

УДК 524.7

Феномен ядра NGC 4151: периодическое колебание блеска в 1968 – 1997 гг.

В.А. Котов¹, В.М. Лютый², Н.И. Меркулова¹

¹ Крымская астрофизическая обсерватория, 98409, Украина, Крым, Научный
e-mail: vkotov@crao.crimea.ua, nelly@crao.crimea.ua

² Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва 119899

Поступила в редакцию 20 декабря 2003 г.

Аннотация. Быстрые, в течение ночи, вариации блеска ядра сейфертовской галактики NGC 4151 наблюдались во многих обсерваториях. Мы проанализировали фотометрические наблюдения за 30 лет, выполненные в КраО и ГАИШ, с добавлением данных, опубликованных другими авторами (включая рентгеновские измерения на спутниках). Показано, что в активном состоянии блеск ядра меняется с периодом 160.0104 ± 0.0005 мин и средней гармонической амплитудой 0.006 U-вел. (значимость 3.5σ , статистическая вероятность 99.95%). Он согласуется с периодом $P_0 = 160.0101 \pm 0.0002$ мин, обнаруженным ранее в колебаниях фотосферы Солнца как звезды. Независимость периода от красного смещения z говорит в пользу космологической природы явления ("когерентная космическая осцилляция" Вселенной).

THE PHENOMENON OF THE NGC 4151 NUCLEUS: A PERIODIC LUMINOSITY OSCILLATION, 1968 – 1997, by V.A. Kotov, V.M. Lyuty, N.I. Merkulova. Rapid, intranight, variations of the luminosity of the nucleus of the Seyfert galaxy NGC 4151 were observed by many observatories. We analysed the photometric observations, performed during 30 years in the Crimean Astrophysical Observatory and the P.K. Sternberg State Astronomical Institute, with addition of the data published by other authors (including X-ray measurements by satellites). It is shown that during its active state the NGC 4151 nucleus undergoes oscillations with a period of 160.0104 ± 0.0005 min and the mean harmonic amplitude 0.006 U-mag (C.L. 3.5σ , probability 99.95%). It agrees well with the period 160.0101 ± 0.0002 min discovered earlier in oscillations of the photosphere of the Sun seen as a star. The independence of the period on the redshift z suggests a cosmological origin of the phenomenon (a "coherent cosmic oscillation" of the Universe).

Ключевые слова: активные ядра галактик, космология

1 Введение

Согласно стандартной модели, Вселенная расширяется после Большого взрыва. Следствием является красное смещение z спектральных линий, пропорциональное расстоянию до внегалактического объекта. Такое же смещение должна испытывать и частота любого периодического процесса, протекающего в источнике. Поэтому нелепыми и абсурдными частью астрофизиков и космологов

воспринимаются сообщения Котова и Лютого (1987, 1988), Лютого и Котова (1992) об обнаружении колебаний блеска некоторых активных ядер галактик, АЯГ, с устойчивым периодом, совпадающим с периодом пульсации Солнца ≈ 160 мин (об этом открытии см. Брукс и др., 1976; Северный и др., 1976; Шеррер, Уилкоккс, 1983).

Краткая история вопроса такова. В конце прошлого века была обнаружена пульсация Солнца с периодом 160.0101 ± 0.0016 мин, вытекающим из доплеровских наблюдений фотосферы 1974 – 1982 гг. Период затем был уточнён на основе анализа временной последовательности начальных моментов хромосферных вспышек Солнца за 1947 – 1980 гг.: $P_0 = 160.0101 \pm 0.0002$ мин (“каноническое” значение, см. Котов и др., 1997а; ошибки всюду соответствуют неопределённости $\pm 1\sigma$).

Теория внутреннего строения звёзд и гелиосейсмология не в состоянии объяснить P_0 -пульсацию Солнца (подробнее см. Кристенсен-Далсгаард, Гаф, 1976; Котов, 1985). Котов и Котов (1997) обнаружили вскоре, что наилучшее общее кратное периодов пульсаций звезд типа δ Sct совпадает с P_0 .

