

УДК 523.165+523.76

А. В. Дудник, Т. В. Малыхина

Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Харків

Компьютерное моделирование поглощенной энергии и пробегов частиц в спектрометре СТЭП космического проекта «Попередження»

Надійшла до редакції 04.10.01

Розроблені комп'ютерні програми для моделювання процесів проходження енергійних частинок крізь різноманітні матеріали та середовища. Представлено результати моделювання методом Монте-Карло з використанням пакету GEANT4.2 процесів проходження електронів, протонів та α -частинок крізь детектори супутникового спектрометра-телескопа СТЭП космічного проекту «Попередження». Розраховані значення поглинутих енергій, пробігів та числа оптичних фотонів заряджених частинок та γ -квантів у кожному з детекторів приладу. Моделювання показало, що прилад дозволить реєструвати потоки і спектри енергій електронів в діапазоні 0.2—23 MeV, протонів — в діапазоні 3.5—76 MeV і α -частинок — в діапазоні енергій 13.7—307 MeV. Проведено зіставлення результатів розрахунків з вимірюваннями спектрів електронів і γ -квантів низьких енергій від радіоактивних джерел за допомогою лабораторної установки і детекторів приладу СТЭП. Отримано добру відповідність між лабораторними вимірюваннями і результатами комп'ютерного моделювання.

ВВЕДЕНИЕ

До недавнього часу проблема прогнозування землетрясень була пов'язана з дослідженням деформації земної кори, зміни швидкості сейсмічних хвиль і інших геофізичних параметрів. Наукові лабораторії, розміщені на платформах космічних апаратів, швидко переміщуються в околотериторіальному просторі і дозволяють виявити за короткий проміжок часу багато очагов землетрясень в різних точках земної поверхні. Одним з можливих предвестників землетрясень є особливості в розподілі енергійних заряджених частинок, захоплених магнітним полем Землі. Предварительні експерименти, проведені на борту орбітальної станції «Мир» і ІСЗ «Метеор-3», показали, що спостерігаються аномалії поведінки захоплених радіаційними поясами частинок за 2.5—3 ч до початку активної фази землетрясень [1, 8]. Для підтвердження цих спостережень і пошуку більш визначених взаємозв'язків характеристик землетрясень з динамікою радіаційних поясів Землі необхо-

дима постановка додаткових супутникових експериментів.

В межах міжнародного космічного проекту «Попередження», направлено на пошук предвестників землетрясень і сейсмічної активності, Харківський національний університет розробляє супутниковий спектрометр-телескоп заряджених частинок високих енергій СТЭП. Він призначений для визначення питч-кутових і просторово-часових розподілів захоплених і висипаються частинок радіаційних поясів Землі. Прилад складається з блоку детекторів, установлюваного на зовнішній обшивці космічного апарата (КА), і блоку обробки цифрової інформації, розташованого в гермоотсієві КА. Блок детекторів (рис. 1) містить в собі два ідентичних позиційно-чутливих матричних детекторів (рис. 2) і два сцинтиляційних детекторів на основі кристалів CsI(Tl), прослідковуваних фотодиодами великої площі. Середнє кутове роздільне здатність в загальному полі зору телескопа $97^\circ \times 97^\circ$ становить 8° . Активні площі напівпровідникових детекторів — 20 см^2 , сцинтиляцій-

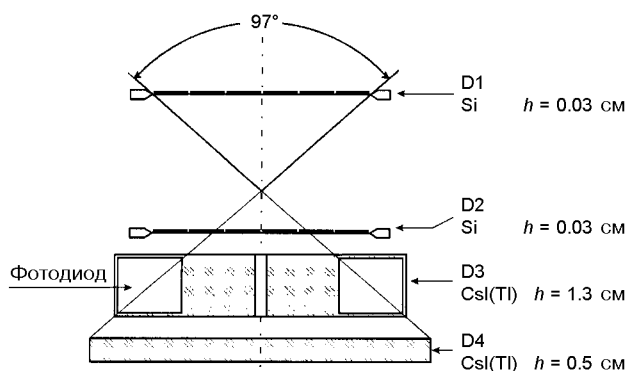


Рис. 1 Схема спектрометра-телескопа СТЭП. D1, D2 — кремниевые позиционно-чувствительные детекторы, D3, D4 — сцинтилляционные детекторы на основе кристаллов CsI(Tl)

