

с 345е

Савченко О.В.

+

Б 1-9-89-177

3490/89



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б 1-9-89-177

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19 89

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

Б1-9-89-177

О.В.Савченко

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ МЕЗОННЫХ
ПУЧКОВ МАЛЫХ ЭНЕРГИЙ НА ФАЗОТРОНЕ ОИЯИ

16 03 89

Дубна, 1989

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ МЕЗОННЫХ ПУЧКОВ МАЛЫХ ЭНЕРГИЙ НА ФАЗОТРОНЕ ОИЯИ

О.В.Савченко

Аннотация:

Показана принципиальная возможность уменьшения поперечного сечения протонного пучка в районе мезонообразующей мишени до 0,4 см в горизонтальной плоскости. Из представленных оценок следует, что применение мишеней из тяжелых элементов на протонном пучке таких размеров позволяет увеличить выход заряженных пи-мезонов обоих знаков от 2 до 6 раз для энергии мезонов < 80 МэВ. Предложено два варианта нового размещения оборудования на начальном участке тракта выведенного протонного пучка и трактов вторичных частиц, которые позволяют использовать эти возможности.

Рассмотрен ряд других преимуществ предложенных схем размещения, таких как увеличение, примерно, на порядок удельной активности облучаемых образцов при радиохимических исследованиях, улучшение радиационной обстановки в районе головных элементов трактов пучков, более широкие возможности проведения параллельных экспериментов и др.

Результаты формирования протонного пучка малых поперечных размеров на мишени ЯСНАПП-2 путем приближения к этой мишени оконечной квадрупольной линзы с большой оптической силой /I/ указывают на простую возможность повышения интенсивности мезонных пучков с энергиями до 80 МэВ от внешней мезонообразующей мишени фазотрона.

Из анализа данных по образованию пи-мезонов на ядрах различных элементов при энергии налетающих протонов 730 МэВ^{/2/} следует, что при одинаковых по направлению протонного пучка размерах в мишени из тяжелых элементов должно рождаться гораздо больше пи-мезонов относительно малых энергий по сравнению с мишенями из легких элементов. Некоторые результаты такого сравнения для мишеней из бериллия, меди и вольфрама приведены в таблице I для угла образования пи-мезонов 90° в лаб. системе.

Таблица I.

T_{π} (МэВ)	30	52	79	105	155
R_{π} (МэВ/с)	98	132	168	201	259
$\frac{N_{\pi^+}(Cu)}{N_{\pi^+}(Be)}$	2,2	2,2	2,0	1,9	2,2
$\frac{N_{\pi^+}(W)}{N_{\pi^+}(Be)}$	2,5	2,5	2,3	2,2	2,7
$\frac{N_{\pi^-}(Cu)}{N_{\pi^-}(Be)}$	3,7	2,3	2,1	1,9	1,95
$\frac{N_{\pi^-}(W)}{N_{\pi^-}(Be)}$	6,7	4,2	2,9	2,5	2,7

где T_{π} и P_{π} - соответственно энергия и импульс пи-мезонов, а $N_{\pi}(\theta) \sim n \cdot d^2\sigma/dE \cdot d\Omega$ - выход мезонов из данной мишени. (n - число ядер / см^2 , $d^2\sigma/dE \cdot d\Omega$ - двойное дифференциальное сечение образования пи-мезонов).

Как следует из этой таблицы возможное увеличение выхода пи-мезонов может составить в принципе величину от 2 до 6 раз. Близкие значения коэффициентов увеличения выхода имеют место и для углов образования пи-мезонов 30° и 60° в лаб. системе (таблица 2).

Таблица 2. Отношение выходов π^- -мезонов для мишеней из вольфрама и бериллия одинаковой толщины для углов 30° и 60° в лаб. системе

T_{π} (МэВ)		32	65	104	146
P_{π} (МэВ/с)		100	150	200	250
$\frac{N_{\pi}-(W)}{N_{\pi}-(Be)}$	(30°)	8,0	5,3	2,8	2,2
$\frac{N_{\pi}-(W)}{N_{\pi}-(Be)}$	(60°)	8,3	4,6	2,5	1,8

Однако, такое теоретически возможное повышение интенсивности пи-мезонных пучков при использовании мишеней из тяжелых элементов может быть достигнуто практически только при условии, что толщина мишени в направлении вылета мезонов мала, так как в противном случае выход пи-мезонов из мишени сильно уменьшается из-за эффекта самопоглощения мезонов в мишени. Это приводит к необходимости резкого уменьшения размеров протонного пучка на мезонообразующей мишени.

Эксперименты, выполненные на пи-мезонном канале (П-2) на синхроциклотроне ЛИЯФ (Гатчина) /3/, показали, что для мишеней размером 1,7 см вдоль оси канала за счет приближения линз протонного тракта к мезонной мишени и установки вакуумопровода для транспортировки выведенного протонного пучка выход пи-мезонов с импульсом меньше 125 МэВ/с увеличивается до 5 раз при использовании мишеней из таких материалов как медь и вольфрам.

Можно сделать оценки возможных минимальных поперечных размеров выведенного из фазотрона СИЯИ протонного пучка с энергией 660 МэВ после прохождения через двухсекционную магнитную квадрупольную линзу с достаточной оптической силой (например, типа ИСК-50).

Согласно формуле /4/ минимальный размер пучка, например, в плоскости XZ равняется:

$$\chi_{min} = \frac{z \cdot \epsilon_x}{\ell}, \quad (I)$$

где z - расстояние от линзы до мезонной мишени, ℓ - половина апертуры линзы, ϵ_x - эмиттанс протонного пучка в этой плоскости.

По данным работы /5/ $\epsilon_x = 5 \cdot 10^{-3}$ см·рад, $\epsilon_y = 3,5 \cdot 10^{-3}$ см·рад и для $z = 130$ см и $\ell = 7$ см получаем минимальные размеры пучка:

в горизонтальной плоскости $2\chi_{min} = 0,2$ см (на уровне 2σ)

в вертикальной плоскости $2y_{min} = 0,15$ см (на уровне 2σ).

