

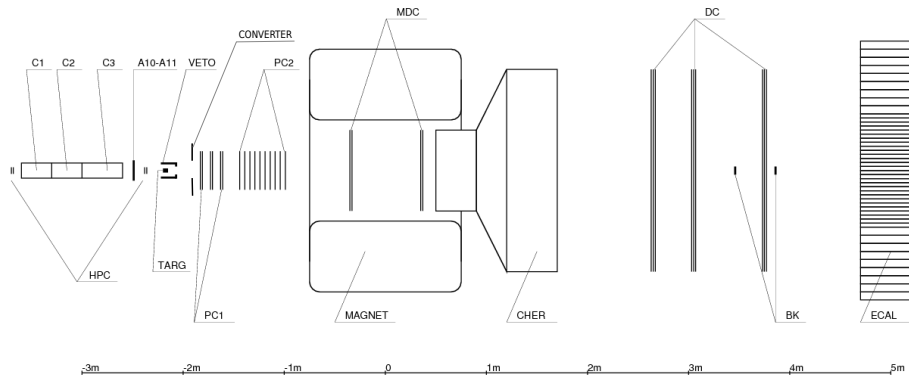
Методика измерения сечений реакций в эксперименте ВЕС

Шумаков Антон Анатольевич

НИЦ "Курчатовский институт" - Институт физики высоких энергий
Лаборатория адронной спектроскопии

04.04.2024

Установка ВЕС



- Трековая система – пропкамеры (HPC, PCRED, PC), дрейфовые трубки (MDC, DC)
- Элементы триггера – пучковые сцинтилляционные счётчики (S1, S2, S3), beamkiller'ы (BK), охранная система (VETO)
- Идентификация – пучковые пороговые черенковские счётчики (C1, C2, C3), черенковский счётчик (CHER)
- Электромагнитный калориметр (ECAL)

- Пучок, направляемый в установку, состоит из π^- , K^- , \bar{p} , e^- .
- Импульс пучка 29 ГэВ/с, разброс $\sigma \approx 0.2$ ГэВ/с.
- Интенсивность пучка $\sim 1.5 \cdot 10^6$ частиц/с.
- Мишень представляет собой бериллиевый цилиндр толщиной 4 см (0.11 рад. длин) и диаметром 4.5 см.
- Триггер реализует несколько триггерных решений, в том числе:
 - ▶ MAIN: $S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot \overline{A_{10}} \cdot \overline{A_{11}} \cdot \overline{K_1} \cdot \overline{K_2} \cdot \overline{\text{Veto}}$.
 - ▶ MWG: $S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot \overline{A_{10}} \cdot \overline{A_{11}} \cdot \overline{K_1} \cdot \overline{K_2}$.
 - ▶ BEAM: $S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot \overline{A_{10}} \cdot \overline{A_{11}}$.
- Обработываются данные, полученные в сеансах run44 (2012 г.), run45 (2013 г.), run47 (2015 г.), run48 (2015 г.)

Рассмотрим классическую формулу, связывающую число событий и сечение в эксперименте на фиксированной мишени

$$\frac{N_{real}}{N_{beam}} = P(react) = \sigma_{sys} n l (1 - e^{-l/\lambda_I}) \quad (1)$$

Выражая это в терминах наблюдаемого на эксперименте числа событий, получаем

$$N_{obs} = N_{beam} P(react) S_{trig} P(DT) \varepsilon \quad (2)$$

Здесь N_{beam} – число налетающих пучковых частиц. $P(DT)$ – вероятность принять событие с учётом мёртвого времени ССД, $P(react)$ – вероятность искомой реакции, ε – акцептанс, S_{trig} – коэффициент разрежения триггера.

Введём несколько обозначений возможных исходов при регистрации и реконструкции события:

- *react* – произошла искомая реакция
- *trig* – сработал триггер (конкретные триггеры *BEAM, MWG, MAIN*)
- *beam* – пучок был реконструирован и прошёл отборы, с ним связанные, есть триггер *BEAM*
- *sys.rec* – система вторичных частиц была реконструирована и прошла отборы

Подробнее распишем множества в пространстве событий, которые стоят за искомой вероятностью и пользуясь определением условной вероятности преобразуем формулу с предыдущего слайда

$$N_{obs} = N_{beam} P(DT) P(react) P(\textit{beam} | react) P(\textit{sys.rec} | \textit{beam} \cap \textit{react}) P(\textit{trig} | \textit{sys.rec} \cap \textit{beam} \cap \textit{react}) S_{trig} \quad (3)$$

Число наблюдаемых пучковых событий в триггере *BEAM* находится по формуле

$$N_{obs.beams} = N_{beam} P(DT) P(\textit{beam}) S_{BEAM} \quad (4)$$

Метод прямого подсчёта

Выражая вероятность реакции из формул на предыдущем слайдах получаем

$$P(react) = \frac{N_{obs}}{N_{obs.beams}} \cdot \frac{S_{BEAM}}{S_{trig}} \cdot \frac{1}{P(sys.rec|beam \cap react)P(trig|sys.rec \cap beam \cap react)} \quad (5)$$

Для учёта влияния pile-up, предполагается, что все величины в формуле выше кроме $P(react)$ зависят от интенсивности.

