

УДК 523.9

# ПОЛЯРИМЕТРИЯ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИБОРОМ «ПИНГВИН-М», ОСНОВАННЫМ НА ЭФФЕКТЕ КОМПТОНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ, В КОСМИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ «КОРОНАС-ФОТОН»

<sup>1</sup>В.А. Дергачев, <sup>1</sup>Д.В. Скородумов, <sup>1</sup>В.П. Лазутков, <sup>1</sup>Г.А. Матвеев, <sup>1</sup>М.И. Савченко, <sup>1</sup>Е.М. Круглов, <sup>1</sup>И.И. Шишов, <sup>1</sup>Г.А. Пятигорский, <sup>1</sup>Ю.А. Чичикалюк, <sup>1</sup>В.В. Хмылко, <sup>1</sup>Г.И. Васильев, <sup>1</sup>В.А. Драневич, <sup>1</sup>С.Ю. Крутьков, <sup>2</sup>Ю.Д. Котов, <sup>2</sup>А.С. Гляненок, <sup>2</sup>А.И. Архангельский, <sup>2</sup>Ю.А. Горелый, <sup>2</sup>В.Т. Самойленко, <sup>2</sup>А.Н. Юров

## HARD X-RAY POLARIMETRY BY COMPTON SCATTERING DEVICE PENGUIN-M IN “CORONAS-PHOTON” MISSION

<sup>1</sup>V.A. Dergachev, <sup>1</sup>D.V. Skorodumov, <sup>1</sup>V.P. Lazutkov, <sup>1</sup>G.A. Matveev, <sup>1</sup>M.I. Savchenko, <sup>1</sup>E.M. Kruglov, <sup>1</sup>I.I. Shishov, <sup>1</sup>G.A. Pyatigorsky, <sup>1</sup>Yu.A. Chichikaluk, <sup>1</sup>V.V. Khmylko, <sup>1</sup>G.I. Vasiliev, <sup>1</sup>V.A. Dranevich, <sup>1</sup>S.Yu. Krut'kov, <sup>2</sup>Yu.D. Kotov, <sup>2</sup>A.S. Glyanenko, <sup>2</sup>A.I. Arkangelsky, <sup>2</sup>Yu.A. Gorelyi, <sup>2</sup>V.T. Samoilenko, <sup>2</sup>V.N. Yurov

Приведены характеристики научной аппаратуры «Пингвин-М», предназначенной для измерения степени линейной поляризации рентгеновского излучения солнечных вспышек в энергетическом диапазоне 20 кэВ–150 кэВ. Аппаратура позволяет также получать энергетические спектры излучения вспышек в диапазоне 2–500 кэВ. Высокие технические характеристики (чувствительность и энергетическое разрешение) поляриметра «Пингвин-М» позволяют проводить исследование процессов накопления магнитной энергии и ее трансформации в энергию ускоренных частиц, их распространения во вспышечной плазме и генерации излучения даже для слабых вспышек.

X-ray polarimeter Penguin-M is designed to measure the degree of linear polarization of X-ray radiation of solar flares in the energy range of 20–150 keV. The instrument allows measuring of energy flare-radiation spectra in the energy range of 2 keV – 500 keV. Excellent characteristics (high sensitivity and energy resolution) of Penguin-M allow us to investigate processes of accumulation of magnetic energy and its subsequent transformation to the energy of accelerated particles. Using the X-ray polarimeter we can also examine propagation of accelerated particles in the solar atmosphere and generation of X-ray even in weak flares.

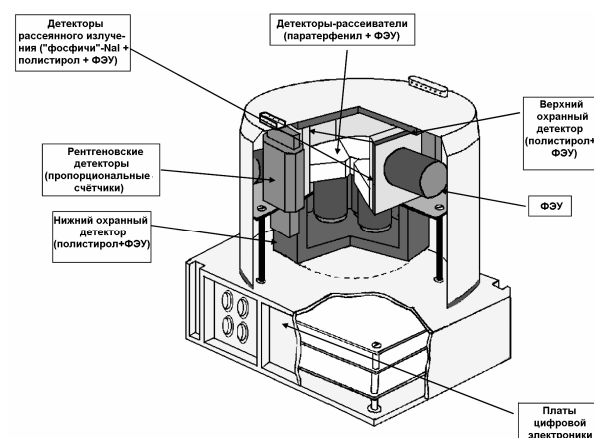
Исследование космического рентгеновского излучения в области энергий от 2 до 500 кэВ является весьма актуальным, поскольку данные об энергетических спектрах и интенсивности космического рентгеновского излучения несут уникальную информацию о природе физических процессов в источниках излучения. Особое место в исследованиях занимает направление, связанное с измерением линейной поляризации рентгеновского космического излучения от астрофизических объектов и солнечных вспышек. Измерения параметров линейной поляризации для солнечных вспышек в мягкой области спектра (от нескольких кэВ до ~ 30 кэВ) были осуществлены в единичных экспериментах [1, 2, 3]. В области энергий 30–150 кэВ надежные достоверные результаты до сих пор отсутствуют.

Работы по исследованию и разработке методов измерения линейной поляризации в жесткой области спектра были начаты в ФТИ им. А.Ф.Иоффе в конце 1970-х гг. Были предложены модель такого поляриметра «Пингвин-М» (Поляриметр Излучения и Нейтрон-Гамма-Вспышечный ИНтенсиметр) и метод измерения линейной поляризации в таком поляриметре. В 1986–89 гг. был создан комплекс научной аппаратуры для проведения экспериментов на высотных аэростатах, и в 1989–90 гг. состоялось два полета, в ходе которых проведены измерения фона рентгеновского излучения и подтверждена работоспособность созданного поляриметра. В 1993 г. было принято решение на основе полученного опыта принять участие в совместном с МИФИ проекте «Коронас-Фотон» – в программе, связанной с изучением Солнца и солнечно-земных связей [4].

Физическая схема, состав и характеристики детекторов «Пингвин-МД» позволяют исследовать следующие характеристики жесткого электромагнитного излучения солнечных вспышек:

1. Степень линейной поляризации жесткого рентгеновского излучения в диапазоне энергий 20–150 кэВ;
2. Спектры жесткого рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне энергий 20–500 кэВ (40 энергетических каналов);
3. Спектры мягкого рентгеновского излучения в диапазоне энергий 2–30 кэВ, в том числе в слабых («тепловых») вспышках и на предвспышечной стадии.

В состав детекторной части блока детекторов «Пингвин-МД» входят пять основных элементов (см рисунок).



Конструкция блока детекторов «Пингвин-МД» (ПМД).

1. Детектор-рассеиватель жесткого рентгеновского излучения, представляющий собой сборку из четырех кристаллов паратерфенила (РТФ) с приклеенными к ним снизу фотоэлектронными умножителями (ФЭУ). На ФЭУ закреплены платы делителей напряжения (ДН), предусилителей (ПУ) и источников высоковольтного питания (ИВП). Эти элементы на схеме блока детекторов не показаны. Сборки ФЭУ идентичны для всех 13 сцинтилляционных детекторов блока, и поэтому далее будет указываться только ФЭУ.

2. Шесть детекторов рассеянного и прямого рентгеновского и гамма-излучения, собранных в правильный шестигранник, устанавливаемый вокруг рассеивателя. Каждый из детекторов содержит кристалл NaI(Tl), защиту от фона заряженных частиц по схеме «фосвич» и сборку ФЭУ.

3. Верхний антиэкраный детектор, представляющий собой диск из пластического сцинтиллятора с присоединенным к нему ФЭУ. Верхний антиэкраный детектор расположен над детектором-рассеивателем и детекторами рассеянного излучения.

4. Нижний антиэкраный детектор в виде стакана из пластического сцинтиллятора, охватывающий детектор-рассеиватель снизу и по боковой поверхности. На нижнем антиэкране устанавливаются два ФЭУ.

5. Две сборки детекторов мягкого рентгеновского излучения, в состав каждого из которых входят пропорциональные счетчики, предусилители ПУ, источники высоковольтного питания ИВП и блок аналого-цифровой обработки сигналов.

Помимо детекторов, блок ПМД содержит электронные устройства, обеспечивающие работу детекторов, а также устройства, осуществляющие преобразование, первичный анализ, накопление и промежуточное хранение полученной информации.

Степень линейной поляризации жесткого рентгеновского излучения солнечных вспышек дает уникальную информацию об угловом распределе-

нии энергичных электронов, генерирующих это излучение. Данные об анизотропии энергичных электронов могут оказаться решающими для выбора механизма трансформации энергии магнитного поля в другие формы энергии, что составляет основную проблему теории солнечных вспышек. Спектральный состав жесткого излучения с учетом степени поляризации позволит конкретизировать механизм ускорения заряженных частиц. Изучение временных изменений параметров мягкого рентгеновского излучения методами спектрального анализа позволяет выявить особенности динамики процессов энерговыделения, их периодичность. Изучение процессов энерговыделения в слабых вспышках, происходящих достаточно часто в любой период солнечного цикла, позволит учесть их вклад в нагрев атмосферы Солнца.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tindo I.P., Ivanov V.D., Mandel'stam S.L., Shurygin A.I. Polarization of the emission of X-ray solar flares // *Solar Phys.* 1970. V. 14. P. 204–207.
2. Novick R. Stellar and solar X-ray polarimetry // *Space Sci. Rev.* 1975. V. 18. P. 389–408.
3. Житник И.А., Логачев Ю.И., Богомолов А.В. и др. Результаты измерений поляризационных, временных и спектральных характеристик жесткого рентгеновского излучения солнечных вспышек по данным эксперимента с прибором СПР-Н на ИСЗ «Корона-Ф» // *Астрономический вестник*. 2006. Т. 40(2). С. 108–119.
4. Kotov Yu., Dergachev V., Kruglov E., et al. Compton scattering polarimeter «PENGUIN» for solar flares polarimetry. *Proceedings of ICRC 2001*: 2822. Copernicus Gesellschaft, 2001.

<sup>1</sup>Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Институт астрофизики Московского инженерно-физического института, Москва