

С 346.55

Савин И.А.

+

С-13

Б2-1-5354



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б2-1-5354

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1970

Объединённый институт ядерных исследований
Лаборатория высоких энергий

Б2-1-5354

И. А. САВИН

$\frac{с 345.55}{с - 13}$

"ИССЛЕДОВАНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ АМПЛИТУД
 K^0N, \bar{K}^0N - РАССЕЯНИЯ И ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ФОРМФАКТОРА K^0 -ЧАСТИЦ В ОПЫТАХ ПО РЕГЕНЕРАЦИИ С K^0 -
МЕЗОНАМИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ"

(Доклад на XXVIII сессии Учёного совета Объединённого
института ядерных исследований, 10 июня 1970 г.)

с.ф. 3024

15 сентября, 70

Объединённый институт
ядерных исследований
БНБ

г. Дубна, 1970 г.

Эксперименты по изучению поведения амплитуд рассеяния K^0 и \bar{K}^0 - мезонов на нуклонах и ядрах проводятся путём исследования процесса регенерации короткоживущих K^0 -мезонов долгоживущими K^0 -мезонами высоких энергий.

С точностью до сохранения СР K_S^0 и K_L^0 -мезоны могут быть представлены, как квантовомеханическая суперпозиция K^0 и \bar{K}^0 -мезонов:

$$K_S^0 = \frac{K^0 + \bar{K}^0}{\sqrt{2}}; \quad K_L^0 = \frac{K^0 - \bar{K}^0}{\sqrt{2}} \quad \text{и наоборот}$$

$$K^0 = \frac{K_S^0 + K_L^0}{\sqrt{2}}; \quad \bar{K}^0 = \frac{K_S^0 - K_L^0}{\sqrt{2}}$$

Суть явления регенерации состоит в том, что если на образец вещества падает чистая K_L^0 -волна, то вследствие различия амплитуд взаимодействия K^0 и \bar{K}^0 с данным веществом (f и \bar{f}), нарушается равновесие состояний в прошедшем пучке и вследствие этого появляется K_S^0 -волна:

$$\Psi_{in} = K_L^0 = \frac{K^0 - \bar{K}^0}{\sqrt{2}}$$

$$\Psi_{out} = \frac{fK^0 - \bar{f}\bar{K}^0}{\sqrt{2}} = \frac{f - \bar{f}}{2} K_S^0 + \frac{f + \bar{f}}{2} K_L^0$$

Величина $f_{21} \equiv \frac{f - \bar{f}}{2}$ называется обычно амплитудой регенерации.

В зависимости от вида взаимодействия падающей волны с образцом различаются в основном три вида регенерации:

1) неупругая регенерация, когда нуклоны ядра возбуждаются или разваливаются;

2) упругая или диффракционная регенерация, когда ядро как целое даёт вклад в амплитуду регенерации, угловое распределение которой будет того же вида, что и угловое распределение упругого рассеяния на ядрах;

3) трансмиссионная или когерентная регенерация, когда весь блок вещества - "регенератора" не получает отдачи и не возбуждается. Угловое распределение выходящей волны в этом

процессе аналогично диффракционной картине с размером первой зоны Френеля $\sim 10^{-7}$ рад.

Как хорошо известно, все типы регенерации наблюдаются на опыте одновременно за пластиной вещества, помещённой в пучок K_L^0 -мезонов. Угловое распределение наблюдаемых K_S^0 -мезонов имеет вид, представленный на рис. I, взятом из работы группы Винтера (ЦЕРН) (*Phys. Lett.* 20, 212 (1966)). Так в области малых углов $\theta^2 < 2 \times 10^{-5}$ рад. — когерентно регенерированные K_S^0 . С изучением аналогичных пиков связан пункт I нашей программы. Более длинный хвост — диффракционно регенерированные K_S^0 , с изучением которых связан пункт II нашей программы.

I. Интенсивность $I_S(\rho)$ когерентной регенерации определяется коэффициентом регенерации: $\rho(\rho)$:

$$I_S(\rho) = |\rho(\rho)|^2 I_L(\rho).$$
 Коэффициент $\rho(\rho) = |\rho(\rho)| e^{i\varphi_\rho(\rho)}$ может быть выражен в виде произведения трёх членов: числа атомов в единице объёма N , разности амплитуд упругого рассеяния вперёд K^0 и \bar{K}^0 на данном ядре $f^0(\rho) - \bar{f}^0(\rho) \equiv 2f_{21}^0(\rho)$ и члена, связанного с длиной регенератора $\Phi(\ell, \rho, \Delta t)$:

$$\rho(\rho) = B \cdot N \cdot i [f^0(\rho) - \bar{f}^0(\rho)] \cdot \Phi(\ell, \rho, \Delta t).$$

Из последнего выражения видно, что фаза коэффициента регенерации $\varphi_\rho(\rho)$ состоит из суммы двух членов:

$$\varphi_\rho(\rho) = \arg i [f^0(\rho) - \bar{f}^0(\rho)] + \arg \Phi(\ell, \rho, \Delta t),$$

последний из которых полностью вычисляется.

Экспериментально $\rho(\rho)$ можно измерить, изучая распределение интенсивности $\Pi^+\Pi^-$ -распадов K_S^0 и K_L^0 -мезонов

за пластиной вещества. Как хорошо известно, это распределение имеет вид
$$\frac{d^2N_{+-}}{dpdt} = S(p) \cdot \mathcal{E}(p, t) \cdot A \cdot [|p(p)|^2 \cdot e^{-\Gamma_s t} + |\eta_{+-}|^2 \cdot e^{-\Gamma_t t} + 2 \cdot |p(p) \cdot \eta_{+-}| \cdot e^{-\frac{\Gamma_L + \Gamma_s}{2} t} \cdot \cos(\Delta m \cdot t + \varphi_p(p) - \varphi_{\eta_{+-}})]$$

Фитируя экспериментальное распределение $\frac{d^2N_{+-}}{dpdt}$ кривой такого вида, мы получим $|p(p)|$ и $\varphi_p(p)$, поскольку все остальные величины хорошо известны.

