

# FDC-PWA

王 石

广西师范大学

Email: wangshi@ihep.ac.cn

## 目录

1.	简介 .....	1
2.	准备工作 .....	1
2.1.	data 与 MC 对应粒子的四动量文件 .....	1
2.2.	环境设置 .....	2
2.3.	建立 FDC 目录 .....	2
3.	生成用于拟合的文件夹过程 .....	3
3.1.	建立物理模型 .....	3
3.2.	物理过程 .....	6
3.3.	拟合准备 .....	12
4.	拟合 .....	20
4.1.	进行拟合 .....	20
4.2.	检查结果 .....	20
4.3.	查看结果 .....	21
4.4.	文件夹中其他对拟合过程产生影响的文件 .....	22
5.	自动化工具 .....	23
5.1.	mini(Powered by Shi Wang, et al.) .....	23
6.	质量宽度扫描 .....	25
7.	拟合的简单过程 .....	26
7.1.	准备 .....	26
7.2.	拟合 .....	27
7.3.	检查结果 .....	27
8.	产生 Toy MC 样本 .....	27
8.1.	FDC 产生 Truth .....	27
8.2.	修改四动量文件 .....	28
8.3.	修改模拟的 decay 卡和 jobOption .....	29

## 1. 简介

PWA 的全称, Partial Wave Analysis, 分波分析

FDC 的全称, Feynman Diagram Calculation, 费曼图计算。

FDC 系统根据给出的费曼规则、物理常数等建立物理模型, 对所研究的每个可能的物理过程产生对应的费曼图。在对费曼图计算的基础上, 产生各个振幅的表达式, 并计算出所有过程的总振幅的平方, 构造似然函数, 生成相应拟合程序。

自动化计算避免人工计算的繁琐复杂的工作程序, 避免人工输入的不必要的失误, 节省大量的工作时间。

经过与其他分波分析方法的对比检验证明可靠。

## 2. 准备工作

### 2.1. data 与 MC 对应粒子的四动量文件

以 $\psi(2S) \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda} \eta$ 为例: 末态有三个粒子 $\Lambda$ 、 $\bar{\Lambda}$ 、 $\eta$

data 对应的四动量文件为 pdata1.dat, 内容为从 root 文件中导出粒子的四动量, 每 3 行对应一组 $\Lambda$ 、 $\bar{\Lambda}$ 、 $\eta$ 的四动量, 列对应的为 $p_x$ 、 $p_y$ 、 $p_z$ 、 $E$ 。

**注:** 每列之间的间隔**至少 3 个空格**, 否则读取文件时可能会出错。

1	-0.41884765	0.06310794	0.02878130	1.19372784
2	0.84048586	0.53333421	-0.32930706	1.53102802
3	-0.42163820	-0.59644214	0.30052576	0.96124425

MC 对应的四动量文件为 pdata1.mc, 内容与 data 一致。MC 样本越多, 结果越可靠, 并且应该保证 MC 样本同时满足: a) 事例数是数据的 10 倍以上; b) 事例数大于 100 万。若 MC 样本过多导致拟合失败, 则可以酌情减少。MC 事例数越多拟合时间越长, 请自行平衡拟合时间与结果可信度。

**注:** 理论上做 FDC 的 data 数据中应没有峰状本底, 且平台状本底越少越好。

当存在平台状本底时，需在 FDC 中加入本底，本教程按照存在平台状本底进行示范，若无本底，则设置本底数量为 0 即可。

本底对应的四动量文件为 pbg1.dat 和 pbg2.dat，若只有一种本底，则其中一个文件可以为空文件，并在设置中将对应本底的个数设为 0。

**注：**做分波时用到的四动量应为质心系下，但一般情况下通过 4C 运动学拟合的四动量为实验室系下，故应 boost 到质心系下再使用。但 FDC 程序通过导入四动量计算 boost 矢量，并进行 boost 之后再行拟合。所以无论是否事先 boost 四动量均可，即使已经进行过转换，FDC 也会计算 boost 矢量，只是此时算出来的 boost 矢量为“零”。

## 2.2. 环境设置

FDC 需要使用 csh 或 tcsh，之后 source 季老师设置好的文件：

```
/besfs5/users/jixb/fdc.setting
```

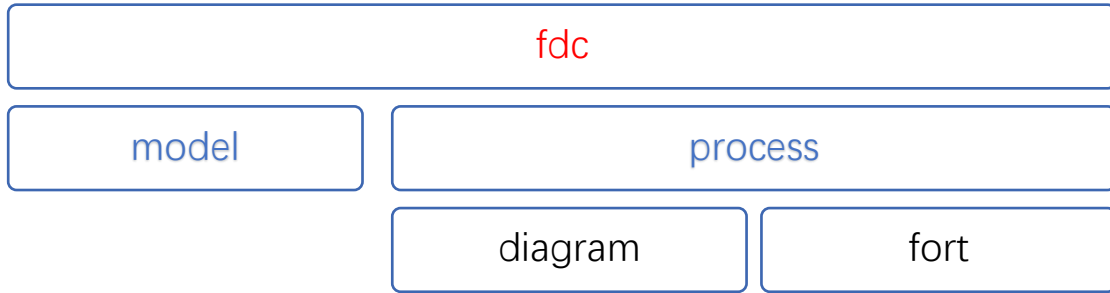
此时则进入 FDC 的环境中。输入如下：

```
[wangshi@lxslc715 ~]$ source fdc.csh
FDC 3.2
Any problem, please let me know: jixb@ihep.ac.cn
FDC environment is set correctly.
FDC root directory is : /besfs5/users/jixb/fdc-pwa3.2
[wangshi@lxslc715 ~]$
```

**注：**不确定在已 source 过任意 BOSS 环境的情况下再进入 FDC 的环境是否会出错，故建议在无 BOSS 环境下进入 FDC 环境

## 2.3. 建立 FDC 目录

以我个人的使用习惯，将 FDC 的目录设置为以下结构（仅展示重要部分），其中红色的是自行建立的，蓝色是复制的时候产生的，黑色的是过程自动产生的



model 对应“建立物理模型”过程，process 对应“进行物理计算”过程，diagram 存放费曼图，fort 为最终建立的用来进行拟合的文件夹（可以理解为前面的工作就是为了生成 fort 文件夹）。

