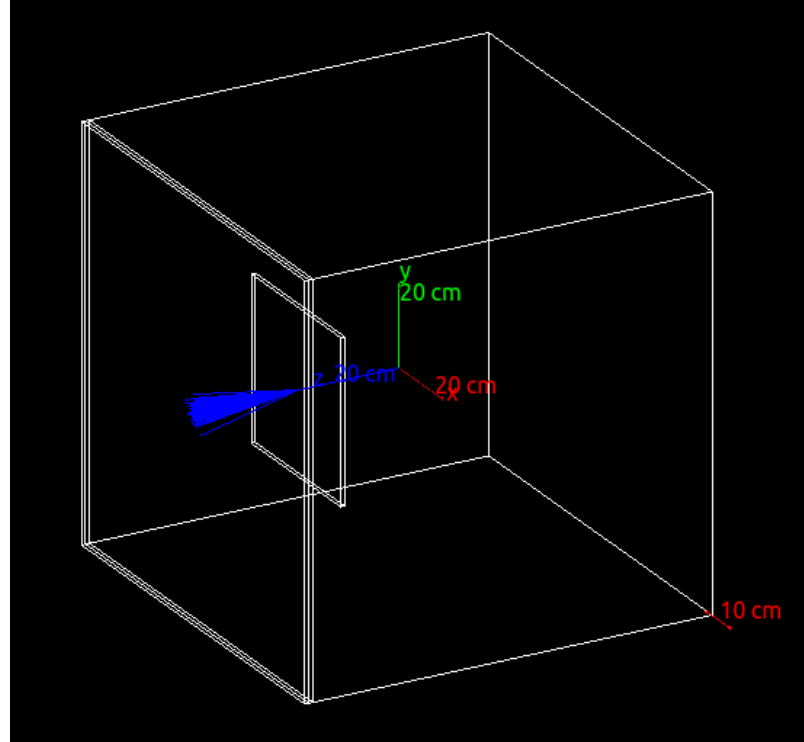


Geant4'e Giriş



Ahmet Bingül
ODTÜ Fizik Bölümü
abingul@metu.edu.tr

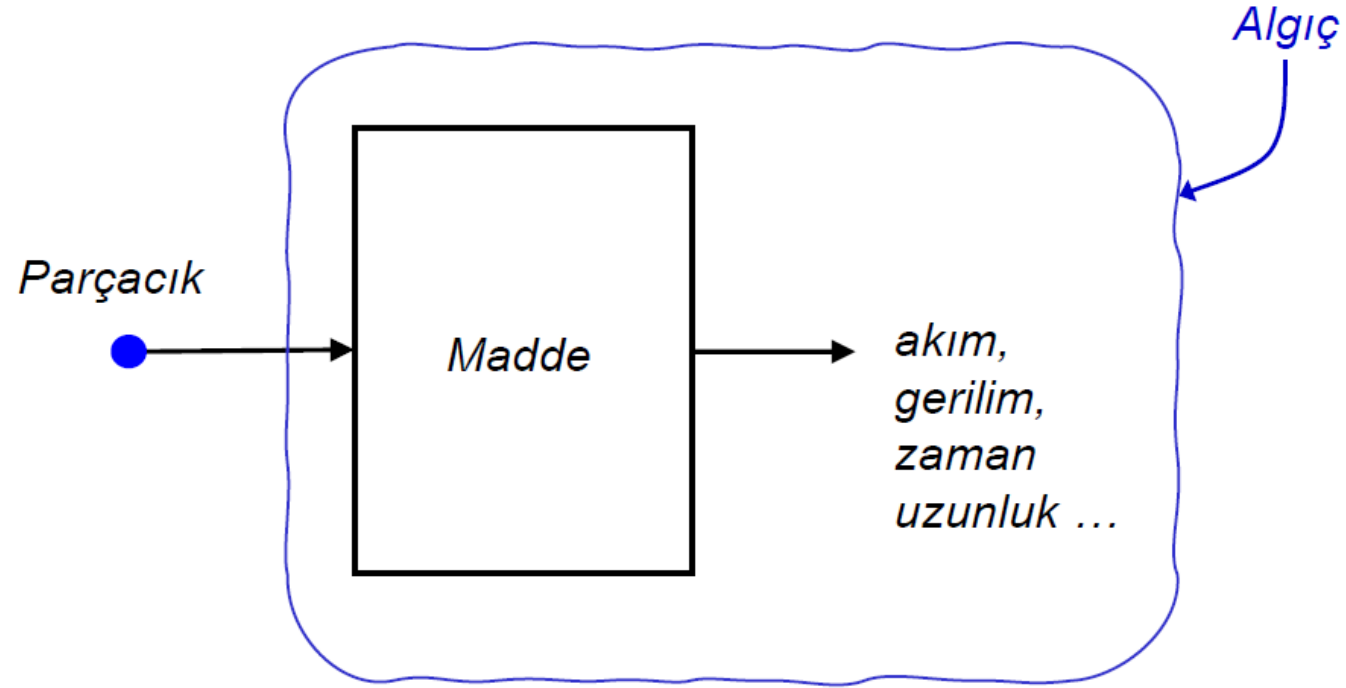
- Giriş
- Geant4 Nedir?
- Geant4'ün Genel Yapısı
- Geant4 Örnekleri
- Örnek Benzetim: Çoklu Coulomb Saçılması

GİRİŞ

Parçacığı Görmek

Bir **parçacığı** ölçmek (tespit etmek) için,

1. parçacığın bir **madde** etkileşime girmesini sağlanmalı
2. parçacığın sistemde meydana getirdiği **ölçülebilir değişimler** incelenmeli

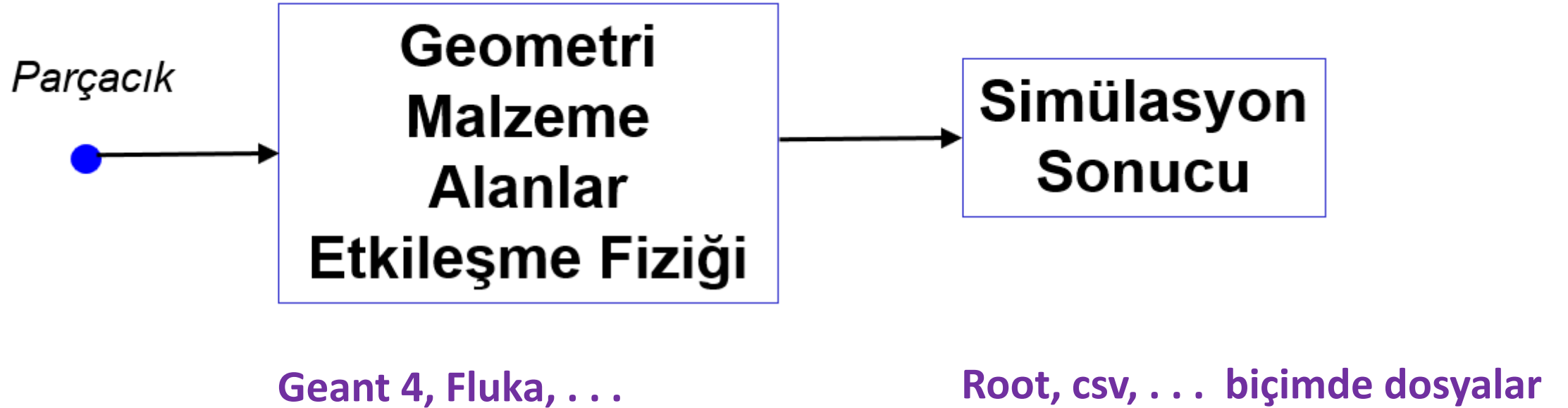


Algıç Benzetimi

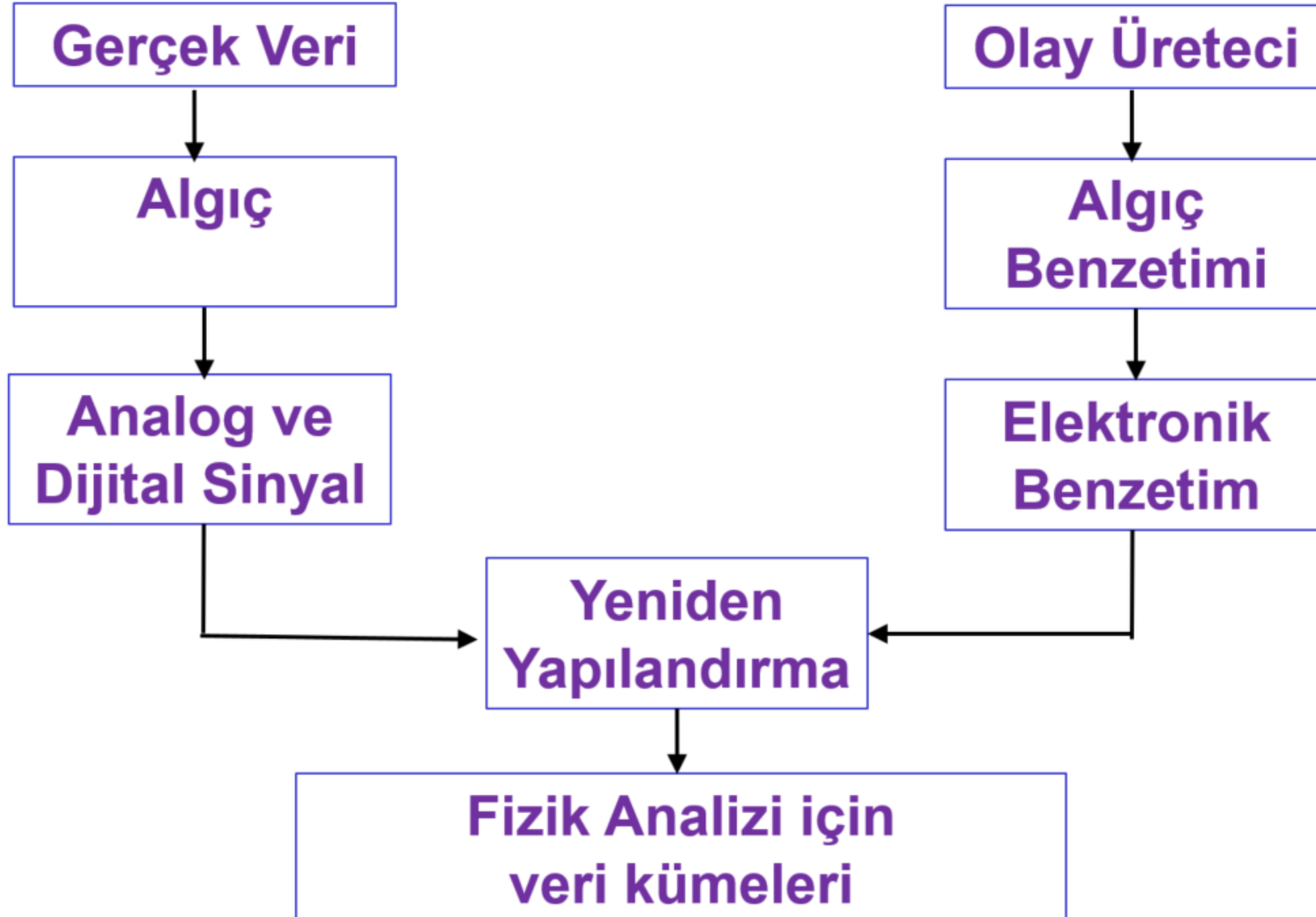
Benzetimler kuramsal hesaplamaları kullanır.

Girdiler: Parçacık enerjisi, maddenin özellikleri, geometrisi, Fizik

Çıktılar: Madde-Parçacık etkileşme sürecinin sonuçları (kimlik, 4-vektör, enerji birikimi, ...)



Veri Toplama



GEANT4 NEDİR?



