

**И Ф В Э
С Э Ф 72-28**

**Ю.Б.Бушнин, Ю.П.Горин, С.П.Денисов, С.В.Донсков, А.Ф.Дунайцев,
Р.Н.Краснокутский, Ю.В.Михайлов, А.И.Петрухин, Ю.Д.Прокошкин,
Е.А.Разуваев, Д.А.Стойнова, Р.С.Шувалов**

**ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ В ОБЛАСТИ ИМПУЛЬСОВ
ДО 65 ГЭВ/С ГОДОСКОПИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Серпухов 1972

Бушнин Ю.Б., Горин Ю.П., Денисов С.П., Донсков С.В., Дунайцев А.Ф.,
Краснокутский Р.Н., Михайлов Ю.В., Петрухин А.И.,
Прокошкин Ю.Д., Разуваев Е.Н., Стоянова Д.А., Шувалов Р.С.
Измерение полных сечений в области импульсов до 65 Гэв/с го-
доскопическим методом. Серпухов, 1972.

15 стр. (ИФВЭ СЭФ 72-28).

Библиогр. 12.

Измерены полные сечения взаимодействия протонов, пионов, каонов
и антипротонов с протонами и дейтронами в области импульсов до
65 Гэв/с при помощи годоскопической установки. Проведено прямое экспе-
риментальное сравнение двух методов определения полных сечений - го-
доскопического метода и метода пропускающих счетчиков - показавшее,
что они дают согласующиеся результаты.

Преприят Института физики высоких энергий.
Серпухов, 1972.

Bushnin Yu.B., Gorin Yu.P., Denisov S.P., Donskov S.V.,
Dunaitsev A.F., Krasnokutskiy R.N., Mikhailov Yu.V.,
Petrukhin A.I., Prokoshkin Yu.D., Razuvaev E.N.,
Stoyanova D.A., Shuvalov R.S.

The Total Cross-Section Measurement in the Momentum
Range upto 65 GeV/c by Hodoscope Method. Serpukhov, 1972.

15 p. (IHEP. 72-28).

Bibliogr. 12.

The total cross-sections for interactions of protons,
pions, kaons and antiprotons with protons and deuterons in the
momentum range upto 65 GeV/c are measured by a hodoscope instal-
lation. The direct experimental comparison of two methods for
determining total cross-sections (the hodoscope method and
transmission counter method) is carried out. ~~This experimental~~
comparison shows that these methods give compatible results.

Preprint. Institute of High Energy Physics.
Serpukhov, 1972.

**Ю.Б.Бушнин, Ю.П.Горин, С.П.Денисов, С.В.Донсков, А.Ф.Дунайцев,
Р.Н.Краснокутский, Ю.В.Михайлов, А.И.Петрухин, Ю.Д.Прокошкин,
Е.А.Разуваев, Д.А.Стойнова, Р.С.Шувалов**

**ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ В ОБЛАСТИ ИМПУЛЬСОВ
ДО 65 ГЭВ/С ГОДОСКОПИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

M-24

В исследованиях взаимодействия адронов при высоких энергиях используются в основном два метода определения полных сечений. В одном из них выбывание из пучка частиц, провзаимодействовавших с мишенью, измеряется в условиях "хорошей геометрии" при помощи расположенных за мишенью пропускающих счётчиков ^{/1-4/}. Каждый i -ый пропускающий счётчик регистрирует частицы, вылетающие из мишени в пределах определяемого этим счётчиком угла рассеяния θ_i , и позволяет измерить соответствующее этому углу парциальное сечение $\sigma(t_i)$ ^{/4/} (здесь $t_i = -P^2 \theta_i^2$ - максимальная величина квадрата переданного 4-импульса; P - импульс частицы). Полное сечение σ_{tot} находится путём экстраполяции полученных парциальных сечений к нулевому углу. Таким методом на ускорителе ИФВЭ были выполнены исследования энергетической зависимости полных сечений взаимодействия пионов, каонов, протонов, антипротонов и антидейтронов с протонами в области импульсов до 85 Гэв/с ^{/4-8/}.

Другой метод определения полных сечений заключается в измерении углового распределения частиц после мишени при помощи годоскопов ^{/9/}. Применение годоскопической установки позволяет достичь высокого углового разрешения и определить парциальные сечения при меньших углах

рассеяния, чем в случае пропускающих счётчиков. Тем самым уменьшается возможная погрешность, связанная с процедурой экстраполяции парциальных сечений.

В настоящей работе описываются измерения полных сечений в области импульсов $P \leq 65$ Гэв/с, выполненные на 70-Гэв ускорителе ИФВЭ при помощи годоскопической установки. Установка была связана в линию с ЭВМ Минск-22. Одновременно полные сечения измерялись при помощи пропускающих счётчиков^{/7/}. Это позволило провести непосредственное экспериментальное сравнение двух методов определения полных сечений и наряду с проверкой точности процедуры экстраполяции парциальных сечений выяснить влияние систематических погрешностей, присущих каждому из этих методов, на результаты измерений.

Схема эксперимента приведена на рис. 1. Пучок частиц, регистрировавшийся сцинтилляционными счётчиками $S_1 - S_3$, А и годоскопом H_1 , проходил через жидководородную или жидкодейтериевую мишень G ^{/7,10/}. Частицы заданного сорта выделялись в пучке дифференциальным и пороговым черенковскими счётчиками D, C ^{/11/}. Координаты частиц, вылетевших из мишени G , измерялись при помощи годоскопа H_2 . В конце установки располагались 1,5-метровые стальные поглотители и сцинтилляционные счётчики $S_{\mu 1}$ и $S_{\mu 2}$, которые применялись для измерения примеси мюонов^{/4,7/}.

Особенностью постановки описываемого опыта являлось использование пучка с высокой степенью параллельности^{/12/}. Угловая расходимость частиц в пучке, измеренная при помощи годоскопов H_1 и H_2 , составила менее 0,3 мрад (рис. 2). Это позволило измерять углы рассеяния частиц в мишени при помощи только двух годоскопов, что значительно упростило логическую структуру электроники и повысило скорость регистрации событий.

Годоскоп H_1 состоял из двух плоскостей (X и Y), каждая из которых содержала 28 ячеек размером 5 мм. Толщина сцинтиллятора по пучку была равна 5 мм. Годоскоп H_2 содержал 63 ячейки того же размера в каждой из плоскостей. Расстояние между годоскопом H_2 и мишенью G

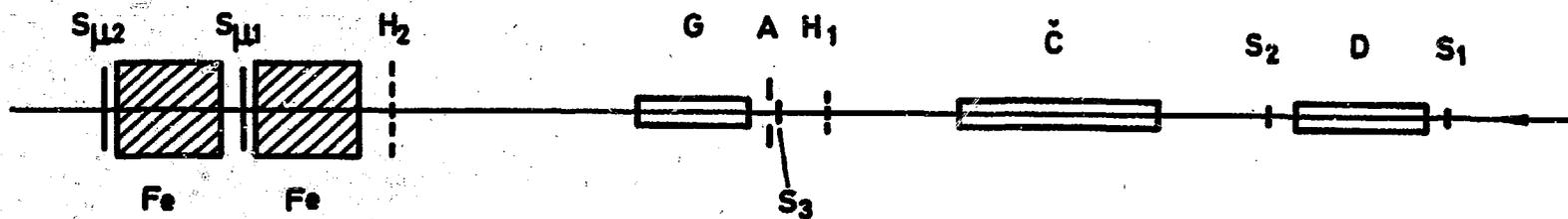


Рис. 1. Схема эксперимента (масштаб произвольный). $S_1 - S_3$ - сцинтилляционные счётчики, А - охран-
ный сцинтилляционный счётчик с отверстием в центре, D - дифференциальный черенковский счёт-
чик, Č - пороговый черенковский счётчик, H_1, H_2 - годоскопы, $S_{\mu 1}, S_{\mu 2}$ - сцинтилляционные
счётчики для регистрации мюонов, Fe - железный фильтр, G - 1,5-метровая жидководородная и
жидкодейтериевая мишень. Стрелкой показан параллельный пучок частиц.

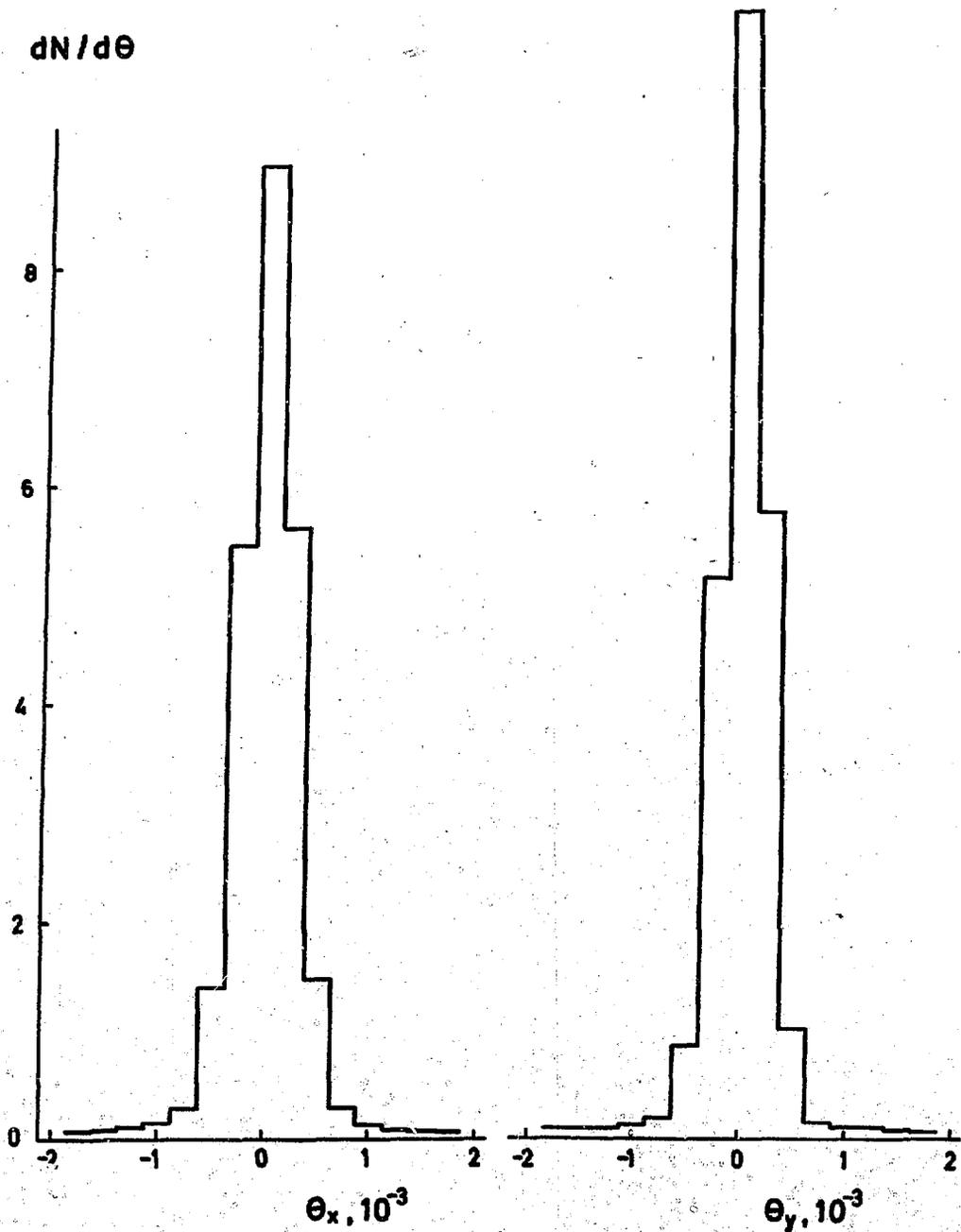


Рис. 2. Угловая расходимость частиц в пучке, измеренная годоскопами H_1 , H_2 при импульсе пионов $P = 60$ Гэв/с.

изменялось пропорционально импульсу частиц в пучке Р. Благодаря этому интервал значений t_1 , перекрываемый годоскопической установкой, оставался одинаковым при всех значениях импульса $(0,15(\text{Гэв}/\text{с})^2)$. Минимальное разрешение установки, определявшееся геометрией годоскопов и угловой расходимостью пучка, составляло $\Delta t_1 \approx 4 \cdot 10^{-4}(\text{Гэв}/\text{с})^2$ при $t_1 \approx 0$. С ростом $|t_1|$ величина Δt_1 возрастала ($\Delta t_1 = 0,05 \sqrt{|t_1|}$) до $0,01(\text{Гэв}/\text{с})^2$.

Электроника годоскопической установки была выполнена на интегральных схемах. Временная селекция осуществлялась стробированием импульсов ФЭУ. Это позволило исключить мертвое время электронных схем и получить эффективность регистрации частиц годоскопом H_2 более 99,98%. Годоскоп H_1 отбирал такие события, когда на мишень G падала одна частица. Если в любую из плоскостей H_2 попадало две или более частицы, то их координаты не передавались в ЭВМ. В измерениях сечений использовался специальный быстродействующий решающий блок, который позволял записывать в ЭВМ координаты только таких частиц, которые после взаимодействия в мишени отклонились на угол больше заданного ($|t_1| > 8 \cdot 10^{-4}(\text{Гэв}/\text{с})^2$). Применение этого блока позволило увеличить скорость регистрации событий в 5-8 раз и довести её до 30 тыс. за цикл работы ускорителя.

Измерения полных сечений состояли из серии опытов, в которых в пучок периодически помещались водородная, дейтериевая и "пустая" мишени ^{/4,7/}. В течение эксперимента непрерывно контролировались положение и параллельность пучка, уровень случайных совпадений, осуществлялся общий контроль работы установки.

Величины полных сечений σ_{tot} определялись путём экстраполяции измеренных зависимостей $\sigma(t_1)$ к $t_1 = 0$. Экстраполяция проводилась по формуле

$$\sigma(t_1) = \sigma_{\text{tot}} e^{at_1 + bt_1^2} \quad (1)$$

При экстраполяции учитывались небольшие поправки на кулоновское рассеяние и кулон-ядерную интерференцию ^{/7,8/}. Парциальные сечения, из-

меренные методом пропускающих счётчиков^{/4-8/}, хорошо описываются формулой (1) в области $|t_1| > 0,01(\text{Гэв/с})^2$. При меньших $|t_1|$ становится существенным вклад кулоновского рассеяния, приводящего к быстрому росту парциальных сечений с уменьшением $|t_1|$ ^{/4/}.

Парциальные сечения, измеренные в настоящей работе (см., например, рис. 3), также хорошо описываются формулой (1). При этом благодаря высокому разрешению годоскопической установки отклонение величин $\sigma(t_1)$ от зависимости (1) становится заметным лишь при $|t_1| \lesssim 0,005(\text{Гэв/с})^2$. Такое же минимальное значение $|t_1|$ было получено расчётным путём с использованием метода Монте-Карло.

Для проверки точности процедуры экстраполяции (1) было проведено сравнение полных сечений, полученных экстраполяцией измеренных парциальных сечений $\sigma(t_1)$ при различных значениях нижней границы интервала экстраполяции $|t_1|_{\min}$. Верхняя граница интервала экстраполяции была выбрана равной $0,07(\text{Гэв/с})^2$, как и в предыдущих работах^{/4-8/}. В табл. 1 приведены результаты измерений разностей между полными сечениями, соответствующими экстраполяциям с двумя значениями $|t_1|_{\min}$, равными $0,01(\text{Гэв/с})^2$ и $0,015(\text{Гэв/с})^2$. Используются данные о сечениях взаимодействия протонов и π^- -мезонов с протонами и дейтронами, статистическая точность определения которых была лучше 0,1%. В пределах указанных в таблице погрешностей разности сечений не зависят от импульса P в интервале $P = 10 + 65 \text{ Гэв/с}$. Из данных табл. 1 следует, что неточность процедуры экстраполяции сечений не превышает 0,2%, и она была правильно оценена в наших предыдущих работах^{/6-8/}.

Экстраполяция парциальных сечений к $t_1 = 0$ была проведена по формуле (1) как со свободными параметрами a и b , так и при $b = 0$. В последнем случае аппроксимирующие кривые хуже согласуются с экспериментальными зависимостями $\sigma(t_1)$, а величины полных сечений оказываются ниже, чем при свободном b (табл. 2). Это различие сечений увеличивается в 1,5 раза при переходе от $|t_1|_{\min} = 0,01(\text{Гэв/с})^2$ к $|t_1|_{\min} = 0,015(\text{Гэв/с})^2$. В пределах погрешностей измерений (табл. 2) оно не зависит от импульса P .

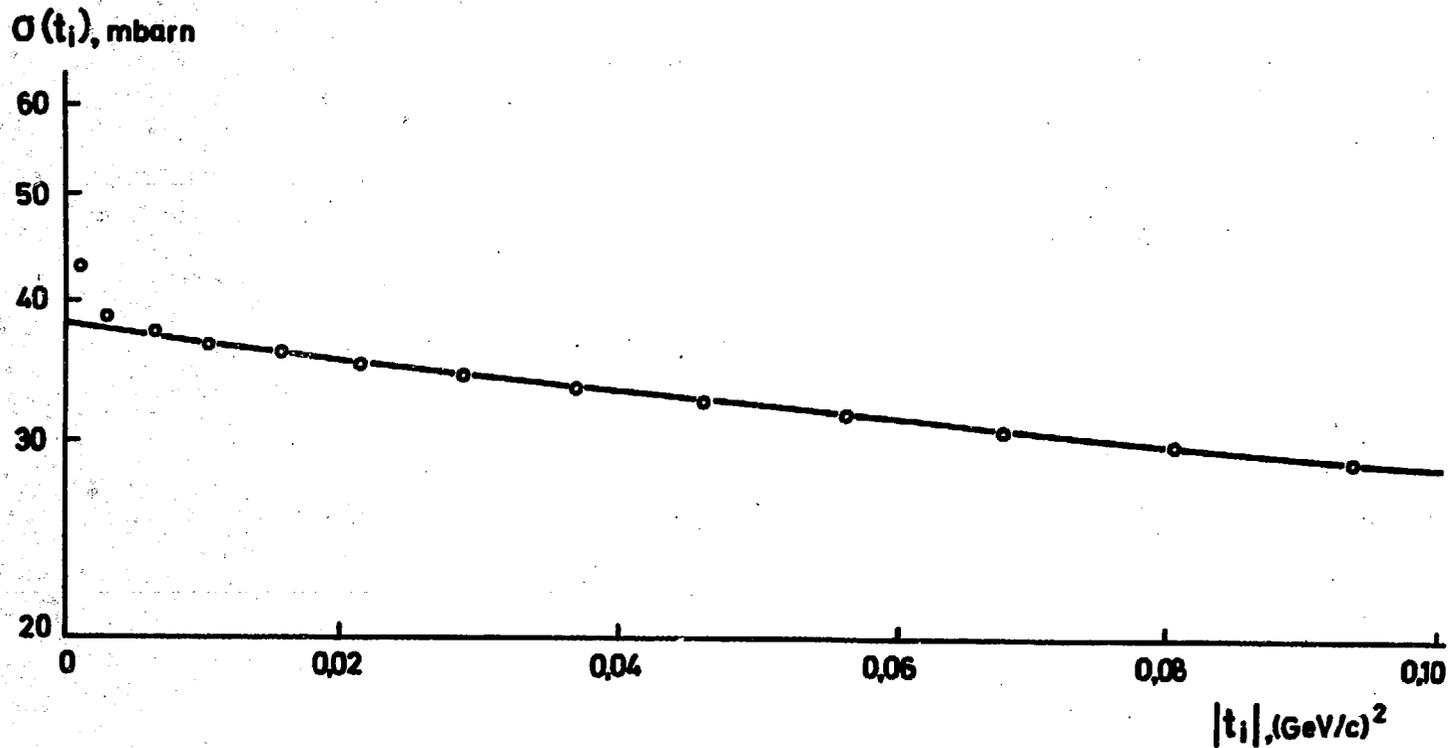


Рис. 3. Парциальные сечения pp -взаимодействий $\sigma(t_i)$, измеренные при импульсе $P = 30$ Гэв/с. Кривая-зависимость (1).