Зная $p(p)$, можно получить разность амплитуд рассеяния вперёд K^0 и \bar{K}^0 на данном ядре и изучить поведение её мнимой и действительной части в функции энергии. Полученные результаты можно сопоставить с различными теоретическими предсказаниями относительно этих величин.

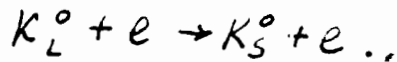
Простая теория Редже и теорема Померанчука говорит о том, что $\varphi_p(p) = const$

$$Im \left[\overset{\text{и}}{f^0(K^0 N)} - \bar{f}^0(\bar{K}^0 N) \right] = \frac{K}{4\pi} \left[\sigma_t^+(K^+ N) - \sigma_t^-(K^- N) \right] \sim \frac{1}{p} \xrightarrow{p \rightarrow \infty} 0.$$

В случае нарушения теоремы Померанчука фаза $\varphi_p(p)$ будет меняться, переходя через ноль, а мнимая часть амплитуды регенерации не будет стремиться к нулю при $p \rightarrow \infty$. Эти возможности могут быть проверены в наших экспериментах.

П. Поскольку регенерация $K_L^0 \rightarrow K_S^0$ связана с различием во взаимодействиях K^0 и \bar{K}^0 с веществом, взаимодействие с электронами тоже может дать вклад в регенерацию, поскольку возможно, что электромагнитное взаимодействие K^0 и \bar{K}^0 имеют противоположные знаки.

Регенерация на электронах - это процесс типа



Дифференциальное сечение $K^0 e$ -рассеяния можно рассчитать по квантовой электродинамике. Очень простой вид имеет дифференциальное сечение K^0 -рассеяния на угол 0^0 .

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(0) = 4\alpha^2 \lambda^2 \left(\frac{m_K c}{\hbar}\right)^2 \gamma_K^2,$$

$$\text{где } \lambda = -\frac{1}{6} \langle R^2 \rangle$$

Так как амплитуда регенерации должна быть чисто реальной, то отсюда следует

$$\overline{f_e^0(p)} - \overline{f_e^0(p)} = 4\alpha\lambda \left(\frac{m_K c}{\hbar}\right) \gamma_K.$$

На электронах атома эта величина будет в Z раз больше.

То-есть измерив регенерацию на электронах, можно найти λ и $\langle R^2 \rangle$ - среднеквадратичный электромагнитный радиус K^0 -мезонов.

Однако измерить регенерацию на электронах очень трудно, потому что её сечение, примерно, на 10^2 порядка меньше, чем сечение ядерной регенерации. Кроме того, из кинематических соображений все угловое распределение K - e -рассеяния заключено в конусе $\theta_{\max} \approx \frac{m_e}{E_K} \leq 10^{-3}$ рад. и не может быть выделено экспериментально из когерентной ядерной регенерации.

В 1958 году Я. Зельдович предложил метод поиска регенерации на электронах, используя усиление её за счёт интерференции с реальной частью ядерной регенерацией. Если регенерация на электронах существует, то экспериментально амплитуда когерентной регенерации под нулём будет суммой амплитуд ядерной и электромагнитной

$$f_{21}^{\text{exp}} = f_{21}^{\text{яд}} + f_{21}^{\text{е}}$$

Так как f_{21}^e реальна, то интенсивность когерентных K_S^0 будет содержать интерференционный член $I_S \sim |f_{21} \exp|^2 =$
 $= |f_{21}^a|^2 + |f_{21}^e|^2 + 2 \operatorname{Re}(f_{21}^a \cdot f_{21}^e) \approx |f_{21}^a|^2 + 2 \operatorname{Re}(f_{21}^a \cdot f_{21}^e).$

В последнем выражении $|f_{21} \exp|^2$ и $\operatorname{Re} f_{21}^a$ определяются в предыдущем эксперименте. Для определения f_{21}^e необходимо знать величину $|f_{21}^a|$, которую можно получить из экстраполяции дифракционно регенерированных K_S^0 -мезонов $\frac{dN}{d\Omega}(\theta)$ к нулевому углу, поскольку существует теоретическое соотношение:

$$|f_{21}^a|^2 \sim |p|^2 = \frac{dN}{d\Omega}(\theta) \cdot \frac{N \cdot \lambda^2 \cdot \Lambda}{5^2 + \frac{1}{4}} \cdot \frac{1 + e^{-t} - 2 \cdot e^{-\frac{t}{2}} \cdot \cos \delta t}{1 - e^{-t}}$$

То-есть, для выполнения намеченной программы необходимо иметь пучок K^0 -мезонов и установку, регенерирующую распады $K_{L,S}^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$, возникающие в пространстве за мишенью, на которую падает пучок K_L^0 .

Канал нейтральных частиц по техзаданию ОИЯИ был спроектирован и смонтирован Институтом физики высоких энергий. Его расположение в зале ГВВ видно на рис. 2. Схема канала - на следующем рис. 3. Нейтральные частицы, рождаемые на внутренней мишени под углом Γ^0 к циркулирующему пучку, с помощью коллиматоров выводится в экспериментальную зону. От заряженных частиц пучок очищается с помощью поля ускорителя и магнита СП-129. Магнит СП-129 и свинцовый конвертор перед ним очищают пучок от гамма-квантов.