<https://geant4.web.cern.ch>

Toolkit for the simulation of the passage of particles through matter. Its areas of application include

- high energy physics
- nuclear physics
- accelerator physics
- medical science (PET, CT)
- space science

Geant4 Eğitim

- Geant4 Documentation
<https://geant4.web.cern.ch/docs>
- Getting started with Geant4 - theory and practice (2024)
<https://indico.cern.ch/event/1485651/>
- Getting Started with Geant4 (19-23 May 2025)
<https://indico.cern.ch/event/1505379/>
- Geant4/Root/Pythia8 Tutorials
https://www.youtube.com/@physics_matters

Geant4



<http://www.geant4.org/>



S. Agostinelli et al.
Geant4: a simulation toolkit
NIM A, vol. 506, no. 3, pp. 250-303, 2003



Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de Physique des Particules

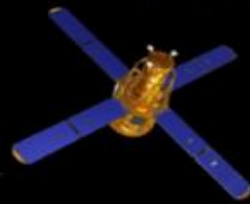
J. Allison et al.
Geant4 Developments and Applications
IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 53, no. 1, pp. 270-278, 2006



Geant4 in space



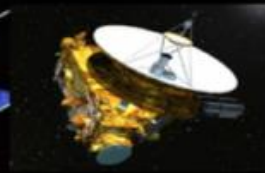
Akebono



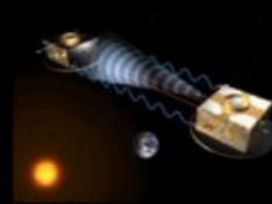
RHESSI



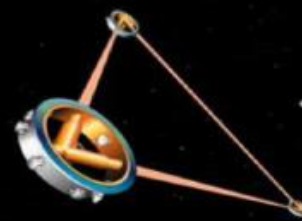
ACE



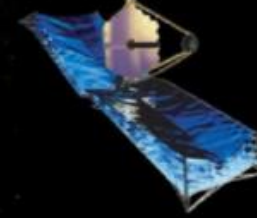
New Horizons



LISA Pathfinder



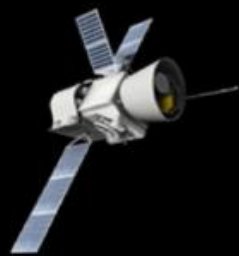
LISA



JWST



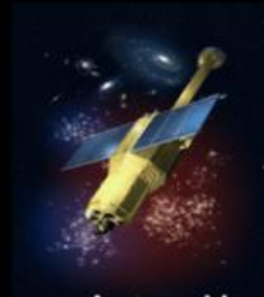
INTEGRAL



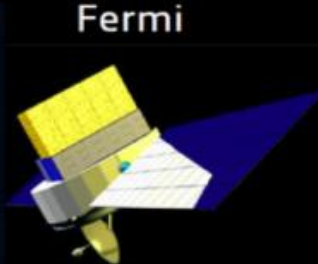
BepiColombo



Messenger



Astro-H



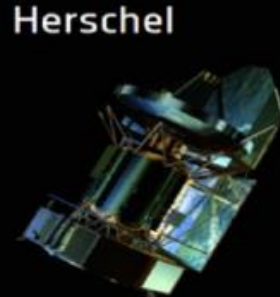
Fermi



SOHO



GAIA



Herschel



Cassini



Suzaku



SWIFT



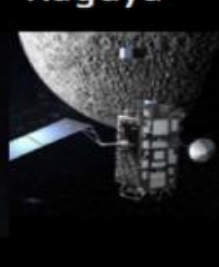
XMM-Newton



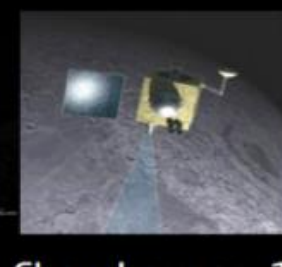
JUICE



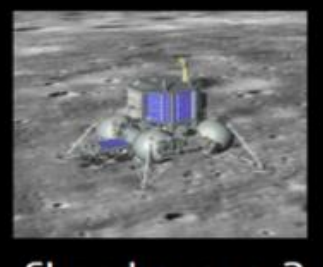
JUNO



Kaguya



Chandrayaan-1



Chandrayaan-2



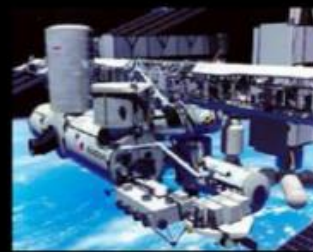
Columbus



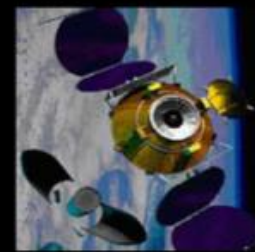
EUSO



AMS



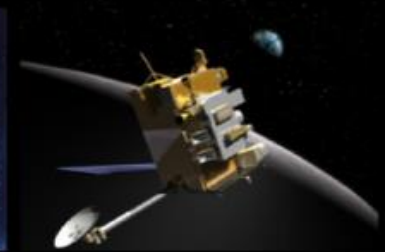
MAXI



ConeXpress



Chang'e-1



LRO

Tarihçe

- San Francisco workshop (1994) “Geant steps into the future” R. Brun et al.
- December 1998 First version . . .
- Rev 1.0: First sphinx version implemented for Geant4 Release 10.4, 8th Dec 2017
- Rev 2.0: Updates and fixes in documentation for Geant4 Release 10.4, 15th May 2018
- Rev 3.0: Geant4 Release 10.5, 11th December 2018
- Rev 3.1: Geant4 Updates and fixes - especially to search functionality, 5th March 2019
- Rev 4.0: Geant4 Release 10.6, 6th December 2019
- Rev 5.0: Geant4 Release 10.7, 4th December 2020
- Rev 6.0: Geant4 Release 11.0, 10th December 2021
- Rev 7.0: Geant4 Release 11.1, 9th December 2022
- Rev 7.1: Geant4 Fixes to http links, 15th July 2023
- Rev 8.0: Geant4 Release 11.2, 8th December 2023
- Rev 9.0: Geant4 Release **11.3**, 6th December 2024

GEANT 4'ün GENEL YAPISI

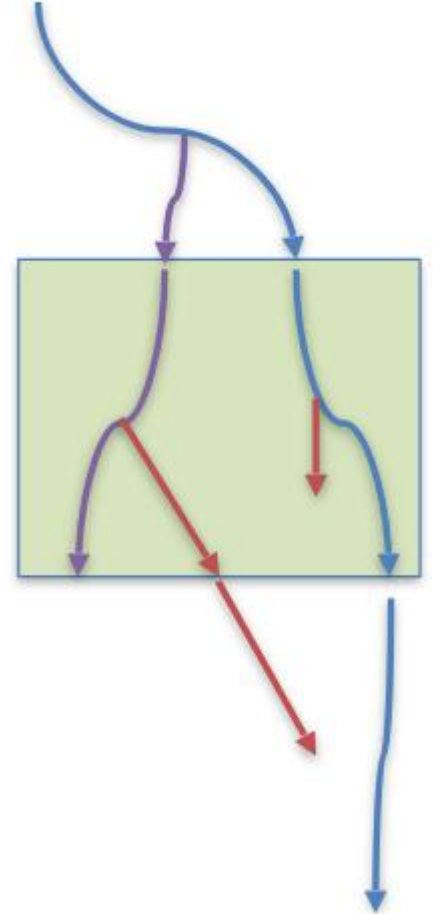
Terimler

- Run, event
- Track (İz) <-> Trajectory (yörünge), step <-> yörünge noktaları
- Process (At rest, along step, post step)
- Cut = production threshold (Üretim Eşik Değerleri)
- Sensitive detector (SD) , score, hit
- MultiThread

Event

Event(Olay) - G4 benzetiminin en küçük birimidir.

- Benzetim başladığında öncül (primer) izler birleştirilerek istiflenir.
- İstiflenen izler tek tek ele alınarak ikincil (sekonder) izler oluşturulur.
- Elde edilen tüm izlerin istiflenmesi bitinceye kadar işlem devam eder.
- **G4Event** sınıfı tek bir olayı temsil eder.
İşlem sonunda aşağıdaki nesnelere sahiptir:
 - *Girdi: Birincil köşeler (primary vertices) ve parçacık listesi*
 - *Çıktı: Vurma (hit) sayıları, Yörüngeler (Trajectories) ve parçacık listesi*
- **G4EventManager** sınıfı bir olayın üretilmesini yönetir.
- **G4UserEventAction** sınıfı kullanıcı tanımlı olayları yönetir.



Run

Run: Çalışma (Koşma)

- Gerçek deneylerde ve benzetimlerde; deney sisteminin yeterli miktarda veri alıncaya kadar çalıştırılması, yani yeterince istatistik toplaması gerekir. Bu işleme bir koşma (run) denir.
- Bir koşma, aynı algıç durumlarını paylaşan bir çok olaydan oluşur (run = Σ events).

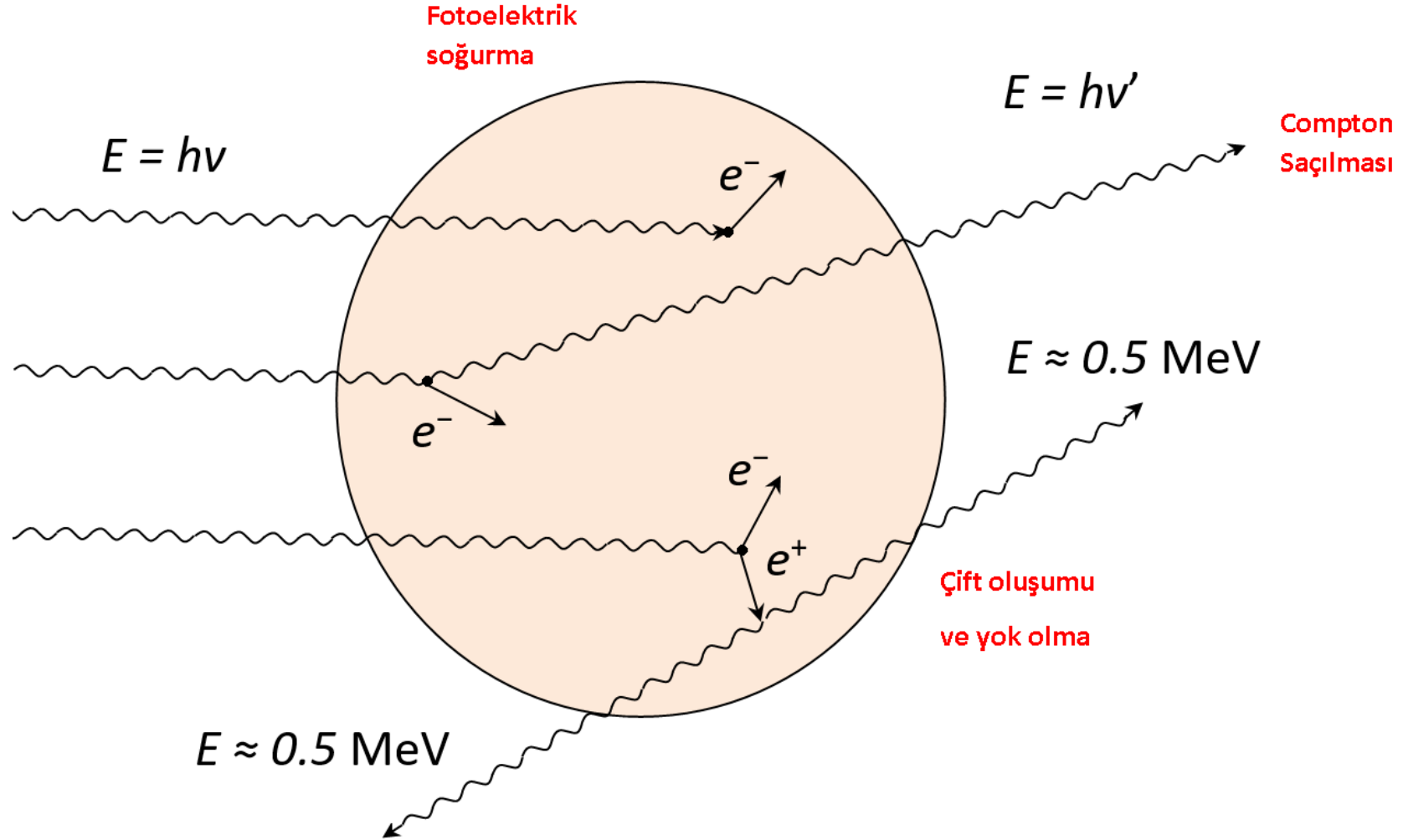
Geant4 'da **/run/beamOn** komutu çalışmayı başlatan komuttur.

