

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКФИЗИКА НАШИХ ДНЕЙ

523.165

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БАЛЛОНАХ \*)***Л. Питерсон, Р. Джерд, А. Джейкобсон*

## I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из самых заметных достижений космических исследований в последнее время явилось открытие сильных рентгеновских источников. За четыре года сотрудники Массачусетского технологического института, Морской исследовательской лаборатории и фирмы «Локхид» обнаружили около двадцати дискретных источников. Часть из них надежно отождествляется с известными радио- или оптическими объектами, большинство же в настоящее время не отождествлено, некоторые, по-видимому, являются внегалактическими объектами. Для объяснения механизмов свечения этих источников нужно знать их положение, угловые размеры, интенсивность и спектр. Хотя рентгеновские источники были впервые обнаружены в ракетных экспериментах, этому предшествовали поиски на баллонах внеземных источников рентгеновского и  $\gamma$ -излучения. Баллонные исследования развивались одновременно с ракетными (первые результаты, полученные с помощью баллонов, относятся к 1964 г.). Исследования на спутниках до сих пор сводились к проверке аппаратуры, и вследствие длительного времени, необходимого для осуществления экспериментов, практически важный рентгеновский эксперимент поставлен на спутнике только недавно. В этой статье мы кратко рассмотрим особенности аппаратуры и методики наблюдений, применяемых в рентгеновской астрономии, и выясним вклад, который она может внести в понимание природы рентгеновских источников.

## II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

В конце пятидесятых годов теоретическая астрофизика предсказала измеримые потоки  $\gamma$ -излучения от небесных объектов; это послужило толчком к началу экспериментов в данной области. Предсказания основывались на сведениях об элементарных процессах в космическом пространстве, полученных из наблюдений космических лучей, а также из оптических и радиоастрономических наблюдений. Обусловленное предложенными механизмами  $\gamma$ -излучение пока не наблюдалось; в частности, до сих пор не обнаружена эмиссионная линия, обусловленная ядерными взаимодействиями в космическом пространстве или вблизи поверхностей звезд. По-видимому, наиболее существенными механизмами являются

\*) Laurence E. Peterson, Rod L. Jerde, Allan S. Jacobson, Balloon X Ray Astronomy, AIAA Journ. 5 (11), 1921 (1967). Перевод Т. М. Мулярчик.

синхротронное излучение и тепловое излучение очень горячего газа. Эти механизмы дают максимальную интенсивность в рентгеновской области спектра. Для быстро развивающейся астрофизики высоких энергий существует особенно тесная взаимосвязь теории и наблюдений.

На рис. 1 изображен электромагнитный спектр и показано соотношение рабочих областей рентгеновской и обычной оптической астрономии. По оси абсцисс отложены длины волн, энергии и частоты и отмечены наиболее существенные эмиссионные линии, которые либо наблюдались, либо были предсказаны теоретически. Заштрихованные области показывают поглощение внеземного излучения атмосферой Земли. Ясно видны

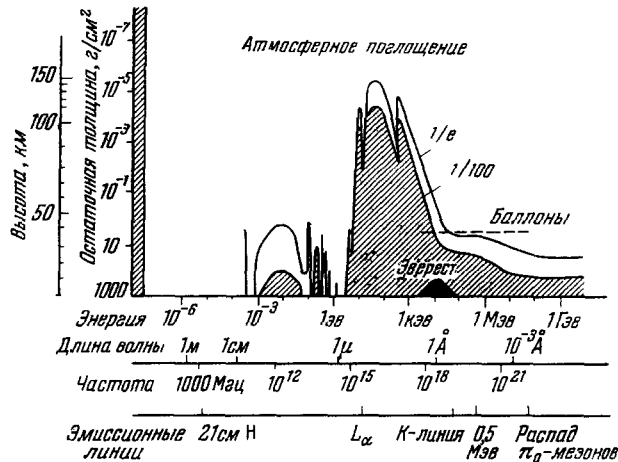


Рис. 1. Поглощение астрономического электромагнитного излучения земной атмосферой.

Высоты, на которых излучение ослабляется до долей  $1/e$  и  $1/100$  от первоначальной интенсивности, показаны в зависимости от энергии, частоты и длины волны падающих квантов. Ясно видны оптическое и радио-«окна прозрачности». Рентгеновское излучение с энергией больше  $20 \text{ кэв}$  можно наблюдать с баллонов.

оптическое и радио-«окна прозрачности», через которые производятся все наземные астрономические наблюдения.

В инфракрасной области спектра также возможны астрономические наблюдения; в настоящее время в этом спектральном интервале сделаны интересные открытия. Для длин волн короче примерно  $L_\alpha$  все наблюдения должны проводиться над земной атмосферой. В интервале от  $10$  до  $1 \text{ \AA}$  (т. е. для энергий  $1-10 \text{ кэв}$ ) наблюдения нужно проводить, начиная с высоты нескольких сотен км. Фотоны с энергией, превышающей  $20 \text{ кэв}$ , легко проникают до  $40 \text{ км}$ , т. е. до высоты, доступной баллонам. В этой статье мы не будем касаться проводящихся на баллонах и спутниках наблюдений в области энергий, превышающих  $1 \text{ Мэв}$ , т. е. в области, относящейся к  $\gamma$ -астрономии.