В экспериментальной зоне располагается установка, созданная Лабораторией высоких энергий ОИЯИ. Блок-схема установки представлена на рис. 4. $K_{S,L}^0$ - мезоны, распадающиеся в зоне после мишени - регенератора на две заряженные частицы

регистрируются магнитным спектрометром, состоящим из магнито-стрикционных искровых камер до и после магнита, работающих на линии с ЭВМ БЭСМ-3М. Искровые камеры запускаются системой годоскопических счётчиков *FRONT*, *G1*, *G2*. Для идентификации лептонных мод распадов K_L^0 используются детекторы электронов *E* и мюонов *M*.

По координатам искр восстанавливается геометрия распада: траектории частиц до и после магнита, импульсы частиц, суммарный вектор-импульс двух частиц и угол его с осью, точка распада K^0 -мезона.

Из элементов этой блок-схемы всё оборудование смонтировано на пучке, что можно видеть из следующих фото.

Рис. 5 - общий вид искровых камер и счётчиков перед магнитом;

Рис. 6 - общий вид искровых камер и счётчиков за магнитом;

Рис. 7 - блоки искровых камер перед магнитом;

Рис. 8 - дощечка экспериментатора с электроникой.

Все работы на канале и с аппаратурой проводились по графику, рассчитанному на представление результатов по исследованию поведения амплитуд рассеяния на Киевскую конференцию. По этому графику монтаж установки должен был быть завершён в ноябре 1969 г. В ноябре-декабре - начало комплексной наладки аппаратуры.

В течение 1969 года проделана следующая работа::

I. Проведено 5 сеансов работы на пучке, всего 87 смен (522 часа) с эффективным использованием около 60%. Из 87 смен только 16 были с приоритетом II. Остальные - с приоритетом III.

2. Оценён поток нейтронов и гамма-квантов в пучке.
3. Проверено качество коллимации пучка 5,5-метровым коллиматором.
4. Определены режимы работы более 50 счётчиков в реальных фоновых условиях.
5. Налаживалась работа электроники системы запуска искровых камер общим объёмом около 200 блоков.
6. Произведён комплексный запуск установки на пучке, включая искровые камеры, связь с БЭСМ-3М, запись информации на магнитной ленте.
7. Получены треки с записанной магнитной ленты.
8. Испытана возможность работы искровых камер в реальных фоновых условиях.

Планы на 1970 год были следующие:

1. Завершить комплексную настройку аппаратуры до апреля 1970 г. Для этого потребуется 200-300 часов работы ускорителя.

2. Форсировать технические мероприятия по обеспечению работ и запуску в Серпухове жидководородной мишени.

3. Провести экспозиции с целью набора статистики на следующих ядрах:

C - 200 часов
Si - 200 часов
P₂ - 200 часов
H₂ - 400 часов

Итого - проработать на ускорителе в 1970 году вместе с настройкой аппаратуры около 1300 часов.

Координационным советом при Институте физики высоких энергий на 1970 год нам выделено 600 часов, из них 480 - до летней остановки. Распределение этого времени по сеансам видно из представленного здесь графика. По нашим оценкам запланированного времени должно было хватить на завершение комплексной настройки аппаратуры и получение предварительных данных по регенерации на водороде.

Однако при практическом осуществлении намеченной программы встретилось ряд трудностей. Вместо запланированных на первые четыре сеанса 65 смен (390 часов), было выделено на 13 смен (78 часов) меньше.

В I-ом сеансе время было выделено с $\bar{\text{III}}$ приоритетом, т.е. с плохим качеством пучка и не могло быть использовано для настройки искровых камер. Четвёртый сеанс, в течение которого мы намечали начать набор статистики на водороде, практически не состоялся из-за малости использованного времени. У нас остаётся только один сеанс до летней остановки ускорителя. Если нам будет предоставлено запланированное время и частично компенсированы потери, то мы сможем получить данные по регенерации на водороде для интервала по энергии около 15 Гэв. Наша аппаратура находится сейчас в таком состоянии, что дальнейшие её методические улучшения могут быть сделаны только с помощью исследования самого эффекта. Мы готовы приступить к набору статистики.

Электроника и искровые камеры настроены. Каждая из 18 камер имеет высокую эффективность - 90-96% в условиях большого фона, когда среднее число искр на событие достигает 6-7. Индивидуальные камеры имеют хорошее пространственное разрешение

0,3±0,6 мм в зависимости от места расположения камеры и количества вещества перед ней. Точность проведения прямых треков характеризуется среднеквадратичным отношением искр от прямых, проведённых методом наименьших квадратов. Гистограмма распределения этих отклонений приведена на рис. 9. Здесь стандартное отклонение $\sigma \approx 0,3$ мм.

Комплексная настройка аппаратуры была завершена в апреле 1970 года, после которой было записано несколько километров магнитных лент с углеродным регенератором на пучке. По этим лентам были получены характеристики камер, о которых я говорил, и в настоящее время проводится отладка программ обработки данных на СДС-1604.

В связи с тяжёлыми фоновыми условиями пришлось существенно перестроить электронику искровых камер и программы с тем, чтобы регистрировать за одно событие до 12 искр с каждой камеры.

"Фотографии" типичных событий, полученные с помощью компьютеров, можно видеть на рис. 10-12. Видно, что перед магнитом в камерах очень много фоновых искр и треков, что значительно усложняет алгоритмы поиска полезных событий.

Одно из наиболее чистых событий представлено на рис. 13.

При проведении экспериментов в Серпухове с большим объёмом аппаратуры и большим объёмом полезной информации, которая должна быть получена в тяжёлых фоновых условиях, имеются объективные трудности, существенно замедляющие настройку аппаратуры, получение и обработку информации:

1) БЭСМ-3М до сих пор не имеет работающего минимально необходимого для проведения *on-line* экспериментов набора внешних устройств: телетайпа, широкой печати, дисплея.

