

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Озеров Юрий Владимирович

"ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРВИЧНОГО КОСМИЧЕСКОГО
ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ЗА ПРЕДЕЛАМИ АТМОСФЕРЫ"

(01.04.16- физика атомного ядра и кос-
мических лучей)

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва - 1973

Интенсивное исследование высокоэнергичного космического гамма-излучения, предпринятое в последнее десятилетие, было вызвано несколькими причинами. Из них можно выделить: успехи рентгеновской астрономии в конце пятидесятых годов, появление теоретических расчетов, указывающих на существование вполне измеримых потоков гамма-излучения, и, наконец, важность и актуальность этих исследований. Важность исследований этой компоненты космического излучения следует уже из перечня проблем, которые могут быть решены в результате этих исследований: происхождение и распространение космических лучей, распространение вещества и наличие антивещества во Вселенной и в Галактике, изучение свойств некоторых астрофизических объектов и выяснение их природы. Большую роль в развитии исследований первичного гамма-излучения сыграла и новая техника, позволявшая проводить эксперименты в верхних слоях атмосферы и за пределами атмосферы, а также прогрессивная методика исследований - искровые гамма-телескопы.

Настоящая работа посвящена исследованию потоков и угловых распределений первичных гамма-квантов с энергией больше 100 мев на искусственном спутнике Земли "Космос-264" с помощью искрового гамма-телескопа.

Диссертация состоит из введения, трех глав и четырех приложений.

Введение посвящено обзору работ по первичному гамма-излучению. В начале введения описываются основные процессы генерации гамма-квантов и характеристики спектров потоков гамма-излучения в зависимости от способа генерации. Отмечаются наиболее существенные процессы генерации диффузного гамма-излучения и процессы, приводящие к образованию гамма-квантов в локальных источниках. Во втором параграфе введения дан обзор эксперимен-

тальных результатов по первичному гамма-излучению, полученных в периоду проведения эксперимента. Основные экспериментальные результаты этого периода сводились к более-менее надежному определению потока диффузного гамма-излучения с энергией больше 100 мэв, совпадающего с экстраполяцией потока электромагнитного излучения из области 100 кэв с показателем $\sim 2,2$, и к обнаружению избыточного излучения от плоскости Галактики. Результаты по собственно гамма-астрономии - исследование свойств астрофизических объектов в области высокоэнергичного гамма-излучения - носили противоречивый характер и в большинстве случаев экспериментами устанавливались только верхние пределы потоков гамма-квантов от возможных источников излучения.

Краткий обзор развития экспериментальной техники гамма-исследований указывает на перспективность использования управляемых трековых приборов. Переход от счетчиковых гамма-телескопов к искровой методике в баллонных экспериментах увеличил чувствительность приборов к потокам гамма-квантов от локальных источников более чем на порядок, что было связано с лучшим угловым разрешением новых приборов. Несмотря на это, в периоду проведения данного исследования основные результаты по первичному гамма-излучению были получены счетчиковыми гамма-телескопами, установленными на искусственных спутниках Земли^{ж)}. Успешное использование счетчиковых гамма-телескопов на ИСЗ было связано, во-первых, с отсутствием атмосферного фона в этих экспериментах и, во-вторых, с их большей продолжительностью. Использование искровой методике в гамма-исследованиях, кроме лучшего углового разрешения, обладает, по сравнению со

ж) W.L. Kraushaar, et.al. *Solar Phys.* 6, 228 (1969);

счетчиковой методикой, значительно большей надежностью выделения гамма-квантов. Последнее обстоятельство очень важно, т.к. надо иметь в виду, что гамма-исследования проводятся на фоне заряженной компоненты первичных космических лучей, превосходящем эффект более чем на четыре порядка. Указанные обстоятельства определили методику данного эксперимента. В данной работе была использована широкоазорная многопластинчатая искровая камера, управляемая телескопом из сцинтилляционных и черенковских счетчиков.

