清華大學
Tsinghua University

粒 子 物 理 模 拟

第二讲

王喆
清华大学

主要内容：

1. 简介
2. 安装简要说明
3. 寻找帮助
4. 整体结构
5. **Run，Event，Track…**
6. 关键的C++语法，虚函数，类库
7. 理解、编译、执行第一个Geant4实例
8. 几何物质初步
9. 图形显示初步
10. 宏命令初步
11. 并行模拟
12. 练习

简介

- GEANT是GEometry ANd Tracking的缩写。
- Geant3的第一版可以追回到1974年，这时它以FORTRAN为编程语言，主要的开发机构为CERN。
- 与Geant3同期的有探测器模拟软件还有EGS，主要的开发机构为SLAC，LNL和KEK。
- Geant4计划始于1994年，C++为主要编程语言，主要开发机构为CERN，目前已经发布了10个稳定版本，目前每年一版。
- Geant的主要成功在于**1）它的易用性，简单清晰的结构，可视化；2）得到了广泛的应用，在各种场合都有使用需求，有充分的更新、调试和维护。**

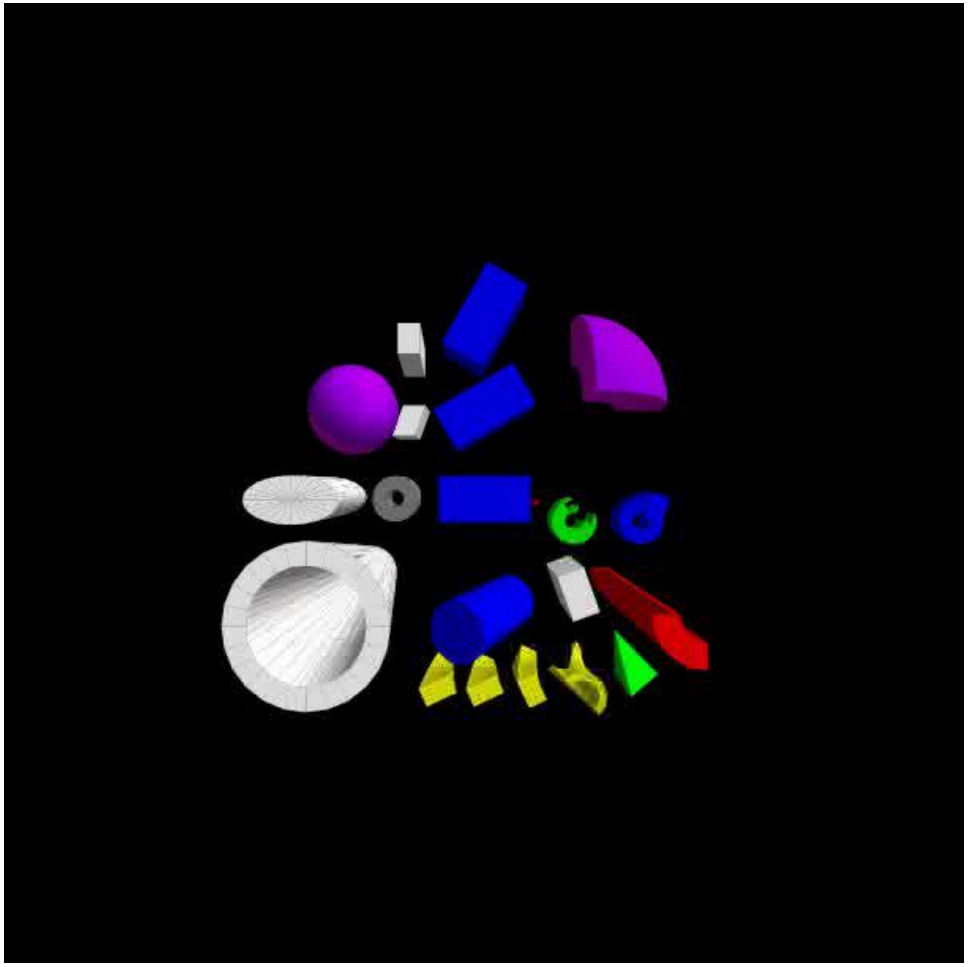
Geant4 – A Simulation Toolkit

http://www.geant4.org/

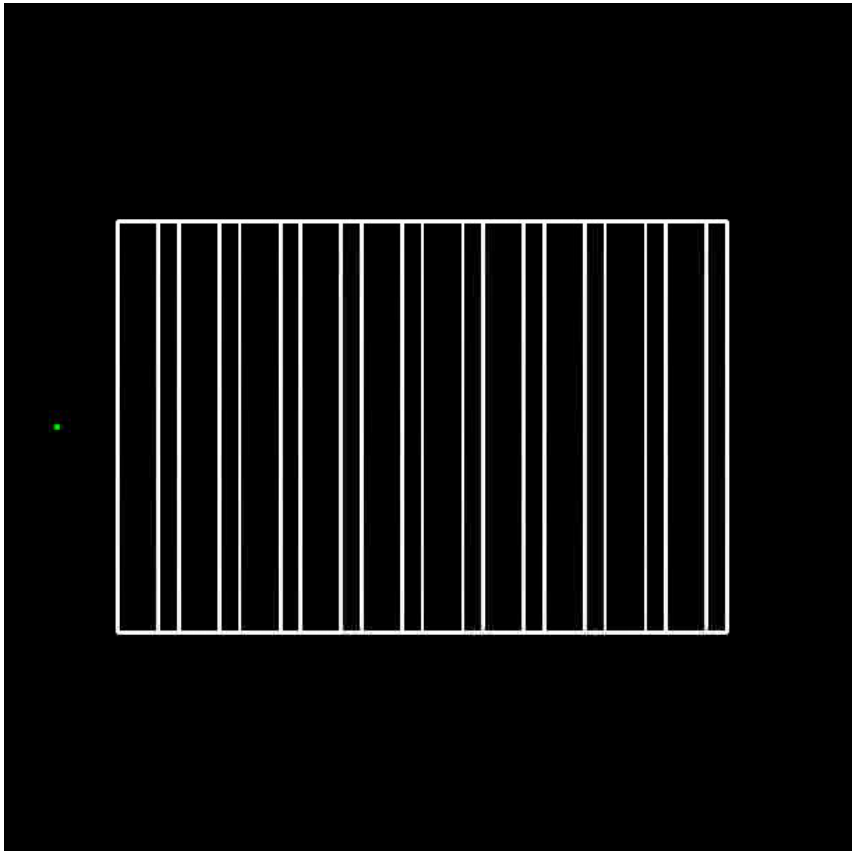
S. Agostinelli et al.
Geant4: a simulation toolkit
NIM A, vol. 506, no. 3, pp. 250-303, 2003