Следует отметить, что двумя квадрупольными линзами (или одной двухсекционной), установленными на начальном участке выведенного из фазотрона протонного пучка, можно обеспечить минимальный размер только для одной поперечной координаты. Для получения двойного минимума необходимо установить по крайней мере четыре квад-

рупольных линзы. Однако, для целей повышения выхода медленных пи-мезонов второй размер не обязательно должен быть минимальным и практически во всех случаях может достигать предельных размеров мезонообразующей мишени, т.е. до 5-10 см.

Оценка минимальных размеров протонного пучка по формуле (I) является слишком оптимистичной, так как не учитывает влияние aberrаций линзы и расширения пучка за счет многократного кулоновского рассеяния в мезонной мишени. Поперечные размеры протонного пучка в горизонтальной плоскости на мишени ЯСНАПП-2 (около 0,3 см) при примерно втрое большем эмиттансе пучка на выходе XII канала хорошо согласуются с формулой (I) и тем самым указывают на малый вклад aberrаций линзы при размерах пучка более 0,3 см. Среднеквадратичный радиус протонного пучка за счет многократного кулоновского рассеяния протонного пучка в мишени из вольфрама толщиной 5 см составит всего 0,2 см. Таким образом, с учетом рассмотренных эффектов ожидаемый размер протонного пучка по горизонтали в месте расположения мезонообразующей мишени не превысит величины 0,4 см и теоретическая оценка увеличения выхода пи-мезонов, приведенная в таблице I, будет достаточно точно выполняться, если ось протонного пучка пройдет на расстоянии 0,2 см от края мишени. Это также приведет, как показывают данные работы /6/, к уменьшению вклада электронной или позитронной компонент мезонных пучков из-за сокращения количества вещества мишени на пути высокоэнергетических гамма-квантов от распада Π^0 -мезонов, и тем самым меньшей вероятности конверсии таких гамма-квантов в электрон-позитронные пары.

Вероятность такой конверсии пропорциональна X/X_0 , где X - поперечный размер мишени, а X_0 - радиационная длина. Для мишеней из легких элементов (бериллий, углерод, вода) X_0 до-

стигает 25–40 см и ожидаемое уменьшение вклада электронно-позитронной компоненты составит X_c/X_{min} 5–10 раз, где $X_c = 1,0–2,0$ см – существующий поперечный размер мезонной мишени или размер протонного пучка на ней, а $X_{min} = 0,2$ см – возможный минимальный размер протонного пучка на мишени.

Для мишеней из тяжелых элементов (медь, вольфрам) X_0 уменьшается до 1,5–0,4 см и это приведет к резкому (15–100 раз) увеличению вклада электронно-позитронной компоненты в мезонных пучках. Поэтому использование таких мишеней допустимо только в тех физических экспериментах, где эта примесь не сказывается на получаемых результатах или исключается электронными методами.

Следует также отметить, что все выводы, касающиеся увеличения выхода пи-плюс-мезонов при использовании мишеней из тяжелых элементов и протонного пучка с малыми поперечными размерами, целиком относятся и к пучку так называемых "поверхностных" мю-плюс-мезонов с импульсом < 30 МэВ/с, возникающих при распаде пи-плюс-мезонов в тонком поверхностном слое мезонообразующей мишени.

Существующее (рис. 1) раздельное расположение мезонных мишенных станций, отсутствие стационарного вакуумопровода и использование на начальном участке вывода протонного пучка магнитных квадрупольных линз типа МЛ-3 с фокусным расстоянием около 3 м не позволяют получить хорошо сфокусированный протонный пучок в области мезонообразующей мишени. На рис. 2 показан один из возможных вариантов расположения начальных элементов тракта транспортировки выведенного протонного пучка и головных элементов трактов вторичных частиц, в котором можно устранить указанные недостатки.

В этом варианте две разнесенные мезонные мишенные станции заменяются одной, где имеется вращающийся в вакууме барабан с набором из 10–15 сменных мезонообразующих мишеней из различных материалов и различных размеров по направлению протонного пучка. Первая линза типа МЛ-3 заменяется на линзу типа І5К-50, которая обладает достаточной оптической силой, чтобы сформировать на мезонной мишени протонный пучок с поперечным размером в горизонтальной плоскости 0,3–0,4 см. Головная часть мю-мезонного канала сокращена до одной линзы и одного поворотного магнита и направлена под углом 90° к протонному пучку. За мезонной мишенью предусмотрена возможность установки вакуумного радиохимического пробника для облучения образцов в области минимальных размеров протонного пучка. Углеродный замедлитель протонного пучка приближен вплотную к мезонообразующей мишени и располагается в вакуумном боксе. Мезонная мишенная станция и замедлитель протонов окружены единой компактной защитой из железных кирпичей толщиной около 1 м. Тракт на установку "АРЕС" дополнен тремя линзами с апертурой 20 см и вторым отклоняющим магнитом типа СП-56. Мезоны в этот тракт отбираются под углом 25° – 30° к оси протонного пучка. Для расширения возможностей параллельной работы предусмотрен третий мезонный канал, отбирающий мезоны под углом 135° к оси протонного пучка для установки "Детектор".

Расположение головной части мю-мезонного канала под углом 90° к протонному пучку по сравнению с существующим расположением под углом 25° является более благоприятным с точки зрения повышения интенсивности мезонных пучков с энергией < 80 МэВ и уменьшения вклада электронной или позитронной компоненты. Это обусловлено, во-первых, тем, что угловое распределение как

положительных, так и отрицательных пи-мезонов с энергией меньше 80 МэВ имеет широкий максимум в области углов 90° - 120° в л.с. практически для мишеней из любых элементов (рис. 3 и 4) ^{/2/}. Во-вторых, если использовать сменную мезонную мишень из воды, то выход положительных пи-мезонов под углом 90° возрастет при настройке на энергию 110 МэВ, примерно в 2-3 раза по сравнению с мишенью из чистого углерода за счет интенсивного пика пи-плюс-мезонов от реакции $p + p \rightarrow \pi^+ + p$ (рис. 5) ^{/7/}. Кроме того, возникает возможность приблизить первую линзу головной части мю-мезонного канала на расстояние до 15-20 см от мезонообразующей мишени, что, несомненно, приведет к увеличению аксептанса канала и повышению интенсивности мезонных пучков. Наконец, при таком расположении мю-мезонного канала толщина мишени в направлении канала является минимальной, что с необходимостью должно привести к уменьшению вклада электронной или позитронной компоненты в мезонных пучках.

