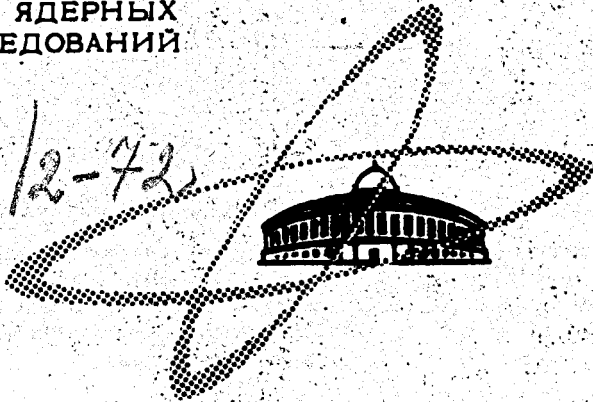


B-926

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

УЗ.41/2-72



P10 - 6751

Л.А.Вылова, В.А.Залите, Г.Исхаков,  
Ф.В.Левчановский, М.Потемпа, В.И.Приходько,  
А.В.Ревенко, З.Стахура, В.М.Цупко-Ситников

АВТОМАТИЧЕСКИЙ МИКРОФОТОМЕТР  
НА ЛИНИИ С ЭВМ.  
ОБРАБОТКА БЕТА-СПЕКТРОГРАММ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1972

P10 - 6751

Л.А.Вылова, В.А.Залите, Г.Исхаков,  
Ф.В.Левчановский, М. Потемпа, В.И.Приходько,  
А.В.Ревенко, З.Стахура, В.М.Цупко-Ситников

АВТОМАТИЧЕСКИЙ МИКРОФОТОМЕТР  
НА ЛИНИИ С ЭВМ.  
ОБРАБОТКА БЕТА-СПЕКТРОГРАММ

*Направлено в ПТЭ*

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

## 1. В в е д е н и е

В связи с широким применением фотоэмульсионных методов регистрации частиц и электромагнитного излучения в ядерной физике остро ставится вопрос об автоматизации обработки получаемых в больших количествах различных спектрограмм: альфа- и бета-спектрограмм при исследовании спектров излучения; сопровождающего радиоактивный распад, фотоспектрограмм черенковского излучения и т.д.

В ядерной спектроскопии успешно используются магнитные бета-спектрографы для исследования спектров конверсионных электронов, возникающих в процессах перехода ядер с возбужденных на основные уровни. Достоинством этих приборов является их большая многоканальность, то есть возможность снять за одну экспозицию спектр электронов в широком энергетическом диапазоне с высоким разрешением, достигающим сотых долей процента, что в понятиях цифровых анализаторов составляет  $\sim 16000$  каналов.

Однако способ регистрации бета-излучения на пластинки с фотоэмульсиями создает существенные трудности при извлечении информации из спектров почернения: необходимо фотометрирование пластинок и перевод оптической плотности в электронную.

При ручной обработке, применявшейся до сих пор с использованием промышленных микрофотометров типа МФ-2 или МФ-4, время,

необходимое для получения спектра в величинах электронной интенсивности составляет от 30 до 100 часов на одну пластинку, длиной 400 мм. Чтобы применить для этих спектров методы машинной обработки, развитые для анализа гамма- и бета-спектров от полупроводниковых детекторов, необходимо дополнительное время на подготовку информации к вводу в ЭВМ. Не решают проблемы представления информации в цифровой форме и автоматические регистрирующие микроденситометры типа ИФ0-45I /1/ и МД-2 /2/.

При значительном объеме информации, получаемом в процессе обработки одной пластины (40+50 тысяч каналов), естественно использовать ЭВМ. Однако процесс автоматического фотометрирования должен быть достаточно быстрым с точки зрения использования времени ЭВМ.

Ниже описывается автоматическая аппаратура и методы обработки, применяемые, главным образом, для анализа бета-спектрограмм с магнитных спектрографов. Однако сама аппаратура и методика вполне могут быть использованы для обработки спектрограмм или анализа почернения в эмульсиях или фотопластинках любого другого происхождения.

## 2. Блок-схема аппаратуры для автоматического фотометрирования /3/

Блок-схема аппаратуры, используемой для автоматического фотометрирования, приведена на рис.1. На выходы собственно автоматического микрофотометра (АМФ) в процессе фотометрирования поступают три сигнала: напряжение с анодной нагрузки ФЭУ регистрирующего световой поток, прошедший через фотометрируемый объект; шаговые импульсы - через блок фотосинхронизации (ФС) и

блок формирования шаговых импульсов (БФШИ), определяющие шаг микрофотометра в направлении оси фотометрирования (25 или 50 микрон), и эти же сигналы, задержанные на 450 мсек (БЗ) и являющиеся синхроимпульсами, обеспечивающими регистрацию информации в ЭВМ.

Первые два сигнала поступают на входы модулятора (М). В момент прихода шагового синхросигнала на выходе модулятора появляется импульс напряжения, равный по амплитуде мгновенному значению напряжения на анодной нагрузке ФЭУ. Далее эти импульсы подаются на амплитудно-цифровой преобразователь (АЦП) <sup>/4/</sup>, и цифровой код поступает на блок связи с ЭВМ (БС) <sup>/5/</sup>. Приход задержанного синхроимпульса на БС разрешает запись кода в память ЭВМ.

Движение каретки с обрабатываемым объектом — продольное (реверсивный двигатель Дв; редуктор Ред) и поперечное (шаговый двигатель ШДв) задает блок управления кинематикой микрофотометра (БУКМ). Два концевых переключателя КП<sub>1</sub> и КП<sub>2</sub> ограничивают прямое и возвратное перемещения каретки. На пульте ЭВМ установлен выносной блок управления АМФ (ВБУМ), позволяющий дистанционно управлять движением каретки микрофотометра и имеющий индикацию ее положения. Осциллограф со световым карандашом (ОСК) <sup>/6/</sup>, связанный с ЭВМ, позволяет на большом экране видеть спектр сразу же после его записи в ЭВМ, и используется при обработке.

Регистрирующий фотоумножитель и осветительная лампочка микрофотометра питаются, соответственно, от высоковольтного стабилизированного выпрямителя ВСВ (ВС-9) и стабилизированного выпрямителя СВ на 12 вольт <sup>/12/</sup>.

Внешние устройства ЭВМ: накопитель на магнитной ленте (НМЛ) и графикопостроитель ГП <sup>/7/</sup> обеспечивают хранение информации, по-

лучаемой при фотометрировании, и графический вывод полученных спектров.

### 3. Оптико-механическая система автоматического микрофотометра

Прибор создан на базе промышленного микрофотометра МФ-2. Оптическая система оставлена без изменений. Вместо регистрирующего фотоэлемента, используемого в МФ-2, применен фотомножитель ФЭУ-18А. Это позволило повысить чувствительность прибора и сняло проблему усиления сигналов. Конструкция каретки и рабочего столика изменена и позволяет фотометрировать в непрерывном автоматическом режиме объекты длиной 400 мм при ширине до 60 мм. На станине прибора установлен точный винт диаметром 30 мм с шагом 1 мм и длиной резьбовой части 450 мм. Через разрезную гайку с поджимом винт связан с подвижной кареткой, способной перемещаться в направляющих на 420 мм. Вращение винту передается ременной передачей от реверсивного двигателя через понижающий редуктор. Рабочая скорость вращения винта - четыре оборота в секунду. Ко второму концу винта жестко подсоединен удлинитель, на конце которого закреплен диск с 40 радиальными прорезями. На выносной консоли с одной стороны диска установлена лампочка и цилиндрическая линза, фокусирующая свет на прорези диска. С другой стороны диска в держателе закреплен фотодиод (ФД-2). Этот узел (ФС) обеспечивает шаговые синхроимпульсы.

Для поперечного перемещения рабочего столика каретки использован механизм, находящийся на столике МФ-2, но с автоматическим приводом от шагового двигателя телефонного искателя КЗ.

Во избежание прогиба узких пластин система их крепления представляет собой две жесткие латунные планки с пазами типа

"ласточкин хвост". Расстояние между планками может достигать 60 мм, обе планки имеют пружинный поджим, обеспечивающий надежную фиксацию пластин, кроме того, могут жестко фиксироваться на рабочем столике. На одной из планок укреплены по концам откидные держатели, в которые вставляются тонкие иголки. В рабочем положении держатели опускаются, иголки ложатся на края фотометрируемых пластин и служат в качестве реперов, позволяющих программным путем совмещать спектры после фотометрирования по разным параллельным дорожкам.

#### 4. Регистрирующая электроника АМФ

Блок-схема регистрирующей системы АМФ приведена на рис.2. Принципиальная схема основных узлов, относящихся собственно к микрофотометру (до выхода на АЦП и БС), дана на рис.3. При движении каретки в продольном направлении шаговые импульсы от фотодиода ФД через усилитель-формирователь Ф, одновибратор  $OB_1$ , эмиттерный повторитель ЭП поступают через ключ К на одновибратор  $OB_2$ : - прямо - при работе с шагом 25 микрон, или через триггер Т, т.е. через один импульс, - при работе с шагом 50 микрон. Далее сигнал поступает на управляющий вход модулятора М и одновибратор задержки  $OB_3$ . В момент прихода шагового импульса модулятор выдает импульс напряжения длительности 2 мксек (длительность импульса  $OB_2$ ), равный по амплитуде мгновенному значению напряжения на анодной нагрузке ФЭУ  $R_n$ , и поступающий на сигнальный вход модулятора через эмиттерный повторитель Уайта. Последовательно с  $R_n$  включен микроамперметр (на схемах не указан), позволяющий контролировать и устанавливать анодный ток ФЭУ. От модулятора рабочий импульс через усилитель, имеющий установку порога и ступенчатую регулировку усиления, через эмиттерный повторитель и кабель поступает на вход АЦП на 4096 каналов<sup>/4/</sup>.

Задержанный синхроимпульс регистрации формируется одновибратором  $OB_4$  и поступает на управляющий вход БС, разрешая запись в ЭВМ кода, поступившего от АЦП. Одновременно происходит прибавление "1" к адресному счетчику ЭВМ, что обеспечивает запись кода, соответствующего следующему шагу в следующую ячейку памяти ЭВМ.

При скорости движения каретки 4 мм/сек в МОЗУ регистрируется 160 или 80 точек спектра в секунду при шаге 25 или 50 микрон соответственно. Память ЭВМ "Минск-2" составляет 8192 36-разрядных слов, что позволяет при шаге 50 микрон записать спектр длиной 8192 канала. При работе с шагом 25 микрон устройство связи обеспечивает запись спектра в два этажа: нечетные каналы с 36 по 18 разряды и четные с 17 по 1 машинного слова. Длина спектра в этом случае достигает 16384 каналов.

Весь процесс однократного фотометрирования пластины длиной 400 мм занимает около 80 секунд независимо от принятого шага. После записи спектра ЭВМ может быть переключена в режим наблюдения содержания МОЗУ на экране ОСК, позволяющий просмотреть спектр по этажам и участкам, содержащим от 32 до 4096 каналов /6/.

Исследования дрейфа фотоумножителя показали, что после предварительной полуторачасовой тренировки при номинальном токе 100 мка дрейф практически прекращается.

## 5. Схема управления АМФ

Блок-схема управления АМФ и временная диаграмма ее работы представлены на рис.4. При рабочем ходе каретки АМФ триггер  $T_2$  находится в состоянии "0" и через ключ  $K_1$  и контакт реле остановки РО замыкает цепь питания ротора двигателя, чем обеспечивает его работу. В конце рабочего хода каретка замыкает нормально



разомкнутый контакт КП<sub>1</sub> (момент  $t_1$ ) и перебрасывает по установочному входу в состояние "1" триггер Т<sub>1</sub>, который запускает одновибратор ОВ<sub>5</sub>. Передний фронт ОВ<sub>5</sub> перебрасывает по счетному входу Т<sub>2</sub> в состояние "1", что приводит к размыканию контакта РО и остановке двигателя. Задний фронт выходного сигнала ОВ<sub>5</sub> запускает одновибратор ОВ<sub>6</sub> (момент  $t_2$ ). Это приводит к перебору по счетному входу триггера Т<sub>3</sub>, управляющего реверсом двигателя. Через ключ К<sub>3</sub>, вспомогательное реле РУРР, управляющее работой реле реверса РР, происходит переполюсовка обмотки возбуждения ОВ двигателя и подготовка его к обратному ходу. Параллельно ОВ<sub>6</sub> в момент  $t_2$  через переключатель шага поперечного перемещения ПШПП (в положении "1"), ключ К<sub>2</sub> и реле поперечного перемещения РПП запитывает на время своей выдержки ( $t_2 - t_3$ ) шаговый двигатель поперечного перемещения ШДв, который делает один шаг. После этого схема управления находится в ждущем режиме.

Если в момент  $t_4$  кнопкой пуска двигателя КПД перевести Т<sub>2</sub> в "0" по установочному входу, то РО включит реверсированный двигатель и начнется обратный ход каретки. (В момент  $t_5$  каретка сойдет с кнопки КП<sub>1</sub>). В конце обратного хода каретка нажмет кнопку КП<sub>2</sub> (момент  $t_1$ ), Т<sub>1</sub> перебросятся в состояние "0" и запустит ОВ<sub>5</sub>. Все повторится, за исключением того, что Т<sub>3</sub> вернется в "0", реверсируя двигатель для прямого рабочего хода.

При положении "1" ключа ПШПП на один рабочий ход каретка сделает два шага в поперечном направлении, то есть переместится на 1 мм. При положении "2" этого ключа Т<sub>4</sub> обеспечит пересчет импульсов ОВ<sub>6</sub> и через ОВ<sub>7</sub> запустит ШДв один раз на один рабочий ход (поперечное перемещение 0,5 мм).

Одновибраторы ОВ<sub>5</sub>, ОВ<sub>6</sub> и ОВ<sub>7</sub> имеют длительность импульсов ~ 1 сек, что обеспечивает нормальное срабатывание соответствующим

щих исполнительных элементов. Выносной блок управления АМФ (ВБУМ) имеет две лампочки индикации положения каретки, запитанные через нормально замкнутые контакты  $КП_1$  и  $КП_2$  и кнопку дистанционного пуска двигателя КДПД, работающую через реле РПД.

## 6. Программа фотометрирования

Программа фотометрирования должна обеспечить возможность извлечения максимума информации из спектрограммы и автоматизацию всех необходимых операций.

При наибольшей высоте щели микрофотометра 1 мм фотометрируется узкая дорожка спектрограммы, высота рабочей области которой на фотопластинках, как правило, не бывает меньше 5 мм. Значительный шум фотоэмульсии приводит к необходимости максимально использовать спектрограмму по высоте для выделения слабых линий. Поэтому программа предусматривает возможность фотометрирования по нескольким дорожкам (5 раз при шаге 0,05 мм или 3 раза при шаге 0,025 мм) с последующим усреднением результатов. Правильность сложения и усреднения спектров, получаемых при фотометрировании по разным дорожкам, обеспечивается программным путем. Программа находит начало (номер канала) первого и второго реперов и проверяет длину спектров, подсчитывая расстояние между этими реперами. Спектры на НМЛ записываются с первого канала начального репера, что позволяет точно совместить их при сложении.

Переход от оптической к электронной плотности осуществляется согласно выражению Зильберштейна, связывающего плотность заряженных частиц, попавших на эмульсию с оптическими характеристиками спектрограммы /8/:

$$Q = \frac{\left(\frac{J_0}{J}\right)^{1/4} - 1}{B}, \quad (I)$$

где  $Q$  - искомая плотность, в данном случае, электронов;

$J_0$  - величина фототока регистрирующего элемента (в нашем случае ФЭУ) в области минимальной плотности спектрограммы - то есть уровень фона пластинки;

$J$  - величина фототока регистрирующего элемента в измеряемой точке;

$A$  и  $B$  - константы, связанные со свойствами фотоэмульсии.

Поскольку прибор регистрирует в каждой точке величину  $J'$ , пропорциональную  $J$ , но на постоянном уровне  $J'_{min}$ , что связано с необходимостью поднять весь диапазон измеряемых значений  $J$  заведомо выше порога электроники и тем самым избежать погрешностей, связанных с его дрейфом, программа обработки предусматривает автоматический поиск  $J'_{min}$ . В качестве  $J'_{min}$  выбирается значение  $J'$  в точках первого репера, полностью перекрывающих световой поток (уровень насыщения). Эта величина вычитается из всех отсчетов и значения  $J = J' - J'_{min}$  используются для пересчета по формуле (I). Величина  $J_0$  находится как максимальное значение  $J$ .

Константа  $A$  может существенно отличаться для разных партий пластинок, поэтому для каждой партии она определяется отдельно. Поле одной из пластинок экспонируется электронами препарата  $^{204}\text{Tl}$  с различным известным временем облучения, позволяющим перекрыть весь диапазон почернения от минимального до насыщения. Затем пластинка фотометрируется, и по специальной программе методом наименьших квадратов находится значение  $A$  для данной партии.

Истинное значение константы  $B$ , являющейся коэффициентом пропорциональности, необходимо лишь при абсолютных измерениях, связывающих оптическую плотность с числом электронов на единицу

площади фотоэмульсии. В проводимых относительных измерениях интенсивностей спектральных линий константа  $B$  выбирается из соображений удобства представления величин  $A$  :

$$A_{min.} \geq 1 \text{ для } J = J_0 - 1, \quad (2)$$

что позволяет выводить информацию из ЭВМ на ОСК и обращаться с полученными спектрами как с обычными анализаторными, для которых рассчитаны все программы обработки.

Блок-схема фотометрирования и обработки бета-спектрограмм приведена на рис.5. Программа вводится перед началом фотометрирования и занимает 640 ячеек в первом кубе МОЗУ ЭВМ. Для фотометрирования на пульте ЭВМ набирается код операции "запись в МОЗУ в режиме  $\pm 1$  к адресу" и начальный адрес записи спектра, после чего кнопкой пуска с ВБУМ прибор запускается. При общем объеме информации при обработке одной пластины в 40+50 тысяч каналов возможны выбросы в значениях величины  $J'$ , записываемой в МОЗУ. Достаточно одного такого выброса, чтобы полностью исказить результаты измерений из-за неправильно найденного значения величины  $J_0$ . Поэтому программа ищет значения  $J'$ , превышающие их возможный диапазон, определяемый АЦП на 4096 каналов, и заменяет средним значением по двум соседним точкам. Далее следует сложение и усреднение спектров, снятых по разным дорожкам.

Величина  $B$  может быть взята как константа, введенная предварительно, или найдена из условия (2).

Соединение АМФ с ЭВМ позволило полностью перестроить обработку спектрограмм. Спектры, записанные на НМЛ после первичной обработки (фотометрирование и пересчет), готовы для предварительной обработки на этой же ЭВМ с использованием ОСК. При этом могут быть получены площади пиков, положение центра тяжести и от-

мечены любые точки спектра, а также размечены участки со сложными неразделенными пиками для последующей обработки по программе "Каток" /9/ на "Минск-2". Кроме того, вся информация может быть передана по каналу прямой связи на ЭВМ "БЭСМ-6" /10/ для обработки по более сложным программам, включающим автоматический поиск пиков /10/ и обработку спектров с асимметричными линиями /11/.

На рис.6б приведен участок спектрограммы тербиевой фракции с экспозицией 4 часа, обработанный на автоматической установке. Для сравнения тот же участок, полученный при ручном фотометрировании, показан на рис.6а. На рис.6в приведен результат автоматического фотометрирования такого же участка пластинки (тот же источник), но при экспозиции 40 часов. Возможность воспроизведения начальных условий позволяет с хорошей точностью сопоставлять по интенсивности результаты фотометрирования разных пластинок.

Эксплуатация прибора с конца 1970 года показала его высокую эффективность и надежность. За это время обработано более 100 пластинок со спектрограммами.

Авторы благодарны К.Я.Громову, И.Звольски, В.В.Кузнецову, П.Т.Прокофьеву за полезные обсуждения, внимание и поддержку, В.А.Владимирову, Э.Зайдлер, В.И.Фоминых и М.И.Фоминых за помощь при отладке системы.

## Литература

1. А.М.Григорович, Л.М.Клейнерман, М.П.Сидоров, Н.П.Домолазова. Оптико-механическая промышленность № 9, 20, 1969.
2. Ю.Н.Гороховский, А.Г.Григорьев, А.М.Иванов, В.П.Сорокин, А.А.Степочкин. Оптико-механическая промышленность, №11,33,1970.
3. Л.А.Вылова, Г.Исхаков, Ф.В.Левчановский, М.Потемпа, В.И.Приходько, А.В.Ревенко, Э.Стахура, В.М.Цупко-Ситников. Тезисы докладов Совещания по ядерной спектроскопии и теории атомного ядра, Дубна,1971, ОИЯИ Д6-5783, 1971.
4. В.И.Приходько, В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ № 2492, Дубна, 1965.
5. В.А.Владимиров, Ф.Дуда, Э.Зайдлер, В.И.Приходько, В.И.Талов, В.И.Фоминых, М.И.Фоминых, В.М.Цупко-Ситников. ОИЯИ № 10-4630, Дубна, 1969.
6. Ф.Дуда, Э.Зайдлер, И.Томик, В.Р.Трубников, Ю.В.Тутышкин, М.И.Фоминых, В.М.Цупко-Ситников. ОИЯИ № 10-4977, Дубна, 1970.
7. Э.Зайдлер, И.Звольски, Э.В.Лысенко, А.В.Ревенко, Н.Станчева, С.Станчев, В.И.Фоминых, М.И.Фоминых, В.М.Цупко-Ситников. ОИЯИ № 13-5044, Дубна, 1970.
8. L. Silberstein. Phil. Mag., 44, 257,956,1922; 145,1062,1923
9. В.Гаджоков. ОИЯИ № P10-5035, Дубна, 1969, ИТЭ, №5, 82, 1970.
10. С.Аврамов, Л.Александров, И.А.Емелин, Г.И.Забиякин, Н.С.Зайкин, Э.Зайдлер, И.Звольски, Э.В.Лысенко, В.Н.Поляков, В.В.Федорин, В.И.Фоминых, М.И.Фоминых, В.М.Цупко-Ситников, В.П.Шириков. ОИЯИ № 10-6467, Дубна, 1972.
11. Э.Рупп. ОИЯИ № 10-6614, Дубна, 1971.
12. В.И.Чирков, А.Ф.Неермолов, Г.В.Кононова, Э.А.Гальцова. Приборы и техника эксперимента, № 6, 220, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел  
17 октября 1972 года.

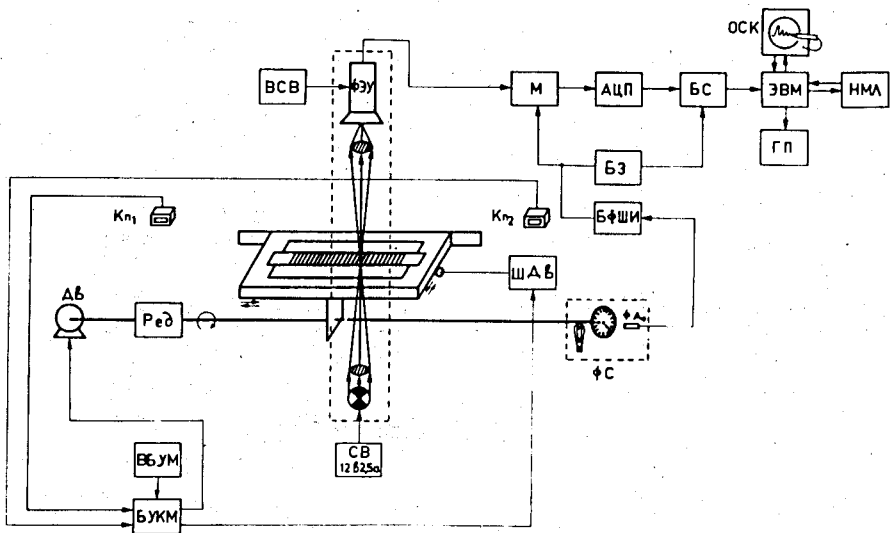


Рис. I Блок-схема аппаратуры, используемой для автоматического фотометрирования.

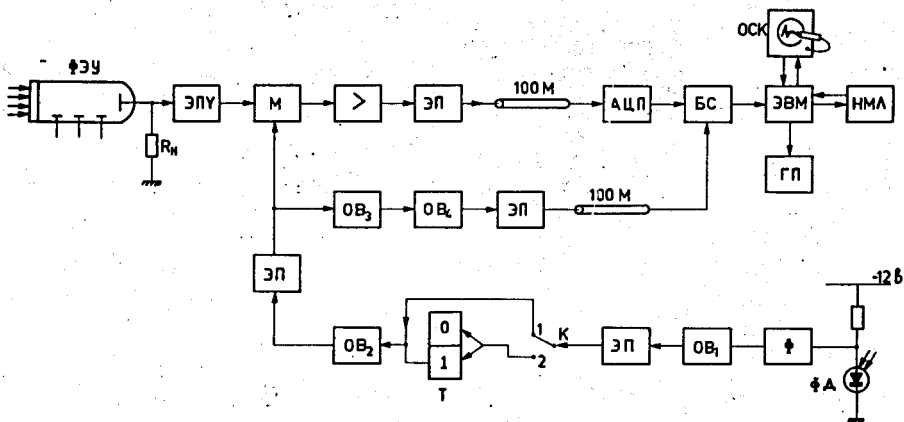


Рис.2 Блок-схема регистрирующей системы автоматического микрофотометра.



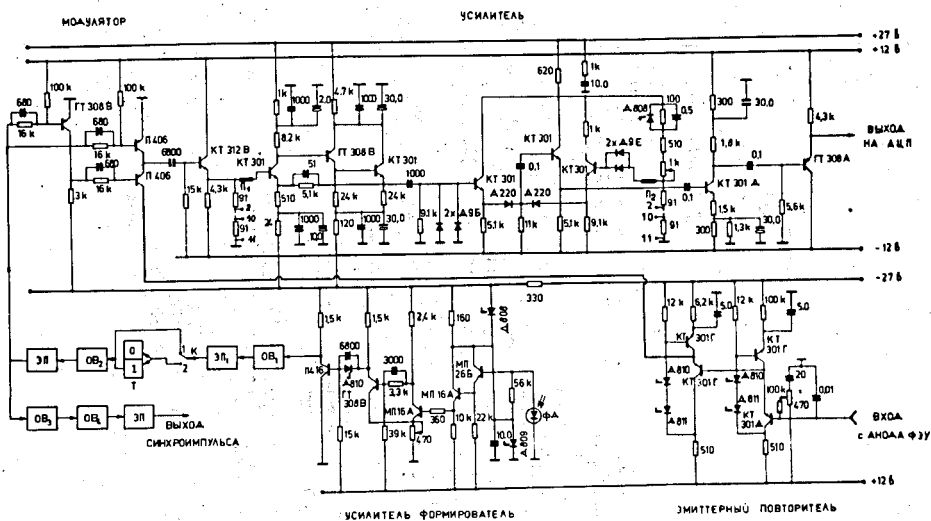


Рис.3 Принципиальная схема регистрирующей электроники автоматического микрофотометра.

