



Geant4 @ NCBJ, 2022

4. Wyniki symulacji

Primitive Scorer

Przemysław Adrich



NARODOWE
CENTRUM
BADAŃ
JĄDROWYCH
ŚWIERK



Źródła

Ten w wykład w dużej mierze bazuje na materiałach opracowanych przez

M.Asai

na potrzeby oficjalnych kursów Geant4 w CERN. W szczególności kursu:

[Geant4 beginners at CERN, Geneva \(Switzerland\), 25-31 May 2021](#)

Plan kursu

Wykłady

1. Wstęp do Geant4. Rys historyczny. Zastosowania. Przegląd możliwości. Instalacja. Dokumentacja.
2. Podstawowa struktura kodu. Hierarchie klas. Klasy użytkownika (obowiązkowe, opcjonalne).
~~Interfejsy. System jednostek. Liczby losowe. Śledzenie przebiegu symulacji („verbosity”).~~
3. Geometria i materiały.
4. **Detektory typu „primitive scorer”, „probe”.**
5. Detektory użytkownika („Hits”).
6. Obiekty typu „UserAction” jako detektory. (Phasespace). Histogramy i n-tuple.
7. Źródło. Fizyka. Wizualizacja.
8. Niepewność statystyczna w obliczeniach Monte Carlo. Geant4 na klastrze CiŚ.

Przegląd zagadnień pozostawionych na przyszłość:

- wielowątkowość („multithreading”),
- własne interfejsy („messengers”),
- interfejs Roota (histogramy, n-tuple), interfejs python
- redukcja wariancji, „physics biasing”, „event biasing”, „geometrical biasing”,
- fotony optyczne, fizyka hadronowa, procesy i cząstki użytkownika,
- obcięcia energetyczne zależne od cząstki, regionu geometrii,
- zmiany geometrii i detektorów w trakcie wykonania programu,
- pole EM,
- światy równoległe,
- trackInformation, eventInformation, runInformation
- „stacking”,
- fast simulation,
- import geometrii z CAD,
- periodic boundary conditions,
- specjalistyczne kody bazujące na Geant4 (G4Beamline, GAMOS, GATE ...),
- ...

* „Monte Carlo First Run”
(wykład bonusowy)

Geant4 – wprowadzenie. Co jest potrzebne by zbudować aplikację?

- Geant4 jest zestawem bibliotek i interfejsów. Użytkownik musi zbudować własną aplikację.
- W tym celu trzeba:
 - Zdefiniować układ:
 - geometria, materiały
 - Zdefiniować fizykę, która ma być stosowana w symulacji:
 - Cząstki, procesy/modele procesów fizycznych
 - Progi produkcji
 - Określić od czego mają zaczynać się zdarzenia:
 - Generator cząstek pierwotnych (źródło)
 - **Zadbać o wydobycie użytecznych informacji**
- Opcjonalnie można również:
 - Wizualizować geometrię, trajektorie, wyniki fizyczne
 - Dodać interfejs użytkownika (np. graficzny)
 - Zdefiniować własne komendy, itd., itd.

Żeby to wszystko osiągnąć musimy poznać podstawową strukturę kodu Geant4

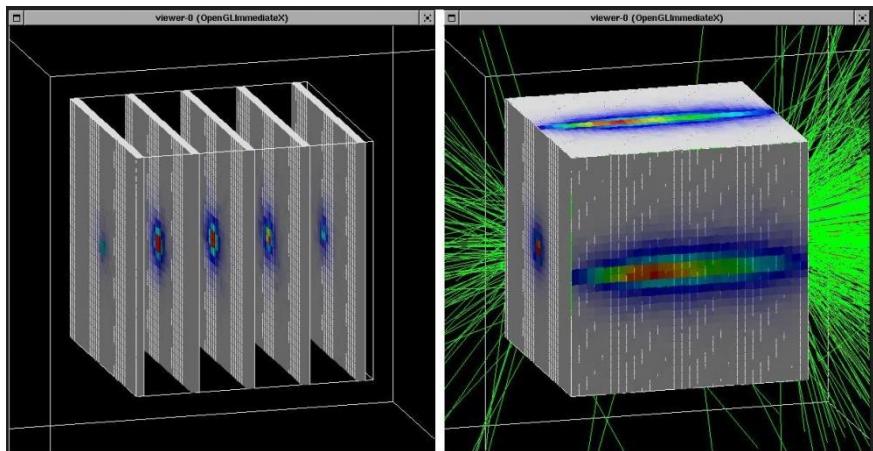
Geant4. Dostęp i gromadzenie wyników symulacji