/run/beamOn 10 10 olay koştur

/run/beamOn 1000 1000 olay koştur

- **G4RunManager** sınıfı çalışmanın yönetimini ve temsilini sağlar.
- **G4Run** sınıfı kullanıcı tanımlı koşmaların türetilmesini sağlar.
- **G4RunUserAction** sınıfı kullanıcı tanımlı koşmaları yönetimi içindir.

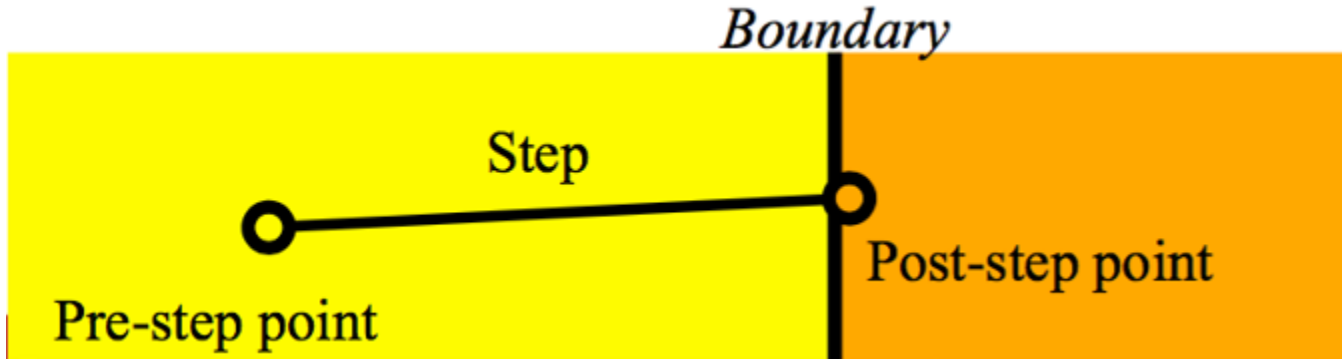
Event / Run



Step

Step (Adım) - G4 içinde bir parçacığın yerdeğiştirme bilgisini taşır.

- Adım'ın iki noktası ve ayrıca bir parçacığa ait "delta" bilgisi vardır. (adımdaki enerji kaybı, uçuş süresi vb.)
- Her bir noktada hacim ve malzeme bilgisi tutulur. Eğer noktalardan birisi sınıra denk geldiyse; sonraki hacime ait olarak kaydedilir.



- **G4Step** sınıfı tek bir adımı temsil eder.
- **G4SteppingManager** sınıfı bir adımın üretilmesini yönetir.
- **G4UserSteppingAction** kullanıcı tanımlı adımlar ile yönetilir.

Track / Trajectory

Track (İz = parçacık) - G4 içinde bir parçacığın anlık ekran görüntüsüdür (snapshot of a particle).

- İz, adımların bir araya getirilmesi ile oluşturulmaz!
- İzler hızlıca işlenir ve kinetik enerjisi sıfıra düşünce yada çalışma uzayını terk edince silinir.

- **G4Track** sınıfı tek bir izi temsil eder.
- **G4TrackingManager** sınıfı bir izin üretilmesini yönetir.
- **G4UserTrackingAction** kullanıcı tanımlı izler ile yönetilir.

Trajectory (Yörünge)

- İz nesnelere olay sonunda kaybolur.
- Bir iz bilgisini kaydetmek için Trajectory sınıfı kullanılır.
- **G4Trajectory** sınıfı tek yörünge oluşumunu temsil eder ve **G4Track** nesnesinin bazı bilgilerini kopyalar.

Veri Tipleri / Birim Sistemi

- Geant4 kendi iç veri tiplerine sahiptir. `G4int`, `G4double` gibi.
- Geant4'te `ostream` sınıfında tanımlı `G4cout` and `G4cerr` ve `G4endl` kullanılır. `std::cout` kullanılması tavsiye edilmez.
- Geant4 kendi iç (gizli) birim sistemine sahiptir. Programda kullanılan birçok sayısal ifade uygun bir birim ile çarpılmalıdır.

```
G4double radius      = 10.0 * cm;  
G4double kineticE    = 0.7 * GeV;  
G4double density     = 8.93 * g/cm3;
```

Sayıyı elde etmek için, ilgili büyüklük uygun birime bölünmelidir.

```
G4cout << eDep / MeV << " [MeV]" << G4endl;
```

Geant 4'te, fizik listesi:

- simülasyon uygulamasında kullanılacak tüm parçacıklara yada
- her bir parçacığa atanan ayrı fizik süreçlerini belirtir.

Geant4 herkesin, her zaman ve her durumda kullanabileceği bir fizik süreci sağlar mı? Hayır!

Neden?

- *Aynı parçacık-madde çifti için farklı etkileşmeler söz konusu olabilir. (Hadronik ve/veya Elektromanyetik süreçler gibi)*
- *Hesaplama süresi büyük bir meseledir.*

Fizik Listeleri Nasıl Oluşturulur?

1. Kalıtımsal olarak `G4VUserPhysicsList` ile
2. Kalıtımsal olarak `G4VModularList` ile
3. `G4PhysListFactory` aracılığıyla önceden paketlenmiş fizik listesi

Geant 4'ün Sağladığı Fizik Süreçleri

EM Fiziği:

- Standart (varsayılan) süreçtir. Parçacık enerjisi $E = [\text{keV}, \sim\text{PeV}]$ için geçerlidir.
- “low energy” süreci $E = [100 \text{ eV}, \sim\text{PeV}]$ için uygundur.
- “Geant4-DNA” eV mertebesine kadar inilebilir (malzeme sadece sıvı su olabilir)
- Optik Fotonlar (Cherenkov radyasyonu)

Zayıf Etkileşme Fiziği:

- Parçacık bozunumları
- Atom çekirdeklerinin radyoaktif bozunması (α, β, γ)

Hadronik Fizik:

- Saf güçlü etkileşme fiziği. $E = [0, \sim\text{TeV}]$
- elektro-nükleer ve gamma-nükleer etkileşmeler. $E = [10 \text{ MeV}, \sim\text{TeV}]$
- Hassas Nötron Hesapları $E = [0.025 \text{ eV} \sim 20 \text{ MeV}]$

Tam Fizik Listesi
Geant 4 sayfasında
bulunabilir.

[Guide for Physics Lists](#)

Bu C++ sınıfı aracılığı ile kolay bir şekilde fizik listeleri oluşturulabilir. Oluşturulan parçacıkların ilerleyişi otomatik olarak yapılır.

Bazı ekleme/çıkarma/değiştirme metotları:

- `RegisterPhysics (G4VPhysicsConstructor *)`
- `GetPhysics (...)`, by index, name, or type
- `ReplacePhysics (G4VPhysicsConstructor *)`
- `RemovePhysics (...)`, by index, name, or type

G4VModularPhysicsList

Bazı “standard” EM Fizik Kurucuları (Some EM Physics Constructors):

- `G4EmStandardPhysics` – default
- `G4EmStandardPhysics_option1` - for HEP, fast but not precise settings
- `G4EmStandardPhysics_option2` - for HEP, experimental
- `G4EmStandardPhysics_option3` - for medical and space science applications
- `G4EmStandardPhysics_option4` - most accurate EM models and settings

Bazı Hadronik Fizik Kurucuları:

- `G4HadronElasticPhysics` – default for hadron nuclear elastic for all hadrons
- `G4HadronElasticPhysicsHP` – as above, but use HP for neutrons below 20 MeV
- `G4HadronPhysicsFTFP_BERT` – hadron nucleus inelastic physics for all hadrons
- `G4IonPhysics` – interactions of Ions

Kurucuların tam listesinin yeri:

- `geant4/source/physics_lists/constructors/...`

Daha fazla bilgi için:

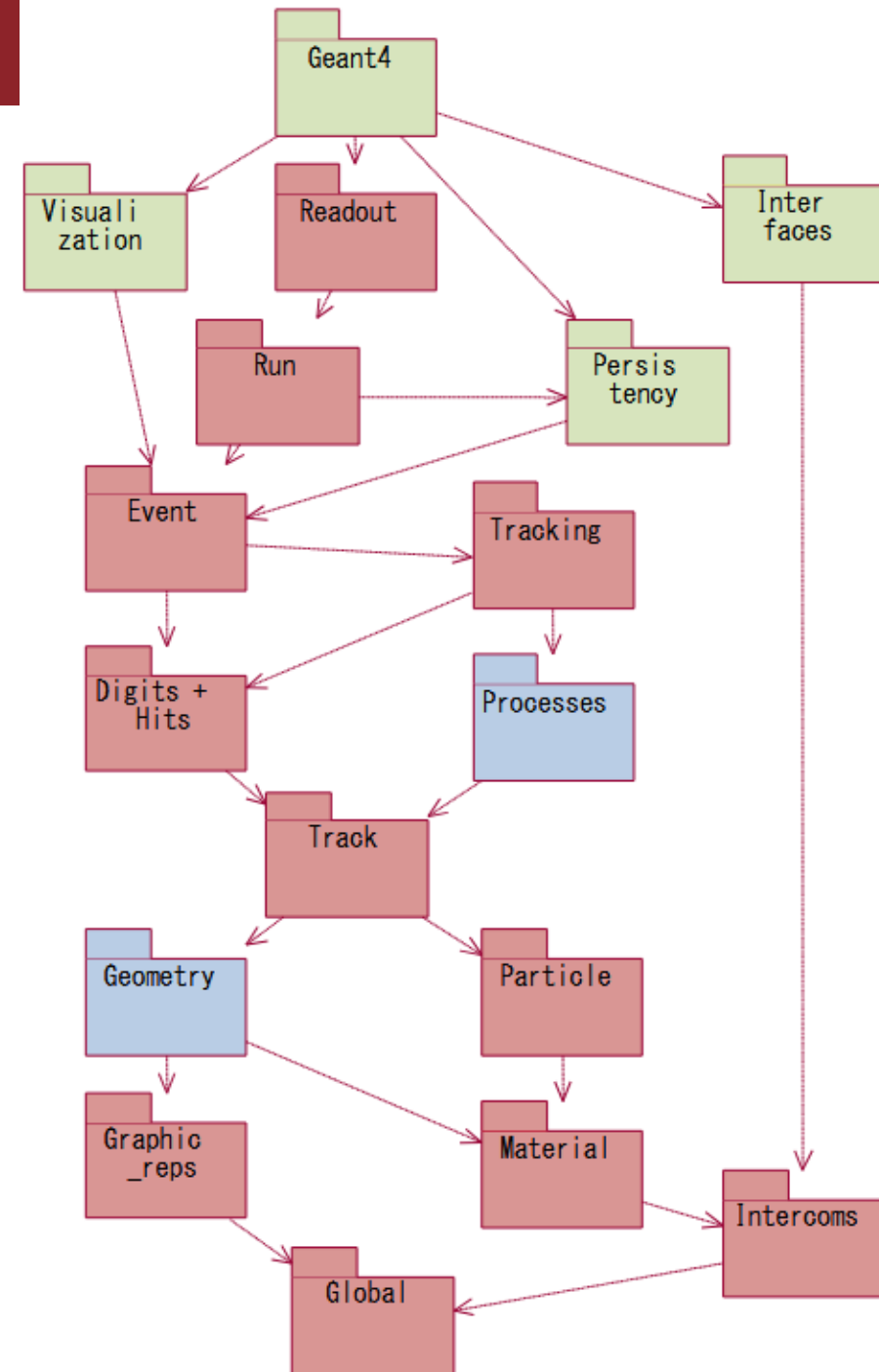
- README dosyaları `geant4/source/physics_lists/constructors/.../README`
- <http://cern.ch/geant4-userdoc/UsersGuides/PhysicsListGuide/html/index.html>