ных кристаллических детекторов — 36 и 49 см². Геометрический фактор прибора является функцией энергии налетающих частиц и составляет 70—100 см²·стер.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для регистрации проникающих частиц применяют детекторы, принцип действия которых основан на торможении частиц в рабочем веществе детектора и последующем преобразовании энергии, потерянной ими при торможении, в электрические импульсы [2, 4, 6]. В процессе разработки спектрометров и детекторов заряженных частиц высокой энергии возникает необходимость предварительного компьютерного моделирования откликов этих детекторов на процессы прохождения через них первичных космических частиц. В зависимости от сорта налетающей частицы и ее энергии этот отклик в виде амплитуды электрического импульса будет различным. В свою очередь, амплитуда импульса непосредственно связана с величиной энергии, поглощенной в материале детектора при прохождении через него первичной частицы. Таким образом, зная величины поглощенных энергий и пробегов заряженных частиц, можно определить диапазон регистрируемых энергий для конкретной конфигурации системы детекторов.

Целью работы является разработка компьютерных программ с использованием пакета GEANT4 для расчетов поглощенных энергий, пробегов энергичных частиц и числа генерированных в сцинтилляторах оптических фотонов; определение физических характеристик спектрометра-телескопа СТЭП с помощью разработанных программ, а также про-

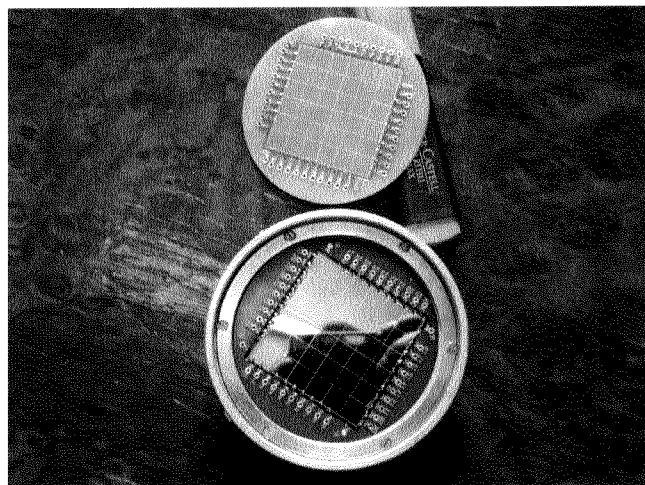


Рис. 2 Кремниевые матрицы, используемые в качестве детекторов D1 и D2 спектрометра-телескопа СТЭП

верка правильности расчетов с помощью лабораторных измерений. Допустимые погрешности при моделировании зависят от характеристик детекторов, входящих в состав прибора, а также от параметров аналоговой электроники спектрометра. Например, средний квадратичный шум $\sigma_{\text{Еш}}$ детектора, зависящий от конструктивно-технических факторов, даже для кремниевых детекторов хорошего качества принимают $\sigma_{\text{Еш}} \approx 5$ кэВ [2]. Для сцинтилляционных детекторов основными характеристиками являются световой выход и энергетическое разрешение. Предельная относительная погрешность измерения светового выхода сцинтилляционных детекторов составляет от 6.9 до 9.8 % [10]. Исходя из указанных эксплуатационных характеристик, допустимые статистические погрешности расчетов по методу Монте-Карло не должны превышать: для кремниевых матриц — 5 %, для сцинтилляторов — 7 % при моделировании прохождения каждого типа частиц. Средняя квадратичная ошибка метода Монте-Карло равна

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{N}} \times 100\%,$$

где N — число событий [4]. Поэтому при расчетах значений поглощенных в детекторах прибора энергий для каждого типа частиц выбиралось число N первичных частиц таким образом, чтобы статистическая ошибка не превышала допустимые погрешности. Например, для достижения точности регистрации 1 % за 1 ч регистрации достаточно не менее 10^4 частиц в час. На реальном приборе точность регистрации частиц зависит от интенсивности космических лучей.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ ПРОГРАММ GEANT4 ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОХОЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ ДЕТЕКТОРЫ ПРИБОРА

Есть несколько методов моделирования ядерно-физических процессов взаимодействия заряженных частиц с веществом: аналитический и полуэмпирический, численное решение уравнений транспорта частиц, вероятностный метод. С использованием вероятностного метода, или метода Монте-Карло, разработаны различные программные средства [14, 15], например ITS, PENELOPE, EGS, ETRAN, GEANT. Каждый пакет разработчика имеет свою область применения, а также свои ограничения. Одним из наиболее развитых средств является библиотека программ GEANT4 — мощная библиотека для разработчика прикладных программ, созданная в Европейской организации по ядерным исследованиям (CERN). GEANT4 обеспечивает полную систему инструментальных средств для моделирования процессов взаимодействия излучения с веществом: создание геометрии детекторов и прибора в целом; описание частиц и физических процессов; транспорт и отслеживание частиц; отклик детектора; моделирование события; управление треком и т. д. GEANT4 применим в области физики высоких энергий, космической физики, медицинской физики и т. п. [11].