В первой главе диссертации дано описание прибора, используемого в данном эксперименте [1, 2, 3]. Прибор включает в себя счетчиковый гамма-телескоп, состоящий из антисовпадательного сцинтилляционного счетчика, конвертора из свинца толщиной в одну радиационную длину, совпадательного сцинтилляционного счетчика и направленного черенковского счетчика из плексигласа. Площадь конвертора прибора $\sim 96 \text{ см}^2$, расчетный геометрический фактор телескопа около $22 \text{ см}^2 \text{ стер}$. Телескоп счетчиков управляет работой искровой камеры, расположенной между совпадательными и черенковскими счетчиками. Искровая камера представляет собой плексигласовую коробку с внутренним объемом около одного литра, разделенную на пять частей шестью электродами, из которых пять нижних содержат около 0,7 р.дл. Pb . Электроды камеры образуют пять искровых промежутков: один верхний - четырехсантиметровый зазор и четыре последующих зазора по одному сантиметру. Высоковольтный импульс амплитудой 24 кв подается на второй сверху электрод, являющийся серединой камеры. Наполнена камера неоном до давления 1 атм. Гамма-кванты, регистрируемые прибором, вызывают в свинце электродов камеры развитие электромагнитного дивья, по которому легко отделить гамма-события от случаев прохождения через прибор ядерной компоненты

космических лучей. Съём информации с камеры - фотографический и осуществляется специально разработанным стереофоторегистратором с запасом пленки на ~15 тыс. кадров. Стереозображение каждого события позволяет восстанавливать направление искры в верхнем четырехсантиметровом азоре с точностью около 5° . В приложении диссертации представлены формулы, по которым осуществлялось восстановление направлений треков частиц в камере. С двух сторон искровая камера была окружена сцинтилляционными охранными счетчиками, предназначенными для уменьшения возможного "бокового" фона. Мастерным сигналом телескопа является одновременное срабатывание сцинтилляционного совпадательного и черенковского счетчиков при отсутствии сигналов в антисовпадательном и боковых охранных счетчиках. Предполагалось, что во время эксперимента прибор будет находиться внутри ИСЗ под обшивкой объекта, поэтому в телескоп был включен дополнительный выносной счетчик, расположенный за ней. Очевидно, что наличие импульса в выносном счетчике в момент срабатывания прибора говорит о вторичной, природе зарегистрированного гамма-кванта, рожденного заряженной компонентой космических лучей в обшивке объекта. Для увеличения надежности выносной счетчик не был включен в формирование мастерного сигнала. Наличие или отсутствие импульса в выносном счетчике в момент срабатывания прибора контролировалось сигнальной лампочкой, которая фотографировалась вместе с изображением событий в камере, часов и т.д. Энергопотребление данного прибора около 10 вт. Система стабилизаторов обеспечивает его нормальную работу при питающем напряжении от 25 в до 32 в. Мертвое время прибора около 2,8 сек.

Во второй главе диссертации дается описание наладки и проверки прибора в лабораторных условиях, результаты калибровок прибора на электронных ускорителях, метод получения основных

характеристик прибора и их значения при некоторых характеристиках потоков регистрируемого гамма-излучения.

Из всего объема наладочных работ в лабораторных условиях можно выделить: наладку телескопа счетчиков, проверку работоспособности искровых камер, калибровку системы фотографирования. После наладки телескопа счетчиков были измерены эффективности выносного счетчика, антисовпадательного счетчика ($\eta = 0,9994 \pm 0,0005$), направленность телескопа в целом и т.д. Были получены зависимости эффективности камер от задержки высоковольтного импульса и от количества дней, прошедших после последнего перенаполнения. Калибровка системы фотографирования показала возможность восстановления направлений треков частиц по верхнему зазору камеры с точностью $\sim 5^\circ$.

Основные характеристики прибора, как детектора гамма-квантов, в данной работе были получены расчетом по методу Монте-Карло. В расчете учитывались следующие элементарные процессы: тормозное излучение электронов, многократное рассеяние, ионизационные и радиационные потери, рождение электрон-позитронных пар, комптон-эффект. Корректность проводимого расчета проверялась сравнением рассчитанных каскадных кривых в свинце с результатами других работ. Получено хорошее согласие расчетного числа гамма-квантов в каскаде с результатами других расчетов^{ж)}, а также согласие расчетного углового распределения электронов в каскаде с экспериментальной работой^{жж)}. Расчетное число электронов в каскаде на малых глубинах вещества (41 р. дл. Pb) имеет на (20+30)% меньшее значение, чем в (жж), что, по-видимому, объясняется отсутствием учета образования δ -элек-

ж) H. Nagel, *Z für Physik*, 186, 319 (1965).