Второй возможный вариант расположения начальных элементов трактов пучков, показанный на рис. 6, является более экономичным, так как в нем углеродный замедлитель остается на месте. Однако, большое расстояние от мезонной мишени до замедлителя резко ограничивает возможности параллельной работы из-за значительных потерь протонного пучка в этом промежутке вследствие многократного кулоновского расстояния в мишени.

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Показана принципиальная возможность уменьшения с помощью линзы типа Г5К-50 поперечных размеров протонного пучка в районе мезонообразующей мишени до 0,3-0,4 см.

2. Сделаны оценки, показывающие, что применение мишеней из тяжелых элементов на протонных пучках таких размеров позво-

лит увеличить выход пи-мезонов обоих знаков от 2 до 6 раз для энергии мезонов < 80 МэВ, а также "поверхностных" мю-плюс-мезонов с энергией 3-4 МэВ. Использование мишени из воды и настройки канала на пик реакции $p + p \rightarrow d + \pi^+$ позволит увеличить в 2-3 раза выход пи-плюс-мезонов с энергией 110 МэВ под углом 90° в л.с.

3. Отмечена возможность существенного (в 5-10 раз) уменьшения при таких размерах протонных пучков примесей электронов и позитронов в мезонных пучках при использовании мишеней из легких элементов (бериллия, углерода или воды).

4. Предложен вариант расположения оборудования начального участка тракта выведенного протонного пучка и головных элементов трактов вторичных частиц, который позволяет сформировать и использовать минимальные размеры протонного пучка на мезонообразующей мишени, а также получить ряд дополнительных преимуществ по сравнению с существующим размещением оборудования на этом участке:

а) увеличение аксептанса мю-мезонного канала и повышение интенсивности мезонных пучков с энергиями до 80 МэВ для мишеней из любых элементов;

б) вместо двух разнесенных мезонных мишеней станций - задействование одной мишенной станции с набором из 10-15 сменных мишеней разного типа;

в) образование стационарного вакуумопровода от камеры ускорителя с разветвлением по всем трактам пучков;

г) возможность параллельного проведения двух-трех мезонных экспериментов, одного на протонах в интервале энергий от 70 до 660 МэВ и облучения образцов на радиохимическом пробнике, т.е. одновременную работу пяти экспериментальных групп;

д) возможность создания единой, компактной защиты из железных кирпичей вокруг мезонной мишенной станции и углеродного замедлителя и тем самым готовность использования выведенного протонного пучка с большей интенсивностью, которая ожидается на фазотроне после установки электростатического вывода;

е) увеличение более чем на один порядок удельной активности образцов, помещаемых с помощью вакуумного радиохимического пробника в область минимальных размеров протонного пучка;

ж) уменьшение потерь протонного пучка в промежутке от мезонной мишени до замедлителя из-за рассеяния в мишени и тем самым обеспечение более широких возможностей проведения параллельных экспериментов, в которых используются замедленные протонные пучки;

з) значительное улучшение общей радиационной обстановки и радиационной защиты головных элементов начального участка протонного тракта и трактов вторичных частиц;

и) уменьшение плотности и скученности оборудования на начальном участке вывода протонного пучка и облегчение доступа для обслуживания головных элементов и возможность маневрирования при их размещении;

к) устранение влияния рассеянного магнитного поля от первого элемента мю-мезонного канала на протонный пучок;

л) возможность лучшего коллимирования протонного пучка после мезонной мишени при его дальнейшей транспортировке по IX, X и XII каналам.

Литература

1. Абазов В.М. и др. ОИЯИ, 9-89-176, Дубна (1989).
2. Cochran D. et al. Phys.Rev.D, v. 6, p. 3086 (1972).
3. Волченков В.А. и др. Препринт ЛИЯФ-612, Л., (1980).
4. Бенфорд А. Транспортировка лучков заряженных частиц, Атомиздат (1969), стр. 37.
5. Абазов В.М. и др. ОИЯИ, 9-83-214, Дубна (1988).
6. Волченков В.А. и др. Препринт ЛИЯФ-617, Л., (1980).
7. Неганов Б.С., Савченко О.В. ЖЭТФ (1957), т. 32, стр. 1265.

Надписи к рисункам

- Рис. 1. Существующее расположение оборудования и элементов трактов пучков в зале фазотрона ЛЯП ОИЯИ.
- Рис. 2. Первый возможный вариант размещения нового оборудования и головных элементов трактов пучков в зале фазотрона ЛЯП ОИЯИ (пояснения в тексте).
- Рис. 3. Угловые распределения в лабораторной системе положительных пи-мезонов различных энергий, образованных при соударении протонов с энергией 730 МэВ с ядрами бериллия и свинца ^{/2/}. Цифры на кривых - энергия пи-мезонов в МэВ.
- Рис. 4. Угловые распределения в лабораторной системе отрицательных пи-мезонов различных энергий, образованных при соударении протонов с энергией 730 МэВ с ядрами бериллия и свинца ^{/2/}. Цифры на кривых - энергия пи-мезонов в МэВ.
- Рис. 5. Энергетические спектры пи-плюс-мезонов от реакций $p + p \rightarrow p + p + \pi^+$ и $p + p \rightarrow d + \pi^+$ для углов 108° , 123° , 140° и 160° в лабораторной системе при энергии налетающих протонов 660 МэВ ^{/7/}. Справа от каждого спектра приведен пик от реакции $p + p \rightarrow d + \pi^+$, полученный вычитанием непрерывного спектра от реакции $p + p \rightarrow p + p + \pi^+$.
- Рис. 6. Второй возможный вариант размещения нового оборудования и головных элементов трактов пучков в зале фазотрона ЛЯП ОИЯИ (пояснения в тексте).

