

УДК 539.1.074+551.521.64

© Н. И. Комяк, Д. А. Гоганов

ГАЗОВЫЕ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ СЧЕТЧИКИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В статье приведен краткий исторический обзор отечественных разработок детекторов для спектрометрии рентгеновского излучения в космосе.

После запуска первого спутника в нашей стране были начаты научно-исследовательские работы по спектрометрии рентгеновского излучения в космосе. Эти работы потребовали разработки специальных детекторов, которые создавались в НПО «Буревестник». За время с 1964 г. были проведены исследования и создано около 15 моделей счетчиков для измерения рентгеновского излучения в космосе, примерно 800 шт. экспериментальных образцов было изготовлено и поставлено заказчику. Эти изделия использовались в одиннадцати космических экспериментах и, как правило, успешно.

При создании детекторов космического рентгеновского излучения использовались все результаты исследований по газовым пропорциональным счетчикам (рис. 1). Регистрируемое излучение крайне слабо — от единиц квантов (кв) на 1 см^2 в с до 10^{-3} кв/см² и менее. Поэтому исследуемые детекторы должны иметь минимальный фоновый шум при взаимодействии с космическими потоками на орбите. Это должно быть учтено в конструкции. Поиск отдельных линий в спектре звезд требует предельно высокого энергетического разрешения. Для этого используются минимальные

значения коэффициента газового усиления, а также конструкция выбирается из соображений минимального влияния электроотрицательных примесей в газах-наполнителях. Наконец, длительная работа при высоком фоне предъявляет требования к высокому радиационному ресурсу.

Все созданные изделия можно разделить на три группы: газовые пропорциональные счетчики для исследования галактических и внегалактических источников; детекторы для установки в фокусе рентгеновских телескопов с концентрацией потоков от звезд с помощью оптики скользящего падения; наконец, детекторы для использования в датчиках для рентгенорадиометрического анализа грунта иных космических тел Солнечной системы.

Детекторы первой группы должны иметь как можно большую чувствительную поверхность с целью реализации максимальной чувствительности в обнаружении слабых рентгеновских источников. Действительно, минимально обнаружимый рентгеновский поток равен:

$$N = 3\sigma = \sqrt{\frac{n_{\phi}}{S \cdot t}},$$

где n_{ϕ} — фон от проникающей радиации на единицу площади детектора; S — эффективная площадь детектора; t — общее время измерения.

В приборах второго типа, наоборот, чувствительная поверхность весьма мала, несколько см². Детекторы для датчиков состава внеземных объектов, как правило, также минимальны по размерам чувствительных окон. Аналогична ситуация со счетчиками для измерения рентгеновского излучения Солнца, т. к. потоки излучения во время вспышек весьма высоки.

В процессе разработки чувствительная площадь окон счетчиков для рентгеновской астрономии постоянно росла: от 10 см^2 в СРПО-30 (1966 г.), использовавшихся на «Луноходе-1», до 500 см^2 на камере МПК-С (1988 г.) для станции «Гранат». Такая площадь способна обеспечить чувствительность свыше 10^{-3} кв/см² в режиме сканирования звездного неба.

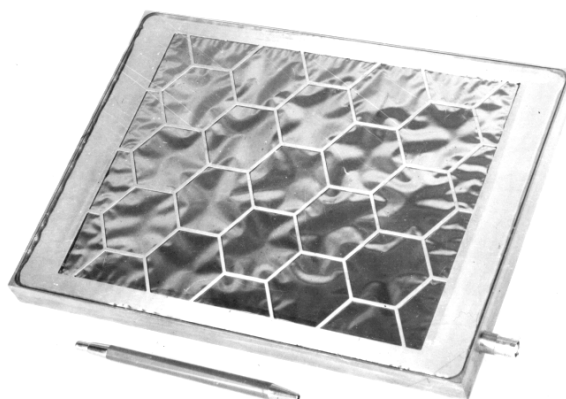


Рис. 1. Отпаянный газовый пропорциональный счетчик β -излучения

Общий принцип построения счетчиков заключался в формировании многонитевой анодной системы, перегородки между анодами которой сначала были сплошными металлическими, а в дальнейшем — сетчатыми с высокой степенью прозрачности.

В борьбе за повышение чувствительности во всех счетчиках имелись вторые этажи секции антисовпадения, отделенные от основной сеткой с высоким пропусканием. Имелись также боковые защитные счетчики для режекции космических частиц, идущих почти параллельно входному окну детектора. Они также соединялись с секцией антисовпадения.

Как правило, электронное оборудование телескопов, в состав которых включаются детекторы, имеет два способа подавления фона: по режиму антисовпадения и с использованием анализаторов фронтов нарастания (АФН). В случае использования АФН в каждом случае проводятся специальные исследования по подбору оптимального газового наполнения с целью повышения эффективности дискриминации. Так было в случае односекционного СРПО-304 (рис. 2) при регистрации излучения в диапазоне 2–25 кэВ. В процессе оптимизации детектора пришлось изменить диаметр анодного окна и давление газовой смеси.