Pile-up и интенсивность

Pile-up – эффект, когда одно событие ССД содержит в себе информацию от нескольких актов попадания пучковых частиц в установку.

Связанные с этим параметры событий

- Интенсивность ($I, \text{с}^{-1}$): находится по количеству срабатываний $S_1 \cdot S_2$ за время между этим и предыдущим событиями.
- Время t_{after} до ближайшего срабатывания $S_1 \cdot S_2$ после события
- Время t_{before} до ближайшего срабатывания $S_1 \cdot S_2$ до события

МС-моделирование: используется сэмпл событий, набранных на триггере, асинхронным с пучком. Хиты из событий этого сэмпла подмешиваются к хитам основных событий, моделируемых с использованием GEANT4.

Реакция $\pi^- Be \rightarrow X^+ X^- X^- Be$

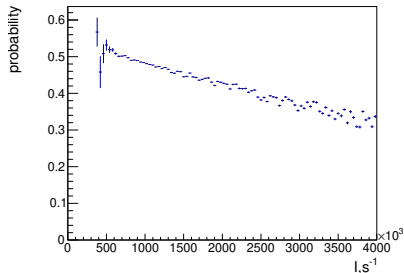
Отборы:

- Система успешно реконструирована
- Один положительный трек и два отрицательных
- Допускается гамма-квант в калориметре с энергией $E < 0.5$ ГэВ
- Трек пучка пересекает передний по пучку торец мишени в точке, расположенной не ближе, чем 5 мм к краю мишени.
- z -координата вершины отстоит от торцов мишени не более чем на 4 см
- Отсутствие пересечения треков частиц с beam-killer'ами
- Инвариантная масса пар разноимённо заряженных частиц с приписанной им массой электронов должна быть больше 0.03 ГэВ/ c^2
- Восстановленный по энергетическому балансу импульс пучка 27 ГэВ/ $c < p < 31$ ГэВ/ c
- $t' < 0.02$ ГэВ $^2/c^2$
- идентификация пучковой частицы как π

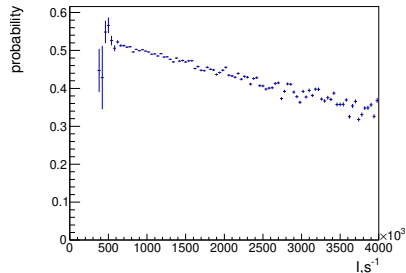
$\pi^- Be \rightarrow X^+ X^- X^- Be$: акцептанс

Под акцептансом подразумевается величина $P(sys.rec|beam \cap react)$, вычисляемая как число событий, прошедших отборы, делить на число событий с успешно реконструированным пучком.

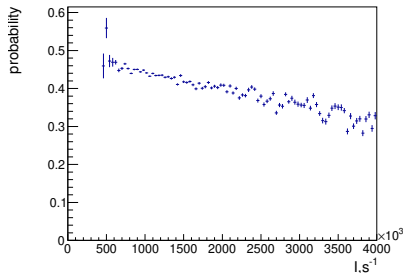
Зависимость акцептанса от интенсивности I представлена на рисунках справа.



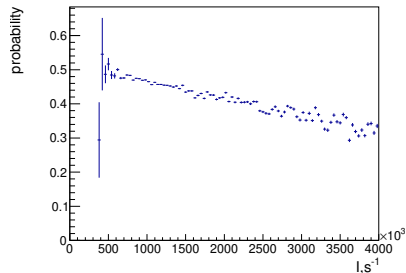
(a) run44



(b) run45



(c) run47

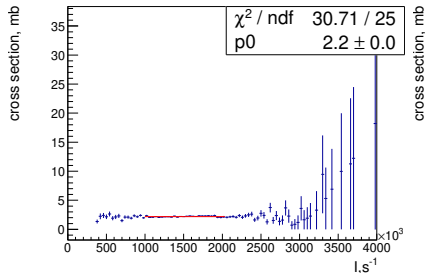


(d) run48

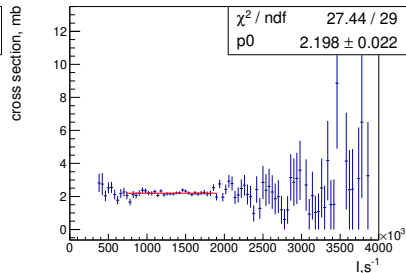
$\pi^- Be \rightarrow X^+ X^- X^- Be$: сечение

Адекватность описания зависимости сечения от интенсивности проверяется фитом константой зависимости этой. Пределы фита берутся равными квантилям $Q(0.05)$ и $Q(0.95)$ распределения по интенсивности событий с реконструированным пучком в триггере BEAM.

