

С346

С-759

В.С.Ставинский

1302

ПОЛНЫЕ СЕЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
 K^+ -МЕЗОНОВ С ПРОТОНАМИ
В ИНТЕРВАЛЕ ИМПУЛЬСОВ
от 2,69 до 4,75 БЭВ/С

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -
кандидат физико-математических наук

А.Л. Любимов

Дубна 1963

В.С.Ставинский

1302

С 346

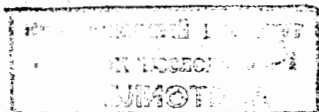
С - 759

ПОЛНЫЕ СЕЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
K⁺-МЕЗОНОВ С ПРОТОНАМИ
В ИНТЕРВАЛЕ ИМПУЛЬСОВ
от 2,69 до 4,75 БЭВ/С

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -
кандидат физико-математических наук

А.Л. Любимов



В диссертации описаны измерения полных сечений взаимодействия K^+ -мезонов с протонами в области импульсов 2,69-4,75 Бэв/с. Работа выполнена на синхротроне Лаборатории высоких энергий методикой сцинтилляционных и газовых черенковских счетчиков.

В естественных, несепарированных, пучках частиц на ускорителях K -мезоны составляют малую долю ($\approx 1\%$). Поэтому изучение свойств K -мезонов связано с задачей выделения K -мезонов на большом фоне π -мезонов и протонов. В настоящей работе регистрация K^+ -мезонов осуществлялась газовыми черенковскими счетчиками.

К моменту начала работы над диссертацией имелись экспериментальные данные по взаимодействию K^+ -мезонов с протонами до импульса 2,5 Бэв/с^{1/1}. Эти эксперименты указывали на то, что сечение взаимодействия K^+ -мезонов с протонами уменьшалось с увеличением энергии K -мезонов, составляя при импульсе 2,5 Бэв/с около 30% от величины полного сечения взаимодействия π -мезонов при том же импульсе. В этой связи было очень важно измерить полные сечения взаимодействия K -мезонов с протонами при импульсах больше 2,5 Бэв/с.

Диссертация состоит из четырех глав.

В первой главе кратко изложены методы анализа экспериментальных данных по полным сечениям взаимодействия. Здесь рассмотрены квазиклассический подход к анализу взаимодействия частиц при высоких энергиях, предельные теоремы И.Я.Померанчука, основанные на дисперсионных соотношениях, и асимптотические зависимости полных сечений взаимодействия, определяемые движущимися полюсами Редже в комплексной плоскости моментов количества движения.

Во второй главе описана аппаратура и регистрация K -мезонов газовыми черенковскими счетчиками.

Общая схема эксперимента изображена на рис. 1. Пучок ускоренных протонов сворачивался на одну из мишеней $-T_1$, или T_2 . В результате неупругих взаимодействий протонов с ядрами мишени рождались вторичные частицы (K -мезоны, π -мезоны) различного импульса. Магнитное поле ускорителя отбирает на заданном направлении частицы определенного импульса. Меняя величину магнитного поля ускорителя, можно менять энергию частиц, проходящих через экспериментальную установку.

Фокусировка частиц осуществлялась магнитным полем ускорителя (по горизонтали) и квадрупольными линзами Q (по вертикали).

Относительный импульсный разброс частиц, зарегистрированных сцинтилляционными счетчиками S_1 и S_2 , не превышал $\approx 2\%$.

Состав пучка был определен газовыми черенковскими счетчиками и, например при импульсе частиц 4,75 Бэв/с, оказался следующим: π^+ и μ^+ -мезонов и позитронов 27%, протонов $\approx 71\%$, K^+ -мезонов $\approx 2\%$.

Регистрация K^+ -мезонов в пучке осуществлялась двумя газовыми черенковскими счетчиками Y_1 и Y_2 . Пороговый газовый счетчик П регистрировал с эффективностью 98,5% π -мезоны и включался на антисовпадение со счетчиками Y_1 и Y_2 для уменьшения присчетов, обусловленных π -мезонами, мюонами и позитронами.