Т а б л и ц а 1

Взаимодействующие частицы	Различие полных сечений, экстраполированных при $ t_i _{\min} = 0,01 (\text{Гэв}/\text{с})^2$ и $ t_i _{\min} = 0,015 (\text{Гэв}/\text{с})^2$ (в %)
pp	$-0,1 \pm 0,05$
pd	$-0,1 \pm 0,05$
$\pi^- p$	$0,1 \pm 0,05$
$\pi^- d$	$0,1 \pm 0,05$

Т а б л и ц а 2

Взаимодействующие частицы	Различие полных сечений, экстраполированных по формуле (1) со свободными параметрами и при $b = 0$ (в %)	
	$ t_i _{\min} = 0,01 (\text{Гэв}/\text{с})^2$	$ t_i _{\min} = 0,015 (\text{Гэв}/\text{с})^2$
$\pi^- p$	$0,3 \pm 0,1$	$0,5 \pm 0,1$
$\pi^- d$	$0,5 \pm 0,1$	$0,9 \pm 0,2$
$K^- p$	$0,2 \pm 0,1$	$0,3 \pm 0,1$
$K^- d$	$0,4 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,1$
pp	$0,5 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,1$
pd	$0,9 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,1$
$\bar{p} p$	$0,9 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,3$
$\bar{p} d$	$1,2 \pm 0,2$	$1,7 \pm 0,3$

Величины полных сечений pp - и $p\bar{d}$ -взаимодействий, найденные экстраполяцией парциальных сечений (1), измеренных в интервале $0,008 + 0,01 \leq |t_i| \leq 0,07$ (Гэв/с)², приведены в табл. 3. Статистическая точность измерения сечений составляла $(0,3 + 0,4)\%$. Систематическая погрешность включала в себя неопределённость плотности мишени ($\approx 0,1\%$), неточность процедуры экстраполяции ($\approx 0,2\%$) и другие погрешности^{16,7/}, составляющие в сумме $\approx 0,3\%$. Поправка, учитывающая влияние вещества на пути пучка, была определена экспериментально для π^- -мезонов с импульсом $P = 40$ Гэв/с. Она оказалась равной $(0,1 \pm 0,1)\%$.

Чтобы выяснить, как влияет угловая расходимость частиц в пучке на измеряемые сечения, были проведены измерения, в которых параллельность пучка (рис. 1) была ухудшена путём изменения токов в квадрупольных линзах магнитооптического канала. Различие в полных сечениях $\sigma_{tot}(\pi^- p)$, полученное при увеличении минимального разрешения Δt_i (см. выше) от $4 \cdot 10^{-4}$ (Гэв/с)² до $2 \cdot 10^{-3}$ (Гэв/с)², составило $(0,06 \pm 0,12)\%$, а при увеличении до $5 \cdot 10^{-3}$ (Гэв/с)² — $(-0,16 \pm 0,25)\%$. Улучшение углового разрешения годоскопической установки за счёт увеличения расстояния между годоскопом H_2 и мишенью также не привело к заметному изменению сечения ($< 0,2\%$). Эта же поправка, определённая расчётным путём, оказалась меньше $0,1\%$.

Ряд других поправок, связанных с неточностью изготовления и установки годоскопов, был вычислен методом Монте-Карло с учётом реальной геометрии эксперимента (табл. 4). Последняя из приведенных в табл. 4 поправок была определена также и экспериментально на пучке π^- -мезонов с импульсом $P = 50$ Гэв/с. Она оказалась равной $(0 \pm 0,05)\%$.

Таблица 3 позволяет сравнить результаты измерений полных сечений годоскопическим методом с сечениями, полученными одновременно с теми же мишенями методом пропускающих счётчиков^{17/}. Среднее различие измеренных полных сечений $\sigma_{tot}(pp)$ в интервале $P = (20 + 65)$ Гэв/с составляет

Таблица 3

Полные сечения взаимодействия протонов
с протонами и дейтронами (в мбар)^{*)}

P, Гэв/с	Настоящая работа		Метод пропускающих счётчиков ^{/7/}	
	$\sigma_{tot}(pp)$	$\sigma_{tot}(pd)$	$\sigma_{tot}(pp)$	$\sigma_{tot}(pd)$
20	$38,85 \pm 0,15$	$74,66 \pm 0,25$	$39,06 \pm 0,12$	$74,48 \pm 0,22$
30	$38,55 \pm 0,15$	$74,28 \pm 0,25$	$38,59 \pm 0,12$	$73,85 \pm 0,22$
40	$38,85 \pm 0,15$	$74,00 \pm 0,30$	$38,50 \pm 0,12$	$73,60 \pm 0,22$
50	$38,42 \pm 0,15$	$73,60 \pm 0,25$	$38,46 \pm 0,12$	$73,43 \pm 0,22$
65	$38,65 \pm 0,18$	$73,52 \pm 0,30$	$38,44 \pm 0,12$ ^{**)}	$73,42 \pm 0,22$ ^{**)}
Системат. погреш- ность, %	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$

^{*)} В таблице приведены статистические погрешности.
^{**) P = 60 Гэв/с.}

Таблица 4

Поправки к полным сечениям, связанные с неточностью изготовления
и установки годоскопов (в %)

Неточность изготовления и установки элементов годоскопа (0,1 мм)	< 0,01
Конечный размер ячейки годоскопов (5 мм)	$-0,1 \pm 0,2$
Поворот H_2 относительно H_1 в плоскости X,Y (5 мрад)	$0,01 \pm 0,02$
Сдвиг H_2 относительно H_1 в плоскости X,Y (1 мм)	< 0,01

$(0,2 \pm 0,3)\%$, а $\sigma_{tot}(pd) = (0,3 \pm 0,2)\%$ (здесь ошибки показывают статистический разброс). Таким образом, прямое экспериментальное сравнение двух методов определения полных сечений показывает, что они согласуются в пределах статистических погрешностей.

Измерения полных сечений были выполнены также для π^- , K^- -мезонов и антипротонов. Однако в этом случае использовалась только годоскопическая установка, сравнение двух методов определения полных сечений не производилось, и основной целью измерений являлось исследование точности процедуры экстраполяции парциальных сечений. Полученные величины сечений представлены в табл. 5. Статистические погрешности в этих измерениях были больше, чем в опытах с протонами. Они определялись в основном флуктуациями скорости счёта частиц, связанными с временными нестабильностями пучка, и составляли $(0,5 - 0,8)\%$.

Среднее различие между приведенными в табл. 5 сечениями и величинами, определёнными ранее методом пропускающих счётчиков, составляет: для π^-p - и π^+p -сечений $-(0,7 \pm 0,5)\%$, $\pi^\pm d = (0,1 \pm 0,3)\%$, $K^-p = (0,3 \pm 0,4)\%$, $K^-d = (-0,2 \pm 0,4)\%$, $\bar{p}p = (0,4 \pm 0,7)\%$ и $\bar{p}d = (-1,5 \pm 0,8)\%$. Величины полных сечений $\pi^\pm p$ - и $p\bar{p}$ -взаимодействий, полученные годоскопическим методом в работах ^{/9/} и в настоящей работе, также хорошо согласуются.

Сравнение двух методов определения полных сечений показывает, что они свободны от заметных систематических погрешностей и оба могут быть использованы для точных $(0,5\%$ и лучше) измерений полных сечений. Годоскопический метод позволяет достичь меньших систематических погрешностей благодаря более точной экстраполяции парциальных сечений. В то же время метод пропускающих счётчиков обладает рядом достоинств при исследовании энергетической зависимости полных сечений. Результаты настоящей работы подтверждают сделанные ранее ^{/4-7/} выводы о поведении полных сечений в области импульсов $P > 20$ Гэв/с.

Т а б л и ц а 5

Результаты измерений полных сечений*)

P, Гэв/с	σ_{tot} , мбарн							
	π^-p	π^+p	K^-p	$\bar{p}p$	π^-d	π^+d	K^-d	$\bar{p}d$
10	$26,87 \pm 0,12$		$22,67 \pm 0,30$		$48,87 \pm 0,20$		$42,20 \pm 0,40$	
20		$23,74 \pm 0,15$				$47,20 \pm 0,25$		
21	$25,25 \pm 0,15$		$21,16 \pm 0,20$		$47,41 \pm 0,15$		$39,40 \pm 0,20$	
30	$24,80 \pm 0,20$		$20,57 \pm 0,18$	$45,4 \pm 0,4$	$46,25 \pm 0,15$		$38,87 \pm 0,20$	$85,3 \pm 0,6$
40	$24,50 \pm 0,15$		$20,62 \pm 0,15$		$45,75 \pm 0,20$		$38,78 \pm 0,20$	
50	$24,38 \pm 0,15$				$45,86 \pm 0,20$			
60	$24,40 \pm 0,15$				$45,80 \pm 0,20$			
Систе- матич. погреш- ность, %	$\pm 0,4$	$\pm 0,4$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,4$	$\pm 0,6$

*) В таблице приведены статистические погрешности.

Л и т е р а т у р а

1. A.Citron, W.Galbraith, T.F.Kycia et al. Phys. Rev., 144, 1101 (1966).
2. D.V.Bugg, D.C.Salter, G.H.Stafford et al. Phys. Rev., 146, 980, 1966.
3. W.Galbraith, E.W.Jenkins, T.F.Kycia et al.. Phys. Rev., 138B, 913, 1965.
4. Дж.В.Аллаби, Ю.Б.Бушнин, Ю.П.Горин и др. Препринт ИФВЭ 69-87, Серпухов, 1969; ЯФ, 12, 538, 1970; Phys. Lett., 30B, 500, 1969.
5. Ю.П.Горин, С.П.Денисов, С.В.Донсков и др. Препринт ИФВЭ 70-66, Серпухов, 1970; ЯФ, 14, 134, 1971; Phys. Lett., 34B, 167, 1971.
6. Л.М.Васильев, Ю.П.Горин, С.П.Денисов и др. Приглашённый доклад на XV Международной конференции по физике высоких энергий, Киев, 1970; препринт ИФВЭ 71-48, Серпухов, 1971; Phys. Lett., 36B, 528, 1971.
7. Ю.П.Горин, С.П.Денисов, С.В.Донсков и др. Препринт ИФВЭ 71-49, Серпухов, 1971; ЯФ, 14, 998, 1971; Phys. Lett. 36B, 415, 1971.
8. Ю.П.Горин, С.П.Денисов, С.В.Донсков и др. Препринт ИФВЭ 71-100, Серпухов, 1971.
9. K.J.Foley, R.S.Jones, S.J.Lindenbaum et al. Phys. Rev. Lett., 19, 330, 859, 1967.
10. Ю.П.Горин, С.П.Денисов, А.А.Митин и др. Препринт ИФВЭ 71-50, Серпухов, 1971.
11. Ю.П.Горин, С.П.Денисов, С.В.Донсков и др. Препринт ИФВЭ 70-48, Серпухов, 1970; ПТЭ, 2, 87, 1971; Nucl. Instr., 92, 77, 1971; препринт ИФВЭ 69-93, Серпухов, 1969; ПТЭ, 3, 117, 1970; Nucl. Instr., 85, 101, 1970.
12. И.А.Александров, М.И.Грачёв, К.И.Губриенко и др. Препринт ИФВЭ 69-36, Серпухов, 1969; Атомная энергия, 29, 29, 1970.

Рукопись поступила в издательскую группу
28 апреля 1972 года.



Цена 8 коп.

Издательская группа ИФЗ

Заказ 222. Тираж 290, 0,7 уч.-изд.л. Т-12617.

Редактор М.Л.Фоломешкина. Апрель 1972.