Zastosowanie pakietu Geant4 w fizyce jądrowej Wykład 3

Aleksandra Fijałkowska

26 października 2018

Sterowanie symulacją

Sterowanie wykonaniem symulacji w środowisku GEANT4:

- Za pomocą kodu w programie main. Każda zmiana w sposobie realizacji symulacji wymaga zmiany kodu i jego ponownej kompilacji.
- Za pomocą komend wpisywanych w oknie UI. Doprowadzenie programu do realizowania pożądanej symulacji z ładnym wyświetlaniem wymaga wpisania kilkunastu komend, które przy tym rozwiązaniu należy mieć w pamięci.
- Za pomocą skryptów. Uzgodniliśmy, że będziemy używać dwóch typów skryptów:
  1. skrypt "domyślny" - "vis.mac", który jest wczytywany za każdym razem, gdy użytkownik nie poda argumentu wejściowego. Skrypt będzie zawierał podstawowe komendy dotyczące wyświetlania.
  2. skrypt dostosowany do konkretnej symulacji, którego nazwa będzie podawana podczas uruchomienia programu. To rozwiązanie jest stosowane najczęściej, gdy nie chcemy wyświetlać przebiegu symulacji, zależy nam na jak największej wydajności i szybkości działania programu.

Realizacja trzeciej strategii

1. Stworzenie instancji User Interface Manager:

```
G4UImanager* UImanager = G4UImanager::GetUIpointer();
```

2. Stworzenie i zainicjowanie instancji klasy obsługującej wizualizację:

```
G4VisManager* visManager = new G4VisExecutive;
visManager->Initialize();
```

3. Stworzenie instancji klasy obsługującej interfejs zgodny ze zdefiniowaną zmienną środowiskową (np G4UI_USE_QT):

```
G4UIExecutive* ui = new G4UIExecutive(argc, argv);
```

4. Sprawdzenie liczby podanych argumentów wejściowych, w przypadku braku argumentu uruchomienie skryptu "vis.mac", zaś w przeciwnym sczytanie nazwy skryptu i uruchomienie go:

```
if(argc == 1)
    UImanager->ApplyCommand("/control/execute ../vis.mac");
else
{
    G4String filename = argv[1];
    UImanager->ApplyCommand("/control/execute " + filename);
}
```

5. Rozpoczęcie sesji ui:

```
ui->SessionStart();
```

Podstawowe polecenia sterujące symulacją


```
/control/   UI control commands.
/units/   Available units.
/analysis/   ...Title not available...
/process/   Process Table control commands.
/particle/   Particle control commands.
/geometry/   Geometry control commands.
/tracking/   TrackingManager and SteppingManager control commands.
/event/   EventManager control commands.
/cuts/   Commands for G4VUserPhysicsList.
/run/   Run control commands.
/random/   Random number status control commands.
/gun/   Particle Gun control commands.
/material/   Commands for materials
/vis/   Visualization commands.
/gui/   UI interactors commands.
```

Przykładowy plik vis.mac

```
/vis/open OGL 600x600-0+0
/vis/drawVolume
/vis/scene/add/trajectories smooth
/vis/scene/endOfEventAction accumulate
/vis/modeling/trajectories/create/drawByCharge
/vis/modeling/trajectories/drawByCharge-0/default/setDrawStepPts true
/vis/modeling/trajectories/drawByCharge-0/default/setStepPtsSize 2
/vis/scene/add/axes 0 0 0 2.0 m
```

użyj openGL do wyświetlania
narysuj bryły zdefiniowane w kodzie
rysuj tory cząstek
wyświetlaj wyniki wielu zdarzeń (Event) na jednym obrazku
nadaj torom cząstek różne kolory w zależności od ich ładunku
rysuj punkty interakcji (końce kroków) w postaci punktów
określa rozmiar punktu oznaczającego koniec kroku
dodaj osie w punkcie (0,0,0) i długości 2 m

Tworzenie geometrii układu detekcyjnego

Klasą bazową dla klasy w której implementuje się geometrię jest klasa G4VUserDetectorConstruction

Opis klasy z pliku nagłówkowego:
This is the abstract base class of the user's mandatory initialization class for detector setup. It has only one pure virtual method Construct() which is invoked by G4RunManager when it's Initialize() method is invoked. The Construct() method must return the G4VPhysicalVolume pointer which represents the world volume.