2) В институте пока нет надёжной и быстрой системы переписи информации с магнитофонов БЭСМ-3М на магнитофоны СДС.

Запись на магнитофон СДС в Серпухове, которая в настоящее время вводится в строй, будет требовать для переписи времени больше или столько же, каково время проведения эксперимента. Для экспериментов с большим объёмом информации такой метод мало приемлем.

3) Большой объём программной обработки вне линии связи с ЭВМ требует непосредственного участия математиков в составлении программ и их оптимизации с точки зрения времени обработки события на ЭВМ.

4) При отладки алгоритмов поиска нужных событий с помощью программ требуется многократное обращение к ЭВМ в течение дня. Существующая организация работ на ЭВМ в ОИЯИ позволяет иметь, как правило, один подход в сутки. Необходимо для приоритетных работ увеличить количество подходов.

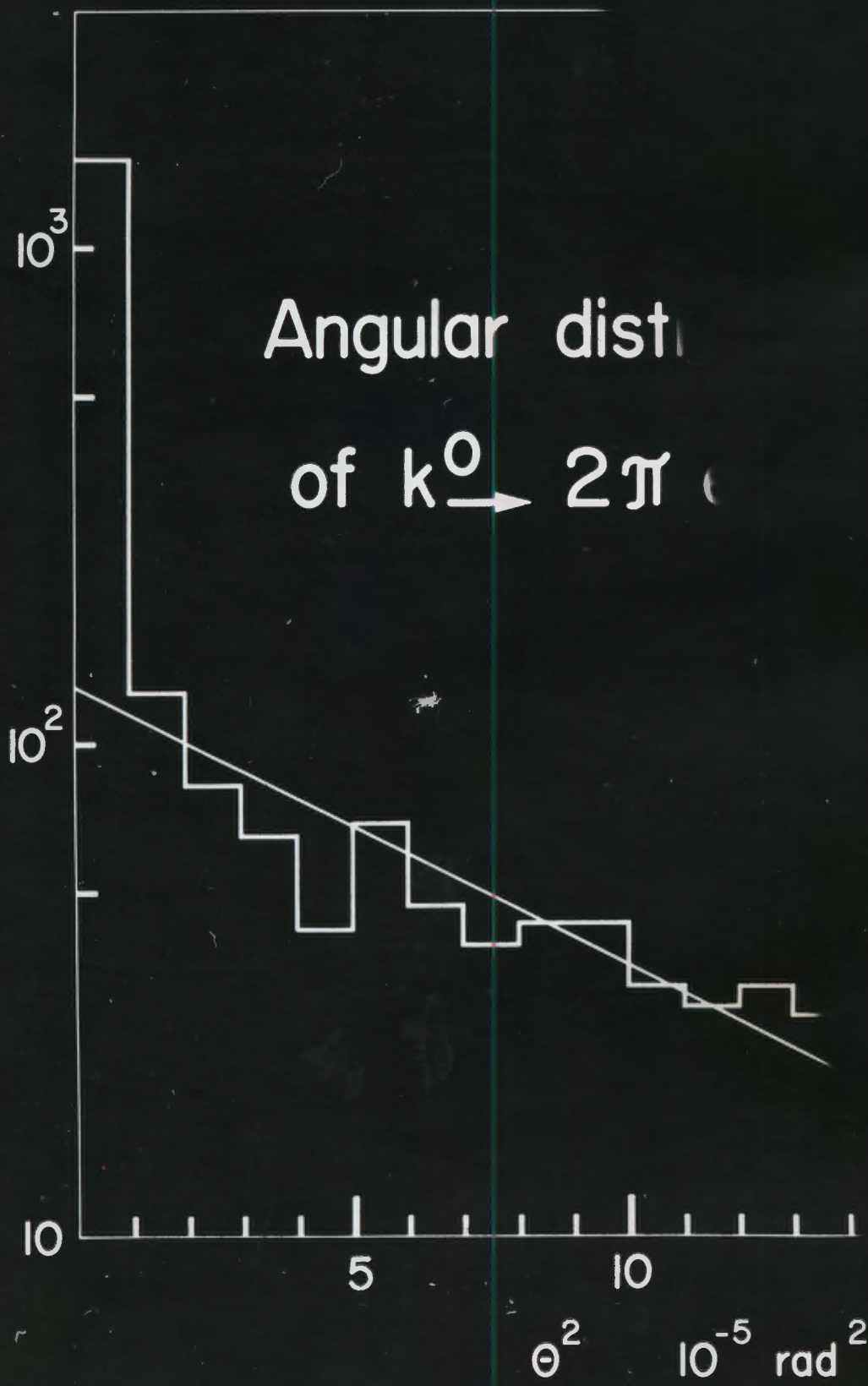
В заключении я хотел бы сказать, что в экспериментах принимают участие большой коллектив инженеров, физиков и математиков ЛВЭ и ЛВТА, а также сотрудники ПНР, БНР и ВНР. С венгерскими товарищами, участвующими в написании программ обработки экспериментальных данных, мы проводим эксперимент по обмену магнитными лентами для их обработки в Будапеште. Уже было записано несколько лент с результатами и перевезено в Будапешт. Так эти ленты читаются компьютером ICL и венгерские товарищи производят отладку программ по рабочему материалу. Эксперимент такого рода открывает новые возможности в развитии сотрудничества между ОИЯИ и лабораториями стран-участниц в подготовке, проведении и обработки экспериментов, выполняемых электронной методикой.

