

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АН СССР

препринт

124

Р.Г.Бикматов, А.Г.Борискин, В.И.Куделайнен,
И.Н.Мешков, В.В.Пархомчук

**Индикация электронного пучка
по свечению остаточного газа**

г.Новосибирск 1967

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

Р.Г.Бикматов, А.Г.Борискин, В.И.Куделайнен,
И.Н.Мешков, В.В.Пархомчук

ИНДИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА
ПО СВЕЧЕНИЮ ОСТАТОЧНОГО ГАЗА

Новосибирск
1967

А н н о т а ц и я

Описаны эксперименты по регистрации светового излучения остаточного газа, возбуждаемого прямым пучком электронов (35 кэВ) и пучком электронов в бетатроне (3 МэВ). Ток на выходе фотоумножителя в пересчете на единицу длины и тока пучка при 35 кэВ составлял $1,2 \pm 0,2$ ма/а.см (давл. 10^4 тор, доля регистрируемого света $6,5 \cdot 10^{-4}$), а при 3 МэВ - около 2 мка/а.см (давл. $6 \cdot 10^6$ тор, доля регистрируемого света $1,4 \cdot 10^{-4}$).

A b s t r a c t

The experiments on the registration of the residual gas light induced by the rectilinear electron beam (35 keV) and the betatron circular beam (3 MeV) are described.

The output current of the recording photomultiplier, counted per units of beam length and current, was equal to 1.2 ± 0.2 mA/A·cm for rectilinear beam (the vacuum was of order 10^{-4} torr, the light collection efficiency was equal to $6.5 \cdot 10^{-4}$) and was about 2 μ A for circular one (the vacuum was of order $6 \cdot 10^{-6}$ torr, the light collection efficiency was equal to $1.4 \cdot 10^{-4}$).

В последнее время в работах, проводимых на циклических ускорителях и накопительных дорожках, получили широкое применение разнообразные методы индикации электронных пучков по синхротронному излучению, лежащему в видимой области спектра /1/. Аналогичная техника может быть использована и в тех случаях, когда сами частицы не испускают свет (линейные ускорители, бетатроны, ускорители тяжёлых частиц и т.п.), но светится возбуждаемый ими остаточный газ в вакуумной камере или же газ специально созданной локальной молекулярной струи. Подобный метод был применен, например, в работе /2/ для мониторинга пучка протонов, вылетающих из линейного ускорителя Беркли, по свечению воздуха, заполнявшего при атмосферном давлении камеру-монитор.

Теоретический расчет интенсивности свечения газа, возбуждаемого ударом, в интересующей нас области энергий (от десятков кэВ и выше) крайне затруднителен /3/. С целью изучения практических возможностей метода нами были поставлены эксперименты на прямом пучке электронов с энергией 35 кэВ и на пучке в бетатроне со спиральным накоплением /4/ при энергии электронов около 3 МэВ. Полученные результаты подтвердили предположение о возможности использования предлагаемого метода при работе с пучком электронов.

I. Регистратор светового излучения

Для регистрации светового излучения применялся фотоумножитель ФЭУ-15А. Схема питания ФЭУ дана на рис.1. Сигнал с анода ФЭУ через согласующую электронную схему (рис.2) по кабелю длиной 35 м подавался на осциллограф. Величина анодной нагрузки ФЭУ выбиралась максимальной для полосы пропускания 20 мГц. Вся схема регистрации линейна до амплитуды напряжения 4в на выходе согласующей схемы. Интенсивность излучения, вообще говоря, зависит от угла наблюдения; т.к. почти все виды излучения, получаемые при атомных столкновениях, являются дипольными, для них справедливо угловое распределение вида:

$$I(\theta) = \frac{3\sigma}{4\pi} \cdot \frac{1 - P \cos^2 \theta}{3 - P}$$

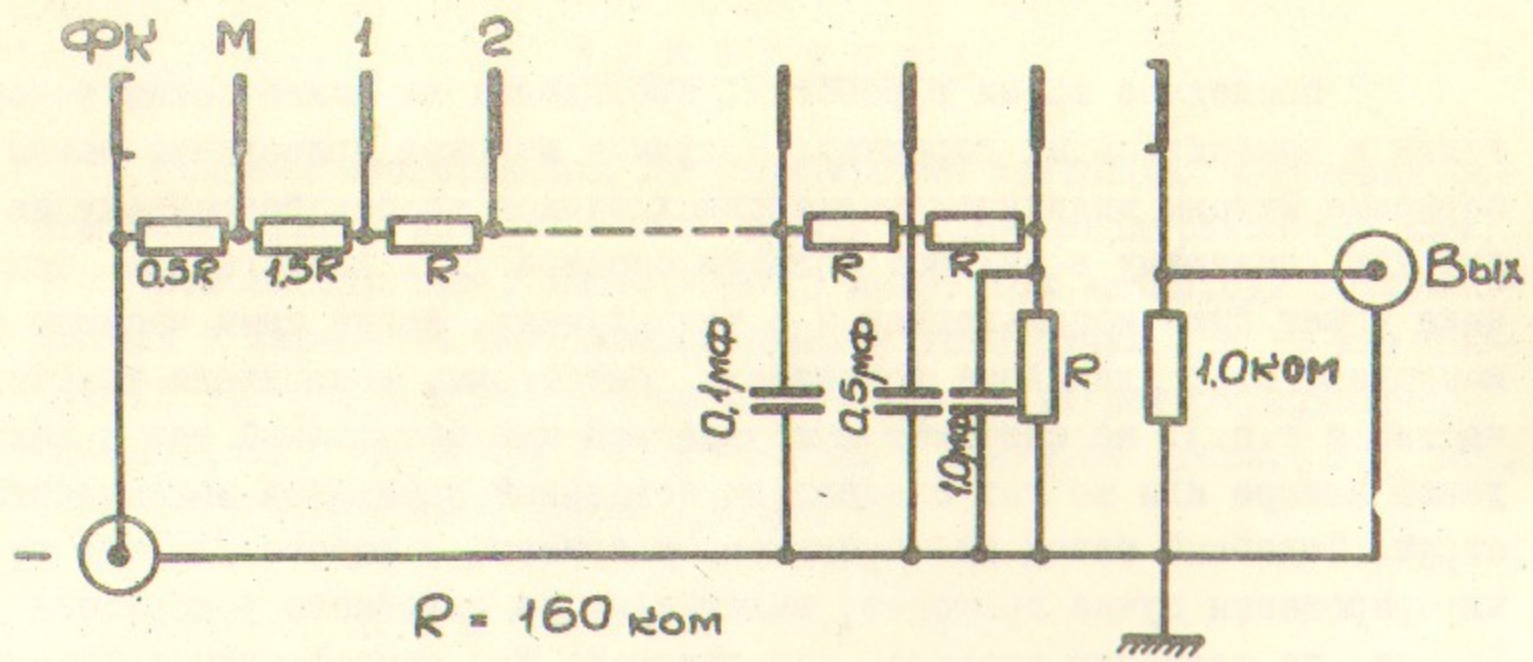


Рис.1. Схема питания ФЭУ.