**Tam Fizik Listesi
Geant 4 sayfasında
bulunabilir.**

[Guide for Physics Lists](#)

Geant4 Kernel

- Geant4 17 kategoriden oluşur.
- Geant4 Kernel
 - run, event, track, step, trajectory , ve hit işlemlerini gerçekleştirir.
 - Kullanıcıya bir çerçeve sunar:
 - physics processes
 - Visualization drivers
 - (G)UI
 - Persistency mechanism
 - Histogramming
 - User's framework

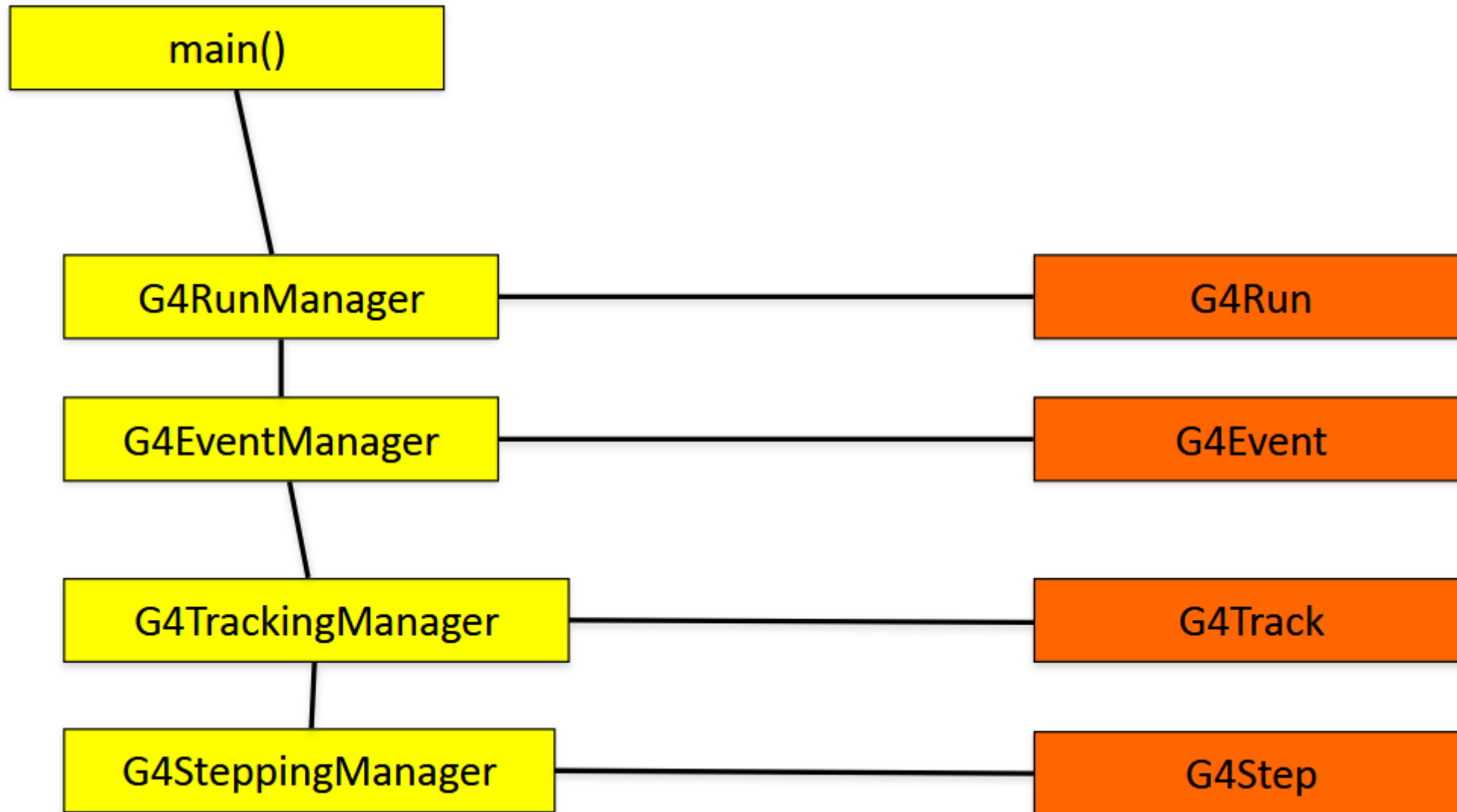


Kullanıcı Sınıfları

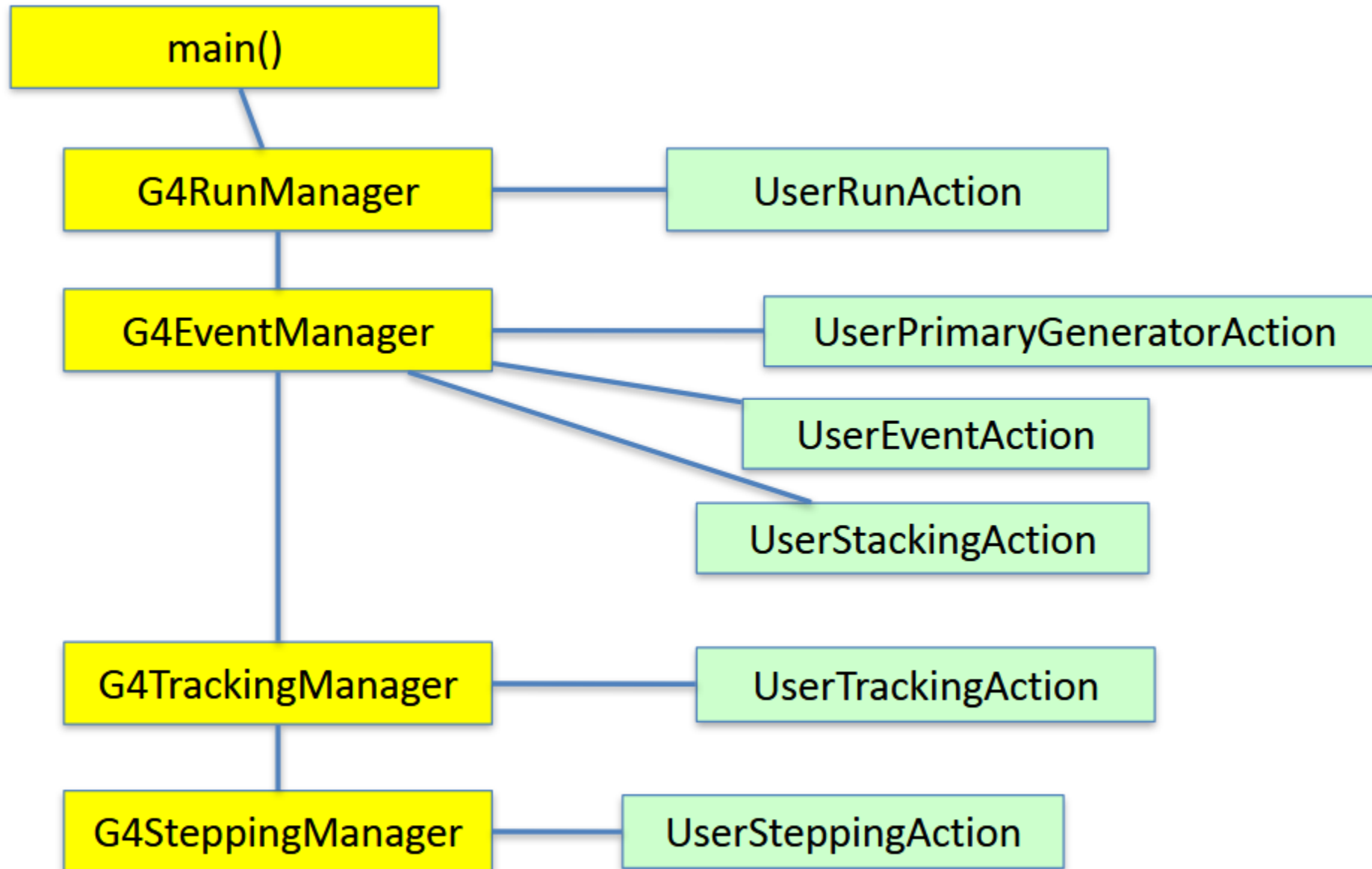
- `main()` : Geant4 does not provide main function.
- Initialization classes
 - Use `G4RunManager::SetUserInitialization()` to define.
 - Invoked at the initialization
 - `G4VUserDetectorConstruction`
 - `G4VUserPhysicsList`
 - `G4VUserActionInitialization`
- Action classes
 - Instantiate in your `G4VUserActionInitialization`.
 - Invoked during an event loop
 - `G4VUserPrimaryGeneratorAction`
 - `G4UserRunAction`
 - `G4UserEventAction`
 - `G4UserStackingAction`
 - `G4UserTrackingAction`
 - `G4UserSteppingAction`

Note :
classes written
in red are
mandatory!

Genel Durum



Genel Durum



Geometri Tanımlama

- Geometri oluşturma; deneyde kullanılacak **malzemenin yerlerinin** tanımlanması işlemidir.
- Benzetimin **her adımında izlenen yol üzerindeki** materyaller (parçacık) kontrol edilir / ötelenebilir / etkileşime girebilir.
- Basit geometriler (kutu, silindir, küre) işlem (hesaplama) süresini kısaltır.
- Ayrıntılı benzetimlerde karmaşık/gelişmiş geometriler kullanılabilir.
- CAD yapılar sisteme dahil edilebilir.

Geometri Tanımlama

Solid, katı geometrilerden oluşan tanımlamalardır ve hazır sınıflardır

`G4Box`, `G4Sphere`, `G4Cylinder`, ...

