

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



Г-707

1/10/77

P1 - 10658

2936/2-77

О.Е.Горчаков, А.В.Купцов, Л.Л.Неменов

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ
ПУЧКОВ ($\pi - \mu$) -АТОМОВ
НА УСКОРИТЕЛЯХ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1977

P1 - 10658

О.Е.Горчаков, А.В.Купцов, Л.Л.Неменов

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ
ПУЧКОВ ($\pi - \mu$) -АТОМОВ
НА УСКОРИТЕЛЯХ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Направлено в ЯФ

Горчаков О.Е., Купцов А.В., Неменов Л.Л.

P1 - 10658

Оценка интенсивности пучков (π - μ) атомов на ускорителях
высоких энергий

Методом Монте-Карло рассчитаны интенсивности и энергетические спектры (π - μ) атомов, образующихся в процессе $K_L^0 \rightarrow A_{\pi\mu} + \bar{\nu}$, для циклических ускорителей с энергиями протонов 10, 30, 70, 400, 1000 ГэВ в интервале углов, под которыми установлен канал, - от 0° до 15° .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Gorchakov O. E., Kuptsov A. V.,
Nemenov L. L.

P1 - 10658

Estimation of the π - μ Atom Beam Intensities
at High-Energy Accelerators

By the Monte-Carlo method there were calculated the intensities and energy spectra of π - μ atoms, produced in the process $K_L^0 \rightarrow A_{\pi\mu} + \bar{\nu}$ for the cyclic accelerators with the proton energies of 10, 30, 70, 400 and 100 GeV in the channel angles range from 0° to 15° .

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

ВВЕДЕНИЕ

В работе /1/ был рассмотрен атомный распад K_L^0 -мезона

$$K_L^0 \rightarrow A_{\pi\mu} + \bar{\nu}, \quad (1)$$

где $A_{\pi\mu}$ - связанное состояние двух нестабильных частиц π и μ -мезонов, и рассчитана его вероятность как функция формфакторов. Отношение вероятности этого процесса к полной вероятности распада K_L^0 -мезона оказалось равным $\sim 10^{-7}$. В 1976 году Шварц и др. /2/ сообщили о наблюдении ~ 20 (π - μ)-атомов.

Исследование процесса (1) и характеристик $A_{\pi\mu}$ представляет интерес по двум причинам. Во-первых, вероятность (1) пропорциональна квадрату волновой функции $A_{\pi\mu}$ на малых расстояниях $|\psi(0)|^2$. Во-вторых, в работе /2/ указан способ измерения лэмбовского сдвига L между $2S$ - и $2P$ -уровнями атома, который также пропорционален $|\psi(0)|^2$. При хорошей точности измерения L возможно определение радиуса π -мезона r_π . Измерение L с погрешностью 0,1% позволяет определить r_π с 5%-ной точностью /3/.

В настоящей работе рассмотрена зависимость выхода $A_{\pi\mu}$ от энергии ускорителя, угла, под которым детектируются атомы, и условий эксперимента. В ранее опубликованных работах эти вопросы не обсуждались.

Атомы $A_{\pi\mu}$ можно выделить по регистрации π - и μ -мезонов, которые разваливаются при прохождении тонкого слоя вещества; π - и μ -мезоны при развале атома имеют одинаковую скорость и малый угол разлета. Основ-

ными элементами экспериментальной установки для регистрации процесса (1) являются: 1) мишень, на которую сбрасывается пучок протонов; 2) вакуумный канал, в котором распадаются вылетевшие из мишени K_L^0 -мезоны, имеющие сравнительно большое время жизни; 3) устанавливаемая в конце канала фольга для развала $A_{\pi\mu}$ и 4) магнитный спектрометр для регистрации продуктов развала атома.

В данной работе методом Монте-Карло рассчитаны интенсивности и энергетические спектры $A_{\pi\mu}$ для циклических ускорителей с энергиями протонов 10, 30, 70, 400 и 1000 ГэВ в интервале углов, под которым установлен канал, - от 0° до 15° . Расчеты проведены применительно к экспериментальной установке, схема которой изображена на рис. 1. Исследовались два варианта: а) без фильтра 4 (рис. 1) и б) при введенном фильтре. Длина канала при вычислениях бралась равной 50 м, а его сечение - $0,2 \times 0,2$ м².