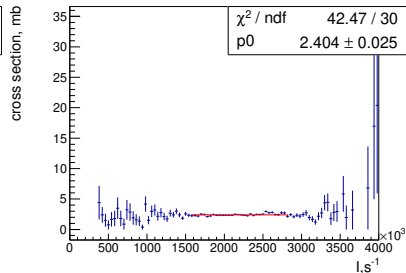
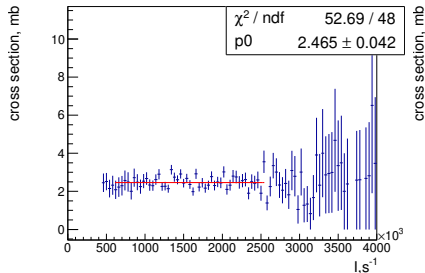
Сама величина сечения извлекается из отношения побинных сумм числителя и знаменателя в формуле метода. Бины, входящие в суммы, определяются теми же условиями, что и пределы фита.



(a) run44



(b) run45



$\pi^- Be \rightarrow X^+ X^- X^- Be$: сечение

Полученные сечения для отдельных сеансов затем объединяются методом взвешенного среднего. Статистическая ошибка происходит из метода взвешенного среднего. Если учесть систематические ошибки с известным происхождением ($\sim 4\%$), то метод взвешенного среднего даёт $\chi^2/ndf = 14.4/3$. Поэтому систематическая ошибка результата рассчитывается как стандартное отклонение выборки результатов по сеансам. В итоге получаем:

$$\sigma_{\pi^- Be \rightarrow X^+ X^- X^- Be} = (2.31 \pm 0.01(stat.) \pm 0.15(sys.)) \text{ мБн}, \quad (6)$$

что даёт общую относительную ошибку 6.4%. Отметим, что в данном измерении не участвуют триггерные решения *MWG* и *MAIN*, которые могут вносить дополнительную систематику, связанную с неточностью их моделирования.

Метод по потоку каонов

Для начала запишем выражение для числа каонных распадов.

$$N_{kaon} = N_{beamK} P(DT) W P(Kbeam) P(kaon.rec|beam \cap kaon) \cdot P(trig|kaon.rec \cap beam \cap kaon) S_{trig} \quad (7)$$

Здесь N_{beamK} – число налетающих пучковых каонов, W – вероятность распада в нужном канале внутри распадной базы, $Kbeam$ – пучок реконструирован и прошёл необходимые обрезания.

Из отношения числа каонов и числа событий искомой реакции можно выразить вероятность этой реакции.

$$P(react) = \frac{N_{obs}}{N_{obs.kaons}} \cdot \frac{K_{frac} W}{P(intersection)} \cdot \frac{S_{trig.kaon}}{S_{trig}} \cdot \frac{P(kaon.rec|beam \cap kaon) P(trig|kaon.rec \cap beam \cap kaon)}{P(sys.rec|beam \cap react) P(trig|sys.rec \cap beam \cap react)} \quad (8)$$

Состав пучка

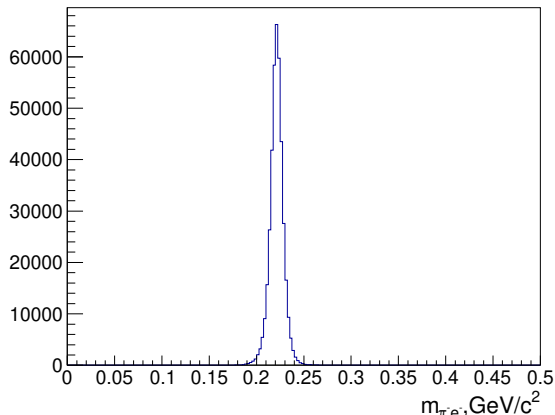
Для определения сечения по потоку каонов необходимо знать долю каонов в пучке. В данной работе мы предполагаем, что пучок состоит только из π , K и \bar{p} . Пучковые пороговые черенковские счётчики установки ВЕС настроены следующим образом: два отвечают за разделение π/K , а один – за K/\bar{p} .

Идея метода. Выделить по одной эталонной реакции на каждый тип пучковых частиц и измерить отклики системы и алгоритма идентификации в этих эталонных реакциях. С помощью полученных результатов составить систему уравнений связывающую наблюдаемые и истинные доли частиц в пучке.

$$\begin{pmatrix} \epsilon_{\pi \rightarrow \pi} & \epsilon_{K \rightarrow \pi} & \epsilon_{\bar{p} \rightarrow \pi} & 0 \\ \epsilon_{\pi \rightarrow K} & \epsilon_{K \rightarrow K} & \epsilon_{\bar{p} \rightarrow K} & 0 \\ \epsilon_{\pi \rightarrow \bar{p}} & \epsilon_{K \rightarrow \bar{p}} & \epsilon_{\bar{p} \rightarrow \bar{p}} & 0 \\ \epsilon_{\pi \rightarrow unk} & \epsilon_{K \rightarrow unk} & \epsilon_{\bar{p} \rightarrow unk} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_{\pi}^{(real)} \\ f_{K}^{(real)} \\ f_{\bar{p}}^{(real)} \\ f_{unk}^{(real)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_{\pi} \\ f_{K} \\ f_{\bar{p}} \\ f_{unk} \end{pmatrix} \quad (9)$$

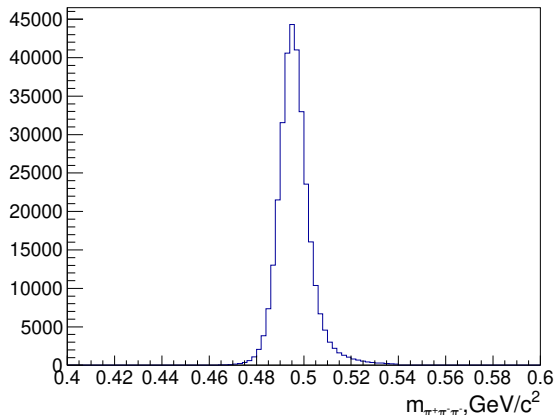
Здесь $\epsilon_{i \rightarrow j}$ – вероятность, что алгоритм идентификации даст ответ j , если в реальности была частица i , а $f_i^{(real)}$ и f_i – реальная и измеренная доли частиц типа i в пучке

Эталонные реакции: $\pi^- e \rightarrow \pi^- e$



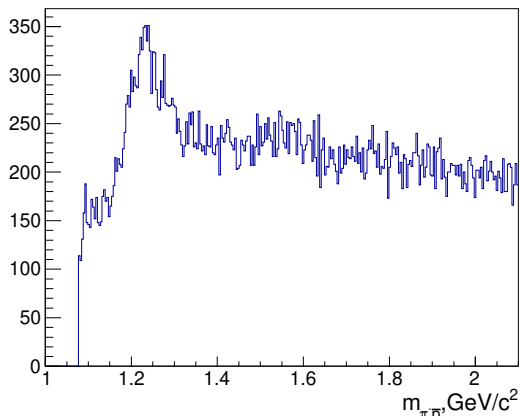
- Система успешно реконструирована
- Два отрицательно заряженных трека
- Вершина взаимодействия находится внутри мишени
- Инвариантная масса $\pi^- e \in [0.17; 0.27] \text{ ГэВ}/c^2$
- Обрезание по суммарному импульсу вторичных частиц ($27 \text{ ГэВ}/c < p_{tot} < 31 \text{ ГэВ}/c$)
- Импульс вылетевшего электрона $p_e > 3.36 \text{ ГэВ}/c$
- $t' < 0.001 \text{ ГэВ}^2/c^2$
- Отсутствие пересечения треков частиц с beam-killer'ами

Эталонные реакции: $K \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^-$



- Система успешно реконструирована
- Один положительно и два отрицательно заряженных трека.
- Допускается лишний гамма $E < 0.5$ ГэВ
- Обрезание по вершине ($-400 \text{ см} < z < -240 \text{ см}$)
- Обрезание по восстановленному импульсу пучка ($27 \text{ ГэВ}/c < p_{beam} < 31 \text{ ГэВ}/c$)
- Обрезание $m_{ee} > 0.03$ ГэВ для пар противоположно заряженных треков
- Отсутствие пересечения треков частиц с beam-killer'ами
- Инвариантная масса вторичных частиц $m_{3\pi} \in [0.46; 0.54]$ ГэВ
- $t' < 0.004$

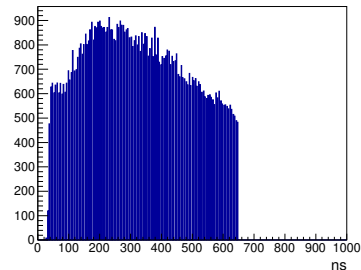
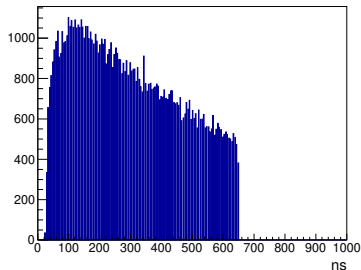
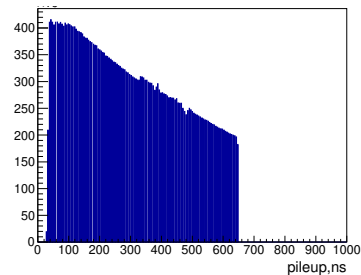
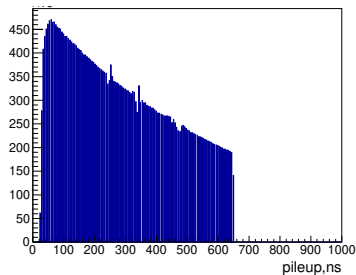
Эталонные реакции: $\bar{p}n \rightarrow \Delta^{--}p \rightarrow \bar{p}\pi^-p$