М.Я. Борковский и др. Препринт 407, ФТИ Ленинград, 1972.

жж) О.А. Займидорога и др. Препринт Р-2633, ОИЯИ, Дубна, 1966.

тронов. Имея ввиду, что в приборе между совпадательными и черенковским счетчиками имеется $\sim 3,5$ р.дл. Р β , можно считать, что процесс образования δ -электронов не сильно влияет на эффективность прибора в целом.

В расчете эффективности прибора методом Монте-Карло присутствует параметр, влияющий на результаты расчета, — минимальная энергия, до которой рассматриваются частицы каскада. При расчете каскадной кривой минимальная энергия считалась равной 1 мэв, что близко к значению минимальной энергии в экспериментах и в других расчетах. При расчете эффективности прибора минимальная энергия должна быть больше, во-первых, из-за малого пробега электронов низкой энергии в радиаторе черенковского счетчика и, во-вторых, из-за отличной от единицы чувствительности камеры к электронам такой энергии. Для выбора величины минимальной энергии в каскаде была использована калибровка прибора на электронных ускорителях. При калибровках использовался пучок электронов с энергией $0,1 \pm 0,6$ гэв синхротрона Физического Института им. Н.П. Лебедева АН СССР и пучок электронов с энергией $0,5 \pm 1,5$ мэв линейного электронного ускорителя Физико-технического института АН УССР. При калибровках были проведены измерения зависимости эффективности прибора с выключенным счетчиком антисовпадения к электронам различной энергии и была получена гистограмма числа ионизаций в камере от электронов, зарегистрированных телескопом. Указанные зависимости сравнивались с аналогичными расчетными зависимостями при различных минимальных энергиях частиц в каскаде. Оказалось, что наилучшее согласие расчетных и экспериментальных зависимостей достигается, если ввести две энергии обрезания: 2,5 мэв в искровой камере и совпадательном счетчике и 20 мэв в черенковском счетчике. Таким образом, при расчете характеристик прибо-

ра отбираются каскады с заряженными частицами в совпадательном счетчике с энергией больше 2,5 мэв и в черенковском счетчике больше 20 мэв. Число искр в камере определяется числом электронов в ваворах камеры с энергией больше 2,5 мэв для отобранных электромагнитных каскадов. Указанные параметры расчета обеспечивают $\pm 10\%$ точность совпадения расчетов и калибровок.

Выбранные минимальные энергии частиц каскадов были использованы при расчетах:

светосилы прибора для изотропного потока гамма-квантов и фиксированной энергии $L(E_\gamma)$;

среднего числа искр в камере и дисперсии числа искр для изотропного потока и фиксированной энергии падающих гамма-квантов;

эффективной поверхностью прибора при нормально падающем потоке гамма-квантов и разных показателях дифференциального спектра $S_{\text{эф}}(\alpha)$;

зависимости эффективной поверхности прибора при параллельном потоке гамма-квантов и фиксированной энергии от угла падения гамма-квантов $S_{\text{эв}}(E_\gamma, \theta)$.

Зависимость светосилы прибора для изотропного потока гамма-квантов и фиксированной энергии от энергии падающего гамма-кванта позволила вычислить светосилу прибора при произвольном спектре гамма-квантов по формуле

$$\Gamma(\alpha) = \left(\int_0^\infty L(E_\gamma) I(E_\gamma, \alpha) dE_\gamma \right) / \int_{E_0}^\infty I(E_\gamma, \alpha) dE_\gamma$$

где $I(E_\gamma, \alpha)$ - произвольный дифференциальный спектр гамма-квантов;

E_0 - нижняя энергия регистрируемых гамма-квантов.

При вычислении $\Gamma(\alpha)$ величина $L(E_\gamma)$ представлялась в виде

$$L(E_j) = a_1 (1 - \exp\{-(\frac{E_j - a_2}{a_3})^{1.5}\})$$

Для данного прибора параметры в последнем выражении, полученные методом наименьших квадратов, оказались равными $a_1 = 11,5 \pm 1,4$; $a_2 = 85 \pm 32$; $a_3 = 300 \pm 90$.

