

Академия наук СССР



ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пр-311

М.А.Грунтман, А.П.Калинин

ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ С
ЭНЕРГИЯМИ 0,6 - 2,0 КЭВ КАНАЛОВЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ
УМНОЖИТЕЛЕМ С РАСТРУБОМ

Москва

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пр-311

М.А.Грунтман, А.П.Калибин

ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ С
ЭНЕРГИЯМИ 0,6 - 2,0 КЭВ КАНАЛОВЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ
УМНОЖИТЕЛЕМ С РАСТРУБОМ

1977

Проведено исследование работы каналового электронного умножителя с раструбом ВЭУ-6 в различных режимах при регистрации нейтральных частиц. Полученные результаты позволяют оптимальным образом использовать умножитель в практике физических исследований.

Современная наука и техника предъявляют всё более серьезные требования к регистрирующей аппаратуре. Среди приборов, которые нашли широкое применение во многих областях экспериментальной физики при решении задач регистрации различного рода излучений, потоков нейтральных частиц, ионов, электронов, можно отметить вторичные электронные умножители (ВЭУ). Первичная частица, попадая в ВЭУ, дает на выходе сигнал, удобный для регистрации, причем ВЭУ обладает чрезвычайно низким уровнем шума. Вторичные электронные умножители работают в вакууме, и у них отсутствуют вакуумно-плотные оболочки. Большим достоинством ВЭУ является их очень высокая чувствительность. Если с помощью цилиндра Фарадея можно измерять токи до 10^{-16} А, то использование в качестве детекторов ВЭУ, особенно работающих в режиме дискретного счета частиц, позволяет снизить этот предел на несколько порядков. Кроме того, ВЭУ позволяют непосредственно регистрировать потоки нейтральных частиц с энергиями несколько сот электронвольт и выше. В последнее время широкое распространение получили вторичные электронные умножители с непрерывным динодом, в частности, каналовые электронные умножители (КЭУ). Схематично КЭУ представляет собой трубку, сделанную из резистивного ма-

териала, которая может иметь различную форму, и к концам которой приложена разность потенциалов порядка нескольких киловольт. Регистрируемая частица, сталкиваясь с внутренней стенкой в начале трубки, выбивает из неё электроны, которые двигаются внутри трубки, ускоряясь под воздействием приложенной разности потенциалов, сами, в свою очередь, соударяются со стенкой канала, выбивая электроны, и, тем самым, образуется лавина, которая и регистрируется на выходе. Для увеличения входной апертуры КЭУ могут применяться раструбы.

Простота конструкции, малые размеры, незначительное потребление энергии, высокий коэффициент усиления (до 10^8), способность переносить значительные ударные и вибронгрузки, неоднократное воздействие атмосферы сделали КЭУ незаменимым инструментом исследования космического пространства со спутников. С помощью каналовых электронных умножителей исследуются ультрафиолетовое и мягкое рентгеновское излучения, атмосферы и ионосферы Земли и других планет, межпланетное пространство, солнечный ветер.

В большинстве опубликованных работ рассматривались характеристики каналовых электронных умножителей при регистрации электронов [1 + 3], ионов [4] и ультрафиолетового излучения [5, 6], в то время как сравнительно мало внимания уделялось регистрации нейтральных тяжелых частиц [7]. В настоящей работе были проведены детальные измерения зонных характеристик, амплитудных спектров, усталостных характеристик, эффектов загрузки, зависимости от рода регистрируемых частиц отечественного каналового электронного умножителя с раструбом ВЭУ-6 [8] при детектировании нейтральных частиц с энергией $E = 0,6 \div 2,0$ кэВ. Некоторые полученные результаты были приведены в [9].

Для измерений использовалась установка [10], в которой путем перезарядки ионов создавался пучок нейтральных атомов,

который и регистрировался ВЭУ-6 (рис.1). Коллимированный пучок имел трапецидальную форму с характерным размером 0,2 мм (рис.2) и по сравнению с характерными размерами ВЭУ-6 (диаметр входной воронки $\phi_{\text{в}} = 8$ мм, диаметр канала $\phi_{\text{к}} = 1,5$ мм) мог считаться точечным, что позволяло получать зонные характеристики умножителя, т.е. зависимость параметров умножителя от точки попадания пучка во входную воронку. Давление во время эксперимента поддерживалось на уровне 10^{-6} мм рт.ст. Умножитель был установлен на подвижной платформе, имеющей две степени свободы, и перемещался в плоскости, перпендикулярной оси пучка. На вход каналового электронного умножителя, соединенного с сеткой, подавалось отрицательное напряжение $-U_{\text{к}}$, а выход был заземлен. Такой способ является стандартным для регистрации медленных заряженных частиц, когда используется доускорение входным потенциалом. Сигнал с ВЭУ-6 выводился на импульсный усилитель и далее на пересчетный прибор ШП9-2М и амплитудный анализатор импульсов АИ-1024. Амплитудные распределения импульсов, полученные прибором АИ-1024, записывались двухкоординатным самописцем ЦДС-021 М (рис.1). Нормировка получавшихся распределений проводилась по "площади", т.е. к полному числу зарегистрированных импульсов.

Для того чтобы исследовать зависимость характеристик ВЭУ-6 ^{от} рода детектируемых частиц, регистрировались потоки гелия, водорода, молекулярного азота с энергией частиц $E_{\text{п}} = 1200$ эВ. Оказалось, что амплитудные распределения импульсов практически не зависят от рода частиц детектируемого потока. Поэтому все приведенные ниже результаты получены для пучков атомов He.

На рис.3 представлены линии одинаковой скорости счета по площади входного раструба ВЭУ-6. Как видно, умножитель обладает достаточно хорошей осесимметрией, и поэтому в дальнейшем при и

следования зонных характеристик детектор перемещался таким образом, что пучок попадал последовательно в точки входного раструба, лежащие вдоль одного из его диаметров. Для каналового электронного умножителя с раструбом зонные характеристики представляют значительный интерес. Их знание необходимо как при работе с достаточно узкими пучками, так и для понимания особенностей функционирования умножителя.

