

ЗАДАЧА 159

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОВ ВНЕШНЕГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Явление внешнего фотоэлектрического эффекта было впервые изучено в Московском университете профессором физико-математического факультета А. Г. Столетовым в 1888 г. В закономерностях этого явления отчетливо проявляются квантовые свойства света. В настоящее время явление фотоэффекта находит широкое техническое применение.

Задача посвящена изучению основных закономерностей явления:

- 1) исследованию зависимости фототока от освещенности фотокатода;
- 2) исследованию зависимости силы фототока от величины приложенного фотоэлементу напряжения;
- 3) установлению красной границы фотоэффекта и определению работы выхода электронов с поверхности фотокатода.

Описание экспериментальной установки, используемой в упражнениях 1 и 2. Для проведения намеченных исследований в задаче используется вакуумный фотоэлемент с сурьмяно-цезиевым катодом. Этот фотоэлемент представляет собой стеклянный откачанный сферический баллон, в центре которого, расположен, анод фотоэлемента (рис. 1). На одну половину внутренней поверхности баллона нанесен тонкий слой сурьмы, а затем тонкий слой цезия путем последовательной конденсации паров этих металлов в вакууме. Образующееся соединение сурьмы и цезия Cs_3Sb служит фотокатодом

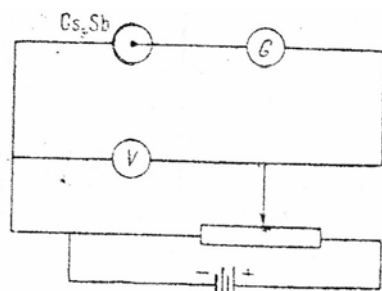


Рис. 1.

фотоэлемента. Красная граница фотоэффекта для этого катода находится в видимой части спектра, что часто бывает важно в практическом отношении. Электрические выводы от катода и анода впаяны в нижнюю часть баллона фотоэлемента и смонтированы в его цоколь. Фотоэлемент такого устройства, специально для его осмотра, помещен в особый ящик со стеклянной крышкой, находящийся в практикуме на рабочем столе, рядом с

описываемой измерительной установкой.

Работает фотоэлемент следующим образом. Исследуемый световой поток направляется на фотокатод. Электроны, вырываемые светом с освещаемого фотокатода, летят на анод, ускоряемые электрическим полем, создаваемым за счет наложения на фотоэлемент напряжения от внешнего источника электродвижущей силы. Сила тока через фотоэлемент зависит от светового потока.

Принципиальная схема включения в электрическую цепь вакуумного фотоэлемента приведена на рис. 1. Практически в этой схеме батарея теперь почти всегда заменяется выпрямителем переменного тока. В нашей установке используется схема включения фотоэлемента, приведенная на рис. 2. Эта схема допускает изменение напряжения, подаваемого на фотоэлемент, и из-

мерения фототока.

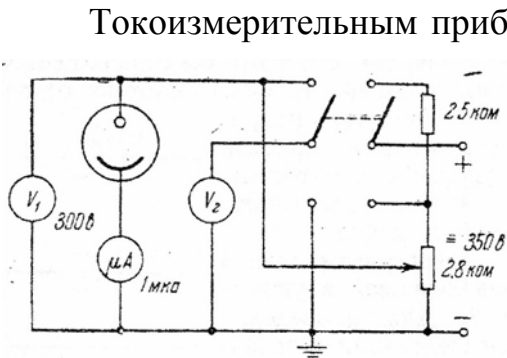


Рис. 2.

Токоизмерительным прибором служит магнитоэлектрический микроамперметр со световым указателем. Отклонение указателя на все 100 делений шкалы прибора соответствует току $1 \cdot 10^{-6} a$.