Значения величин $\Gamma(\alpha)$ и $S_{\text{эф}}(\alpha)$, характеризующих чувствительность прибора к изотропному потоку гамма-излучения и к потоку от локального источника, соответственно, при различных спектрах падающего гамма-излучения, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Спектр	$\alpha = 1,5$	$\alpha = 2,0$	$\alpha = 2,5$	Плюсный спектр
$\Gamma(\alpha)$ ($E_0 = 100$ мэв)	$5,9 \pm 1,5$	$4,0 \pm 1,7$	$2,7 \pm 1,8$	$4,8 \text{ см}^2 \text{ стер}$
$S_{\text{эф}}(\alpha)$ ($E_0 = 100$ мэв)	23 ± 2	12 ± 2	$6,0 \pm 1,6$	17 см^2

Расчитанные средние значения числа искр в камере и дисперсия этого числа могут быть использованы при восстановлении спектра зарегистрированных гамма-квантов по распределению искр в камере.

Зависимость $S_{\text{эф}}(E_j, \theta)$ была использована при вычислении экспозиции ($S_{\text{эф}} t$) конкретных астрофизических объектов, угол падения гамма-квантов от которых мог меняться в течение эксперимента.

Третья глава диссертации посвящена описанию условий проведения эксперимента, описанию полученного экспериментального материала, обработке его и обсуждению полученных результатов.

Данный эксперимент был проведен на искусственном спутнике Земли "Космос-264", который был запущен 23 января 1969 года.

Параметры орбиты спутника были следующими: апогея 330 км, перигея 219 км, угол наклона 70° , период обращения 89,7 мин. Прибор был установлен внутри ИСЗ таким образом, что его ось была направлена в район Северного Галактического полюса и описывала на небесной сфере круг радиусом 33° , при этом она составляла с плоскостью горизонта угол $\sim 48^\circ$. Известные параметры орбиты спутника, вычисленные направления треков частиц относительно приборов и известные моменты регистрации событий позволяют найти направления прихода частиц. В соответствующем приложении диссертации представлены формулы, позволяющие вычислить направления прихода частиц в небесной экваториальной системе координат, галактической системе, а также географическое положение спутника в момент регистрации данного события. За время всего эксперимента было получено около 12 тыс. стереоизображений событий.

Темп счета прибора во время эксперимента, усредненный по географическим широтам, составлял около 8 событий в минуту. Средний темп счета на полюсе около 5 (мин)^{-1} , на экваторе около 1 (мин)^{-1} . Такая нагрузка намного превосходит ожидаемую от верхнего гамма-излучения. Разобраться в причинах такого большого темпа счета позволила используемая в приборе искровая камера. По изображению событий в искровой камере было выделено четыре типа событий: протонные события, гамма-квантовые события, события с малым количеством искр и события без искр в камере. Последние два типа событий составляли около 70% всех событий. Протонные и гамма-квантовые события можно еще разделить на события с зажиганием и без зажигания лампочки вносного счетчика и на события с искрой и без искры в верхнем широкозахватном отсеке камеры. Для каждого введенного класса событий были построены геомагнитные зависимости темпов счета, которые

характеризовались отношением счетов на полюсе и экваторе. Оказалось, что протонные события с искрой в верхнем отсеке обладают наибольшим значением этого отношения, равным $(13,6 \pm 4,6)$. Приблизительно одинаковым это отношение было для событий без искр и с малым количеством искр в камере, равным соответственно $(8,5 \pm 0,2)$ и $(8,9 \pm 0,4)$. Для гамма-событий оно равно $(4,5 \pm 0,6)$. Объяснение изменения размаха геомагнитной зависимости для событий различных типов, по-видимому, заключается в следующем. Протонные события с искрой в верхнем отсеке камеры, появившиеся из-за просчетов счетчика антисовпадения, должны иметь отношение темпов счета на полюсе и экваторе, определяемое потоком первичных космических лучей на равных географических широтах. Из работы Дональда^{X)} указанное отношение заключено в пределах 13 ± 15 , что находится в хорошем согласии с результатами данной работы. Темп счета событий без искр и с малым количеством искр определяется не потоком космических лучей, а потоком энергии первичного излучения, что приводит к уменьшению размаха геомагнитной зависимости. Запуски прибора в этих случаях объясняются случайным совпадением импульсов совпадательного и черенковского счетчиков. Причем надо иметь в виду, что некоторая часть загрузки счетчиков прибора из-за взаимодействия первичных космических лучей в окружающем прибор вещество вызвана генетически связанными частицами, которые могут не проходить через искровую камеру и не давать в ней искр. Происхождение зарегистрированных гамма-событий объясняется неупругим взаимодействием протонов первичных космических лучей с веществом обшивки спутника. В приложении диссертации приведена оценка размаха геомагнитной зависимости гамма-квантов, рожденных в неупругих взаимодействиях протонов. Расчетное отношение