Давид

Г Р А Ф И К

работ на канале ИК на 1970 год
(до летней остановки)

| Номер сеанса | Летняя остановка | | | |
|---------------------------------------|---------------------|------------------|------------------|---------------|
| | I | II | III | IV |
| Дата сеанса | 18. I ÷ 6. II | 18. II ÷ 3. III | 19. III ÷ 21. IV | 12. V ÷ 6. VI |
| | 18. VI ÷ 10. VII | | | |
| Запланировано смен (часов) | 8 (48) | 14 (84) | 28 (168) | 15 (90) |
| Выделено смен (часов) | 8 (48) | 14 (84) | 24 (144) | 6 (36) |
| | III приоритет | | | |
| Использовано для работы (часов) | 34 | 75 (57 с ЭВМ) | 120 | 14 |



pic. 1

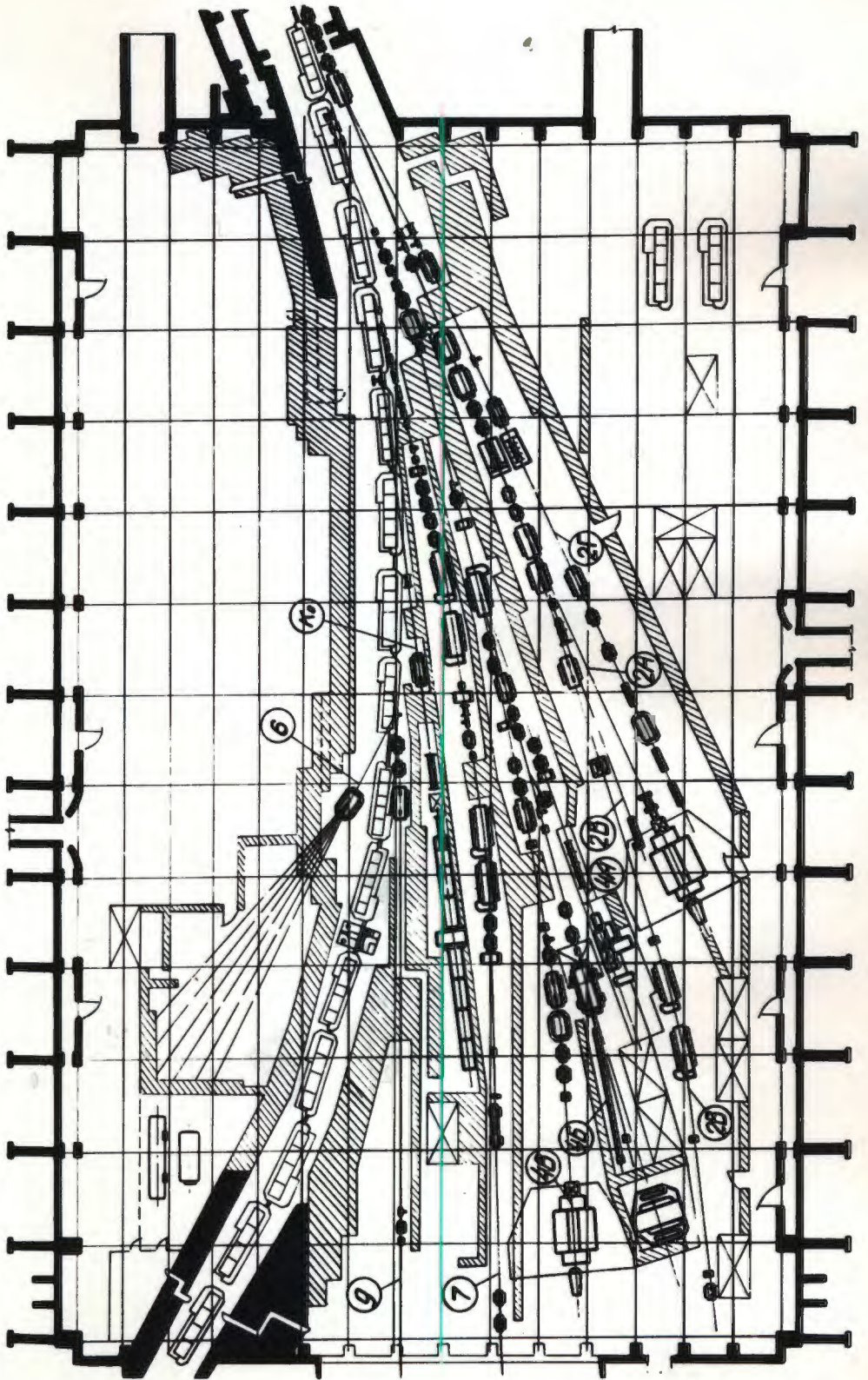


рис. 2

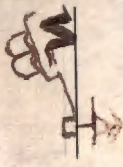
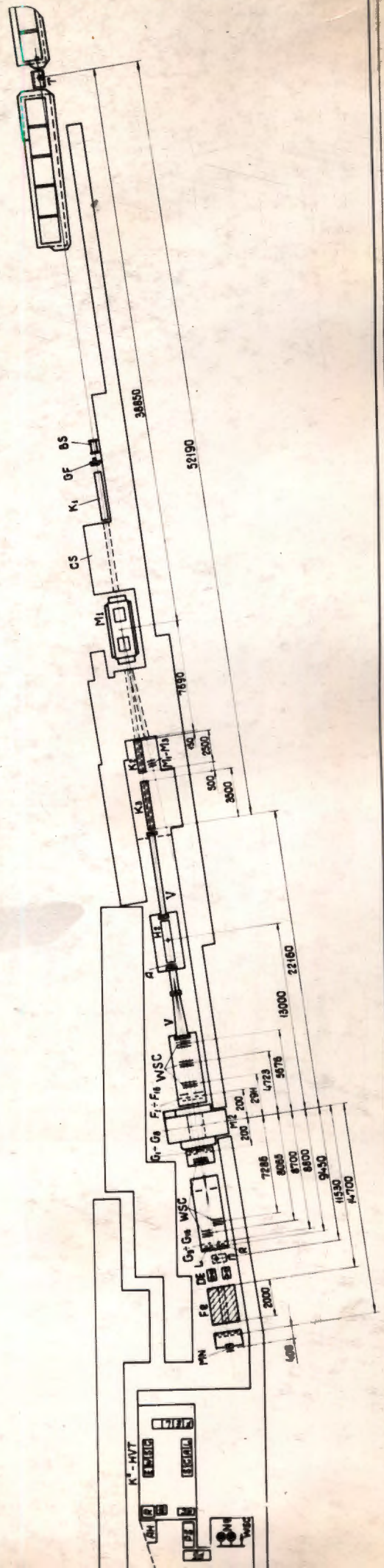


Схема канала для экспериментов
с K^0 мезонами.



