





图例为更换 N,bin 的拟合图像

不同 N (统计量) 的影响

- **参数精度**：N 越大，统计涨落越小，拟合得到的 $\mu$ 和 $\sigma$ 的误差约按 $1/\sqrt{N}$ 减小，结果更接近真实值。
- **拟合优度**： $\chi^2/\text{ndf}$ 在统计量极小时可能偏离 1，且易出现收敛困难；N 合理大小时，该值趋近于 1，拟合更可靠。

### 不同 bin 大小的影响

- **bin 过宽**：掩盖分布细节，使高斯形状变得圆滑，可能导致均值、标准差出现系统偏差，拟合后过平滑。
- **bin 过窄**：每个 bin 的事例数过少，统计涨落剧烈，直方图“多刺”，拟合可能不稳定，参数误差变大， $\chi^2/\text{ndf}$ 也可能远偏离 1。

综上：增加 N 可降低统计误差，但 bin 选择需适应数据规模——N 大时可适当增加 bin 数以展示精细结构，N 小时宜用较宽 bin 以保证每个 bin 有足够事例。

## 2、插值与拟合的区别

- **插值**：要求构造的曲线**严格通过**所有已知数据点。它假设数据是精确的，没有噪声或误差。
- **拟合**：寻找一个函数，使其在某种准则下（如最小二乘法）**最佳的逼近**数据点，**不要求**通过每一点，允许数据存在测量误差。

### 应用举例

- **插值**：已知粒子穿过探测器若干层的位置坐标，用插值重建径迹的空间轨迹；或根据离散时间采样点恢复连续波形。
- **拟合**：对测量的能谱进行高斯拟合以确定峰位和分辨率；或对放射性衰变计数率进行指数拟合求半衰期。

### 常见插值原理

- **多项式插值**（拉格朗日、牛顿）：用 n 次多项式唯一通过 n+1 个点，高阶易振荡。
- **分段线性插值**：相邻两点间用直线连接，简单稳定。
- **样条插值**（如三次样条）：分段多项式并保证节点处一阶、二阶导数连续，平滑性好。

### 常见拟合原理

- **最小二乘法**：最小化残差平方和 $\sum(y_i - f(x_i))^2$ ，常用于线性及可线性化的非线性

性模型。

- **极大似然法**：最大化似然函数，适用于计数稀少或非高斯误差的情形（如泊松分布的直方图拟合）。
- **鲁棒拟合**：降低离群点权重，减少异常值干扰。

### 评估拟合质量的优劣

- **残差分析**：残差( $y_i - f(x_i)$ )应随机分布在零附近，无系统趋势；出现“U”形或周期性说明模型不当。
- **$\chi^2$ 检验**： $\chi^2/ndf$ 接近 1 表示拟合较好；远大于 1 说明模型不能描述数据或误差估计过小；远小于 1 可能误差估计过大或过拟合。
- **决定系数 $R^2$** ：衡量模型对数据变异的解释比例，越接近 1 越好（注意非线性场合的局限）。
- **参数误差与相关性**：拟合参数的标准差应合理，参数间相关系数不应接近 $\pm 1$ 。
- **交叉验证**：将数据分成训练集和测试集，检验模型的泛化能力。

## 3、基本粒子

### 夸克、轻子、规范玻色子和希格斯玻色子分类及共同属性

#### 1. 夸克

- 共同属性：自旋为 1/2 的费米子；带分数电荷 ( $+\frac{2}{3}e$  或  $-\frac{1}{3}e$ )；参与强相互作用（有色荷）；参与弱、电磁相互作用；无法单独自由存在（禁闭）。
- 实例：上夸克 (u)、下夸克 (d)、奇异夸克 (s)。

#### 2. 轻子

- 共同属性：自旋 1/2 费米子；不带色荷，不直接参与强相互作用；带电轻子参与电磁与弱相互作用，中微子仅参与弱相互作用。
- 实例：电子 ( $e^-$ )、缪子 ( $\mu^-$ )、陶子 ( $\tau^-$ )。

#### 3. 玻色子

- 共同属性：自旋为 1 的玻色子，是相互作用的传播子；质量取决于对称性破缺情况（光子、胶子无质量，W、Z 有质量）。
- 实例：光子 ( $\gamma$ , 电磁作用)、胶子 (g, 强作用)、Z 玻色子（弱中性

流)。

#### 4. 希格斯玻色子

- 属性：自旋为 0 的标量玻色子，通过希格斯机制赋予 W/Z 和费米子质量；只有一个基本粒子。

## 4、径迹探测器

主要通过电磁相互作用获取粒子信息原因包括：

### 1. 带电粒子与物质的电磁作用截面大，能量沉积可测

带电粒子穿过介质时，与原子中的电子发生库仑散射（非弹性电磁碰撞），引起电离和激发，产生可被收集的电子-离子对或闪烁光。这一过程的能量损失足以产生清晰信号并用于重建径迹。

### 2. 可连续、精确地重建径迹

电磁能量损失是准连续的过程，粒子在单个碰撞中偏转极小，整体路径近似直线（除在磁场中弯曲），因此能在多层探测器间留下点迹，通过连接这些点实现高精度的三维径迹重建，进而测量动量（曲率）和速度。

### 3. 中性粒子也借助电磁过程转换为带电粒子

- 光子通过光电效应、康普顿散射、电子对产生转换为电子。
- 高能电子/光子簇射（电磁量能器）也由电磁级联主导。
- 因此，所有能留下“径迹”的粒子，其可探测性最终都依赖电磁相互作用。

## 不能探测的情况：

### 1. 强相互作用不适合直接径迹探测

- 强子参与强相互作用，与核子碰撞截面虽大，但往往发生核反应，产生多条次级径迹，导致初级粒子径迹中断，无法连续追踪。
- 强相互作用只对强子有效，对轻子、光子等无用。
- 中性强子（如中子）本身不电离，需先通过强作用产生带电次级粒子，转换效率低、位置分辨率差。

### 2. 弱相互作用截面极小，无法直接用于径迹探测

弱作用截面 ( $\sim 10^{-43} \text{ m}^2$ ) 比电磁作用小十余个数量级，粒子在探测器中几乎

不发生弱作用，不能作为实时径迹测量的手段。中微子探测依靠极少量的反应产物，且需要极庞大的探测器质量。

综上，电磁相互作用具有截面适中、能量损失可预测、偏转小且对几乎所有带电粒子普适的特点，是径迹探测器最主要的信息来源。

## 另附 labex 的学习记录

