

Рисунок 2 – Шаблон процедуры отрисовки фигуры с наложением текстур.

Результаты и их обсуждение. Данный модуль демонстрирует следующие процессы и возможности:

- Инициализацию библиотеки OpenGL;
- Отображение простейших графических примитивов (фигур);
- Загрузку и наложение текстур;
- Работы с цветами;
- Масштабирование изображений;
- Пространственное преобразование изображений.

Данный модуль предоставляет пользователю набор простейших шаблонов методов, позволяющих пользователю за короткий промежуток времени усвоить основы работы с библиотекой OpenGL.

Заключение. Результатом данной работы стал программный модуль, позволяющий ознакомиться с основными возможностями библиотеки OpenGL, а также с их реализацией в среде программирования Delphi. Программный модуль может быть применён преподавателями средних специальных учебных заведений на занятиях по курсовому проектированию или факультативных занятиях по программированию в среде Delphi.

1. Михаил Краснов: OpenGL графика в проектах Delphi / Краснов. – М. – BHV, 2004.
2. Delphi. Программирование на языке высокого уровня: Учебник для вузов / В. В. Фаронов. – СПб.: Питер, 2004. – 640 с.: ил.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ПОЗИТРОННОЙ ПАРЫ ФОТОНОМ

Куцолан Д.В.,

студент 4 курса ГГУ имени Ф. Скорины, г. Гомель, Республика Беларусь
 Научный руководитель – Дерюжкова О.М., канд. физ.-мат. наук, доцент

Для определения характера защиты от γ -излучения, которое обладает наибольшей проникающей способностью в сравнении с другими видами ионизирующих излучений, необходимо знать, какие процессы происходят при взаимодействии γ -квантов (фотонов) с веществом. Основными механизмами потери энергии фотонов при прохождении среды являются: рождение электронно-позитронных пар, комптоновское рассеяние, фотоэффект.

Цель работы – исследовать поведение фотонов в веществе.

Материал и методы. В качестве материала выбран механизм рождения электронно-позитронных пар. Воспользуемся математическим моделированием как методом анализа характеристик данного процесса, а затем в системе *Wolfram Mathematica* получим зависимость сечения образования пары от энергии фотона для нескольких различных веществ.

Результаты и их обсуждение. Явление, при котором γ -квант превращается в две частицы, а именно в электрон e^- и позитрон e^+ (рисунок 1), называют процессом рождения электронно-позитронной пары. Вероятность протекания этого процесса увеличивается при росте энергии γ -квантов. В связи с тем, что электрон является отрицательно заряженной частицей, а позитрон – положительно заряженной частицей, то система электрон-позитрон электрически нейтральна. Позитрон, аннигилирует в окружении электронов вещества в два γ -кванта, в редких случаях, в три.

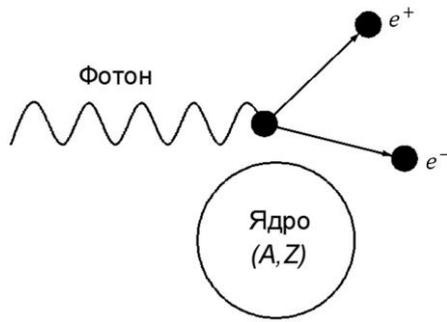


Рисунок 1 – Иллюстрация рождения электронно-позитронной пары

Стоит отметить, что рождение электронно-позитронной пары может возникать при соударении двух электронов $E_e \geq 7m_e c^2$ и под действием двух фотонов, у которых суммарная энергия $E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2} > 2m_e c^2$ [1]. Процесс преобразования фотона в электронно-позитронную пару не может происходить в вакууме, это следует из законов сохранения энергии и импульса, т.е., чтобы распределение энергии и импульса фотона соответствовало законам сохранения, в процессе образования электронно-позитронной пары необходимо участие третьей частицы. Это может быть как атомное ядра, так и электрон, но чаще всего этот процесс происходит в кулоновском поле ядра.

Образование пар на ядрах происходит тогда, когда энергия фотона $E_\gamma \geq 2m_e c^2 = 1,02$ МэВ. А рождение пар на электронах возникает тогда, когда энергия фотона $E_\gamma \geq 4m_e c^2 = 2,04$ МэВ.

На вероятность рождения пар в поле ядра значительно влияет расстояние от ядра, на котором происходит этот процесс. Если данное расстояние велико, то ядра экранируются атомными электронами, если же мало, то экранированием ядра можно пренебречь.

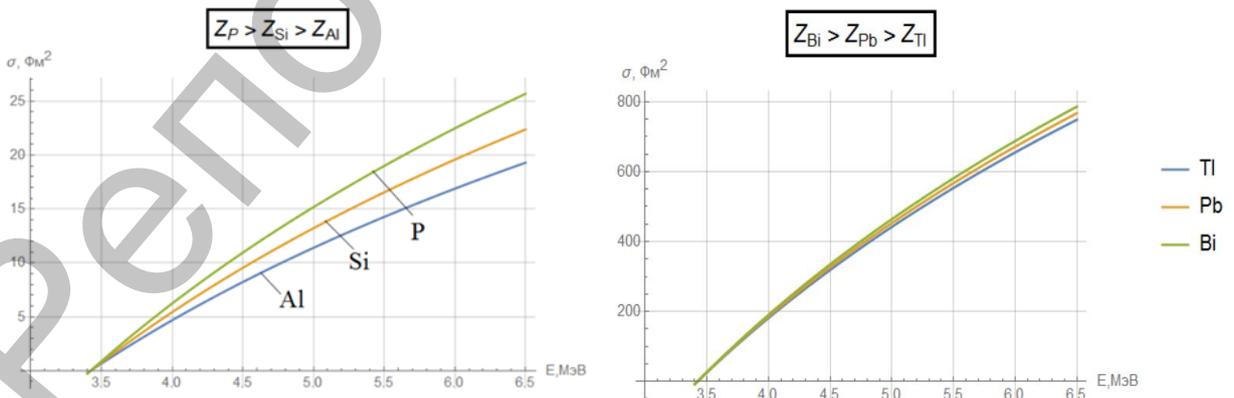
Таким образом, в области малых энергий без учета экранирования поля ядра сечение образование пар записывается в виде:

$$\sigma_{\text{пар}} = \frac{Z^2 r_e^2}{137} \left(\frac{28}{9} \ln \frac{2E_\gamma}{m_e c^2} - \frac{218}{27} \right) \text{ при } m_e c^2 < E_\gamma < 137 m_e c^2 Z^{-\frac{1}{3}}, \quad (1)$$

где Z – зарядовое число атома; $r_e = \frac{e^2}{m_e c^2} = 2,82 \cdot 10^{-13}$ см – классический радиус электрона; $E_\gamma = \hbar\omega$ – энергия фотона; $m_e c^2$ – энергия покоя электрона.

Согласно выражению (1), сечение растет с энергией γ -кванта логарифмически, но с учетом экранирования заряда ядра при энергиях больше чем $E_{\text{кр}} = 137 m_e c^2 Z^{-\frac{1}{3}}$, сечение насыщается и перестает вообще зависеть от энергии фотона [2], тогда:

$$\sigma_{\text{пар}} = \frac{Z^2 r_e^2}{137} \left(\frac{28}{9} \ln \left(183 Z^{-\frac{1}{3}} \right) - \frac{2}{27} \right).$$



а) для легких ядер

б) для тяжелых ядер

Рисунок 2 – Сечение рождения электронно-позитронных пар

На основании формулы (1) с использованием возможностей системы *Wolfram Mathematica*, изобразим графически зависимость сечения рождения пары от энергии фотона в кулоновском поле легких ядер (алюминий *Al* ($Z=13$), кремний *Si* ($Z=14$), фосфор *P* ($Z=15$), рисунок 2, а)) и тяжелых ядер (таллий *Tl* ($Z=81$), свинец *Pb* ($Z=82$), висмут *Bi* ($Z=83$), рисунок 2, б)). При взаимодействии фотона с энергией от 3 до 6,5 МэВ с легкими ядрами вещества сечение образование пары растет медленно (рисунок 2, а)), для тяжелых ядер наблюдается резкий рост сечения, при этом оно принимает достаточно большие значения (рисунок 2, б)). Объясняется это тем, что сечение зависит и от заряда ядра, т.е. рождение электронно-позитронной пары на тяжелых ядрах идет более интенсивно, нежели на легких. Численные значения полученных сечений представлены в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Сечения рождения пар на легких и тяжелых ядрах

	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>
$E_\gamma = 3,5$ МэВ	0,66368 Фм ²	0,76971 Фм ²	0,88359 Фм ²
$E_\gamma = 4,5$ МэВ	8,22530 Фм ²	9,53940 Фм ²	10,95085 Фм ²
$E_\gamma = 5,5$ МэВ	14,26314 Фм ²	16,54187 Фм ²	18,98939 Фм ²
$E_\gamma = 6,5$ МэВ	19,28952 Фм ²	22,37127 Фм ²	25,68131 Фм ²
	<i>Tl</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>
$E_\gamma = 3,5$ МэВ	25,76571 Фм ²	26,40582 Фм ²	27,05379 Фм ²
$E_\gamma = 4,5$ МэВ	319,32679 Фм ²	327,26007 Фм ²	335,29069 Фм ²
$E_\gamma = 5,5$ МэВ	553,73078 Фм ²	567,48754 Фм ²	581,41310 Фм ²
$E_\gamma = 6,5$ МэВ	748,86712 Фм ²	767,47181 Фм ²	786,30477 Фм ²

Заключение. Таким образом, при увеличении энергии фотона и заряда ядра, сечение рождения пар растет, при этом, если энергия слишком мала, то образование пар может не наблюдаться. Образование пар является основным механизмом, отвечающим за поглощение γ -квантов в области больших энергий. Анализ данных рисунка 2, таблицы 1, а также свойств исследуемых вещества свидетельствует о том, что наилучшей защитой от γ -излучения из них является свинец.

1. Мухин, К.Н. Экспериментальная ядерная физика: Учеб. для вузов. В 2 кн. Кн. 1. Физика атомного ядра. Ч. I. Свойства нуклонов, ядер и радиоактивных излучений / К.Н. Мухин. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 376 с.
2. Батурицкий, М.А. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом: учеб. пособие / М.А. Батурицкий, И.Я. Дубовская. – Минск: РИВШ, 2010. – 220 с.

АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО ТРЕНАЖЕРА РЕШЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Маркова А.А.,

студентка 3 курса ВГУ имени П.М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь

Научный руководитель – Ермоченко С.А., канд. физ.-мат. наук

Неотъемлемой частью процесса обучения студентов является контроль уровня учебных достижений. В связи со сложностью задач и алгоритмов высшей математики процесс решения задач студентами и процесс проверки результатов преподавателями могут занимать большое количество времени. Актуальность создания программного тренажера обусловлена возможностью автоматизации этих процессов.

Для студентов тренажер предоставит более удобные средства решения задачи заданным методом без необходимости вручную записывать весь процесс решения и все вычисления. Для преподавателя та-