Поразительные факты неслучайной P_0 -соизмеримости, или P_0 -резонанса, в пределах Солнечной системы и в мире звёзд (Котов, 1985) послужили поводом Котову и Лютому (1987, 1988) выдвинуть гипотезу, что явление имеет более общий характер, нежели просто колебание Солнца (например, в виде одной из его g -мод), и поискать аналогичную периодичность в вариациях блеска самых массивных и компактных объектов Вселенной – АЯГ. При этом *a priori* предполагалось, что характерные периоды АЯГ могут быть *вблизи* P_0 . Неожиданностью оказалось то, что в спектре мощности вариаций блеска первого же объекта, NGC 4151, значимый период, 160.0098 ± 0.0005 мин, в пределах ошибки совпал с P_0 . Независимость периода от z по Котову и Лютому (1992) есть следствие космологической природы феномена: он представляет собой “мировые часы”, или “универсальные флуктуации пространственно-временной метрики”. По терминологии Саншэ (2003) в P_0 -колебаниях АЯГ проявляется “когерентная космическая осцилляция”. Явление заслуживает пристального внимания.

2 Прежние наблюдения NGC 4151

Первые результаты Котова и Лютого (1987) были основаны на 186 измерениях блеска, выполненных одним из авторов, В.М.Л., в 1968 – 1984 гг. Результаты и выводы подтверждены более обширным материалом, состоящим из $N = 3494$ измерений за 1968 – 1996 гг.: U-V-фотометрия относительно стандартных звезд, а также рентгеновские, X, измерения на спутниках ARIEL-5, EXOSAT и Ginga. Сведения о всех предыдущих измерениях и обработке приведены Котовым и др. (1997b, 2000).

Под вариациями блеска ядра NGC 4151 всюду подразумеваются X-U-V-остатки после удаления медленных трендов. Каждое измерение при этом относится к отдельному 5-минутному интервалу. Моменты наблюдений приведены к Солнцу, нуль фазы отвечает UT $00^h 00^m$ 1 января 1974 г. Исследованный ранее массив включал 553 X-остатка, 1480 U-остатков и 1461 V-остаток, в сумме $N = 3494$. Теперь мы его дополнили новыми наблюдениями ГАИШ и КрАО за 1988 – 1997 гг., а также данными других авторов, доведя N до 4744.

3 Новые данные

Фиоре и др. (1989) опубликовали измерения рентгеновского потока в диапазоне энергий 2 – 10 кэВ, выполненные на спутнике EXOSAT 12.07.1983 г., 15.05.1985 г. и 1.03.1986 г. при суммарной длительности наблюдений $L = 53.4$ ч. Сняв медленные тренды для каждой записи отдельно, мы получили массив остатков $N = 345$ со стандартным отклонением $S = 0.049$ зв.вел.

Якуб и др. (1989) привели три записи EXOSAT, 3.5 – 6.0 кэВ, за 12.07.1983 г., 27.01.1985 г. и 1.03.1986 г. общей длительностью 62.0 ч. Удалив тренд для каждой записи отдельно, мы получили массив остатков $N = 330$, $S = 0.131$ зв.вел.

В 1995 – 1996 гг. U-измерения сделаны на телескопе АЗТ-11, КрАО, и телескопе Цейсс-600, Крымская лаборатория ГАИШ, в течение 4-х ночей: 23/24.02.1995 г., 6/7.03.1995 г., 20/21.02.1996 г. и

21.02.1996 г. После усреднения измерений в 5-минутных интервалах и нашей стандартной обработки получен общий массив U-остатков: $N = 105$, $S = 0.033$ зв.вел., $L = 10.1$ ч.

В те же 4 ночи и на тех же телескопах измерения сделаны одновременно и в фильтре V; для них получен аналогичный массив: $N = 105$, $S = 0.033$ зв.вел., $L = 10.1$ ч.