Выбор классов модели в соответствии со спецификой разрабатываемого прибора. Для моделирования ядерно-физических процессов прохождения электронов, протонов и α -частиц через прибор СТЭП разработан комплекс компьютерных программ на языке C++ с использованием пакета GEANT4.2. В качестве входных параметров при моделировании были выбраны следующие диапазоны энергий частиц, населяющих радиационные пояса Земли: для электронов — 0.1—30 МэВ, для протонов и α -частиц — 3—500 МэВ. Пороговые энергии E_{cut} образования вторичных δ -электронов, а также энергии первичных частиц, ниже которых частицы считаются остановленными, были выбраны с использованием метода SetCuts [12, 13]. Исходя из установленных при моделировании пробегов: 1 нм для электронов и α -частиц и 1 мкм для протонов, были выбраны пороговые энергии $E_{\text{cut}} = 990$ эВ для всех материалов, входящих в состав прибора, и для всех первичных или вторичных частиц.

При моделировании прохождения электронов учитывались ионизационные, радиационные потери энергии и процессы многократного кулоновского рассеяния. При прохождении протонов и α -частиц учитывались ионизационные потери энергии и неупругое рассеяние, т.е. основные процессы, влияю-

щие на энерговыделение, а значит, на амплитуду импульсов в детекторах телескопа. Ионизационные потери энергии частиц моделировались с поправкой на эффект плотности [12]. В процессах многократного рассеяния электронов использовались модели углового распределения Гоудсмита—Саундерсона, пространственного распределения Льюиса. Для моделирования движения вторичных частиц использовались соответствующие классы библиотеки CLHEP, входящей в состав GEANT4.

При движении α -частиц и протонов через материалы детекторов спутникового телескопа СТЭП могут происходить неупругие столкновения с ядрами атомов, приводящие к образованию квантов тормозного излучения, возбуждению ядерных уровней или ядерным реакциям. Относительное число неупругих столкновений с ядрами увеличивается с увеличением энергии налетающих частиц [9]. Несмотря на то, что роль неупругих столкновений с ядрами в ослаблении пучка заряженных протонов или α -частиц достаточно мала по сравнению с ролью ионизационных процессов в диапазоне энергий частиц, регистрируемых спутниковым телескопом СТЭП, программы моделирования прохождения протонов и α -частиц через телескоп учитывают процесс неупругих столкновений с ядрами атомов вещества.

С целью проверки достоверности ожидаемых результатов было проведено тестирование разработанных программ с помощью табличных данных пробегов частиц. Тестирование производилось для нескольких фиксированных значений энергий частиц в следующих диапазонах: для электронов — 0.01—30 МэВ, для протонов — 3—150 МэВ, для α -частиц — 10—500 МэВ. В качестве исследуемых

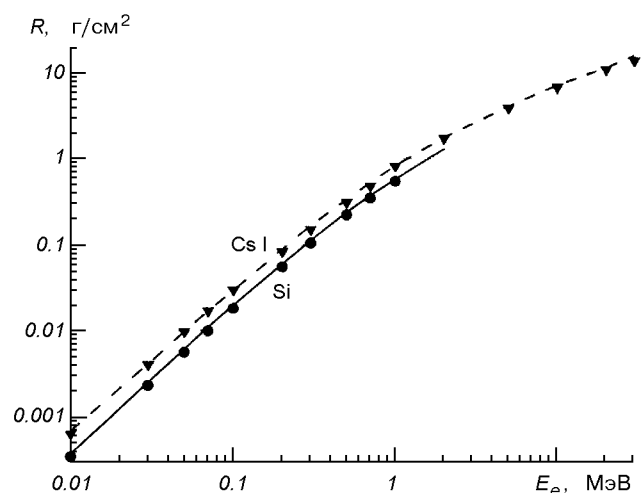


Рис. 3. Значения пробегов электронов в зависимости от их энергии: линии — модельные, точки и треугольники — экспериментальные данные для Si и CsI соответственно

