Zastosowanie pakietu Geant4 w fizyce jądrowej

Aleksandra Fijałkowska

Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

aleksandra.fijalkowska@fuw.edu.pl

12 października 2018

Organizacja zajęć

Miejsce spotkań: czwartek 12.15 – 15.00 lub piątek 10.15-13.00, sala 2.94
Przedmiot obejmuje 30 godzin rozłożonych w 3-godzinnych blokach, ostatnie zajęcia odbędą się przed Świętami Bożego Narodzenia.

Konsultacje: pokój 2.42

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

Organizacja zajęć cd

Strona przedmiotu: github.com/olafijalkowska/Geant4

Zasady zaliczenia: Zaliczenie nastąpi w oparciu o końcowy projekt oraz obecność na zajęciach. Dopuszczam jedną nieusprawiedliwioną nieobecność. Zachęcam do samodzielnego ustalenia tematu projektów, mogę je też zaproponować.

Tematyka wykładów

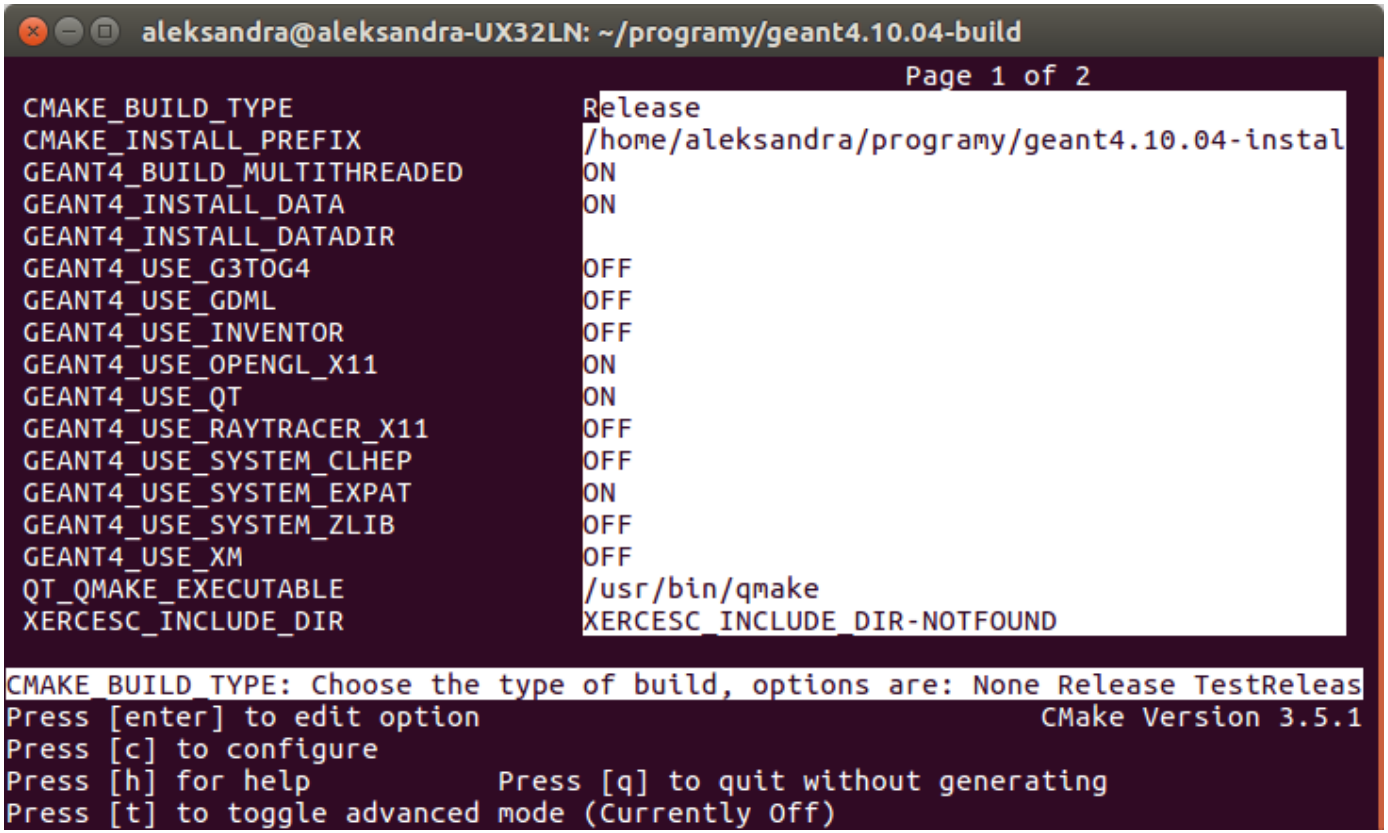
- Programowanie obiektowe w języku C++ (test)
- Metody Monte Carlo
- Moduły kodu wykorzystującego pakiet Geant4
- Definicja geometrii detektora, kształty i materiały
- Określanie procesów fizycznych
- Określanie warunków początkowych zdarzenia (Event)
- Pojęcia Przebiegu (Run), Zdarzenia (Event) i Kroku (Step)
- Wyciągnie 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.

Wymagane oprogramowanie

- Kompilator C++ obsługujący standard C++11 lub nowszy
- Program CMake w wersji min. 3.3 znacznie ułatwiający kompilację
- Biblioteki Geant4 w wersji 10.4 (https://geant4.web.cern.ch/support/download)
- Biblioteki do grafiki (Qt, OpenGL)
- Edytor tekstu lub ulubione IDE (CLion)

Moja ulubiona konfiguracja CMake



Warto zapoznać się z możliwymi konfiguracjami papkietu Geant4.

Wykorzystanie symulacji w fizyce jądrowej

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.

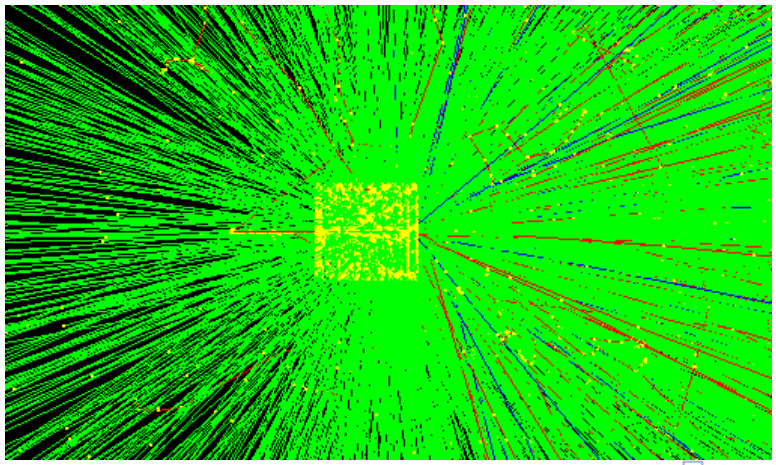
Dlaczego Geant4?

- 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

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

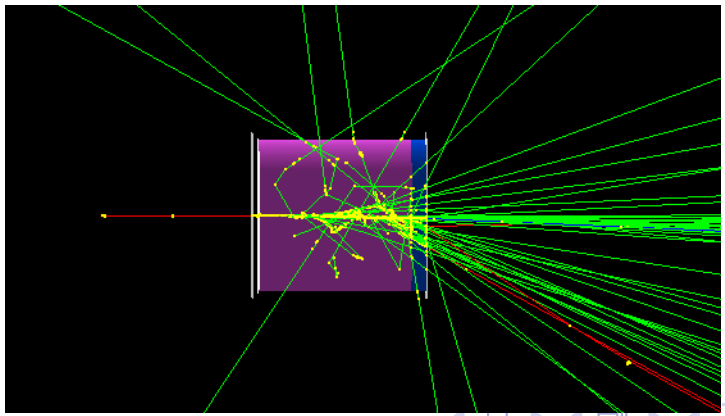
GEANT – "GEometry ANd Tracking"

- 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 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)



Zdarzenie - Event

- Każdy Rus składa się z określonej przez użytkownika liczby zdarzeń (Event, klasa `G4Event`)
- 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.