X) Donald et al. Phys. Rev. 115, 1 (1959)

оказалось равным ~ 4 , что совпадает с экспериментальным значением этой величины. Следует обратить внимание на тот факт, что для протонных и гамма-событий без искр в верхнем отсеке камеры размах геомагнитных зависимостей систематически меньше, чем размах соответствующих зависимостей для событий с искрами. Это обстоятельство объясняется тем, что часть событий без искр в верхнем отсеке камеры имеют то же происхождение, что и пустые события. Последнее утверждение подтверждается измерениями направлений движения протонов без искр в верхнем отсеке камеры по трекам в четырех нижних отсеках: часть этих протонов имела траекторию, лежащую вне апертуры телескопов счетчиков.

Проведенный анализ геомагнитных и угловых зависимостей событий показал, что в окончательную обработку экспериментального материала необходимо включать события с искрой в верхнем отсеке камеры, которые наверняка лежат в пределах апертуры прибора. Первичное гамма-излучение может присутствовать среди гамма-событий без зажигания лампочки выносного счетчика. Окончательные результаты по потокам необходимо увеличивать на величину, определяемую эффективностью широкого зазора камеры. По протонным событиям она равна $0,46 \pm 0,08$.

После проведенной предварительной обработки экспериментального материала были проведены оценки первичных изотропных потоков протонов и гамма-квантов и были исследованы угловые распределения гамма-событий.

Для района экватора был получен поток протонов, который оказался равен $I_p = (4,2 \pm 2,2) \cdot 10^{-2} \text{ (см}^2 \text{ сек. стер)}^{-1}$, что находится в хорошем согласии с работой Дональда. Совпадение величины I_p с результатами других работ говорит о правильной работе прибора и правильной введенной классификации событий.

При оценке потока диффузного гамма-излучения предполага-

лось, что темп счета гамма-квантов пропорционален темпу счета протонов плюс величина, независимая от потоков вторичных частиц и протонов. Вычисления проводились следующим образом. Все отобранные гамма-квантовые и протонные события были разбиты на группы, соответствующие определенным географическим широтам, для чего период обращения спутника был разбит на 18 временных интервалов. Число гамма-событий, попавших в определенный временной интервал, равно $N_{\gamma} = K N_p + N_{0\gamma}$, где N_p - число протонов в i -ом временном интервале; $N_{0\gamma}$ - число гамма-квантов, независимых от числа протонов в одном интервале (первичные гамма-кванты); K - коэффициент пропорциональности; предполагается, что он не зависит от номера временного интервала. Решение указанного уравнения методом наименьших квадратов дало: $K = 0,55 \pm 0,10$; $N_{0\gamma} = 1,04 \pm 0,76$. Предполагая, что показатель дифференциального спектра первичных гамма-квантов равен 2, получаем:

$$I_{\gamma} = \frac{N_{0\gamma}}{\Gamma(\alpha) t^{\alpha}} \cdot \frac{1}{2} = (6 \pm 5) \cdot 10^{-5} (\text{см}^2 \text{сек. стер})^{-1},$$

где $\Gamma(\alpha) t^{\alpha}$ - светосила прибора; t - время экспозиции, α - эффективность развязки камер. Величина ошибки в I_{γ} не дает возможности надежно утверждать о присутствии первичного гамма-излучения. Верхний предел на 95% уровне достоверности равен $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2 \text{сек}^{-1} \text{ стер}^{-1}$, что не противоречит измерениям в других экспериментах []

Анализ угловых распределений гамма-событий был проведен с целью поиска возможных источников локального гамма-излучения. Проводился этот анализ следующим образом. Были отобраны гамма-события с искрой в верхнем отсеке без зажигания лампочки и отдельно протоны с искрой в верхнем отсеке и гамма-кванты с искрой и с зажиганием лампочки выносного счетчика. Для обеих групп событий были вычислены их небесные координаты и построены две

[]

характеристики областей с аномально большим числом зарегистрированных гамма-квантов.