### III. ТЕХНИКА БАЛЛОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Современные полиэтиленовые баллоны достигают объема  $80-280 \text{ тыс. м}^3$  и могут поднимать сотни килограммов аппаратуры до высоты  $39-42 \text{ км}$ , выше которой остается только несколько десятых процента всей атмосферы. Баллоны поддерживают аппаратуру на этой высоте в течение нескольких часов, а при ракетных полетах время наблюдения

составляет всего лишь несколько минут\*). Однако преимущество длительного времени наблюдений отчасти теряется, поскольку баллонным экспериментам доступны только более высокие энергии, при которых наблюдаются более слабые потоки. Кроме того, в этом случае учет фона  $\gamma$ -излучения более труден. Вообще при наблюдениях рентгеновского и  $\gamma$ -излучений учет фона — это центральная проблема. Поток рентгеновского излучения от сильных источников для энергии 30 кэв составляет около  $10^{-2}$  фотонов/см<sup>2</sup>сек. Любой добавочный поток, превышающий эту величину, явится существенной помехой. В космическом пространстве и на доступных баллонам высотах прибор подвергается действию галактических космических лучей. Эти сильно взаимодействующие частицы имеют среднюю энергию около 5 Гэв и интенсивность около  $1 \text{ см}^{-2}\text{сек}^{-1}$ .

Таким образом, для получения потока, равного потоку космического рентгеновского излучения, достаточно, чтобы эти частицы с энергией 5 Гэв переводились в атмосфере или в приборе с эффективностью  $10^{-7}$  в фотоны 300 кэв.

На рис. 2 приведен измеренный с различными детекторами на высоте 39 км над Техасом спектр  $\gamma$ -излучения, обусловленного космическими лучами<sup>7-10</sup>. Сильные рентгеновские источники приблизительно на порядок слабее; поэтому необходимы хорошая коллимация или эффективный учет фона.

Поскольку при баллонных исследованиях изучаются очень коротковолновые фотоны, обычная техника получения изображения и фокусировки не может быть использована, поэтому нельзя применять «телескопы» в обычном смысле этого слова. Детекторы аналогичны детекторам, применяемым в ядерных исследованиях, представляющим обычно комбинацию сцинтилляционных счетчиков. Даже ракетные исследователи,

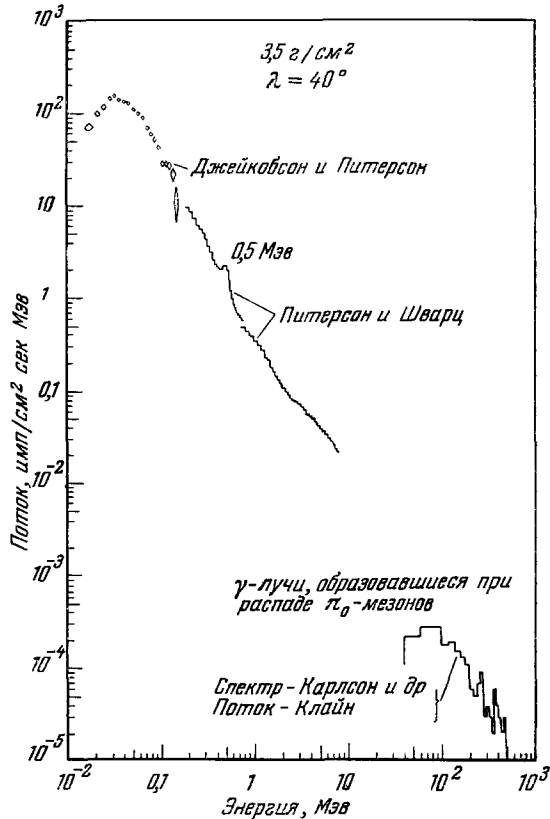


Рис. 2. Спектр атмосферных  $\gamma$ -лучей, измеренный на высоте 39 км над Техасом (где проводилось много баллонных экспериментов).

Наблюдение космических источников сквозь этот интенсивный фон, обусловленный космическими лучами, требует хорошей коллимации и эффективной техники антисовпадений.

\*) Благодаря длительному времени наблюдению в баллонной астрономии получен весьма интересный результат, который невозможно было бы получить с помощью ракет. 15 октября 1967 г. Левин, Кларк и Смит из Массачусетского технологического института наблюдали заметное усиление интенсивности рентгеновского источника Sco XR-1 в самом «мягком» канале их прибора (20—30 кэв). Менее чем за 10 минут интенсивность источника возросла в четыре раза, а затем в течение 20 минут спадала до первоначального значения (W. H. G. L e w i n, G. W. C l a r k, W. B. S m i t h, Observation of X Ray Flare from Sco XR-1, Preprint, 1968).

имеющие дело с более длинноволновыми фотонами, обычно пользуются гейгеровскими счетчиками с тонкими окнами или пропорциональными счетчиками, хотя Джаккони положил начало применению оптики косоугольного падения, которую можно использовать в интервале  $1-10 \text{ \AA}$ <sup>11</sup>.

Применялась различная техника наблюдений. Первое обнаружение рентгеновского источника с баллона — наблюдение рентгена от Крабовидной туманности Кларком из Массачусетского технологического института<sup>12</sup> — было основано на простой идее. Тонкий сцинтилляционный детектор с защитным свинцовым коллиматором медленно вращался относительно баллона. При этом детектор производил разрезы неба, проходящие через исследуемый объект, аналогично тому, как это всегда делается в ракетных экспериментах. После совмещения многих таких разрезов было получено статистически уверенное увеличение скорости счета в направлении Крабовидной туманности. Большие группы таких детекторов с полной площадью в несколько квадратных сантиметров были недавно применены в Массачусетском технологическом институте и в Исследовательском юго-западном центре<sup>13</sup>.

Другой принцип регистрации  $\gamma$ -излучения в астрономии был предложен К. Фростом из Годдардовского космического центра<sup>14</sup>. В этом случае используется коллиматор из сцинтиллятора в сочетании со схемой антисовпадений между ним и основным детектором. Поскольку при этом

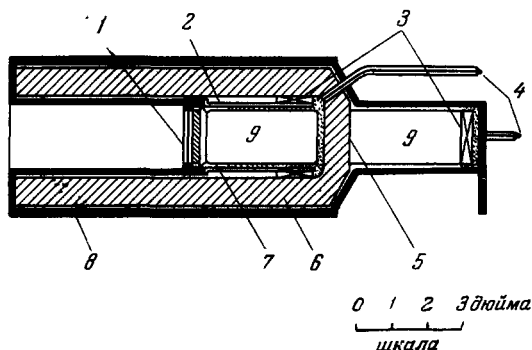


Рис. 3. Детектор, использованный для измерения космического рентгеновского излучения в диапазоне  $10-200 \text{ кэВ}$ .

