粒子物理与核物理实验中的数据分析

王喆
清华大学

第四讲：ROOT在数据分析中的应用(1)

之前几讲的要点

- C++基本概念

  类的定义与实现，指针

- Linux下用g++编译C++程序

  g++ -o hello.exe -I<include> ./src/*.cc

  当前目录下输出可执行文件hello.exe

  指定include目录 如-I./include

  源文件

- 用makefile进行C++编译

  make 进行编译

  make clean 清除编译结果

本讲要点

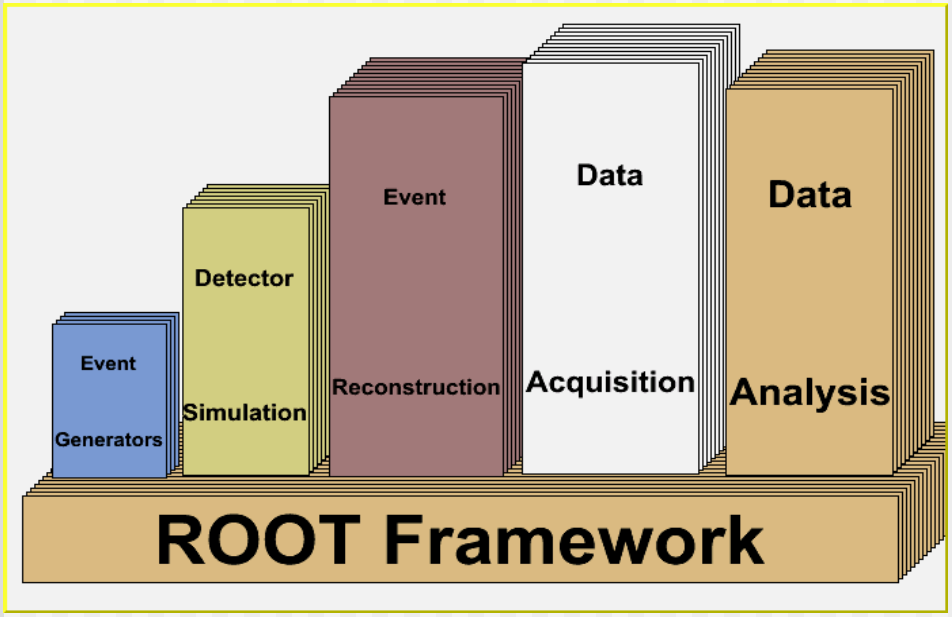
- 什么是ROOT？
- ROOT体验中心
- 安装登录ROOT环境
- Tutorial 目录
- ROOT的常用指令
- ROOT的结构、语法简介
- ROOT的随机数
- ROOT的函数
- ROOT直方图
- ROOT的文件操作

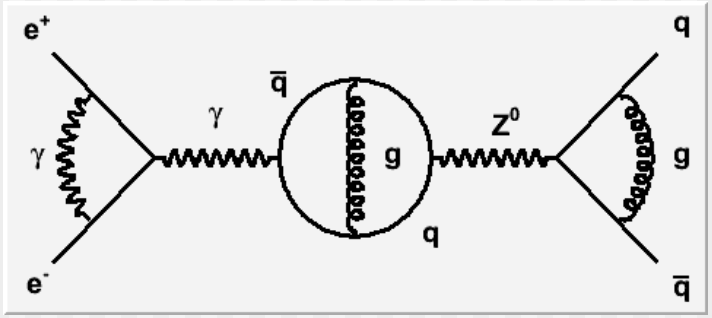
什么是 ROOT ？

ROOT: Executive Summary

... provides a set of OO frameworks with all the functionality needed to handle and analyse large amounts of data in a very efficient way....