Из сравнения свойств смесей газов Ar-CH₄, Ar-CO₂ и Xe-CH₄, Xe-CO₂ первоначальным было выбрано наполнение Хе-10 % СН₄ при давлении 250 мм рт. ст. При этом подавлялось 90 % излучения Со⁶⁰ и Cs¹³⁷ при пропускании не менее 70 % излучения в диапазоне 2–25 кэВ. В таком исполнении счетчики СРПО-304 использовались при выполнении экспериментов на станции «Астрон». В дальнейшем было продолжено совершенствование счетчиков СРПО-304 за счет использования более сложных тройных смесей (Ar-Xe-CH₄). Для сравнения наполнений использовался параметр F_x — фактор качества:

$$F_x = \frac{(\varepsilon_x h_x)}{\eta}$$



Рис. 2. Пропорциональный счетчик СРПО-304

где ε_x — эффективность счетчика для энергии E_x ; h_x — пропускание АФН для энергии E_x , η — коэффициент пропускания фонового излучения. Данное исследование показало, что наилучшей является смесь Хе-Аг-СН₄ с давлением компонента 93 % Хе — 7 % СН₄ — 300 мм рт.ст. и компонента 90 % Аг — 10 %СН₄ также 300 мм рт. ст. При этом осуществляется режекция 95 % излучения Cs¹³⁷ и Со⁶⁰ с потерей 15–20 % полезного излучения в диапазоне 2–25 кэВ.

Наилучшие результаты дает сочетание обоих способов подавления фона. Для счетчика СРПП-303 (рис. 3) показано, что если АФН подавляет 60 % космического фона, то в сочетании с секцией антисовпадения — 95,5 %.

К счетчикам первой группы относятся СРПП-30, -31 (рис. 4), -303, СРПО-304, СРПО-31, -32 и МПК-С. В случае использования проточных схем в состав системы вводились баллоны с газовой смесью Аг — 10 % СН₄, которые подпитывали утечку газа через недостаточно вакуумно-плотные окна-пленки счетчиков. В этом случае в конструкциях счётчиков имелись также специальные гнезда и каналы, которые с помощью реперного источника стабилизировали параметры всей системы.

Наиболее технологически совершенна камера МПК-С (рис. 5). Корпус камеры титановый, цельносварной. Все сигнальные входы выполнены из металлокерамики и сварены в корпус с помощью переходников, полученных методом взрыва. Откачка — безмасляная. Газы-наполнители очищались под контролем до уровня <10 ppm по O₂ и H₂O. Объем камеры заполнен 65 анодными нитями в 5 слоев по глубине. Объем каждого индивидуального детектора сформирован проволоочным катодом с высокой (90 %) прозрачностью для космического излучения. С целью реализации эффективности 40 % на 100 кэВ камера заполняется смесью на основе ксенона до давления 3 ат при глубине объема 100 мм. С учетом проведенных

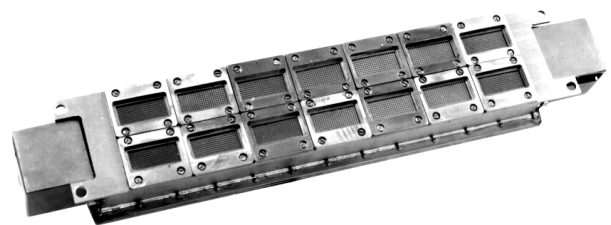


Рис. 3. Пропорциональный счетчик СРПП-303

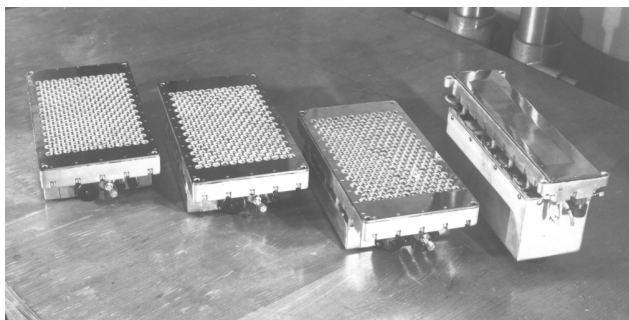


Рис. 4. Комплект счетчиков СРПП-30, -31

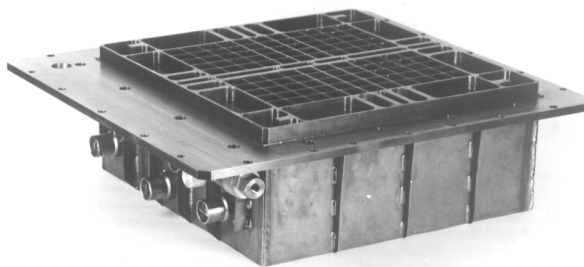


Рис. 5. Многопроволочная пропорциональная камера МПК-С

исследований оптимизировались размеры ячейки катода, диаметр анодной нити с целью максимального сбора носителей заряда по всему объему и получения разрешения 15–16 % на линии 5,9 кэВ. В результате выбран размер ячейки

