

ԵՐԵՎԱՆԻ ԳՐԱԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ  
ԵՐԵՎԱՆՍԻ ԲՆԱՎԱՆԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ

ԵՓԻ-ՄՁ-7(72)

*Գ.Լ.Ասատյան, Լ.Ա.Ջիրովա, Վալ.Ա.Իվանով,  
Վիտ.Ա.Իվանով, Վ.Մ.Կրիշչյան*

**ՍՈՒՐՈՒՄ ԿԱՇՏՎԵՆՆՅԱԿ ԿՐԵՎՈՎ ԵՆ  
ՄԻՐՈՎՅԱՆՈՒՄ ԿՐԵՎՈՎ ԿԱՄԵՐԱՅ ԵՆ  
ԻՆՏԵՐՎԱԼԵ ՎՐԵՄԵՆ ԴՕ 1 ՄՏԵԿ**

**ԱՐՍՏ**



ԵՐԵՎԱՆ

1972

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАНСКИЙ      ФИЗИЧЕСКИЙ      ИНСТИТУТ

УДК 539.1.083:539.1.074.27

МЭ-7(72)

Т.Л.АСАТЯНИ, Л.А.ШИРОВА, ВАЛ.А.ИВАНОВ,  
ВИТ.А.ИВАНОВ, В.М.КРИЦЯН

ПОЛУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ТРЕКОВ В ШИРОКОПОЛЯРНЫХ  
ИСКРОВЫХ КАМЕРАХ В ИНТЕРВАЛЕ ВРЕМЕН ДО  $10^{-7}$  МСЕК

Ереван 1972

Т. Л. АСАТЯНИ, Л. А. КИРОВА, ВАЛ. А. ИВАНОВ.

ВИТ. А. ИВАНОВ, В. М. КРИШЧИАН

### ПОЛУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ТРЕКОВ В ШИРОКОАЗОРНЫХ ИСКРОВЫХ КАМЕРАХ В ИНТЕРВАЛЕ ВРЕМЕН ДО 1 МСЕК

Рассматривается возможность получения высококачественных следов заряженных частиц в широкоазорной искровой камере при больших задержках ( $\sim 1$  мсек) с помощью двойного импульсного питания и использования различных газовых смесей  $Ne + X$  ( $Ar, Kr, Xe$ ).

Показано, что при двойном импульсном питании можно добиться получения качественных следов как для чистого  $Ne$ , так и для смесей  $Ne + X$  ( $Ar, Kr, Xe$ ) в широком интервале задержек от 20 мсек до 1000 мсек.

Препринт Ереванского физического института

Ереван 1972

T. L. ASATYANI, L. A. KIROVA, VAL. A. IVANOV,

VIT. A. IVANOV, V. M. KRISHCHIAN

### TRACK STORAGE IN WIDE GAP SPARK CHAMBER FOR A TIME UP TO 1 MILLISECOND

The possibility of track storage in track chambers is considered.

It is shown that with pure  $Ne$  as well as with mixtures of  $Ne + (Ar, Kr, Xe)$  good quality tracks can be obtained in wide gap spark chamber for a delay time up to 1 millisecond by applying two high-voltage pulses successively to the chamber.

Preprint of Yerevan Physical Institute

Yerevan 1972

Трековые искровые камеры находят все более широкое применение в исследованиях физики частиц высоких энергий, как на ускорителе, так и в космических лучах.

В ряде экспериментов желательно, одновременно с коротким временем памяти (возможность большой загрузки камеры), сохранить на длительное время ( $10^{-5} - 10^{-3}$  сек) неизменную информацию о пространственной локализации следов частиц в искровой камере для того, чтобы фотографировать только полезные события.

Так, в ускорительных экспериментах за это время можно обработать на ЭВМ информацию, выведенную со счетчиков систем для решения пригодности регистрации данного события.

Возможность такой поздней, но качественной регистрации следов особенно важна для установок, содержащих ионизационные калориметры, широко используемые в физике космических лучей. Это необходимо вследствие большого времени формирования триггерного импульса с калориметра.

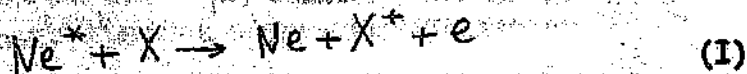
Для регистрации следов заряженных частиц в широкогазрных искровых камерах при больших задержках ( $\sim 100$  нсек) в работе Михайлова [1] был впервые успешно применен метод двойного импульсного питания. Суть метода заключается в том, что сразу же после прохождения заряженной частицы ( $\sim 1,5$  нсек) на камеру

подаётся первый высоковольтный импульс (импульс "запоминания"), амплитуда и длительность которого достаточны для образования ионизированного плазменного канала вдоль траектории частицы, но яркость которого недостаточна для регистрации его на фотоплёнку. Наличие плазменного канала вдоль траектории частицы необходимо для того, чтобы электроны, которые являются главными инициаторами повторного пробоя в чистых газах, удерживаясь электростатическим полем положительно заряженных ионов плазменного канала, диффундировали от места своего образования с существенно меньшей скоростью, характеризуемой коэффициентом амбиполярной диффузии. Это должно обеспечивать хорошую точность следования искрового канала вдоль траектории частицы при подаче второго высоковольтного импульса (импульса "регистрация").

