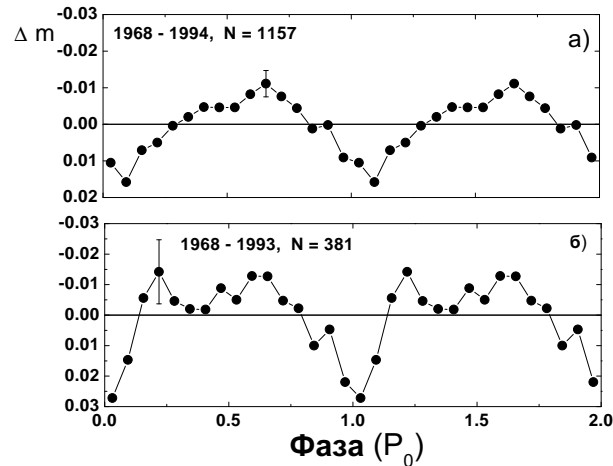
## 7 Кросс-корреляция

Интерес представляют кросс-корреляционные зависимости  $F(d)$  четырех кривых рис. 4 и 5 ( $d$  – взаимный фазовый сдвиг двух кривых в пределах  $0 - 1$ ). Эти зависимости для двух рядов – с коррекцией  $\Delta t_{\odot}$  или без неё – показаны на рис. 6.

Максимальные коэффициенты корреляции получились при сдвигах  $d_m = 0.08 \pm 0.04$  и  $0.03 \pm 0.04$ , – соответственно для поправок  $\Delta t_{\odot}$  (моменты приведены к Солнцу) и  $\Delta t_{\oplus} \equiv 0$  (к Земле). Указанные ошибки, близкие к стандартным, отвечают неопределённости в определении площадей (главных пиков) слева и справа от вертикальных линий на рис. 6.



**Рис. 4.** То же, что на рис. 2, для некорректированного за  $\Delta t_{\odot}$ , т.е. не приведенного к Солнцу, временного ряда NGC 4151: (а) – для  $\Delta t_{\odot} \geq 0.002$  сут,  $N = 1157$ , (б) – для  $\Delta t_{\odot} < 0.001$  сут,  $N = 381$ ;  $\tau \approx 30$  мин



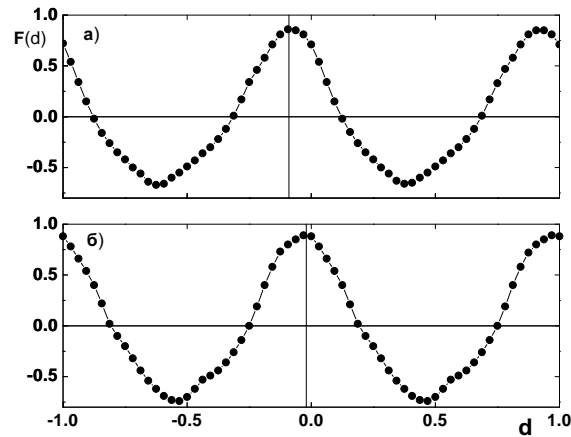
**Рис. 5.** То же, что на рис. 4, для исправленного за  $\Delta t_{\odot}$  ряда, т.е. приведённого к Солнцу: (а) – для  $\Delta t_{\odot} \geq 0.002$  сут,  $N = 1157$ , (б) – для  $\Delta t_{\odot} < 0.001$  сут,  $N = 381$

Если второй сдвиг  $d_m$  практически нулевой, то первый в пределах ошибки совпадает с расчётной величиной 0.06 и значим на уровне примерно  $2\sigma$  (95%). С такой достоверностью, следовательно, можно говорить о независимости начальной фазы  $P_0$ -колебания от движения наблюдателя по отношению к источнику.

## 8 Заключение

Отметим три парадоксальных аспекта, демонстрируемых  $P_0$ -колебанием:

(1) один и тот же, в пределах ошибки, период зарегистрирован у разных объектов – Солнца и АЯГ,



**Рис. 6.** Кросс-корреляционные зависимости  $F(d)$ , вычисленные для кривых блеска NGC 4151 с моментами наблюдений, приведёнными к Солнцу (а) и Земле (б);  $d$  – относительный фазовый сдвиг двух кривых блеска. Вертикальные линии отвечают “центрам тяжести” главных пиков максимальной корреляции

(2) он не зависит от  $z$ ,

(3) фаза  $\varphi$  колебания (ядра NGC 4151) не зависит от движения наблюдателя вокруг Солнца.