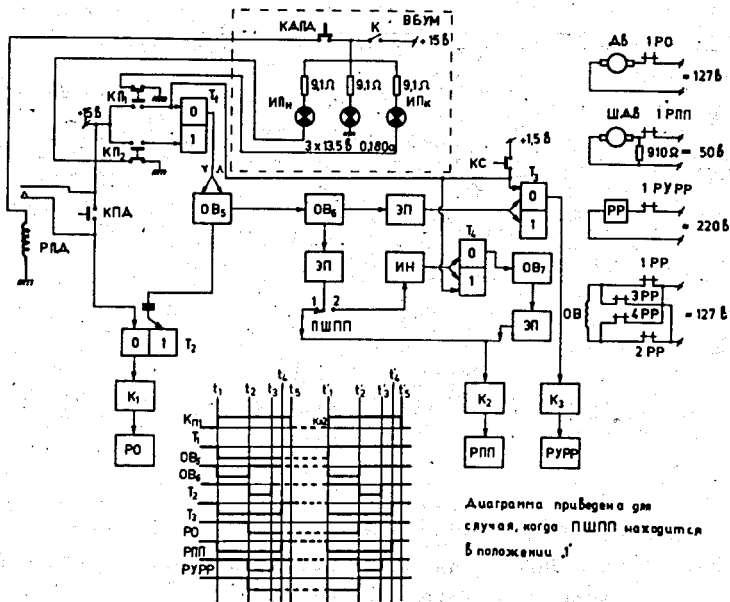


Рис.4 Блок-схема системы управления автоматическим микрофото-  
метром и временная диаграмма ее работы.

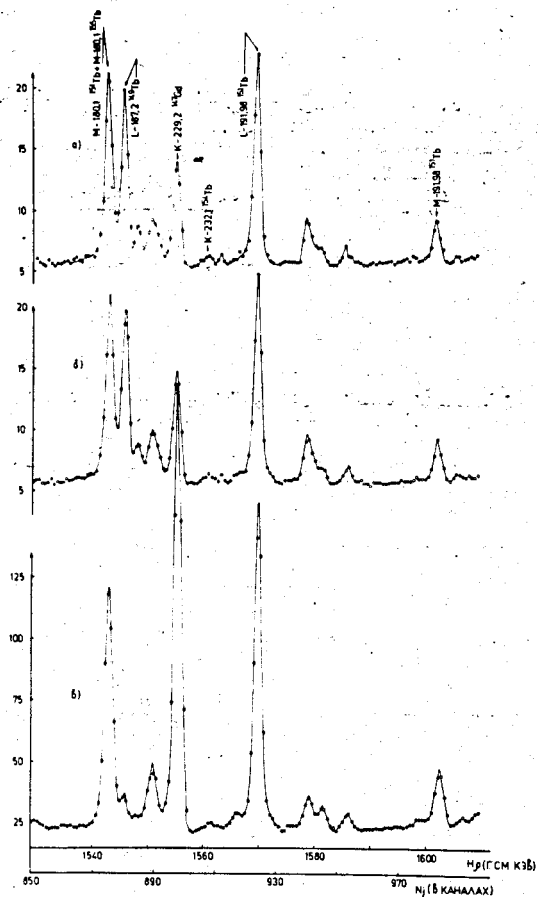


РИС. 6.

Рис.6 Спектры конверсионных электронов препарата тербиевой фракции. Экспозиция 4 часа: а. - ручное фотометрирование (МФ-4); б. - автоматическое фотометрирование. в. - та же фракция, экспозиция 40 часов, автоматическое фотометрирование.