**注：**fort 目录可以改名、复制到其他路径下运行（不依赖于 FDC 环境）。

个人建议：将产生的 fort 目录不要进行任何操作，而是对 fort 的拷贝进行操作，以便误操作后有原始文件，不用再从头开始再来一遍。

### 3. 生成用于拟合的文件夹过程

#### 3.1. 建立物理模型

完整过程的命令：

```
model_cp /scratchfs/bes/wangshi/share/fdc/model model
cd model
vim model.def
vim add_vertices
rm model_state
gmodel
lamodel
```

##### 3.1.1. 复制model文件夹

命令用法：model\_cp <source directory> <target directory>

例：model\_cp /scratchfs/bes/wangshi/share/fdc/model/ ./model/

输出如图：

```
You must edit the file model/model_input to you chose
You must edit the file model/symbole_list to you chose
You must edit the file model/physical_parameters to you chose
You must edit the file model/model.def to you chose
```

解释：将目标位置的 model 文件夹复制到指定位置指定名称的文件夹

**注：**以下操作均在 model 文件夹内操作

### 3.1.2. 修改 model.def

```
1 % Please revise the following items when a new model is created.
2
3 model_home:='/scratchfs/bes/wangshi/psip/fdc/eta/1/result/model/';
4 model_name:='psip eta';
5 model_author:='Shi WANG';
6 model_time:='2021.08.23';
7
8 % The following three files must be prepared by USER and are placed
9 % in directory "model_home".
10
11 model_input='model_input$ % description of the physical model.
12 symbole_list='symbole_list$ % something needed for drawing diagram.
13 physical_parameters='physical_parameters$ % physical parameters input.
14 ;end;
```

以我的 model.def 为例，其中：

**model\_home** 后面双引号内的为本 model 文件夹所在的绝对路径，**最后的/不要丢了**。

**注：**FDC 中的各个路径不要过长，由于 Fortran 语言的规范，对一行中的字符数有限制，路径过长会导致后面的编译出错。

name, author, time 随意编写，越简单越好，可以不改。

### 3.1.3. 修改 add\_vertices

```
1 pa_list_add:={
2 %name      spin  parity  c  isospin  G  Strange  Baryon  Charge      Mass      Width
3 {"\psi",    1,    -1,    -1,    0,    -1,    0,    0,    0,    3.68609,  0.000317},
4 {"\Lambda", 1/2,    +1,    X,    0,    X,    -1,    1,    0,    1.115683,  0},
5 {"\eta",    0,    -1,    +1,    0,    +1,    0,    0,    0,    0.547862,  0},
6 {"\Lambda[1670]", 1/2, -1,    X,    0,    X,    -1,    1,    0,    1.673,    0.037},
7 {"PHSP",    1/2, -1,    X,    0,    X,    -1,    1,    0,    2.0,    500.0}
8 };
9 phase_method='phase_resonance;
10 phase_method='real_coefficient;
11 sub_model='ok;
12 direct_model='ok;
13 %final_particle_list={"p","K","Sigma"}
14 vertices_add_comment:='In this model, We have added some effective
15 vertices, to do some calculation related to some resonance states";
16 end;
```

**注：** $e^+$ ,  $e^-$ ,  $\mu^+$ ,  $\mu^-$  和光子等基础粒子无需添加

第一个为母粒子'\psi'。

接下来的为末态粒子\Lambda 和\eta，不需要输入反粒子，后面引用的时候直接引用对应粒子的“反”就行了。（末态粒子为什么这样选在后面“[链接](#)”）

在接下来为中间共振态，若原来的过程为三体衰变，则这里需要设置一个PHSP来模拟相空间直接过来的过程，质量设置在中间位置（对我的过程来说设置在 $\Lambda\eta$ 质量谱的中间附近），宽度设置为500GeV或1000GeV都行。

注释：spin = 自旋，parity = P 宇称，c = C 宇称，isospin = 同位旋，G = G 宇称，Strange = 奇异数，Baryon = 重子数，Charge = 电荷数，mass = 质量，width = 宽度。质量和宽度的单位都是 GeV，从 PDG 上都可以查得到。

**注：**如有破坏过程，如 CP 破坏或同位旋破坏，则需要手动修改粒子的对应属性，或通过设置项设置过程为 CP 破坏或同位旋破坏（但是我不会，可自行翻阅 FDC 官方手册：fdc\_Doc.pdf）。

**注：**这里设置的质量和宽度在后面的过程中可以修改，后续需要修改时无需从头开始构建。

### 3.1.4. 删除 model\_state 文件

解释：该文件为存储 gmodel\*命令的返回值。

### 3.1.5. gmodell

解释：新的命令包含了 gmodell1, gmodell2, gmodell3 和 glmodel。根据其输出可以判断是否有问题。输出如下：

```
*-----*
* Start to build the model
* ..... Succeeded in first step
* ..... Succeeded in second step
* ..... Succeeded in third step
* The model was built successfully if three succeeded appears
* It means something WRONG if you found ***** in the above
*-----*
* Start to generate the latex file of the model
* .....The latex file model.tex was generated
* Please latex it
*-----*
```

解释：gmodel：根据物理模型，产生物质场相互作用；gmodel2：产生模型

的拉格朗日函数并量子化；gmodel3：费曼规则的简化处理；glmodel：产生模型的 LaTeX 文件。

### 3.1.6. lamodel

解释：产生模型的 ps 文件等。

**注：**lamodel 命令会有一大段输出，ps 文件为 model.ps，用 gv 命令查看，其中有一页中的内容在后续步骤中有用：

## 2 Phenomenology Lagrangian Added

In this model, We have added some effective vertices, to do some calculation related to some resonance states

The names for all the added particles phenomenology are listed in the following table

<i>name</i>	<i>name in FDC</i>	<i>mass</i>	<i>phaseangle</i>	<i>charge</i>	<i>spin</i>	<i>cp</i>
$\psi^0$	pr1	p1m	0	0	1	no
$\Lambda$	pr2	p2m	0	0	1/2	no
$\eta^0$	pr3	p3m	0	0	0	no
$\Lambda[1670]$	pr4	p4m	0	0	1/2	no
$\Lambda[1690]$	pr5	p5m	0	0	3/2	no
PHSP	pr6	p6m	0	0	1/2	no

图中框内的意思是你在前面 add\_vertices 文件中加入的粒子在 FDC 中的名字，在后面的步骤中有用到。

**注：**前面几页有基础粒子的 *name in FDC*。

## 3.2. 物理过程

完整过程的命令：

```
process_cp /scratchfs/bes/wangshi/share/fdc/process process
cd process
vim process.def
diag
gv diagram/diag.ps
amp
kine
```