Всё это, естественно, вызывает вполне понятное недоверие к результатам (см., например, критику Бирюкова, Тербижа, 1991, а также ответ Лютого, Котова, 1992).

Практически все разумные предположения о земной природе  $P_0$ -периодичности, а также влияние случайных и систематических ошибок уже детально рассмотрены (Котов, Лютый, 1988; Котов и др., 1997b). Новые оптические наблюдения, проведённые в Государственном астрономическом институте им. П. К. Штернберга и КРАО в 1985 – 1996 гг., подтвердили  $P_0$ -период у NGC 4151 (Котов и др., 2000a). Но наиболее интересным сейчас представляется, конечно, отсутствие орбитального эффекта – независимость фазы  $\varphi$  от положения наблюдателя на орбите Земли. Примечательны две кривые блеска рис. 2, явно говорящие о нетривиальности вопроса о поправках  $\Delta t_{\odot}$  для колебания  $P_0$ , регистрируемого у потока фотонов от ядра NGC 4151. В эффекте фазы заключается, по-видимому, и ответ на одно из принципиальных замечаний оппонентов: почему  $P_0$  не зависит от  $z$ ?

Согласно Саншэ и др. (2003) явление представляет собой “когерентную космическую осцилляцию” метрики Вселенной. Ими обнаружены поразительные соотношения между  $\nu_0$  и значениями фундаментальных констант физики; это, в свою очередь, позволило им получить более точное значение наиболее “таинственной” – и наихудшим образом определенной до сих пор – постоянной Ньютона ( $G = 6.6753 \times 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ ).

Наблюдаемые свойства  $P_0$ -колебания АЯГ противоречат привычным представлениям 20-го века об эволюции Вселенной и заставляют сомневаться в её стандартной модели, основанной на Большом взрыве. Новый же аномальный эффект – эффект фазы – представляет собой особый интерес для фундаментальной физики, физики АЯГ, ОТО и космологии.

Авторы признательны Н. И. Меркуловой, Л. П. Метик и В. Г. Метлову за активное участие в наблюдениях быстрой переменности АЯГ. Спасибо также Ф. М. Саншэ за возможность ознакомиться с его результатами до публикации и полезное обсуждение проблемы “космической осцилляции”. Работа получила частичную поддержку INTAS (грант N 2000 – 840).

## Литература

Бирюков В.В., Тербиж В.Ю. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1991. Т. 83. С. 230.



- Брукс и др. (Brookes J.R., Isaak G.R., van der Raay H.B.) // *Nature*. 1976. V. 259. P. 92.
- Котов В.А., Лютый В.М. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1988. Т. 78. С. 89.
- Котов В.А., Лютый В.М., Метлов В.Г., Ханейчук В.И. // *Кинематика и физика небес. тел.* 2000а. Т. 16. С. 558.
- Котов В.А., Лютый В.М., Ханейчук В.И. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1993. Т. 88. С. 47.
- Котов В.А., Лютый В.М., Ханейчук В.И., Меркулова Н.И., Метик Л.П. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 2002. Т. 98. С. 47.
- Котов В.А., Ханейчук В.И., Цап Т.Т. // *Кинематика и физика небес. тел.* 2000б. Т. 16. С. 49.
- 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.* 1997b. V. 488. P. 195.
- Лафлер, Кинман (Lafler J., Kinman T.D.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1965. V. 11. P. 216.
- Лютый В.М., Котов В.А. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1992. Т. 84. С. 104.
- Саншэ и др. (Sanchez F.M., Dubuisson J.-S., Arylov S.V.) // *Compt. Rend. Acad. Sci. Paris.* 2003 (submitted).
- Северный и др. (Severny A.B., Kotov V.A., Tsap T.T.) // *Nature*. 1976. V. 259. P. 87.
- Шеррер, Уилкокк (Scherrer P.H., Wilcox J.M.) // *Solar Phys.* 1983. V. 82. P. 37.