

ОТКРЫТИЕ АНИЗОТРОПИИ РЕЛИКТОВОГО СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ. ДВАДЦАТЬ ПЯТЬ ЛЕТ КОСМИЧЕСКОМУ ЭКСПЕРИМЕНТУ «РЕЛИКТ»

Скулачев Д. П.

*Институт космических исследований Российской академии наук
ул. Профсоюзная 84/32, 117997, г. Москва, Россия
тел.: 333-2267, e-mail: dskulach @ mx.iki.rssi.ru*

Аннотация – Рассмотрены особенности приемной аппаратуры и результаты обработки данных космического эксперимента «Реликт». Наблюдения были выполнены в конце 1983 – начале 1984 г. с борта советского спутника «Прогноз-9». Эксперимент «Реликт» был первой попыткой обнаружения анизотропии космологического реликтового излучения из космоса. Приведены результаты сравнения данных «Реликт» и последнего эксперимента WMAP. Показано, что в эксперименте «Реликт» действительно был обнаружен сигнал анизотропии.

I. Введение

Реликтовое излучение представляет собой тепловое излучение первичной плазмы, заполнявшей Вселенную на начальных этапах ее развития. Из-за расширения Вселенной температура плазмы падала со временем и к моменту, когда возраст Вселенной достиг 400 тыс. лет (примерно 13 млрд. лет назад), температура снизилась до 3000 К. Плазма рекомбинировала, излучение отделилось от источника и стало свободно распространяться по Вселенной. Из-за дальнейшего расширения Вселенной, температура излучения упала еще больше и к настоящему времени она составляет 2.73 К. Наблюдаемая пространственная неоднородность (анизотропия) этого излучения очень мала. Она обусловлена собственным движением Солнечной системы (около 3 мК из-за эффекта Доплера) и пространственной неоднородности распределения вещества в момент рекомбинации (около 50 мК). Последний факт крайне важен для космологии с точки зрения понимания физики процессов ранней Вселенной. Существование реликтового излучения было предсказано Г. Гамовым с сотрудниками в 1948 г. В 1964 г. А. Дорошкевич и И. Новиков показали, что реликтовое излучение может быть обнаружено экспериментально. Излучение впервые наблюдалось советским астрономом Т. Шмаоновым в 1957 г. [1]. Однако, эта работа была не замечена и забыта. Лишь в 1965 г. А. Пензиас и Р. Вилсон сообщили о наблюдениях микроволнового фона [2]. За открытие реликтового излучения Пензиас и Вилсон удостоились в 1978 г. нобелевской премии по физике. В 1969 г. Е. Конклин впервые измерил дипольную (обусловленную эффектом Доплера) анизотропию реликтового излучения [3]. Попытки измерить высшие (кроме дипольной) гармоники анизотропии с помощью приемников, установленных на земле, на самолетах и аэростатах, давали отрицательные результаты. Это происходило из-за малой чувствительности аппаратуры того времени и, самое главное, из-за сильного теплового излучения Земли и земной атмосферы. В начале семидесятых годов в NASA США от нескольких научных групп поступили проекты исследований реликтового излучения с борта космических аппаратов. В СССР в это же время с аналогичными предложениями выступили астрофизики Н.С. Кардашов, И.Д. Новиков и И.С. Шкловский. В США было начато проектирование и изготовление специализированного спутника, получившего затем название COBE (Cosmic Background Explorer). В

СССР для установки аппаратуры был выбран аппарат серии «Прогноз», эксперимент получил название «Реликт». 1 июля 1983 г. спутник «Прогноз-9» был запущен на околоземную орбиту и проработал чуть более полугода. Через шесть лет, 18 ноября 1989 г. был запущен спутник COBE, он проработал более 4-х лет. В январе 1992 года на семинаре в Государственном астрономическом институте в Москве было объявлено, что обработка результатов эксперимента «Реликт» привела к открытию анизотропии реликтового излучения. В апреле 1992 года на семинаре Американского физического общества было объявлено об открытии анизотропии спутником COBE. Результаты в дальнейшем подтвердил спутник WMAP, запущенный в 2001 году. В 2006 году ведущие специалисты COBE – Д. Мэтер и Д. Смут получили нобелевскую премию по физике за исследования реликтового излучения и открытие его анизотропии.

II. Основная часть

Для эксперимента «Реликт» была разработана нестандартная для спутников «Прогноз» орбита с апогеем около 700 тыс.км. Такая орбита обеспечивала достаточно малое влияние радиоизлучения Земли, Луны и Солнца. Спутник был стабилизирован закруткой вокруг оси, направленной на Солнце.

Рабочей частотой наблюдений была выбрана около 37 ГГц. На этой частоте излучение нашей Галактики достаточно слабое, а габариты антенн невелики.

В качестве приемника был выбран классический модуляционный радиометр Дике с опорным рупором. Конфигурация антенного блока была такова, что опорный рупор был нацелен в сторону, противоположную Солнцу, а измерительная антенна - под прямым углом к направлению на Солнце.

Опорный рупор был выполнен корригированным и имел угловое разрешение 10° . В качестве измерительной применялась экранированная рупорно-параболическая антенна с разрешением 5.5° , возбуждаемая корригированным рупором. Уровень боковых лепестков антенн не превышал -60 дБ на углах 90° .

Модулятором служил р-и-п диод, работающий на проход/отражение и установленный в одно из плеч входного циркулятора. Квазиузулевой режим работы радиометра обеспечивался автоматическим балансиrom, воздействующим на прямой ток диода.

В качестве усилителя СВЧ был применен однокаскадный вырожденный параметрический усилитель на бескорпусном GaAs варакторном диоде с прижимным контактом. Для повышения общего коэффициента передачи усилитель работал в синхронном режиме с преобразователем частоты. Преобразователь ортомодного типа был выполнен на GaAs диодах по балансной схеме. Источником накачки и гетеродином служил двухчастотный (с выходами по первой и второй гармонике колебаний) генератор на диоде Ганна. Шумовая температура камеры усилителя составляла 50 К, преобразователя частоты – 700 К. Ширина полосы пропускания приемника

по входу составляла 850 МГц (400 МГц по промежуточной частоте).

Стабильность работы приемника обеспечивалась специальной настройкой параметрического усилителя и общей термостабилизацией СВЧ блока со сбросом излишков тепла в космос. Низкочастотный блок стабилизировался с помощью термоэлементов Пельтье.

Изменение коэффициента передачи прибора после запуска не было обнаружено, а за 8 месяцев работы на орбите не превысило 0.5 дБ. За это время было выполнено около 20 млн. измерений, при этом каждый элемент разрешения просматривался от 5 тыс. до 6 млн. раз.

После обработки данных было обнаружено излучение в плоскости Галактики, заметно превышающее имеющиеся на тот момент оценки [4]. Была измерена дипольная анизотропия излучения и определена скорость движения Солнечной системы относительно реликтового фона [5]. С вероятностью 90% была обнаружена анизотропия более высоких порядков, составляющая не менее 20 мкК [6]. Отношение сигнал/шум в эксперименте «Реликт» было невысоким, и рядом авторов высказывались сомнения в достоверности полученных данных [7].

Опубликованные в последнее время данные спутника WMAP [8] имеют очень хорошее соотношение сигнал/шум и позволяют провести прямое сравнение данных эксперимента «Реликт» и реальных значений сигнала на небесной сфере.

Это сравнение было выполнено и привело к следующим результатам. Координаты пиков излучения в плоскости Галактики соответствуют истинным с погрешностью порядка 1.5° . Величины пиков отклоняются от истинных в пределах 1 дБ. Дипольная компонента отклоняется от истинной на 0.25 дБ по амплитуде и на 3° по координатам.

Наиболее интересным представляется вопрос: присутствует ли реальный сигнал в данных «Реликта», или обнаруженная анизотропия является случайным выбросом шумов или неучтенным паразитным сигналом? Ответ на этот вопрос был дан путем расчета корреляции данных «Реликта» и WMAP. Анализ показал, что сигнал «Реликта» имеет положительную корреляцию с данными WMAP. Коррелированная составляющая совпадает с данными WMAP с погрешностью менее 1 дБ. Вероятность случайного получения такой корреляции составляет менее 10%.

III. Заключение

Рассмотрены особенности первого космического эксперимента «Реликт» по поиску анизотропии реликтового излучения. Показано, что обнаруженный при анализе данных сигнал действительно соответствует реальному сигналу на небесной сфере.

IV. Список литературы

- [1] Шмаонов Т. А. Методика абсолютных измерений эффективной температуры радиоизлучения с низкой эквивалентной температурой. 1957, ПТЭ, №1, с.83.
- [2] Penzias A. A., Wilson R. W. A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s. 1965, Astrophys. J., 1, p. 419.

- [3] Conklin E. K. Velocity of the Earth with Respect to the Cosmic Background Radiation. 1969, Nature, 222, p. 971.
- [4] Струков И. А., Скулачев Д. П. Измерение радиоизлучения Галактики на частоте 37 ГГц с борта космического аппарата. Письма в Астроном. журнал, 1987, 13, с.469.
- [5] Струков И. А., Скулачев Д. П., Боярский М. Н. и др. Дипольная составляющая реликтового излучения по данным эксперимента «Реликт». Письма в Астроном. журнал, 1987, 13, с.163.
- [6] Струков И. А., Брюханов А. А., Скулачев Д. П. и др. Анизотропия фонового излучения. Письма в Астроном. журнал, 1992, 18, с.387.
- [7] Banday, A., Smoot, G. F., Bennett, et al. Relict 1 and COBE-DMR Results: A Comparison. 1993, Bull.Amer.Phys.Soc., 38, p.1065.
- [8] http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/map/current/m_products.cfm

DISCOVERY OF THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND ANISOTROPY. 25 YEARS OF THE "RELICT" SPACE EXPERIMENT

Skulachev D. P.

Space Research Institute of RAS (IKI)
Moscow, 117997, Russia

Ph.: 333-2267, e-mail: dskulach @ mx.iki.rssi.ru

Abstract – Anisotropy of microwave background radiation is a predicted measurable effect of the early universe properties. The signal is extremely small, so a radiation from the Earth and the Earth's atmosphere may dramatically affect the investigation. Most sensitive results were obtained from the space experiments: Relict (launched in 1983), COBE (1989), and WMAP (2001). We observe the Relict microwave equipment and compare the results of data reduction with the WMAP data.

I. Introduction

Relict experiment was the first attempt to detect the cosmic microwave background (CMB) anisotropy from the space. The Relict instrument was designed to map the CMB intensity with an angular resolution about 6 degrees at a frequency of a 37 GHz.

II. Main Part

The Relict instrument was installed onboard the Soviet satellite "Prognoz-9" and consisted of a microwave radiometer and two antennae. The radiometer was differential Dicke-type one with degenerate microwave parametric amplifier in front-end. An antenna block consisted of a corrugated reference horn and a parabolic-horn measuring antenna. A degenerate parametric amplifier worked in synchronous mode with a mixer. Both, the parametric amplifier and the mixer were pumped from a double-frequency Gunn diode oscillator. The microwave equipment was temperature stabilized.

The satellite was launched in 1989. After 8 months of measurements the CMB anisotropy was detected with 90% confidence. Because of a pure signal to noise ratio, some authors consider Relict data as erroneous.

New WMAP data (5 years release) has a good signal to noise ratio. So we may calculate a covariation between Relict and WMAP data. The part of the Relict data correlated with WMAP appears to be positive and equal WMAP data with 1 dB error. The probability of a pure noise has the same correlation is less than 10%. So we can say that 25 years ago Relict instrument really detected a CMB anisotropy signal.