



Входная и выходная оптические системы УФ-дефектоскопов

Лекция № 4
из цикла «УФ-инспекция»

Входная оптическая система:

- 1. Объектив**
- 2. Светофильтр**
- 3. Бленда**

Выходная оптическая система:

- 1. Система переноса изображения с экрана (окуляр)**
- 2. Адаптер**
- 3. Цифровая камера**

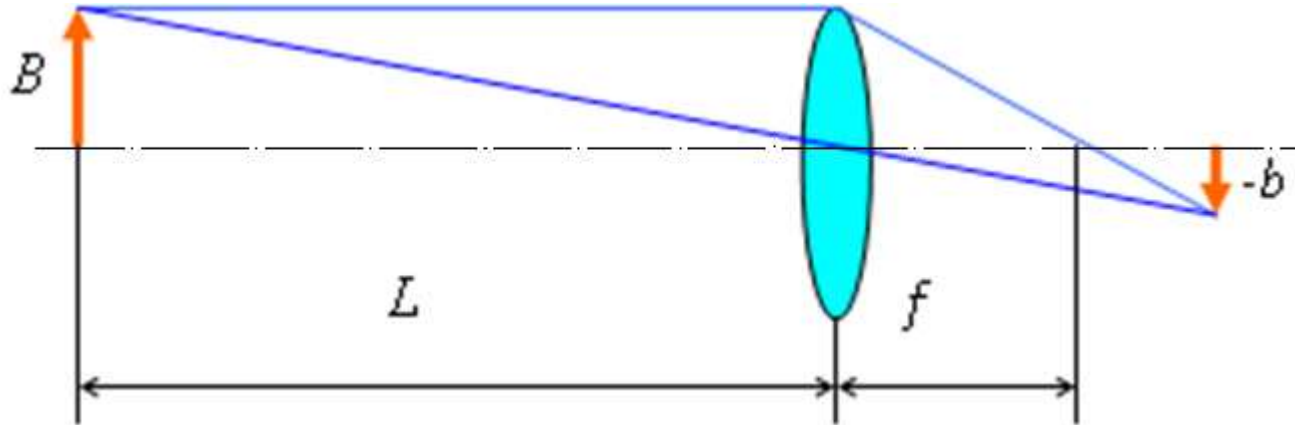
Входной объектив

Выбор материала. Основной проблемой при разработке объектива является небольшое количество прозрачных в УФ-диапазоне материалов, стойких к растворению в воде. При этом показатели преломления материалов сравнительно малы (не более 1,85), что приводит к сложностям при устранении полевых aberrаций.

Материал	<i>LiF</i>	<i>MgF₂</i>	<i>BaF₂</i>	<i>CaF₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>SO₂</i>
Коэф-т преломления при $\lambda = 260$ нм	1.39	1.42	1.51	1.45	1.83	1.45
Спектральный диапазон $\Delta\lambda$, мкм	0.12-6	0.2-6	0.18-12	0.15-9	0.17-5.5	0.18-3.5

Ранее в СССР был налажен выпуск объективов марок «Уфар-1» и «Уфар-4» на основе **флюорита и плавленного кварца**, а также серии зеркально-линзовых объективов «Зуфар» для УФ диапазона спектра. Сегодня в России в свободной продаже объективов нет.

Оценка требуемого фокусного расстояния



Размер разрешаемого элемента B в плоскости наблюдаемого объекта выбирался равным в 10 раз меньше характерного размера тарелки изолятора: $B \approx 2 \times 10^{-2}$ м. Расстояние до объекта выбиралось равным $L = 25$ м. Разрешаемый элемент b в плоскости фотокатода определялся через отношение общего желаемого количества элементов (например, 1000) к диаметру рабочего поля фотокатода: $b = 10^{-4}$ м. Тогда необходимое фокусное расстояние входного объектива составит: $F = (L * b) B^{-1}$. При выбранных значениях фокусное расстояние должно быть не менее 125 мм.

Объективы: что есть в продаже. Сайт <https://www.cameraiq.ru>

1. УФ объективы из кварцевого стекла Goyo GMUV (Quartz).