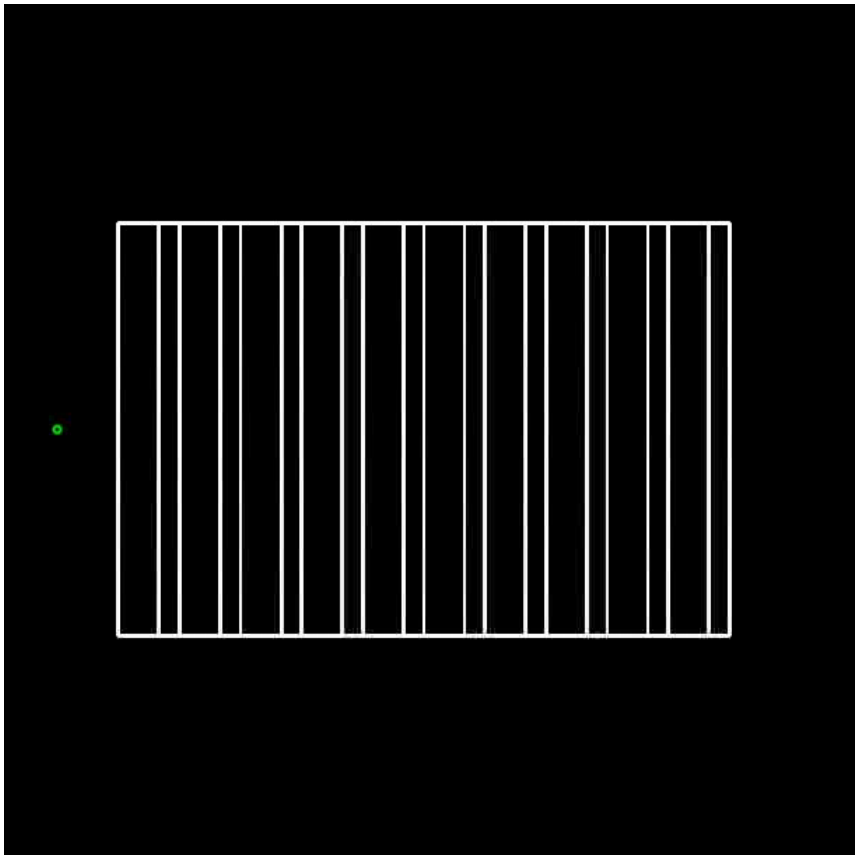
J. Allison et al.
Geant4 Developments and Applications
IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 53, no. 1, pp. 270-278, 2006

Geant4中的探测器



Geant4中的相互作用

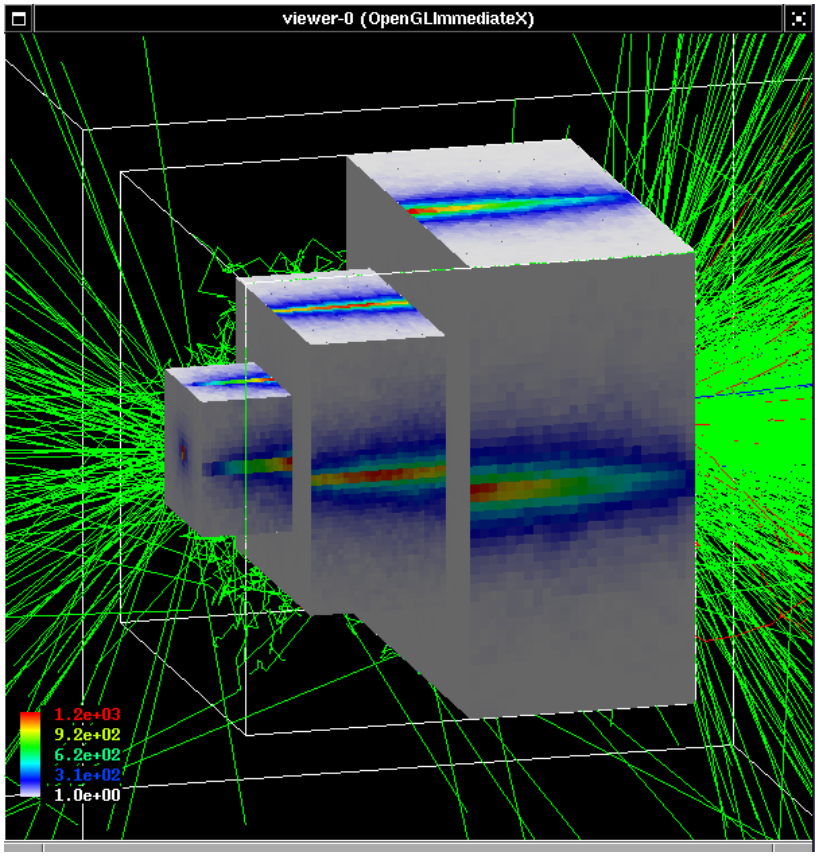




哪一个是电子？哪一个是中子？

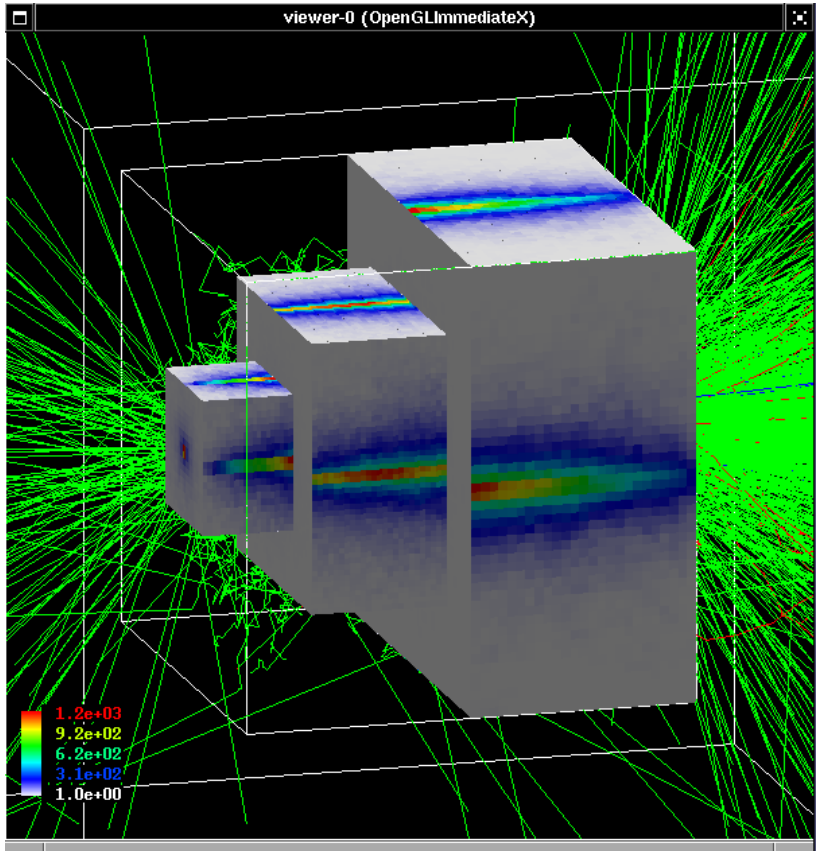
基本粒子模拟思路

- 追溯每一个微观粒子，利用已知的粒子与物质的相互作用截面（粒子与粒子的相互作用截面），模拟粒子在物质里面的输运过程。
- 查看，计算粒子在某段物质内的能量沉积，时间特征，空间分布，来模拟探测器的实际响应。