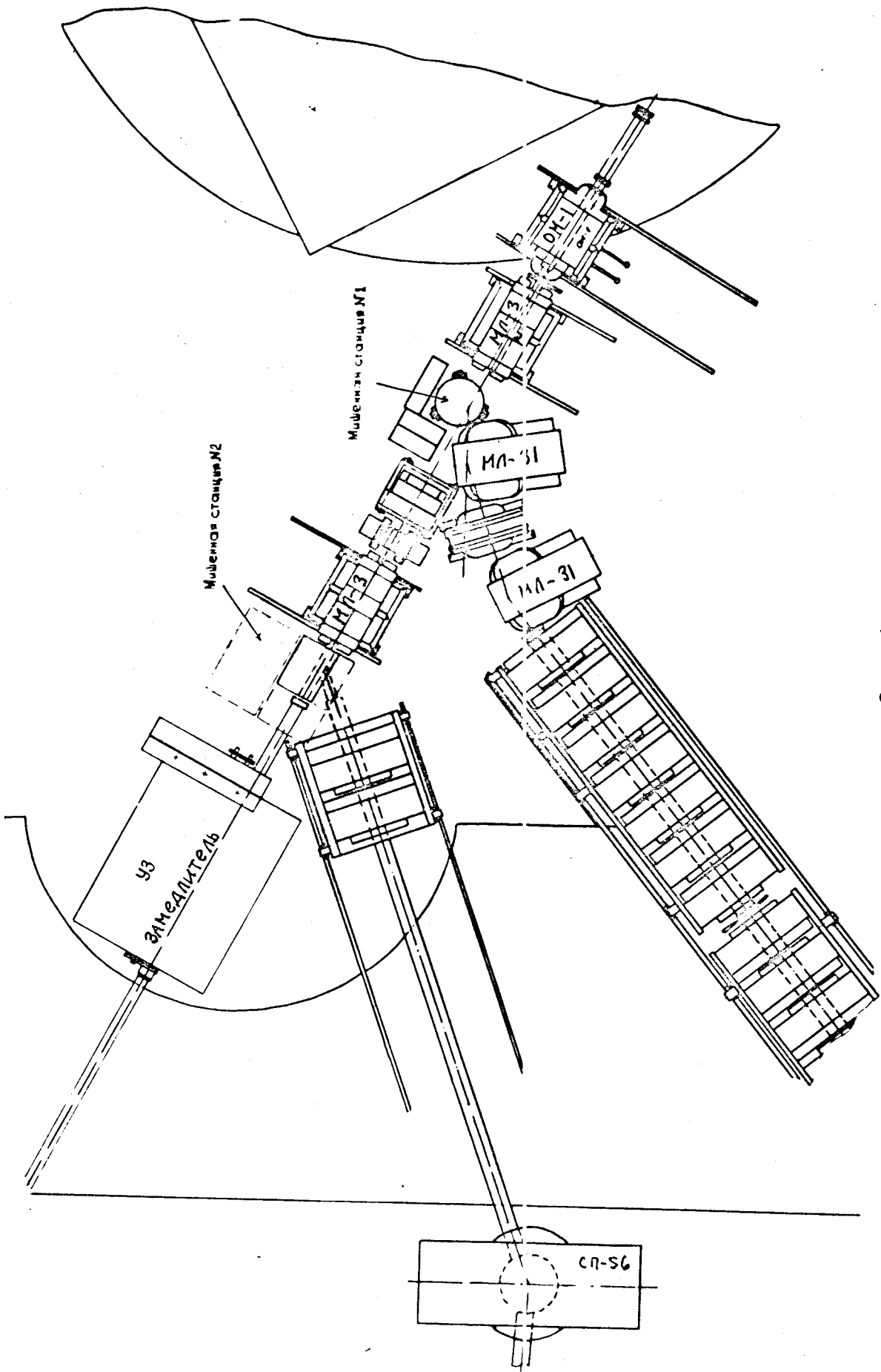


Рис. 1