На рис.4 представлены результаты измерения скорости счета в зависимости от точки падения пучка постоянной интенсивности при различных напряжениях U_k на ВЭУ-6. Измеренные зависимости скорости счета промодулированы с шагом сетки, причем, изменения интенсивности пучка на плато достигают 25%. В отличие от случая регистрации электронов, ультрафиолетового и ультрамягкого рентгеновского излучений [2,5] скорость счета для нейтральных частиц не возрастает при попадании пучка в центр воронки. Следовательно, эффективность регистрации в центре раструба для нейтральных частиц в области исследованных энергий не увеличивается. При понижении напряжения на умножителе, начиная с $U_k = 2400$ В, появляется провал в центре зонной характеристики, причем, уровень дискриминации пересчетного прибора ПП9-2М оставался неизменным. Как будет показано ниже, это связано с уменьшением коэффициента усиления каналового электронного умножителя K_u как при сдвиге пучка от края воронки к центру, так и при понижении напряжения U_k , что приводит к тому, что регистрируемые импульсы становятся меньше уровня дискриминации пересчетного прибора, который обычно устанавливался с таким расчетом, чтобы интенсивность фона не превышала 0,1 имп/сек.

На рис.5а, 5б, 5в показаны амплитудные распределения импульсов на выходе КЭУ для пучка атомов гелия с энергией $E_n = 600$ эВ при различных значениях U_k и при попадании пучка

в различные точки раструба. Используя эти распределения, можно получить зависимость относительного коэффициента усиления K_y , под которым [2] понималась величина наиболее вероятного импульса в амплитудном распределении от положения детектируемого пучка и от напряжения на ВЭУ-6. Следует отметить, что на рис.5, также как и на всех следующих рисунках, на которых представлены амплитудные распределения, показаны не все измеренные зависимости, а только наиболее типичные. На рис.6 представлены зависимости K_y от напряжения на умножителе для $z = 0$ и $z = 3$ мм. Они представляют собой линии, угол наклона которых к оси абсцисс увеличивается с удалением точки падения пучка от центра воронки к краю. Это свидетельствует о том, что K_y возрастает при увеличении U_k , а также при удалении точки падения пучка от центра воронки. На рис.7 показана зависимость относительного коэффициента усиления K_y от расстояния до центра воронки при двух значениях U_k ($U_k = 2500$ В и $U_k = 3500$ В) и для энергий пучка $E_n = 600$ эВ и $E_n = 2000$ эВ. Видно, что при $E_n = 600$ эВ, также, как и для электронов [2], K_y уменьшается при приближении к центру воронки. Это происходит, вероятно, за счет уменьшения эффективного пути умножения электронов, т.к. пучок, направленный в центр раструба, выбивает электроны из канала, напряжение умножения которых, соответственно, меньше, чем для электронов, выбитых из раструба. При увеличении энергии пучка до $E_n = 2000$ эВ K_y становится одинаковым по всей площади входной воронки.

Зависимость скорости счета I от напряжения на умножителе U_k при фиксированном уровне дискриминации пересчетного прибора показана на рис.8. Приведены кривые для случая падения пучка в центр раструба и на расстоянии 2 мм от центра. Полученные кривые имеют сложный характер и в области исследованных напряжений и энергий не выходят на плато, а имеют тенденцию к росту

скорости счета I при увеличении напряжения на множителе U_k . Заметим, что для центра воронки рост $I(U_k)$ при $U_k > 2400$ В составляет 10% на 300 В. Близкие результаты получены при регистрации ультрафиолетового излучения на КЭУ фирмы *Mullard* В 419В1 [6]. Было отмечено, что относительная полуширина распределения, т.е. отношение ширины распределения на уровне $\frac{I}{2}$ его высоты к величине наиболее вероятного импульса, растет при сдвиге пучка от края воронки к её центру (рис.9). Зависимости относительной полуширины от напряжения при различных значениях φ имеют достаточно сложный характер, проявляя слабовыраженный минимум при $U_k = 3000 \div 3300$ В, причем, заметим, что наиболее сильно полуширина меняется при $\varphi = 0$.

На рис. 10-а показаны распределения импульсов при $U_k = 3500$ В $\varphi = 0$, для пучков с энергиями $E_n = 600$ эВ и $E_n = 2000$ эВ. Видно, что при увеличении энергии регистрируемых частиц с 600 эВ до 2000 эВ величина наиболее вероятного импульса и, соответственно, коэффициент усиления K_y увеличились примерно в 1,5 раза. При сдвиге пучка от центра воронки к периферии также происходит сдвиг распределения импульсов в область, соответствующую большим по величине импульсам, что обусловлено увеличением коэффициента усиления (рис. 10-б).

Весьма интересным явлением оказалась форма распределения импульсов при попадании пучка в центр воронки ВЭУ-6 и для U_k , превышающих 3300 В. Отчетливо наблюдается второй горб, соответствующий большим по величине импульсам. Так, например, при напряжении $U_k = 3500$ В и энергии пучка $E_n = 600$ эВ высота второго пика превышает 30% высоты основного пика. Надо отметить, что двугорбое распределение наблюдалось только при приближении пучка к центру раструба. Отношение вклада малого горба к вкладу основного горба в интегральный сигнал на выходе КЭУ меняется

сложным образом. С увеличением U_k это отношение сначала заметно возрастает, а затем изменяется значительно слабее (рис. II).

Важное значение при различного рода измерениях представляет знание зависимости характеристик умножителя от загрузок. На рис. 10-в представлены амплитудные распределения для пучка атомов гелия с энергией $E_n = 600$ эВ, $\zeta = 0$, $U_k = 2500$ В при интенсивностях пучка $I = 4000$ имп/сек, $I = 40000$ имп/сек, $I = 120000$ имп/сек. Оказалось, что при изменении интенсивностей пучка до 4000 имп/сек ни форма распределений импульсов, ни коэффициент усиления не зависят от загрузки умножителя. Однако при увеличении интенсивности пучка от 4000 имп/сек до 120000 имп/сек коэффициент усиления K_y падает примерно в два раза. Для изучения усталостных характеристик ВЭУ-6 подвергся воздействию пучка ионов водорода H^+ интенсивностью $I = 10^6$ имп/сек в течении трех часов. Установлено, что коэффициент усиления K_y уменьшается примерно в 10 раз при наборе полного числа сосчитанных импульсов 10^{10} .