24 × 24 мм при диаметре анода 50 мкм. Спад амплитуды сигнала на краях ячейки (перпендикулярно аноду) не превышал 3 %, что и обеспечило разрешение 16 % для 5,9 и 8,5 % для 22 кэВ.

Примером детекторов второго типа являются

Тип счетчика	Диапазон энергий, кэВ	Энергетическое разрешение на линии Mn Ka, %	Характеристика газонаполнения	Расчетная эффективность в рабочем диапазоне, %	Амплитуда выходного сигнала по линии Mn Ka, мВ
СРПП-30	0,5–8	20	Ar+10 % CH ₄ 760 мм рт. ст.	Более 15	4
СРПП-31	2–8	24	Ar+10 % CH ₄ 760 мм рт. ст.	Более 15	1
СРПП-37	0,2–6	24	Ar+10 % CH ₄ 760 мм рт. ст.	Более 15	200
СРПО-30 (30M)	2–8	22	Kr+10 % CH ₄ 660 мм рт. ст.	Более 25	30
СРПО-31	2–60	27	Xe+10 % CH ₄ 380 мм рт. ст.	Более 15	2
СРПО-32	6–30	22	Xe+10 % CH ₄ 700 мм рт. ст.	Более 10	1
СРПО-304	2–25	20	Xe+10% CH ₄ 250 мм рт. ст.	Более 15	3
СРПО-308	1–24	23	Xe+10% CH ₄ 220 мм рт. ст.		25
					50
МПК-С	3–120	18	Xe+10% CH ₄ 220 мм рт. ст.	60	3×10 ⁻¹⁵ Кл. 1

Продолжение таблицы

Тип счетчика	Параметры входного окна		Габариты, мм	Вес, кг	Примечание
	Материал и толщина, мкм	Полезная площадь, см ²			
СРПП-30	Пленка ПЭТФ 2	39	265×136×27	0,9	Проточн.
СРПП-31	Пленка ПЭТФ 20	142	256×84×27	1,6	»
СРПП-37	Пленка ПЭТФ 2	1	Диам.65×30	0,1	»
СРПО-30 (30М)	Ве 100(300)	10	85×67×30	0,09	Отпаян.
СРПО-31	Ве 150	80	274×69×69	1,5	»
СРПО-32	Ве 150	200	263×224×55	2,2	»
СРПО-304	Ве 150	150	450×77×82	1,0	»
СРПО-308	Ве 40	28	23,5×68,5	0,07	»
МПК-С	Ве 500	500	528×480×173	20	»

СРПП-36, -37. Счетчики СРПП-36 использовались в составе телескопа РТ-4 на станции «Салют-4». В конструкции также имелась секция антисовпадения, что обеспечивало фон < 0,5 с⁻¹. Основная трудность при создании этого детектора заключалась в получении достаточно прочной и герметичной плёнки для входного окна при регистрации излучения с энергией 0,2 кэВ. Счетчик работал в полупроточном режиме с подпиткой от системы газонаполнения.

К третьей группе относится счетчик СРПО-308, созданный для анализа грунта планет Солнечной системы в составе рентгенрадиометрического датчика ГЕОХИ АН СССР. Счетчик работал в диапазоне 1–24 кэВ с использованием входного окна из бериллия толщиной 30 мкм и различными газовыми наполнениями в зависимости от задачи. Изделие успешно сработало во время полетов на планету Венера в составе станций «Вега-1» и «Вега-2». В соответствии с программой после 6 мес полета в космическом вакууме изделие после осуществления мягкой посадки должно

было в течение 1 часа при температуре до 70°С осуществить анализ грунта. При этом с учетом уровня наводок на борту сигнал с детектора равнялся 50 мВ.

Наконец, изделие СРПО-30М использовалось для измерения степени поляризации рентгеновского излучения солнечных вспышек в составе поляриметра.

Характеристики всех детекторов приведены в таблице. Следует отметить, что созданные конструкции и технологии обеспечили длительное (в случае 10 шт. СРПО-304 на станции «Астрон» — 6 лет) рабочее состояние на орбите в условиях космического вакуума. Как правило, рабочий диапазон температур -10 – +40 °С; при подготовке к выводу на орбиту счетчики должны перенести вибрации следующего уровня: от 5 до 2000 Гц с амплитудой в виброускорении от 1 до 10g. В случае изделий СРПО-308 и СРПО-30 это еще и удароустойчивость на уровне 100 g (посадка на Венеру и Луну).