Geant4在高能物理中的应用

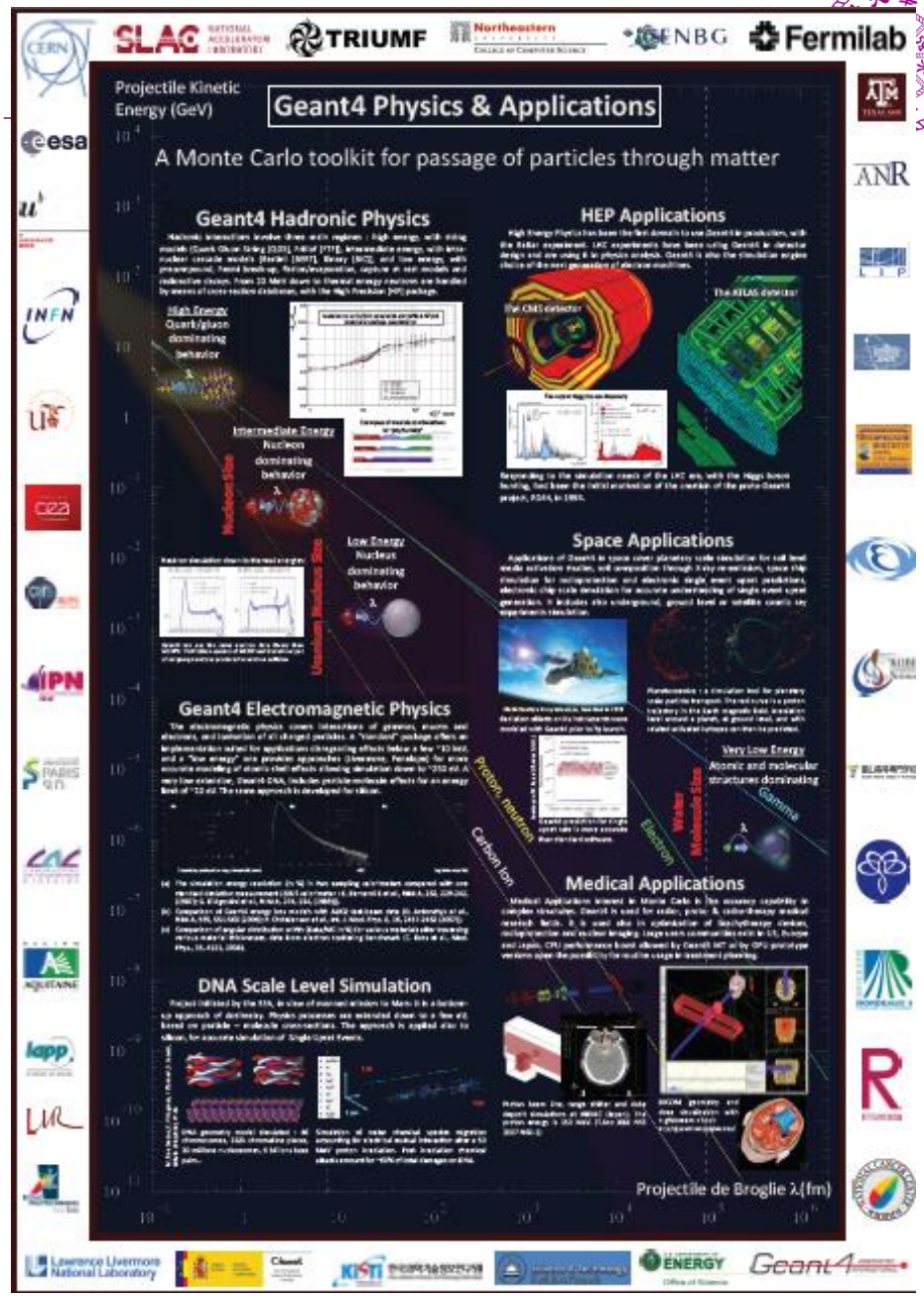
经常会发现，虽然了解第一原理，例如QED，但很多现象无法准确预期：



- 对电子及次级粒子的测量效率——能量分辨
- 对探测物质的选择，尺寸的选择——实验成本
- 加入新的相互作用，强子散射——理解新物理
- 等等……

应用范围

- Geant4主要提供一套通用的模拟软件，模拟基本粒子穿过物质时发生的相互作用。
- 目前被应用于高能物理，核物理，空间工程，医学物理，材料科学，辐射防护和安全。
- 它所提供的帮助涵盖电磁，强，光强子，轻强子相互作用，几何光学等等。而且用户可以定制，扩展。



Geant4的版权声明

个人诠释，如需要细节，注意查看原文

- 著作权，所有权属于Geant4开发人员，不能拿Geant4的内容去发表文章，申请专利
- 可以免费使用，传播
- 不提供任何明确的或是隐含的性能、质量保证，不提供任何担保

如使用，请务必引用：

- S. Agostinelli *et al.*, Nucl. Instr. Meth. A **506**, 250 (2003)
- Allison, J. *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci. **53**, 270 (2006)

安装简要说明

- 存在两个编译链接方式
  1. <=9.4版，使用GNU make
     （大量的著名的实验还在使用）

  2. >=9.5版，使用Cmake
     （最新版的，以后的趋势，我们的主要讲解部分）
     Cmake：http://www.cmake.org/
     （一个“十页”的文档）

详细的帮助在下页：

CMake版：

- 下载源代码包，例如 geant4.10.00.p02.tar.gz

http://geant4.web.cern.ch/geant4/support/download.shtml

- 把源代码包拷贝到 /YourPath/
- cd /YourPath
- tar xvfz geant4.10.00.p02

你要替换该YourPath为真实的路径

- 与之平行的位置创建 mkdir /YourPath/geant4.10.00.p02-build

- cd /YourPath/geant4.10.00.p02-build

- cmake -DGEANT4_USE_OPENGL_X11=ON \\ （OpenGL)
  -DGEANT4_USE_GDML=ON \\ (使用GDML)
  -DGEANT4_USE_QT=ON \\ (使用Qt)
  -DGEANT4_INSTALL_DATA=ON \\ (安装数据）
  -DCMAKE_INSTALL_PREFIX=/YourPath/geant4.10.00.p02-install \\
  (安装目录）
  /YourPath/geant4.10.00.p02 \\ (源代码目录）

\\ 后为注释，应删去

- make [-j 4]
- make install

编译做了些什么？为什么这样？

- 支持多样性，Linux（Ubuntu，Redhat，Scientific linux…），Mac，Windows
  Cmake正是帮助我们鉴别各个系统，找出差别，解决各个系统的软件依赖性问题。
- 安装完成后，将有三个目录：
  geant4.10.00.p02　　（源代码）
  geant4.10.00.p02-build　　（编译目录）
  geant4.10.00.p02-install　　（安装目录）

- Geant4可方便的支持多编译选项，多安装目录，不冲突：
  调试编译，优化编译，包含多线程选项的编译，不同C++版本的编译等等。

几个关键目录（请查看）

- **安装目录 geant4.10.00.p02-install**
  包含 bin，include，lib，share
  - bin – binary 二进制文件，可执行的
  - include – 全部的头文件 *.hh
  - lib – 全部的库文件 *.so （后面一直用到该目录）
  - share – 其它：数据，例子等
- **源代码目录 geant4.10.00.p02**
  1. source – 结构化的源代码目录，最终极的说明文档
  2. examples – 例子
  3. ……

C++的类库，开源与非开源的区别

- **Geant4提供了**
  - 一系列头文件，例如
    G4TrackingManager.hh
  - 它里面定义了一系列功能，或者说函数，例如
    void SetUserAction(G4UserTrackingAction* apAction);
    void SetUserAction(G4UserSteppingAction* apAction);
- **还有可执行的二进制代码（编译链接生成）**
  libG4trcking.so
- **用户需要做的是在自己的源代码中include头文件，编译的过程中link库文件**

