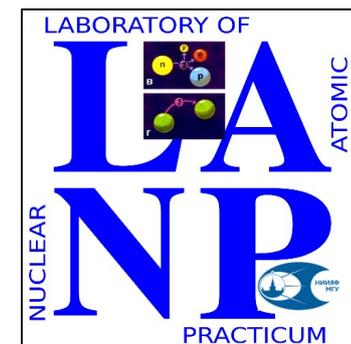




# GEANT4 как инструмент для обучения моделированию взаимодействий ионизирующих частиц с веществом



*Анна Анохина, Михаил Самойлов, Геннадий Шефель*

Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет,  
Кафедра Физики Космоса

<https://space.phys.msu.ru>

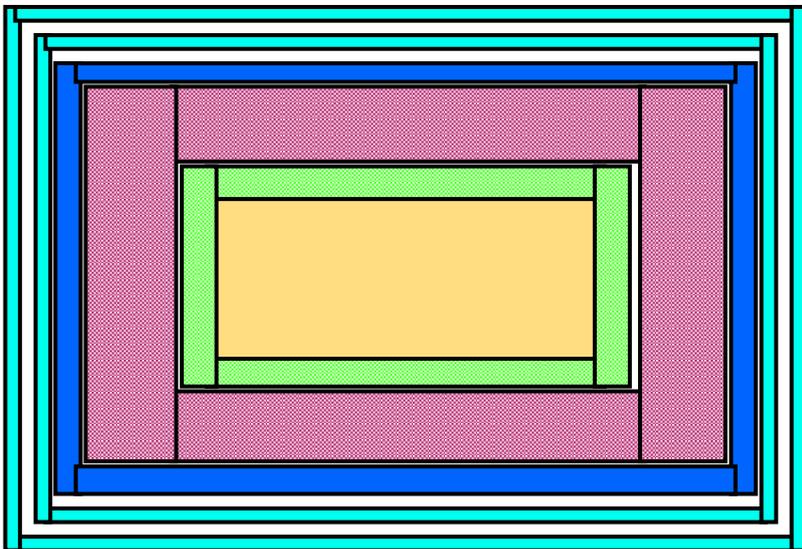
НИИЯФ МГУ, Лаборатория общего и специального практикума

<http://prac-gw.sinp.msu.ru>



# Зачем учить моделированию?

- Детекторы в «металле» - сложны и дороги, испытание на моделях — необходимый этап.
- Отклик детектора на частицы различной природы и энергии, требуется детальная картина на всех этапах процесса.
- Регистрация частиц высоких энергий, космических лучей. Модельный эксперимент позволяет проверить крупный по масштабу комплекс оборудования.
- Задачи радиационной медицины, диагностика и лечение. Модельный эксперимент необходим прежде применения на реальном теле человека.
- Радиационная стойкость электронных приборов для космических спутников — актуальная проблема в эпоху микроэлектроники.