Далее, в ходе снятия характеристик фотоэлемента (см. ниже описания упражнений 1 и 2) приходится изменять напряжение на фотоэлементе в широких пределах. Так как не существует вольтметров, которые бы позволяли без переключений добавочных со-

противлений с одинаковой точностью измерять и малые (от 0 до 30 в) и большие (до 300 в) напряжения, то для выполнения всей задачи целесообразно использовать два различных вольтметра, включаемых в схему по мере надобности. Соответственно этому условию необходимо подавать в схему и различные напряжения, всякий раз соответствующие диапазону допустимых напряжений для включенного в данный момент вольтметра.

Как видно из приведенной схемы, эти требования удовлетворяются введенным в схему двухполюсным перекидным рубильником и дополнительным постоянным сопротивлением в 25 ком, включаемым последовательно с регулируемым проволочным делителем напряжения. 2,8 ком. При верхнем положении рубильника на проволочный реостат подано от выпрямителя пониженное напряжение и соответственно к катоду фотоэлемента присоединен низковольтный вольтметр. При нижнем положении перекидного рубильника на проволочный реостат подано с выпрямителя полное напряжение, а низковольтный вольтметр отключен и закорочен для предохранения его от высоких напряжений. Высоковольтный вольтметр, разумеется, остается всегда включенным параллельно фотоэлементу, но при подаче на последний низких напряжений он практически не пригоден для измерений. Как и в схеме на рис. 1, в нашей установке вольтметры включены между движком реостата и минусом источника высокого напряжения. Такое включение оказывается возможным потому, что на сопротивлении микроамперметра (10^5 ом) падает при максимальном токе через фотоэлемент $10^{-6} a$ не более 0,1 в, что составляет менее 1% измеряемого напряжения. Поэтому с точностью, вполне достаточной для наших целей, показания вольтметров соответствуют напряжению на фотоэлементе.

Питание всей электрической схемы осуществляется от выпрямителя, включенного в сеть через феррорезонансный стабилизатор напряжения. Наличие высокого постоянного напряжения на выходных клеммах выпрямителя исключает возможность каких-либо переключений или проверок контактов в схеме при включенном выпрямителе. При всех недоразумениях в этом случае надлежит немедленно выключать выпрямитель и обращаться за разъяснениями к дежурному лаборанту.

Фотоэлемент, применяемый в первых, двух упражнениях, помещен в специальный светозащитный кожух, установленный на рейтере оптической скамьи. Кожух этот имеет короткий тубус, через который может проходить

свет на фотоэлемент. Доступ света через этот тубус может закрываться шторкой, приводимой в движение вращением головки кожуха фотоэлемента. На этой головке обозначено, при каком ее положении, шторка открыта и при каком – закрыта.

Перед фотоэлементом, на рейтере, может быть установлена светозащитная труба, предохраняющая фотоэлемент от попадания на него света, рассеянного в комнате. Но, тем не менее, все измерения с фотоэлементом и подача на него напряжения допустимы только в затемненной комнате.

На третьем рейтере той же оптической скамьи установлена маленькая лампочка накаливания (13 в, 15 вт), питаемая от понижающего трансформатора, включенного в феррорезонансный стабилизатор напряжения. В цепи лампочки имеется амперметр и реостаты для регулирования и измерения тока в лампочке. Эта лампочка служит источником света, с которым выполняются первые два упражнения задачи. Линейные размеры спирали лампочки малы, по сравнению даже с минимальным расстоянием лампочки до фотоэлемента (длиной светозащитной трубы). Поэтому лампочка может рассматриваться как точечный источник света.

Вдоль оптической скамьи расположена метровая линейка, позволяющая измерять все необходимые расстояния между расположенными на скамье приборами. Перед началом работы необходимо убедиться в том, что фотоэлемент, светозащитная труба и лампочка расположены на одном уровне.

Упражнение 1

Изучение зависимости силы фототока от освещенности фотокатода

Сущность этого упражнения заключается в том, чтобы изменять по определенному закону освещенность фотокатода и вести параллельно измерения силы фототока.

