

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МИКРОФОТОМЕТР БЮРАКАНСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Г. А. Гурздян

В конце 1953 г. в Бюраканской обсерватории вступил в эксплуатацию новый инструмент — универсальный фотоэлектрический микрофотометр. Настоящая статья посвящена описанию установки и принципа его работы, а также дополнительной установки для прямой записи интенсивностей.

§ 1. МИКРОФОТОМЕТР

Микрофотометр предназначен для измерения почернений различного рода изображений, полученных на фотопластинке или на фотопленке. При этом становится возможным производить с одинаковой точностью измерения:

- 1) непрерывного спектра и спектральных линий спектрограмм;
- 2) фокальных и внефокальных изображений звезд;
- 3) протяженных объектов (диффузные туманности, планетарные туманности и пр.).

Осуществлены две системы получения отсчетов:

а) визуальная система, в которой результат измерения берется непосредственно из шкалы отсчетов гальванометра. Эту систему целесообразно применять для измерения изображений звезд, а также для измерения протяженных объектов с целью построения изофот. Она особенно удобна в тех случаях, когда результат измерения требуется получить быстро;

б) саморегистрирующая система, позволяющая получить результат измерения в виде записи на фотобумаге. Эта система предназначена в основном для измерения спектрограмм. Ее можно с успехом применить также для измерения протяженных объектов (для получения так называемых фотометрических сечений).

При конструировании микрофотометра были использованы многие основные части имеющегося в обсерватории микрофотометра Цейсса. Этот последний, как известно, наряду с некоторыми преимуществами, имеет ряд недостатков прак-

тического характера. как, например, невозможность получения автоматической записи на фотобумаге, подобной, например, записи на микрофотометре Молля; капризность работы нитяного электрометра и др. Однако микрофотометр Цейсса имеет хорошую оптическую систему, позволяющую полностью контролировать ход записи, а горизонтальное расположение кареты, несущей измеряемую фотопластинку и снабженной микрометрами, позволяет локализовать область измерения на пластинке с достаточной степенью точности. Этим микрофотометр Цейсса выгодно отличается от других и, в частности, от известного микрофотометра Молля, который фактически дает возможность измерять только спектрограммы, притом имеющие достаточную ширину.

Мы стремились изменить имеющийся микрофотометр Цейсса так, чтобы в нем были бы одновременно реализованы положительные качества микрофотометров Молля и Цейсса. Для этой цели было решено использовать от микрофотометра Цейсса его корпус и оптическую фокусирующую часть, а остальные части были заменены следующим образом:

- 1) вместо нитяного электрометра мы использовали зеркальный гальванометр;

- 2) вместо газонаполненного фотоэлемента Цейсса мы использовали селеновый фотоэлемент типа УФ-101;

- 3) вместо плоской кассеты, дающей возможность производить запись только на фотопластинке размером 9×17 см, мы смонтировали специальный барабан для получения записи на фотобумаге длиной в 40 см и шириной до 12 см. При этом механическая часть выполнена таким образом, чтобы обеспечить строгую синхронность передвижения кареты (т. е. измеряемой пластинки) и вращения барабана;

- 4) создана возможность, помимо записи, при желании производить также визуальные измерения.

Перейдем теперь к описанию основных частей микрофотометра.

Установка измеряемой пластинки, ее фокусировка и остальные операции производятся обычным для микрофотометра Цейсса способом. Фототок от селенового фотоэле-

мента (5) непосредственно передается гальванометру. Используются два магнитоэлектрических гальванометра типа М-21, чувствительность которых порядка 10^{-9} А/мм/м, постоянная времени 3.9 сек. Первый из этих гальванометров (а) предназначен для визуальной системы микрофотометра и установлен на специальном кронштейне, прикрепленном к стене (см. рис. 1). Под гальванометром на расстоянии 1.35 м от него установлен штатив с освещающей лампой и шкалой (d). Отсчет берется обычным способом: сперва гальванометр настраивается так, чтобы при фототоке темноты темная нить освещающей лампы оказалась на нулевом отсчете шкалы.