Klasa ta, nazwijmy ją DetectorConstruction musi być więc tworzona w pliku głównym (main):

```
G4RunManager * runManager = new G4RunManager;
runManager->SetUserInitialization(new DetectorConstruction());
```

Klasa musi implementować interfejs G4VUserDetectorConstruction (czyli po nim dziedziczyć) oraz musi **obowiązkowo** implementować czysto wirtualną metodę G4VPhysicalVolume* Construct(). To właśnie w tej metodzie musi zostać stworzony świat (World) i wszystkie jego elementy.

Tworzenie geometrii układu detekcyjnego


```
#ifndef DetectorConstruction_H
#define DetectorConstruction_H 1

#include "G4VUserDetectorConstruction.hh"
#include "G4LogicalVolume.hh"
#include "G4VPhysicalVolume.hh"

class DetectorConstruction : public G4VUserDetectorConstruction
{
  public:
    DetectorConstruction(); //konstuktor
    virtual ~DetectorConstruction(); //destruktor
    virtual G4VPhysicalVolume* Construct(); //tu będzie wszystko budowane

  private:
    G4LogicalVolume* worldLogic; //świat
    G4VPhysicalVolume* ConstructWorld();
    //metoda w której budujemy duże pudło - świat
    void ConstructHumanFantom();
    //przykładowa metoda budująca jakiś element geometrii

};

#endif
```

Geometria, G4VSolid

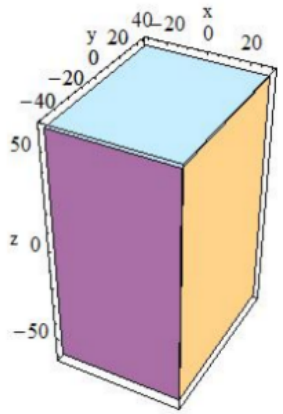
Kształt i rozmiar - G4VSolid.

Wszystkie dostępne bryły i kształty dziedziczą po wspólnym typie G4VSolid.

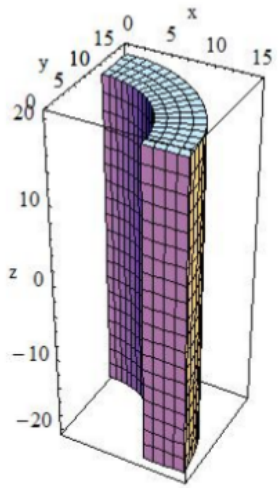
Biblioteki GEANT4 dostarczają 23 podstawowe kształty, od prostopadłościanu (G4Box) i walca (G4Tubs) po dużo bardziej wyszukane.

Wszystkie kształty są zademonstrowane w *Geant4 User's Guide for Application Developers*

```
G4Box(const G4String& pName,
            G4double  pX,
            G4double  pY,
            G4double  pZ)
```




```
G4Tubs(const G4String& pName,
            G4double  pRMin,
            G4double  pRMax,
            G4double  pDz,
            G4double  pSPhi,
            G4double  pDPhi)
```



Geometria, G4VSolid cd.

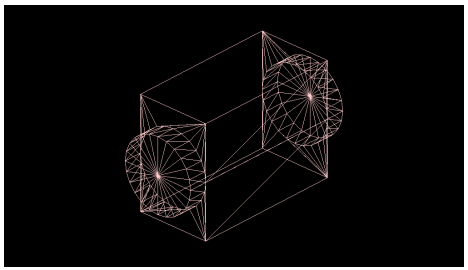
Dodatkowo GEANT4 dostarcza narzędzi do logicznego składania dwóch różnych kształtów - tworzenia ich sumy, iloczynu oraz różnicy.

