

粒子物理与核物理实验中的数据分析

杨振伟
清华大学

第六讲:Geant4 的探测器模拟介绍(1)

本讲要点

■ Geant4 简介

■ 一般介绍和历史

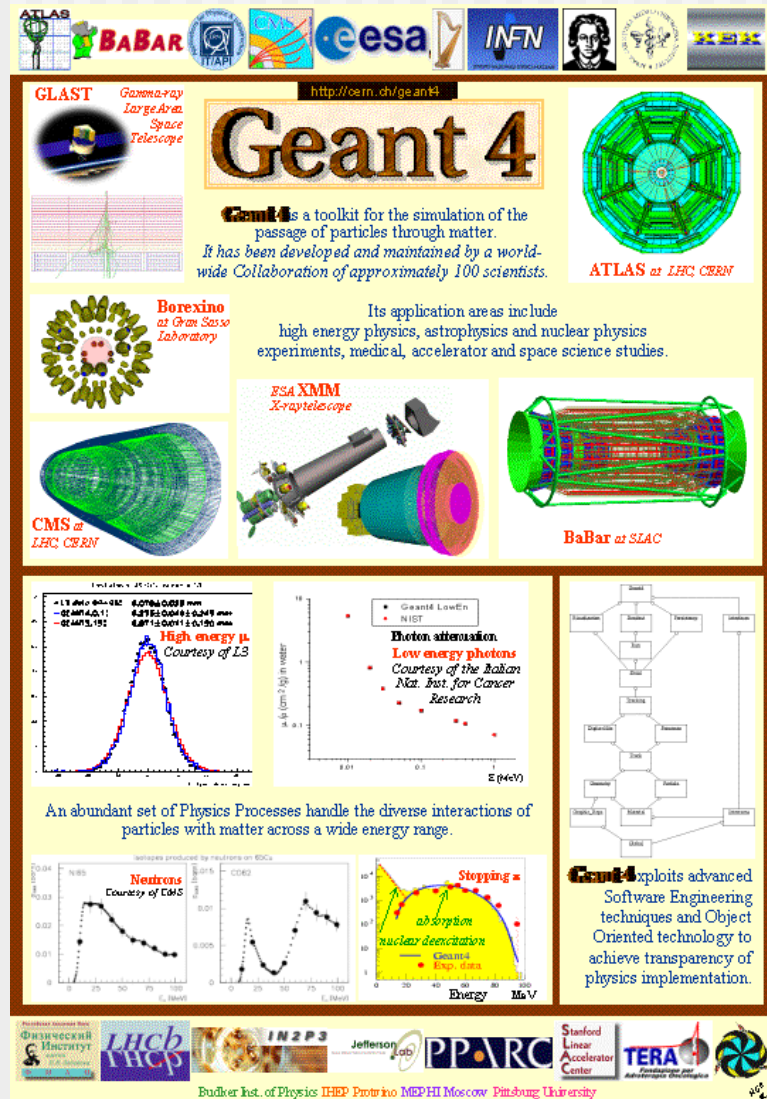
■ 基本概念和内核

■ 重要的用户类

■ 如何安装Geant4

■ 如何使用Geant4

(探测器几何与材料)