«Активный» коллимирующий экран из CsJ, связанный по схеме антисовпадений с тонким центральным детектором из NaJ, ослабляет низкоэнергичные фотоны и удаляет излучение, обусловленное высокоэнергичными космическими лучами. 1 — кристалл NaJ с входным окном, покрытым  $20 \text{ мг/см}^2$  бериллия; 2 — держатель фотоумножителя; 3 — делители напряжения; 4 — кабели; 5 — оптический контакт посредством клея DC-2-0057; 6 — кристалл CsJ; 7 — оптический контакт (жидкость GF SF-1017); 8 — алюминиевый корпус, 9 — фотоумножитель RCA-4461. Геометрические характеристики детектора: площадь —  $9,4 \text{ см}^2$ ; апертура —  $12,75^\circ$ ; геометрический фактор NaJ —  $1,5 \text{ стер}\cdot\text{см}^2$ ; геометрический фактор (всенаправленный) CsJ —  $210 \text{ см}^2$ .

обсерватории, запущенной в начале 1967 г.<sup>17</sup>. Многие баллонные результаты, изложенные в этой статье, были получены с прототипом этого детектора. Детектор состоит из тонкого NaJ-сцинтилляционного счетчика, окруженного экраном из CsI толщиной  $2 \text{ см}$ , который используется для получения антисовпадений. Детектор имеет площадь  $10 \text{ см}^2$  и апертуру  $25^\circ$ . Для монохроматических  $\gamma$ -лучей с энергией  $80 \text{ кэВ}$  получается разрешение  $30\%$  (типичное для сцинтилляционных счетчиков

рентген, обусловленный взаимодействием космических лучей с экраном, отбрасывается, такие устройства очень хороши для исключения фона. Основные на этой идее системы использовались Хеймсом<sup>15</sup> и широко применялись в Калифорнийском университете в Сан-Диего. Также успешно применялись схемы, использующие разные комбинации «активного» и «пассивного» экранирования (например, Болдтом в Государственном космическом центре<sup>16</sup> и Овербеком в Массачусетском технологическом институте).

#### IV. ПРИБОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ БАЛЛОННЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ

Детектор, использованный в Калифорнийском университете, показан на рис. 3. Первоначально он был изготовлен для Орбитальной солнечной

для этих энергий). Степень учета фона такова, что на высоте 39 км около 80% излучения в интервале 10—200 кэв обусловлено атмосферным или космическим рентгеновским излучением, регистрируемым через переднее отверстие. Полная скорость счета составляет около 2 имп/сек. Прибор, использованный для наблюдения космического рентгеновского излучения, показан на рис. 4, а его блок-схема на рис. 5.

Импульсы, снимаемые с детектора, регистрируются 128-канальным амплитудным анализатором и преобразуются в цифровую кодовую группу, которая вместе со всей информацией о синхронизации и отождествлении передается в виде слова с помощью КИМ-ЧМ-ЧМ-телеметрической системы. Вспомогательная к данным о полной скорости счета информация, контроль работы детектора, данные о гидировании и другие служебные данные модулируются другими ЧМ-поднесущими. С высоты 39 км телеметрическая информация принимается в пределах 650 км. Применение стандартной телеметрической методики позволяет использовать на земле имеющееся в продаже стандартное оборудование (рис. 6). Импульсы после декомутации собираются в памяти стандартного импульсного анализатора и записываются на перфоленте для дальнейшего машинного анализа.

Как показано на рис. 4, детектор монтируется на кардановом подвесе. Головка детектора направляется по азимуту, ориентируясь относительно гондолы по земному магнитному полю. Возвышение над горизонтом определяется программником, который управляет и калибровочным  $\gamma$ -источником. Этот источник смонтирован на конце лопасти, которая вращается мотором и в течение 5 минут каждый час проходит через поле зрения детектора. На рис. 4 можно видеть калибровочный источник, магнетометры, кислотно-свинцовые батареи, отдельные части телеметрической системы и системы наведения. Азимутальная ось, мотор и коллекторное устройство находятся

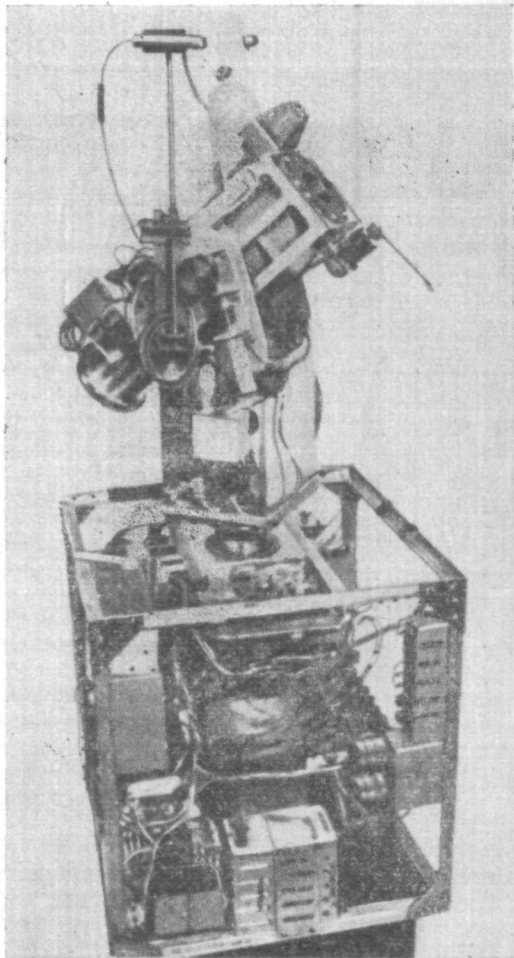


Рис. 4. Прибор, использованный во многих баллонных экспериментах в Калифорнийском университете в Сан-Диего.