- Standardowo symulacja przebiega bez gromadzenia jakichkolwiek wyników.
- Użytkownik musi sam określić jakie dane i w jaki sposób chce gromadzić.
- Znam 3½ zalecanych sposobów zbierania wyników symulacji:
 1. Proste liczniki (primitive scorer) obsługiwane z poziomu poleceń interfejsu użytkownika.
Działają w geometrii równoległej, niezależnej od rzeczywistej geometrii modelu zdefiniowanego w G4VUserDetectorConstruction.
 2. Zdefiniowanie objętości logicznej (bryły poziomu G4LogicalVolume) jako elementu aktywnego i przypisanie jej detektora:
 - 2a. Implementując własne klasy G4VSensitiveDetector i G4VHit.
 - 2b. Stosując gotową klasę G4MultiFunctionalDetector, która jest konkretną implementacją klasy G4VSensitiveDetector opartą o proste liczniki (obiekty typu G4VPrimitiveScore).
 3. Korzystając z własnych implementacji klas G4UserTrackingAction, **G4UserSteppingAction** i G4UserStackingAction. W ten sposób również mamy dostęp do pełnej informacji ale sami musimy zadbać o jej przetwarzanie w trakcie procesowania przypadku.

Geant4 – liczniki typu Primitive Scorer

Primitive scorer

- Łatwe w użyciu
- Podstawowe wielkości fizyczne
- Akumulowane na siatce lub w „punkcie” (probe)
- Siatka jest definiowana niezależnie od innych obiektów geometrycznych i może na nie nachodzić
- Sterowanie za pomocą komend z linii poleceń (makra)
- Akumulowane podczas runu + histogramy
- Wizualizacja (dane na siatce; projekcje)
- Zapis do pliku tekstowego

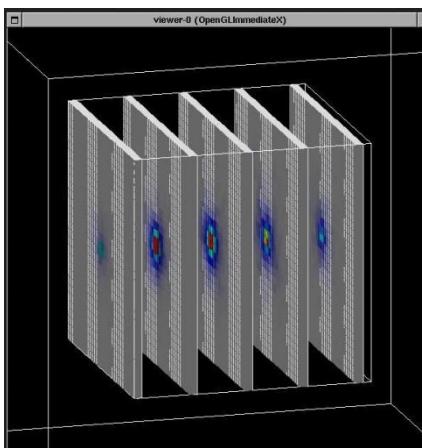


Scorer	Description	Def. unit	x-axis of 1-D histogram	y-axis of 1-D histogram
cellCharge	deposited charge in the volume	e+	n/a	n/a
cellFlux	sum of track length divided by the volume	cm ⁻²	Ek in MeV	weighted cell flux
doseDeposit	deposited dose in the volume	Gy	dose per step in Gy	track weight
energyDeposit	deposited energy in the volume	MeV	eDep per step in MeV	track weight
flatSurfaceCurrent	surface current on -z surface to be used only for Box	cm ⁻²	Ek in MeV	weighted current
flatSurfaceFlux	surface flux (1/cos(theta)) on -z surface to be used only for Box	cm ⁻²	Ek in MeV	weighted flux
nOfCollision	number of steps made by physics interaction	n/a	n/a	n/a
nOfSecondary	number of secondary tracks generated in the volume	n/a	Ek in MeV	track weight
nOfStep	number of steps in the volume	n/a	step length in mm	entry (unweighted)
nOfTerminatedTrack	number of tracks terminated in the volume (due to decay, interaction, stop, etc.)	n/a	n/a	n/a
nOfTrack	number of tracks in the volume (including both passing and terminated tracks)	n/a	Ek in MeV	track weight
passageCellCurrent	number of tracks that pass through the volume	n/a	Ek in MeV	track weight
passageCellFlux	sum of track length divided by the volume counted only for tracks that pass through the volume	cm ⁻²	Ek in MeV	weighted cell flux
passageTrackLength	sum of track length in the volume for tracks that pass through the volume	mm	track length in mm	entry (unweighted)
population	number of tracks in the volume that are unique in an event	n/a	n/a	n/a
trackLength	total track length in the volume (including both passing and terminated tracks)	mm	n/a	n/a
volumeFlux	number of tracks getting into the volume	n/a	Ek in MeV	track weight