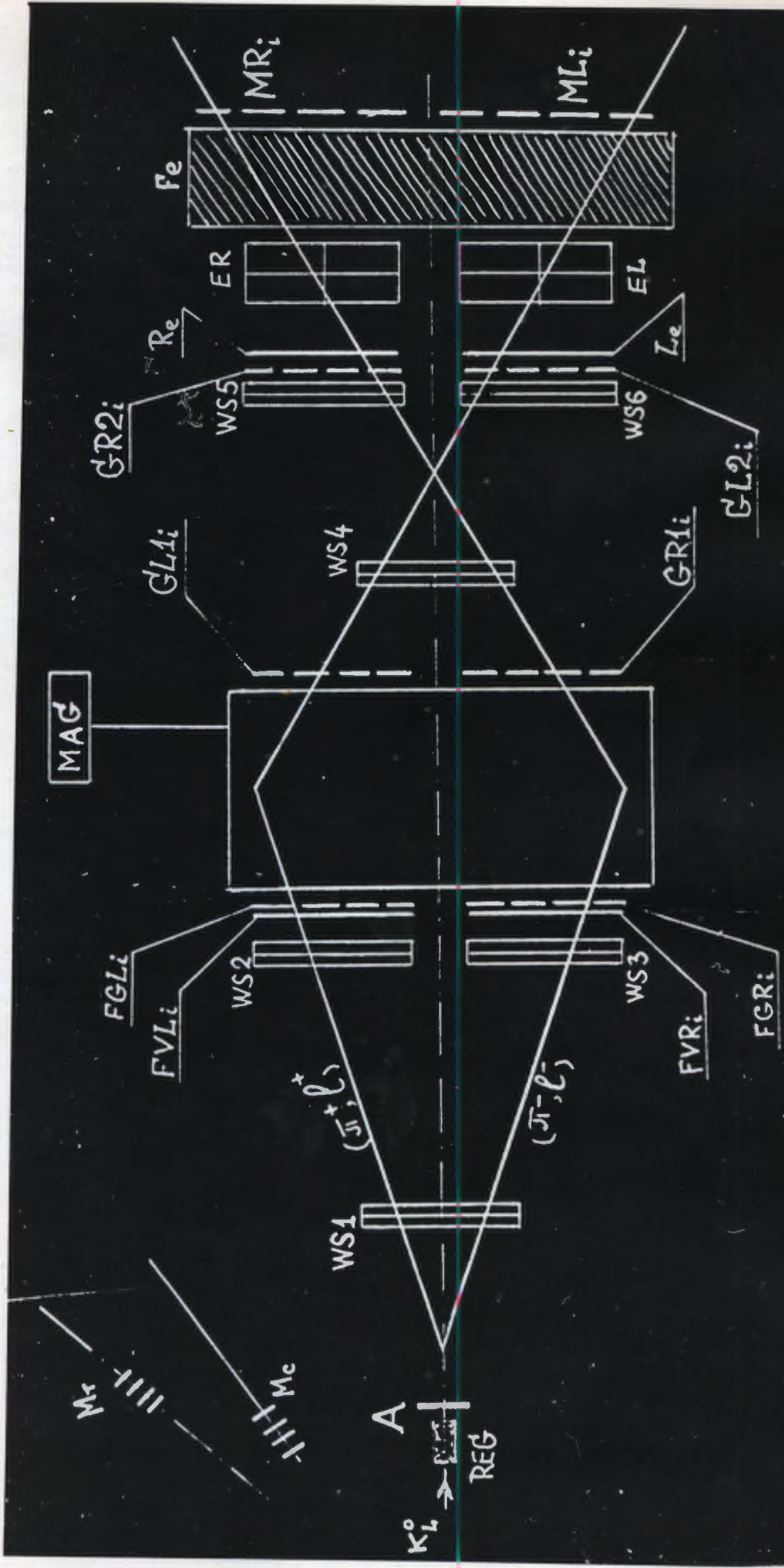


Рис. 1
 СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ АППАРАТУРЫ

