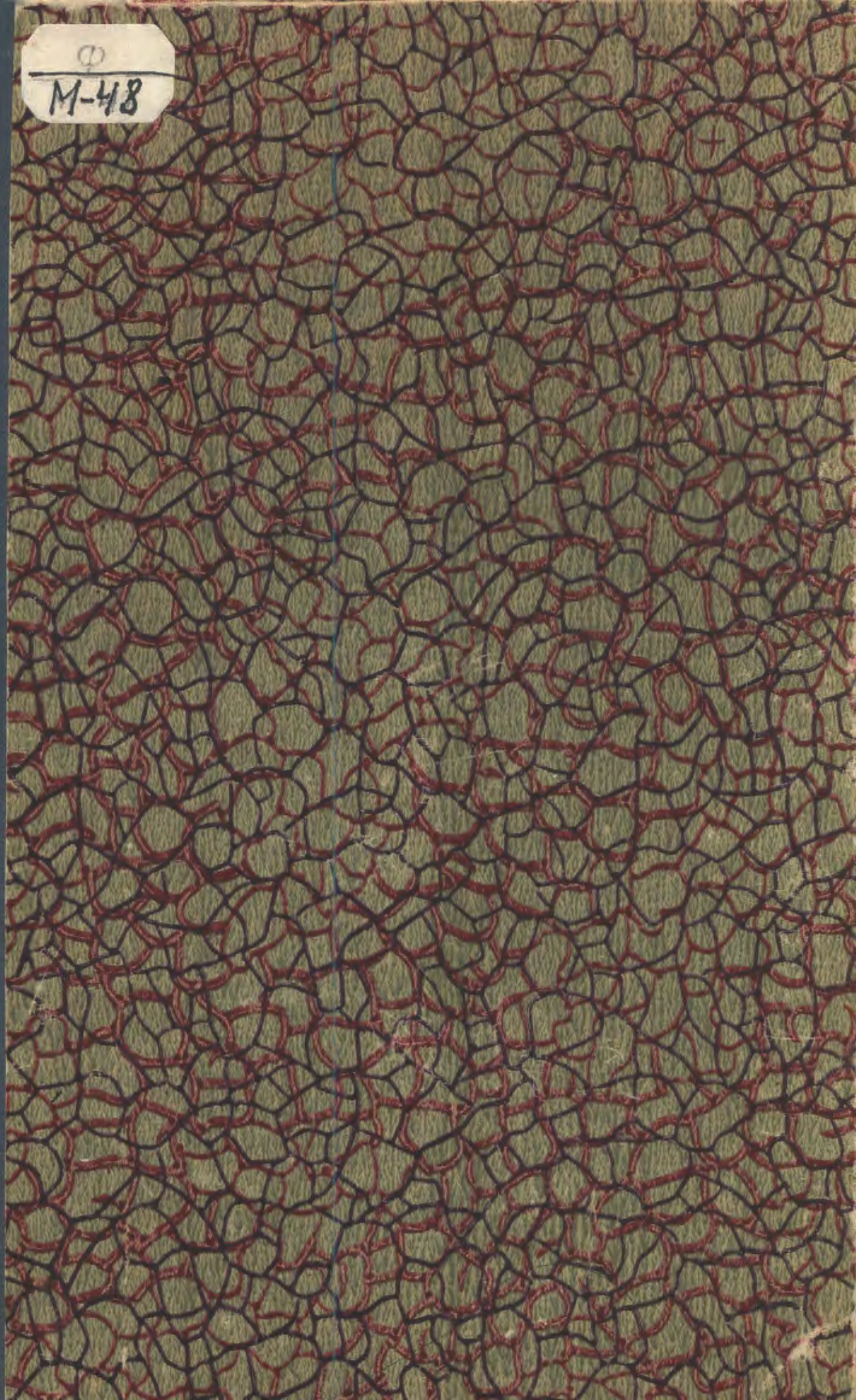


φ

M-48



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

"Утверждаю"

Ф  
м-48

Зам Директор<sub>а</sub> Лаборатории Высоких  
энергий

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОВОГО ПОРОГОВОГО

ЧЕРЕНКОВСКОГО СЧЕТЧИКА

Исполнители: Мельников [В.К.]  
Охрименко [И.С.]  
Троян [Ю.А.]

Составили отчет: Мельников  
Охрименко  
Троян

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

- август 1956 г. -

## Об эффективности газового порогового черенковского счетчика

Использовался телескоп из трех сцинтилляционных и одного черенковского счетчика. 3 сцинтилляционных счетчика включены в схему тройных совпадений. Четверная схема совпадений включает 3 сцинтилляционных и черенковский счетчики.

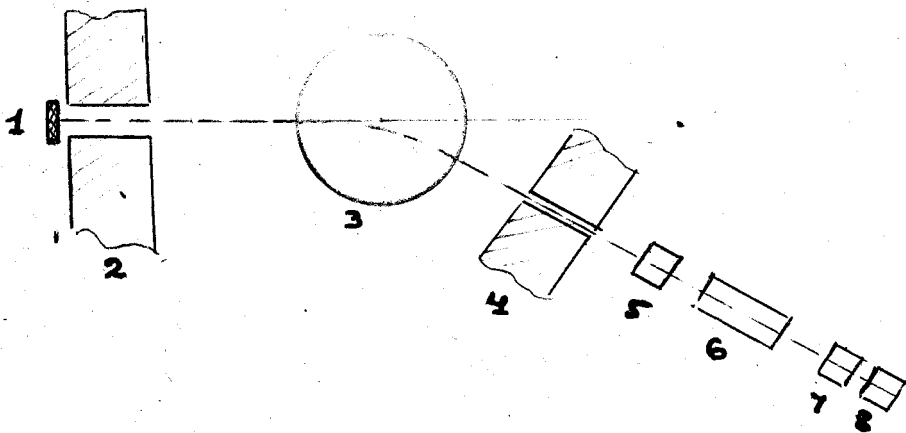
Работа производилась на электронах синхротрона "Питомника", имевших  $E = 250$  Мэв.