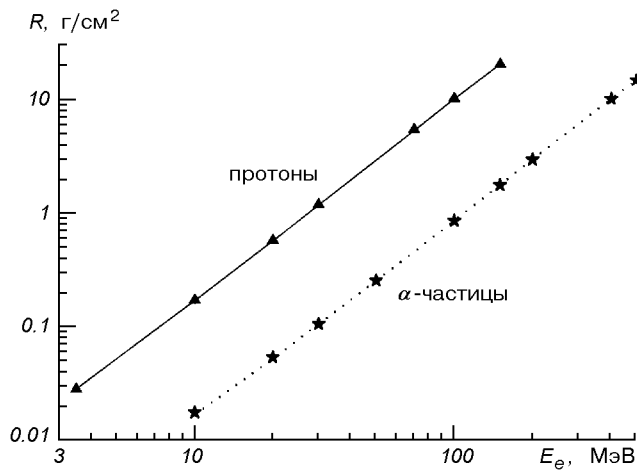


Рис. 4. Значения пробегов протонов и α -частиц в алюминии в зависимости от их энергий: линии — модельные, треугольники и звездочки — экспериментальные данные для протонов соответственно

материалов были выбраны материалы детекторов телескопа. Результаты расчетов пробегов частиц, а также соответствующие им табличные данные для электронов [3], протонов и α -частиц [7] приведены на рис. 3, 4. Видно хорошее соответствие результатов моделирования тестовых примеров опубликованным табличным данным во всем диапазоне рассматриваемых входных энергий.

Моделирование поглощенных энергий и пробегов частиц в детекторах прибора. Расчет значений поглощенных энергий проводился для конфигурации детекторов телескопа, показанной на рис. 1. В данной работе моделировалось прохождение частиц, первоначально направленных по нормали к поверхности детектора D1 и проходящих через один из его 36 элементов, расположенный в центральной части матрицы. Площадь элемента матрицы $0.73 \times 0.73 \text{ мм}^2$. Детекторы D3 и D4 представляют собой цилиндры диаметрами 6 см и 7 см, и высотой 1.3 см и 0.5 см соответственно. Поскольку электроны низких энергий испытывают значительное влияние процессов многократного кулоновского рассеяния, наблюдаются заметные флуктуации потерь энергии. Чтобы статистическая погрешность метода Монте-Карло была небольшой, число первичных электронов было выбрано $N = 500000$ для каждого из значений входящих энергий в процессе определения наиболее вероятных поглощенных энергий в каждом из детекторов.

При этом даже для электронов низких энергий, для которых наиболее существенны процессы многократного рассеяния, получена статистическая погрешность $\delta < 3 \%$. На рис. 5 представлены графики зависимости наиболее вероятных поглощенных

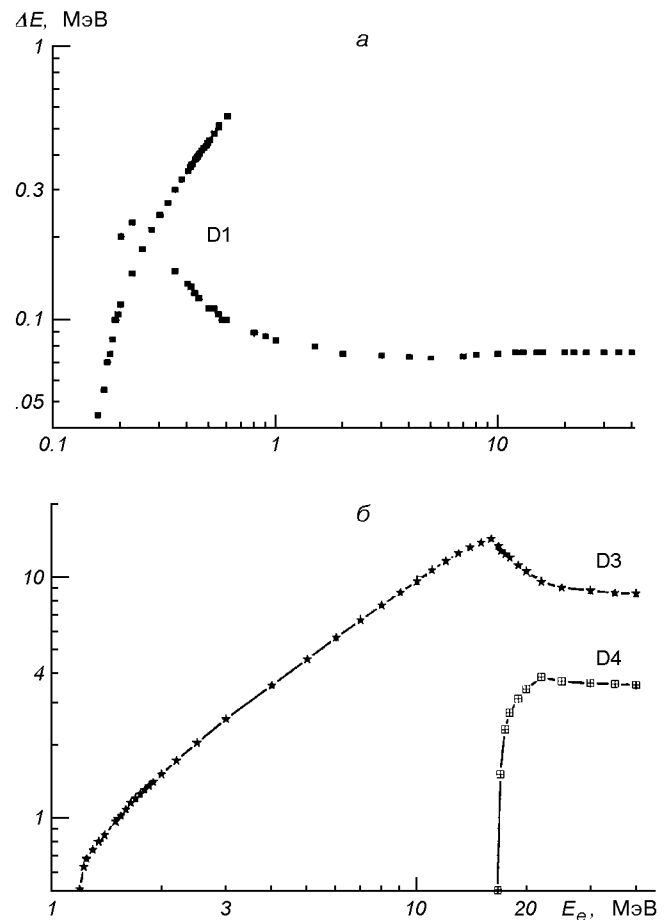


Рис. 5. Зависимость наиболее вероятных поглощенных энергий ΔE от энергии E_e первичных электронов в детекторах D1, D3 и D4

энергий ΔE от энергии E налетающих электронов при прохождении через детекторы телескопической системы. Отмечены также значения поглощенной энергии электронов для случаев полной остановки первичных электронов малой энергии, испытавших рассеяние на ядрах вещества детекторов D1 и D2, поэтому в диапазонах 0.2—0.6 МэВ для D1 и 0.55—0.6 МэВ для D2 есть два значения поглощенной энергии для одного значения энергии налетающего электрона.

При моделировании взаимодействия протонов и α -частиц с веществами детекторов спектрометра достаточно вычислить средние значения поглощенных энергий и пробегов, так как для протонов и α -частиц вероятные значения поглощенных энергий равны средним значениям [7, 9]. Исходя из этого, для моделирования прохождения протонов и α -частиц было выбрано число частиц $N = 5000$. Для каждой входной энергии частиц E_1 вычислялось

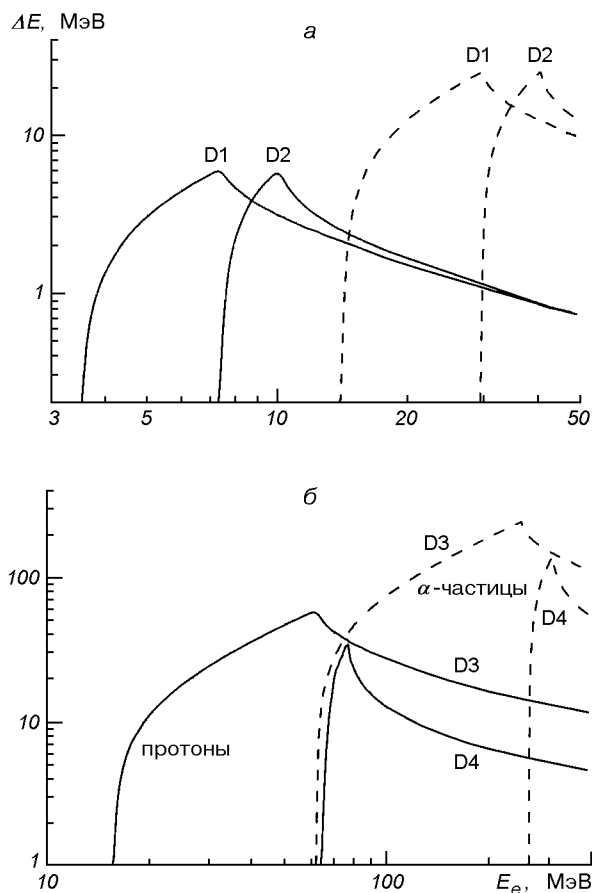


Рис. 6. Зависимость поглощенной энергии ΔE от энергии первичных протонов (сплошные линии) и α -частиц (штриховые) в детекторах D1—D4

среднее значение поглощенной энергии ΔE_i , среднее квадратичное отклонение σ_{E_i} , а также среднее значение пробега R_i и среднее квадратичное отклонение σ_{R_i} . На рис. 6 представлены результаты моделирования поглощенных энергий для активного слоя детекторов D1—D4. Погрешности расчетов поглощенных энергий ε_{E_i} и пробегов частиц ε_{R_i} вычислялись по формулам $\varepsilon_{E_i} = (\sigma_{E_i}/\Delta E_i) \times 100\%$ и $\varepsilon_{R_i} = (\sigma_{R_i}/R_i) \times 100\%$ соответственно. В указанных диапазонах энергий даже для сравнительно небольшого числа разыгрываемых событий ($N = 5000$) погрешности составляют: $\varepsilon_E, \varepsilon_R < 4\%$ для кремниевых детекторов при моделировании прохождения протонов и α -частиц; $\varepsilon_E, \varepsilon_R < 4\%$ для сцинтилляторов при моделировании α -частиц и $\varepsilon_E, \varepsilon_R < 6\%$ при моделировании прохождения протонов.

