

# 一、利用ROOT生成数量为N的随机数，服从均值为50，标准差为10的高斯分布，并拟合，比较不同N、不同bin大小对拟合结果的影响。

```
// 生成高斯分布随机数直方图并进行拟合
void gaussFitTest() {
    // 设置随机数种子（可选，保证可重复性）
    gRandom->SetSeed(0);

    // 参数设置
    int N = 10000;           // 随机数数量
    int nBins = 50;         // 直方图分bin数
    double mean = 50.0;     // 高斯分布均值
    double sigma = 10.0;    // 高斯分布标准差
    double xMin = mean - 5*sigma; // 范围下限
    double xMax = mean + 5*sigma; // 范围上限

    // 创建直方图
    TH1D *hist = new TH1D("hist", "Gaussian Distribution", nBins, xMin,
xMax);

    // 方法一：使用TRandom3生成随机数填充
    TRandom3 *rand = new TRandom3();
    for (int i = 0; i < N; i++) {
        double value = rand->Gaus(mean, sigma);
        hist->Fill(value);
    }

    // 方法二：使用预定义函数填充（更简洁）
    // hist->FillRandom("gaus", N); // "gaus" 是ROOT预定义的高斯函数

    // 绘制直方图
    TCanvas *c1 = new TCanvas("c1", "Gaussian Fit", 800, 600);
    hist->SetLineColor(kBlack);
    hist->SetFillColor(kCyan-9);
    hist->Draw("E");

    // 定义拟合函数:  $f(x) = A * \exp[-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)]$ 
    // ROOT的高斯函数格式为  $[0] * \exp(-0.5*((x-[1])/[2])^2)$ 
    TF1 *gaussFit = new TF1("gaussFit", "gaus", xMin, xMax);
    gaussFit->SetParameters(hist->GetMaximum(), mean, sigma);
    gaussFit->SetParNames("Amplitude", "Mean", "Sigma");

    // 执行拟合
    hist->Fit(gaussFit, "R");
}
```

```

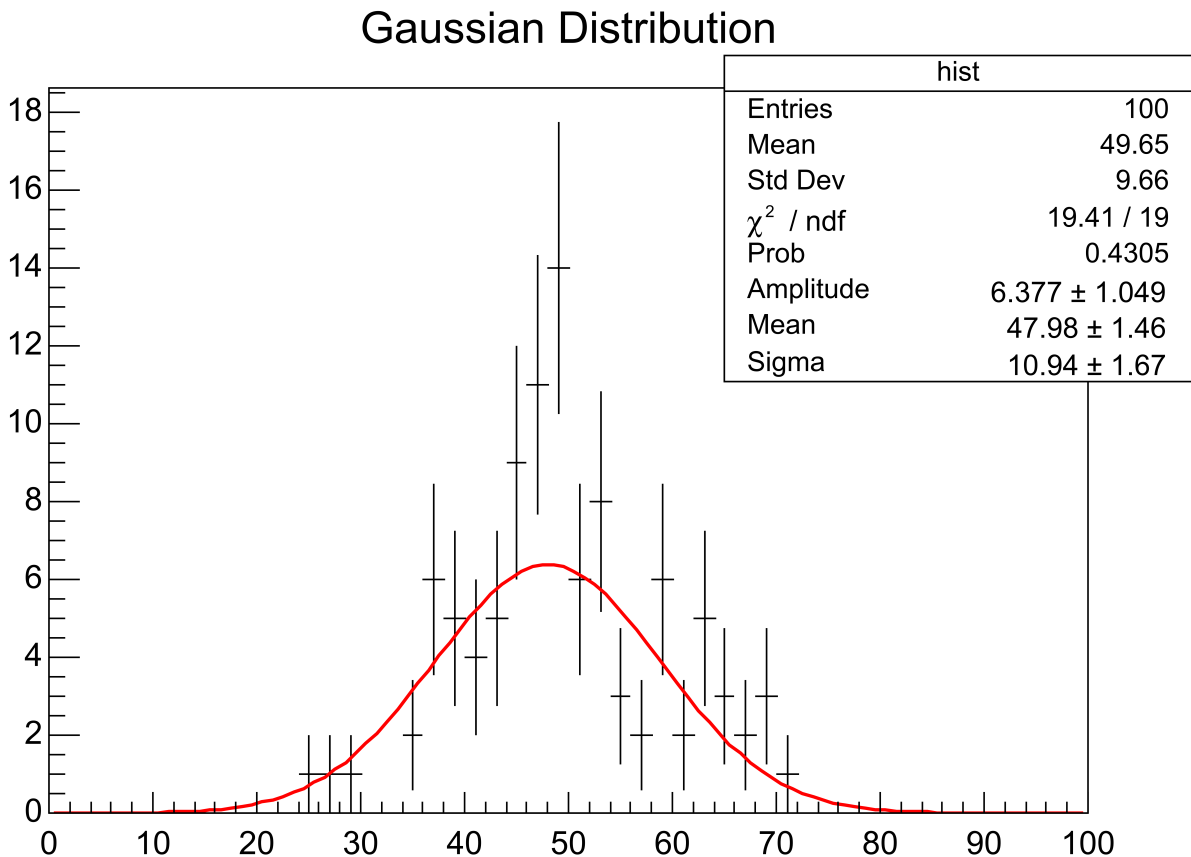
// 显示拟合结果
gStyle->SetOptFit(1111);
hist->Draw("E same");

// 输出拟合参数
cout << "拟合均值 = " << gaussFit->GetParameter(1) << " ± "
      << gaussFit->GetParError(1) << endl;
cout << "拟合标准差 = " << gaussFit->GetParameter(2) << " ± "
      << gaussFit->GetParError(2) << endl;
cout << " $\chi^2$ /ndf = " << gaussFit->GetChisquare() / gaussFit->GetNDF() <<
endl;
}