### 3.2.1. 复制 process 文件夹



命令用法: `process_cp <source directory> <target directory>`

例: `process_cp /scratchfs/bes/wangshi/share/fdc/process/ ./process/`

解释: 将目标位置的 process 文件夹复制到指定位置指定名称的文件夹。

**注:** 以下操作均在 process 文件夹内操作。

### 3.2.2. 修改 process.def

#### 3.2.2.1. 修改 model 文件夹位置

```
3 model_home="/scratchfs/bes/wangshi/share/fdc/model/";  
4 process_name="psip eta";  
5 process_author="Shi WANG";  
6 process_time="2021.08.23";
```

这里修改成与要引用 model 的 model.def 一致即可。

#### 3.2.2.2. 修改初、末态粒子

```
8 namel:=(ef efb pr2 pr2b pr3)$  
9 inpl:=(1 1 -1 -1 -1)$
```

namel 里填的就是最初的粒子与最后的粒子, 反粒子用原粒子的名字后面加个 b; inpl 里的 1 代表这个是初态粒子, -1 代表这个是末态粒子。

**以我自己过程为例:**

我的衰变道为  $\psi(2S) \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda} \eta$ ,  $\Lambda \rightarrow p \pi$ ,  $\eta \rightarrow \gamma \gamma$ , 但是要看的過程是

$$\psi(2S) \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda} \eta$$

中有无中间共振态, 所以末态粒子不是  $p$ 、 $\pi$ 、 $\gamma$ , 而是  $\Lambda$ 、 $\bar{\Lambda}$ 、 $\eta$ 。

而真正的过程并不是从  $\psi(2S)$  开始的, 而是从正负电子对撞来的, 所以对我的分波过程来说的过程为

$$e^+ e^- \rightarrow \psi(2S) \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda} \eta$$

所以初态粒子为  $e^+$ 、 $e^-$ , 末态粒子为  $\Lambda$ 、 $\bar{\Lambda}$ 、 $\eta$ 。

和我的 model.ps 文件对应着看:

name of particle	name of particle in FDC	name of anti - particle in FDC
$\nu_e$	nue	nueb
$\nu_\mu$	numu	numub
$\nu_\tau$	nut	nutb
$e^-$	ef	efb

name	name in FDC	mass	phaseangle	charge	spin	cp
$\psi^0$	pr1	p1m	0	0	1	no
$\Lambda$	pr2	p2m	0	0	1/2	no
$\eta^0$	pr3	p3m	0	0	0	no

```
8 namel:='(ef efb pr2 pr2b pr3)$'
9 inpl:='(1 1 -1 -1 -1)$'
```

$$e^+e^- \rightarrow \psi(2S) \rightarrow \Lambda\bar{\Lambda}\eta$$

### 3.2.2.3. 拟合参数修改

```
14 input_list:='(
15   (ec      3.097)  %center mass energy
16   (acc1    0.01)  %acurcy of grid optimization in bases
17   (acc2    0.01)  %acurcy of integration in bases
18   (itmx1   10)    %number of iteration for grid optimization
19   (itmx2   10)    %number of iteration for integration
20   (ncall   10000) %number of sample point in each iteration.
21   (mxdim   50)    %number of maxium integration dimension.
22   (akapa   1.0)
23   (mc_num  100000)
24   (da_num  846)
25   (iter    1000)
26 );
```

解释: ec为质心能量(质量),  $\psi(2S)$ 的为 3.686, 倒数第三和第二个, mc\_num 为用来做分波的 MC 的事例数, da\_num 为用来做分波的 data 的事例数, 其他的参数可以看后面的注释, 非必要不改。

### 3.2.2.4. 修改让程序画的图

```
30 histograms:={
31   {1,sqrts(p3,p5),32,1.60,1.92,"M(eL)"},
32   {2,sqrts(p4,p5),35,1.66,2.01,"M(eSb)"},
33   {3,sqrts(p3,p4),31,2.29,2.60,"M(LSb)"},
34   {5,wcoss_lorentz(p3,p5,p3+p4),50,"Cos 1"},
35   {6,wcoss_lorentz(p3,p4,p3+p5),50,"Cos 2"},
36   {7,wcoss_lorentz(p4,p3,p4+p5),50,"Cos 3"}
37   };
```

解释: 此处搬运 FDC 使用手册中的部分解释, 完整内容可参考 fdc\_Doc.pdf

中 20 页开始往后的内容

To plot distributions and to do physical cut, the user should understand a little bitter

about the momentum setting. The momentum setting is as following:

```
name1      := '(ef efb wb h0 w);  
momentum:=  p1 p2  p3 p4 p5
```

解释: p1~p5 对应初末态粒子设置中的所有粒子。

Where all the momentum are in the laboratory frame. In the case of two initial particles, z-axial is the beam direction. In the case of one initial particle z-axial is of no special meaning.

解释: 所有的动量都在实验室系下。在两个初始粒子的情况下, Z 轴是束流方向。在一个初始粒子的情况下, Z 轴没有特殊意义。

The components of n-th momentum are:

```
p(1,n),  the energy component  
p(2,n),  x-axial component  
p(3,n),  y-axial component  
p(4,n),  z-axial component
```

解释: 四动量的表示。

There are four quantity defined in FDC as following:

解释: 在 FDC 中有四种图:

$\cos \theta$ :

examples:

```
wcos(p3,p4) means cos of the angle between p3 and p4  
wcos(p3,z)  means cos of the angle between p3 and z-axial  
wcos(p4,x)  means cos of the angle between p4 and x-axial  
.....  
wcos_lorentz(p4,p3,p3+p5) means then cos of angle between p4,p3  
in the center-mass frame of p3+p5.
```

解释: wcos是直接画图, 如粒子和粒子之间, 或者粒子与坐标轴之间;

wcos\_lorentz 是 boost 到 p3+p5 质心系下画出 p4 和 p3 之间余弦值。

s: is the invariant mass, which is defined as:

$$sqrts(pn) = \sqrt{p(1,n)^2 + p(2,n)^2 + p(3,n)^2 + p(4,n)^2}$$

examples:

sqrts(p3,p4) means the invariant mass of p3 and p4  
sqrts(p3,p4,p5) means the invariant mass of p3,p4 and p5  
.....

解释：不变质量谱。

pt: is the transverse momentum, which is defined as:

$$pt(pn) = \sqrt{p(2,n)^2 + p(3,n)^2}$$

examples:

pt(p3) means the transverse momentum of p3  
pt(p3,p4) means the transverse momentum of p3 and p4  
.....