После общего ознакомления с установкой студенты просят дежурного лаборанта включить в сеть феррорезонансный стабилизатор напряжения и установленные на столе вспомогательные розетки. Включают в эти розетки вилки шланговых проводов, идущих от осветительных лампочек и от микроамперметра со световым указателем. Убеждаются в нулевом отсчете на микроамперметре. При невыполнении этих условий обращаются за указаниями к дежурному лаборанту. Включают лампочку, установленную на рейтере оптической скамьи, и путем регулировки ее реостатов устанавливают в ней ток около 0,9 а. Помещают лампочку на расстоянии 40 см от фотоэлемента. Вращением головки кожуха фотоэлемента закрывают шторкой доступ света на фотоэлемент. Устанавливают перекидной рубильник в нижнее положение и включают выпрямитель.

С помощью проволочного реостата/делителя напряжения, подают на фотоэлемент напряжение около 150 в, с тем, чтобы заведомо обеспечить его работу в режиме тока насыщения. Убеждаются в том, что в этих условиях, при закрытой шторке фотоэлемента, темновой ток через микроамперметр не превышает 1 – 2 делений шкалы этого прибора.

Медленным вращением головки кожуха фотоэлемента открывают его шторку, наблюдая за показаниями микроамперметра. Если отклонения светового указателя этого прибора не выходят за пределы его шкалы, то установка готова к измерениям. В случае если открывание шторки фотоэлемента приводит к резким выбросам показаний микроамперметра, выясняют и устраняют причину излишней засветки фотоэлемента: перекал сверх рекомендованного режима рабочей лампочки на оптической скамье, посторонний свет в комнате. При нормальных условиях фототек при рекомендованном режиме должен измеряться отклонением светового указателя микроамперметра почти на всю шкалу этого прибора. Перекрывая рукой или бумагой доступ света от лампочки на фотоэлемент, убеждаются, что фототек вызван светом лампочки. После установления постоянного режима работы всех приборов записывают показания микроамперметра, напряжение на фотоэлементе и положение лампочки на оптической скамье, а также ток через лампочку, который в ходе этого упражнения должен поддерживаться строго постоянным. Удаляя по этапам, каждый раз на 5 см, лампочку от фотоэлемента до конца оптической скамьи, записывают показания микроамперметра для каждого положения лампочки. Затем повторяют те же измерения, возвращая лампочку теми же этапами в ее первоначальное положение.

Закрыв шторкой, доступ света на фотоэлемент, убеждаются в том, что сохранилось допустимое значение темнового тока в цепи фотоэлемента.

Усредненные результаты проделанных измерений обрабатываются следующим образом.

Принимая лампочку за точечный источник света, можно считать, что освещенность фотокатода изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния лампочки от фотоэлемента. Пусть E_1 – освещенность фотокатода при максимальном удалении лампочки от фотоэлемента, тогда освещенность фотокатода при каком-то n -м положении лампочки будет равна $E_n = E_1 R_1^2 / R_n^2$, где R_1 – максимальное расстояние фотоэлемента от лампочки, а R_n – расстояние от n -го положения лампочки.

Откладывая по оси абсцисс прямоугольной системы координат величины, пропорциональные R_1^2 / R_n^2 , а по оси ординат – величины фототоков, соответствующие значениям R_1^2 / R_n^2 , и соединяя непрерывной линией полученные таким образом точки, получаем графически зависимость силы фототока от относительной освещенности фотокатода. Можно иллюстрировать полученные результаты и построением графика в логарифмическом масштабе, откладывая по оси ординат логарифмы силы фототока, а по оси абсцисс – $2 \lg R$.

Упражнение 2

Получение вольтамперной характеристики вакуумного фотоэлемента

Зависимость силы фототока в фотоэлементе от величины наложенного на него напряжения (при неизменной освещенности фотокатода) называется вольтамперной характеристикой фотоэлемента.

Упражнение выполняется с той же схемой расположения приборов, указанной на рис. 2. Сначала вновь контролируется нормальная работа фотоэлемента (отсутствие рассеянного в комнате света и т.д.).

Помещая лампочку последовательно на расстояниях 35, 45 и ,60 см от фотоэлемента, продельывают для каждого положения лампочки, следующие измерения.

