

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
на Магистерский курс по специальности А.А.  
**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

Научный руководитель Кафедра ядерной физики

спинтилляционных детекторов

УДК 535.232.65

Загороднюк

Алексей Александрович

**ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ОТКЛИКА  
СПИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ**

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Научный руководитель

к. т. н.

Кожемякин Валерий

Александрович

Рецензент

доцент, д. ф-м. н.

Чернявская Элина Александровна

Допущена к защите

«16» июля 2019 г.

Зав. кафедрой ядерной физики

канд. физ-мат. наук, доцент Тимошенко А. И.

Минск, 2019

## ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....	3
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ .....	4
АГУЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРАЦЫ .....	6
ABSTRACT .....	8
ВВЕДЕНИЕ .....	9
ГЛАВА 1 РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВЕТА В СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРАХ .....	12
1.1 Основные принципы .....	12
1.2 Генерация оптических фотонов и основные свойства сцинтилляторов .....	13
1.3 Распространение оптических фотонов в сцинтилляционном кристалле .....	16
1.4 Светосбор и эффективность детектирования фотоприемника .....	21
ГЛАВА 2 ОБЗОР МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ .....	23
2.1 Аналитические модели .....	23
2.2 Монте-Карло модели .....	26
ГЛАВА 3 ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ FLUKA .....	30
ГЛАВА 4 ОПТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО NaI(Tl) ДЕТЕКТОРА .....	37
4.1 Создание и верификация модели .....	37
4.2 Оптический отклик детектора .....	44
ГЛАВА 5 СОЕДИНЕНИЕ СЦИНТИЛЛЯТОРА С ФОТОПРИЕМНИКОМ .....	49
ГЛАВА 6 ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ФОТОПРИЕМНИКА НА ОПТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК .....	64
6.1 Оптический отклик системы на основе CsI(Tl) .....	64
6.2 Оптический отклик системы на основе ZnS(Ag) .....	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	80
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	83

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

Магистерская диссертация: 86 страниц, 48 рисунков, 12 таблиц, 41 источник.

Ключевые слова: сцинтиллятор, Монте-Карло моделирование, оптический световод, гамма излучение, нейтронное излучение, детектор, функция оптического отклика, Fluka.

Работа посвящена изучению оптических функций отклика сцинтилляционных детекторов с применением Монте-Карло моделирования.

Цель работы: изучение функций оптического отклика сцинтилляционных систем. Под оптической функцией отклика понимается интегральная величина, равная суммарному количеству оптических фотонов, пришедших на фотодетектор.

Объект исследования: сцинтилляционные детекторы с оптическими световодами как комплексная оптическая система, в которой рассматривается процесс генерации оптического излучения под действием ионизирующего излучения и его переноса.

Предмет исследования: изучение процесса распространения оптического сигнала в сцинтилляционном детекторе, изучение зависимости влияния геометрии и конструкционных материалов на оптическую функцию отклика.

Новизна исследования: новизна работы заключается в применении компьютерного Монте-Карло кода Fluka при исследовании процесса генерации оптического излучения под действием ионизирующего излучения и его распространения при моделировании сцинтилляционных детекторов с различной геометрией.

В главе 1 рассматривается процесс генерации и переноса оптического излучения в системе. Приведены основные характеристики наиболее широко используемых сцинтилляционных материалов. Рассматриваются фундаментальные ограничения процесса распространения и сбора оптических фотонов.

В главе 2 предоставляется обзор методов, используемых для моделирования процесса переноса оптического излучения и обзор практического применения одного из выбранных методов, а именно компьютерного Монте-Карло моделирования для решения нескольких поставленных задач.

В главе 3 описывается компьютерная программа Fluka, которая далее используется для построения ряда компьютерных моделей сцинтилляционных детекторов.

В главе 4 описывается моделирование стандартного сцинтиляционного детектора на основе NaI(Tl) с размерами 25 x 40 мм.

В главе 5 рассматривается наиболее оптимальный вариант соединения пластикового сцинтилятора с фотоприемником при помощи оптического световода. Изучается различная форма световода и ее влияние на функцию оптического отклика.

В главе 6 рассматривается возможность крепления фотоприемника на поверхности активного объема сцинтилятора на основе CsI(Tl) и выбор наиболее оптимального места расположения. Дополнительно рассматривается детектор тепловых нейтронов на основе ZnS(Ag) в структуру которого внедрены атомы  $^{6}\text{Li}$ .

## **ABSTRACT**

Master thesis: 86 pages, 48 figures, 12 tables, 41 sources.

Keywords: scintillator, Monte-Carlo simulation, detector, optical waveguide, gamma radioation, neutron radiation, optical response function, Fluka.

The work is devoted to study the optical response functions of scintillation detectors using computer Monte-Carlo simulation.

Objective: to study the functions of the optical response of scintillation systems. The optical response function is an integral value equal to the number of optical photons that reach the photodetector.

Object of study: scintillation detectors with optical waveguides as a complex optical system, in which the process of generation and transfer of optical radiation under the action of ionizing radiation is considered.

Subject of study: researching the process of propagation of an optical signal in a scintillation detector, the study of the influence of geometry and structural materials on the optical response function.

The novelty of the research: the novelty of the work is in the application of computer Monte-Carlo code Fluka in modeling of generation and propagation of optical radiation.

The first chapter briefly describes the process of generation and transfer of optical radiation in the system. The main characteristics of the most widely used scintillation materials are given. The fundamental limitations of the process of propagation of optical photons are considered.

The second chapter provides an overview of the methods used to simulate the transfer of light in the optical range and an overview of the practical application of one of the selected methods, namely computer Monte-Carlo simulation for solving several tasks.

The third chapter describes the Fluka computer program, which is further used to build a number of computer models of scintillation detectors.

Chapter four is devoted to modeling a classic cylindrical 25 x 40 mm detector based on an NaI (Tl).

Chapter five discusses the best way to connect a plastic scintillator with a photodetector using an optical waveguide. A different waveguide shape and its effect on the optical response function is studied.

Chapter six discusses the possibility of mounting a photodetector on the surface of the active volume of the scintillator based on CsI (Tl) and the choice of the most optimal location. Additionally, a thermal neutron detector based on ZnS (Ag) is considered in which  $^{6}\text{Li}$  atoms are embedded.