Детектор (изображенный на рис. 3) укреплен на азимутальной установке и направляется в нужную точку с помощью магнетометров, программника высоты или солнечных датчиков. Ориентация происходит относительно нижней части гондолы, в которой помещаются батареи и элементы телеметрической системы. Вся гондола, имеющая высоту около 1 м, во время полета заключается в термостатируемый ящик.

в центральной колонке. В полете весь прибор помещается в термостатируемый ящик, который вместе с парашютом прикреплен к баллону.

Обычная процедура наблюдений заключалась в том, что детектор

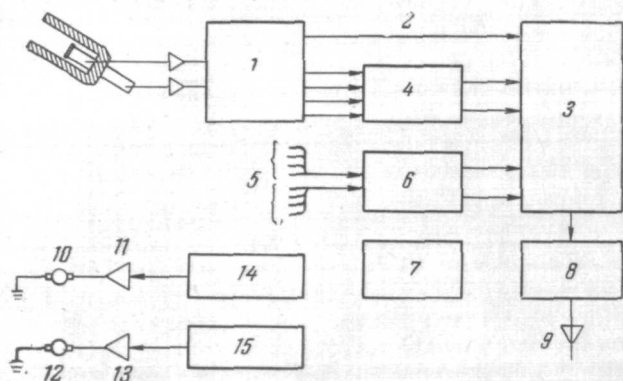


Рис. 5. Упрощенная блок-схема прибора, изображенного на рис. 4 (рентгеновский эксперимент на баллонах).

Импульсы, снимаемые с детектора, кодируются 128-канальным амплитудным анализатором и передаются, вместе со служебной информацией, с помощью стандартной телеметрической системы КИМ-ЧМ-ЧМ. 1 — 128-канальный амплитудный анализатор; 2 — КИМ; 3 — генератор и смеситель; 4 — двоичные счетчики; 5 — служебные параметры температуры; 6 — коммутатор; 7 — источник питания (батареи); 8 — телеметрический передатчик с частотой 252,4 МГц; 9 — антенна; 10 — мотор высоты; 11 — сервоусилитель высоты; 12 — азимутальный мотор; 13 — азимутальный сервоусилитель; 14 — программа высоты; 15 — магнетометр.

направлялся на север или на юг при постоянном возвышении над горизонтом. При этом космический рентгеновский источник в результате вращения Земли проходил через поле зрения детектора. Фон измерялся перед прохождением и после него.

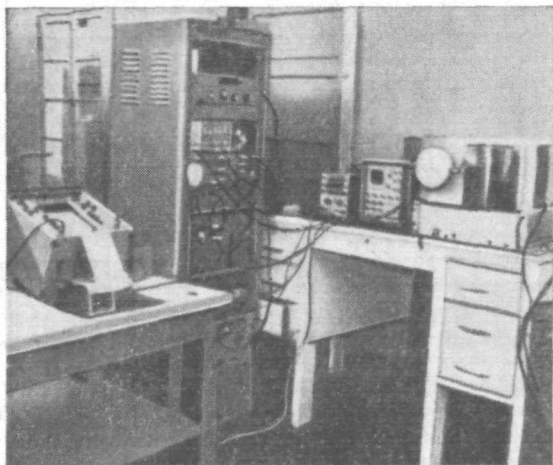


Рис. 6. Простое наземное устройство, позволяющее регистрировать телеметрические сигналы в пределах примерно 650 км по лучу зрения.

Станция позволяет также проводить быструю декоммутацию данных.

В другом случае азимутальный опорный магнетометр вращался с помощью часового механизма. Это позволяло осуществлять приблизительное гидирование по источникам, имеющим малое возвышение над горизонтом, увеличивая тем самым время регистрации. При наблюдении Солнца гидирование производилось с помощью оптических датчиков.

#### V. ДИФFUЗНАЯ КОМПОНЕНТА КОСМИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Одним из главных сюрпризов рентгеновской астрономии было открытие общей или диффузной компоненты, которая, по-видимому, почти изотропна по небосводу. Впервые это было отмечено по наблюдениям «Рейнджера III» в межпланетном пространстве и впо-

следствии подтверждено ракетными экспериментами. Как показано на рис. 7<sup>7</sup>, это рентгеновское излучение было зарегистрировано и на баллонах. На рисунке видно, что для низких энергий скорость счета увеличивается при подъеме баллона, что указывает на присутствие внеземного рентгеновского излучения, которое все меньше поглощается атмосферой. Вследствие различия спектральных распределений

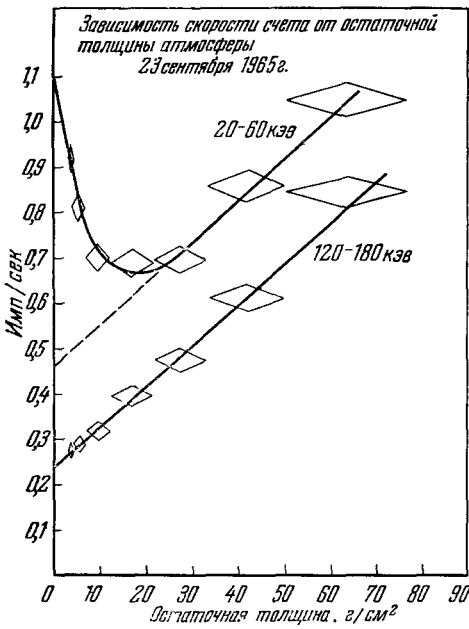


Рис. 7. Скорости счета в двух интервалах энергий, регистрируемые детектором, направленным вертикально вверх во время подъема баллона до его максимальной высоты.