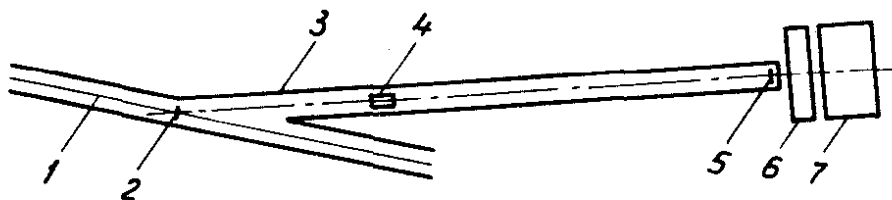


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для регистрации атомов. 1 - пучок протонов, 2 - мишень, 3 - вакуумный канал, 4 - фильтр, 5 - фольга для развала атомов, 6 - магнит, 7 - детекторы.

Для описания угловой и энергетической зависимости K_L^0 -мезонов, образующихся в p -ядерных соударениях, использовались соответствующие зависимости ^{/4/} в $(p-p)$ -взаимодействиях. Поглощением K_L^0 -мезонов в ядре пренебрегалось. Эффективный метод моделирования процесса (1) с учетом способа регистрации $A_{\pi\mu}$ изложен в работе ^{/5/}.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ КАНАЛА БЕЗ ФИЛЬТРА

Полученные данные об интенсивностях и импульсных спектрах $A_{\pi\mu}$ приведены на рис. 2-9.

На рис. 2 представлена зависимость числа мезонных атомов N_A , регистрируемых экспериментальной установкой, от угла $\theta_{л.с.}$ под которым установлен канал, для энергий ускоренных протонов 10,30, 70, 400 и 1000 ГэВ. Число $A_{\pi\mu}$ приведено в расчете на 10^{12} провзаимодействовавших протонов. Из рис. 2 видно, что различие в интенсивностях атомов для энергий протонов $E \geq 70$ ГэВ в интервале углов $2^\circ \leq \theta_{л.с.} \leq 15^\circ$ мало и лишь в области $\theta_{л.с.} < 2^\circ$ наблюдается расхождение. Из этого рисунка следует, например, что на ускорителе ИФВЭ за 100 часов работы можно регистрировать ~2400 атомов, если экспериментальную установку расположить под углом $\theta_{л.с.} = 5^\circ$ к пучку протонов.

На рис. 3 в относительных единицах приведено число регистрируемых $A_{\pi\mu}$ в зависимости от расстояния между мишенью и областью канала, в которой происходит распада K_L^0 -мезонов. Кривая 1 получена для энергии протонов $E = 70$ ГэВ и при угле $\theta_{л.с.} = 6^\circ$; она является характерной для всех энергий при $\theta_{л.с.} \geq 2^\circ$; кривая 2 - для энергии $E = 70$ ГэВ и $\theta_{л.с.} = 1,5^\circ$; кривая 3 - для $E = 1000$ ГэВ и $\theta_{л.с.} = 1,5^\circ$. Кривая 1 соответствует низкоэнергетичной части спектра K_L^0 -мезонов, кривые 2 и 3 - высокоэнергетичной их части.

Для выяснения зависимости интенсивности $A_{\pi\mu}$ от сечения канала были проведены расчеты для канала сечением $0,4 \times 0,4$ м². Интенсивность увеличилась примерно в 8-9 раз во всем интервале энергий и углов, за исключением области $E = 1000$ ГэВ и $\theta_{л.с.} \leq 1,5^\circ$, где интенсивность возросла в 4 раза. Таким образом, зависимость N_A от сечения S имеет вид $N_A \sim S^{3/2}$ ($\sim S$ при $E = 1000$ ГэВ и $\theta_{л.с.} \leq 1,5^\circ$).

На рис. 4-8 приведены импульсные спектры $A_{\pi\mu}$ для энергий протонов 10, 30, 70, 400 и 1000 ГэВ в расчете на 10^{12} провзаимодействовавших протонов.