Из анализа результатов проведенных расчетов можно сделать вывод, что спектрометр-телескоп

СТЭП позволит регистрировать протоны в диапазоне энергий 3.5—76 МэВ, электроны — 0.2—23 МэВ, α -частицы — 13.7—307 МэВ. Протоны с энергией до 3.5 МэВ, электроны с энергией до 0.2 МэВ и α -частицы с энергией до 13.7 МэВ задерживаются тонким слоем защитной алюминиевой фольги, находящейся перед детектором D1. Протоны в диапазонах энергий 9.9—14.5 МэВ, 61—64 МэВ, электроны в диапазонах энергий 0.55—1.2 МэВ, 16—16.8 МэВ, а также α -частицы в диапазонах 40.5—62 МэВ, 248.5—262 МэВ задерживаются упаковочным материалом сцинтилляционных детекторов D3 и D4.

В таблице представлены диапазоны энергий частиц, которые регистрируются детекторами спектрометра, полученные в результате анализа данных моделирования.

Диапазоны энергий частиц, которые регистрируются детекторами прибора

Тип частиц	Диапазоны энергий частиц, МэВ			
	D1	D2	D3	D4
электроны	0.2—0.45	0.45—0.55	1.2—16	16.8—23
протоны	3.5—7.7	7.7—9.9	14.5—61	64—76
α -частицы	13.7—26	26—40.5	62—248.5	262—307

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ С ЛАБОРАТОРНЫМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ

С целью проверки правильности результатов моделирования были проведены измерения спектров электронов низких энергий от β -радиоактивного источника ^{207}Bi . Измерения проводились при помощи лабораторного стенда, включающего в себя вакуумную камеру, спектрометрические усилители-формирователи, 12-разрядный АЦП и персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением. В качестве детектора использовался один из элементов позиционно-чувствительной кремниевой матрицы. Общее энергетическое разрешение системы — не хуже 50 кэВ при энергии первичных электронов 554 кэВ. Для сравнения было проведено моделирование наиболее вероятных потерь энергии электронов при прохождении их через кремниевый детектор толщиной $h = 0.3$ мм, находящийся в вакууме. Число разыгрываемых событий $N = 50000$, диапазон энергий налетающих электронов — 0.04—5 МэВ.

Моделирование показало, что электроны с энергией до 275 кэВ полностью поглощаются детекто-

ром, а в диапазоне энергий электронов от 300 до 625 кэВ необходимо учитывать два значения поглощенных энергий ΔE при одном значении входной энергии электронов. Например, при анализе значений потерь энергии электронов с энергией 600 кэВ можно заметить два пика — наиболее вероятное значение 111 кэВ и пик полного поглощения 600 кэВ, возникший вследствие кулоновского рассеяния в кремнии. При этом число событий для пика $\Delta E = 600$ кэВ составляет всего лишь 5 % от полного числа событий под кривой распределений ΔE с наиболее вероятным $\Delta E_v = 111$ кэВ. Средняя квадратичная погрешность метода Монте-Карло, вычисленная по формуле (1), составляет $\delta = 0.023$ при $N_1 = 1894$. Таким образом, в расчетах необходимо учитывать частицы, остановившиеся в детекторе.

На графике зависимости поглощенной энергии от энергии налетающих электронов (рис. 7) в диапазоне входных энергий 650—950 кэВ мелкими точками отмечены значения поглощенной энергии для случаев полной остановки электронов в детекторе, а крестиками — экспериментальные данные измерений спектров β -частиц с энергиями 75, 482, 554 и 977 кэВ от радиоактивного источника ^{207}Bi . Видно, что амплитуды сигналов, измеренные с помощью лабораторного стенда, хорошо соответствуют рассчитанным наиболее вероятным значениям потерянных энергий.

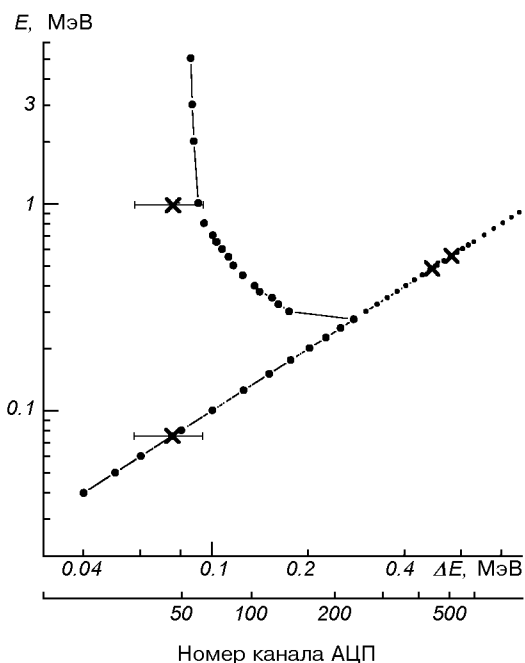


Рис. 7. Зависимость наиболее вероятных поглощенных энергий ΔE в кремнии толщиной $h = 0.3$ мм от энергии E налетающих электронов: крестики — результаты измерений, точки — расчет