```

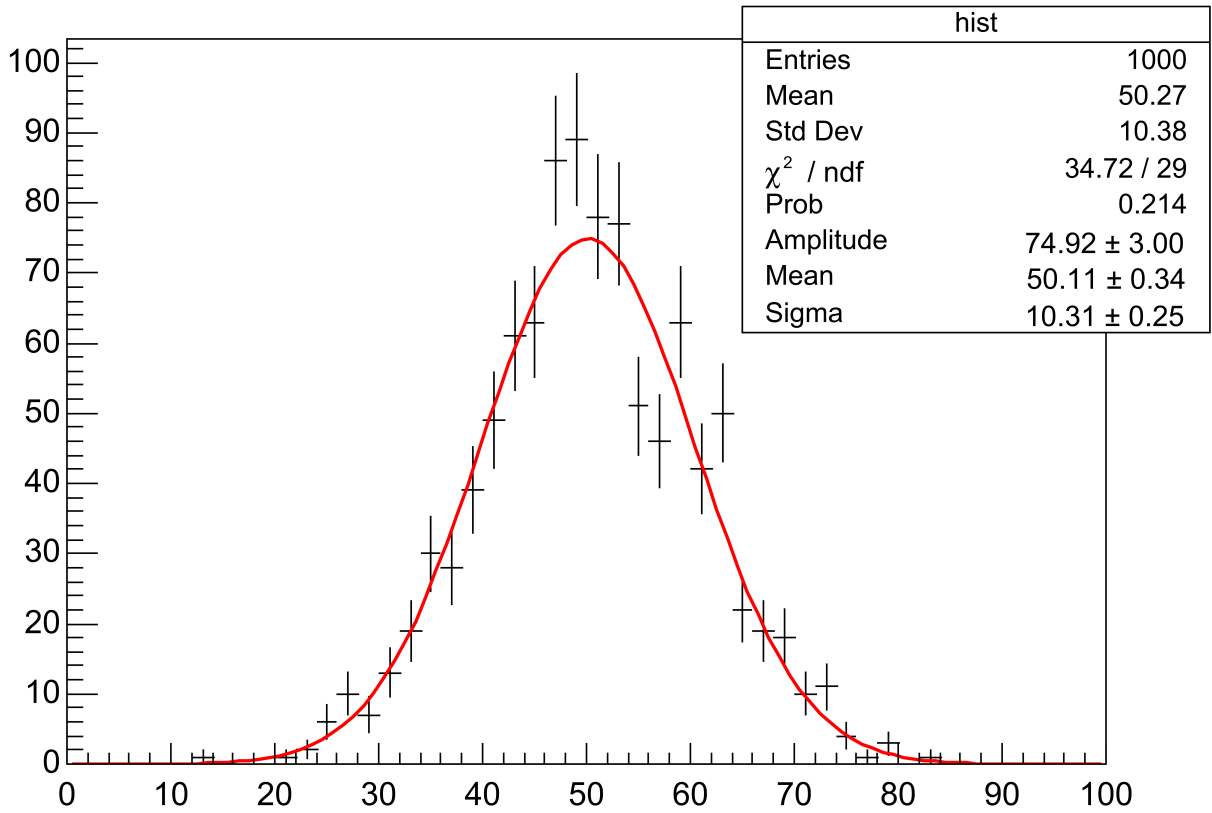
通过修改N值和bin值，可以得到以下图片

N=100,bin=50



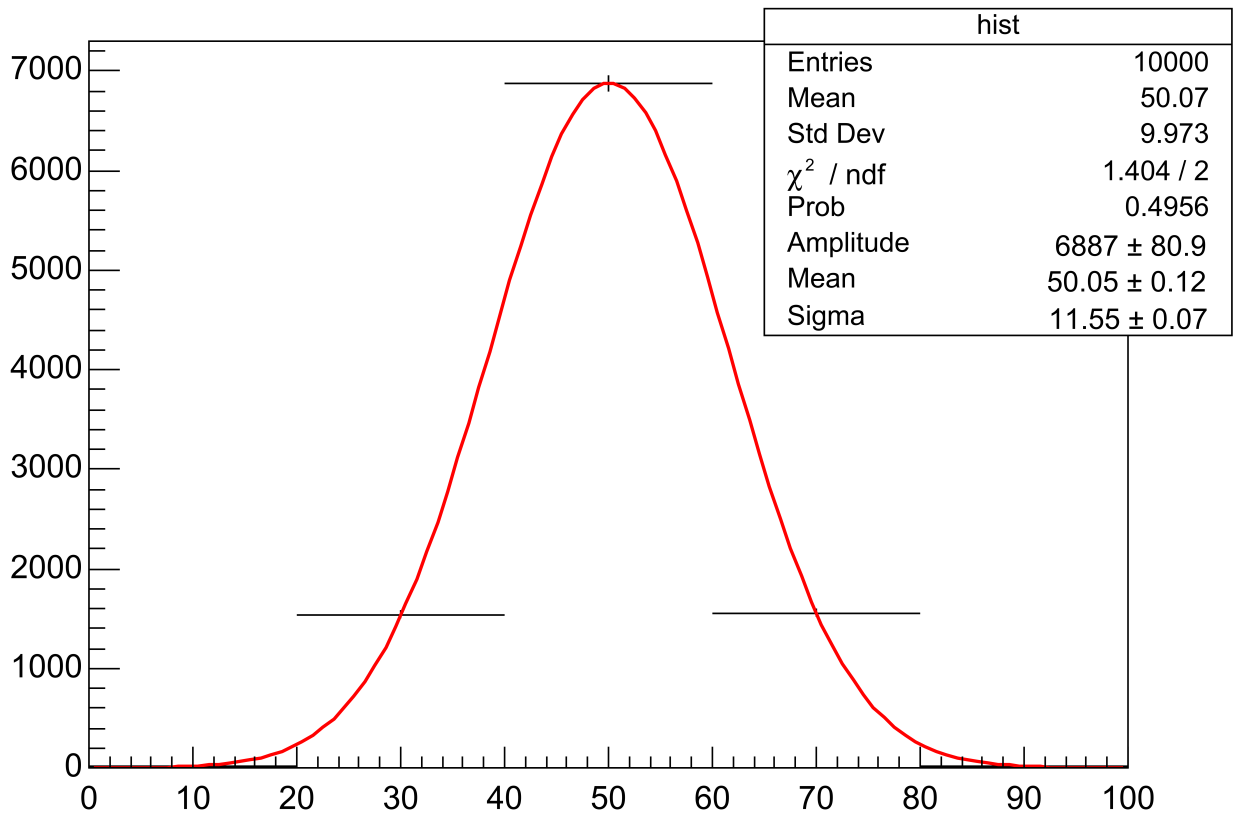
N=1000,bin=50

## Gaussian Distribution



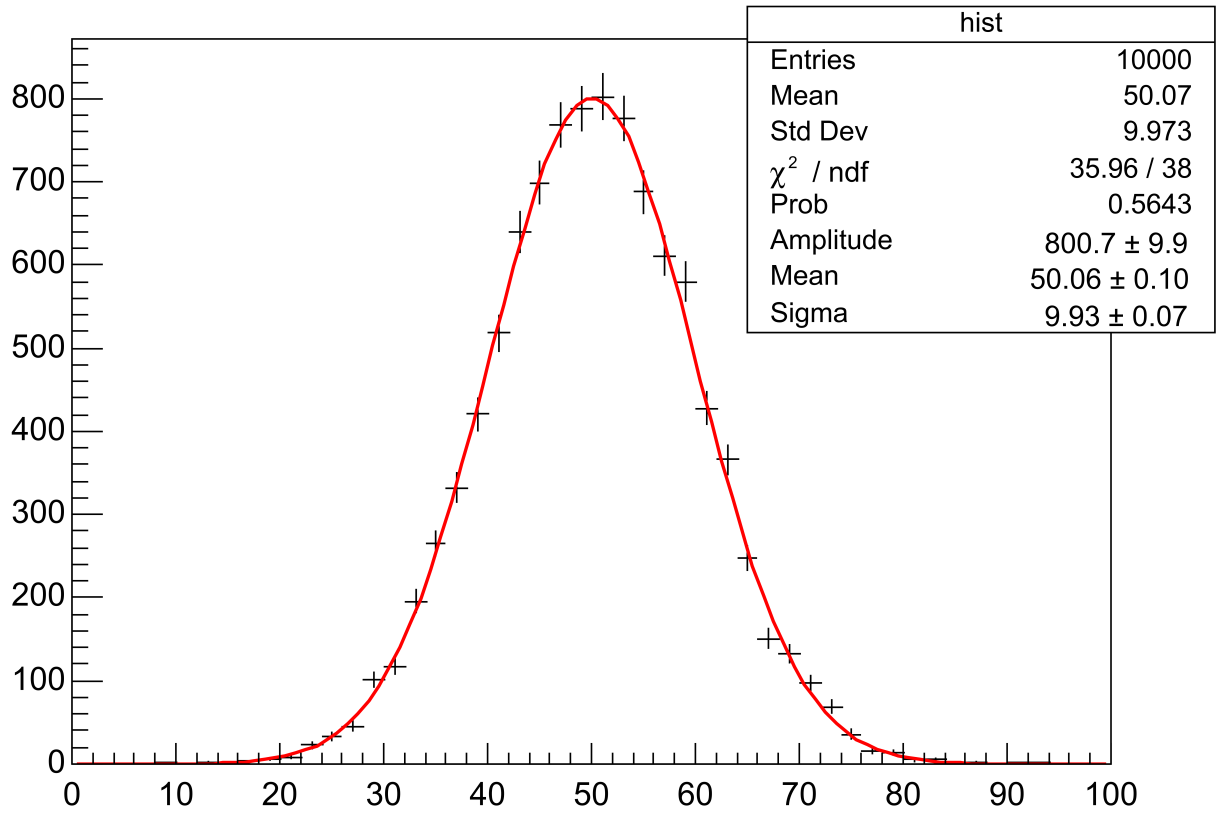
N=10000,bin=5

