

Zastosowanie pakietu Geant4 w fizyce jądrowej Wykład 7

Aleksandra Fijałkowska

6 grudnia 2018

Propozycje projektów

Procesy fizyczne

Cząstki

Procesy

Listy fizyczne

Progi

Uwaga ogólna

Zadanie na dziś,
G4Step

- ▶ Stwórz projekt helowej komory jonizacyjnej (^3He). Określ jej wydajność na detekcję neutronów w zakresie ok 10 keV do 5 MeV.
- ▶ Zamodeluj macierz detektorów germanowych z osłonami antykomptonowskimi. Oszacuj wydajność układu z i bez uwzględnienia add-back-u
- ▶ Zaimplementuj prosty model terapii hadronowej. Porównaj rozkład dawki (ew energii zdeponowanej w fantomie) w przypadku wiązki węglowej i protonowej
- ▶ Stwórz model detektora ze szkła litowego (^6Li Glass), znajdź jego wydajność na detekcję neutronów.
- ▶ Stwórz model detektorów LaBr₃, znajdź funkcję odpowiedzi układów detektorów otaczających radialnie punkt emisji promieniowania γ , emitowanego z jądra wzbudzonego o danej energii kinetycznej i liczbie atomowej.

W naszym projekcie oprócz poruszonych do tej pory klas znajduje się także klasa **PhysicsList**, wywiedziona z klasy abstracyjnej **G4VUserPhysicsList**. Klasa ta służy definiowaniu możliwych cząstek wtórnych, procesów, którym ulegają cząstki oddziałując z materią oraz warunków na produkcję cząstek wtórnych.

Klasa **G4VUserPhysicsList** posiada dwie czysto wirtualne metody **virtual void ConstructParticle()** oraz **virtual void ConstructProcess()**, które muszą być zaimplementowane w klasie pochodnej oraz wirtualną metodę **virtual void SetCuts()**.

- ▶ **virtual void ConstructParticle()** – służy określeniu (zbudowaniu) możliwych cząstek wtórnych
- ▶ **virtual void ConstructProcess()** – określa procesy fizyczne (dla każdej z cząstek)
- ▶ **virtual void SetCuts()** – określa warunki kreacji cząstek wtórnych (metoda nie jest czysto wirtualna, a więc nie musi być implementowana)

ConstructParticle(), czyli definiowanie cząstek

GEANT 4

Aleksandra
Fijałkowska

Propozycje projektów

Procesy fizyczne

Cząstki

Procesy

Listy fizyczne

Progi

Uwaga ogólna

Zadanie na dziś,
G4Step

Metody „budowania” cząstek (czyli wyciągania ich instancji z biblioteki Geant4) zostały już przedstawione przy okazji omawiania klasy

PrimaryGeneratorAction.

Każda cząstka reprezentowana jest przez osobną klasę wywiedzioną z klasy bazowej **G4ParticleDefinition**. Wśród dostępnych cząstek znajdują się:

- ▶ leptony (e , μ , τ oraz odpowiadające im neutrina)
- ▶ hadrony (mezony, jak np. π , K , J itd.; bariony – proton, neutron, Λ , Ω ; jony)
- ▶ bozony (fotony, fotony optyczne, geantino)
- ▶ stany wzbudzone (mezonów, jonów)
- ▶ kwarki, gluony (nigdy nie korzystałam)

Zbudowanie cząstki polega na wywołaniu jednej z trzech statycznych metod, powodujących zwrócenie instancji klasy reprezentującej tę cząstkę. Klasy te są singletonami, czyli posiadają tylko jedną instancję w całym programie.

```
class G4Electron : public G4ParticleDefinition
{
private:
    static G4Electron* theInstance;
    G4Electron(){}
    ~G4Electron(){}

public:
    static G4Electron* Definition();
    static G4Electron* ElectronDefinition();
    static G4Electron* Electron();
};
```

Wszystkie trzy statyczne, publiczne metody robią DOKŁADNIE to samo, mogą być więc wywoływane zamiennie (uwaga na przykłady).

```
void PhysicsList::ConstructParticle()
{
    // leptons
    G4Electron::ElectronDefinition();
    G4Positron::PositronDefinition();
    G4NeutrinoE::NeutrinoEDefinition();
    G4AntiNeutrinoE::AntiNeutrinoEDefinition();
}
```

Analogicznie tworzy się inne, potrzebne cząstki.

Aktywacja cząstek, szybsza ścieżka

Jeśli nie chcemy każdej z cząstek tworzyć osobno możemy posłużyć się pomocniczymi klasami (konstruktorami), które budują wszystkie cząstki wybranego typu (np leptoni).

Przykład z naszego projektu:

```
void EMPysics::ConstructParticle()
{
    G4BosonConstructor bConstructor;
    bConstructor.ConstructParticle();

    G4LeptonConstructor lConstructor;
    lConstructor.ConstructParticle();

    ...
    G4IonConstructor iConstructor;
    iConstructor.ConstructParticle();
}
```

Jak wygląda przykładowa metoda **ConstructParticle()**?

```
void G4BosonConstructor::ConstructParticle()
{
    // pseudo-particles
    G4Geantino::GeantinoDefinition();
    G4ChargedGeantino::ChargedGeantinoDefinition();

    // gamma
    G4Gamma::GammaDefinition();

    // optical photon
    G4OpticalPhoton::OpticalPhotonDefinition();
}
```

Lista dostępnych cząstek

Zbiór zbudowanych cząstek (aktywnych) zawiera klasa **G4ParticleTable**. Tablica jest singletonem, dlatego dostęp do niej odbywa się przez wywołanie statycznej, publicznej metody **GetParticleTable()**, która zwraca wskaźnik do obiektu: **G4ParticleTable* G4ParticleTable::GetParticleTable()**. Klasa ma szereg getterów zwracających instancję klasy reprezentującej cząstkę.

```
G4ParticleDefinition * FindParticle (const G4String &particle_name)
G4ParticleDefinition * FindAntiParticle (const G4String &particle_name)
G4ParticleDefinition * GetIon (G4int atomicNumber,
                              G4int atomicMass,
                              G4double excitationEnergy)
```

Z **G4ParticleTable** korzystaliśmy w klasie **PrimaryGeneratorAction**.

ConstructProcess(), czyli określenie procesów fizycznych

Procesem nazywamy sposób oddziaływania cząstek z materią. Procesy mogą być dyskretne (jak np. rozproszenie Comptona) lub ciągłe (jonizacja). Wszystkie procesy dziedziczą po klasie bazowej **G4VProcess**, ta zaś posiada szereg czysto wirtualnych metod, które muszą być zaimplementowane w klasach pochodnych:

```
virtual G4VParticleChange* PostStepDoIt
virtual G4VParticleChange* AlongStepDoIt
virtual G4VParticleChange* AtRestDoIt
virtual G4double AlongStepGetPhysicalInteractionLength
virtual G4double AtRestGetPhysicalInteractionLength
virtual G4double PostStepGetPhysicalInteractionLength
```

Deweloper może napisać swój własny proces (implementując powyższe metody) i przyporządkować mu pewne cząstki. Własne procesy są traktowane na równi z "wbudowanymi" podczas przeprowadzania cząstki przez materię.

My na zajęciach będziemy wykorzystywać tylko procesy wbudowane w bibliotekę.

ConstructProcess(), czyli określenie procesów fizycznych

GEANT 4

Aleksandra
Fijałkowska

Propozycje projektów

Procesy fizyczne

Cząstki

Procesy

Listy fizyczne

Progi

Uwaga ogólna

Zadanie na dziś,
G4Step

Biblioteka Geant4 oferuje szereg wbudowanych procesów fizycznych różnych typów:

- ▶ elektromagnetyczne
- ▶ hadronowe
- ▶ rozpadu
- ▶ optyczne
- ▶ transportu
- ▶ parametryzowane

► Fotony

- Efekt fotoelektryczny (**G4PhotoElectricEffect**)
- Rozproszenie Comptona (**G4ComptonScattering**)
- Kreacja pary elektron-pozyton (**G4GammaConversion**)
- Rozproszenie Rayleigh-a (**G4RayleighScattering**)
- Kreacja pary $\mu^+ - \mu^-$ (**G4GammaConversionToMuons**)

► Elektrony/pozytony

- Jonizacja (**G4eIonisation**)
- Bremsstrahlung – promieniowanie hamowania (**G4eBremsstrahlung**)
- Rozproszenie (**G4eMultipleScattering**)
- Anihilacja pozytonu + emisja dwóch kwantów promieniowania γ (**G4eplusAnnihilation**)
- Anihilacja pozytonu do dwóch mionów (**G4AnnihiToMuPair**)
- Anihilacja pozytonu do dwóch hadronów (**G4eeToHadrons**)

► Miony

- Jonizacja (**G4Mulonisation**)
- Promieniowanie hamowania (**G4MuBremsstrahlung**)
- Kreacja pary $e^+ e^-$ (**G4MuPairProduction**)
- Rozproszenie (**G4MuMultipleScattering**)

- ▶ Hadrony i jony
 - ▶ Jonizacja (**G4hIonisation**)
 - ▶ Jonizacja dla jonów (**G4ionIonisation**)
 - ▶ Rozproszenie (**G4hMultipleScattering**)
 - ▶ Promieniowanie hamowania (**G4hBremsstrahlung**)
 - ▶ Kreacja pary $e^+ e^-$ (**G4hPairProduction**)
- ▶ Promieniowanie X oraz fotony optyczne (powstanie)
 - ▶ Promieniowanie synchrotronowe (**G4hIonisation**)
 - ▶ Promieniowanie przejścia (**G4TransitionRadiation**)
 - ▶ Promieniowanie Czerenkowa (**G4Cerenkov**)
 - ▶ Scyntyłacja (**G4Scintillation**)

Procesy hadronowe:

- ▶ Rozproszenie elastyczne
- ▶ Rozproszenie nieelastyczne
- ▶ Wychwyt
- ▶ Rozszczepienie
- ▶ Rozpady silne (np. jądrowe)
- ▶ Reakcje fotojądrowe

Rozpady:

- ▶ Rozpady słabe (np. przemiana β)
- ▶ Rozpady elektromagnetyczne
- ▶ Rozpady silne (już wspomniane)

Procesy optyczne:

- ▶ Absorpcja
- ▶ Rozproszenie Rayleigh-a
- ▶ Procesy przejścia przez granicę dwóch ośrodków (dielektryk-dielektryk, dielektryk-metal, dielektryk-ciało czarne)
- ▶ Wavelength Shifting (WLS) – przesunięcie długości fali

Wszystkie procesy są szczegółowo opisane w Physics Reference Manual, dostępny na stronie <http://geant4-userdoc.web.cern.ch/geant4-userdoc/UsersGuides/PhysicsReferenceManual/fo/PhysicsReferenceManual.pdf>

Implementacja

Klasa `PhysicsList` może być wywiedziona z klasy bazowej `G4VUserPhysicsList`. Obowiązkiem dewelopera jest zaimplementowanie czysto wirtualnych metod `ConstructParticle()` (omówionę uprzednio) oraz `ConstructProcess()`. `ConstructProcess()` jest miejscem, w którym rejestrujemy procesy fizyczne odpowiadające uprzednio utworzonym cząstkom.

```
void PhysicsList::ConstructProcess()
{
    AddTransportation();//transposr musi być dodany zawsze
    //przykład procesów EM
    auto aParticleIterator=GetParticleIterator();
    aParticleIterator->reset();
    while( (*aParticleIterator)() )
    {
        G4ParticleDefinition* particle = aParticleIterator->value();
        G4ProcessManager* pmanager = particle->GetProcessManager();
        G4String particleName = particle->GetParticleName();

        if (particleName == "gamma") {
            pmanager->AddDiscreteProcess(new G4GammaConversion());
            pmanager->AddDiscreteProcess(new G4ComptonScattering());
            pmanager->AddDiscreteProcess(new G4PhotoElectricEffect());
            pmanager->AddDiscreteProcess(new G4RayleighScattering());
        } else if (particleName == "e+") {
            pmanager->AddProcess(new G4eMultipleScattering(),-1, 1, 1);
            pmanager->AddProcess(new G4eIonisation(),      -1, 2, 2);
            pmanager->AddProcess(new G4eBremsstrahlung(),   -1, 3, 3);
            pmanager->AddProcess(new G4eplusAnnihilation(), 0,-1, 4);
        }
        ...
    }
}
```

W celu zachowania przejrzystości zachęcam do stworzenia osobnych metod wprowadzających poszczególne typy oddziaływań. Innym rozwiązaniem (zastosowanym w naszym przykładzie) jest dziedziczenie po **G4VModularPhysicsList**.

W takiej sytuacji w konstruktorze klasy **PhysicsList** „rejestrujemy” obiekty reprezentujące kolejne rodzaje oddziaływań (metoda **RegisterPhysics**).

Argumentem **PhysicsList** jest wskaźnik do obiektów wywiedzionych z klasy bazowej **G4VPhysicsConstructor**, która podobnie do **G4UserPhysicsList** posiada wirtualne metody **ConstructParticle()** i **ConstructProcess()**, które należy zaimplementować w sposób analogiczny.

Wybranie drugiej ścieżki zwalnia nas z obowiązku dodawania procesu transportu (jest on dodany automatycznie).

Biblioteka Geant4 oferuje gotowe listy fizyczne, obejmujące zarówno produkcję cząstek, jak i rejestrację procesów fizycznych. Niektórzy rekomendują wykorzystanie list fizycznych na początku przygody z pakietem Geant4.

Dostępne listy fizyczne można znaleźć pod adresem:

<https://geant4.web.cern.ch/node/155> oraz

<http://irfu.cea.fr/dphn/Spallation/physlist.html>

Przykład dołączenia procesów fizycznych w formie gotowej listy:

```
G4int verbose = 1;
FTFP_BERT* physlist = new FTFP_BERT(verbose);
runManager->SetUserInitialization(physlist);

G4int verbose = 1;
G4PhysListFactory factory;
G4VModularPhysicsList* physlist = factory.GetReferencePhysList("FTFP_BERT_EMV");
physlist.SetVerboseLevel(verbose);
runManager->SetUserInitialization(physlist);
```

Proszę zwrócić uwagę, że poniższe fragmenty kodu powinny zostać umieszczone w funkcji „main()”.

Próg powstania cząstek wtórnych – **SetCut()**

GEANT 4

Aleksandra
Fijałkowska

Propozycje projektów

Procesy fizyczne

Cząstki

Procesy

Listy fizyczne

Progi

Uwaga ogólna

Zadanie na dziś,
G4Step

Każdy proces ma wewnętrzny próg powstawania cząstek wtórnych, każda cząstka jest „trakowana” do końca zasięgu, określonego właśnie w metodzie **SetCut()**.

Użytkownik określa minimalny ZASIĘG cząstki, a nie jej energię. Ta jest wyznaczana w oparciu o zadany zasięg indywidualnie dla każdego materiału.

Domyślną wartością progu dla wszystkich cząstek jest 1,0 mm.

Każdy projekt wymaga osobnego przemyślenia potrzebnych procesów fizycznych.

Oprócz procesów Geant4 oferuje różne modele mniej lub bardziej adekwatnych do naszego problemu (np. NeutronHP).

Dobrym początkiem przygody jest skorzystanie z gotowej listy lub poszukanie przykładu zbliżonego do naszych potrzeb.

- ▶ Znajdź całkowitą energię zdeponowaną w kręgosłupie fantomu oraz narysować rozkład czasu oddziaływań. Oszacować ilu średnio oddziaływaniom ulega kwant promieniowania γ w kręgosłupie.
- ▶ Narysuj rozkład liczby detektorów, które zarejestrowały promieniowanie jonizujące w jednym zdarzeniu
- ▶ Narysuj rozkład korelacji pomiędzy detektorami, które "wypaliły" (widmo 2D).