В работе Экардта [2] для получения качественных следов заряженных частиц в стримерной искровой камере при больших задержках (до нескольких мсек), был также успешно применен метод двойного импульсного питания при наполнении стримерной камеры неон-гелиевой смесью (хелогел) и смесью неона с малыми добавками электроотрицательных газов и других благородных газов  $X$  ( $Ar, Kr, Xe$ ), имеющих более низкий потенциал ионизации.

В этом случае, при подаче первого высоковольтного импульса непосредственно после прохождения частицы через камеру, электроны первичной ионизации, ускоряясь электрическим полем высоковольтного импульса, образуют лавины, в составе которых помимо электронов и положительных ионов присутствует возбужденные метастабильные атомы основного газа и добавок. Параметры высоковольтного импульса выбираются таким образом, чтобы лавины достигали лишь своей критической величины и искровой след частицы оставался невидимым для глаз. Метастабильные атомы, также как и ионы, имея коэффициент диффузии в  $10^3$  раз меньше чем электроны, за свое среднее время

жизни  $\sim 10^{-3}$  сек практически не двигаются с места. Метастабильные атомы  $Ne^*$  имеют энергию возбуждения 16,6 эв и 16,7 эв. Эта энергия выше потенциала ионизации атомов примеси  $X$  ( $Ar, Kr, Xe$ ). Сталкиваясь с ними, метастабильные атомы  $Ne^*$  могут вызвать ионизацию последних, образуя, таким образом, в каждый данный момент времени свободные электроны на траектории частицы (эффект Пеннинга) в течении примерно нескольких мсек.



Электроны, возникшие в результате реакции (I) и не успевшие прилипнуть в атомам примеси электроотрицательных газов ( $SF_6$  или  $CF_2Se \sim 10^{-3} \div 10^{-5}\%$ ), являются инициаторами возникновения искровых следов при подаче второго, задержанного высоковольтного импульса.

Настоящая работа посвящена исследованию возможности получения треков высокого качества в широкоазорной искровой камере, в интервале времени задержки  $\tau_{зд} \leq 1$  мсек.

Схема установки приведена на рис. I.

Двухсекционная искровая камера ИК-1 (размер  $25 \times 25 \times 10$  см<sup>3</sup>) срабатывает от импульса двойного совпадения, вызванного прохождением космических мюонов через свинцовый фильтр толщиной 10 см и телескоп сцинтилляционных счетчиков  $C_1$  и  $C_2$ .

Искровая камера ИК-1 питалась последовательно двумя высоковольтными импульсами, сформированными генераторами ГИН-1 и ГИН-2, через соответствующие разрядные промежутки. Параметры высоковольтных импульсов менялись с помощью изменения кунтирующего сопротивления и величины подаваемого на генераторы напряжения. Задержка в подаче первого высоковольтного импульса составляла  $\sim 0,3$  мсек. Второй высоковольтный импульс - "импульс регистрации", амплитудой примерно в два раза больше первого, прикладывался к искровой

камере с переменной задержкой от 0,3 мксек до 200 мксек.

Исследования проводились с различными газовыми наполнениями камеры: как с чистым  $Ne$ , так и смесями  $Ne$  с  $He$ ,  $Ar$ ,  $Kr$ ,  $Xe$ , в которые иногда добавлялся фреон  $CF_2Cl_2$  ( $\sim 10^{-3}\%$ ).

Режим работы камеры различался по характеру формирования следа при подаче первого высоковольтного импульса, а именно:

I) след частицы на глаз невидим ( $E_1 = 3,8$  кв/см,  $RC_{имп} = 165$  нсек);

II) след частицы чуть-чуть намечается в виде тонкой едва заметной белой ниточки, яркость которой не достаточна для фотографирования даже при относительном отверстии  $I : 1,5$  ( $E_1 = 4,1$  кв/см,  $RC_{имп} = 165$  нсек);

III) след ~~частицы~~ ~~на глаз~~ ~~не~~ ~~видим~~ и фотографируется при диафрагме  $I : 2$  ( $E_1 = 4,35$  кв/см,  $RC_{имп} = 165$  нсек).

Амплитуда второго высоковольтного импульса выбиралась такой, чтобы яркость следов была достаточна для их фотографирования при диафрагме  $I : II, I : 16$  ( $E_2 = 7,5$  кв/см,  $RC_{имп} = 165$  нсек).

Все вышеприведенные значения ( $E_1, E_2, RC$ ) соответствуют смеси  $Ne + Ar$  (2%).

В чистом неоне и неон-гелиевой смеси осуществить работу в режиме I не удалось. Однако в чистом неоне при режимах II и III были получены качественные следы как одиночных, так и живых частиц при задержках от  $\tau_{зад} = 300$  мксек до  $\tau_{зад} = 1$  мсек.