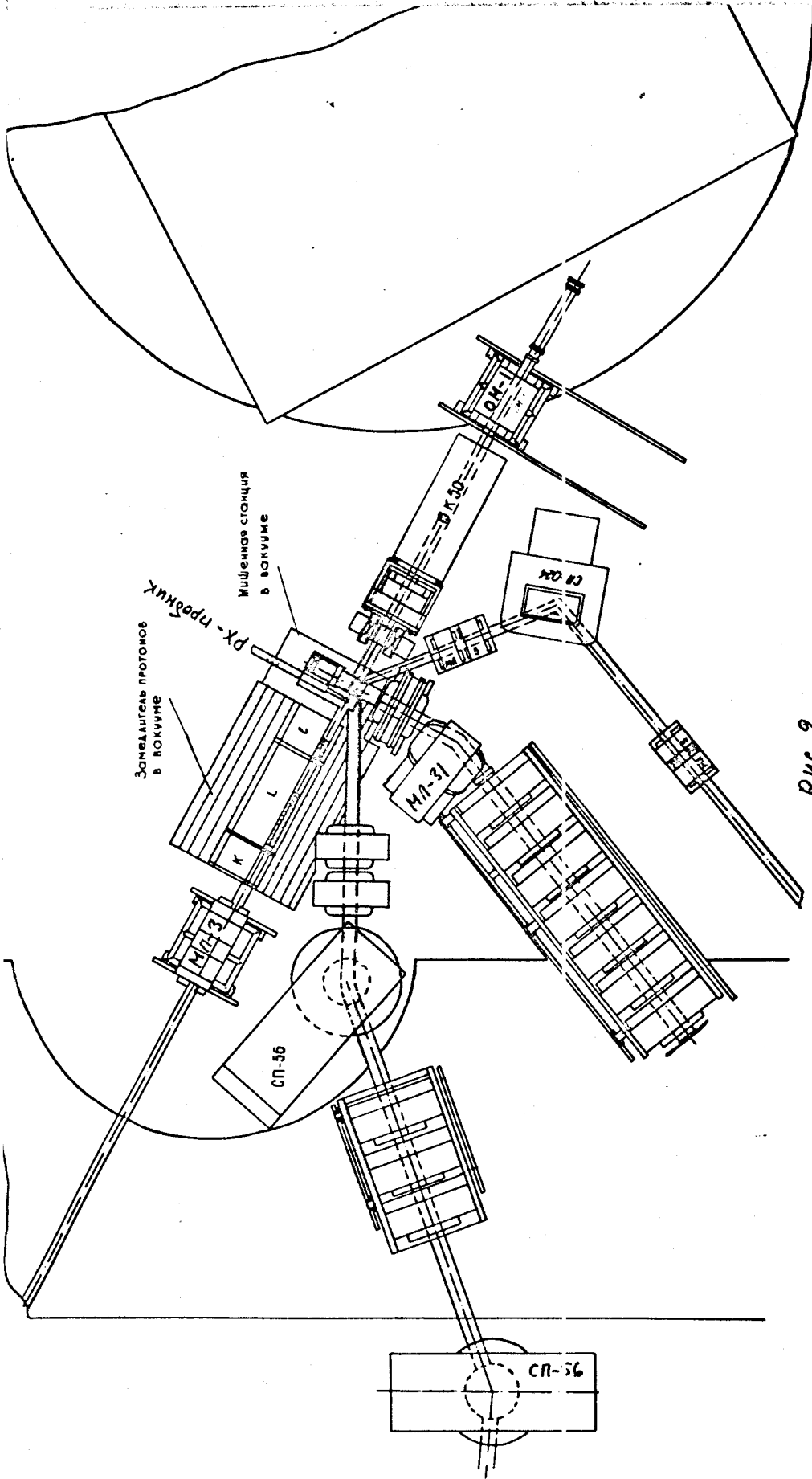


Рис. 2

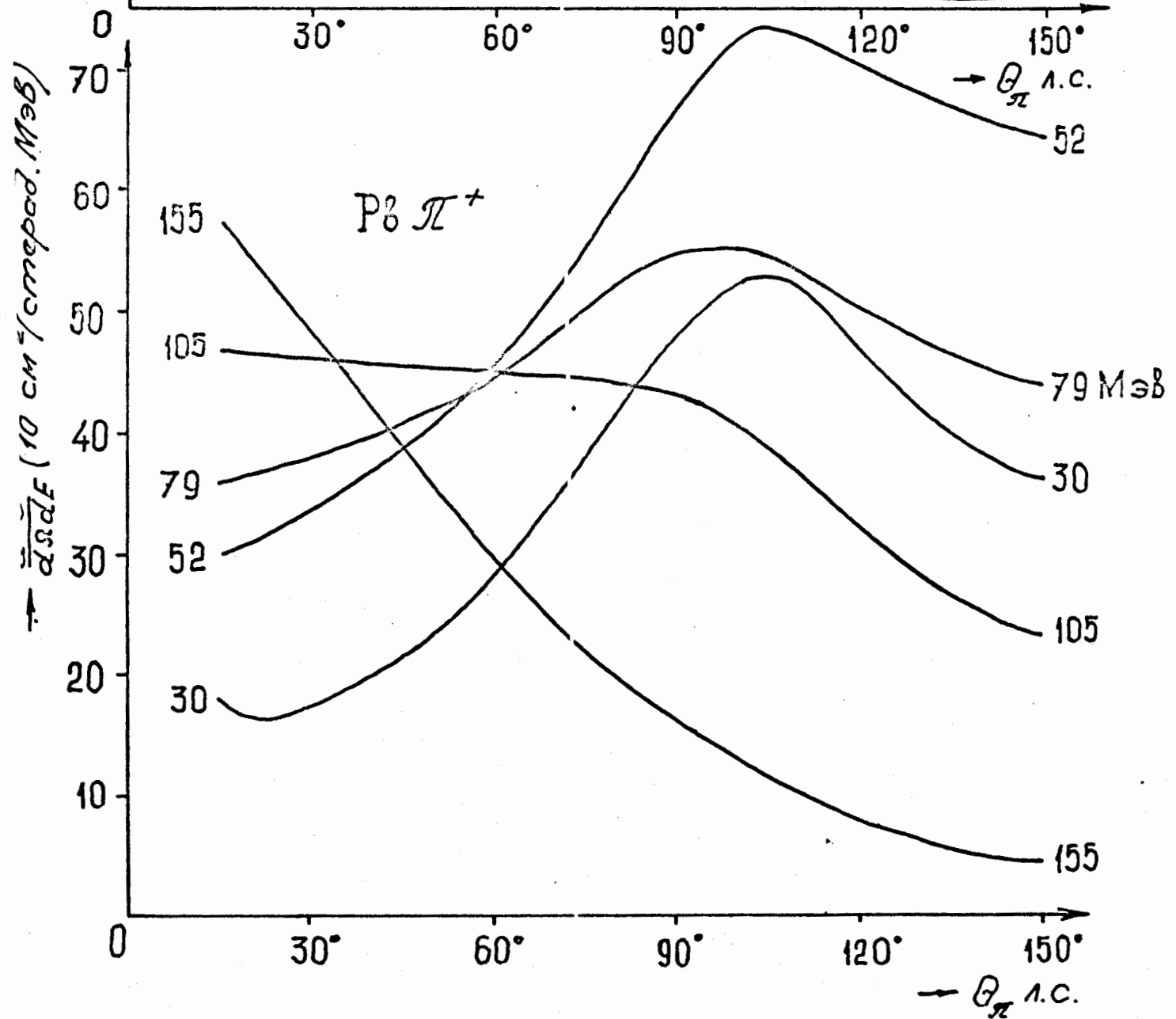