Krok - Step

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 NaI) i zapamiętuje dane w Trajektorii
- Przed rozpoczęciem nowego kroku program wyznacza nowe wartości średniej drogi swobodnej

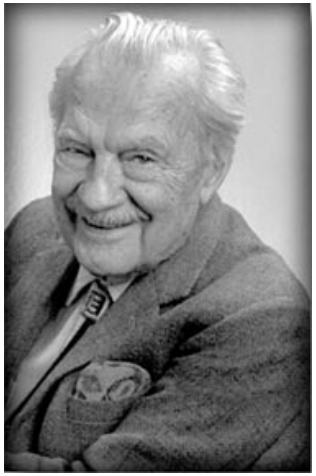
Losowanie? Monte Carlo!

Zanim przejdziemy dalej - test z C++ (bez stresu i jakichkolwiek konsekwencji)

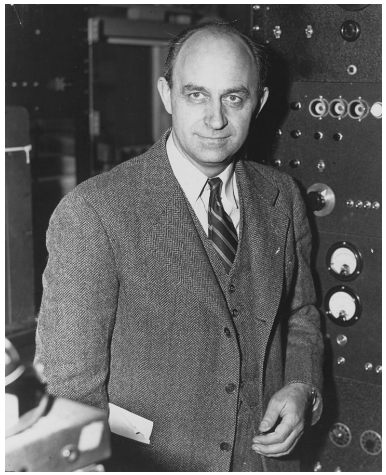
Losowanie? Monte Carlo!