Модель	Фокусное расстояние, мм	Отн. отверстие
<u>GMUV57838C-1</u>	77.5	3.8-16
<u>GMUV510540C</u>	105	4.0-22

Формат обоих – 18 мм, резьба под светофильтр - М 49 x 0.75, вес 400 г

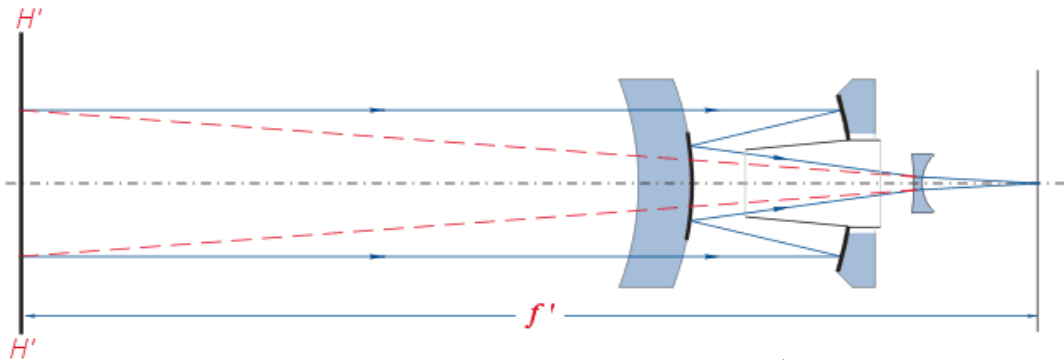


Модель	Фокусное расстояние, мм	Отн. отверстие
<u>UV Tele Lens "UV-Nikkor"</u>	105	4.5-16
<u>Enhanced UV Lens</u>	98	2.8-8

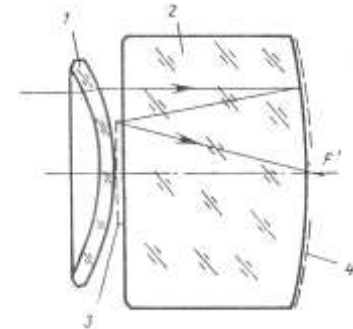
Формат 35 и 25 мм, резьба под светофильтр - М 52, вес 515 и 600 г

Оптические схемы входного объектива

Чтобы сделать побольше фокусное расстояние и не «раздуть» габариты подходит схема объектива Максудова (МТО).



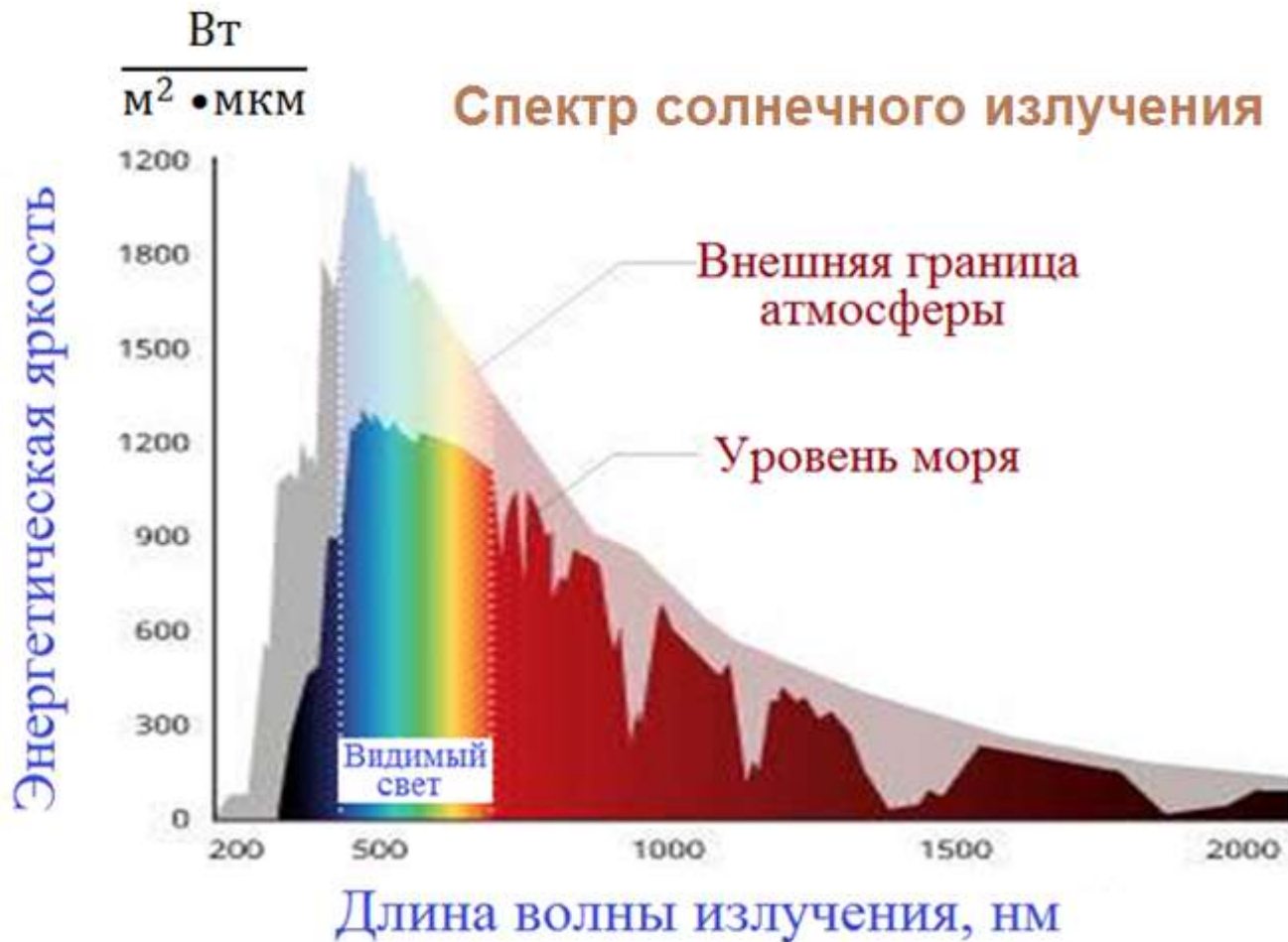
Максудовский телеобъектив (МТО)