Шарипова, Прокофьева (1998) опубликовали свои наблюдения за пять ночей, выполненные на телескопе МТМ-500 КраО в фильтре V: 23.01, 10.02, 13.02, 17.02 и 12.04.1988 г. Сюда же мы присоединили одну ночь Гусейнова (1988), 21/22.02.1988 г., на телескопе Цейсс-600 Шемахинской астрофизической обсерватории. В результате получен массив V-остатков $N = 35$, $S = 0.050$ зв.вел., $L = 29.4$ ч.

В 1995 – 1997 гг. на АЗТ-11 КраО наблюдения выполнены в течение шести ночей: 20.05.1995 г., 21/22.03, 23.04, 25.04, 8.05.1996 г. и 15/16.02.1997 г. в фильтрах U и V одновременно ($L = 15.2$ ч). После удаления трендов получен массив U-остатков: $N = 165$, $S = 0.010$ зв.вел., – и массив V-остатков: $N = 165$, $S = 0.008$ зв.вел.

Список новых X-U-V-остатков, не рассматривавшихся ранее, приведён в табл. 1. Число новых U-остатков $N = 270$ (число ночей $N_n = 10$, $L = 25.3$ ч), число новых V-остатков: $N = 305$ ($N_n = 16$, $L = 54.7$ ч), число новых X-остатков: $N = 675$ (число записей, или “ночей”, $N_n = 6$, $L = 115.4$ ч). Колонка “переменность” означает активное, “+”, или спокойное, “–”, состояние ядра, см. ниже. Суммарное число новых X-U-V-остатков $N = 1250$.

Вместе со “старыми” данными (Котов и др., 2000) полное число остатков теперь равно 4744. Этот полный массив включает в себя: X-измерения 1975 – 1991 гг. ($N = 1228$, $S = 0.142$ зв.вел.), U-измерения 1968 – 1997 гг. ($N = 1750$, $S = 0.043$ зв.вел.) и V-измерения 1985 – 1997 гг. ($N = 1766$, $S = 0.019$ зв.вел.).

Таблица 1. Новые данные о переменности NGC 4151, 1983–1997 гг.

Дата	Обсерватория	Фильтр	L, ч	N	S, зв.вел.	Переменность	Ссылка
12.07.1983	EXOSAT	X	23.1	146	0.039	–	Фиоре и др. (1989)
12.07.1983	”	X	24.0	123	0.111	+	Якуб и др. (1989)
27.01.1985	”	X	22.2	132	0.107	+	Якуб и др. (1989)
15.05.1985	”	X	9.3	64	0.037	+	Фиоре и др. (1989)
1.03.1986	”	X	21.0	135	0.063	+	Фиоре и др. (1989)
1.03.1986	”	X	15.8	75	0.190	+	Якуб и др. (1989)
23/24.02.1995	КраО	U	3.2	35	0.043	+	–
6/7.03.1995	КраО	U	2.4	27	0.016	+	–
20/21.02.1996	ГАИШ	U	2.1	17	0.023	+	–
21.02.1996	КраО	U	2.4	26	0.039	+	–
20.05.1995, 21/22.03, 23.04, 25.04, 8.05.1996, 15/16.02.1997	КраО	U	15.2	165	0.010	–	–
23.01, 10.02, 13.02, 17.02, 12.04.1988	КраО	V	25.0	24	0.059	+	Шарипова и Прокофьева (1998)
21/22.02.1988	Шемаха	V	4.4	11	0.023	+	Гусейнов (1988)
23/24.02.1995	КраО	V	3.2	35	0.042	+	–
6/7.03.1995	КраО	V	2.4	27	0.017	+	–
20/21.02.1996	ГАИШ	V	2.1	17	0.029	+	–
21.02.1996	КраО	V	2.4	26	0.037	+	–
20.05.1995, 21/22.03, 23.04, 25.04, 8.05.1996, 15/16.02.1997	КраО	V	15.2	165	0.008	–	–
1983–1997	–	X, U, V	–	1250	–	–	–

