

Измерения сечения $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ вблизи порога на супер Чарм-Тау фабрике

Алексадр Бобров

ИЯФ СО РАН им. Г.И.Будкера, НГУ

План

- 1 Введение
- 2 Описание метода
- 3 Моделирование
- 4 Извлечение сечения
- 5 Результаты
- 6 Заключение

Введение

Сечения процессов

$$e^+e^- \rightarrow N\bar{N} \text{ и}$$

дифференциальные

парциальные ширины $\frac{d\Gamma}{dm_{N\bar{N}}}$ не
стремятся к 0 на пороге.

Фактор Зоммерфельда-

Гаммова-Сахарова

$$\sigma(s = 4m^2) = \frac{\pi^2 \alpha^3}{2m^2}$$

Область низких энергий
неперпубативнае процессы

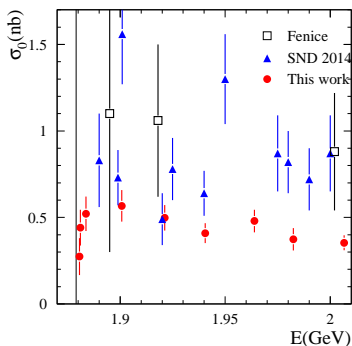
КХД

Разброс по инвариантным

массам σ_W зависит от

энергитического разброса

$$\sigma_W/m_n \propto \delta E_b/E_b, \sigma_W \sim \text{МэВ.}$$



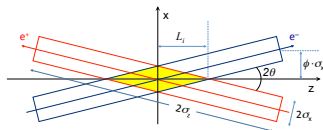
последние результаты с СНД

EPJ Web Conf., 212 (2019)

07007

Описание метода

Метод был предложен
А.Е.Бондарем: измерение сечения
по изучению углового
распределения в лабораторной
системе как функции энергии
пучков и энергитического
разброса.



Crab Waist схема

$$\Theta \sim 0.05, v_{c.m.s.} = \tan \Theta \sim 0.05$$

$$W = \sqrt{(P_0 + \delta P)^2} = W_0 + (P_0; \delta P_{\parallel})/W_0 + (\delta P_{\perp}^2 + \delta P_{\parallel}^2)/2W_0 =$$

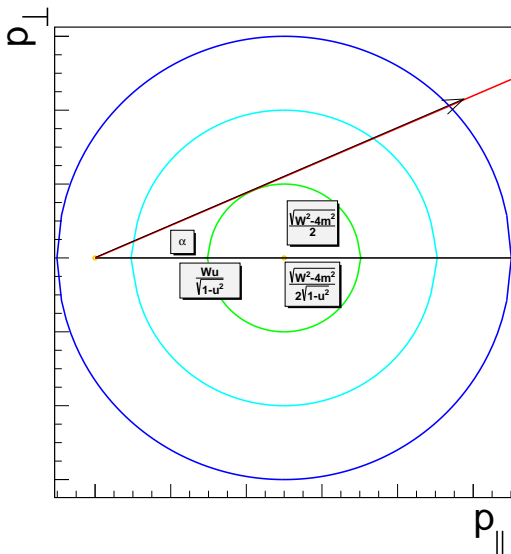
$$W_0 + (P_0; \delta P_{\parallel})/W_0 + O(\delta P^2) v_{c.m.s.} = \frac{P_0 + \delta P_{\parallel} + \delta P_{\perp}}{\sqrt{(P_0 + \delta P_{\parallel} + \delta P_{\perp})^2}} = v_{c.m.s.}^0 + \frac{\delta P_{\perp}}{W_0}$$

Приближение: W изменяется, а скорость остаётся неизменной.

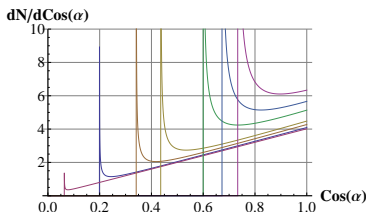
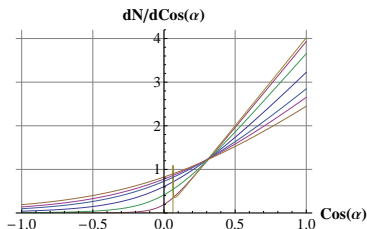
На пороге все частицы имеют сингулярное угловое распределение:

$$\delta(\vec{n} - \vec{v}/|\vec{v}|).$$

Описание метода



Описание метода



α угол между скоростью система центра инерции и анти-нейтроном в лабораторной системе.

$\frac{dN}{d \cos \alpha}$ вычисляется из преобразований Лоренца.

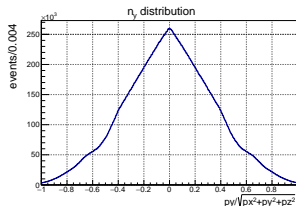
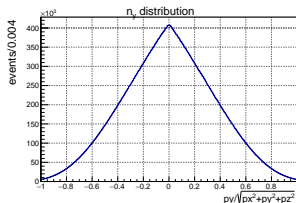
Соотношение между критическим углом и инвариантной массой:

$$W = 2m_n \sqrt{1 + v_{c.m.s.}^2 \sin^2 \alpha_{max} / (1 - v_{c.m.s.}^2)}$$

$$W = 2m_n \sqrt{1 + \sinh^2 \psi \sin^2 \alpha}$$

$$v_{c.m.s.} = \tanh \psi$$

Описание метода



Если $W < 2m_n/\sqrt{1-v_{c.m.s}^2} = W^*$,
существует предельный угол
рассеяния.

$$W = 2m_n\sqrt{1 + \sinh^2 \psi \sin^2 \alpha}.$$

Около порога

$$\begin{aligned} W &= 2m_n + m_n \sinh^2 \psi \sin^2 \alpha = \\ &= 2m_n + m_n \sinh^2 \psi \alpha^2 \end{aligned}$$

Разрешение по инвариантной массе
из-за энергитического разброса

$$\sigma_W = \sqrt{3}m_n \sinh^2 \psi \sigma_\alpha^2(0).$$

$\sigma_\alpha(0)$ угловой разброс при $\alpha = 0$,

$$\sigma_\alpha(0) = \delta p_{c.m.s.}/p_{c.m.s.} \propto \delta E_b/(E_b \sinh \psi).$$

$$\sigma_W = m_n \frac{\sqrt{3}}{2} (\delta E_b/E_b)^2 \sim \text{кэВ!}$$

Разрешение по инвариантной массе
из-за углового разрешения

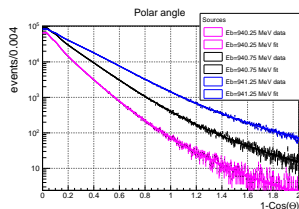
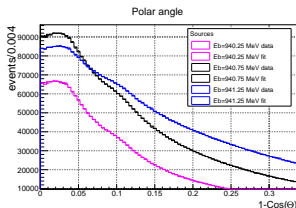
$$\sigma_\alpha = 5\text{cm}/1\text{m} = 1/20$$

$$\sigma_W \sim m_n(1/20)^2(1/20)^2 \sim 10 \text{ keV}.$$

Моделирование

- 1 $\delta E_b/E_b = 10^{-3}$
- 2 угловой разброс 10^{-3} радиан
- 3 половинный угол пересечения 0.05 радиан
- 4 угловое распределение нейтронов изотропное
- 5 Энергия пучков E_b меняется от 939.75 до 942.25 MeV, с шагом 0.25 MeV (порогу соответствует $E_b = 940.74$ МэВ, $\sigma_W \sim 1.3$ МэВ)
- 6 Радиационные поправки не моделировались
- 7 Угловое разрешение для анти-нейтрона не моделировалось
- 8 распад нейтрона и анти-нейтрона не моделировался
- 9 Сечение описывалось функцией Хевисайда, со скачком на пороге 1 нб, гипотетические резонансы с шириной 100 кэВ и конструктивной интерференцией.

Извлечение сечения



Весь диапазон был разделен на 11/40 интервалов функция Хевисайда/гипотетический резонансы.

Система координат: скорость системы центра инерции $(v, 0, 0)$, плоскость орбиты (x, z) .

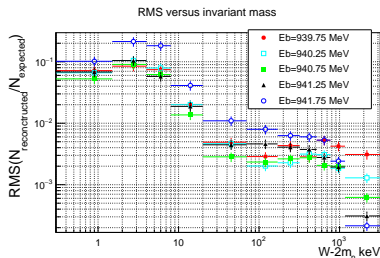
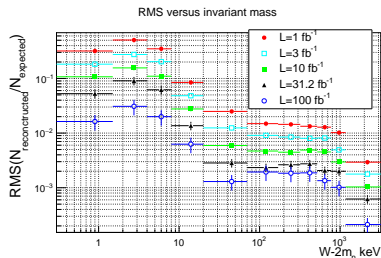
Всё моделирование было разделено на две части. По одной определялась форма углового распределения как функция W .

Сечение определялось из подгонки угловых распределений линейной функцией от неизвестных параметров.

Функция Хевисайда. Фитировалась зависимость $(n_y; n_z)$.

Гипотетические резонансы. Двумерный фит $(\cos \alpha, E_b)$.

Результаты



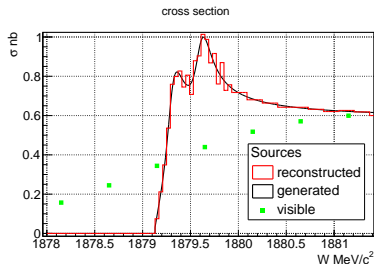
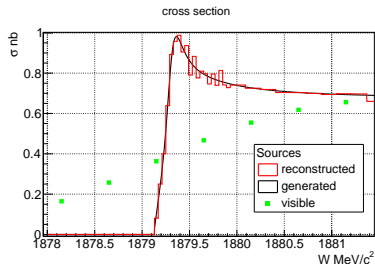
Энергия пучков 940.75 MeV, порог Интегральная светимость 31.2 фб^{-1}

Сечение 1 нб функция Хевисайда со скачком на пороге.

50 псевдоэкспериментов с $1, 3, 10 \text{ фб}^{-1}$, 16 псевдоэкспериментов с 31.2 фб^{-1} ,
5 псевдоэкспериментов с 100 фб^{-1} .

Относительная точность меняется от ~ 0.1 при кэВ масштабов (над прогом)
до $\sim 3 \times 10^{-3}$ при МэВ, с 30 фб^{-1} !

Результаты



Интегральная светимость 70 fb^{-1} , 7 точек вблизи порога. Сечение растущая функция и резонансы $\Gamma = 0.1 \text{ МэВ}$. В видимом сечении резонансная структура проинтегрировалась.

Результаты

Соотношение

$$W = 2m_n \sqrt{1 + \sinh^2 \psi \sin^2 \alpha}$$

справедливо для $W \in [2m_n; W^*)$.

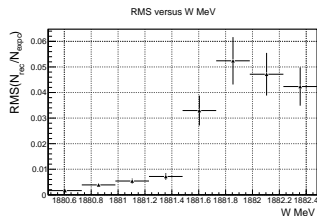
При больших инвариантных массах нет критического угла.

Разрешение по инвариантной массе ухудшается стремительно в ~ 5 раз.

Важнейшие параметры с точки зрения ускорителя это

$$W^* = 2m_n / \sqrt{1 - v_{c.m.s}^2} \text{ и } R = (W^* - 2m_n) / \sigma_W.$$

Если $R \ll 1$, большинство событий $W > W^*$, и относительно высокое разрешение при $W < W^*$ недостижимо. В представленном моделировании $R = 1.75$ данных проблем не было. Для Супер Чарм-Тау фабрики $R = 0.73$.



Разрешение около критической инвариантной массы

Заключение

- Предложен новый способ измерения сечений по анализу углового спектра в лабораторной системе, в условиях когда система центра инерции движется в лабораторной системе координат.
- Новый подход был протестирован МС для $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ процесса вблизи порога
- Энергитический и угловой разброс в пучках дают значительно меньший вклад а разрешение по инвариантной массе $\frac{\delta W}{W} = \text{Const} \left(\frac{\delta E}{E_b} \right)^2 \sim \text{кэВ}$ в сравнении с стандартным подходом где $\frac{\delta W}{W} = \text{Const}' \frac{\delta E}{E_b} \sim \text{МэВ}$
- Высокое разрешение достижимо вплоть до $W^* = 2m / \sqrt{1 - v_{c.m.s.}^2} = 2m_n + (2.34 \div 0.85) \text{ МэВ}$ (наше МС ÷ СЧТФ). С точки зрения устройства машины, основные параметры $v_{c.m.s.} = 1/20 \div 1/33.3$ и $R = (W^* - 2m) / \sigma_W = 1.75 \div 0.73$. Можно ли увеличить W^*, R ?

Заключение

Планы

- 1 Более реалистичное моделирование
 - 1 Реконструкция анти-нейтрона
 - 2 Измерение энергии и энергитического разброса
 - 3 Вклад D-волны в угловое распределение
 - 4 Временные измерения
 - 5 Радиационные поправки
 - 6 Фон
- 2 Изучение зависимости от угла перечечения пучков, асимметрии в энергии пучков