Эффективность черенковского счетчика определяется отношением числа импульсов схемы четверных совпадений к числу импульсов тройных совпадений:

$$A = \frac{N_{1234 \text{ истинные}}}{N_{123 \text{ истинные}}}$$

### Схема установки

Геометрия опыта следующая:



- 1 - углеродная мишень толщиной 2 см.
- 2 - коллиматор № 1 с отверстием диаметром 42 мм и длиной 150 мм
- 3 - анализирующий магнит СП-11.
- 4 - коллиматор № 2 с отверстием диаметром 33мм и длиной 150мм
- 5,7,8 - сцинтилляционный телескоп
- 6 - черенковский счетчик.

### Сцинтилляционные счетчики

Сцинтиллятором служит твердый раствор терфенила в стироле, выполненный в виде цилиндра с диаметром 20мм и длиной 20мм. Плексигласовым световодом длиной  $l = 70$  и диаметром 30. Сцинтиллятор соединен с фотокатодом ФЭУ-19М. Для оптического контакта световода с фотокатодом не использовалось ничего, т.к. измерения не дали разницы в максимальных амплитудах импульсов от ФЭУ со слоем вазелинового масла между фотокатодом и световодом, и с воздушным промежутком между световодом и фотокатодом ФЭУ. Сцинтиллятор заключен в алюминиевый колпачок, внутри которого помещена пружина, прижимающая сцинтиллятор со световодом к фотокатоду ФЭУ. Электроны, использовавшиеся в опыте, оставляют в сцинтилляторе около 4 мэв энергии. Если принять это <sup>«то, что»</sup> на образование 1 фотона требуется около 200 эв, то

число фотонов от одного электрона равно:

$$n_{\varphi} = \frac{4 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^2} = 2 \cdot 10^4$$

Световод не дает заметной потери света: амплитуда импульсов от сцинтиллятора со световодом и без него различались примерно на 20%.

Расчет разброса амплитуд из-за различного сбора света от сцинтиллятора в зависимости от места попадания частицы в сцинтиллятор произведен для 2-х точек сцинтиллятора без учета отражений в самом сцинтилляторе:

Сбор света от точки 2 в 9 раз меньше, чем от точки 1, для которой принимается очень грубо 50% сбор света на фотокатод ФЭУ.

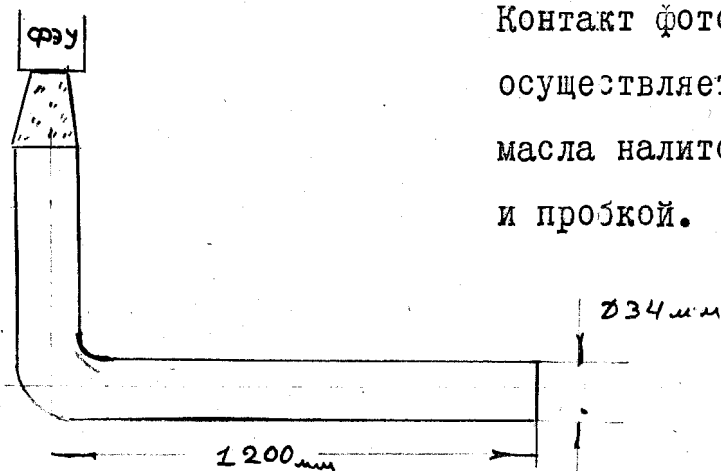
ФЭУ

Учет отражений в самом сцинтилляторе значительно уменьшит разницу в сборе света. Можно сказать, что этот учет приведет к разнице в 1,5-2 раза в амплитудах импульсов.

### Черенковский счетчик

Черенковский счетчик представляет собой длинную стеклянную трубу с нанесенным на ней изнутри слоем алюминия. Отражающая поверхность имеет коэффициент отражения  $\tau = 0,90$  для луча, падающего на нее под углом  $9^{\circ}30'$ , труба оканчивается "коленом", изогнутым под углом  $90^{\circ}$  к оси счетчика.

Для вывода света на фотокатод ФЭУ в корпусе счетчика вделана плексигласовая пробка, сточенная на конус. Пробка имеет коэффициент поглощения для видимого света 10% и несколько фокусирует свет на фотокатод ФЭУ. Из световых измерений со счетчиком следует, что вся эта оптическая система позволяет собирать на ФЭУ не менее 75% света, возникающего в трубе от черенковского эффекта.



Контакт фотокатода с пробкой осуществляется слоем вазелинового масла налитого между фотокатодом и пробкой.

Вся оптическая система помещена в стальной кожух и тщательно изолирована от постороннего света.

В данном эксперименте употреблялись электроны с  $p_0 = 79$  мэв,  $\beta = 0,9999909$ . Счетчик наполнялся воздухом, имеющим показатель преломления для видимого света при давлении в I атмосферу

$n_1 = 1,00026$ . Пересчет на другие давления производился по формуле Клаузиуса-Мосотти  $\frac{n^2-1}{n^2+2} \cdot \frac{1}{\delta} = const$ , где  $\delta$  - плот-

ность воздуха. Поведение воздуха в отношении этой закономерности исследовалось до 335 атм. *Мак-Наббем, Муттоном, Бешлейном*. Они нашли, что воздух хорошо следует ей.

Используя соотношение для числа фотонов, черенковского излучения с учетом спектральной чувствительности ФЭУ-19:

$$N_{\text{чер. фот}} = 500 \left( 1 - \frac{1}{n^2 \beta^2} \right), \text{ получим, что число фотонов}$$

на длине счетчика равной 100 см.

$$\beta = 0,9999909.$$

$P$ атм.	$n_{\text{возд. прел.}}$	$N_{\text{фотонов}}$	Оценка тормозного излучения показывает, что оно практически отсутствует.
1	1,00026	25	
2	1,00052	50	
3	1,00078	75	
4	1,00104	100	
5	1,00130	125	

Ручной воздушный компрессор позволял быстро менять давление в счетчике. Измерение давления производилось мановакууметром, стоявшим в начале воздушной проводки счетчика, длиной 30м.