В следующих сериях измерений исследовалась работа камеры наполненной чистым неоном с ибными добавками различных количеств благородных газов  $Ar$ ,  $Kr$ ,  $Xe$ . Для всех этих смесей удалось получить качественные следы при всех трех режимах (I, II, III). Наилучшие результаты были получены для смесей  $Ne + Ar$  (0,2 + 2%),  $Ne + Kr$  (0,4 + 1%), а так же для  $Ne + Xe$  (0,25) + фреон ( $7 \cdot 10^{-3}\%$ ). На рис. 2 и 3 приведены фотографии следов заривших частиц для смесей  $Ne + Ar$  (2%) и  $Ne + Kr$  (0,4%). Цифры под треками

означает на сколько миксек задерживается "импульс регистрации";

а) - режим работы с одним ГИНОм (ГИН-2); б) - двойное питание (режим I); в) - двойное питание (режим II). Общей характерной чертой, присущей смесям  $Ne + X$  ( $Ar$ ,  $Kr$ ,  $Xe$ ) являлось то, что при задержках меньше 20 миксек треки получались недостаточно резкими, с диффузным ореолом и плохой локализацией при работе в режимах I и II, а для смеси  $Ne + X$  (0,1 + 1%) треки имели такой характер вплоть до задержек 100 миксек. Качественные следы в области малых задержек можно получить, увеличивая амплитуду первого высоковольтного импульса с одновременной добавкой в объём камеры малых концентраций фреона ( $\sim 10^{-2} + 10^{-3}$  %).

В таблице I приведены результаты количественных измерений, характеризующих точность локализации искровых следов в широкозазорной искровой камере для смеси  $Ne + Ar$  (2%) в зависимости от задержки импульса регистрации.  $S_1$  и  $S_2$  - среднеквадратичный разброс точек трека от аппроксимирующей прямой для первого и второго отсеков камеры соответственно, а  $\alpha$  и  $d$  - средний угол и сдвиг между искрами для одного и того же трека в двух отсеках камеры. Для получения этих данных нами для каждой позиции таблицы I на полуавтоматическом просмотровом проекторе "Дусик", обрабатывалось примерно 70 ± 80 искровых следов, идущих под углом  $0 + 10^\circ$  и направлением электрического поля независимо от их местонахождения, по всему рабочему объёму камеры. Кроме того, мы не предпринимали каких-либо попыток с целью уменьшения электрических и оптических дисторсий. Таким образом, полученные результаты не являются оптимальными. Как видно из рис. 4 и таблицы I, в обоих режимах точность локализации искровых следов мало отличается от значений, полученных в контрольных измерениях для чистого неона и смеси  $Ne + Ar$  (2%) при обычном 3-х-отном импульсном питании с минимальной задержкой в подаче высоковольтного импуль-

са ( $\tau_{зад} = 0,3$  мксек). В случае двойного импульсного питания наблюдается даже некоторое улучшение качества трека, что связано с исчезновением волнистого характера искровых следов. И, несмотря на то, что при двойном импульсном питании треки становятся чуть толще, отсутствие волнистого характера и наличие резкой, ровной границы у трека в поперечном направлении позволяет определить центральную ось траектории на автоматических просмотровых проекторах с гораздо большей точностью.

Предварительные эксперименты, проведенные нами с целью выяснения ливневой эффективности таких камер при двойном импульсном питании, проводились с использованием контрольной разрядной и искровой камеры ИИ-2 (см. рис. 1), наполненной чистым неоном, которая, как хорошо известно, обладает 100% ливневой эффективностью. На рис. 5 приведены фотографии ливневых случаев для чистого неона - (а) и смеси  $Ne + Ar$  (0,2%) - (б). Камера ИИ-1 в этом случае работала в режиме III для одиночных треков и, фактически, в режиме II для случаев множественной регистрации частиц. Это объясняется хорошо известным фактом, что при регистрации ливневых случаев яркость каждого из треков значительно ниже, чем в случае регистрации отдельных одиночных частиц. Из рис. 5 видно, что ливневая эффективность и степень локализации ливневых следов при двойном импульсном питании в широком диапазоне задержек, по крайней мере, не хуже, чем в контрольной камере при  $\tau_{зад} = 0,25$  мксек.

То обстоятельство, что в режиме I качественные искровые следы наблюдаются лишь в смеси  $Ne + X$  ( $Ar, Kr, Xe$ ) (где  $X$  - газы  $Ar, Kr, Xe$ ) ниже энергии возбуждения метастабильных атомов  $Ne^*$  и не наблюдается в чистой  $Ne$ , действительно указывает на вклад эффекта Пеннинга в формирование следа при больших задержках. С другой стороны, получение

качественных следов при больших задержках в чистом неоне и заметное ухудшение качества следов в режиме II по отношению к режиму I в случае смесей  $Ne + X$  ( $Ar_2, Kr_2, Xe$ ), указывает и на существенную роль амбиполярной диффузии в формировании следа.

