

## Wstęp

Organizacja zajęć

Tematyka wykładów

## GEANT4

RUN

RUN

EVENT

STEP

## Monte Carlo

Objętość N-wymiarowej kuli

Ruletka

Praca domowa

# Zastosowanie pakietu Geant4 w fizyce jądrowej

Aleksandra Fijałkowska

Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

*[aleksandra.fijalkowska@fuw.edu.pl](mailto:aleksandra.fijalkowska@fuw.edu.pl)*

6 października 2021

**Miejsce spotkań:** czwartek 13.15 – 16.00 (może wcześniej?), sala 2.94

**Konsultacje:** [aleksandra.fijalkowska@fuw.edu.pl](mailto:aleksandra.fijalkowska@fuw.edu.pl)

## Literatura:

- ▶ Geant4 Book For Application Developers – Podstawowy podręcznik do pakietu Geant4
- ▶ Geant4 Installation Guide – Instrukcja instalacji
- ▶ Physics Reference Manual – Procesy fizyczne i ich modele wykorzystane w kodzie Geant4
- ▶ Bruce Eckel, *Thinking in C++*, Helion, 2000
- ▶ Czasem warto spojrzeć na kody źródłowe

**Strona przedmiotu:** [https://github.com/olafijalkowska/Geant4\\_2021](https://github.com/olafijalkowska/Geant4_2021)

## Zasady zaliczenia:

- ▶ Zaliczenie nastąpi w oparciu o końcowy projekt oraz obecność na zajęciach.
- ▶ Dopuszczam jedną nieusprawiedliwioną nieobecność.
- ▶ Tematy projektów zostaną zaproponowane w drugiej połowie semestru.
- ▶ Zachęcam do samodzielnego wymyślenia tematu projektu.

**Konta na serwerze!**

**Instrukcja instalacji geanta znajdzie się w materiałach do wykładu.**

- ▶ Kilka słów o Geant4
- ▶ Metody Monte Carlo
- ▶ Programowanie obiektowe w języku C++ (test)
- ▶ Definicja geometrii detektora, kształty i materiały
- ▶ Określanie procesów fizycznych
- ▶ Określanie warunków początkowych zdarzenia (Event)
- ▶ Pojęcia Przebiegu (Run), Zdarzenia (Event) i Kroku (Step)
- ▶ Wyciągnięcie informacji z symulacji
- ▶ Manipulacja symulacją przy pomocy skryptów
- ▶ Opcjonalnie – Tworzenie geometrii z wykorzystaniem rysunków z CAD
- ▶ Nietypowe problemy – z pewnością się z nimi spotkacie

Geant4 oferuje bogatą bibliotekę przykładów, na których nie będziemy się skupiać. Proszę je jednak traktować jako pomoc przy pisaniu projektu.

## Wstęp

Organizacja zajęć

Tematyka wykładów

## GEANT4

RUN

RUN

EVENT

STEP

## Monte Carlo

Objętość N-wymiarowej kuli

Ruletka

Praca domowa

Symulacje pełnią istotną rolę na wielu etapach projektów naukowych

- ▶ Projektowanie – Ułatwiają znalezienie optymalnego układu eksperymentalnego
- ▶ Tworzenie i obrona projektu – Pomagają oszacować prawdopodobieństwo sukcesu badań, niejednokrotnie uwiarygodniając ambitne ale ryzykowne pomysły
- ▶ Przeprowadzenie pomiaru – Pozwalają na szybką ocenę otrzymanych wyników, wykrycie ewentualnych problemów
- ▶ Analiza danych – Ułatwiają przeprowadzenie analizy danych i ocenę niepewności

W trakcie tych zajęć skupimy się na symulowaniu procesów fizycznych zachodzących podczas przejścia cząstek przez materię.