Увеличение скорости счета в интервале меньших энергий вызвано изотропным космическим рентгеновским излучением.

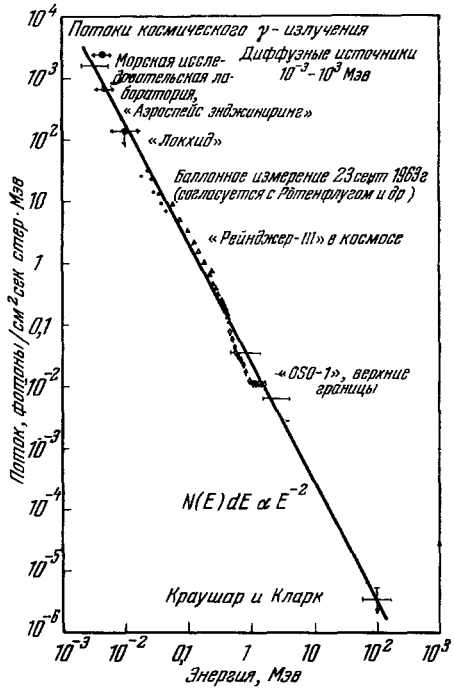


Рис. 8. Спектр изотропного диффузного рентгеновского излучения, полученный по многим наблюдениям на ракетах, баллонах и спутниках.

Рентгеновское и  $\gamma$ -излучения могут возникать в межгалактическом пространстве.

атмосферного рентгена и диффузного космического излучения, на высоких энергиях атмосферное  $\gamma$ -излучение преобладает. В этом случае зависимость от толщины лежащей выше атмосферы определяется в основном локальным фоном, возбуждаемым в атмосфере.

На рис. 8 приведен спектр изотропного диффузного рентгеновского излучения по наблюдениям на ракетах<sup>19</sup> и спутниках<sup>20</sup>. По-видимому, диффузная компонента занимает спектральную область от нескольких кэв до нескольких (может быть, даже сотни) Мэв.

Вследствие того, что это излучение изотропно, оно должно возникать за пределами нашей Галактики в результате каких-то взаимодействий во Вселенной. Было высказано предположение, что это излучение обусловлено рассеянием электронов космических лучей на фотонах в межгалактическом пространстве<sup>21</sup>. Эта идея получила подтверждение после того, как недавно было обнаружено, что Вселенная излучает как черное тело при температуре  $3,5^\circ\text{K}$  и, таким образом, обеспечивает достаточную плотность малоэнергичных фотонов.

## VI. ТОЧЕЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Большинство первоначально открытых точечных источников расположено в направлении галактического центра, поэтому было высказано предположение, что все они галактического происхождения<sup>2</sup>. Попытки отождествить эти источники с остатками сверхновых в основном (за несколькими исключениями) не увенчались успехом. В настоящее время только два хорошо изученных источника — Крабовидная туманность и Sco XR-1 — определенно связаны с объектами, известными из оптической и радиоастрономии, в то время как о других отождествлениях можно только сказать, что они правдоподобны. В настоящее время произведено предварительное отождествление рентгеновских источников с двумя сильными внегалактическими радиисточниками Лебедь-A и Дева-A<sup>4</sup>. В<sup>29</sup> дано отождествление объектов в Лебеде.

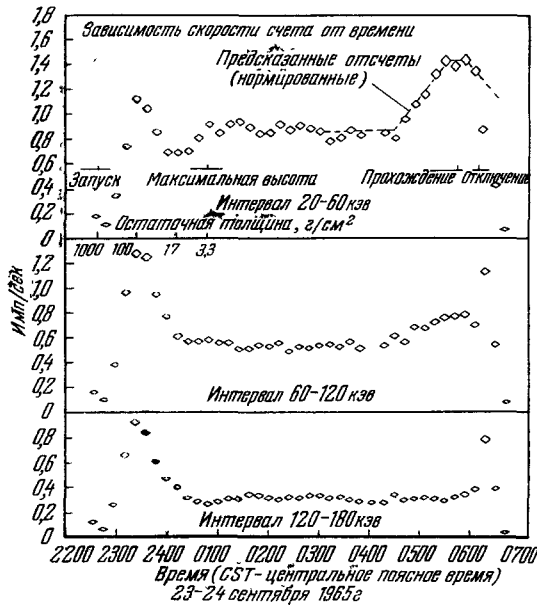


Рис. 9. Скорости счета, полученные во время наблюдений Крабовидной туманности в 1965 г. Детектор (показанный на рис. 4) имел постоянное возвышение над горизонтом и был направлен по азимуту на юг, так что источник, пересекая меридиан, проходил через поле зрения прибора.

ников совершенно не известен, некоторые определены лишь как «мягкие» или «жесткие». Теперь, с открытием протяженного источника у галактического полюса<sup>16</sup>, рентгеновская астрономия на баллонах обнаружила новый объект, который не был замечен в ракетных наблюдениях. Было предположено, что это излучение имеет внегалактическое происхождение и связано со скоплением галактик в Куме. Ценность баллонных наблюдений для рентгеновской астрономии особенно велика благодаря возможности определять координаты объектов.

Как уже упоминалось, Крабовидная туманность — один из источников, открытых в ранних ракетных наблюдениях, была первым рентгеновским источником, найденным на баллонах. Этот заметный и хорошо изученный объект, один из сильнейших радиисточников небосвода, является остатком вспышки сверхновой, взрыв которой произошел в 1054 г. За 900 лет, прошедших с этого момента, он расширился в светящееся газовое облако с поперечником пять световых лет. В замечательном ракетном эксперименте Фридман и его коллеги из Морской исследовательской лаборатории, воспользовавшись покрытием Крабовидной туман-

ности с объектами, известными из оптической и радиоастрономии, в то время как о других отождествлениях можно только сказать, что они правдоподобны. В настоящее время произведено предварительное отождествление рентгеновских источников с двумя сильными внегалактическими радиисточниками Лебедь-A и Дева-A<sup>4</sup>. В<sup>29</sup> дано отождествление объектов в Лебеде.