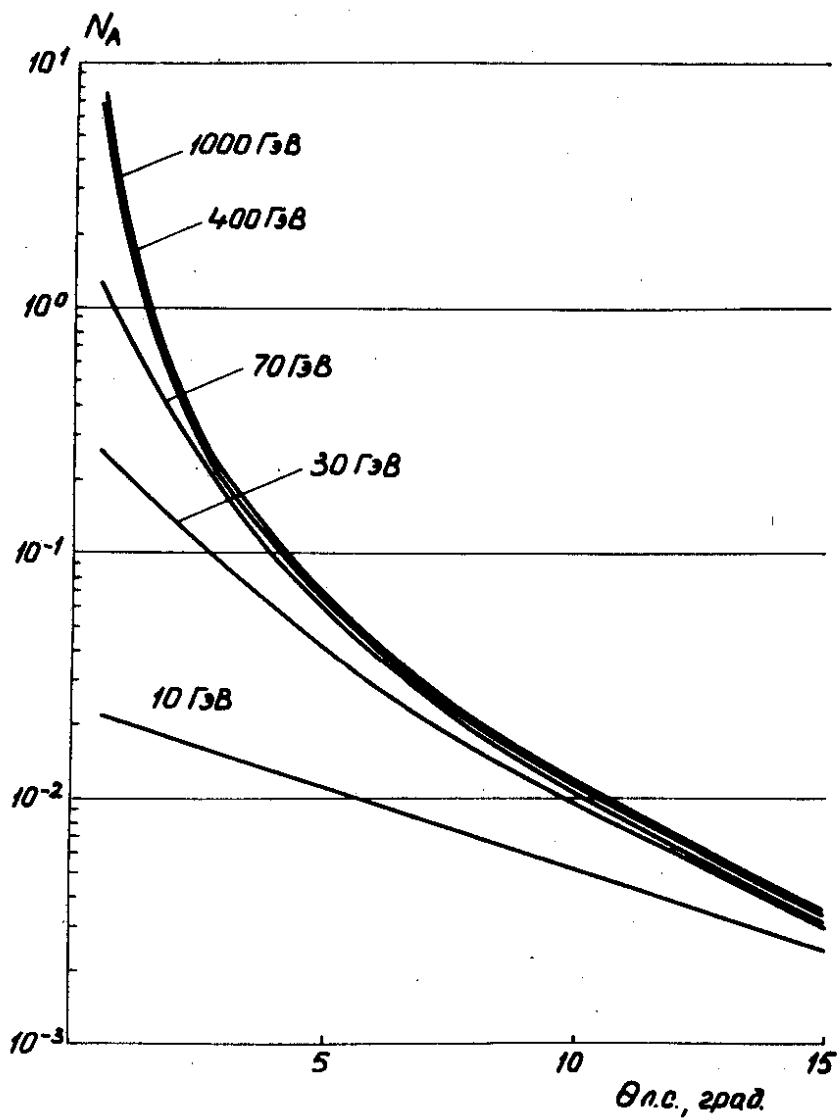


Рис. 2. Зависимость числа $A_{п.с.}$ (на 10^{12} взаимодействовавших протонов) от угла, под которым установлен канал, для энергий протонов 10, 30, 70, 400 и 1000 ГэВ. Длина канала - 50 м, сечение - $0,2 \times 0,2 \text{ м}^2$.