Выделение K^+ -мезонов основано на том, что частицы разных масс (m_i) но одного импульса дают свечение Вавилова-Черенкова под разными углами к траектории частицы θ_i , так как имеют разные скорости $v_i = \beta_i c$. Угол свечения Вавилова-Черенкова связан со скоростью частицы соотношением:

$$\cos \theta_i = \frac{1}{n\beta}$$

где n - показатель преломления среды, β_i - скорость частицы.

Черенковский счетчик, оптическая система которого чувствительна к свету, испускаемому в интервале углов $\theta \pm \theta + d\theta$, регистрирует частицы, скорость которых лежит в некотором интервале $\beta \pm \beta + d\beta$.

На рис. 2 показана эффективность двух включенных на совпадение газовых угловых счетчиков в зависимости от давления этилена, снятая в пучке положительно заряженных частиц с импульсом 4,75 Бэв/с. При малых давлениях газа виден "пик" π -мезонов, в интервале давлений 9-12 атмосфер счетчики регистрируют K -мезоны, и при больших давлениях регистрируются протоны. Пунктирная кривая дает расчетную эффективность регистрации частиц через δ -электроны, в основном обуславливающие фон счетчиков.

В третьей главе диссертации описаны экспериментальный метод и результаты измерений по полным сечениям взаимодействия K^+ -мезонов с протонами.

Полные сечения взаимодействия K^+ -мезонов с протонами определялись по степени ослабления пучка водородом вакуумной мишени (H_2 , рис. 1) длиной 168 см. Ослабление первичного пучка K -мезонов измерялось счетчиками S_3 , S_4 и S_5 , охватывающими из центра мишени телесные углы 3,85, 2,05 и 1,53 миллистерадиана, соответственно. Полное сечение взаимодействия K^+ -мезонов находилось путем линейной экстраполяции экспериментальных данных в нулевой телесный угол.

Во втором параграфе третьей главы диссертации рассмотрены поправки и возможные систематические ошибки в определении полного сечения взаимодействия. Эти поправки следующие.

1. Поправка на рассеяние в малые углы.
2. Поправка на электромагнитное рассеяние.
3. Поправка на распад K^+ -мезонов.
4. Поправка, обусловленная неидентичностью "макета" и стенок контейнера мишени.

Суммарная величина поправок составляет 5% - 10% от полного сечения взаимодействия K^+ -мезонов с протонами.

В качестве возможной систематической ошибки рассмотрено влияние неконтролируемых в процессе набора статистики присчетов угловыми черенковскими счетчиками протонов и K^+ -мезонов. Показано, что максимальное завышение величины полного сечения, обусловленное возможными присчетами, меняется в интервале импульсов K^+ -мезонов 2,69-4,75 Бэв/с от 0,5 до 0,16 мб.

В таблице 1 приведены значения полных сечений взаимодействия K^+ -мезонов с протонами в зависимости от импульса K^+ -мезонов, полученные в настоящей работе.

Т а б л и ц а 1

p (Бэв)	2,69	3,14	3,46	3,70	4,36	4,75
$\sigma_t(K^+p)$ мб	$17,8 \pm 1,1$	$16,5 \pm 0,67$	$15,0 \pm 0,81$	$17,5 \pm 0,9$	$17,8 \pm 0,64$	$19,7 \pm 0,8$

На рис. 3 приведены экспериментальные данные разных работ по полным сечениям взаимодействия положительных и отрицательных K^+ -мезонов с протонами. В области импульсов меньше 2,5 Бэв/с имеется две работы по измерению полного сечения $\sigma_t(K^+p)$, выполненные в США (♦ /2/, + /-1/). Эти измерения указывают на существование максимума в полном сечении $\sigma_t(K^+p)$ при импульсе $\approx 1,2$ Бэв/с и на медленный спад сечения с ростом энергии. При импульсах, больших 2,5 Бэв/с, имеются экспериментальные данные по $\sigma_t(K^+p)$ также двух работ. Одна из них (x 3) выполнена группой CERN, другая - данные настоящей работы (♦). Из рисунка видно, что эти данные находятся в сильном противоречии друг с другом. Противоречие наблюдается не только в абсолютной величине сечения (разность сечений при импульсе $\approx 3,5$ Бэв/с равна $7 \pm 2,1$ мб), но и в характере зависимости сечения от энергии. Если данные группы CERN указывают на уменьшение сечения с ростом энергии, то данные настоящей работы свидетельствуют о том, что полные сечения $\sigma_t(K^+p)$ не убывают с ростом энергии. Следует также отметить небольшое расхождение в экспериментальных данных и при малых энергиях работ /2/ и /1/. По-видимому, такие расхождения связаны с большими экспериментальными трудностями, вызванными