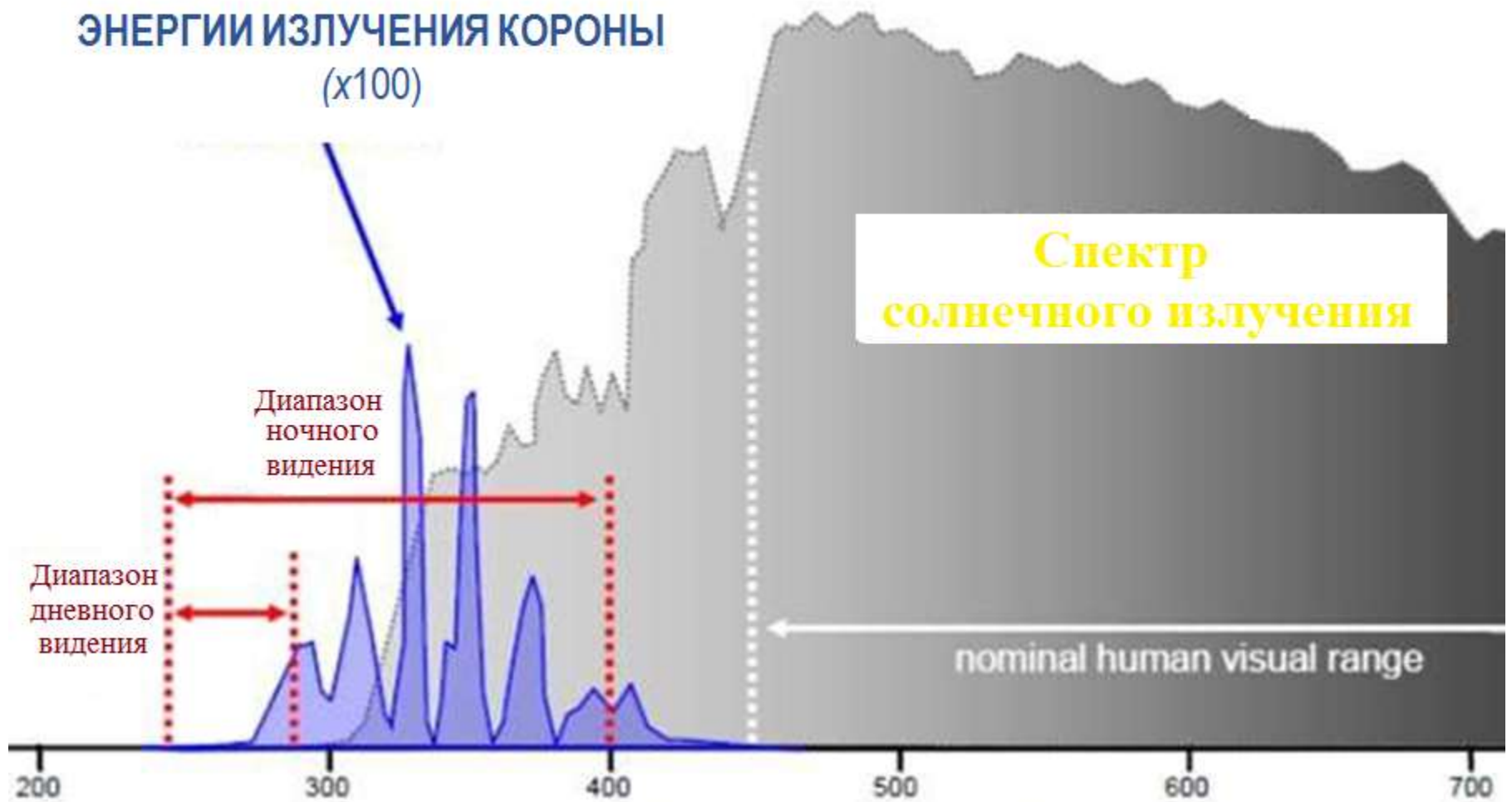


Объектив УФО-2

Объектив УФО-2 в УФД «Ф-6» выполнен по схеме объектива Белоусова. В нём входная линза выполнена в виде обычной положительной линзы, а линза Манжена, контротражатель и коллиматор выполнены в одном блоке. Объектив прост в сборке и не требует юстировки (она обеспечивается автоматически соблюдением размеров между первой линзой и блоком). Объектив имеет достаточно высокие характеристики «точка на оси»: 50 мкм при длине волны 337 нм и 60 мкм в области 500...600 нм.

Светофильтры нужны для выделения излучения короны от фоновой засветки. Основной источник засветки – солнце.





Спектры излучения короны (×100) и солнца



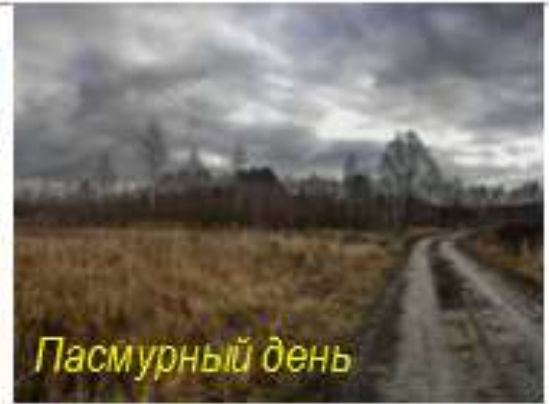
Солнечный день

100 000



Солнечный день в тени

20 000



Пасмурный день

1 000



Светлая комната

100



Лунная ночь

0.2



Порог катода ЭОП

1×10^{-6}

Для справки: **типичные уровни освещённости (люкс)**

Светофильтры по принципу действия делятся на 5 групп: *абсорбционные, интерференционные, отражательные, поляризационные и дисперсные*. Для УФ-инспекции самое главное – уйти от солнечного излучения, но пропустить ультрафиолетовое излучение разрядных процессов. Основными для выполнения этой функции являются: *абсорбционные и интерференционные светофильтры*.



Абсорбционные (лат. *absorbeo* — поглощаю) обладают спектральной избирательностью поглощения. Производятся на основе окрашенных оптических стёкол или органических веществ: желатины, жидкости.



В ГОСТ 9411 на цветное стекло есть 6 фильтров УФС.

В УФД «Ф-6» используется УФС-1 и УФС-2

Интерференционные светофильтры (ИСФ) работают по принципу многолучевой интерференции. ИСФ состоит из тонкого плоскопараллельного диэлектрического слоя, на обе поверхности которого нанесены отражающие слои. На выходе системы образуется бесконечная последовательность убывающих по амплитуде лучей с равной разностью хода между ними, которые интерферируют между собой.

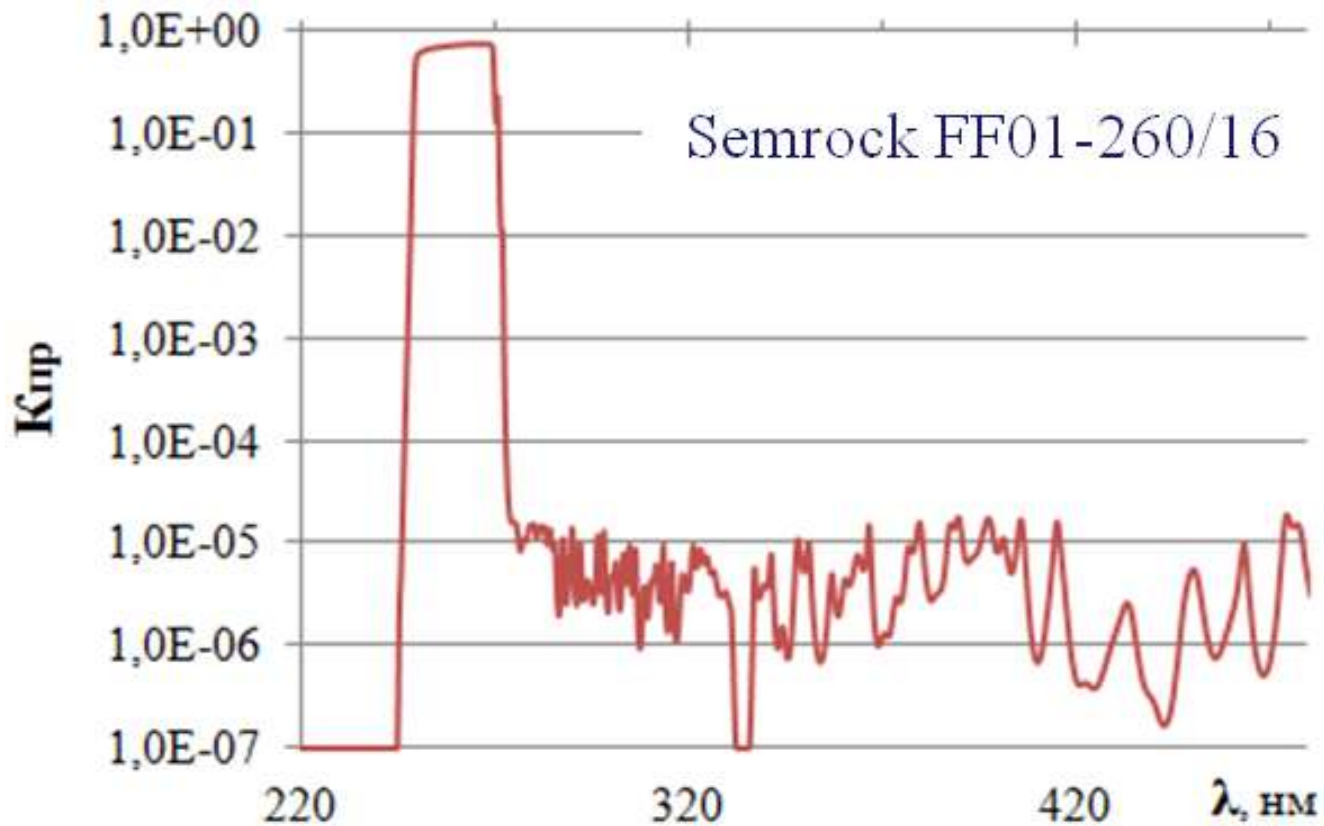


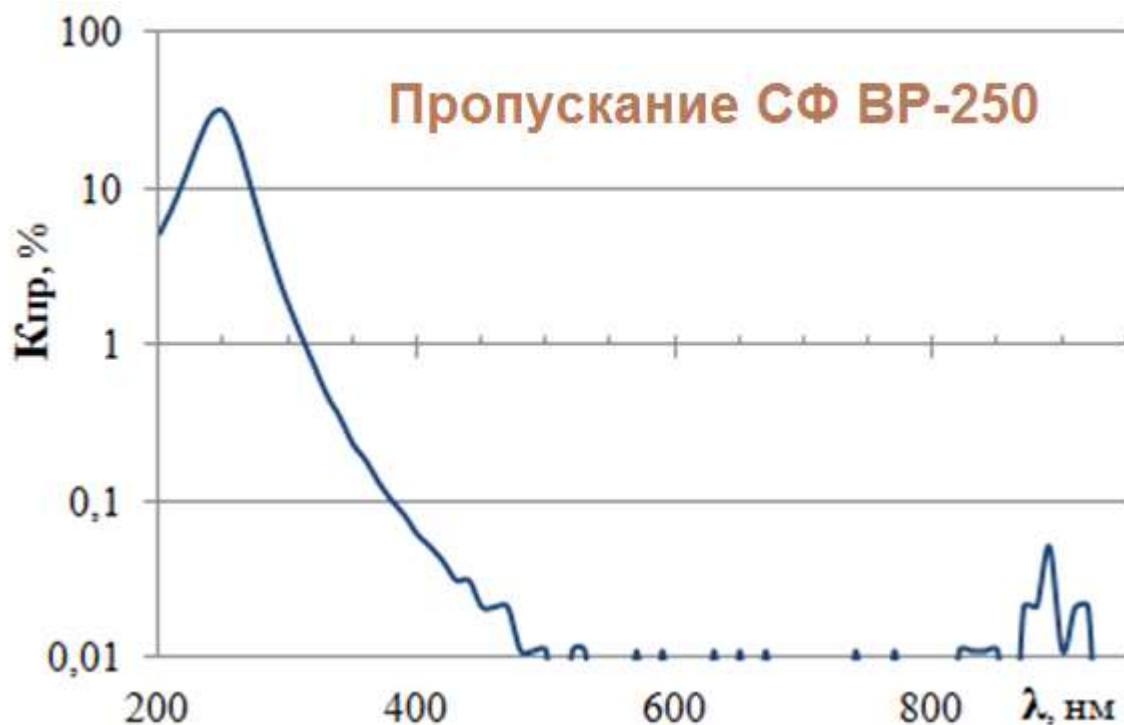
Действие зелёного интерференционного светофильтра и внешний вид набора светофильтров разных цветов

Какую плотность должен иметь светофильтр, чтобы УФД работал днём? Давайте оценим!

1. Вспышка короны длится в среднем 100 нс, а солнечный свет непрерывно. Значит, даже при одинаковой освещённости на фотокатоде ЭОП от фона и короны нужно было бы ослабить солнечный свет на 7-8 порядков, т.е. иметь светофильтр с плотностью 7-8 в видимом и ближнем, так называемом **УФ А** спектре.
2. Реально освещённость на фотокатоде от излучения короны значительно меньше из-за потерь, связанных с ограниченным углом зрения и светосилой входного объектива. Поэтому приходится ещё сильнее подавлять фон на 2-3 порядка.
3. Итак, нужен **светофильтр с плотностью не менее 10** для спектра солнечного света.

Наибольшую плотность дают фильтры, имеющие **много интерференционных слоёв напыления на подложке из поглощающего материала**, например, фильтры фирмы Semrock





Доступные на рынке светофильтры, например, VR-250, как и многие другие, рекламируемые как солнечно-слепые таковыми **не являются.**

В большинстве случаев нельзя надеяться и на то, что с «хвостами» в красной и ИК областях спектра, которые светофильтр пропустит, справится фотокатод ЭОП.

В интернете нашли солнечно-слепой фильтр с плотностью 10,
НО ИЗГОТОВИТЕЛЬ НЕ ОТВЕЧАЕТ НА НАШИ ЗАПРОСЫ