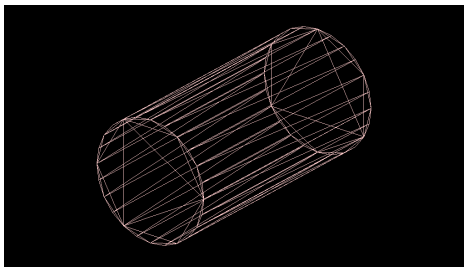
```
G4Box* box = new G4Box("Box",20*mm,30*mm,40*mm);
//G4Box (const G4String &pName, G4double pX, G4double pY, G4double pZ)
G4Tubs* cyl = new G4Tubs("Cylinder",0,20*mm,50*mm,0,360*deg);
//G4Tubs (const G4String &pName, G4double pRMin,
          G4double pRMax, G4double pDz, G4double pSPhi, G4double pDPhi)

G4UnionSolid* un = new G4UnionSolid("Box+Cylinder", box, cyl);
G4IntersectionSolid* intersec = new G4IntersectionSolid("Box*Cylinder",
                                                        box, cyl);
G4SubtractionSolid* subtr = new G4SubtractionSolid("Box-Cylinder", box, cyl);
```

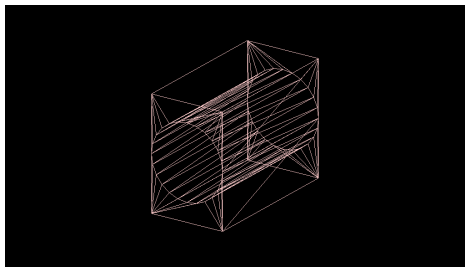
Geometria, G4VSolid cd.

Dodatkowo GEANT4 dostarcza narzędzi do logicznego składania dwóch różnych kształtów - tworzenia ich sumy, iloczynu oraz różnicy.

```
G4Box* box = new G4Box("Box",20*mm,30*mm,40*mm);
//G4Box (const G4String &pName, G4double pX, G4double pY, G4double pZ)
G4Tubs* cyl = new G4Tubs("Cylinder",0,20*mm,50*mm,0,360*deg);
//G4Tubs (const G4String &pName, G4double pRMin,
          G4double pRMax, G4double pDz, G4double pSPhi, G4double pDPhi)

G4UnionSolid* un = new G4UnionSolid("Box+Cylinder", box, cyl);
G4IntersectionSolid* intersec = new G4IntersectionSolid("Box*Cylinder",
                                                        box, cyl);
G4SubtractionSolid* subtr = new G4SubtractionSolid("Box-Cylinder", box, cyl);
```



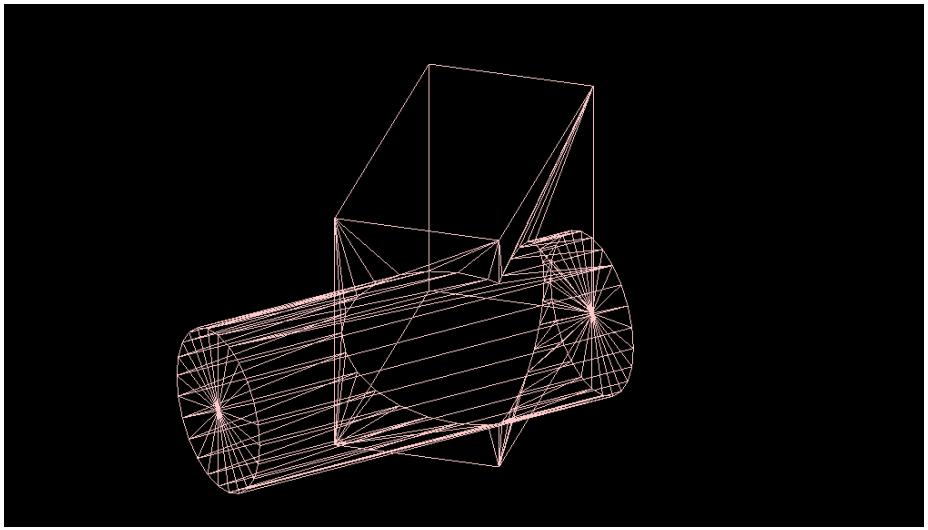




Geometria, G4VSolid cd.