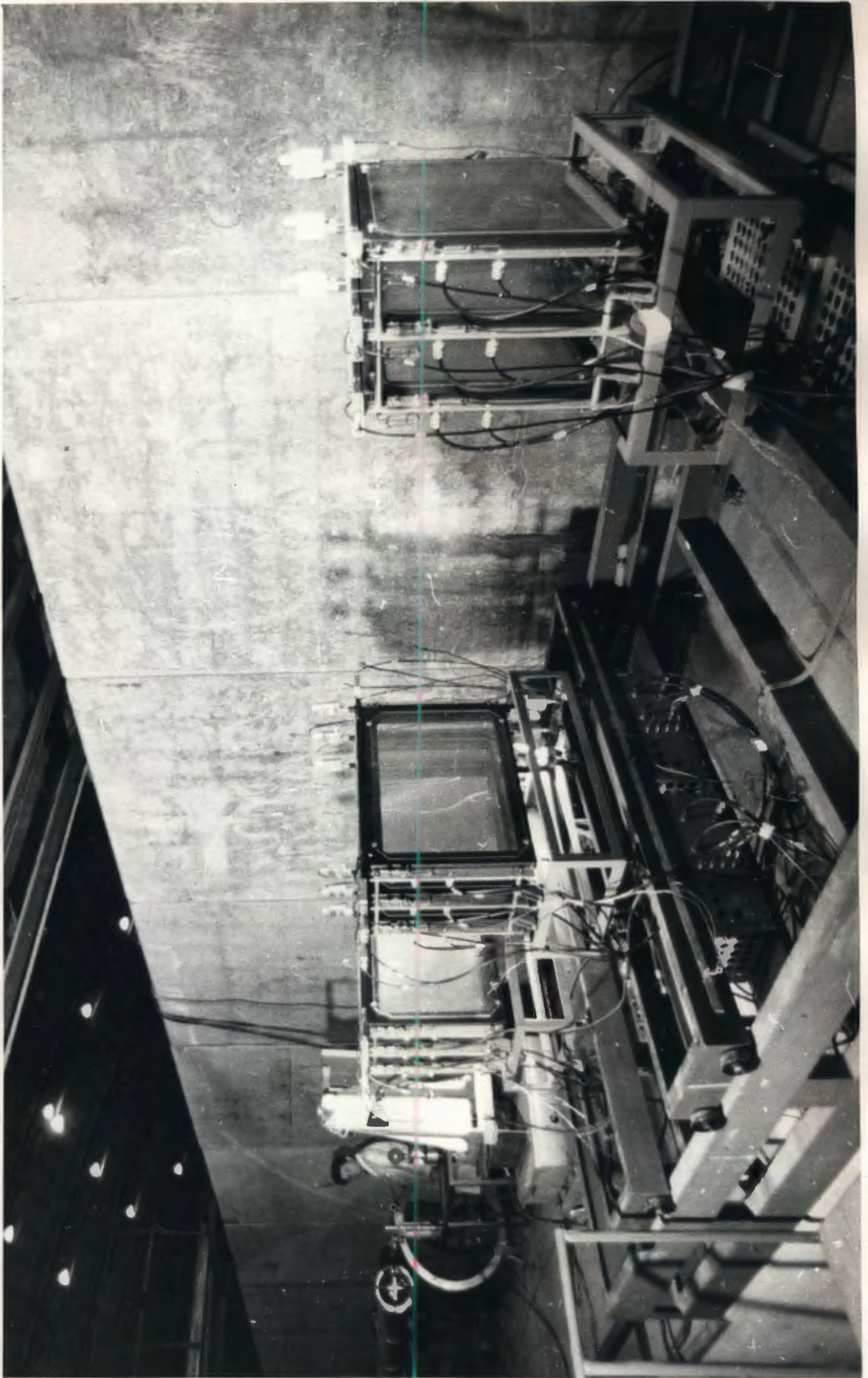
рис. 1



рис 5



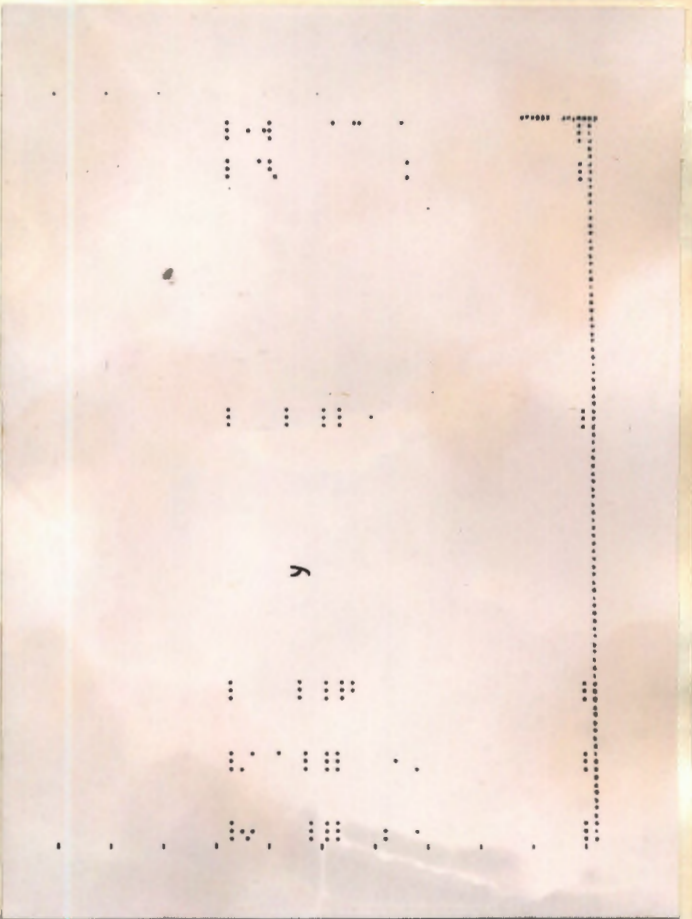
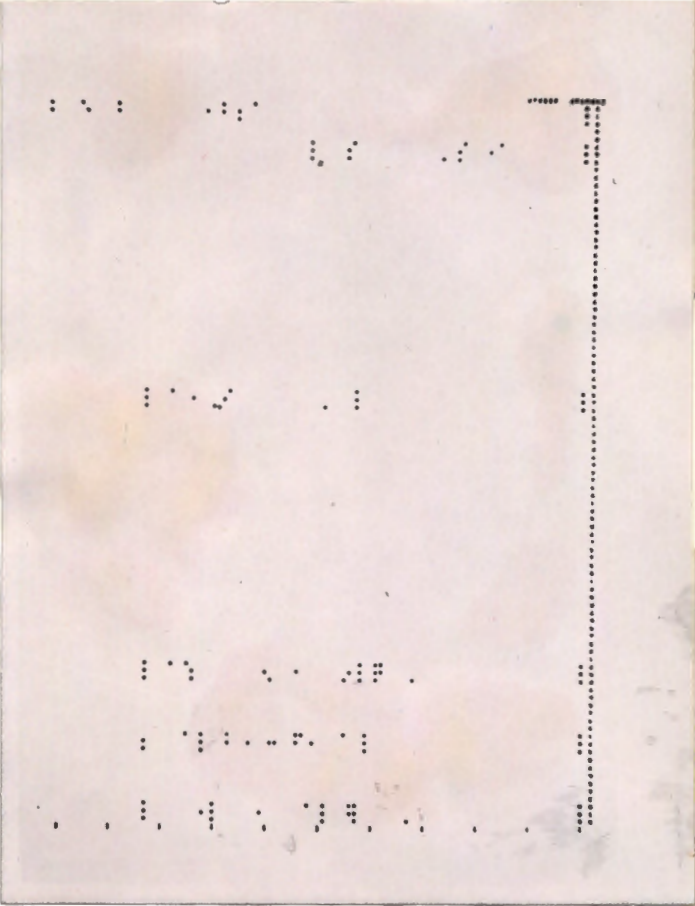
pic. 6



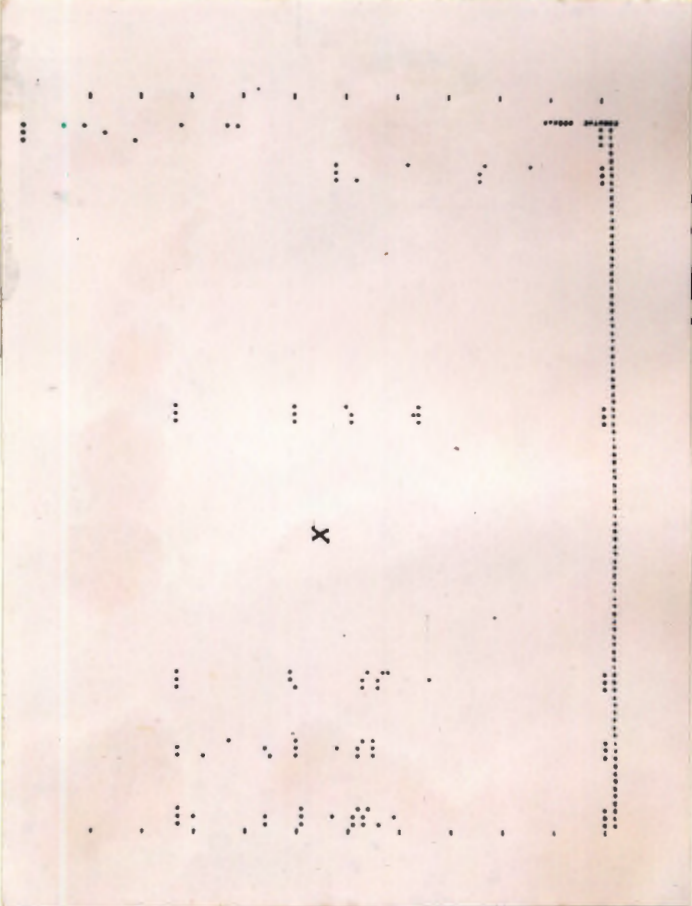
puc 7

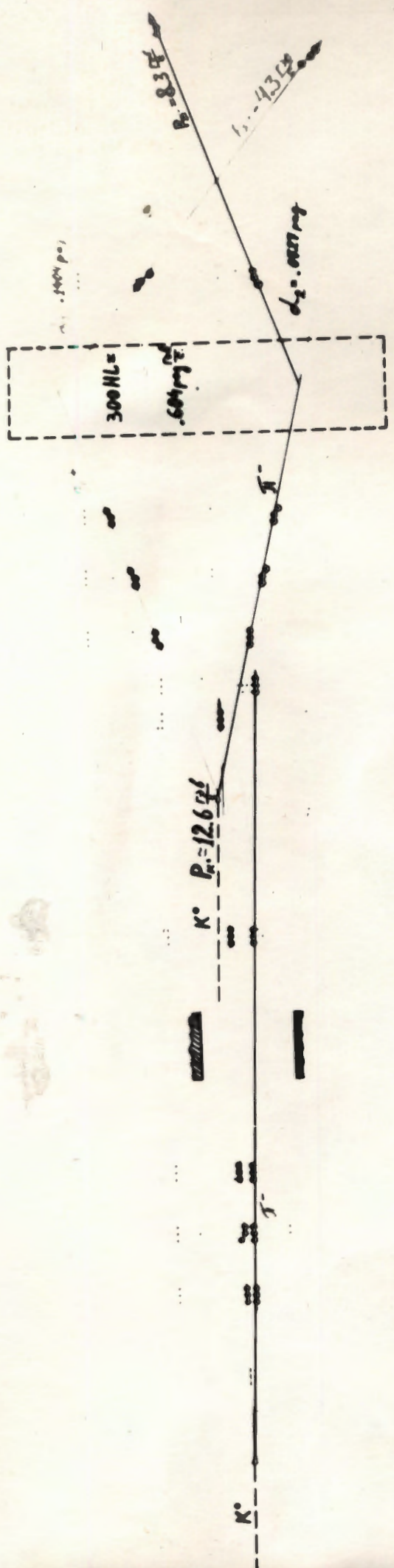


Рис. 8.



10 ÷ 12
pnc ~~#13~~





P₁₂ 14-13