## Gaussian Distribution



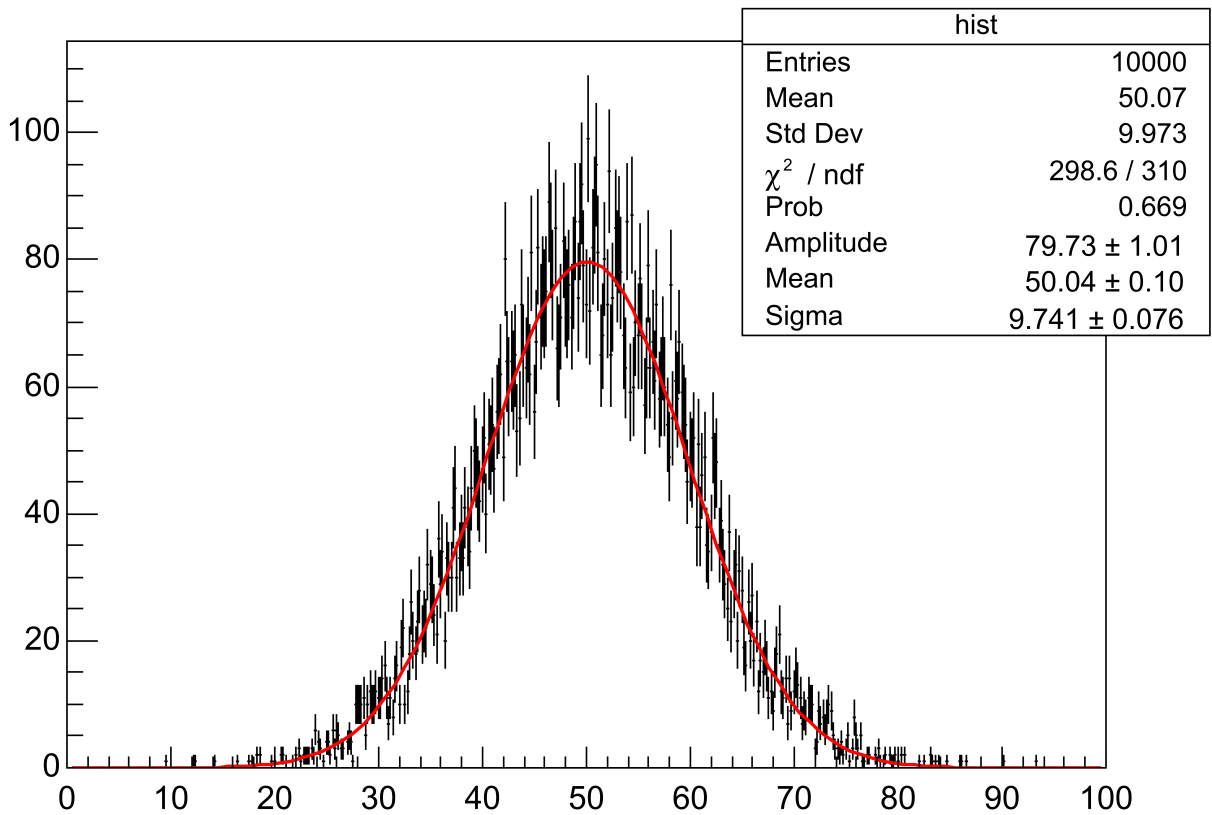
N=10000,bin=50

## Gaussian Distribution



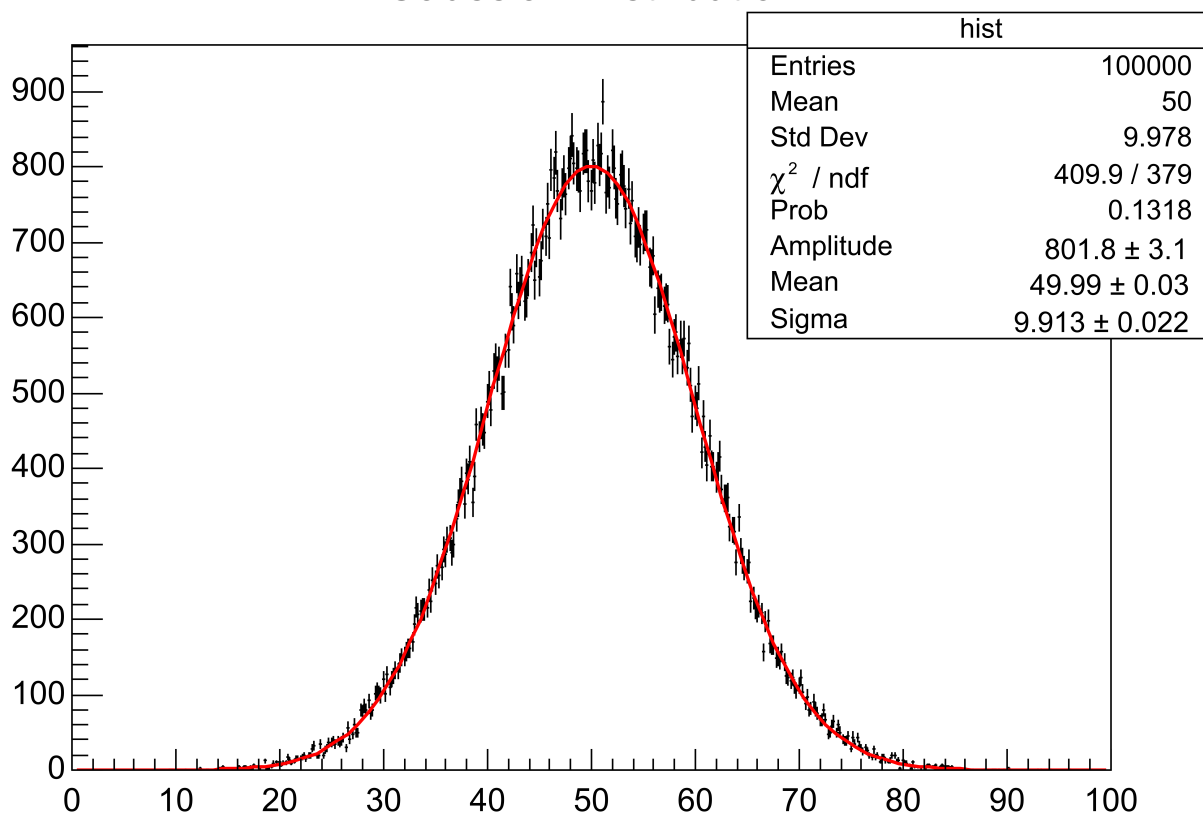
N=10000,bin=500

## Gaussian Distribution



N=100000,bin=500

## Gaussian Distribution



## 不同N对拟合结果的影响

N	统计涨落	拟合参数稳定性	$\chi^2/\text{ndf}$
100	显著	均值/标准差偏差较大，不稳定	接近1但波动大
1,000	中等	参数稳定度提高	通常在0.8~1.2之间
10,000	较小	稳定，偏差<1%	接近1
100,000+	极小	几乎无偏差	稳定在1附近

**解释：** N增大时，每个bin内的统计计数增加，随机涨落相对减小，拟合参数的统计误差减小，拟合更稳定。

## 3. 不同Bin大小对拟合结果的影响

Bin大小	效果	潜在问题
太小 (bin过密)	平滑度降低，精细结构可见	部分bin计数为0，拟合不稳定， $\chi^2$ 被高估
适中 (如按 $\sqrt{N}$ 规...)	平滑且保留分布形状	结果最可靠，统计误差合理
太大 (bin过稀)	过度平滑，丢失细节	分布形状被拉伸，拟合偏差增大

原则：通常按  $n_{bins} \approx \sqrt{N}$  的经验规则选择，确保各bin均有足够统计计数，同时保留分布的精细特征。

## 二、插值与拟合的区别、原理及评估方法

### 1. 核心区别

对比项	插值 (Interpolation)	拟合 (Fitting)
经过数据点	所求函数必须经过所有给定数据点	不要求经过所有点，只需整体误差足够小
目标	在已知数据点之间估计未知位置的函数值	寻找数据所隐含的整体变化规律
适用场景	数据精确可靠、无误差	数据带有测量误差，需消除局部波动
函数形式	常为分段多项式（如拉格朗日、牛顿插值）	根据物理规律或经验选择函数形式
方程条件	$n+1$ 个点 $\rightarrow$ $n$ 次多项式，方程数=未知数	方程数 $>$ 未知数，超定方程组

### 2. 常见插值方法及原理

- 拉格朗日插值**：构造 $n$ 次插值多项式通过 $n+1$ 个点；原理是基函数线性组合，每个基函数在对应节点处取1、其他节点取0。
- 牛顿插值**：构造均差形式的插值多项式，利用递推关系计算系数，便于增加插值节点。
- 分段线性/三次样条插值**：低次分段多项式连续拼接，样条保证节点处一阶、二阶导数连续，适用于大规模数据。

应用举例：图像处理中的图像缩放（根据已知像素值估算新位置的像素值）、GIS中的等高线绘制。

### 3. 常见拟合方法及原理

- 最小二乘法**：使残差平方和  $\sum (y_i - f(x_i))^2$  最小化，寻找最佳拟合参数。
- 极大似然法**：选择使观测数据出现概率最大的模型参数，适用于泊松分布主导的低统计情形
- 最大熵方法**：在满足已知约束下选择信息熵最大的分布。

应用举例：物理实验中量能器的响应曲线标定；气象数据中长期趋势分析（消除年际波动找出气候变化趋势）。

### 4. 拟合质量评估指标

指标	含义	理想值范围	说明
$\chi^2$ (卡方)	$\Sigma[(\text{观测值}-\text{拟合值})^2/\text{方差}]$	接近自由度ndf	值过小→过拟合；过大→拟合差
$\chi^2/\text{ndf}$	约化卡方	0.8~1.2	最常用评价指标
$R^2$ (决定系数)	$1 - \text{RSS}/\text{TSS}$	越接近1越好	衡量拟合优度，对过拟合敏感
残差分布	观测值与拟合值的差	随机分布，无系统偏差	肉眼判断拟合适当性
参数误差	拟合参数的标准差	越小越好	反映参数估计稳定性
收敛状态	MINUIT的STATUS返回值	0表示收敛成功	判断拟合计算是否成功
EDM (期望距离到最小值)	当前点距极小值的理论距离	$<10^{-3}$ 视为收敛充分	辅助收敛判断

### 三、简述目前已知的基本粒子,简述粒子的分类,各类粒子的共同属性,并举出各类粒子中至少三种实例

#### 1.粒子的分类

##### (1) .按自旋分类

目前已知的粒子按自旋分类可以分为**费米子**和**玻色子**。

自旋为整数的是玻色子，如光子、胶子、W，Z玻色子，自旋为半整数的是费米子，如电子、中微子、夸克、 $\mu$ 子和陶子（真奇怪，为什么没有别的自旋情况的粒子）。

玻色子满足玻色-爱因斯坦统计，即**多个玻色子可以占据同一个量子态**，且占据数不受限制。；费米子满足费米-狄拉克统计以及泡利不相容原理，讲的是**不可能有两个或两个以上的费米子处于完全相同的单粒子态\*\***。 \*\*

玻色子是传播**相互作用**的粒子，是“场粒子”或“媒介子”，如电磁相互作用由光子传递，强相互作用胶子传递，弱相互作用由W，Z玻色子传递。；费米子是构成我们现实世界的粒子，称为“物质粒子”。

##### (2) .按质量分类

如果按照质量分类，则见表格：

#### 总结表格（按质量降序排列）

粒子名称	符号	质量 (GeV/c <sup>2</sup> )	质量相对电子
顶夸克	t	~172.7	345,000 倍

粒子名称	符号	质量 (GeV/c <sup>2</sup> )	质量相对电子
希格斯玻色子	H <sup>0</sup>	~125.2	250,000 倍
Z 玻色子	Z <sup>0</sup>	~91.2	178,000 倍
W 玻色子	W <sup>+</sup> /W <sup>-</sup>	~80.4	157,000 倍
底夸克	b	~4.18	8,200 倍
粲夸克	c	~1.28	2,500 倍
τ 轻子	τ	~1.78	3,480 倍
奇异夸克	s	~0.095	186 倍
μ 子	μ	~0.106	207 倍
下夸克	d	~0.0047	9.2 倍
上夸克	u	~0.0022	4.3 倍
电子	e	~0.000511	1 倍
中微子	ν	< 1×10 <sup>-7</sup>	< 1/5,000,000
光子 / 胶子	γ, g	0	0

这个粒子质量分布有什么规律呢？

### (3) .按相互作用分类

**强子 — 参与强相互作用的粒子，中性或带电。强子分为重子和介子。**

重子—自旋为1/2和半整数的强子，由三个夸克组成，是费米子，服从费米-狄拉克统计规律。如：质子(uud)、中子(udd)、各类超子（含有奇异夸克的重子）等。

介子—自旋为整数的强子，由夸克和反夸克组成，是玻色子，服从玻色-爱因斯坦统计规律。如：π<sup>+</sup>(ud),K(ud)。

**轻子 — 不参与强相互作用的粒子，自旋为1/2，中性或带电。如：电子、μ子、τ子、各代中微子**

**场粒子 — 自旋为1，传递相互作用的媒介子，又称矢量规范玻色子。如：光子，胶子，W、Z中间玻色子**

## 2.粒子的共同属性

- (1) .所有粒子都具有波粒二象性
- (2) .所有粒子都有确定的质量和自旋
- (3) .所有粒子至少参与引力相互作用

## 四、径迹探测器主要通过电磁相互作用探测粒子的原因

# 1.其他相互作用的缺陷

## (1) .强相互作用

强相互作用的作用距离极短 ( $\sim 10^{-15}$  m)，仅适用于夸克层级；同时仅对强子（如质子、中子）有效，对轻子（电子、 $\mu$ 子、中微子等）完全无效。无法作为通用径迹测量手段。

## (2) .弱相互作用

弱相互作用的作用截面极小（比电磁作用小约 $10^5\sim 10^6$ 倍），概率极低，粒子几乎不被阻碍地穿行。无法产生连续可探测的径迹。

（引力更不用说）

# 2.电磁相互作用的优势

作用距离长（长程力），作用截面适中，对**所有带电粒子**普遍有效，在探测器中可连续地、高概率地产生信号。虽然对于一些不带电、不直接参与电磁相互作用的粒子（如中微子、中子、光子）无法直接测量，但是通过观察它们与物质发生的稀有**相互作用后产生的次级带电粒子**，可以间接推断其存在和轨迹。如中子探测，是通过与原子核发生核反应或弹性散射，产生可被探测的次级带电粒子（反冲质子或核反应产物）来反推中子的信息。光子通过光电效应、康普顿散射或电子对效应，将全部能量转化为一个高能电子，进而被探测到。中微子与探测器介质中的核子发生极罕见的弱相互作用，产生带电轻子或其他次级粒子。

# 3.测量信息的丰富性

通过电磁相互作用的电离能损，径迹室配合磁场可获得：

测量信息	原理
粒子飞行方向	径迹的几何位置
动量	磁场中径迹曲率半径与动量相关： $p = qBr$
粒子鉴别	测量电离能损率 $dE/dx$ ，不同粒子在同动量下的 $dE/dx$ 不同
衰变顶点	径迹起点/分支点

# 4. 技术实现优势

电磁相互作用的电离效应可通过多种方式可靠探测：气体电离法（多丝正比室、漂移室）收集电离电荷；固体径迹法通过化学蚀刻显影辐射损伤；半导体探测器利用电子-空穴对输出电信号。这些技术支撑了从核乳胶到现代硅微条探测器的发展。

**结论：**径迹探测器依赖电磁相互作用，本质上是由于**所有带电粒子都能通过电磁相互作用可靠地、高概率地产生连续可测信号**，而强作用和弱作用因作用范围和反应截面的限制无法满足这一需求。径迹探测器通过捕获这些信号来反演粒子的运动轨迹与运动学参数。