При помощи перекидного рубильника переходят к режиму работы с пониженным напряжением на фотоэлементе и к измерениям этого напряжения низковольтным вольтметром. Устанавливают нулевое напряжение на фотоэлементе.

Открыв шторку фотоэлемента и поддерживая режим горения лампочки неизменным, изменяют постепенно, по этапам, величину поданного на фотоэлемент напряжения. Записывают показания микроамперметра для каждого значения установленного напряжения.

Напряжение на фотоэлементе повышают, таким образом, вплоть до получения ярко выраженного эффекта насыщения фототока; при дальнейшем увеличении напряжения фототок не увеличивается.

Получив ток насыщения, понижают по этапам напряжение на фотоэлементе и повторяют те же измерения, которые были выполнены в процессе повышения напряжения. Подобные измерения, продельывают для всех трех указанных выше расстояний лампочки от фотоэлемента.

Изменять напряжение на фотоэлементе при снятии описанным образом его вольтамперных характеристик следует, очевидно, тем меньшими этапами, чем круче идет подъем зависимости силы фототока от величины поданного на фотоэлемент напряжения. Режим горения лампочки в настоящем упражнении поддерживается таким же, как и в первом упражнении.

Результаты измерений представляют в виде графиков, изображающих зависимость фототока от величины, наложенного на фотоэлемент напряжения. При построении графика используются результаты, полученные при повышении напряжения на фотоэлементе, а также результаты, полученные при его понижении.

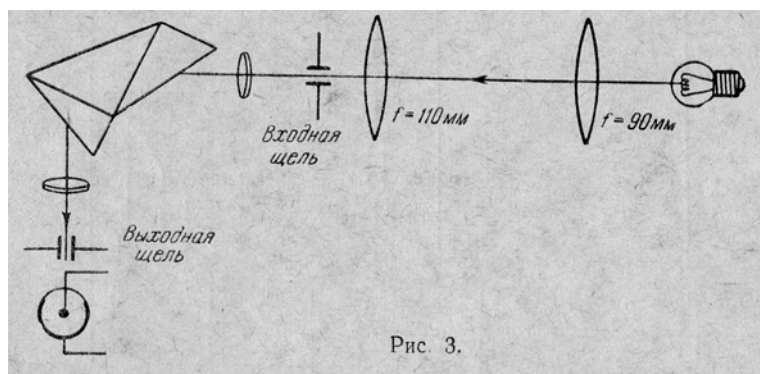
Упражнение 3

Определение красной границы фотоэффекта и работы выхода электронов

Целью этого упражнения является установление той длины волны света, освещающего данный фотокатод, при которой прекращается эмиссия с него электронов.

Экспериментальная установка. Для того чтобы иметь возможность изменять длину волны света, освещающего фотоэлемент, служит монохроматор. Принципиальная схема призмного монохроматора, используемого в настоящей задаче, приведена на рис. 3. На входную щель монохроматора падает через соответствующие конденсоры белый свет от лампочки накаливания. Призма монохроматора осуществляет его спектральное разложение. Из выходной щели монохроматора выходит лишь некоторый узкий спектральный интервал первоначального сплошного спектра лампочки накаливания. Вращением призмы монохроматора, установленной на столике в центре прибора, можно направлять в его выходную щель

разные участки спектра. Помещая фотоэлемент за выходной щелью прибора, можно освещать фотокатод пучком света, близким к монохроматическому.



Ввиду того, что интенсивность монохроматического света, выпускаемого монохроматором, мала по сравнению со светом, входящим в монохроматор, правильная юстировка осветительной системы монохроматора приобретает особое значение во всех случаях его использования.

Входная щель монохроматора освещается светом 12-вольтовой лампочки мощностью 35 *вт* с длинной прямой спиралью. Лампочка расположена на оптической скамье в особом кожухе на рейтере. Питание лампочки осуществляется от феррорезонансного стабилизатора напряжения через понижающий трансформатор.