- Система успешно реконструирована
- Два отрицательно заряженных трека.
- Вершина взаимодействия находится в мишени
- Обрезание по суммарному импульсу вторичных частиц ($27\text{ГэВ} < p_{tot} < 31\text{ГэВ}$)
- Отсутствие пересечения треков частиц с beam-killer'ами
- Идентификация с помощью CHER28; гипотезы $\pi\pi, \pi K, K\pi, \bar{p}\pi, \pi\bar{p}$

Pileup

Выбор “успешной” реакции в основной части установки давит события с pileup и, тем самым, влияет на эффекты pileup в пучковой части. Для противодействия этому вводится обрезание $t_{before} > 228$ нс и $t_{after} > 130$ нс



Доля частиц в пучке

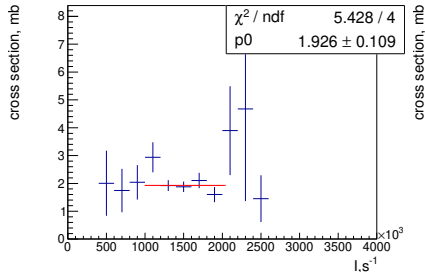
| Сеанс | π | K |
|-------|----------------------|-----------------------|
| run44 | $(98.23 \pm 0.03)\%$ | $(1.608 \pm 0.006)\%$ |
| run45 | $(98.30 \pm 0.05)\%$ | $(1.626 \pm 0.008)\%$ |
| run47 | $(98.32 \pm 0.09)\%$ | $(1.625 \pm 0.012)\%$ |
| run48 | $(98.11 \pm 0.07)\%$ | $(1.637 \pm 0.010)\%$ |

| Сеанс | \bar{p} | unknown |
|-------|---------------------|----------------------|
| run44 | $(0.24 \pm 0.01)\%$ | $(-0.08 \pm 0.03)\%$ |
| run45 | $(0.24 \pm 0.02)\%$ | $(-0.16 \pm 0.04)\%$ |
| run47 | $(0.19 \pm 0.07)\%$ | $(-0.13 \pm 0.07)\%$ |
| run48 | $(0.32 \pm 0.06)\%$ | $(-0.07 \pm 0.04)\%$ |

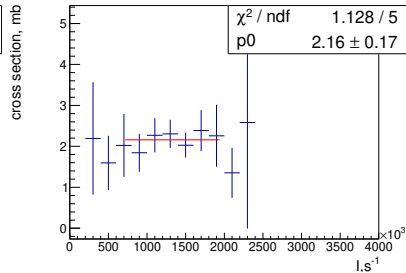
$\pi^- Be \rightarrow X^+ X^- X^- Be$: сечение

Адекватность описания зависимости сечения от интенсивности проверяется фитом константой. Пределы фита берутся равными квантилям $Q(0.05)$ и $Q(0.95)$ распределения по интенсивности событий с реконструированным пучком в триггере BEAM.

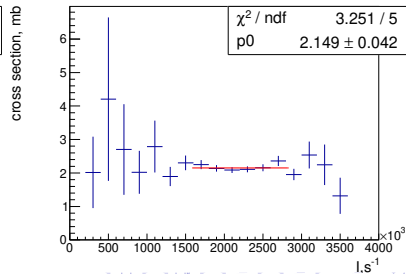
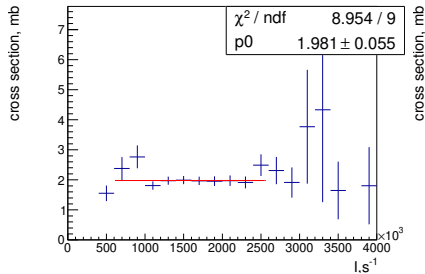
Сама величина сечения извлекается из отношения побинных сумм числителя и знаменателя в формуле метода. Бины, входящие в суммы, определяются теми же условиями, что и пределы фита.



(a) run44



(b) run45



$\pi^- Be \rightarrow X^+ X^- X^- Be$: сечение

Найдём сечение реакции $\pi^- Be \rightarrow X^+ X^- X^- Be$ при $t' < 0.02 \text{ ГэВ}^2/c^2$ пользуясь каонным методом в триггере *MWG*. Сечения получаютя посеансово, последующий метод взвешенного среднего даёт $\chi^2/ndf = 3.4/3$. Объединяя результаты по сеансам получаем полную относительную ошибку 4.4%.

$$\sigma_{\pi^- Be \rightarrow X^+ X^- X^- Be} = (2.09 \pm 0.04(stat.) \pm 0.08(sys.)) \text{ мБн} \quad (10)$$

$K^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^-$: брэнчінг

Дополнительно посмотрим на брэнчінг $K^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^-$, чтобы проверить согласованность методов. Найдём методом прямого подсчёта по событиям из триггера *MWG*. Брэнчінг получают по сеансово, последующий метод взвешенного среднего даёт $\chi^2/ndf = 5/3$. Объединяя результаты по сеансам получаем полную относительную ошибку 8%. Для сравнения в PDG: $(5.583 \pm 0.024)\%$

$$Br(K^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^-) = (5.9 \pm 0.2(stat.) \pm 0.5(sys.))\% \quad (11)$$

Метод опорной реакции

Используя экспериментально или теоретически известное сечение одной реакции можно найти интегральную светимость в том или ином триггере. Воспользуемся формулой числа наблюдаемых событий, записанной для двух реакций, обозначенных индексами 1 и 2. Возьмём отношение и сократим одинаковые члены.

$$\frac{N_{obs}^{(1)}}{N_{obs}^{(2)}} = \frac{P(1)P(sys^{(1)}.rec|beam \cap (1))P(trig|sys^{(1)}.rec \cap beam \cap (1))}{P(2)P(sys^{(2)}.rec|beam \cap (2))P(trig|sys^{(2)}.rec \cap beam \cap (2))} \quad (12)$$

Переходя к сечениям и приводя выражение к виду известной формулы $N = \sigma \mathcal{L}$, связывающей число событий, сечение и интегральную светимость, получаем:

$$N_{obs}^{(1)} = \sigma_1 \frac{N_{obs}^{(2)} P(sys^{(1)}.rec|beam \cap (1)) P(trig|sys^{(1)}.rec \cap beam \cap (1))}{\sigma_2 P(sys^{(2)}.rec|beam \cap (2)) P(trig|sys^{(2)}.rec \cap beam \cap (2))} \quad (13)$$

Выделим всю информацию о второй (референсной) реакции в отдельную величину

$$L(I) = \frac{N_{obs}^{(2)}}{\sigma_2 P(sys^{(2)}.rec|beam \cap (2)) P(trig|sys^{(2)}.rec \cap beam \cap (2))} \quad (14)$$

Отметим, что эта величина зависит от выбранного триггера. Вставим эту величину в формулу с предыдущего слайда.

$$N_{obs}^{(1)} = \sigma_1 L(I) P(sys^{(1)}.rec|beam \cap (1)) P(trig|sys^{(1)}.rec \cap beam \cap (1)) \quad (15)$$

Эта величина имеет смысл интегральной светимости, поправленной на эффективность реконструкции пучка и мёртвое время установки. Получив эту величину, можно применять её универсальным образом для нахождения сечения реакций.

Воспользуемся ранее определённым сечением реакции $\pi^- Be \rightarrow X^+ X^- X^- Be$ при $t' < 0.02 \text{ ГэВ}^2/c^2$ полученным в триггере *BEAM* для определения $L(I)$ в триггере *MAIN*.

В таблице приведена сумма интегральной светимости для интенсивности $I \in [6, 40] \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$

| run | $L, \text{ нБн}^{-1}$ |
|-------|-----------------------|
| 44 | 26.2 ± 2.1 |
| 45 | 13.5 ± 1.1 |
| 47 | 7.7 ± 0.6 |
| 48 | 16.9 ± 1.3 |
| total | 42.9 ± 2.9 |

$\pi^- e^-$: сечение

Воспользуемся этим методом для нахождения сечения реакции $\pi^- e^- \rightarrow \pi^- e^-$ для энергии вылетающих электронов $E_e > 0.3$ ГэВ. Здесь систематическая ошибка была получена из ошибок светимости, опорного сечения (6) и акцептанса системы, тогда как статистическая ошибка содержит в себе только пуассоновскую ошибку полного числа событий $\pi^- e^-$ по всем сеансам.

$$\sigma_{\pi e} = (0.732 \pm 0.002(stat.) \pm 0.051(sys.)) \text{ мБн} \quad (16)$$

Отметим, что из формул выше для упрощения изложения был исключён фактор отношения концентраций рассеивающих центров n_e/n . Это фактор введён из-за того, что тип частиц, с которыми происходит взаимодействие, отличаются для искомой и опорной реакций. В финальный ответ этот фактор входит.

Теоретическое значение:

$$\sigma_{\pi e}^{theory} = (0.773 \pm 0.002) \text{ мБн} \quad (17)$$

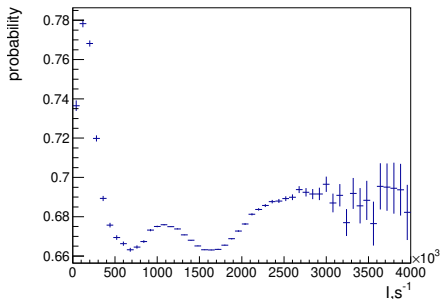
Элементы, которые хотелось бы подчеркнуть

- Наличие минимально возмущённого триггера *BEAM* позволяет использовать метод прямого подсчёта и анализировать работу других триггеров
- Интенсивность пучка и связанные с этим эффекты pile-up вносят заметный вклад в выход событий и могут быть смоделированы с помощью сэмплов с триггером асинхронным с пучком.
- Для использования метода по потоку каонов истинный состав пучка должен быть определён с учётом особенностей системы идентификации
- Метод по потоку каонов и метод опорной реакции являются предпочтительными, ибо могут приводить к сокращению неучтённой систематики.

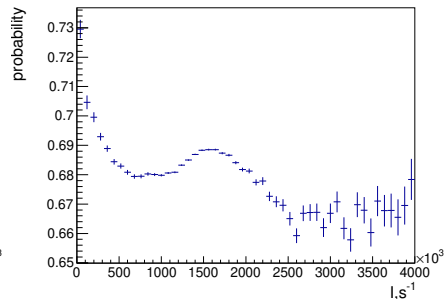
Спасибо за внимание.

Систематика $\pi^- Be \rightarrow X^+ X^- X^- Be$

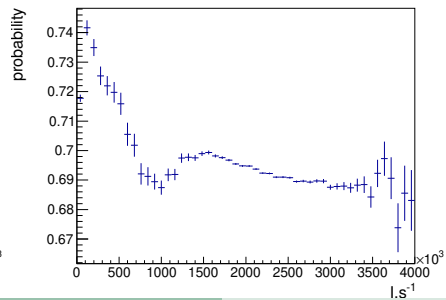
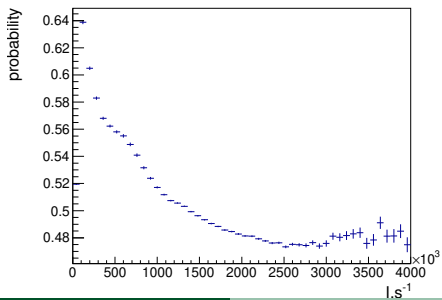
| Источник | Вклад, % |
|-------------------------|----------|
| Шум калориметра | 0.6 |
| Восстановление вершины | 1.5 |
| Герметичность установки | 1.0 |
| Неэсклюзивность | 1.2 |



(a) run44



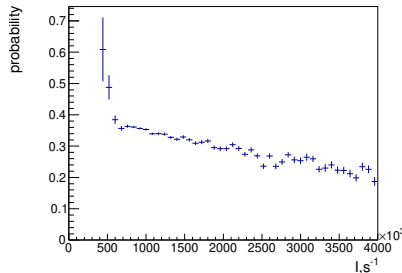
(b) run45



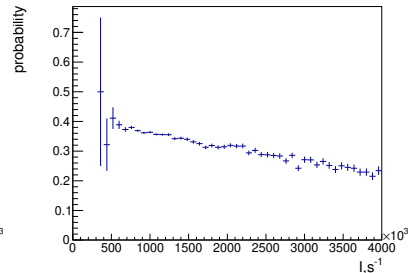
$K^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^-$: аксептанс

Под аксептансом подразумевается величина $P(\text{kaon.rec}|\text{beam} \cap \text{kaon})$, вычисляемая как число событий, прошедших отборы, делить на число событий с успешно реконструированным пучком.

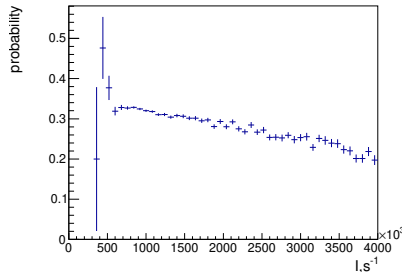
Зависимость аксептанса от интенсивности I представлена на рисунках справа.



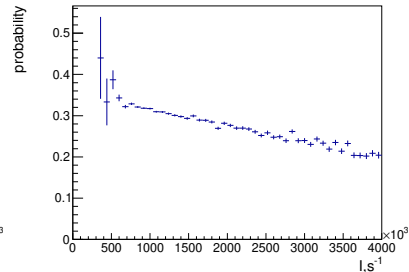
(a) run44



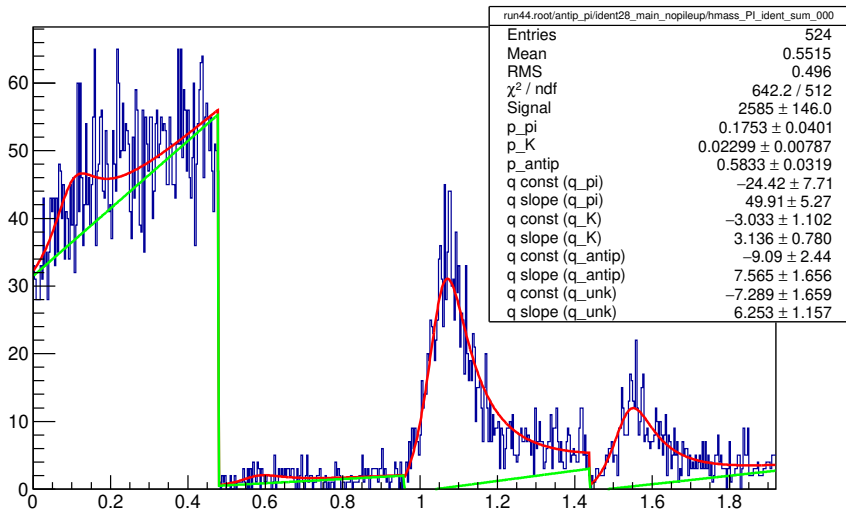
(b) run45



(c) run47



(d) run48

Особенности извлечения ошибок идентификации \bar{p} 

Состав пучка

тип48 (используются SADC в черенковских счётчиках)

$$\begin{pmatrix} 0.983 & 0.003 & 0.134 & 0 \\ 0.0002 & 0.944 & 0.015 & 0 \\ 0.008 & 0.018 & 0.811 & 0 \\ 0.008 & 0.034 & 0.040 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.981 \\ 0.0164 \\ 0.0032 \\ -0.0006 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.965 \\ 0.0157 \\ 0.0109 \\ 0.0083 \end{pmatrix}$$

тип44 (используются IADC в черенковских счётчиках)

$$\begin{pmatrix} 0.992 & 0.198 & 0.175 & 0 \\ 0.00005 & 0.709 & 0.023 & 0 \\ 0.00002 & 0.002 & 0.583 & 0 \\ 0.008 & 0.091 & 0.218 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.982 \\ 0.016 \\ 0.0024 \\ -0.0008 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9777 \\ 0.0115 \\ 0.0014 \\ 0.0093 \end{pmatrix}$$

$\pi^- e^-$: метод

Воспользуемся этим методом для нахождения сечения реакции $\pi^- e^- \rightarrow \pi^- e^-$ для энергии вылетающих электронов $E_e > 0.3$ ГэВ. Сделаем предположение о зависимостях акцептансных величин от интенсивности.

$$P(sys^{(1)}.rec|beam \cap (1)) = AI + B$$

$$P(MAIN|sys^{(1)}.rec \cap beam \cap (1)) = C$$

Используя это получаем

$$N_{obs}^{(1)} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} C \int L(I)(AI + B)dI = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} C(AL_1 + BL_0) \quad (18)$$

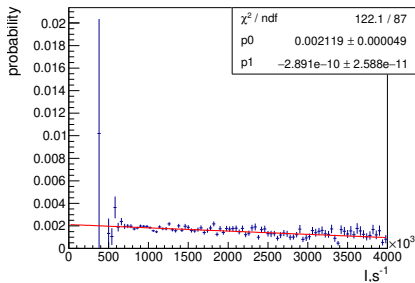
Как можно видеть, для линейной функции получается точное выражение, использующее только нулевой и первый моменты распределения $L(I)$. Отметим, что для объединения результатов разных сеансов с разными акцептансами достаточно просто сложить светимости, поправленные на акцептанс

$$L_{acc} = C(AL_1 + BL_0)$$

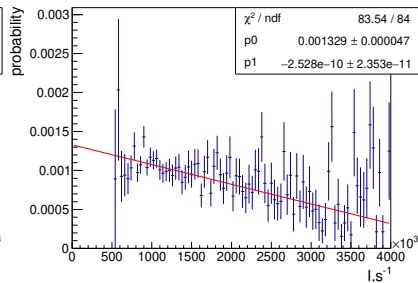
Моменты

В таблице приведены найденные моменты и их матрица ковариации для реакции $\pi^- Be \rightarrow X^+ X^- X^- Be$ при $t' < 0.02 \text{ ГэВ}^2/c^2$ в триггере *MAIN*. Обрезание по пучку стандартное. Обрезание по интенсивности $I \in [6, 40] \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$

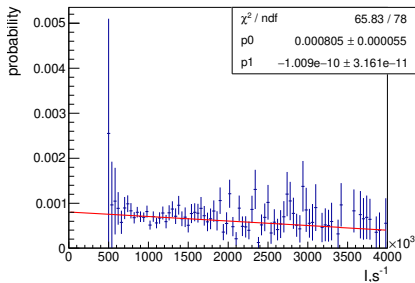
| run | $L_0, 10^7$ | $L_1, 10^{13}\text{с}^{-1}$ | $Var(L_0), 10^{10}$ | $Var(L_1), 10^{22}\text{с}^{-2}$ | $Cov(L_0, L_1), 10^{16}\text{с}^{-1}$ |
|-----|-------------|-----------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 44 | 5.948 | 8.886 | 1.715 | 4.530 | 2.710 |
| 45 | 3.156 | 4.412 | 1.028 | 2.682 | 1.580 |
| 47 | 1.342 | 2.276 | 0.624 | 2.319 | 1.145 |
| 48 | 3.277 | 7.253 | 1.746 | 9.002 | 3.909 |



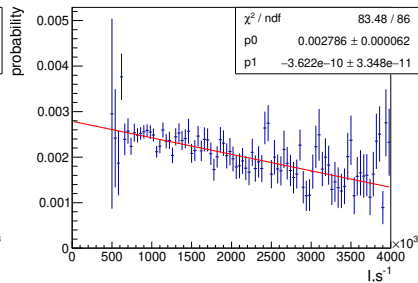
(a) run44



(b) run45



(c) run47



(d) run48