Таблица 2

№ кв.	Прямое восхождение (гр)	скло-нение (гр)	ожидаемое число слов N_0	зарегистр. числ: N_1	избыток $\frac{N_1 - N_0}{\sqrt{N_0}}$	число сканов M	случайная вероятность выброса P	поток, умноженный на 10^5 (см ² сек)
1	223 \pm 7	51 \pm 5	3,6 \pm 0,5	11	3,8 \pm 0,5	130	0,13	4,9 \pm ^{2,2} _{1,8}
II	185 \pm 7	41 \pm 5	2,8 \pm 0,5	10	4,3 \pm 0,5	130	0,07	4,4 \pm ^{2,1} _{1,7}
III	225 \pm 5	9 \pm 5	2,4 \pm 0,4	8	3,6 \pm 0,5	260	0,52	3,4 \pm ^{1,9} _{1,5}
IV	208 \pm 5	-5 \pm 5	3,4 \pm 0,5	11	4,1 \pm 0,5	130	0,08	4,6 \pm ^{2,8} _{1,8}

В таблице избыток представлен в эффективных стандартных отклонениях. Вероятность случайного появления избытка P вычислена с учетом числа сканов $P = 1 - (1-p)^M$, где p - Пуассоновская вероятность случайного появления выброса при одном скане; M - число сканов. Под числом сканов в данном случае понимается суммарное число квадратов разбиения (с учетом сдвигов), из которых вероятность случайного появления данного выброса по гистограммам Δ ; меньше 10^{-2} .

Вероятности случайного появления выбросов, указанные в таблице 2, велики для принятия гипотезы о существовании источников. Однако, надо иметь в виду следующие обстоятельства, говорящие о реальности их существования. Во-первых, используемый в работе метод сравнения карт гамма-событий и фоновых событий учитывает возможные аномалии распределения из-за особенностей движения спутника и из-за возможных геомагнитных эффектов. Во-вторых, вероятность случайного появления всех четырех выбросов $< 10^{-3}$, т.е. их появление случайным образом маловероятно. В-

третьих, две области избыточного гамма-излучения (Ш и 1У) совпадают с положением областей локального гамма-излучения, обнаруженных в работе Фрая (взято из ж).

Указанные области в работе [4] получили названия $\text{Boo } \gamma -1$ и $\text{Vir } \gamma -1$, соответственно. Провести надежное отождествление обнаруженного избыточного гамма-излучения, имея в виду неопределенность в восстановлении направления движения гамма-квантов, с известными астрофизическими объектами сложно. Но, тем не менее, следует обратить внимание на присутствие во втором квадрате (таблица 2) Сейфертовских галактик $\text{NGC } 4051$ и $\text{NGC } 4151$ и рядом находящихся объектов $\text{O } \text{N } 231$ и $\text{B } 21 \text{ 21 } 5 + 30$, которые по своим свойствам напоминают обнаруженные ранее переменные источники гамма-излучения $\text{3C } 120^{\text{ЖК}}$ и $\text{PK } S' 1514 - 24$ []

Проведенный анализ углового распределения гамма-событий позволил получить верхние пределы потоков гамма-излучения от ряда астрофизических объектов. Величина пределов на 95% уровне достоверности в среднем равна $\sim 2 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$. Из этих объектов следует выделить $\text{PK } S' 1514 - 24$, отсутствие от которого потока гамма-квантов во время эксперимента подтверждает его переменность и совпадает с результатом Фрая (12-я Международная конференция по космическим лучам). Для объектов $\text{O } \text{N } 231$ и $\text{B } 21 \text{ 21 } 5 + 30$ также даются верхние пределы, что, вообще говоря, не противоречит возможному переменному гамма-излучению от этого объекта. C

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Данная работа была посвящена исследованию первичного космического гамма-излучения с энергией больше 100 мэв за преде-

*) G.G. Fazio IAU Symposium 55 on X-ray and Gamma-ray Astr. (1972)
 **) С.А. Волобуев и др. *Астрономический журнал*, 48, 1105 (1971)

лами атмосферы Земли. Установка прибора на ИСЗ и присутствие большого фона, на котором производится измерение, вызвали необходимость разработки оригинального искрового гамма-телескопа. В результате проведенных исследований были решены следующие методические и физические задачи.