Bryły, na których operujemy działaniami logicznymi mogą być dodatkowo przesuwane i obracane.

```
G4Box* box = new G4Box("Box",20*mm,30*mm,40*mm);
G4Tubs* cyl = new G4Tubs("Cylinder",0,20*mm,50*mm,0,360*deg);

G4RotationMatrix* yRot = new G4RotationMatrix;
yRot->rotateY(M_PI/4.*rad);
G4ThreeVector zTrans(0, 0, 50);
G4UnionSolid* unionMoved = new G4UnionSolid("Box+CylinderMoved",
                                            box, cyl, yRot, zTrans);
```



Geometria, G4LogicalVolume

Pozostałe własności elementu konstrukcyjnego - G4LogicalVolume.

```
G4LogicalVolume(G4VSolid* pSolid,
                G4Material* pMaterial,
          const G4String& name,
                G4FieldManager* pFieldMgr=0,
                G4VSensitiveDetector* pSDetector=0,
                G4UserLimits* pULimits=0,
                G4bool optimise=true);
// Constructor. The solid and material pointer must be non null.
// The parameters for field, detector and user limits are optional.
// The volume also enters itself into the logical volume Store.
// Optimisation of the geometry (voxelisation) for the volume
// hierarchy is applied by default. For parameterised volumes in
// the hierarchy, optimisation is -always- applied.
```

Bryła logiczna posiada więc:

- Kształt i rozmiar (G4VSolid)
- Materiał - o tym za moment
- Nazwę
- Zdefiniowane pole magnetyczne (opcjonalnie)
- Informację o potencjalnej czułości (opcjonalnie, w praktyce najczęściej definiowane później)
- Określone limity na produkcję cząstek (opcjonalnie)

Geometria, G4Material

GEANT4 dostarcza 3 typy związane z materiałami

- G4Isotope – reprezentuje izotop, a więc zbiór atomów o określonej liczbie atomowej i masowej
- G4Element – reprezentuje pierwiastek chemiczny, czyli zbiór atomów o określonej liczbie atomowej. G4Element ma pola klasy takie jak: nazwa, symbol, liczba atomowa, liczba izotopów oraz wektor trzymający wskaźniki do tych izotopów, wektor częstości występowania tych izotopów w przyrodzie (jako średnia liczba atomów danego izotopu na jednostkę objętości). Obiekty G4Element możemy utworzyć sami (posługując się uprzednio stworzonymi G4Isotope), lub skorzystać z bazy NIST (przykład poniżej).
- G4Material – reprezentuje ostateczny materiał, z którego zbudowane są elementy konstrukcyjne symulowanego układu. Własności materiału to: nazwa, gęstość, stan skupienia, temperatura, ciśnienie, pierwiastki z którego jest zbudowany oraz ich proporcje (wrażone w w formie liczby atomów w cząsteczce lub jako procent wagowy). Materiał może być stworzony przez użytkownika, albo wyciągnięty z bazy NIST.

Geometria, G4Material, przykłady, G4Isotope i G4Element

Geant4 User's Guide for Application Developers s. 139-142

```
G4String name, symbol;
G4double a, z, density;
G4int iz, n;
//a=mass of a mole
//z=mean number of protons;
//iz=nb of protons in an isotope;
//n=nb of nucleons in an isotope;
G4int ncomponents;
G4double abundance;
G4UnitDefinition::BuildUnitsTable();

a = 1.01*g/mole;
G4Element* elH = new G4Element(name="Hydrogen",symbol="H" , z= 1., a);

a = 12.01*g/mole;
G4Element* elC = new G4Element(name="Carbon" ,symbol="C" , z= 6., a);
...
a = 207.20*g/mole;
G4Element* elPb = new G4Element(name="Lead" ,symbol="Pb", z=82., a);

// define an Element from isotopes, by relative abundance
G4Isotope* U5 = new G4Isotope(name="U235", iz=92, n=235, a=235.01*g/mole);
G4Isotope* U8 = new G4Isotope(name="U238", iz=92, n=238, a=238.03*g/mole);
G4Element* elU = new G4Element(name="enriched Uranium", symbol="U", ncomponents=2);
elU->AddIsotope(U5, abundance= 90.*perCent);
elU->AddIsotope(U8, abundance= 10.*perCent);
```