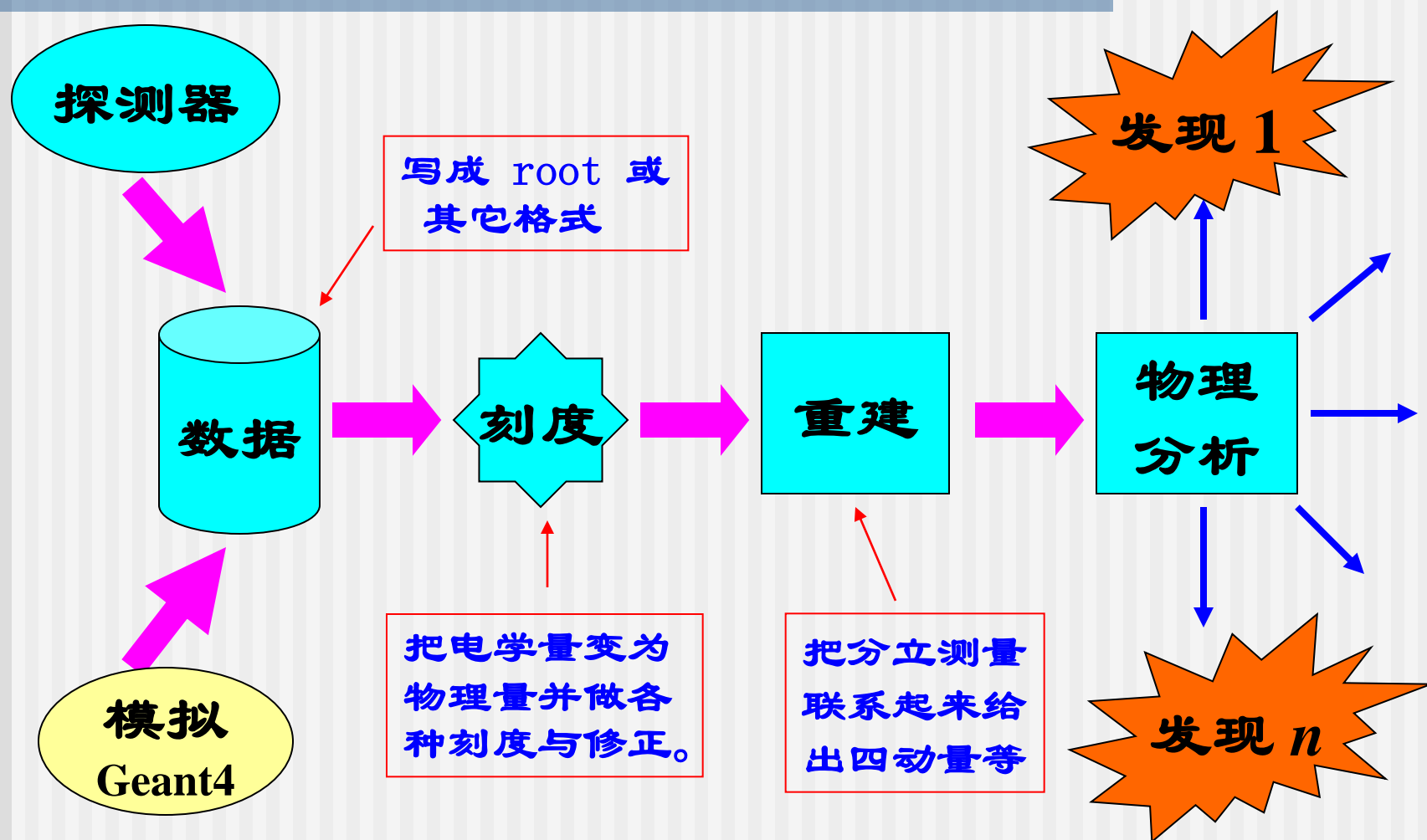
The slide provides a comprehensive overview of the Geant4 project. At the top, it features logos for various collaborating institutions including ATLAS, BABAR, INFN, CERN, and others. The central part of the slide is titled "Geant 4" and describes it as a toolkit for simulating particle passage through matter, developed by a worldwide collaboration of approximately 100 scientists. It lists application areas such as high energy physics, astrophysics, nuclear physics, medical, accelerator, and space science studies. Surrounding this central text are several images and graphs: a diagram of the GLAST Gamma-ray Large Area Space Telescope, a cross-section of the ATLAS detector at LHC CERN, a diagram of the Borexino detector at Gran Sasso Laboratory, a diagram of the ESA XMM X-ray telescope, a diagram of the CMS detector at LHC CERN, a diagram of the BaBar detector at SLAC, a graph of high energy muon production (courtesy of L3), a graph of electron attenuation (courtesy of the Italian Nat. Inst. for Cancer Research), a graph of neutron production by neutrons on BDCs (courtesy of CMS), a graph of neutron absorption and nuclear deexcitation (courtesy of CMS), and a graph of stopping power (courtesy of CMS). The bottom right corner features a diagram of the Geant4 software architecture, showing the relationship between various components like Detector, Geometry, Materials, Physics, and Simulation. The bottom of the slide lists several partner institutions, including the Budker Inst. of Physics, IHEP Peking, MEPhI Moscow, Pitsburg University, and others.