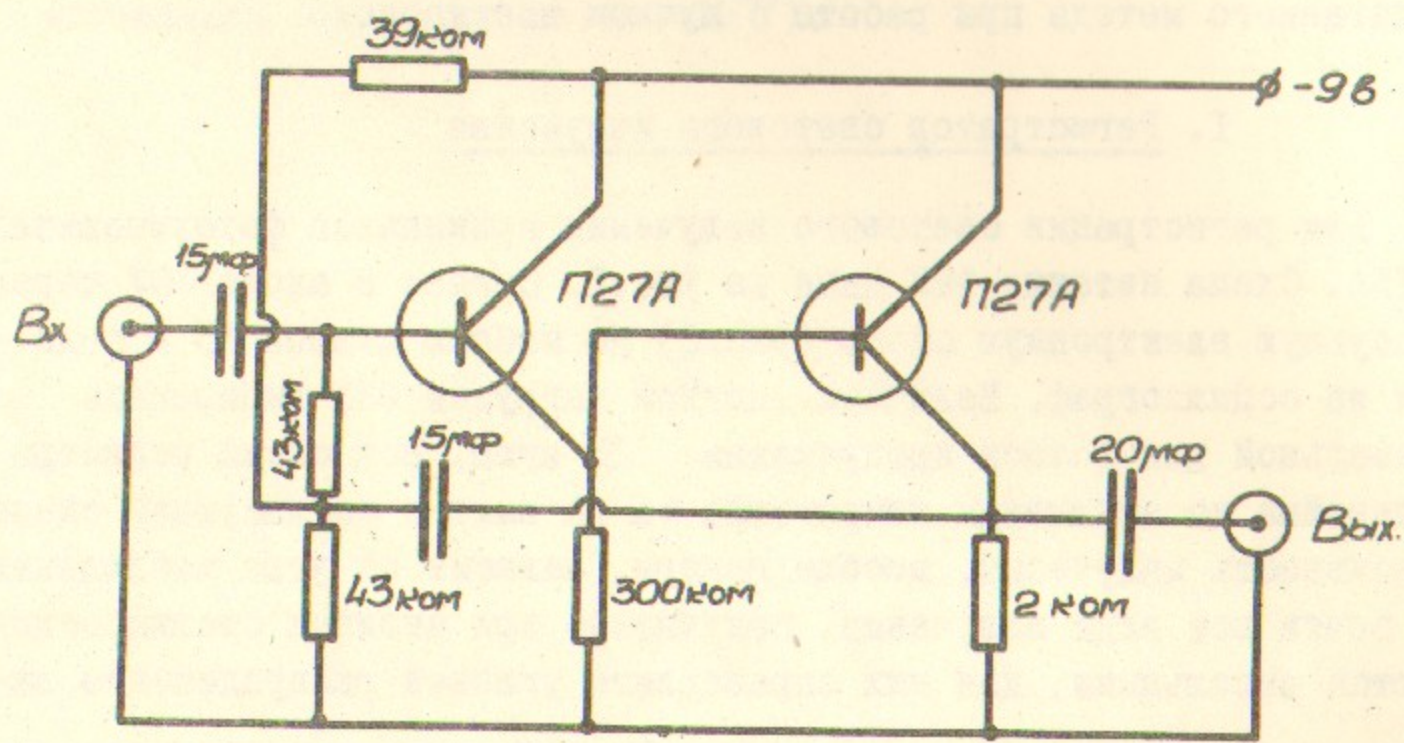
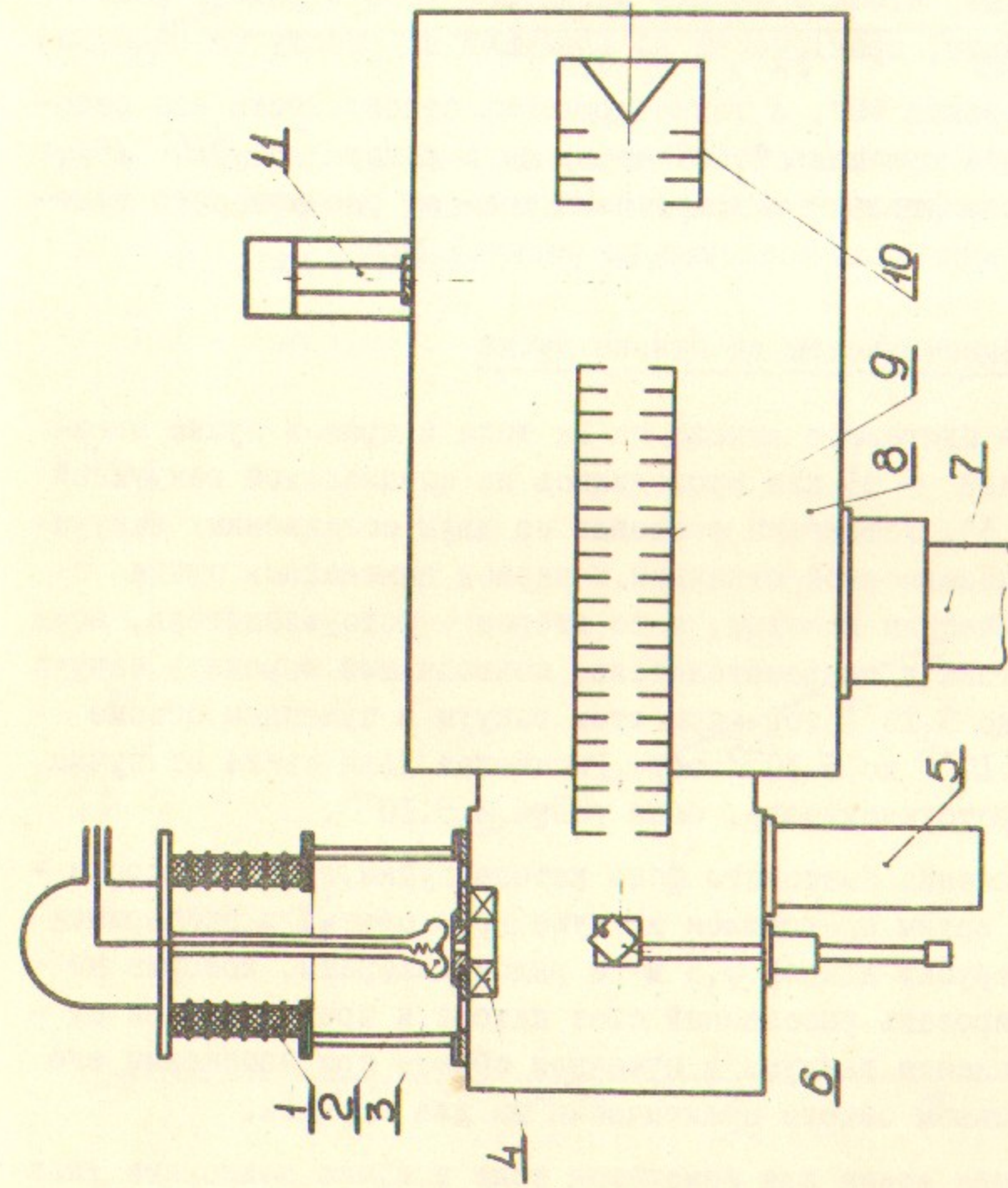


Рис.2. Схема, согласующая выходное сопротивление ФЭУ с кабелем.