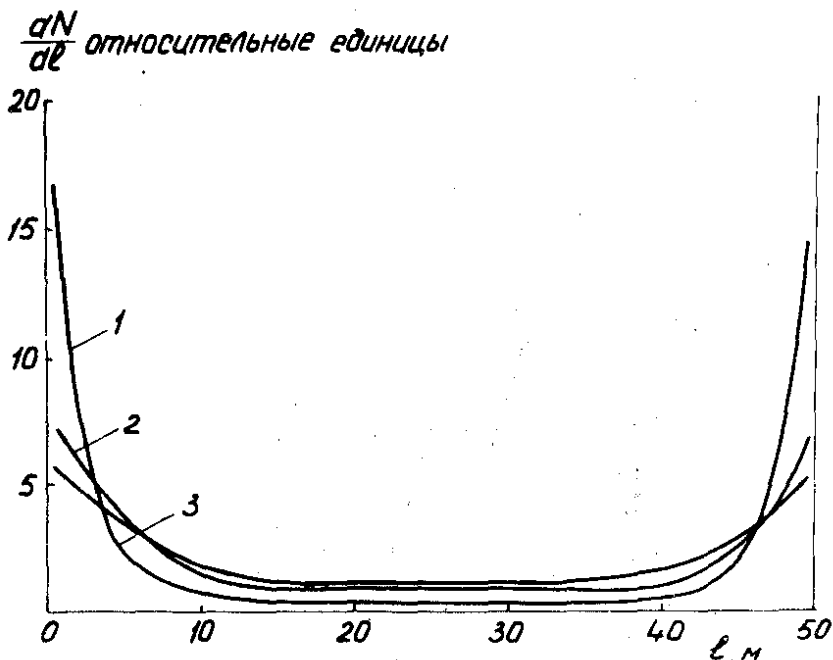


Рис. 3. Распределение числа атомных распадов K_L^0 - мезонов, регистрируемых установкой, по длине канала (в относительных единицах). 1 - $E = 70$ ГэВ, $\theta_{л.с.} = 6^\circ$, 2 - $E = 70$ ГэВ, $\theta_{л.с.} = 1,5^\circ$; 3 - $E = 1000$ ГэВ, $\theta_{л.с.} = 1,5^\circ$.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ КАНАЛА С ФИЛЬТРОМ

Основным источником фона при регистрации процесса (1) являются распады $K_L^0 \rightarrow \pi\mu\nu$ вблизи разваливающей фольги, а также другие образующиеся в мишени частицы. Устранить его можно введением в канал фильтра 4 (рис.1), который поглощал бы все частицы, траектории которых пересекают входное окно магнита ^{1/2}. Это, естественно, уменьшает интенсивность $A_{\pi\mu}$. На рис. 9 приведено количество атомов, попадающих в детектор, при наличии

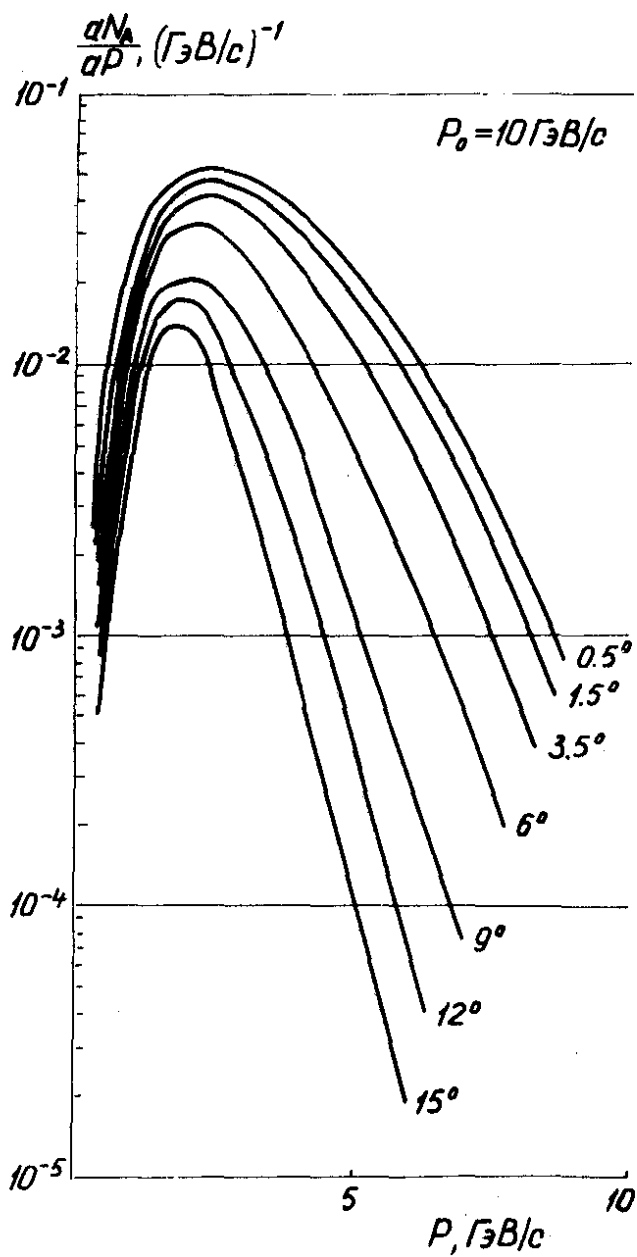


Рис. 4. Спектры $(\pi-\mu)$ -атомов на 10^{12} протонов с энергией 10 ГэВ для канала $50 \times 0,2 \times 0,2 \text{ м}^3$.