I. Впервые произведено исследование высокоэнергичного космического гамма-излучения с помощью искрового гамма-телескопа, установленного на ИСЗ. Разработанный и созданный гамма-телескоп успешно прошел испытания на спутнике Земли "Космос-264".

II. Разработан и апробирован метод расчета основных характеристик гамма-телескопов. Составлена программа вычисления различных параметров приборов. Метод расчета был проверен сравнением с каскадными кривыми и калибровками прибора на ускорителях.

III. Используемая в приборе искровая камера позволила выявить природу различных фоновых событий и отработать методику выделения гамма-квантов и анализа их угловых распределений.

IV. Проведен анализ геомагнитных зависимостей числа гамма-событий. Сравнением этой зависимости с соответствующими фоновыми зависимостями получен верхний предел потока изотропного космического гамма-излучения.

V. Проведен угловой анализ гамма-квантов. Обнаружены четыре области с избыточным гамма-излучением. Появление этих областей в эксперименте не может быть объяснено какими-либо приборными или геомагнитными эффектами. Вероятность случайного появления этих четырех областей $< 10^{-3}$. Две из них совпадают с положением районов избыточного гамма-излучения, обнаруженных в эксперименте Фрая, и это значительно уменьшает вероятность случайного появления выбросов. Таким образом, анализ угловых распределений говорит о существовании астрофизических объектов

или целых областей, излучающих высокоэнергичные гамма-кванты с потоком у Земли $\sim 4 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$.

У1. Установлены верхние пределы потоков космического гамма-излучения от различных астрофизических объектов, которые могут быть источниками гамма-излучения. Величина верхних пределов зависит от времени наблюдения за данным объектом и изменяется от $2 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ до $7 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$. Верхние пределы даны на 95% уровне достоверности.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах [2, 3, 4] и докладывались на Международной конференции по космическим лучам в Будапеште в 1969 г. [1], Денвере 1973г. [5] и на Всесоюзной конференции в Ленинграде [2] и Англии [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. С.А. Волобуев, А.М. Гальпер, В.Г. Кириллов-Угримов, Б.И. Лучков, Ю.В. Оверов, И.Л. Розенталь, Э.М. Шерманзон, Н.Г. Григоров, Л.Ф. Калинин, А.С. Мелиоранский, И.А. Савенко, Т.А. Шашко. *Acta Physica Acad. Sci. Hungarica*, 29, Sup.1, 127 (1970)
2. С.А. Волобуев, А.М. Гальпер, В.Г. Кириллов-Угримов, Б.И. Лучков, Ю.В. Оверов, И.Л. Розенталь, Э.М. Шерманзон, Н.Л. Григоров, Л.Ф. Калинин, А.С. Мелиоранский, И.А. Савенко, Т.А. Шашко. Изв. АН СССР сер. физ., 34, 2259 (1970).
3. К.И. Бобков, С.А. Волобуев, А.М. Гальпер, В.В. Дмитренко, В.Г. Кириллов-Угримов, Ю.Д. Лакин, Б.И. Лучков, Ю.В. Оверов, И.Л. Розенталь, Э.М. Шерманзон. "Система АННА-III", отчет МИФИ, М., 1967.
4. А.М. Гальпер, В.Г. Кириллов-Угримов, Б.И. Лучков, Ю.В. Оверов. Письма в ЖЭТФ, 17, 254 (1973).
5. Денвер
6. Изв. АН СССР
7. Сбюзн. МИФИ
8. Описание прибора с ПТЗ, 69
ГИИИ, ИИИ,
- 9 } Три отчета МИФИ
- 10 }
- 11 }

Л75992. Подписано к печати 26/X-73г. Заказ № 1066.

Типография МИФИ, Каширское шоссе I.