Полученные результаты обнаруживают ряд особенностей характеристик ВЭУ-6 при регистрации нейтральных частиц. Знание этих особенностей позволит оптимальным образом использовать ВЭУ-6 в практике физических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.Р.Айнбунд, В.Г.Коваленко, Б.В.Поленов. ПТЭ, 4, 154 (1974).
2. М.Р.Айнбунд, В.П.Пронин, В.М.Стожаров. ПТЭ, 4, 156 (1974).
3. М.Р.Айнбунд, В.С.Гурьянов. ПТЭ, 3, 181 (1973).
4. B. Nied, H.C. Suk, A. Guilbaud. *Rev. Sci. Instr.* 47(1), 138, (1976).
5. М.Р.Айнбунд, В.Я.Заславский. ПТЭ, 4, 181 (1975).
6. Z. Slevin et al. *J. Phys. E: Scient. Instrum* 8, 1000, (1975).
7. J. A. Ray, C. F. Barnett. *IEEE Trans. NS-R, Number*, 1(1), 44, (1970).
8. М.Р.Айнбунд и др. ПТЭ, 1, 269, (1975).
9. М.А.Грунтман, А.П.Калинин. ПТЭ, (в печати).
10. А.Б.Камнев, В.Б.Леснас, В.Г.Попов. ПТЭ, 2, 182 (1966).

Подписи к рисункам

Рис.1. Схема установки: 1 - ионный источник, 2 - магнитный анализатор, 3 - камера перезарядки, 4 - отклоняющий конденсатор, 5 - каналный электронный умножитель ВЭУ-6, 6 - диафрагма.

Рис.2. Радиальное распределение интенсивности пучка (по оси ординат отложена интенсивность в относительных единицах).

Рис.3. Линии одинаковой скорости счета по площади входного раструба ВЭУ-6 (x и y в относительных единицах).

Рис.4. Зависимость скорости счета от расстояния до центра воронки 1 - $U_k = 2600$ В, 2 - $U_k = 2200$ В, 3 - $U_k = 2000$ В; $E_n = 600$ эВ.

Рис.5. Амплитудные распределения импульсов при различных напряжениях U_k ; 1 - $U_k = 2300$ В, 2 - $U_k = 2500$ В, 3 - $U_k = 3000$ В, 4 - $U_k = 3500$ В.
Расстояние до центра воронки а) $r = 3,5$ мм,
б) $r = 2,5$ мм, в) $r = 0$.

Рис.6. Зависимость коэффициента усиления от напряжения U_k .
Расстояние до центра воронки 1 - $r = 3$ мм, 2 - $r = 0$; $E_n = 600$ эВ.

Рис.7. Зависимость относительного коэффициента усиления от расстояния до центра воронки 1 - $U_k = 2500$ В, $E_n = 2000$ эВ; 2 - $U_k = 3500$ В, $E_n = 600$ эВ; 3 - $U_k = 2500$ В, $E_n = 600$ эВ.

Рис.8. Зависимость скорости счета от напряжения U_K .

Расстояния до центра воронки 1 - $r = 0$, 2 - $r = 2$ мм;

$E_n = 600$ эВ.

Рис.9. Зависимость относительной полуширины распределения

от напряжения U_K для различных точек падения пучка:

1 - $r = 0$; 2 - $r = 3$ мм.

Рис.11. Зависимость отношения вклада маленького "горба" к

вкладу основного "горба" ρ в амплитудном распреде-

лении от напряжения U_K ; $r = 0$; $E_n = 600$ эВ.

Рис.10. Амплитудные распределения импульсов

а) в зависимости от энергии пучка 1 - $E_n = 600$ эВ,

2 - $E_n = 2000$ эВ, $U_K = 3500$ В, $r = 0$.

б) в зависимости от расстояния до центра воронки

1 - $r = 0$, 2 - $r = 2,5$ мм, $U_K = 3500$ В, $E_n = 600$ эВ.

в) в зависимости от загрузки 1 - $\bar{I} = 120000$ им/сек,

2 - $\bar{I} = 40000$ им/сек, 3 - $\bar{I} = 4000$ им/сек, $U_K = 2500$ В,

$E_n = 600$ эВ, $r = 0$.

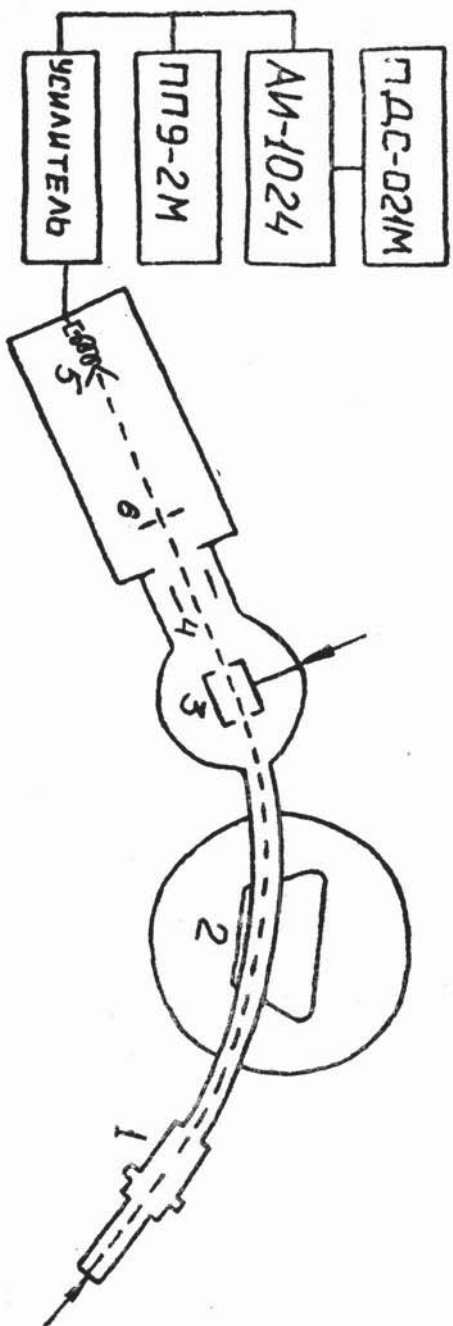


Рис. 1.