USA: **Barr Associates, Inc.**

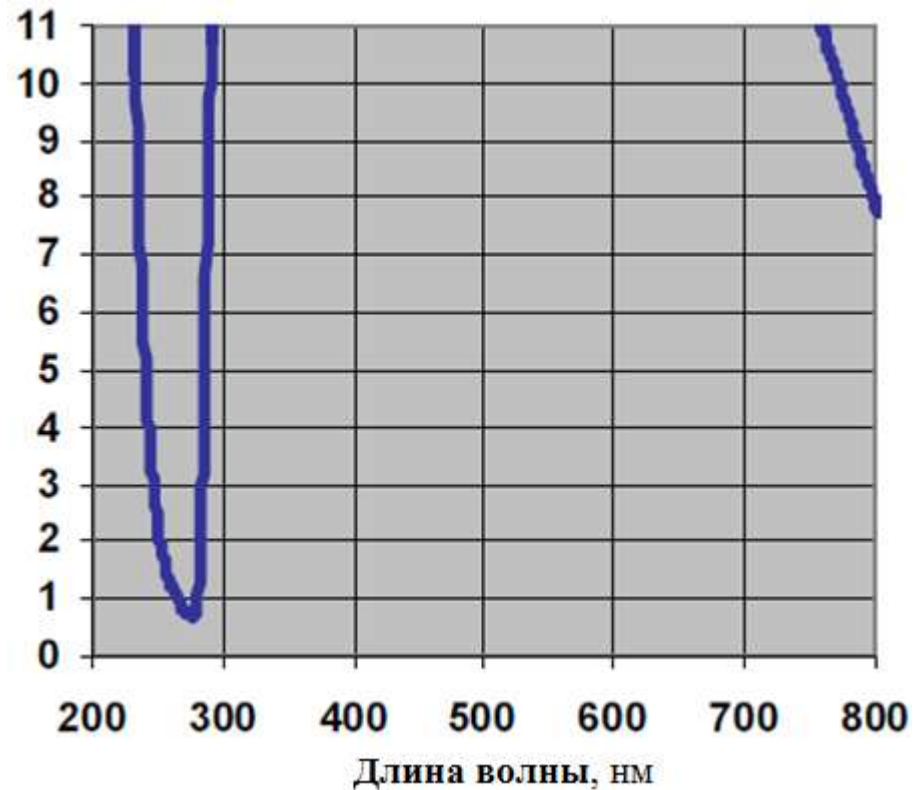
e-mail: barr@barrassociates.com

Website: www.barrassociates.com

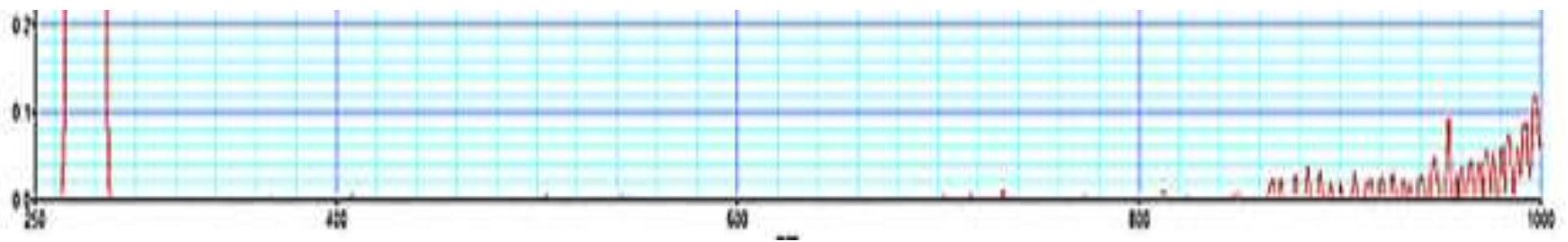
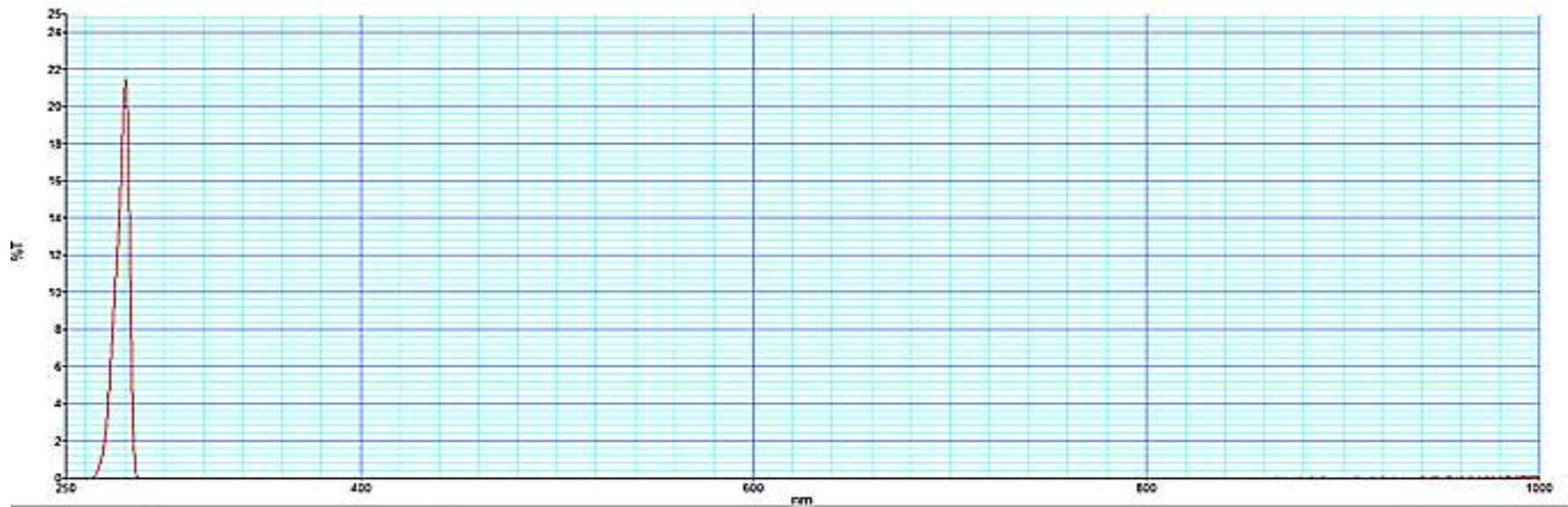


Полоса пропускания

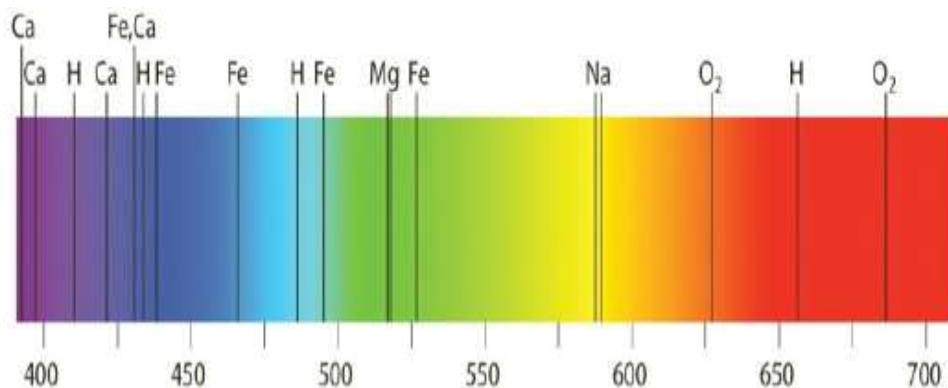
Оптическая плотность



Пропускание солнечно-слепого светофильтра перспективной отечественной разработки



Идея УФД, работающего на линиях поглощения солнечного света верхними слоями собственной атмосферы
 Фраунгоферовы линии были открыты англичанином Волластоуном, 1802 г., и, независимо от него, немцем Фраунгофером, 1814 г.



Спектр солнечного излучения с ФЛ

Тест	$\Delta\lambda_{сф}$, нм	λ_0 , нм	С/Ш
Фильтр в MatLab	0.05	357.558	2.121
Серийный СФ	0.3	357.455	0.0031
Серийный СФ	0.3	397.37	0.0026

Результаты расчётов и опытов

$\lambda_{ФЛ}$, нм	$\Delta\lambda$, нм	$\lambda_{КР}$, нм
357.0134	0.1380	357.583
358.1209	0.2144	358.472
393.3682	2.0253	393.148
396.8492	1.5467	396.805

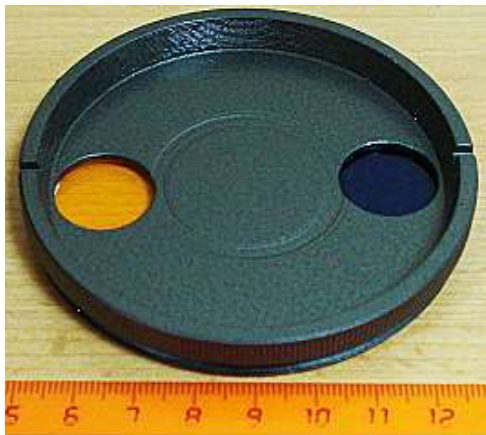
Сравнение ФЛ и пиков короны

Вывод: идея блестящая, но реально невыполнимая

Аксессуары (на примере УФД «Ф-6»)



Спектродиспергирующий светофильтр – особая опция УФД «Ф-6». Позволяет оценивать степень загрязнения (см. лекцию № 5 по методикам)



Аксессуары (перечень)

Спектродиспергирующий светофильтр

Бленда –насадка на входной объектив, позволяющая бороться с ненужными бликами

Наглазник на окуляр – мягкая резиновая насадка на окуляр, защищающая глаз от боковых засветок и от касаний окуляра

Адаптер – узел для установки цифровой камеры

Лазерный прицел (лазерная указка) – нужна при работе в сумерки для правильного выбора объекта наблюдения

Ручка – необходима при работе « с руки»

Видоискатель для камеры Sony A7 – удобный заменитель окуляра и наглазника



Цифровые камеры

Если в составе УФД нет ССД-камеры, то наиболее рационально для записи наблюдаемых разрядных явлений на экране ЭОП использовать цифровые камеры. Вследствие конъюнктуры рынок цифровой техники менялся почти ежегодно. Поэтому в УФД «Ф-6» применялись несколько типов камер, пока мы не поняли, что надо остановиться на той, что, пусть дороже, но остаётся в продаже годы. Одна из них - **SONY ILCE-6000**



Она имеет необходимые для УФ-инспекции свойства:

- ручные установки экспозиции и светосилы,
- две скорости видеосъёмки (25 и 50 к/с)
- запись речевого комментария