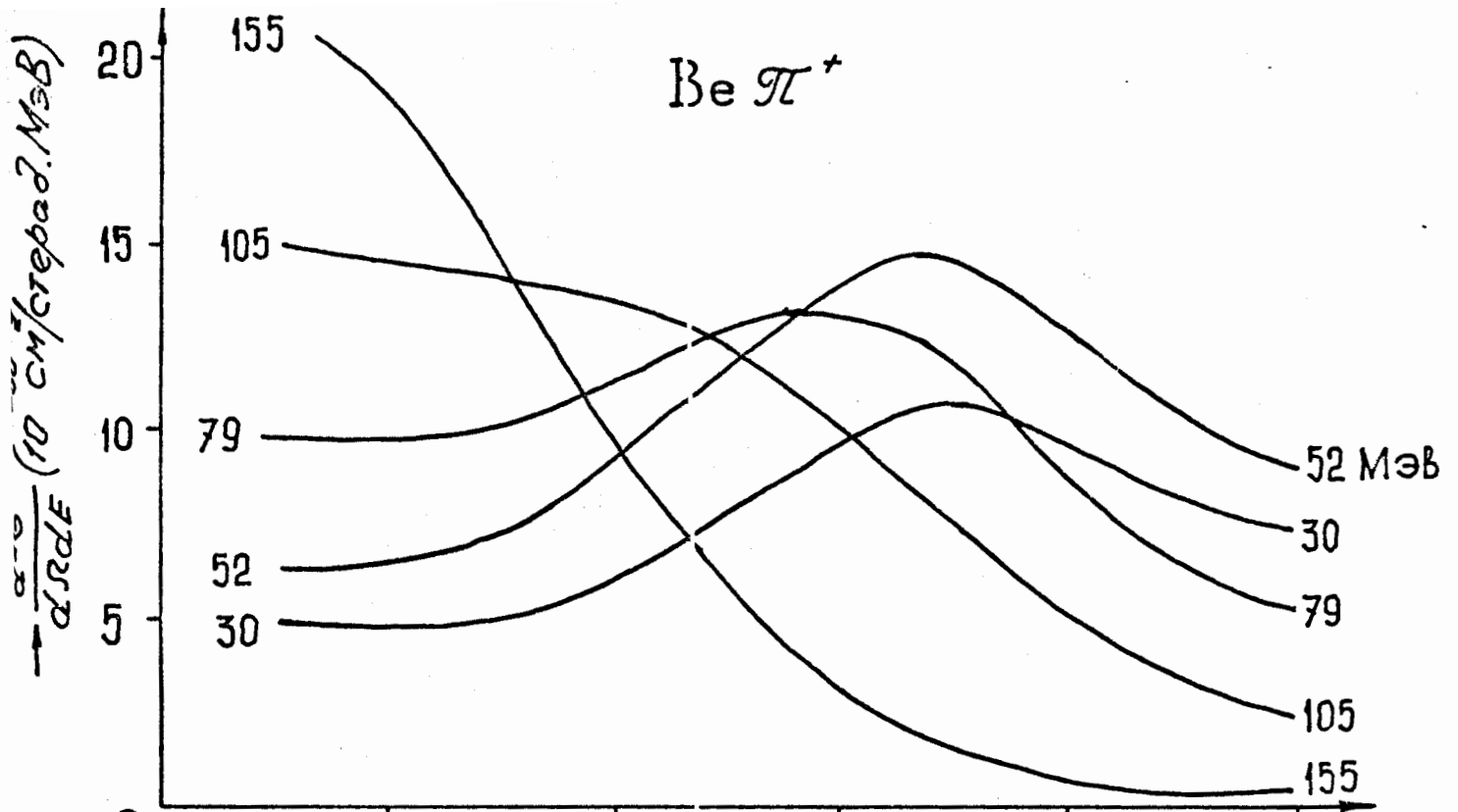