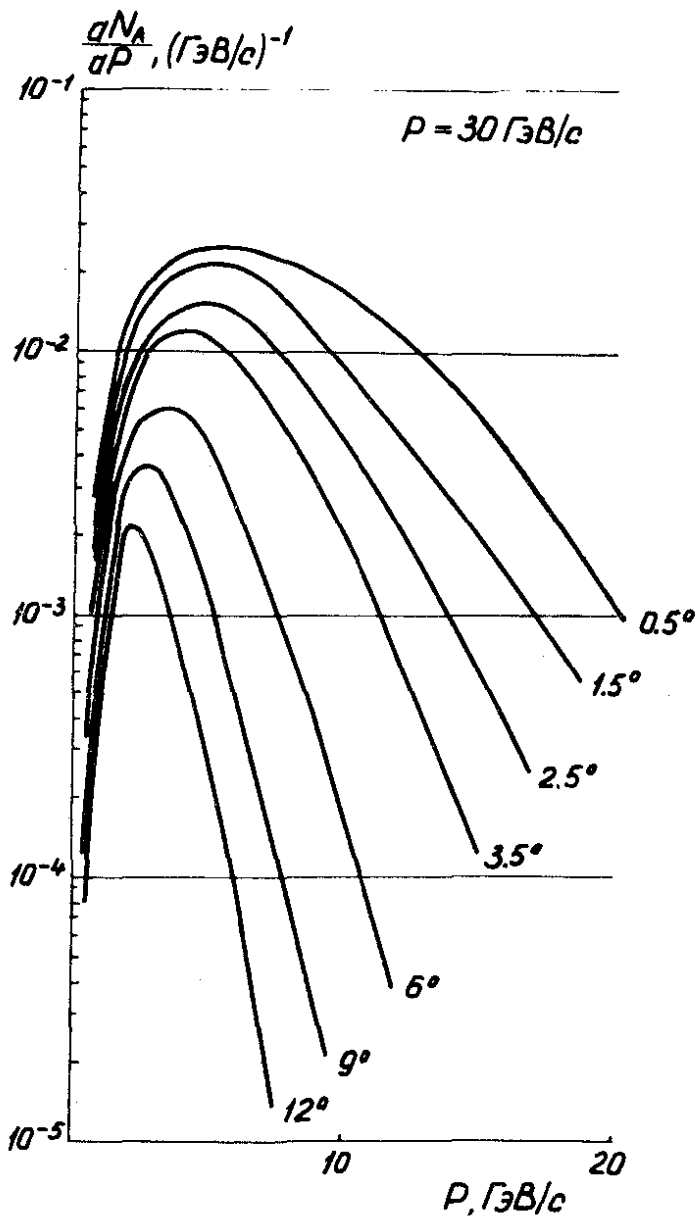


Рис. 5. Спектры $(\pi-\mu)$ -атомов на 10^{12} протонов с энергией 30 ГэВ для канала $50 \times 0,2 \times 0,2 \text{ м}^3$.