关键字：面向对象的框架、所有功能、海量数据、非常有效



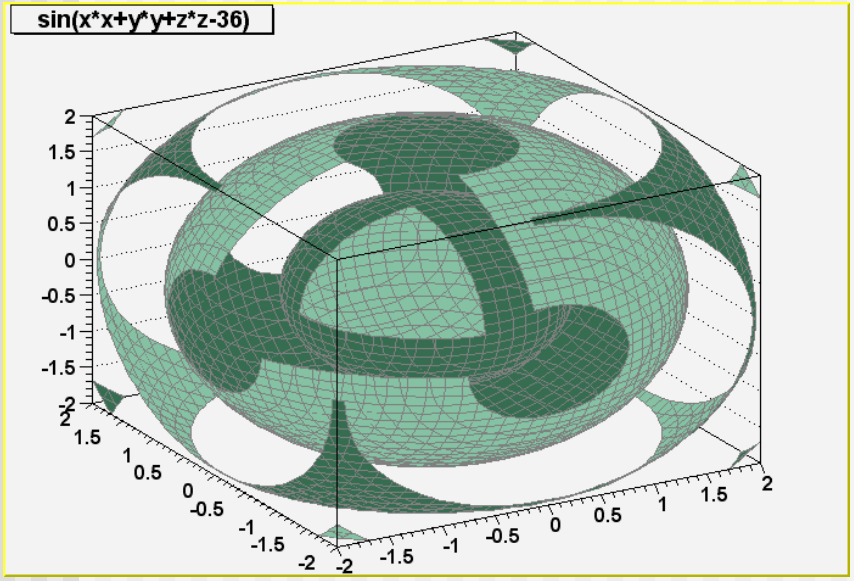


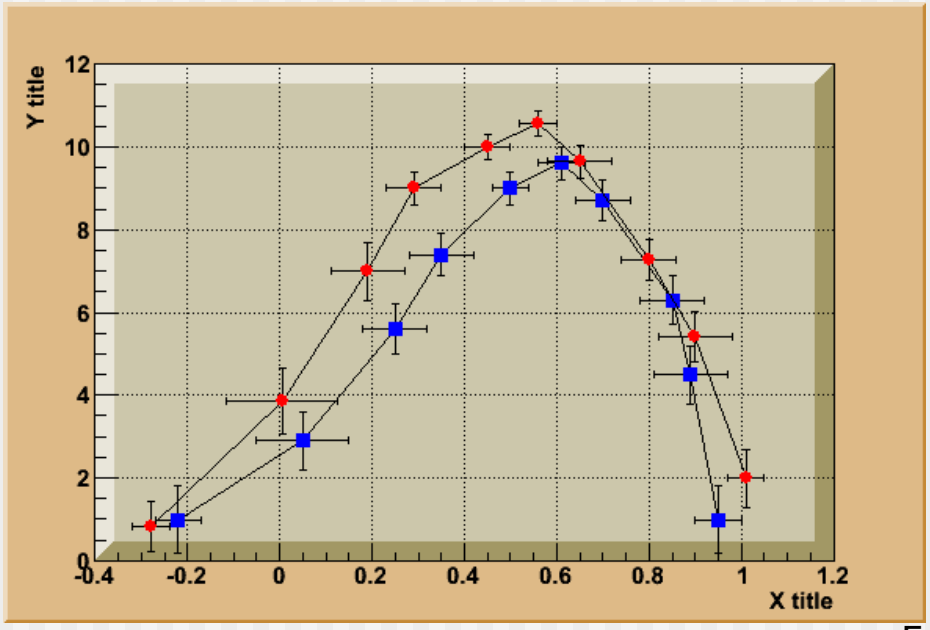
结论：很不谦虚！

ROOT体验中心

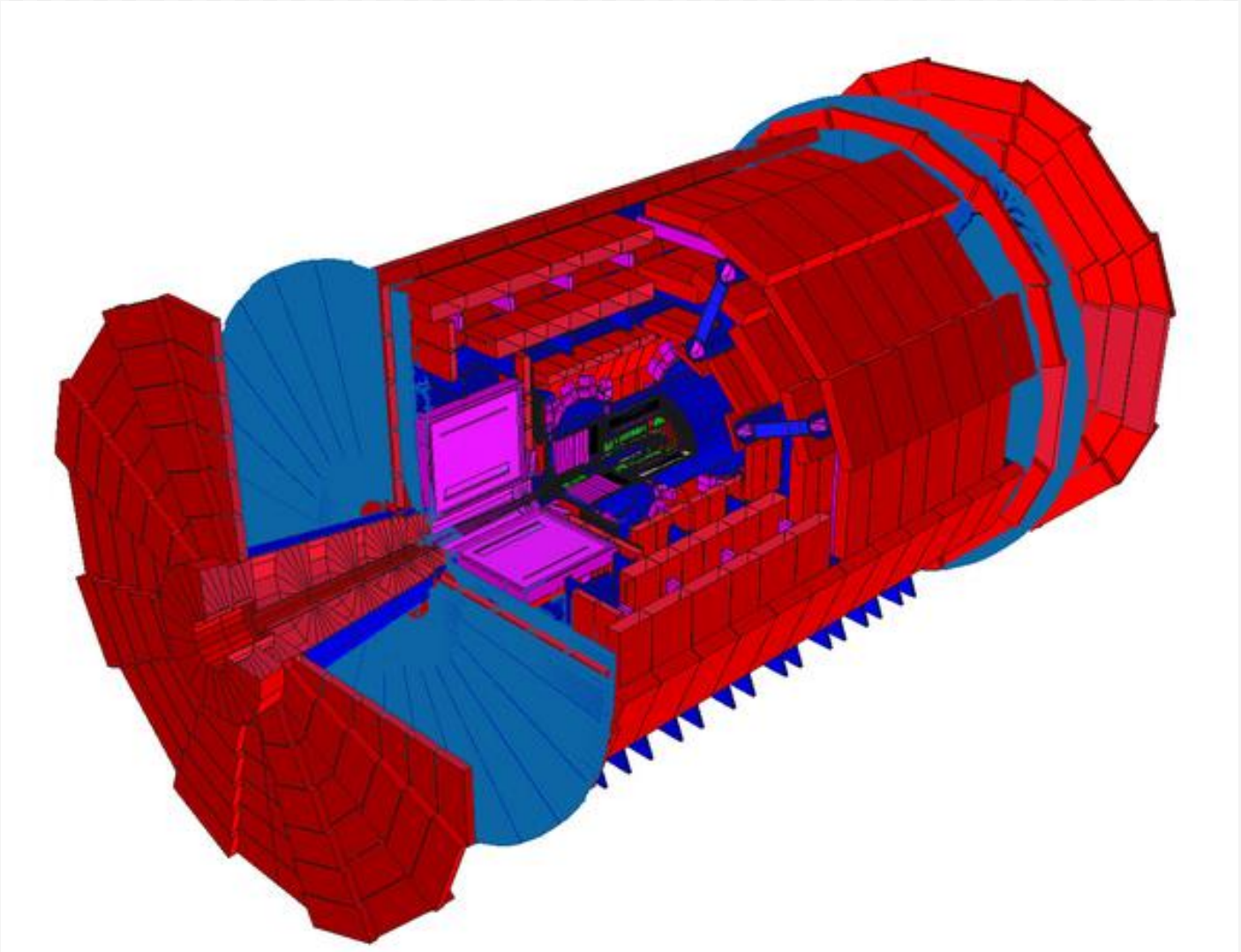
还可以在ROOT网站上看到一些ROOT图片：
https://root.cern.ch/gallery

当然，ROOT的功能不只是做图，它不是一个作图工具。
跟数据分析有关的东西，基本都是ROOT的擅长；
跟物理有关的很多东西，ROOT基本都可以做得很好：
事例产生、探测器模拟、事例重建、数据采集、数据分析





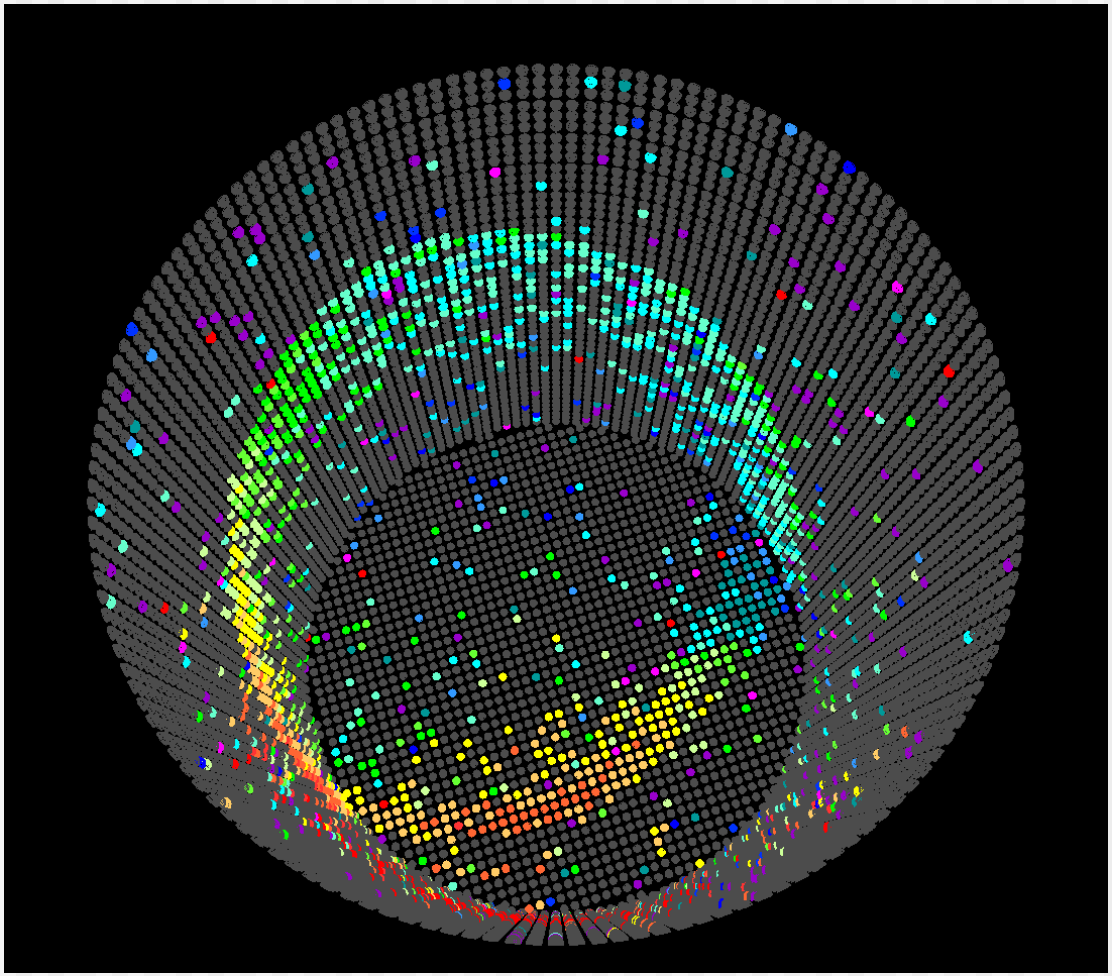
ATLAS



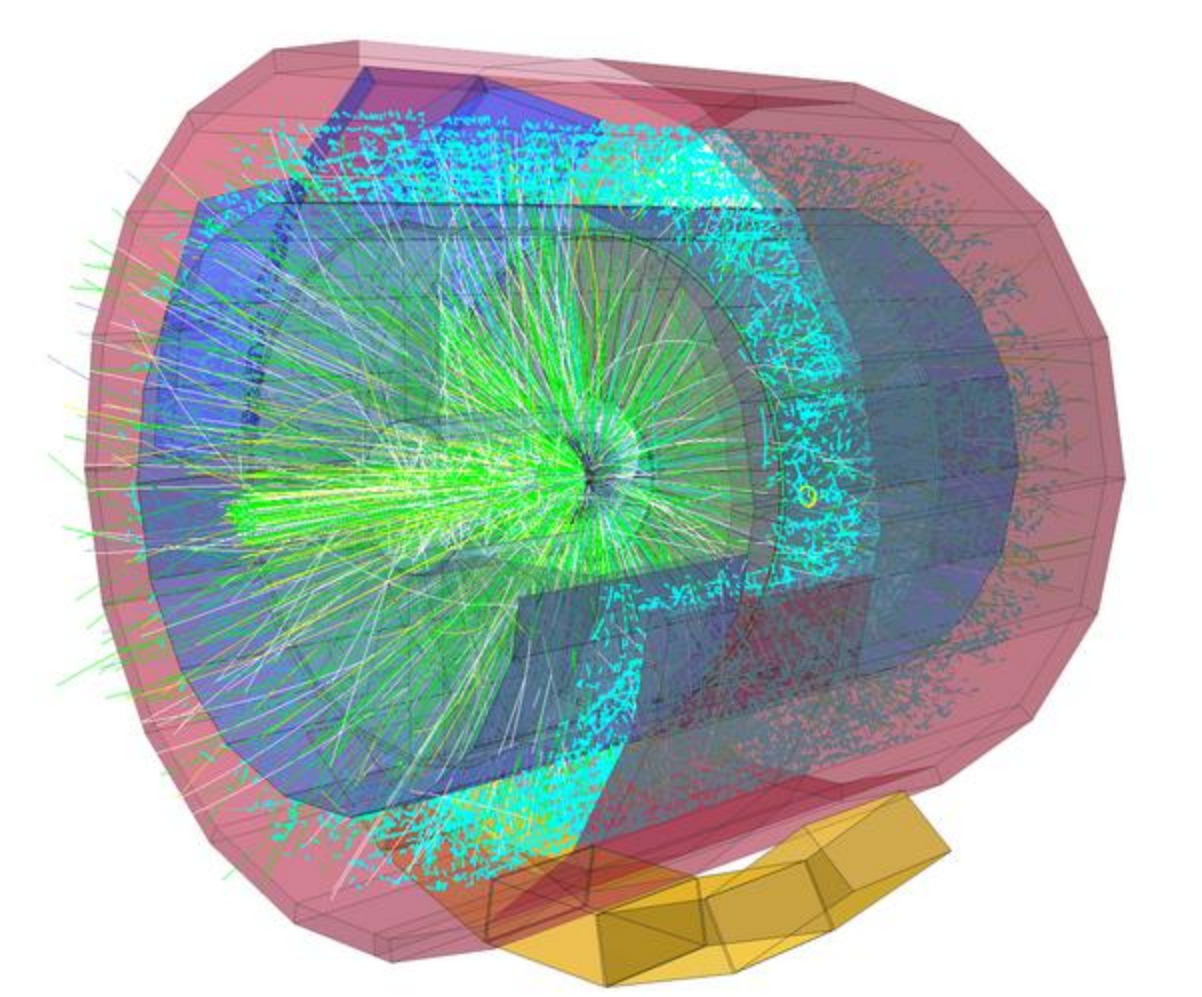
超级神冈

日本超级神冈中微子实验事例显示

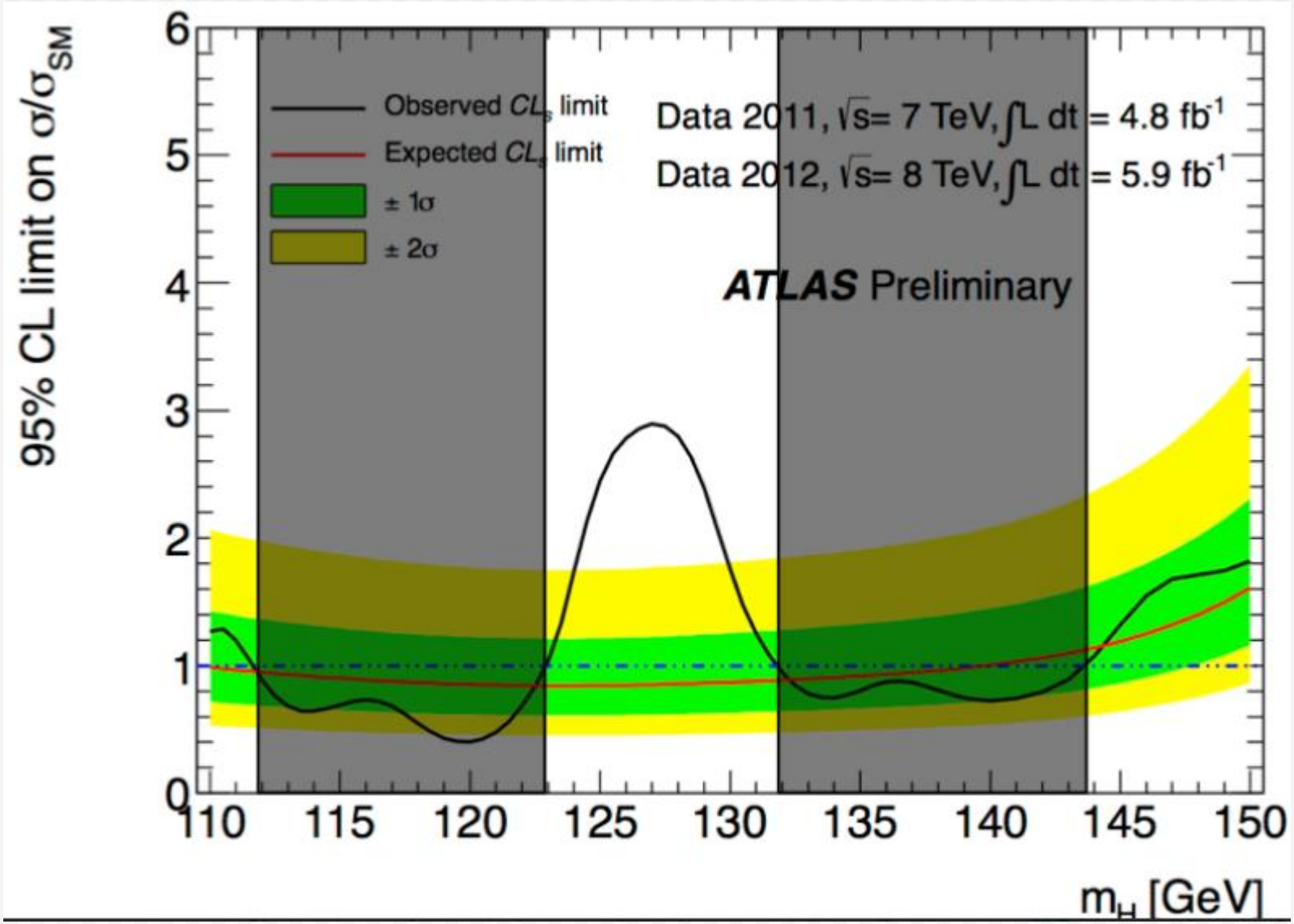
超大的水池，内外装满了光电倍增管，1万多个



ALICE (simulated Pb-Pb collision)



Higgs search



安装ROOT(1)

到ROOT主页下载需要的版本到指定目录。
（http://root.cern.ch/drupal/content/downloading-root）

下载源代码：
https://root.cern.ch/downloading-root

由源代码安装：（基本过程，订制安装可能需要一些参数）
tar xvfz *.tar.gz，假定解压后的文件在root目录中，
> cd root
> ./configure [--prefix=/home/wangzhe/root (安装目录)]
> make
（自行安装的时候有很多麻烦，主要是缺少一些依赖的软件，你的linux系统总包含一些软件库、管理器之类，很容易得到解决。）

使用：
source bin/thisroot.sh (或者 .csh)
（这个还可以加在你的登录环境中.bashrc或.cshrc，自动加载）
root
（进入root）

安装ROOT(2)

如果是其它发行版的Linux，首先查看是否ROOT网站上是否有预编译好的程序包，一般情况下，官方提供SLC4和SLC5在各种不同CPU以及不同gcc版本下的二进制包，

ROOT官网也提供包括Solaris以及Mac OS X以及Windows下的预编译包。

Windows用户在官网下载相应的.msi文件直接安装即可。

（但是，由于windows缺省没有编译器，所以root的大部分功能都受到限制。有用，但很多局限，完成不了我们的作业）

一些linux操作系统近来把root当作了必包含的软件包，例如在ubuntu (synaptic)，redhat (yum)的软件选择列表中就可以找到，省去了自行安装过程中要找到所依赖软件的麻烦。

登录ROOT环境

- 运行 >root
- 退出 root[0] .q
- 键入 help 指令，如

```
root[0]?
root[1].ls
root[2].!ls
```


```
*******************************
*                             *
*       W E L C O M E         *
*                             *
*   Version   5.30/02 21      *
*                             *
*  You are welcome to visit our web site  *
*         http://root.cern.ch             *
*                                         *
*******************************************

ROOT 5.30/02 (tags/v5-30-02@40973, Sep 22 2011, 10:55:04 on win32)

CINT/ROOT C/C++ Interpreter version 5.18.00, July 2, 2010
Type ? for help. Commands must be C++ statements.
Enclose multiple statements between { }.
root [0]
```

Root的常用命令

其他常用命令

```
> root  plot.C
> root  plot.C+
> root  plot.C++
> root -l plot.C
> root momentum.root

root[0]  .x plot.C
root[0]  .x plot.C(1)
root[0]  .x plot.C+
root[0]  .x plot.C++

root[0]  .L plot.C
root[0]  .L plot.C+
root[0]  .L plot.C++
root[0]  plot()
```

其他：

- .ls　显示ROOT当前环境的所有信息
- .! ls　显示Linux系统当前目录的所有信息
- 注：ROOT环境中，ROOT指令都以“.”开头，系统指令都以“.!”开头

各种执行方式

课上演示，hSimple.C

```
1. > root myFunc.C
2. > root
     root [0] .x myFunc.C
3. > root
     root [0] .L myFunc.C
     root [1] myFunc()
4. > root
     root [0] .L myFunc.C+
     root [1] myFunc()
```

解释执行

编译执行

编译执行会执行最严格的语法检查，
程序运行最安全，推荐使用

Tutorial 目录

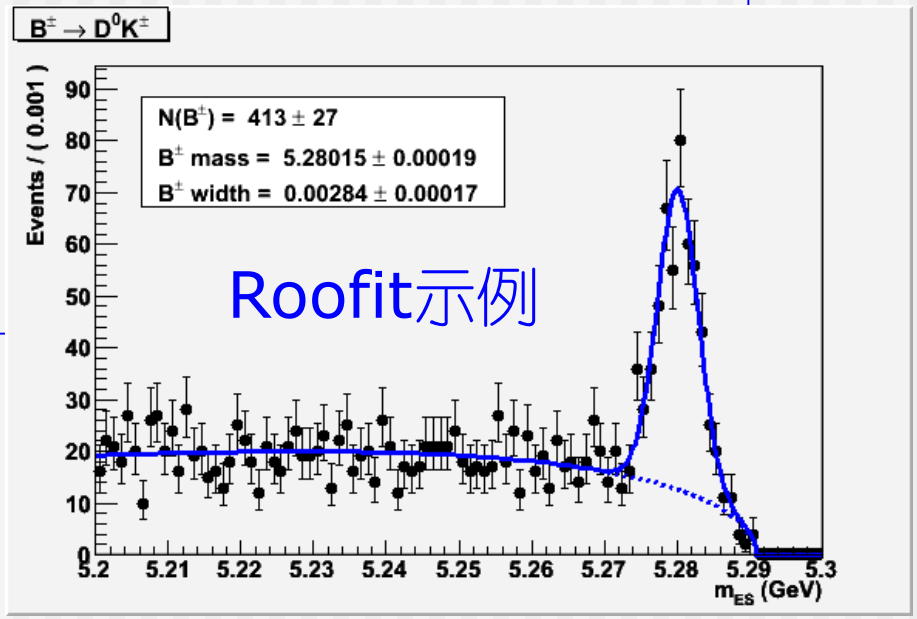
课上演示

在$ROOTSYS/tutorials目录下，有五花八门的例子。
以后会经常与这个目录打交道。先尝试一下吧。
尝试方法：

```
>cd $HOME
>cp -r $ROOTSYS/tutorials .  (注意不要把这个"."漏掉了)
>cd tutorials
```

然后找个感兴趣的目录/文件，执行ROOT脚本，比如

```
>cd roofit
>root -l RoofitDemo.C
```



小技巧提示：
根据关键字"xxxx"从tuotorials的例子中寻找线索

grep -sirn "xxxx" $ROOTSYS/tutorials

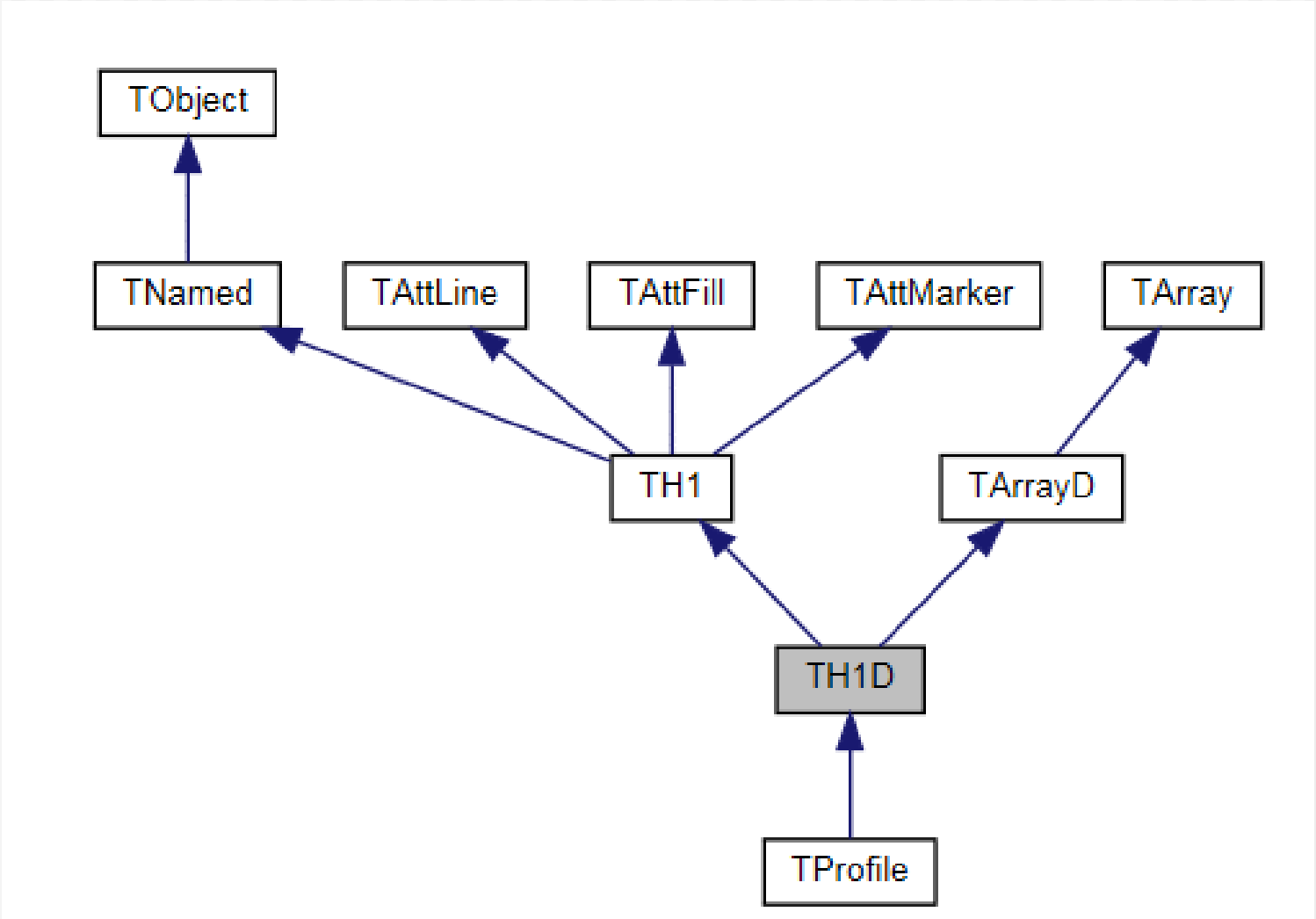
比如找随机数用法：grep -sirn "random" $ROOTSYS/tutorials

ROOT语法—基本信息

- ROOT使用C++语法
  一段C++程序可以直接在ROOT环境运行
- 数据类型重定义
  int → Int_t
  float → Float_t
  double → Double_t
  ……
- ROOT的类都以T开头
  如TFile, TH1F, TTree, ...

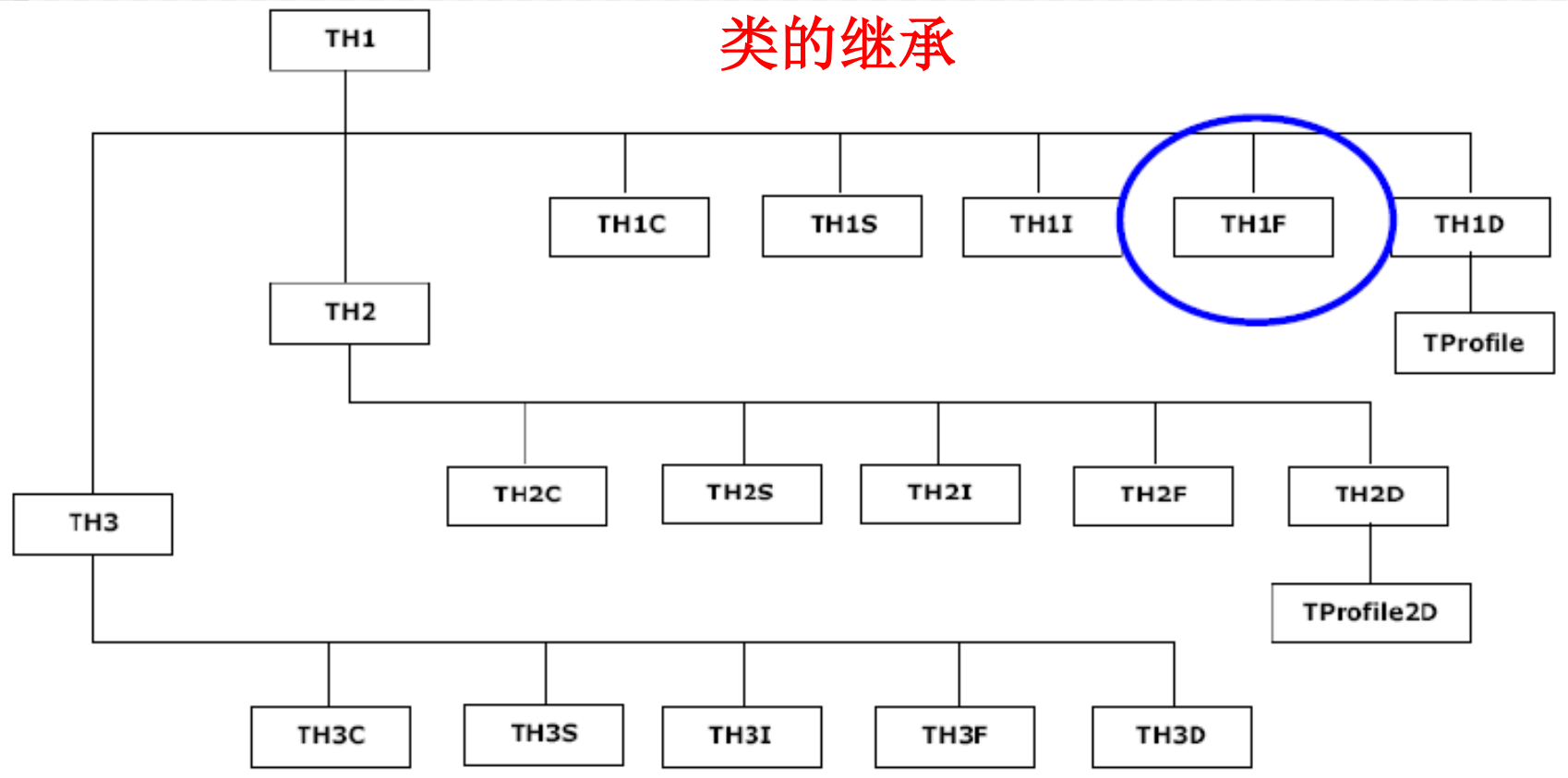
- 可以直接在ROOT环境中运行macro文件(自动调用cint编译器)，也可以在makefile中设置好相关参数用g++编译得到可执行文件运行。

Root的关于继承的例子



ROOT结构—类的使用

ROOT中有众多已经定义好的类可供使用，
比如**直方图**家族



ROOT的一些重要的类

其它常用类

基础类： TObject

数学函数：TF1, TF2, TF3...

图　　形：TGraph, TGraphErrors, TGraph2D,...

文　　件：TFile

画　　布：TCanvas, TPad, ...

随 机 数：TRandom,TRandom1,TRandom2,TRandom3

树，树链：TTree, TChain　　（非常重要）

还有很多全局函数，全局类，全局变量，多数以g开头，如：

gRandom, gROOT, gStyle, gPad, gEnv, gFile...

Root的随机数

随 机 数： TRandom, TRandom1, TRandom2, TRandom3

周期	10^9	10^{171}	10^{26}	10^{6000}
速度(ns/call)	34	242	37	45

速度与**CPU**和编译器有关

gRandom是指向当前随机数产生子的指针，

该产生子默认TRandom3对象。

http://root.cern.ch/root/html522/TRandom.html

(为什么看TRandom？因为TRandom1/2/3都继承自TRandom)

ROOT—随机数

gRandom->Binomial(ntot, p):	二项分布
gRandom->BreiWigner(mean, gamma)	Breit-Wigner分布
gRandom->Exp(tau)	指数分布
gRandom->Gaus(mean,sigma)	高斯分布
gRandom->Integer(imax)	(0,imax-1)随机整数
gRandom->Landau(mean,sigma)	Landau分布
gRandom->Poisson(mean)	泊松分布(返回int)
gRandom->PoissonD(mean)	泊松分布(返回double)
gRandom->Rndm()	(0,1]均匀分布
gRandom->Uniform(x1,x2)	(x1,x2]均匀分布
....	

思考：什么情况下需要PoissonD(mean)?

ROOT中的数学函数

画图时采用
root[1]fun_name.Draw();

- 制作一维函数曲线图

```
TF1 *fun_name = new TF1("fun_name","expression",
x_low,x_high);
```

```
root[0]TF1 *f1 = new TF1("f1","x*sin(x)",-5,5);
```

- 制作二维函数曲线图

```
TF2 *fun_name = new TF2("fun_name","expression",
x_low,x_high, y_low,y_high);
```

```
root[0]TF2 *f2 = new TF2("f2","x*sin(x)+y*cos(y)",
-5,5,-10,10);
```

- 制作三维函数曲线图

```
TF3 *fun_name = new TF3("fun_name","expression",
x_low,x_high,y_low,y_high,z_low,z_high);
```

```
root[0]TF3 *f3 = new TF2("f3","x*sin(x)+y*cos(y)
+z*exp(z)",-5,5,-10,10,-20,20);
```

数学函数的定义方式(1)

ROOT中定义数学函数的方式多种多样

- 利用C++数学表达式

```
TF1* f1 = new TF1("f1","sin(x)/x",0,10);
```

- 利用TMath定义的函数

```
TF1 *f1 = new TF1("f1","TMath::DiLog(x)",0,10);
```

- 利用自定义C++数学函数

```
Double_t myFun(x) {
    return x+sqrt(x);
}
TF1* f1 = new TF1("f1","myFun(x)",0,10);
```

以上函数都不含参数，但在数据拟合时，我们往往需要定义含未知参数的函数

数学函数的定义方式(2)

ROOT中定义含未知参数的数学函数

- ROOT已经预定义了几种常用的含参函数

gaus:3个参数

`f(x)=p0*exp(-0.5*((x-p1)/p2)^2))`

expo:2个参数

`f(x)=exp(p0+p1*x)`

polN:N+1个参数

`f(x)=p0+p1*x+p2*x^2+...`

其中N=0,1,2,...，使用时根据需要用pol0,pol1,pol2...

landau:3个参数

朗道分布，没有解析表达式

这些预定义函数可直接使用，比如

```
histogram->Fit("gaus"); //对直方图进行高斯拟合
TF1 *f1=new TF1("f1","gaus",-5,5);
```

数学函数的定义方式(3)

ROOT中自定义含未知参数的数学函数

- 利用C++数学表达式

```
TF1* f1 = new TF1("f1","[0]*sin([1]*x)/x",0,10);
```

- 利用C++数学表达式以及ROOT预定义函数

```
TF1* f1 = new TF1("f1","gaus(0)+[3]*x",0,3);
```

- 利用自定义的C++数学函数

```
Double_t myFun(Double_t *x, Double_t *par) {
  Double_t f=par[0]*exp(-x[0]/par[1]);
  return f;
}

TF1* f1 = new TF1("f1","myFun",0,10,2);
f1->SetParameter(0,100);
f1->SetParameter(1,2);
```

指定参数数目

ROOT脚本文件示例：Macro文件

课上练习

```
#include "TF1.h"
```

← 非编译运行情况下，非必须的

```
Double_t DiExp(Double_t *x, Double_t *par)
{
  Double_t f=par[0]*exp(-x[0]/par[1]);
  return f;
}

void myFunc() {
  TF1* f1 = new TF1("f1",DiExp,0,10,2);
  f1->SetParameter(0,100);
  f1->SetParameter(1,2);
  f1->Draw();
}
```

← 解释执行的条件下，要与文件名同名

ROOT中统计直方图

- 定制一维直方图

```
TH1F *hist_name = new TH1F("hist_name","hist_title",
num_bins,x_low,x_high);
```

- 定制二维图

```
TH2F *hist_name = new TH2F("hist_name","hist_title",
num_bins_x,x_low,x_high,num_bins_y,y_low,y_high);
```

- 定制三维图

```
TH3F *hist_name = new TH3F("hist_name","hist_title",
num_bins_x,x_low,x_high,num_bins_y,y_low,y_high,
num_bins_z,z_low,z_high);
```

- 填充统计图

```
hist_name->Fill(x);
hist_name->Fill(x,y);
Hist_name->Fill(x,y,z);
```

绘图：

```
root[0]hist_name->Draw();
```

ROOT脚本文件示例:直方图，随机数

```
void histw() {
   gROOT->Reset();
   const Int_t NEntry = 10000 ;
   TFile *file = new TFile("Landau.root","RECREATE");
   TH1F *h1 = new TH1F("h1","A simple histo",100,0,1);
   for (int i=0;i<NEntry;i++)  {
     h1->Fill( gRandom->Landau(0.2,0.1) );
   }
   h1->GetXaxis()->SetTitle("X Title, #sqrt{#Delta_{2}}");
   h1->GetXaxis()->CenterTitle();
   h1->GetYaxis()->SetTitle("Y Title, Entries/0.01");
   h1->Draw();
   file->Write();
   c1->SaveAs("Landau.ps");
}
```

1. 文件准备，写入
2. 生成直方图
3. 填图
4. 生成图片

打开root文件

1. 打开已有的root文件，如刚刚生成的Landau.root:
   终端提示行下:
   > root –l Landau.root

2. ROOT环境下 :
   > root
   root [0] TFile f1("hist1.root");
   root [1] .ls
   root [2] h1->Draw();

3. 利用TBrowser 课上练习
   > root
   root [0] TBrowser b
   利用你的鼠标 ……

4. 当然也可以利用C++代码执行

打开一个文件，查看一个直方图

```
//
//  open a root file and get a histogram
//
void histr() {

   TFile *file = new TFile("Landau.root","READ");
   TH1F *h1 = (TH1F*) file->Get("h1");
   h1->Draw();

}
```

1. 文件打开
2. 得到直方图的指针
3. 画图

很多情况下，这些命令可以在**root**的提示符下逐行键入，并进行测试。

小结

- ROOT简介

  C++，面向对象，实验数据处理的强大工具
- 安装与登录以及体验
- 运行ROOT脚本
- 数学函数，直方图，随机数，
- 新建root文件，查看root文件

练习

1. 把**Tutorial**目录拷贝到自己目录下，“看一看”！把看过的结果截图上传。

2. 完成课上的例子

3. 自己生成两维的直方图，利用随机数生成两维的高斯分布，存成文件，然后自己用两种以上的方法打开，重新查看。

4. 继续熟悉**emacs**或者**vi**，**C++**的概念等等

参考资料

- ROOT手册第2章，第3章
- http://root.cern.ch
- http://root.cern.ch/root/Reference.html
- http://root.cern.ch/root/Tutorials.html
- http://root.cern.ch/root/HowTo.html
- $ROOTSYS/tutorials中的各个例子
- http://hep.tsinghua.edu.cn/training/index.html （一个三段的视频教程）