Geant4 – liczniki typu Pr

Primitive scorer

- Łatwe w użyciu
- Podstawowe wielkości fizyczne
- Akumulowane na siatce lub w „punkcie” (probe)
- Siatka jest definiowana niezależnie od obiektów geometrycznych i może r奴achodzić
- Sterowanie za pomocą komend z interakcji (makra)
- Akumulowane podczas runu + histogramy
- Wizualizacja (dane na siatce; projekcje)
- Zapis do pliku tekstowego

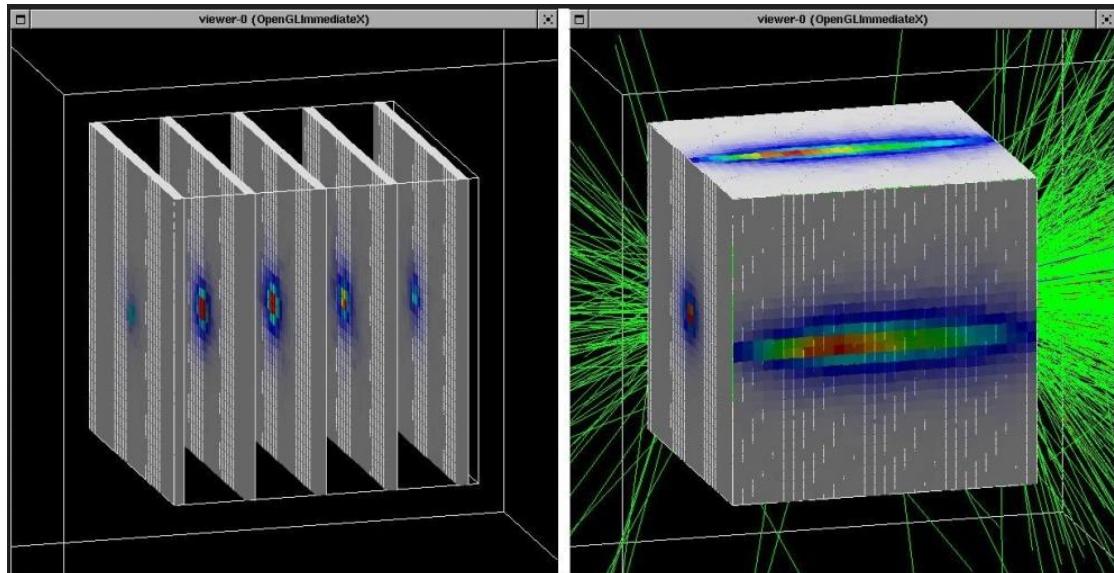


Scorer	Description	Def. unit	x-axis of 1-D histogram	y-axis of 1-D histogram
cellCharge	deposited charge in the volume	e+	n/a	n/a
cellFlux	sum of track length divided by the volume	cm ⁻²	Ek in MeV	weighted cell flux
doseDeposit	deposited dose in the volume	Gy	dose per step in Gy	track weight
energyDeposit	deposited energy in the volume	MeV	eDep per step in MeV	track weight
flatSurfaceCurrent	surface current on -z surface to be used only for Box	cm ⁻²	Ek in MeV	weighted current
flatSurfaceFlux	surface flux (1/cos(theta)) on -z surface to be used only for Box	cm ⁻²	Ek in MeV	weighted flux
nOfCollision	number of steps made by physics interaction	n/a	n/a	n/a
nOfSecondary	number of secondary tracks generated in the volume	n/a	Ek in MeV	track weight
nOfStep	number of steps in the volume	n/a	step length in mm	entry (unweighted)
nOfTerminatedTrack	number of tracks terminated in the volume (due to decay, interaction, stop, etc.)	n/a	n/a	n/a
nOfTrack	number of tracks in the volume (including both passing and terminated tracks)	n/a	Ek in MeV	track weight
passageCellCurrent	number of tracks that pass through the volume	n/a	Ek in MeV	track weight
passageCellFlux	sum of track length divided by the volume counted only for tracks that pass through the volume	cm ⁻²	Ek in MeV	weighted cell flux
passageTrackLength	sum of track length in the volume for tracks that pass through the volume	mm	track length in mm	entry (unweighted)
population	number of tracks in the volume that are unique in an event	n/a	n/a	n/a
trackLength	total track length in the volume (including both passing and terminated tracks)	mm	n/a	n/a
volumeFlux	number of tracks getting into the volume	n/a	Ek in MeV	track weight