Aşağıdaki sıra ile tanımlanırlar:

- Katı geometriye bir materyal eklenir
- Katı geometriye E veya B alanları eklenir
- Katı geometri hassas (sensitive) yapılır
- Kullanıcı limitleri belirler.
- Fiziksel kız hacimler belirlenir.
(physical daughter volumes)

Solids

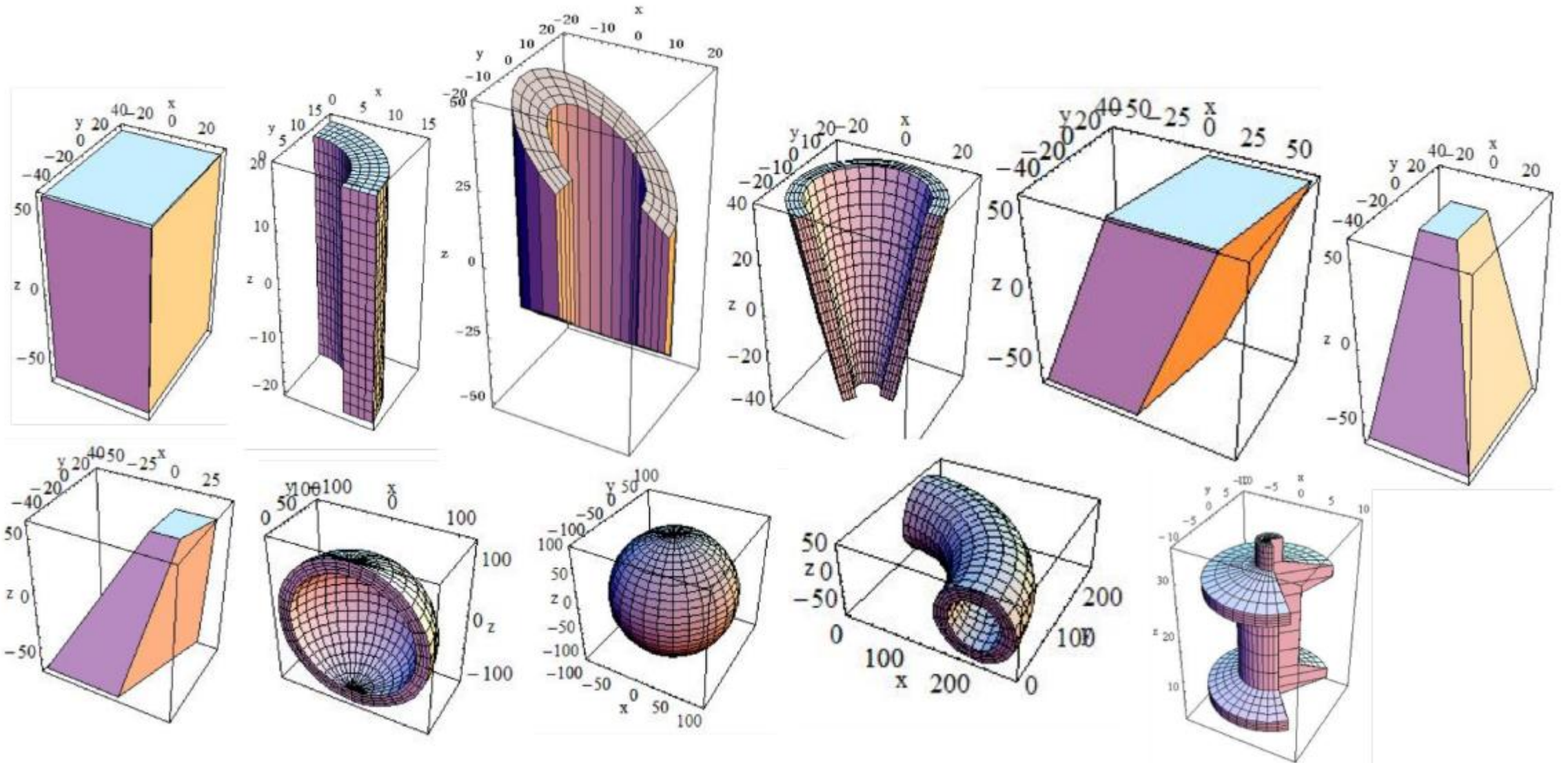


Logical Volumes



Physical Volumes

Geometri Tanımlama



Mantıksal Hacimler

Katı Geometriler (solids) malzemelerin sadece boyutunu ve şeklini belirtir.

Hacimlere aşağıdaki özellikler verilebilir;

- Materyal cinsi
- E / B Alanlar
- Görselleştirme Atıfları
- Hassasiyet
- Kız hacimlerin pozisyonları
- Bölgeler / Lezyonlar

Solids



Logical Volumes



Physical Volumes

Fiziksel Hacimler

- Oluşturulan katı ve mantıksal hacimlerin yerleşimi veya hareketi fiziksel hacim ile tanımlanır.
- Geant4 benzetimleri hacim geometrilerinin hiyerarşik yapısıyla oluşturulur:
 - En üst: Kök Hacim (veya World olarak adlandırılır)
 - İçeride: Ana hacimler

Fiziksel Hacimler **G4VPhysicalVolume** sınıfıyla üretilirler.

Diğer hacimler gerçek fiziksel hacmi temsil ediyorsa **G4PVPlacement** kullanılır.

Solids



Logical Volumes



Physical Volumes

Malzeme Tanımlama

- Kullanıcılar kendi element (tümü olduğu halde) veya malzemelerini oluşturabilir.
- NIST Material veritabanı kullanılabilir.
- Bütün tanımlı malzeme listesi:
<https://geant4-userdoc.web.cern.ch/UsersGuides/ForApplicationDeveloper/html/Appendix/materialNames.html>

Malzeme Tanımlama

Tek malzeme tanımı:

```
G4double density = 4.506*g/cm3;
```

```
G4double a = 47.867*g/mole;
```

```
G4Material* ti = new G4Material("pureTitanium", z=22, a, density);
```

Molekül tanımı:

```
G4double a = 1.01*g/mole;
```

```
G4Element* elH = new G4Element("Hydrogen", "H", z=1, a);
```

```
a = 16.00*g/mole;
```

```
G4Element* elO = new G4Element("Oxygen", "O", z=8, a);
```

```
G4double density = 1.0*g/cm3;
```

```
G4int ncomp = 2;
```

```
G4Material* H2O = new G4Material("Water", density, ncomp);
```

```
G4int nAtoms;
```

```
H2O->AddElement(elH, nAtoms=2);
```

```
H2O->AddElement(elO, nAtoms=1);
```

Malzeme Tanımlama

Alaşım tanımı:

```
G4Element* elC = ... ;    // define carbon
G4Material* H2O = ... ;   // define molecule (previous page)
G4Material* SiO2 = ... ;  // define another molecule

G4double density = 0.20*g/cm3;
G4int ncomp = 3;
G4double fracMass;
G4Material* Aerog = new G4Material("Aerogel", density, ncomp);

Aerog->AddMaterial(SiO2, fracMass = 62.5*perCent);
Aerog->AddMaterial(H2O, fracMass = 37.4*perCent);
Aerog->AddElement(elC, fracMass = 0.1*perCent);
```

Basit Bir örnek

```
// Define world material
```

```
G4Material      *worldMat = nist->FindOrBuildMaterial("G4_Galactic");  
G4Box           *solidWorld = new G4Box("solidWorld",0.5*m,0.5*m,0.5*m);  
G4LogicalVolume *logicWorld = new G4LogicalVolume(solidWorld,worldMat,"logicWorld");  
G4VPhysicalVolume *physWorld = new G4PVPlacement(0,G4ThreeVector(0,0,0), logicWorld,  
                                                "pyhsWorld", 0, false, 0, true);
```

```
// Define copper material manually
```

```
G4Element* elCu = new G4Element("copper","Cu",29,63.55*g/mole);  
G4Material* copperMaterial = new G4Material("CU",8.93*g/cm3,1);  
copperMaterial->AddElement(elCu,1);
```

```
// define a block made from copper
```

```
G4Box *solidBlock = new G4Box("solidBlock", 0.2*m, 0.2*m, 5*mm);  
G4LogicalVolume *logicBlock = new G4LogicalVolume(solidBlock,copperMaterial,"logicBlock");  
G4VPhysicalVolume *physBlock = new G4PVPlacement(0,G4ThreeVector(0,0,0.25*m),  
                                                logicBlock,"physBlock",  
                                                logicWorld, false, 0, true);
```

GEANT4 ÖRNEKLERİ

Geant4 örneklerinin kurulu olduğu dizin:

```
$ echo $G4INSTALL
/home/cern/geant4-install/share/Geant4/
$ ls -asl /home/cern/geant4-install/share/Geant4/examples/
drwxr-xr-x. 1 cern cern  992 Mar 13  2024 advanced
drwxr-xr-x. 1 cern cern  118 Mar 13  2024 basic
drwxr-xr-x. 1 cern cern  490 Mar 13  2024 extended
```

Örnekleri analiz eden Youtube kanalı:

<https://www.youtube.com/watch?v=3g9CkyBS31o&list=PLw3G-vTgPrdD4Y1knA5nFUzV4pfSVc-i>

● EXAMPLES:

1. **BASIC**
2. **EXTENDED**
3. **ADVANCED**

G4 yazılımı bu kısımda sunulan 50'den fazla örnek içerir.

README açıklamaları !!

ExampleB2a / B2b

- Simplified tracker geometry with global constant magnetic field
- Geometry with placements (G4PVPlacement) and parameterisation (G4PVParameterisation)
- Scoring within tracker via G4 sensitive detector and hits
- Geant4 physics list (FTFP_BERT) with step limiter

ExampleB3

- Schematic Positron Emitted Tomography system
- Geometry with simple placements with rotation (G4PVPlacement)
- Radioactive source - Scoring within Crystals via G4 scorers
- Modular physics list built via builders provided in Geant4

ExampleB4

- Simplified calorimeter with layers of two materials - Geometry with replica (G4PVReplica)
- Scoring within layers in four ways: via user actions (a), via user own object (b), via G4 sensitive detector and hits (c) and via scorers (d)
- Geant4 physics list (FTFP_BERT)
- Histograms (1D) and ntuple saved in the output file

ExampleB5

- A double-arm spectrometer with wire chambers, hodoscopes and calorimeters with a local constant magnetic field
- Geometry with placements with rotation, replicas and parameterisation
- Scoring within wire chambers, hodoscopes and calorimeters via G4 sensitive detector and hits - Geant4 physics list (FTFP_BERT) with step limiter
- UI commands defined using G4GenericMessenger
- Histograms (1D, 2D) and ntuple saved in the output file

● EXAMPLES:

1. **BASIC**
2. **EXTENDED**
3. **ADVANCED**

- analysis/
- biasing/
- common/
- electromagnetic/
- errorpropagation/
- eventgenerator/
- exoticphysics/
- field/
- g3tog4/
- geometry/
- hadronic/
- medical/
- optical/
- parallel/
- parameterisations/
- persisitency/
- polarisation/
- radioactivedecay/
- runAndEvent/
- visualization/

● EXAMPLES:

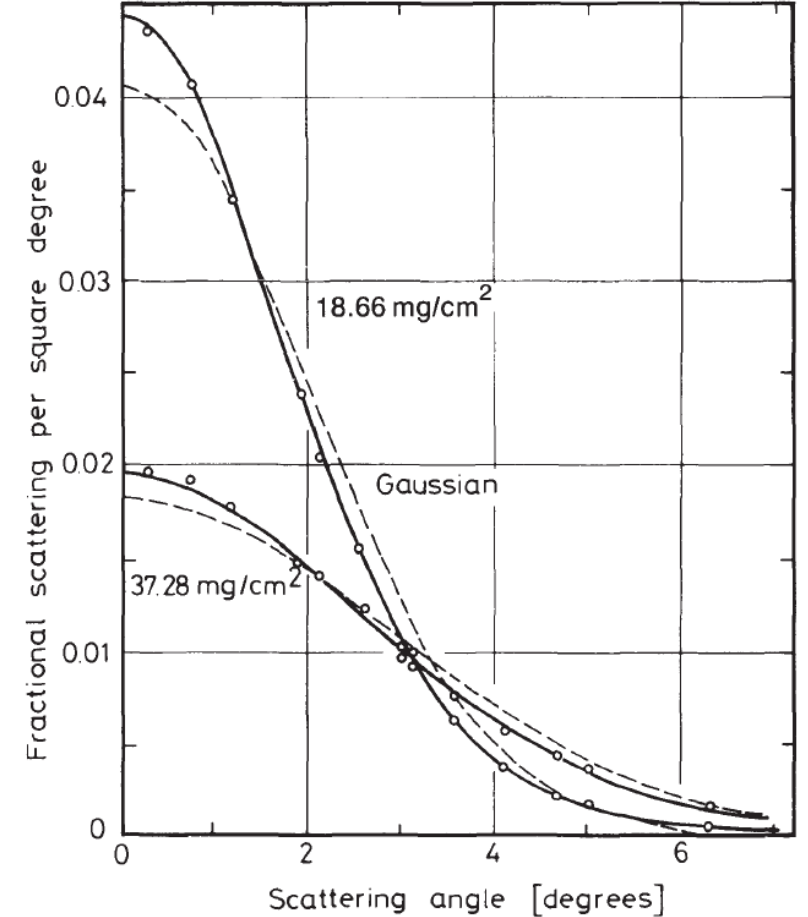
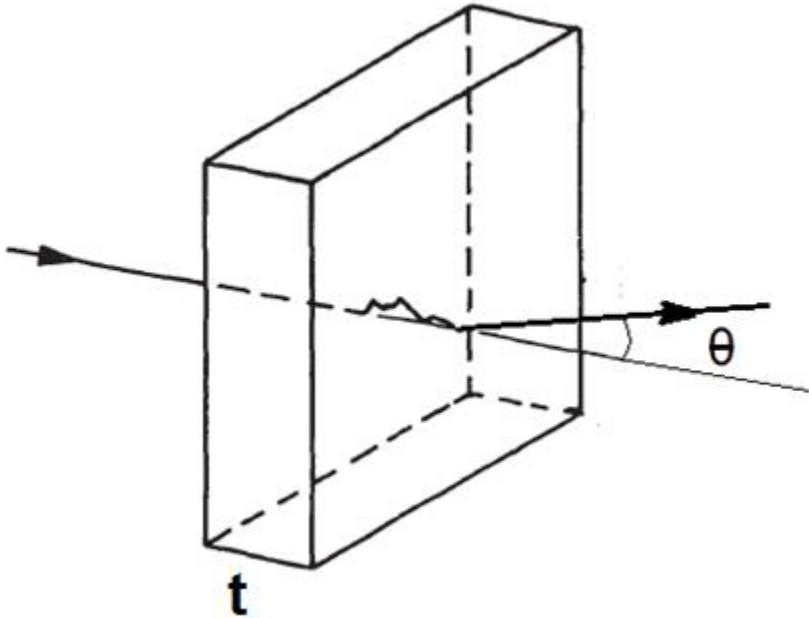
1. **BASIC**
2. **EXTENDED**
3. **ADVANCED**

- amsEcal/
- Brachytherapy/
- ChargeExchangeMC/
- Composite calorimeter/
- Dnaphysics/
- Dnageometry/
- Gamma-knife/
- Hadrontherapy/
- iort_therapy/
- Medical linac/
- Microbeam/
- Microdosimetry/
- Microelectronics/
- Nanobeam/
- Purging magnet/
- Radioprotection/
- RICH/
- Underground physics/
- X-ray fluorescence/
- X-ray telescope/

ÖRNEK BENZETİM: ÇOKLU COULOMB SAÇILMASI

Çoklu Coulomb Saçılması

- Çoklu saçılma, parçacıkların maddeyle etkileşime girdiği ve atomlarla çoklu çarpışmalara maruz kaldığı bir olgudur.
- Saçılma açısı (θ) yaklaşık olarak Gauss Dağılımı ile modellenebilir.



İnce altın folyodan saçılan 15.7 MeV enerjili elektronların açısal dağılımı

Çoklu Coulomb Saçılması

Düzlemsel saçılma açısının RMS değeri:

$$\langle \theta_{düzlem} \rangle = \frac{13.6 \text{ MeV}}{\beta p c} q \sqrt{\frac{t}{X_0}} \left[1 + 0.038 \ln \left(\frac{t q^2}{X_0 \beta^2} \right) \right]$$

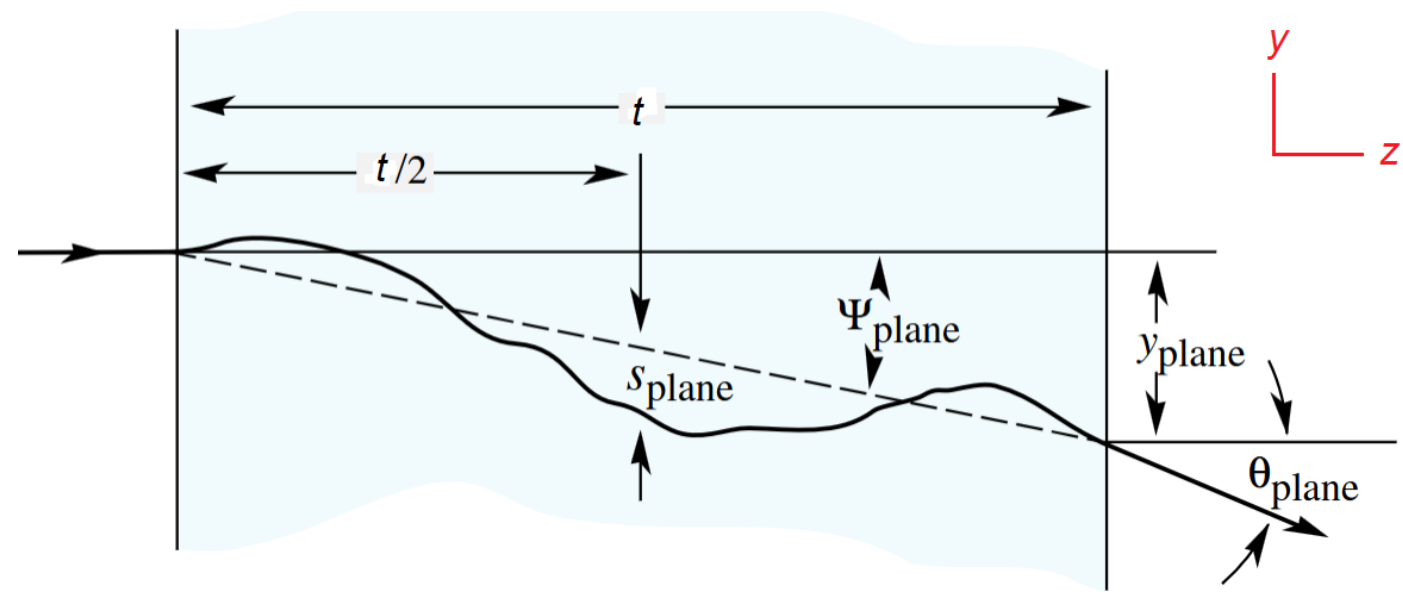
$q = (\text{parçacığın yükü}) / e$

$p = \text{momentum}$

$\beta = v / c = p / E$

$\rho = \text{yoğunluk}$

$$X_0 = \frac{716.4A}{\rho Z(Z + 1) \ln(287\sqrt{Z})}$$

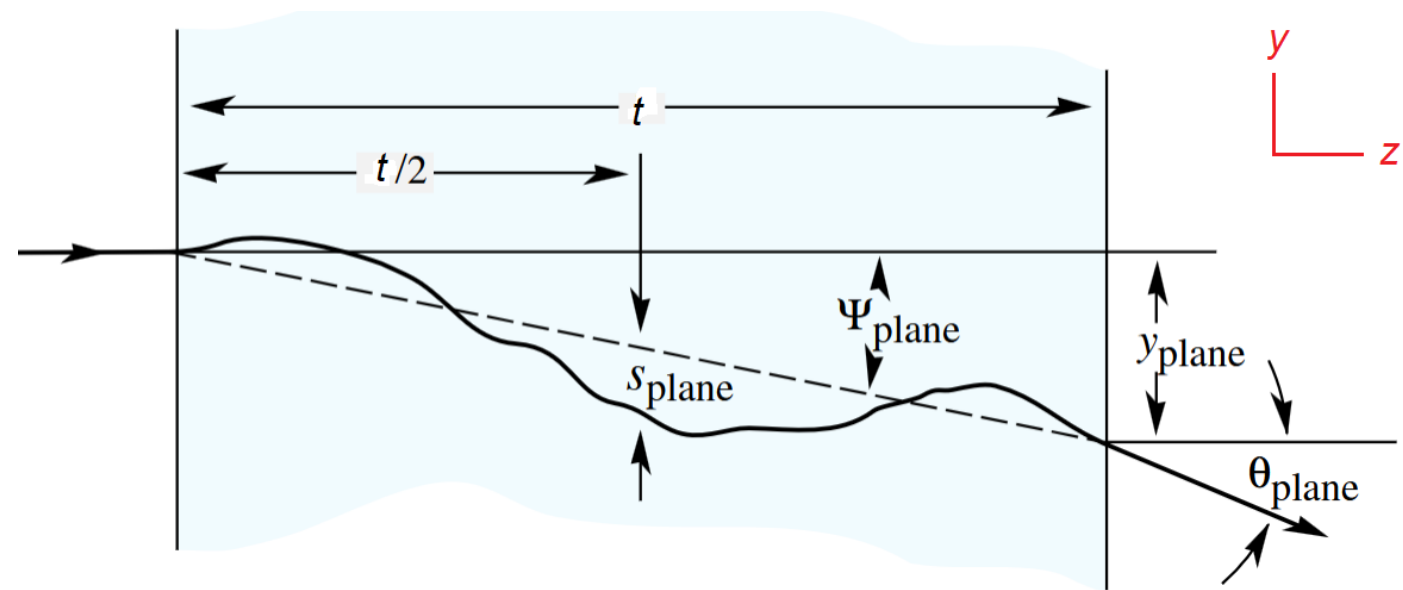


Çoklu Coulomb Saçılması

Diğer açılar:

$$\langle \theta_{uzay} \rangle = \sqrt{2} \langle \theta_{düzlem} \rangle$$

$$\langle \Psi_{düzlem} \rangle = \frac{\langle \theta_{düzlem} \rangle}{\sqrt{3}}$$



Çoklu Coulomb Saçılması

Örnek:

600 MeV/c momentuma sahip bir proton ve yüklü piyon, 5 mm kalınlığındaki bir bakır bloktan geçtikten sonra, maruz kalacakları çoklu saçılma açılarının RMS değerlerini hesaplayın.

Yanıt:

$$\langle \theta_{düzlem}^p \rangle = 1.41^\circ \quad \text{ve} \quad \langle \theta_{uzay}^p \rangle = 1.99^\circ$$

$$\langle \theta_{düzlem}^\pi \rangle = 0.74^\circ \quad \text{ve} \quad \langle \theta_{uzay}^\pi \rangle = 1.05^\circ$$

Geant4 Benzetimi

Girdiler:

Parçacık: proton (ve yüklü piyon)
 $p = 600 \text{ MeV}/c$

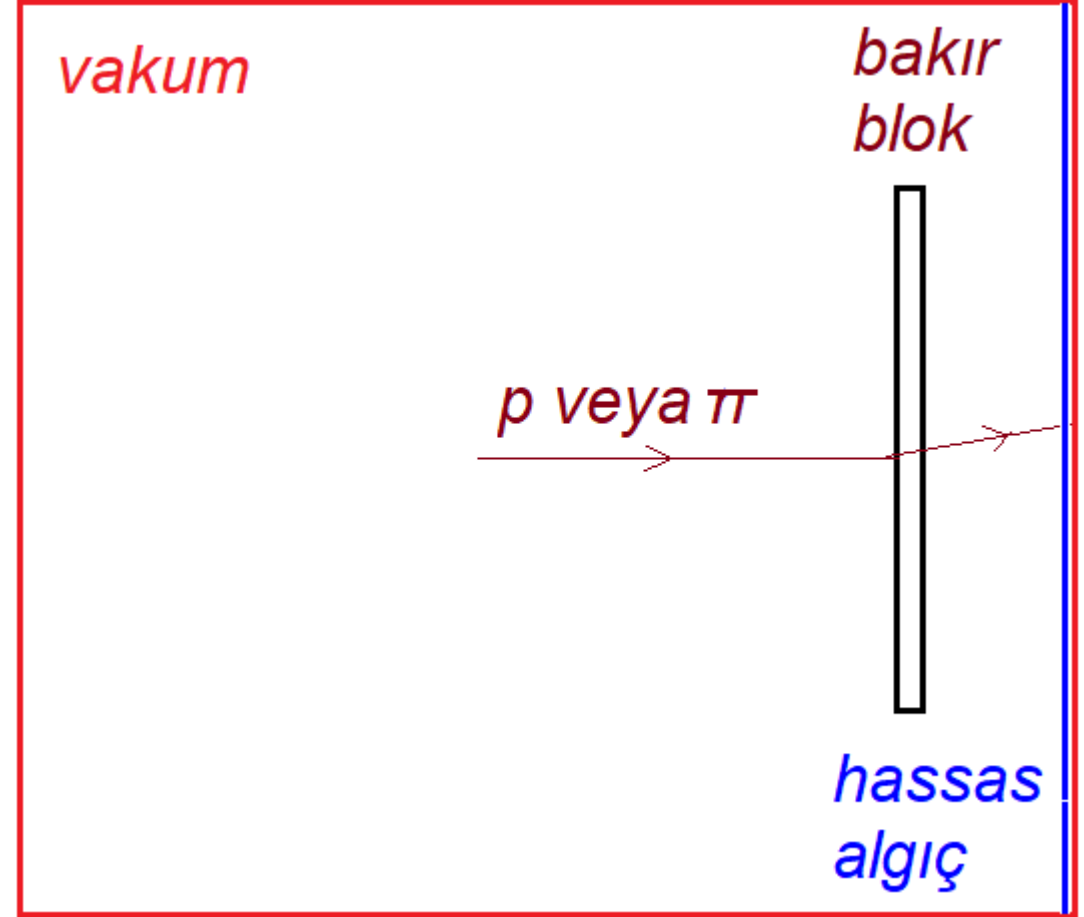
Malzeme: Bakır
 $t = 5 \text{ mm}$, $\rho = 8.93 \text{ g/cm}^3$
 $Z = 29$, $A = 64$

Algiç: Hassas (Sensitive Det.)

Ortam: Vakum (Galactic)

Çıktı:

Bakırdan terk eden parçacığın algıçta vurduğu yerin koordinatları (x, y, z), momentum bileşenlerini (p_x , p_y , p_z) ve ortamda depolanan enerji (Edep) verilerinin saklandığı root dosyaları.



Geant4 Benzetimi

Paketi indirme:

```
$ wget https://users.metu.edu.tr/abingul/geant4/mucos.tgz
```

Paketi açma:

```
$ tar -xzf mucos.tgz
```

```
$ cd mucos
```

Paketi derleme:

```
$ cd build
```

```
$ cmake ..
```

```
$ make
```

Paketi çalıştırma:

```
$ ./main
```

```
$ ./main z-run.mac
```

Verilerin Analizi:

```
$ cd ../analysis
```

```
$ root mucos.C
```

Benzetim Programlarının Açıklamaları

Program Adı

Açıklama

`main.cc`

Ana program

`action.*`

Kullanıcı tanımlı aksiyon sınıfları birleştirme

`construction.*`

Malzeme tanımlama

`detector.*`

Hassas algıç tanımlama (root dosyasını doldur)

`event.*`

Olay başına yapılması gerekenler

`generator.*`

Parçacık tanımlama

`physics.*`

Fizik süreci tanımlama

`run.*`

Koşma başına yapılması gerekenler (root dosyalarını aç / kapat)

`stepping.*`

Adım başına yapılanlar (Edep hesaplama)

`z-vis.mac`

Varsayılan makro dosyası

`z-run.mac`

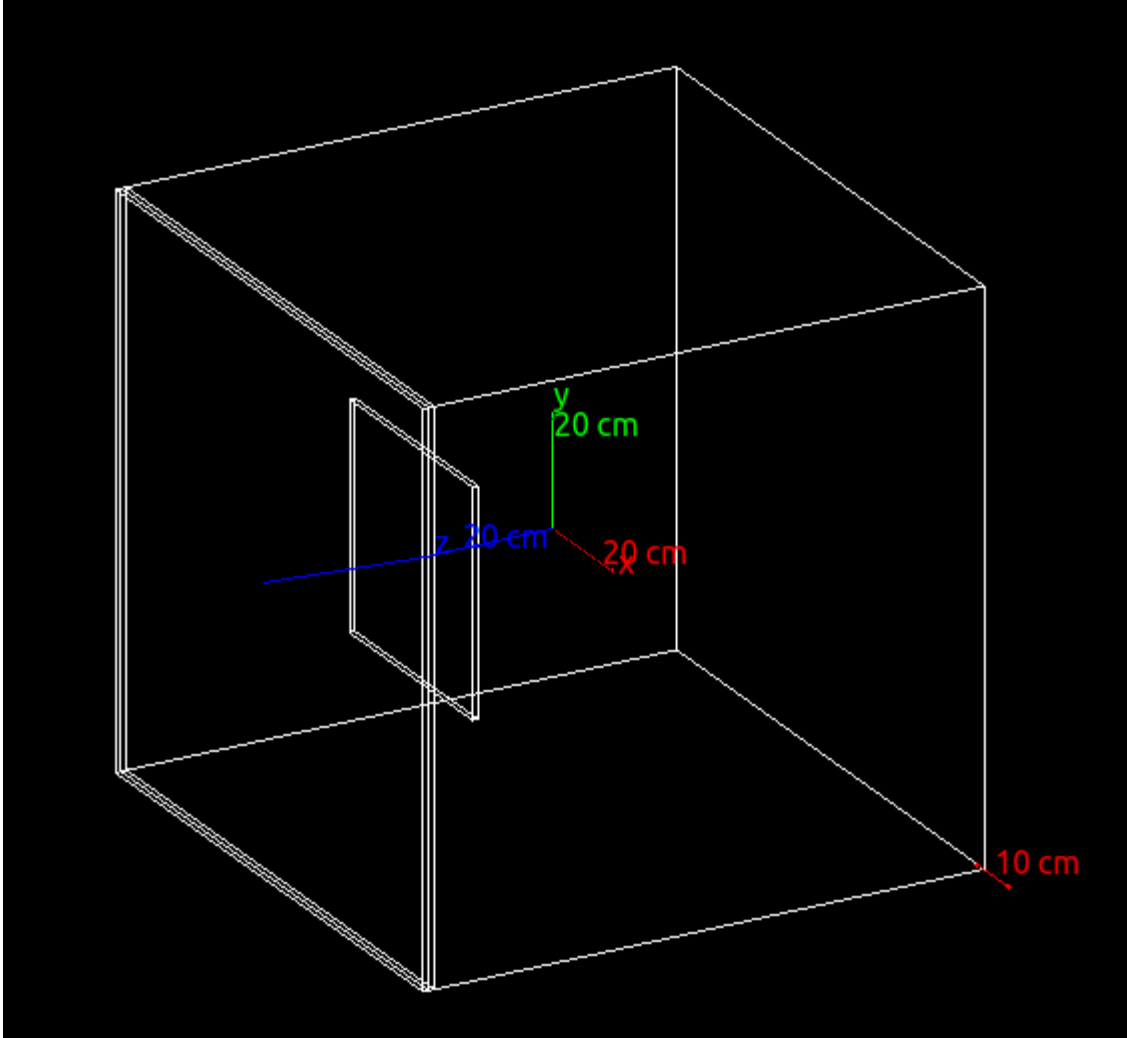
proton ve piyon parçacıklarının belirtme ve olay sayısını belirleme

`analysis/mucos.C`

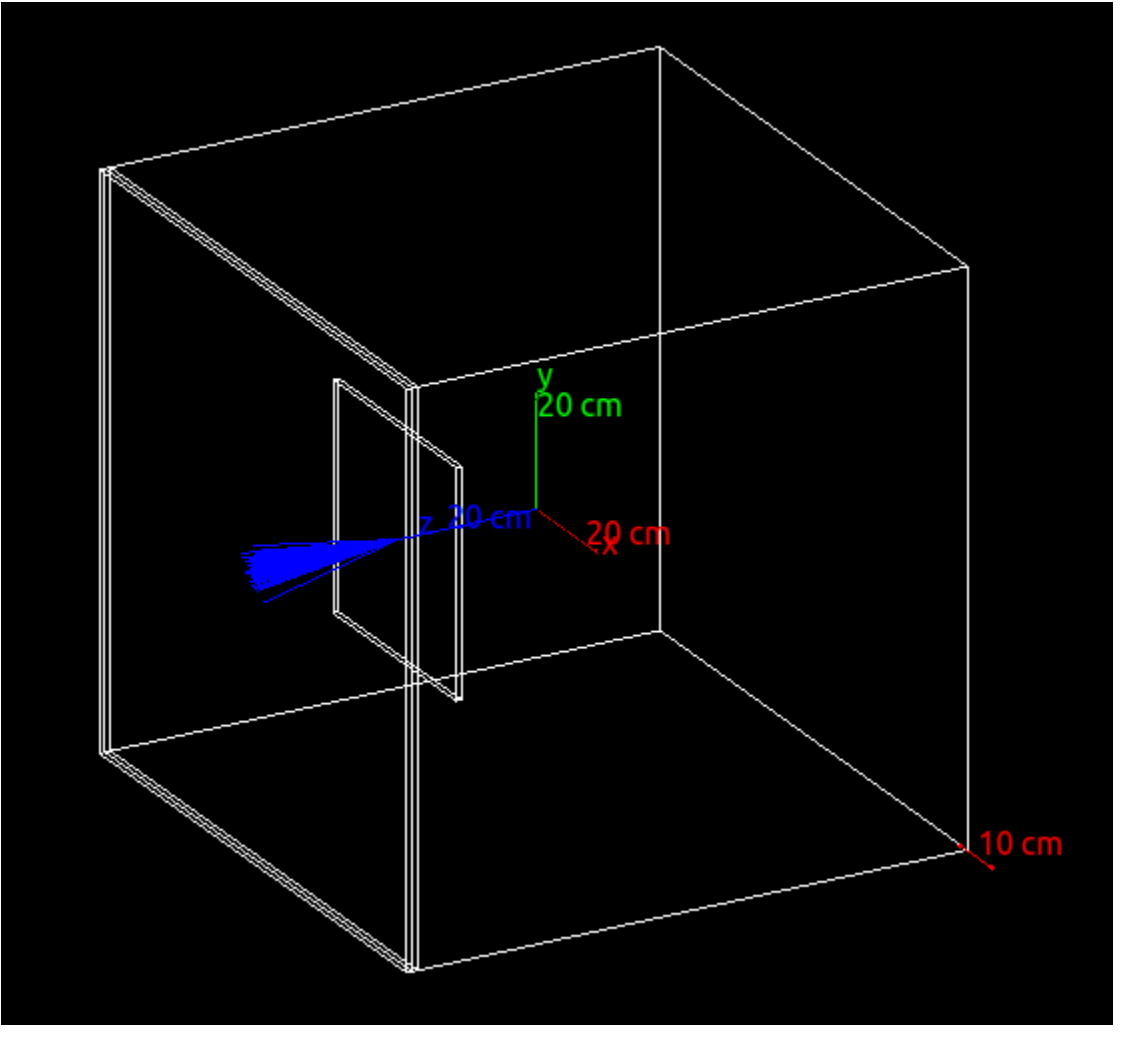
Geant4 programının çalıştırılması sonucunda üretilen root dosyalarını okur ve verilerini analiz eder.

Programın amacı Geant4 simülasyonu ile proton (ve piyon) için Çoklu Coulomb Saçılması açısının dağılımını elde etmek ve RMS değerlerini tespit etmektir. Elde edilen sonuçlar mevcut formüle kıyaslanacaktır.

