

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«МИФИ»

УДК 539.1

ОТЧЁТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ  
ЭЛЕКТРОНОВ В ДЕТЕКТОРАХ НА  
ОСНОВЕ СЖИЖЕННОГО АРГОНА

научный руководитель

к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ Е. А. Литвинович

консультант

\_\_\_\_\_ Г. Д. Долганов

студент

\_\_\_\_\_ С. В. Зинтереков

Москва 2023

# Содержание

Введение . . . . .	3
1 Детекторы . . . . .	4
1.1 Принцип работы . . . . .	4
1.2 формулы . . . . .	4
2 Garfield++ . . . . .	7
2.1 Общая информация . . . . .	7
2.2 Примеры вывода . . . . .	7
Заключение . . . . .	9
Список использованных источников . . . . .	10

## Введение

Разработка ионизационной камеры на жидком аргоне (LAr), пионерами которой стали Уиллис и Радека[1], стала важным достижением в области калориметрии высоких энергий, а за ней быстро последовала разработка камеры проекции времени LAr (TPC)[2]. В настоящее время существуют эксперименты, использующие двухфазные детекторы на основе сжиженного аргона для проведения измерений. Одним из таких экспериментов является DarkSide-50, который за время своей работы собрал большое количество полезной информации[3]. Также двухфазный детектор будет использоваться в готовящемся эксперименте DarkSide-20k[4]. Целью работы является создание модели движения электронов в детекторах на основе сжиженного аргона. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи(на этот семестр):

- изучить устройство работы детекторов;
- узнать формулы, которыми описывается движение электронов в веществе под действием электрического поля;
- установить один из дистрибутивов linux;
- установить и разобраться в том, как работать с набором инструментов Garfield++;

# 1 Детекторы

## 1.1 Принцип работы

Камера детектора заполнена жидким аргоном (LAr) с тонким слоем газообразного аргона (GAr) в верхней части. Ионизирующее излучение, попадая в жидкую фазу, передаёт энергию в виде возбуждения и ионизации. Девозбуждение возбуждённых атомов приводит к появлению быстро регистрируемого сцинтилляционного света ( $S_1$ ). Электроны ионизации под действием однородного электрического поля дрейфуют к поверхности жидкости. Дрейфующие электроны втягиваются в GAr и перемещаются по нему под действием более сильного поля, создавая электролюминесцентный свет, называемый  $S_2$  и измеряемый с задержкой. Сигнал  $S_2$  предоставляет трехмерную информацию о положении: продольное положение определяется временем дрейфа электронов, а поперечное положение - распределением света по фотоэлектронным умножителям (ФЭУ)[5].

## 1.2 формулы

Для построения модели нам нужно знать продольный ( $D_L$ ) и поперечный ( $D_T$ ) коэффициенты диффузии, которые могут быть найдены из следующих формул[6]

$$\frac{D_L}{D_T} = 1 + \frac{E}{\mu} \frac{\partial \mu}{\partial E} \quad (1.1)$$

$\mu$ - подвижность электронов

$$\mu = \frac{a_0 + a_1 E + a_2 E^{3/2} + a_3 E^{5/2}}{1 + (a_1/a_0)E + a_4 E^2 + a_5 E^3} \left( \frac{T}{T_0} \right)^{-3/2} \quad (1.2)$$

$T_0 = 89\text{K}$

$$\epsilon_L = \frac{b_0 + b_1 E + b_2 E^2}{1 + (b_1/b_0)E + b_3 E^2} \left( \frac{T}{T_1} \right) \quad (1.3)$$

$T_1 = 87\text{K}$

$$D_L = \frac{\mu \epsilon_L}{e} \quad (1.4)$$

## S2 light pattern → xy position

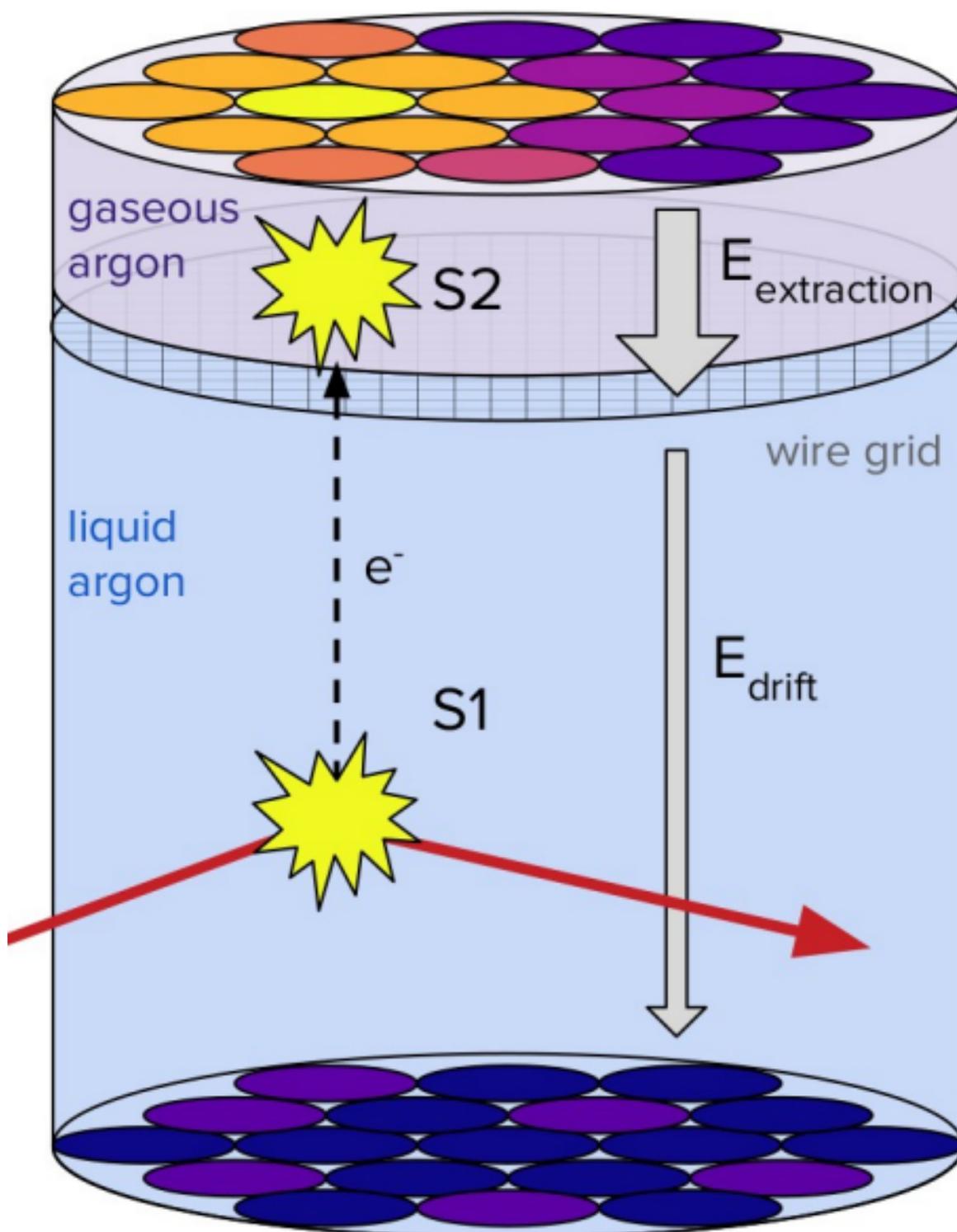


Рисунок 1.1 — Схема камеры проекции времени

Таблица 1.1 — Параметры функций в Eq

$a_0$	=	551.6
$a_1$	=	7953.7
$a_2$	=	4440.43
$a_3$	=	4.29
$a_4$	=	43.63
$a_5$	=	0.2053
$b_0$	=	0.0075
$b_1$	=	742.9
$b_2$	=	3269.6
$b_3$	=	31678.2

## 2 Garfield++

### 2.1 Общая информация

Garfield++ - это инструментарий для детального моделирования детекторов частиц, основанных на измерении ионизации в газах или полупроводниках. В настоящее время основной областью применения являются газовые детекторы на основе микрочастиц.