Ракетные наблюдения главным образом давали сведения о положении и угловых размерах источника; детальная спектральная информация вплоть до самых высоких энергий была получена с помощью баллонов. Наиболее точные сведения о спектрах имеются как раз для двух отождествленных источников — Крабовидной туманности и Sco XR-1. Спектр большей части других источ-



ности Луной, показали, что рентгеновский источник расположен внутри оптического и имеет поперечник только в 1—2 световых года <sup>22</sup>.

Мы производили наблюдения Крабовидной туманности 23 сентября 1965 г. На рис. 9 показана зависимость скоростей счета детектора от времени. Во время спуска измерялось атмосферное  $\gamma$ -излучение. Максимум скорости счета на высоте 21 км объясняется максимумом интенсивности космических лучей на этой высоте. Возрастание потока при приближении баллона к предельной высоте через два часа после запуска вызвано внезапным диффузным рентгеновским излучением. После достижения предельной высоты была включена система ориентации и были получены данные по фону, а затем через поле зрения детектора прошла Крабовидная туманность. Как видно из рисунка, это вызвало увеличение скорости счета. При вычислении истинного спектра источника величины скоростей счета для разных энергий исправлялись на площадь, ширину канала, эффективность и атмосферное поглощение. На рис. 10 приведены результаты измерений рентгеновского излучения Крабовидной туманности, полученные разными авторами. Наши измерения говорят о том, что спектр — степенной <sup>23</sup>, что, по-видимому, указывает на синхротронную природу рентгеновского излучения. Эти результаты находятся в противоречии с наблюдениями Хеймса, который получил экспоненциальный спектр. Различие может вызываться либо инструментальными причинами, либо изменением самого источника со временем. Ясно, что необходимы дальнейшие наблюдения Крабовидной туманности.

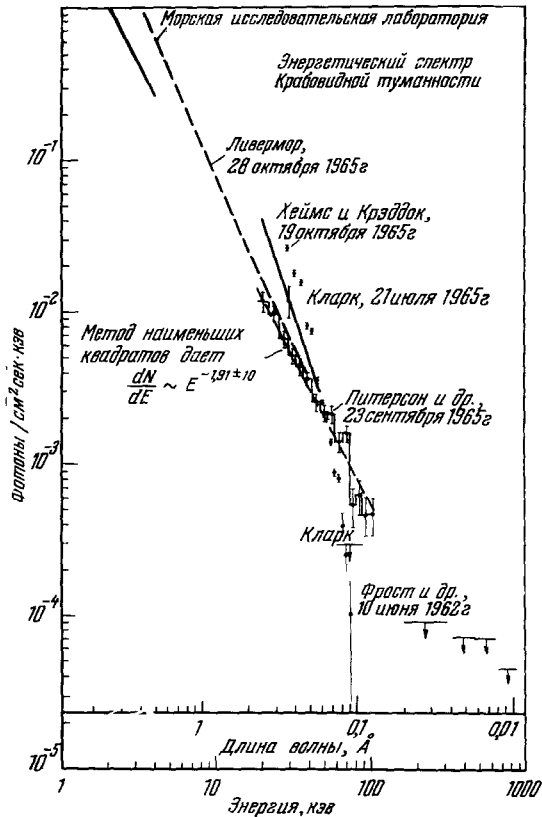


Рис. 10. Сводка различных ракетных и баллонных измерений спектра Крабовидной туманности. Степенной спектр, по-видимому, указывает на синхротронную природу этого излучения.

Другой источник, сильно отличающийся от Крабовидной туманности, — это Sco XR-1, самый сильный рентгеновский источник небосвода. Этот объект интенсивно изучался группой Джаккони. Им удалось определить, что его угловые размеры меньше 20 сек дуги <sup>24</sup>, и отождествить его со старой Новой <sup>25, 26</sup>. Расположение и интенсивность этого объекта наводят на мысль, что он близок к нам и, вероятно, находится на расстоянии нескольких сотен световых лет. Спектр Sco XR-1, полученный по ракетным и баллонным наблюдениям, приведен на рис. 11 <sup>27</sup>. Спектр в широких пределах имеет экспоненциальную форму, характерную для горячего газа с температурой  $50 \cdot 10^6$  °К. На более высоких энергиях,

по-видимому, присутствует дополнительная компонента излучения \*). Астрофизики еще не создали теории, объясняющей особенности Sco XR-1. Если это действительно горячий газ, как он был нагрет? Как поддерживается его температура? Почему он остается в очень маленьком объеме? Похожи ли другие рентгеновские источники на Sco XR-1 или на Крабовидную туманность, или ни на то, ни на другое? Для того чтобы ответить на все эти вопросы, необходимы дальнейшие наблюдения и теоретические исследования, ведь рентгеновская астрономия лишь начинает развиваться.