(a) S. Ulam

(b) J. von Neumann

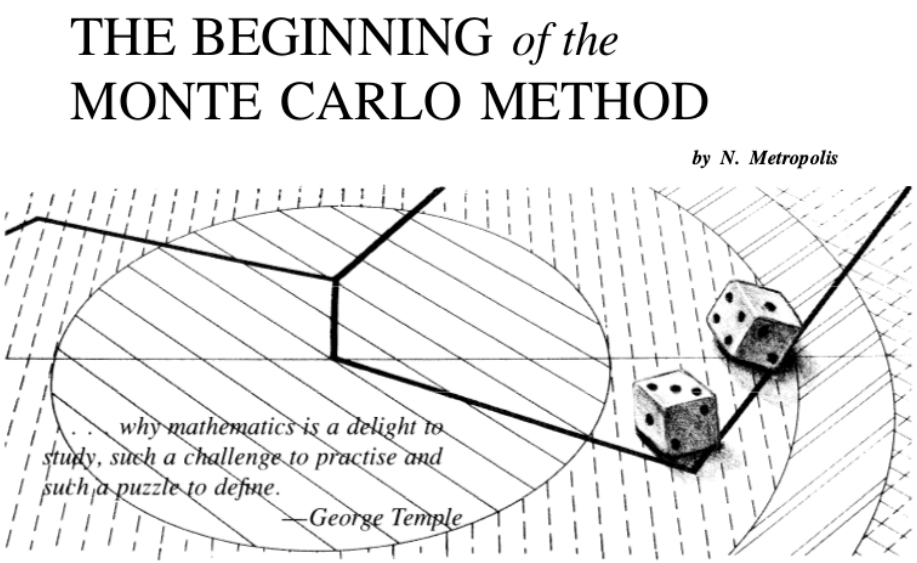


(c) N. Metropolis



(d) E. Fermi

Fotografie pochodzą z zasobów Wikipedii

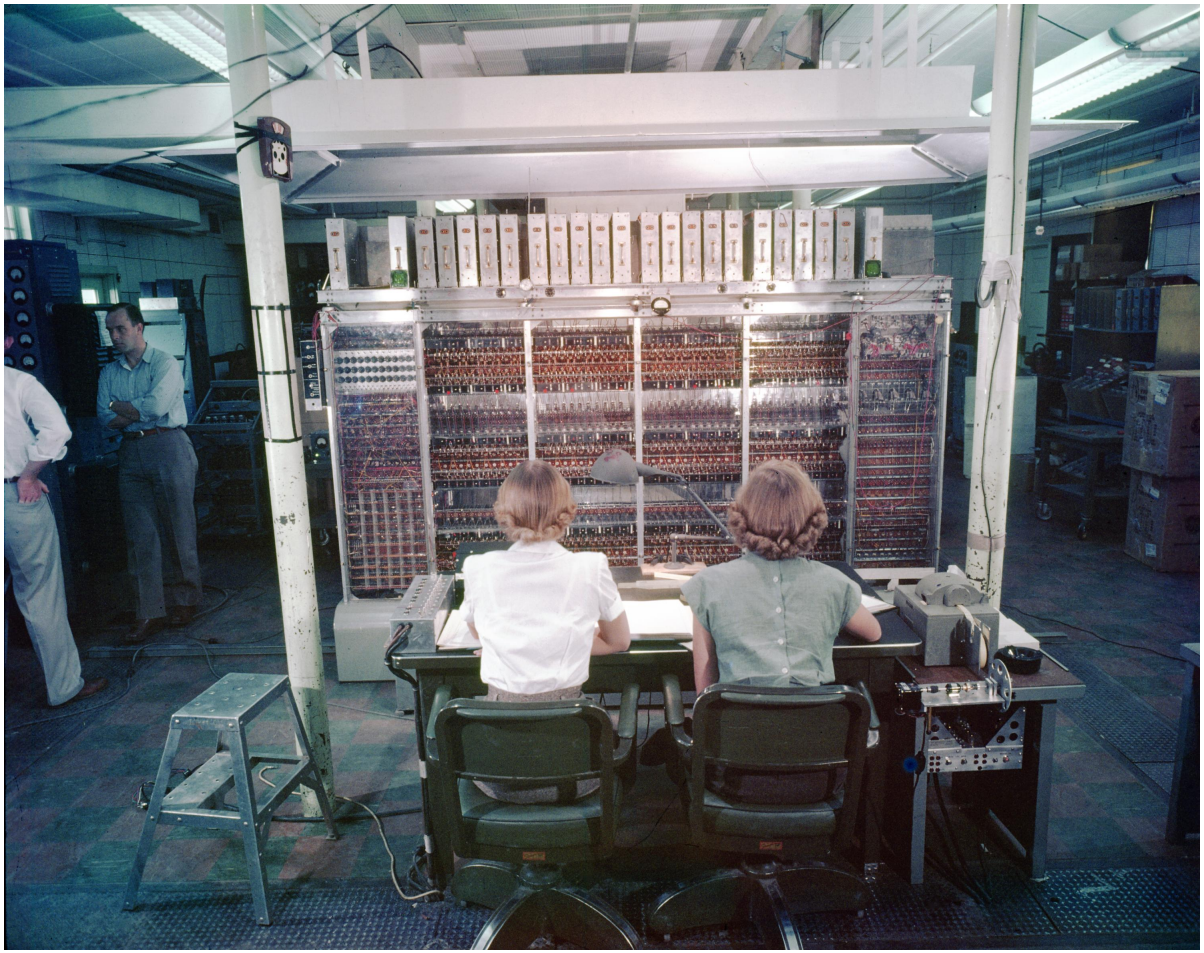

THE BEGINNING *of the*
MONTE CARLO METHOD

by N. Metropolis

. . . why mathematics is a delight to study, such a challenge to practise and such a puzzle to define.

—George Temple

Losowanie? Monte Carlo!



MANIAC 1, Mathematical Analyzer, Numerator, Integrator, and Computer Fotografia pochodzi z zasobów LANL

Losowanie? Monte Carlo!

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).

Przykłady - ruletka, szatańska gra

$$1 + 2 + 3 + ... + 34 + 35 + 36 = 666$$

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.

```
#ifndef RULETKA_H
#define RULETKA_H
#include <vector>
#include <random>
class Ruletka
{
public:
    Ruletka(std::default_random_engine& engine);
    ~Ruletka();
    virtual int zakrec() = 0;
protected:
    std::default_random_engine myEngine;
};

class Uczciwa: public Ruletka
{
public:
    Uczciwa(std::default_random_engine& engine);
    ~Uczciwa(){};
    virtual int zakrec();
};

class Amerykanska: public Ruletka
{
public:
    Amerykanska(std::default_random_engine& engine);
    ~Amerykanska(){};
    virtual int zakrec();
};

class Europejska: public Ruletka
{
public:
    Europejska(std::default_random_engine& engine);
    ~Europejska(){};
    virtual int zakrec();
};

#endif
```