Разработанные компьютерные программы были адаптированы не только к расчету поглощенных энергий и пробегов частиц в любых материалах и веществах, но и к расчету числа оптических фотонов, генерированных в сцинтилляционных детекторах. Таким образом, появилась возможность моделирования амплитуды световой вспышки в виде полного числа оптических фотонов в сцинтилляторах на основе кристаллов CsI(Tl). Используя лабораторную установку, описанную выше, мы получили энергетические спектры от γ -квантов радиоактивных источников ^{22}Na , ^{134}Cs , ^{60}Co , ^{152}Eu , ^{137}Cs , регистрируя световые вспышки с помощью сцинтилляционного детектора D3 и фотодиода большой площади спектрометра-телескопа СТЭП. Полученные значения каналов АЦП, соответствующие максимумам в распределениях спектров, отображены на рис. 8. Показана также расчетная кривая числа оптических фотонов, генерированных в детекторе при прохождении одного γ -кванта. Заметно хорошее совпадение результатов моделирования с экспериментальными значениями.

Таким образом, в области низких энергий электронов и γ -квантов результаты моделирования с помощью метода Монте-Карло совпали с экспериментальными данными измерений спектров радиоактивных источников полупроводниковыми и сцинтилляционными детекторами. Зная соответствие уровней поглощенных энергий и числа оптических фотонов номерам каналов АЦП (а значит, ампли-

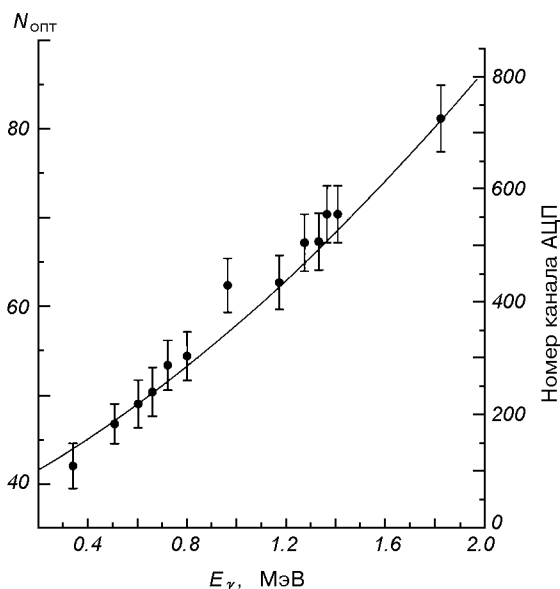


Рис. 8. Число $N_{\text{опт}}$ оптических фотонов, приходящееся на один первичный γ -квант, в сцинтилляционном детекторе D3 в зависимости от энергии γ -квантов: сплошная линия — расчет, точки — результаты измерений

туда электрических импульсов), можно рассчитать эти амплитуды на выходах усилителей-формирователей импульсов при больших энергиях первичных космических частиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате моделирования методом Монте-Карло прохождения космических электронов, протонов и альфа-частиц через спутниковый спектрометр-телескоп СТЭП с помощью разработанных компьютерных программ и пакета GEANT4 был определен диапазон энергий частиц, регистрируемых прибором. Выяснилось, что разрабатываемый прибор позволит регистрировать потоки и направления прихода в каждый момент времени электронов — в диапазоне 0.2—23 МэВ, протонов — в диапазоне 3.5—76 МэВ и α -частиц — в диапазоне энергий 13.7—307 МэВ. Наличие упаковочного и светоотражающего материалов сцинтилляционных детекторов не дает возможности регистрировать электроны в диапазонах энергий 0.55—1.2 МэВ и 16—16.8 МэВ, протоны — в диапазоне 9.9—14.5 и 61—64 МэВ, α -частицы — в диапазоне 40.5—62 МэВ, 248.5—262 МэВ. Эти диапазоны не являются столь широкими, чтобы можно было говорить о потере значительной части научной информации.