解释：横向动量，即 $pt = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}$ 。

vpt: is the pseudo-velocity, which is defined as:

$$vpt(pn) = \frac{1}{2} \log \frac{p(1,n)+p(4,n)}{p(1,n)-p(4,n)}$$

examples:

vpt(p3) means the pseudo velocity of p3  
vpt(p3,p4) means the pseudo velocity of p3 and p4  
.....

解释：不懂，没用过。

There are two kind of ways to describe the distributions. One is to plot distributions visa the four well defined quantity described above. In this case, the boundary can be found out by the FDC, therefore it will use the default boundary if the user does not give the boundary. The format of each line is:

{n,a,mg,name}  
{n,a,mg,b0,b1,name}

where the "n" means the n-th distribution, "a" is the  $\cos \theta$  or s, or pt or vpt variable visa which the distribution is plotted, "mg" means to divide the variable range into "mg" grids, and "name" is just the name given by the user to refer to the distribution. b0 and b1 are the upper and lower boundary, respectively.

解释：画图定义的方式有两种，画图的上下限若不给出则 FDC 会自行确定。

其中各个字母的含义：n 代表这是第几个图，这个应该按照顺序依次增加；a 代表你要画哪种图，就是上面列出的四种以及直接画出动量分布；mg 代表分的 bin 数；b0 和 b1 代表下限和上限；name 代表你画好图的标题是什么，暂不确定是否支持 LaTeX 语法。下面放上文档内的例子：

```
histograms :=
{
{1,wcos(p4,z),50,"cos_theta"},
{2,sqrts(p3,p4),50,"invariant_mass"},
{3,pt(p4),50,"transverse_momentum"},
{4,vpt(p4),50,-1.5,1.5"psudo velocity"},
{5,sqrt(p(2,4)**2+p(3,4)**2),50,5.0,15.0,"T_momentum"},
{6,p(4,4),50,5.0,15.0,"logitud_momentum"},
{7,wcos_lorentz(p4,p3,p3+p5),50,"cos(theta) between p4 and p3"},
...
{n,cos(p4,z),50,-1,1,"cos_theta"}
}$
```

**注：**第四个的 b1 和 name 之间少了逗号，末尾的符号不确定是\$还是;，现在正在使用的版本是分号。

To obtain the two-dimension distributions, the following part must be added to the input file "process.def".

```
scatters :=
{
{1,sqrts(p3,p4),sqrts(p4,p5),120,120,"Daliz of s34 and s45"},
{2,sqrts(p3,p4),sqrts(p3,p5),120,120,1.0,3,0,1,0,3.0,"Daliz of s34 and s35"},
{6,p(4,4),sqrts(p3,p4),100,100,"Daliz of of p4_z and s34"},
...
}$
```

Where the format of each line is:

```
{n,x,y,mx,my,name}
{n,x,y,mx,my,x1,x2,y1,y2,name}
```

解释：可以画二维散点图，但是需要另开一个类，与之前的histogram类似。

### 3.2.3. diag

解释：产生费曼图

**注：**此时应查看产生的费曼图，位置：diagram/diag.ps，若无费曼图产生，则应检查之前的步骤，反向检查，重点为两个.def 文件中 model\_home 的路径是否正确，以及 model 中同位旋破坏等是否考虑到了。

**注：**应使用 tail out1 命令查看运行结果，后面两步同理，不再赘述

### 3.2.4. amp

解释：产生振幅

检查运行结果 out2

### 3.2.5. kine

解释：动力学过程

检查运行结果 out3

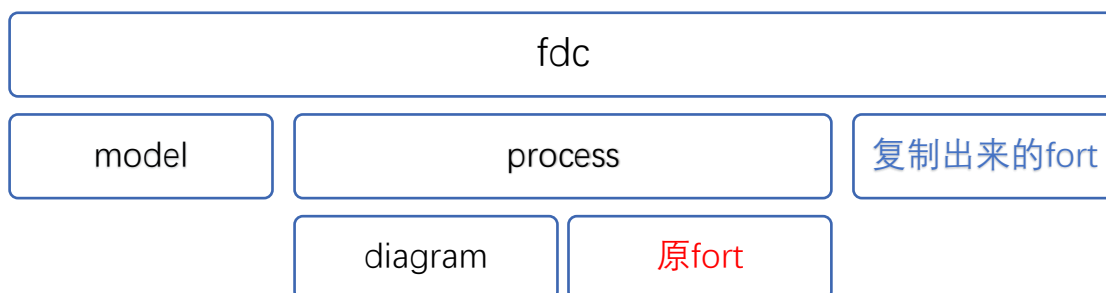
## 3.3. 拟合准备

**注：**添加本底的过程并没有完整的指导性文件，所以**不能确保教程的正确**。

**注：**以下内容**为添加本底**，简单过程会放在最后“[链接](#)”

### 3.3.1. 将 fort 文件夹复制出来

复制后的目录结构：



**注：**以下操作均在复制出来的 fort 文件夹内

### 3.3.2. 修改 par.inp

在最后添加 4 行内容



```

245      COMMON / PPP / P(4,9),guv(4),Jacobian
246 c      common/coef/fun1(8,8,3),fun2(8,8,3)
247      common/coef/fun1(nf,nf,2),fun2(nf,nf,2)
248      call kfnamp()

```

注：被注释的部分中，括号内的数字每个人的都不一样，请以自己的为准

#### 3.3.3.4. 替换

注释：  $a = a + \text{fun1}(i,j,nt) * \text{realpart}(b) - \text{fun2}(i,j,nt) * \text{imagpart}(b)$

添加：  $a = a + \text{fun1}(i,j,1) * \text{realpart}(b) - \text{fun2}(i,j,1) * \text{imagpart}(b)$

```

308      b=f(i)*dconjg(f(j))
309 c      a=a+fun1(i,j,nt)*realpart(b)-fun2(i,j,nt)*imagpart(b)
310      a=a+fun1(i,j,1)*realpart(b)-fun2(i,j,1)*imagpart(b)
311      endif

```

#### 3.3.3.5. 第 17 行

注释：  $\text{if}(k.\text{eq}.0) \text{ then}$

添加：  $\text{if}(k.\text{eq}.0 .\text{or.} k.\text{eq}.20 .\text{or.} k.\text{eq}.30) \text{ then}$

```

16 c      common/ndata/nevents,ncm,nkfdc,nbckg1,nbckg2
17 c      if(k.eq.0) then
18      if(k.eq.0 .or. k.eq.20 .or. k.eq.30) then
19      funcp=1.d0

```

#### 3.3.3.6. 替换

注释：  $\text{funcp} = (1.d0 * \text{nevents}) / \text{ncm}$

添加：  $\text{funcp} = (1.d0 * (\text{nevents} - \text{nbckg1} - \text{nbckg2})) / \text{ncm}$

```

20      else
21 c      funcp=(1.d0*nevents)/ncm
22      funcp=(1.d0*(nevents-nbckg1-nbckg2))/ncm
23      endif

```

#### 3.3.3.7. 添加

定位：  $\text{parameter}(\text{nwpawc}=100000)$

下一行添加：  $\text{include 'par.inp'}$

```

external funcp
parameter (nwpawc=100000)
include 'par.inp'
common / pawc / h(nwpawc)

```

#### 3.3.3.8. 替换



定位: the lines ',i3,',...,'i3,' is data plot')

之后注释: else

添加: else if(m.eq.2) then

```
30 format(2x,' the lines ',i3,', ... ',i3,' is data plot')
c else
  else if(m.eq.2) then
    open(11,file='pdata1.mc',status='unknown')
```

### 3.3.3.9. 替换

注释: FUNCTION cross\_sec(n,k,m,nt)

添加: FUNCTION cross\_sec(n,k,m)

```
c FUNCTION cross_sec(n,k,m,nt)
FUNCTION cross_sec(n,k,m)
IMPLICIT real*8(A-H,O-Z)
```

### 3.3.3.10. 添加

定位: 40 format(2x,' the lines '

添加:

```
c*****Edited by Ai X.C*****
c
c      else
c
c      open(13,file='pbg1.dat',status='unknown')
c
c      do 103 nevnt = 1,nbckg1
c
c          do j=nip,nep
c
c              read(13,*) (p(i,j),i=2,4),p(1,j)
c
c          enddo
c
c          a=a+funcp(k)
c
c 103      continue
c
c      close(13)
c
c      write(20,50) k+1,k+10
c
c 50      format(2x,' the lines ',i3,',... ',i3,' is bkg plot')
c*****
```

```

else if(m.eq.3) then
    open(13,file='pbg1.dat',status='unknown')
    do 103 nevnt = 1, nbckg1
        do j=nip,nep
            read(13,*) (p(i,j),i=2,4),p(1,j)
        enddo
        a=a+funcp(k)
103    continue
        close(13)
        write(20,50) k+1,k+10
50    format(2x,' the lines ',i3,',... ',i3,' is background 1 plot')
else
    open(14,file='pbg2.dat',status='unknown')
    do 104 nevnt = 1, nbckg2
        do j=nip,nep
            read(14,*) (p(i,j),i=2,4),p(1,j)
        enddo
        a=a+funcp(k)
104    continue
        close(14)
        write(20,60) k+1,k+10
60    format(2x,' the lines ',i3,',... ',i3,' is background 2 plot')

```

```

40 format(2x,' the lines ',i3,', ... ',i3,' is phase space plot')
*****Edited by Ai X.C*****
c      else
c      open(13,file='pbg1.dat',status='unknown')
c      do 103 nevnt = 1,nbckg1
c      do j=nip,nep
c      read(13,*) (p(i,j),i=2,4),p(1,j)
c      enddo
c      a=a+funcp(k)
c 103  continue
c      close(13)
c      write(20,50) k+1,k+10
c 50  format(2x,' the lines ',i3,', ... ',i3,' is bkg plot')
*****
      else if(m.eq.3) then
      open(13,file='pbg1.dat',status='unknown')
      do 103 nevnt = 1, nbckg1
      do j=nip,nep
      read(13,*) (p(i,j),i=2,4),p(1,j)
      enddo
      a=a+funcp(k)
103  continue
      close(13)
      write(20,50) k+1,k+10
50  format(2x,' the lines ',i3,', ... ',i3,' is background 1 plot')
      else
      open(14,file='pbg2.dat',status='unknown')
      do 104 nevnt = 1, nbckg2
      do j=nip,nep
      read(14,*) (p(i,j),i=2,4),p(1,j)
      enddo
      a=a+funcp(k)
104  continue
      close(14)
      write(20,60) k+1,k+10
60  format(2x,' the lines ',i3,', ... ',i3,' is background 2 plot')

```

### 3.3.4. 复制 4 个文件到当前目录

路径: /scratchfs/bes/wangshi/share/fdc/tools/bkg

文件: read.f fum\_spec.f spepfit.f cpepfit.f

### 3.3.5. 编译

命令: make

**注:** 如编译失败, 应注意错误信息。如果是 int.f 或 kint.f 报错, 应注意是否是 model 文件夹路径过长导致。其他报错有较大概率是由于之前几步有错误, 核对 [3.3.2](#) 和 [3.3.3](#) 步骤。

### 3.3.6. 修改 fpara.inp

以我自己的 fpara.inp 为例

```
1 13
2 1 1.0 -0.1 0 1000 % backg is the constant background
3 2 1.0 -0.1 -10 10 % real(f6) in diagram
4 3 1.0 -0.1 -10 10 % image(f6) in diag 1 2 of mode 1
5 4 1.0 -0.1 -10 10 % real(f7) in diagram
6 5 1.0 -0.1 -10 10 % image(f7) in diag 1 2 of mode 1
7 6 1.0 -0.1 -10 10 % real(f2) in diagram
8 7 1.0 -0.1 -10 10 % image(f2) in diag 1 2 of mode 1
9 8 1.0 -0.1 -10 10 % real(f10) in diagram
10 9 1.0 -0.1 -10 10 % image(f10) in diag 3 4 of mode 2
11 10 1.0 -0.1 -10 10 % real(f11) in diagram
12 11 1.0 -0.1 -10 10 % image(f11) in diag 3 4 of mode 2
13 12 1.0 -0.1 -10 10 % real(f3) in diagram
14 13 1.0 -0.1 -10 10 % image(f3) in diag 3 4 of mode 2
15 Comment: The parameters f1 are fixed to 1.0 in the parameter.f or here
```

每一列依次表示：待定参数的序号，初始值，步长，数值下限，数值上限（步长设置为负值表示该参数是个定值）。第一行数字代表有多少个参数，第二行的不动，之后每个参数的步长设为正值。

修改后的如上图，每个人的情况不尽相同，应按照实际情况进行修改。

```
1 13
2 1 1.0 -0.1 0 1000 % backg is the constant background
3 2 1.0 0.1 -10 10 % real(f6) in diagram
4 3 1.0 0.1 -10 10 % image(f6) in diag 1 2 of mode 1
5 4 1.0 0.1 -10 10 % real(f7) in diagram
6 5 1.0 0.1 -10 10 % image(f7) in diag 1 2 of mode 1
7 6 1.0 0.1 -10 10 % real(f2) in diagram
8 7 1.0 0.1 -10 10 % image(f2) in diag 1 2 of mode 1
9 8 1.0 0.1 -10 10 % real(f10) in diagram
10 9 1.0 0.1 -10 10 % image(f10) in diag 3 4 of mode 2
11 10 1.0 0.1 -10 10 % real(f11) in diagram
12 11 1.0 0.1 -10 10 % image(f11) in diag 3 4 of mode 2
13 12 1.0 0.1 -10 10 % real(f3) in diagram
14 13 1.0 0.1 -10 10 % image(f3) in diag 3 4 of mode 2
15 Comment: The parameters f1 are fixed to 1.0 in the parameter.f or here
```

**注：**fpara.inp 文件中可变参数的初值应随机赋值。

### 3.3.7. 修改 flag.inp

以我自己的 flag.inp 为例

```
1 |ITER=' 15
2 |PLOT=' 1
3 |do_mc=' 'y'
4 |MC_num=' 53788
5 |da_num=' 249
6 |kfdc_num=' 53788
```

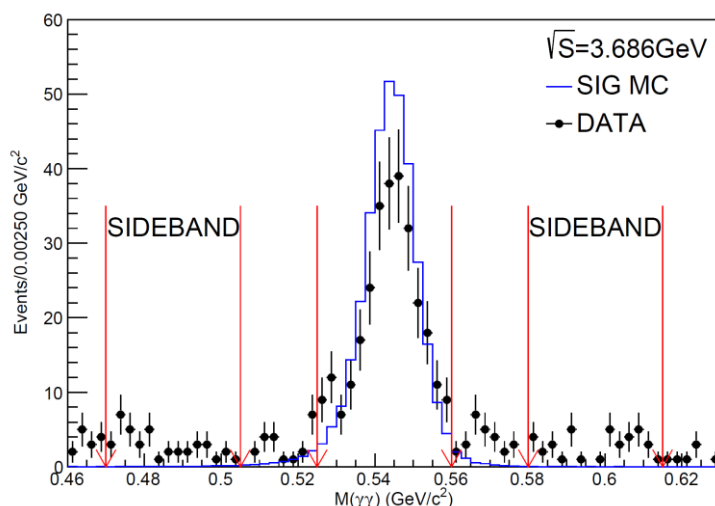
解释：ITER 是拟合的次数，一般设置一个较大的数；PLOT 是画图相关选项，0 是不画图，1 是画一部分图，2 是画全部图（全部的图是指各个成分的相关图也画出来）；do\_mc 与 spepfit.f 中的判断条件有关，即拟合时做不做 MC 积分；MC\_num 是 pdata1.mc 中的事例数；da\_num 是 pdata1.dat 中的事例数；kfdc\_num 不用管，设为 0 就行了。

添加本底时，需要添加两行内容：

```
1 'ITER=' 2500
2 'PLOT=' 1
3 'do_mc=' 'y'
4 'MC_num=' 53788
5 'da_num=' 249
6 'bkg1=' 51 26
7 'bkg2=' 0 0
8 'kfdc_num=' 0
```

bkg1 与 bkg2 为本底事例数，第一列是对应.dat 文件中的事例数，第二列是归一化之后的事例数。以我自己举例：

我使用  $\eta$  的 sideband 作为本底，如图



可以看到，sideband 的区域是信号区域的 2 倍，所以归一化系数为 0.5，而 FDC 中事例数**必须为整数**，25.5 向上取整为 26。

### 3.3.8. 复制四动量文件

将之前准备好的 data, MC, background 的文件复制到当前路径下, 同时还要新建一个空的文件 pdata1.kfdc, 这里对应 kfdc\_num 设置为 0。

最终应该有 5 个四动量文件: pdata1.dat, pdata1.mc, pdata1.kfdc, pbg1.dat, pbg2.dat。其中前两个**必须不为空**, 第三个**必须为空**, 后两个按自己的情况来。

## 4. 拟合

### 4.1. 进行拟合

命令: ./fit

**注:** 此命令不依赖 FDC 环境。

拟合分为两步, 先进行做 MC 积分的拟合, 再进行不做 MC 积分的拟合, 即可得到结果。通过修改 flag.inp 来控制:

1	'ITER='	2500
2	'PLOT='	1
3	'do_mc='	'y'
4	'MC_num='	53788
5	'da_num='	249
6	'bkg1='	51 26
7	'bkg2='	0 0
8	'kfdc_num='	0

1	'ITER='	2500
2	'PLOT='	2
3	'do_mc='	'n'
4	'MC_num='	53788
5	'da_num='	249
6	'bkg1='	51 26
7	'bkg2='	0 0
8	'kfdc_num='	0

一般情况下, 只有不做 MC 积分时才画所有的图。

完整过程:

vim flag.inp

./fit

vim flag.inp

./fit

**注:** ITER 只是上限, 拟合到最佳结果或到上限都会停止, 且数据量和 model 里添加的共振态的数量会影响拟合速度。

### 4.2. 检查结果

pep.res 放的是拟合之后的参数值, 与 fpara.inp 对应。每次做完 MC 积分的

拟合后，应检查 pep.res，若有超限的参数，则应该将上下限放宽重新进行 MC 积分的拟合，直至所有可变参数都不超限为止，则此时的结果为最佳结果，否则拟合程序停止是由于超限导致。

### 4.3. 查看结果

#### 4.3.1. 结果的 s 值（似然值）

在拟合的过程中会输出 s 值：

```
The likelihood function= -78.0892029
The Chi**2      function= 0.
nr= 4
np= 21
```

结果的值越小，说明拟合的结果越好，该值将在后面用来计算显著性。

**注：**FDC 输出的 s 值与 Roofit 的 likelihood 值是不同的，关系为： $s = \text{likelihood} \times 2$

#### 4.3.2. mplot.info

显示各态和相互干涉的百分比，直接 vim 打开即可。

以我的为例：

```
1 the lines 1, ... , 12 is in mode 0
2 the lines 13, ... , 24 is in mode -1
3 the lines 25, ... , 36 is in mode 1
4 the lines 37, ... , 48 is in mode 2
5 Sigma= 0.00462897 total cross section
6 br= 1.25875149 mode 1 with diag 1,2
7 br= 0.53301871 mode 2 with diag 3,4
8 br= -0.79177020 int of mode 1 and 2
```

mode 1 with diag 1,2 对应的态可以去看之前画好的费曼图中所对应的态，int of mode 1 and 2 对应的是某两个态之间的干涉情况，这里我只加了两个态，相空间和  $\Lambda(1670)$ ，实际情况要与自己的对应起来。

**注：**单独一个成分是可以超过100%的，并不是出错。

**注：**这里的图与之前用到的例子不同，之前的 model 里我加了 2 个中间共振态，但这里用的是只加了 1 个中间共振态的结果。



### 4.3.3. dplot.hbook 和 mplot.hbook

需要使用 h2root 命令，将 hbook 文件转换成 root 文件，转化的 root 文件中是直接画好的图。

例：h2root mplot.hbook mplot.root

这两个文件对应的是之前在 process.def 中设置的要画的图。dplot.hbook 对应的是用输入的四动量直接画出来的图，前面的对应 data，后面的对应 MC。mplot.hbook 对应的是拟合结果的图，最前面的是拟合结果的总分布，后面依次是所添加的各个态的分布，顺序与 mplot.info 一致，最后会有一段空白（并不懂为什么）。

### 4.3.4. pep.res

pep.res 放的是拟合之后的参数值，与 fpara.inp 对应，在使用 FDC 结果产生 DIY 产生子时用得到。

## 4.4. 文件夹中其他对拟合过程产生影响的文件

### 4.4.1. reson.inp

作用是改变 model 中各个态的质量和宽度，以我自己的为例：

```
1 4
2 1 3.68609 0.000317 % Resonance \psi' in diagram 1
3 2 1.673 0.013 % Resonance \Lambda[1690] in diagram 6 5
4 3 1.674 0.039 % Resonance \Lambda[1670] in diagram 4 3
5 4 2 500 % Resonance PHSP in diagram 2 1
```

第一列对应的是质量，第二列对应的是宽度，单位  $\text{GeV}/c^2$ 。

**注：**改变质量和宽度后要重新做 MC 积分。

### 4.4.2. amptable.inp

作用是注释掉某些态不参与拟合，，以我自己的为例：

```
1 'n_tot=' 4 total number of diagram in the process
2 'n_cal=' 4 number of diagram to be calculated
3 'comment' m n m-th diagram, n=1 means keep, 0 means drop
4 1 1
5 2 1
6 3 1
7 4 1
```



1 表示参与拟合。0 表示不参与拟合，前面的数字对应费曼图中的序号，对我的来说，要注释掉 1 个态，则需要使两个费曼图不参与拟合。

## 5. 自动化工具

### 5.1. mini(Powered by Shi Wang, et al.)

#### 5.1.1. 原理（大概）

随机设置 fpara.inp 中可调参数的初值，然后进行拟合；重复这个过程，并保存最佳结果；mini 中的 fit 只做第一步的做 MC 积分的拟合。

#### 5.1.2. 文件

位置：/scratchfs/bes/wangshi/share/fdc/tools/miniexe

文件：mini.cxx, mini.inp 分别为 C++源码，设置文件；forx64 为编译脚本，run.sh 和 sub.sh 是我自己写的脚本，run.sh 是用来交上去的脚本，sub.sh 是交 hep\_sub 作业脚本。

#### 5.1.3. 用法

将前四个文件复制到之前处理好的 fort 文件夹内，运行

`./forx64 mini`

然后修改 mini.inp 文件

```
1 % LoopNUM Seed Range
2 10 -1 200
3 % Use -1 for set time as the random seed
4 % The range of initial value is +/-${Range}/20, the upper and lower limits is ${Range}*5
```

第一个是重复的次数，看自己的实际情况设置，比如我的最优解一般在 1000 次左右出现，就设置到 1500，往后留一些余量，这个值与参数的个数有关，参数越多就需要越多的次数来寻找最佳结果；第二个是随机数种子，默认是-1，用当前的时间作为随机数种子，通常使用-1 就行，有需要也可以设定为正整数；第三个与随机数变化范围和 fpara.inp 里面的上下限有关，具体关系看注释。

然后直接运行

`./run.sh`

**注：**此命令不依赖环境，但是需要 shell 语言环境为英文，即 `$LANG=en_US.UTF-8`，否则会导致 mini 失效。

**注：**第一次可能直接报错暂停，这是由于没有上一次的运行结果，而 mini 程序会自动将上一次的结果保存在 `mini_last_result` 文件夹内，所以会报错停止（我猜的）。

**注：**通过此方法得到的最佳结果并不一定是真正意义上的最佳结果。可以理解为，真正最佳结果的初值是对的，但是并没有拟合到最后，导致其结果差于其他结果。原因、判断与处理见“[链接](#)”。

#### 5.1.4. 结果

##### 5.1.4.1. `fparamin.inp`

这里保存的是最佳结果所对应的 `fpara.inp`，如果想得到最佳结果的所有分布，可以将这个文件复制为 `fpara.inp` 再进行手动拟合，即可得到最佳结果。

##### 5.1.4.2. `mplotmin.hbook`

这个从来不看，但是可以理解为和 `mplot.hbook` 对应，但是由于做 MC 积分的拟合设置中的 PLOT 设置为 1，所以应该只有总的图，而没有各个成分的图。

##### 5.1.4.3. `mplotmin.info`

这个也是从来不看，与 `mplot.info` 对应。

##### 5.1.4.4. `pepmin.res`

这个也是从来不看，与 `pep.res` 对应。

##### 5.1.4.5. `smini.dat`

最佳结果的渐进过程，只存 s 值。

#### 5.1.4.6. svalu.dat

每一次的  $s$  值。

#### 5.1.4.7. mini\_last\_result 文件夹

该文件夹内存的是上一次的所以的上述文件,防止误操作把已经做好的结果覆盖掉。

#### 5.1.5. 运行注意事项

一般情况下,1000+次的 mini 都会跑 1 小时以上,可以交到后台跑,命令:

```
./sub.sh
```

这样就行了,输出结果会存在 mini.log 里。

**注:** 运行时间会受到单次拟合时间的影响。

### 6. 质量宽度扫描

PWA 的结果包含两部分:中间共振态的占比,中间共振态的质量和宽度。

在 FDC 中,质量宽度扫描需要手动进行,即修改 reson.inp 中的质量和宽度,重新运行 mini,再得到这一组质量宽度下的最佳  $s$  值;一定会有一组质量和宽度,使得其结果为所有质量宽度组合的最优解。

以我自己的为例,我的  $Model = \Lambda(1670) + PHSP$ ,则需要扫描的只有  $\Lambda(1670)$  这一个共振态的质量宽度。

PDG 上给出的结果为

$\Lambda(1670)$ MASS	1670 to 1678 ( $\approx 1674$ ) MeV
$\Lambda(1670)$ WIDTH	25 to 35 ( $\approx 30$ ) MeV

可以把原来的 fort 文件夹复制成 11 份,然后设置不同的质量宽度,同时跑,这样可以提高很多的效率,下面放上我做质量宽度扫描的目录结构。



最开始可以固定宽度扫质量，宽度定为 PDG 给出的值，质量扫描的中心值设为 PDG 给出的值，间隔 $1\text{ MeV}/c^2$ ；再使用固定质量为最佳质量，扫宽度，以此类推，重复这个过程，直到稳定。此时，即为当前情况下的结果。

改变各种参数都有可能导导致质量宽度的结果改变,如 Model 中所添加的态，拟合中用到的数据的数量等。

## 7. 拟合的简单过程

### 7.1. 准备

#### 7.1.1. 将 fort 文件夹复制出来

“[链接](#)”。

#### 7.1.2. 编译

命令：make

#### 7.1.3. 修改 fpara.inp

“[链接](#)”。

#### 7.1.4. 修改 flag.inp

与之前的（“[链接](#)”）区别就是不用添加两行本底相关的参数，即：

```

1  'ITER='      2500
2  'PLOT='      1
3  'do_mc='     'y'
4  'MC_num='    53788
5  'da_num='    249
6  'kfdc_num='  0
  
```

#### 7.1.5. 复制四动量文件

只需要复制 pdata1.\* 即可，“[链接](#)”。

## 7.2. 拟合

“[链接](#)”。

**注：**该情况下无法使用 mini

## 7.3. 检查结果

“[链接](#)”。

## 8. 产生 Toy MC 样本

FDC 产生 Toy MC 十分的方便，仅需修改 flag.inp 和 fpara.inp 后，运行两个命令即可产生。产生的四动量文件为 Truth 级别，需通过完整的模拟重建分析后方可得到效率等。

### 8.1. FDC 产生 Truth

#### 8.1.1. 复制 fort 目录

由于产生 Toy MC 会改变一些文件，所以需要将进行分波的 fort 目录复制一份用于产生 MC，且每次产生过 MC 的目录不确定是否仍然可用，所以目前每个复制出来的目录仅使用一次，即每次产生都要从原来的复制出来一遍。

**注：**以下操作均在复制出来的目录下进行

#### 8.1.2. 指定共振态

可以在 amptable.inp 内开关相应的费曼图来指定产生的 MC 中包含的衰变过程，这样可以用来计算特定共振态的探测效率等。

#### 8.1.3. 修改 flag.inp

flag.inp 中的 da\_num 原为数据的事例数，在产生 MC 时则代表了要产生的事例数。例如我需要产生 50 万的 MC 样本，则将 da\_num 改成 500000 即可。

**注：**每次产生的事例数不宜过大，之前尝试的结果是 100 万会报错，50 万没有问题，请自行尝试。

#### 8.1.4. 替换 fpara.inp

将你用来产生 MC 的结果的 pep.res 替换掉 fpara.inp。

#### 8.1.5. 积分

在完成前两步之后，运行命令：

```
./int
```

#### 8.1.6. 产生四动量文件

在积分完成后，运行命令：

```
./gevent
```

产生的四动量就存在了 pdata1.dat 文件内，粒子顺序与输入一致。

### 8.2. 修改四动量文件

这里产生的四动量文件还不能直接用于模拟，需要增加一些内容。以我的过程为例，三个粒子一组为一个事例，pdata1.dat 的样式为：

1	0.21343890	0.64844255	-0.02526494	1.30821024
2	0.24644078	0.30504036	-0.04812777	1.18357120
3	-0.45987968	-0.95348291	0.07339271	1.19421867
4	-0.16644857	-0.21461754	-0.44474079	1.23138215
5	0.30203578	0.79234946	-0.20730696	1.41660202
6	-0.13558721	-0.57773192	0.65204775	1.03801594

而模拟中需要用到的样式为：

1	3
2	3122 0.21343890 0.64844255 -0.02526494 1.30821024
3	-3122 0.24644078 0.30504036 -0.04812777 1.18357120
4	221 -0.45987968 -0.95348291 0.07339271 1.19421867
5	3
6	3122 -0.16644857 -0.21461754 -0.44474079 1.23138215
7	-3122 0.30203578 0.79234946 -0.20730696 1.41660202
8	221 -0.13558721 -0.57773192 0.65204775 1.03801594

对每一个事例来说，需要在前面增加一行指定每个事例粒子个数：3

我的末态粒子分别为 $\Lambda$ ,  $\bar{\Lambda}$  和  $\eta$ , 其分别对应的粒子编号为 3122, -3122 和 221。这个可以在 BesEvtGen 路径下的 pdt.table 中查到对应例子的编号 (id 那一列)。并且我输入的时候就是按照 $\Lambda$ ,  $\bar{\Lambda}$  和  $\eta$ 的顺序输入的, 所以输出的顺序也是一样的。

**注:** 四动量文件中应保持每一行中的各个列之间至少有 3 个空格的间距, 我的示意图中存在这个问题。

### 8.3. 修改模拟的 decay 卡和 jobOption

范例路径: /scratchfs/bes/wangshi/share/fdc/sim

#### 8.3.1. decay 卡

修改进行分波分析的那一级的产生子为:

TrackGen 0

以我的过程为例, 修改后的 decay 卡如图:

```
1 Decay psi(2S)
2 1.0000    Lambda0 anti-Lambda0 eta    TrackGen 0;
3 Enddecay
```

我的分波过程为 $\psi(2S) \rightarrow \Lambda\bar{\Lambda}\eta$ 这一级, 所以只修改这个过程的产生子, 其他级别的衰变一律保持不变。并且这一级的衰变末态粒子的顺序应与四动量文件中粒子顺序保持一致。

#### 8.3.2. 修改 jobOption

需要在模拟的脚本文件中加入一行:

```
EvtDecay.FileForTrackGen={"../pdata2.dat"};
```

这里的文件就是修改后的四动量文件, 路径支持相对路径, 添加位置如图:

```
//*****job options for EvtGen*****
#include "$BESEVTGENROOT/share/BesEvtGen.txt"
EvtDecay.userDecayTableName = "decay.dec";
EvtDecay.FileForTrackGen={"../pdata2_1690.dat"};
```