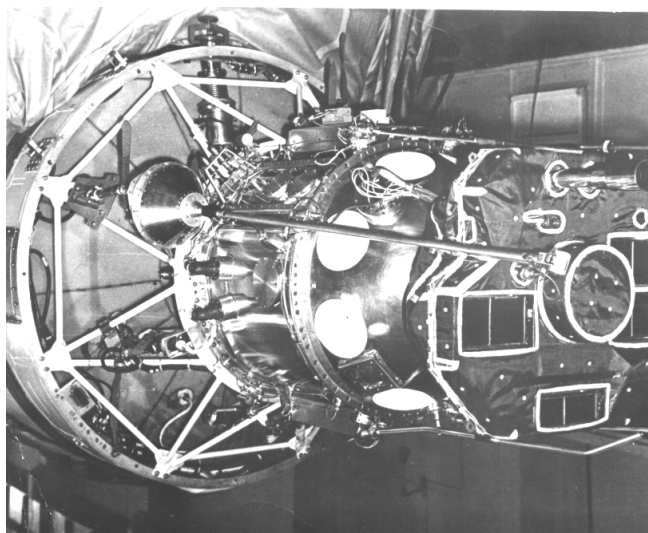


Рис. 6. Комплект детекторов СРПП-30, -31 на борту спутника «Космос-335»

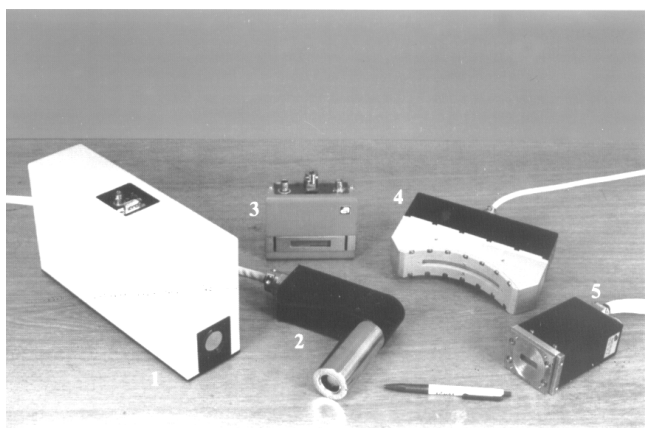


Рис. 7. Серийные детекторы объединения «Буревестник» для диапазона энергий 0,1–100 кэВ

Созданные детекторы позволили получить ценную научную информацию по интенсивностям и спектральному распределению рентгеновского излучения звезд, рентгеновскому излучению барстеров, черных дыр, исследованию кинетики рентгеновских вспышек. Была обнаружена поляризация рентгеновского излучения солнечных вспышек и тем самым доказан нетепловой характер генерируемого при этом излучения. Был определен состав грунта Венеры в различных областях на ее поверхности.

Камеры МПК-С были использованы в рентгеновском телескопе по проекту «Гранат».

В целом с 1965 по 1985 г. были разработаны, изготовлены и успешно использованы в космическом эксперименте счетчики специальных конструкций: СРПП-30, -31, СРПП-36, -37, СРПО-30, СРПО-30М, СРПО-31, -32, СРПО-304, -304М, СРПО-308. Изготовлено 600 шт. таких детекторов, позволивших осуществить 10 удачных экспериментов при изучении рентгеновского излучения Солнца (Интеркосмос-3, -4, -5), звезд (Салют-4, Космос-335 (рис. 6), Луноход-1, Салют-4, Астрон) и планеты Венера (Вега-1, -2). Для проекта «Гранат» было изготовлено 20 шт. камер МПК-С для диапазона энергий 3–120 кэВ. За выдающийся вклад в создание специальных устройств для исследования космического рентгеновского излучения коллектив научных работников АН СССР и НПО «Буревестник» получил Государственную премию в 1977 г.

Космическая тематика стимулировала в свою очередь серийное производство на НПО «Буревестник» современных детекторов рентгеновского излучения (рис. 7).

*Институт аналитического приборостроения РАН,
Санкт-Петербург
(Н. И. Комяк)
НПО «Буревестник», Санкт-Петербург
(Д. А. Гоганов)*

Материал поступил в редакцию 22.02.2000.

PROPORTIONAL GAS COUNTERS FOR SPACE APPLICATIONS

N. I. Komyak, D. A. Goganov*

*Institute for Analytical Instrumentation RAS, Saint-Petersburg
* Scientific Production Association (NPO) BUREVESTNIK, Saint-Petersburg*

The paper present a short historical overview of domestic detector designs for space X-ray spectrometry.