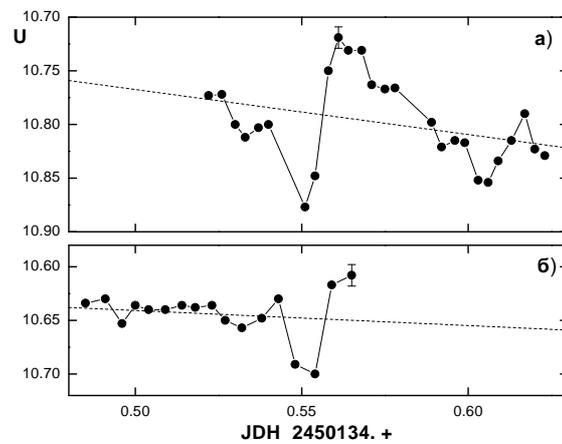


Рис. 1. Измерения U-блеска NGC 4151 на телескопах AZT-11 КрАО (а) и Цейсс-600 Крымской лаборатории ГАИШ (б), выполненные 20/21.02.1996 г. (точки). Пунктирной линией показан линейный тренд, вертикальными чёрточками показаны типичные ошибки

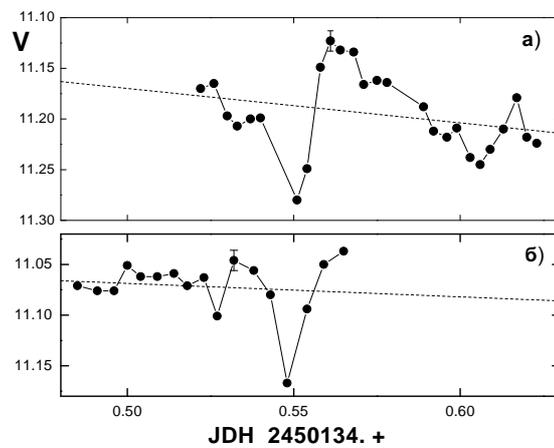


Рис. 2. То же, что на рис. 1, в фильтре V

На рис. 1 и 2 приведены измерения U-V-блеска NGC 4151, выполненные 20/21.02.1996 г. на двух телескопах, AZT-11 КрАО и Цейсс-600 Крымской лаборатории ГАИШ. Видно, что сильная переменность – отклонения от тренда, превышающие 0.03 зв.вел., – зарегистрированы *одновременно* двумя инструментами. Это убеждает в реальности переменности на шкале времени порядка часа и делает несостоятельными ссылки на некие инструментальные погрешности или неточности гидирования при объяснении P_0 -колебаний АЯГ.

4 Селекция наблюдений

Заметная переменность NGC 4151 в фильтрах U и V наблюдается не всегда, а в течение менее половины ночей (Котов и др., 2000). В качестве критерия переменности принимается величина 3Δ , где $\Delta = 0.01$ зв.вел. – типичная ошибка крымских U-V-измерений. Ночь считается с переменностью (“активное” состояние ядра, или “+” в предпоследнем столбце табл. 1), если по крайней один остаток превышает 3Δ . В противном случае ночь считается без переменности (“спокойное” состояние, “–” в табл. 1). Согласно табл. 1, среди новых наблюдательных данных в U-фильтре 4 ночи – активные, 6 – спокойные; для V-фильтра 10 ночей активных, 6 спокойных.

Результаты селекции U- и V-наблюдений для всего 30-летнего массива приведены в табл. 2 (вверху нижними индексами “+” и “–” обозначены активные и спокойные массивы). Оставляя в стороне рутинные U-измерения ($N = 384$), приходим к заключению, что в фильтре U переменность наблюдалась в течение 45% ночей, а в фильтре V – в течение 37%. По числу измерений N и длительности L соответствующие доли составляют 41% и 46% для U-измерений и 33% и 38% для V-измерений.

Аналогичная селекция проведена для X-данных. Но поскольку X-измерения сделаны разными спутниками и в разных энергетических диапазонах, когда трудно установить типичную ошибку отдельного измерения, селекция производилась по отношению к стандартному отклонению $S_x = 0.142$ зв.вел. всего X-ряда 1975 – 1991 гг., $N = 1228$. Массив остатков считался активным, если его стандартное отклонение превышало S_x ; в противном случае массив считался спокойным. Оставляя в стороне активные ряды спутников ARIEL-5 и Ginga (“отдельные” измерения, в сумме $N = 316$), из табл. 2 получаем, что доля активных записей (X-“ночей”) составляет 46%; по числу N и длительности L соответствующие доли составляют 62% и 61%.