Geometria, G4Material, przykłady cd., G4Material

Geant4 User's Guide for Application Developers s. 139-142

```
// define simple materials
density = 2.700*g/cm3;
a = 26.98*g/mole;
G4Material* Al = new G4Material(name="Aluminum", z=13., a, density);

// define a material from elements.
//case 1: chemical molecule
density = 1.000*g/cm3;
G4Material* H2O = new G4Material(name="Water", density, ncomponents=2);
H2O->AddElement(elH, natoms=2);
H2O->AddElement(elO, natoms=1);

//case 2: mixture by fractional mass
density = 1.290*mg/cm3;
G4Material* Air = new G4Material(name="Air " , density, ncomponents=2);
Air->AddElement(elN, fractionmass=0.7);
Air->AddElement(elO, fractionmass=0.3);

//case 3: define a material from elements and/or others materials
density = 0.200*g/cm3;
G4Material* Aerog = new G4Material(name="Aerogel", density, ncomponents=3);
Aerog->AddMaterial(SiO2, fractionmass=62.5*perCent);
Aerog->AddMaterial(H2O , fractionmass=37.4*perCent);
Aerog->AddElement (elC , fractionmass= 0.1*perCent);
```

Geometria, G4Material, przykłady cd., gazy

Geant4 User's Guide for Application Developers s. 139-142

```
// examples of gas in non STP conditions
density = 27.*mg/cm3;
pressure = 50.*atmosphere;
temperature = 325.*kelvin;
G4Material* CO2 = new G4Material(name="Carbonic gas", density, ncomponents=2,
                                 kStateGas,temperature,pressure);
CO2->AddElement(elC, natoms=1);
CO2->AddElement(elO, natoms=2);

density = 0.3*mg/cm3;
pressure = 2.*atmosphere;
temperature = 500.*kelvin;
G4Material* steam = new G4Material(name="Water steam ", density, ncomponents=1,
                                   kStateGas,temperature,pressure);
steam->AddMaterial(H2O, fractionmass=1.);

// What about vacuum ? Vacuum is an ordinary gas with very low density
density = universe_mean_density; //from PhysicalConstants.h
pressure = 1.e-19*pascal;
temperature = 0.1*kelvin;
new G4Material(name="Galactic", z=1., a=1.01*g/mole, density,
               kStateGas,temperature,pressure);
```

Geometria, G4Material, przykłady cd., baza NIST

Geant4 User's Guide for Application Developers s. 139-142

```
G4NistManager* man = G4NistManager::Instance();

// define elements
G4Element* C = man->FindOrBuildElement("C");
G4Element* Pb = man->FindOrBuildMaterial("Pb");

// define pure NIST materials
G4Material* Al = man->FindOrBuildMaterial("G4_Al");
G4Material* Cu = man->FindOrBuildMaterial("G4_Cu");

// define NIST materials
G4Material* H2O = man->FindOrBuildMaterial("G4_WATER");
G4Material* Sci = man->FindOrBuildMaterial("G4_PLASTIC_SC_VINYLTOLUENE");
G4Material* SiO2 = man->FindOrBuildMaterial("G4_SILICON_DIOXIDE");
G4Material* Air = man->FindOrBuildMaterial("G4_AIR");
```

Pełna lista dostępnych materiałów:

http://geant4-userdoc.web.cern.ch/geant4-userdoc/UsersGuides/ForApplicationDeveloper/html/Appendix/materialNames.html

G4LogicalVolume

Posiadając wskaźnik do potrzebnego materiału możemy kontynuować budowanie elementu układu – stworzyć instancję klasy G4LogicalVolume

```
G4LogicalVolume(G4VSolid* pSolid,
                G4Material* pMaterial,
          const G4String& name,
                G4FieldManager* pFieldMgr=0,
                G4VSensitiveDetector* pSDetector=0,
                G4UserLimits* pULimits=0,
                G4bool optimise=true);
```

Przykład:

```
G4double radiusMin = 0;
G4double radiusMax = 60*cm;
G4double length = 170*cm;
G4Tubs* fantomSolid = new G4Tubs("fantomSolid", radiusMin, radiusMax,
                                 length/2., 0*deg, 360*deg);

G4LogicalVolume* fantomLogVol = new G4LogicalVolume(fantomSolid, water,
                                                    "fantomLogVol");
```

Stworzenie obiektu typu G4LogicalVolume jest dobrym momentem aby określić sposób wyświetlania budowanego elementu – klasa G4VisAttributes

G4VisAttributes

G4VisAttributes reprezentuje cechy wyświetlania danego obiektu (widoczność, kolor, przezroczystość, widoczność wewnętrznych krawędzi itp).
Konstruktory:

```
G4VisAttributes (G4bool visibility) \\argumentem jest flaga widoczności
G4VisAttributes (const G4Colour &colour) \\argumentem jest kolor
G4VisAttributes (G4bool visibility, const G4Colour &colour)
\\argumentami są jest flaga widoczności i kolor
```

Przydatne metody:

```
void SetColour (const G4Colour &)
void SetLineWidth (G4double)
void SetForceSolid (G4bool) //wyświetlanie jako "pełną bryłę"
void SetForceAuxEdgeVisible (G4bool) //widoczność wewnętrznych krawędzi
```

Klasa G4Colour:

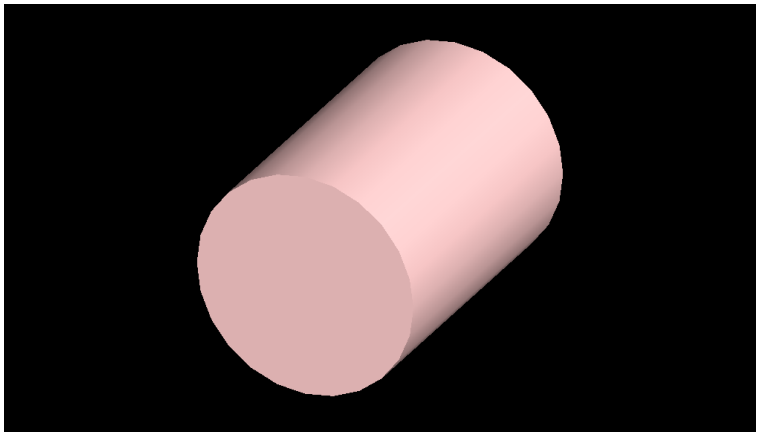
```
G4Colour (G4double r=1., G4double g=1., G4double b=1., G4double a=1.)
```

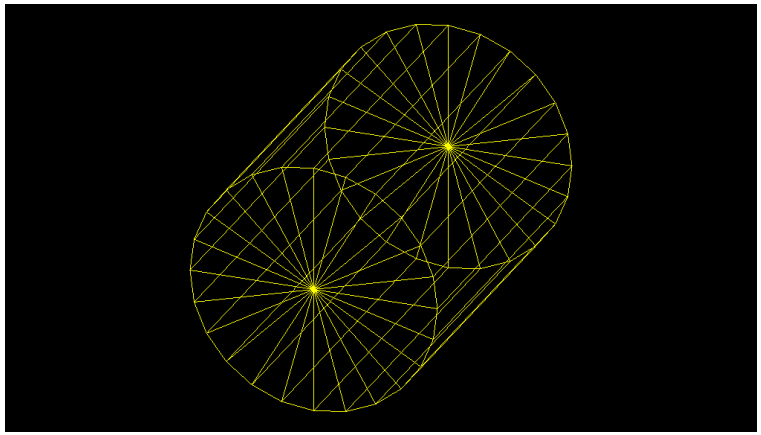
Do tego szereg **statycznych publicznych** metod:

```
static G4Colour  White ()
static G4Colour  Grey ()
static G4Colour  Black ()
static G4Colour  Brown ()
static G4Colour  Red ()
static G4Colour  Green ()
static G4Colour  Blue ()
static G4Colour  Cyan ()
static G4Colour  Magenta ()
static G4Colour  Yellow ()
```

G4VisAttributes, przykłady

```
G4LogicalVolume* fantomLogVol = new G4LogicalVolume(fantomSolid, water,
                                                    "fantomLogVol");

G4VisAttributes* fantomVisAtt = new G4VisAttributes( G4Colour(1,0.8,0.8));
fantomVisAtt->SetForceAuxEdgeVisible(true);
fantomVisAtt->SetForceSolid(true);
fantomLogVol->SetVisAttributes(fantomVisAtt);

G4VisAttributes* fantomVisAtt = new G4VisAttributes( G4Colour::Yellow ());
fantomVisAtt->SetForceAuxEdgeVisible(true);
fantomLogVol->SetVisAttributes(fantomVisAtt);
```