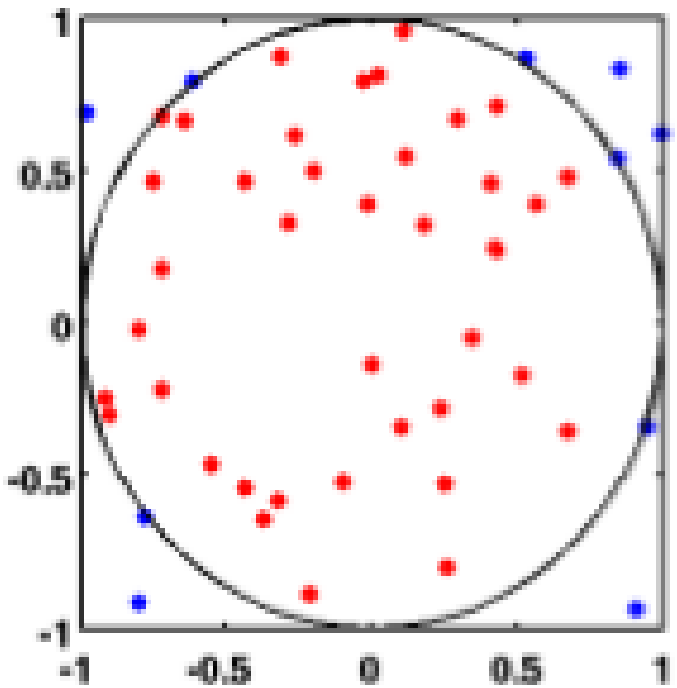
```cpp
#include "Ruletka.h"

Ruletka::Ruletka(std::default_random_engine& engine)
{
    myEngine = engine;
}

Ruletka::~Ruletka() {}

Uczciwa::Uczciwa(std::default_random_engine& engine): Ruletka(engine) {}

Europejska::Europejska(std::default_random_engine& engine): Ruletka(engine) {}

Amerykanska::Amerykanska(std::default_random_engine& engine): Ruletka(engine) {}
int Uczciwa::zakrec()
{
    std::uniform_int_distribution<int> dist(1, 36);
    int randomElement = dist(myEngine);
    return randomElement;
}

int Europejska::zakrec()
{
    std::uniform_int_distribution<int> dist(0, 36);
    int randomElement = dist(myEngine);
    return randomElement;
}

int Amerykanska::zakrec()
{
    std::uniform_int_distribution<int> dist(0, 37);
    int randomElement = dist(myEngine);
    if(randomElement == 37)
        randomElement = 0;
    return randomElement;
}
```

Przykłady - objętość N-wymiarowej kuli

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

Sugestia:

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



Przykłady - muzycy

Orkiestra składająca się ze 100 muzyków gra koncert. Każdy muzyk gra na innym instrumencie. Po zagraniu koncertu schodzą ze sceny i chowają swoje instrumenty do pudełek. Na każdym pudełku jest etykietka jaki instrument powinien znaleźć się w pudełku. Pudełka są identyczne, na tyle duże, że każdy z instrumentów może się tam zmieścić. Muzycy są jednak zmęczeni i chowają instrumenty niedbale (nie zwracają uwagi na etykietki). Gdy wszystkie instrumenty są schowane do pudełek przybiega menadżer i krzyczy: "co Wy robicie! musicie zagrać jeszcze jeden utwór". Muzycy muszą znaleźć swoje instrumenty. Muszą to robić sekwencyjnie, jeden po drugim. Nie mogą się komunikować, oznaczać pudełek, zostawiać otwartych itp. Każdy muzyk podchodzi do wybranego przez siebie pudełka, otwiera je, sprawdza czy to jego instrument. Jeśli znalazł, zapamiętuje naklejoną etykietę i zamyka pudełko. Jeśli nie znalazł, może powtórzyć to dla innego pudełka. Każdy muzyk może sprawdzić maksymalnie 50 pudełek (100/2). W jaki sposób powinni sprawdzać pudełka aby zmaksymalizować szanse na powodzenie?

Pytania?