Geant 4 is a toolkit for the simulation of the passage of particles through matter. It has been developed and maintained by a world-wide Collaboration of approximately 100 scientists.

Its application areas include high energy physics, astrophysics and nuclear physics experiments, medical, accelerator and space science studies.

Geant4 exploits advanced Software Engineering techniques and Object Oriented technology to achieve transparency of physics implementation.

数据分析为什么需要模拟信息？



问题在于我们如何知道所做的工作是正确的？

模拟需要做的主要工作

- **定义探测器几何** (具有有限接受范围的探测器)
- **指定探测器的物质** (“有用的” / “没用的” 各种材料)
- **指定物理过程与粒子** (什么东西在探测器中干了什么)
- **产生原始事例** (模拟重复实验 n 次)
- **数据收集和分析** (取出探测器可以获得的信息并处理分析)

除了最后的分析，其余都可以由Geant4负责处理
最后一步一般由ROOT处理

什么是 Geant4?

- 简单地说, **Geant4** 是**模拟粒子穿过物质**的工具包。
提供了探测器模拟的完整工具: 几何, 探测器响应, 运行、事例以及径迹管理、图形显示、用户接口等。
提供了极为丰富的可供选择的物理过程
详见<http://geant4.cern.ch/support/about.shtml>
 - 其应用领域主要包括: **高能物理、核物理、加速器物理以及医学和空间科学的研究等。**
 - 参考 资料
 - 1) <http://geant4.cern.ch>
 - 2) *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* [506 \(2003\) 250-303](#), and *IEEE Transactions on Nuclear Science* [53 No. 1 \(2006\) 270-278](#).
- 最新版为9.5 patch-01, 于2012年03月20日发布

Geant4的特点?

- Geant4 发展于 Geant3, 充分利用了C++语言中的优势, 是粒子与核物理实验模拟最好的工具之一。
免费下载, 更新迅速
- Geant4 是最早成功使用面向对象环境重新设计的粒子与核物理软件包, 几乎所有大型实验的模拟都基于Geant4。
- Geant4 的应用远不止于粒子与核物理。考虑了各个方面的需求, 包括重离子物理、电荷与宇称破缺物理、宇宙线物理、天体物理、空间科学以及医学应用等。
- 为了满足这些需求, 提供了强大的功能和灵活性。

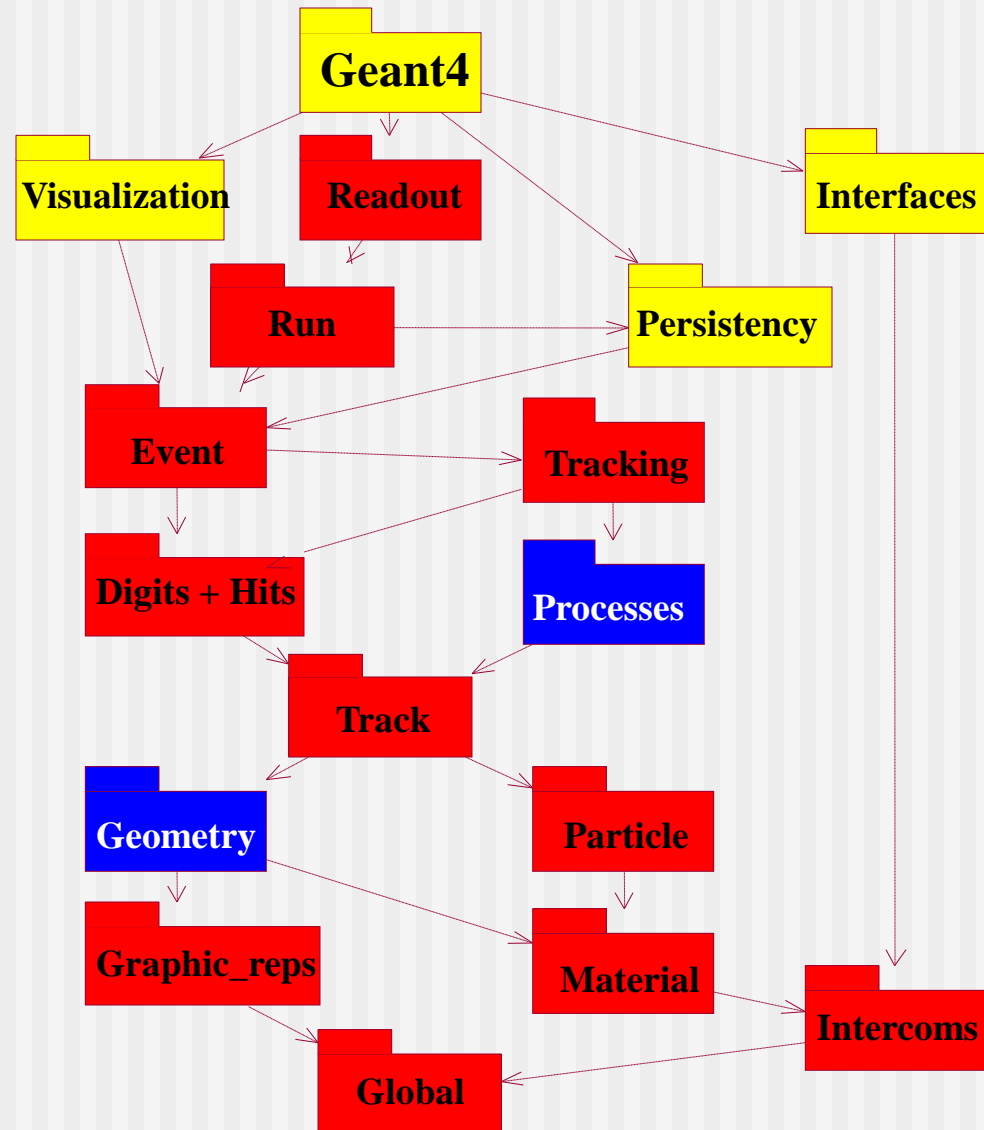
Geant4 的基本概念与内核

■ Geant4 包含17大类

- 每一大类都有专门独立的研发工作小组负责。
- 各大类之间的界面 (例如顶层的设计) 由整体结构工作小组来维护。

■ Geant4 的内核

- 处理运行号, 事例, 迹, 步, 击中, 运动轨迹。
- 提供几何表示和物理过程的架构。



Geant4 软件包中的内容

■ 代码

- ~1 百万行语句
- 网上可以自由下载
- 还在不断的增加与更新

■ 相关文件说明

- 6 份使用工具书
- 网上可以自由下载

■ 应用例子

- 与软件包一起附送
- 参照工具书运行例子程序
- 包含了从简单到较复杂各种模拟程序
(novice, extended, advanced)

■ 平台

- Linux, MacOSX, SUN
- Windows/XP

■ 需要预安装的软件

- C++ 编译器
- 如g++, VC++等
- CLHEP库
- GNU Make, shell

■ 图像与用户界面

- X Windows
 - OpenGL 或 MesaGL
 - DAWN
 - ...
- 至少需要其中的一个

安装Geant4(概要, 不考虑Windows)

按照下面网页一步步进行下去即可完成安装

<http://geant4.web.cern.ch/geant4/UserDocumentation/UsersGuides/InstallationGuide/html/index.html>

一些必备或可选的预安装软件包:

Geant4.9.5版本开始采用cmake方式, 需要cmake2.6.4或更高版本;
之前的版本不需要cmake, 只要有gcc/g++/make即可。9.5之前的版本还需要预安装CLHEP包, 但4.9.5版本起这个变成可选。

其他可选软件详见

<http://geant4.web.cern.ch/geant4/UserDocumentation/UsersGuides/InstallationGuide/html/ch01s03.html>