G4PhysicalVolume, obszar fizyczny

Stworzony obszar logiczny należy gdzieś umieścić w przestrzeni. Każdy obiekt typu G4LogicalVolume, **z wyjątkiem świata**, musi mieć bryłę matkę, w której zostanie umieszczony. Świat jest "główną" matką.
Umieszczenie obszaru logicznego w przestrzeni jest jednoznaczne z utworzeniem instancji klasy G4PhysicalVolume.
Konstruktor klasy G4PhysicalVolume:

```
G4VPhysicalVolume (G4RotationMatrix *pRot, const G4ThreeVector &tlate,
                   const G4String &pName, G4LogicalVolume *pLogical,
                   G4VPhysicalVolume *pMother)
```

Ten sam skutek wywiera wywołanie konstruktora G4PVPlacement, który dziedziczy (a więc rozszerza) G4PhysicalVolume:

```
G4PVPlacement (G4RotationMatrix *pRot, const G4ThreeVector &tlate,
               G4LogicalVolume *pCurrentLogical, const G4String &pName,
               G4LogicalVolume *pMotherLogical, G4bool pMany,
               G4int pCopyNo, G4bool pSurfChk=false)
```

G4PhysicalVolume, obszar fizyczny

```
G4PVPlacement (G4RotationMatrix *pRot, const G4ThreeVector &tlate,
               G4LogicalVolume *pCurrentLogical, const G4String &pName,
               G4LogicalVolume *pMotherLogical, G4bool pMany,
               G4int pCopyNo, G4bool pSurfChk=false)
```

- G4RotationMatrix *pRot – macierz rotacji, może być zerowy jeśli nie chcemy rotować bryły.
- const G4ThreeVector &tlate – wektor przesunięcia środka lokalizowanej bryły względem środka bryły matki.
- G4LogicalVolume *pCurrentLogical – wskaźnik do obszaru logicznego, który chcemy umieścić.
- const G4String &pName – nazwa obszaru fizycznego.
- G4VPhysicalVolume *pMotherLogical – wskaźnik do obszaru logicznego bryły matki. Świat ma w tym miejscu wskaźnik zerowy.
- G4bool pMany – cytując za dokumentacją GEANT4 Ćurrently NOT used. For future use to identify if the volume is meant to be considered an overlapping structure, or not."
- G4int pCopyNo – numer kopii, jeśli ta sama bryła logiczna jest umieszczana w przestrzeni więcej niż jeden raz warto jest ją "ponumerować". Daje to możliwość dostania się do własności interesującej bryły.
- G4bool pSurfChk – oznaczenie jako prawda aktywuje sprawdzanie, czy bryła nie pokrywa się z innymi, już ulokowanymi.

G4PhysicalVolume, obszar fizyczny


```
G4PVPlacement::G4PVPlacement( const G4Transform3D &Transform3D,
                              const G4String& pName,
                              G4LogicalVolume *pLogical,
                              G4VPhysicalVolume *pMother,
                              G4bool pMany,
                              G4int pCopyNo,
                              G4bool pSurfChk )
```

Skorzystanie z tej wersji konstruktora klasy G4PVPlacement jest użyteczne gdy dodajemy jakiś element wieloktornie w pętli. Nie musimy się wtedy martwić o tworzenie nowych wskaźników do G4RotationMatrix

```
G4ThreeVector pos(0.0, 10*cm,0.0);
G4RotationMatrix rot;
rot.rotateZ(-90*deg);
G4Transform3D transform(rot, centerPosition);
```

G4PhysicalVolume, obszar fizyczny, przykład

Matka:

```
G4VPhysicalVolume* DetectorConstruction::ConstructWorld()
{
    G4double worldX = 5.*m;
    G4double worldY = 5.*m;
    G4double worldZ = 5.*m;
    G4Material* vaccum = new G4Material("GalacticVacuum", 1., 1.01*g/mole,
                            CLHEP::universe_mean_density,
                            kStateGas, 3.e-18*pascal, 2.73*kelvin);
    G4Box* worldSolid = new G4Box("worldSolid",worldX,worldY,worldZ);
    worldLogic = new G4LogicalVolume(worldSolid, vaccum,"worldLogic", 0,0,0);
    G4VPhysicalVolume* worldPhys = new G4PVPlacement(0, G4ThreeVector(),
                                          worldLogic, "world", 0, false, 0);
    return worldPhys;
}
```

