

# Определение кривой пропускания светофильтра

## Введение

Светофильтром называют элемент оптической системы, применяемый совместно с приемником излучения для формирования спектрального диапазона работы прибора. Светофильтры могут иметь разную конструкцию. Наиболее часто применяются интерференционные фильтры и светофильтры, представляющие собой плоскопараллельные пластины из цветного стекла.

Основная характеристика светофильтра – спектральное пропускание (функция пропускания) – зависимость коэффициента пропускания фильтра от длины волны. По виду этой зависимости светофильтры делят на несколько типов. Наиболее распространенные – отрезающие и полосовые фильтры. Как видно из названия и рис. 1, полосовые светофильтры выделяют из всего спектра некоторую относительно узкую область, а отрезающие – ограничивают (отрезают) спектральный диапазон с одной стороны.

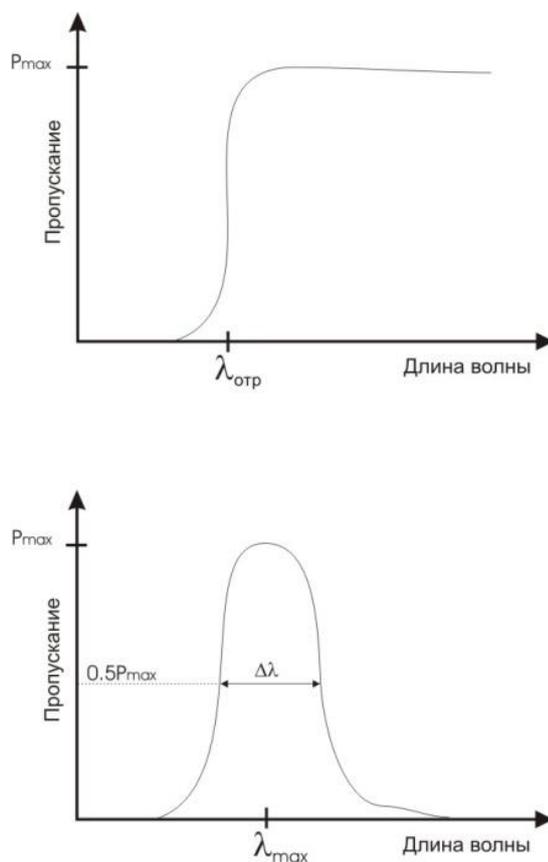


Рис. 1. Кривые пропускания отрезающего и полосового фильтров

Целью данной работы является получение кривых пропускания светофильтров и определение их основных параметров.

## Описание установки

Лабораторная установка состоит из монохроматора МДР-204, фотоприемного устройства, осветителя, держателя светофильтра, управляющего компьютера и оптического рельса.

Монохроматор МДР-204 (рис. 2 и 3) представляет собой спектральный прибор, предназначенный для выделения монохроматического излучения из потока, падающего на входную щель. Он построен по асимметричной схеме Эберта-Фасти. Сканирование по длинам волн осуществляется поворотом дифракционной решетки. В настоящей работе используется дифракционная решетка, имеющая 600 штрихов/мм и работающая в первом порядке. С этой решеткой обратная линейная дисперсия у монохроматора получается равной  $52 \text{ \AA}/\text{мм}$ . Управление монохроматором осуществляется из специальной программы.



Рис. 2. Внешний вид монохроматора МДР-204 (справа – выходная щель)