тем, что K^- -мезоны составляют малую долю в пучках. В этом случае могут возникать систематические ошибки, связанные с пристрастием к K^- -мезонам протонов, π^- -мезонов и μ^- -мезонов.

Из рис. 3 видно, что данные настоящей работы в области малых энергий хорошо согласуются с данными работы ^{12/}.

Для иллюстрации на этом же рисунке приведены данные по полным сечениям взаимодействия K^- -мезонов с протонами (рис. 4). Из рисунка видно, что с увеличением энергии полные сечения отрицательных K^- -мезонов уменьшаются, тогда как полные сечения положительных K^+ -мезонов, по-видимому, возрастают.

В четвертой главе диссертации приводится анализ экспериментальных данных.

Анализ экспериментальных данных с точки зрения полюсов Редже проведен в следующих предположениях. Согласно соотношениям, полученным Удгаонкаром ^{15/}, зависимость полного сечения взаимодействия K^+ -мезонов с протонами от энергии имеет вид:

$$\sigma_t(K^+p) = f + h\gamma^{a_{\Lambda BC}(0)-1} + g\gamma^{a_\rho(0)-1} e\gamma^{a_\omega(0)-1},$$

где $\gamma = E/mc^2$ - полная энергия K^- -мезона в лабораторной системе координат, выраженная в массе покоя K^- -мезона;

f, h, e, g - константы, характеризующие величины вычетов при равной нулю передаче импульса ($t = 0$);

$a_{\Lambda BC}(0), a_\omega(0), a_\rho(0)$ значения соответствующих траекторий Редже при $t = 0$.

Величины $a_{\Lambda BC}(0), a_\omega(0), a_\rho(0)$ были найдены из анализа экспериментальных данных по зависимости от энергии полных сечений взаимодействия π^- -мезонов, протонов и антипротонов. Оказалось, что

$$a_\omega(0) = a_\rho(0) = 0.37 \pm 0.1, \\ a_{\Lambda BC}(0) = -0.12 \pm 0.29.$$

Если использовать дополнительно экспериментальные данные по полным сечениям взаимодействия отрицательных K^- -мезонов с протонами, то получим следующие значения постоянных коэффициентов:

$$(g - e) = 13 \text{ mb}, \\ f = 18.8 \text{ mb}.$$

Постоянная f характеризует вклад в $\sigma_t(Kp)$ полюса Померанчука и равна величине полных сечений взаимодействия положительных и отрицательных K^- -мезонов с нуклонами при бесконечно больших энергиях. На рис. 4 приведены результаты анализа.

Краткие выводы

В диссертации рассмотрены вопросы регистрации частиц черенковскими газовыми счетчиками и измерение полных сечений взаимодействия K^+ -мезонов с протонами. Выводы первой методической части работы сводятся к следующему.

1. Конструкция использованного газового черенковского счетчика обеспечивает разрешение по скорости $\Delta\beta \approx 1,5 \cdot 10^{-3}$ в интервале скоростей $\beta = 0,955 - 0,998$.

2. Фоновый счет черенковских счетчиков в основном обусловлен регистрацией света электронов отдачи (δ - электронов), образуемых частицей в результате столкновений с атомами среды. Счет δ -электронов определяет чистоту регистрации частиц и существенен только при регистрации малых величин скоростей.

Из полученных экспериментальных данных по полным сечениям взаимодействия K^+ -мезонов с протонами следует.

1. Полное сечение взаимодействия K^+ -мезонов с протонами в интервале импульсов от 2,89 до 4,75 Бэв/с составляет 16-18 мб. На основании статистического анализа можно утверждать, что в этом интервале импульсов полное сечение $\sigma_t(K^+p)$ не убывает с ростом энергии K^+ -мезонов.

2. При энергиях K^- -мезонов, не превышающих ≈ 5 Бэв, полное сечение взаимодействия с протонами положительных K^- -мезонов меньше полного сечения взаимодействия отрицательных K^- -мезонов:

$$\sigma_t(K^+p) < \sigma_t(K^-p).$$

3. Анализ зависимости от энергии экспериментальных величин полных сечений взаимодействия, определяемой полюсами Редже, указывает на то, что полные сечения взаимодействия K^- -мезонов с нуклонами при бесконечно больших энергиях составляют ≈ 19 мб. Большая разница в полных сечениях взаимодействия с протонами отрицательных и положительных K^- -мезонов $\sigma_t(K^-p) - \sigma_t(K^+p) = \frac{1}{2}\sigma_t(K^+p)$ а также близость асимптотического значения полного сечения $\sigma_t^\infty(K^+p) = 19$ мб к экспериментально наблюдаемым величинам указывает на то, что в области импульсов 2,5-5,0 Бэв/с полное сечение должно описываться, как минимум, тремя полюсами Редже.

Основные результаты диссертации докладывались на Десятой и Одиннадцатой международных конференциях по физике высоких энергий и опубликованы в работах /6/, /7/, /8/, /9/.

Л и т е р а т у р а

1. H.C.Burrowes, D.O.Caldwell, D.H.Frisch, D.A.Hill, D.M.Ritson, R.A.Schluter. Phys. Letters, 2, N3 (1959).

2. V. Cook, D. Keefe, L. T. Kerth, P. G. Murphy, W. A. Wenzel and T. F. Zipf. Phys. Rev. Letters, 7, N5 (1961).
3. G. von Dardel, D. H. Frish, R. Mermod, R. H. Milburn, R. A. Pirone, M. Vivargent, G. Veber and K. Winter. Phys. Rev. Letters, 5, N7 (1960).
4. V. Cook, B. Cork, T. F. Hoang, L. T. Kerth, W. A. Wenzel and T. F. Zipf. Phys. Rev. 125, N1 (1961).
5. M. Udgaonkar. Phys. Rev. Letters, 8, N3 (1962).
6. M. F. Likchachev, A. L. Lyubimov, V. S. Stavinsky, Chzan Neai-sen. Proc. of an Intern. Conf. on Instrum. for High-Energy Physics. Berkeley 89, (1960).
7. А.С.Вовенко, Б.А.Кулаков, М.Ф.Лихачев, А.Л.Любимов, Ю.А.Савин, В.С.Ставинский. ПТЭ № 2 (1962).
8. М.Ф.Лихачев, В.С.Ставинский, Чжан Най-сень. ЖЭТФ, 41, вып. 1 (7), 39 (1961).
9. А.С.Вовенко, Б.А.Кулаков, М.Ф.Лихачев, А.Л.Любимов, Ю.А.Матуленко, И.А.Савин, Е.В.Смирнов, В.С.Ставинский, Сюй Юн-чан, Чжан Най-сень. Препринт ОИЯИ Д-721, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 мая 1983 г.

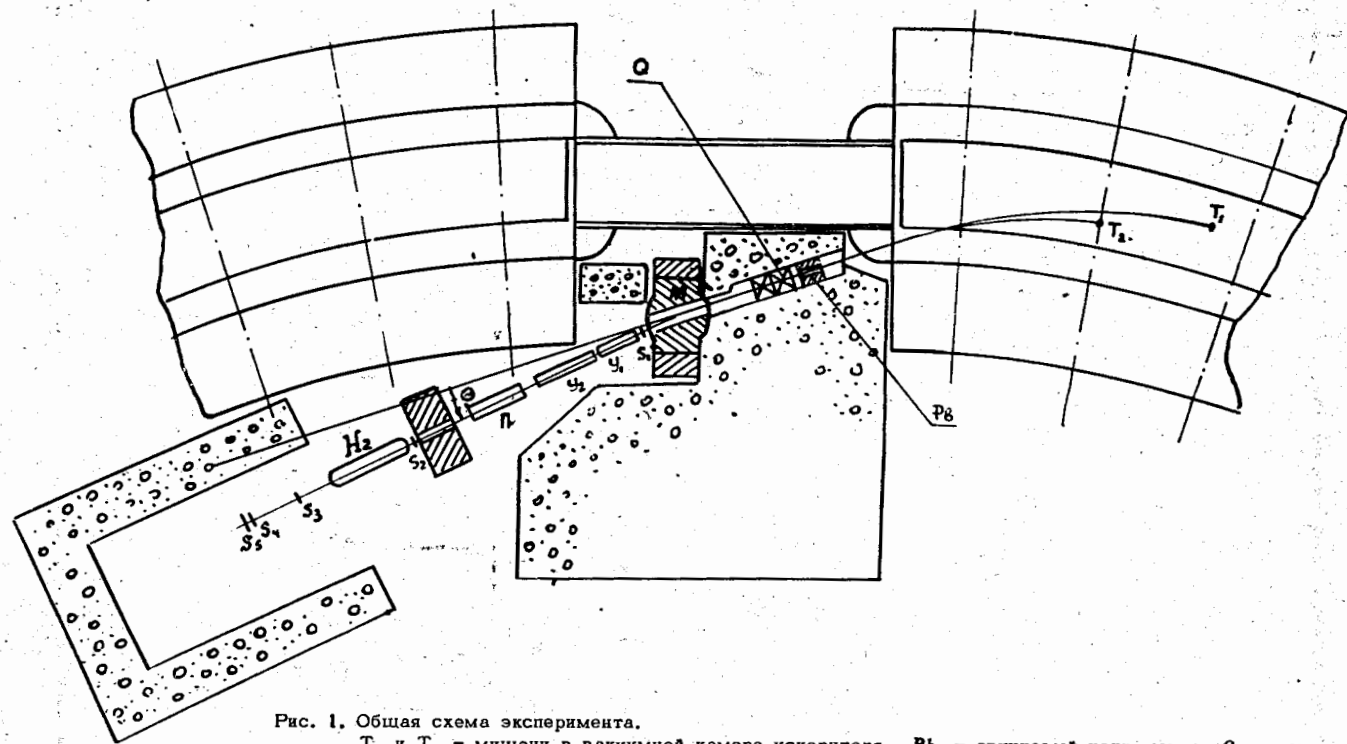


Рис. 1. Общая схема эксперимента.

T_1 и T_2 - мишени в вакуумной камере ускорителя, Pb - свинцовый коллиматор, Q - магнитные линзы, M - анализирующий магнит, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 - сцинтилляционные счетчики, $Y_1, Y_2, П$ - газовые черенковские счетчики, H_2 - вакуумная жидководородная мишень.

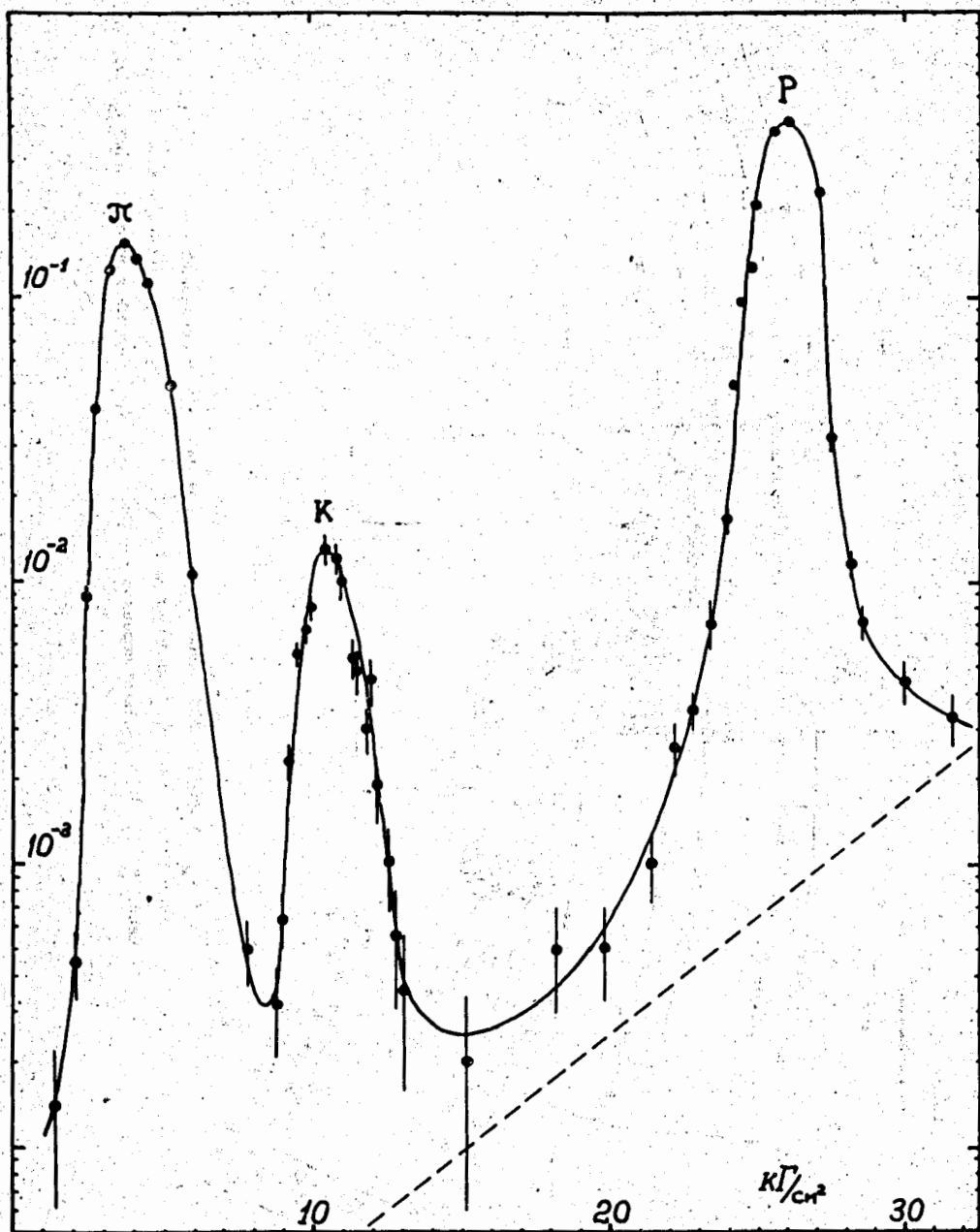


Рис. 2. Эффективность двух газовых черенковских счетчиков в зависимости от давления этилена к положительно заряженным частицам с импульсом 4,75 Бэв/с.

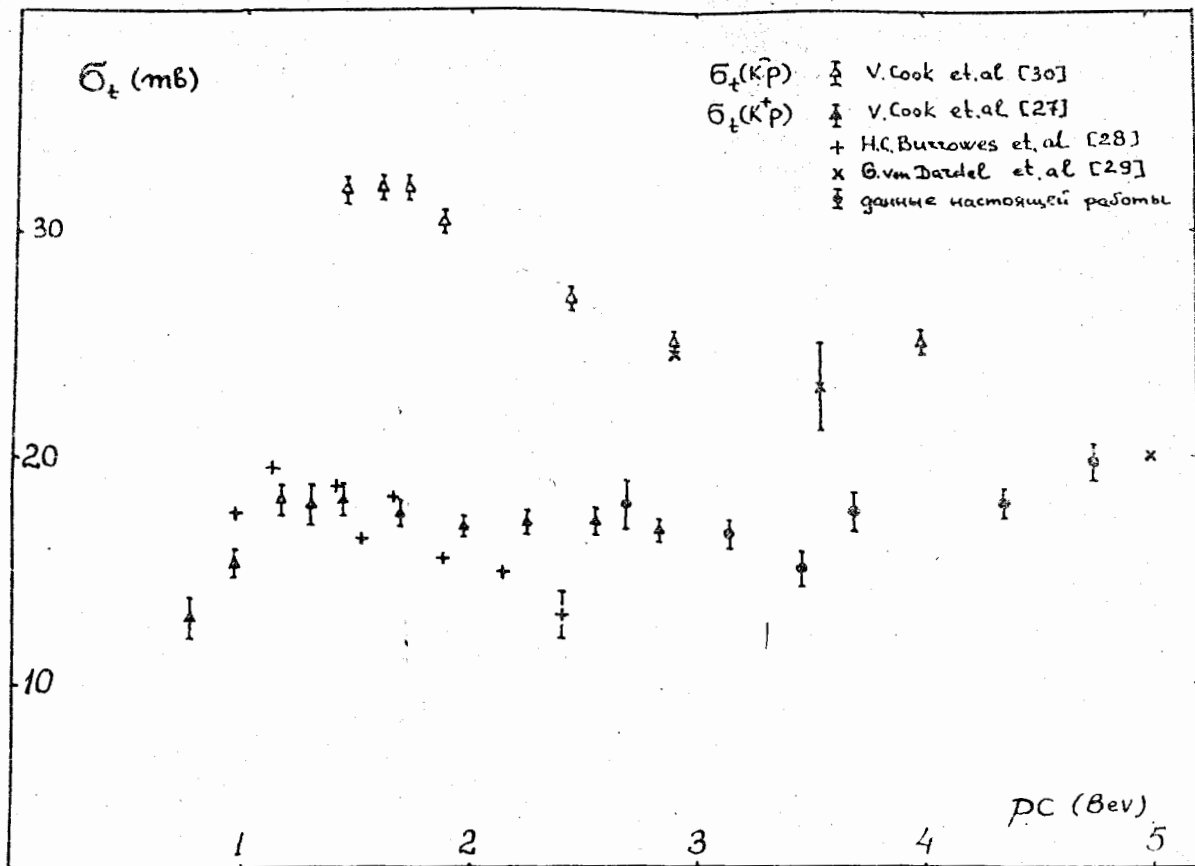


Рис. 3. Экспериментальные данные по полным сечениям взаимодействия K-мезонов с протонами.

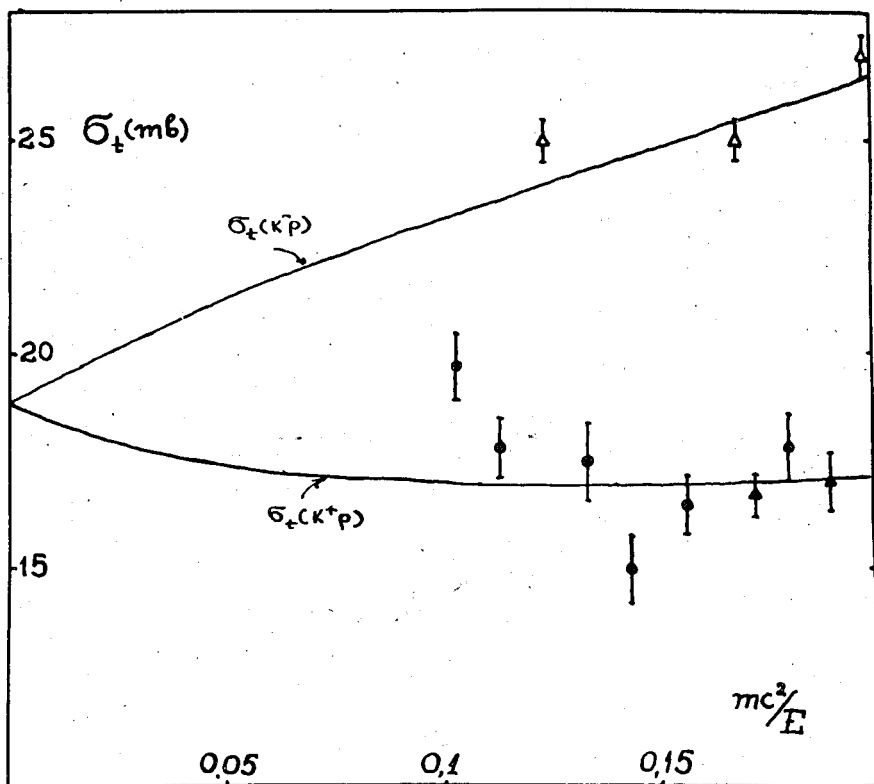


Рис. 4. Анализ экспериментальных данных по полным сечениям взаимодействия K-мезонов с протонами.