Правильность учета физических процессов, происходящих в детекторах, их геометрии и параметров материалов, подтверждена сравнением рассчитанных значений с результатами лабораторного тестирования для электронов и γ -квантов низких энергий от стандартных радиоактивных источников. Достоверность разработанных программ при высоких энергиях может быть проверена только после калибровки прибора СТЭП на ускорителе заряженных частиц.

Работа поддержана Украинским научно-технологическим центром (Грант УНТЦ № 1578).

1. Алешина М. Е., Воронов С. А., Гальпер А. М. и др. Высыпания высокоэнергичных заряженных частиц из радиационного пояса Земли и сейсмическая активность // Изв. РАН. Сер. Физ.—1993.—57, № 7.—С. 97—99.
2. Горн Л. С., Хазанов Б. И. Спектрометрия ионизирующих излучений на космических аппаратах. — М.: Атомиздат, 1979.—245 с.
3. Доклад 37 МКРЕ. Тормозная способность электронов и позитронов. — М.: Энергоатомиздат, 1987.—327 с.
4. Дорман Л. И. Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей. — М.: Наука, 1975.—464 с.

5. Источники и действие ионизирующей радиации // Доклад НКДАР ООН по действию атомной радиации за 1977 г. Генеральной Ассамблее с приложениями: В трех томах. — Нью-Йорк, 1978.—Т. 1.
6. Калашникова В. И., Козодаев М. С. Детекторы элементарных частиц. — М.: Наука, 1966.—408 с.
7. Немец О. Ф., Гофман Ю. В. Справочник по ядерной физике. — Киев: Наук. думка, 1975.—416 с.
8. Пустоветов В. П., Малышев А. Б. Пространственно-временная корреляция землетрясений и вариаций потока высокоэнергичных частиц во внутреннем поясе // Космич. исследования.—1993.—31, вып. 5.—С. 84—89.
9. Стародубцев С. В. Полное собрание научных трудов. Т. 2. Ядерная физика. Кн. 2. Взаимодействие излучений с веществом. — Ташкент: ФАН, 1970.—379 с.
10. Цирлин Ю. А., Глобус М. Е., Сысоева Е. П. Оптимизация детектирования гамма-излучения сцинтилляционными кристаллами. — М.: Энергоатомиздат, 1991.—152 с.
11. Daly E., Evans H., Lei F., et al. Space Applications of the GEANT4 Simulation Toolkit // Proc. of Monte Carlo 2000, Intern. Conf. on Advanced Monte Carlo for Radiation Physics, Particle Transport Simulation and Applications. — Lisbon, Portugal, 2000.—P. 9.
12. GEANT4 Collaboration. GEANT4 User's Guide For Application Developers. Application Software Group. — CERN, Geneva, 2001.—294 p.
13. GEANT4 Collaboration. GEANT4 Physics Reference Manual. Application Software Group. — CERN, Geneva, Switzerland, 2002.—316 p.
14. Halbleib I. A., Melhorn, T. A. // ITS: The Integrated TIGER Series of Coupled Electron/Photon Monte-Carlo Transport Codes. Sandia Rep. SAND84-0073. Sandia National Laboratories, Albuquerque. — New Mexico, 1984.
15. Salvat F., Fernandez-Varea J. M., Acosta E., Sempau J. // PENELOPE — A code system for Monte Carlo simulation of electron and photon transport // Workshop Proc. Issyres-Moulineaux, France, 5—7 November 2001. OECD/NEA Data Bank.

THE COMPUTER SIMULATION OF DEPOSITED ENERGIES AND STOPPING RANGES OF PARTICLES IN THE STEP SPECTROMETER OF THE WARNING SPACE PROJECT

O. V. Dudnyk, T. V. Malykhina

The software for simulating the processes of energetic particle passage through various materials is developed. We present the results of the Monte Carlo simulation of the processes of electron, proton, and α -particle passage through the detectors of the STEP satellite spectrometer of the Warning space mission with the use of the GEANT4.2 code. For each of the detectors, deposited energies, stopping ranges, as well as number of optical photons of charge particles and γ -quanta were calculated. The simulation shows that the device will allow one to detect fluxes and energy spectra of electrons in the range of 0.2—23 MeV, protons in the range of 3.5—76 MeV, and α -particles in the energy range of 13.7—307 MeV. We compared simulated results with the measurements of spectra of low energy electron and γ -quanta from radioactive sources using the laboratory setup and STEP device detectors. The laboratory measurements and of computer simulation results are found to be in rather good agreement.