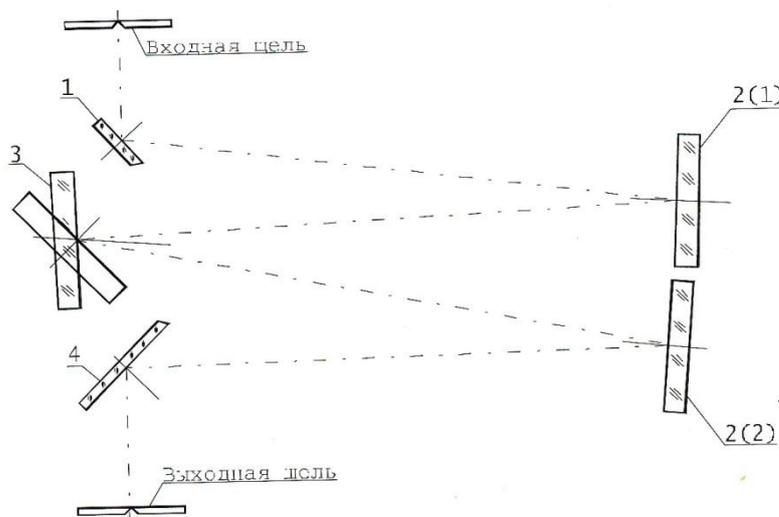


Рис. 3. Оптическая схема монохроматора МДР-204 (1, 4 – плоские зеркала, 2(1) – коллиматор, 2(2) – камера, 3 – вращающаяся дифракционная решетка).

Осветитель (рис. 4) является источником излучения с непрерывным спектром. В корпусе осветителя установлены две лампы (галогенная и дейтериевая). В работе используется галогенная лампа, которая дает возможность проводить исследования в диапазоне длин волн  $3500 - 35000 \text{ \AA}$ . Переключение между лампами осуществляется из программы управления. Дейтериевая лампа служит как источник ультрафиолетового излучения, и в данной работе не используется. Каждая из ламп использует свой блок питания.

Осветитель установлен на оптическом рельсе, что позволяет его перемещать. Для этого необходимо ослабить два черных винта, расположенных внизу крепежных стоек осветителя.



Рис. 4. Осветителя (в центре) и блоки питания ламп

Фотоприемное устройство (ФПУ) установлено за выходной щелью монохроматора. В его корпусе находится кремниевый фотодиод, усилитель и аналого-цифровой преобразователь. Диапазон спектральной чувствительности используемого фотодиода: 0.2 – 1.1 мкм (рис. 5).

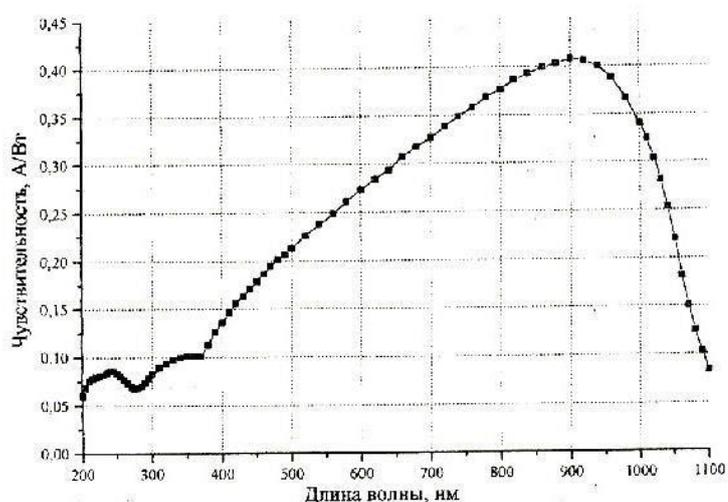


Рис. 5. Кривая чувствительности кремниевого фотодиода ФПУ

## Порядок выполнения работы

### Подготовка к работе:

1. Расположить осветитель на расстоянии 7-10 см от входной щели монохроматора.
2. Ширину входной и выходной щелей монохроматора установить равными 0.1 мм. Обратите внимание, что при раскрытии щели от 0 до 0.2 мм точность отсчета составляет 0.001 мм, а при большем раскрытии – 0.01 мм.
3. На входной щели установить высоту открытой части щели 3-5 мм. Для этого используется специальная подвижная диафрагма (см. рис. 6).

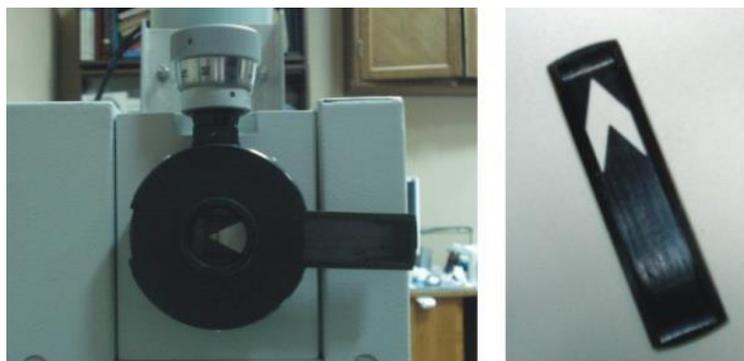


Рис. 6. Входная щель монохроматора с диафрагмой, ограничивающей высоту щели (держатель светофильтра снят).

4. Включить осветитель (переключатель расположен на блоке питания осветителя), монохроматор и компьютер. Осветитель включается с помощью переключателя, расположенного на корпусе блока питания.
5. На компьютере запустить программу *Monochromator* (монохроматор к этому моменту должен быть включен).
6. Удалите все полученные ранее кривые (нажать на значок «красный крест» и выбрать «Все кривые»).
7. В программе установите диапазон сканирования от 400 до 1000 нм и скорость сканирования 100 нм/мин. Для этого нажмите значок «Настройка параметров сканирования», помеченный цифрой «1» на рис. 7. Появится диалоговое окно, в котором необходимо установить нужные параметры и нажать «Ок»:
  - Тип сканирования – *непрерывный режим*
  - От: 400 нм
  - До: 1000 нм
  - Шаг: 0.5 нм
  - Скорость: 100 нм/мин

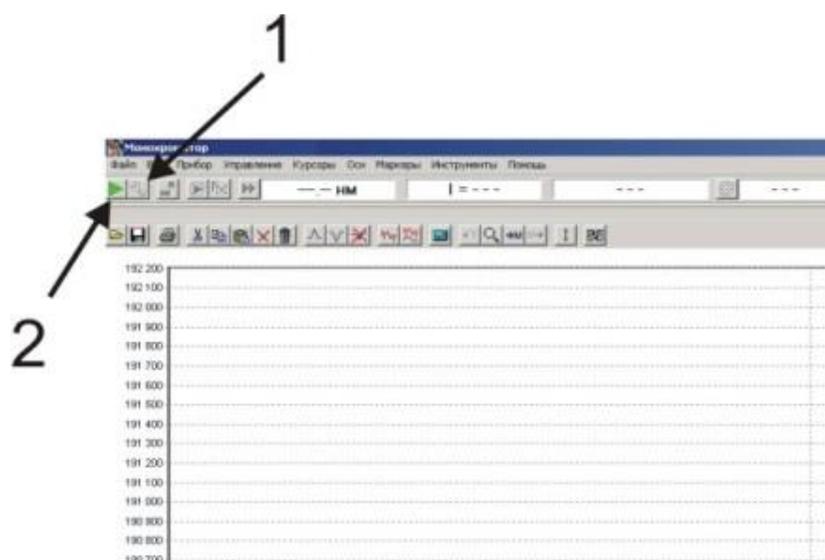


Рис. 7. Программа управления монохроматором

## Проведение измерений

1. Сделайте запись с включенным осветителем и открытой щелью. Для этого нажмите значок в панели инструментов, помеченный цифрой «2» на рис. 7. В диалоговом окне заполните поле «Образец», например словом «Лампа», и нажмите «Ок». Начнется сканирование. На экране постепенно будет появляться кривая – это будет отклик прибора на сигнал от лампы (кривая  $L(\lambda)$ ). Дождитесь окончания сканирования. Если на получившейся кривой имеются значения, превышающие  $16 \times 10^6$ , то необходимо уменьшить световой поток (для этого можно уменьшить либо высоту, либо ширину входной щели) и повторить запись.
2. Перекройте световой пучок от осветителя непрозрачным экраном и сделайте запись темнового тока (кривая  $D(\lambda)$ ). Уберите экран.
3. Установите светофильтр №1 на входную щель монохроматора. Для этого ослабьте винты 1 (рис. 8), поставьте фильтр ребром на направляющие 3 и, придерживая его рукой, придвиньте одну из лапок 2 так, чтобы она касалась поверхности фильтра, и зажмите винт 1; повторите операцию со второй лапкой. (Запрещается вынимать и устанавливать светофильтры с прижатыми лапками – при этом происходит растрескивание края фильтра).

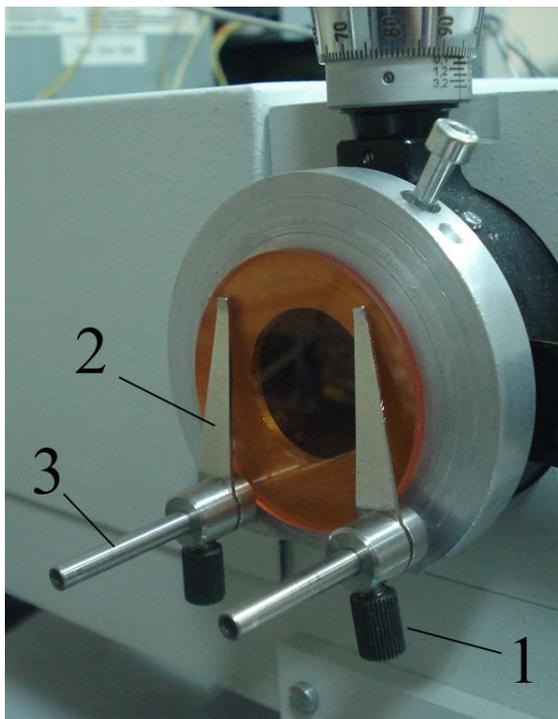


Рис. 8. Держатель светофильтра с установленным оранжевым фильтром.

4. Сделайте запись (кривая  $F_1(\lambda)$ ). Снимите светофильтр.
5. Установите светофильтр №2 на входную щель монохроматора. Сделайте запись (кривая  $F_2(\lambda)$ ).
6. Установите стеклянный желтый светофильтр на входную щель монохроматора. Сделайте запись (кривая  $F_3(\lambda)$ ).
7. Установите стеклянный голубой светофильтр на входную щель монохроматора. Сделайте запись (кривая  $F_4(\lambda)$ ).

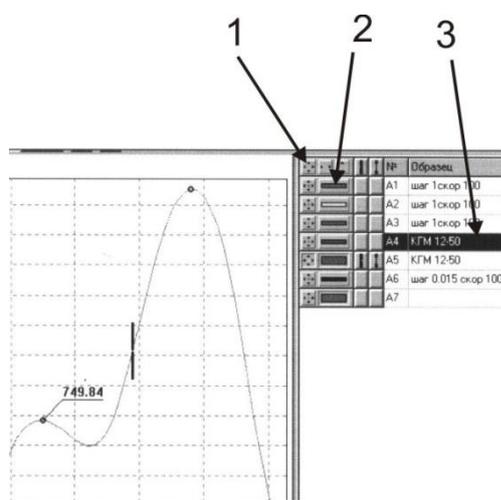


Рис. 9. Основное и поле «Легенда» программы управления

После выполнения указанных шагов на основном поле программы будет отображено как минимум 4 графика. Справа от основного поля программы находится поле «Легенда». Оно, в частности, позволяет управлять видимостью графиков (см. рис. 9). Кнопки «1» на рис. 9 масштабируют размер отображаемой области по выбранной кривой, кнопки «2» включают/выключают отображение соответствующей кривой (например, на рисунке включен показ 5 и 7 кривых).

Запишите получившиеся кривые в отдельные файлы. Для этого необходимо по очереди выделять мышкой соответствующие кривые в поле «Легенда» (пример выделения отмечен на рис. 9 цифрой «3») и нажимать «Сохранить» в меню «Файл» (или значок «Дискета» в панели управления). В открывшемся окне – выбрать «Выделенные графики» и формат сохранения – «Текстовый файл». Названия файлам лучше давать «говорящие». Обязательно проверьте записанные файлы, открыв их с помощью Блокнота. Они должны представлять собой текстовые файлы с двумя колонками и иметь разное содержимое второго столбца. Этот этап работы надо выполнять особенно внимательно, т.к. на нем можно потерять все полученные данные.

## Обработка

Цель работы – получить кривую пропускания светофильтра  $S(\lambda)$ . Для этого надо выполнить следующие действия:  $S_n(\lambda) = \frac{F_n(\lambda) - D(\lambda)}{L(\lambda) - D(\lambda)}$  (где  $n$  – номер записи). Вычитание темнового тока и деление получившихся кривых друг на друга можно произвести как в отдельной программе (Excel, Origin, IDL, MathLab, EasyPlot и др.), так и в программе управления монохроматором или с помощью самодельной программы.

Дальнейшая работа выполняется с кривыми пропускания  $S(\lambda)$  светофильтров.

## Отрезающий светофильтр

Посмотрите на полученные кривые пропускания ( $S_1$  и  $S_2$ ) и выберите кривую, принадлежащую отрезающему фильтру. Оцените по ней длину волны, на которую приходится граница пропускания  $\lambda_{отр}$ , прозрачность фильтра в области максимума пропускания  $P_{max}$  и скорость роста пропускания (крутизна спектральной характеристики) фильтра ( $\Delta P/\Delta \lambda$ ) в области

$0.5 \times P_{max}$ . Длину волны  $\lambda_{отр}$  определяют на уровне  $m \times P_{max}$ , где величина  $m$  выбирается, исходя из требований к конкретному прибору. В данной работе будем считать  $m=0.05$ .

### Полосовой фильтр

Назначение данного фильтра – вырезать из спектра изучаемого объекта узкую область. На кривой найдите область с узкой полосой пропускания. Определите длину волны максимума пропускания  $\lambda_{max}$ , пропускание фильтра в максимуме  $P_{max}$ , ширину профиля пропускания  $\Delta\lambda$  на уровне  $0.5 \times P_{max}$ .

### Стандартная фотометрическая полоса V

Полоса V стандартной фотометрической системы UVB Джонсона обычно реализуется с помощью объединения двух стеклянных светофильтров – желтого ЖС-18 и сине-зеленого СЗС-21 (см. рис. 10). В данной работе мы прописали два светофильтра, похожие на указанные фильтры (кривые  $S_3$  и  $S_4$ ).

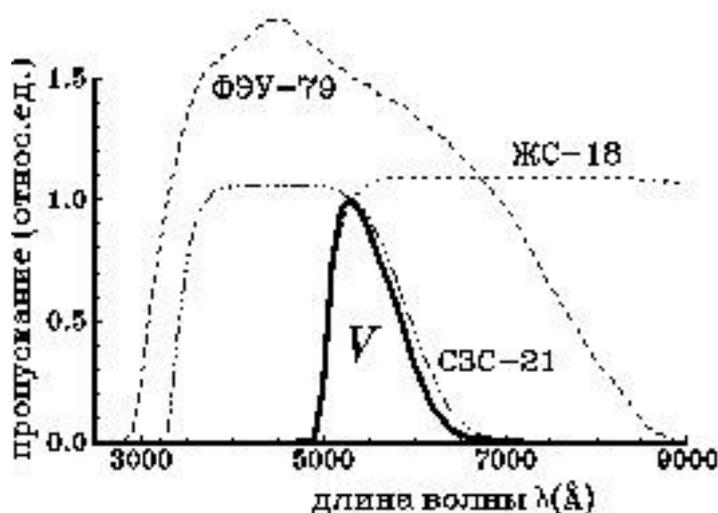


Рис. 10. Схема построения фотометрической полосы V с помощью стеклянных светофильтров (Миронов, 2008)

Получите кривую пропускания составного фильтра  $S_V(\lambda) = S_3(\lambda) \times S_4(\lambda)$ . Определите по ней  $\lambda_{max}$  и  $\Delta\lambda$ . Выпишите соответствующие величины для стандартной полосы V, сравните их.

### Результаты

В ходе выполнения работы должны быть получены следующие результаты:

- Кривые пропускания четырех светофильтров
- Параметры кривых пропускания ( $\lambda_{отр}$ ,  $\lambda_{max}$ ,  $P_{max}$ ,  $\Delta\lambda$  и др.) отсекающего и полосового светофильтров
- Параметры кривой пропускания составного светофильтра, близкого к светофильтру, реализующему стандартную фотометрическую полосу V.

### Контрольные вопросы

1. Для какой цели в астрономии применяются светофильтры?
2. Какие существуют способы фильтрации оптического излучения?
3. Куда идет излучение, не пропущенное светофильтром?

4. От каких факторов зависит спектральный отклик фотометра при реальных астрономических наблюдениях?
5. Что надо сделать, чтобы исследованный в работе полосовой светофильтр можно было использовать при реальных наблюдениях астрономических объектов на длине волны  $\lambda_{\max}$ ?

### Литература

- Мартынов Д.Я. Курс практической астрофизики. М.: Наука, 1977
- Лебедева В.В. Экспериментальная оптика. М.: Изд.-во Моск. ун-та, 1994
- Миронов А.В. Основы астрофотометрии. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008
- Каталог цветного стекла. М.: Изд. «Машиностроение», 1967