1 Olay



100 Olay





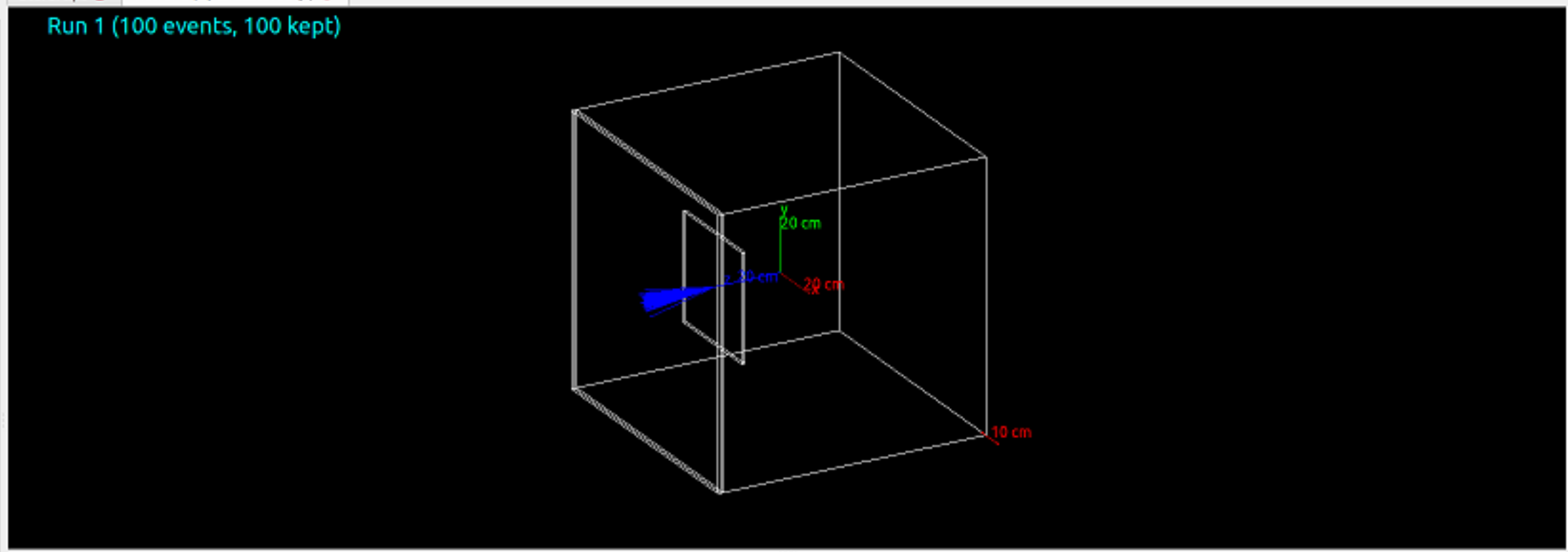
Scene tree Help History

Search:

Command

- control
- units
- profiler
- particle
- tracking
- geometry
- process
- event
- cuts
- run
- random
- material
- analysis
- gun
- gui
- vis
- param

Useful tips viewer-0 (OpenGLStoredQT)



Output

Threads: All

```

@CoulombScattering : Emin= 0 eV Emax= 100 TeV
G4VisManager: Using G4TrajectoryDrawByCharge as fallback trajectory model.
See commands in /vis/modeling/trajectories/ for other options.
1 event has been kept for refreshing and/or reviewing.
  */vis/reviewKeptEvents* to review one by one.
  To see accumulated, */vis/enable*, then */vis/viewer/flush* or */vis/viewer/rebuild*.
Changing export format to *jpg*
100 events have been kept for refreshing and/or reviewing.
  */vis/reviewKeptEvents* to review one by one.
  To see accumulated, */vis/enable*, then */vis/viewer/flush* or */vis/viewer/rebuild*.

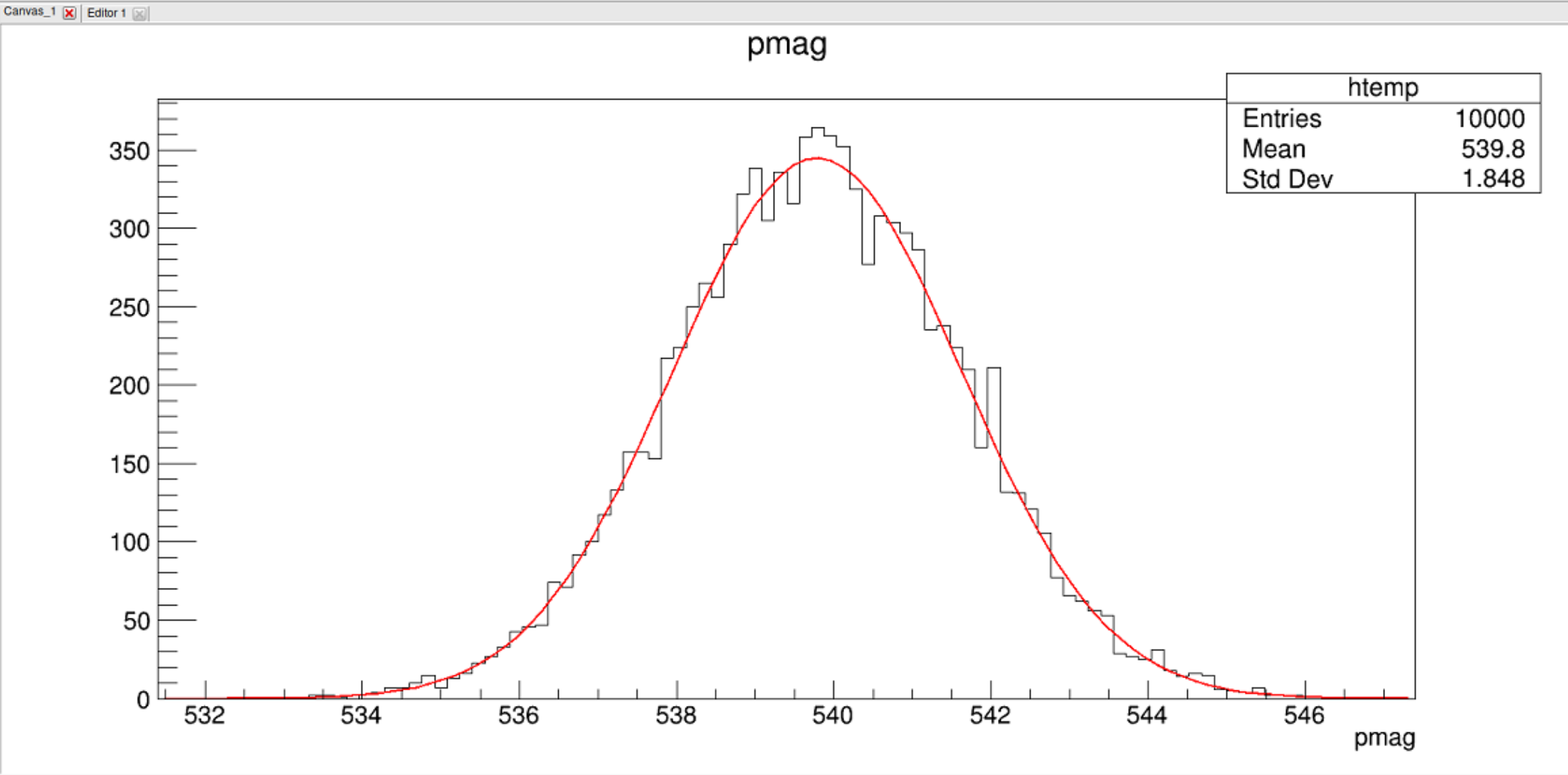
```

Session:

Files

- root
 - PROOF Sessions
 - ROOT Files
 - output0.root
 - Values;1
 - Event
 - PDGcode
 - pmag**
 - px
 - py
 - pz
 - x
 - y
 - z
- home
 - bingul
 - AtlasData
 - Desktop
 - Geant4
 - mucos
 - build
 - CMakeFiles
 - CMakeCache.b
 - Makefile
 - cmake_install.c
 - main
 - output0.root
 - output1.root
 - run_mac
 - vis_mac
 - CMakeLists.txt
 - MCSAngle.C
 - README
 - action.cc
 - action.hh
 - construction.cc
 - construction.hh
 - detector.cc
 - detector.hh
 - generator.cc
 - generator.hh
 - main.cc
 - physics.cc
 - physics.hh
 - run.cc

Filter: All Files (*.*)



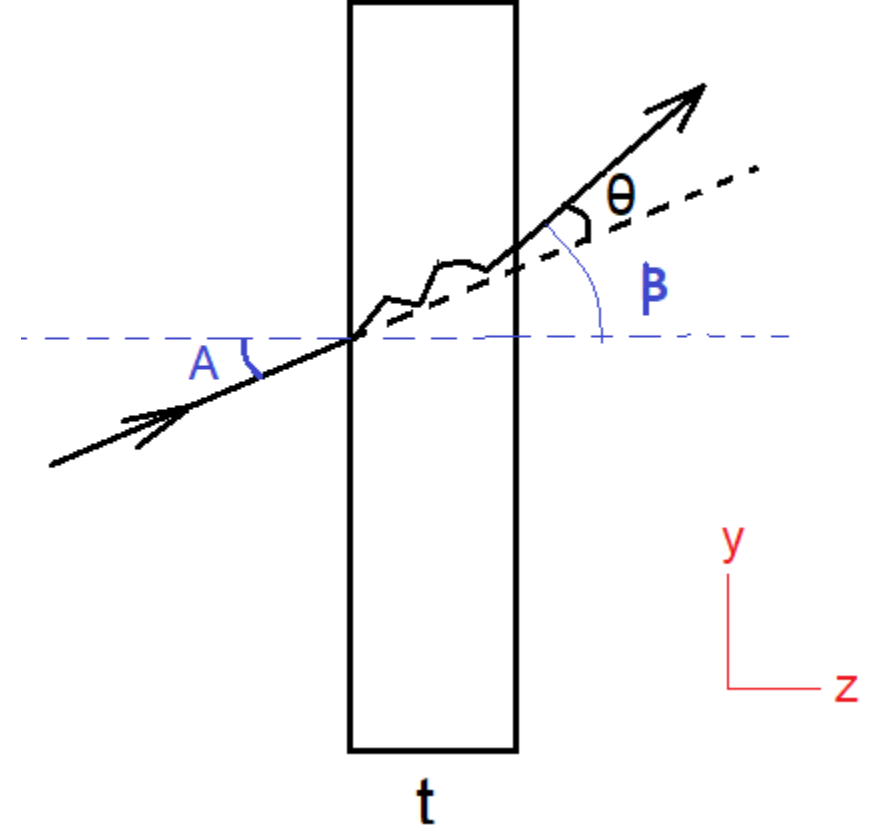
Command

Command (local):

Alıştırma

Çoklu Coulomb Saçılmasında, yüklü bir parçacığın malzemeye y-z düzleminde normale A açısı yaparak giriş yaptığını varsayalım.

- Saçılma açısının (θ) bundan nasıl etkileneceğini tartışın.
- Derste anlatılan, düzlem saçılma açısının RMS değerini veren formülü ($\langle \theta_{düzlem} \rangle$), A açısını dikkate alacak şekilde düzenleyin.
- β açısının RMS değeri nasıl hesaplanır?
- Bir önceki seçenekte bulduğunuz formülü $A = 10^\circ$ için hesaplayın. Sonuçları Geant4 benzetimi ile karşılaştırın. Parçacık ve malzemeye ait sayısal değerleri derste yapılan örnekteki ile aynı alın.



KAYNAKLAR

- [1]. <https://pdg.lbl.gov/2021/reviews/rpp2020-rev-passage-particles-matter.pdf> (2019)
- [2]. W.R. Leo, *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments 2nd Ed*, Springer (1994)
- [3]. <https://geant4.web.cern.ch>
- [4]. <https://cds.cern.ch/record/491492/files/p107.pdf>