

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет
МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)

УДК 53-072

ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
Изучение библиотеки программ DEGRAD и основ языка
FORTRAN

Научный руководитель
к.ф.-м.н., доц.

_____ С. Ю. Смирнов

Выполнил

_____ Г. И. Воробьев

Москва 2019

Содержание

Содержание	1
Введение	2
Область использования библиотеки программ DEGRAD .	2
ДПИ	2
Принцип работы и найденные ошибки	4
Системное окружение и вспомогательные программы, для работы с библиотекой DEGRAD	4
Принцип работы программы	4
Найденные ошибки	7
Заключение	8

Введение

Область использования библиотеки программ DEGRAD

Библиотека программ DEGRAD осуществляет моделирование первичного взаимодействия гамма-кванта с газом, генерацию последующего фотоэлектронного каскада в газе и трассировку каждого фотоэлектрона до точки его термализации. В частности, это помогает нам создавать прототипы газовых детекторов, поскольку, по сути, эта программа осуществляет моделирование процессов, которые мы собираемся фиксировать этим детектором. Например, для планирующегося на Большом адронном коллайдере эксперимента SAS (Small Angle Spectrometer) [1] на кафедре №40 Национального Исследовательского Ядерного Университета «МИФИ» разрабатывается детектор переходного излучения (ДПИ). На данный момент на основе библиотеки DEGRAD была создана программа моделирования фотоэлектронных каскадов в рабочем газе ДПИ с целью изучения в дальнейшем эффектов накопления пространственного заряда в газе [2]. Однако в процессе написания этой работы была найдена ошибка при запуске новых версий Библиотеки программ DEGRAD. При тех же входных данных, что и на версии v3.4, программа не запускалась на версиях старше. В данной работе исследуются именно эта проблема.

ДПИ

ДПИ - один из основных детекторов эксперимента SAS. Его задачей будет идентификация и разделение протонов, пионов и каонов в области энергий до 6 ТэВ, т.е. в энергетическом диапазоне, в котором подобные детекторы еще не работали. Для конструирования данного детектора с наилучшими параметрами необходимо достаточно точно понимать все процессы и особенности переходного излучения (ПИ). Для достижения данной задачи, существует метод Монте-Карло моделирования, при котором необходимо учитывать максимально кол-во физических процессов, для более точных результатов. В отчёте сотрудников кафедры №40 [3] подробно опи-

саны все процессы, учитываемые при моделировании. В результате была написана программа для моделирования детекторов на основе тонкостенных пропорциональных камер (ТПК). По данным полученным на пучках ускорителя в ЦЕРН с прототипами ДПИ было проведено сравнение с предсказаниями ТПК. При рассмотрении спектров зарегистрированных энергетических потерь, усредненных по всем слоям ТПК, было обнаружено отклонение от полученных экспериментальных данных. На сопоставленных спектрах заметно превышение экспериментальных данных над модельными в области энергий от 5 до 14 кэВ (Рисунок 1), что может быть связано с неучтенными в моделировании эффектами накопления пространственного заряда в рабочем газе детектора. В связи с этим и была поставлена задача детального моделирования процессов взаимодействия рентгеновских квантов в газе с образованием фотоэлектронного каскада с помощью библиотеки программ DEGRAD.