Рис. 3

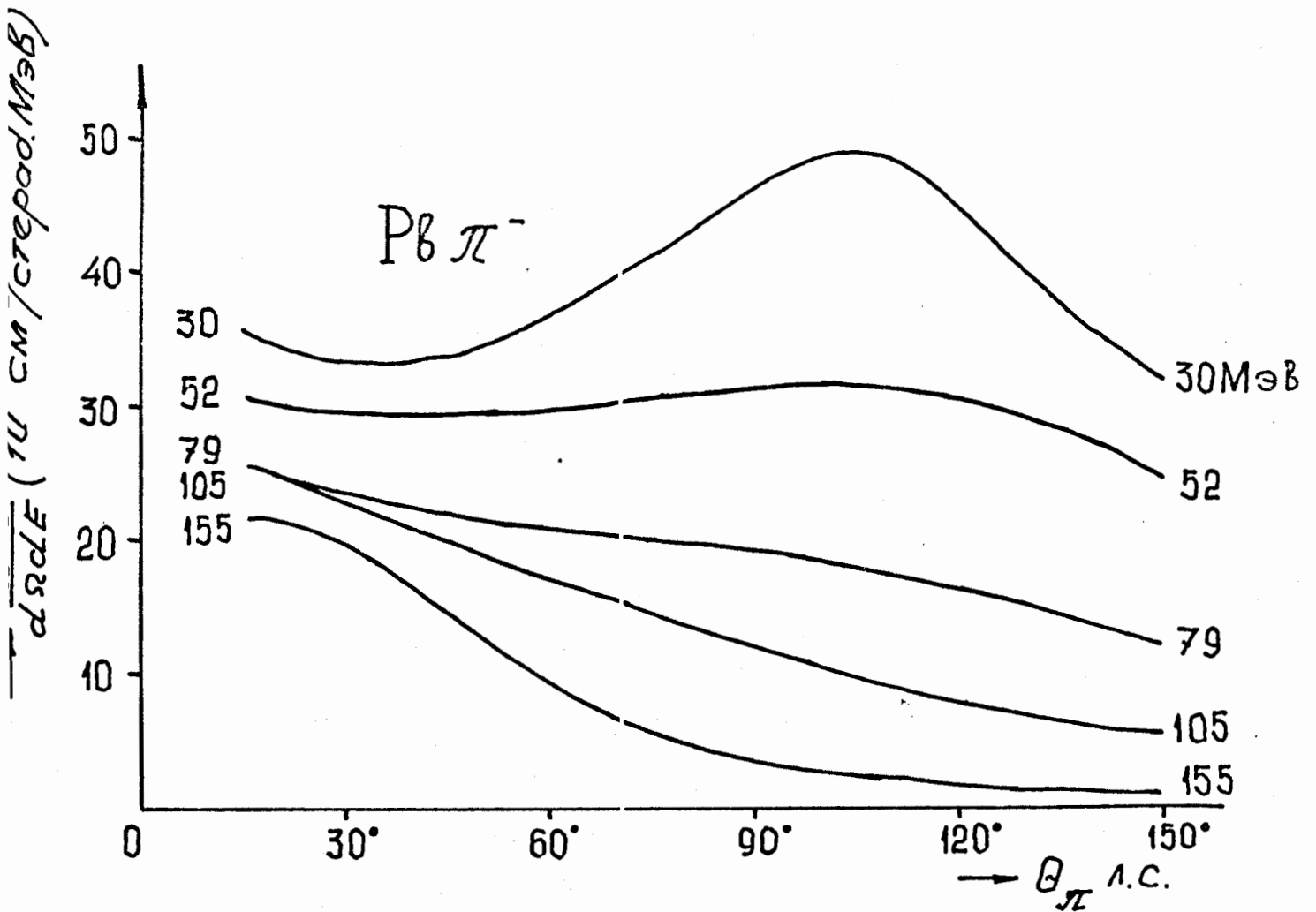
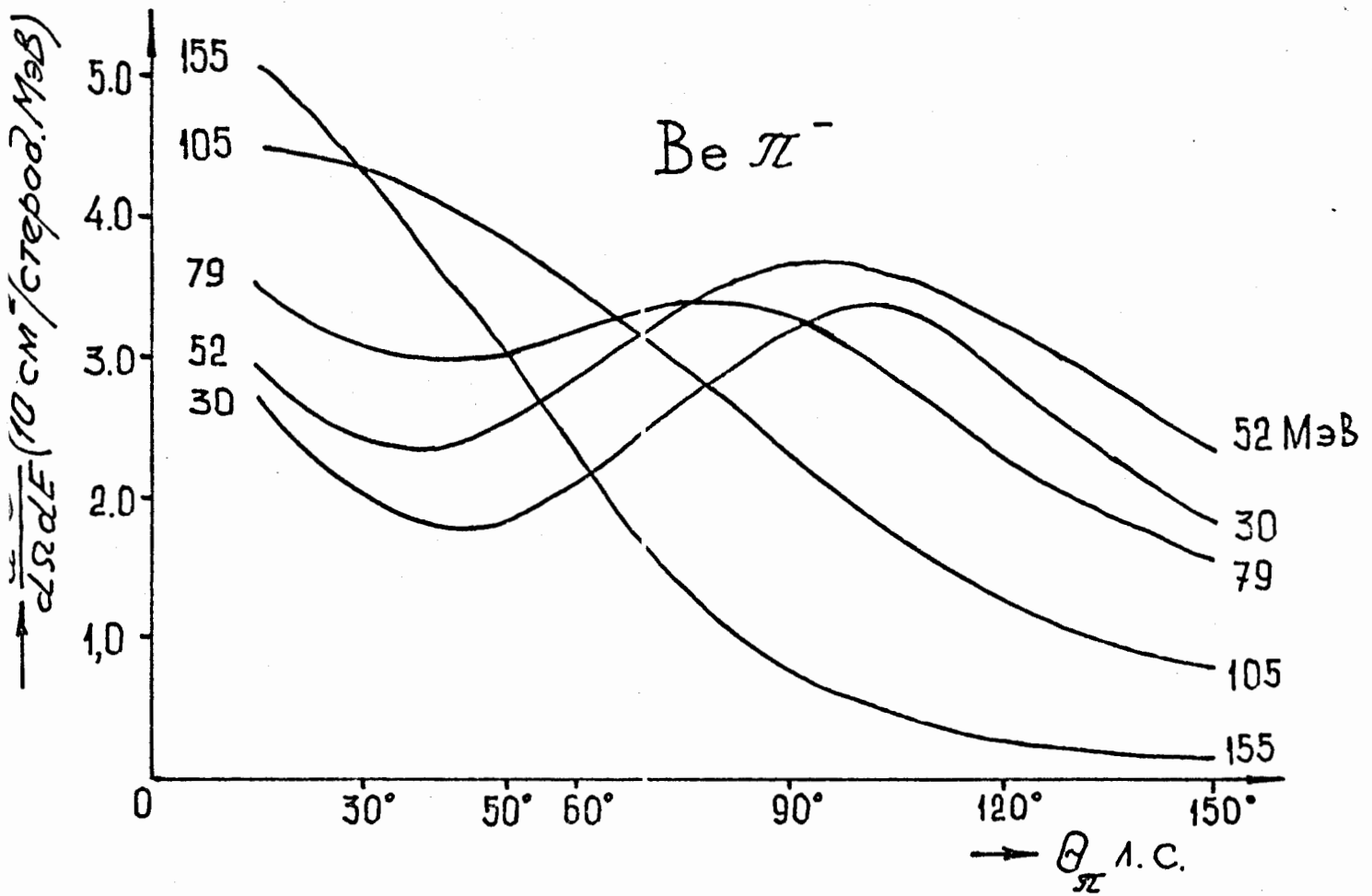