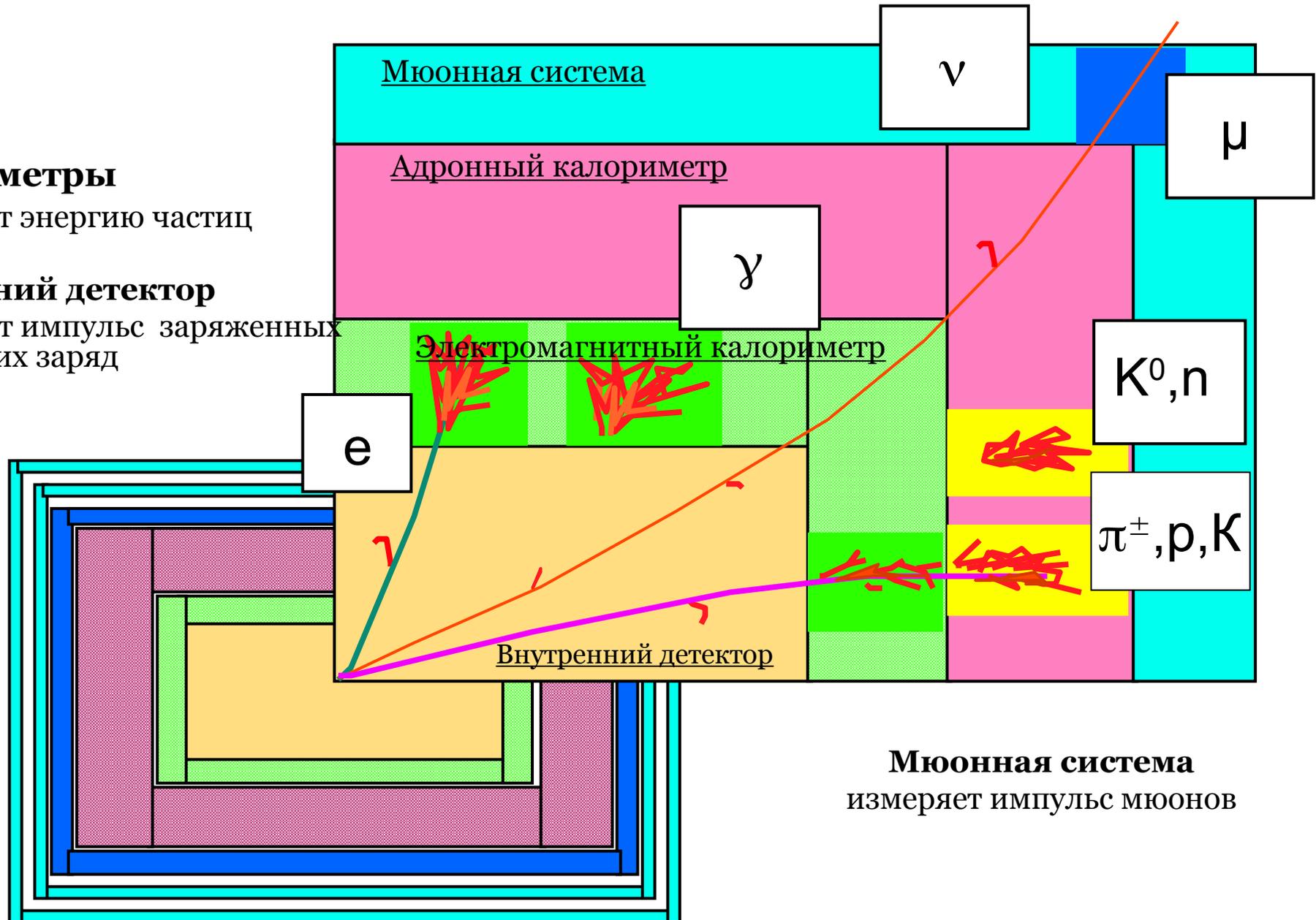
# Современные детекторы

## Калориметры

- измеряют энергию частиц

## Внутренний детектор

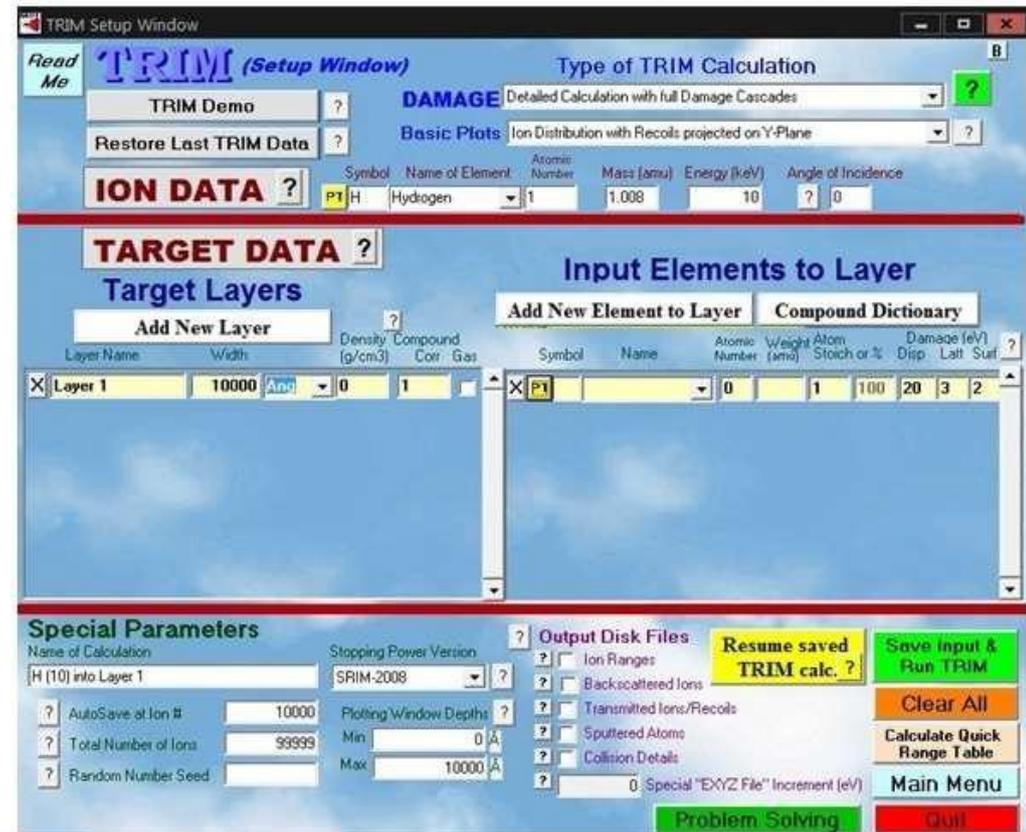
- измеряет импульс заряженных частиц, их заряд