Geant4 – liczniki typu Primitive Scorer

Schemat postępowania

- Na model rzeczywistej geometrii nakładamy siatkę do gromadzenia wielkości fizycznych
 - rozmiary,
 - położenie wzg. globalnego układu współrzędnych
 - podział na voxele
- Do siatki przypisujemy detektor(y) typu prostego (primitive scorer)
- Opcjonalnie definiujemy filtry (np. określamy typ cząstki)
- Wykonujemy run
- Zebrane na siatce dane zapisujemy do pliku tekstowego i/lub wizualizujemy



Geant4 – liczniki typu Primitive Scorer. Przykład

Aby móc korzystać z liczników z poziomu interfejsu użytkownika, w funkcji main() trzeba powołać odpowiedniego menadżera tuż po utworzeniu RunManagera:

```
#include "G4ScoringManager.hh"  
...  
int main(...)  
{  
...  
G4RunManager* runManager = new G4RunManager();  
G4ScoringManager::GetScoringManager();  
...  
}
```

Geant4 – liczniki typu Primitive Scorer. Przykład

```
# Uwaga! Wszystko co dotyczy jednej siatki musi być zawarte  
# w jednym bloku pomiędzy poleceniami /score/create/... a /score/close
```

```
/score/create/boxMesh SiatkaBox  
/score/mesh/boxSize 5. 5. 50. mm
```

UWAGA! Rozmiary podajemy
jako połowy długości boków!

Geant4 – liczniki typu Primitive Scorer. Przykład

```
# Uwaga! Wszystko co dotyczy jednej siatki musi być
# w jednym bloku pomiędzy poleceniami /score/create/
/score/create/boxMesh SiatkaBox
/score/mesh/boxSize 5. 5. 50. mm
```

- ▼ score
 - ▼ mesh
 - ▶ translate
 - ▶ rotate
 - boxSize
 - cylinderSize
 - nBin
 - ▼ create
 - boxMesh
 - cylinderMesh
 - ▶ colorMap
 - ▶ quantity
 - ▶ filter
 - list
 - dump
 - verbose
 - open
 - close
 - drawProjection
 - drawColumn
 - dumpQuantityToFile
 - dumpAllQuantitiesToFile

Geant4 – liczniki typu Primitive Scorer. Przykład

```
# Uwaga! Wszystko co dotyczy jednej siatki musi
# w jednym bloku pomiędzy poleceniami /score/cr
/score/create/boxMesh SiatkaBox
/score/mesh/boxSize 5. 5. 50. mm

/score/mesh/nBin 1 1 20
```

- ▼ score
 - ▼ mesh
 - ▶ translate
 - ▶ rotate
 - boxSize
 - cylinderSize
 - nBin
 - ▼ create
 - boxMesh
 - cylinderMesh
 - ▶ colorMap
 - ▶ quantity
 - ▶ filter
 - list
 - dump
 - verbose
 - open
 - close

Command /score/mesh/nBin

Guidance : Define segments of the scoring mesh.

[usage] /score/mesh/nBin

In case of boxMesh, parameters are given in

Ni :(int) Number of bins i (in x-axis)

Nj :(int) Number of bins j (in y-axis)

Nk :(int) Number of bins k (in z-axis)

In case of cylinderMesh, parameters are given in

Nr :(int) Number of bins in radial axis

Nz :(int) Number of bins in z axis

Nphi:(int) Number of bins in phi axis

	Parameter	Guidance	Type	Ommittable	Default	Range
1	Ni		i	False	1	Ni>0
2	Nj		i	False	1	Nj>0
3	Nk		i	False	1	Nk>0

Geant4 – liczniki typu Primitive Scorer. Przykład

```
# Uwaga! Wszystko co dotyczy jednej siatki musi być zawarte  
# w jednym bloku pomiędzy poleceniami /score/create/... a /score/close
```

```
/score/create/boxMesh SiatkaBox  
/score/mesh/boxSize 5. 5. 50. mm  
  
/score/mesh/nBin 1 1 20  
/score/mesh/translate/xyz 0 0 -50 mm
```

Geant4 – liczniki typu Primitive Scorer. Przykład

```
# Uwaga! Wszystko co dotyczy jednej siatki musi być zawarte  
# w jednym bloku pomiędzy poleceniami /score/create/... a /score/close
```

```
/score/create/boxMesh SiatkaBox  
/score/mesh/boxSize 5. 5. 50. mm
```

```
/score/mesh/nBin 1 1 20  
/score/mesh/translate/xyz 0 0 -50 mm  
/score/quantity/doseDeposit DoseScorer Gy  
/score/quantity/trackLength TrackLengthScorer
```

Na jednej siatce możemy jednocześnie zbierać różne wielkości fizyczne

Geant4 – liczniki typu Primitive Scorer. Przykład

```
# Uwaga! Wszystko co dotyczy jednej siatki musi być zawarte  
# w jednym bloku pomiędzy poleceniami /score/create/... a /score/close
```

```
/score/create/boxMesh SiatkaBox  
/score/mesh/boxSize 5. 5. 50. mm  
  
/score/mesh/nBin 1 1 20  
/score/mesh/translate/xyz 0 0 -50 mm  
/score/quantity/doseDeposit DoseScorer Gy  
/score/quantity/trackLength TrackLengthScorer  
/score/quantity/n0fSecondary n0fSecondaryGammaScorer  
/score/filter/particle FiltrGamma gamma
```

Dodanie filtra na typ cząstki.

Uwaga! Filtrowanie dotyczy tylko wielkości zdefiniowanej w poprzednim poleceniu. Nie wcześniejszych.

Geant4 – liczniki typu Primitive Scorer. Przykład

```
# Uwaga! Wszystko co dotyczy jednej siatki musi być zawarte  
# w jednym bloku pomiędzy poleceniami /score/create/... a /score/close
```

```
/score/create/boxMesh SiatkaBox  
/score/mesh/boxSize 5. 5. 50. mm  
  
/score/mesh/nBin 1 1 20  
/score/mesh/translate/xyz 0 0 -50 mm  
/score/quantity/doseDeposit DoseScorer Gy  
/score/quantity/trackLength TrackLengthScorer  
/score/quantity/nOfSecondary nOfSecondaryGammaScorer  
/score/filter/particle FiltrGamma gamma  
/score/close
```

Geant4 – liczniki typu Primitive Scorer. Przykład

```
# Uwaga! Wszystko co dotyczy jednej siatki musi być zawarte  
# w jednym bloku pomiędzy poleceniami /score/create/... a /score/close
```

```
/score/create/boxMesh SiatkaBox  
/score/mesh/boxSize 5. 5. 50. mm  
  
/score/mesh/nBin 1 1 20  
/score/mesh/translate/xyz 0 0 -50 mm  
/score/quantity/doseDeposit DoseScorer Gy  
/score/quantity/trackLength TrackLengthScorer  
/score/quantity/nOfSecondary nOfSecondaryGammaScorer  
/score/filter/particle FiltrGamma gamma  
/score/close  
  
/tracking/storeTrajectory 0  
/run/printProgress 1000  
/run/beamOn 10000
```

Po zakończeniu definiowania liczników uruchamiany symulację.