Осветительная система монохроматора в практикуме, как правило, уже установлена и студентам не приходится производить все описанные выше операции с самого начала. Обычно бывает достаточно для получения в приборе максимума света лишь немного отрегулировать положение конденсора перед щелью при помощи его поперечных салазок, приводя яркий блик света на центр входной щели прибора. Однако ясное представление о юстировке осветительной системы монохроматора (а в сущности и спектрографа) студентам обязательно надо иметь (см. указания в конце задачи). Ширина щелей монохроматора установлены равными 0,8 *мм*, что обеспечивает выход из монохроматора (в спектральной области, близкой к красной границе исследуемого фотоэлемента) светового пучка, монохроматичность которого достаточна для целей, преследуемых в этом упражнении.

Барaban, вращающий столик с призмой, дающей спектральное разложение, прокалиброван в градусах. Пересчет градусных делений на барабане в длины волн делается по прилагаемому к задаче графику калибровки барабана.

У выходной щели монохроматора, в кожухе (идентичном с тем, который применяется в первых двух упражнениях) на рейтере, помещается фотоэлемент, красная граница фотокатода которого подлежит определению. Однако малый световой поток, выходящий из щели монохроматора, приводит к необходимости работать с фотоэлементом в данном случае совсем иначе, чем в первых двух упражнениях. Прямое измерение фототока с помощью микроамперметра становится здесь уже невозможным. На выход фотоэлемента должен быть включен усилитель с электронной лампой. Более того, в этом случае применяется и фотоэлемент другой конструкции, хотя с тем же сурьмяно-цезиевым катодом, как и в предшествующем случае. Опишем сначала особенности применяемого фотоэлемента.

Здесь применяется так называемый фотодинактрон – фотоэлемент с внутренним усилением первичного фототока за счет вторичной эмиссии электронов с дополнительного (третьего) электрода фотоэлемента – эмиттера.

Работает фотодинатрон следующим образом. Световой поток освещает фотокатод, с которого и происходит эмиссия фотоэлектронов, так же как и в обычном вакуумном фотоэлементе. Вырванные световым потоком с поверхности фотокатода электроны движутся под действием ускоряющего поля к аноду, но большая часть их проходит через сетчатый анод и достигает эмиттера, преодолевая встречное поле между анодом и эмиттером. Разность потенциалов между анодом и эмиттером меньше разности потенциалов между катодом и анодом. Попадающие на эмиттер электроны выбивают с его поверхности вторичные электроны. Эти электроны малой энергии ускоряются полем, направленным от эмиттера к аноду, и собираются анодом. Если коэффициент вторичной эмиссии электронов¹⁾ с эмиттера больше единицы, то сила тока в цепи анода будет больше первичного фототока с катода, вызванного непосредственно действием освещения. В этом и заключается сущность использования явления вторичной эмиссии электронов для усиления фототоков. На этом принципе основана работа современных электронных фотоумножителей. В благоприятных условиях этим путем можно получить усиление первичного фототока в 7 – 8 раз, на одном каскаде усиления простейшего фотодинатрона. В многокаскадных фотоумножителях коэффициент усиления достигает миллиона.

Для нас в данном случае существенно, что применяемый принцип усиления фототока никак не затрагивает вопроса об изучаемой нами красной границе фотоэффекта на катоде. Ее положение в спектре определяется исключительно свойствами самого фотокатода.

Но усиление, даваемое самим фотодинатроном, все же недостаточно при работе с монохроматором. Поэтому ток с анода фотодинатрона еще раз усиливается при помощи балансного усилителя на двойном триоде.

Принцип действия этого усилителя состоит в следующем. При отсутствии внешних напряжений на сетках двойного триода потенциалы его анодов оказываются одинаковыми и через миллиамперметр, включенный между анодами ламп, тока нет. Если же на одну из сеток подать извне некоторое напряжение, то в результате изменения силы анодного тока изменится, и потенциал соответствующего анода и через миллиамперметр потечет ток, пропорциональный приложенному к сетке напряжению. Напряжение на сетке изменяется в результате того, что фототок проходит через сеточное сопротивление одного из триодов. Большое значение этого сопротивления (10^7 ом) обеспечивает существенные изменения напряжения на сетке при слабых фототоках.

Выпрямитель для питания фотодинатрона и усилителя смонтирован на одном закрытом шасси вместе с усилителем. На переднюю стенку этого шасси выведены ручки управления потенциометрами и клеммы проводов для соединения всего блока с фотодинатроном, стоящим на рейтере у выходной щели выпрямителя.

Правила пользования усилителем вытекают из принципа его работы. После включения питания усилителя, в отсутствии исследуемого тока через сеточное сопротивление усилителя (в нашем случае с затемненным фотоди-

¹ коэффициентом вторичной эмиссии электронов называют отношение числа эмитированных электронов к числу падающих на эмиттер.

натроном), потенциометрами (один из которых служит для грубой, а другой для тонкой регулировки) приводят стрелку миллиамперметра на нуль. Этим добиваются того, чтобы оба триода работали в одинаковом режиме. После чего подают на вход усилителя исследуемый фототок.

Надо иметь в виду, что на фотодинатрон подается значительное постоянное напряжение (около 300 в), *поэтому любые переключения проводов в схеме категорически воспрещаются при включенном питании*. Со всеми недоразумениями надо обращаться к дежурному лаборанту.

Измерения и их обработка. Закрывают доступ света на фотодинатрон и включают лампу на скамье монохроматора и усилитель, с тем, чтобы в нем установился после прогрева стационарный режим.

Устанавливают на *барабане* монохроматора отсчет 2350° , соответствующий длине волны 5700 \AA . Эта длина волны отвечает максимальной чувствительности применяемого фотокатода. При помощи второго (ближайшего к монохроматору) конденсора приводят световой блик от лампы на щель монохроматора. Прогревают усилитель в течение 5 – 10 минут, а затем с помощью обозначенных на его панели ручек потенциометров приводят к нулю показания измерительного прибора, включенного на выход усилителя, и убеждаются в достигнутой уже стабильности нулевого отсчета. Если этот отсчет недостаточно стабилен, то продолжают прогрев усилителя.

Открывают доступ света на катод фотодинатрона и наблюдают отклонения стрелки на измерительном приборе усилителя. При нормальной работе всей системы стрелка должна отклоняться на всю шкалу прибора. При забросе стрелки прибора за пределы шкалы несколько прикрывают одну из щелей монохроматора. Затем, медленно вращая барабан монохроматора, ведут наблюдения за показаниями прибора усилителя. Барабан вращают в сторону, соответствующую увеличению длины волны света, выходящего из щели монохроматора. Переходу к более длинным волнам отвечает рост отсчетов на барабане. Вращением барабана монохроматора добиваются уменьшения тока на выходе усилителя в 10 – 12 раз, отыскивая длину волны, отвечающую наиболее резкому уменьшению тока, в зависимости от изменения отсчетов на барабане монохроматора.

Найденный таким путем участок спектра и будет отвечать красной границе фотоэффекта для данного фотокатода.

Отыскание красной границы следует провести несколько раз, возвращаясь предварительно всякий раз вновь к отсчету 2350° на барабане монохроматора и убеждаясь в том, что вся установка работает нормально. Усреднив найденные для красной границы отсчеты на монохроматоре, находят, пользуясь калибровочным графиком прибора, значение длины волны, соответствующее красной границе.

Для определения работы выхода электронов из значения красной границы надо сделать следующий расчет. Для красной границы спектра справедливо равенство $\hbar\nu = A$, т. е. энергия фотона $\hbar\nu$ равна работе выхода A . Здесь \hbar – постоянная Планка, ν – частота падающего света. Переходя от частоты к длине волны, имеем

$$\hbar \frac{c}{\lambda} = A,$$

где c – скорость света. Как известно, работу выхода принято выражать в электронвольтах. Для того чтобы получить искомую величину, в нашем случае для катода фотоэлемента, остается сделать следующий расчет:

$$A = eV = \frac{\hbar c}{\lambda} \frac{10^{12}}{1,59} \text{ эв},$$

где e – заряд электрона. Переходный множитель введен для пересчета эргов в электронвольты ($1 \text{ эв} = 1,59 \cdot 10^{-12} \text{ эрг}$).

Указания по юстировке осветительной системы монохроматора. Правильная установка лампочки и конденсорных линз на оптической оси коллиматора монохроматора осуществляется следующим образом. Открывают регулятор доступа света в монохроматор. Этот регулятор (затвор) расположен в трубе монохроматора непосредственно за входной щелью. Ручка, приводящая его в движение, расположена на нижней стороне трубы коллиматора, около входной щели. На ручке есть надписи, указывающие на то, в каком положении находится затвор.

Предельно открыв входную и выходную щели монохроматора (вращением головок винтов, управляющих щелями, по часовой стрелке), ставят осветительную лампочку на расстоянии приблизительно 60 см от плоскости входной щели и затягивают зажимной винт ее рейтера на скамье. Поместив глаз вплотную к выходной щели монохроматора, перемещают лампочку в вертикальном направлении и вращают ее на подставке (для осуществления этого вращения в дне кожуха лампочки имеется специальная прорезь, через которую проходит фиксирующий положение лампочки винт) до тех пор, пока спираль накала лампочки не станет видна в центре поля зрения, видимого через выходную щель прибора.

Затем ставят на скамью первый конденсор (фокусное расстояние 90 мм) на расстоянии 50 см от плоскости входной щели и регулируют его положение в плоскости, перпендикулярной к оси коллиматора, до тех пор, пока глаз наблюдателя, помещенный у выходной щели прибора, не увидит яркое светлое пятно в центре грани призмы монохроматора. Входная щель коллиматора должна при этом, разумеется, находиться в центре яркого светового пятна, создаваемого на ней конденсором.

Второй конденсор (фокусное расстояние 100 мм) располагается на расстоянии 12 см от входной щели прибора, и его положение в плоскости, перпендикулярной к оси коллиматора, регулируется до тех пор, пока глаз, помещенный у выходной щели монохроматора, не увидит грань его призмы, залитой ослепительно ярким светом). Разумеется, входная щель прибора должна при этом находиться в центре яркого светового пятна (несколько размытого изображения спирали лампы), даваемого на ней конденсорной системой.

После выполнения указанных операций сужают входную и выходную щели и прибора (вращением головки винтов, управляющих щелями, против ча-

совой стрелки) до 0,8 мм.

Ширина щелей отсчитывается по барабанам, установленным на винтах, регулирующих ширину щелей. Деления на головках барабанов даны в сотых миллиметра. Закрывать щели следует весьма осторожно, не доводя края щелей до соприкосновения, при котором они портятся. Не следует считать, что истинное значение нулевого отсчета на барабане щели должно быть обязательно найдено экспериментально, по моменту полного закрытия щели. Нанесенные на барабан деления гарантируют точность нулевого отсчета до 0,01 мм.

Технические данные установки. В первом и втором упражнениях используются обычный вакуумный сурьмяно-цезиевый фотоэлемент, микроамперметр М-91 на 1 мка и вольтметры МВА-47. Выпрямитель и прочие детали установки допускают широкий произвол выбора. В третьем упражнении используется монохроматор марки УМ-2 и фотодинактрон ФЭУ-2, выпускаемый нашей промышленностью. Все данные об используемом усилителе и о питании фотодинактрона приведены в спецификации к схеме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.С. Ландсберг, Оптика. Гостехиздат, 1957.
2. Курс физики, под редакцией Н.Д. Папалекси, т. II, Гостехиздат, 1948.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

3. М.В. Лукьянов, Фотоэлементы и их применение, Из-во АН СССР, 1946.
4. П. Герлих, Фотоэлементы, Гостехиздат, 1948.
5. Методы экспериментальной электроники. Сборник, ИЛ, 1949.
6. А.С. Топорец, Монохроматоры, Гостехиздат, 1955.