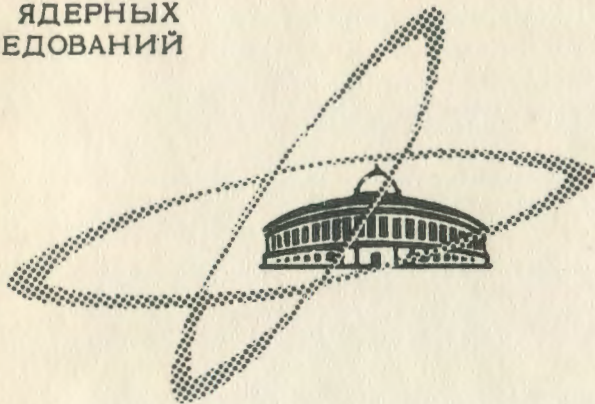


В-611

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P - 2506



А.С. Вовенко, Я. Гладкий, Б.Н. Гуськов,
А.Л. Любимов, А.Т. Матюшин, И.А. Савин

ИСКРОВЫЕ КАМЕРЫ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ
ПО ИЗУЧЕНИЮ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ
 π^+ -МЕЗОНОВ НА ПРОТОНАХ НА УГОЛ 180°

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1965

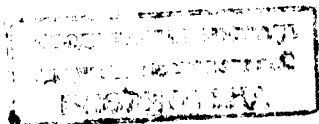
P - 2506

3962/3 48

А.С. Вовенко, Я. Гладкий, Б.Н. Гуськов,
А.Л. Любимов, А.Т. Матюшки, И.А. Савин

ИСКРОВЫЕ КАМЕРЫ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ
ПО ИЗУЧЕНИЮ УПРУТОГО РАССЕЯНИЯ
*⁺ -МЕЗОНОВ НА ПРОТОНАХ НА УГОЛ 180°

Направлено в Чехословацкий физический журнал



В настоящей работе описываются многопластинчатые искровые камеры, использованные в экспериментах по упругому π^+ p -рассеянию на угол $180^{0/1,2/}$, и их основные характеристики.

На рис. 1 приведена схема установки для измерения π^+ p -рассеяния на 180° . В опыте использовались две искровые камеры - SC-I и SC-II.

Камера SC-I, установленная в пучке π^+ -мезонов перед водородной мишенью, была предназначена для регистрации как падающего на водородную мишень π^+ -мезона, так и π^+ -мезона, рассеянного на угол около 180° . Камера SC-II была предназначена для регистрации протонов отдачи от π^+ p -рассеяния на 180° . Обе камеры работали в тяжелых фоновых условиях. Через камеру SC-I проходил весь пучок, и загрузка на эту камеру обычно составляла от $0,5 \cdot 10^6$ до $1,0 \cdot 10^6$ частиц/сек. Загрузка на камеру SC-II была в несколько раз меньше, чем на SC-I, так как только часть первичного пучка попадала в рабочую область этой камеры. Основным требованием было обеспечение высокой эффективности искровых камер, работающих в интенсивном пучке.

Конструкция искровых камер

На различных этапах эксперимента было использовано поочередно четыре искровые камеры. Конструкция камер примерно одинакова. Герметически уплотненный корпус образован стенками из оргстекла, соединенными болтами и эпоксидным клеем. Электроды вставлялись в пазы, выфрезерованные в стенках корпуса камеры. На одной из боковых стенок монтировался высоковольтный отсек с размещенными в нем элементами схемы питания искровых промежутков. Размеры, определяющие индивидуальные свойства камер, приведены в таблице 1. Для наглядности на рис. 3 показан общий вид искровой камеры SC-Ib.

В камере SC-Ia края электродов, вставленные в пазы, заливались эпоксидным клеем. При амплитудах в/в импульса до 13 кв/см краевых пробоев в камере не наблюдалось.

Т а б л и ц а 1

Конструктивные данные	Искровые камеры			
	SC - Ia	SC - Ib	SC - IIa	SC - IIb
Размеры электродов (мм ³)	425x408x2	x)	415x410x1	415x410x2
Глубина пазов (мм)	8	8	5	20
Толщина боковых стенок (мм)	18	18	25	45
Толщина стенок по пучку (мм)	12	0,1 ^{xx})	12	12
Число искровых промежутков	5	8	8	8
Межэлектродное расстояние (мм)	22±0,3	12±0,15	12±0,5	11±0,3

Каждое срабатывание фольговой камеры SC - Ib сопровождалось ложными разрядами с оксидного слоя, закрывающего края электродов, на стекло соседней рамки. По яркости ложные разряды были слабы и мало мешали пробоям по треку.

Толстостенные камеры SC - II являются более надежными по герметичности. Однако плохая изоляция краев электродов давала ложные пробоя по всем углам при 9÷10 кВ/см. Заметного влияния угловых пробоев на регистрацию одного трека не наблюдалось. На первом этапе эксперимента искровые камеры (SC - Ia и SC - IIa) работали по 80 ± 80 часов после наполнения. В качестве рабочего газа применялся неон "особой чистоты" (давление = 1 атм), также смесь Ne + 0,25% Ar (при том же давлении). В дальнейшем неон в камерах (SC - Ib, SC - IIa) очищался через 12±20 часов путем многократной прогонки через активированный уголь, охлажденный жидким азотом.

Фоторегистрация треков в каждой камере производилась с расстояния 1,8 м объективом "Юпитер-11" (F = 135 мм, диафрагма 8) на аэрофотопленку типа 10Н-800 чувствительностью 1200 (ГОСТ 0,85).

x/ В корпус камеры SC - Ib вставлены стеклянные рамки 425x408x3 с наклеенной на них алюминиевой фольгой толщиной 0,03 мм (рис. 2).

xx/ В торцовых крышках корпуса камеры сделаны окна \varnothing 22 см, затянутые латунной фольгой толщиной 0,1 мм.

Схема питания искровых камер

Высоковольтный импульс на пластинах искровой камеры формируется с помощью разрядного устройства, расположенного в высоковольтном отсеке каждой камеры. Схема разрядного устройства (рис. 4) обычного типа: отрицательный импульс высокого напряжения создается в результате коммутации заряженных емкостей при срабатывании разрядника. Разрядник, применяемый в схеме, — воздушный, триггatronного типа, максимальное напряжение разрядника 35 кВ. Конструкция разрядника показана на рис. 5. Индуктивность разрядника при закороченном разрядном промежутке $L_p = 8,4 \cdot 10^{-8}$ гн, индуктивность шин, подводящих напряжение к одной паре промежутков с общим высоковольтным электродом, $L_{пр} = 4,3 \cdot 10^{-8}$ гн. Расчетная резонансная частота разрядной цепи определяется указанными индуктивностями, емкостью пары промежутков $C_{ип}$, количеством пар n и составляет

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{n(L_p + L_{пр}) \cdot C_{ип}}}$$

При $n = 5$, $C_{ип} = 280$ пф резонансная частота системы $f = 16$ МГц, т.е. длительность фронта переходного процесса на пластинах камеры не лучше 16±30 нсек и, с учетом времени коммутации разрядника 10±15 нсек, длительность фронта нарастания напряжения составит 23±33 нсек и будет зависеть от величины и типа сопротивления R.

В таблице 2 даны параметры схемы питания промежутков искровых камер.

Т а б л и ц а 2

Камеры	C пф	R ом	тип R	R _p n/2 + 1 ом					
				R _{p1}	R _{p2}	R _{p3}	R _{p4}	R _{p5}	
SC - Ia	2800	800	пэ-7,5	5	0	0	0	0	0
SC - Ib	1000	350	пэ-7,5	8	0	0	0	0	0
SC - IIa	1000	500	3xBC-2w	8	0	0	24	75	750
SC - IIb	1000	150	пэ-15	8	0	0	0	0	0

Характерные осциллограммы в/в импульса на пластинах камеры приведены на рис. 6.

В результате серий экспериментов было замечено, что использование проволочных сопротивлений в качестве R (рис. 4) улучшает работу камеры.

Запуск разрядного устройства каждой камеры осуществлялся от блока запуска (БЗ), содержащего две схемы с тиратронами типа ТГИ1-180/10 и источника высокого напряжения для питания анодных цепей тиратронов (рис. 7).

Выходные отрицательные импульсы от тиратронов по кабелям поступают на поджигающие электроды разрядников соответствующих камер. Поджиг тиратронов осуществляется при срабатывании электронного реле (лампа со вторичной эмиссией). Выходной импульс диодной цепи лампы поступает на буферный усилитель с лампой типа 6Э8П и далее с помощью фазопереорачивающего трансформатора на сетку тиратрона. Входной импульс блока запуска - положительной полярности, амплитудой - 10 в. Задержка от входа схемы запуска до появления в/в импульса на пластинах камеры (не считая задержку на кабеле) при оптимально настроенном разряднике - 170 нсек. Зависимость задержки разрядника от величины напряжения показана на рис. 8.

Поскольку требуемые величины высоковольтного импульса для разных камер различные, питание разрядных устройств производилось от автономных источников стабилизированного напряжения. Так как средний потребляемый ток мал, то в качестве источников питания удобно применять высоковольтные высокочастотные преобразователи, разработанные для этой цели (ВВП-30). Схема преобразователя, конструкция и нагрузочные характеристики приведены на рис. 9-11.

Характеристика искровых камер

Зависимость эффективности камеры (η) от величины прикладываемого поля (E_p)

Для камеры SC - Ia эта характеристика была измерена вместе с зависимостью времени формирования (t_{ϕ}) искрового пробоя от прикладываемого поля (рис. 12). Под эффективностью камеры понималась средняя эффективность регистрации искрового промежутка ^{/3/}. Кривые снимались сразу после наполнения камеры неоном; затем измерения повторялись через 2-4 и 8 суток. Для более "старого" газа характеристики заметно сдвигаются в сторону больших напряжений. Так, эффективность регистрации одного трека при $E_p = 11$ кв/см на четвертые сутки после наполнения уменьшается до ~ 80%. Небольшое увеличение эффективности камеры (а также срока годности газа) достигалось добавлением к неону 0,25% Ar.

Как видно из рис. 12, кривые эффективности и времени формирования находятся в хорошем соответствии. При временах формирования 250 ÷ 300 нсек все кривые эффективности имеют промежуточное "плато", соответствующее работе искровой камеры через промежуток. Понижение "плато" для более старого газа (до 35-40%) объясняется уменьшением эффективности пятого промежутка, который вследствие конструктивных особенностей камеры обладает большей емкостью (мало расстояние в/в пластины от корпуса

камеры). Когда время формирования не превышает 10 ÷ 15 нсек, в камере начинают работать все промежутки и значение эффективности выходит на плато - 100%. Такая связь эффективности с временем формирования объясняется тем, что для 100%-го срабатывания двух промежутков с общим в/в электродом необходимо, чтобы флюктуации времени формирования искрового пробоя были много меньше времени спада импульса напряжения. В качестве иллюстрации на рис. 12 показана зависимость времени спада (t_c) от величины в/в импульса (для "трехсуточного" неона).

Для остальных камер кривые эффективности имеют аналогичный характер (см., например, кривую эффективности для камеры SC - II в работе ^{/3/}). Однако было замечено, что камеры SC - II более устойчиво работают через промежуток. Поэтому, чтобы ускорить выход на "плато" эффективности камеры SC - II, последовательно с "заземленными" электродами камеры включались сопротивления R_p (рис. 4, таблица 2), величина которых подбиралась экспериментально.

Для сравнения на рис. 12 построена кривая времени формирования искрового пробоя в неоне по данным работы ^{/4/}. Время формирования искры в камере SC - Ia со свеженаполненным газом падает гораздо быстрее с ростом приложенного поля. Последнее связано, по-видимому, с тем, что при увеличении напряжения осцилляционный характер в/в импульса начинает проявляться более сильно.

Временные характеристики камер

Зависимости эффективности регистрации (η) одной частицы от задержки в/в импульса и времени памяти камер ($\tau_{\text{пам}}$) SC - Ib и SC - II от величины очищающего напряжения ($v_{\text{оч}}$) при свеженаполненном газе достаточно хорошо совпадают с данными других авторов ^{/5/}.

Особенностью камер из оргстекла является дрейф характеристик вследствие электроотрицательных примесей, выделяемых стенками камеры. На рис. 13 и 14 приведены зависимости время памяти × очищающее поле для камер SC - Ia ($d = 22$ мм) и SC - II, измеренные в разное время после наполнения камер неоном. Характер дрейфа кривых находится в хорошем согласии с механизмом, описанным в ^{/5/}.

Для смеси Ne + 0,25% Ar время памяти камеры SC - Ia отличается незначительно от памяти с чистым неоном (рис. 15). Эффективность камеры с увеличением задержки в/в импульса падает довольно круто даже в случае "8-7-суточного" газа (рис. 16).

Эффективность регистрации нескольких частиц

Условия регистрации нескольких треков в эксперименте осложнялись тем, что искровые камеры стояли в интенсивном пучке. В связи с относительно большим временем задержки (0,45 мсек) и большой загрузкой на многих снимках, помимо треков, подлежащих регистрации, часто присутствовали треки частиц, прошедших через камеру раньше или позже интересующего нас события. Поскольку из-за рассеивающего действия очищающего поля время формирования разряда по этим трекам было, по-видимому, различным, имело место неравномерное распределение энергии по искрам, что приводило к их различной яркости и даже к тому, что некоторые треки не регистрировались совсем. Для проверки эффективности регистрации нескольких одновременных частиц перед камерой на пучке малой интенсивности устанавливалась полиэтиленовая мишень, за камерой слева и справа от оси пучка ставились два телескопа из сцинтилляционных счетчиков, нацеленных на мишень. Запуск искровой камеры производился только в том случае, когда через каждый телескоп проходило не менее одной частицы от неупругого взаимодействия пучка на CH_2 -мишени.

При изучении снимков обнаружено, что камера SC-Ia даже на третьи сутки после наполнения неоновом достаточно хорошо регистрирует до семи одновременных треков ($\eta = 85 - 100\%$ для каждого трека). Через 5-8 суток после наполнения эффективность падала до 60-70%. При использовании в качестве рабочего газа чистого гелия эффективность камеры для одновременных 2-4 треков составляла примерно 60% на трек. Эффективность регистрации нескольких одновременных частиц для камеры SC-Ib была также достаточно высока. Это связано, по-видимому, с более гладкой поверхностью электродов и малым относительным разбросом в межэлектродном расстоянии.

Для камер SC-II, однако, была обнаружена более низкая эффективность (два одновременных трека регистрировались с эффективностью 75% на трек), что, по-видимому, обусловлено плохой параллельностью электродов.

При измерении эффективности регистрации одной частицы при интенсивной фоновой загрузке запуск искровых камер осуществлялся от телескопа из трех узких счетчиков (пластические сцинтилляторы в счетчиках были 5-8 мм по горизонтали и 100 мм по вертикали), установленных в 35 мм сбоку от оси пучка (рис. 17). При интенсивности 10^4 частиц/сек камеры SC-I и SC-II в таком запуске обеспечивали эффективность регистрации, близкую к 100%. Рабочие условия камер SC-Ia, SC-Ib и SC-IIb, испытанных при интенсивности 10^6 частиц/сек, приведены в табл. 3, причем камеры SC-Ia и SC-IIb проверялись одновременно. На рис. 18 приведено распределение числа треков в камере SC-Ib по горизонтальной координате. Высокий узкий пик соответствует частицам, прошедшим через счетчики 1, 2, 3 управляющего те-

лескопа (рис. 17). Более широкий пик справа - профиль пучка на камере. При просмотре снимков на некоторых из них не было обнаружено трека запускающей частицы, что связано с неполной эффективностью камеры (вклад случайных запусков в отсчеты телескопа из счетчиков 1, 2 и 3 составил $< 1\%$). Для треков, попавших в область узкого пика, было построено распределение по числу пробитых промежутков (рис. 18). События, отмеченные штриховкой, представляют случаи, когда по треку запускающей частицы срабатывало 2 или меньше промежутков (7% от всей статистики). Эффективность регистрации запускающей частицы (в обычном определении ^{3/}) для камеры SC-Ib оказалась $71 \pm 0,01\%$. Однако если треком в камерах считать события, когда по следу частицы срабатывают не меньше трех искровых промежутков, а для камеры SC-Ia - не меньше двух, то эффективность регистрации камер (ϵ) будет выше и составляет $> 90\%$ (см. табл. 3).

Эффективности камер SC-Ia и SC-IIb, определенные таким же образом, оказались одинаковыми и, несмотря на разницу в интенсивности и возрасте газа, близкими к эффективности камеры SC-Ib, что по-видимому, говорит о сильной зависимости работы камеры от чистоты газа и фоновой загрузки. В обеих камерах случаи "неэффективной" регистрации запускающей частицы хорошо совпадали и в большинстве случаев, как и в SC-Ib, сопровождалась яркими фоновым треком (рис. 20).

Выводы

1. Наиболее надежной из использованных конструкций искровых камер оказалась камера SC-Ib с герметично изолированными по краям электродами. В этой камере отсутствуют пробой по стеккам во всем диапазоне рабочих напряжений.
2. Электроотрицательные примеси, выделяемые оргстеклом, существенно сдвигают характеристики камер, поэтому для надежной работы искровых камер в эксперименте требуется ежесуточная очистка рабочего газа.
3. Эффективность регистрации многих треков у камер с межэлектродным расстоянием $d = 2$ см выше, чем у камер с $d = 1$ см.
4. Все исследованные искровые камеры могут работать при интенсивной фоновой загрузке $\sim 10^6$ част/сек с достаточно высокой эффективностью регистрации релятивистской частицы (90%). Наличие дополнительных фоновых треков не затрудняло обработку экспериментальных результатов.

В заключение авторы благодарят за помощь в работе В.Бирулева, В.Владимирова, М.Выренкову, А. Завгороднего, И.Какурина, П.С.Кузнецова, Ю.Матуленко, В.Матюшина, Н. Чернышева.

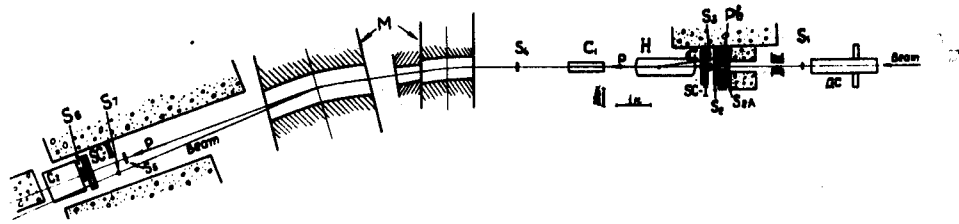
Л и т е р а т у р а

1. J.A.Savin, A.S.Vovenko, B.N.Gus'kov, M.F.Likhachev, A.L.Lyubimov, Yu.A.Matdenko, V.S.Stavinsky. Phys.Lett., 17,68 (1965).
2. А.С. Бовенко, Б.Н. Гуськов, М.Ф. Лихачев, А.Л. Любимов, Ю.А. Матуленко, И.А. Савин, В.С. Ставинский. Упругое рассеяние π^+ -мезонов на протонах на угол 180° при высоких энергиях. Препринт ОИЯИ, Р-2327, Дубна, 1965; направлено в "Письма в ЖЭТФ".
3. Б.Н. Гуськов, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин. Последовательное питание промежутков искровой камеры. Препринт ОИЯИ, Р-1937, Дубна, 1965.
4. J.Fischer and G.T.Zorn. Rev.Sci.Instr., 32, 499 (1961).
5. И.И. Громова, Ф. Легар, В.И. Никаноров, Т. Петер, А.Ф. Писарев. Характеристики многослойной искровой камеры с различными газовыми наполнениями. ПТЭ, № 8, 39 (1964).

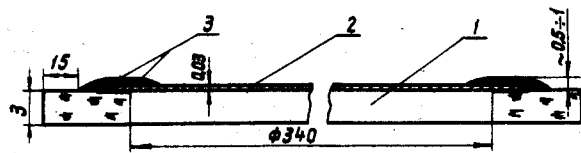
Рукопись поступила в издательский отдел
21 декабря 1965 г.

Т а б л и ц а 3

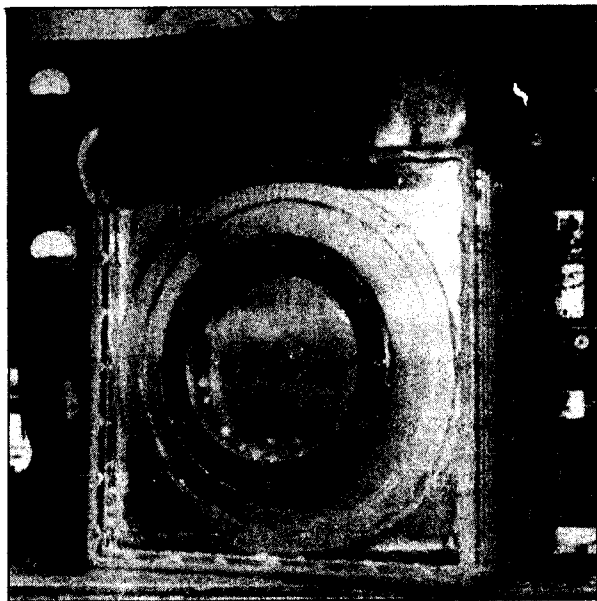
Искровые камеры	E_p (кВ)	$V_{оч}$ (В)	$r_{пам}$ (мсек)	Время, про- шедшее пос- ле наполнения камеры неоновом (сутки)	Интенсивность лучка (10 ⁶ частиц/сек)	Число залус- ков	ϵ %
SC-1б	12	80	1,0	Свежий газ	0,5 - 0,8	358	83 ± 0,5
SC-1а	11	200	1,1	1,5	0,3 - 0,5	369	81 ± 0,5
SC-1в	10	80	0,9	1,5	0,3 - 0,5	369	81 ± 0,5



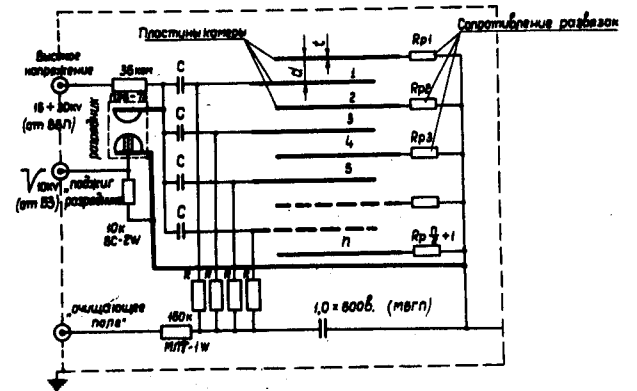
Р и с. 1. Схема установки для измерения упругого $n-p$ -рассеяния на угол 180° .
 $S_1 \div S_7$ -спинтиляционные счетчики, DC -дифференциальный газовый черенковский счетчик, C_1, C_2 -пороговые газовые черенковские счетчики, H - водородная мишень, SC-I, SC-II - искровые камеры
 M -магнитный спектрометр.



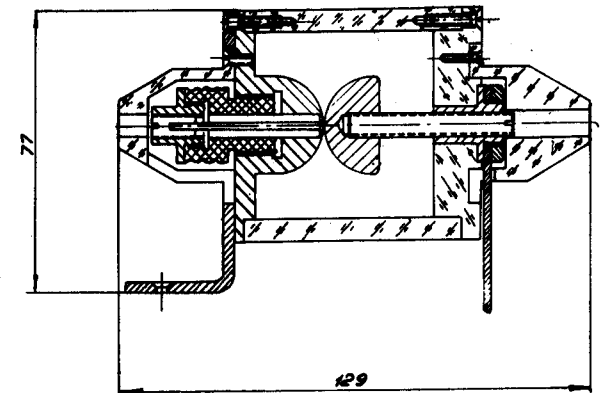
Р и с. 2. Электродная рамка камеры SC-Ib. 1-стеклянная рамка, 2-алюминиевая фольга, 3 - эпоксидный клей.



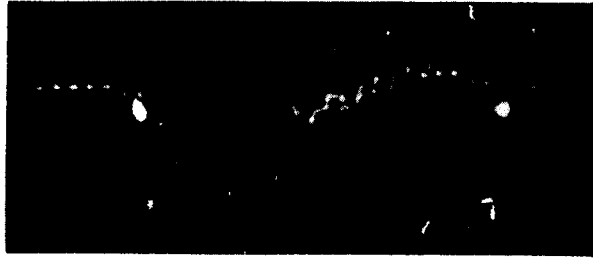
Р и с. 3. Общий вид искровой камеры SC-Ib.



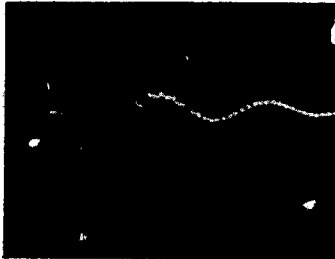
Р и с. 4. Схема питания промежутков искровой камеры.



Р и с. 5. Разрядник.

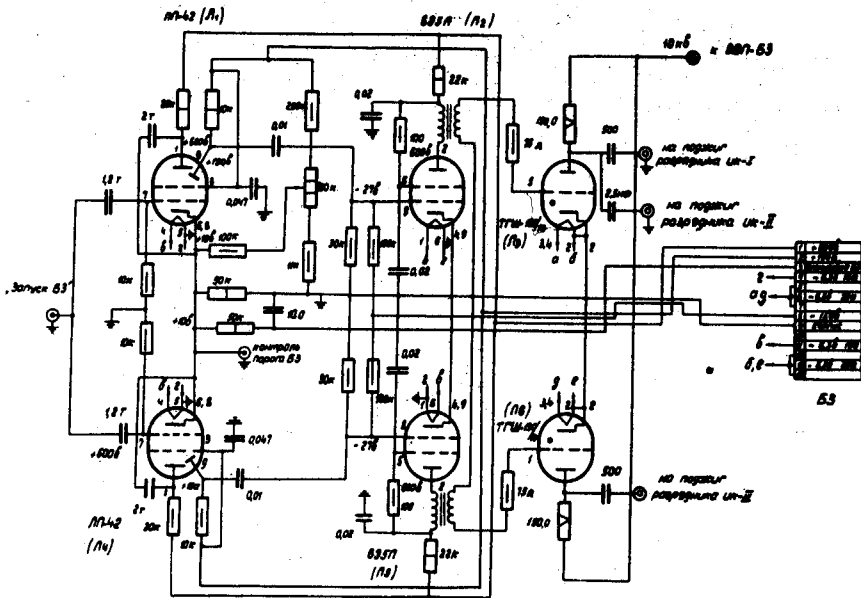


а)

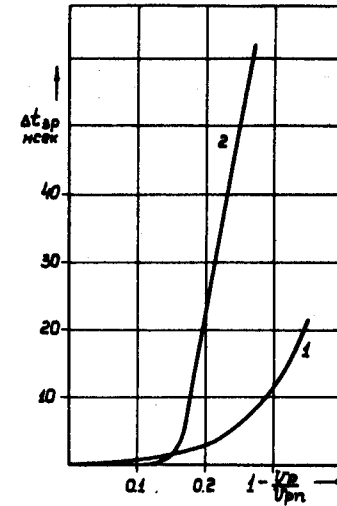


б)

Р и с. 6. Осциллограммы высоковольтного импульса на пластинках искровой камеры при $E_p = 10,7$ кВ/см. а) SC - Ia, б) SC - Ib, расстояние между метками 10 нсек.

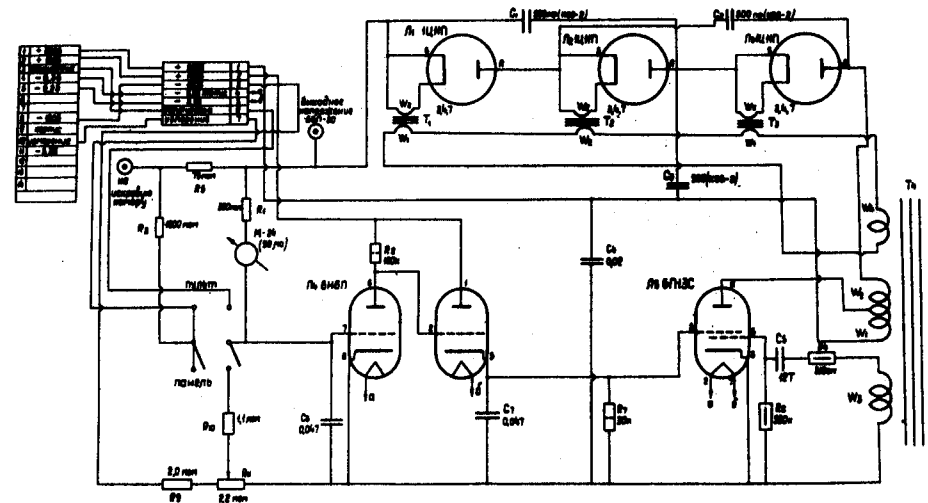


Р и с. 7. Принципиальная схема блока запуска.

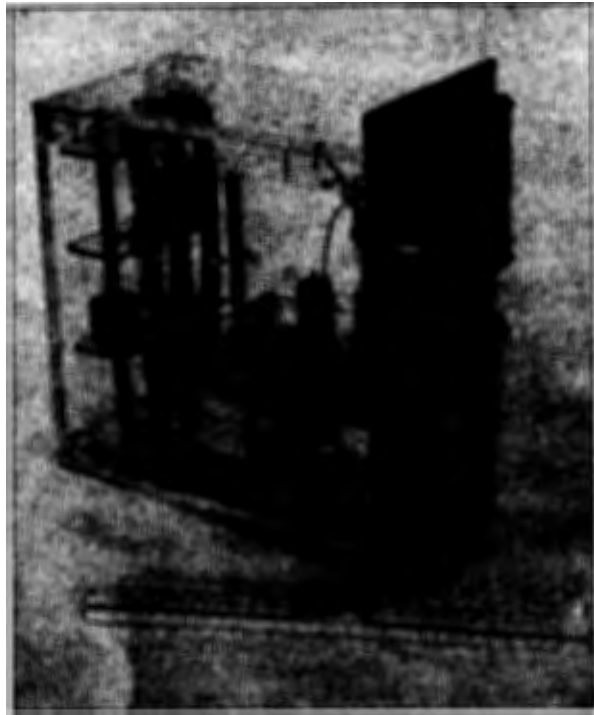


1. $U_{рп} = 10,5$ кВ
2. $U_{рп} = 22,5$ кВ

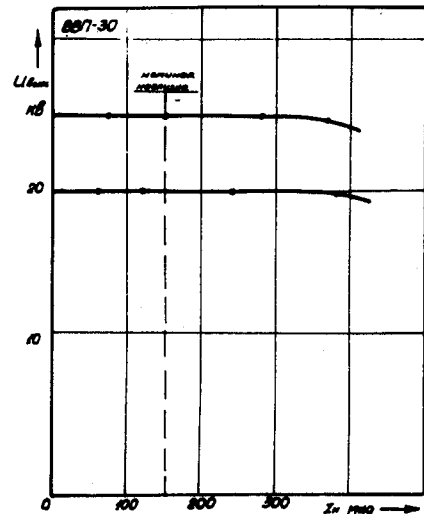
Р и с. 8. Зависимость времени задержки разрядника ($\Delta t_{зр}$) от напряжения (V_p). $V_{рп}$ - напряжение самопрооба разрядника.



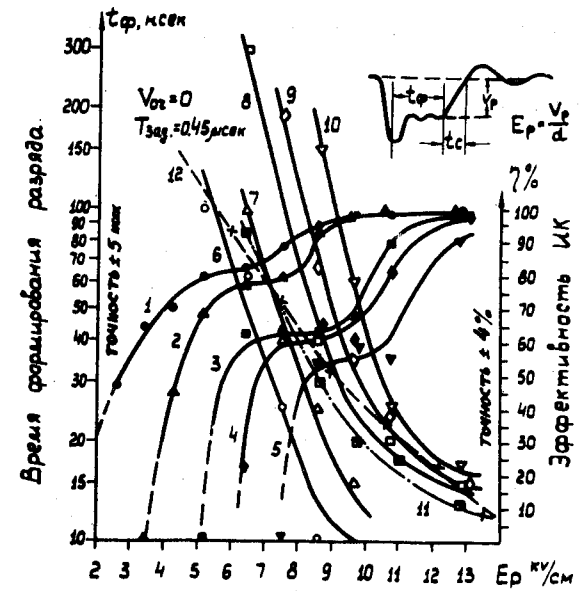
Р и с. 8. Принципиальная схема высоковольтного высокочастотного преобразователя (ВВП-30).



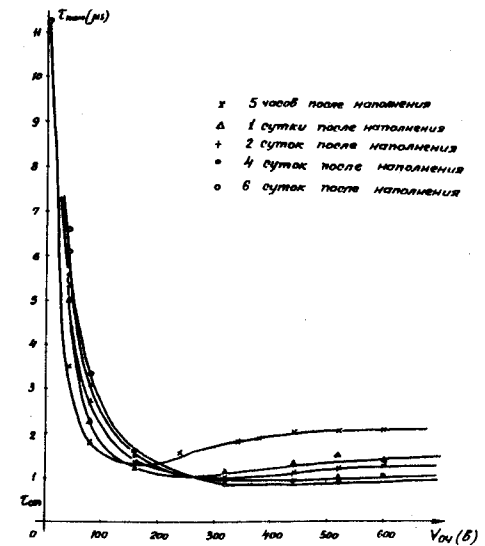
Р и с. 10. Внешний вид ВВП-30.



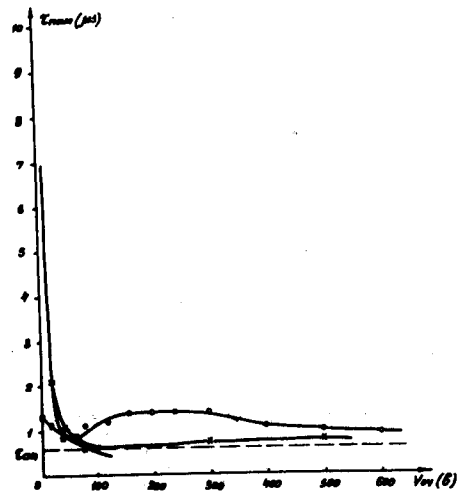
Р и с. 11. Нагрузочная характеристика ВВП-30.



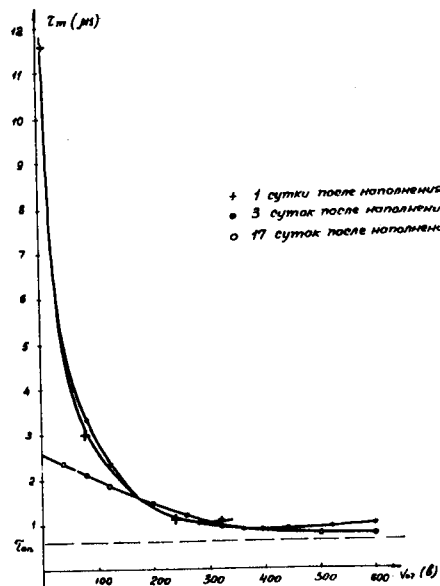
Р и с. 12. Эффективность и время формирования искрового разряда для камеры SC-1a, наполненной неон. 1-5 - кривые $\eta = \eta(E_p)$; 6-10 - кривые $t_\phi = t_\phi(E_p)$; 1,6 - сразу после наполнения; 2,7 - 2 суток после наполнения; 3,8 - 3 суток после наполнения; 4,9 - 4 суток после наполнения; 5,10 - 6 суток после наполнения; 11 - кривая $t_c = t_c(E_p)$; 12 - кривая $t_\phi = t_\phi(E_p)$, построенная по данным работы [4].



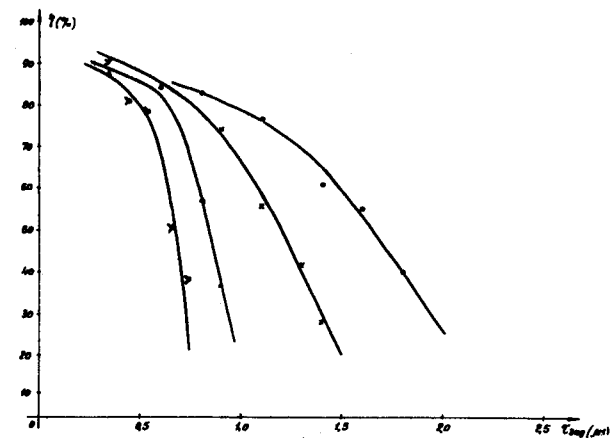
Р и с. 13. Зависимость времени памяти искровой камеры SC-1a, наполненной неон, от очищающего напряжения при $E_p = 11$ кв/см. Кривые построены с точностью $\pm 7\%$.



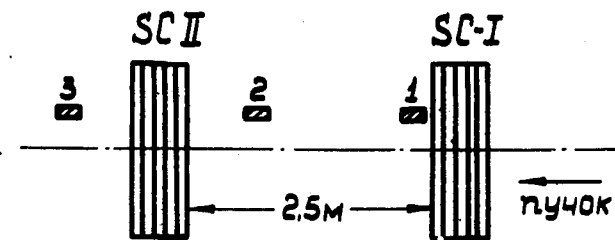
Р и с. 14. Зависимость времени памяти искровой камеры SC-IIa, наполненной неон, от очищающего напряжения. Точность измерений $\pm 5\%$, \circ — спустя 30 мин после наполнения, $E_p = 8$ кВ/см., \times — спустя 2,5 суток после наполнения, $E_p = 10$ кВ/см., \square — спустя 22 суток после наполнения, $E_p = 13,5$ кВ/см.



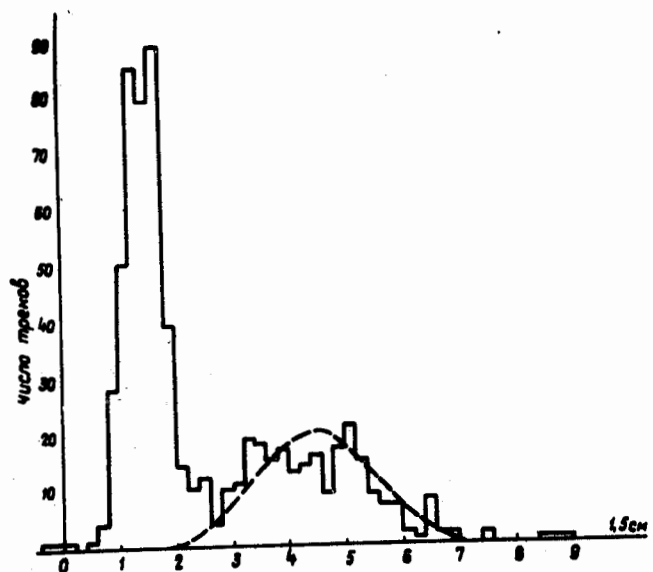
Р и с. 15. Зависимость времени памяти от очищающего напряжения для камеры SC-Ia, наполненной Ne + 0,25% Ar. $E_p = 11$ кВ/см. Точность измерений $\pm 7\%$.



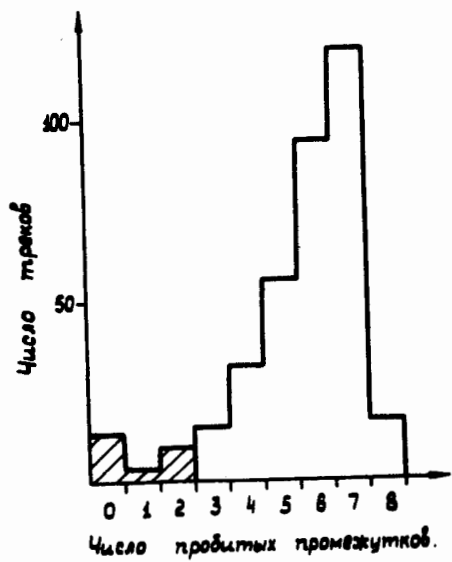
Р и с. 16. Зависимость эффективности регистрации одной частицы от задержки в/в импульса для камеры SC-Ia, наполненной Ne + 0,25% Ar за семь суток до измерения при $E_p = 10$ кВ/см. Статистическая ошибка $\pm 4\%$.



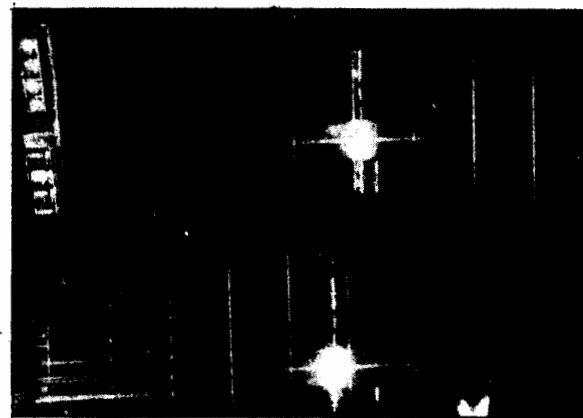
Р и с. 17. Расположение искровых камер и запускающих счетчиков при измерении эффективности камер в условиях фоновой загрузки.



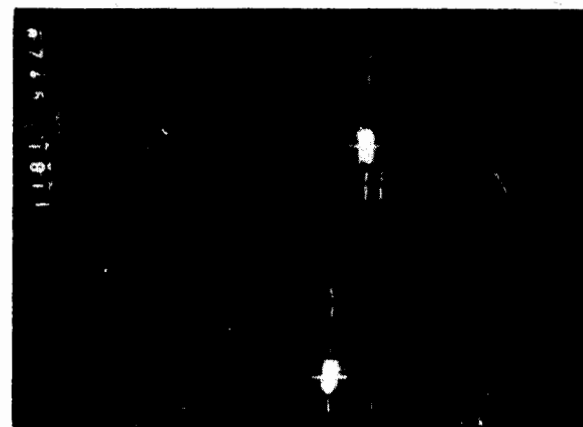
Р и с. 18. Распределение числа треков по горизонтали для камеры SC-1б.



Р и с. 19. Распределение числа треков запускающей частицы по числу сработавших промежутков камеры SC-1б.



Р и с. 20а. Фотография трека запускающей частицы.



Р и с. 20б. Фотография трека запускающей частицы в присутствии фоновой (яркий фоновый трек).