Geant4 – liczniki typu Primitive Scorer. Przykład

```
# Uwaga! Wszystko co dotyczy jednej siatki musi być zawarte  
# w jednym bloku pomiędzy poleceniami /score/create/... a /score/close
```

```
/score/create/boxMesh SiatkaBox  
/score/mesh/boxSize 5. 5. 50. mm  
  
/score/mesh/nBin 1 1 20  
/score/mesh/translate/xyz 0 0 -50 mm  
/score/quantity/doseDeposit DoseScorer Gy  
/score/quantity/trackLength TrackLengthScorer  
/score/quantity/nOfSecondary nOfSecondaryGammaScorer  
/score/filter/particle FiltrGamma gamma  
/score/close
```

```
/tracking/storeTrajectory 0  
/run/printProgress 1000  
/run/beamOn 10000  
  
/score/dump  
/score/dumpQuantityToFile SiatkaBox DoseScorer SiatkaBox_DoseScorer.txt  
/score/dumpAllQuantitiesToFile SiatkaBox SiatkaBox_wszystkie_scorery.txt
```

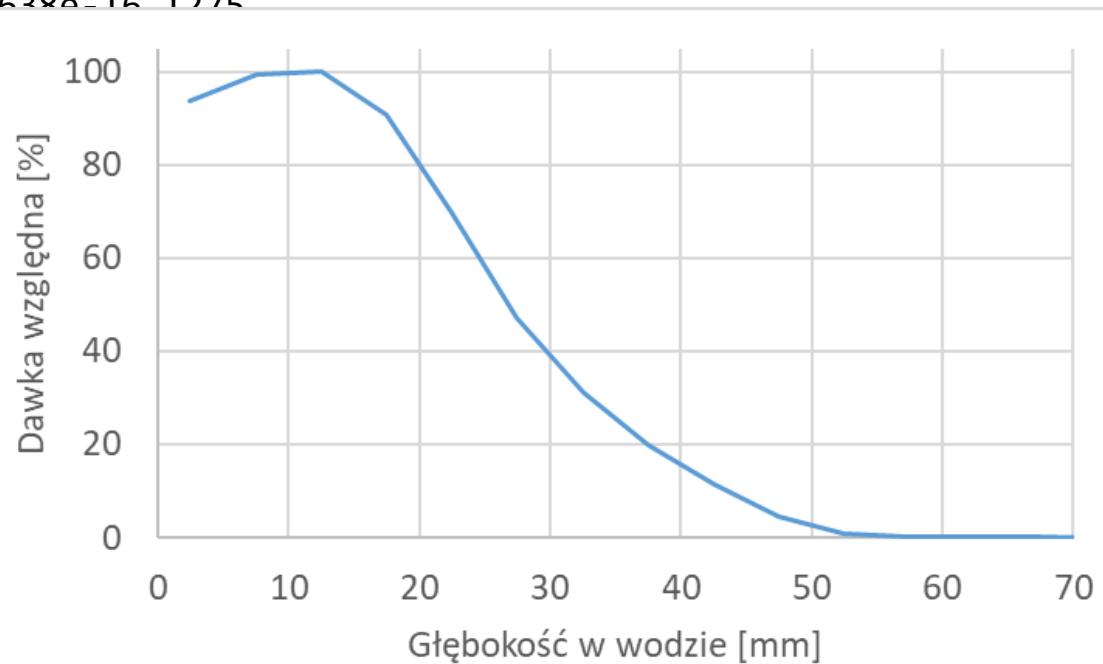
Zrzut wyników:

- Wszystkich na ekran
- Wybranego licznika z wybranej siatki do pliku
- Wszystkich liczników z wybranej siatki do pliku

