

# Электромагнитные процессы

- Основные электромагнитные процессы описаны в двух библиотеках: **Standard** и **LowEnergy**
- **Standard** — описание ЭМ процессов для решения задач ФВЭ (применимы до 100 ТэВ)
- **LowEnergy** — более точное описание процессов при низких энергиях (учет атомных эффектов и т. п.), применяется для решения прикладных задач (микродозиметрия, медицинские приложения и т. д.)
- Для обеих библиотек разработан единый интерфейс: все процессы являются наследниками одного из классов:

G4VEnergyLoss

G4VEmProcess

G4VMultipleScattering

Кроме того, существуют дополнительные библиотеки:

- **Polarisation**
  - Процессы с поляризованными частицами
- **Xray**
  - Синхротронное излучение (G4SynchrotronRadiation)
  - Переходное излучение (G4TransitionRadiation)
  - Оптические процессы
- **Фотон-ядерные и электрон-ядерные взаимодействия**

# «Стандартный» набор

## электромагнитных процессов

- **Фотонные процессы**
  - Комптон-эффект (G4ComptonScattering)
  - рождение пар (G4GammaConversion)
  - фотоэффект (G4PhotoElectricEffect)
  - рождение мюонных пар ( G4GammaConversionToMuons)
- **Электрон-позитронные процессы**
  - ионизация и рождение дельта-электронов (G4eIonisation)
  - тормозное излучение (G4eBremsstrahlung)
  - аннигиляция позитрона (G4eplusAnnihilation)
  - аннигиляция позитрона в 2 мюона (G4AnnihiToMuPair)
  - аннигиляция позитрона в адроны (G4eeToHadrons)
- **Мюонные процессы**
  - ионизация и рождение дельта-электронов ( G4MuIonisation)
  - тормозное излучение (G4MuBremsstrahlung)
  - рождение пар (G4MuPairProduction)
- **Адронные и ионные ЭМ процессы**
  - ионизация(G4hIonisation)
  - ионизация ядрами (G4ionEnergyLoss)
- **Многократное рассеяние**
  - для всех заряженных частиц (G4MultipleScattering)

# Набор электромагнитных процессов для низких энергий

## Фотонные и электрон-позитронные процессы (250 эВ — 1 ГэВ)

- Модель PENELOPE — теоретическое описание, основанное на экспериментальных данных
- Модель Livermore — параметризация экспериментальных данных
- Рассеяние Рэлея для фотонов (G4RayleighScattering)

## Ионизация

- Тормозная способность задана по параметризации ICRU49 (по умолчанию), или по модели Ziegler  
*Более подробно описано на <http://www.ge.infn.it/geant4/lowE>*
- Ионизация тяжелыми частицами: G4BraggModel, G4BraggNoDeltaModel, G4BetheBlochNoDeltaModel)
- Ионизация в тонком слое (G4PAIModel)

## Микродозиметрия (7 эВ — 10 МэВ) — проект Geant4-DNA

- Расчет эффектов в воде, сравнимых с энергией связи в молекуле ДНК (*проект развивается*)

*Подробнее: S. Chauvie, IEEE Trans. Nucl. Sci. 54 (2007) 2619*

## MicroElec

- взаимодействия в кремнии для частиц с энергией от нескольких эВ

# Многократное рассеяние

- Вместо моделирования отдельного акта рассеяния, вычисляется среднее смещение частицы, соответствующее длине шага
- По умолчанию, применяется модель Урбана (L.Urban, CERN-OPEN-2006-077)
  - *Параметризация данных по рассеянию электрона, отдельно для центральной области углового распределения и отдельно для «хвостов»*
  - *Баланс «точность-быстродействие» оптимален для ФВЭ, но точность часто недостаточна при моделировании ЭМ-калориметров*
- Существуют две альтернативные теоретические модели
  - *Модель Goudsmit-Saunderson (O.Kadri et al., NIM B267 (2009) 3624) наиболее точна для расчета рассеяния электронов. Примерно вдвое медленнее чем модель Урбана*
  - *Модель WentzelVI пригодна для расчета многократного рассеяния в разреженных средах*

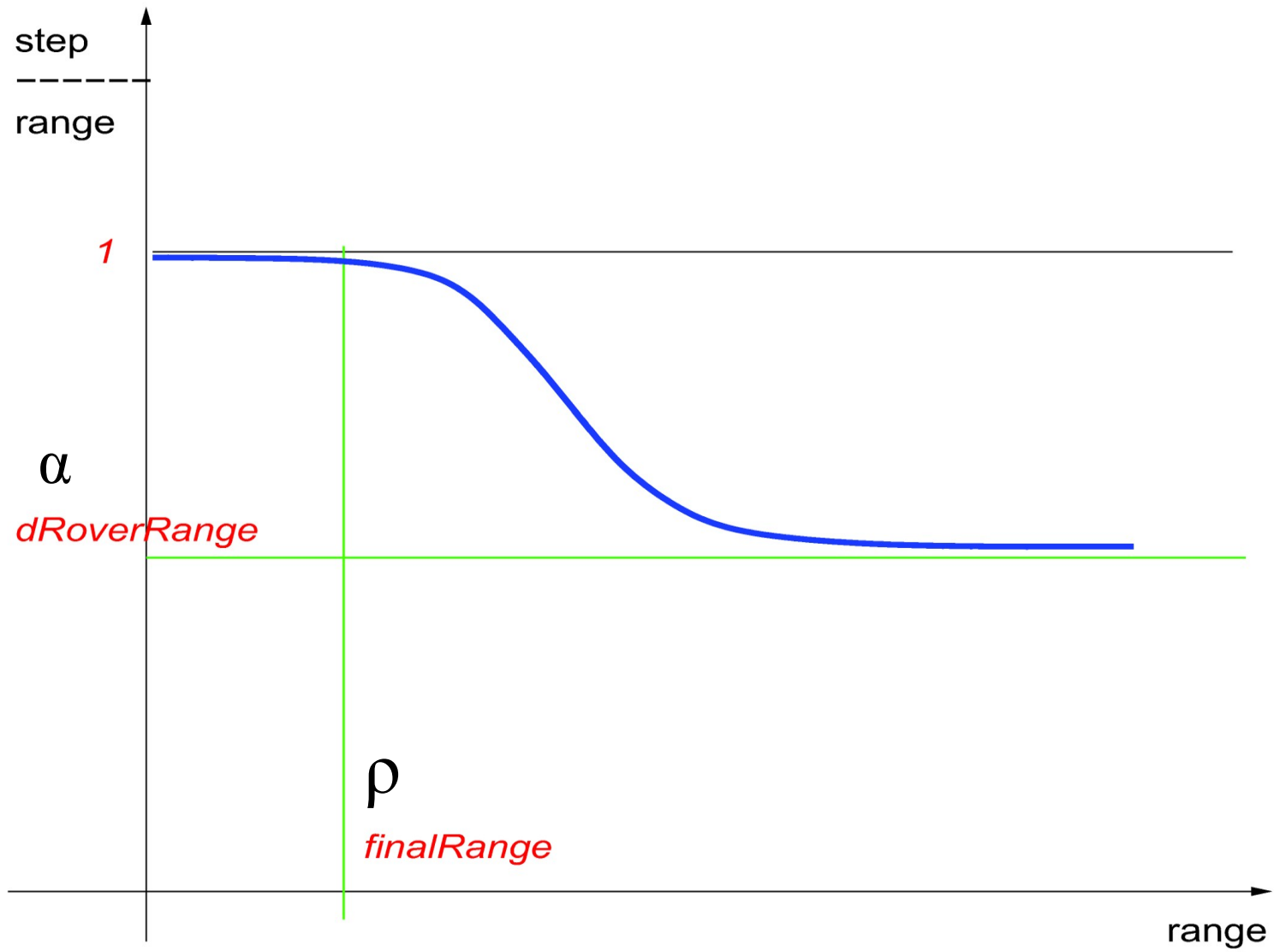
# Ионизация

- Моделирование ионизации в Geant4 имеет непрерывную ( $dE/dx$ ) и дискретную ( $\delta$ -электроны, тормозное излучение) компоненты. Соотношение регулируется значением порога рождения вторичных частиц.
- При моделировании ионизационных потерь на шаге, принимаются во внимание флуктуации потерь
- Баланс «точность — скорость вычислений» достигается использованием функции шага:

$$\text{Длина шага} = \max(\rho, \alpha R(E) + \rho(1-\alpha)(2-\rho/R(E)))$$

где  $\rho$  — минимальная длина шага (1 мм по умолчанию)

$\alpha$  — параметр (по умолчанию 0,2),  $R(E)$  - пробег частицы для данной энергии.





Коррекция функции шага при создании набора процессов:

```
G4eIonisation* eIoni = new G4eIonisation();  
eIoni->SetStepFunction(0.2, 100*um);
```

или в командной строке

```
/process/eLoss/StepFunction 0.2 100 um
```

# Оптические процессы

- Фотон моделируется как оптический, если его длина волны много больше размера атома.
- В Geant4 оптический фотон и гамма-квант – две разные частицы.
- Оптические фотоны в Geant4 моделируются без учета сохранения энергии
- Оптические свойства вещества описываются в объекте `G4MaterialPropertiesTable`, который передается в `G4Material`

# Оптические процессы

## В Geant4 описаны процессы

- излучение Вавилова-Черенкова (G4Cerenkov)
- сцинтилляция (G4Scintillation)
- смещение длины волны (G4OpWLS)
- поглощение фотонов (G4OpAbsorption)
- рассеяние Рэля (G4OpRayleigh)
- граничные эффекты (G4OpBoundaryProcess)

# Конструкторы ЭМ процессов (основные для ФВЭ)

- **G4EmStandardPhysics** (*применяется по умолчанию*)

Разработан для эксперимента ATLAS на LHC

- **G4EmStandardPhysics\_option1** (*наборы с суффиксом \_EMV*)

Разработан для эксперимента CMS на LHC

Более быстрые расчеты, из-за более простой оценки длины шага

Не очень хорош для моделирования ЭМ сэмплинг-калориметров

- **G4EmStandardPhysics\_option2** (*экспериментальный, применяется в QBBC*)

Модель многократного рассеяния WentzelVI

# Конструкторы ЭМ процессов

## (комбинированные ФВЭ+низкие энергии)

- **G4EmStandardPhysics\_option3** (*наборы QGSP\_BIC\_EMU, Shielding*)

Многократное рассеяние: применяется модифицированная модель Урбана

Скорректированы параметры функции шага для ионизации (0.2, 100 мкм)

- **G4EmLivermorePhysics**

Многократное рассеяние: модель Godsmi-Saunderson

Для  $\gamma$ ,  $e^\pm$  ниже 1 GeV — модели Livermore, выше - Standard

- **G4EmPenelopePhysics**

Многократное рассеяние: модель Godsmi-Saunderson

Для  $\gamma$ ,  $e^\pm$  ниже 1 GeV — модели PENELOPE, выше — Standard

- **G4EmStandardPhysics\_option4**

комбинация Penelope и Livermore

# Конструкторы ЭМ процессов (дополнительные)

- **G4EmLivermorePolarizedPhysics**  
Процессы с поляризованными фотонами
- **G4EmExtraPhysics**  
Синхротронное излучение  
Фото- и электроядерные процессы
- **G4OpticalPhysics**  
оптические процессы
- **G4EmDNAPhysics**  
микродозиметрия