如果想图形显示探测器, 还需要至少一种图形显示工具, 建议安装
OpenGL, Qt4

Ubuntu很强大, 安装Geant4非常方便, 几乎所有需要的软件包都可以在软件库中直接找到。

参见

http://hep.tsinghua.edu.cn/~yangzw/software/install_clhep.txt

http://hep.tsinghua.edu.cn/~yangzw/software/install_qt4.txt

http://hep.tsinghua.edu.cn/~yangzw/software/install_geant4.txt

设置Geant4环境变量

由于Geant4练习过程中有大量图形显示，希望大家有条件的话在本地机器上进行练习。本地机器Geant4安装在
`/projects/soft/ext/g4/geant4.9.0.p01/`

运行Geant4之前需要先设置Geant4的环境变量，即运行：
`source /projects/soft/ext/g4/geant4.9.0.p01/env.sh`

Geant4环境变量都以G4开头。比如

G4INSTALL : 安装目录

G4SYSTEM : 操作系统及c++编译器名称,如Linux-g++

G4WORKDIR : 工作目录

我们设定的工作目录为`/projects/$USER/geant4`

所以大家需要在`/projects/$USER`目录下建立**geant4**子目录。

以后所有的**geant4**工作都在**G4WORKDIR**下进行。

例一： **Novice Example N01**

Geant4自带很多例子，从新手入门、高级、专家级例子：
\$G4INSTALL/examples/novice目录为入门级7个例子

首先看最简单的例子

```
cd $G4WORKDIR
```

```
cp -a $G4INSTALL/examples/novice .
```

```
cd novice/N01
```

```
gmake          (编译)
```

```
$G4WORKDIR/bin/$G4System/exampleN01    (执行)
```

这是最简单的例子，只是告诉你Geant4如何工作，并且确认你安装的Geant4可以工作。

例子中定义了径迹探测器和三明治式量能器，每个事例发射一个虚拟粒子geantino(没有真实的物理作用)。

后面我们会具体介绍如何定义探测器几何与材料、如何定义入射粒子、如何添加需要的物理过程、如何记录需要的实验数据。

最基本的主函数(exN01)

```
#include "G4RunManager.hh"  
#include "G4UImanager.hh"  
#include "ExN01DetectorConstruction.hh"  
#include "ExN01PhysicsList.hh"  
#include "ExN01PrimaryGeneratorAction.hh"
```

```
int main()  
{
```

探测器、物理过程以及用户行为的定义随模拟的问题而变，在相应类中指定。

```
//构造默认的运行管理器(强制)
```

```
G4RunManager* runManager = new G4RunManager;
```

```
//用探测器以及物理过程初始化运行管理器(强制)
```

```
G4VUserDetectorConstruction* detector = new ExN01DetectorConstruction;
```

```
runManager->SetUserInitialization(detector);
```

```
G4VUserPhysicsList* physics = new ExN01PhysicsList;
```

```
runManager->SetUserInitialization(physics);
```

```
// 设置用户行为(强制)
```

```
G4VUserPrimaryGeneratorAction* gen_action = new ExN01PrimaryGeneratorAction;
```

```
runManager->SetUserAction(gen_action);
```

```
//.....接下页
```

最基本的主函数(exN01)

```
// 接上页...  
// 初始化G4 内核  
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");  
  
// 开始一次运行  
G4int numberOfEvent = 3;  
runManager->BeamOn(numberOfEvent);  
  
// 结束作业  
// 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;  
}
```

如果想图形显示探测器以及物理过程的信息，
需要在**main**函数中用到**G4VisManager**

添加如下代码进行图形显示

```
G4VisManager* visManager = new G4VisExecutive;  
visManager->Initialize();  
UI->ApplyCommand("/control/execute vis.mac");  
//vis.mac文件中定义了跟图形显示有关的一些命令，比如观看角度、缩放比例等。
```

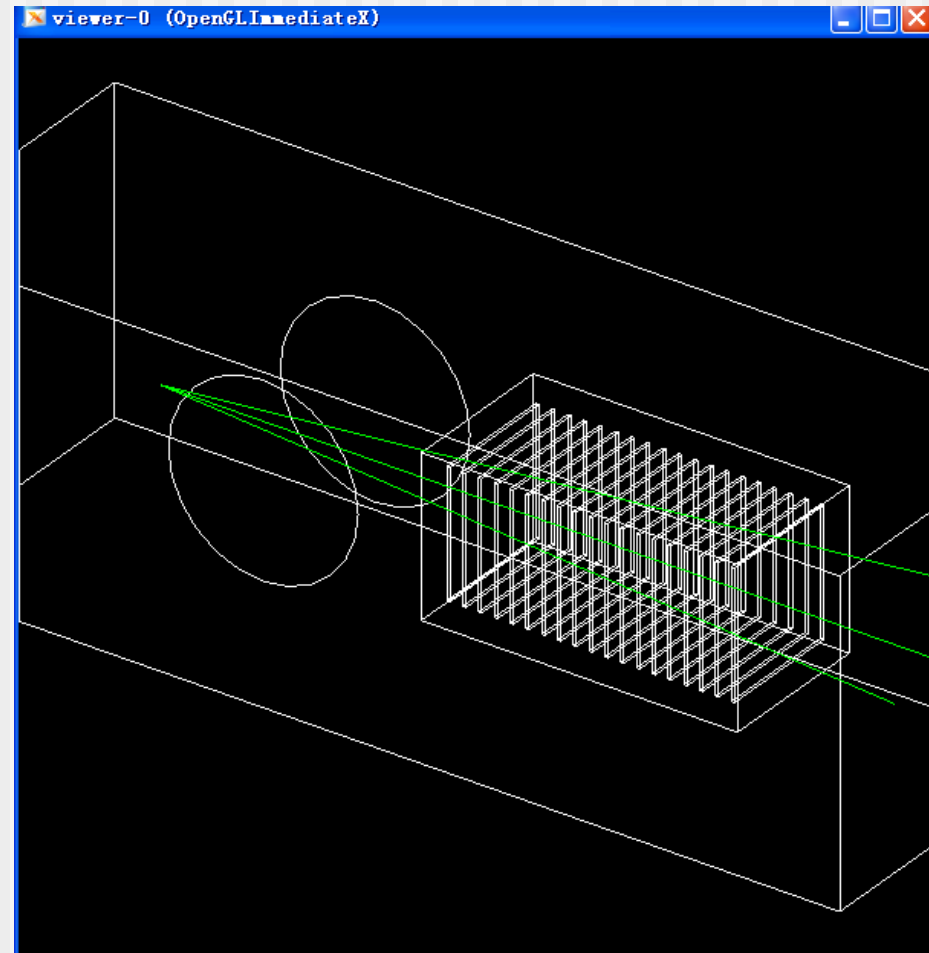
为了让事例显示在程序运行后仍然驻留，
需要开启一个**G4**界面(**G4UIsession**)

```
G4UIsession * session = 0;  
session = new G4UITerminal();  
session->SessionStart();
```

注1：确保已经**include**了头文件
G4VisExecutive.hh,
G4UITerminal.hh,
G4UITcsh.hh

注2：确保已定义了**G4VIS_USE**环境变量

注3：程序结束前，不要忘记删除**session**
和**visManager**两个动态指针。



如何定义探测器几何和材料

Geant4模拟首先要考虑的是模拟的物理问题主要包括哪些物理过程以及想采用的探测器构造。例N01的探测器是在ExN01DetectorConstruction类中定义的，该类继承于G4VUserDetectorConstruction。

探测器构造主要包括：几何、材料、灵敏区域、灵敏区域的读出机制，本讲只涉及几何与材料。详见该类的定义以及实现，即ExN01DetectorConstruction.hh(cc)

关键： 在**Construct()**函数中构造必要的物质、必要的几何形状，以及如何将基本单元放置(架构)成探测器。还可能包括磁场、灵敏区域定义等。

如何定义探测器材料(1)

物质定义:

isotopes <-> G4Isotope

elements <-> G4Element

molecules, compounds, mixtures <-> G4Material

G4Material属性包括温度、压强、状态、密度等，定义时有时需要明显指出属性。

```
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,density);
```

```
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
```

注: **Geant4**中的数据如果有单位都要明显给出单位。

比如 **double length = 1.0*cm**

= 10.0*mm

二者效果是一样的。

方便程序中使用合适的单位，而且看代码的时候比较直观。

如何定义探测器材料(2)

//空气的定义

```
G4Element* N = new G4Element("Nitrogen", "N", z=7., a= 14.01*g/mole);  
G4Element* O = new G4Element("Oxygen" , "O", z=8., a= 16.00*g/mole);  
  
G4Material* Air = new G4Material("Air", density= 1.29*mg/cm3, nel=2);  
Air->AddElement(N, 70*perCent);  
Air->AddElement(O, 30*perCent); //指定百分比
```

//定义真空

```
G4double a, z;  
G4double density, temperature, pressure;  
G4int nel;  
G4Material* Vacuum =  
new G4Material("Galactic", z=1., a=1.01*g/mole,  
              density= universe_mean_density,  
              kStateGas, 2.73*kelvin, 3.e-18*pascal); //指定温度、压强等属性
```

如何定义探测器几何(1)

探测器几何在Geant4中是由很多“**体积**”(Volumes)构成的。Volume的概念在几何构造中非常重要。

■ 三个概念层面

- G4VSolid - **形状, 尺寸**
 - G4LogicalVolume - **子物理体积, 材料, 灵敏区, 磁场, 用户限制等等。**
 - G4VPhysicalVolume - **位置, 转动**
- 原则上几何描述的三个层面允许最大限度的信息再利用, 以便减小内存空间。
- 探测器灵敏区应由用户在**G4VSensitiveDetector**进行具体的定义并设置到**G4LogicalVolume**上。

如何定义探测器几何(2)

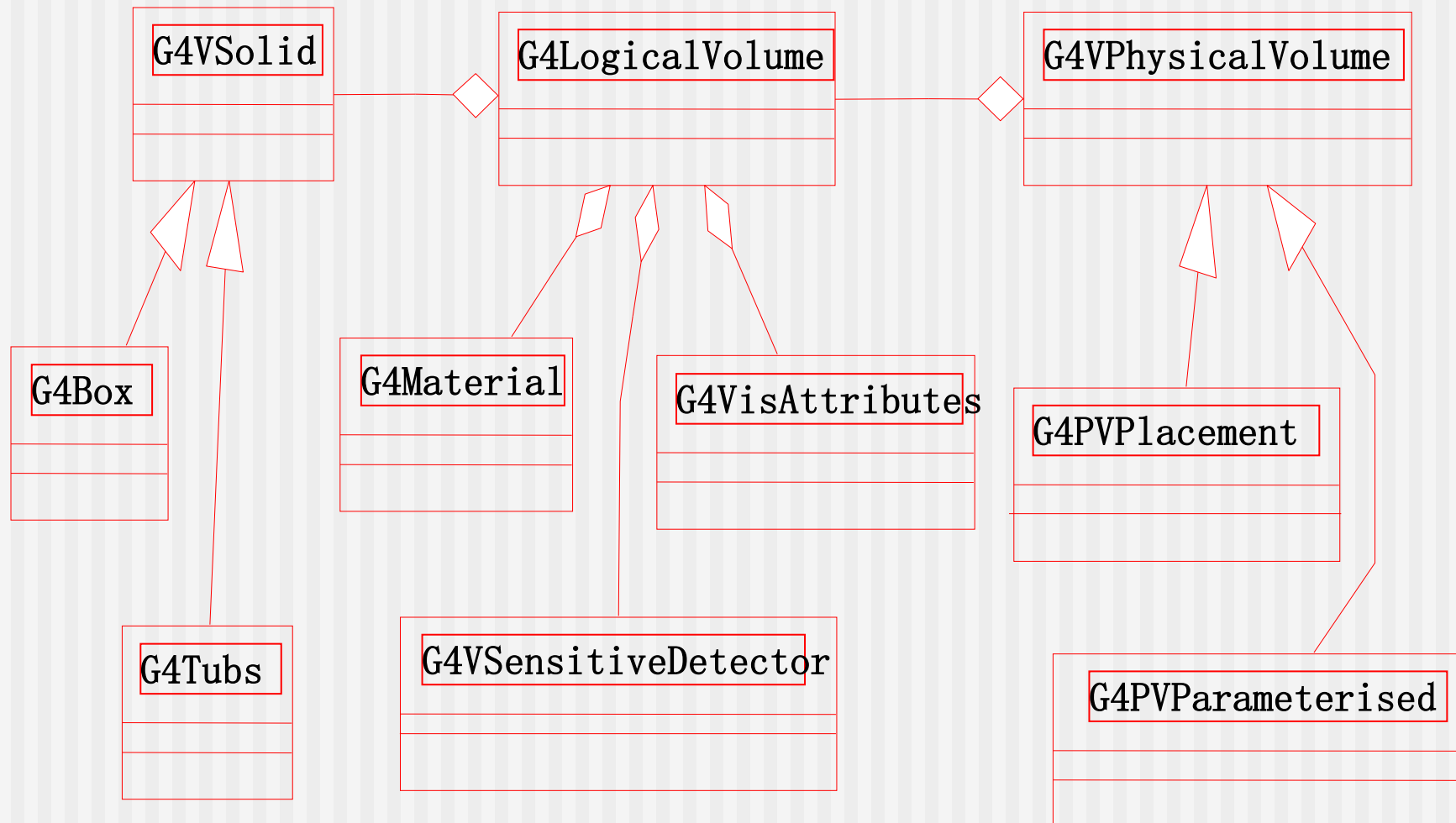
定义一个G4Box，长方体

```
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);
```

Geant4中基本的几何形状很多，比如：

G4Box, G4Tubs, G4Cons, G4Para, G4Trd, G4Trap,
G4Spere, G4Torus, G4Polycone,...

一个 Geant4 体积的调用示意图



作为用户，如何使用Geant4？

- **首先不要尝试去读懂 Geant4 上百万行语句的含义！**
- **其次不要尝试去读懂所有 Geant4 的例子！**
- **然后根据你的实际情况选择相应的例子，我个人建议大家仔细读懂 “Novice” 中的第二个例子N02中在 `src` 与 `include` 中的每一行语句的含义。**
- **Geant 4 需要用户告诉探测器的几何是什么？材料是什么？研究的粒子是什么？物理过程什么？**
- **用户需要从 Geant4 中得到粒子在反应后或者输运后，可以被探测器记录的击中数，末态粒子数，对应的四动量，能损大小等等。然后把所有物理量都转化为电学量，如光电子数，电子学道数等等。**

小结

- **模拟探测器的必要性**
- **Geant4 模拟软件包的基本概念**
- **安装Geant4和设置环境变量**
- **模拟探测器的简单例子**
- **图形显示**
- **探测器几何和材料的定义**

练习

1. 修改稿例子**N01**，加上图形显示。
从不同视角查看探测器显示情况。
(hints: 将**N02**中的**vis.mac**复制到**N01**目录，
利用其中关于**vis**的**UICommand**命令。)
2. 修改**N01**中探测器的物质以及几何形状，在
tracker tube的内部中心平行放置一个内径
20cm,外径**25cm**，长度**40cm**的小圆管，管的
材质为硅。
3. 编译运行**N02**例子，查看探测器以及物质构造。
4. 阅读**Geant4 User's Guide (for Application Developers)**第2.1-2.3节，4.1-4.3节。
5. 下载**Geant4.9.5.p01**源码，尝试安装**Geant4**

参考资料

1. <http://geant4.cern.ch>
2. Geant4 User's Guide (for Application Developers)第2.1-2.3节, 4.1-4.3节。
可在
<http://hep.tsinghua.edu.cn/~yangzw/CourseDataAna>目录下载
3. Geant4安装手册
4. NIM [A 506 \(2003\) 250-303](#), and
IEEE Transactions on Nuclear Science [53 No. 1 \(2006\) 270-278](#).