Garfield++ имеет общий функционал с Garfield. Основными отличиями являются более современная трактовка переноса электронов в газах и пользовательский интерфейс, заимствованный из ROOT.

### 2.2 Примеры вывода

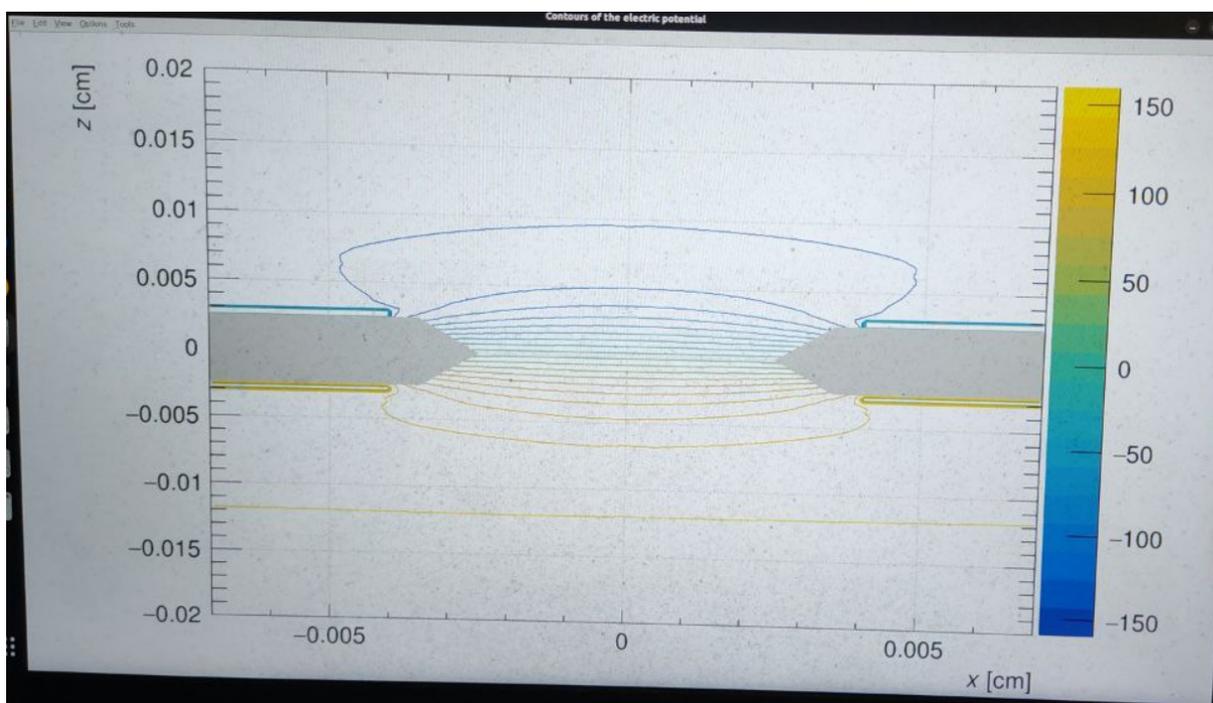


Рисунок 2.1 — Поле

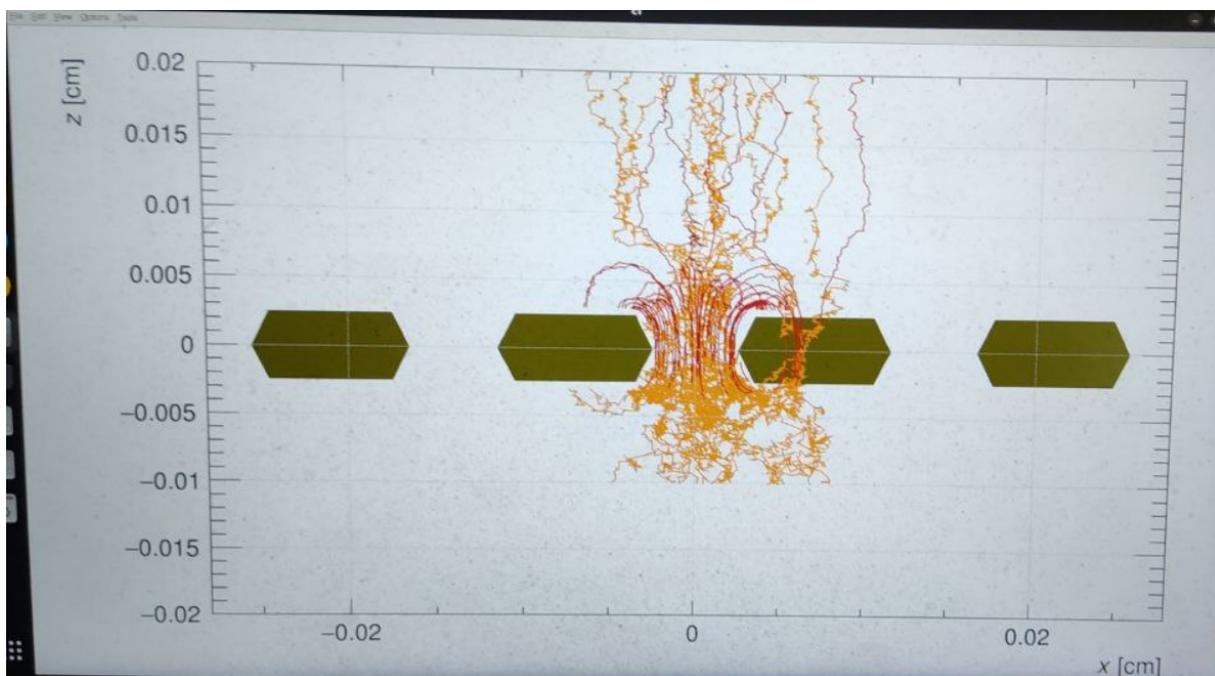


Рисунок 2.2 — Траектории

## Заключение

В ходе проделанной работы были изучены основные принципы работы двухфазных детекторов на основе сжиженного аргона, а также некоторые формулы, которые понадобятся при создании модели. Помимо этого была произведена установка и настройка пакета инструментов Garfield++.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Willis, W.J. Liquid-argon ionization chambers as total-absorption detectors / W.J. Willis, V. Radeka // *Nuclear Instruments and Methods*. — 1974. — Vol. 120, no. 2. — Pp. 221–236. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0029554X74900391>.
2. Rubbia, Carlo. Tech. Rep.: / Carlo Rubbia. — Geneva: CERN, 1977. <https://cds.cern.ch/record/117852>.
3. First results from the DarkSide-50 dark matter experiment at Laboratori Nazionali del Gran Sasso / P. Agnes, T. Alexander, A. Alton et al. // *Physics Letters B*. — 2015. — Vol. 743. — Pp. 456–466. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0370269315001756>.
4. DarkSide-20k: A 20 tonne two-phase LAr TPC for direct dark matter detection at LNGS / Craig E Aalseth, F Acerbi, P Agnes et al. // *The European Physical Journal Plus*. — 2018. — Vol. 133. — Pp. 1–129.
5. Electroluminescence pulse shape and electron diffusion in liquid argon measured in a dual-phase TPC / P. Agnes, I.F. M. Albuquerque, T. Alexander et al. // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. — 2018. — Vol. 904. — Pp. 23–34. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900218308155>.
6. Measurement of longitudinal electron diffusion in liquid argon / Yichen Li, Thomas Tsang, Craig Thorn et al. // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. — 2016. — Vol. 816. — Pp. 160–170. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900216001443>.