

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



СЗ44, 1Ф

К-553

P13 - 10585

2807/2-77

А.П.Кобзев

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**1977**

P13 - 10585

А.П.Кобзев

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Кобзев А.П.

P13 - 10585

**Установка для исследования переходного излучения**

Описана установка, предназначенная для измерения энергетических, спектральных, пространственных, временных и поляризационных характеристик оптического излучения, возбуждаемого электронами с энергией 100 - 300 кэВ. Установка обеспечивает временное разрешение 2 - 4 нс, угловое разрешение 1,5°, спектральное разрешение 100 Å.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Kobzev A.P.

P13 - 10585

**Setup for Investigation of Transition Radiation**

Setup for measuring energy, spectra, space, time and polarization parameters of optical radiation excited by 100-300 keV electrons is described. It provides for time resolution of 2-4 ns, angular resolution 1.5°, spectral resolution 100 Å.

The investigation have been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

## ВВЕДЕНИЕ

Опыт исследования переходного излучения как в ЛНФ/1/, так и в других лабораториях /2-6/, показал, что только комплексное изучение различных характеристик переходного излучения и сопутствующих ему процессов /тормозного излучения, люминесценции, излучения Ва-виллова-Черенкова/ позволит надежно сопоставить экспериментальные зависимости с предсказаниями теории. С целью детального анализа процессов, вызываемых электронами на поверхности и в толще вещества, была создана установка, позволяющая измерять энергетические, спектральные, временные, пространственные и поляризационные характеристики оптического излучения.

Ниже приводится краткое описание основных узлов установки, схематически показанных на рис. 1.

## УСКОРИТЕЛЬ

Регистрирующая часть установки смонтирована на одном из каналов ускорителя электронов КГ-300. Ускоритель представляет собой секционированную ускорительную трубку, находящуюся при атмосферном давлении, к которой прикладывается напряжение от каскадного генератора, работающего на частоте 50 Гц по схеме ушестерения и дающего регулируемое выпрямленное напряжение до 300 кВ. Выпрямительные элементы в схеме каскадного генератора набраны из селеновых столбов.

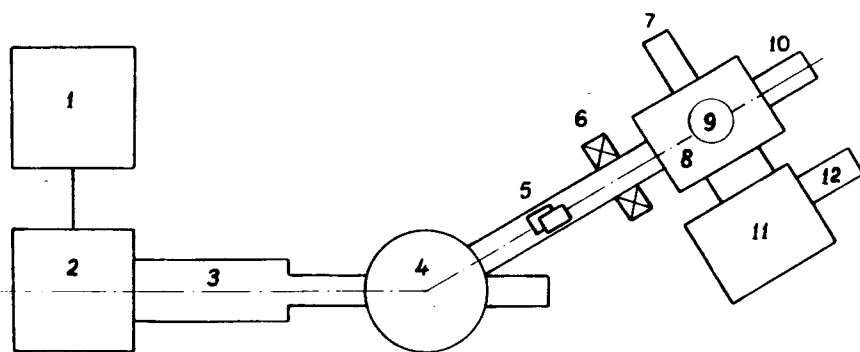


Рис. 1. Схема установки. 1 - каскадный генератор, 2 - источник электронов, 3 - ускорительная трубка, 4 - отклоняющий магнит, 5 - отклоняющие пластины, 6 - магнитная электронная линза, 7 - устройство перемещения мишени, 8 - камера, 9 - ФЭУ мониторингового канала, 10 - токоприемник, 11 - монохроматор, 12 - ФЭУ спектриметрического канала.

На высоковольтном конце ускорительной трубки находится источник электронов, представляющий собой трехэлектродную электронную пушку с фокусирующей линзой. Необходимый ток /до 100 мкА/ обеспечивает накаливаемый вольфрамовый катод.

Электроны, прошедшие ускоряющий промежуток, отклоняются с помощью электромагнитного анализатора на угол  $30^\circ$  и далее попадают в регистрирующую часть установки. Отклонение пучка позволяет избежать подсветки системы регистрации излучения накаливаемым катодом источника электронов.

Вакуумная система ускорителя откачивается до  $10^{-6}$  Тор с помощью ионно-сорбционного насоса с электростатическим полем.

### ФОРМИРОВАТЕЛЬ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОНОВ

На входе в камеру из непрерывного пучка электронов формируются импульсы наносекундной длительности.

Импульсный режим необходим для отделения катодолюминесценции от переходного излучения.

Вклад люминесценции в излучение, возбуждаемое электронами, всегда оставался неопределенным<sup>/1,6,7/</sup> и считался малым, поскольку наблюдаемое излучение было в значительной степени поляризованным. Однако в работе<sup>/7/</sup> авторы относят неполяризованный компонент целиком на счет люминесценции, руководствуясь самыми общими соображениями. В настоящей работе для отделения катодолюминесценции от переходного излучения используется то обстоятельство, что переходное излучение высвечивается практически мгновенно, а время высвечивания люминесценции почти во всех случаях составляет величину, доступную для измерения электронными средствами. Система отделения катодолюминесценции от переходного излучения базируется на временном анализе излучения, возбуждаемого наносекундными импульсами электронов.

Импульсы электронов формируются путем прерывания пучка переменным электрическим полем. Формирователь состоит из диафрагмы и пары отклоняющих пластин. Размеры конструктивных элементов, показанных на рис. 2, имеют следующую величину:  $d=15$  мм;  $2r_0=1$  мм;  $h=3$  мм;  $l_1=200$  мм;  $l_2=700$  мм. Отклоняющее напряжение частотой 5 МГц и амплитудой 5 кВ обеспечивает автогенератор, собранный по двухтактной схеме на лампах ГУ-50 /рис. 3/. Питание ламп через катоды дает

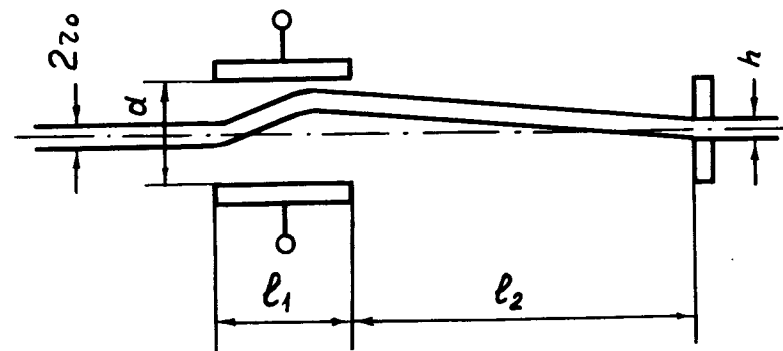


Рис. 2. Формирователь импульсов электронов.

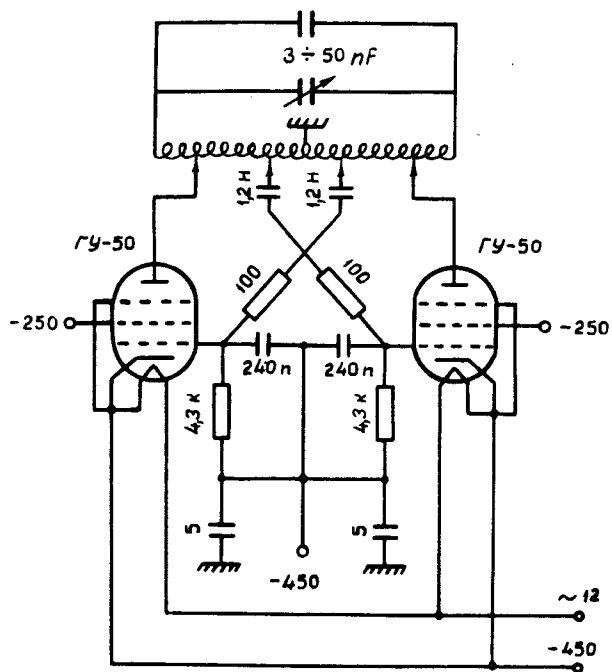


Рис. 3. Схема автогенератора.

возможность заземлить отклоняющие пластины по постоянному току и таким образом избежать отклонения пучка зарядами, наводимыми на пластины источником питания и рассеянными электронами. Нестабильность частоты генератора в течение часа не превышает 1 кГц.

В работе /8/ подробно описана система отделения катодoluminesценции от переходного излучения и экспериментально измерена длительность импульсов электронов, которую обеспечивает данный формирователь. Она составляет 2 - 4 нс в диапазоне энергий электронов 150 - 300 кэВ.

### КАМЕРА

Камера представляет собой металлический вакуумный цилиндр с фланцами, в центре которого помещена

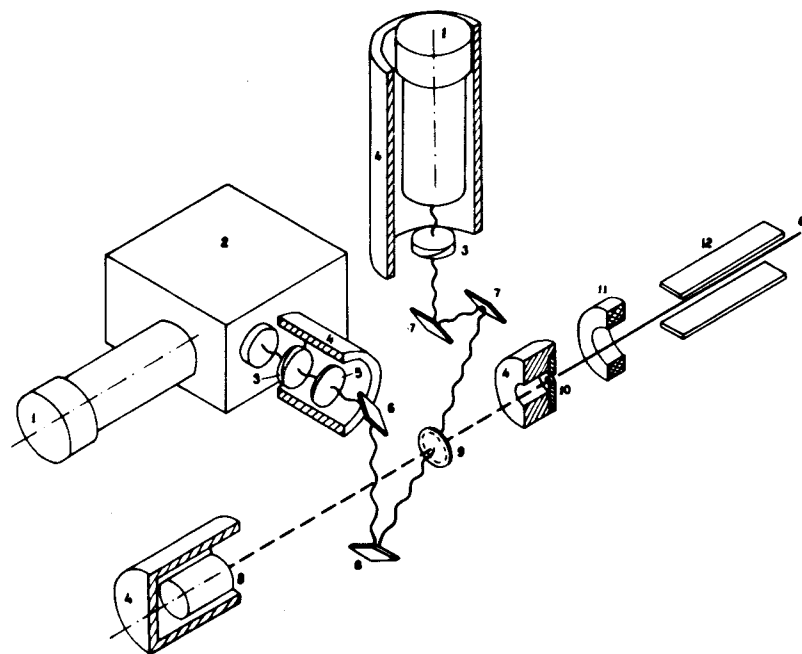


Рис. 4. Схема камеры. 1 - фотоумножитель, 2 - монохроматор, 3 - поляриод, 4 - свинцовая защита, 5 - линза, 6 - вращающееся зеркало, 7 - неподвижное зеркало, 8 - токоприемник, 9 - мишень, 10 - диафрагма, 11 - магнитная электронная линза, 12 - отклоняющие пластины.

мишень /рис. 4/. Механизм перемещения позволяет убирать и вновь выставлять мишень на пути пучка без нарушения вакуума. Камера сообщается с вакуумной системой ускорителя через канал, внутри которого находятся отклоняющие пластины и фокусирующая линза, позволяющая провести через диафрагму диаметром 1 мм ток порядка 10 мкА. Выведение пучка на диафрагму производится по показаниям микроамперметра, присоединенного к токоприемнику, находящемуся за мишенью. Измерение же заряда, перенесенного пучком за время экспозиции, осуществляется интегратором тока. Однако

точность измерения тока пучка невелика. Две главные причины вносят ошибку в измерение тока:

1. Рассеяние пучка на мишени
2. Вторичная эмиссия электронов с токоприемника.

Поэтому в камере предусмотрено мониторирование пучка непосредственно по излучению, вызываемому электронами на мишени. Мониторный канал состоит из пары зеркал, выводящих излучение от мишени через кварцевое окно, анализатора поляризации и фотоумножителя. В спектрометрическом канале фотоумножитель находится за выходной щелью монохроматора и регистрирует разложенное в спектр излучение мишени. На входную щель монохроматора излучение фокусируется линзой с фокусным расстоянием  $f = 100$  мм, помещенной на оси, проходящей через центр мишени перпендикулярно плоскости наблюдения. Вокруг этой оси вращается пара зеркал, расположенных таким образом, что излучение, испущенное под любым углом наблюдения, направляется вдоль оси вращения на входную щель монохроматора. Таким образом, имеется возможность измерять спектр излучения под заданным углом, либо угловое распределение узкого участка спектра, не перемещая монохроматора. Из других достоинств данной конструкции следует отметить:

- а/ возможность непрерывного изменения угла наблюдения
- б/ удобство защиты оптических элементов от рентгеновского излучения.

Разумеется, наклоненные к лучу зеркала в некоторой степени поляризуют свет. Однако поляризационные свойства как зеркал, так и монохроматора учитываются при проведении калибровочных измерений, описанных ниже.

### СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Оптическое излучение регистрируется с помощью фотоумножителей типа 56DUVP/03 как в мониторинном, так и в спектрометрическом каналах. Малая интенсивность наблюдаемых эффектов требует максимальной чувствительности регистрирующей системы. Специально

отобранные ФЭУ работают в режиме счета фотонов, а темновой ток после длительной выдержки в темноте характеризуется величиной  $100$  *отс/с* при напряжении  $1900$  В.

Электронная схема /рис. 5/ в обоих каналах идентична и состоит из типовых блоков, разработанных в ОИЯИ. Импульсы с анода ФЭУ после усиления и формирования поступают на "старт" время-амплитудного преобразования. Для запуска канала "Стоп" формируются импульсы из синусоидального напряжения, вырабатываемого генератором формирователя импульсов электронов.

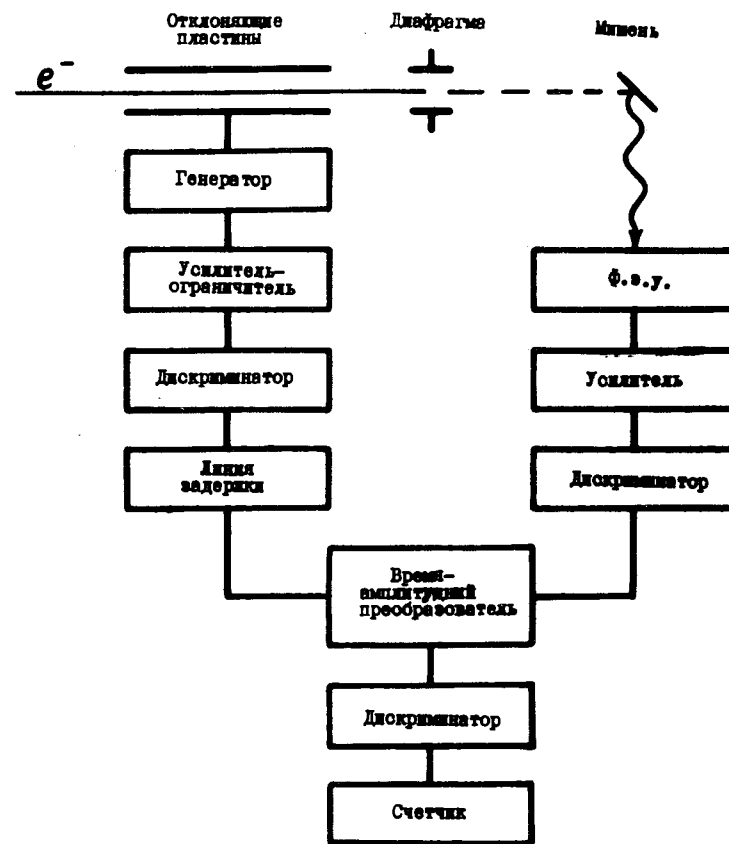


Рис. 5. Блок-схема канала регистрации излучения.

Загрузки канала "Стоп" не достигают 5 МГц, поскольку "стоповые" импульсы пропускаются блокирующей схемой только после появления импульса в канале "Старт". Полученный таким образом временной спектр /рис. 6/ показывает статистически усредненную зависимость задержки испускаемых мишенью фотонов относительно момента попадания на мишень импульса электронов. В результате удается отделить быстрые процессы от люминесценции. Участок временного спектра, соответствующий быстрым процессам, выделяется с помощью интегрального дискриминатора и счетчика.

### КАЛИБРОВОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Оптическая система в спектрометрическом канале содержит множество отражающих и преломляющих поверхностей, на которые свет падает наклонно. Этим

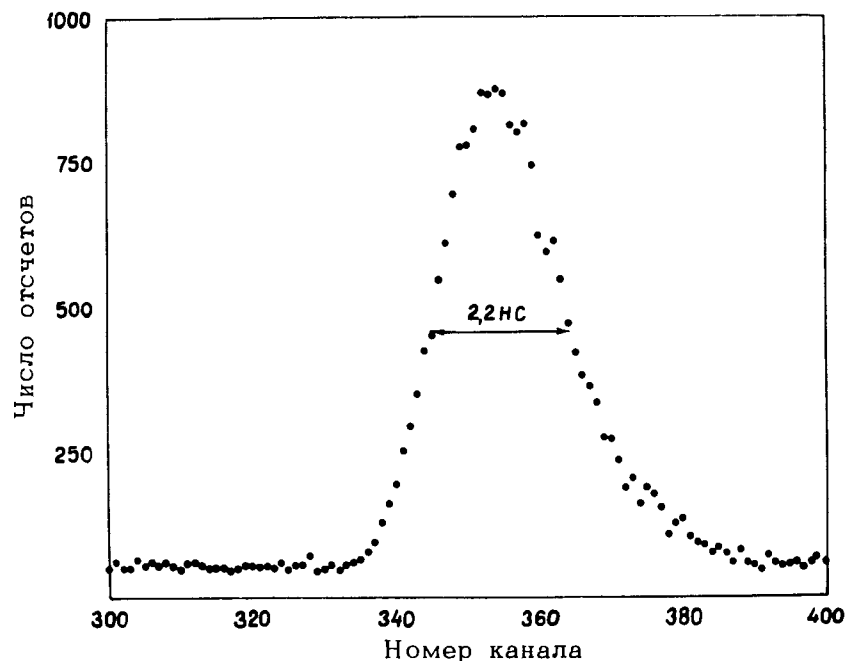


Рис. 6. Временной спектр излучения слюдяной мишени.

обусловлены поляризационные свойства оптической системы, зависящие от длины волны  $\lambda$  и угла наблюдения  $\theta$ . Необходимые поправки в интенсивность излучения в плоскости наблюдения и перпендикулярной к ней плоскости\* вносятся на основании калибровочных измерений, выполненных следующим образом. В центре камеры вместо мишени была установлена вольфрамовая нить диаметром 0,1 мм. Считалось, что накаленное в вакууме тело цилиндрической формы излучает по азимуту изотропно. Измерение угловых распределений излучения нити для двух длин волн  $\lambda = 4000 \text{ \AA}$  и  $\lambda = 5000 \text{ \AA}$  и двух направлений поляризации дает возможность внести необходимые поправки для этих длин волн. Поправочные зависимости показаны на рис. 7. Несовершенство юстировки оптической системы в спектрометрическом канале приводит в конечном итоге к появлению зависимости длины волны  $\lambda$  от угла наблюдения  $\theta$ . Для введения поправок были выполнены калибровочные измерения с ртутной лампой. Под различными углами наблюдения измерялся спектр от лампы, освещающей пластинку, покрытую окисью магния и помещенную на место мишени. Один такой спектр без поправки на спектральную чувствительность регистрирующей системы показан на рис. 8. Для спектральных линий ртути была измерена зависимость длины волны от угла наблюдения. На рис. 9 даны такие зависимости для  $\lambda = 4000 \text{ \AA}$  и  $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ , полученные интерполяцией между линиями ртути.

Спектры от ртутной лампы регистрировались путем сканирования с помощью устройства, блок-схема которого приведена на рис. 10. Принцип действия сканирующего устройства состоит в следующем. Барабан монохроматора приводится во вращение с помощью реверсивного электродвигателя РД-09. С осью барабана жестко скреплен ротор гелипота, так что при вращении барабана угол поворота линейно трансформируется в напряжение. С помощью двух компараторов напряжение сравнивается с

\*Переходное излучение и излучение Вавилова-Черенкова поляризованы таким образом, что электрический вектор лежит в плоскости наблюдения.

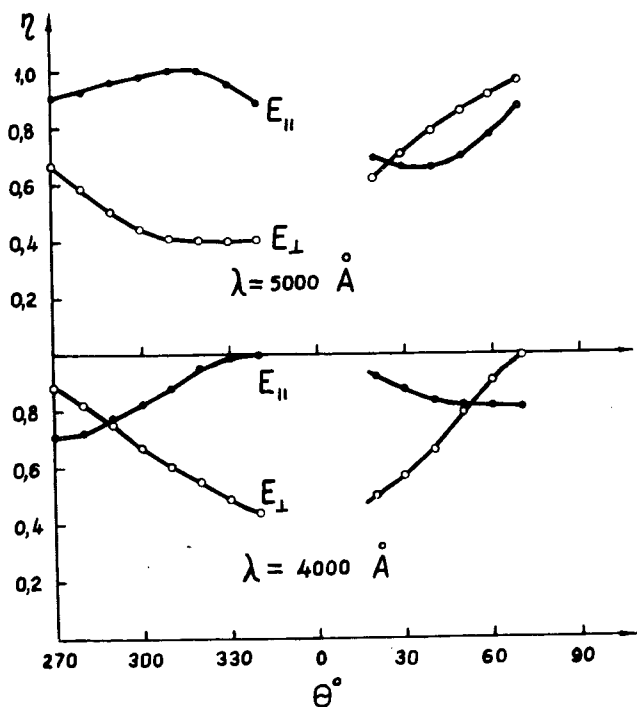


Рис. 7. Угловая зависимость чувствительности регистрирующего устройства.  $E_{||}$  - для излучения, поляризованного в плоскости наблюдения;  $E_{\perp}$  - для излучения, поляризованного в перпендикулярной плоскости.

порогами, задающими выбранный участок спектра. Когда напряжение достигает одного из порогов, соответствующий компаратор перебрасывает триггер и происходит изменение направления вращения барабана монохроматора. Напряжение с гелипота подается также на вход линейного пропускателя, управляемого импульсами с ФЭУ, сформированными с помощью интегрального дискриминатора. В момент прихода управляющего импульса линейный пропускатель вырабатывает импульс с амплитудой, равной напряжению на входе. Таким образом, на многоканальный амплитудный анализатор поступают импульсы с амплитудой, зависящей от длины волны излучения, освещающего фотокатод ФЭУ, а скорость

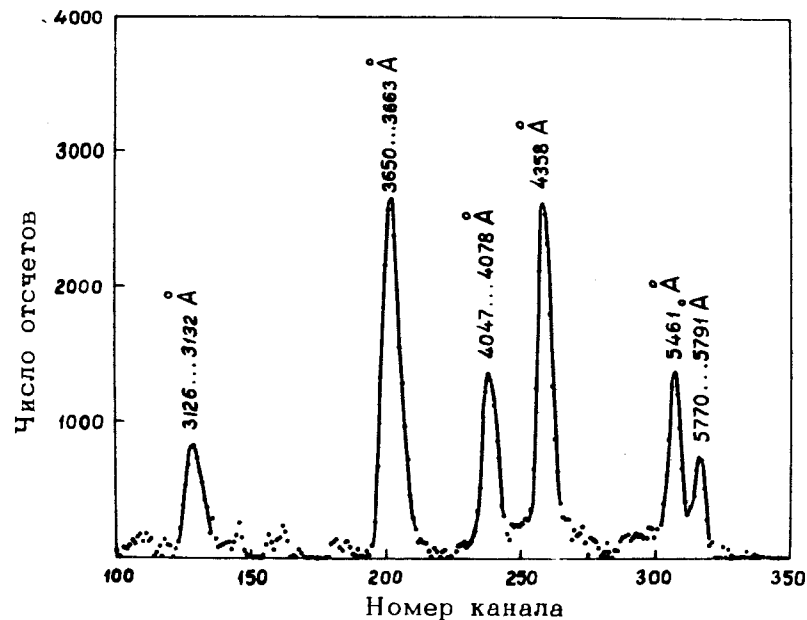


Рис. 8. Спектр ртутной лампы, зарегистрированный с помощью сканирующего устройства.

счета пропорциональна его интенсивности, т.е. в некотором нелинейном масштабе регистрируется сканируемый участок спектра.

Перечисленных калибровок достаточно для измерения угловых распределений узких участков спектра. Спектральная чувствительность установки пока не измерена, хотя при наличии источника излучения с известным спектральным распределением проведение таких измерений не вызовет затруднений.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная установка предназначена для исследования переходного излучения и излучения Вавилова-Черенкова, возбуждаемого электронами на тонких мишенях. На рис. 11 показано угловое распределение излу-



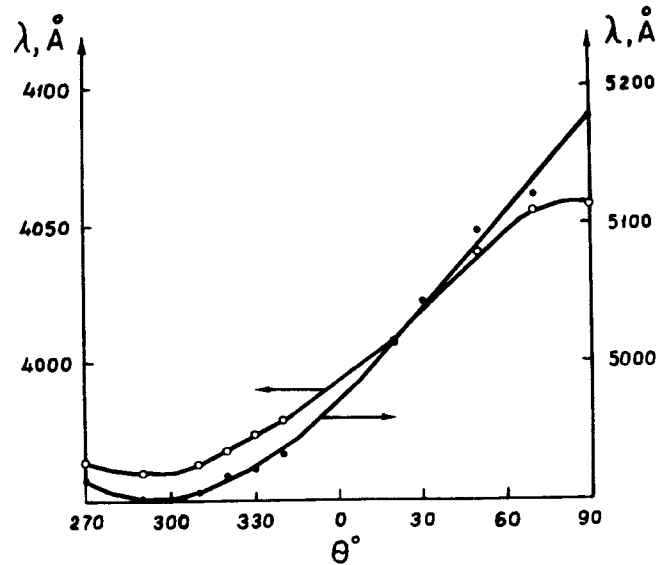


Рис. 9. Смещение линий спектра  $\lambda = 4000 \text{ \AA}$  и  $\lambda = 5000 \text{ \AA}$  в зависимости от угла наблюдения.

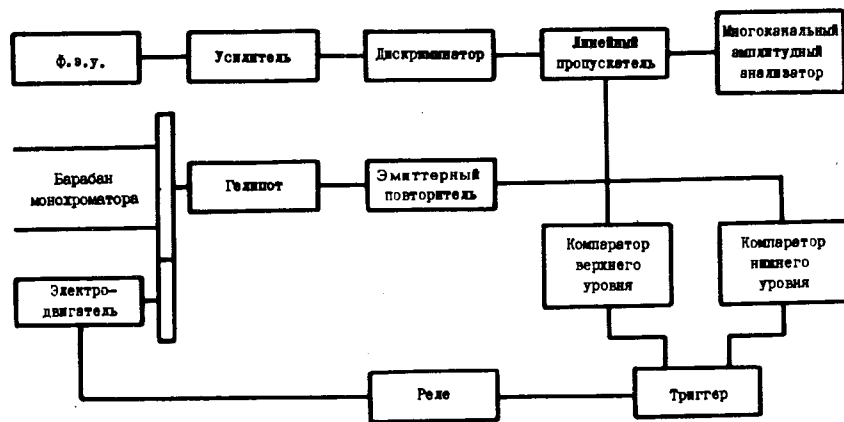


Рис. 10. Блок-схема сканирующего устройства.

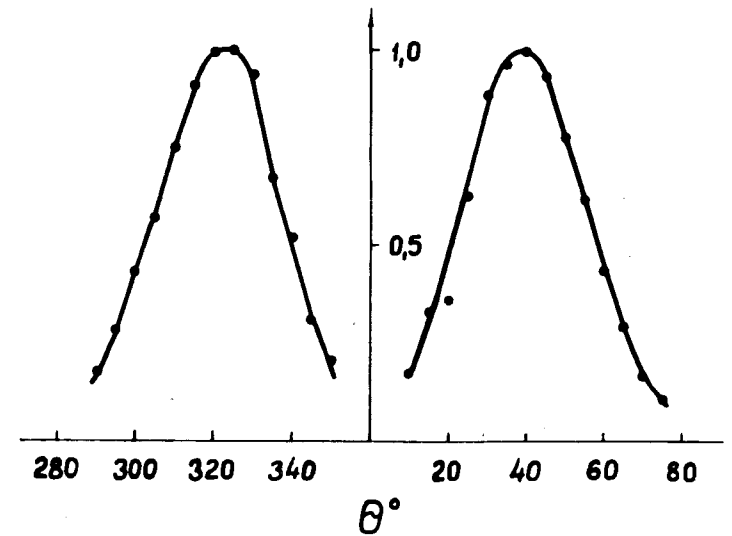


Рис. 11. Угловое распределение излучения слюдяной мишени толщиной  $1,04 \text{ мкм}$  при  $E = 210 \text{ кэВ}$  и  $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ .

чения с длиной волны  $\lambda = 4000 \text{ \AA}$ , полученное при бомбардировке электронами с энергией  $E = 250 \text{ кэВ}$  слюдяной мишени толщиной  $1,04 \text{ мкм}$ .

Приведем ряд параметров, характеризующих возможности данной установки.

|                         |                                    |
|-------------------------|------------------------------------|
| Энергия электронов      | - 100 - 300 кэВ                    |
| Ток пучка постоянный,   | - до 20 мкА                        |
| Временное разрешение    | - 2 - 4 нс                         |
| Спектральное разрешение | - 100 $\text{\AA}$                 |
| Угловое разрешение      | - $1,5^\circ$                      |
| Телесный угол           | - $2,28 \cdot 10^{-3} \text{ ср.}$ |

Автор благодарен И.М.Франку за большую помощь при разработке и реализации проекта установки, И.В.Сизову за постоянное внимание и ценные советы, А.А.Богдзелью, Е.Рутковски, И.Ф.Волкову, Н.И.Володенкову за помощь при разработке и изготовлении отдельных узлов установки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кобзев А.П., Михалык С., Рутковски Е., Франк И.М. ЯФ, 1972, 15/2/, 326. Препринт ОИЯИ, Р4-5957, Дубна, 1971.
2. Voersch H., Radeloff C., Sauerbrey G., Zs.Phys., 1961, 165, 464.
3. Voersch H., Dobberstein P., Fritzsche D., Sauerbrey G., Zs.Phys., 1965, 187, 97.
4. Арутюнян Ф.Р., Мхитрян А.Х., Овсеян Р.О., Оганесян Р.А., Ростомян Б.О. ЖЭТФ, 1972, 62/4/, 1263.
5. Стат L.C., Arakawa E.T. Phys.Rev., 1967, 153, 455.
6. Tanaka S., Katayama J. J. of Phys.Soc. of Jap., 1964, 19, 40.
7. Inman F.W., Murray J.J. Phys.Rev., 1966, 142(1), 272.
8. Богдзель А.А., Кобзев А.П., Рутковски Е. ПТЭ, 1975, №5, 61. Препринт ОИЯИ, Р13-8226, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 апреля 1977 года.