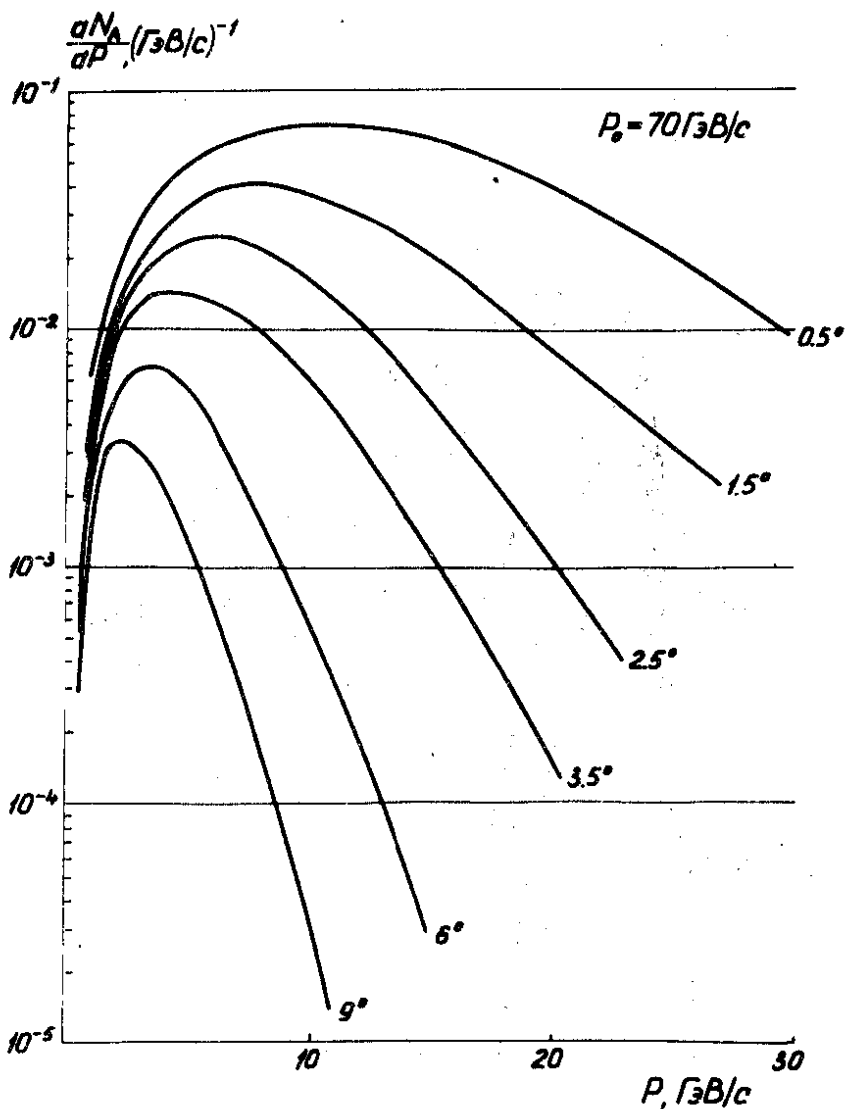


Рис. 6. Спектры $(\pi-\mu)$ -атомов на 10^{12} протонов с энергией 70 ГэВ для канала $50 \times 0,2 \times 0,2 \text{ м}^3$.

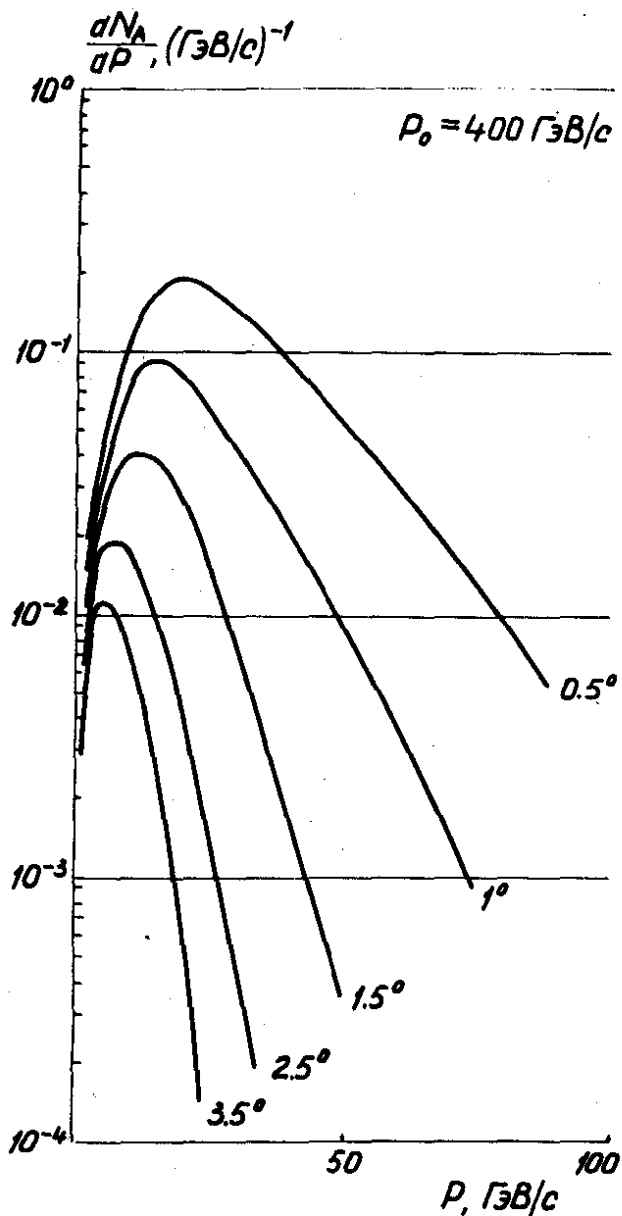


Рис. 7. Спектры $(\pi-\mu)$ -атомов на 10^{12} протонов с энергией 400 ГэВ для канала $50 \times 0,2 \times 0,2 \text{ м}^3$.

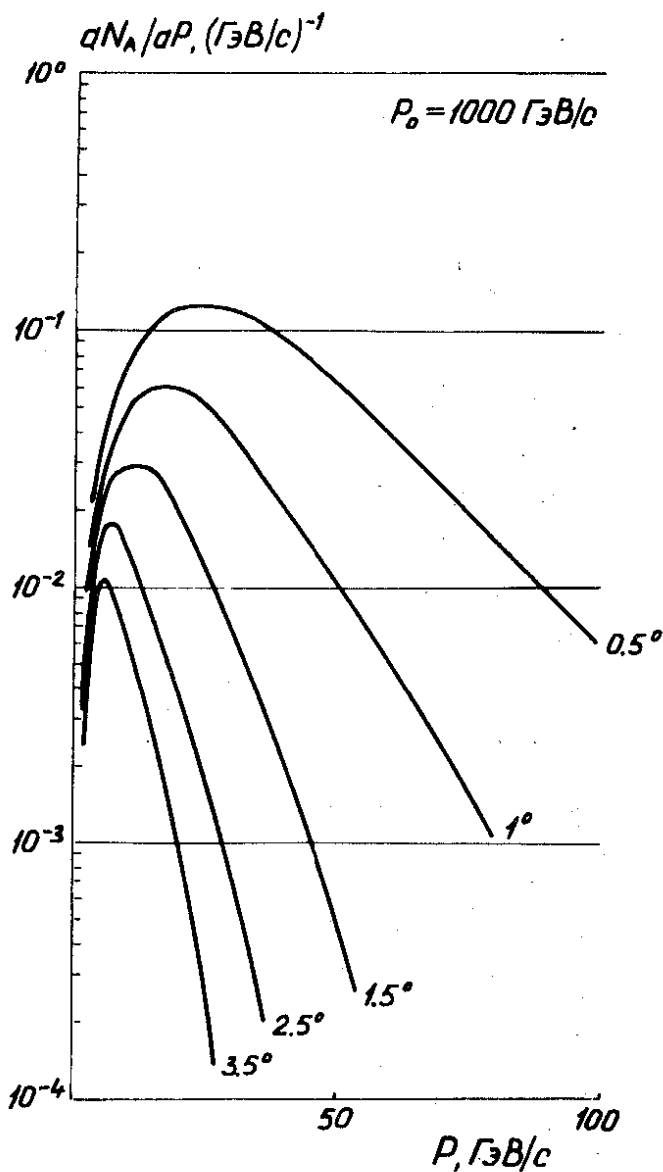


Рис. 8. Спектры $(\pi-\mu)$ -атомов на 10^{12} протонов с энергией 1000 ГэВ для канала $50 \times 0,2 \times 0,2 \text{ м}^3$.

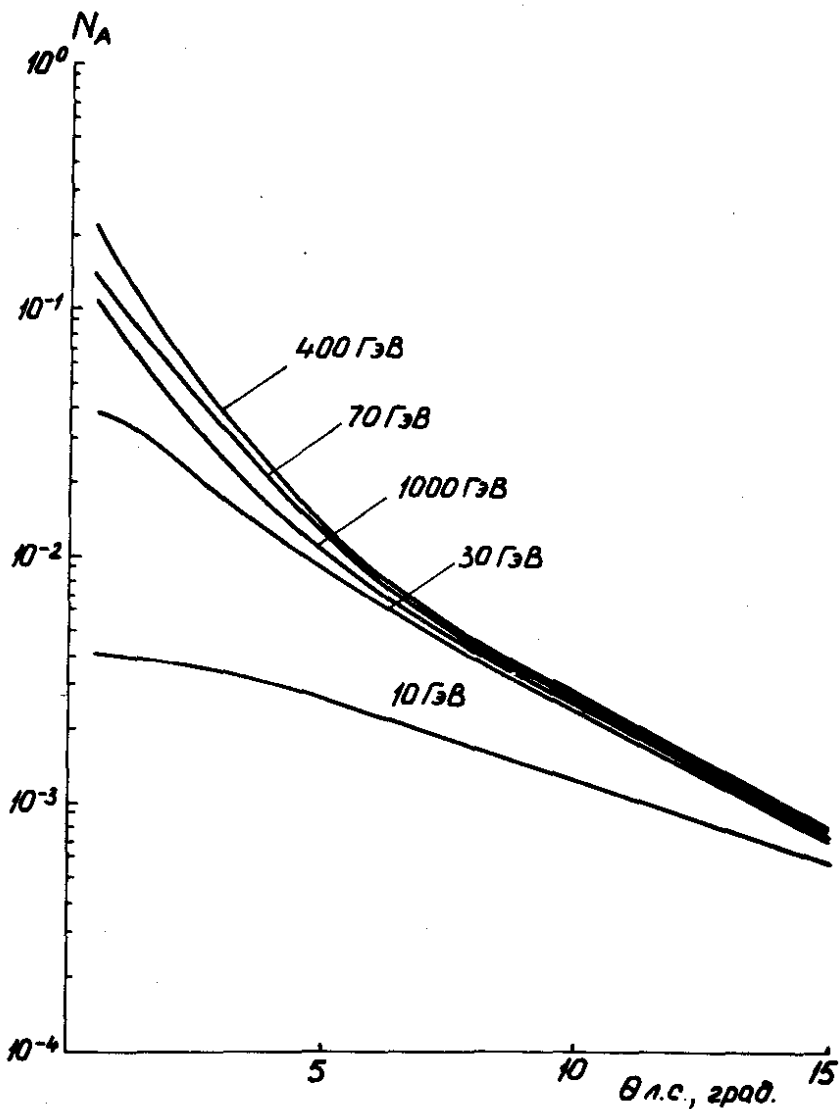


Рис. 9. Зависимость числа $A_{\pi\mu}$ на 10^{12} протонов ($E = 10, 30, 70, 400$ и 1000 ГэВ) от угла, под которым установлен канал, при введенном фильтре.

в канале фильтра $0,1 \times 0,1 \text{ м}^2$, установленного на расстоянии 6 м от мишени. При сравнении результатов, представленных на рис. 2 и 9, видно, что при энергии протонов 10 и 30 ГэВ для всего интервала углов $\theta_{\text{л.с.}}$ интенсивность $A_{\text{пм}}$ уменьшается примерно в 5 раз. Аналогичное уменьшение имеет место и для энергий 70 и 400 ГэВ, но только при $\theta_{\text{л.с.}} \geq 3^\circ$. При $\theta_{\text{л.с.}} < 3^\circ$ уменьшение более значительное (до 20 раз). Интенсивность $A_{\text{пм}}$ при энергии 1000 ГэВ оказалась ниже, чем при 70 и 400 ГэВ. Если сечение фильтра уменьшить в 4 раза и установить его на расстоянии 3 м от мишени, то число атомов увеличится примерно в 1,5 раза.

При введении фильтра импульсные спектры атомов для всех энергий протонов становятся мягче, особенно в области малых $\theta_{\text{л.с.}}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неменов Л.Л. ЯФ, 1972, 16, с.125.
2. Coombes R., Fleiser R. e.a. Phys.Rev.Lett., 1976, 37, p.249.
3. UZI BAR-GADDA, C.F.СНО. Phys.Lett., 1973, 46B, p.95.
4. Коротков В.А., Макеев В.В. Препринт ИФВЭ, 74-94, Серпухов, 1974.
5. Горчаков О.Е. ОИЯИ, Р5-10715, Дубна, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 мая 1977 года.