# SRIM — The Stopping and Range of Ions in Matter

## TRIM — Transport of Ions in Matter

- Не является свободным ПО
- Интерфейс простой, не требует перевода.
- Расчет пробегов, потерь энергии, распыления в многослойной мишени.
- Только простая геометрическая форма мишени по слоям материала.
- Энергия первичных частиц в диапазоне до 2 ГэВ
- Упрощенная детализация частиц и их характеристик на этапах моделирования.
- Визуализация результатов, графики и гистограммы.
- Низкий порог вхождения, доступный не только студенту, но и старшему школьнику.





## GEANT4(GEometry ANd Tracking)

- Является инструментальным набором библиотек (классов на C++), с типовым набором:
  - геометрия детектора, материалы, физические процессы взаимодействия, генераторы первичных частиц, средства визуализации.
- Обширная коллекция примеров, позволяющих создать проект детектора любой сложности
  - Базовые примеры: модель установки с простой геометрией и набором частиц.
  - Расширенные и сложные примеры для продвинутых пользователей:
    - полноценные экспериментальные приложения для физических экспериментов.

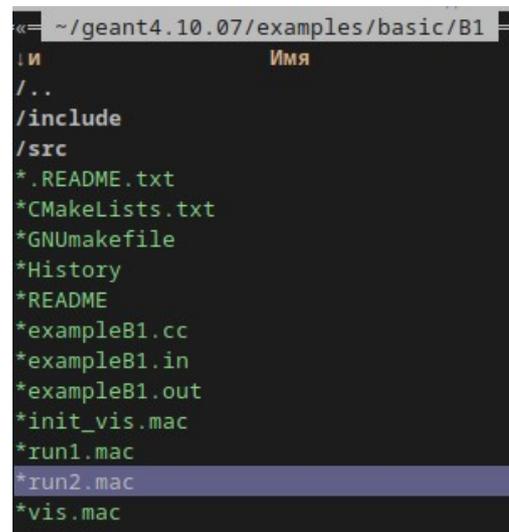
```
~ /GEANT4/input/examples/extended
↓n Name
/..
/analysis
/biasing
/common
/electromagnetic
/errorpropagation
/eventgenerator
/exoticphysics
/field
/g3tog4
/geometry
/hadronic
/medical
/optical
/parallel
/parameterisations
/persistency
/physicslists
/polarisation
/radioactivedecay
/runAndEvent
/visualization
README.txt
CMakeLists.txt
```

```
~ /GEANT4/input/examples/advanced
↓n Name
/..
/ChargeExchangeMC
/STCyclotron
/air_shower
/amsEcal
/brachytherapy
/composite_calorimeter
/doiPET
/eRosita
/gammaknife
/gammaray_telescope
/hadrontherapy
/human_phantom
/iort_therapy
/lAr_calorimeter
/medical_linac
/microbeam
/microelectronics
/nanobeam
/purging_magnet
/radioprotection
/underground_physics
/xray_fluorescence
/xray_telescope
CMakeLists.txt
GNUmakefile
README
```

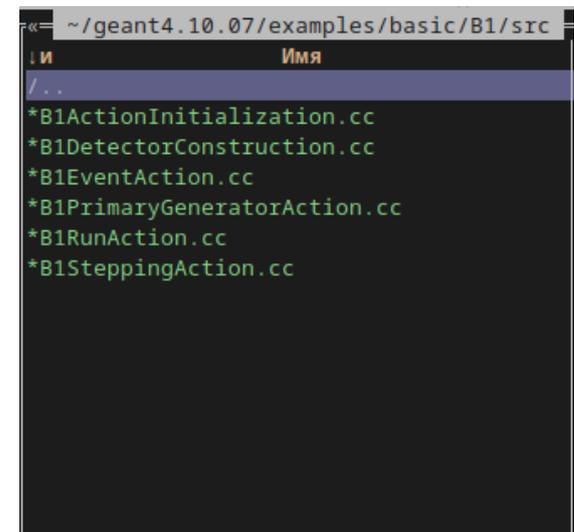
# В ходе выполнения задачи практикума

- Для лабораторных работ используются готовые приложения из модулей GEANT4, созданные на основе типовых примеров.
- Сеанс моделирования запускается в пакетном режиме. Студенту требуется выбрать по образцу параметры эксперимента и задать их в `run*.mac` файле.
- Студенту не требуется глубокое знание пакетов GEANT4 и ROOT, а только базовых команд Linux.
- Во время сеанса моделирования приложение формирует на выходе текстовые файлы заданного формата.
- Для анализа и визуализации данных из выходных текстовых файлов используется пакет ROOT.

```
/control/verbose 1
/run/verbose 0
/tracking/verbose 0
#
/gun/particle e-
/gun/energy 1 MeV
/scint/det/setscintmat 2
/scint/det/setSciRflCo 0.90
/scint/det/setPhToPhel 1
/scint/gun/ThetaVal 60.0
/scint/gun/RhoVal 0.5
#
/run/beamOn 100
```

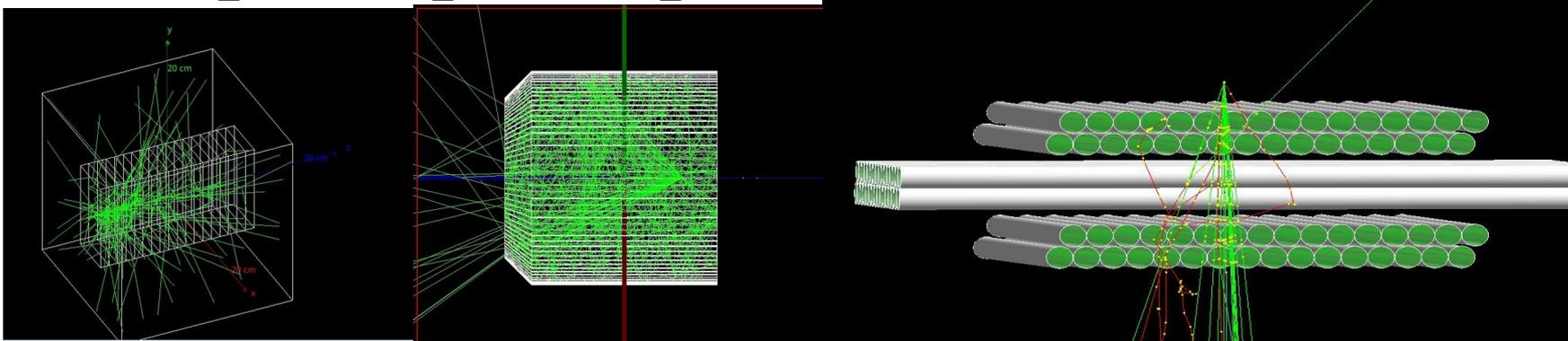


```
~/geant4.10.07/examples/basic/B1
Имя
./
./include
./src
*.README.txt
*CMakeLists.txt
*GNUmakefile
*History
*README
*exampleB1.cc
*exampleB1.in
*exampleB1.out
*init_vis.mac
*run1.mac
*run2.mac
*vis.mac
```

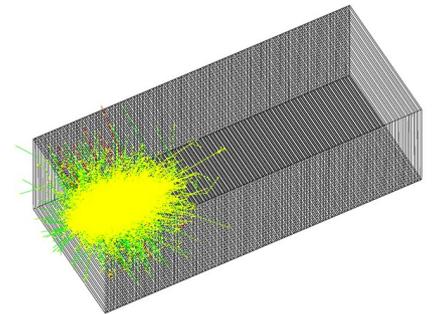


```
~/geant4.10.07/examples/basic/B1/src
Имя
./
*B1ActionInitialization.cc
*B1DetectorConstruction.cc
*B1EventAction.cc
*B1PrimaryGeneratorAction.cc
*B1RunAction.cc
*B1SteppingAction.cc
```

# Лабораторные работы по моделированию



- Электромагнитный каскад в однородной среде
- Электромагнитный каскад в слоистом детекторе (свинцовая РЭК)
- Распространение нейтрона в однородной среде (случайные блуждания)
- Движение заряженных частиц в дипольном магнитном поле
- Изучение отклика сцинтилляционного спектрометра
- Солнечный Нейтронный и Гамма Спектрометр (СОНГ)
- Оценка энергии первичных частиц широкого атмосферного ливня (ШАЛ) с использованием данных рассчитанных пакетом CORSIKA



# Детальное отображение частиц на каждом этапе моделирования и всех их параметров

```
*****
* G4Track Information: Particle = Fe56, Track ID = 459, Parent ID = 363
*****

Step#    X          Y          Z          KineE      dEStep    StepLeng  TrakLeng   Volume      Process
  0     14 cm    -5.01 cm   27.8 cm   272 keV     0 meV     0 fm      0 fm      AbsorberIronBlock  initStep
  1     14 cm    -5.01 cm   27.8 cm     0 meV    272 keV   195 nm    195 nm    AbsorberIronBlock  ionIoni
  2     14 cm    -5.01 cm   27.8 cm     0 meV     0 meV     0 fm      195 nm    AbsorberIronBlock  RadioactiveDecayBase

*****
* G4Track Information: Particle = neutron, Track ID = 458, Parent ID = 363
*****

Step#    X          Y          Z          KineE      dEStep    StepLeng  TrakLeng   Volume      Process
  0     14 cm    -5.01 cm   27.8 cm   2.27 MeV     0 meV     0 fm      0 fm      AbsorberIronBlock  initStep
  1    13.9 cm  -4.99 cm   27.8 cm   2.17 MeV     0 meV    242 um    242 um    AbsorberIronBlock  hadElastic
  2    10.6 cm  -6.55 cm   21.4 cm   2.05 MeV     0 meV    7.34 cm   7.36 cm   AbsorberIronBlock  hadElastic
  3     9.84 cm  -1.8 cm    23.8 cm     0 meV     0 meV    5.38 cm   12.7 cm   AbsorberIronBlock  neutronInelastic

*****
* G4Track Information: Particle = gamma, Track ID = 631, Parent ID = 554
*****

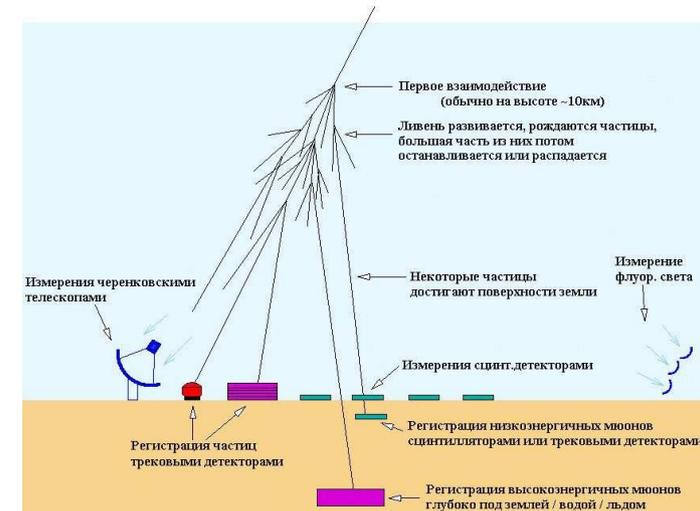
Step#    X          Y          Z          KineE      dEStep    StepLeng  TrakLeng   Volume      Process
  0   -61.3 cm  -61.8 cm   31.3 cm   7.65 MeV     0 meV     0 fm      0 fm      AbsorberIronBlock  initStep
  1   -67.1 cm  -57 cm     31.6 cm     0 meV     0 meV    7.56 cm   7.56 cm   AbsorberIronBlock  conv

*****
* G4Track Information: Particle = pi-, Track ID = 1, Parent ID = 0
*****

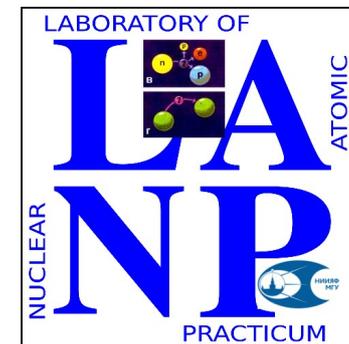
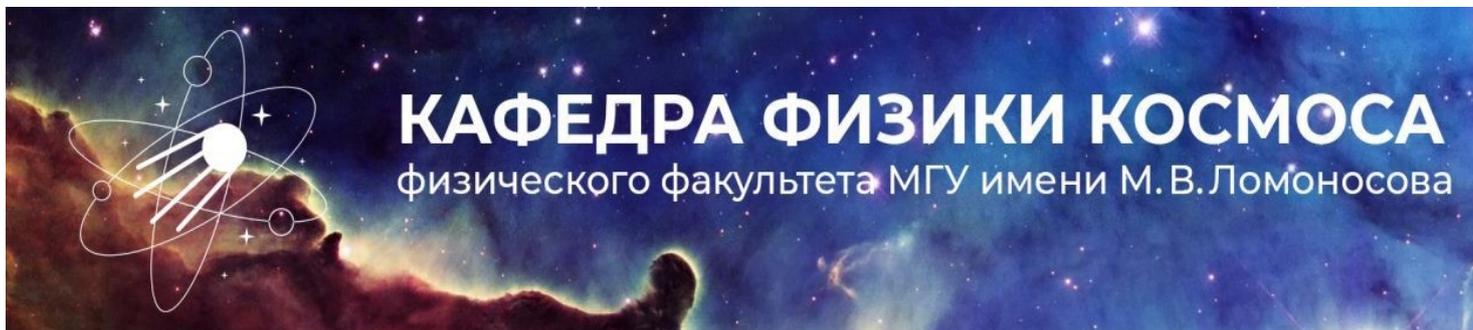
Step#    X          Y          Z          KineE      dEStep    StepLeng  TrakLeng   Volume      Process
  0     0 fm      0 fm      0 fm    49.5 GeV     0 meV     0 fm      0 fm      SciPolyPlate  initStep
  1    32.9 nm      0 fm     2.53 mm   49.5 GeV   386 keV   2.53 mm   2.53 mm   SciPolyPlate  hIoni
  2    45.8 nm    5.73 nm   2.87 mm   49.5 GeV   45.7 keV  344 um    2.87 mm   SciPolyPlate  hIoni
  3    208 nm    59.6 nm   5.6 mm    49.5 GeV   405 keV   2.73 mm   5.6 mm    SciPolyPlate  Transportation
  4    237 nm    66.7 nm   5.89 mm   49.5 GeV   258 keV   289 um    5.89 mm   AbsorberIronBlock  hIoni
  5    267 nm    75.1 nm   6.16 mm   49.5 GeV   253 keV   269 um    6.16 mm   AbsorberIronBlock  hIoni
```

# Оценка трудоемкости вычислений

- Компьютер преподавателя 1 шт.:  
CPU: AMD Ryzen 5 3400G 64 bits, Radeon Vega Graphics  
Memory: 30 GiB HDD 5,5 Tb Fedora 32
- Компьютер студента 9 шт.:  
CPU: Pentium E5300 64 bits, Graphics: Intel 82G33/G31  
Memory: 2 GiB HDD 320Gb Fedora 20



- Типовая операция — вычисление события «ливня» вторичных частиц, развивающегося из первичного события.
- Типичная структура — цикл вторичных событий лавинообразно нарастающий с каждым слоем.
- Для выполнения упражнения необходима выборка (~100) событий «ливня», которые можно рассчитать самостоятельно или взять из архива.
- Вычисление функции по методу Монте-Карло для каждого события имеет существенную трудоемкость, а расчет события — минимальный блок алгоритма.
- Время сеанса моделирования зависит от энергии первичной частицы, на более простых «ливнях» - линейно, на более сложных и масштабных — экспоненциально.
- Для учебных упражнений лабораторной работы для, того, чтобы сеанс моделирования прошел на студенческом компьютере за разумное время (минуты/часы) — энергия первичной частицы должна быть не больше ~10 ТэВ



Спасибо за внимание