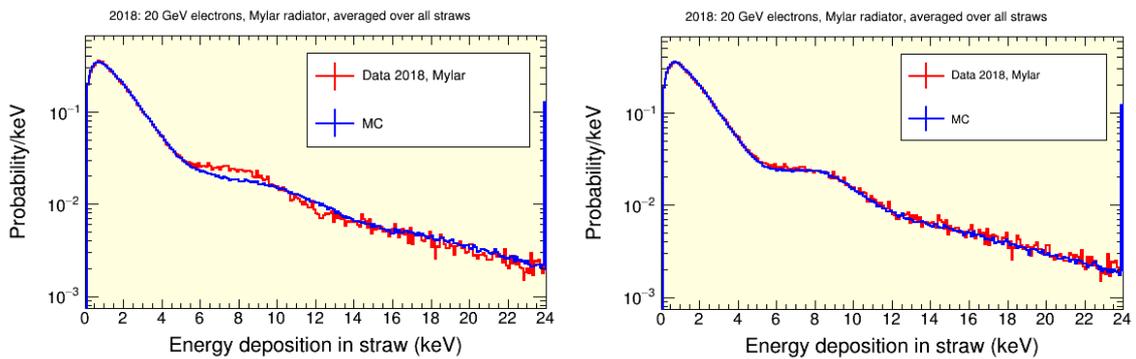
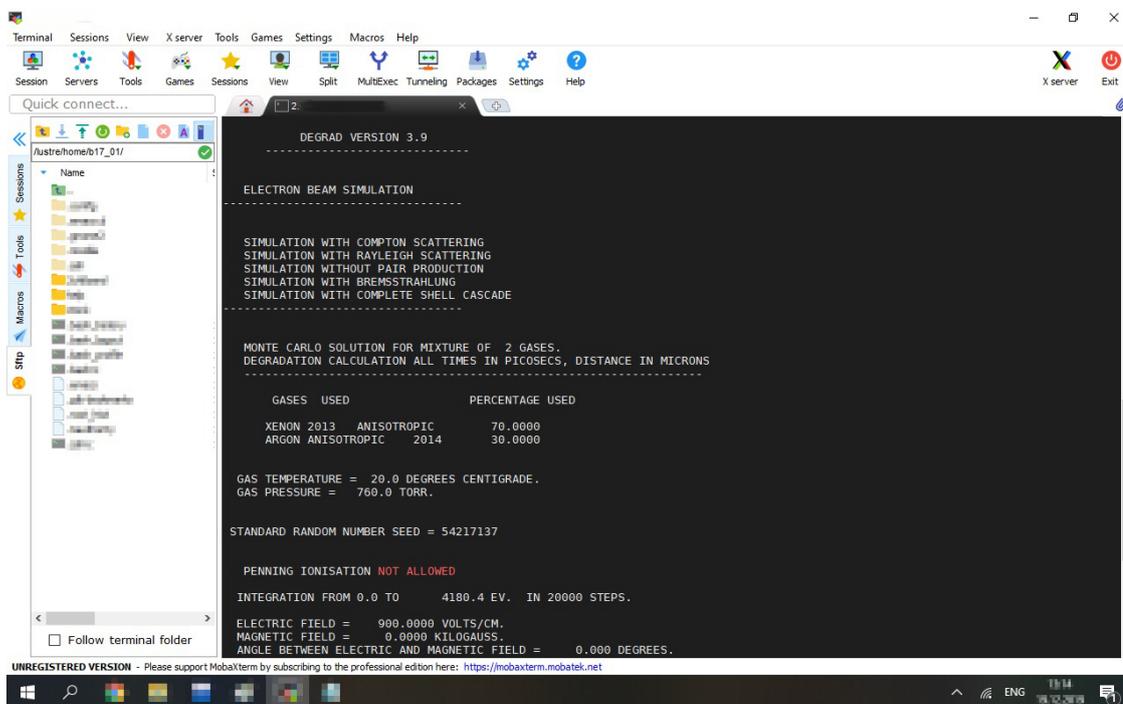


Рисунок 1 – Спектры зарегистрированных энергетических потерь, усредненные по всем слоям ТПК. Сравнение экспериментальных данных, полученных в тестовых измерениях 2018 года в пучке электронов 20 ГэВ и результатов Монте-Карло моделирования. Слева – моделирование без учета эффекта пространственного заряда, справа – с учетом. В крайний справа бин гистограммы включен вклад всех энергий >24 кэВ

Принцип работы и найденные ошибки

Системное окружение и вспомогательные программы, для работы с библиотекой DEGRAD

Библиотека DEGRAD [4] написана на языке программирования FORTRAN. В связи с отсутствием компиляторов этого языка под современные версии Windows для работы с библиотекой использовалось расширенное терминальное приложение MobaXterm, которое предоставляет расширенные возможности Unix-подобной командной строки для Windows. С помощью этой программы осуществлялось подключение к Линукс-системе для дальнейшей работы с кодом библиотеки DEGRAD.



```
DEGRAD VERSION 3.9
-----
ELECTRON BEAM SIMULATION
-----
SIMULATION WITH COMPTON SCATTERING
SIMULATION WITH RAYLEIGH SCATTERING
SIMULATION WITHOUT PAIR PRODUCTION
SIMULATION WITH BREMSSTRAHLUNG
SIMULATION WITH COMPLETE SHELL CASCADE
-----
MONTE CARLO SOLUTION FOR MIXTURE OF 2 GASES.
DEGRADATION CALCULATION ALL TIMES IN PICOSECS, DISTANCE IN MICRONS
-----
GASES USED          PERCENTAGE USED
-----
XENON 2013 ANISOTROPIC  70.0000
ARGON ANISOTROPIC  2014  30.0000
-----
GAS TEMPERATURE = 20.0 DEGREES CENTIGRADE.
GAS PRESSURE = 760.0 TORR.
-----
STANDARD RANDOM NUMBER SEED = 54217137
-----
PENNING IONISATION NOT ALLOWED
-----
INTEGRATION FROM 0.0 TO 4180.4 EV. IN 20000 STEPS.
-----
ELECTRIC FIELD = 900.0000 VOLTS/CM.
MAGNETIC FIELD = 0.0000 KILOGAUSS.
ANGLE BETWEEN ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD = 0.000 DEGREES.
-----
UNREGISTERED VERSION - Please support MobaXterm by subscribing to the professional edition here: https://mobaxterm.mobatek.net
```

Рисунок 2 – Запуск DEGRAD в MobaXTerm

Принцип работы программы

Поскольку нашей задачей стояло решение проблемы с запуском, то первым делом необходимо было проверить параметры входных данных. В оглавлении программы подробно описано, какие данные мы вводим и в каком порядке:

Таблица 1 – Входные данные

кол-во Газов (NGAS)	NDELTA	IMIP	NDVEC	ESTART, эВ	ETHRM, эВ	ECUT, эВ	
№ газа1	№ газа2	№ газа3	№ газа4	№ газа5	№ газа6		
% газа1	% газа2	% газа3	% газа4	% газа5	% газа6	T, °	P, торр
E, В/см	В, кГс	Угол между E и B	тип вывода	перенос пеннинга			
DETEFF	EXC	KGAS	LGAS	Комптоновское рассеяние	Релеевское	Обозование пар	IECASC
	WGHT						
0							

NDELTA — кол-во δ -электронов, или МИПов (рентгеновское излучение, бета распад);

IMIP — Тип исследования 1) Симуляция МИПов 2) Электронное излучение 3) рентгеновское излучение 4) бета-распад 5) двойной бета-распад;

NDVEC — направление;

ESTART — энергия частиц исследования (рентгеновское излучение < 2 МэВ);

ETHRM — граничная энергия движущегося электрона;

ECUT — энергия МИПов (максимум кластеров при энергии ниже 10 кэВ при 400 электронов);

DETEFF — эффективность детектирования фотонов, используется для расчёта фактора Фано. (В чистых благородных газах — от 0 до 100);

EXCWGHT — вес в реакциях возбуждения при расчётах фактора Фано.

При ионизации — от 0.5 до 0.6, Расчёт по

$$\sqrt{\frac{\text{фактор Фано}}{\text{возбуждение фактора Фано}}};$$

KGAS — номер газа участвующего в бета распаде;

LGAS — в молекулярном газе — определяет атом распада;

IECASC — определённый или параметризованный каскад для лавинных ионизаций электронами молекул.

Получив входные данные, программа возвращала данные о введённых параметрах и предварительных расчётах, после чего в течении 3–10 и более минут выполняла расчёт процессов. В результате расчёты выводятся на экран и создаётся файл DEGRAD.out, содержащий всю информацию о результатах.

Найденные ошибки

Входные данные выбирались для малого кол-ва событий ($N_{DELTA} = 10$) и для различных газов (NGAS). Смеси газов, как оказалось, не вызывают ошибок при расчётах, если исходные газы в отдельности исправны, вне зависимости от процентного содержания.

В процессе подбора входных данных были замечены следующие закономерности:

Таблица 2 – Ошибки и успешные запуски

Версия	3.4	3.5	3.6	3.7	3.9
Ксенон	v	v	v	v	v
CO_2	v	x	x	x	x
Смесь _{КС}	v	x	x	x	x
Аргон	v	v	v	v	v
Смесь _{АС}	v	x	x	x	x
CF_4	v	v	v	v	v
H_2O	v	v	v	v	v

Результаты запусков программы: «v» - успешно, «x» - не запустилась, Смесь_{КС} – Смесь Ксенон (70%) / CO_2 (30%), Смесь_{АС} – аналогично с Аргоном

```
b17_01@ui02 Work1$ ./DEGRAD
  2      10000      3      -1      04000.00000      2.00000      0.00000
  7  12      77      77      77      77
 70.0000      30.0000      0.0000      0.0000      0.0000      0.0000      20.0000      760.0000
 900.000      0.000      0.000      1      0
 100.000      0.500      0      0      1      1      0      1      1
 0
---|---+---|---+---|---+---|---+---|---+---|---+---|---+---|---+---
us error (core dumped)
```

Рисунок 3 – Пример входных данных, вызывающих ошибку

В итоге получается, что только газ CO_2 выдаёт ошибку. Впрочем, это весьма закономерно, программа выдавала ошибку начиная с версии 3.5 до последней включительно, а в списке изменений 3.5 было указано обновление именно газа CO_2 .

Заключение

В данной работе была изучена библиотека программ DEGRAD, её настройки и входные данные, а также были освоены базовые знания языка программирования FORTRAN. В результате исследования библиотеки программ были выявлены параметры входных данных, при которых возникают ошибки. По результатам проделанной работы будет отправлено письмо разработчикам с целью исправления выявленных ошибок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *M. Albrow*. A Very Forward Hadron Spectrometer for the LHC and Cosmic Ray Physics. — М. : PoS, 2018.
2. *Смирнов С.* Разработка программы моделирования фотоэлектронных каскадов в рабочем газе детектора переходного излучения. — http://smirnov.web.cern.ch/smirnov/Otchet_june2019.pdf, 2019.
3. *Романюк А.* Разработка детекторов переходного излучения для идентификации адронов в ТэВ-ной области энергий. — <http://rscf.ru/prjcard/?rid=19-12-13013>, 2019.
4. *Biagi S.* Библиотека программ моделирования фотоэлектронных каскадов в газах DEGRAD. — <http://magboltz.web.cern.ch/magboltz/>, 2019.