Усреднив результаты селекции, выполненной отдельно для N , N_n , и L , получаем следующие доли активных интервалов V-, U- и X-наблюдений: 36%, 44% и 56% соответственно. Как видим, эта доля существенно растёт с увеличением жёсткости излучения.

При сведении отдельных массивов в две временные последовательности, активную и спокойную, X- и V-остатки по величине S приводились к соответствующему U-ряду, причём *отдельно и независимо* для активного и спокойного состояний ядра. В итоге получены две временные последовательности 1968 – 1997 гг. в шкале U-величин:

активный массив: $N = 2407$, $S = 0.058$ зв.вел.,
 спокойный массив: $N = 2337$, $S = 0.017$ зв.вел.

Ниже будем иметь дело с этим двумя независимыми *нормированными* рядами.

Таблица 2. Селекция измерений блеска NGC 4151 (1968 – 1997 гг., $N = 4744$)

Параметр	U ₊	U _–	V ₊	V _–	X ₊	X _–
N (отдельные измерения)	384	–	–	–	316	–
N (в течение ночи)	564	802	574	1192	569	343
N_n	23	28	25	42	6	7
L, ч	77.2	91.6	94.1	152.7	98.1	62.9

5 Спектры мощности

Спектры мощности (СМ, или периодограммы) вычислялись с помощью дискретного Фурье-преобразования, а статистические значимости пиков и средних кривых блеска оценивались по критериям Скаргля (1982), Котова и др. (2000). Для длительности ряда $L_0 \approx 30$ лет разрешение по частоте ν составляет $\Delta\nu = 1/L_0 \approx 1$ нГц; исходя из этого, СМ вычислялись с шагом 0.2 нГц.

СМ всех данных без селекции, $N = 4744$, вычисленный вблизи *априорного* периода P_0 , выглядит как спектр шума (спектр здесь не приводится). Отметим, тем не менее, что в нём *присутствует*

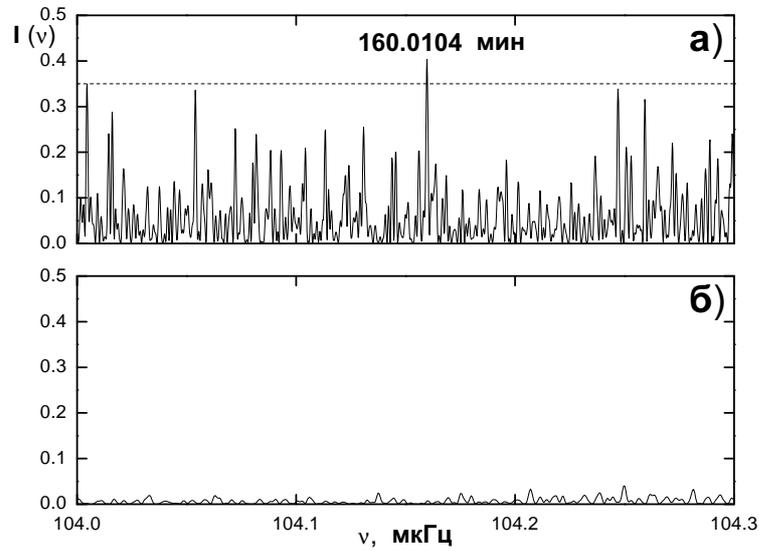


Рис. 3. Спектр мощности для активного, $N = 2407$ (а), и спокойного, $N = 2337$ (б), состояний ядра NGC 4151. По вертикали – мощность $I(\nu)$ в произвольных единицах (идентичных для а и б). Вверху максимальный пик отвечает периоду 160.0104 ± 0.0005 мин; пунктирной линией показан уровень априорной значимости 3σ