### VII. СОЛНЦЕ

Большинство описанных выше источников — довольно необычно: они излучают

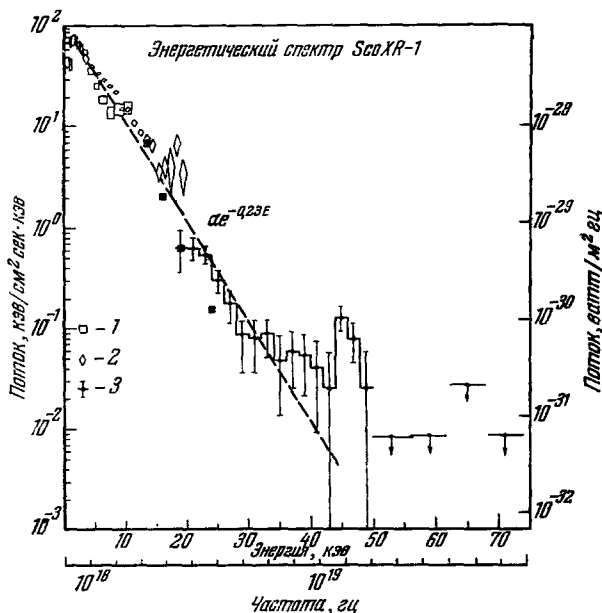


Рис. 11. Спектр Sco XR-1 — наиболее интенсивного в диапазоне энергий, изучаемом в ракетных экспериментах, рентгеновского источника.

Экспоненциальный спектр указывает на тепловое тормозное излучение горячего ионизованного газа, имеющего температуру 50 млн. градусов. 1 — Градер и др., 28 октября 1965 г.; 2 — Шодд и др., 12 июня 1965 г.; 3 — Питерсон и Джейковсон, 18 июня 1965 г. Сплошными значками обозначаются результаты, для которых не указана точность измерений.

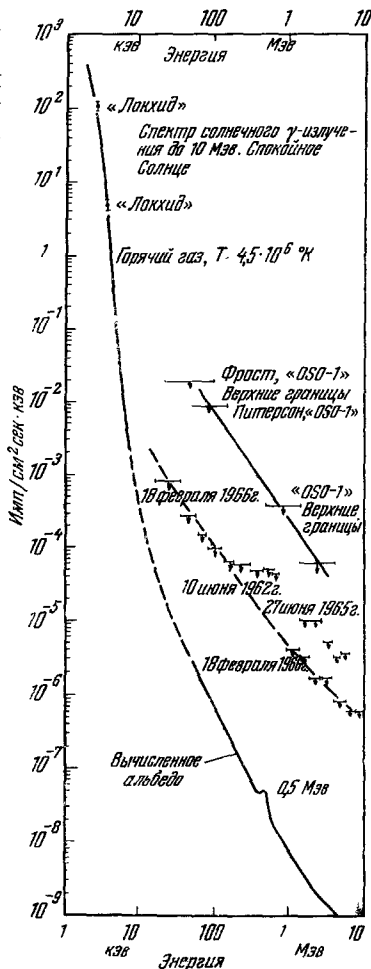


Рис. 12. Имеются только верхние границы потока рентгеновского и  $\gamma$ -излучения спокойного Солнца для энергий, превышающих 20 кэв.

Ракетные наблюдения позволяют измерить поток рентгеновского излучения короны. При солнечных вспышках в интервале 20—100 кэв регистрируется рентгеновское излучение большой интенсивности.

преимущественно в рентгеновской области спектра. Солнце, наоборот, очень близкая к нам звезда обычного типа. Как видно из рис. 12, в доступной баллонным наблюдениям области энергий, можно оценить

\*) Избыток излучения в области энергий  $E > 30$  кэв не подтверждается другими наблюдателями (W. H. G. Lewin, G. W. Clark, W. B. Smith, *Astrophys. J. (Letters)* 150, L153 (1967); W. H. G. Lewin et al., *Preprint*, 1968).

только верхнюю границу потока от спокойного Солнца  $^{28}$  и только рентгеновские всплески, сопровождающие солнечные вспышки, доступны наблюдениям. Излучение Солнца соответствует излучению черного тела с температурой  $6000^\circ \text{K}$ , окруженного горячим газом (солнечной короной) с температурой несколько миллионов градусов. Это излучение (показанное на рис. 12) интенсивно исследовалось с помощью ракет и спутников. Поиски солнечных рентгеновских и  $\gamma$ -эмиссий будут продолжаться.

#### VIII. ПРОЕКТИРУЕМЫЕ ПРИБОРЫ

В настоящее время в Калифорнийском университете в Сан-Диего разрабатываются новые приборы, которые будут иметь большие площади, меньшие телесные углы, лучшее разрешение по энергии и более низкий фон, что позволит расширить наши знания о космических дискретных источниках и изотропном фоне рентгеновского и  $\gamma$ -излучения. Детали одного такого прибора показаны на рис. 13. Взаимно заменяемые группы  $\text{NaJ(Tl)}$ -детекторов, два из которых показаны на левой и правой сторонах рисунка, помещаются внутри большого кристалла  $\text{NaJ(Tl)}$ , который образует часть схемы антисовпадений. Коллиматор сделан из сцинтиллятора  $\text{CsJ(Na)}$ , с высверленными отверстиями, имеющего вид пчелиных сот. За ним следуют фотоумножители. Антисовпадения регистрируются с помощью детектора, которым заканчивается внешний кристалл. Этот прибор имеет гораздо большую площадь, чем описанный выше детектор Орбитальной солнечной обсерватории («OSO»), гораздо более низкий уровень фона и апертуру всего в несколько градусов. Вес прибора составляет всего 27 кг. Уже были проведены проверочные полеты этого прибора на баллонах, и оказалось, что его уровень фона в десять раз ниже фона аналогичных приборов, применявшихся раньше. Такой же прибор будет запущен в 1970 г. на Орбитальной солнечной обсерватории.

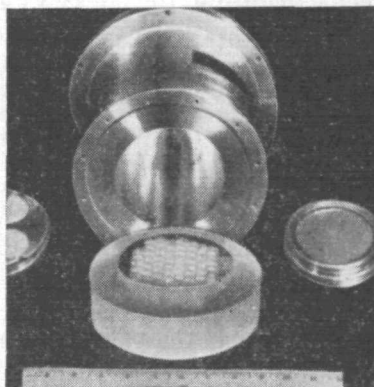


Рис. 13. Сцинтилляторы разработанного в Калифорнийском университете в Сан-Диего детектора для баллонных наблюдений.