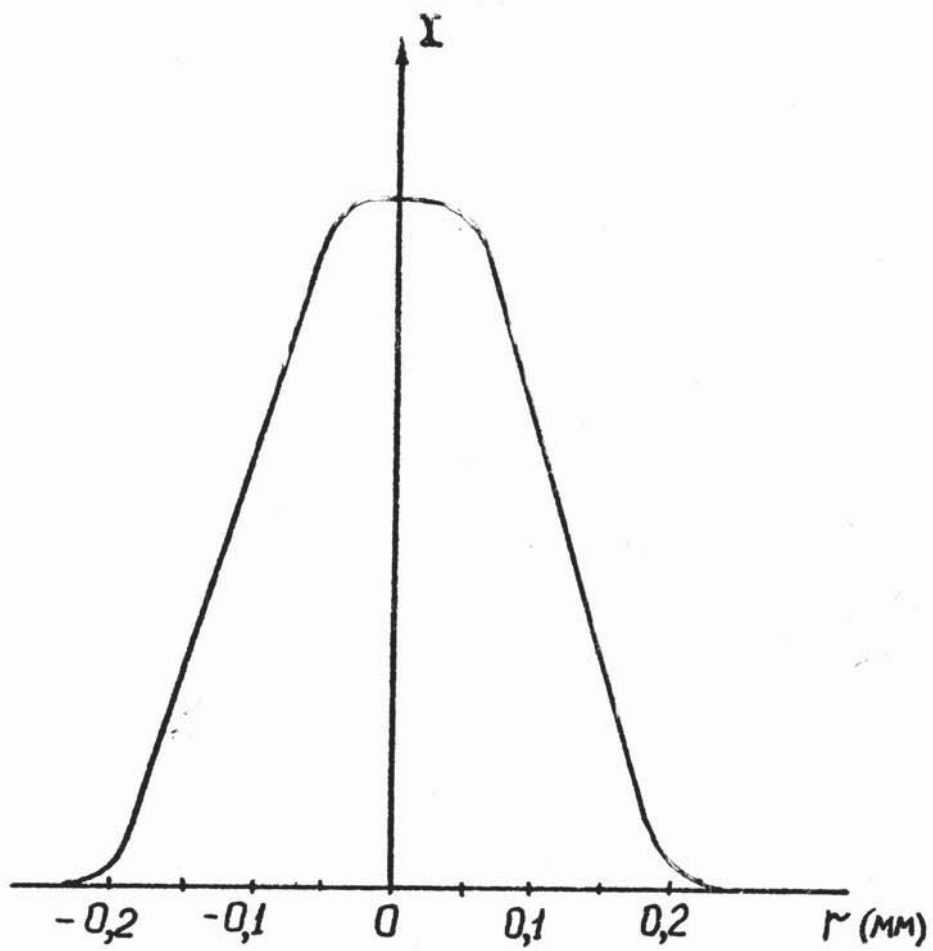


Рис. 2.

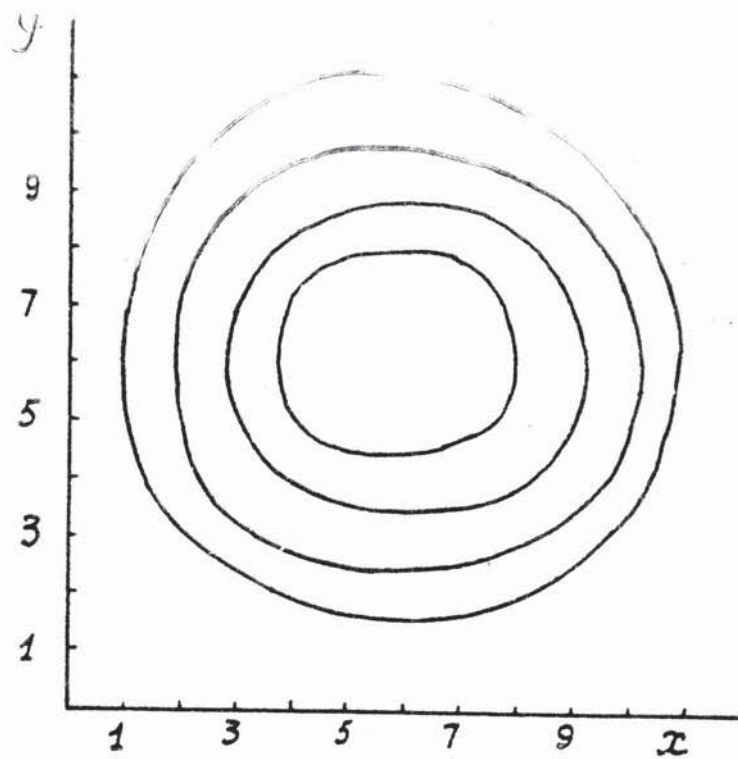


Рис. 3.

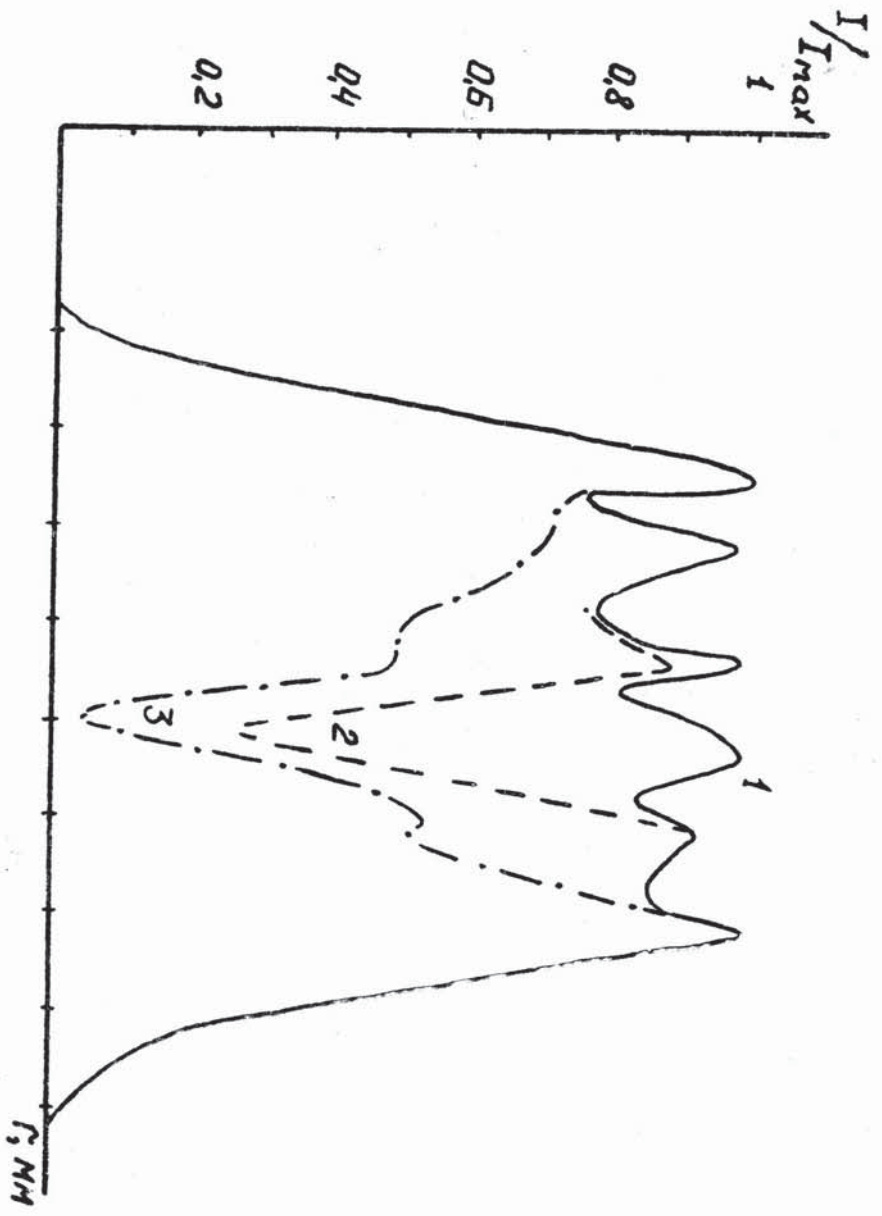


Рис. 4.

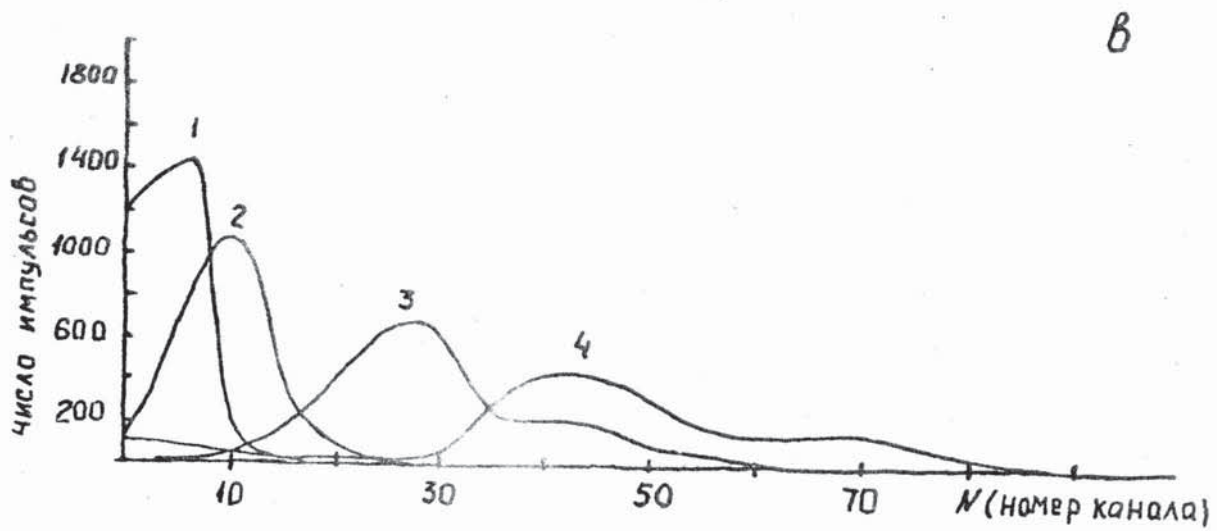
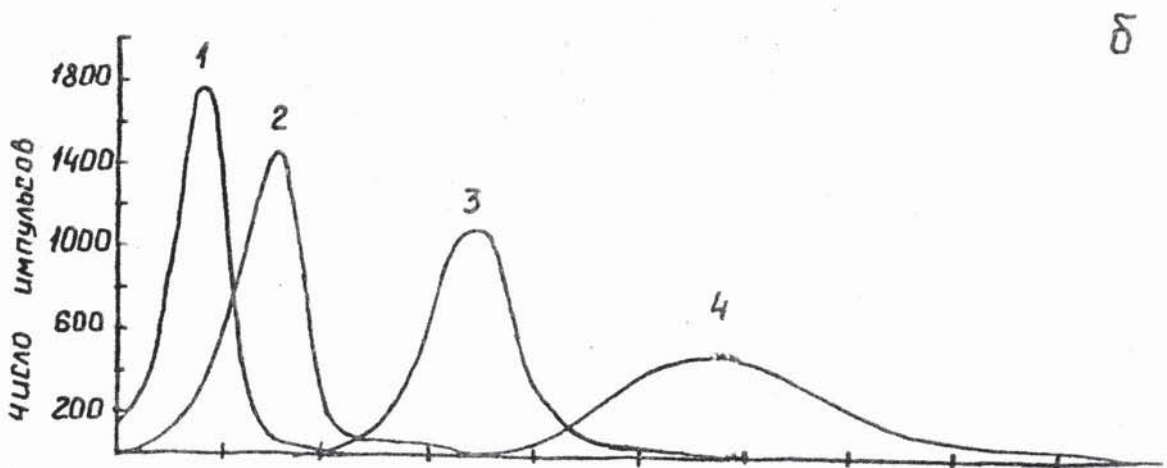
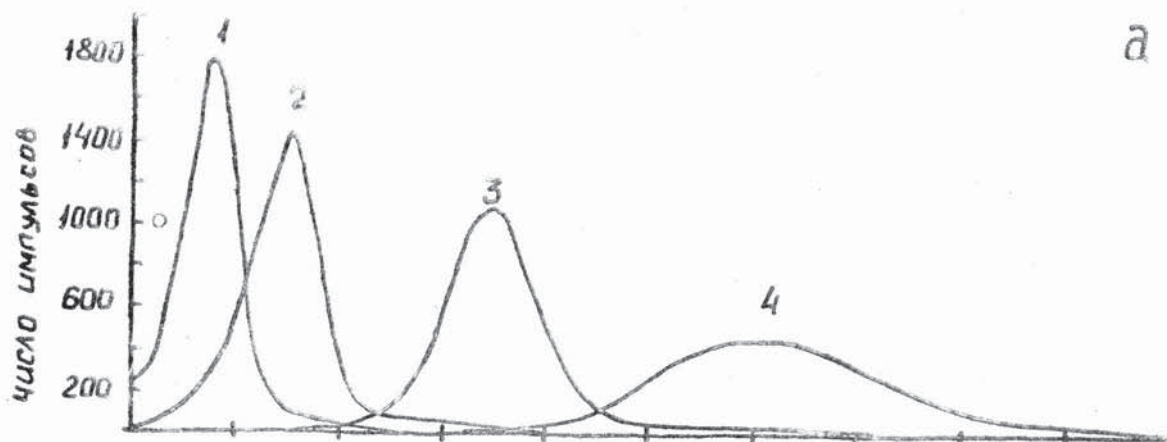


Рис. 5.

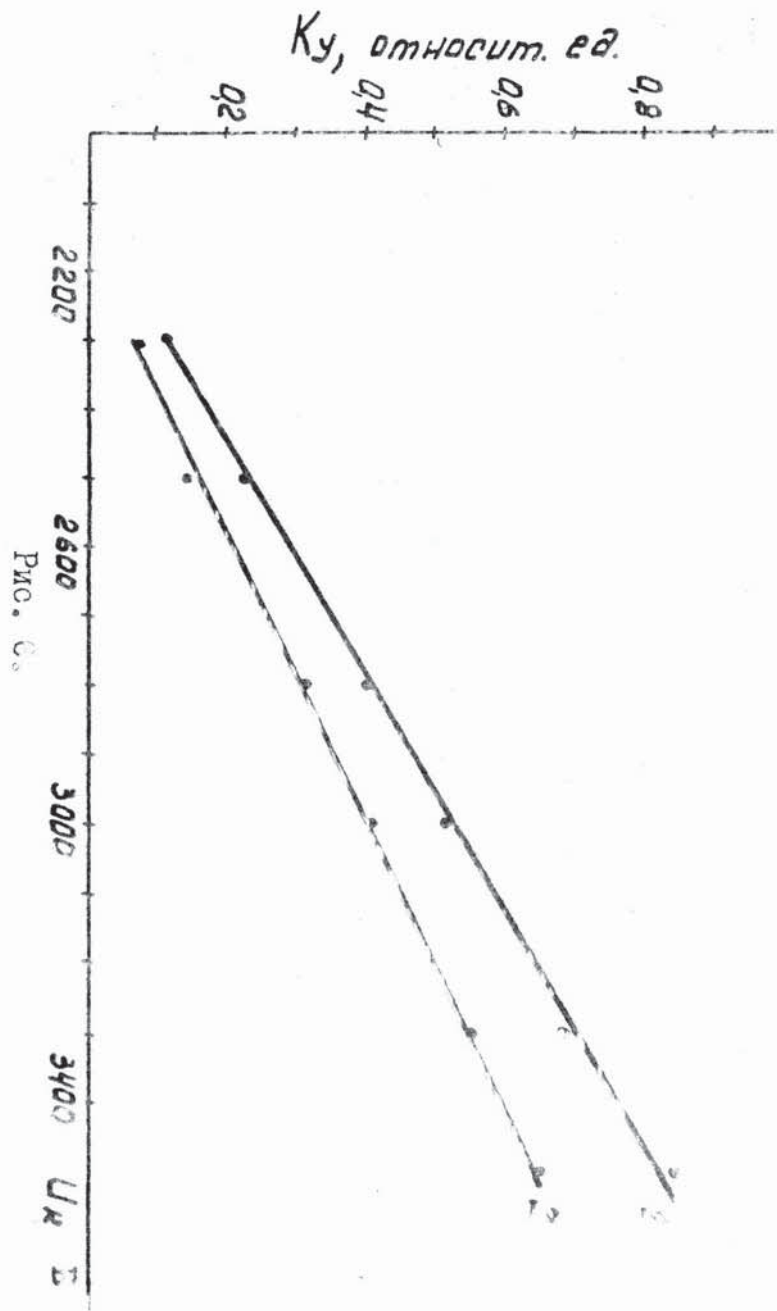


Рис. 6.