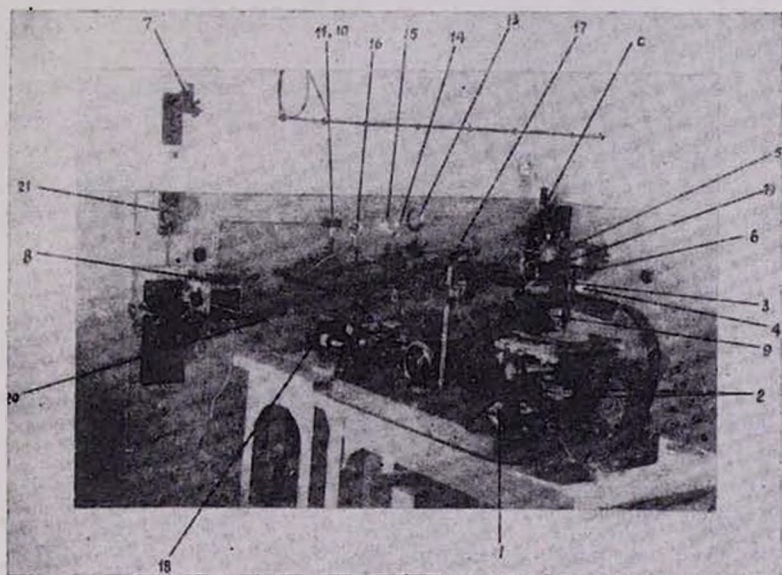


Рис. 1. Общий вид универсального микрофотометра.

1—лампа накала, 2—диафрагмы, 3—зазор дырчатой пластинки, 4—щель, 5—фотоэлемент (находится внутри коробки), 6—рукоятка включения рабочего фототока, 7—лампа с постоянной щелью, 8—ящик с барабаном, 10, 11—лампа постоянного накала с переменной щелью, 13—фокусирующая линза, 14—рама с клиновидной диафрагмой, 15—собирающая линза, 16—фотоэлемент, 17—зрительная труба, 18—электромотор, 20—карданный вал, 21—щит распределения фототока, с—гальванометр установки для регистрации интенсивностей, 24—электрический регулятор зеркала гальванометра (с) (см. на рис. 5).

Рабочий фототок пропускается к гальванометру с помощью откидного выключателя (6). Отсчет шкалы берется через зрительную трубку (17), установленную на штативе тут же на рабочем столе.

Второй гальванометр (в) предназначен для получения автоматической записи. Одновременно работать двумя системами — визуальной и саморегистрирующей — нельзя. Поэтому сделан специальный клемменный переключатель, с помощью которого фототок направляется или к (а) или к (в).

Гальванометр саморегистрирующей системы также установлен в вертикальном разрезе. Однако, в отличие от визуальной системы, здесь освещающая лампа (7) снабжается специальной диафрагмой с щелью (ширина 0,08 мм), пропускающей узкий пучок света вверх, к зеркальцу гальванометра (в). Рабочий фототок отклоняет зеркальце, в результате чего отклоняется и отраженное изображение освещенной щели („зайчик“). Гальванометр (в), лампа (7) и щель этой лампы устанавливаются таким образом, чтобы сфокусированное изображение „зайчика“ попало на узкую щель барабанного ящика (8).

Как было указано выше, основное внимание должно быть обращено на то, чтобы обеспечить строгую синхронность вращения барабана и передвижения кареты. Этого удалось добиться сравнительно легко: движение с одной стороны от червячной передачи электромотора передается к карете, а с другой — к барабану (с помощью карданного вала). Соответственным подбором червячных передач, а также с помощью реостата и трансформатора, добиваемся требуемой скорости вращения барабана. Чтобы барабану дать возможность сделать холостое вращение, необходимое при намотывании фотобумаги, сделан механический выключатель зубчаточко-копеечных передач.

Масштаб записи может меняться непрерывно, что нужно считать одним из преимуществ микрофотометра. Минимальное увеличение — 6,5 раз, максимальное — 80. Требуемый масштаб подбирается с помощью специальной шкалы.

Саморегистрирующая система снабжена специальными

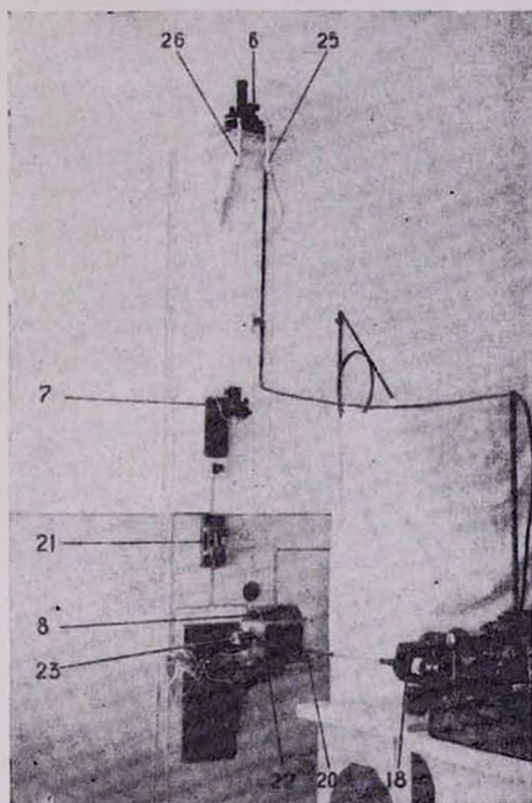


Рис. 2. Общий вид установки для автоматической записи в шкале почерпений.

в — гальванометр установки для регистрации почерпений, 7 — лампа с постоянной щелью, 8 — ящик с барабаном, 18 — электромотор, 20 — карданный вал, 21 — щит распределения фототока, 22 — механический выключатель для выключения барабана от зубчаточесной передачи, 23 — электрический регулятор зеркала гальванометра (в), 25, 26 — лампы для автоматической регистрации миллиметровой шкалы на фотобумаге.

приспособлениями для фиксации на фотобумаге линейных шкал (координатной сетки).

Для предотвращения свободно-инерционного колебания зеркал во время пропускания фототока оба гальванометра шунтированы.

На рис. 3 и 4 приведены примеры спектрорегиограмм, полученных на нашем микрофотометре.

Важным параметром саморегистрирующих микрофотометров является скорость передвижения пластинки в отношении пучка света. Ограничение верхнего значения этой скорости обусловлено внутренней инерцией входящих в систему составных частей, в данном случае фотоэлемента и гальванометра. Известно, что селеновые фотоэлементы обладают небольшой инерцией; время, необходимое для достижения установившегося состояния после включения тока, меньше одной секунды. Что же касается гальванометра, то для него постоянная времени заметно больше — около 4 сек. Поэтому скорость передвижения пластинки в нашем случае ограничена инерцией гальванометра.

Проведенная серия опытов показывает, что хотя с нашим микрофотометром приходится работать со скоростью заметно меньшей, чем, скажем, с микрофотометром Молля, тем не менее, инструмент полностью оправдывает себя, имея удовлетворительную скорость работы. Так, например, спектрограммы, полученные на 10⁷ телескопе Бюраканской обсерватории и имеющие размер около 20 мм в длину, можно измерить за 15 мин., обеспечивая при этом хорошее качество полученной записи.

Для сравнения работы нашего микрофотометра с микрофотометром Молля был сделан следующий опыт. Получены две региограммы одной и той же спектрограммы (одна и та же пластинка) на двух инструментах — на микрофотометре Молля Астрономической обсерватории Ленинградского университета им. Жданова и на нашем саморегистрирующем микрофотометре. Полученные регистрации были обработаны, т. е. были определены спектрофотометрические градиенты, а также величины бальмеровского скачка. Результаты оказались очень близкими друг к другу.

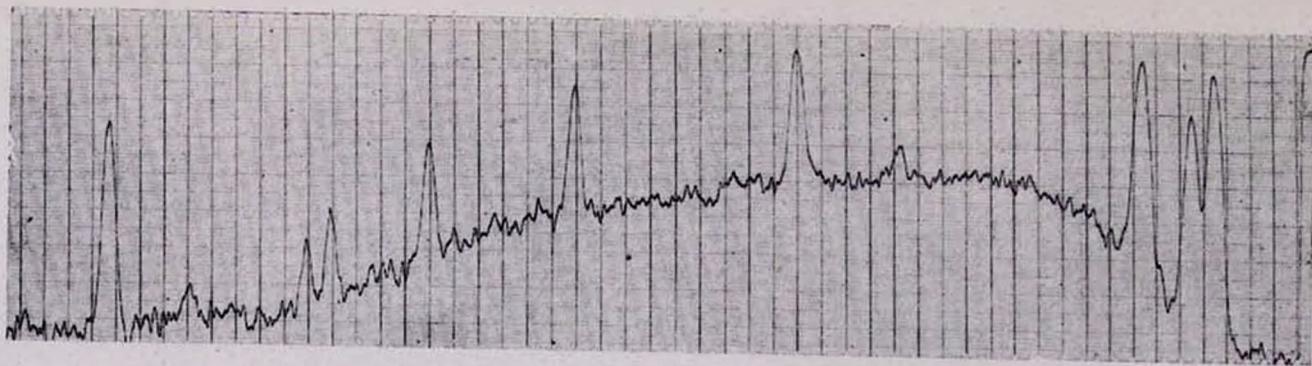


Рис. 3. Запись в шкале почерневий спектрограммы туманности Ориона, полученная на небулярном спектрографе Бюраканской обсерватории.

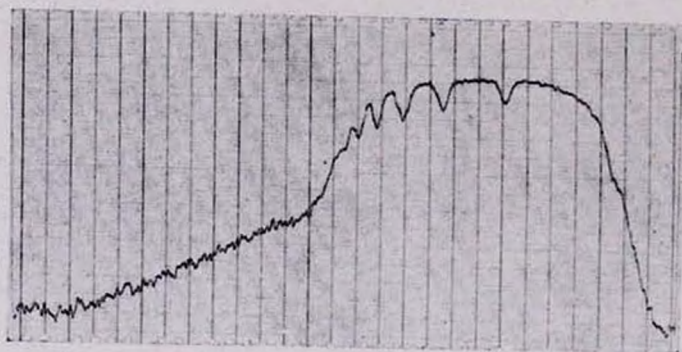


Рис. 4. Запись спектрограммы звезды α Лирь, полученной на 10" телескопе-спектрографе АСИ-5 Бюраканской обсерватории.



Саморегистрирующую систему можно применить также для измерения протяженных объектов (например туманностей). Измеряя пластинку по различным направлениям, получаем фотометрические сечения по этим направлениям.

Что же касается измерения фокальных и экстрафокальных изображений звезд, то при этом используется только визуальная система микрофотометра. В отличие от измерения спектрограмм, когда нам нужно иметь узкую и высокую щель, в этом случае нужно отверстие, чуть большее по размерам увеличенного изображения звезды на пластинке. Такое отверстие можно, например, получить с помощью переменных диафрагм (2) и щели (4): при этом будем иметь не круглое, а квадратное отверстие.

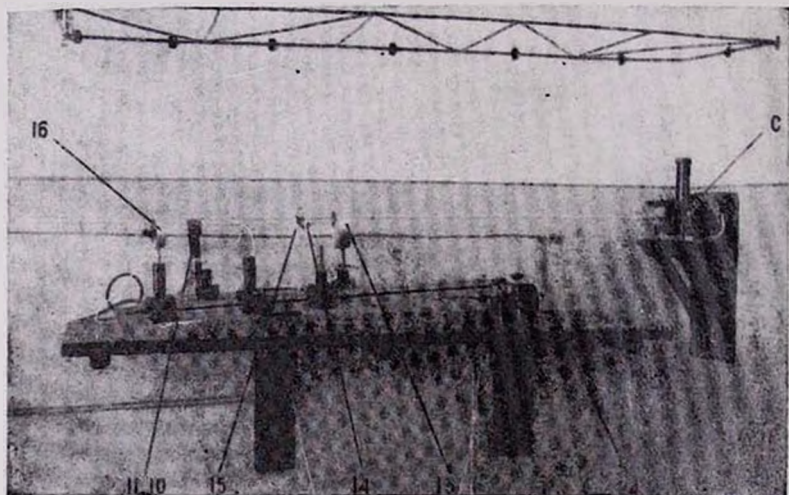


Рис. 5. Общий вид установки для автоматической записи в шкале интенсивностей (пояснение приведено на рис. 1).

Однако этот способ по ряду соображений нужно считать непригодным. Гораздо удобнее и точнее следующий способ: около верхнего экрана, ниже щели (4), есть узкий горизонтальный зазор (3). В этот зазор можно вставить тонкую металлическую пластинку с рядом отверстий, имеющих разные диаметры (перед этим щелевое приспособление целиком спи-

мается). Путем перемещения этой пластинки можно поставить перед пучком света любое отверстие. Что же касается нижних диафрагм, то они в этом случае полностью открываются, обеспечивая тем самым максимальное поле зрения на экране (9).

Малые перемещения кареты, несущей пластинку, осуществляются с помощью микрометрических винтов.

§ 2. ПРЯМАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ В ШКАЛЕ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ

Была сконструирована специальная установка для осуществления автоматической записи спектрорегиограммы непосредственно в шкале интенсивностей. Нами использован при этом общезвестный метод диафрагмы, имеющей форму характеристической кривой. Ниже приводится описание конструкции, а также методика работы нашего варианта этой установки.

Фототок от фотоэлемента (5) — назовем его „фототоком почернения“ — направляется теперь не на гальванометр (в), как раньше, при получении записи в шкале почернения, а к промежуточному гальванометру (с), также типа М-21 (см. рис. 6). На зеркальце этого гальванометра падает изображение прямоугольной и достаточно высокой щели (10).

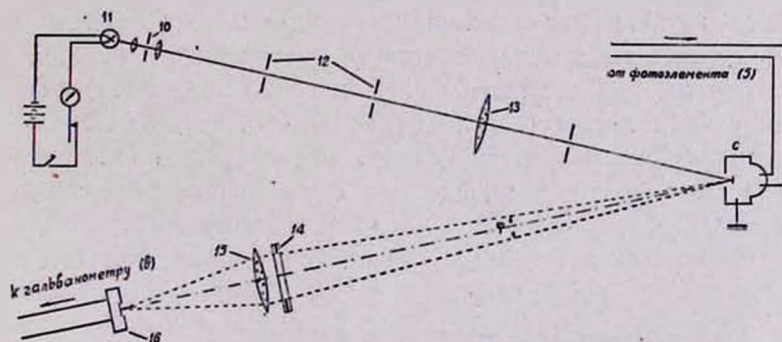


Рис. 6. Схема установки для получения автоматической записи в шкале интенсивностей.

с—гальванометр, 10—щель с переменной шириной, 11—лампа постоянного накала, 12—диафрагма, 13—фокусирующая линза, 14—рама с клиновидной диафрагмой, 15—собирающая линза, 16—фотоэлемент.

Она сзади освещается лампой (11) строго постоянного накала. Чрезвычайно важно, чтобы яркость по высоте щели была постоянна. Перед тем как попасть на зеркальце гальванометра световой поток от щели проходит ряд широких диафрагм (12), экранирующих рассеянный свет, и фокусирующую линзу (13). Направление падающего пучка света все время остается неизменным.

Отраженный от зеркальца гальванометра (с) пучок света будет изменять свое направление в зависимости от силы фототока почернения. Максимальное отклонение будет соответствовать максимальному фототоку почернения, т. е. чистому фону пластинки (нуль интенсивности). Минимальное же отклонение будет соответствовать темноте, т. е. передержанной области фотопластинки. Колебание направления отраженного пучка света, имеющего форму узкого прямоугольника, происходит, таким образом, в пределах определенного угла φ . Величина φ зависит от размеров щели (7), а также от степени накала лампы (1), освещающей измеряемую пластинку.

На пути отраженного пучка света ставится штатив, на котором прикреплена клинообразная диафрагма (14). Профиль этой диафрагмы соответствует характеристической кривой, построенной заранее для данной пластинки или для данной группы пластинок. Максимальная высота диафрагмы чуть меньше высоты падающего на нее изображения щели. Местоположения диафрагмы (14), щелевой лампы (11) и фокусирующей линзы (13) подбираются так, чтобы изображение щели лампы фокусировалось на диафрагме. При изменении силы фототока почернения будет изменяться также местоположение падающего на диафрагму изображения щели. Соответственно этому изменяется полное количество проходящего через диафрагму света. Диафрагма и вообще вся установка юстируется так, чтобы при минимальном отклонении зеркальца гальванометра (с) изображение щели попало на край диафрагмы (положение 2—2 на рис. 7), что соответствует „передержке“, т. е. 100%-ной интенсивности, а при максимальном — на вершину диафрагмы (положение 1—1), что соответствует фону пластинки, т. е.

нулевой интенсивности. При этих условиях количество проходящего через некоторое сечение диафрагмы света будет в точности пропорционально интенсивности, соответствующей данному почернению. Остается только каким-нибудь способом измерить или зарегистрировать изменение количества проходящего через диафрагму света и этим фактически будут измерены или зарегистрированы относительные интенсивности, соответствующие данным почернениям.

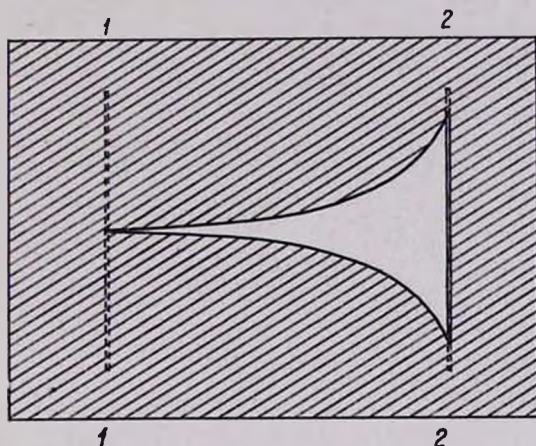


Рис. 7. Общий вид клиновидной диафрагмы и схема регулировки отраженного от гальванометра (с) изображения щели (10).

Для этой цели установлена — сразу же за диафрагмой — специальная собирающая линза (15), в фокусе которой находится селеновый фотоэлемент (16). Количество света, падающего на фотоэлемент, пропорционально интенсивности. Следовательно, сила тока, возбуждаемая фотоэлементом, также будет пропорциональна интенсивности. Назовем этот ток „фототоком интенсивности“.

Фототок интенсивности направляется к гальванометру (в). Отклонения зеркальца этого гальванометра уже будут соответствовать величинам интенсивностей. Поэтому полученная на барабане (8) фотозапись и будет записью в шкале интенсивностей.

Методика работы на этой установке заключается в сле-

дующем. Перед самым началом готовится из толстой черной бумаги клиновидная диафрагма в соответствии с нашей характеристической кривой. В тех случаях, когда для различных диапазонов длин волн используются различные характеристические кривые, нужно сделать диафрагмы в соответственном количестве, заменяя их последовательно в ходе записи. Следует отметить, что точность записи в основном зависит от размеров диафрагмы; чем больше ее размеры, тем выше точность измерения. Однако размеры диафрагмы ограничиваются рядом причин. В частности, ее длина ограничивается тем, что невозможно получить сколь угодно большое отклонение зеркальца гальванометра (с) за счет увеличения сверх нормы размеров щели (4) или же силы тока лампы накала (1), а также тем, что нельзя установить диафрагму (14) очень далеко от гальванометра (с), что приводит к увеличению флуктуаций. Наконец, верхний предел длины диафрагмы ограничивается чисто практическими соображениями: с увеличением ее размеров соответственным образом нужно увеличить диаметр собирающей линзы (15). Окончательно мы остановились на размере диафрагмы в длину около 10 см. О ее высоте речь будет идти ниже.

Диафрагма прикрепляется к специальной раме и с помощью передвижного штатива устанавливается на некотором расстоянии от гальванометра, так чтобы изображение щели (10) было бы приблизительно в фокусе.

Пропуская в начале только ток темноты, добиваемся того, чтобы изображение щели („зайчик“) упало точно на широкий край диафрагмы (положение 2—2 на рис. 7). После этого пропускается фототок от совершенно чистого фона измеряемой пластинки. Гальванометр даст некоторый (максимальный отброс) и „зайчик“ будет находиться налево от 2—2 или в пределах диафрагмы, или же дальше, вне диафрагмы. Надо добиваться того, чтобы при максимальном отбросе „зайчик“ точно оказался на вершине диафрагмы (положение 1—1). Для этого нужно: в первом случае, т. е. когда зайчик находится в пределах диафрагмы: а) увеличить размеры щели (4); б) увеличить силу тока лампы (1) или то и другое одновременно. Во втором случае, когда „зай-

чик" находится левее 1—1, нужно указанные операции повторить в обратном направлении.

В тех случаях, когда даже максимальным увеличением размеров щели (4) и степени накала лампы (1) не удается добиться приведения „зайчика" к положению 1—1, следует штатив с диафрагмой удалить от гальванометра, начать все снова и так продолжать до получения желаемого результата. После этого остается только сфокусировать щель на диафрагме, что уже осуществляется с помощью комплекса фокусирующих линз.

Перед тем как начать запись, нужно отрегулировать „зайчик" гальванометра (в). При токе темноты от фотоэлемента (16) „зайчик" устанавливается (с помощью специального электрического регулятора) на краю барабана. Максимальный отброс „зайчика" при записи в шкале интенсивностей будет соответствовать количеству света, проходящего через самое широкое место диафрагмы (14). Регулировка максимального отброса осуществляется: а) изменением ширины щели (10), б) изменением степени накала лампы (11). Если обе величины доведены до своих пределов и все-таки не получен требуемый отброс, следует сделать новую диафрагму с большей высотой (длина, разумеется, остается прежней). Этим, вообще говоря, определяется высота диафрагмы. Однако для данной установки высота диафрагмы имеет свое предельное значение. Она определяется высотой самой щели (10).

Следует указать, что одним увеличением размеров диафрагмы мы не добьемся высокой точности записи в шкале интенсивностей, если щель (10) не будет сделана доброкачественно и не будет обеспечено строго постоянное освещение по всей ее высоте.

Установка для получения автоматической записи спектрограмм прямо в шкале интенсивностей в настоящее время находится в пробной эксплуатации.

В заключение приношу глубокую благодарность главному механику обсерватории А. Аствацатрян, взявшему на себя труд изготовления необходимых новых механических частей микрофотометра.

Октябрь 1954 г.

ԲՅՈՒՐԱԿԱՆԻ ԱՍՏՂԱԴԻՏԱՐԱՆԻ ՈՒՆԻՎԵՐՍԱԼ ՄԻԿՐՈՖՈՆՈՍԵՏՐԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

1953 թ. վերջերին Բյուրականի աստղադիտարանում շահագործման է հանձնվել ունիվերսալ ֆոտոէլեկտրիկ միկրոֆոտոմետրը: Այն նախատեսված է լուսանկարչական թիթեղների և ժապավենների վրա ստացված զանազան լուսանկարչական սևացումների չափման համար: Գործիքի նախագծման և կառուցման ընթացքում օգտագործվել են աստղադիտարանում կղած «Ցեյս» սիժ միկրոֆոտոմետրի նիմնական մասերը:

Միկրոֆոտոմետրը աշխատում է սելենային ֆոտոէլեմենտով և հնարավորություն է տալիս չափման արդյունքն ստանալ, ինչպես վիզուալ սխեմայով (հատուկ ցուցանակի օգնությամբ), այնպես էլ ավտոմատիկ գրանցմամբ՝ լուսադրոշյուն թղթի ժապավենի վրա: Վիզուալ սխեմայում նախատեսվում է կիրառել աստղերի ֆոկալ և արտաֆոկալ պատկերների չափման համար, ինչպես նաև ձգված օբյեկտների (օրինակ, միգամածությունների) ֆոտոմետրիայի համար: Ավտոմատիկ գրանցման սխեմայում հարմար է սպեկտրոգրամների չափման, ինչպես նաև միգամածությունների պատկերների ֆոտոմետրիկ կտրվածքներ ստանալու համար: Դրանցումը ստացվում է 40 ամ երկարությւն և մինչև 12 ամ լայնությւն ունեցող լուսանկարչական ժապավենների վրա: Միկրոֆոտոմետրի կոնստրուկցիան ապահովում է սպեկտրոգրամների մեծացման կամայական մասշտաբ 6.5-ց 80-ի սահմաններում:

Ինչպես վիզուալ, այնպես էլ ավտոմատիկ գրանցման սխեմաներում օգտագործվում են M 21 տիպի մագնիսա-էլեկտրական գալվանոմետրներ, որոնց զգայնությունն է 10^{-9} A/մմմ, ժամանակի հաստատունը մոտ 4 վրկ:

Կատարված է մի ամբողջ սերիա փորձնական գրանցումներ գտնելու համար գրանցման օպտիմալ արագությունը: Օգտագործված գալվանոմետրի ժամանակի հաստատունը համեմատաբար մեծ լինելու հետևանքով հարկ է լինում մեր միկրոֆոտոմետրով աշխատել ավելի փոքր արագությամբ, քան սահմանափակվում էր լինում: Այնուամենայնիվ, դրանից դործիքի բացթողակնությունը փաստորեն չի նվազում: Այսպես, օրինակ՝

20 մմ երկարութիւն ունեցող սպեկտրոգրամը կարելի է չափել 15 րոպեի ընթացքում:

Համեմատման նպատակով կատարված է հետևյալ փորձը. միևնույն սպեկտրոգրամը գրանցված է մեր և Մուլլի միկրոֆոտոմետրներով և մշակվել, այսինքն, որոշվել են սպեկտրոֆոտոմետրիկ գրադիենտները և բալմերյան թռիչքի մեծութիւնը: Արդյունքները իրար շատ մոտ են:

Նախագծված և կառուցված է հատուկ տեղակայք, որը հնարավորութիւն է տալիս սպեկտրոգրամների ավտոմատիկ գրանցումներն ստանալ միանգամից, ինտենսիվութեան շկալայով: Այս դեպքում, այսպես կոչված, սեւցման ֆոտոհոսանքը ենթարկվում է մի միջանկյալ վերամշակման այնպես, որ գալվանոմետրին ուղարկված նոր ֆոտոհոսանքը («ինտենսիվութեան ֆոտոհոսանք») համապատասխանի ինտենսիվութեան շկալային: Տեղակայքի սխեման բերված է նկ. 6-ում: Նրա հիմնական մասերն են. հաստատուն լուսավորութիւն ունեցող (11) լամպը խիստ զուգահեռ եզրեր ունեցող (10) ճեղքով, (C) գալվանոմետրը, (16) ֆոտոէլեմենտը և (14) դիաֆրագման: Այս վերջինս ունի չափվող սպեկտրոգրամի խարակտերիստիկ կորի տեսքը (նկ. 7): Սեւցման հոսանքը, ի տարբերութիւն նախորդ տեղակայքի, արդեն ուղարկվում է դետի (C) գալվանոմետրը, որի հայելու տատանումներն առաջ են բերում (10) լուսավոր ճեղքի պատկերի տատանումներ (14) դիաֆրագմայի հարթութեան վրա: Դիաֆրագմայով անցած լույսի քանակութիւնը, որն արդեն համեմատական է ինտենսիվութեանը, հալածվում է (15) ոսպնյակի օգնութեամբ դետի (16) ֆոտոէլեմենտը, որը տալիս է մեղանհրամեշտ ինտենսիվութեան ֆոտոհոսանքը: