

Введение в GEANT4

Анастасия Мёрзлая

Зачем нужно моделирование?

Цели моделирования

- Оптимизация элементов детектора;
- Оценка ожидаемой точности измерений;
- Расчет ожидаемых значений сигнала и фоновых процессов.
- Отладка алгоритмов реконструкции событий;
- Отладка методики анализа данных, определение наилучших критериев отбора событий;
-

GEANT4

- **GEANT4** – пакет библиотек на **C++** для компьютерного моделирования процессов прохождения элементарных частиц через вещество, на основе совокупности подходов, вместе называемых «метод Монте-Карло».
- Первая версия пакета появилась в 1995 году;
- Написана на языке C++;
- Объектно-ориентированный подход;
- С 2004 года – основная программа моделирования в экспериментах на LHC (кроме ALICE)
- Широкое применение в физике частиц, радиационной медицине,.....

Методы Монте-Карло

- **Методы Монте-Карло** – это численные методы решения прикладных математических задач при помощи моделирования случайных величин.

JOURNAL OF THE AMERICAN STATISTICAL ASSOCIATION

Number 247

SEPTEMBER 1949

Volume 44

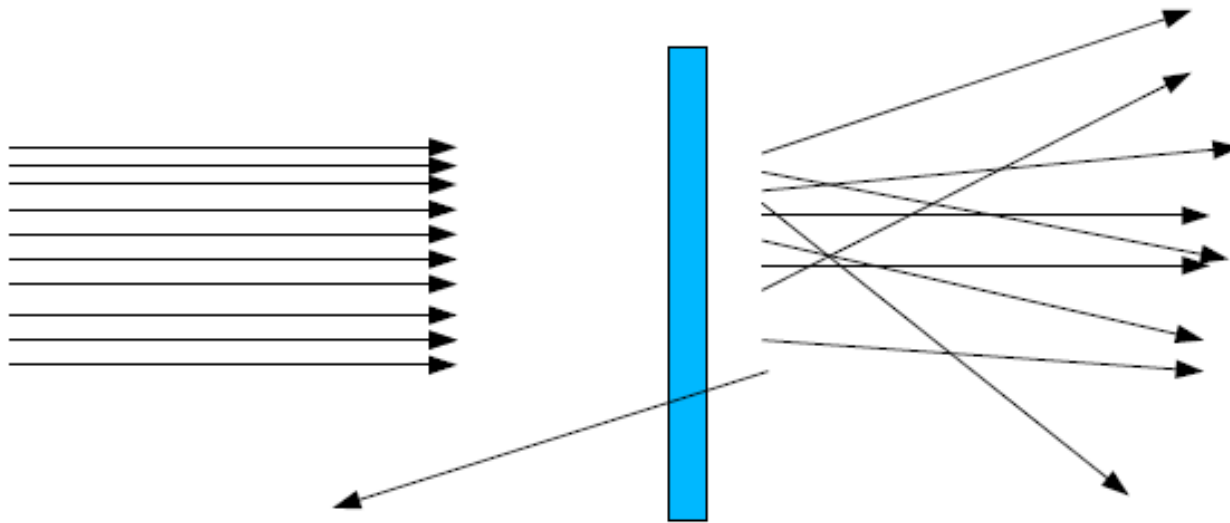
THE MONTE CARLO METHOD

NICHOLAS METROPOLIS AND S. ULAM
Los Alamos Laboratory

We shall present here the motivation and a general description of a method dealing with a class of problems in mathematical physics. The method is, essentially, a statistical approach to the study of differential equations, or more generally, of integro-differential equations that occur in various branches of the natural sciences.

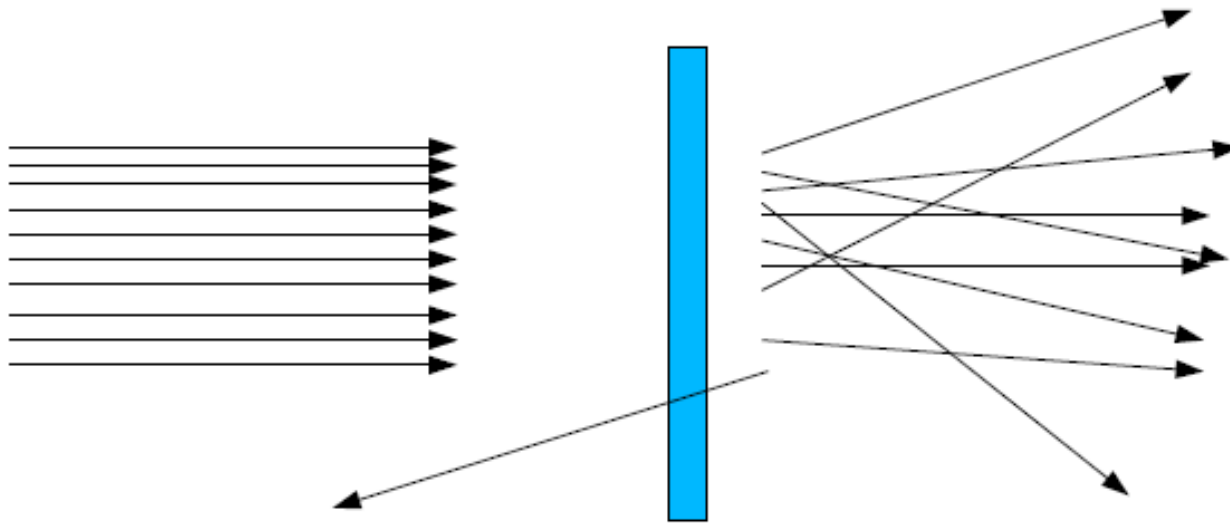
- Метод появился при работе над Манхэттенским проектом:
 - S.M. Ulam, J. von Neumann, “On combination of stochastic and deterministic processes”. *Bull. Amer. Math. Soc.* 53 1120 (1947)
 - S.M. Ulam, N. Metropolis, “The Monte-Carlo method”, *J. Amer. Statist. Assoc.* 1949 , 44 Vol 247, 335-341

Пример: опыт Резерфорда



$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{2mv^2} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\Theta}{2}} \sim \text{вероятность рассеяния на угол } \Theta$$

Пример: опыт Резерфорда



$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{2mv^2} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\Theta}{2}} \sim \text{вероятность рассеяния на угол } \Theta$$

Шаги моделирования:

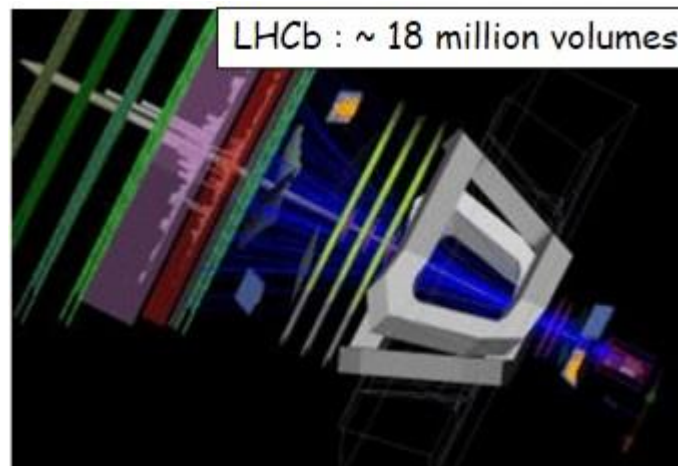
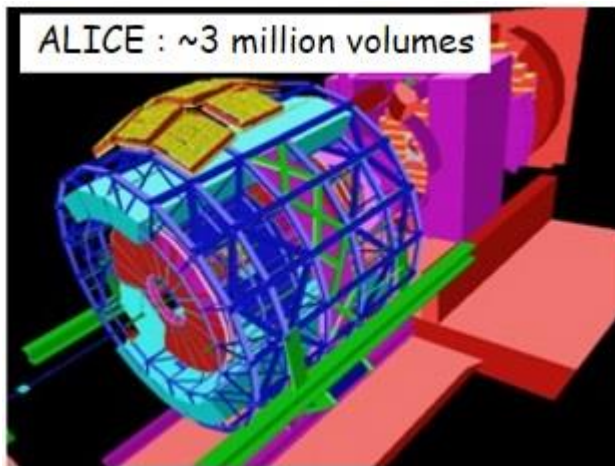
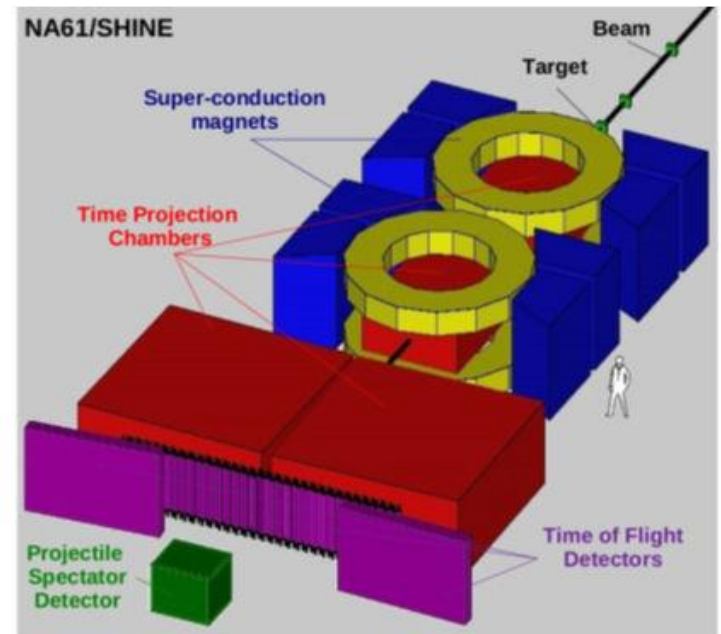
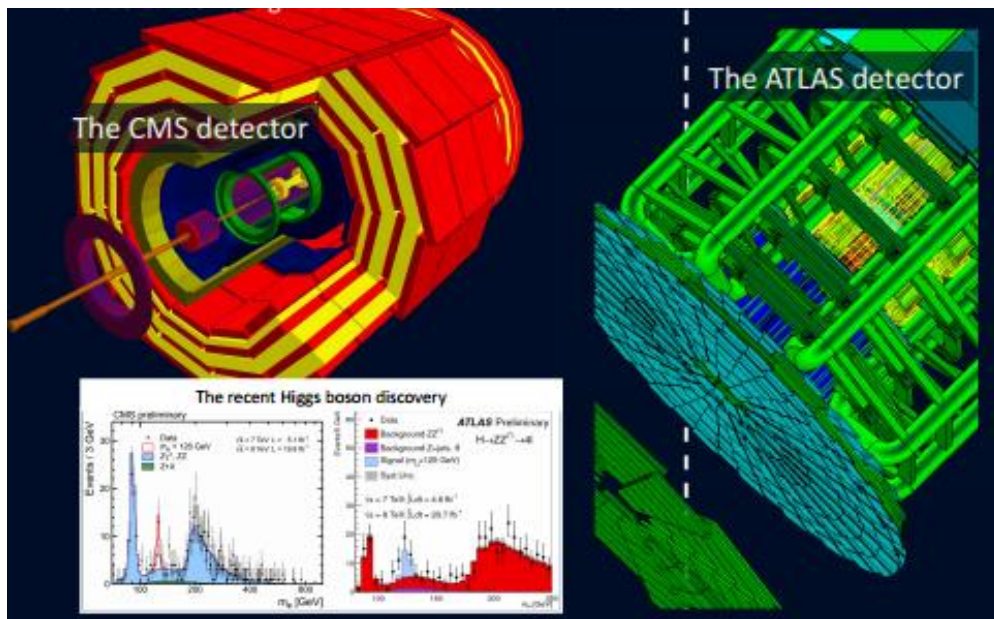
1. Генерируется пучок из N частиц
2. Для каждой частицы вычисляется случайный угол рассеяния Θ в соответствии с известным распределением и заданной скоростью частиц
3. Для каждой частицы вычисляется случайный азимутальный угол φ , который разыгрывается равномерно в интервале $[0, 2\pi]$
4. Рассеяние частиц смоделировано

Применение метода Монте-Карло

- Взаимодействия частиц в микромире носят **вероятностный характер**, обусловленный квантовой механикой;
- Поэтому эксперимент в физике частиц представляет собой, как правило, многократное измерение совокупности **случайных процессов** – взаимодействия частиц и прохождения их через детектор;
- Моделирование случайных процессов сводится к моделированию дискретных случайных величин с последующим преобразованием (метод Монте-Карло).

Задачи, решаемые методом Монте-Карло

- Моделирование наблюдаемых величин (импульс, энергия, точка рождения ...) на основе теоретических предсказаний – генераторы событий;
- Моделирование искажения наблюдаемых величин в результате прохождения частиц через вещество детектора (рассеяние на материалах детектора);
- Моделирование отклика детектора для отладки алгоритмов реконструкции событий.



GEANT4

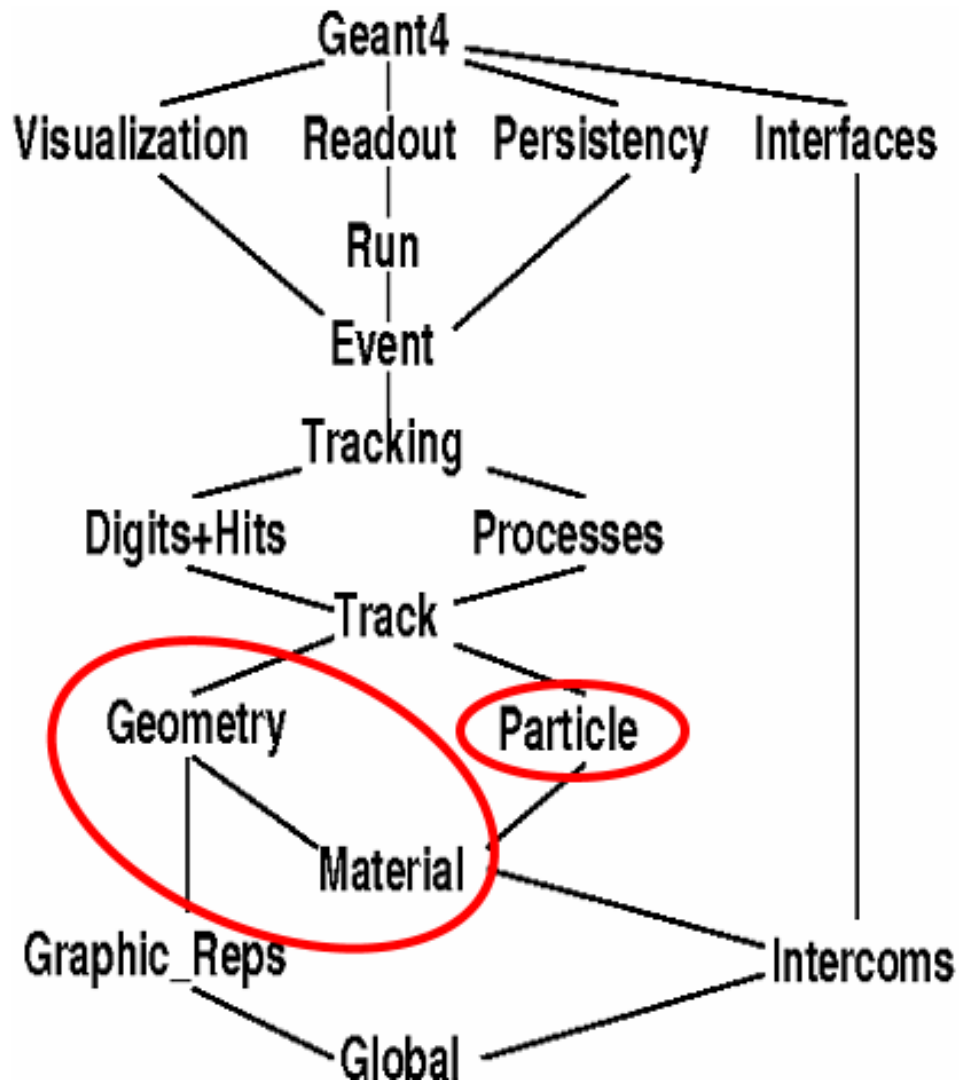
- GEANT — самый популярный инструмент для моделирования взаимодействия излучения с веществом. Он разрабатывается международной коллаборацией с центром в CERN.
- Включает в себя полный диапазон функций для задания геометрии системы, хим. состава образующих ее материалов, частиц и процессов взаимодействия.....
- Содержит множество физических моделей взаимодействия частиц с веществом:
 - Электромагнитные процессы;
 - Адронные процессы;
 - Фотон-адронные и лептон-адронные процессы;
 - Процессы с участием оптических фотонов;
 - Моделирование распадов;
 - Параметризация ливней;
 - Методики использования статистических весов

Работа программы

- Конструируется **геометрия** системы, вычисляются сечения взаимодействия используемых частиц с используемыми материалами;
- Запускаются **частицы**;
- Создание **треков** частиц, при этом движение разбивается на малые шаги, и на каждом шаге происходит выбор одного из процессов взаимодействия, рассчитанных ранее;
- Если образуется вторичная частица – создание трека аналогично;
- Моделирование идет до тех пор, пока не будут обработаны все частицы.

- На каждом из этапов можно получить полную информацию о частице: координаты, импульс, энергия, время

Части программы



- Описание геометрии установки: **geometry & material**
- Описание источника частиц **particle**

Основные понятия

- **Сеанс (Run)** - Период набора статистики, в котором не меняются условия проведения эксперимента (параметры пучка, конфигурация и параметры детектора, материал мишени и т.п.).
- **Событие (Event)** - Единичное независимое измерение физического явления детектором.
Содержит все входные и выходные характеристики (исходные частицы, срабатывания и т.д.) смоделированного события
Структура события
 - Первичная вершина и первичная частица;
 - Траектории;
 - Коллекция срабатываний.

Основные понятия

- **Шаг (Step)** описывает минимальное продвижение частицы через вещество с учетом различных физических процессов.
- **Трек (Track)** описывает полное продвижение частицы в веществе к моменту обращения к данному объекту.
- **Срабатывание (Hit)** описывает единичное взаимодействие частицы с веществом в детектирующем объеме.
Содержит информацию о координате и времени взаимодействия, энергии и импульсе частицы в этой точке, энерговыделении, геометрическую информацию (объем, в котором произошло взаимодействие и т.п.).

Описание программы

- Любое приложение на Geant4 обязательно должно содержать описание:
 - распределение вещества в детекторе и поле ([DetectorConstruction](#));
 - генератор начальной точки трека ([PrimaryGeneratorAction](#));
 - список физических процессов, участвующих в эксперименте ([PhysicsList](#)).
- Дополнительно могут быть описаны:
 - чувствительные элементы и способы моделирования отклика;
 - методы визуализации;
 - графический интерфейс;
 - пользовательские расширения;и т.д.

Источник частиц

В файле [PrimaryGeneratorAction.cc](#) задаем количество частиц, их сорт, направление импульса, энергию и положение источника в пространстве

```
G4int n_particle = 1000; //количество частиц
fParticleGun = new G4ParticleGun(n_particle);
G4ParticleTable* particleTable = G4ParticleTable::GetParticleTable();
fParticleGun->SetParticleDefinition(particle);
fParticleGun->SetParticleMomentumDirection(G4ThreeVector(0.,0.,1.));
//направление распространения
fParticleGun->SetParticleEnergy(100.*keV); //энергия
fParticleGun->SetParticlePosition(G4ThreeVector(0*cm, 0*cm, -10*cm));
//положение источника
G4String particleName;
G4ParticleDefinition* particle
    = particleTable->FindParticle(particleName="gamma"); //сорт частиц
```

При визуализации **синий** заряд >0
зеленый =0

красный <0

Описание установки

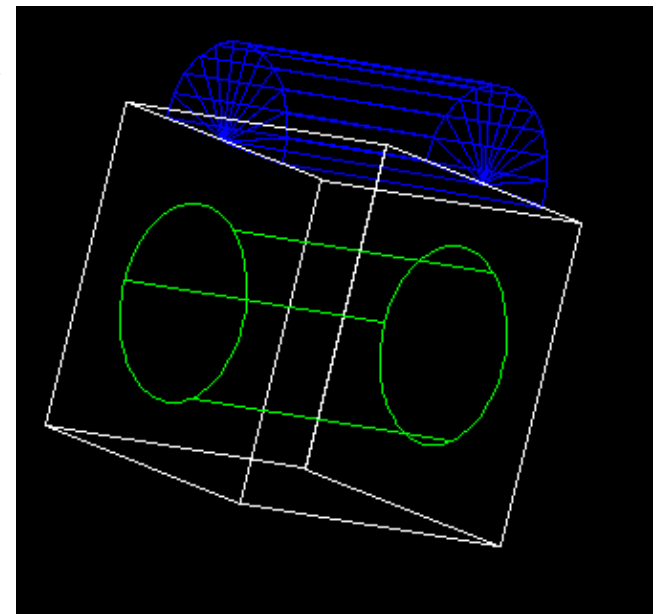
В файле [DetectorConstruction.cc](#) задаются параметры установки.

- Модель детектора строится из простых элементов – объемов;
- Порядок создания элемента объема:
 - Описание материалов;
 - Описание объемов;
 - (Детектирующие свойства – чувствительные объемы; свойства визуализации; электромагнитные поля

Описание объемов

Каждый элемент геометрии GEANT4 задается тремя объектами:

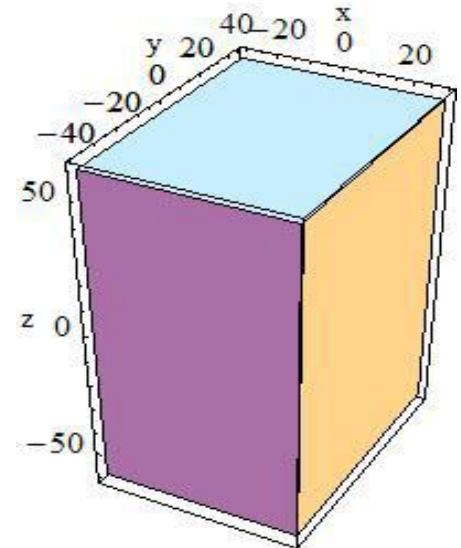
1. **G4VSolid** описывает его *геометрические* свойства (куб G4Box, цилиндр G4Tubs, сфера G4Sphere.....) ;
2. Далее создается логический объем **G4LogicalVolume** – задаем информацию о *материале*, из которого состоит объект G4VSolid ;
3. Затем задается физический объем **G4PVPlacement**, в котором содержится информация о *положении* объекта.



Описание объемов G4VSolid

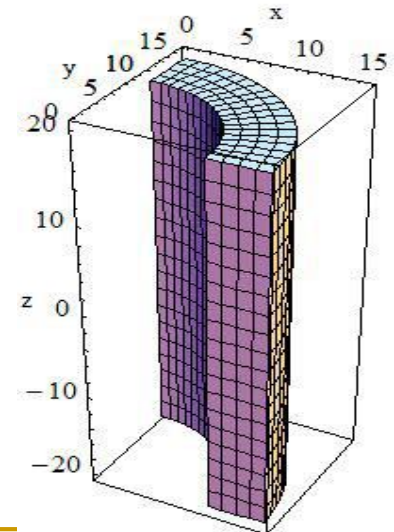
- Параллелепипед

```
G4VSolid* scint_solid = new G4Box (  
    const G4String& pName, //имя  
    G4double pX, //полуширина  
    G4double pY, //полувысота  
    G4double pZ); //полуглубина
```



- Цилиндр

```
G4VSolid* calor_solid = new G4Tubs(  
    const G4String& pName,  
    G4double pRMin, //внутренний радиус  
    G4double pRMax, //внешний радиус  
    G4double pDz, //полувысота  
    G4double pSPhi,  
    G4double pDPhi);
```



Полезные ссылки

- Официальный сайт <https://geant4.web.cern.ch/geant4/>
- Users Guide
<https://geant4.web.cern.ch/geant4/UserDocumentation/UsersGuides/ForApplicationDeveloper/html/>
- Basic example
http://vserv.sinp.msu.ru/wiki/Introduction_To_GEANT4

Спасибо за внимание!