Таким образом, именно, совместное действие этих двух механизмов и обуславливает получение качественных искровых следов в широкогазовых камерах в интервале времен  $20 \div 1000$  мксек.

Полученные нами результаты показывают, что метод двойного импульсного питания при работе с различными смесями  $Ne + X$  ( $Ar_2, Kr_2, Xe$ ) в широкогазовых искровых камерах даёт прекрасные результаты и может применяться при работе на ускорителях и в фляшке космических лучей.

В заключение хотелось бы отметить и такой немаловажный фактор, как уменьшение пробойного напряжения при добавлении к неону малых добавок  $Ar_2, Kr_2, Xe$ , что в значительной мере облегчает те трудности, которые связаны с экранированием и защитой от высоковольтных наводок на электронную логику.

На рис. 6 приведены кривые зависимости минимального пробойного напряжения для смеси  $Ne + Ar_2$  от длительности высоковольтного импульса  $RC$  и концентрации  $\gamma$  аргона в смеси. За минимальное пробойное напряжение принималось то напряжение, при котором искровой след частицы находится на грани видимого и регистрируется визуально, или же с помощью ФВУ или ЭОЦа. Как видно из этих кривых: а) величина пробойного поля уменьшается с ростом концентрации аргона  $\gamma$ , достигает минимума и далее возрастает с ростом  $\gamma$ ; б) величина  $\gamma_{мин}$  для минимального пробойного поля растёт с уменьшением  $RC$ . Это можно объяснить, учитывая тот факт, что с ростом  $E/P$  или уменьшением  $RC$  всё более преобладающим становится процесс поперечной диффузии неона

и аргона по сравнению с ионизацией, обусловленной столкновением нестабильных атомов  $Ne^*$  с атомами аргона (эффект Пеннинга).

Так как ионизационный потенциал аргона (15,8 эв) меньше чем у неона (21,6), то прямая ионизация атомов аргона с ростом  $\gamma$  становится преобладающей в электронном разряде. Поэтому пробойное напряжение падает с ростом количества аргона в смеси. С другой стороны, ввиду того, что поперечное сечение упругих столкновений в аргоне больше чем в неоне, средняя энергия электронов уменьшается с ростом общего количества аргона, что с необходимостью приводит к увеличению пробойного напряжения. Наличие этих двух процессов и приводит к возникновению минимального пробойного напряжения для каждого данного RC.

То что величина  $\gamma_{мин}$  медленно уменьшается с ростом RC или уменьшением E/p, можно объяснить тем фактом, что уменьшение сечений реакций для неупругих соударений электронов в смеси  $Ne + Ar$  более чувствительно к росту величины  $\gamma$  при малых E/p, чем при больших [3].

Таблица I

Смесь	Величина	$\tau_{зад} = 50$ мксек	$\tau_{зад} = 100$ мксек	$\tau_{зад} = 600$ мксек	$\tau_{зад} = 1000$ мксек
Mg Ar (2%) режим	$S_1$ (мк)	141 ± 41	134 ± 51	124 ± 43	151 ± 45,5
	$S_2$ (мк)	151 ± 47	137 ± 61	126 ± 50	132 ± 40,6
	$\alpha$ (рад)	(1,72 ± 1,27) × 10 <sup>-3</sup>	(1,39 ± 1,03) × 10 <sup>-3</sup>	(1,35 ± 0,96) × 10 <sup>-3</sup>	(1,56 ± 0,97) × 10 <sup>-3</sup>
	$d$ (мм)	0,82 ± 0,52	1,03 ± 0,6	0,45 ± 0,42	1,01 ± 0,7
Ne + Ar (2%) режим	$S_1$ (мк)	119 ± 43	112 ± 34	116 ± 35,8	149 ± 53
	$S_2$ (мк)	110 ± 35	103 ± 25	98 ± 26,6	140 ± 47
	$\alpha$ (рад)	(1,71 ± 1,12) × 10 <sup>-3</sup>	(1,65 ± 1,03) × 10 <sup>-3</sup>	(1,49 ± 1,0) × 10 <sup>-3</sup>	(1,79 ± 1,31) × 10 <sup>-3</sup>
	$d$ (мм)	0,54 ± 0,6	0,41 ± 0,4	0,34 ± 0,3	0,82 ± 0,98
Чистый неон ( $\tau_{зад} = 0,3$ мксек)				Ne + Ar (2%) ( $\tau_{зад} = 0,3$ мксек)	
$S_{1,2} = (145 ± 32)$ мк; $d = (0,31 ± 0,23)$ мм		$S^*_{1,2} = (142 ± 36)$ мк; $d = (0,42 ± 0,28)$ мм			
$\alpha = (1,73 ± 1,31) \times 10^{-3}$ рад				$\alpha = (1,55 ± 1,22) \times 10^{-3}$ рад	

— Среднеарифметическое значение измеренных величин  $S_1$  и  $S_2$  по двум отсечкам измерения.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис. 1 Схема установки.

$C_1, C_2$  - сцинтилляционные счетчики;  $Pb$  - свинцовый поглотитель; ГИИ-1, ГИИ-2, ГИИ-3 - генераторы Аркадьева-Маркова; ГП - генераторы поджига; СС - схема совпадений; ЛЗ - линия задержки; БЗ - блок задержки.

Рис. 2 Фотографии следов заряженных частиц для смеси  $Ne + Ar (2\%)$ .

а) обычное питание; б) двойное питание (режим I); в) двойное питание (режим II). Цифры под треками - задержка  $\tau$  мксек.

Рис. 3 Фотографии следов заряженных частиц для смеси  $Ne + Kr (0,4\%)$ .

а) обычное питание; б) двойное питание (режим I); в) двойное питание (режим II); цифры под треками - задержка  $\tau$  мксек.

Рис. 4 Зависимость среднеквадратичного отклонения точек трека от аппроксимирующей прямой от задержки высоковольтного импульса.

1 - настоящая работа, двойное импульсное питание,  $Ne + Ar (2\%)$ ; 2 - [1], двойное импульсное питание, разрядная камера,  $Ne + (C_2H_5OH)$ ; 3 - работа [4], обычное питание,  $Ne + (C_2H_5OH)$ .

Рис. 5 Фотографии дивных случаев чистого  $Ne$  и смеси

$Ne + Ar (0,2\%)$  (режим II).

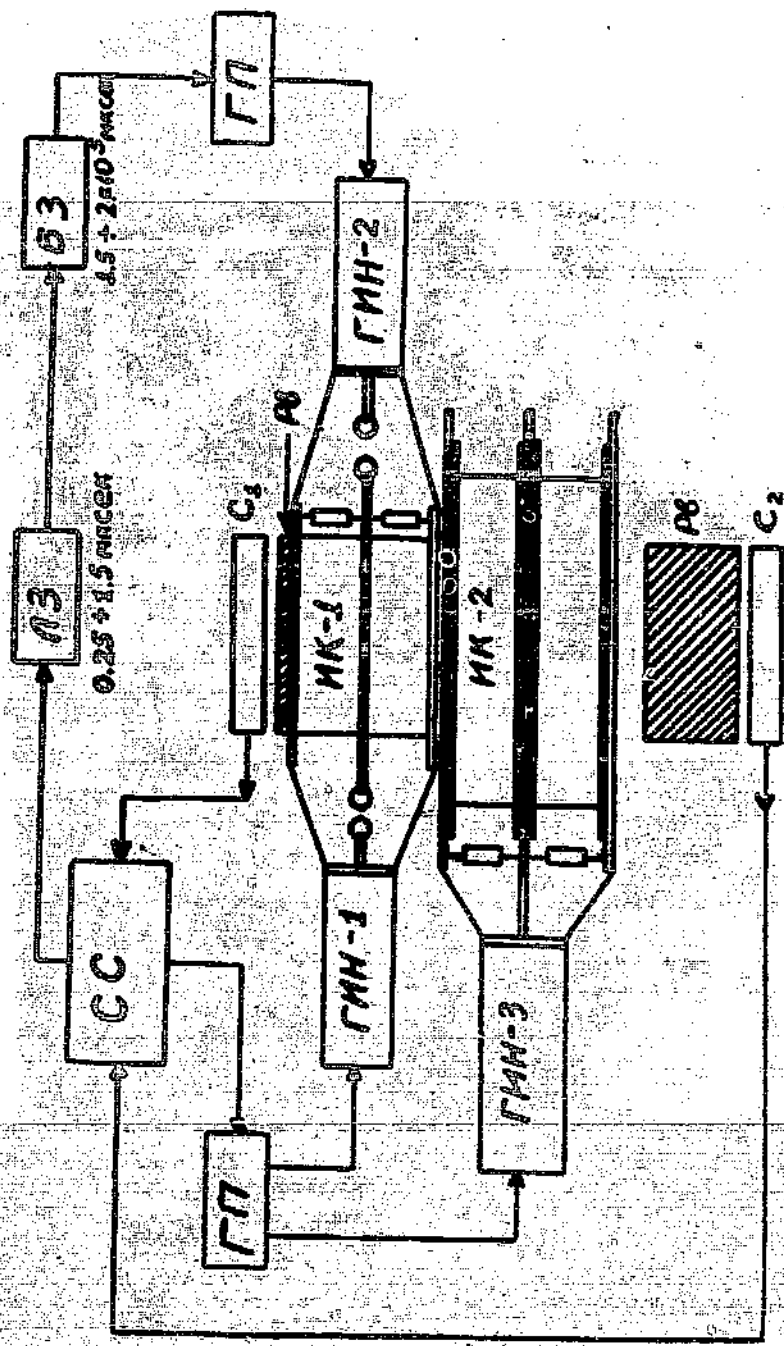
а) чистый  $Ne$ ; б)  $Ne + Ar (0,2\%)$ . Цифры под треками - задержка  $\tau$  мксек.

Рис. 6 Зависимость минимального пробойного напряжения для смеси

$Ne + Ar$  от концентрации аргона ( $\alpha$ ) и длительности высоковольтного импульса ( $RC$ ).

1-RC = 66 нсек; 2 - RC = 110 нсек; 3 - RC = 165 нсек;

4-RC = 4,4 нсек





b)

a)

$10^3$

600

100

$10^3$

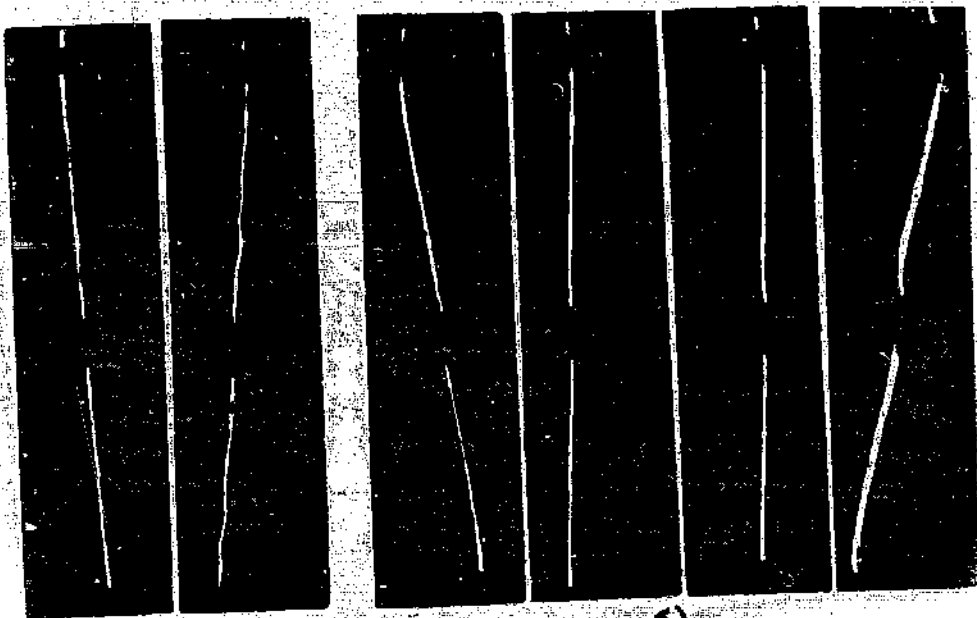
600

100

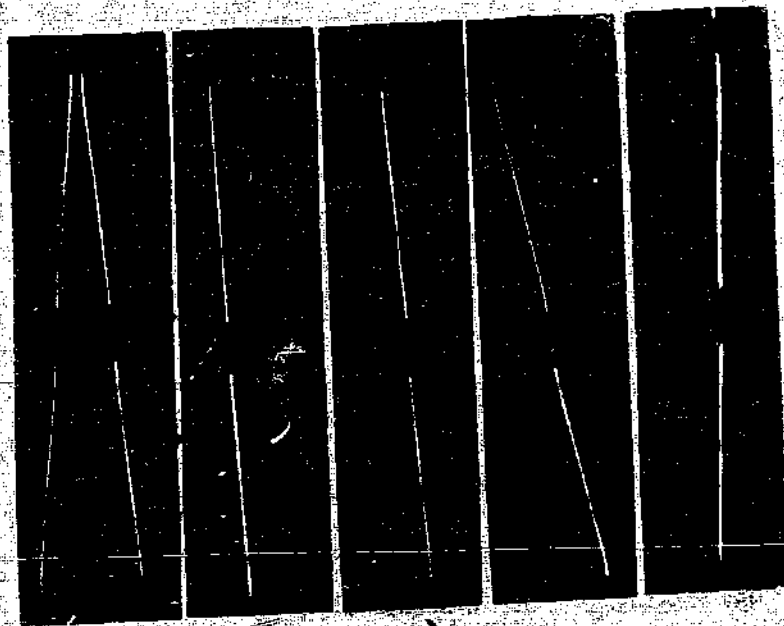
50

5

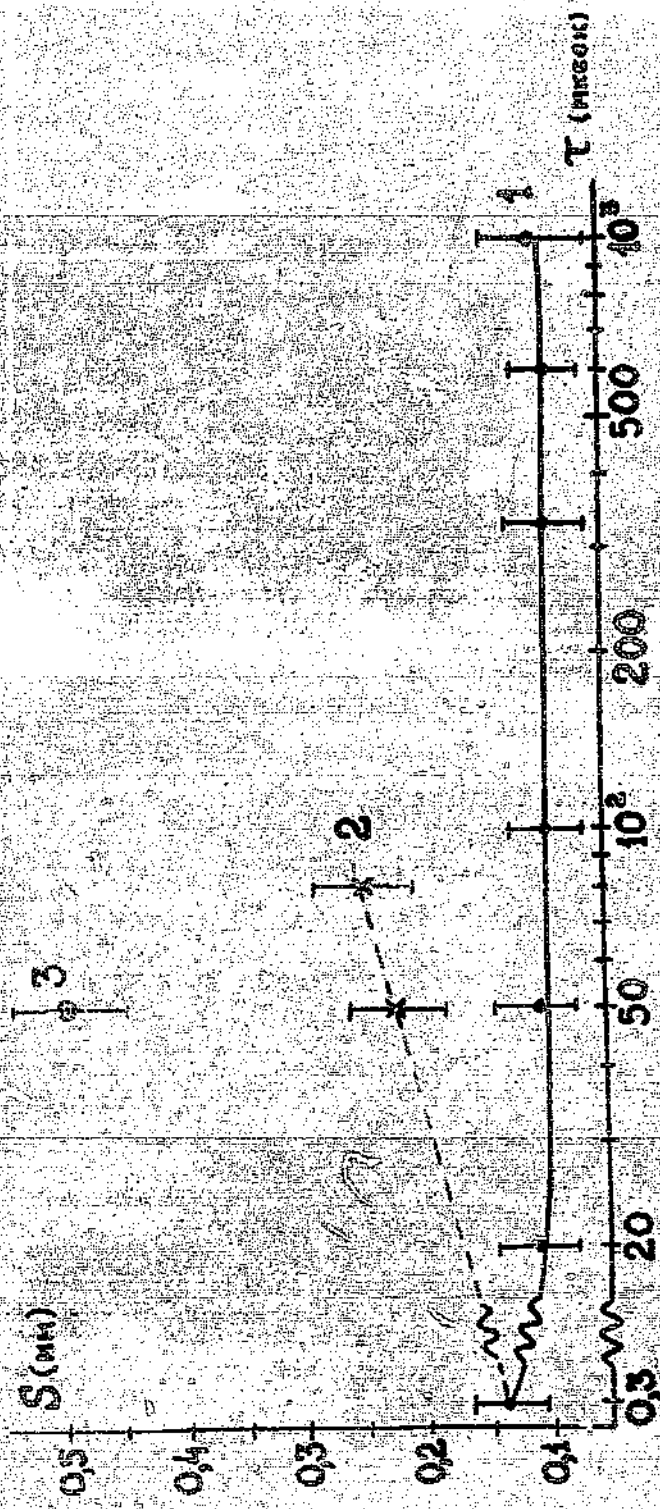
0,25

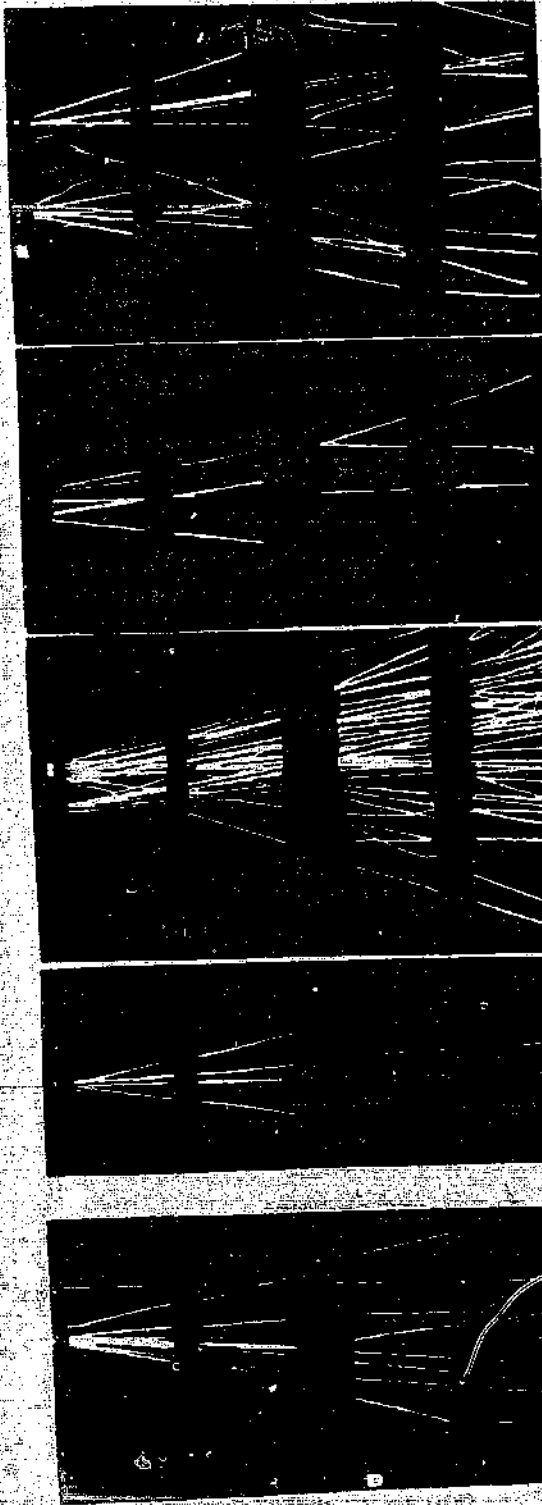


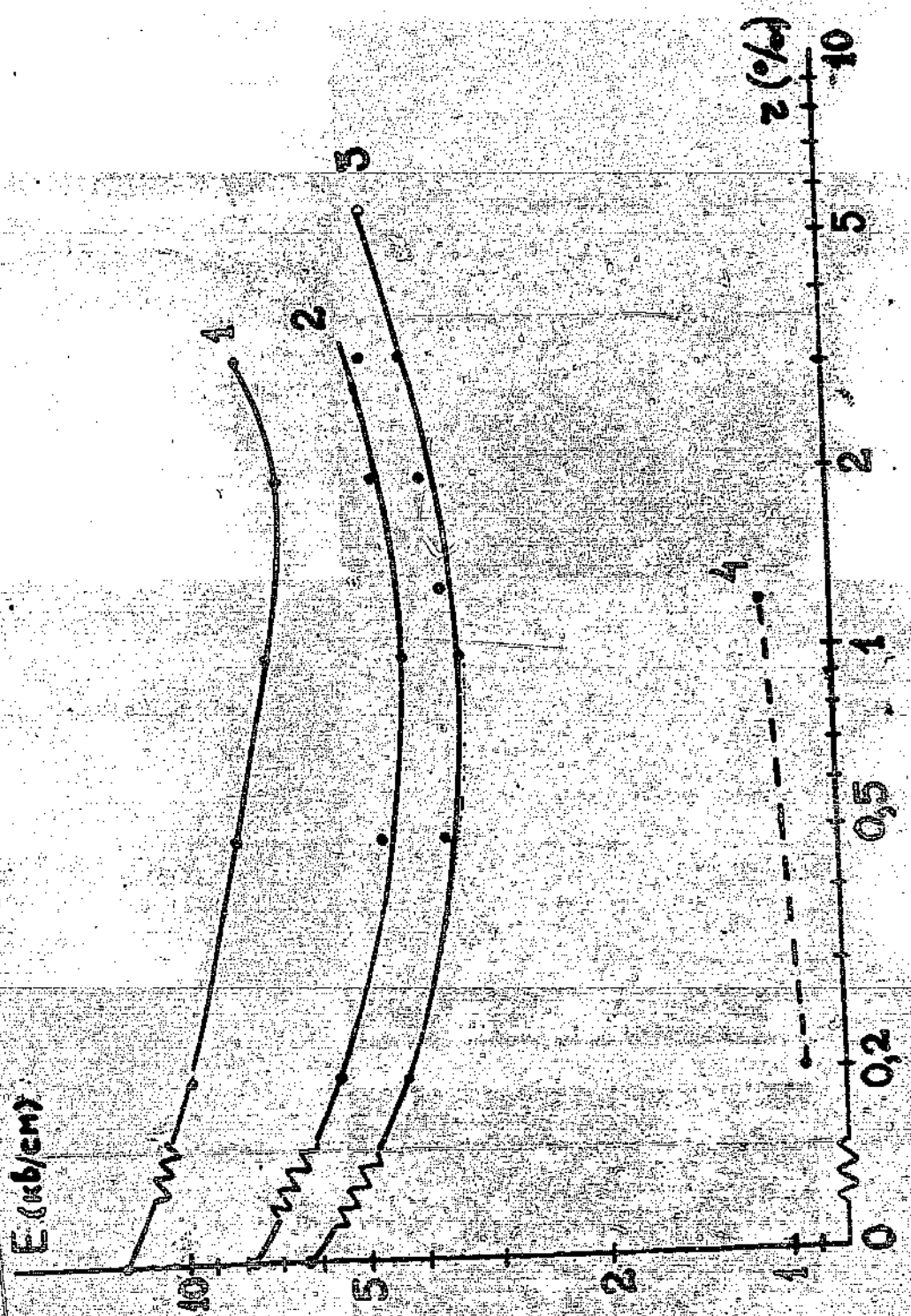
a) 0,25 1,5 50 100 10<sup>3</sup> 3,4x10<sup>3</sup>



b) 20 50 100 600 3,4x10<sup>3</sup>







## ЛИТЕРАТУРА

1. В.А.Михейдов, Н.С.Ильин. ИТЭ, 3, 209 (1969)
2. V.Eckardt. Preprint, DESY, 70/60 (1970)
3. T.Tsukishima. J.Phys. Soc. Japan, 18, 558 (1963)
4. L.P.Kotenko, G.I.Merzon, A.D.Vinogradov, N.G.Vlasov.  
Nucl. Instr. Meth., 54, 119. (1967)

Рукопись поступила 18-го апреля 1972года



Редактор Д. П. Мукаян  
Тех. редактор К. О. Мирякин

Заказ 1340 Тираж 300  
Подписано в печати 30/УП-72г. 1,5 уч. изд. л. Цена 10к

---

Ереванский физический институт, Ереван-36, Маркаряна 2