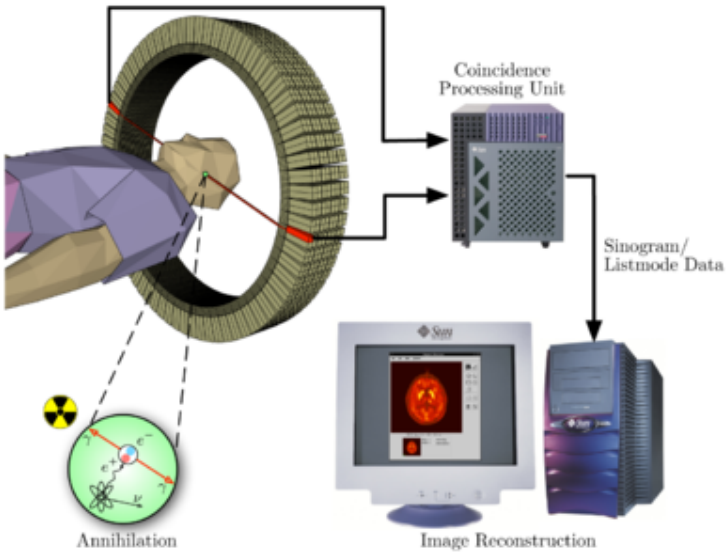
Fantom:

```
G4Tubs* fantomSolid = new G4Tubs("fantomSolid", radiusMin, radiusMax,
                                 length/2., 0*deg, 360*deg);
G4LogicalVolume* fantomLogVol = new G4LogicalVolume(fantomSolid, water,
                                                    "fantomLogVol");
G4RotationMatrix* rot = new G4RotationMatrix;
rot->rotateX(M_PI/4.*rad);
G4ThreeVector pos(0,0,10*cm);
new G4PVPlacement(rot, pos, fantomLogVol, "fantom", worldLogic, 0, 0);
```

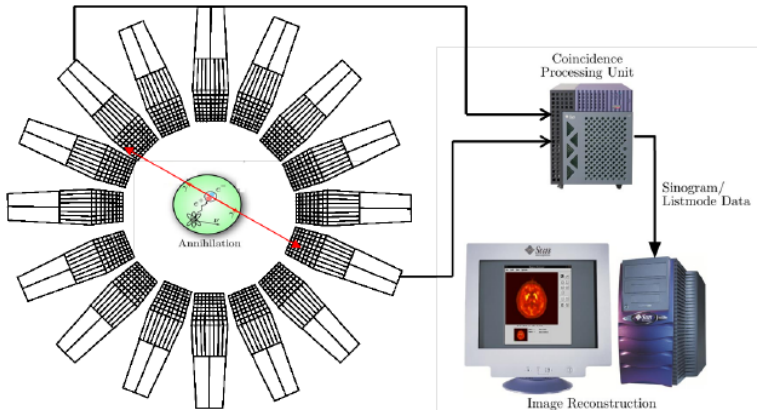
PET

Zaprogramuj uproszczoną geometrię skanera PET.

- Średnica wewnętrzna torusa otaczającego pacjenta wynosi 80 cm, przy czym 1 cm stanowi warstwa polipropylenu
- Układ detekcyjny składa się z 1 pierścienia (w rzeczywistości jest więcej!)
- Pierścienie zbudowane są z kryształów NaI o rozmiarach 8x8x10 cm (szerokość x wysokość x grubość)
- Każdy kryształ otoczony jest 2 mm warstwą teflonu
- Całość "zanurzona"jest w polipropylenie



https://pl.wikipedia.org



https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-of-the-PET-principle_fig5_266887992

PET

Kroki:

- Dodaj kręgosłup do pacjenta (na rozgrzewkę)
- Stwórz polipropylenowy torus
- Zbuduj pojedynczy detektor (teflon + NaI)
- Rozmieść detektory w formie pierścienia w warstwie polipropylenu (pamiętaj o numerowaniu kopii!)
- Umieść pierścień, wraz z detektorami wewnątrz świata
- Rozdziel elementy konstrukcyjne na osobne klasy (np klasa fantom i klasa pierścień). Proponuję, aby każda klasa, która będzie trzymać elementy geometrii miała publiczną metodę:
  void Place(G4RotationMatrix *pRot,
  G4ThreeVector &tlate,
  const G4String &pName,
  G4LogicalVolume *pMotherLogical,
  G4int pCopyNo = 0);