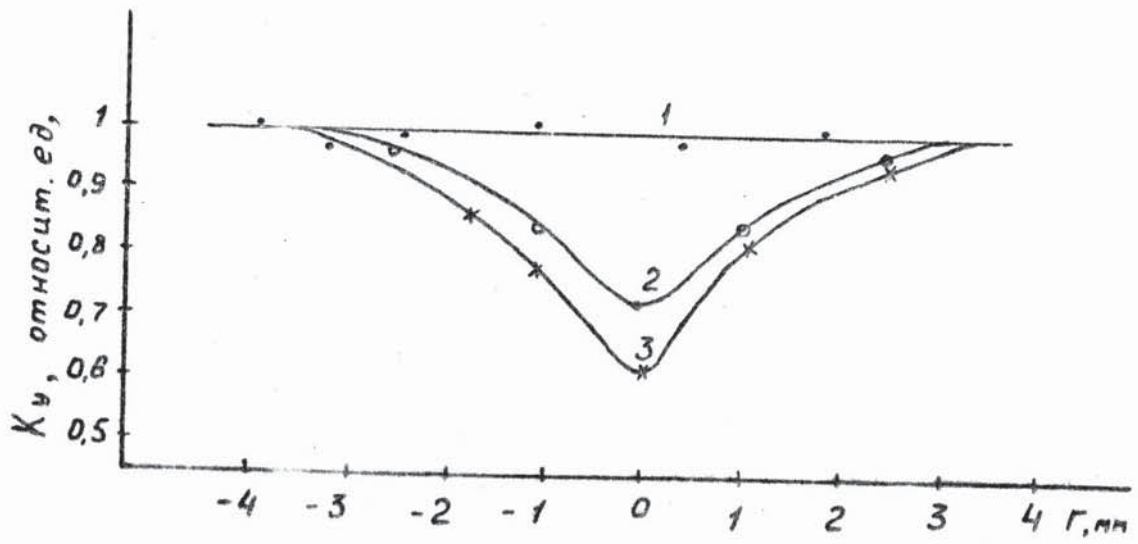


Рис.7

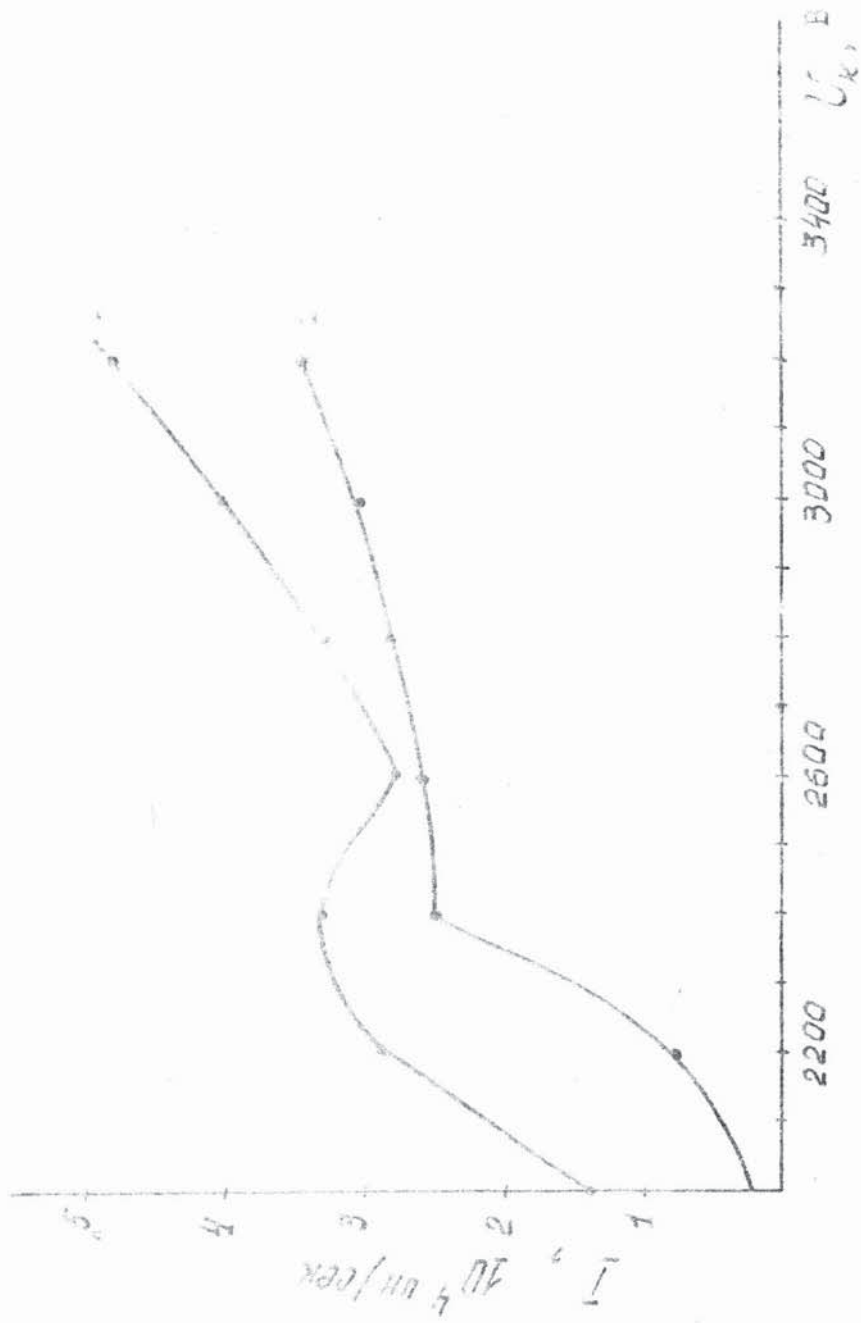


Рис. 8.

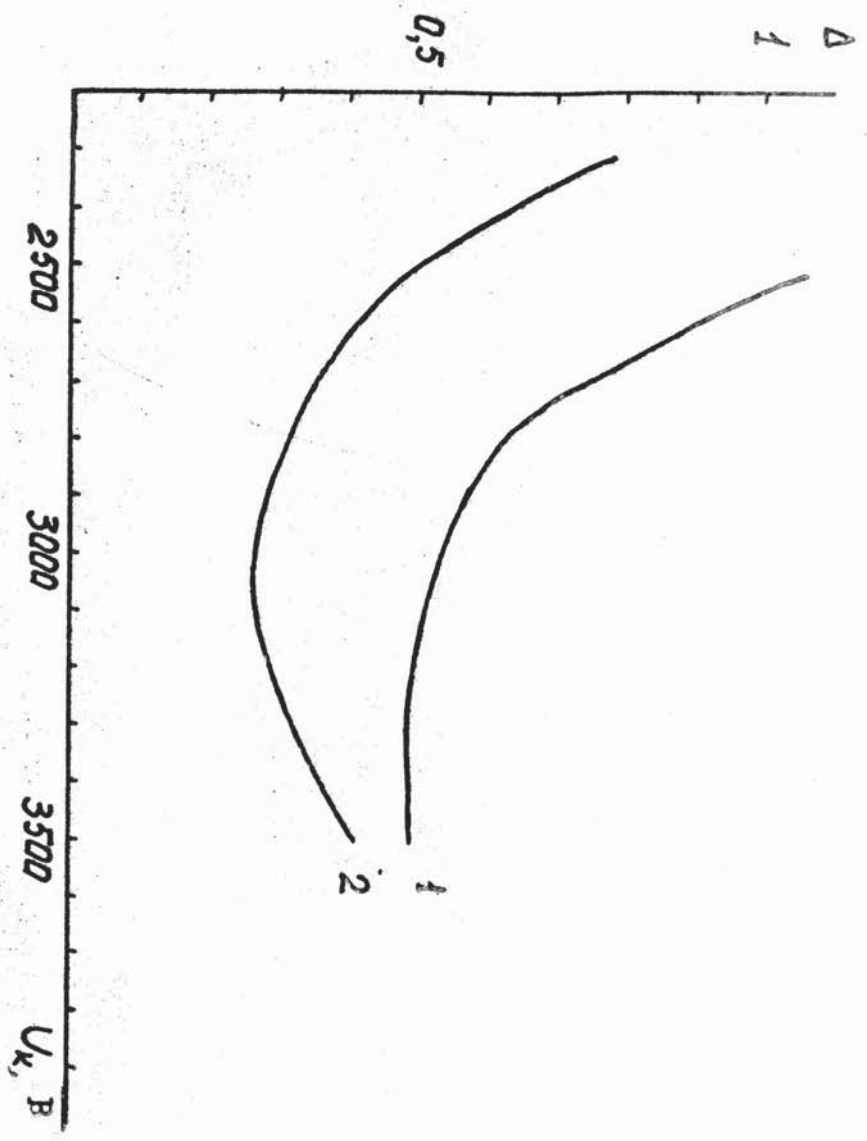


Рис. 9.