Рис. 4

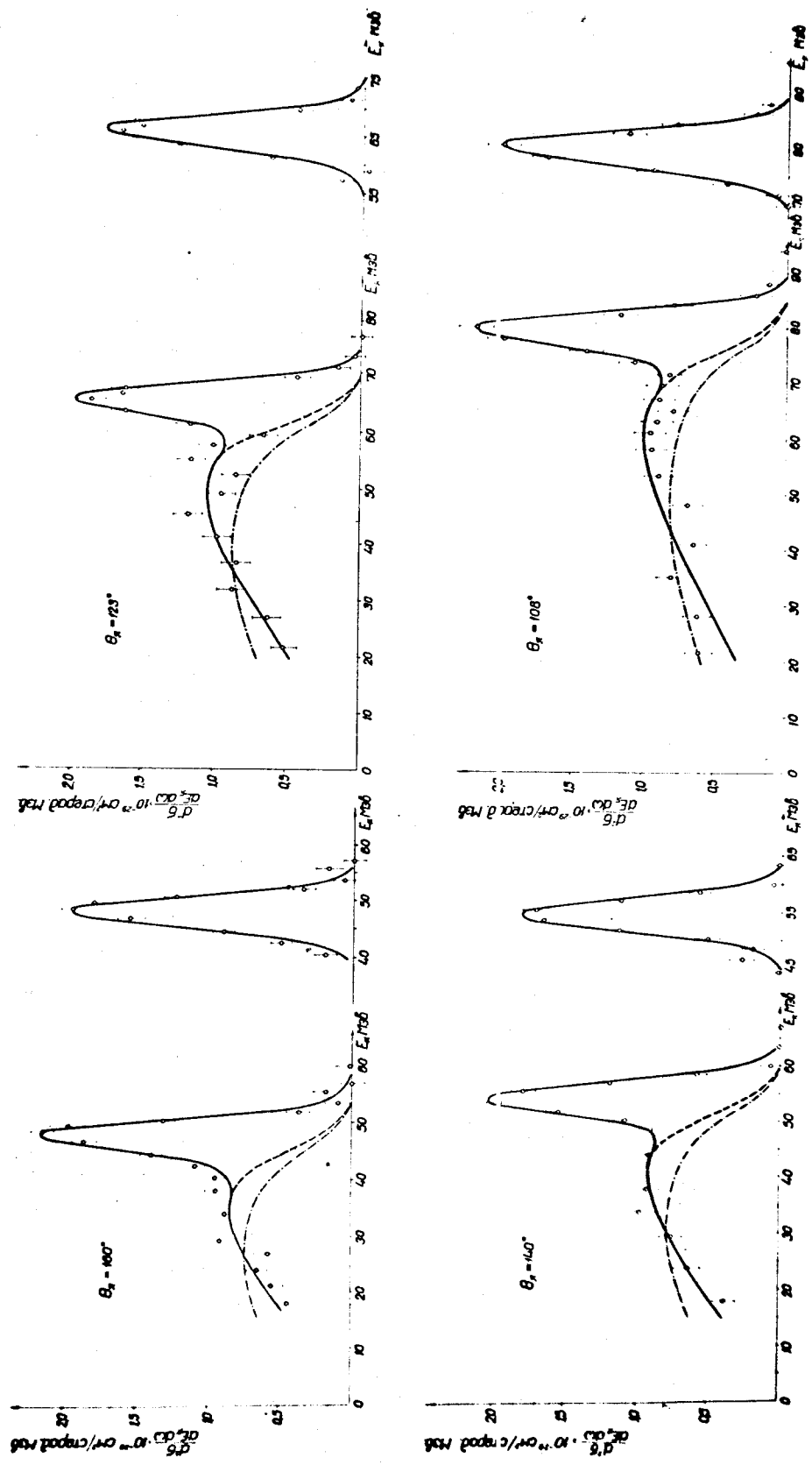


Рис.5. Энергетические спектры π^+ -мезонов от реакций $p+p \rightarrow p+\pi^+$, $p+p \rightarrow d+\pi^+$ в лабораторной системе.

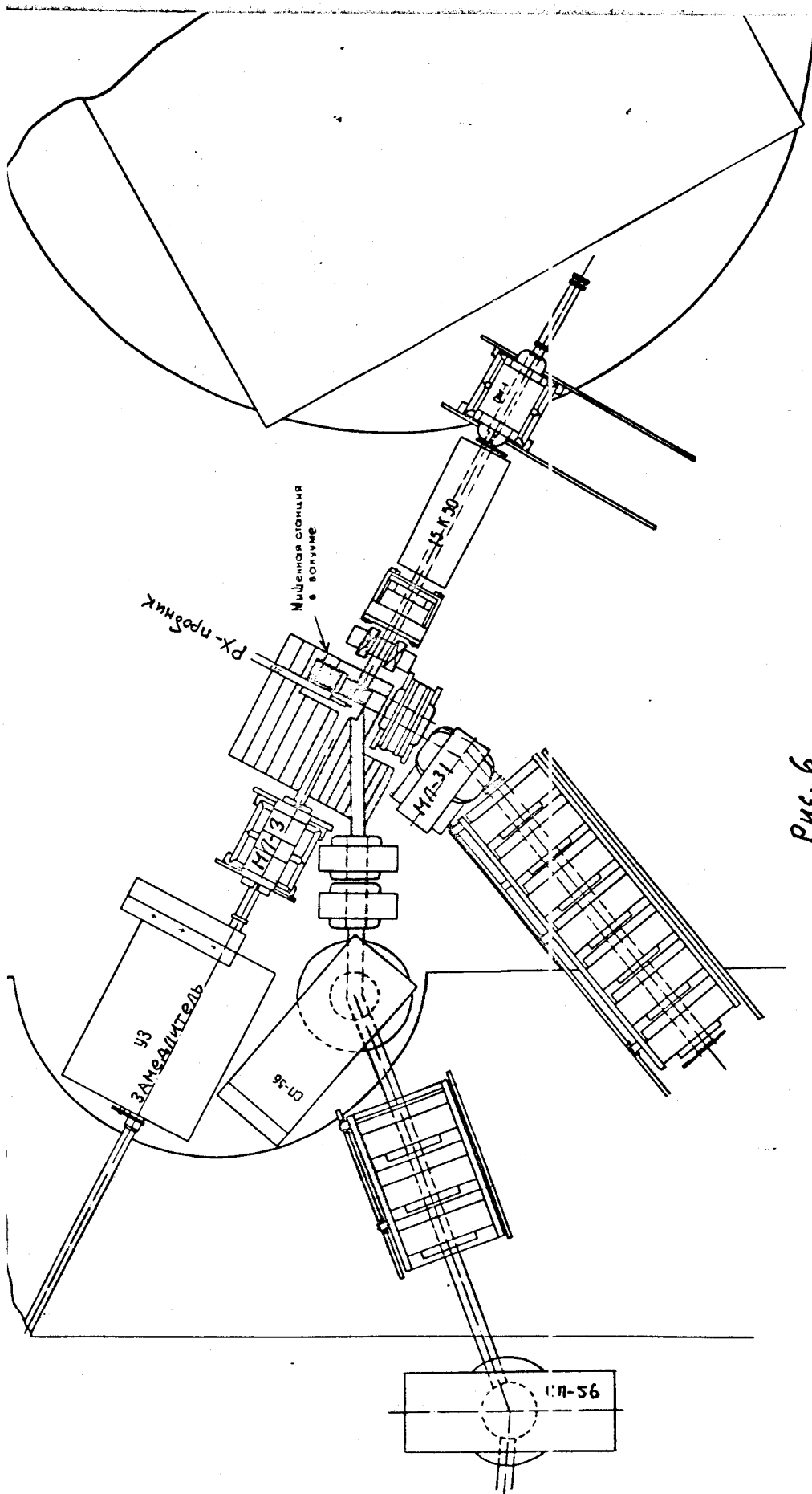


Рис. 6