- 1 Цоколь пушки
2 Катод
3 Анод
4 Фокусирующая магнитная линза
5 Дифракционный насос пушечного объема

- 6 Полюсный магнит
7 Дифракционный насос экспериментального объема
8 Экспериментальный объем
9 Трубка с диафрагмой
10 Зонд
11 ФЭУ

Рис.3

здесь P - коэффициент поляризации, но он велик лишь в области энергий вблизи порога возбуждения. Поэтому уже при энергиях порядка сотен электрон-вольт излучение можно считать изотропным.

При использовании ФЭУ для регистрации света на ускорителе с целью уменьшения влияния магнитных полей бетатрона на работу ФЭУ, последний был заключен в магнитный экран, представляющий собой железный цилиндр с толщиной стенки - 2 мм. Размеры экрана выбирались такими, чтобы ослабить магнитное поле в районе фото-катода до величины, практически не влияющей на работу ФЭУ ($\sim 0,5$).

Для калибровки ФЭУ, а также проверки стабильности его работы использовалось свечение "рл" перехода в кристалле SiC [5], возбуждаемое прямоугольными импульсами тока от специального генератора. ФЭУ обеспечивал усиление по свету $5 \cdot 10^6$.

2. Эксперименты на прямом пучке

Измерения светового выхода на 1а тока в прямом пучке электронов с энергией ~ 35 кэВ проводились на специальной вакуумной установке (рис.3). Установка состояла из двух соединенных вакуумных объемов с независимой откачкой. В первом помещалась пушка с электронно-оптическим каналом, а во втором - фотоумножитель, зонд для измерения тока и микронатекатель, позволявший изменять вакуум от $8 \cdot 10^{-6}$ тор до $5 \cdot 10^{-4}$ тор, при этом вакуум в пушечном объеме изменялся от $1 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-5}$ тор. Расчетная доля света от пучка, попадающая на фотоумножитель, была равна $6,5 \cdot 10^{-4}$.

Для устранения светового фона катода пушки пучок поворачивался на 90° и затем проводился из пушечного объема в экспериментальный через трубку длиной 0,5 м с рядом диафрагм, которые позволяли коллимировать рассеянный свет катода и предотвращали существенное изменение вакуума в пушечном объеме при изменении его в экспериментальном объеме практически на два порядка.

Конструкция зонда для измерения тока в пучке позволяла улавливать свет, коллимированный диафрагмами, экранировать свечение, вызываемое при ударах электронов о поверхность зонда и, наконец, уменьшить количество обратно-рассеянных электронов. Последние могут вызвать свечение со стенок камеры, превосходящее по интенсив-

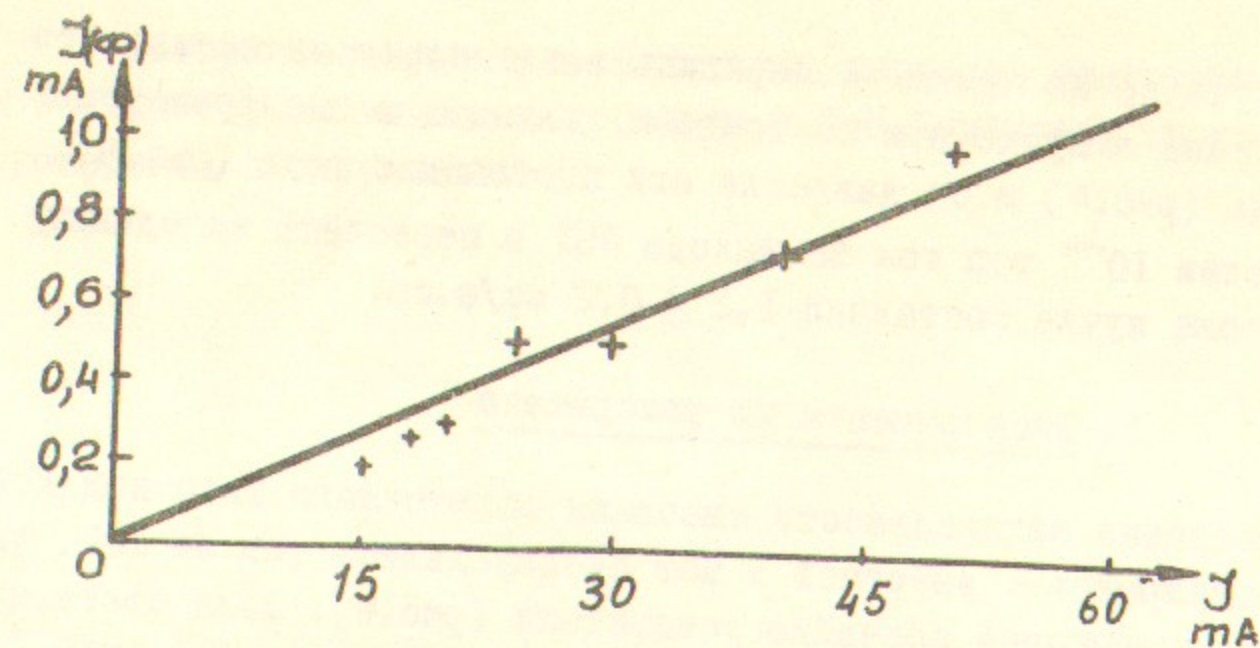


Рис.4. Зависимость свечения остаточного газа от тока в пучке электронов. Давление в экспериментальном объеме - 10^{-4} тор. Энергия электронов 35 кэВ.

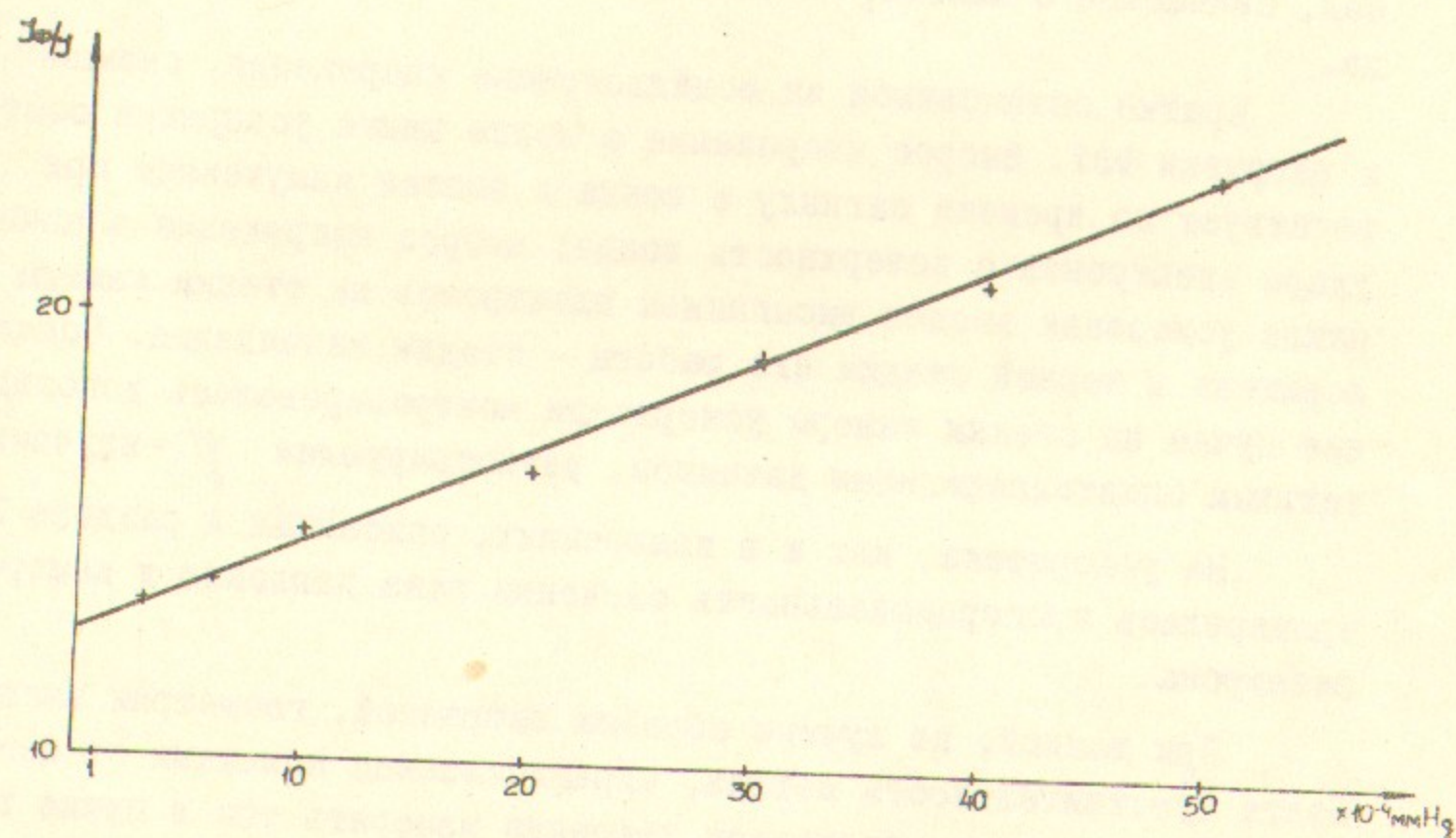


Рис.5. Зависимость свечения остаточного газа, отнесенного к единице тока пучка, от давления. Токи - в относительных единицах. Ток факт, что прямая не проходит через начало координат, объясняется свечением стенок камеры, вызванным рассеянными из пучка электронами.

ности излучение из пучка. Измерялись зависимости интенсивности света от тока в пучке при постоянном давлении в экспериментальном объёме (рис.4) и от давления при постоянном токе (рис.5). При давлении 10^{-4} тор ток на выходе ФЭУ в пересчёте на единицу длины и тока пучка составлял $1,2 \pm 0,2$ ма/а.см.

3. Эксперименты на ускорителе

Измерения интенсивности свечения остаточного газа под действием электронов с энергией 3 Мэв производились тем же ФЭУ, укрепленным на внешней обечайке ускорителя (рис.6). Доля света, падающая на фотокатод от пучка, была вычислена равной $1,4 \times 10^{-4}$.

На рис.7 приведён график зависимости интенсивности свечения остаточного газа от тока в пучке. (Ток измерялся электростатическими пикап-электродами). Этот график был получен после обработки серии осциллограмм (рис.8). Верхняя осциллограмма - сигнал, снимаемый с мишени; средняя - с ФЭУ, нижняя - с пикап-электрода.

Кратко остановимся на осциллограмме напряжения, снимаемого с нагрузки ФЭУ. Выброс напряжения в конце цикла ускорения соответствует по времени сигналу с зонда и вызван излучением при ударе электронов о поверхность зонда; выброс напряжения в начале цикла ускорения вызван высыпанием электронов на стенки камеры ускорителя в первой стадии его работы - стадии накопления. Попадание пучка на стенки камеры ускорителя контролировалось дополнительным сцинтилляционным датчиком, регистрирующим γ -излучения.

На ускорителе, как и в измерениях, описанных в разделе 2, проверялась пропорциональность свечения газа давлению в камере бетатрона.

При данной, не лучшим образом выбранной, геометрии эксперимента чувствительность метода, ограничиваемая помехами от цепей питания ускорителя, позволяет уверенно измерять ток в пучке электронов (2-5 Мэв), начиная с 1а и выше. Верхняя граница определяется линейностью ФЭУ и согласующей схемы, в нашем случае она составляла примерно 40а.

При давлении $6 \cdot 10^{-7}$ тор ток на выходе ФЭУ в пересчёте на единицу длины и тока пучка составлял около 2 мка/а.см.

Авторы пользуются возможностью выразить благодарность Б.В.Чирикову за внимание к работе и В.М.Белёичеву за помощь в проведении экспериментов.

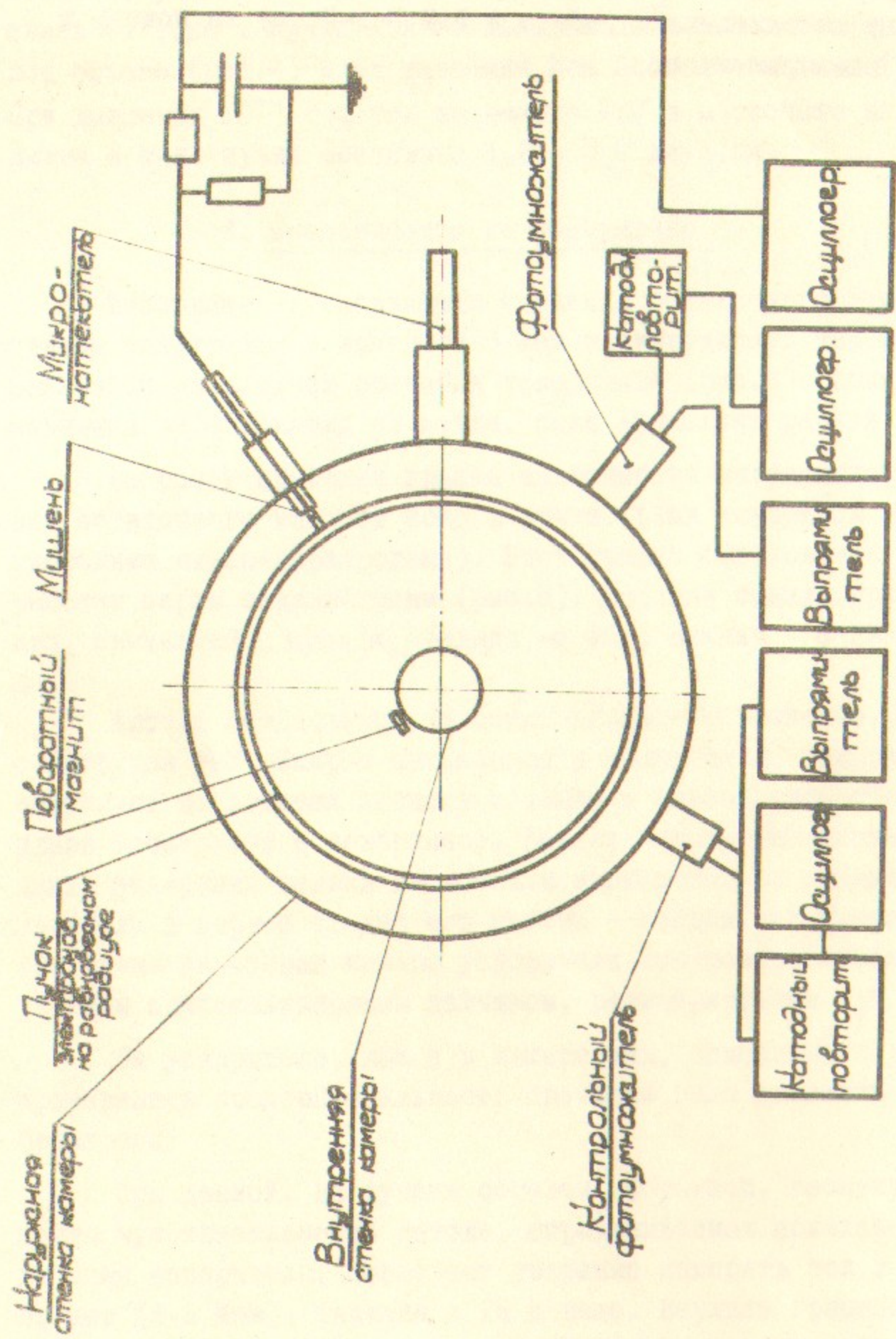


Рис.6. Схема измерений на ускорителе.

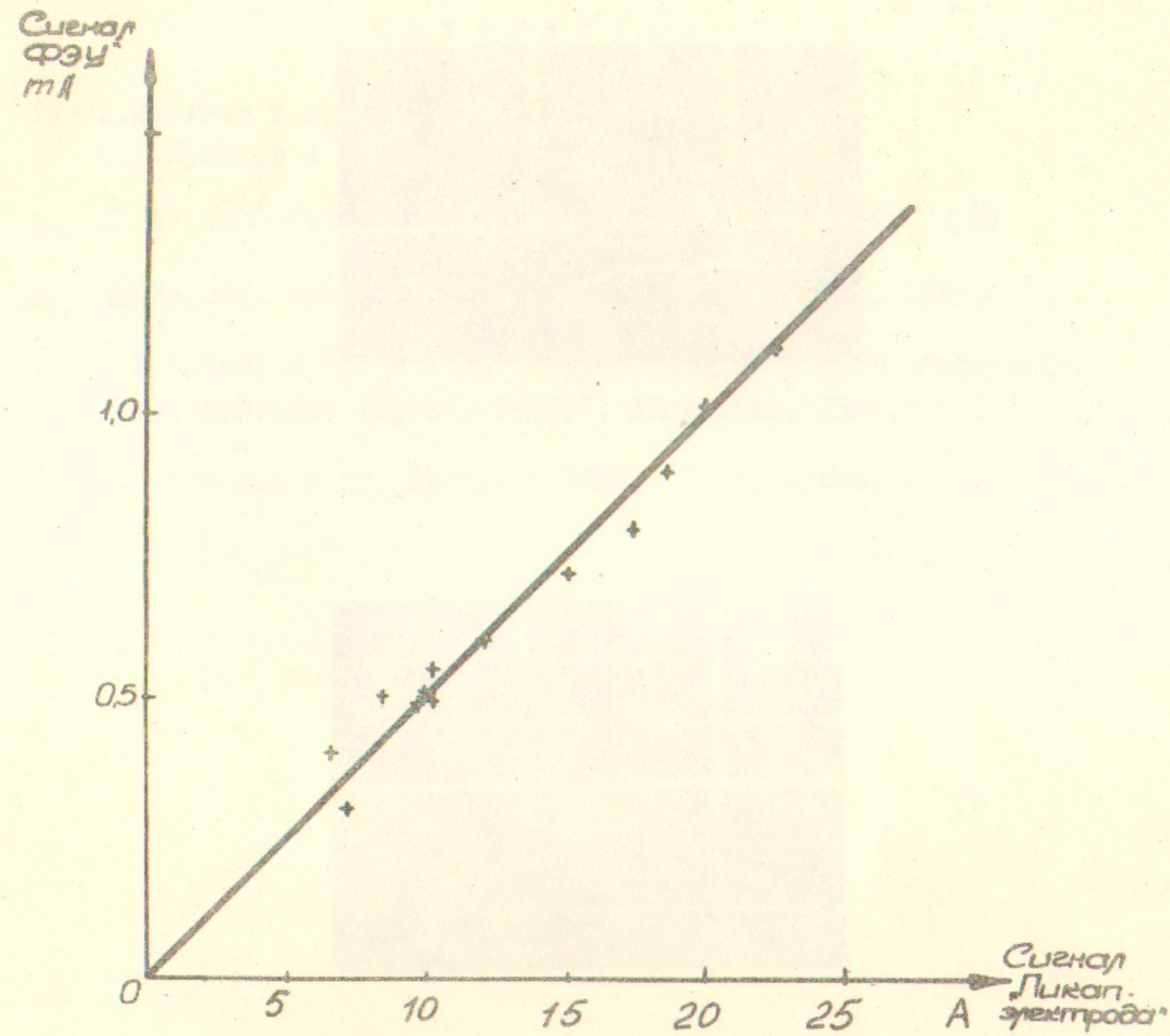
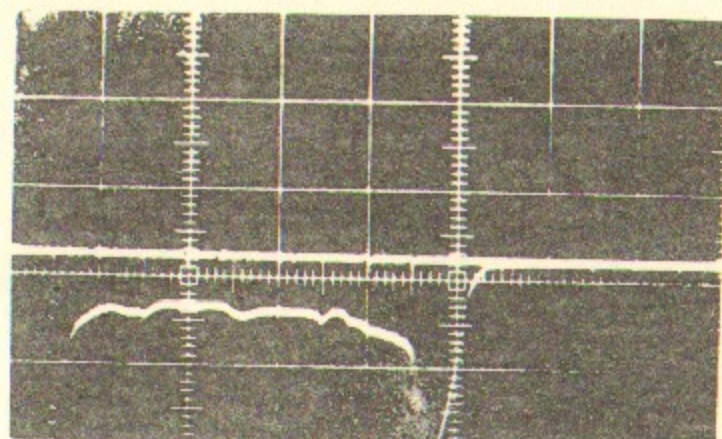
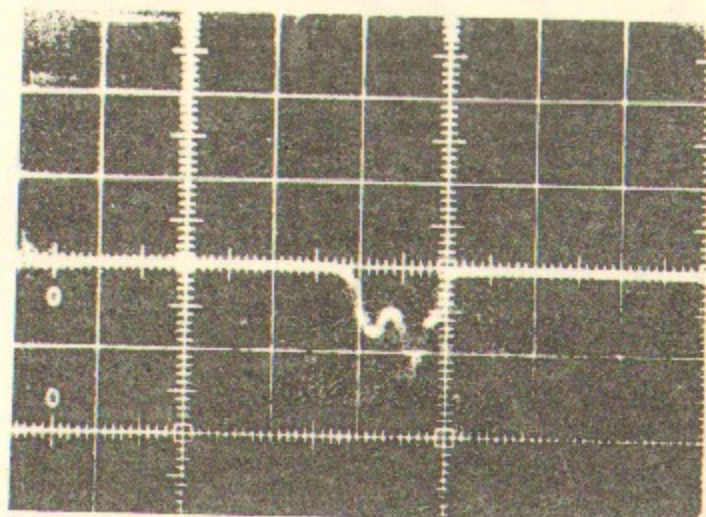


Рис.7. Зависимость свечения остаточного газа в камере ускорителя от тока пучка, измеряемого пикап-электродами. Энергия электронов около 3 Мэв.

а)



б)



в)

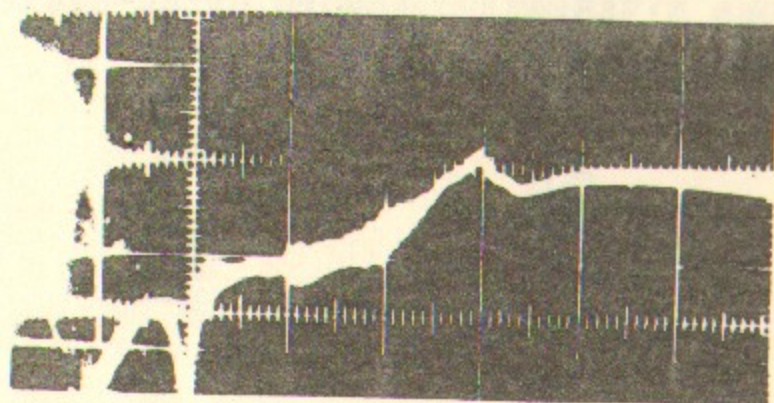


Рис.8. Осциллограммы напряжений, снимаемых:

- а) с анода ФЭУ;
- б) с мишени;
- в) с пикап-электрода.

Л и т е р а т у р а

1. Э.И.Зинин и др. АЭ, 20 (1966), вып.3, 220.
О.Ф.Куликов и др. ПТЭ, № 6 (1966), 20.
2. S.W. Kitchen, Rev. Sci. Instr. 26, N2 (1955), 234
3. Дж.Хастед. Физика атомных столкновений, "Мир", 1965.
4. Г.И.Будкер и др. - в кн. "Труды Международной конференции по ускорителям (Дубна, 1963)", Атомиздат, 1964, стр.1065.
5. В.И.Рыкалин и др. Препринт ОИЯИ, 2466, Дубна, 1965.

Ответственный за выпуск Родионов Ю.И.

Подписано к печати 6.V-1967 г.

Усл. 0,5 печ.л., тираж 200 экз. Бесплатно.

Заказ № 124

Отпечатано на роталпринте в ИЯФ СО АН СССР.