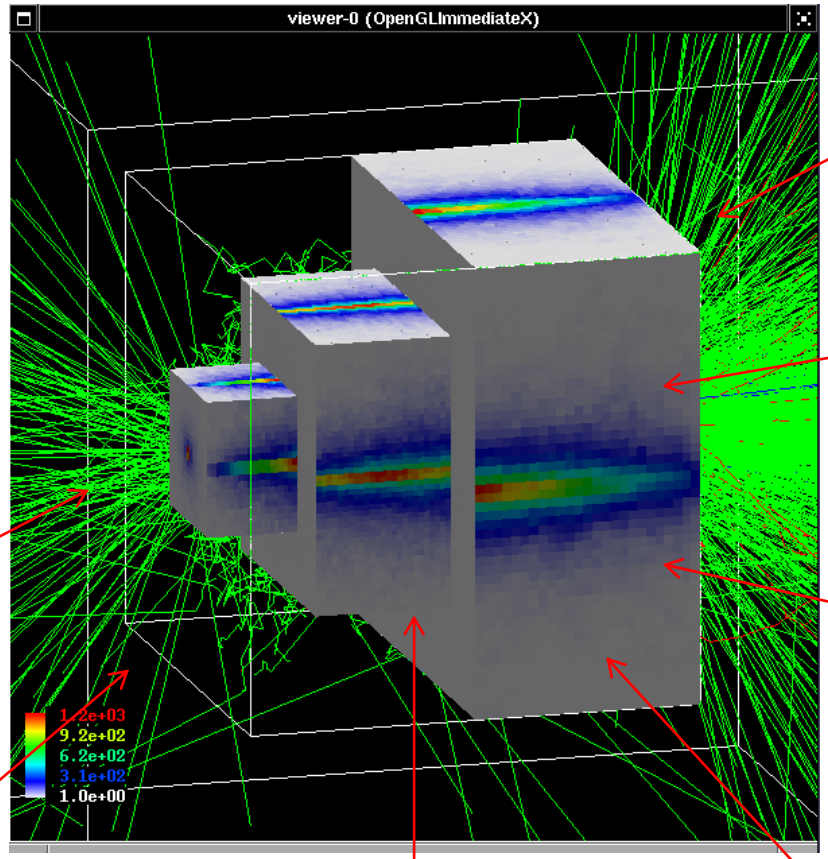
- **上述文件为完成了一个商业工具包（toolkit）**

1. **Geant4还公布了执行细节（开源与非开源的区别）**
   G4TrackingManager.cc

寻找帮助（还有很多）

1. 主页 http://geant4.cern.ch (http://geant4.web.cern.ch/)
2. 用户支持http://geant4.cern.ch/support/index.shtml
3. 在上面的链接可以找到
   Application Developers Guide
   基于Geant4的应用开发指南 （用户）
   Toolkit Developers Guide
   Geant4工具包开发指南 （开发者）
   Physics Reference Manual
   物理参考手册
4. Geant4论坛
   http://hypernews.slac.stanford.edu/HyperNews/geant4/cindex
5. Geant4@SLAC
   http://www-public.slac.stanford.edu/geant4/

Geant4使用的几个重要方面



整体框架

初始粒子

几何

物质

相互作用模型

粒子输运

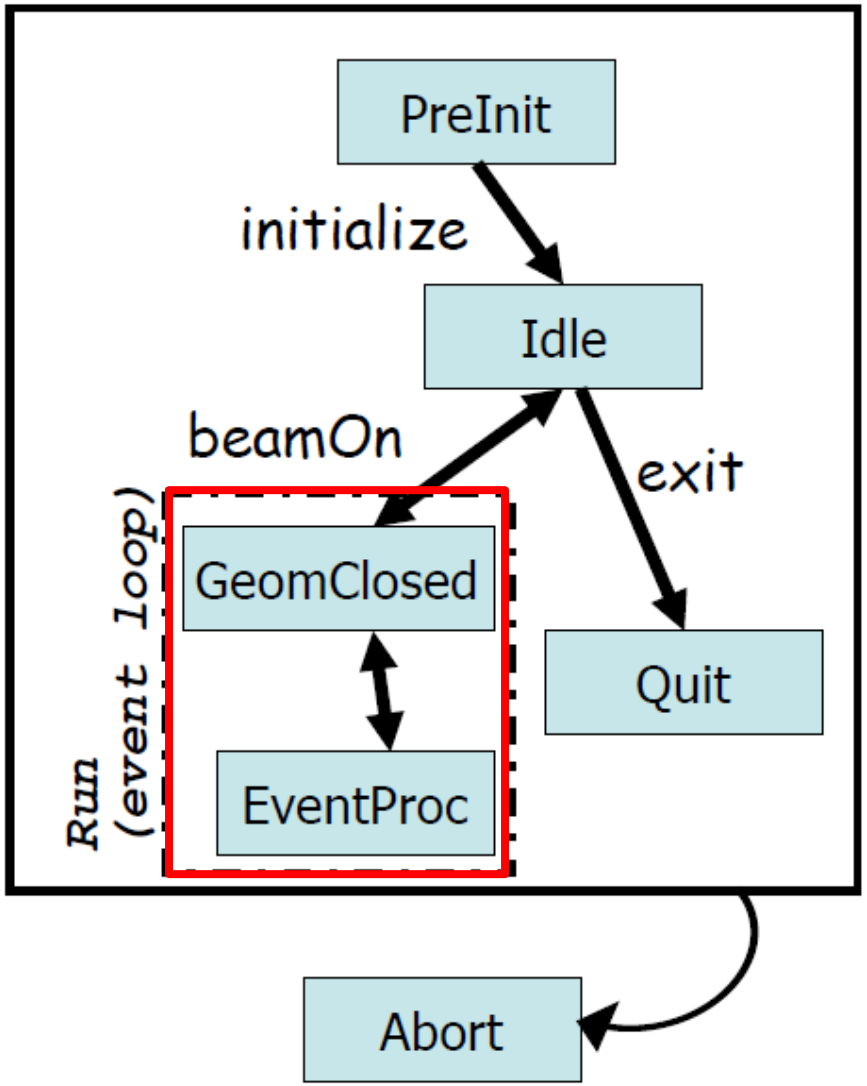
可视化

用户干预

运行

整体结构

- **PreInit – 材料，几何，粒子，物理过程**
- **Idel – 可以开始**
- **GeomClosed – 几何关闭**
- **EventProc – 事例循环**
- **Quit – 正常退出**
- **Abort – 异常中断**



Run, Event, Track, Step

Geant4继承了加速器实验概念

- Run来自于加速器实验的概念，指束流打开，采集一段时间的数据
- 对于对撞机物理，或打固定靶实验，截面足够小，或电子学足够快，基本保证每次电子学得到触发信号，只能够采集到一次对撞，称为Event
- 对撞后生成许多新粒子，每个粒子可以是一根径迹，称为Track
- Step为Track上的步，可以认为是一个粒子的两次相互作用之间一段距离

Run和Event的概念在现代有些模糊，例如一个暗物质实验，没有打开束流的概念；Event的概念也不清晰，中微子实验，核子对撞实验，经常有延迟信号，并和各种本底在时间上交叠。

温习：C++语法，虚函数

- 虚函数是C++中用于实现多态(polymorphism)的机制
- 翻译一：通过基类访问派生类定义的函数
- 翻译二： 我用来规范派生类的行为，实际上就是所谓的“接口”。告诉使用者，我的派生类都会有这个函数。

```
class A
{
public:
  virtual void foo() { cout<<"A::foo() called."<<endl; }
};

class B: public A
{
public:
  virtual void foo() { cout<<"B::foo() called."<<endl; }
};

main()
{
  A* ptr = new B;
  ptr->foo();
}
```

会发现输出是B::foo() called.

最基本的主函数（B1）

例子B1
一起来读

```
int main()
{

  G4RunManager* runManager = new G4RunManager;
// 1. 构造默认的运行管理器(强制)

  runManager->SetUserInitialization(new B1DetectorConstruction());
 // 2. 初始化探测器模型(强制)

  G4VModularPhysicsList* physicsList = new QBBC;
  runManager->SetUserInitialization(physicsList);
 // 3. 初始化物理模型(强制)

  runManager->SetUserInitialization(new B1ActionInitialization());
// 4. 设置用户控制，起始粒子等(可选，但基本上必须)


//.....接下页
```

问题. 这个过程是不是和你想象的是一致的？是不是和你的直觉是一致的？这个过程还缺少什么？

最基本的主函数(B1)

问题. 这个过程是不是和你想象的是一致的？是不是和你的直觉是一致的？

```
//接上页...
 // 5. 初始化G4 内核(强制)
runManager->Initialize();

// 获取UI管理器的指针，并设置verbosities。
G4UImanager* UI = G4UImanager::GetUIpointer();
UI->ApplyCommand("/run/verbose 1");
UI->ApplyCommand("/event/verbose 1");
UI->ApplyCommand("/tracking/verbose 1");

 // 6. 开始运行(强制)
G4int numberOfEvent = 3;
runManager->BeamOn(numberOfEvent);

// 7. 结束作业(强制)
 // 释放内存：用户行为、物理过程以及探测器描述属于运行管理器，
 // 将被运行管理器自动删除，所以不应该在主函数中删除之。
 // 只需要删除运行管理器和其它动态指针即可。
delete runManager;

 return 0;
}
```

DetectorConstruction的关键部分

```
// 1. 头文件
#include "G4VUserDetectorConstruction.hh"
// 2. 虚继承
class ExN01DetectorConstruction : public
    G4VUserDetectorConstruction
{
  public:

    ExN01DetectorConstruction();
    ~ExN01DetectorConstruction();
    // 3. 从虚基类继承的功能性函数
    G4VPhysicalVolume* Construct();

  private:
  //.....


};
#endif
```

大家一起来找到G4VUserDetectorConstruction.hh，并检查一下是不是该基类中有Construct()的定义？

另外我们还可以一起看下G4RunManager.cc，在这里我们是不是可以找到userDetector->Construct()？

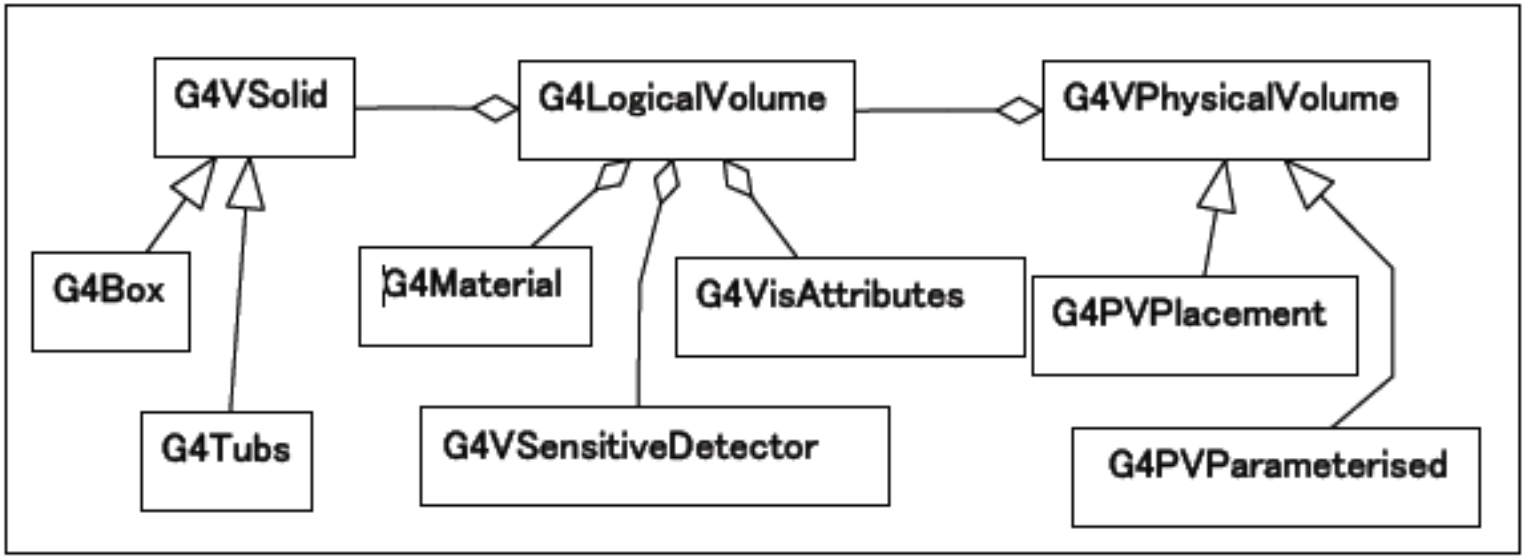
是不是明白Geant4是如何运行的了？

DetectorConstruction的执行

```
#include "ExN01DetectorConstruction.hh"

ExN01DetectorConstruction::ExN01DetectorConstruction() {...}

ExN01DetectorConstruction::~ExN01DetectorConstruction() {...}
 // 从虚基类继承的功能性函数，实际执行了用户的意图
G4VPhysicalVolume* ExN01DetectorConstruction::Construct()
{
  G4double a;  // atomic mass
  G4double z;  // atomic number
  G4double density;

  G4Material* Ar =
  new G4Material("ArgonGas", z= 18., a= 39.95*g/mole, density=
1.782*mg/cm3);
 ...
 return experimentalHall_phys;
}
```

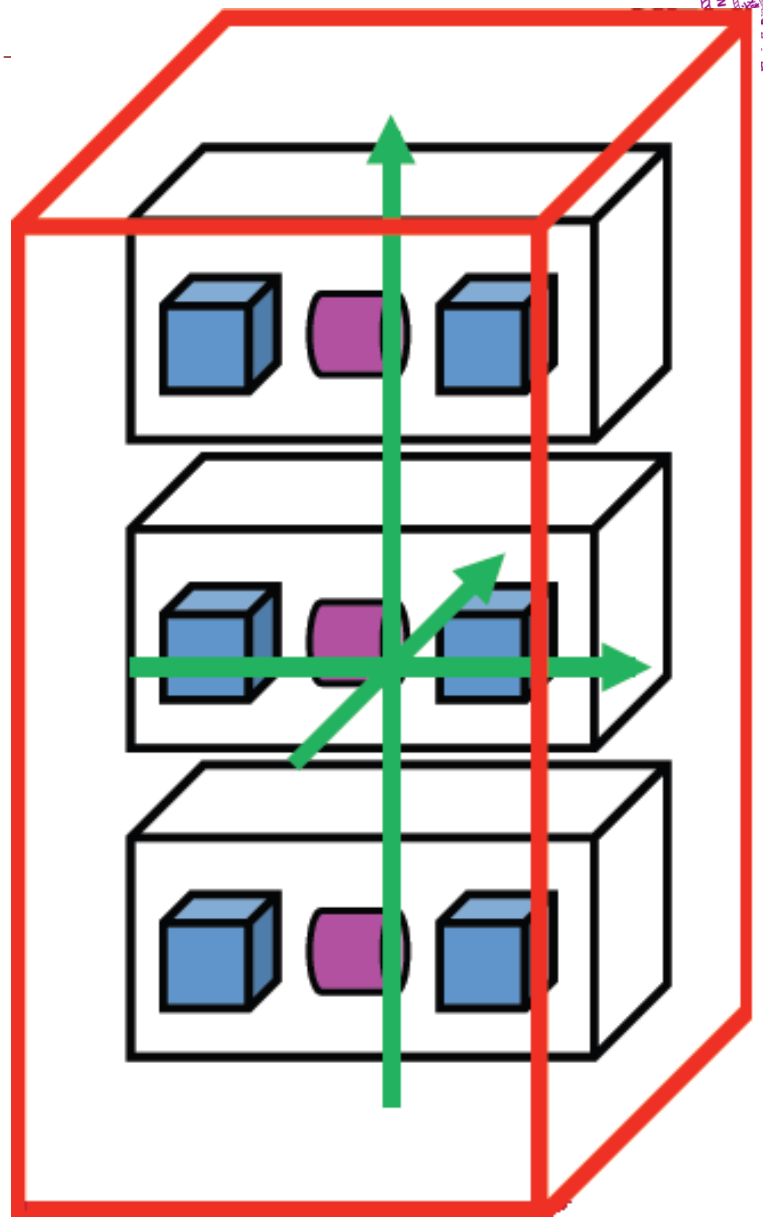
几何，物质各类的概念层次

- Solid：几何，Box，Tube…
  Solid描述了几何的抽象概念，无绝对坐标，无物质填充，与粒子无任何关系
- LogicVolume：逻辑体
  逻辑体和物质，可视化属性关联，可定义为敏感探测器
- PhysicalVolume：实体
  可复制，旋转，参数化，被放置到绝对坐标的逻辑体



几何的层次

- 第一个为World，包含全部子探测器
- 其他的子探测器可以放在World之中
- 子探测器中可以继续做母探测器，放入子探测器，形成一系列包含关系
- 放置时声明的相对位置为相对母探测器中心，比如Box的几何中心



物质的声明与定义

- 对微观粒子来讲，分子结构及以上的尺度的结构是不敏感的
- 对原子该尺度以下的结构，原则上已知质子数，中子数，电子数，微观粒子和物质的相互作用已经确定
- 对于一些特殊物质，如等离子体，应注意定制

```
double density = 1.390*g/cm3;//密度
double a = 39.95*g/mole;        //原子量
double z=18.;                   //原子序数
G4Material* lAr = new G4Material("liquidArgon",z,a,dentsity);
```

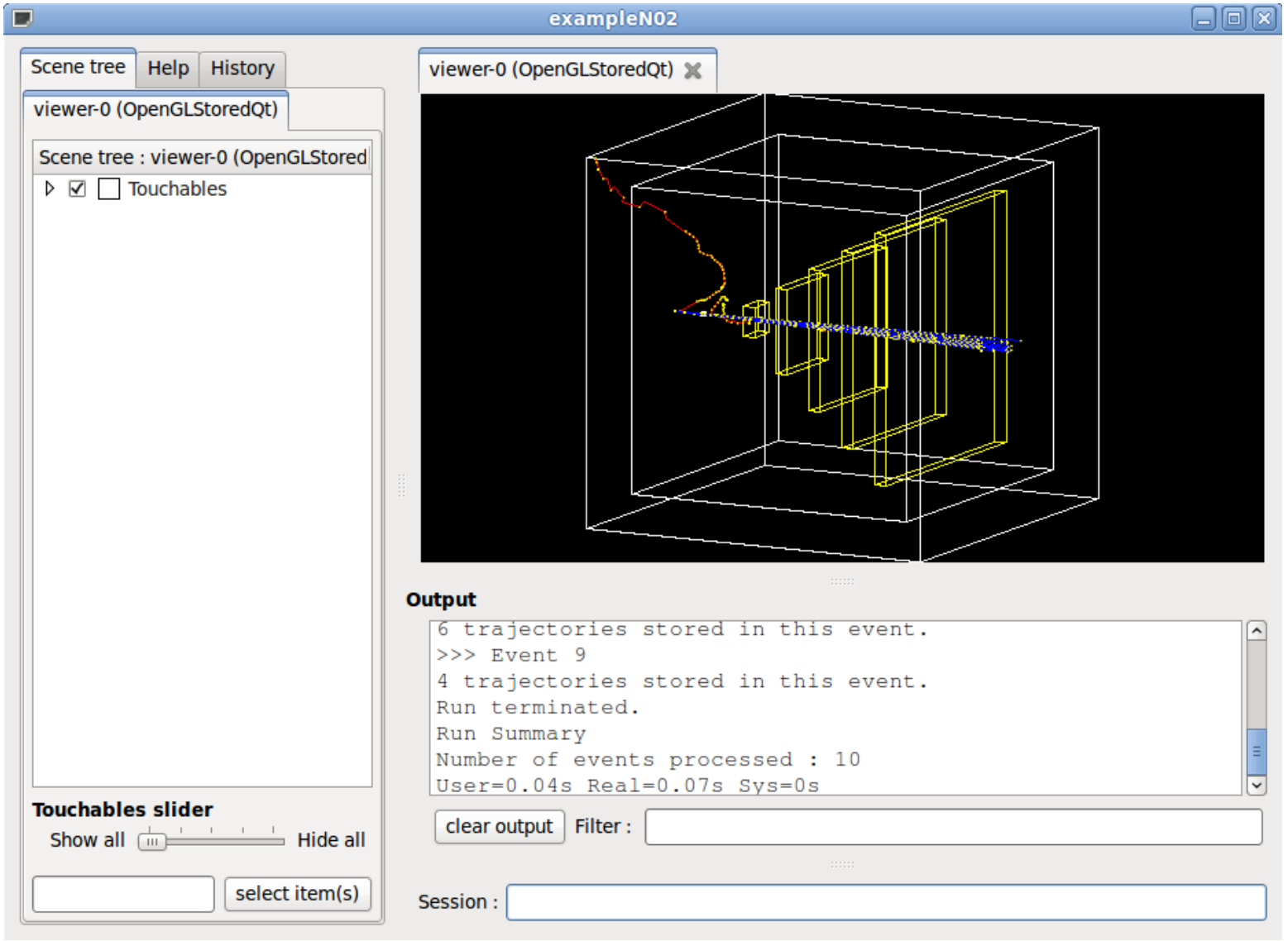
```
G4Element* H  = new G4Element(name="Hydrogen",symbol="H" , z= 1., a);
G4Element* O  = new G4Element(name="Oxygen"  ,symbol="O" , z= 8., a);
density = 1.000*g/cm3;
G4Material* H2O = new G4Material(name="Water", density, ncomponents=2);
H2O->AddElement(H, natoms=2);
H2O->AddElement(O, natoms=1);  //定义水，给定密度、元素种类数目、添加元素
```

最简单的几何定义例子

- 定义一个方形的实验厅，里面充满了氩气

```
G4double expHall_x = 3.0*m;
G4double expHall_y = 1.0*m;
G4double expHall_z = 1.0*m;
//Solid，指定几何形状和尺寸
G4Box* experimentalHall_box
    = new G4Box("expHall_box",expHall_x,expHall_y,expHall_z);

//Logical，指定具体物理特性，如其中物质为Ar气
experimentalHall_log = new G4LogicalVolume(experimentalHall_box,
                                           Ar,"expHall_log",0,0,0);

//Physical，指定放置位置以及旋转角度等
experimentalHall_phys = new G4PVPlacement(0,G4ThreeVector(),
                                          experimentalHall_log,"expHall",0,false,0);
```

探测器显示

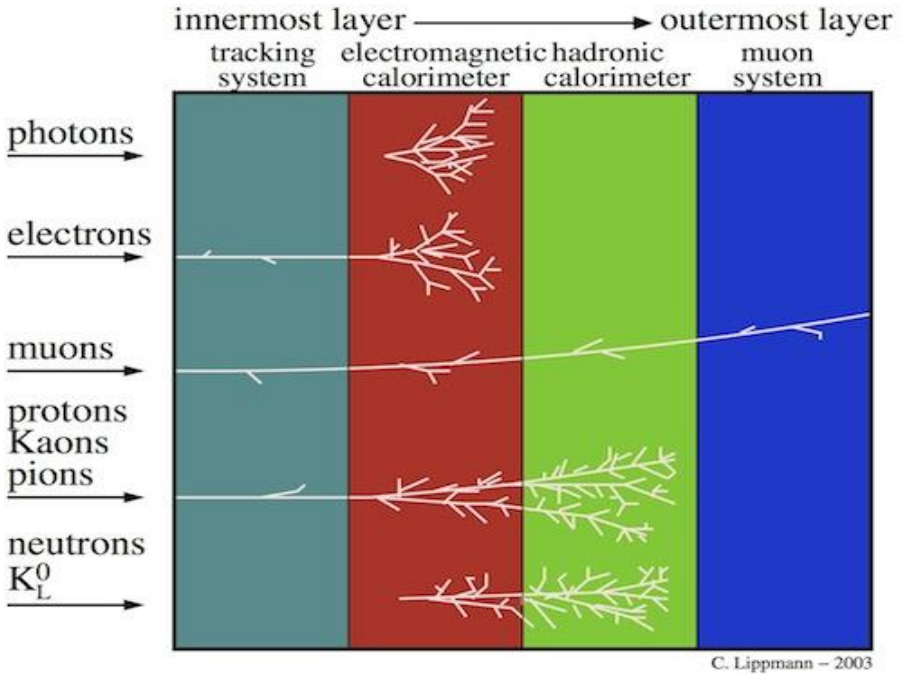

exampleN02
Scene tree
Help
History
viewer-0 (OpenGLStoredQt)
Scene tree : viewer-0 (OpenGLStored
Touchables
Touchables slider
Show all
Hide all
select item(s)
viewer-0 (OpenGLStoredQt)
Output
6 trajectories stored in this event.
>>> Event 9
4 trajectories stored in this event.
Run terminated.
Run Summary
Number of events processed : 10
User=0.04s Real=0.07s Sys=0s
clear output
Filter :
Session :

几个用户宏命令

- Interactive模式 *vs.* Batch模式（交互式 *vs.* 批处理）
- 常用的几个命令：

```
/vis/open OGL
/vis/drawVolume
/gun/particle mu+
        (其他粒子，gamma，proton，e+，neutron，
        photon，pi）
/run/beamOn 10
/gun/energy 10 GeV
```

虚拟实验什么样的厚度合适？

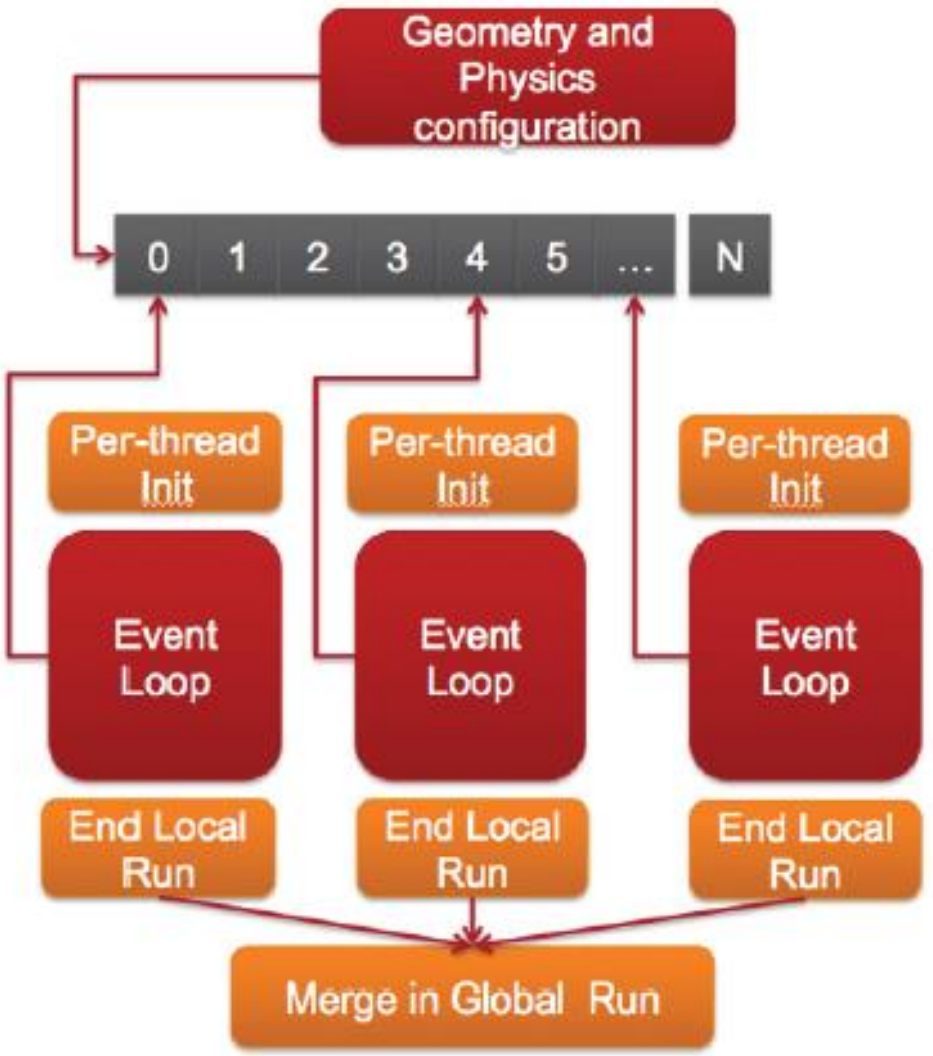


多线程

- 现代电脑，（个人笔记本）
  1. 经常包括多个子核，并支持多线程
  2. 多内存，32G
- 而如果一个Geant4作业只能使用一个线程，只能使用2G内存，显然浪费了很多的资源。
- 多线程是解决该问题的首选方案
- 在安装阶段，我们已经使用了make –j 4

多线程的基本思路

- 预先准备好随机种子的序列
- 每个线程竞争完成全部的模拟事例
- 最后将生成的结果组合在一起



使用多线程

- **cmake时加入**
  -DGEANT4_BUILD_MULTITHREADED=ON

- 使用时：
  1. **/run/numberOfThreads**
  2. **或者 G4MTRunManager::SetNumberOfThreads()**
  3. **或者 环境变量**
     G4FORCENUMBEROFTHREADS=…
     (可以用max代表系统允许的最大值）

多线程的问题

- 用户程序必须有清晰的Event概念，如需要事例混合，前后关联，则用户一定要把这些关系处理好
- 有一定的随机性，因为多线程的竞争能力受其他因素影响
- 不能保证两次运行的结果全同，所以错误也有随机性，不容易差错，由多线程引起的错误很难找到
- 在程序调试成熟后可以尝试使用

Geant4例子的运行方法

```
> cd path_to_Geant4_installation/share/Geant4- \
  10.2.1/geant4make
> source geant4make.csh
```

注意替换 path_to_Geant4_installation
参考例子 g4.csh

```
> cd path_to_exampleXYZ    \ 即例子的父目录，注意替换

> mkdir exampleXYZ_build   \ 与例子的目录平行

> cd exampleXYZ_build

> cmake ../exampleXYZ

> make

> ./exampleXYZ
```

g4.csh

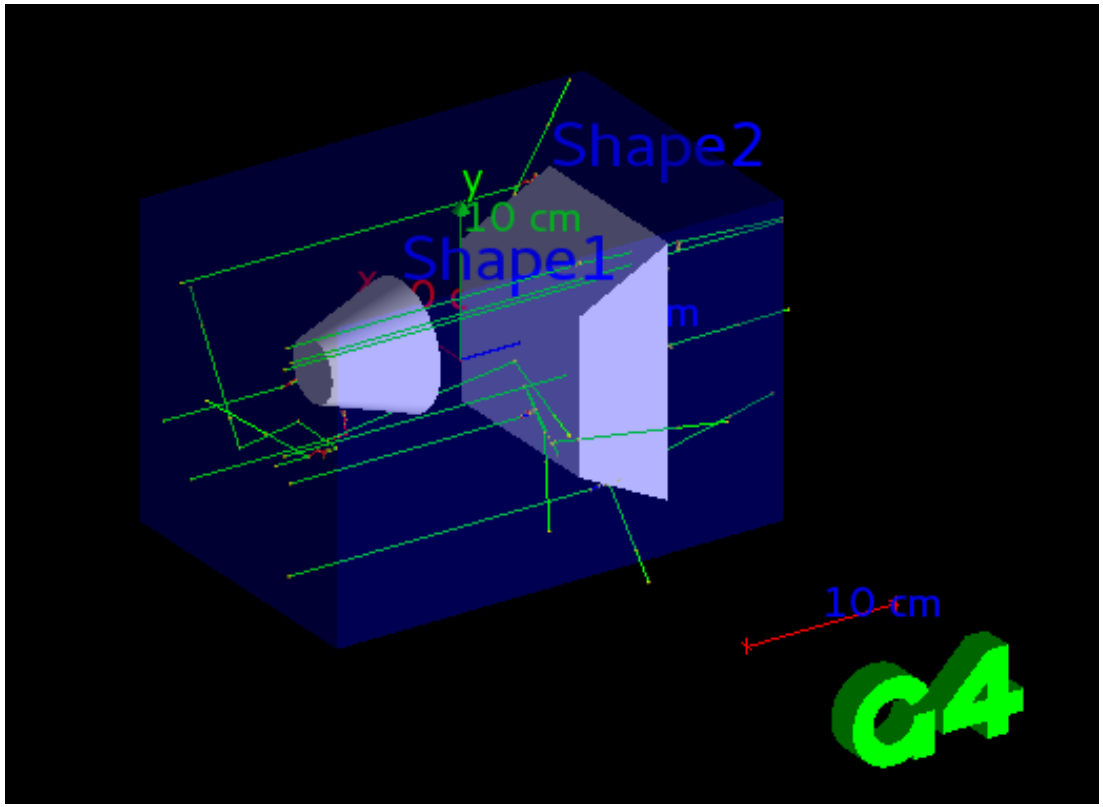
```
pushd /home/wangzhe/External/geant4.10.02.p01-install/share/Geant4-10.2.1/geant4make
source geant4make.csh
popd
```

作业：开始B1例子

- 安装GEANT4
- 尝试读懂B1的例子
- 目标：找到在哪里程序设定了几何形状和物质

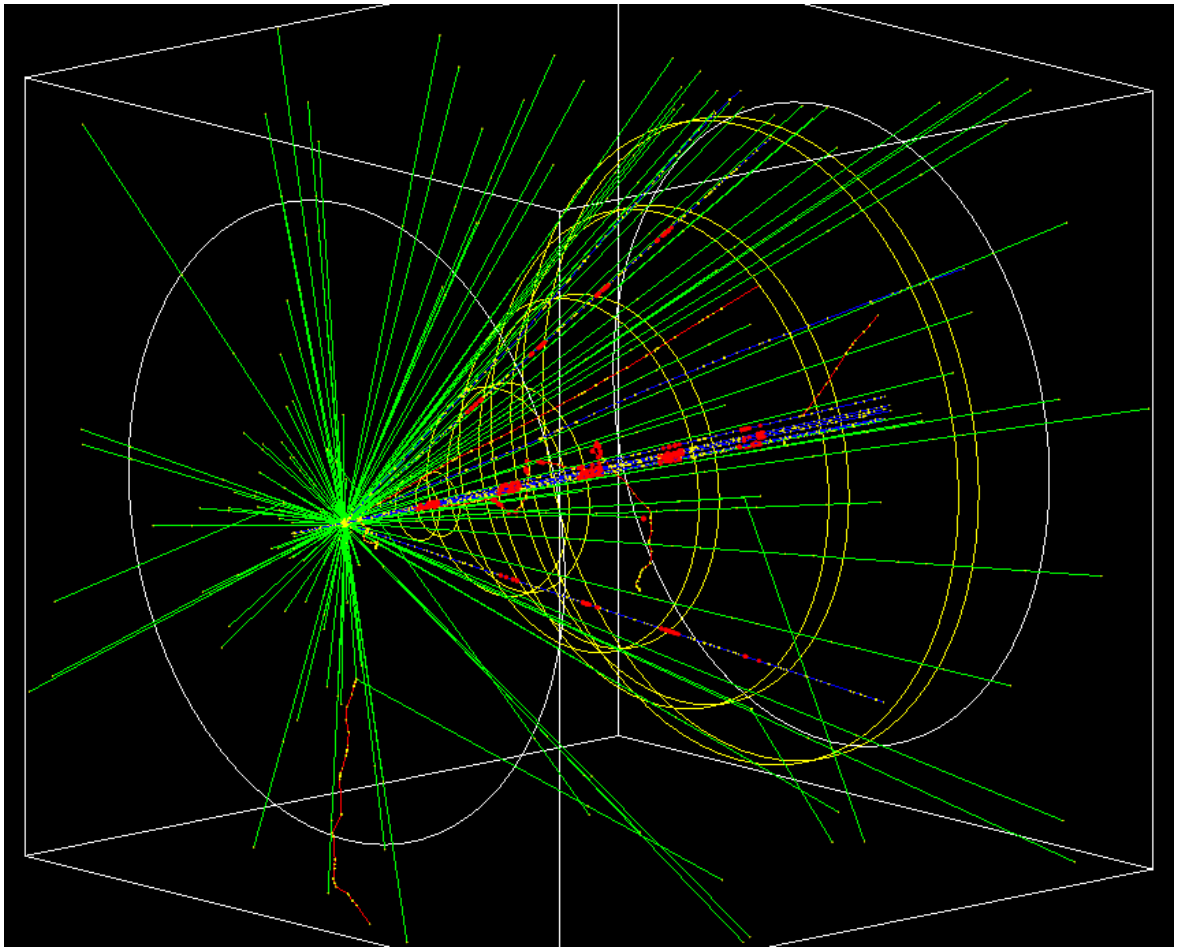
作业：练习运行B1

- 编译
- 运行
  将看到类似如下信息：



作业：练习运行B2

- 编译
- 运行，将看到这样的结果
- 观察打入不同粒子的结果：mu+，gamma proton，neutron



作业：练习调整B1，B2的事例显示

- 角度旋转
- 生成postscript矢量图文件
  矢量图：矢量图也称为面向对象的图像或绘图图像，是计算机图形学中用点、直线或者多边形等基于数学方程的几何图元表示图像。
- 矢量图形最大的优点是无论放大、缩小或旋转等不会失真。一般发表文章时必须使用矢量图。

提示，这里要去看一下各种资源，尝试自己找到帮助。

继续研究之前的一个作业题

- 产生1000个有100个事例的高斯分布， μ=0，σ=1

1. 用高斯函数来拟合，全部参数自由，记录每次的拟合结果，μ，σ，chi2/ndf
   - 画上述三个变量的分布
2. 仍用高斯函数拟合，固定μ=0.05，σ自由，记录得到的σ，chi2/ndf
   - 画上述两个变量的分布
3. 固定μ=0.2，σ自由，记录得到的σ，chi2/ndf
4. 固定μ=0.5，σ自由，记录得到的σ，chi2/ndf

- 对比上述四种拟合的σ，chi2/ndf的分布，画在一起