Детектор имеет большую площадь и высокую коллимацию. Аналогичный детектор будет установлен на Орбитальной солнечной обсерватории в 1970 г.

В Калифорнийском университете в Сан-Диего разрабатывается также система направленных  $\text{Ge(Li)}$  детекторов, имеющих гораздо более высокое разрешение по энергиям, чем детекторы из  $\text{NaJ}$ , что позволит наблюдать гораздо более тонкие детали спектра. Эти и другие новые инструменты, создаваемые в разных лабораториях, скоро позволят проводить множество таких исследований рентгеновского и  $\gamma$ -излучения, о каких нельзя было и мечтать несколько лет назад.

Будущие системы детекторов для баллонов будут состоять из набора сцинтилляционных или твердотельных счетчиков с очень большими площадями и массивными коллимирующими экранами антисовпадений. Подобные приборы потребуют гораздо большей точности наведения, возможно, с использованием слежения по звездам. Сейчас планируется также более сложная система команд и получения данных. Все это будет сопровождаться и развитием технологии изготовления баллонов, потому что более тяжелые приборы потребуют и больших баллонов.

## IX. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой статье мы попытались рассмотреть некоторые достижения баллонной астрономии, оценить их вклад в рентгеновскую и  $\gamma$ -астрономию и связать их с другими наблюдениями, а также теоретическими выводами астрофизики высоких энергий. В далеком будущем длительные наблюдения рентгеновского и  $\gamma$ -излучения будут, несомненно, проводиться на спутниках, но баллоны еще долго останутся дешевым средством своевременного исследования и проверки аппаратуры, предназначенной для спутников. В настоящее же время, когда ракетные полеты столь непродолжительны, а время между началом изготовления прибора и запуском спутника столь велико, исследования на баллонах, позволяющие вести наблюдения рентгеновского и  $\gamma$ -излучения высокой энергии с самыми современными приборами, имеют наибольшее значение.

Калифорнийский университет,  
Сан-Диего, США

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. R. Giacconi, H. Gursky, *Space Sci. Rev.* **4**, 151 (1965).
2. S. Bowyer, T. A. Chubb, H. Friedman, *Sci.* **147**, 394, 3656 (1965).
3. P. C. Fisher, H. M. Johnson, W. C. Jordan, A. J. Meyerott, L. W. Acton, *Astrophys. J.* **143**, 203 (1966).
4. E. T. Byram, T. A. Chubb, H. Friedman, *Sci.* **152**, 66 (1966).
5. P. Morrison, *Nuovo Cimento* **7**, 858 (1966).
6. G. R. Burbridge, R. J. Gould, *Ann. Astrophys.* **28**, 171 (1965).
7. A. S. Jacobson, L. E. Peterson (будет опубликовано).
8. L. E. Peterson, D. A. Schwartz (будет опубликовано).
9. A. G. Carlson, J. E. Hooper, D. T. King, *Phil. Mag.* **41**, 701 (1950).
10. T. L. Cline, *Phys. Rev. Lett.* **7**, 109 (1961).
11. R. Giacconi et al., *Astrophys. J.* **142**, 1274 (1965).
12. G. W. Clark, *Phys. Rev. Lett.* **14**, 91 (1965).
13. K. G. McCracken, *Proc. 9th Intern. Conference on Cosmic Rays (The Institute of Physics and The Physical Society, London, 1966)*.
14. K. J. Frost, E. D. Rothe, *Inst. Radio Engrs. Trans. Nucl. Sci.* **NS-9**, 381 (1962).
15. R. C. Haymes, W. L. Graddock, Jr., *J. Geophys. Res.* **71**, 3261 (1966).
16. E. Boldt et al., *Phys. Rev. Lett.* **17**, 447 (1966).
17. D. B. Hicks, L. Reed, Jr., L. E. Peterson, *IEEE Trans. Nuc. Sci.* **12**, 54 (1965).
18. A. E. Metzger, E. C. Anderson, M. A. Vandilla, J. R. Arnold, *Nature* **204**, 766 (1964).
19. R. Rocchia, R. Rothenflug, D. Boclet, G. Docros, J. Labeyrie, *Space Research*, vol. 1, North-Holland Publishing Co., Amsterdam, 1967, стр. 1327.
20. W. Kraushaar, G. W. Clark, G. Garmire, H. Helmken, P. Higbie, M. Agogino, *Astrophys. J.* **141**, 845 (1965).
21. J. E. Felten, P. Morrison, *Astrophys. J.* **146**, 686 (1966).
22. S. Bowyer, E. T. Byram, T. A. Chubb, H. Friedman, *Sci.* **146**, 912 (1966).
23. L. E. Peterson, A. S. Jacobson, R. M. Pelling, *Phys. Rev. Lett.* **16**, 142 (1964).
24. H. Gursky, R. Giacconi, P. Gorenstein, J. R. Waters, N. Oda, H. Bladt, G. Garmire, B. V. Sreekantan, *Astrophys. J.* **144**, 1249 (1966).
25. A. R. Sandage, P. Osmer, R. Giacconi, P. Gorenstein, H. Gursky, J. Waters, H. Bladt, G. Garmire, B. V. Sreekantan, N. Oda, K. Osawa, J. Jugaku, *Astrophys. J.* **146**, 316 (1966).
26. H. M. Johnson, C. B. Stephenson, *Astrophys. J.* **146**, 602 (1966).
27. L. E. Peterson, A. S. Jacobson, *Astrophys. J.* **145**, 962 (1966).
28. L. E. Peterson, D. A. Schwartz, R. M. Pelling, D. McKenzie, *Geophys. Res.* **71**, 5778 (1966).
29. R. Giacconi, P. Gorenstein, H. Gursky, J. R. Waters, *Astrophys. J.* **148** (3), L119 (1967).