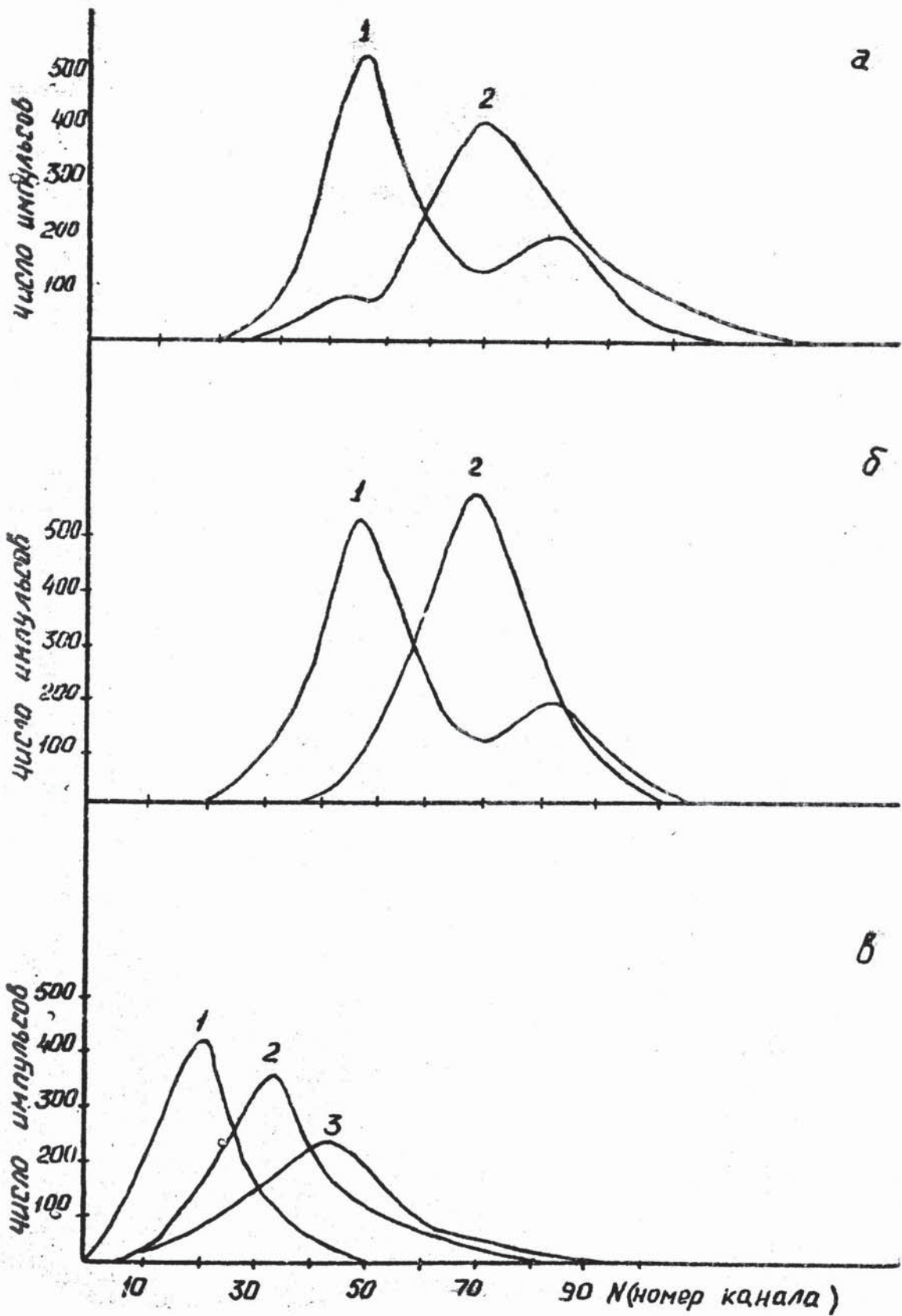


Рис. 10.

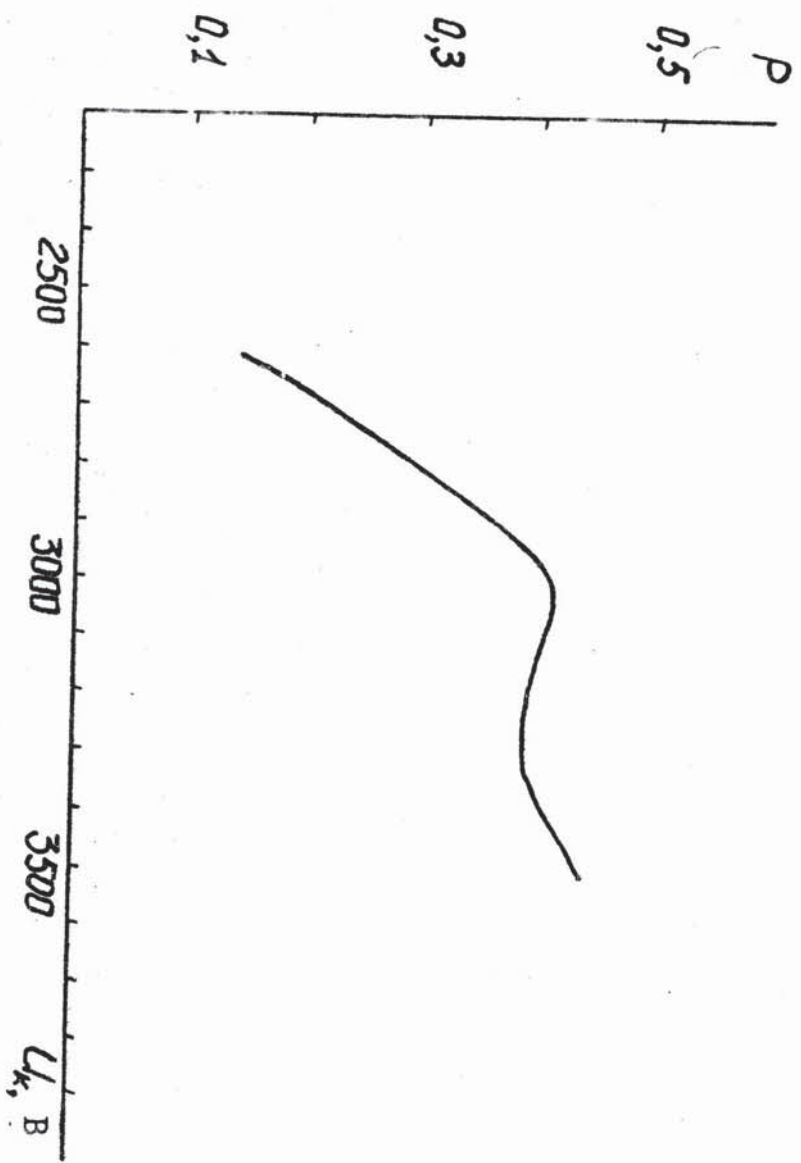


Рис. II.

©
055(02)2

Отпечатано в ИКИ АН СССР

T-21988

Подписано к печати 11.01.77

Заказ 1025

Тираж 100 экз. Объем I уч-изд.л.