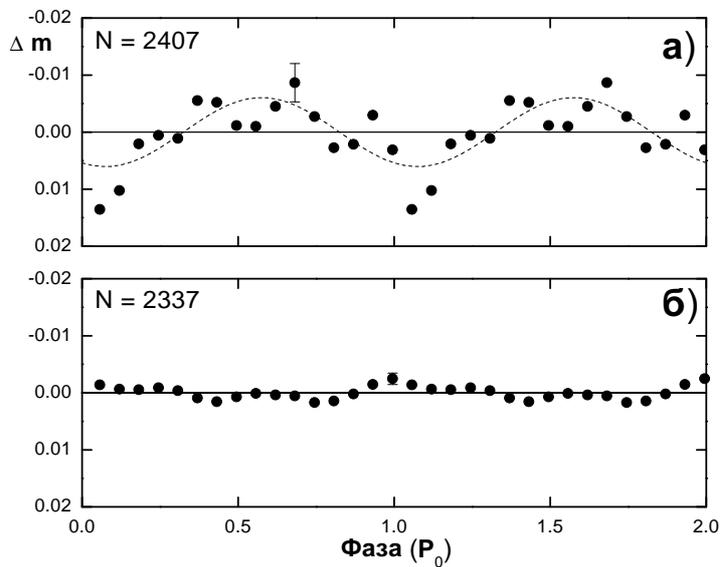


Рис. 4. Средние кривые изменения блеска NGC 4151 с периодом P_0 для активного, $N = 2407$ (а), и спокойного, $N = 2337$ (б), состояний ядра. Точки – усреднённые остатки в фазовых интервалах шириной $P_0/8$; вертикальными чёрточками показаны типичные стандартные ошибки; пунктирная линия – синусоида, проведённая через точки методом наименьших квадратов

пик 160.0104 ± 0.0005 мин с гармонической амплитудой $A = 0.003$ U-вел. и *априорной*, т.е. для заданной частоты, значимостью $W = 2.6\sigma$, что отвечает статистической вероятности $p = 99\%$.

Затем СМ был вычислен только для остатков, отвечающих активному состоянию ядра, $N = 2407$. Он представлен на рис. 3а, где максимальный пик соответствует периоду $P_g = 160.0104 \pm 0.0005$ мин; амплитуда $A = 0.0064$ зв.вел., $W = 3.5\sigma$ ($p = 99.95\%$).

СМ для спокойного состояния ядра, $N = 2337$, приведён на рис. 3б, где нет сколько-нибудь значимых особенностей.

На рис. 4а приведена средняя кривая изменения блеска NGC 4151 с периодом P_0 для активного состояния ядра, $N = 2407$: $A = 0.0061 \pm 0.0015$ U-вел., гармоническая фаза максимума $\phi = 0.57 \pm 0.04$, $W = 4.5\sigma$ (99.999%). В спокойном же состоянии ядро не показывает значимой P_0 -периодичности с верхним пределом для амплитуды 0.0012 U-вел. (рис. 4б).

6 Заключение

По сравнению с предыдущим исследованием Котова и др. (2000) число измерений блеска NGC 4151 возросло на 36%; относительно же первой публикации Котова и Лютого (1987) это число увеличилось почти в 26 раз. В результате обработки *всех данных за 30 лет* показано, что в СМ быстрых вариаций блеска *присутствует* априорно заданная периодичность P_0 с уровнем значимости 2.6σ (вероятность $p = 99\%$).

Весьма важной оказывается селекция ночей (временных рядов), относящихся к активному и спокойному состоянию ядра. Подчеркнём ещё раз, что эта селекция – отдельно для X-, U- и V-измерений – произведена на основе критериев переменности, не зависящих от присутствия или отсутствия какой-либо периодичности вообще; селекция поэтому вполне объективная. Новые результаты, полученные на более обширном материале, уточняют период NGC 4151 и подтверждают выводы Лютого и Котова (1992), Котова и др. (2000):

(а) в спокойном состоянии ядро NGC 4151 не обнаруживает заметного P_0 -колебания с амплитудой, превышающей 0.0012 U-вел.;

(б) в активном состоянии блеск изменяется с периодом $P_g = 160.0104 \pm 0.0005$ мин, имеющем среднюю амплитуду 0.0064 U-вел., значимость 3.5σ (99.95%) и стабильную фазу максимума блеска на протяжении примерно 30 лет;

(в) период NGC 4151 в пределах ошибки совпадает с периодом глобальной пульсации Солнца $P_0 = 160.0101 \pm 0.0002$ мин, физическая природа которого неизвестна;

(г) независимость периода P_g ($= P_0$) от красного смещения z внегалактического источника подтверждает предположение Котова и Лютого (1988) о космологическом происхождении “универсального” колебания P_0 (P_g).

Мы придерживаемся прежней интерпретации феномена (Котов, Лютый, 1988; Лютый, Котов, 1992) как “космологического колебания пространственно-временной метрики Вселенной”, или “такта абсолютных космических часов” в понимании Ньютона.

Особый интерес вызывает подход Саншэ (2003) к проблеме. По его мнению, P_0 является собой новую “универсальную константу” – период “когерентной космической осцилляции”. Такое понимание нового астрофизического феномена – P_0 -колебания – основано на обнаруженных Саншэ корреляциях P_0 с константой Ньютона и другими параметрами фундаментальной физики, а также с температурами микроволнового и нейтринного фоновых излучений Вселенной. Если наши результаты и корреляции Саншэ подтвердятся, они потребуют пересмотра стандартной модели Вселенной, основанной на гипотезе о Большом взрыве. А точнее, пересмотра в пользу квази-стационарной модели Вселенной, предложенной и обоснованной Хойлом, Бонди, Голдом и Нарликаром.

Авторы признательны В.И. Ханейчуку за разработку программ для анализа наблюдательных данных и Ф.М. Саншэ за полезное обсуждение “когерентной космической осцилляции” и её возможной физической природы. Работа поддержана грантом INTAS N 2000–840.

Литература

- Брукс и др. (Brookes J.R., Isaak G.R., van der Raay H.B.) // *Nature*. 1976. V. 259. P. 92.
- Гусейнов Н.А. // *Астрон. цирк.* 1988. N. 1533. С. 1.
- Котов (Kotov V.A.) // *Solar Phys.* 1985. V. 100. P. 101.
- Котов, Котов (Kotov S.V., Kotov V.A.) // *Astron. Nachr.* 1997. V. 318. P. 121.
- Котов В.А. и Лютый В.М. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1987. Т. 77. С. 148.
- Котов В.А. и Лютый В.М. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1988. Т. 78. С. 89.
- Котов В.А. и Лютый В.М. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1992. Т. 86. С. 108.
- Котов В.А., Лютый В.М., Метлов В.Г., Ханейчук В.И. // *Кинематика и физика небес. тел.* 2000. Т. 16. С. 558.
- Котов и др. (Kotov V.A., Haneychuk V.I., Tsap T.T., Hoeksema J.T.) // *Solar Phys.* 1997a. 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.
- Кристенсен-Далсгаард, Гаф (Christensen-Dalsgaard J., Gough D.O.) // *Nature*. 1976. V. 259. P. 89.
- Лютый В.М. и Котов В.А. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1992. Т. 84. С. 104.
- Саншэ (Sanchez F.M.) // *Private communication.* 2003.
- Северный и др. (Severny A.B., Kotov V.A., Tsap T.T.) // *Nature*. 1976. V. 259. P. 87.
- Скаргль (Scargle J.D.) // *Astrophys. J.* 1982. V. 263. P. 835.
- Фиоре и др. (Fiore F., Massaro E., Perola G.C., Piro L.) // *Astrophys. J.* 1989. V. 347. P. 171.
- Шарипова Л.М. и Прокофьева В.В. // *Астрофизика.* 1998. Т. 41. С. 333.
- Шеррер, Уилкоккс (Scherrer P.H., Wilcox J.M.) // *Solar Phys.* 1983. V. 82. P. 37.
- Якуб и др. (Yaqoob T., Warwick R.S., Pounds K.A.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1989. V. 236. P. 153.