

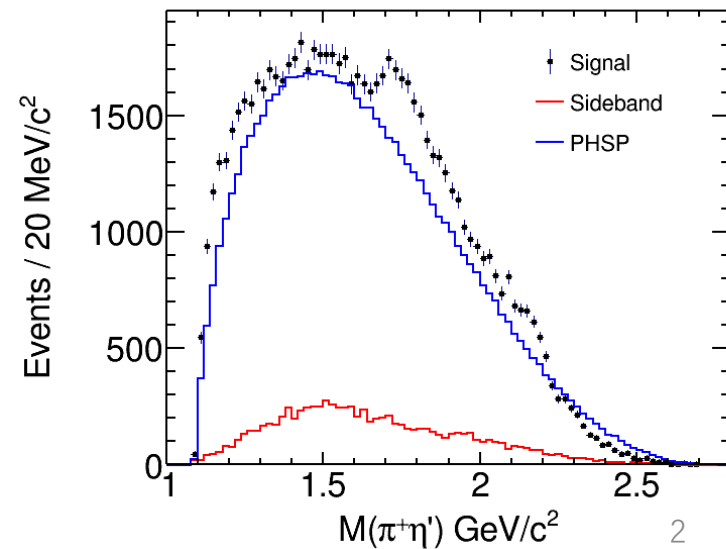
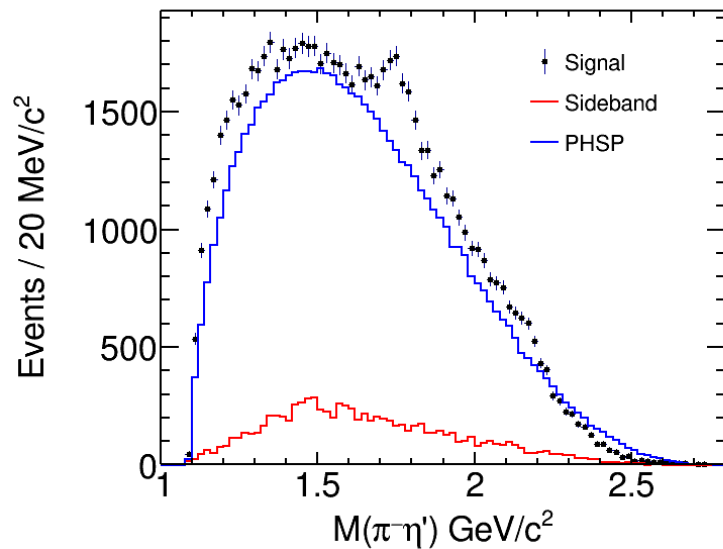
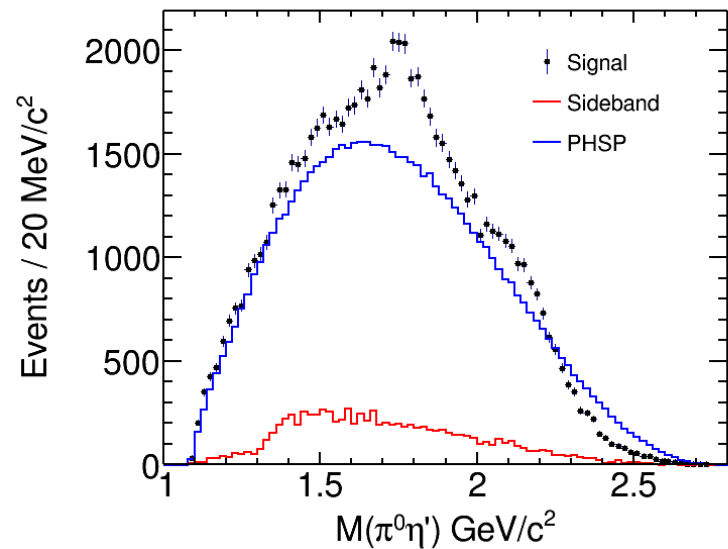
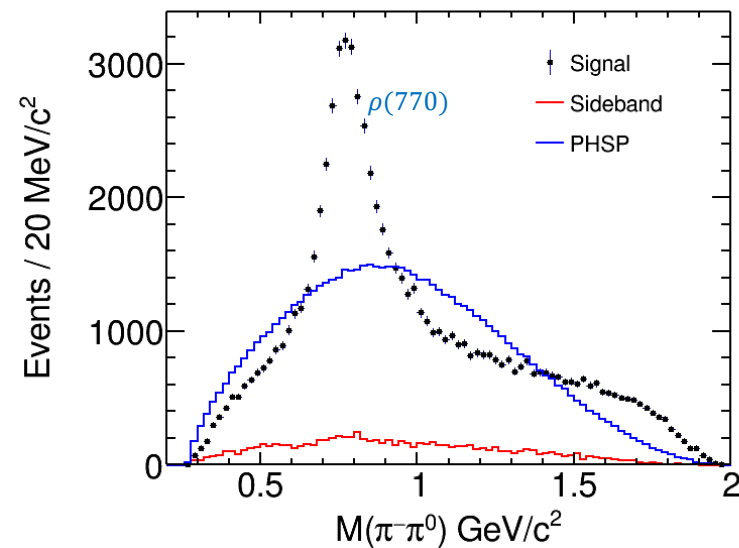
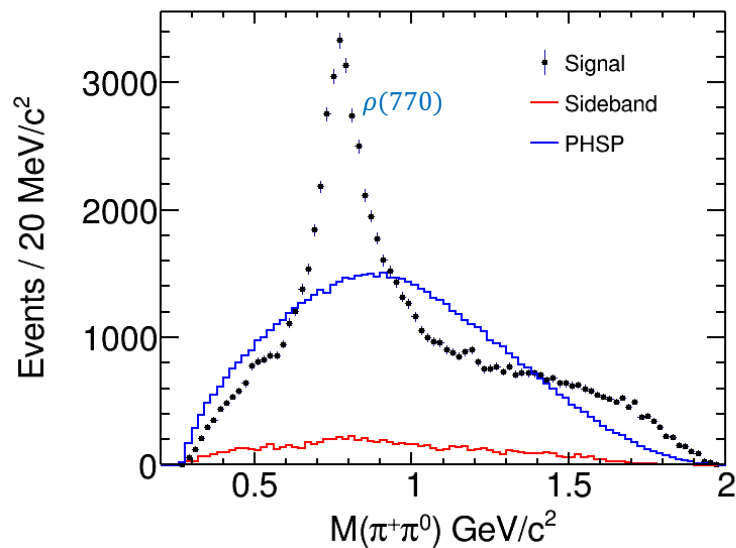
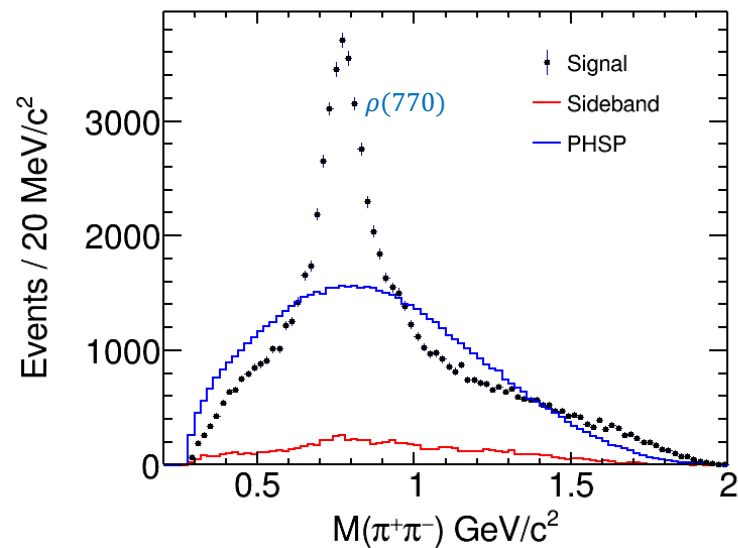
Experience on Covariant Tensor

Rongsheng Shi, Jianping Dai

2022-10-26

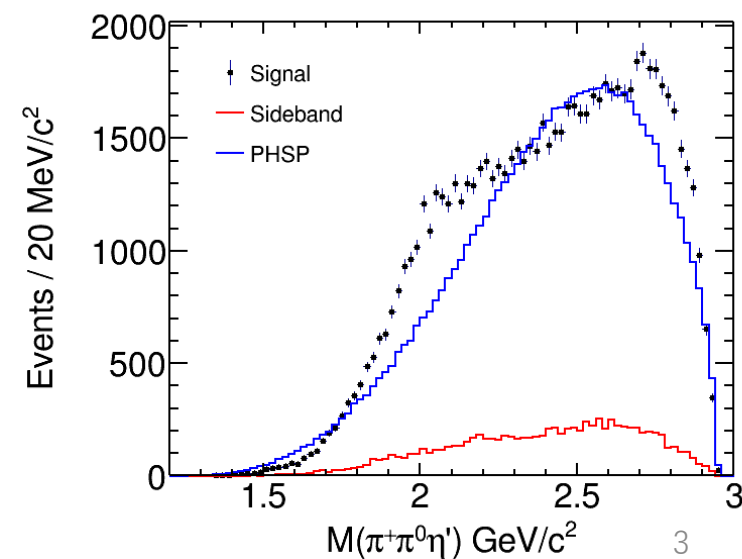
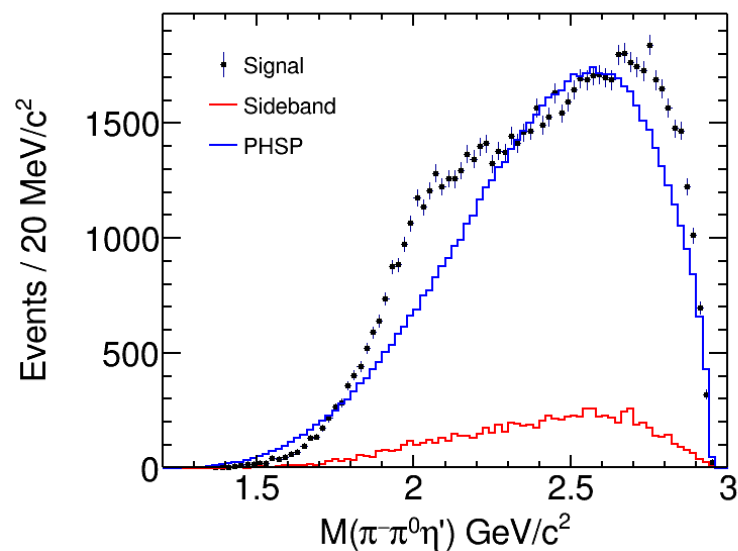
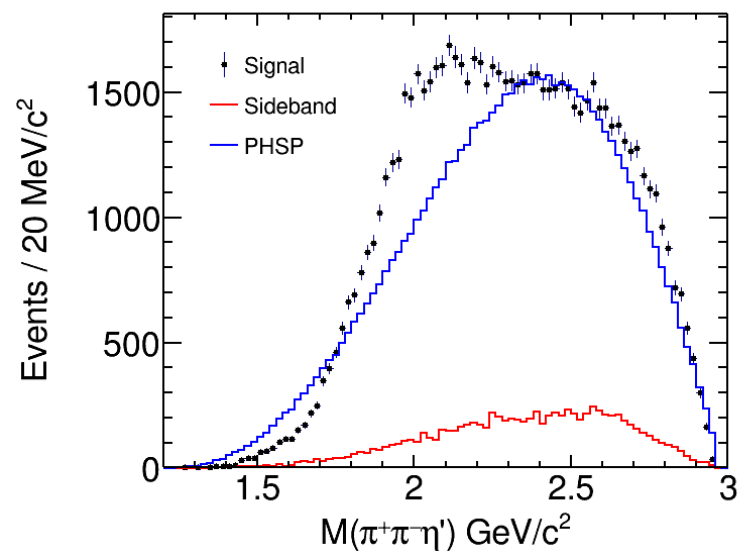
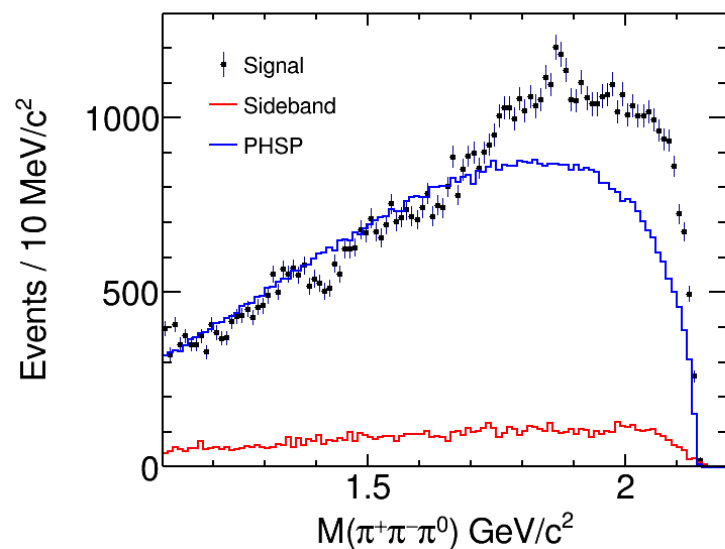
$$J/\psi \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 \eta'$$

$\pi\pi$ 与 $\pi\eta'$ 质量谱



$$J/\psi \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 \eta'$$

$\pi\pi\pi$ 与 $\pi\pi\eta'$ 质量谱



可能存在的衰变过程

$J/\psi \rightarrow A + B$		Angular Momentum	
$J/\psi \rightarrow \rho(770) + 1^-0^{++}(\pi\eta')$		$LS = 01 \ 21$	
$J/\psi \rightarrow \rho(770) + 1^-2^{++}(\pi\eta')$		$LS = 01 \ 21 \ 22 \ 23 \ 43$	
$J/\psi \rightarrow \rho(770) + 1^-4^{++}(\pi\eta')$		$LS = 23 \ 43 \ 44$	
$J/\psi \rightarrow \rho(770) + 1^-1^{-+}(\pi\eta')$		$LS = 10 \ 11 \ 12 \ 32$	
$J/\psi \rightarrow \eta' + A$	Angular Momentum	$A \rightarrow B + C$	Angular Momentum
$J/\psi \rightarrow \eta' + 0^-1^{+-}(\pi\pi\pi)$	$LS = 01 \ 21$	$0^-1^{+-} \rightarrow \rho(770) + \pi$	$LS = 01 \ 21$
$J/\psi \rightarrow \eta' + 0^-1^{--}(\pi\pi\pi)$	$LS = 11$	$0^-1^{--} \rightarrow \rho(770) + \pi$	$LS = 11$
$J/\psi \rightarrow \eta' + 0^-3^{--}(\pi\pi\pi)$	$LS = 33$	$0^-3^{--} \rightarrow \rho(770) + \pi$	$LS = 31$
$J/\psi \rightarrow \pi + A$	Angular Momentum	$A \rightarrow B + C$	Angular Momentum
$J/\psi \rightarrow \pi + 1^+1^{+-}(\pi\pi\eta')$	$LS = 01 \ 21$	$1^+1^{+-} \rightarrow \rho(770) + \eta'$	$LS = 01 \ 21$
$J/\psi \rightarrow \pi + 1^+1^{--}(\pi\pi\eta')$	$LS = 11$	$1^+1^{--} \rightarrow \rho(770) + \eta'$	$LS = 11$
$J/\psi \rightarrow \pi + 1^+3^{--}(\pi\pi\eta')$	$LS = 33$	$1^+3^{--} \rightarrow \rho(770) + \eta'$	$LS = 31$

可能存在的共振态

1^-0^{++}	1^-2^{++}	1^-4^{++}	1^-1^{-+}
$a_0(1450)$ $a_0(1700)$ $a_0(1950)$ $a_0(2020)$	$a_2(1320)$ $a_2(1700)$ $a_2(1950)$ $a_2(1990)$ $a_2(2030)$ $a_2(2175)$	$a_4(1970)$ $a_4(2255)$	$\pi_1(1400)$ $\pi_1(1600)$ $\pi_1(2015)$
0^-1^{+-}	0^-1^{--}	0^-3^{--}	
$h_1(1170)$ $h_1(1415)$ $h_1(1595)$ $h_1(1965)$	$\omega(1420)$ $\omega(1650)$ $\phi(1680)$ $X(1750)$ $\omega(1960)$	$\omega_3(1670)$ $\phi_3(1850)$ $\omega_3(1945)$	
1^+1^{+-}	1^+1^{--}	1^+3^{--}	
$b_1(1960)$ $b_1(2240)$	$\rho(1900)$ $\rho(2150)$ $\rho(2270)$	$\rho_3(1990)$ $\rho_3(2250)$	

分波分析程序构建

- 协变张量法:

$$A^\mu = \sum_i \Lambda_i U_i^\mu \quad \text{Eur. Phys. J. A 16, 537–547 (2003)}$$
$$\frac{d\sigma}{d\Phi_n} = \frac{1}{2} \sum_{\mu=1}^2 A^\mu A^{*\mu} = \frac{1}{2} \sum_{i,j} \Lambda_i \Lambda_j^* \sum_{\mu=1}^2 U_i^\mu U_j^{*\mu}$$

- 对称性:

$$U_i^\mu = U_{i,(1,-1)}^\mu + U_{i,(-1,1)}^\mu - U_{i,(0,0)}^\mu$$

- 例子:

$$J/\psi \rightarrow \pi^+(1) \pi^-(2) \pi^0(3) \eta'(4)$$

$$\langle \rho a_0 | 01 \rangle = \tilde{t}_{(13)}^{(1)\mu} f_{(13)}^{(\rho)} f_{(24)}^{(a_0)} + \tilde{t}_{(32)}^{(1)\mu} f_{(32)}^{(\rho)} f_{(14)}^{(a_0)} - \tilde{t}_{(12)}^{(1)\mu} f_{(12)}^{(\rho)} f_{(34)}^{(a_0)}$$

- 协变张量部分仅由CPU计算一次后缓存（编译器优化, AVX指令集）

基于OpenMP的并行化(CPU)

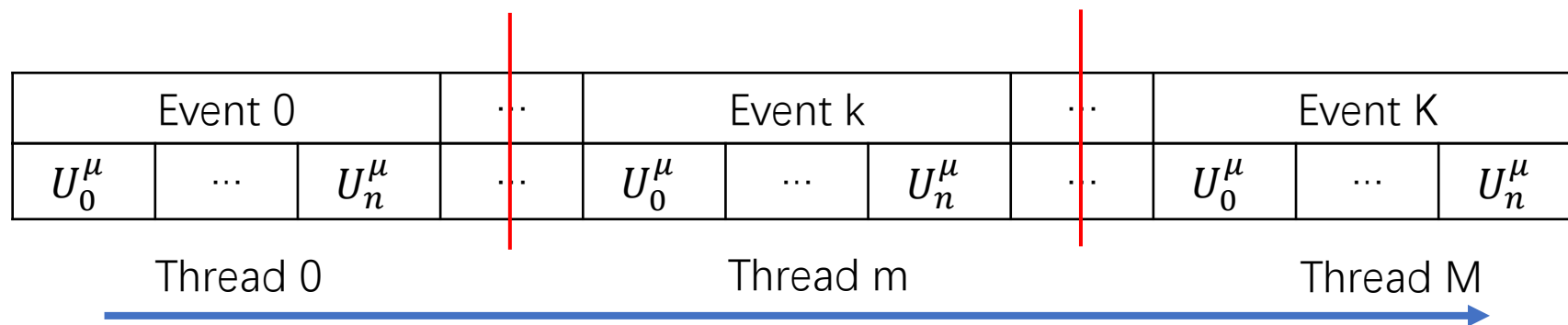
- 固定质量宽度
- 积分部分：合并同位旋对称的振幅，计算交叉项，对所有事例求和

$$F_{ij} = F_{ji}^* = \frac{1}{2} \sum_{\mu=1}^2 U_i^{\mu} U_j^{*\mu}$$

- 计算似然值时只需再计算复参数与其乘积
- 对数据似然值的计算：

$$A^{\mu} = \sum_i \Lambda_i U_i^{\mu}$$

双精度
80000 事例
50 分波
~10 ms

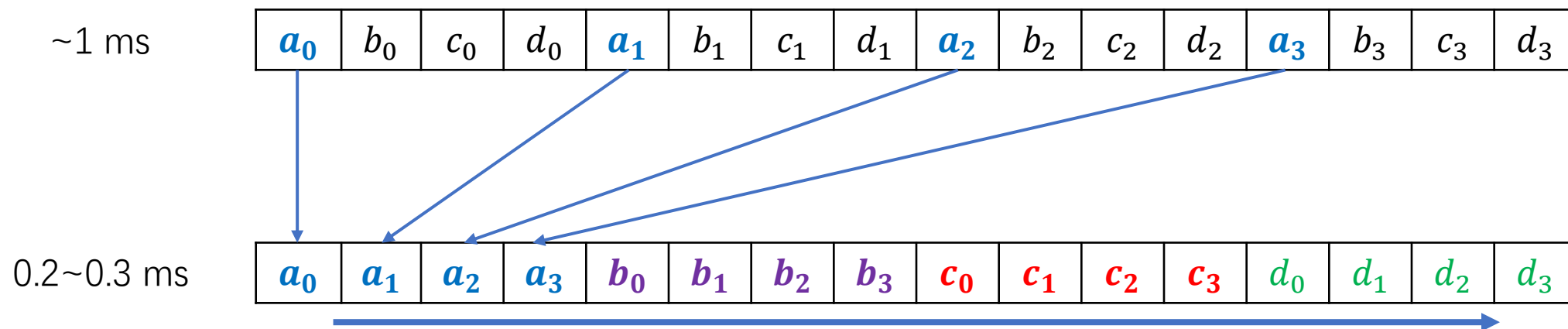


基于CUDA的并行化(GPU)

- 每个线程计算一个事例的似然值
- 在同一个线程块内，重新排列振幅的分量，使读操作合并：

$$U^\mu = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} re_1 \\ im_1 \\ re_2 \\ im_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix}$$

- 以4个事例，每个事例仅有1个分波为例：



对通用分波程序的需求

- 性能

- 振幅数据结构

- 振幅对称性

- 是否固定动力学函数参数

- 根据需求采用不同的计算顺序

- 可扩展性

- 自动生成的协变张量振幅

- 可视化

Thanks!