Geant4 – liczniki typu Primitive Scorer. Przykład

Przykładowa zawartość pliku wynikowego SiatkaBox_DoseScorer.txt

```
# mesh name: SiatkaBox
# primitive scorer name: DoseScorer
# iX, iY, iZ, total(value) [Gy], total(val^2), entry
0,0,0,3.007387892747952e-06,9.757894369424332e-16,10000
0,0,1,3.186766607118612e-06,1.134626793174023e-15,9997
0,0,2,3.20549993269801e-06,1.171817028256884e-15,9918
0,0,3,2.910266883008724e-06,1.055820199991758e-15,9387
0,0,4,2.236543748367129e-06,7.887640482375082e-16,7774
0,0,5,1.509858340120181e-06,5.284783717863936e-16,5495
0,0,6,1.004669694195969e-06,3.635687944586487e-16,3631
0,0,7,6.346746341786802e-07,2.37476139150193e-16,2277
0,0,8,3.669232340169093e-07,1.462130003352628e-16,1275
0,0,9,1.420818583282323e-07,5.02808816069
0,0,10,2.321562680522025e-08,6.5807781384
0,0,11,1.538549435874681e-09,3.322635987
0,0,12,1.405558101265658e-09,2.8094592434
0,0,13,2.759731710624161e-09,7.4804801051
0,0,14,8.225409618134761e-10,1.7821164586
0,0,15,2.022508165330817e-09,7.3310431246
0,0,16,6.907353748623908e-10,1.0642790791
0,0,17,1.010559852885006e-09,2.8032274216
0,0,18,2.24464228715704e-10,1.84260023929
0,0,19,9.415525777590162e-10,3.6335926199
```



Geant4 – liczniki typu Primitive Scorer. Przykład

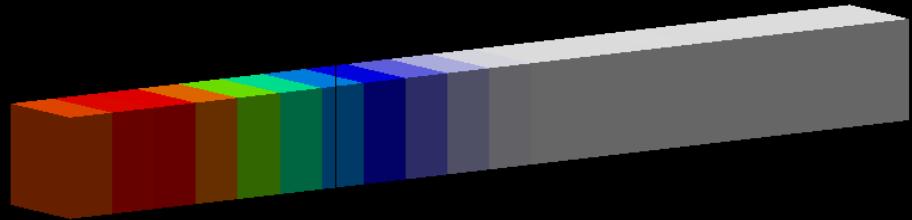
```
# Uwaga! Wszystko
# w jednym bloku

/score/create/box
/score/mesh/boxS

/score/mesh/nBins
/score/mesh/transform
/score/quantity/dose
/score/quantity/time
/score/quantity/mass
/score/filter/part
/score/close

/tracking/storeTr
/run/printProgress
/run/beamOn 10000
/score/dump
/score/dumpQuantityToFile SiatkaBox DoseScorer SiatkaBox_DoseScorer.txt
/score/dumpAllQuantitiesToFile SiatkaBox SiatkaBox_wszystkie_scorery.txt

/score/drawColumn SiatkaBox DoseScorer 2 0
/score/drawProjection SiatkaBox DoseScorer defaultLinearColorMap 001
```



Wizualizacja

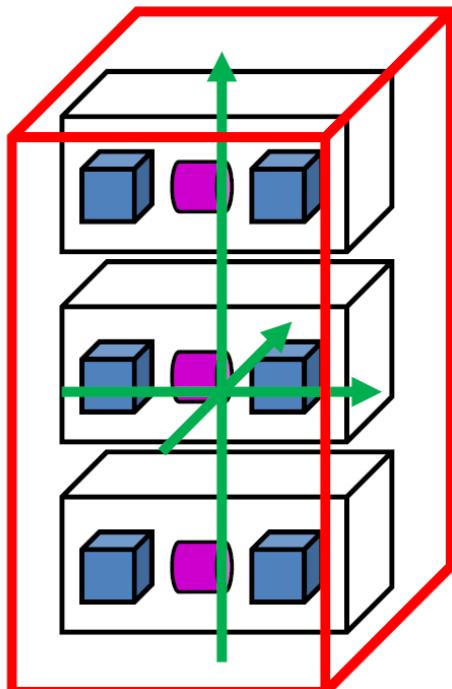
- Nakłada dane z licznika na wizualizację geometrii
- Podstawowe opcje:
 - wizualizacja konkretnej kolumny z konkretnego licznika na konkretnej siatce
 - wizualizacja projekcji danych z wszystkich oczek na wybraną płaszczyznę

Geant4 – liczniki typu Primitive Scorer. Dodatki

Liczniok można przypisać do bryły istniejącej w rzeczywistej geometrii:

```
/score/create/realWorldLogVol <LV_name> <anc_lvl>
```

Gdzie <LV_name> to nazwa nadana objętości logicznej przy jej tworzeniu;
<anc_lvl> określa sposób indeksowania kopii jeśli wskazana bryła logiczna była powielana razem ze swoim przodkiem (poziom przodka, który ma być użyty do indeksowania: 1 = matka, 2 = babcia).



Geant4 – liczniki typu Primitive Scorer. Dodatki

Oprócz siatki, licznik typu prostego można przypisać do tzw. sondy/próbnika („probe”).

- Sondę można umieścić w dowolnym punkcie geometrii.
- Sonda to jakby wirtualny sześciianik o zadanej długości boku.
- Sondy istnieją w świecie równoległym – mogą nakładać się z dowolnymi bryłami świata rzeczywistego (także częściowo).
- Sonda nie może nakładać się na inną sondę ani wystawać poza świat.
- Opcjonalnie, sondzie można przypisać dowolny materiał, który nadpisze materiał istniejący w tym miejscu geometrii rzeczywistej (i będzie miał wpływ na oddziaływanie śledzonych cząstek!).
Materiał musi być wcześniej stworzony za pomocą menadżera NIST.
- Sondę można powielać (każda kopia będzie zbierać te same wielkości fizyczne)

Przykład definicji sondy

```
# define scoring probe
#
/score/create/probe Probes 5. cm
/score/probe/material G4_WATER
/score/probe/locate 0. 0. 0. cm
/score/probe/locate 25. 0. 0. cm
/score/probe/locate 0. 25. 0. cm

/score/quantity/doseDeposit DoseScorer Gy
/score/close
```

Geant4 – liczniki typu Primitive Scorer. Dodatki

Wypełnianie histogramu.

- Tylko dla liczników przypisanych do Probe lub LogicalVolume (nie działa dla siatek - mesh)
- W kodzie aplikacji trzeba powołać „wypełniacza” histogramów:

```
#include "g4csv.hh" ←  
#include "G4TScoreHistFiller.hh"  
  
auto histFiller = new G4TScoreHistFiller<G4AnalysisManager>;
```

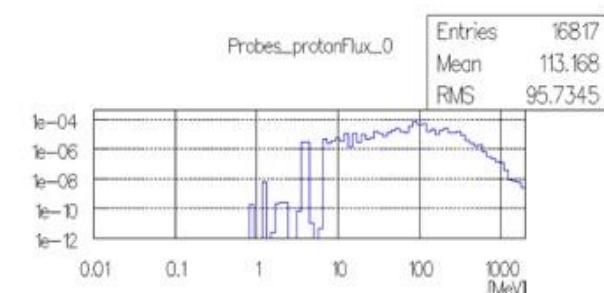
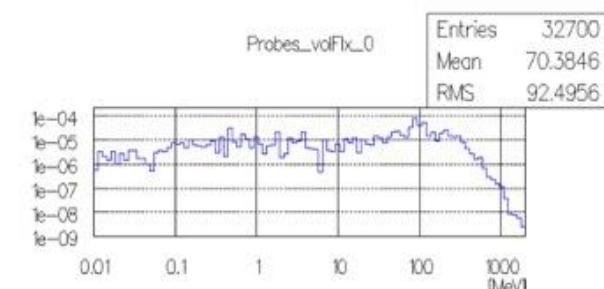
Ten plik nagłówkowy określa format pliku wyjściowego. Możliwości:
csv, root, xml, hdf5

Ogólny schemat postępowania

1. Tworzymy licznik („probe”)
2. Definiujemy histogramy
3. Przypisujemy licznik do histogramu

Przykład

```
# define scoring probe  
/score/create/probe Probes 5. cm  
/score/probe/locate 0. 0. 0. cm  
  
# define flux scorers and filter  
/score/quantity/volumeFlux volFlux  
/score/quantity/volumeFlux protonFlux  
/score/filter/particle protonFilter proton  
/score/close  
  
# define histograms  
/analysis/h1/create volFlux Probes_volFlux 100 0.01 2000. MeV ! log  
/analysis/h1/create protonFlux Probes_protonFlux 100 0.01 2000. MeV ! Log  
  
# filling histograms  
/score/fill1D 1 Probes volFlux  
/score/fill1D 2 Probes protonFlux
```



Dziękuję za uwagę



NARODOWE
CENTRUM
BADAŃ
JĄDROWYCH
ŚWIERK

www.ncbj.gov.pl