Wstęp

Organizacja zajęć

Tematyka wykładów

GEANT4

RUN

RUN

EVENT

STEP

Monte Carlo

Objętość N-wymiarowej kuli

Ruletka

Praca domowa

# Dlaczego Geant4?

GEANT 4

Aleksandra  
Fijałkowska

Wstęp

Organizacja zajęć

Tematyka wykładów

GEANT4

RUN

RUN

EVENT

STEP

Monte Carlo

Objętość N-wymiarowej kuli

Ruletka

Praca domowa

- ▶ Elastyczny – Symulacja różnych materiałów, kształtów, różnego rodzaju promieniowania
- ▶ Aktualnie rozwijany – kolejne wersje przynoszą coraz udoskonalenie modeli, przekroje czynne pochodzą z aktualnych baz danych
- ▶ Napisany obiektowo w C++ (rozumiem sceptyków, należy jednak docenić, że nie jest napisany w FORTRAN-ie jak Geant3)
- ▶ Bardzo szeroko rozpowszechniony – Znajomość pakietu Geant4 jest ceniona w wielu grupach badawczych, bogata dostępność gotowych kodów, przykładów
- ▶ Projekt Open Source – Możliwość wprowadzenia swoich wasnych modeli i pomysłów

## Wstęp

Organizacja zajęć

Tematyka wykładów

## GEANT4

RUN

RUN

EVENT

STEP

## Monte Carlo

Objętość N-wymiarowej kuli

Ruletka

Praca domowa

- ▶ Cząstki przelatujące przez materię są traktowane klasycznie, tzn. nie jako fukcja falowa, ale jak punktowe obiekty z dobrze określonym czasem, położeniem, energią i pędem
- ▶ Jest to wystarczająco dobre przybliżenie, mając na uwadze, że w większości przypadków praktycznych cząstki są widziane jako tory w makroskopowym detektorze.
- ▶ Pomimo klasycznego traktowania cząstek, ich interakcje, przekroje czynne i wyniki oddziaływania, często uwzględniają efekty kwantowe (na etapie „wyniku” nie obliczeń)

- ▶ Geant posiada możliwość określania geometrii detektora i śledzenia cząstek w nim propagujących.
- ▶ Zanim symulacja zostanie wykonana użytkownik musi podać informacje niezbędne do jej inicjalizacji – zdefiniować geometrię, materiały, określić cząstki początkowe, ich energię i pęd, podać procesy fizyczne i ich przekroje czynne.
- ▶ Nadrzędną jednostką symulacji jest Run (seria?)
- ▶ Run składa się z szeregu zdarzeń (Event) przeprowadzonych dla określonych warunków początkowych (geometrii i procesów fizycznych)
- ▶ Run „startuje” się poleceniem  
`\run \beamOn number`

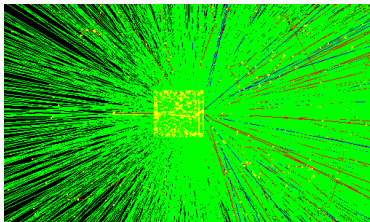


# GEANT – "GEometry ANd Tracking"

GEANT 4

Aleksandra  
Fijałkowska

- ▶ W obrębie jednej serii parametry takie jak geometria detektora (świat), procesy fizyczne, nie mogą ulec zmianie. Można zaś różne zdarzenia (eventy) wchodzące do serii startować z innego miejsca, zmieniać cząstkę początkową, jej energię itd.
- ▶ Run reprezentowany jest przez klasę G4Run
- ▶ Użytkownik może określić działania wykonywane na początku i końcu Run-u (np. otwarcie pliku wyjściowego, zapis danych i zamknięcie pliku), do czego służy klasa G4UserRunAction



Wstęp

Organizacja zajęć

Tematyka wykładów

GEANT4

RUN

RUN

EVENT

STEP

Monte Carlo

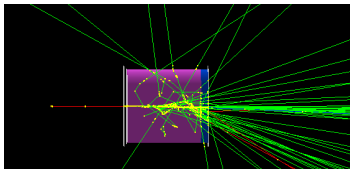
Objętość N-wymiarowej kuli

Ruletka

Praca domowa

## Zdarzenie - Event

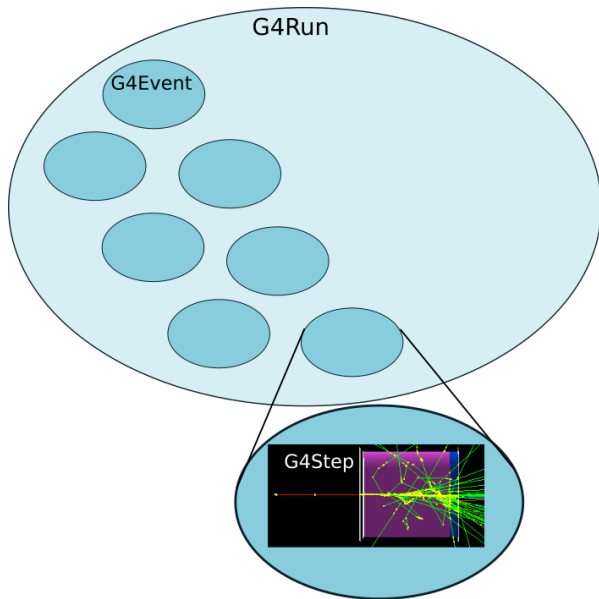
- ▶ Każdy Run składa się z określonej przez użytkownika liczby zdarzeń (Event, klasa G4Event)
- ▶ Event jest podstawową jednostką symulacji w Geant4
- ▶ Event rozpoczyna wysłanie zdefiniowanych przez użytkownika cząstek pierwotnych
- ▶ Na początku zdarzenia wszystkie cząstki pierwotne umieszczane są na stosie a następnie transportowane przez geometrię
- ▶ Niektóre procesy, którym ulegają cząstki pierwotne mogą powodować powstanie cząstek wtórnych (np. kreacja pary elektron-pozyton)
- ▶ Powstałe cząstki wtórne są odkładane na stos, a następnie jedna po drugiej transportowane przez detektor
- ▶ Po przetransportowaniu wszystkich cząstek przez geometrię program wykonuje polecenia określone w klasie G4UserEventAction (zapisanie danych do pliku) i kończy zdarzenie Zdarzeniem kieruje klasa G4EventManager, posiadająca jedną, statyczną instancję (Singleton).



Proces transportowania cząstek pierwotnych i wtórnych odbywa się w krokach (G4Step).

- ▶ Dla każdego z możliwych procesów dyskretnych **losuje** się odległość oddziaływania (w oparciu o przekroje czynne)
- ▶ Najmniejsza z odległości jest wybrana jako krok fizyczny (*physical step length*)
- ▶ Program oblicza odległość od granicy bryły, w której krok się odbywa - krok geometryczny (*geometric step length*)
- ▶ Zanim proces dyskretny zostanie wykonany program realizuje wszystkie aktywowane procesy ciągłe, wpływają one min. na zmianę energii kinetycznej cząstki, powstanie cząstek wtórnych,
- ▶ Jeśli energia kinetyczna cząstki spadnie do zera kończy się śledzenie cząstki, w przeciwnym razie wykonuje się proces dyskretny, mogą powstać cząstki wtórne, zmienić się kinematyka cząstki itp.
- ▶ Program wykonuje polecenia określone w klasie G4UserSteppingAction (światło w Nal) i zapamiętuje dane w Trajektorii
- ▶ Przed rozpoczęciem nowego kroku program wyznacza nowe wartości średniej drogi swobodnej

# Run, Event, Step



GEANT 4

Aleksandra  
Fijałkowska

Wstęp

Organizacja zajęć

Tematyka wykładów

GEANT4

RUN

RUN

EVENT

STEP

Monte Carlo

Objętość N-wymiarowej kuli

Ruletka

Praca domowa

# Losowanie? Monte Carlo!

GEANT 4

Aleksandra  
Fijałkowska

Wstęp

Organizacja zajęć

Tematyka wykładów

GEANT4

RUN

RUN

EVENT

STEP

Monte Carlo

Objętość N-wymiarowej kuli

Ruletka

Praca domowa

W naszym przypadku metody Monte Carlo będą wykorzystywane do symulacji procesów, które są statystyczne.

Metody te mają szersze zastosowanie. Pierwotnie były wykorzystywane do rozwiązywania skomplikowanych problemów dla których może istnieć rozwiązanie analityczne.

Podstawowym założeniem metody jest stwierdzenie, że **losowa** próbka wybrana z całej populacji przedstawia zbliżone własności do całej populacji.

Błąd metody maleje ze wzrostem liczności próbki (Prawo Bernoulliego).

# Losowanie? Monte Carlo!

GEANT 4

Aleksandra  
Fijałkowska

Wstęp

Organizacja zajęć

Tematyka wykładów

GEANT4

RUN

RUN

EVENT

STEP

Monte Carlo

Objętość N-wymiarowej kuli

Ruletka

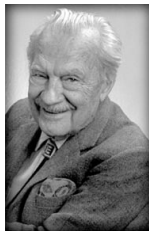
Praca domowa



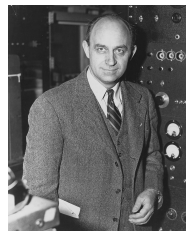
(a) S. Ulam



(b) J. von Neumann



(c) N. Metropolis

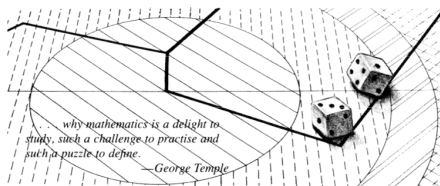


(d) E. Fermi

Fotografie pochodzą z zasobów Wikipedii

## THE BEGINNING of the MONTE CARLO METHOD

by N. Metropolis



„The spirit of Monte Carlo is best conveyed by the example discussed in von Neumann's letter to Richtmyer. Consider a spherical core of fissionable material surrounded by a shell of tamper material. Assume some initial distribution of neutrons in space and in velocity but ignore radiative and hydrodynamic effects. The idea is to now follow the development of a large number of individual neutron chains as a consequence of scattering, absorption, fission, and escape. At each stage a sequence of decisions has to be made based on statistical probabilities appropriate to the physical and geometric factors. (...)

How are the various decisions made? To start with, the computer must have a source of uniformly distributed psuedo-random numbers. A much used algorithm for generating such numbers is the so-called von Neumann "middle-square digits." Here, an arbitrary  $n$ -digit integer is squared, creating a  $2n$ -digit product. A new integer is formed by extracting the middle  $n$ -digits from the product. This process is iterated over and over, forming a chain of integers whose properties have been extensively studied.

## Wstęp

Organizacja zajęć

Tematyka wykładów

## GEANT4

RUN

RUN

EVENT

STEP

## Monte Carlo

Objętość  $N$ -wymiarowej kuli

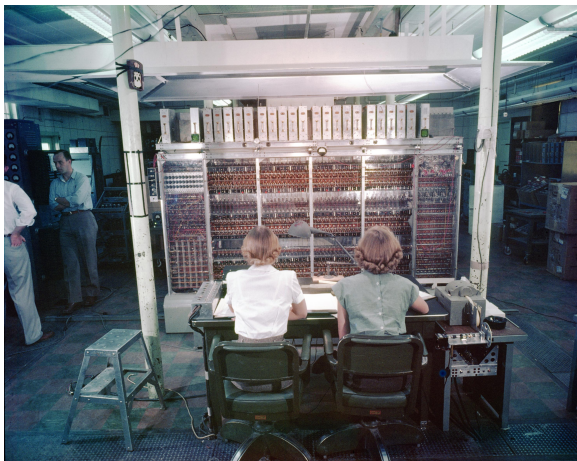
Ruletka

Praca domowa

# Losowanie? Monte Carlo!

GEANT 4

Aleksandra  
Fijałkowska



MANIAC 1, Mathematical Analyzer, Numerator, Integrator, and Computer

Fotografia pochodzi z zasobów LANL

Wstęp

Organizacja zajęć

Tematyka wykładów

GEANT4

RUN

RUN

EVENT

STEP

Monte Carlo

Objętość N-wymiarowej kuli

Ruletka

Praca domowa



## Wstęp

Organizacja zajęć  
Tematyka wykładów

## GEANT4

RUN  
RUN  
EVENT  
STEP

## Monte Carlo

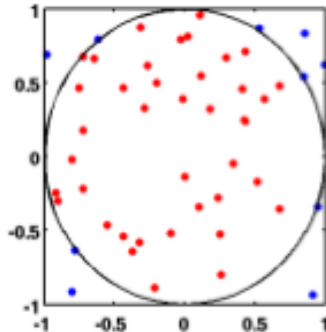
Objętość N-wymiarowej kuli  
Ruletka  
Praca domowa

## Przykłady - objętość N-wymiarowej kuli

Wyznacz objętość  $n$ -wymiarowej kuli o promieniu  $R$  metodą Monte Carlo.

Sugestia:

- ▶ Wsłusz N punktów z  $n$ -wymiarowego pudełka o boku  $2R$
- ▶ Wyznacz liczbę punktów ( $M$ ), dla których odległość od punktu 0 znajduje się mniejsza od  $R$  (te znajdują się wewnątrz kuli)
- ▶ Objętość kuli  $V = \frac{M}{N} \cdot (2R)^n$ , gdzie  $(2R)^n$  jest objętością pudełka



# Przykłady - ruletka, szatańska gra

## Wstęp

Organizacja zajęć

Tematyka wykładów

## GEANT4

RUN

RUN

EVENT

STEP

## Monte Carlo

Objętość N-wymiarowej kuli

Ruletka

Praca domowa



$$1 + 2 + 3 + \dots + 34 + 35 + 36 = 666$$

W zależności od systemu na kole znajduje się jedno 0 (system europejski) lub 0 i 00 (amerykański).

Założymy uproszczoną wersję zakładów, można obstawiać jedno pole i w razie wygranej uzyskuje się 35-krotność postawionych pieniędzy.

Wykonaj obliczenia „stopy zwrotu” gry w ruletkę w wersji amerykańskiej i europejskiej.

```
g++ -std=c++11 -o outputName Source.cpp
```

Przykład CMakeLists.txt:

```
cmake_minimum_required(VERSION 2.6 FATAL_ERROR)
set (CMAKE_CXX_STANDARD 11)
project(projectName)

include_directories(include)

set(CMAKE_BUILD_TYPE release)

# User code
file(GLOB sources src/*.cpp)
file(GLOB headers include/*.h)

add_executable(projectName mainCode.cpp ${sources} ${headers})
```

Wstęp

Organizacja zajęć

Tematyka wykładów

GEANT4

RUN

RUN

EVENT

STEP

Monte Carlo

Objętość N-wymiarowej kuli

Ruletka

Praca domowa

## Wstęp

Organizacja zajęć

Tematyka wykładów

## GEANT4

RUN

RUN

EVENT

STEP

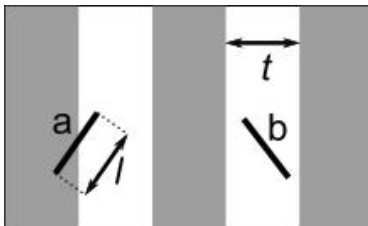
## Monte Carlo

Objętość N-wymiarowej kuli

Ruletka

Praca domowa

Oszacuj wartość liczby  $\pi$  rzucając igłą Buffona.



Prawdopodobieństwo, że rzucona losowo igła o długości  $l$  (losowe położenie środka, oraz kąt  $\theta$  względem linii) przetnie jedną z linii oddalonych o siebie o odległość  $t$  wynosi:  $p = \frac{2}{\pi} \frac{l}{t}$ .

Znajdź prawdopodobieństwo  $p$  metodą Monte Carlo, a następnie wyznacz wartość liczby  $\pi$ . Narysuj wykres wartości otrzymanej wartości liczby  $\pi$  w funkcji liczby rzutów igłą  $N$ .

# Test

GEANT 4

Aleksandra  
Fijałkowska

Wstęp

Organizacja zajęć

Tematyka wykładów

GEANT4

RUN

RUN

EVENT

STEP

Monte Carlo

Objętość N-wymiarowej kuli

Ruletka

Praca domowa