DC [meV]

DC  $\propto f(H)$  [no recovery]

90

80

70

60

50

40

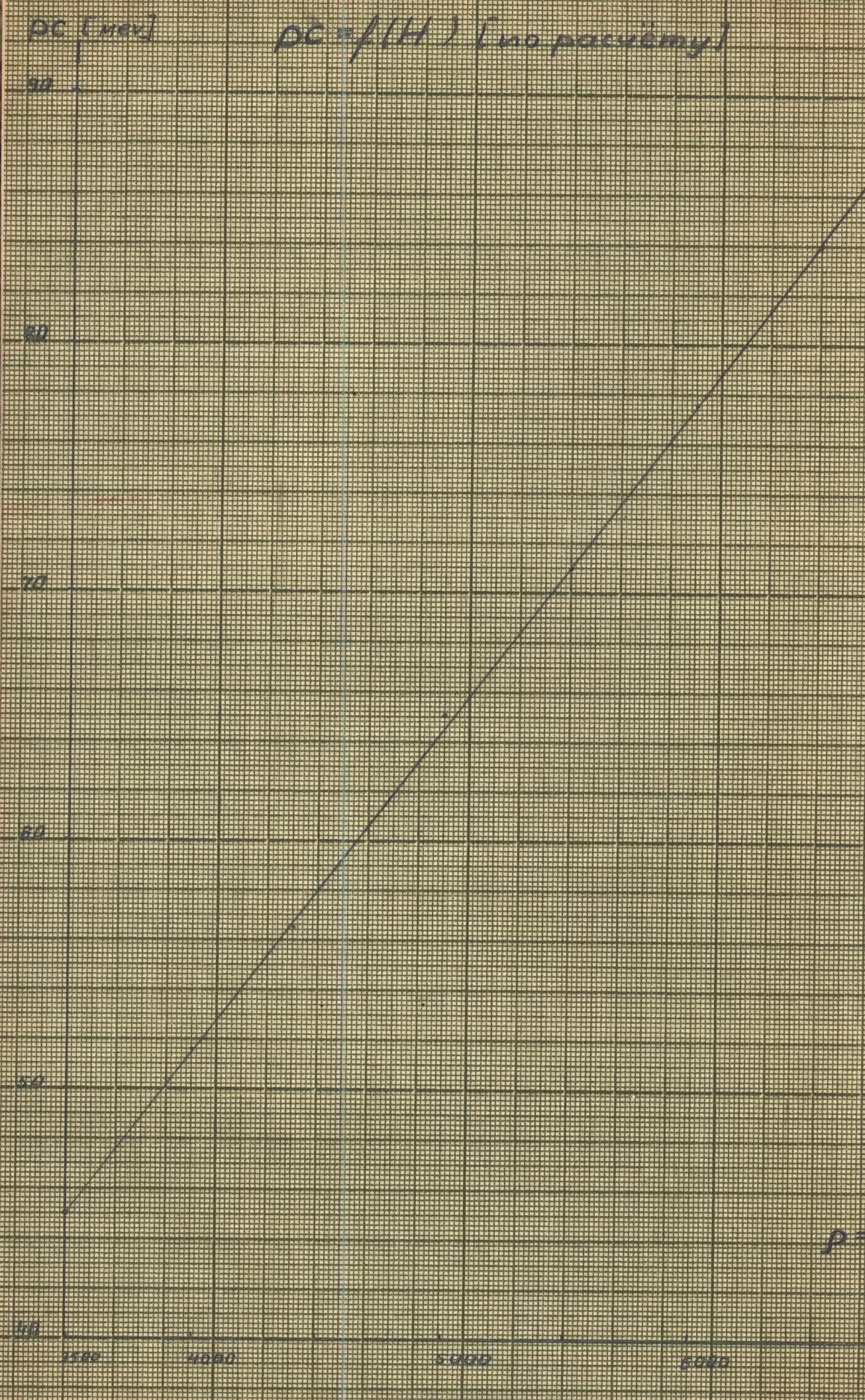
3000

4000

5000

6000

P





Проверка показала, что такая длинная система  $\rho$ , состоявшая из медных труб, диаметром 12мм, соединенных резиновыми трубками, диаметром 8мм, быстро передает давление и нигде не создает перепадов давлений, так что показания манометра одинаковы в начале системы, у компрессора, и в конце ее, у счетчика.

### Анализирующий магнит.

Использовался магнит СП-II. В эксперименте было:  
 $H = 6150$  эрстед,  $\rho = 43,21$  см. Из формулы  $\rho c = 300 H \rho$   
 имеем  $\rho c = 79$  изв, которые и использовались в работе.

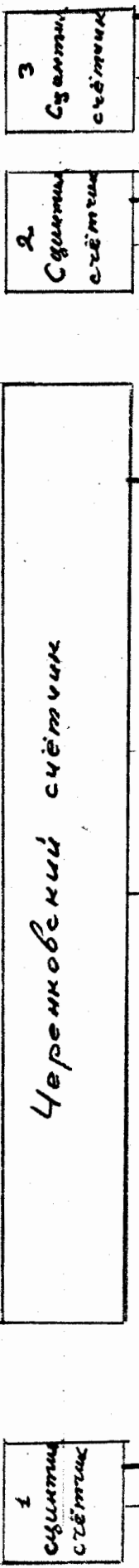
Измерение магнитного поля вблизи первого ФЭУ, расположенного рядом с магнитом, показали, что поля около этого ФЭУ - нет. Кривую  $\rho c = f(H)$  при данном  $\rho$  см. на графике I.

### Условия работы

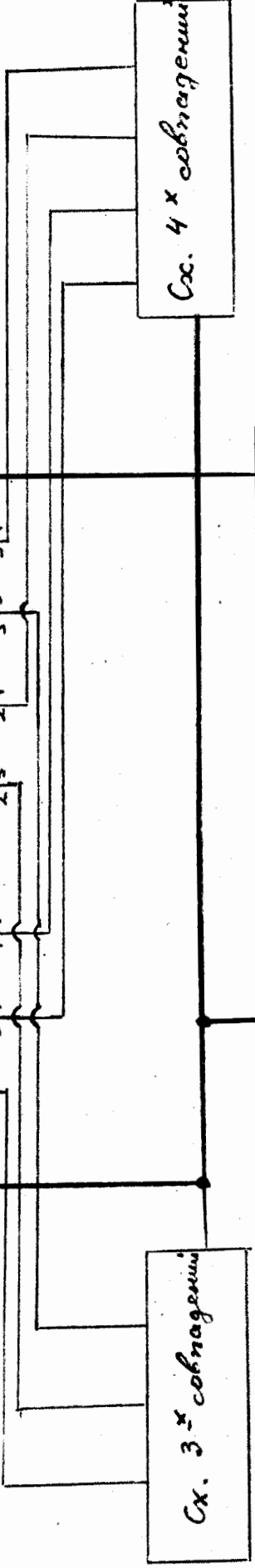
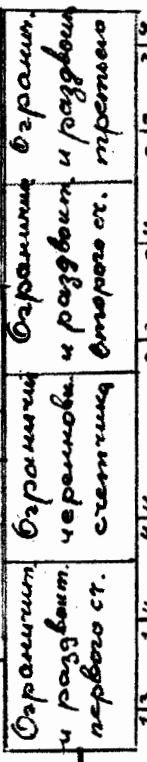
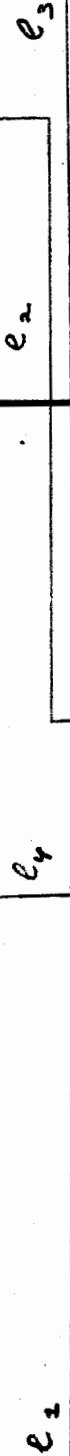
Из-за изменения интенсивности и энергии пучка, связанных с нестабильностью работы машины, масштабом измерений служил монитор, сосчитывающий определенные порции энергии, пришедшей на него.

Фон случайных совпадений сильно зависит от работы машины (интенсивность, энергии), и поэтому одна серия измерений от другой отличаются, оставаясь нормальными внутри каждой серии. Поэтому часто нет сопоставляемого результата: скажем, тройным

209  
185  
165



Узел №100



ВВВ 5 кв.

НВВ 2006.

совпадениям нет соответствующих четверных. Все это приводит к очень осторожному анализу экспериментальных данных.

Фон случайных совпадений грубо можно оценить из снятых кривых задержек для тройной и четверной схем. Он равен приблизительно  $10^5$  1/сек, если учесть, что измерения приводились к 100 отсчетам монитора, что во времени соответствовало от 30 до 100 сек времени в зависимости от режима работы машины.

#### Наладка электронных схем

Электронная аппаратура была расположена вне машинного зала. Сигналы от счетчиков телескопа поступали по кабелю РК-50 ( см. схему № I ).

Из-за больших размеров телескопа счетчики реагируют на одну и ту же пролетевшую частицу в разное время.

Первый счетчик - раньше второго

$$\text{на } \frac{185}{3 \cdot 10^{10}} = 6,1 \cdot 10^{-9} \text{ сек.}$$

- раньше черенковского счетчика

$$\text{на } 5,5 \cdot 10^{-9} \text{ сек}$$

- раньше третьего счетчика на  $7 \cdot 10^{-9}$  сек.

( электроны с релятивистской скоростью ) .

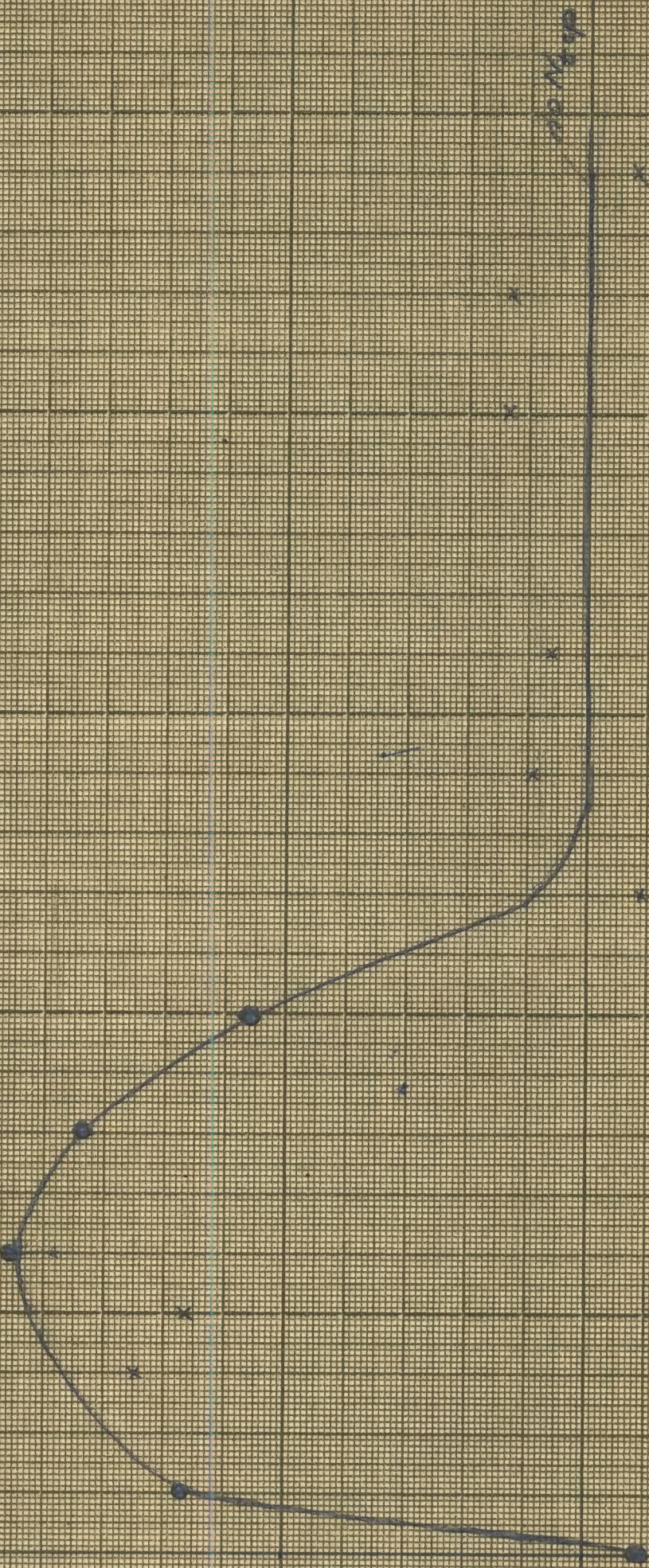
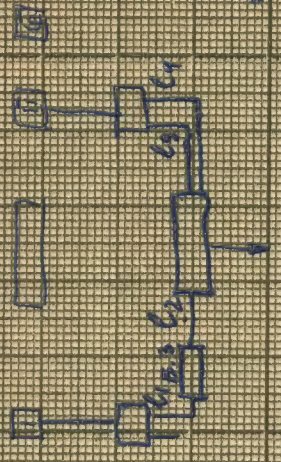
Разница во времени пролета электрона через счетчики компенсировалась различной длиной подводящего кабеля электронных схем.

2) no exercise en numérique

Me, 1000 x 10<sup>9</sup>

1000  
1000  
1000

$C_3 = 4 \mu F$   
 $C_1 = 2 \mu F$   
 $C_2 = 3 \mu F$



no. N. 1000

$$l_1 = 42\text{м}$$

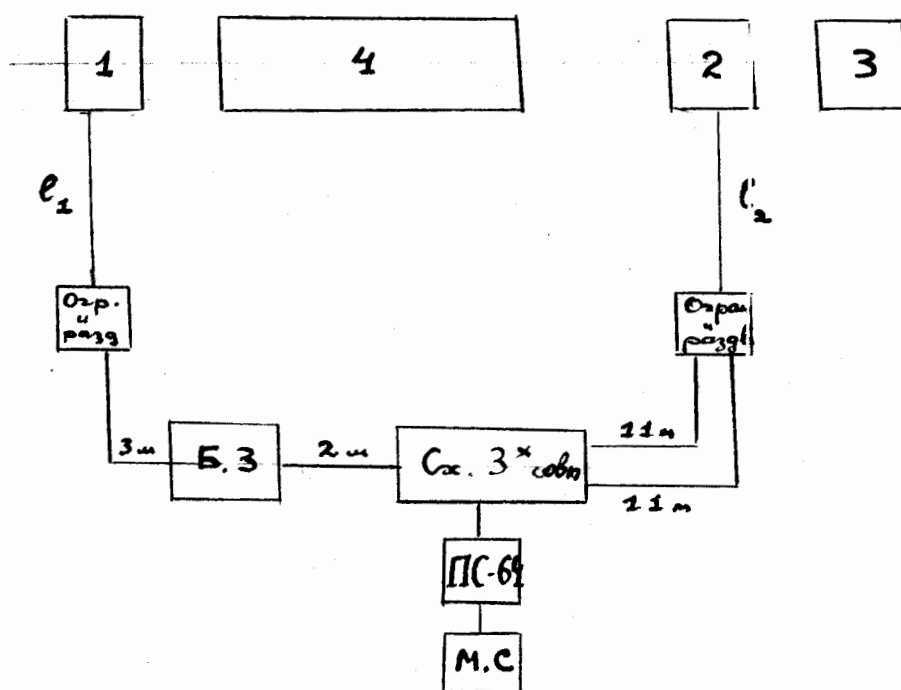
$$l_2 = 35\text{м}$$

$$l_3 = 35\text{м}$$

$$l_4 = 35\text{м}$$

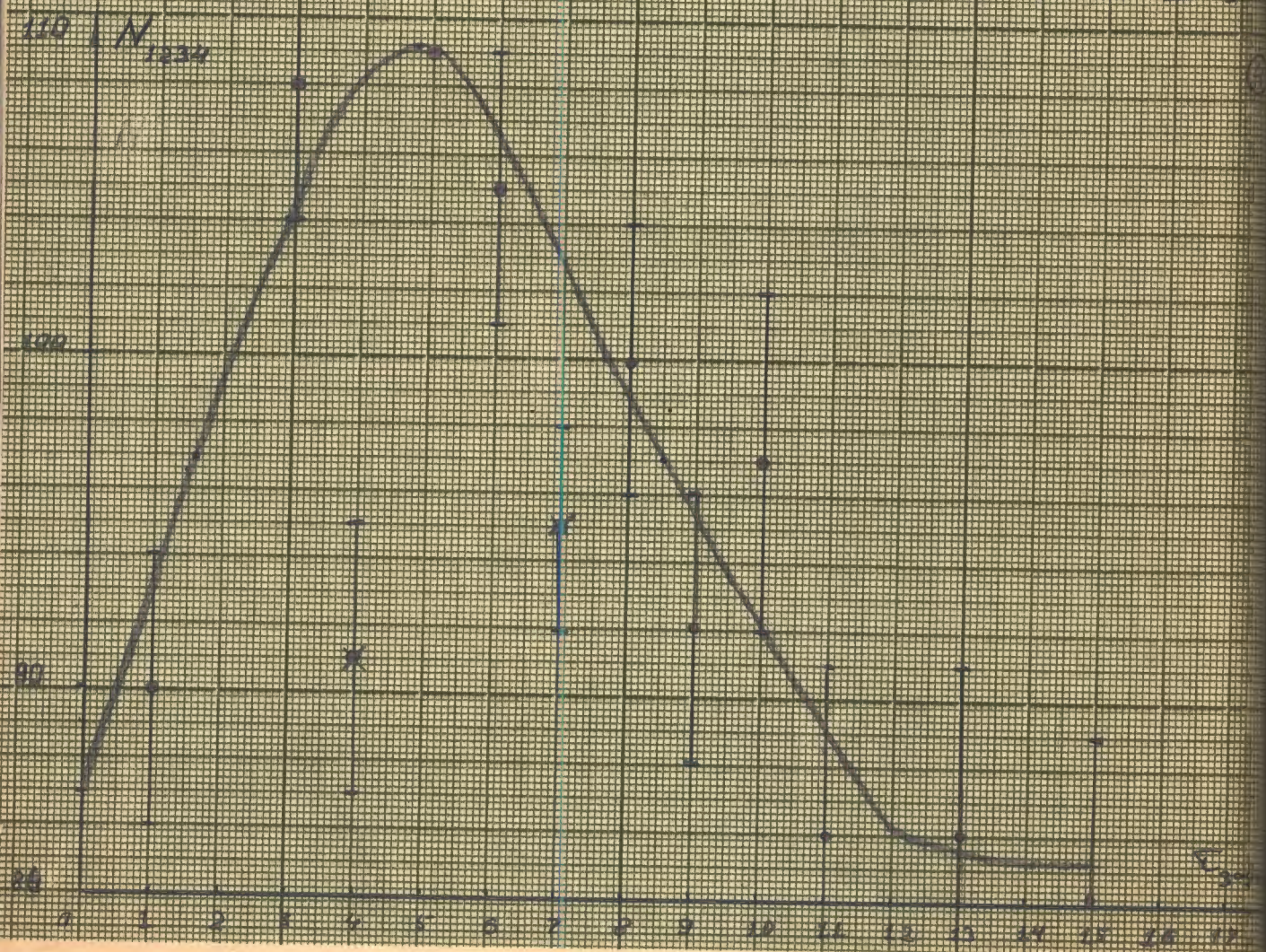
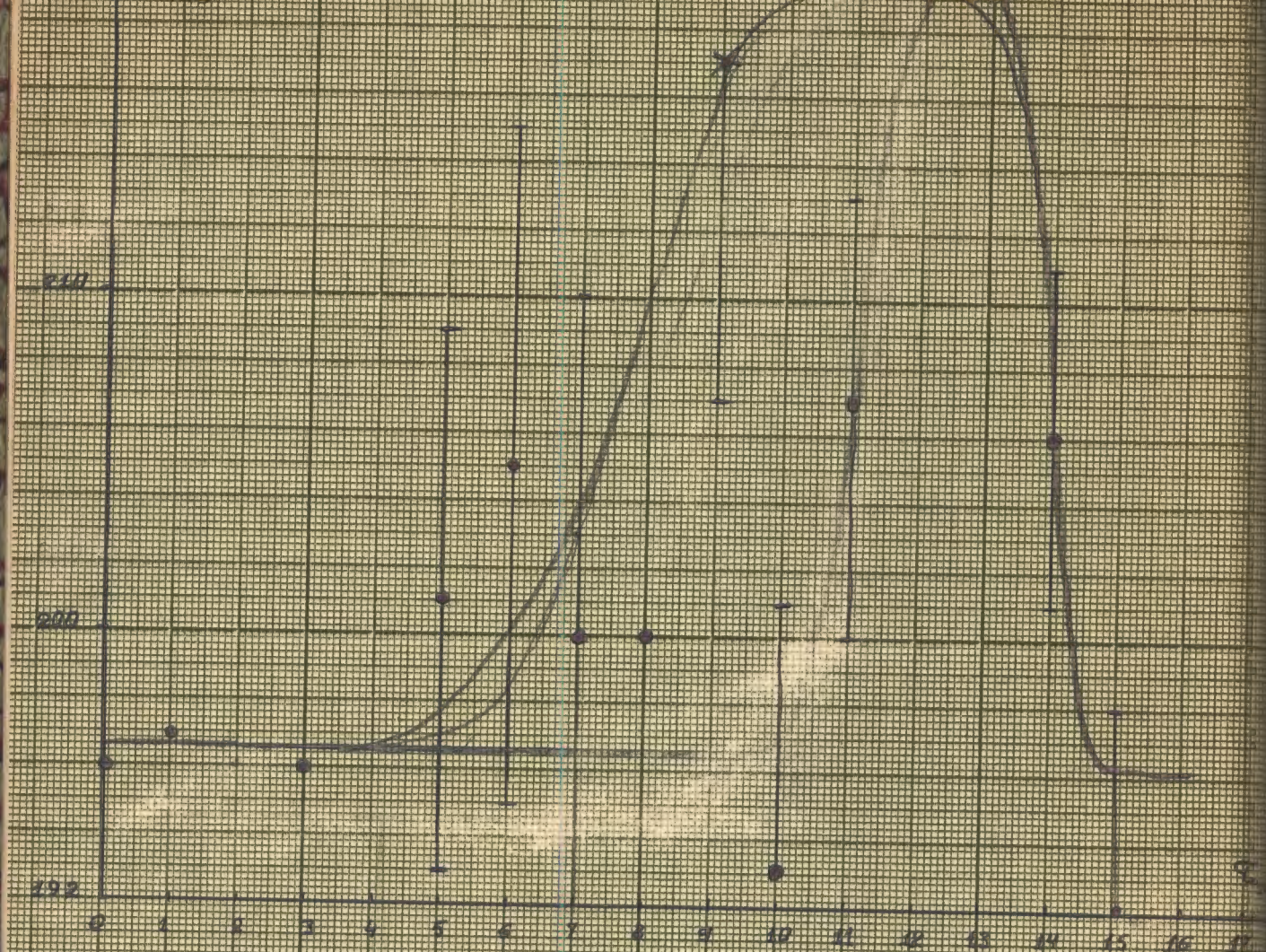
Для согласования каналов передачи по времени снимали:

а) кривую задержки двойных совпадений по схеме:

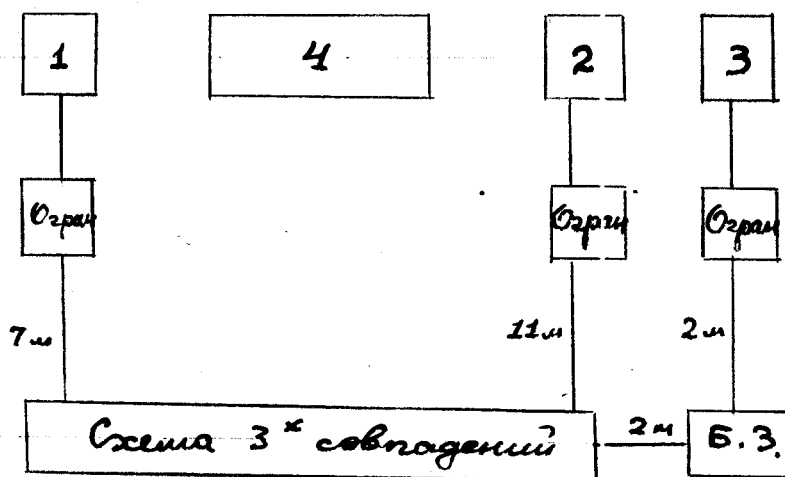


см. кривую 2 .

По данным кривой вместо блока задержки можно взять 1,5м кабеля, чтобы каналы 1 и 2 были согласованы, т.е. ограничитель соединить со схемой совпадений кабелем  $\varnothing$  длиной 6,5м  $\sim$  7м.

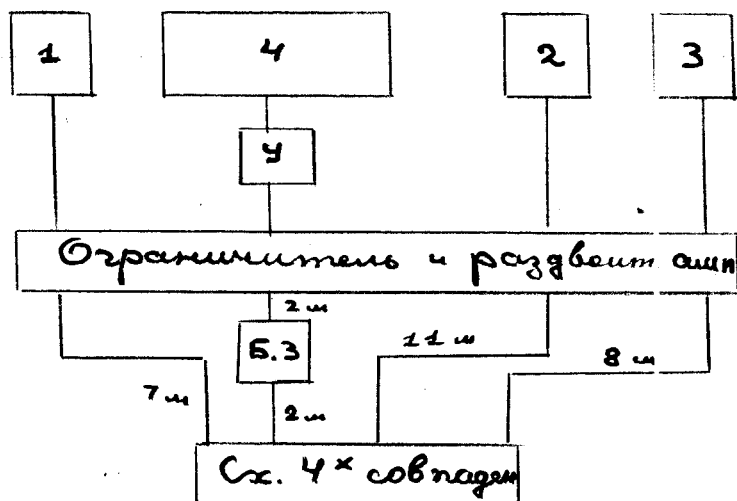


в) Была снята кривая задержки 3-х совпадений по схеме:



См. кривую 3 (проведена в пределах ошибок каждого измерения)

с) Была снята кривая задержки 4-х совпадений по схеме:



см. кривую 4 (проведена в пределах ошибок каждого измерения).

По опытным данным было установлено, что для полного согласования каналов по времени выбрать соединительные кабели следующей длины:

$$l_{23} = l_{24} = 7\text{м};$$

$$l_{44} = 6\text{м};$$

$$l_{23} = l_{24} = 11\text{м};$$

$$l_{33} = l_{34} = 8\text{м}.$$

### Результат

Из кривых задержки для тройной и четверной схемы совпадения можно сделать только качественный вывод об эффективности счетчика, т.е. не снимались кривые эффективности схемы совпадения, и неизвестно были ли они 100% эффективности, что необходимо для количественного результата. Приводим таблицу данных о кривых задержек.

Тройная схема совпадений

Четверная схема совпадений

$\tau$ зад.	$N$ совп. (1,2,3)	$\tau$ зад.	$N$ совп. (1,2,3,4)
1	2	3	4
0	196 <sub>3</sub>	0	82 <sub>4</sub>
1	197 <sub>3</sub>	1	90 <sub>5</sub>
3	196 <sub>3</sub>	3	108 <sub>7</sub>
4	185 <sub>4</sub>	4	91 <sub>8</sub>
5	201 <sub>3</sub>	5	109 <sub>8</sub>
6	205 <sub>2</sub>	6	105 <sub>7</sub>



1	2	3	4
7	199 <sub>2</sub>	7	95 <sub>7</sub>
8	198 <sub>2</sub>	8	99 <sub>7</sub>
9	217 <sub>2</sub>	9	92 <sub>5</sub>
10	193 <sub>3</sub>	10	97,5 <sub>4</sub>
11	207 <sub>5</sub>	11	86,5 <sub>4</sub>
13		13	86 <sub>4</sub>
14	222 <sub>6</sub>	14	84 <sub>3</sub>
15	206 <sub>7</sub>	15	84,5 <sub>5</sub>
16	192 <sub>2</sub>	16	75 <sub>3</sub>
17	179 <sub>3</sub>	17	77 <sub>3</sub>
18	168 <sub>3</sub>		
	164 <sub>5</sub>		

Эффективность счетчика

$$A = \frac{n_{1,234}^{\text{эфф+фон}} - n_{1,234}^{\text{фон}}}{n_{1,23}^{\text{эфф+фон}} - n_{1,23}^{\text{фон}}} = \frac{109 - 84}{222 - 194} = \frac{25}{28} = 0,9$$

Ошибка в A:

$$\delta A = \sqrt{\left(\frac{\partial A}{\partial n_{1,234}^{\text{эфф+фон}}}\right)^2 \sigma_1^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial n_{1,234}^{\text{фон}}}\right)^2 \sigma_2^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial n_{1,23}^{\text{эфф+фон}}}\right)^2 \sigma_3^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial n_{1,23}^{\text{фон}}}\right)^2 \sigma_4^2}$$

$$= 0,30 \text{ (30\%)}$$

Тогда:

$$A = 0,90 \pm 0,27$$

Давление в счетчике менялось непрерывно во время этих измерений от 5 до 3-х атмосфер.

Не зная кривых эффективности схем совпадений никаких количественных утверждений об эффективности счетчика делать нельзя. Но можно говорить все же о высокой эффективности счетчика, т.к. если бы хоть одна из схем была значительно неэффективна, то  $A$  получилось бы или значительно  $I$  или значительно  $I$ .

А если они обе неэффективны, то вероятность попасть в точку кривых эффективности схем совпадений, где бы число тройных и четверных совпадений было одинаковым, и неэффективности схем совпадений не играли бы роли, поэтому из близости  $A$  к  $I$  можно сделать вывод о близости эффективности схем совпадений к 100% и тогда - о высокой эффективности черенковского счетчика при данном давлении от 5 до 3 атм.

### Электроника

Как видно из приведенных схем (рис. 2) использовавшаяся совпадательная аппаратура является обычной и сама по себе не представляет интереса. Необходимо, однако, отметить ряд трудностей, возникших при работе, которые могут повториться.

#### 1. Характеристики схем совпадений и требования к амплитуде импульсов от ФУ

Коэффициент отбора		3-х канальная схема	4-х канальная схема
По входу	$K_{вх}$	3 + 4	2
По выходу	$K_{вых}$	10	6

$K_{вх}$  и  $K_{вых}$  были измерены при  $U_{свх\ max} = 1,3$  определяемых режимом питания и характеристиками 6Н15П, используемых для ограничения и раздвоения.

Если положить разброс сбора света сцинтилляций в зависимости от места пролета  $\approx 4$ , то необходимы максимальные амплитуды импульсов от ФЭУ не меньше 4 для стопроцентной эффективности.

Вообще говоря  $K_{вх}$  можно бы было улучшить изменением режима схемы, однако, т.к. коэффициент усиления усилителей после С С был 40, то этого нельзя было сделать из-за уменьшения амплитуд импульсов неполных совпадений ниже порога срабатывания дискриминации.

Другим недостатком схем являлся недостаточно высокий  $K_{вых}$ , из-за больших нагрузок усилителя импульсами неполных совпадений. Это приводило к подъему порога дискриминации, вследствие чего приходилось для зарезания неполных совпадений при работе в пучке устанавливать более высокий порог, чем при малой нагрузке. При этом естественно будут иметь место просчеты истинных совпадений.

Для уменьшения этого эффекта можно было бы задискриминировать неполные совпадения до входа усилителя подзапертым диодом, но т.к. при этом падают амплитуды, то это не было допустимым из-за малого усиления усилителей.

Этот эффект приводил к снижению эффективности схемы тройных совпадений, однако нельзя сказать была ли она все же лучше, чем четверная или хуже при порогах устанавливаемых при работе.

Из этого следует, что при подготовке аппарата для работы с заранее неизвестными излучениями. Схемы должны быть более гибкими. ( Усиление переменное).

## 2. Режим питания ФЭУ и их нестабильность

Для получения импульсов от ФЭУ с амплитудой  $U > 4 \text{ в}$  на нагрузке  $150 \Omega$  использовался делитель напряжения со следующей неравномерностью:

$$K_1 = 10; K_2 = 1; K_3 = 0,5; K_4 = 1,5; K_{5-12} = 1; K_{13} = 2; K_{14} = 3,5; K_{15} = 15.$$

Общее напряжение было  $U_{\text{общ.}} = 4 \times \text{вольт}$ .

Необычно большая величина  $U_{15}$  была выбрана вследствие сильного ее влияния на величину импульса, снимаемого с малой нагрузки:

увеличение  $U_{15}$  от  $600 \text{ в}$  до  $1500 \text{ в}$  увеличив. ампл. в  $3 + 4$  раза.

Среди лучших экземпляров ФЭУ на нагрузке в  $150 \Omega$  со стильбеновым кристаллом получались импульсы до  $20 + 25 \text{ в}$  при облучении  $\gamma \text{ Co}^{60}$  (измерялись максимальные амплитуды с пред-

варительной растяжкой).

За время наладки пришлось несколько раз разбирать кобука из-за неудовлетворительной работы ФЭУ.

Так два ФЭУ из первой партии уменьшили амплитуду с 20+25 до 3+5 через несколько дней работы в пучке. Было обнаружено в их делителях почернение нескольких первых сопротивлений с уменьшением этого эффекта по мере удаления от катода.

Это можно произойти при переходе ФЭУ в режим самовозбуждения, при котором, как легко сообразить, на первых промежутках должны выгорать сопротивления делителя, а на последних резко утомляться диоды.

При работе со следующей группой ФЭУ осуществлялся контроль за потребляемым током, и в случае возбуждения одного из ФЭУ питание выключалось.

Необходимо отметить, что поскольку промежуток 15 был замунтирован  $C_{15} = 1 \mu\text{B}$ , то высокое было необходимо поднимать плавно, т.к. при загрузке некоторые ФЭУ сразу переходили в разряд, из которого самостоятельно не возвращаются.

Вообще говоря при работе с большим числом ФЭУ, работающих в режиме близком к самовозбуждению, было бы желательно иметь авто-блокировку по потреблению тока<sup>a</sup> или использовать стабилизатор тока вместо стабилизатора напряжения.

Это, повидимому будет иметь особый смысл переноса которых сложен.

Вначале  $I_{\text{ср}}$  делителя было 2 А, но при этом токе ФЭУ при больших интенсивностях переходили в разряд, вследствие чего

делители были переделаны на

$$I_{cp} = 4 \text{ A.}$$

Во второй партии начальные амплитуды были порядка 10-15 В, однако через несколько дней работы они упали до 2-3 В.

Делители были смонтированы непосредственно на цоколе ФЗУ, а т.е. выделялась мощность 16 W, то ФЗУ сильно разогревались.

После этого делители были удалены от ФЗУ.

Из 3-х новых ФЗУ через неделю работы амплитуды с 10-12 В упали до 5-7 В, т.е. все еще были достаточны для 100% эффективности аппарата.

По оценкам из числа случайных совпадений средняя загрузка ФЗУ превышала  $10^5$  1/сек., т.е. средний анодный ток превышал сотню ма. К сожалению не были измерены средние токи, чтобы отделить влияние обычного утомления от влияния разогрева (во второй партии ФЗУ).

Возможным выходом из положения была бы защита свинцом от фона, но не было достаточного количества свинца и места для его расположения, либо установить раздвоители непосредственно у ФЗУ и работать на большую, нежели 150  $\Omega$  нагрузку, для получения необходимых импульсов. Однако это потребовало бы много времени ввиду непригодности кокухов.

Представляется необходимым отметить ряд недостатков конструкции кокухов, сильно затруднявших работу:

а) Во-первых, при смене ФЗУ разбирается весь кокух, причем вынимается сцинтиллятор, вследствие чего после замены сбивается центровка телескопа.

б) Несколько баллонов ФЗУ имеют перекосы относительно оси

цоколя, то некоторые ФЭУ имели контакт со сцинтиллятором на краю катода.

в) жесткость конструкции не позволяла осуществить надежный оптический контакт из-за перекосов ФЭУ.

г) Место, предназначенное для деталей, мало и закрыто, что затрудняет монтаж и, главное, приводит к плохим условиям охлаждения.

д) Неудачна конструкция панели, т.к. не все ФЭУ удавалось в них вставить, и не всегда осуществлялся контакт со всеми ножками цоколя ФЭУ.

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА