

Estudos da Simulação

GODDeSS

Leonardo Kramer Pezzin
Orientador: Gustavo Gil da Silveira

10 de setembro de 2021



Sumário

- O que é a GODDeSS?
- Pacotes de Simulação
- Propriedade dos Materiais
- Estudo da Simulação
- Rodando a Simulação
- Considerações

GODDESS

GODDeSS

Geant4

Objects for

Detailed

Detectors with

Scintillators and

SiPM

LEONARDO KRAMER PEZZIN

Trata-se de uma evolução do pacote GEANT4 para simulação de partículas incidentes escrito em C++, ampliando as funcionalidades e diminuindo as chances de erro do desenvolvedor. Organizado pela primeira vez em 2017

Erick Dietz-Laursonn *et al*

Uma evolução a partir do GEANT4

GEANT4

- Desafio geométrico
- Desafio óptico
- Partícula “mãe” (originária)
- Nome das Variáveis
- Especificações diferentes (Birk)

GODDeSS

- Cabe ao usuário definir os parâmetros iniciais
- Processamento dos arquivos de propriedades
- Volumes e sua rotação e translação

GODDESS

Pacote de simulação

```
2017_JINST_12_P04026.pdf  documentation  instructions.txt  source
667646.pdf                GODDeSS_4_3.tar.gz  README          teste
build                     instructions.pdf  setup.sh
```

- Documentação
- Build
- Source
- Teste

GODDESS

Diretórios: Teste

```
outputParticleSource.data  outputSimulation.data  
outputParticleSource.sum   outputSimulation.sum
```

```
'hittingPhotons_SiPM 1.hitData'  outputSimulation.data  
'hittingPhotons_SiPM 2.hitData'  outputSimulation.sum  
hittingPhotons_SiPM.hitData
```

```
GeneralParticleSource.mac      Saint-Gobain_BCF-92_round_1mm.properties  
RunSimulation.init            Saint-Gobain_BCF-98_round_1mm.properties  
Saint-Gobain_BC-408.properties Wrapping_Teflon.properties  
Saint-Gobain_BC-600.properties
```

Contém: Controle de Dados, dados de input e output para simulação e materiais para construção do detector

IN

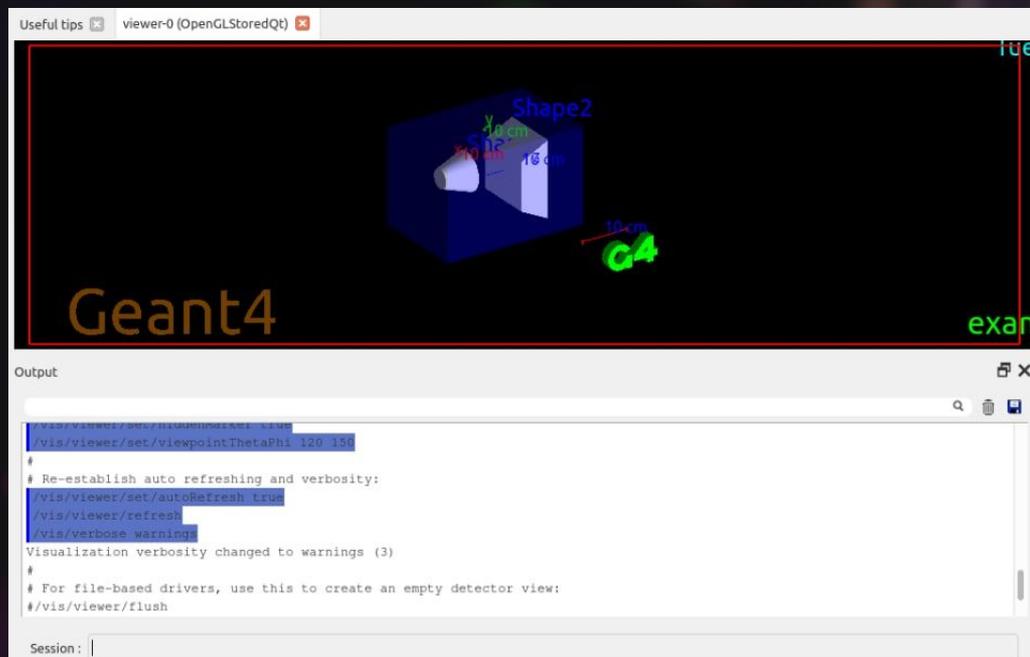
LEONAR

Pacotes de Simulação: G4Objects

```
CMakeLists.txt  G4GeneralParticleSource  G4Scintillator
DataProcessing  G4PhotonDetector
G4Fibre         G4PropertyFileReadInTools
```

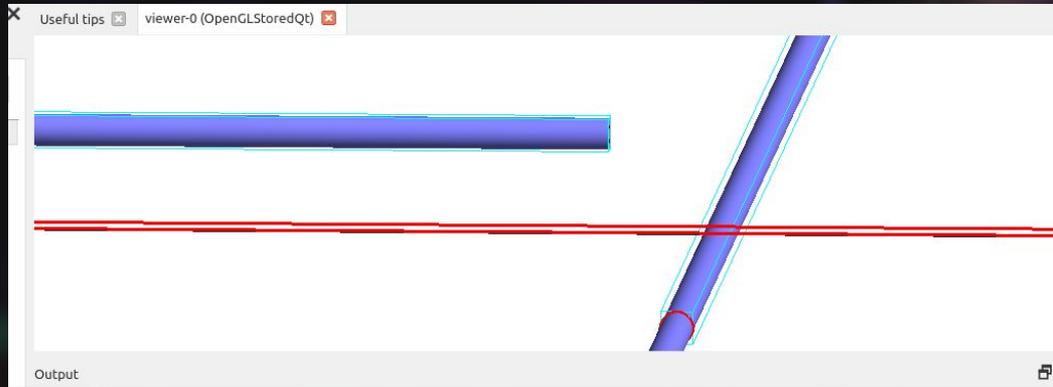
Cabe ao desenvolvedor escolher as classes de objeto a serem usados na simulação. Essas classes de objetos se encontram representadas ao lado e algumas delas serão discutidas mais profundamente ao decorrer da apresentação.

Teste



Existe um número de simulações que já vem instaladas junto com o pacote como forma de teste. Essas simulações exemplo são úteis para compreensão espacial da simulação a ser projetada.

Propriedade dos Materiais



Fibra óptica colada no topo do cintilador responsável por conduzir os fótons para o SiPM

- Fibre
- OpticalCement
- Scintillator

Propriedade das Fibras

```
Leonardo@leonardo-Inspiron-5567:~/GODDeSS/source/Simulatio
E0-534B.properties
Kuraray_Y11-200_round_1mm.properties
Kuraray_Y11-200_round_1mm_singleClad.properties
Kuraray_Y11-200_square_1mm_singleClad.properties
Saint-Gobain_BCF-10_multi_square_1mm.properties
Saint-Gobain_BCF-92_quadratic_1mm.properties
Saint-Gobain_BCF-92_quadratic_1mm_singleClad.properties
Saint-Gobain_BCF-92_quadratic_2mm.properties
Saint-Gobain_BCF-92_quadratic_2mm_singleClad.properties
Saint-Gobain_BCF-92_round_1mm.properties
Saint-Gobain_BCF-92_round_1mm_singleClad.properties
Saint-Gobain_BCF-92_round_2mm.properties
Saint-Gobain_BCF-92_round_2mm_singleClad.properties
Saint-Gobain_BCF-98_quadratic_1mm.properties
Saint-Gobain_BCF-98_quadratic_1mm_singleClad.properties
Saint-Gobain_BCF-98_quadratic_2mm.properties
Saint-Gobain_BCF-98_quadratic_2mm_singleClad.properties
Saint-Gobain_BCF-98_round_1mm.properties
Saint-Gobain_BCF-98_round_1mm_singleClad.properties
Saint-Gobain_BCF-98_round_2mm.properties
Saint-Gobain_BCF-98_round_2mm_singleClad.properties
```

LEONARDO KRAMER PEZZIN

- Fibre
- OpticalCement
- Scintillator

Propriedade das Fibras

```

Abrir Saint-Gobain_BCF-10_multi_square_1mm.properties
~/GODDESS/source/Simulation/MaterialProperties/Fibre

1 # material properties of the Saint-Gobain BCF-10MC scintillating fibre:
2
3 #####
4 # The properties HAVE TO be specified like: "key" = 'value' or "key" : 'value'! #
5 # Properties with units HAVE TO be specified like: "key" = 'value' * 'unit' or "key" : 'value' * 'unit'! #
6 # Comments can be inserted using "#"! #
7 #####
8
9 profile:      quadratic      # ("round" (-> radius) or "quadratic" (-> edge length))
10 edge_length: 1.0 * mm      # from http://www.crystals.saint-gobain.com/Scintillating_Fiber.aspx
11
12
13 #####
14 ## Core: ##
15 #####
16
17 density_core: 1.05 * g/cm3      # from http://www.crystals.saint-gobain.com/Scintillating_Fiber.aspx
18 t_decay:      2.7 * ns      # decay time # from http://www.crystals.saint-gobain.com/Scintillating_Fiber.aspx
19 # roughness:  ???
20
21 #####
22 # The table beginning HAS TO be specified like: "key" = tabular or "key" : tabular! #
23 # The units HAVE TO be specified in the first line like: "column description" / "unit" tab "column description" / "unit"! #
24 # The entries of each line HAVE TO be separated by tabs or blanks! #
25 # For Geant, the tables HAVE TO be sorted to increasing energies (or decreasing wavelengths)! #
26 # The first/last value of a distribution are extended to the minimal/maximal energies defined in the detector construction! #
27 #####
28
29 # Chemical components (mass fraction (double <= !)) OR number of atoms per unit (integer!):
30 # "Polystyrene" # from http://www.crystals.saint-gobain.com/Scintillating_Fiber.aspx & http://pdg.lbl.gov/2012/AtomicNuclearProperties/
31 chemical_components_core: tabular
32   element      atoms_per_unit
33   Hydrogen      8
34   Carbon        8
35
36 # refraction index
37 # http://refractiveindex.info/?shelf=organic&book=polystyren&page=Sultanova
38 n_ref_core: tabular
39   _energy_ / eV   n_ref_core

```

LEONARDO KRAMER PEZZIN

Poliestireno;
Densidade,
proporções,
propriedades
ópticas...

+ infos: G4Fibre.cc

Propriedade dos Materiais



Cola óptica: resina para colar ao SiPM ao cintilador.

- Fibre
- OpticalCement
- Scintillator

Propriedade do Cimento Óptico

```

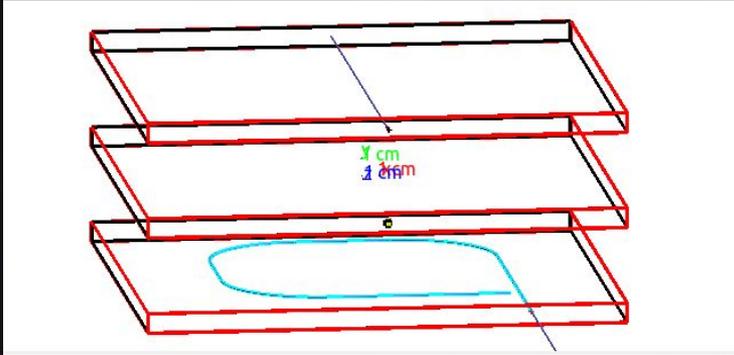
8
9 n ref:      1.56      # refraction index # from http://www.detectors.saint-gobain.com/uploadedFiles/SGdetectors/Documents/Product_Data_Sheets/BC000-Data-Sheet.pdf
10 density:   1.2 * g/cm3 # This is a rough estimations for "epoxy resin" (https://en.wikipedia.org/wiki/Epoxy + https://en.wikipedia.org/wiki/Bisphenol_A)
11 d_layer:   0.01 * mm # layer thickness
12
13 #####
14 # The table beginning HAS TO be specified like: "key" = tabular" or "key" : tabular"!
15 # The units HAVE TO be specified in the first line like: "column description" / "unit" tab "column description" / "unit"! #
16 # The entries of each line HAVE TO be separated by tabs or blanks! #
17 # For Geant, the tables HAVE TO be sorted to increasing energies! #
18 # The first/last value of a distribution are extended to the minimal/maximal energies defined in the detector construction! #
19 #####
20
21 # Chemical components (mass fraction (double <= !) OR number of atoms per unit (integer!)):
22 # This is a rough estimations for "epoxy resin" (https://en.wikipedia.org/wiki/Epoxy + https://en.wikipedia.org/wiki/Bisphenol_A)
23 chemical components: tabular
24   element      atoms_per_unit
25   Hydrogen      20
26   Carbon        18
27   Oxygen         3
28
29 # Attenuation Length:
30 # from http://www.detectors.saint-gobain.com/uploadedFiles/SGdetectors/Documents/Product_Data_Sheets/BC000-Data-Sheet.pdf && http://www.eljotechnology.com/index.php/100mla-overview/accessories/93-ej-500
31 mu_att: tabular
32   energy / eV      mu_att / mm
33   1.0      125      # for a constant value outside the given data
34   2.06640    125
35   2.47968386  12.5
36   3.899604825  6.2
37   3.6465939118  2.4
38   4.825468117  1.2
39   4.3850667814  1e-9 # rough estimation

```

- índice de refração: 1,56;
 - densidade: 1,2g/cm³
- + info: Wikipedia para Epoxy e Bisphenol A

Há somente duas opções.

Propriedade dos Materiais



- Fibre
- OpticalCement
- Scintillator

Objeto principal da nossa pesquisa

Propriedade dos Cintiladores

Cintilador	Nome do Arquivo	Propriedade dos Materiais para simulação GODDeSS		
		Densidade [g/cm ³]	Índice de Refração	OutPut de luz relativo* [%]
Poliviniltolueno	Saint-Gobain BC-404.properties	1,032	1,58	68
Poliviniltolueno	Saint-Gobain BC-408.properties	1,032	1,58	64
Poliviniltolueno com 10% de Pb	Saint-Gobain BC-452_10perCentLead.properties	1,17	1,58	20
Poliviniltolueno com 2% de Pb	Saint-Gobain BC-452_2perCentLead.properties	1,05	1,58	48
Poliviniltolueno com 5% de Pb	Saint-Gobain BC-452_5perCentLead.properties	1,08	1,58	32
Envoltório de Alumínio	Wrapping Aluminum.properties	2,7	-	-
Envoltório de Dióxido de Titânio	Wrapping Saint-Gobain BC-620.properties	2,8	-	-
Envoltório de Teflon	Wrapping Teflon.properties	2,2	-	-
Envoltório de polietileno	Wrapping Tyvek.properties	0,36	-	-

- Índice de refração,
- densidade,
- fração mássica,
- *output* de luz em relação ao antraceno (20 mil fótons)
- constante de Birk
- Envólucros para exterior

Cintiladores e envoltórios

Propriedade dos Cintiladores

Propriedade dos Materiais para simulação GODDeSS				
Cintilador	Nome do Arquivo	Densidade [g/cm ³]	Índice de Refração	OutPut de luz relativo* [%]
Poliviniltolueno	Saint-Gobain_BC-404.properties	1,032	1,58	68
Poliviniltolueno	Saint-Gobain_BC-408.properties	1,032	1,58	64
Poliviniltolueno com 10% de Pb	Saint-Gobain_BC-452_10perCentLead.properties	1,17	1,58	20
Poliviniltolueno com 2% de Pb	Saint-Gobain_BC-452_2perCentLead.properties	1,05	1,58	48
Poliviniltolueno com 5% de Pb	Saint-Gobain_BC-452_5perCentLead.properties	1,08	1,58	32
Envoltório de Alumínio	Wrapping_Aluminum.properties	2,7	-	-
Envoltório de Dióxido de Titânio	Wrapping_Saint-Gobain_BC-620.properties	2,8	-	-
Envoltório de Teflon	Wrapping_Teflon.properties	2,2	-	-
Envoltório de polietileno	Wrapping_Tyvek.properties	0,36	-	-

- Não consta

Envoltório

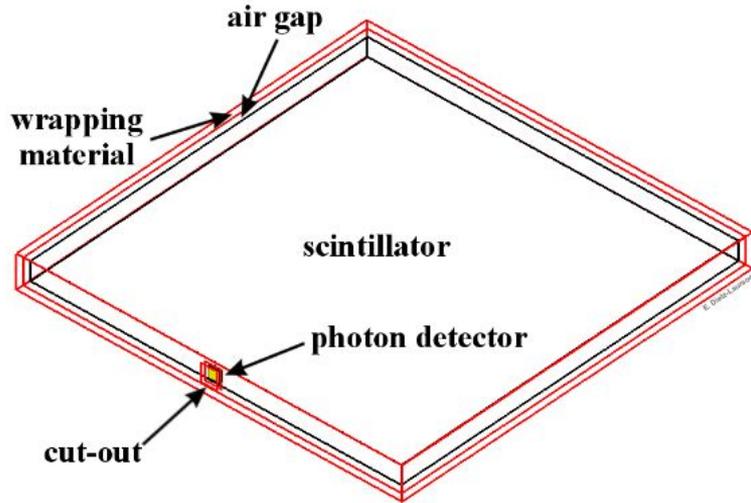
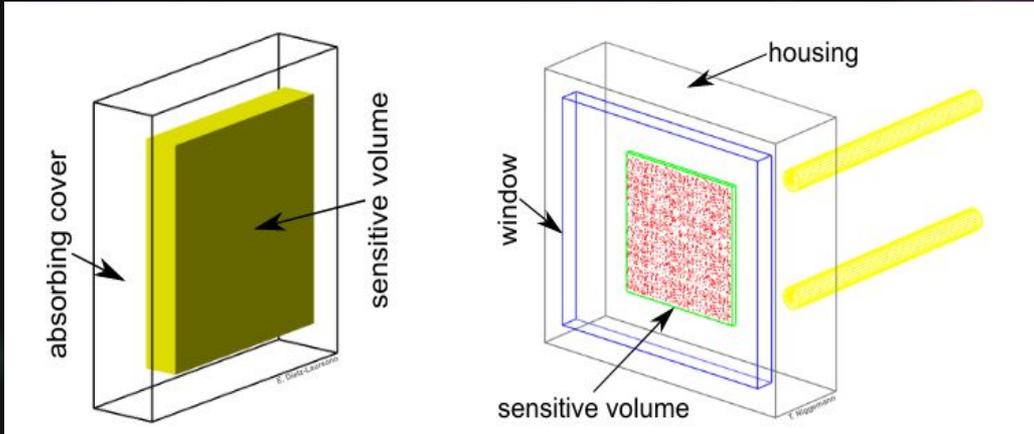


Figure 6. Setup consisting of a wrapped scintillator tile with a photodetector. To make them visible, the dimensions of the wrapping as well as the gaps between wrapping and scintillator or photodetector have been enlarged for this picture.

O envoltório (*wrapping*) é um material invólucro que embrulha os cintiladores, assim como mostrado na figura ao lado, retirada diretamente do artigo de apresentação da GODDeSS

Fotodetector



A esquerda da figura se encontra o fotodetector da GODDeSS em comparação ao fotodetector do GEANT4 (direita). A espessura do fotodetector da GODDeSS é 100 vezes maior do que o do modelo anterior

Documentação dos Materiais

G4AtomicBond.hh	G4LatticeLogical.hh
G4AtomicFormFactor.hh	G4LatticePhysical.hh
G4AtomicShells.hh	G4Material.hh
G4AtomicShells_XDB_EADL.hh	G4MaterialPropertiesIndex.hh
G4CrystalAtomBase.hh	G4MaterialPropertiesTable.hh
G4CrystalBravaisLattices.h	G4MaterialPropertiesTable.icc
G4CrystalExtension.hh	G4MaterialPropertyVector.hh
G4CrystalLatticeSystems.h	G4MaterialTable.hh
G4CrystalUnitCell.hh	G4MicroElecMaterialStructure.hh
G4DensityEffectCalculator.hh	G4MicroElecSiStructure.hh
G4DensityEffectData.hh	G4NistElementBuilder.hh
G4ElementData.hh	G4NistManager.hh
G4Element.hh	G4NistMaterialBuilder.hh
G4ElementTable.hh	G4NistMessenger.hh
G4ElementVector.hh	G4OpticalSurface.hh
G4ExtDEDXTable.hh	G4SandiaTable.hh
G4ExtendedMaterial.hh	G4StaticSandiaData.hh
G4ICRU90StoppingData.hh	G4SurfaceProperty.hh
G4IonisParamElm.hh	G4UCNMaterialPropertiesTable.hh
G4IonisParamMat.hh	G4UCNMicroRoughnessHelper.hh
G4IonStoppingData.hh	G4VIonDEDXTable.hh
G4Isotope.hh	G4VMaterialExtension.hh

Documentação dos Materiais

```
////////////////////////////////////  
//  
// class G4MaterialPropertiesTable  
//  
// Class description:  
//  
// A Material properties table is a hash table, with  
// key = property name, and value either G4double or  
// G4MaterialPropertyVector  
//  
// File:      G4MaterialPropertiesTable.hh  
// Version:   1.0  
// Created:   1996-02-08  
// Author:    Juliet Armstrong  
// Updated:   2005-05-12 add SetGROUPVEL() by P. Gumplinger  
//           2002-11-05 add named material constants by P. Gumplinger  
//           1999-11-05 Migration from G4RWTPtrHashDictionary to STL  
//                   by John Allison  
//           1999-10-29 add method and class descriptors  
//           1997-03-25 by Peter Gumplinger  
//           > cosmetics (only)  
//  
////////////////////////////////////  
  
#ifndef G4MaterialPropertiesTable_h  
#define G4MaterialPropertiesTable_h 1  
  
////////////////////////////////////  
// Includes  
////////////////////////////////////  
  
#include <cmath>  
#include <map>  
#include "globals.hh"  
#include "G4MaterialPropertiesIndex.hh"  
#include "G4MaterialPropertyVector.hh"
```

Esses arquivos contém informações físicas para a simulação, que são chamadas como 'funções' pelo RunSimulation. É a partir desses dados que se dá a informação física. Vide a próxima lâmina.

Documentação dos Materiais

```
40 ### Path to the directory containing the material property files
41 MaterialPropertiesPath="$SIMDIR/MaterialProperties" //diretório que contém os arquivos de propriedade dos materiais
42 // caminho onde está esses arquivos: /home/leonardo/GODDeSS/source/Simulation/MaterialProperties
43 // Nela há 3 diretórios: fibre, optical cemeter e scintillator
44 //Scintillators: poliviniltolueno (linha 36)
45 // Consultar meu GIT
46
47 ### Path to material property file to be used for the scintillator material //aqui se seleciona qual será o cintilador
48 ScintillatorMaterialPropertiesPath="$MaterialPropertiesPath/Scintillator" // consultar meu GIT
49 # ScintillatorMaterialPropertiesName="Saint-Gobain_BC-404.properties"
50 ScintillatorMaterialPropertiesName="Saint-Gobain_BC-408.properties" //Poliviniltolueno de fração mássica: H/C= 8,5/91,5
51 # ScintillatorMaterialPropertiesName="Saint-Gobain_BC-452_2perCentLead.properties"
52 # ScintillatorMaterialPropertiesName="Saint-Gobain_BC-452_5perCentLead.properties"
53 # ScintillatorMaterialPropertiesName="Saint-Gobain_BC-452_10perCentLead.properties"
54
```

Estudo da Simulação

- Simula uma partícula mãe ou fótons incidentes
- Cintilador com tamanho variando entre 100mm e 1000mm
- Volume do cintilador ajustável
- Dimensões da camada superior ajustáveis
- (círculo, plano ou hexagono)

```
3
4 // variáveis locais são em letra minúscula
5
6 #--- program options to be specified: ---#
7 // Caminho para um arquivo de inicialização contendo as opções para serem passadas ao programa
8 ### Path to init-file containing program options to be passed to the program (it can be an existing init-file or the path where to save the used program options
9 ### Default: "$OutputDirectory/RunSimulation.init"
10 # InitFilePath=""
11 # InitFileName=""
12
13 ### Path to macro-file containing command to be passed to the program
14 # MacroFilePath=""
15 # MacroFileName=""
16
17 ### Number of events to be simulated in batch mode. If NumberOfEvents is set and greater than 0, the program will be running in batch mode (without visualisation
18 i.e. faster).
19 ### Default: 0
20 NumberOfEvents=0 // Se for zero haverá a simulação gráfica, se for 1 haverá os dados da simulação (>0)
21
22 ### Use a list with photons to define the primary particles instead of using the normal particle source. This list has to be specified with
23 "ParticleSourceMacroPath".
24 ### Default: false
25 # UsePhotonList=true
26
27 ### Path to input file for the particle source. This can either be a macro with commands for the General Particle Source (for UsePhotonList=false) or a gzipped
28 (filename.gz) list with photons (for UsePhotonList=true). //a simulação pode simular também fótons, mas não é do nosso interesse
29 ParticleSourceMacroPath="$SIMDIR/macros"
30 ParticleSourceMacroName="GeneralParticleSource.mac"
31
32
33 // Tamanho do cintilador (professor Gustavo extrapolou o valor 350) Valores entre 100 e 1000 mm
34 ### Use different dimensions (in mm) for the scintillator tile than the hardcoded ones
35 TileDimensions="(350,5,350)" // (largura X, altura Y, profundidade Z)
36
37 ### Use the dimensions specified above to define the region in which the primary particles will be created (only if UsePhotonList=false)
38 ### Default: false
39 UseTileDimensionsForParticleSource=true //dimensões especificadas para a partícula primária (onde ela surgirá, no caso, dimensões da chapa superior do cintilado
```

GODDESS

Rodando a Simulação:

```
8 + pwd ===== /home/leonardo/GODDeSS
9 + $ export GODDESS=/home/leonardo/GODDeSS
10 + $ export BUILDDIR=/home/leonardo/GODDeSS
11 + $ source setup.sh
12 + $ cd source
13 + $ ./RunSimulation.sh
```

LEONARDO KRAMER PEZZIN

Há duas formas de rodar a simulação: uma puramente numérica com os resultados ‘impressos’ no terminal e outra visual. A vantagem dos dados no terminal é o menor tempo computacional.

Rodando a Simulação:

```

-----
                        Hadronic Processes for triton
-----
Process: tInelastic
  Model: Binary Light Ion Cascade: 0 eV /n ---> 6 GeV/n
  Model:                               FTFP: 3 GeV/n ---> 100 TeV/n
  Cr_sctns: Glauber-Gribov Nucl-nucl: 0 eV ---> 25.6 PeV

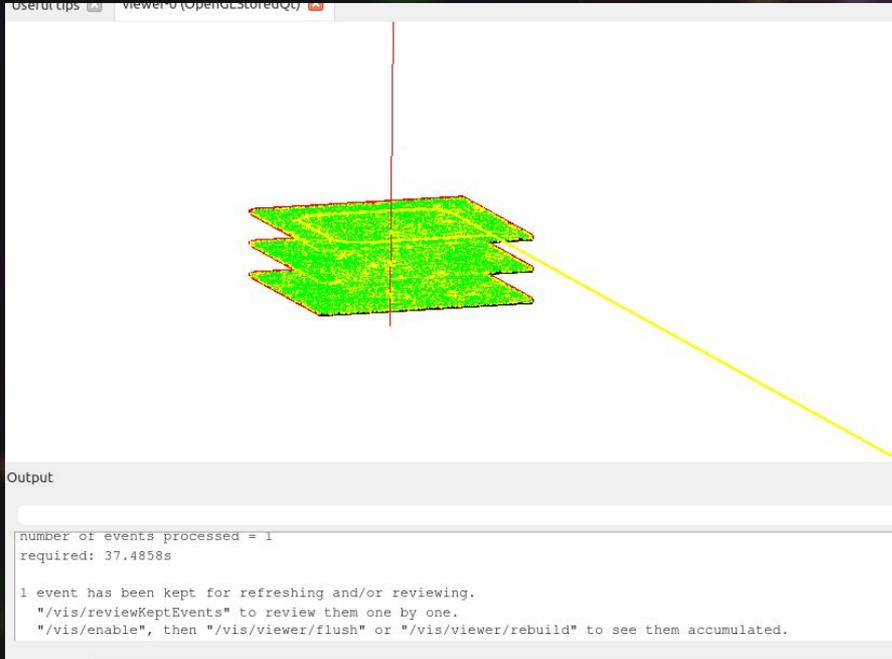
Process: hadElastic
  Model: hElasticLHEP: 0 eV /n ---> 100 TeV/n
  Cr_sctns: Glauber-Gribov Nucl-nucl: 0 eV ---> 25.6 PeV
-----
=====
===== Pre-compound/De-excitation Physics Parameters =====
=====
Type of pre-compound inverse x-section          3
Pre-compound model active                      1
Pre-compound excitation low energy (MeV)       0.1
Pre-compound excitation high energy (MeV)     30
Type of de-excitation inverse x-section        3
Type of de-excitation factory                  Evaporation+GEM
Number of de-excitation channels               68
Min excitation energy (keV)                   0.01
Min energy per nucleon for multifragmentation (MeV) 2e+05
Limit excitation energy for Fermi BreakUp (MeV) 20
Level density (1/MeV)                        0.075
Use simple level density model                 1
Use discrete excitation energy of the residual 0
Time limit for long lived isomeres (ns)       1000
Isomer production flag                        1
Internal e- conversion flag                   1
Store e- internal conversion data             0
Electron internal conversion ID                2
Correlated gamma emission flag                0
Max 2J for sampling of angular correlations   10
=====
### Run A start

```

NumberOfEvents!= 0

Essa opção apresenta os dados no terminal

Rodando a Simulação:



NumberOfEvents=0

Essa opção apresenta os dados visualmente.



Scene tree, Help, History

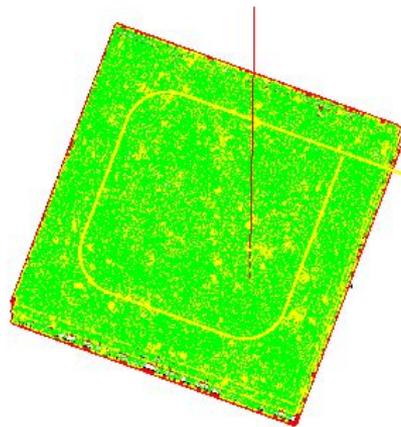
Useful tips x viewer-0 (OpenGLStoredQt) x

Scene tree Help History

Search:

Command

- + control
- + units
- + profiler
- + simulation
- + particle
- + geometry
- + tracking
- + event
- + cuts
- + run
- + random
- + process
- + material
- + physics_lists
- + gun
- + gps
- + hits
- + heptst
- + vis
- + gui



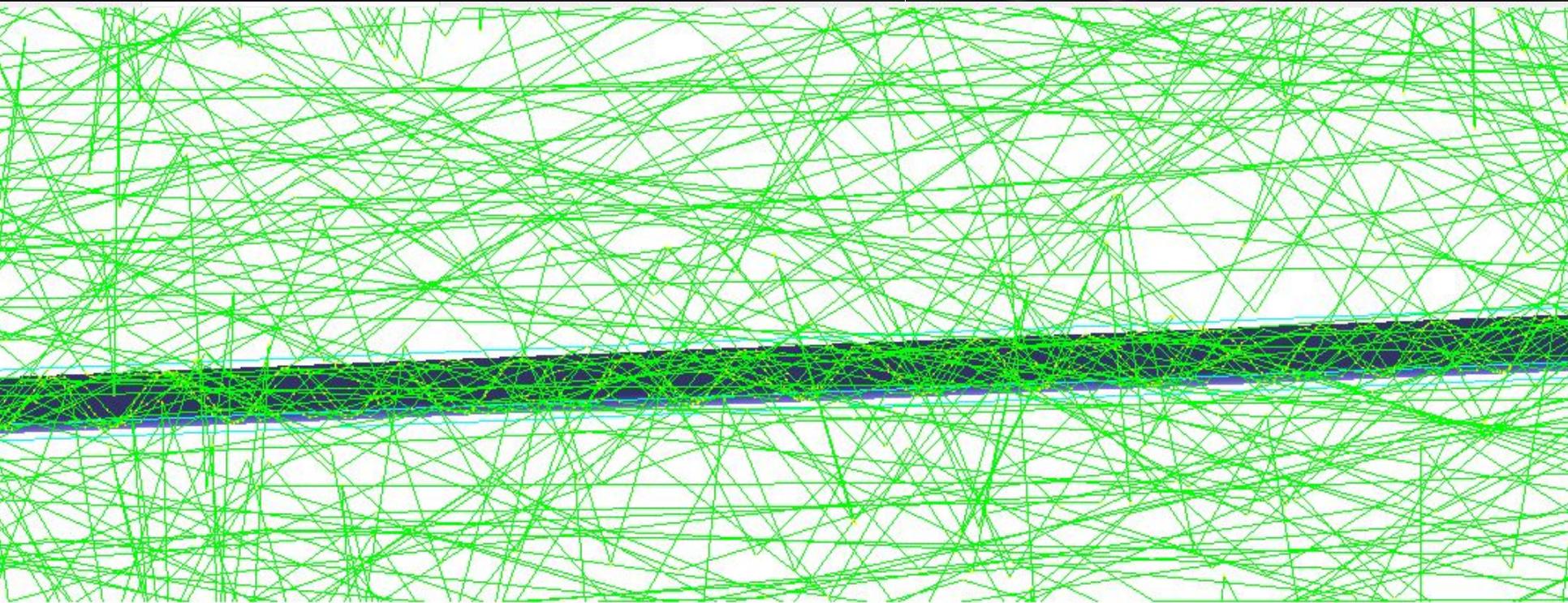
Output

```
number of events processed = 1
required: 37.4858s

1 event has been kept for refreshing and/or reviewing.
"/vis/reviewKeptEvents" to review them one by one.
"/vis/enable", then "/vis/viewer/flush" or "/vis/viewer/rebuild" to see them accumulated.
```

Session:

GODDESS



LEONA



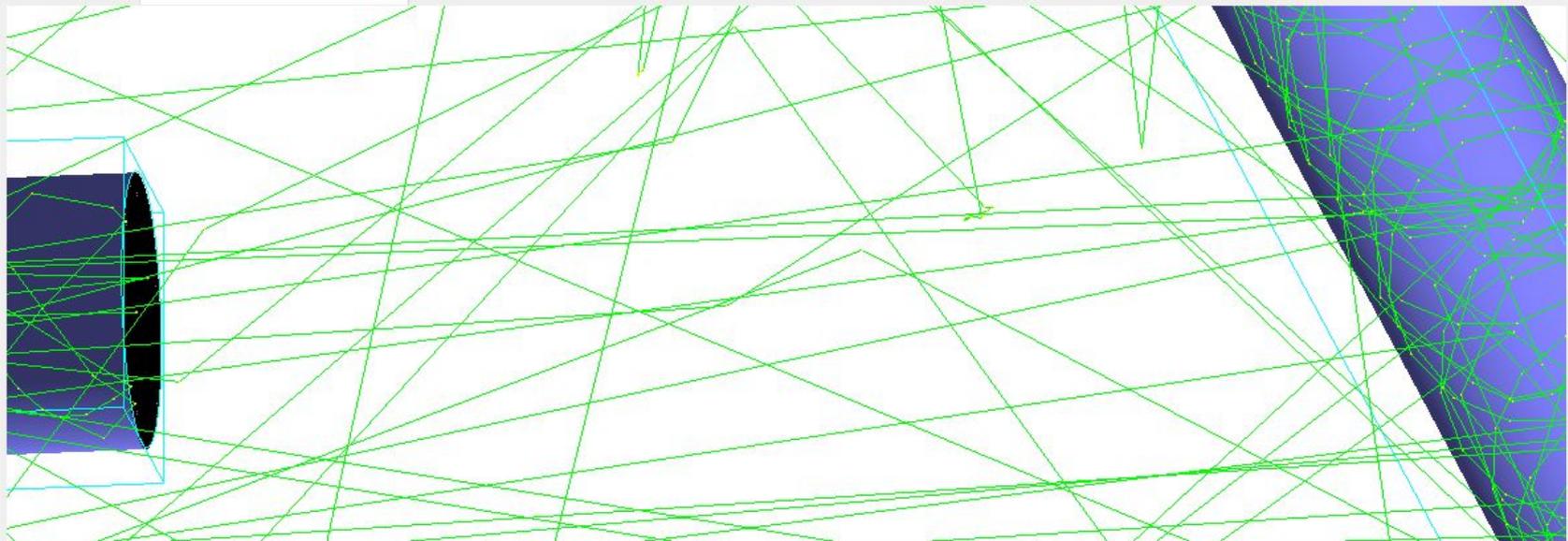
Scene tree, Help, Hi... Useful tips viewer-0 (OpenGLStoredQt)

Scene tree Help His <>

Search:

Command

- + control
- + units
- + profiler
- + simulation
- + particle
- + geometry
- + tracking
- + event
- + cuts
- + run
- + random
- + process
- + material
- + physics_lists
- + gun
- + gps
- + hits
- + heptst
- + vis
- + gui



Output

```
number of events processed = 1
required: 37.4858s

1 event has been kept for refreshing and/or reviewing.
"/vis/reviewKeptEvents" to review them one by one.
"/vis/enable", then "/vis/viewer/flush" or "/vis/viewer/rebuild" to see them accumulated.
```

Session:

Considerações

A simulação foi rodada numa máquina Linux Mint.

Apesar da vasta documentação, a instalação e mudanças no *script* da simulação não são triviais.

Esse ainda é um trabalho em andamento. Há muito o que fazer!

“Estude muito o que mais lhe interessa da maneira mais indisciplinada, irreverente e original possível”

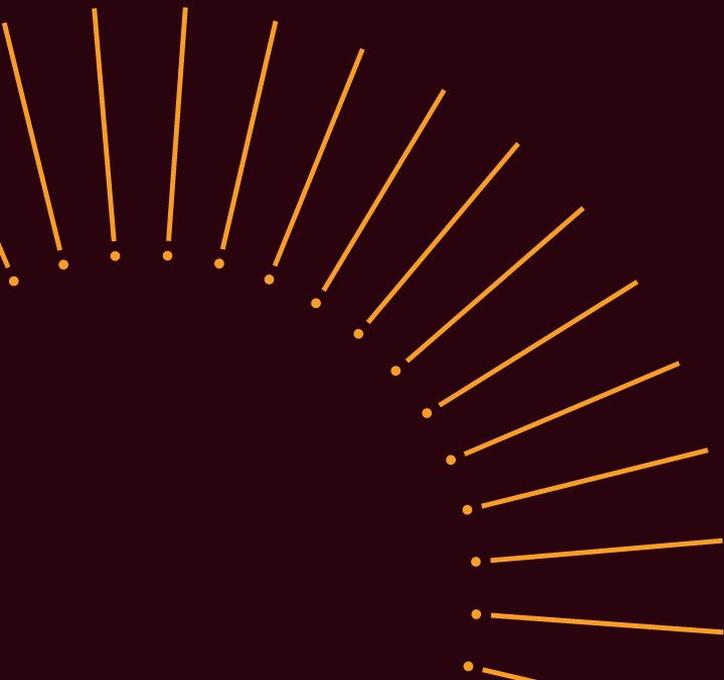
GODDESS

LEONARDO KRAMER PEZZIN

**MUITO
OBRIGADO**

PELA ATENÇÃO

CONTATOS



Leonardo Kramer Pezzin

IF - UFRGS

e-mail: lkramerpezzin@gmail.com