

В. Л. ГИНЗБУРГ

С В Е Т О Ф И Л Ь Т Р Ы

ОНТИ • НКТП • СССР • 1936

В. Л. ГИНЗБУРГ

С В Е Т О Ф И Л Ь Т Р Ы

ОБЪЕДИНЕННОЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО НКТП СССР

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И НОМОГРАФИИ

МОСКВА 1936 ЛЕНИНГРАД

Редактор *А. Б. Якобсон.*

Техн. редактор *В. Ф. Зазульская.*

Изд. № 13. Тираж 3.000. Сдано в набор 17/II 1936 г. Подл. в печ. 17/VII 1936 г.
Формат бумаги 82×110 . Уч.-авт. л. 6,2. Бум. лист. $1\frac{3}{4}$. Печ. зн. в бум.
листе 146.000. Заказ № 325. Уполном. Главл. № В-43253. Выход в свет
октябрь 1936 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Техника физического эксперимента усложняется с каждым днем: вводятся новые методы исследования и совершенствуется аппаратура. Всякий новый метод требует длинного пути овладения им, и было бы нецелесообразно заставлять каждую лабораторию проделывать этот путь сызнова, от начала до конца. Справочники, построенные на практике работы многих лабораторий, оказывают большую помощь, сокращая этот путь. Особенно острая нужда в такого рода справочниках испытывается теперь, когда бурно растут научно-исследовательские и производственные лаборатории в нашем Союзе, вбирающие в себя все новые кадры молодых научных работников.

Наша справочная литература обогатилась за последние годы рядом книг, начиная с такой, как „Техника физического эксперимента“ (под редакцией акад.-А. Ф. Иоффе), ставшей настольной книгой в каждой лаборатории, и кончая рядом других („Лабораторная техника“ Ангерера и др.).

Наряду с такого рода общими справочниками практика требует отраслевых, менее широких, но более детальных в своей области руководства (например „Техника высокого вакуума“ Дюнуайе, „Научная фотография“ Ангерера и т. п.).

Необходимость применения светофильтров встречается в работе самых различных научно-исследовательских институтов и лабораторий. За последние же годы, в связи с быстрым развитием оптической и кинофотопромышленности, интерес к светофильтрам особенно повысился. Вместе с тем далеко не все лаборатории владеют техникой их изготовления.

Недостаточность литературы по этому вопросу на русском языке и привела к мысли о создании предлагаемого справочника по светофильтрам.

В этой книге, кроме литературных данных, широко использованы еще неопубликованные материалы Государственного оптического института, являющегося пионером у нас в Союзе в деле организации научно-исследовательской работы по светофильтрам, а также материалы автора.

Чисто справочной части предпослана небольшая теоретическая часть (первые главы), рассчитанная на студентов физического

факультетов и даже лиц со средним образованием, но с некоторой практикой лабораторной работы в области оптики или близкой с ней. Эта часть вряд ли может представить интерес для квалифицированного физика.

Книга не претендует на полноту, в ней недостаточно полно представлены ультрафиолетовые и инфракрасные фильтры, так как основной ее задачей было собрать материал по светофильтрам в собственном смысле слова.

За предоставление материалов Государственного оптического института и ряд ценных указаний автор выражает глубокую благодарность научному сотруднику этого института К. А. Вентману. За помощь в разработке ряда светофильтров автор благодарит б. сотрудника Световакуумтехнического отдела ВЭИ Б. Ю. Левина.

В. Гинзбург.

ВВЕДЕНИЕ

В лабораторной практике очень часто встречается необходимость в изменении спектрального состава излучения источников света. Цели при этом могут быть самые различные: получение монохроматических пучков света, устранение мешающих участков спектра (например, сине-зеленой части при проявлении фотоэмульсий), плавное изменение спектральной кривой распределения энергии источника (например, „дневной“ фильтр для приравнивания цветной температуры ламп накаливания дневному свету) и многие другие. В некоторых случаях достигнуть нужного изменения спектрального состава можно только методом фильтрации излучения источника в аппарате, имеющем избирательное пропускание по спектру. Такой аппарат носит название спектрального фильтра. В тех случаях, когда речь идет об изменении видимого излучения источника света, спектральные фильтры носят название светофильтров.

Для получения избирательного пропускания можно пользоваться различными явлениями: *избирательным поглощением*, в собственном смысле этого слова, *избирательным рассеянием*, *вращательной дисперсией* и т. д. Наибольшее распространение имеют поглощающие, *абсорбционные* светофильтры. Это объясняется тем, что разнообразие кривых поглощения различных веществ чрезвычайно велико, благодаря чему путем их комбинирования можно получить светофильтр, достаточно близкий почти к любой заранее выбранной кривой спектрального пропускания.

В главах I и II этой книжки мы разбираем физическую природу различных типов светофильтров, а в последующих главах приводим способы приготовления и рецептуру светофильтров для различных целей.

Глава I

АБСОРБЦИОННЫЕ СВЕТОФИЛЬТРЫ

§ 1. Абсорбция

Всякое вещество мы, по современным воззрениям, считаем состоящим из отдельных частиц — *молекул*, которые состоят в свою очередь из атомов основных элементов.

Состояние вещества определяется величиной сил взаимодействия молекул. При очень больших силах взаимодействия, не позволяющих молекулам перемещаться друг относительно друга, вещество находится в *твердом* состоянии. В *жидкости* эти силы слабее и позволяют одним молекулам легко передвигаться по отношению к другим. Наконец, когда силы взаимодействия весьма малы (или почти отсутствуют) и молекулы могут свободно двигаться, изменяя скорость и направление движения только от взаимных столкновений, вещество находится в *газообразном* состоянии. Кроме молекул, представляющих собой часто сложные образования из атомов, в каждом веществе присутствуют электроны, не входящие в состав атомов, — так называемые *свободные* электроны. Для твердого вещества эти свободные электроны аналогичны своего рода газу, находящемуся внутри твердой молекулярной решетки вещества. Под действием сил электронный газ может перемещаться внутри вещества. Так как электронный газ состоит из отрицательно заряженных частиц, то его перемещение может вызвать электрическое поле внутри вещества. Мы сказали, что в веществе всегда присутствуют свободные электроны, но в некоторых веществах число их столь мало, что концентрация практически равна нулю. В других же, наоборот, их много, и они играют очень существенную роль в физических свойствах вещества. Нетрудно догадаться, что под второй группой веществ мы разумеем *проводники* электрического тока, в которых под действием электрического поля начинается перенос электронного газа от отрицательного полюса к положительному. Первая же группа, в которой свободные электроны отсутствуют и никакого тока в ней под действием поля образоваться не может, является группой *непроводников* — *диэлектриков*. Кроме такого „переносного“ движения под

действием постоянного электрического поля электроны могут притти в колебание под действием быстро-переменного электромагнитного поля. Таким быстро-переменным электромагнитным полем является, как известно, и свет. Поэтому, падая на вещество, свет приводит в колебание его электроны.

Но на электроны действуют силы, аналогичные трению (соударения и т. п.), и на преодоление этих сил затрачивается работа. При переносе электронов — электрическом токе — это сказывается в сопротивлении току и нагревании вещества; электромагнитная энергия превращается в тепловую.

Точно так же, при колебаниях электронов под действием быстро-переменного поля, часть энергии затрачивается на производство механической работы для преодоления этих сил.

Этим объясняется то, что металлы (являющиеся проводниками), чрезвычайно сильно *поглощают* свет, делаясь уже в очень малых толщинах (тысячные доли миллиметра) непрозрачными, диэлектрики же благодаря почти полному отсутствию свободных электронов мало поглощают свет, оставаясь прозрачными вплоть до очень больших толщин.

Мы видим таким образом, что электрические свойства вещества тесно связаны с его оптическими свойствами, что и необходимо было ожидать, рассматривая свет как электромагнитные колебания.

Молекулы вещества также не являются электрически нейтральными частицами, в них есть части — ионы, заряженные положительно и отрицательно.

Под действием постоянного электрического поля ионы в твердом веществе не могут притти в движение от одного полюса к другому, как это делают свободные электроны, из-за внутримолекулярных связей. Ионы могут только как бы слегка развинуться, образуя в молекуле двойной заряд или диполь, с электрическим моментом, который определенным образом ориентируется во внешнем поле. Такое состояние вещества называется, как известно, *электрической поляризацией*.

При действии быстро-переменного поля образующийся таким образом в молекуле диполь может притти в колебание. Различие между колебаниями внутримолекулярных осцилляторов (колебателей) и осцилляторов в виде свободных электронов состоит в следующем: связи, под действием которых находятся свободные электроны, не являются твердыми и не имеют какого-либо определенного постоянного значения в данном веществе; они могут принимать самые разнообразные значения для каждого электрона. Поэтому свободные электроны не имеют собственной частоты колебаний; их колебания всегда вынужденные, с частотой падающего излучения.

Поглощение света, обусловливаемое колебаниями свободных электронов, почти не зависит от частоты падающего излучения, т. е. *равномерно по всему спектру*. Связи, наложенные на внутримолекулярные осцилляторы, наоборот, совершенно твердые и строго определяются структурой и состоянием молекулы данного вещества. Эти осцилляторы, благодаря наличию твердых связей, имеют и вполне определенные собственные частоты колебаний.

На основании этих соображений, абсорбция, обусловливаемая колебаниями внутримолекулярных осцилляторов, должна иметь характер *отдельных полос*, вид которых совершенно таков же, как вид резонансных кривых всяких резонаторов. Изучение экспериментально получаемых спектров абсорбции, подтверждая эту точку зрения, показывает, что природа резонаторов, колебаниям которых обязано появление абсорбционных полос, различна в разных случаях: иногда это атомные электроны, в иных случаях такими резонаторами могут быть атомы, колеблющиеся внутри молекул, и, наконец, возможен третий случай, когда резонаторами являются сами молекулы. К последнему, третьему, случаю молекулярных колебаний принадлежит большинство абсорбционных полос различных веществ, лежащих в области инфракрасного спектра.

В большинстве веществ, имеющих полосы поглощения в ультрафиолетовой и видимой областях, эти полосы объясняются резонансными колебаниями электронов, колеблющихся внутри молекул. К таким веществам принадлежат растворы красок и солей металлов, имеющие полосы поглощения в большинстве случаев в видимом и ультрафиолетовом спектрах.

Как известно, ширина резонансной кривой определяется затуханием осциллятора. Благодаря тому, что и при колебаниях внутримолекулярных осцилляторов действуют силы, увеличивающие затухание (играющие роль силы трения в уравнении колебания), резонансные полосы этих осцилляторов расширяются. Например, в случае жидкости, благодаря тепловому движению молекул, в ней часты столкновения между молекулами красящего вещества — внутри которых находятся возбужденные осцилляторы — и молекулами растворителя. При этом энергия колебаний возбужденной молекулы переходит в кинетическую энергию, т. е. в тепло, повышая температуру жидкости. Соударения такого типа — гасящие колебания — принято называть *ударами второго рода*, в отличие от ударов *первого рода*, когда кинетическая энергия удара создает возбуждение осциллятора. Удары второго рода сокращают срок жизни возбужденных молекул и тем самым, как мы уже говорили, весьма увеличивают затухание осцилляторов, что приводит к расширению их резонансных кривых.

В каждой молекуле, а особенно в тяжелых сложных молекулах органических красок, имеется ряд осцилляторов, каждый из которых имеет свою частоту колебаний, определяемую внутримолекулярными связями, несколько отличную от частоты других осцилляторов. Таким образом для данной молекулы получается целый ряд резонансных кривых, образующих в совокупности полосу абсорбции, граница которой представляет собой огибающую всего семейства резонансных кривых.

Изучение спектров поглощения растворов красок, кроме естественного практического значения, имеет весьма большой теоретический интерес, так как дает экспериментальный материал для проверки теории абсорбции и внесения в нее необходимых поправок.

Абсорбция в каждом веществе неразрывно связана с его *дисперсией* — изменением показателя преломления с длиной волны. Дисперсию принято разбивать на две области: область *нормальной дисперсии*, где показатель преломления убывает с увеличением длины волны, и область *аномальной дисперсии*, представляющую собой более или менее узкую полосу спектра, в которой показатель преломления растет с длиной волны.

В области нормальной дисперсии абсорбция невелика, и вещество остается прозрачным, вплоть до весьма больших толщин. С полосой же аномальной дисперсии как раз совпадают абсорбционные полосы, образуемые благодаря колебаниям внутримолекулярных осцилляторов.

На рис. 1 показано совпадение этих полос: кривая 1 изображает дисперсию, кривая 2 — абсорбцию. По оси ординат для кривой 1 отложены величины, пропорциональные показателю преломления, а для второй кривой — величины, пропорциональные показателю абсорбции (будет объяснен ниже). Область $M-N$ представляет одновременно абсорбционную полосу (на кривой 2) и область аномальной дисперсии (на кривой 1).

Как мы сказали, в области абсорбционной полосы изменение претерпевают две величины, характеризующие вещество, — показатель абсорбции и показатель преломления. Это сильно затрудняет рассмотрение явления. Исключения составляют растворы различных

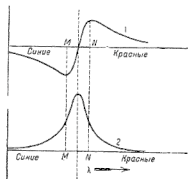


Рис. 1. Кривые дисперсии и абсорбции.

красящих веществ. В них наряду с присутствием резких абсорбционных полос, т. е. сильным изменением константы абсорбции, показатель преломления, благодаря малому количеству молекул красящего вещества по отношению к количеству растворителя, изменяется столь мало, что может считаться постоянным. Поэтому весьма часто при изучении абсорбции и прибегают именно к растворам органических красок.

§ 2. Закон зависимости абсорбции от толщины слоя

Рассмотрим какую-либо прозрачную среду и попробуем подсчитать пропускание этой среды при разных толщинах.

Пусть (рис. 2) на эту среду падает пучок монохроматического света с длиной волны λ^1 , и пусть пропускание слоя этой среды



Рис. 2. К выводу закона поглощения.

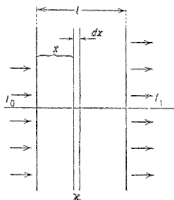


Рис. 3. К выводу закона поглощения.

толщиной в 1 см для света этой длины волны равно t_{λ} . Пропусканием, или прозрачностью, принято называть отношение энергии прошедшего пучка света I_1 к энергии падающего I_0 . Если энергию падающего пучка мы положим $I_0 = 1$, то энергия пучка,

¹ Под монохроматическим пучком света мы здесь и всюду дальше будем понимать не идеальную бесконечно узкую спектральную линию (реальные линии в спектрах имеют конечную ширину и, строго говоря, не являются монохроматическими), а пучок света, имеющий конечную спектральную ширину. Длиной волны такого пучка мы будем называть его среднюю длину волны.

прошедшего 1 см среды, будет t_λ . Второй сантиметр пропустит

$$t_\lambda \cdot t_\lambda = t_\lambda^2,$$

третий пропустит

$$t_\lambda \cdot t_\lambda^2 = t_\lambda^3 \quad \text{и т. д.}$$

Таким образом через среду толщиной l см пройдет t_λ^l (при энергии падающего $I_0 = 1$), и пропускание такой среды T_λ для света с длиной волны λ будет равно:

$$T_\lambda = t_\lambda^l. \quad (1)$$

Формула (1) называется *формулой Бугэ*¹, она была выведена им около 1720 г.

Закон поглощения в формуле Бугэ выражает пропускание среды через коэффициент пропускания единицы толщины среды t_λ . Мы приведем еще другой вывод, кладущий в основу так называемое удельное поглощение (или удельное погашение), — это величина, очень тесно связанная с остальными оптическими постоянными среды: показателем преломления и др.

Выделим в поглощающей среде (рис. 3) на глубине x бесконечно тонкий слой толщиной dx , т. е. слой, в пределах которого мы можем пренебречь изменением светового потока и считать его постоянным. До этого слоя доходит монохроматический световой поток с длиной волны λ . Световой поток, который поглощается этим слоем, обозначим через dI_x ; он пропорционален падающему на слой световому потоку I_x и толщине слоя dx :

$$dI_x = -\kappa_\lambda \cdot I_x dx. \quad (2)$$

Коэффициент пропорциональности κ_λ называется показателем удельного погашения света; для данной длины волны — это постоянная, характеризующая вещество. Знак минус перед правой частью входит благодаря тому, что мы написали выражение для *поглощенной* части светового потока, т. е. величину, вычитающуюся из падающего потока I_x . Полное поглощение средой толщины l мы получим, если проинтегрируем (2) по всей толщине:

$$\int_{I_0}^{I_l} \frac{dI_x}{I_x} = -\kappa_\lambda \int_0^l dx,$$

I_l — значение светового потока на нижней границе или, что то же, световой поток, выходящий из среды.

¹ Bouguer — французский физик, основатель современной фотометрии.

Взяв интеграл и подставив пределы, будем иметь:

$$\ln I_1 - \ln I_0 = -\kappa_\lambda l$$

или

$$\ln \frac{I_1}{I_0} = -\kappa_\lambda l.$$

В левой части мы имеем $\ln \frac{I_1}{I_0}$, но $\frac{I_1}{I_0}$ есть отношение выходящего светового потока к падающему, т. е. пропускание T_λ рассматриваемой среды.

Поэтому можно написать:

$$\ln \frac{I_1}{I_0} = \ln T_\lambda = -\kappa_\lambda l, \quad (3)$$

или

$$T_\lambda = e^{-\kappa_\lambda l}. \quad (4)$$

Формула (4) выражает закон поглощения в иной, часто более удобной форме, чем (1), ибо она непосредственно содержит физические характеристики вещества. Нетрудно показать, что она следует из электромагнитной теории света.

Из формулы (4) легко получается формула (1). Действительно, если в (3) положить $l = 1$ см, то тогда $T_\lambda = t_\lambda$ — пропусканию слоя 1 см толщиной, и

$$\kappa_\lambda = -\ln t_\lambda. \quad (5)$$

Подставив выражение κ_λ в (3), имеем:

$$\ln T_\lambda = l \ln t_\lambda$$

и, следовательно, (1):

$$T_\lambda = t_\lambda^l.$$

Выражение (5) позволяет дать следующее определение κ_λ : показатель удельного погашения света равен обратному логарифму пропускания слоя среды толщиной в 1 см.

Обычно для удобства формулу (4) пишут не в натуральных логарифмах, а в десятичных:

$$T_\lambda = 10^{-k_\lambda l}, \quad (6)$$

где $k_\lambda = M_{\kappa_\lambda}$ ($M = 0,4343$ — модуль перехода). В этой формуле k_λ называется *показателем удельного поглощения*.

Произведение $k_{\lambda} l$ называют *оптической плотностью* среды — D (density).

$$\lg T_{\lambda} = -D,$$

а величину, обратную пропусканию, — *непрозрачностью* O_{λ} (opacity).

В том случае, когда среда является раствором какой-либо краски, константа k_{λ} относится не только к единичной толщине слоя, но, как предложил Бер, и к единичной концентрации c красящего вещества в растворителе (в г/см³); концентрация входит так же, как толщина слоя. Для жидкого светофильтра формула (6) примет вид:

$$T_{\lambda} = 10^{-k_{\lambda} c l}. \quad (7)$$

Эта формула носит название формулы Бера.

Немецкий физик Гюбль (А. Hübl), очень много работавший по светофильтрам, предложил измерять концентрацию не в г/см³, а относить ее к единице поверхности светофильтра. Благодаря введению такой поверхностной концентрации из формулы (6) исключится толщина среды. Измеряется поверхностная концентрация в граммах на единицу поверхности светофильтра. Кенигом предложена единица для измерения поверхности концентрации: 1 Н (Hüble¹), равная 1 г краски на 1 м² светофильтра.

Уравнение (7) в форме Гюбля примет вид:

$$T_{\lambda} = 10^{-k_{\lambda} N}, \quad (8)$$

где N — поверхностная концентрация в Н (гюблях).

Зависимость k_{λ} от λ [$k(\lambda)$] определяется молекулярным спектром вещества, т. е. собственными частотами его молекул. Для ряда веществ, применяемых в качестве светофильтров, имеющих более простые молекулы, можно теоретически вычислить собственные частоты, а следовательно, и $k(\lambda)$. Но по ряду причин это возможно лишь приближенно и сопряжено с большими математическими трудностями. Поэтому обычно экспериментально определяют значения k_{λ} для различных длин волн и характеризуют вещество не формулой, а экспериментальной кривой $k(\lambda)$ или $T(\lambda)$.

Для практических целей значительно удобнее изображать поглощающие свойства вещества не кривой $T(\lambda)$, а кривой $D(\lambda)$, так как $D(\lambda)$ является аддитивной функцией толщины светофильтра, концентрации и удельного поглощения. Так, например, при склады-

¹ В честь Гюбля.

вании двух светофильтров с оптическими плотностями D_1 и D_2 суммарная оптическая плотность $D = D_1 + D_2$; при смешении нескольких хорошо смешивающихся (не вступающих в реакцию и не дающих осадка) красителей в концентрациях N_1, N_2, N_3 , и т. д., с удельными поглощениями, соответственно, $k_{\lambda_1}, k_{\lambda_2}, k_{\lambda_3}$, и т. д., оптическая плотность получаемого светофильтра вычисляется весьма просто:

$$D(\lambda) = N_1 k_{\lambda_1} + N_2 k_{\lambda_2} + \dots$$

Поэтому, имея спектральные кривые красок, построенные в виде функции $D(\lambda)$, чрезвычайно просто рассчитать светофильтр с заданной кривой пропускания, предварительно построив кривую распределения его оптических плотностей по спектру. Имея же спектральные кривые красок в виде $T(\lambda)$, комбинировать краски затруднительно, так как для всякой длины волны приходилось бы делать довольно сложный расчет.

§ 3. Коэффициент полезного действия светофильтра

Под *коэффициентом полезного действия (КПД)* светофильтра понимают отношение пропускаемого им светового потока ко всему падающему на него световому потоку. Иначе говоря, *КПД* есть общее интегральное (неспектральное) пропускание светофильтра. Совершенно ясно, что *КПД* светофильтра зависит не только от спектрального пропускания светофильтра, но и от спектрального распределения энергии источника, свет от которого проходит через светофильтр. Возьмем, например, красный светофильтр, свободно пропускающий красные лучи и совершенно поглощающий все остальные. Для источника света, излучение которого полностью состоит из красных лучей, *КПД*, или суммарное пропускание светофильтра, будет равен единице, так как он ничего не задержит. Напротив, для другого источника света, в световом потоке которого отсутствуют красные лучи, *КПД*, суммарное пропускание светофильтра, будет равен нулю. Падающий на светофильтр световой поток Φ по определению равен интегралу от 0 до $+\infty$ от произведения видимости (задается кривой спектральной чувствительности глаза) $V(\lambda)$ на спектральное распределение источника $E(\lambda)$, т. е.

$$\Phi = \int_0^{\infty} V_{\lambda} E_{\lambda} d\lambda. \quad (1)$$

Для каждой длины волны λ светофильтр имеет пропускание T_λ , а так как падающий световой поток с этой длиной волны равен $V_\lambda E_\lambda d\lambda$, то пропущенный им поток будет равен $T_\lambda V_\lambda E_\lambda d\lambda$; таким образом весь пропущенный светофильтром световой поток выразится так:

$$\Phi' = \int_0^\infty T_\lambda V_\lambda E_\lambda d\lambda. \quad (2)$$

А так как *КПД* или *интегральное* пропускание мы определили как $\frac{\Phi'}{\Phi}$, то

$$\tau = \frac{\Phi'}{\Phi} = \frac{\int_0^\infty T_\lambda V_\lambda E_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty V_\lambda E_\lambda d\lambda}. \quad (3)$$

Так как эти интегралы аналитически не берутся, то на практике вычисление проводится графическим интегрированием. Данные для E_λ и V_λ берутся из таблиц (или E_λ промеряется) и для каждой длины волны вычисляются произведения $V_\lambda E_\lambda$ и $T_\lambda V_\lambda E_\lambda$, затем кривые $VE(\lambda)$ и $TVE(\lambda)$ строятся в одинаковом масштабе. Площади построенных кривых, которые как раз равны Φ и Φ' , определяются планиметром или же кривые вычерчиваются на миллиметровой бумаге, и тогда площадь подсчитывается непосредственно. В нижеприведенной таблице (табл. 1) мы помещаем данные для видимости V_λ и произведения $V_\lambda E_\lambda$ для температурного излучения при температурах 5000°K (дневной свет) и 2600°K (средняя температура ламп накаливания). Подробные данные E_λ для температурного излучения при разных температурах можно найти в „Справочнике физико-технических величин технической энциклопедии“, т. IX, или вычислить по формуле Вина или Планка. Для других источников света E_λ необходимо либо промерять, либо находить в специальных работах.

В случае, когда вместо глаза употребляется другой приемник (фотопластинка, фотозлемент и пр.) *КПД* фильтра вычисляется по формуле, аналогичной формуле (3), в которой только видимость V_λ заменена спектральной чувствительностью приемника.

Таблица 1

λ в μ	V_{λ} в %	V_{λ} ЕД для:	
		$T_{\text{цв}} = 2600^{\circ}\text{K}$	$T_{\text{цв}} = 5000^{\circ}\text{K}$
430	1,16	0,21	0,94
440	2,3	0,48	1,89
450	3,8	0,97	3,25
460	6,0	1,83	5,26
470	9,1	3,18	8,22
480	13,9	5,6	12,8
490	20,8	9,6	19,6
500	32,3	16,9	30,8
510	50,3	29,4	48,9
520	71,0	46,6	69,7
530	86,2	62,5	85,4
540	95,4	76,3	94,9
550	99,5	87,8	99,8
560	99,5	96,0	100,0
570	95,2	100,0	95,8
580	87,0	98,9	86,7
590	75,7	92,6	76,1
600	63,1	83,3	63,5
610	50,3	70,9	50,4
620	38,1	57,1	38,7
630	26,5	42,3	26,3
640	17,5	29,6	16,9
650	10,7	19,2	10,4
660	6,1	11,6	5,95
670	3,2	6,33	3,23
680	1,7	3,53	1,61
690	0,82	1,75	0,75

ЛИТЕРАТУРА

1. О. Д. Хвольсон, Курс физики, т. II, Берлин 1923.
2. П. Друде, Оптика, Москва 1935.
3. P. Drude, *Précis d'optique*, vol. II, Paris 1912.
4. Brühl, *Cours d'optique*, Paris 1933.
5. Т. П. Кравец, Изучение абсорбции растворов красок, Москва 1912.

Глава II

НЕАБСОРБЦИОННЫЕ СВЕТОФИЛЬТРЫ

§ 1. Светофильтры, основанные на явлении многократного рассеяния

В среде, однородной во всех частях по показателю преломления, световой поток проходит лишь частично поглощаясь. Лучистая энергия переходит в тепловую, увеличивая температуру среды. Никаких других потерь проходящий поток не испытывает.

Если в среде имеются местные изменения показателя преломления, то проходящий поток, отражаясь на каждом из них, будет частично *рассеиваться*. Чем сильнее разница между показателями преломления среды и этих местных центров, тем сильнее они отражают, т. е. тем большую часть энергии теряет на рассеянии проходящий световой поток.

Пользуясь этим явлением, можно приготовить светофильтр. Мы рассмотрим сейчас два типа *рассеивающих светофильтров*, соответствующих двум случаям рассеяния.

А. Рассеяние по Рэлею и Ми

Если диаметр рассеивающих центров может быть сравним с длиной волны или меньше ее, то рассеивающие свойства частиц сильно зависят от длины волны падающего на них светового потока.

Такое рассеяние называется рэлеевским и наблюдается в земной атмосфере. Чем больше диаметр частиц, тем слабее зависит рассеивание от длины волны. Приближенно закон рассеяния для больших частиц может быть выражен формулой $-\frac{N}{\lambda^n}$, где n — положительное число, принимающее различные значения в зависимости от размера частиц.

На рис. 4 показана кривая рассеяния света коллоидным раствором золота.

Такую же среду представляет собой всем известное молочное стекло, в массу которого вкраплены частицы размером $1,0-1,5 \mu$.

т. е. $2-3\lambda$. Показатель преломления этих частиц на $10-20\%$ отличается от показателя преломления основного стекла. Такие частицы рассеивают свет обратно пропорционально квадрату длины волны ($n=2$). Можно подобрать пластинку молочного стекла такой толщины, что нить лампы сквозь него будет казаться красной.

Главный и основной недостаток таких светофильтров, делающий их практически весьма мало пригодными, заключается в очень малом их общем пропускании. Приведенные выше формулы показывают, что кривая зависимости коэффициента пропускания по спектру идет довольно полого. Поэтому, для того чтобы получить большое поглощение в той области спектра, которую необходимо отделить, приходится брать достаточно толстую среду. Тем самым пропускание в той спектральной области, которую нужно пропустить, получается также весьма малым (доли процента).

Представим себе среду с вкрапленными в нее частицами, у которых показатель преломления для какой-то одной длины волны λ_0 совпадает с показателем преломления среды, для всех же других длин волн показатели преломления разнятся. Лучи света с длиной волны λ_0 из проходящего через среду потока пройдут, не претерпевая изменений, все же остальные лучи рассеются в стороны. В проходящем свете такая среда будет окрашена в цвет, соответствующий длине волны λ_0 .

Такие светофильтры нетрудно изготовить в лаборатории. Впервые предложены они были Христиансенем и названы им благодаря своим свойствам — хорошо пропускать спектрально-узкий пучок лучей, задерживая все остальные, — монохромами. Основаны они на том, что в природе не существует двух веществ с одинаковыми дисперсиями; поэтому, если выбрать два вещества, твердое тело и жидкость, так, чтобы для одной заданной длины волны λ_0 их показатели преломления совпадали, можно быть уверенным, что для всех соседних длин волн они будут разниться и тем больше, чем дальше данная спектральная область от области с длиной волны λ_0 .

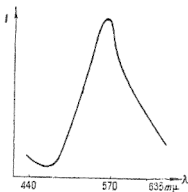


Рис. 4. Рассеяние света коллоидным раствором золота.

На рис. 5 приведены дисперсионные кривые для стекла «крона» и бензола при $T = 8^\circ \text{C}$. Жидкость выбрана так, что $n_{\text{стекла}} - n_{\text{жидкости}} = 0$ при $\lambda = 485 \text{ мк}$. Рассеивающая способность пропорциональна (приблизительно)

$$\left(\frac{n_{\text{стекла}}}{n_{\text{жидкости}}} - 1 \right)^2,$$

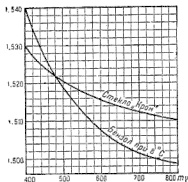


Рис. 5. Кривые дисперсии стекла и бензола.

поэтому все остальные лучи будут очень сильно рассеиваться, и светофильтр будет весьма монохроматичен. Необходимо лишь отметить, что такие рассеивающие светофильтры, как и светофильтры первого рода, надо употреблять в условиях, устраняющих действие рассеиваемого ими света. Для этого их либо ставят на большом расстоянии от наблюдателя, либо употребляют в установке, изображенной на рис. 6, что дает гораздо лучшие результаты.

Линза A дает изображение лампы L в L_1 , монохром M ставится весьма близко от линзы; тогда лучи, рассеиваемые монохромом, не будут сфокусированы линзой, лучи же от лампы, проходящие сквозь монохром без рассеяния, образуют в L_1 окрашенное в соответствующий цвет изображение, которое можно в дальнейшем использовать как вторичный источник, срезав остальные лучи диафрагмой.

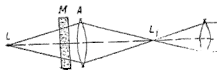


Рис. 6. Схема установки с фильтром Христиансена.

Фильтр такого типа для ультрафиолетовых лучей, разработанный Коном и Фрагштейном, описан в главе VI.

§ 2. Светофильтры, основанные на вращательной дисперсии

Еще Араго заметил, что вращение плоскости поляризации в кварце связано с окрашиванием проходящего света. Био показал, что угол поворота плоскости поляризации зависит от длины волны

(вращательная дисперсия) и дал приближенную формулу; закон Био выражается так¹:

$$\alpha = \frac{A}{\lambda^2},$$

где A — постоянная.

Таким образом если между скрещенными николями поместить пластинку кварца так, чтобы свет распространялся вдоль оптической оси, то благодаря различному повороту для лучей различной длины волны падающий на систему пучок белого света выйдет из второго николя окрашенным.

Сделав пластинку кварца в виде клина и перемещая ее на пути хода лучей, можно непрерывно изменять цвет выходящего из системы света (рис. 7). В этом большое удобство такого типа светофильтра.

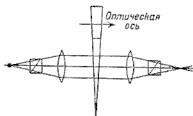


Рис. 7. Схема фильтра вращательной дисперсии.

При толщине кварца в 1 мм луч с длиной волны $\lambda = 7594 \text{ \AA}$ поворачивается на $\alpha = 12^\circ, 65$, а луч с $\lambda = 4308 \text{ \AA}$ — на $42^\circ, 59$; при толщине пластинки в 1 см углы увеличиваются в 10 раз.

§ 3. Светофильтр Вуда

На принципе вращательной дисперсии можно построить светофильтр, который будет разделять две чрезвычайно близкие области спектра, например две линии натрия, D_1 и D_2 с длинами волн $5890 \text{ \AA}$ и $5896 \text{ \AA}$. Но при этом пришлось бы взять пластинку слишком большой толщины, около 1800 мм^2 . Вуд, воспользовавшись дисперсией двойного лучепреломления в кварце, построил такой светофильтр, в котором можно разделить две чрезвычайно близкие спектральные области при значительно меньшей толщине кварца.

¹ Закон Био достаточно хорошо описывает явление, когда λ далеко от собственных полос поглощения вещества. Лоури и Кед-Адамс дали точную формулу для вращательной дисперсии кварца, имеющую следующий вид

$$\alpha = \frac{9,5439}{\lambda^2 - 0,0127493} - \frac{2,3113}{\lambda^2 - 0,000974} - 0,1905.$$

² Дисперсией двойного лучепреломления называется зависимость двойного лучепреломления — разности показателей преломления для обыкновенного и необыкновенного луча — от длины волны.

Схема этого светофильтра изображена на рис. 8. Пластина кварца также стоит между двумя николями, но ее оптическая ось перпендикулярна ходу луча света. При таком расположении линейно поляризованный пучок, пройдя кварц, выйдет эллиптически поляризованным. В частности, толщину кварца можно подобрать так, чтобы разность фаз для луча с определенной длиной волны λ была равна $\frac{\pi}{2}$ и пучок вышел опять линейно поляризованным (так как линейная поляризация есть частный случай эллиптической).

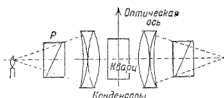


Рис. 8. Схема фильтра Вуда.

Благодаря дисперсии двойного лучепреломления для другой длины волны разность фаз будет иметь другое значение. Толщину кварца опять-таки можно подобрать так, чтобы для области с длиной волны λ_2 , которую необходимо отделить от первой, эллиптическая

поляризация опять превращалась (или почти превращалась с той или иной степенью точности) в линейную, но с направлением колебания, перпендикулярным пучку с длиной волны λ_1 .

Таким образом николю-анализатор при некотором своем положении пропустит одну область, например с длиной волны λ_1 , и не пропустит (или почти не пропустит) вторую с длиной λ_2 . Совершенно ясно, что это явление — полоса пропускания и полоса поглощения — будет повторяться вдоль всего спектра, который таким образом будет изрезан полосами поглощения. При этом при повороте николя-анализатора на 90° картина будет меняться на обратную: полоса поглощения будет превращаться в полосу пропускания, и наоборот. Для разделения двух линий натрия D_1 и D_2 с точностью до 1% достаточно пластинки кварца толщиной 32 мм.

§ 4. Фокальмонохроматор

Для полноты скажем несколько слов еще об одном светофильтре, основанном на хроматической аберрации линзы. Берется линза, обладающая большой хроматической аберрацией; у такой линзы положение фокуса для лучей различной длины волны будет различно (рис. 9). На оптической оси линзы в фокусе тех лучей, которые желательно оставить, ставится диафрагма. От всех лучей,

фокус которых находится в другом месте оптической оси, через диафрагму пройдет лишь малая часть, и поэтому прошедший через нее пучок будет более или менее монохроматичен. По существу

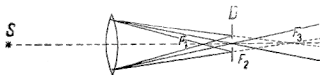


Рис. 9. Схема фокальномонокроматора.

светофильтр этого типа основан на дисперсии и должен быть отнесен к обычным дисперсионным монокроматорам, являясь их модификацией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Ведегерт, Оптические методы химии, Госхимтехиздат, 1933.
В главе о светофильтрах даны рецепты различных абсорбционных светофильтров и описание светофильтров иных типов: Вуда, Христиансена, фокальномонокроматор и др.
2. С. Christiansen, „Wied. Ann.“, 23, S. 298, 1884; „Wied. Ann.“, 24, S. 439, 1885.
Первое описание монокромов Христиансена (для видимой области).
3. F. Weigert und Stande, „Z. f. Chem.“, 130, S. 607, 1927.
Описание и рецептура христиансеновского монокроматора для видимой области.
4. H. Kohn und K. Fragstein, „Phys. Ztschr.“, 33, S. 929, 1932.
Подробное описание христиансеновского монокроматора для ультрафиолета, для области 300—400 мμ, выделяющего полосу по спектру в 10 мμ.

Глава III

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ СВЕТОФИЛЬТРОВ

(Спектрофотометрия.)

Методов измерения спектрального пропускания светофильтров весьма много. Все они сводятся к фотометрированию в различных частях спектра, поэтому такие измерения принято называть спектрофотометрическими.

Как и всякую фотометрию, спектрофотометрию разделяют на: 1) субъективную или визуальную, — в этом случае роль измеряющего аппарата играет человеческий глаз, — и 2) объективную, когда измерения производятся каким-либо прибором, независимо от наблюдателя. Мы опишем здесь основные методы субъективной и объективной спектрофотометрии.

§ 1. Субъективные спектрофотометры

А. Спектрофотометр Люммера-Бродхуна

Этот прибор чрезвычайно прост по идее (рис. 10). K_1 и K_2 — два коллиматора, дающие параллельные пучки лучей, которые падают на кубик Люммера-Бродхуна B . Кубик Люммера-Бродхуна образован из двух трехгранных прямоугольных призм, которые, будучи сложены большими боковыми гранями, составляют куб.

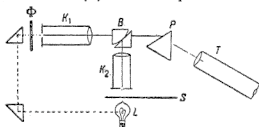


Рис. 10. Схема спектрофотометра Люммера-Бродхуна.

Грань одной из призм сошлифована с краев, так что она соприкасается с другой призмой в середине по окружности. Призмы сильно сжимаются так, что в месте соприкосновения получается оптический контакт, т. е. уничтожается оптическая граница. Таким об-

разом, лучи, проходящие через кубик, не испытывают преломления на границе раздела призм. Лучи, проходящие через кубик, попадают на призму P , которая направляет их в трубку T . В трубку T помещают наблюдателя, который наблюдает спектр.

разом пучок света, идущий сквозь кубик в направлении O_2 (рис. 11), пройдет прямо в направлении O_3 только в тех местах, где есть оптический контакт, остальная его часть отразится в сторону. Пучок, идущий в направлении O_1 , пройдет насквозь в местах оптического контакта, в тех же местах, где грань сошлифована, пучок, отразившись, повернется на 90° и пойдет также в направлении O_3 .

Наблюдатель, глаз которого помещен в O_3 , увидит поле зрения освещенным сразу двумя источниками, как это показано на рис. 12, *a*. Фотометрирование заключается в ослаблении светового потока одного из источников до тех пор, пока глаз не констатирует равномерность освещения по всему полю зрения. Точность

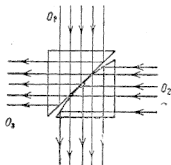


Рис. 11. Кубик спектрофотометра Люммера-Бродхуна.

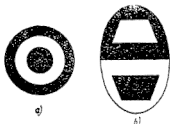


Рис. 12. *a* — вид поля кубика спектрофотометра Люммер-Бродхуна (один из источников света погашен), *b* — вид поля кубика спектрофотометра Люммера-Бродхуна (один из источников света погашен).

отдельного измерения при этом составляет около 3% . Для повышения точности измерений поверхность оптического контакта изменяется так, что поле зрения приобретает вид, показанный на рис. 12, *b*; при этом точность отдельного измерения определяется в $1,5—2\%$.

Из кубика (рис. 10) свет, состоящий из обоих пучков, попадает в дисперсионную призму P , где разлагается в спектр. Наблюдатель в зрительную трубу T , которую можно передвигать вдоль спектра, рассматривает поле кубика в различных цветах спектра. Источник света помещается в L , а лучи от него призмами или зеркалами направляются в оба коллиматора. На пути хода лучей перед одним коллиматором K_1 помещается излучаемый светофильтр Φ , перед другим K_2 — какое-либо приспособление, например быстро вращающийся диск с отверстием в виде сектора переменного раствора S , фотометрический клин или что-нибудь другое, позволяющее ослаблять пучок лучей от источника в коллиматоре K_2 в известное

число раз. Добиваясь равномерности поля зрения в трубе и измеряя, во сколько раз при этом ослаблен пучок, не проходящий сквозь светофильтр, мы получаем прямо коэффициент пропускания светофильтра для данного участка спектра. Заставляя попадать в трубу различные участки спектра и добиваясь всякий раз равномерности освещения поля зрения, мы получим коэффициенты пропускания светофильтра для разных длин волн.

Существенно отметить, что при измерении щели обоих коллиматоров должны быть одинаковы (или очень близки) по величине, так как в противном случае пучки, попадающие в зрительную трубу, будут иметь разную спектральную ширину, что приведет к ошибкам в измерениях.

В. Спектрофотометр Кенига-Мартенса

Ослабление одного из пучков света в спектрофотометре может быть достигнуто разными методами. Как мы видели выше, в спектрофотометре Люммер-Бродхуна для этой цели применяется вращающийся диск с отверстием в виде сектора переменной ширины, или фотометрический клин (описание фотометрического клина будет дано ниже). В спектрофотометре Кенига-Мартенса для этой цели использован поляризационный метод, основанный на том, что интенсивность проходящего через два поляризатора (поляризатор и анализатор) пучка света зависит от угла поворота анализатора по отношению к поляризатору. Схема этого спектрофотометра показана на рис. 13, *a* и 13, *b*. Щели S_1 и S_2 для двух пучков света, объектив O_1 и маленькая призма P_1 помещаются в горизонтальной трубе, затем стоит дисперсионная призма P , ребро которой горизонтально. В трубе помещены двоякопреломляющая призма Волластона W , бипризма B и объектив O_2 с маленькой призмой P_2 , затем стоит призма Николя A (анализатор), скрепленная с кругом, разделенным на градусы.

Наклонная труба может изменять свое положение с помощью микрометрического винта, передвигаясь тем самым по спектру.

Лучи от источника (рис. 13, *a*) разделяются щелями S_1 и S_2 на два пучка, которые разлагаются призмой P в спектр. Призма Волластона каждый из этих спектров разделяет на два, поляризуя их в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Бипризма B отклоняет оба правых пучка влево и оба левых вправо. Объектив и диафрагма оставляют затем лишь центральную часть, т. е. по одному из пучков с каждой стороны.

Нетрудно сообразить, что так как это — соседние пучки от каждого из основных, то они поляризованы взаимно перпендику-

лярно. Таким образом при некотором положении николя, когда он полностью пропускает один пучок, второй он не пропускает вовсе. При повороте его на 90° будет обратная картина.

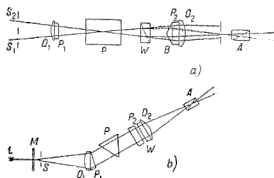


Рис. 13, *a*—схема спектрофотометра Кениг-Мартенса, *b* — схема спектрофотометра Кениг-Мартенса.

Круглое поле зрения спектрофотометра разделено гранью би-призмы на два, правая половина соответствует левой щели, левая — правой. Пусть интенсивность пучков, входящих в каждую щель, одинакова и равна I_0 , светофильтр, стоящий перед одной из щелей, пропускает некоторую долю от I_0 , равную I_1 . Амплитуды A_0 и A_1 , двух половин пучков I_0 и I_1 , после прохождения призмы Воластона направлены взаимно перпендикулярно. Когда поворотом николя получено равенство освещения обоих полей, это значит, что проекции амплитуд A_0 и A_1 на плоскость колебаний, пропускаемых николем, равны (рис. 14). При этом можно написать соотношение: проекция $A_0 \sin \varphi$ равна проекции A_0 , а так как интенсивность пропорциональна квадрату амплитуды, то

$$I_1 \cos^2 \varphi = I_0 \sin^2 \varphi,$$

откуда коэффициент пропускания светофильтра Φ :

$$T = \frac{I_1}{I_0} = \tan^2 \varphi,$$

или

$$T = \frac{I_1}{I_0} = \cot^2 \varphi^*,$$

если отсчет ведется по углу φ^* , дополнительному к углу φ ($\varphi^* = 90^\circ - \varphi$).

Как мы видели выше, такой метод работы на этом спектрофотометре требует, чтобы освещение обеих щелей было строго одинаковым, т. е. чтобы в отсутствии светофильтра равенство яркости обоих полей получилось при отсчете угла $\varphi = 45^\circ$.

Для освещения щели можно употреблять различные системы осветителей. Самый простой и довольно хороший осветитель состоит просто из рассеивающей пластинки M (молочное стекло

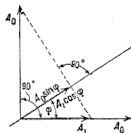


Рис. 14. Вывод формулы для пропускания.

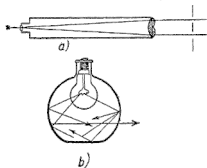


Рис. 15. Осветители к спектрофотометру Кенига-Мартенса.

калька), освещенной достаточно мощной лампой L (500—1 000 W; освещенность 6 000—10 000 люксов) (рис. 13 б). Этот осветитель довольно светосилен, и равенство освещения щелей (нулевая точка) во время измерений с ним сохраняется хорошо. Фабричный, прилагаемый обычно к прибору осветитель (изображен на рис. 15, а), страдает обоими основными недостатками: очень малой светосилой и трудностью получения равного освещения щелей, легко нарушающегося во время работы.

Очень хороший результат дает осветитель системы Л. И. Демкиной (изображен на рис. 15, б). Он представляет собой полое фарфоровое или металлическое тело, внутренние стенки которого покрыты хорошо рассеивающей краской. Внутри него помещена лампа 500—1 000 W. Отверстие для освещения щелей сделано ниже лампы, против стенки, на которой получается освещенность в несколько сот тысяч люксов. Благодаря рассеянному свету, даваемому этим осветителем, равномерность освещения щелей мало меняется при легких смещениях спектрофотометра во время работы.

Рекомендуется для исключения ошибок, возникающих вследствие неодинаковости освещения щелей, промерять светофильтр сначала в одном плече спектрофотометра, затем в другом, делая

вычисления сразу по обоим отсчетам. Тогда, обозначая интенсивности пучков падающего на щели света I_1 и I_2 и интенсивности пучков пропускаемого светофильтром света, стоящим поочередно перед обеими щелями, соответственно I_1^* и I_2^* , будем иметь следующие соотношения (рис. 16), когда светофильтр стоит в пучке I_1 :

$$I_2 \sin^2 \varphi_1 = I_1^* \cos^2 \varphi_1$$

и когда светофильтр стоит в пучке I_2 :

$$I_2^* \sin^2 \varphi_2 = I_1 \cos^2 \varphi_2,$$

а так как

$$T = \frac{I_1^*}{I_1} = \frac{I_2^*}{I_2},$$

то будем иметь:

$$T = \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \operatorname{ctg} \varphi_2 = \frac{\operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi_2}.$$

Для уничтожения ошибки от несовпадения нуля круга с главной плоскостью николя производят измерения одного и того же поглощающего вещества, делая отсчеты в разных квадрантах. Таким образом раз и навсегда определяется величина этого несовпадения, и затем во все измерения вносится постоянная (положительная или отрицательная) поправка. Конечно, она не должна превышать нескольких градусов (10°), в противном случае необходимо вынуть николь из оправы и, поворачивая его вместе с пробкой, в которую он вделан, внутри оправы, добиться лучшего совпадения его главной плоскости с 0° шкалы.

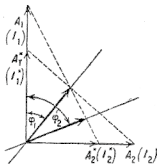


Рис. 16. Вывод формулы для пропускания при неодинаковом освещении щелей.

С. Спектроденсограф Гольдберга

Мы опишем еще один визуальный спектрофотометр, позволяющий очень быстро получать кривую спектрального пропускания изучаемого вещества. Это так называемый спектроденсограф Гольдберга.

Его схема изображена на рис. 17: *a* — вид в горизонтальной плоскости, *b* — в вертикальной. По существу это просто монохроматор двойного разложения.

Для получения наибольшей светосилы коллиматор работает без щели, а источник (лампа накаливания, достаточно мощная) стоит прямо в фокусе линзы O_1 , из которой таким образом на призму P_1 падает параллельный пучок. После разложения пучка в спектр в призме P_1 двойной объектив O_2 дает в своей фокальной плоскости два изображения спектра источника L . Эти спектры совпадают со щелью, стоящей в фокальной плоскости линзы O_3 — второго коллиматора. Из линзы O_3 выходят два (один над другим) параллельных пучка, которые претерпевают второе раз-

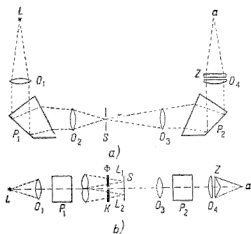


Рис. 17. Спектроденсограф Гольдберга.

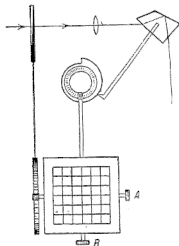


Рис. 18. Схема механического устройства спектроденсографа Гольдберга.

ложение в призме P_2 . Объектив O_4 дает изображения спектров в a , где помещается глаз наблюдателя. Бипризма Z , стоящая рядом с объективом, совмещает краями оба спектра, так что наблюдателю поле зрения представляется, как в обычном фотометре, разделенным на две половины горизонтальной чертой. Одна половина поля освещена изображением L_1 , другая — изображением L_2 .

Таким образом, если перед щелью S стоит светофильтр, закрывая одно из изображений, то одно поле будет ослаблено по сравнению с другим. Если теперь второе изображение ослабить в известное число раз, до равенства освещения обеих половин поля зрения, то это число и даст коэффициент пропускания светофильтра. Затенение второго поля производится нейтральным фото-

метрическим клином. У прибора имеется каретка со столиком, на который может быть прикреплен лист бумаги (схематически изображено на рис. 18). Этот столик с помощью рукояток *A* и *B* может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Одна из рукояток *B*, перемещая столик, одновременно вращает эксцентрик, который рычагом поворачивает призмы, т. е. меняет область спектра, попадающую в глаз наблюдателя. (Обе призмы связаны системой рычагов.) Поворот же второй ручки *A*,двигающей столик в перпендикулярном направлении, одновременно перемещает фотометрический клин, затемняющий изображение. Над столиком укреплена игла, могущая опускаться и накалывать лежащую на столике бумагу. Таким образом, установив в поле зрения область спектра с определенной длиной волны, мы под иглу подведем заранее разграфленную бумагу в месте, соответствующем именно этой длине волны. Двигая столик в другом направлении, добываясь клином равенства яркости полей, мы подведем под иглу место бумаги, соответствующее данной оптической плотности клина. Сделав это, опускаем иглу и ставим на бумаге точку.

Перемещая столик рукояткой *B* и всякий раз добываясь равенства яркости полей сравнения, мы вычертим кривую оптических плотностей светофильтра по всему видимому спектру. Прибор при аккуратной работе дает вполне удовлетворительную точность ($3-5\%$) и имеет громадное преимущество перед другими визуальными спектрофотометрами из-за чрезвычайной простоты в работе и очень большой скорости измерений, при полном отсутствии вычислений.

§ 2. Объективная спектрофотометрия

Основным принципом *объективной* спектрофотометрии, как и вообще всех объективных методов измерения лучистой энергии, является *трансформирование* лучистой энергии, в данном случае световой, в какую-либо иную и последующее количественное измерение этой энергии по какому-либо ее действию. Совершенно ясно, что при этом должен быть известен закон эквивалентности перехода световой энергии в энергию иной формы.

Фотохимический метод заключается в воздействии лучистой энергии на химические реакции. Оценка количества упавшей лучистой энергии производится или по скорости реакции или по количеству прореагировавшего вещества (трансформирование лучистой энергии в химическую). Примером фотохимического метода является фотографический метод, когда количество упавшей на фотопластинку энергии оценивается по почернению этой последней,

т. е. по количеству выпавшего в виде осадка (после проявления) металлического серебра.

Превращая световую энергию в электрическую либо через тепловую, с помощью термоэлемента, либо непосредственно — с помощью фотоэлемента, мы сведем световые измерения к электрическим. Эти методы справедливо называются *объективными*, в отличие от уже описанных субъективных, ибо в них роль оценивающего аппарата отнята от человеческого глаза и передана прибору (фотографической пластинке или электроизмерительному прибору). Глаз играет только регистрирующую роль, так как он лишь замечает показания прибора. Но и это может быть сделано независимо от глаз — с помощью саморегистрирующих приборов. Но и в случае, когда регистрация ведется с помощью глаза, личная ошибка наблюдателя, неизбежно присутствующая в визуальной фотометрии, отсутствует.

А. Фотографическая спектрофотометрия

Мы не будем останавливаться на всех возможностях фотографической спектрофотометрии, а разберем лишь интересующие нас в данном случае ее применения — измерение спектрального пропускания.

Схема установки изображена на рис. 19. S_p — спектрограф, на щель которого сфокусировано конденсором O изображение пластинки M , покрытой магнезией и освещенной мощной лампой накаливания L . Этот способ освещения щели лучше непосредственного фокусирования источника на щель, несмотря на потерю светосилы, так как при

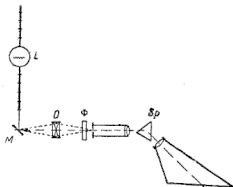


Рис. 19. Схема установки для фотографической фотометрии.

нем достигается значительно большая равномерность освещения. Измерения производятся следующим образом: светофильтр ставится перед щелью, и снимается спектр с максимальной освещенностью щели и с такой экспозицией, чтобы получилось нормальное почернение в области спектра, где поглощение светофильтра максимально (конечно, в пределах исследуемой об-

ласти). Неважно, если при этом остальной спектр получится с передержкой или даже с соляризацией (рис. 20, *a*, спектр 1). Затем, сдвигая фотографическую пластинку, снимают серию спектров с последовательно ослабляемой в известное число раз освещенностью магниевой пластинки, но обязательно с одинаковой экспозицией так, чтобы получить ряд спектров, имеющих нормальное почернение во всех (последовательно) областях спектра (спектры 1, 2, 3, рис. 20, *a*). Ослабление освещенности производится либо введением сеток разной густоты перед магниевой пластинкой, либо удалением от нее лампы. Затем светофильтр вынимается, и снимается вторая серия спектров (рис. 20, *b*, спектры 4—8) с последовательным уменьшением освещенности магниевой пластинки так, чтобы в каждой области спектра получить почернение, близкое (или равное) к почернению в той же области, для спектра, снятого сквозь светофильтр.

Денситометром или иным способом промеряется почернение поперек всех спектров для одной и той же длины волны, и так для ряда длин волн. Воспользовавшись второй серией спектров, строим кривые почернения пластинки для разных длин волн, откладывая по вертикальной оси почернение, а по горизонтальной — логарифмы относительных освещенностей (рис. 21). Найдя среди первой серии, снятой со светофильтром, спектр с нормальным почернением для той же длины волны, что и построенная кривая, промеряем почернение на нем. Нанеся эту точку

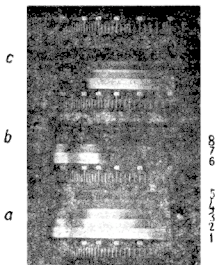


Рис. 20. Спектрограмма для фотометрирования фильтра (*a* — снимки без фильтра, *b* — со светофильтром).

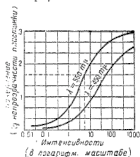


Рис. 21. Кривые почернения (характеристические кривые). Интенсивность в относительных единицах.

на кривую, проводим вертикальную линию от этой точки до пересечения с осью абсцисс, что дает относительную освещенность, соответствующую этой точке. Отношение найденного таким образом значения относительной освещенности к значению относительной освещенности, при которой в действительности снимался этот спектр, дает нам коэффициент пропускания для данной длины волны¹. Проведя все измерения и построив все кривые почернения, получим ряд точек, по которым строим полную кривую спектрального пропускания измеряемого светофильтра.

К недостаткам этого метода следует отнести его малую точность; в лучшем случае при всех предосторожностях — постоянстве экспозиции, аккуратности проявления и работе на заведомо хорошо и равномерно политых пластинках — точность, им даваемая, не превышает 10—15%.

При малейших отступлениях от указанных предосторожностей или просто при недостаточно аккуратной работе точность катастрофически падает. Большим недостатком является также громоздкость этого метода — необходимость снятия целой серии спектров, многочисленные измерения негатива на денситометре для определения почернения и т. д.

Все эти недостатки заставляют прибегать к фотографическому спектрофотометрированию светофильтра лишь в тех случаях, когда не могут быть использованы другие методы. В качестве примера укажем на измерение фильтров для ультрафиолетовых или близких инфракрасных лучей или фильтров Вуда, которые весьма трудно мерить иным способом из-за узости его полос поглощения и пропускания².

В. Фотоэлектрическая спектрофотометрия

Остановимся еще на одном объективном методе получения спектральной кривой светофильтра. Схема этого метода изображена на рис. 22; *Sp* — монохроматор-спектрограф, в котором вместо фотопластинки вставлена вторая щель, для того чтобы выпускать из прибора узкий монохроматический пучок света. Ввиду того,

¹ Большую точность можно получить, если строить для каждой длины волны две характеристические кривые — по первой и по второй серии спектров. Сдвиг кривых вдоль горизонтальной оси, измеренный в логарифмической шкале, дает оптическую плотность для данной длины волны, которую при желании можно перевести в коэффициент пропускания.

² Обычные фотографические пластинки позволяют, при применении специальной оптики у спектрографа, фотографировать спектр вплоть до 180 мμ. Для инфракрасной области в настоящее время существуют специальные пластинки, чувствительные вплоть до 1050 мμ.

что в данном случае не требуется равномерности освещения щели, можно для увеличения яркости осветить щель, сфокусировав на ней источник — нить лампы накаливания — L .

Светофильтр ставится в любом месте между источником света L и фотоэлементом Φ . Последний ставится позади второй щели и соединяется с гальванометром G . Измерения чрезвычайно просты: измеряется фототок I_1 со светофильтром и без светофильтра — I_0 .

Отношение $\frac{I_1}{I_0}$ дает коэффициент пропускания T_λ светофильтра для данной длины волны.

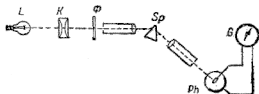


Рис. 22. Схема установки для фотоэлектрической фотометрии.

Перемещая призму монохроматора и проделывая всякий раз оба измерения, получим полную кривую пропускания светофильтра.

Для устранения ошибок от колебания интенсивности источника света рекомендуется делать измерения без светофильтра дважды для каждой длины волны, до и после измерений фототока со светофильтром.

Совершенно ясно, что селективность распределения чувствительности фотоэлемента по спектру роли не играет, так как чувствительность приемника при таких относительных измерениях $\left(\frac{I_1}{I_0}\right)$ исключается. Необходимо лишь, чтобы фотоэлемент имел достаточную чувствительность по всему измеряемому участку спектра. С этой точки зрения калиевые фотоэлементы мало пригодны для фотометрирования по всему видимому спектру, но меднозакисные фотоэлементы с запирающим слоем вполне хороши¹. Как видим, этот метод удобен, прост, дает возможность быстро производить измерения, не требуя никаких сложных вычислений, и дает вполне удовлетворительную точность. Он может быть рекомендован

¹ В ультрафиолете фотоэлементы позволяют производить измерения, начиная от 250 мμ. В инфракрасной области цинковые фотоэлементы чувствительны до длины волны в 1,2 мμ.

всякой лаборатории, в которой приходится производить много измерений спектрального пропускания¹.

За последнее время появился ряд статей с описанием фотоэлектрических саморегистрирующих спектрофотометров, представляющих безусловно чрезвычайно большое удобство в работе. Мы на них здесь не останавливаемся, так как в их конструкции ничего принципиально отличного от простых фотоэлектрических спектрофотометров нет: прибавлена лишь регистрирующая часть.

Важно отметить, что как в последнем методе, так и в случае фотографического спектрофотометрирования значительно удобнее употреблять спектральный аппарат не с призмой, а с дифракционной решеткой, которая дает равномерный спектр, не сжимающийся к красному концу, что позволяет повысить точность измерений в области длинных волн.

В заключение описания спектрофотометрических методов приведем сравнение их в работе.

Спектрофотометр Люммер-Бродхуна как более светосильный, чем *спектрофотометр Кениг-Мартенса*, может быть рекомендован во всех тех случаях, когда плотность светофильтра велика (около 2). Кроме того, если светофильтр представляет среду не анизотропную, т. е. поляризующую свет, примером такой среды является плохо отоженное стекло, в котором имеет место двойное лучепреломление, — промеры его на спектрофотометре Кениг-Мартенса весьма затруднительны. Применение этого прибора в том виде, как мы описали это выше, невозможно, так как дает совершенно неправильные результаты, учет же поляризации, создаваемой в среде, в некоторых случаях возможен, но весьма усложняет работу; поэтому описывать, как это делается, мы здесь не будем.

В тех случаях, когда фильтр прозрачен, можно перед самими щелями, после фильтра поставить пластинку молочного стекла, которая является хорошим деполяризатором.

Фотографический метод из-за его сложности вряд ли имеет смысл применять одновременно с визуальным или фотоэлектрическим, но в ряде случаев, указанных выше, он является единственным способом получения спектральной кривой фильтра. Термоэлектрический метод является единственным способом изучения пропускания в области далекого инфракрасного спектра.

Для иллюстрации того, какой большой точности можно достичь с каждым из спектрофотометрических методов, мы приводим на рис. 23 кривую светофильтра, промеренную визуально, фотоэле-

¹ Схема термоэлектрического метода будет совершенно такой же только на место фотоэлемента Ф встанет термоэлемент или термостолбик.

ментом и термозлементом (по данным Американского бюро стандартов). Как видно, совпадение измерений не оставляет желать лучшего.

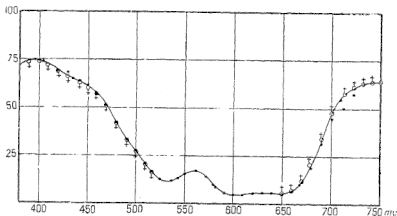


Рис. 23. Сравнение результатов промеров фильтра визуальным, фотометрическим и термозлектрическим спектрофотометрами.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Соколов, Физический практикум, Москва 1924.
Дано описание спектрофотометра Кениг-Мартенса.
2. Спектрофотометрия и ее применение в промышленности, сборник под редакцией проф. Федорова, Химтехиздат, 1934.
Статья Гибсона „Спектрофотометрия в бюро стандартов“ содержит описание различных методов спектрофотометрии и сравнение их точности. В статье Н. Г. Федорова „Спектрофотометрия и спектрофотометры“ подробно описаны наиболее распространенные типы фотометров. К сборнику приложена обширная библиография по спектрофотометрии (86 названий).
3. E. Goldberg, Melland Textilberichte, H. 5, S. 447, 1927.
Дано подробное описание оптической схемы и конструкции спектроденсографа.
4. M. Barnard and Mc. Michael, „J. Opt. Soc. Amer“, p. 588, 1931.
Приведено сравнение спектрофотометрических измерений различных лабораторий и разобран вопрос о точности различных методов спектрофотометрии.

Глава IV

КЛАССИФИКАЦИИ И НЕКОТОРЫЕ ВИДЫ СВЕТОФИЛЬТРОВ

Светофильтры классифицируют либо по их оптическим свойствам, т. е. по кривой спектрального пропускания, либо также по кривой спектрального пропускания, но с учетом их назначения.

Мы разберем две системы классификации: одну — только по спектральным кривым (классификация Гибсона) и вторую — по назначению светофильтров.

§ 1. Классификации

По классификации, предложенной Гибсоном, светофильтры разделяются на следующие три класса:

Класс 1. Полное поглощение в области спектра, где $\lambda < \lambda_c$ и хорошее пропускание в области, где $\lambda > \lambda_c$.

Примером такого светофильтра является светофильтр для проявления фотографических эмульсий; он должен пропускать некоторый участок спектра в красных лучах, задерживая все более коротковолновое излучение¹.

Фильтрами этого класса в ультрафиолетовой области спектра являются многие вещества, например: кварц, имеющий границу пропускания около 185 мμ; флуорит с границей около 130 мμ (рис. 24); вода, имеющая границу пропускания около 175 мμ; увиолевые стекла (стекла — прозрачные для близких ультрафиолетовых лучей), имеют границу пропускания 260—280 мμ (рис. 25, 1 и 4); обычные стекла имеют границу 300—320 мμ — кронгласы и оконные стекла 320—340 мμ (рис. 25, 2 и 3). На рис. 26 дан график пропускания целлулоида, нового и после облучения в течение 165 час. на кварцевой ртутной лампе. Светофильтры этого класса легко могут быть изготовлены из стекла, прокрашенного солями металлов, или из органических красителей, и будут описаны ниже.

¹ Уместно будет отметить, что это не вполне правильно, так как такой светофильтр не должен пропускать и инфракрасное излучение; при этом его вуалирующее действие еще уменьшится, а освещенность, даваемая им, останется без изменения,

Для отделения инфракрасной области от видимой в качестве фильтров употребляются смолы, эбонит, — имеющий границу пропускания около $800\text{ м}\mu$ при толщине около $0,3\text{ мм}$, — сажа, черная бумага, картон разной толщины и ряд других веществ.

Класс 2. Полное поглощение в широкой области спектра, где $\lambda > \lambda_c$, и хорошее пропускание в соседней области, где $\lambda < \lambda_c$.

Фильтры этого класса обратны фильтрам 1-го класса. В далекой инфракрасной области пригодны: селвин KCl, имеющий границу около $24,0\text{ м}\mu$; поваренная соль NaCl с границей около $19\text{ м}\mu$; флуорит CaF_2 с границей около $10\text{ м}\mu$; кварц SiO_2 с границей около $5\text{ м}\mu$ (кривые пропускания всех этих веществ даны на рис. 27). В области более коротких длин волн пригодны: нитроцеллюлозы (целлулоид, висколоид и др.) с границей около $3\text{ м}\mu$ (рис. 28). Гра-

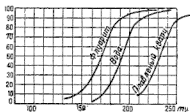


Рис. 24. Пропускание кварца, флуорита и воды в ультрафиолетовой области.

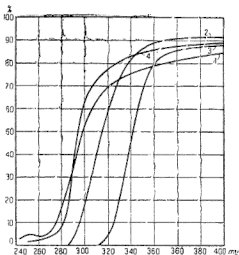


Рис. 25. Пропускание различных стекол в ультрафиолетовой области.

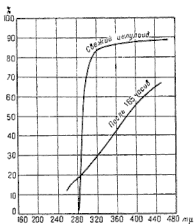


Рис. 26. Пропускание целлулоида в ультрафиолетовой области.

ница пропускания этих веществ указана приблизительно, так как она весьма сильно зависит от состава и способа изготовления, а сортов нитроцеллюлозы, как известно, весьма много.

Различные масла имеют границу пропускания в интервале около 1,5—2,0 μ (рис. 29). Для отделения инфракрасных лучей, при-

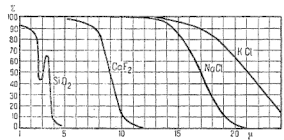


Рис. 27. Пропускание кварца, флуорита, хлористого натрия и хлористого калия для инфракрасных лучей.

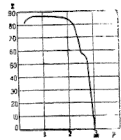


Рис. 28. Пропускание целлюлозы для инфракрасных лучей.

мыкающих вплотную к видимой области, очень хороший результат дают растворы солей меди $CuSO_4$ и др., квасцов $K_2Al(SO_4)_3$, вода и др. (рис. 30). Светофильтры этого класса будут описаны ниже.

Класс 3. *Большое поглощение всюду, за исключением некоторых узких областей спектра.*

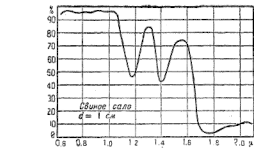


Рис. 29. Пропускание свиного сала для инфракрасных лучей.

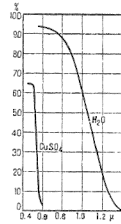


Рис. 30. Пропускание медного купороса и воды для инфракрасных лучей.

Число фильтров этого класса чрезвычайно велико. Так как почти все они требуют специального изготовления, мы сейчас на них останавливаться не будем, а опишем в специальной главе, посвященной монохроматическим фильтрам.

Вторая классификация, которую мы здесь приведем, как уже было сказано выше, различает фильтры по их назначению и относится в значительной степени к собственно светофильтрам, т. е. фильтрам для видимой области спектра, разделяемым на три класса.

Класс 1. Фильтры монохроматические. Совпадают с 3-м классом классификации Гибсона, на них мы остановимся ниже.

Класс 2. Светофильтры компенсационные или исправляющие.

Эти светофильтры имеют обычно довольно плавную кривую спектрального пропускания. Их назначение состоит в изменении спектрального излучения источника. В качестве примера таких светофильтров можно привести светофильтр, имеющий пропускание, плавно падающее от синего конца спектра к красному. Этот светофильтр, будучи поставлен перед температурным источником света, например перед лампой накаливания, поднимет цветную температуру источника и таким образом сделает излучение лампы накаливания ($T_{\text{цв}} \approx 3\,000^\circ \text{K}$) близким к дневному ($T_{\text{цв}} \approx 5\,000^\circ \text{K}$).

В других случаях эти светофильтры предназначаются для изменения спектральной чувствительности приемника лучистой энергии. Примерами таких светофильтров являются: желтый фотографический фильтр, уменьшающий интенсивность синих лучей, к которым фотопластинка очень чувствительна, и тем самым улучшающий цветопередачу при фотографировании, и светофильтр для объективного фотометрирования с помощью фотоэлемента. Благодаря изменению распределения энергии в световом потоке, падающем на фотоэлемент, спектральная чувствительность комбинации фотоэлемент — светофильтр оказывается близкой к чувствительности глаза, и фотоэлемент может заменить глаз для световых измерений. Все эти светофильтры и ряд других этого класса будут подробно рассмотрены ниже в главе VI.

Класс 3. Светофильтры субтрактивные. Эти светофильтры поглощают небольшую спектральную область, оставляя весь остальной спектр без изменений. Этот класс можно назвать обратным 1-му классу — светофильтрам монохроматическим. Субтрактивные светофильтры имеют несколько меньшее распространение, чем светофильтры первых двух классов, но все же они находят себе применение в достаточно большом числе случаев. Благодаря большой простоте изготовления их, ибо некоторые анилиновые краски являются уже субтрактивными светофильтрами (эритрозины, эозины и много других), эти светофильтры очень удобны. В ряде случаев они могут заменить монохроматические, например тогда, когда излучение источника в области спектра по одну сторону от полосы поглощения светофильтра само по себе отсутствует или когда приемник нечувствителен в этой области.

§ 2. Типы светофильтров

Как видно было из предыдущего, светофильтры могут быть твердые, жидкие и газообразные. В зависимости от условий работы приходится пользоваться различными типами. Без сомнения наиболее удобными являются твердые светофильтры, но, к сожалению, далеко не всегда удается подобрать твердые вещества, обеспечивающие необходимую в каждом данном случае кривую спектрального пропускания.

А. Твердые светофильтры

В качестве твердых светофильтров употребляются очень многие вещества, обладающие подходящей кривой пропускания. Большое число их было описано в предыдущем параграфе. Наибольшее распространение из искусственных твердых светофильтров имеют желатиновые светофильтры, как доступные для изготовления непосредственно в лаборатории. Благодаря важности светофильтров этого типа в лабораторной практике мы отводим им специальную главу, а сейчас больше останавливаться на твердых светофильтрах не будем.

Стекланные светофильтры имеют перед желатиновыми большое преимущество, заключающееся в их большей стойкости. Однако их спектральные кривые значительно менее разнообразны и к тому же они совершенно недоступны к изготовлению в лаборатории. Стекланные фильтры, выпускаемые заграничными фирмами, кратко описаны в „Дополнениях“¹.

В. Жидкие светофильтры

Переходя к описанию светофильтров, изготовление которых доступно любой лаборатории, не обладающей специальным оборудованием, мы прежде всего остановимся на жидких абсорбционных светофильтрах. Эти светофильтры наиболее просты в изготовлении. Они готовятся из растворов различных веществ в кюветах с плоскопараллельными стенками. Вещества, из которых в основном готовятся жидкие светофильтры, делятся на неорганические соединения — соли различных металлов — и органические соединения — анилиновые красители. Относя рецептуру этих светофильтров в спе-

¹ В настоящее время стекланные светофильтры изготавливаются с большим успехом у нас в СССР — Институтом стекла в Москве и ГОИ в Ленинграде.

циальную главу, где будет дана рецептура некоторых типов светофильтров для различных целей, мы в этой главе остановимся на веществах, из которых готовятся жидкие светофильтры. Основное требование, предъявляемое к веществу, из которого готовится светофильтр, — это хорошая растворимость. В растворе не должно быть осадка или взвешенной эмульсии. В противном случае частицы эмульсии будут рассеивать световой поток, что приведет к уменьшению пропускания светофильтра и притом в той области, где это нежелательно. Кроме простоты изготовления, жидкие светофильтры имеют ряд чрезвычайно существенных преимуществ, которые в основном заключаются, во-первых, в возможности путем прибавления как угодно малых количеств растворимых веществ (например путем подливания из бюретки заранее приготовленного маточного раствора) чрезвычайно плавно изменять спектральную кривую светофильтра и, во-вторых, в простоте учета окончательной концентрации красящих веществ в полученном светофильтре. Последнее создает возможность получения точной рецептуры жидких светофильтров и одновременно обеспечивает их простую воспроизводимость. Но вместе с тем эти светофильтры страдают рядом недостатков, к которым следует отнести, во-первых, непортативность кювет с растворами, что заставляет их рекомендовать для применения лишь в лабораторных условиях, и, во-вторых, весьма существенный недостаток — испаряемость растворителя, которая тем больше, чем больше тепловых лучей дает источник, излучение которого фильтруется. Испаряемость растворителя непрерывно меняет спектральную кривую фильтра. Борьба с этим можно герметически закрывая кювету, что значительно ослабляет, но не устраняет испарение, так как растворитель осаждается на верхних частях кюветы. В этом случае надо следить, чтобы фильтр сильно не нагревался, иначе кювета лопнет. Правда, испарение чувствительно только при весьма точных измерениях, но вместе с тем именно для таких измерений чаще всего применяются жидкие светофильтры.

Как уже было сказано выше, в качестве красящих веществ для жидких светофильтров употребляются соли металлов и анилиновые краски. Различных солей, которые могут быть использованы в качестве светофильтров, существует чрезвычайно много, и мы вышли бы далеко за пределы настоящей маленькой книжки, если бы попытались привести для всех них спектры абсорбции. Мы приведем для примера лишь некоторые из наиболее употребительных простых солей меди, кобальта, никеля и хрома. На рис. 31—34 приведены кривые пропускания следующих солей: CuCl_2 , NiSO_4 , CrSO_4 , NiCl_2 , MnSO_4 — некоторые для различных концентраций.

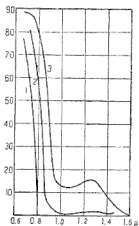


Рис. 31. Пропускание хлорной меди в разных концентрациях. (Кривая 1— $2 \text{ см}^3 \text{ CuCl}_2 + 18 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O} + 2$ капли HCl (20%); кривая 2— $2,5 \text{ см}^3 \text{ CuCl}_2 + 17,5 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$; кривая 3— $1 \text{ см}^3 \text{ CuCl}_2 + 19 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$).

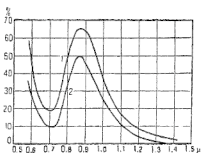


Рис. 32. Пропускание сернокислого никеля (NiSO_4) в разных концентрациях. (Кривая 1— $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; кривая 2— $\text{Ni}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ (оба раствора десятипроцентные).

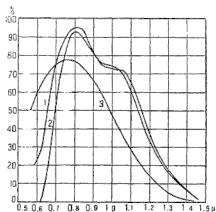


Рис. 33. Пропускание раствора сернокислого хрома (Кривая 1— CrSO_4 ; кривая 2— $\text{CrK}(\text{SO}_4)_2$; кривая 3— CoCl_2).

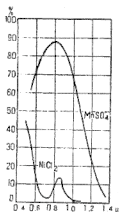


Рис. 34. Пропускание растворов хлористого никеля и сернокислого магния.

С. Газовые светофильтры

Благодаря неудобству в обращении, газовые светофильтры имеют очень малое распространение. Зачастую для получения достаточного поглощения бывает необходимо повышенное давление газа, вплоть до нескольких атмосфер. Обычно газовые фильтры применяются лишь для отделения ультрафиолетовых лучей с $\lambda < 300$ мμ от более длинноволновых, что является почти невозможным с помощью жидких или твердых фильтров. В этом случае применяются Cl и пары Br (см. главу VI).

§ 3. Анилиновые краски

Чрезвычайное разнообразие спектров абсорбции имеют анилиновые краски, которые очень удобны для изготовления из них как жидких, так и желатиновых светофильтров. Приводим выдержку из книжки А. Гюбля „Die orthochromatische Photographie“ с характеристикой красок:

„...Все нижеуказанные краски готовятся искусственно из каменноугольного дегтя и делятся на „кислые“ и „основные“. В основных красках красящая способность определяется каким-либо основанием, и краска представляет собой соединение такого основания с какой-либо кислотой (серной, соляной и т. п.). При этом выбор кислоты не оказывает влияния на окрашивающие свойства. Основные краски хорошо растворимы в воде. При этом, однако, часто наблюдается выпадение осадка, легко растворяемого небольшой прибавкой уксусной кислоты.

В „кислых“ красках красящие свойства зависят от кислоты и эти краски суть соединение определенной кислоты с какими-либо основными элементами — калием, натрием и т. п. Если смешать водные растворы кислой и основной краски, то образуется муть, а при больших концентрациях и осадок, так как основание одной и кислота другой краски дают нерастворимое в воде соединение. Слабые растворы иногда не обнаруживают подобного явления, и вообще можно уменьшить осадок, приливая в избытке раствор одной из красок. Прочного раствора смеси таких красок получить, однако, нельзя.

В таблице указано отношение растворов красок к образованию смесей, а в дальнейших рубриках — реакции красок с уксусной, соляной кислотой, аммиаком и медным купоросом. Очень характерным часто является отношение краски к желатиновой и коллоидной пленке...”

Табл

[illegible]

ица 2

Нафтагрюн	Патентблау	Метиленблау	Толауинблау	Кристаллиолет	Фиальтблау	Род краски (кислая или основная)	Уксусная кислота	Соляная кислота	Аммиак	Медный купорос	Время освещения солнечным светом, через которое появляются следы выцветания
		N		N		S	—	—	—	N	80
		N				S	N	N	—	—	80
N	N		N			b	—	N	d	—	0,4
	N	N				S	—	—	—	—	70
				N		S	—	—	—	—	80
				N		S	—	N	d	—	Чисто
						S	—	—	d	—	Чисто
	N					S	—	—	d	N	Чисто
						S	N	N	—	N	80
		N				S	e	e	e	—	40
						S	e	Желт.	—	—	80
		N				S	—	Желт.	—	N	Чисто
				N		S	N	—	—	—	Чисто
N				N		b	Синий	—	—	—	0,2
						S	—	e	e	N	Чисто
	N	N				b	Синий	—	—	—	4
						S	Синий	—	Красн.	—	Чисто

Для лучшего растворения „кислых“ красок рекомендуется прибавлять кислоту (несколько капель). „Основные“ же краски, наоборот, лучше растворяются в присутствии щелочей.

Кривые поглощения некоторых красок в водном растворе бывают сдвинуты относительно такой же кривой желатинового фильтра при той же концентрации. Количественно охарактеризовать этот сдвиг трудно, так как он зависит не только от краски, но и от желатины.

Учитывая, что анилиновые краски в большей степени употребляются для изготовления из них желатиновых светофильтров, чем

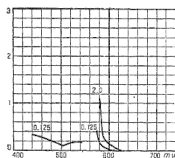


Рис. 35. Фильтрот.

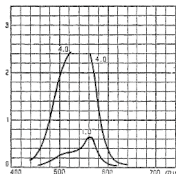


Рис. 36. Фуксин кислый.

жидких, приводимые нами в этой книжке спектры абсорбции красок все сняты в желатиновых пленках, и концентрации выражены в Н¹. Кривые даны в оптических плотностях $D(\lambda)$, что, как мы говорили, представляет удобство при расчете светофильтра.

На рис. 35—55 приведены кривые красок фирмы В. Байер; мы приводим их потому, что ряд лабораторий у нас, в Союзе, обладает наборами заграничных красок. Кроме того, в литературе большинство рецептов светофильтров указано для заграничных красок; переводить их на советские можно путем замены красок соответствующими советскими с близкими кривыми поглощения. Для последнего же, очевидно, необходимо знать спектры заграничных красок. Список этих красок приведен в табл. 3. Краски с теми же названиями иных фирм несколько отличаются по своим спектральным свойствам от этих, но общий характер кривой сохраняется.

¹ Способ прокрашивания желатиновых пленок красками описан в следующей главе.

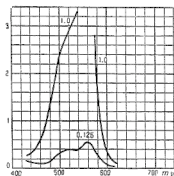


Рис. 37. Фуксин.

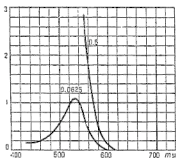


Рис. 33. Фуксин.

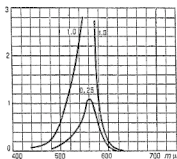


Рис. 39. Родамин В № 8.

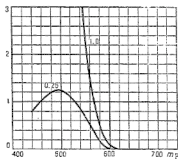


Рис. 40. Конго МР.

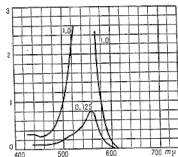


Рис. 41. Розе бенгале.

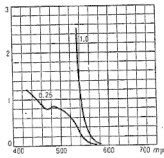


Рис. 42. Нафтолоранж.

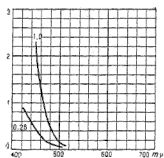


Рис. 43. Рэпидфилтргельб.

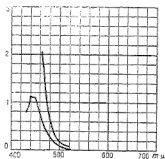


Рис. 44. Аурамин.

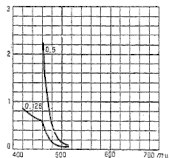


Рис. 45. Нафтольгельб.

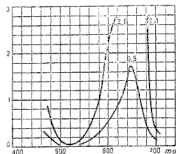


Рис. 46. Рэпидфилтргрүн.

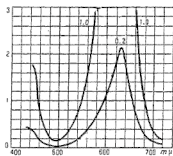


Рис. 47. Викториягрүн.

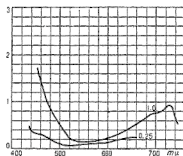


Рис. 48. Филтргрүн.

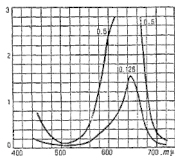


Рис. 49. Нафталингрюн.

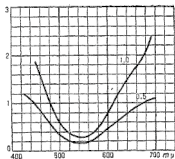


Рис. 50. Нафтолгрюн.

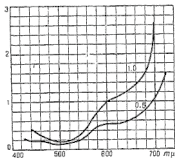


Рис. 51. Фильтрблагрюн.

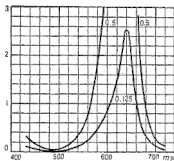


Рис. 52. Патентблау.

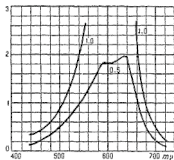


Рис. 53. Толуидинблау.

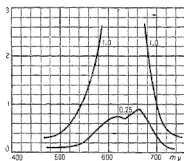


Рис. 54. Метиленблау.

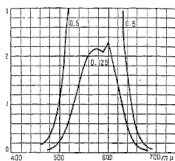


Рис. 55. Кристаллвиолет.

Таблица 3

Краски фирмы Байер

- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1. Фильтррот (Filterrot II) | 11. Рапидфилтргрюн (Rapidfiltergrün). |
| 2. Фуксин кислый (Säurefuxin). | 12. Викториягрюн (Neuvictoriagrün). |
| 3. Фуксин (Fuchsin). | 13. Филтргрюн (Filtergrün). |
| 4. Родамин В № 8 (Rhodamin B № 8). | 14. Нафталингрюн (Naphtalin-grün) |
| 5. Конго МР (Congo MP). | 15. Нафтолгрюн (Naphtolgrün). |
| 6. Розе бенгале (Rose bengale). | 16. Филтреблаугрюн (Filterblaugrün). |
| 7. Нафтолоранж (Naphtolorange). | 17. Патентблау (Patentblau). |
| 8. Рапидфилтргельб (Rapidfiltergelb). | 18. Толуидинблау (Toluidinblau). |
| 9. Аурамин (Auramin). | 19. Метиленблау (Methylenblau). |
| 10. Нафтолгельб (Naphtolgelb). | 20. Кристаллвиолет (Kristallviolette). |

В связи с тем, что теперь существуют анилиновые краски советского производства, вполне пригодные для желатиновых светофильтров, мы приводим (рис. 56—96) данные для ряда советских красок производства различных организаций (список их см. в табл. 4)

Таблица 4

Советские краски

I. Краски Госмедторгпрома:

- | | |
|---------------------|---|
| 1. Сафранин экстра. | 6. Метиловая голубая. |
| 2. Нейтральрот. | 7. Метиленовая голубая (без хлорцинка). |
| 3. Фуксин кислый. | 8. Анилинблау. |
| 4. Конгорот. | 9. Метилвиолет (кристаллвиолет). |
| 5. Флюоресцени. | 10. Нигрозин воднорастворимый. |

II. Краски института чистых реактивов:

- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| 1. Нейтральрот (индикатор). | 5. Эозин К. |
| 2. Конго красный. | 6. Хризоидин. |
| 3. Эритрозин. | 7. Метилгрюн. |
| 4. Эозин Н. | 8. Толуидиновая голубая. |

III. Краски Киевской экспериментальной химической лаборатории:

- | | |
|----------------|-------------------|
| 1. Нафтолгрюн. | 3. Мандариноранж. |
| 2. Тартрацин. | |

IV. Краски Анилтреста:

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1. Анил бордо Б. | 12. Анил темнозеленый 2Б (ОСТ 1811). |
| 2. Пунцовая 2Р (ОСТ 1819). | 13. Анил чистооголубой Н. |
| 3. Конго красный АТ. | 14. Сульфон кислотооголубой АНФ. |
| 4. Бриллиант-лана-фуксин АТГ. | 15. Анил медносиний Б. |
| 5. Метанил желтый АТ. | 16. Анил прочносиний Б. |
| 6. Ализарин желтый АТ2Г. | 17. Полушерстно-синий АТ. |
| 7. Светопрочная желтая АТГ. | 18. Сульфон цианин АТГР. |
| 8. Светопрочный оранж АТ2Г (ОСТ 1823). | 19. Анилвиолет Н (ОСТ 1812). |
| 9. Анил катехин Г. | 20. Анил синий 4РА. |
| 10. Анил зеленый Б (ОСТ 1810). | 21. Анил диазочерный. |
| 11. Анил зеленый Г. | |

Все краски, приведенные в списке табл. 4, оказались вполне пригодными для светофильтров в том смысле, что изготовленный из них светофильтр был вполне прозрачен.

Однако при изготовлении разных светофильтров к краске предъявляются различные дополнительные требования. При изготовлении монохроматических или субстративных фильтров, пропускающих или, наоборот, поглощающих более или менее узкую часть спектра, к краске предъявляется требование, чтобы она обладала резко разграниченными областями пропускания и поглощения.

При большой концентрации, когда часть лучей почти полностью поглощена, должна оставаться хотя бы узкая область спектра, в которой краска обладает достаточной прозрачностью. Для изготовления компенсационных светофильтров (например фильтр дневного света) или для нейтральных светофильтров более пригодны краски с пологой кривой поглощения.

Большинство текстильных красок (Анилтреста) мало пригодны для изготовления светофильтров с резкою кривою поглощения. Почти все они обладают пологой кривою, и поглощение даже в области максимальной прозрачности очень велико. Исключение составляют краски: бриллиант-лана-фуксин АТГ, пунцовая 2Р, анил-бордо В, конго красный АТ, анил чистоголубой Н, свето-прочно-желтая АТГ, свето-прочно-оранж АТ2Г, метанил желтый АТ, которые не только пригодны, но даже могут быть рекомендованы для изготовления светофильтров. Остальные краски могут подойти лишь для компенсационных светофильтров. Для других фильтров они могут быть употреблены только в малых концентрациях для тонкой подгонки фильтра к заранее заданной кривой.

Краски Госмедторгпрома (рис. 56—65), Института химически чистых реактивов (рис. 66—73) и Киевской экспериментальной химической лаборатории (рис. 74—96) несравненно выше по своему качеству. Благодаря хорошей очистке одному и тому же количеству краски соответствует гораздо большее количество непосредственно красящего вещества, чем у красок Анилтреста. Все краски Госмедторгпрома, ИРЕА и Киевской экспериментальной химической лаборатории обладают резкими кривыми поглощения и прекрасно подходят для светофильтров. Хотя „метиловая голубая“ и обладает в обычных концентрациях (0,5—1,0 Н) очень слабым поглощением и должна употребляться в больших концентрациях, все же большая прозрачность в синей части спектра позволяет причислить ее к хорошим краскам.

Пленки, прокрашиваемые этими красками, изготовлялись из советской желатины, спектральная кривая которой (в плотностях) приведена на рис. 97.

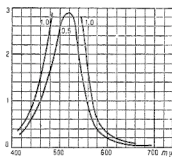


Рис. 56. Сафранин экстра.

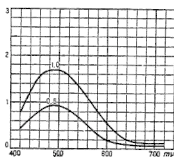


Рис. 57. Нейтральрот.

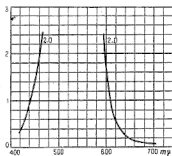


Рис. 58. Фуксин кислый.

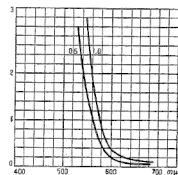


Рис. 59. Конгорот.

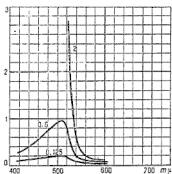


Рис. 60. Флуоресценн.

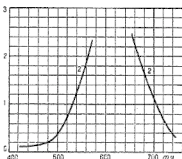


Рис. 61. Метилловая голубая.

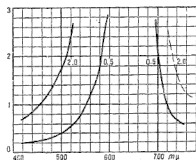


Рис. 62. Метилловая голубая (без хлорцинка).

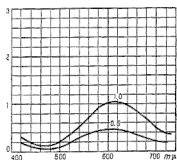


Рис. 63. Анилинблау.

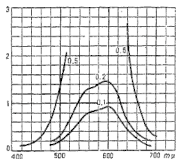


Рис. 64. Метилвиолет (кристал-
виолет).

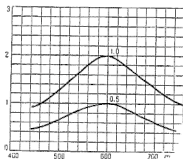


Рис. 65. Нигрозин воднораство-
римый.

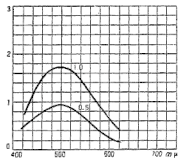


Рис. 66. Нейтральрот (инди-
катор).

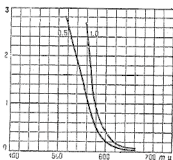


Рис. 67. Конго красный (инди-
катор).

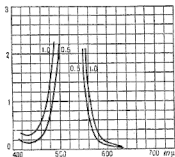


Рис. 68. Эритрозин.

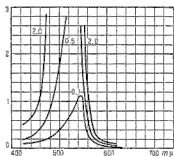


Рис. 69. Эозин Н.

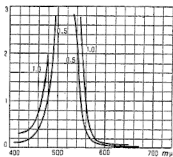


Рис. 70. Эозин К.

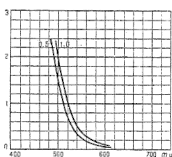


Рис. 71. Хризойдин.

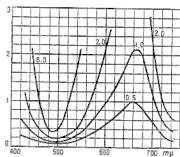


Рис. 72. Метилгрюн.

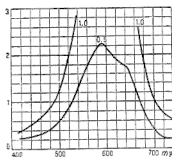


Рис. 73. Толуидиновая голубая.

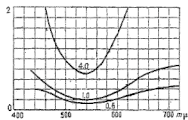


Рис. 74. Нафтолгрюн.

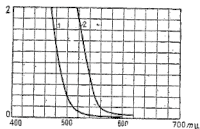


Рис. 75. Тартразин. Мандариногуж.

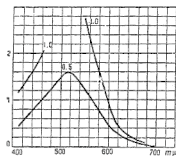


Рис. 76. Анил Бордо В.

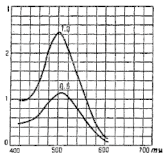
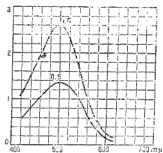
Рис. 77. Пунцовая 2Р
(ОСТ 1819).

Рис. 78. Конго красный АТ.

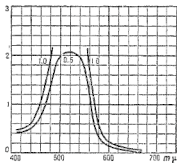


Рис. 79. Бриллиант-лана-фуксин АТГ.

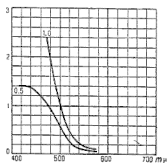


Рис. 80. Метанил желтый АТ.

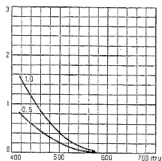


Рис. 81. Ализарин желтый АТ2Г.

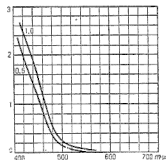


Рис. 82. Светопрочная желтая АТГ.

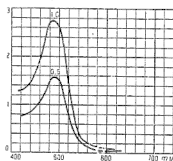


Рис. 83. Светопрочный оранжевый АТ2Г (ОСТ 1823).

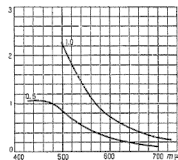


Рис. 84. Анилин катехин Г.

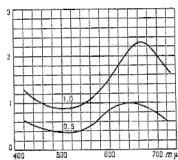


Рис. 85. Анилин зеленый Б (ОСТ 1810).

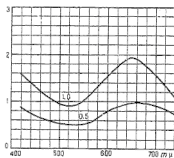


Рис. 86. Анилин зеленый Г.

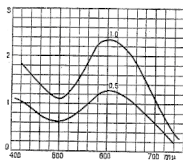
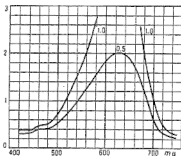
Рис. 87. Анилин темнозеленый 2Б
(ОСТ 1811).

Рис. 88. Анилин чисто голубой Н.

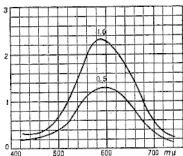


Рис. 89. Сульфон кислотногоголубой АНФ.

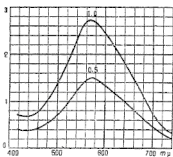


Рис. 90. Анилин медно-синий Б.

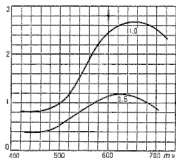


Рис. 91. Анилин прочно-синий Б.

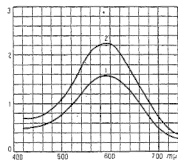


Рис. 92. Полушерстно-синий АТ.

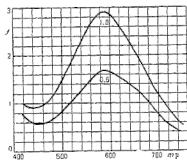


Рис. 93. Сульфон цианин АТГР.

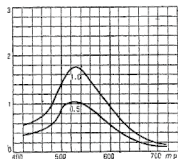


Рис. 94. Анилин violet Н (ОСТ 1812).

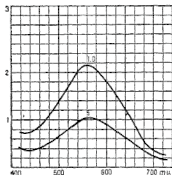


Рис. 95. Анил синий 4РА.

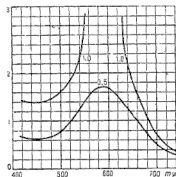


Рис. 96. Анил диазочерный.

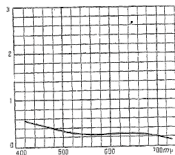


Рис. 97. Поглощение желатиновой пленки нормальной толщины (в оптических плотностях).

Различные краски имеют разную стойкость по отношению к свету. Надо сказать, что это очень сильно зависит от условий, в которых находится краска. Очень сильное действие при этом оказывают примеси, иногда специально вводимые в краску при изготовлении, а иногда присутствующие из-за плохой очистки краски. Кроме того, сильно влияют примеси, прибавляемые при растворении краски. В общем же можно сказать, что основные краски хуже выдерживают действие света, чем кислые. В табл. 2 приведены некоторые данные относительно светостойкости красок (также по Hübli'ю). Опыт ставился так. Желатиновая пленка, прокрашенная данной краской, закрывалась наполовину черной бумагой и выставлялась на солнце. Наблюдалось время, необходимое для заметного выцветания краски; оно дано в последнем столбце таблицы выра-

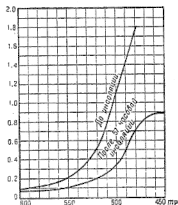


Рис. 98. Действие инсоляции на хризозидин.

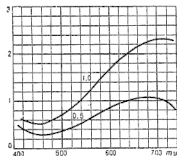


Рис. 99. Берлинская лазурь (концентрации 0,5 и 1,0 Н).

женным в часах. Для краски, которая в течение 100 час. инсоляции не изменила цвета, в таблице помечено — „чисто“.

На рис. 98 показано действие инсоляции на Chrysoidin.

Желатиновая пленка, прокрашенная этой краской в концентрации 1Н, облучалась лампами накаливания при освещенности 5 000 люксов, в течение 57 час. (кривая I — до облучения, кривая II — после облучения). Как видно, выцветание весьма сильное. Интересно отметить, что эта краска в смеси с другими, например Диамантрот (Diamantrot), делается значительно более светостойчивой и вполне может применяться для светофильтров.

Как правило, соли металлов не удаётся вводить в желатиновую пленку, ибо они при высыхании пленки выкристаллизовываются. Но есть исключения из этого правила, и одним из них является

соль железа $\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$, широко известная под названием краски „берлинская лазурь“. Способ ее приготовления в лабораторных условиях следующий: 11 г красной кровяной соли $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ растворяются в 150 cm^3 воды при кипении. После растворения прибавляется 7 г сернокислого железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Выпадает синий осадок (берлинская лазурь), который кипятится до получения густой кашицеобразной массы. Масса просушивается при температуре около 50°C и сухая тщательно растирается в ступке. После этого краска готова к употреблению. Эта краска, помимо того достоинства, что она очень просто изготавливается и очень хорошо смешивается при введении в желатину с анилиновыми красками, имеет очень редкую кривую спектрального поглощения (рис. 99). При хорошем пропускании в области синих лучей она сильно поглощает красные лучи, что весьма необычно для анилиновых красок, и потому она широко применяется при изготовлении желатиновых светофильтров.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Гибсон, Спектральные фильтры, Справочник Ф.-Х. В. Т. Э., т. IX, стр. 253.
Приведена классификация и данные для пропускания различных веществ по спектру.
2. Ж. Беккерель и Ж. Россиньоль, Справочник Ф.-Х. В. Т. Э., т. IX, стр. 153.
Спектральное поглощение чистыми неорганическими веществами и различными материалами (металлами).
3. W. W. Coblentz, „Stand. Bull.“, 9, 1913.
Описаны светофильтры для поглощения всех инфракрасных лучей.
4. E. Hagen und H. Rubens, Абсорбция тонких слоев металлов (Ag, Au и Pt) в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном спектрах, „Ann. d. Phys.“, 8, S. 422, 1902.
5. T. M. Dahm, Organic Media ces. spectral Filters in the Ultraviolet., „J. Opt. Soc. Amer.“, 15, p. 266, 1927.
Приведены кривые для многих органических веществ.
6. W. W. Coblentz, W. Emerson, and M. Long, „Stand. Bull.“, 14, p. 963, 1918—1919.
Приведены спектры абсорбции различных веществ и солей в растворах.
7. В. Гинзбург и Б. Левин, Изготовление желатиновых светофильтров и красители советского производства, „Журнал техн. физ.“, 11, стр. 1053, 1932.
Приведены спектры абсорбции 42 красителей в желатиновых пленках.
8. Л. А. Вентман, Исследования ряда советских анилиновых красителей „Анилиноокрасочная промышленность“ № 10, 1933.
9. Atlas des spectres des substances colorantes mesuré par P. M. Nedopekin, 1 partie, Leningrad 1927.
Даны измерения по спектру растворов 739 красок, преимущественно фирмы Байер.
10. C. K. Mees, Atlas of Absorption Spectra, Croydon 1909.
Даны фотографии спектров абсорбции, полученных методом клина для 170 красок различных фирм в растворе.
11. M. Luchiech, „J. of the Frankl. Inst.“, 184, p. 73 and 227, 1917.
Приведены данные для пропускания по спектру анилиновых красок.

Глава V

ЖЕЛАТИНОВЫЕ СВЕТОФИЛЬТРЫ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ КЛИНЬЯ

§ 1. Желатиновые светофильтры

Одним из самых распространенных видов светофильтров являются желатиновые пленки, прокрашенные различными красящими веществами. Перед жидкими они имеют такие очевидные преимущества, как портативность и возможность сохраняться в течение неопределенного времени в готовом виде.

Чрезвычайно удобной является также возможность применения их без всяких специальных кювет и сосудов. Недостатком же их является то, что далеко не все красящие вещества, употребляющиеся для жидких светофильтров, можно вводить в желатиновую пленку, так как они выкристаллизовываются; таковы большинство солей металлов. Тем самым ассортимент красителей для желатиновых светофильтров уменьшается, что затрудняет приготовление светофильтра по заранее заданной спектральной кривой. Но, благодаря тому, что громадное большинство органических красителей все же хорошо вводится в желатину и хорошо смешивается, возможности получения различных спектральных кривых для желатиновых светофильтров очень велики. Желатина, употребляемая для светофильтров, должна обладать максимальной общей прозрачностью и минимальной *избирательностью* поглощения по спектру.

Кроме этого, на многие красители чрезвычайно вредно действуют некоторые примеси, вводимые в желатину в целях консервации. Наиболее вредное действие оказывает сернистая кислота, вызывающая изменение кривой поглощения у одних красителей (Diamantrot, Echtröt) и способствующая более быстрому выцветанию других.

Некоторые иностранные фирмы (Кальбаум и др.) выпускали специальную желатину „для светофильтров“ („für Lichtfilter“). Некоторые наши заводы, как ленинградский желатиновый завод, Московский желатиновый завод № 10, по специальному заказу также изготавливают желатину, вполне пригодную для изготовления из нее светофильтров. Следует помнить, что желатина является слабым сенсibilизатором. Поэтому чувствительность многих красителей

к свету при введении их в желатину повышается, а это увеличивает выцветание светофильтров из этих красителей. Однако благодаря простоте изготовления желатиновых светофильтров и их легкой заменяемости с этим недостатком легко бороться, тем более, что для большинства красителей выцветание делается значительным лишь при освещенностях в сотни люксов.

Простейшим способом изготовления желатиновых светофильтров является прокрашивание готовых прозрачных желатиновых пленок. Обычно для прокрашивания употребляется отфиксированная фотографическая пластинка, которую купают в растворе краски до получения необходимой цветности¹. Этот весьма простой способ имеет следующие недостатки: 1) невозможность получения двух одинаковых светофильтров; 2) то, что фильтр нельзя рассчитать, так как неизвестна концентрация красителя в прокрашенной пленке.

Несколько более сложным, но лишенным указанных недостатков, является разработанный и рекомендованный многими авторами (Гюбль и др.), так называемый „способ поливки“, при котором из заранее прокрашенного еще в жидком виде желатинового расплава выливанием на горизонтальную поверхность готовится пленка. Мы подробно останавливаемся на описании этого способа с целью дать ряд практических советов для устранения технических трудностей, встречающихся в этом способе.

1. *Приготовление желатинового расплава.* Наилучшей концентрацией желатины при огливке светофильтров является концентрация в 8—9%, считая относительно „сухой“ листовой желатины, которая при комнатной температуре в нормальных условиях содержит около 18% влаги. Расплав готовится из расчета 1 см² на 10 см² поверхности фильтра, с запасом в 10—20 см² на фильтрование, перемешивание и др. Прозрачный расплав удобно готовить более высокой концентрации, чем 9%, например 15%, с тем, что последующее разжижение достигается раствором краски. Отвешенное количество желатины разрезается на мелкие куски, заливается дистиллированной водой и оставляется на 1—2 часа для набухания. После набухания желатина расплавляется в водяной бане; температура плавления 15% ной желатины около 35° С. Не рекомендуется слишком поднимать температуру расплава, так как некоторые сорта желатины при высокой температуре (80—100° С) проявляют склонность к разложению. После расплавления к желати-

¹ Следует подчеркнуть, что понятие „необходимая цветность“ не всегда является достаточно определенным, так как, с одной стороны, два светофильтра с различными кривыми пропускания могут казаться на глаз одинакового цвета, а, с другой стороны, многие краски после высыхания желатинового слоя сильно меняют свой цвет.

тине добавляются в нужных количествах растворы красителей, и все это вместе фильтруется через фильтровальную бумагу или, в крайнем случае, через вату. Благодаря тому, что температура застуденения 90%-ной желатины лежит около 28°C , фильтровать нужно в воронке с подогреванием. После фильтрования расплав опять подогревается до температуры около 40°C и тщательно перемешивается для уравнивания температуры переливанием из одной колбочки в другую. При этом с поверхности расплава удаляются все пузырьки воздуха, после чего расплав выливается на заранее подготовленное стекло.

2. *Подготовка стекла для поливки.* Существуют два вида желатиновых светофильтров: один — *съемные пленки* и другой — *пленки на стекле*. Для съемных фильтров стекло должно быть обработано так, чтобы по высыхании желатины обеспечить хорошее отставание ее от стекла, а для оставляемых на стекле, наоборот, надо создать хорошее сцепление желатины со стеклом.

В тех случаях, когда делается съемный фильтр, он отливается на толстом хорошем зеркальном стекле, и по высыхании получается плоско-параллельная пленка. Для несъемных фильтров обычно берется тонкое стекло и при больших размерах стекла следует помнить о возможности прогибов его на нивелировальном столике (см. ниже). При невысоких требованиях к светофильтру берутся стекла от фотографических пластинок.

Стекла, предназначенные к поливке, моются весьма тщательно. Вначале они моются кислотой (или раствором $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), для удаления слоя жира, затем водой с мылом и щеткой, после этого протираются чистым спиртом с водой для окончательного обезжиривания. Наконец, окончательная очистка производится тщательной протиркой чистой полотняной тряпочкой и чистота проверяется дыханием до тех пор, пока дыхание не ложится ровно.

Так как сцепление желатины со стеклом очень велико, то те стекла, которые предназначены для съемных фильтров, должны быть специально обработаны. Стекло перед самой поливкой посыпается тальком, затем лишний тальк осторожно смахивается так, чтобы на стекле не оставалось мутных следов. Очень хороший результат дает следующий способ: ваткой или фильтровальной бумагой на стекло наносится ровный, тонкий слой чистого вазелина, после этого стекло посыпается густым слоем талька и тальк вместе с вазелином тщательно стирается (со втиранием) со стекла до появления на поверхности стекла ровного блеска. Посыпание талька повторяется раза два-три без повторных смазываний вазелином. Окончательно подготовленное стекло перед самой поливкой нагревается на электрической печке до $35-40^{\circ}\text{C}$.

3. *Поливка.* Поливка производится на нивелировальном столике, который может быть сделан очень просто (рис. 100 и 101). Подогретое стекло устанавливается горизонтально по уровню на столике; на него выливается перемешанный расплав желатины, отмеренный мензуркой, как было указано выше, из расчета $0,9-1,0 \text{ см}^3$ на 10 см^2 поверхности. Для лучшего растекания вылитый расплав разравнивается стеклянным треугольником (рис. 101). При таком количестве расплава по высыхании получается пленка толщиной около $0,08 \text{ м.м.}$ В тех случаях, когда фильтр будет несъемным, рекомендуется прибавлять к расплаву около $2-3\%$ сахара, — это увеличивает сцепление желатины со стеклом и предохраняет светофильтр от растрескивания и сползания после высыхания. Для

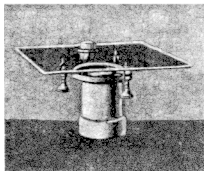


Рис. 100. Поливочный (нивелировальный) столик.



Рис. 101. Поливочный (нивелировальный) столик.

ускорения застуденения, после поливки стекло полезно охлаждать водой; для этого либо делается специальный столик с охлаждением (рис. 101), либо, когда поливка производится на простом столике вроде изображенного на рис. 100, стекло охлаждается снизу струей воды из резиновой трубки. Делать это надо осторожно, чтобы не забрызгать светофильтр. При охлаждении водой из крана расплав твердеет в $3-4$ мин.; без охлаждения при температуре в комнате 18°C застуденение длится $30-40$ мин. За такой большой промежуток времени от тряски светофильтр может покрыться рябью.

4. *Сушка.* Застудившийся светофильтр снимается с поливочного столика и переносится в сушильный шкаф для высушивания (конструкция сушильного шкафа самая обыкновенная). Надо заботиться о том, чтобы температура потока воздуха внутри шкафа была не более 22°C , особенно вначале. Поток не должен быть силен, иначе

на поверхности фильтра остаются полосы. Для обеспыливания потока воздуха вставляется марля в несколько слоев. При температуре 22°C и при работающем вентиляторе фильтр сохнет 4—5 часов. После высыхания фильтр снимается со стекла следующим образом: отступя по сантиметру от краев, он прорезывается ножом и осторожно, начиная с какого-нибудь угла, отдирается от поверхности стекла. Полезно, после того как фильтр вынут из шкафа, дать ему полежать пару часов на воздухе на случай, если он слишком пересох в шкафу.

Как видно из описания, процесс изготовления желатиновых светофильтров достаточно прост. Основным является присутствие достаточного набора красителей, комбинируя которые можно было бы получать светофильтры с желаемой кривой поглощения.

В тех случаях, когда краски, подходящие для составления светофильтра, плохо смешиваются, давая осадок или выкристаллизовываясь, выходом из положения является изготовление отдельных пленок из этих красок, которые потом складываются вместе, и светофильтр получается составным.

При этом увеличиваются потери на отражение. Потери на отражение на одной поверхности определяются формулой Френеля:

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2,$$

где n — показатель преломления.

Считая, что показатель преломления желатины n близок к 1,5, мы получаем, что потери на отражение на одной поверхности желатинового светофильтра составляют около 0,04. В простом пленочном светофильтре с двумя поверхностями потери получаются около 8%. При употреблении ряда пленок с числом поверхностей N потери на отражение от них определяются формулой Буге; при этом и прозрачность T будет:

$$T = (1 - R)^N = 0,96^N,$$

где R — потери на одной поверхности.

Благодаря тому, что желатиновая пленка чрезвычайно непрочна и, кроме того, гигроскопична (легко набирает влагу даже просто в сыром воздухе), желатиновые светофильтры принято защищать. Для этой цели их обычно закладывают между двумя стеклами, которые окантовывают по краям бумагой. При этом получаются 6 поверхностей, 4 стеклянных и 2 желатиновых, и прозрачность будет равна $T = 0,96^6 = 0,79$. Кроме этого, желатиновая пленка со временем съезживается и светофильтр делается непригодным для употребления его в оптической системе. Для того чтобы

устранить съезживание, применяется склеивание желатиновой пленки по всей поверхности со стеклом канадским бальзамом. Стекла, применяемые для покрытия, должны иметь весьма совершенные плоские поверхности. Такое проклеивание в хороших зеркальных стеклах особенно необходимо в тех случаях, когда светофильтр предназначен для работы в хорошо скорректированной оптической системе, так как, будучи проклеен в хороших плоско-параллельных стеклах, он представляет собой плоско-параллельную пластинку, не влияющую на ход лучей в системе. Благодаря близости показателей преломления стекла канадского бальзама и желатины при этом устраняются четыре поверхности и остаются только две наружных поверхности стекла, что уменьшает потери на отражение до 80%.

Необходимо отметить и недостатки проклеивания канадским бальзамом. Во-первых, канадский бальзам действует сенсибилизирующим образом на краски в желатине и понижает их световую стойкость; во-вторых, канадский бальзам со временем пересыхает, легко трескается и делается гигроскопичным. Для защиты такие проклеенные светофильтры окантовывают по краям не бумагой, а какой-либо смолой, сургучом, пищенном и т. п. Это несколько предохраняет канадский бальзам от пересыхания.

§ 2. Изготовление фотометрических клиньев

Выше, при описании спектроденсографа, упоминался так называемый фотометрический клин. Он представляет собой светофильтр с той или иной кривой поглощения по спектру (чаще всего употребляются клинья с постоянным поглощением по всему видимому спектру — нейтральные клинья) и с переменной плотностью, монотонно растущей от одного края до другого. Последнее легко достигается переменной толщиной светофильтра по его длине.



Рис. 102. Стекланный клин.

Стекланные фотометрические клинья (рис. 102) готовятся фирмой Цейсс из дымчатого нейтрального стекла, сошлифованного с одной поверхности на плоскость, расположенную под некоторым углом к другой.

Для того чтобы такой клин не превращался в призму и не изменял направления проходящего через него пучка света, на него наклеивается пластинка, также сошлифованная в виде клина прозрачного стекла, но в обратном направлении (рис. 102). Кроме того, это увеличивает прочность дымчатого клина. Такой клин имеет идеально линейный ход оптической плотности D по своей длине и логарифмический ход пропускания — T .

Гольдберг предложил аналогичным путем готовить желатиновые клинья.

На зеркальное стекло с хорошей поверхностью кладется узкое длинное стекло, являющееся основанием для будущего клина. Под один из концов подкладывается стеклянная пластинка 0,5—2,0 мм (наклон порядка 0,005—0,01), другой конец, чтобы он не сдвигался, упирается в стеклянную полоску (рис. 103).

Желатиновый расплав, приготовленный по описанному выше способу, прокрашенный необходимым раствором красок, но с концентрацией желатины около 6—7%, выливается на нижнее стекло, около тонкой части клиновидного промежутка; капиллярными силами желатина затягивается между стеклами и заполняет все пространство между ними. Лить надо медленно и плавно.

Через некоторое время, когда желатина застуденится, вынимают подложечное стеклышко и, вставив кончик ножа на место этого стеклышка, поворотом ножа отдирают верхнее стекло вместе с желатиновым клином от нижнего стекла. Чтобы это вышло, стекла должны быть обработаны следующим образом:

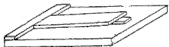


Рис. 103. Поливка клина.

оба стекла весьма тщательно моются и протираются, затем на нижнее стекло наливается чистый раствор целлулоида в амил-ацетате (укусноамиловый эфир, обычно называемый „грушевый эссенцией“), резким наклонением стекла дают стечь избытку жидкости и ставят его в наклонном положении на некоторое время высохнуть. По высыхании на стекле образуется чрезвычайно тонкий (порядка 0,3 м) слой целлулоида. Верхнее стекло ничем не обрабатывают. Когда клин отлит на таких стеклах, то благодаря тому, что желатина со стеклом и целлулоидом имеет очень большое сцепление, а стекло с целлулоидом очень маленькое, при отдирании целлулоид отстает от нижнего стекла, прилипая к желатине, и снимается вместе с клином на верхнем стекле. Предварительно, чтобы отделить ту часть пленки, которая должна остаться на клине от остального целлулоида, перед снятием пленку осторожно прорезают кончиком ножа, проводя им вдоль края верхнего стекла. Эта же пленка на клине, благодаря большой прочности целлулоида, служит очень хорошей защитой желатины от всяких механических повреждений. Снятый клин ставится в наклонном положении для окончательного высыхания.

После высыхания обычно срезают края, так как на них получаются дефекты, и, вставив клин в рамку, градуируют его. Если клин отлит на хорошем зеркальном стекле и поверхность нижнего

стекла также выверена на плоскость, клин получается правильный, т. е. плотность изменяется по длине линейно, так же как и у стеклянного клина. Такой клин градуируют весьма просто, измеряя плотность в двух его точках, расстояние между которыми точно известно.

Характеризуют клин константой клина, — изменением поглощения на единицу длины, — что из двух измерений определится так:

$$a = \frac{D_2 - D_1}{\Delta l}.$$

Если клин отлит на плохом стекле, поверхность которого не является достаточно ровной, он не будет линейным. Величина a будет уже не постоянной, а переменной, зависящей от места клина. Такой клин приходится градуировать по всей длине, измеряя его



Рис. 104. Цилиндрический клин.

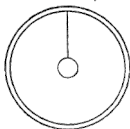


Рис. 105. Болванка для кругового клина.

плотность достаточно часто и строя полную градуировочную кривую. В большинстве случаев это неважно, ибо пользование градуировочной кривой весьма мало затрудняет последующие измерения, и клинья отливают на стеклах от фотопластинок, так как найти тонкое зеркальное стекло часто бывает трудно.

Можно делать также съемные клинья. Тогда для многих клиньев нужно будет только одно стекло с хорошей поверхностью (кроме нижнего) и большая толщина его при этом не помешает. Это стекло обрабатывается так же, как стекло для съемных светофильтров, но для защиты тонкой части клина, которая чрезвычайно легко может быть попорчена (его толщина не превышает нескольких микрон), на высохший клин, поставленный слегка наклонно, наливается прозрачная желатина, клинообразно, обратно основному клину. Такой снятый клин, обладая всеми преимуществами клина, отлитого на хорошем стекле, не требует в эксплуатации хороших стекол и поэтому весьма удобен.

Прямой клин на стекле очень некомпактен, так как требует в приборе места, равного двойной своей длине, а обычно длина клина равна 12—18 см. Снятому же клину может быть придана весьма компактная форма: его можно наклеить на цилиндрическое стеклянное кольцо (рис. 104), защитив изнутри полоской целлулоида, которую по краям приклеивают к стеклу какой-либо смолой (пицеин, сургуч и пр.). Такой клин, будучи поставлен в фотометре в плече лампы сравнения, придает прибору значительно более компактный и удобный вид, чем клин прямой.

Гольдбергом предложен желатиновый клин в форме круга. Отливка таких клиньев производится не на стекле, а на специально заготовленном металлическом шаблоне. Шаблон представляет собой цилиндрическую болванку, торец которой обточен по винтовой поверхности (как указано на рис. 105). Болванка отшлифована и отполирована. Болванка вставлена в кольцо, высота которого равна высоте болванки в ее самой толстой части. Обработав болванку целлулоидом, как раньше большое стекло, на нее наливают желатиновый расплав заведомо с избытком (т. е. так, чтобы его уровень был выше уровня кольца). Затем болванка осторожно, чтобы не получилось пузырей, накрывается заранее приготовленным круглым стеклом. Далее делают то же, что и с прямыми клиньями. Такие клинья, конечно, также значительно удобнее прямых. Необходимо указать, что в процессе изготовления болванки на ней несколько раз отливают пробные клинья на хорошем плоском стекле, тщательно их промеряют и корректируют поверхность шаблона по полученным измерениям.

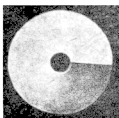


Рис. 106. Круговой клин.

Вид кругового клина показан на рис. 106.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Гюбль, Ортохроматическая фотография и светофильтры, Москва 1930.
Очень плохой перевод, часто с искажением текста.
2. Г. В. Потанин, Ж. Р. Ф.-Х. О., ч. физ., т. 48, за 1916 г.
Описана техника изготовления и исследования желатиновых светофильтров.
3. В. Гинзбург и Б. Левин, Изготовление желатиновых светофильтров и т. д., Журнал техн. физ., т. II, стр. 1053, 1932.
4. Е. Гольдберг, Образование фотографического изображения, Москва 1929.
Описан способ изготовления желатиновых фотометрических клиньев.
5. И. О. Черный, О нейтрально-серых клиньях, Журнал техн. физ., т. III, стр. 550, 1933.

ТИПЫ И РЕЦЕПТУРА СВЕТОФИЛЬТРОВ ДЛЯ РАЗНЫХ ЦЕЛЕЙ

§ 1. Фотометрические светофильтры

Весьма часто употребляются светофильтры с поглощением, одинаковым по всему спектру, — *нейтральные* светофильтры, — задачей которых является ослабление светового потока источника в определенное число раз. Это единственный тип светофильтра, когда его задачей является *не качественное* изменение светового потока источника, а *только лишь количественное*.

Мы начнем описание фотометрических светофильтров с рецептов нейтрального светофильтра.

Нейтральность, как мы уже сказали, определяется неизбирательностью поглощения по спектру. Для нейтрального светофильтра кривые $T(\lambda)$ и $D(\lambda)$ должны превращаться в прямые, параллельные оси абсцисс. Так как веществ, обладающих совершенно неизбирательным поглощением по спектру, нет, то и такой кривой не существует. Комбинируя ряд избирательно поглощающих веществ, можно получить нейтральный светофильтр, также лишь с той или иной степенью точности.

В качестве красителя для нейтрального светофильтра может быть взята обыкновенная черная тушь. На рис. 107 приведена кривая поглощения ее $D(\lambda)$ по спектру.

Вполне нейтральной по всему спектру тушь отнюдь нельзя признать, так как разность плотностей для разных λ достигает 0,3 (для 700 и 500 $m\mu$), но в тех случаях, когда нейтральность нужна лишь в некотором участке видимого спектра, например в пределах 600--700 $m\mu$, и большой точности не требуется, светофильтр, прокрашенный тушью, благодаря своей простоте, может весьма пригодиться. Улучшить нейтральность такого светофильтра можно прибавлением берлинской лазури (кривая которой была приведена на рис. 35) — краской, которая также широко доступна, так как может быть без труда приготовлена собственными силами (см. выше).

Укажем еще одно вещество, пригодное для изготовления нейтрального светофильтра или клина и также весьма доступное. Это

эмульсия серебра в экспонированной и проявленной фотопластинке. Такой светофильтр удобен еще и в том отношении, что приготовить его можно не пользуясь дополнительной желатиной. Если же нужно иметь точно калиброванную по поглощению нейтральную пленку, можно рекомендовать следующий способ: экспонированная, проявленная и отфиксированная пленка размачивается и снимается со стекла, затем она заливается водой из расчета 90% эмульсии и расплавляется.

Параллельно с этим готовится расплав, но приготовленный из неэкспонированной и непроявленной, а только отфиксированной

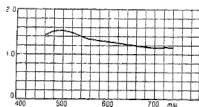


Рис. 107. Чертежная тушь (в оптических плотностях).

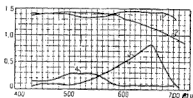


Рис. 108. Кривая поглощения проявленной фотоэмульсии.

фотоэмульсии. Взяв некоторое количество той и другой эмульсии и смешав их в строго определенном соотношении, отливаем, как было описано выше, пленку и точно промеряем ее плотность. Таким образом мы узнаем плотность, которая получится на $N \text{ см}^2$

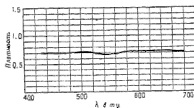


Рис. 109. Кривая нейтрального светофильтра.

темной эмульсии. Далее можно будет же из заготовленной эмульсии приготовить светофильтр любой заданной прозрачности, так как количество темной эмульсии для этого светофильтра можно будет точно рассчитать по его плотности, которой оно пропорционально. Поглощение по спектру такого светофильтра изображено на рис. 108.

При изготовлении точного нейтрального светофильтра обычно за основу выбирают какую-либо краску со слабо избирательным поглощением, которую подправляют прибавлением других красок. Мы приведем три различных рецепта с различными основными красками.

1. *Основная краска — нейтрально-серая (Neutralgrau).* Кривая краски «нейтрально-серая» имеет повышенное пропускание в области

длин волн 530 μ и начиная с 600 μ (кривая 2, рис. 108). Для повышения плотности в этих областях могут быть использованы краски капри-синия (Capriblau) (кривая 4) и пунцовая 2Р (Ponceau 2 R) (кривая 3). В результате может быть получен светофильтр с кривой 1 на том же рис. 108. Разность плотностей в разных частях этого светофильтра (при общей плотности 1,4) в области 400—680 μ равна 0,05 единицы, что соответствует колебаниям в пропускании T на 10%; такой светофильтр или клин пригоден для весьма многих целей.

Подобрав еще исправляющие краски, можно добиться еще меньших колебаний пропускания.

2. Основная краска — «черная для искусственного шелка» (*Kunstseidenschwarz*).

Рецепт:

- 1) Черная для искусственного шелка (*Kunstseidenschwarz*), 20%-ный раствор 2,8 см²
- 2) Берлинская лазурь, 0,1%-ный раствор 2,25 „
- 3) Нафтол зеленый (*Naphтолgrün*), 0,1%-ный раствор . . 4,5 „
- 4) Бензоехт синий (*Benzoechtblau*), 0,1%-ный раствор . 5,6 „
- 5) Тартрацин (*Tartrazin*), 0,1%-ный раствор 4,5 „

3. Основные краски — нигрозин и нафтолгрюн. Этот светофильтр составлен целиком из советских красок; его кривая изображена на рис. 109:

- 1) Нигрозин 0,200 Н
- 2) Нафтолгрюн 0,345 Н
- 3) Пунцовая 2Р 0,070 Н
- 4) Тартрацин 0,025 Н
- 5) Анил медно-синий Б 0,006 Н

Выравнивающие светофильтры. Фотометрические эталоны градуируются при определенной цветной температуре, поэтому при фотометрировании различных источников света, имеющих, как правило, иную цветную температуру, получается различная цветность полей сравнения. Как известно, различная цветность полей сравнения исключает возможность сколько-нибудь точного фотометрирования. Для выравнивания цветности пользуются светофильтрами с точно известным пропусканием T , изменяющими цветную температуру источников. Светофильтры этого типа принадлежат к классу компенсационных.

Хорошо воспроизводимые цветовыравнивающие светофильтры, жидкие, с известным пропусканием T могут быть приготовлены из следующих двух растворов.

А) Желтый раствор:

$\text{Co}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	100 г
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	0,733 "
HNO_3 ($d = 1,05$ г/см ³)	10 см ³
H_2O	до 1000 "

при 20° С. Для дальнейшего разведения служит вода.

В) Синий раствор:

$\text{Ni}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	50 г
$(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)$	10 "
NH_4OH ($d = 0,90$ г/см ³)	55 "
H_2O	до 1000 см ³

Дальнейшее разведение водным раствором: 1 г $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ на 1 л раствора.

При фотометрировании с двумя источниками, цветовую температуру которых необходимо подогнать, эти растворы применяют в соответственном разведении, добиваясь равномерной окраски полей фотометра. Для света стандартной угольной лампы с потреблением 4 W на свечу (цветная температура около 2077° К) оптическая плотность разведенных светофильтров определится формулами:

1) желтого $D = -\lg T = 0,245 C$ и

2) синего $D = -\lg T = 0,539 C$, где C — концентрация, равная числу кубических сантиметров основного раствора (А или В) на 1 см³ конечного раствора, и T — относительное пропускание при толщине в 1 см при 20° С.

Для света источника со спектральным распределением энергии, близким к черному при температуре больше 2077° К, плотность желтого раствора, выравнивающего цвет данного источника с цветом угольной лампы (4 W на свечу), дается формулой:

$$D = -\lg T = 0,366 C.$$

Национальной физической лабораторией в Лондоне разработан жидкий светофильтр, состоящий из двух растворов (в отдельных кюветах), для изменения цветной температуры с 2900° К (газо-

полная лампа) до 4800°K (белый свет), так называемый „свето-фильтр дневного света“ („daylightfilter“). Его рецепт следующий:

Раствор А:

CuSO_4	2,30 г
NH_4Cl ($d = 0,90 \text{ г/см}^3$)	2,30 см^3

Воды дистиллированной до 1 л

Раствор В:

CuSO_4	15 г
CoSO_4	15 „

Воды дистиллированной до 1 л

Толщина обеих кювет по 1 см

Цветную температуру в 2900°K газополной лампы устанавливают следующим образом: сравнивая на фотометрической скамье ее с вакуумной лампой (цветная температура 2360°K), перед которой поставлен светофильтр, изменяющий цветную температуру с 2360 по 2900°K , изменяют вольтаж нити газополной лампы до получения тождества по цвету полей фотометра. Рецепт этого светофильтра, изменяющего цветную температуру с 2360° до 2900°K , следующий (также из двух растворов):

Раствор А:

CuSO_4	1,41 г
NH_4Cl ($d = 0,90 \text{ г/см}^3$)	1,41 см^3

Воды дистиллированной до 1 л

Раствор В:

CuSO_4	11 г
CoSO_4	8,5 „

Воды дистиллированной до 1 л

Толщина обеих кювет по 1 см

Дэвисом и Гибсоном разработаны жидкие светофильтры также из двух растворов А и В, меняя концентрации которых, можно, с одной стороны, приводить излучение источника с цветной температурой от 2300 до 4000°K к среднему солнечному свету и, с другой стороны, имея источник с цветной температурой в 2848°K , приводить его излучение к цветной температуре от 3500 до 10000°K .

Растворы употребляются в двойной кювете с тремя окошками из боросиликатрона ($n_D = 1,51$, толщина $2,5 \text{ мм}$).

Толщина каждой кюветы 1 см.

*Раствор А:*CuSO₄·5 H₂O (медный купорос) С 2C₆H₈ (ОН)₃ (манит) C₁ „C₅H₅ N (пиридин) 30 см³

Воды дистиллированной до 1 л

*Раствор В:*CuSO₄·5H₂O С 2CoSO₄(NH₄)₂ SO₄·6H₂O (сульфат-кобальт
алюминия) C₂ 2H₂SO₄ (d = 1,84 г/см³) 10,0 см³

Воды дистиллированной до 1 л

Значения коэффициентов С, С₁ и С₂ и пропускания светофильтра, для изменения цветной температуры источников в интервале 2 300—4 000° К до цветной температуры среднего солнечного света, приведены в следующей табл. 5:

Таблица 5

Цветная температура источника °К	С	С ₁	С ₂	Коэффициент пропускания (светлота)
2 300	3,901	28,300	28,250	0,1224
2 400	3,582	25,870	26,430	0,1442
2 500	3,292	23,590	24,730	0,168
2 600	3,024	21,400	23,000	0,193
2 700	2,777	19,325	21,300	0,220
2 800	2,551	17,400	19 720	0,248
2 900	2,337	15,580	18,300	0,277
3 000	2,340	13,900	17,000	0,307
3 100	1,956	12,360	15,760	0,338
3 200	1,784	10,890	14,570	0,370
3 300	1,624	9,470	13,430	0,403
3 400	1,475	8,100	12,330	0,437
3 500	1,332	6,790	11,260	0,471
3 600	1,119	5,570	10,220	0,506
3 700	1,074	4,380	9,210	0,541
3 800	0,955	3,260	8,210	0,577
3 900	0,845	2 175	7,220	0,613
4 000	0,741	1,130	6,250	0,449
2 848	2,445	16,520	19,020	0,262

Для получения с источником с цветной температурой 2848°K цветных температур от 3500 до 10000°K служат следующие значения коэффициентов C , C_1 , C_2 (табл. 6):

Таблица 6

Конечная цветная температура источника в 2848°K с фильтром	C	C_1	C_2	Светлота (коэффициент пропускания) светофильтра с источником 2848°K
3 500	1,113	7,197	9,780	0,497
4 000	1,726	11,220	15,133	0,361
5 000	2,599	17,090	23,080	0,231
6 000	3,188	21,000	28,480	0,173
7 000	3,605	23,850	32 400	0,1407
8 000	3,916	25,800	35,355	0,1211
9 000	4,154	27,290	37,550	0,1082
10 000	4,342	28,420	39,353	0,1989

Кроме того, вместо точно калиброванных и хорошо воспроизводимых жидких светофильтров можно применять в качестве выравнивающих светофильтров желтые и синие стекла разных сортов и желатиновые светофильтры, прокрашенные анилиновыми красками, подгоняя их по цветности для каждого данного случая. В качестве грубого светофильтра, повышающего цветную температуру лампы накаливания до цветной температуры среднего солнечного дня, — дневного фильтра, — можно рекомендовать желатиновую пленку, прокрашенную берлинской лазурью в соответствующей концентрации.

Часто употребляют также в качестве синих выравнивающих светофильтров стекла, прокрашенные кобальтом и медным купоросом.

Цветовыравнивающие светофильтры имеют также весьма большое применение при фотометрировании цветных источников. Цветная фотометрия (визуальная) имеет несколько широко известных и распространенных методов, но все они не могут быть признаны удовлетворительными со всех точек зрения. Например, метод мигающего фотометра дает слишком недостаточную точность; спектрофотометрический метод, требующий полного измерения распределения энергии по спектру, более точен, но требует длительных измерений и вычислений. Метод светофильтров, не решая, конечно, проблемы цветной фотометрии во всей полноте, в ряде случаев может оказаться вполне пригодным. Светофильтр для эталонной

лампы изготовляется таким образом, чтобы можно было сравнить ее цвет с цветом измеряемого цветного источника. Так как распределение по спектру эталонной лампы всегда известно, то вычисление полного коэффициента пропускания светофильтра по его спектральной кривой (для данной лампы) не представляет труда.

В дальнейшем измерения производятся со светофильтром обычным путем, как в нецветной фотометрии, лишь коэффициент пропускания светофильтра входит как множитель при силе света эталона. Подразумевается, что в производстве самих измерений участвует наблюдатель, имеющий кривую чувствительности глаза (кривую видимости), мало отличную от стандартной кривой (см. ниже).

Мы приведем (как примеры) два рецепта таких цветовыражающих желатиновых светофильтров: 1) для фотометрирования неоновых ламп и 2) для фотометрирования ртутных ламп.

Светофильтр для фотометрирования неоновой лампы:

1. Диамант красный (Diamantrot) 1,0 Н
2. Берлинская лазурь 0,3 Н
3. Нафтол зеленый (Naphtolgrün) 0,6 Н

Светофильтр для фотометрирования ртутной лампы:

1. Виктория синий (Viktoriablau) 1,0 Н
2. Эозин (Eosin) 0,18 Н
3. Нафтол зеленый (Naphtolgrün) 0,8 Н

Фильтры для испытания наблюдателей. Как известно, основным требованием к наблюдателю при визуальном фотометрировании является требование, чтобы кривая чувствительности его глаза была достаточно близка к средней или стандартной кривой чувствительности человеческого глаза.

Одним из способов проверки этого является определение наблюдателем пропускания некоторых стандартных светофильтров на мигающем фотометре. Рецепты этих светофильтров следующие.

Желтый раствор:

- $K_2Cr_2O_7$ 7 г
Воды дистиллированной до 1 л

Синий раствор:

- $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 57 г
Воды дистиллированной до 1 л

Оба раствора в кюветах из бесцветного стекла толщиной в 1 см при 20° С. В этих условиях пропускания обоих растворов, определенные на мигающем фотометре при освещении лампой с потреблением 4 W на свечу, должны быть одинаковы.

Светофильтры для объективной фотометрии. В объективной фотометрии глаз заменяется каким-либо приемником, могущим количественно реагировать на падающую на него световую энергию. Но совершенно ясно, что результирующая спектральная чувствительность должна быть достаточно близка к стандартной кривой чувствительности глаза.

Для создания результирующей чувствительности, подобной чувствительности глаза, применяются различные светофильтры. Спектральное пропускание этих светофильтров зависит от кривой чувствительности прибора, для которого они предназначены. Для приемников с неселективной чувствительностью по спектру, какими являются приемники, основанные на тепловом действии света, например термоэлемент или болометр, разработан жидкий светофильтр, рецепт которого мы приводим:

$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	61,25 г
$\text{Co}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	14,5 "
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	1,9 "
Воды дистиллированной	до 1 л

Раствор употребляется в кювете толщиной в 1 см. Кроме того, для практически полного поглощения инфракрасных лучей ставится слой воды около 2 см толщиной.

Фотоэлементы имеют весьма резко выраженную селективную чувствительность по спектру, сильно меняющуюся от одного типа к другому. Необходимо также отметить, что фотоэлементы с внешним фотоэффектом, особенно с газовым наполнением, не имеют достаточно постоянной спектральной чувствительности, даже в пределах одного типа. Поэтому для точного фотометрирования к таким фотоэлементам надо подходить с большой осторожностью. Для измерений же, не требующих большой точности они, конечно, могут быть применены. На рис. 110 кривая 2 представляет среднюю кривую чувствительности фотоэлемента с калиевой (K), обработанной с одной (S) поверхностью (KS), кривая 1 — нормальную кривую видимости. С помощью светофильтра, пропускание которого представлено кривой 3, результирующая кривая чувствительности получается такая, как это изображено на кривой 4. Как видно, близость к кривой видимости очень неплохая. Этот свето-

фильтр желатиновый, прокрашенный анилиновыми красками. Рецепт его следующий:

Хризоидин (Chryzoidin)	0,34 Н
Диамант красный (Diamantrot)	0,14 Н
Эозин (Eosin)	0,019 Н

В последнее время получают все большее распространение фотоэлементы с запирающим слоем, в частности меднозакисные фотоэлементы, которые не требуют для работы дополнительного напряжения. Их громадное удобство и преимущество перед фотоэлементами, основанными на внешнем фотоэффекте, заключается

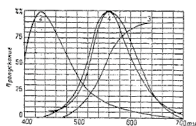


Рис. 110. Фильтр для калиевого фотоэлемента.

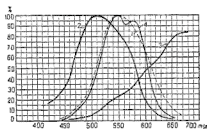


Рис. 111. Фильтр меднозакисного фотоэлемента.

не только в отсутствии громоздкой батареи, но и в том, что они имеют кривую чувствительности, сдвинутую в область красных лучей. Кроме того, как показал опыт ряда лабораторий, они имеют линейность фототока по отношению к падающему световому потоку в громадном интервале освещенностей (0,1—10 000 люксов). Необходимо также отметить, что их постоянство во времени, проверенное в довольно жестких условиях больших освещенностей и нагревания, оказалось вполне удовлетворительным. Мы приводим рецепт желатинового светофильтра для фотометрирования с таким фотоэлементом; на рис. 111 представлена результирующая кривая чувствительности меднозакисного фотоэлемента с этим светофильтром. 1—нормальная кривая видимости, 2—кривая чувствительности меднозакисного фотоэлемента, 3—кривая пропускания светофильтра, 4—результирующая кривая чувствительности фотоэлемента со светофильтром.

Светофильтр для меднозакисного фотоэлемента:

1. Тартрацин	0,3 Н
2. Диамант красный (Diamantrot)	0,5 Н

§ 2. Светофильтры для монохроматизации излучения различных источников

Получить в той или иной степени монохроматический пучок света бывает необходимо в самых разнообразных случаях лабораторной практики. Можно указать на такие примеры, как фотометрия в различных участках спектра, определение чувствительности по спектру, изучение действия различных частей спектра на биологические процессы, наконец, чисто художественные цели получения "одноцветных пучков и многое другое.

Как видно, мы привели ряд примеров из столь различных областей, как фотометрия, биология и осветительная техника, и эти примеры, конечно, далеко не исчерпывают всего многообразия случаев, при которых требуются монохроматические пучки.

В зависимости от назначения, требования к точности монохроматизации, т. е. к спектральной ширине пучка, скорости спадания интенсивности на его краях и др., бывают различны. Обычные способы монохроматизации с помощью спектрального разложения, требующие применения призмных или дифракционных монохроматоров, не всегда могут быть использованы по следующим причинам. Во-первых, спектральная узость пучка, даваемая монохроматором, не всегда бывает необходима; во-вторых, само применение монохроматора, прибора довольно сложного и громоздкого, не всегда возможно, и, наконец, в-третьих, в монохроматорах обычно весьма велики потери светового потока, и светосила их очень небольшая.

Монохроматизируя светофильтры, можно получить весьма большую светосилу при не очень большой спектральной узости пучка. В тех же случаях, когда нужна узкая монохроматизация, можно, применяя такие фильтры, как монохромы или фильтр Вуда, потеряв несколько в светосиле, добиться и весьма большой узости пучка.

Чистота пучка, т. е. величина, обратная степени загрязненности его посторонним излучением, при монохроматизации фильтрами будет значительно более низкой, чем в пучке, выходящем из простого монохроматора.

Мы разберем здесь, не претендуя на полноту, которой нельзя достичь в небольшой книжке, ряд типов светофильтров для получения монохроматических пучков в различных участках видимого спектра. Попутно мы укажем и некоторые, наиболее доступные светофильтры для монохроматизации в областях соседних с областью видимого ультрафиолетового и инфракрасного спектров.

Начнем со светофильтров, предназначенных для выделения спектрально узких пучков из непрерывного спектра. Условимся ширину пучка мерить в том месте кривой пропускания светофильтра, где его пропускание падает в 10 раз по сравнению с пропусканием в максимуме. По кривой оптической плотности это будет соответствовать месту, где его плотность возрастет на единицу по сравнению с плотностью в максимуме.

Красные светофильтры мы будем условно считать монохроматическими даже в том случае, когда они имеют границу только со стороны коротких волн, так как со стороны длинных волн их граница определится автоматически, — около 700 $\text{м}\mu$, — границей чувствительности человеческого глаза. Соответственно так же мы будем оценивать фиолетовые светофильтры, имеющие границу только со стороны длинных волн.

Обозначать светофильтры условимся следующим образом: собственно монохроматические светофильтры, т. е. имеющие обе границы пропускания в пределах видимого спектра, — буквой М и числом, обозначающим длину волны максимума пропускания в десятках $\text{м}\mu$, например М53 значит — монохроматический с длиной волны максимума 530 $\text{м}\mu$; фильтры с одной границей первого класса по Гибсону — сначала

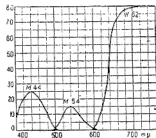


Рис. 112. Фильтры K62, M54, M44.

буквой, обозначающей цвет, и числом, обозначающим положение границы, например K68 значит — красный с границей около 680 $\text{м}\mu$ (область с $\lambda < 680 \text{ м}\mu$ поглощает); фильтры с одной границей, второго класса по Гибсону — сначала числом, обозначающим границу, и затем буквой, обозначающей цвет, например 50С значит — синий с границей около 500 $\text{м}\mu$ (область с $\lambda > 500 \text{ м}\mu$ поглощает).

Светофильтры, делящие видимый спектр на три части. На рис. 112 приведены кривые плотностей трех светофильтров ¹ *K62, M54, M44, примерно разделяющих видимый спектр на три более или менее равные области. Они дают, конечно, спектрально широкие пучки (ширина пучка — 90—100 $\text{м}\mu$), но их чрезвычайно удобно употреблять для приближенной оценки спектральной чувствительности различных приемников (фотоэлементов и т. п.), для

¹ Звездочками * отмечены рецепты светофильтров, разработанные из советских красок.

биологического облучения, грубого фотометрирования в различных участках спектра и т. п.

Рецепты этих светофильтров следующие:

***K62:**

- | | |
|----------------------------|-------|
| 1. Фуксин кислый | 1,5 Н |
| 2. Тартрацин | 2,5 Н |

M54:

- | | |
|---|-------|
| 1. Нафтол зеленый Б (Naphtolgrün B) | 1,5 Н |
| 2. Бриллиант-патент-синий (Brilliantpatentblau) | 1,0 Н |
| 3. Корифосфин (Coryphosphin) | 1,0 Н |

M44:

- | | |
|---|--------|
| 1. Виктория синяя (Victoria blau) | 2,0 Н |
| 2. Берлинская лазурь | 1,5 Н |
| 3. Эозин | 0,25 Н |

Далее на рис. 113 приведена серия из пяти монохроматических светофильтров, у которых значительно сужена спектральная ширина пропускаемых ими пучков, примерно до 40—50 мμ, у большинства за счет уменьшения пропускания. Это — светофильтры *K67; M58; M53; *M48; M44.

Рецепты:

***K67**

- | | |
|----------------------------|-------|
| 1. Метилвиолет | 1,0 Н |
| 2. Конго красный | 3,5 Н |

M58:

- | | |
|---|-------|
| 1. Нафтол зеленый (Naphtolgrün) | 2,0 Н |
| 2. Эозин | 0,5 Н |
| 3. Метил желтый (Metilgelb) | 0,5 Н |

M53:

- | | |
|--|-------|
| 1. Сине-зеленая для фильтров (Filter-
blaugrün) | 8,0 Н |
| 2. Тартрацин (Tartrazin) | 4,0 Н |

***M48:**

- | | |
|------------------------|-------|
| 1. Метилгрюн | 6,0 Н |
|------------------------|-------|

M44:

1. Берлинская лазурь 2,0 Н
2. Эритрозин (Erytrosin) 2,0 Н
3. Патент синий (Patentblau) 1,0 Н

На рис. 114 приведены дополнительно кривые нескольких монохроматических светофильтров: *M59; *M50 и M46, рецепты которых следующие:

*M59:

1. Нафтолгрюн 3,5 Н
2. Эозин 0,5 Н
3. Тартрацин 1,5 Н

*M50:

1. Нафтолгрюн 3,0 Н
2. Метилгрюн 2,0 Н

M46:

1. Синяя для фильтров (Filterblau) 4,0 Н
2. Сине-зеленая для фильтров (Filterblaugrün) 2,0 Н

При работе с источниками, обладающими линейчатым спектром, задачей монохроматизирующего светофильтра является выделение одной линии или группы линий из всего спектра. Поэтому светофильтр сам по себе может не быть монохроматическим; так, он может иметь дополнительную полосу (или полосы)

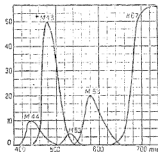


Рис. 113. Фильтры K67, M58 и т. д.

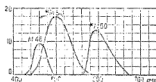


Рис. 114. Фильтры M59 и т. д.

пропускания в тех областях спектра, в которых излучение данного источника отсутствует. В лабораторной практике очень широкое распространение имеет ртутная лампа, и очень часто бывает необходимо выделить в ее спектре различные отдельные линии. Типов

светофильтров для этих целей существует много, многие из них включают в себя готовые стеклянные светофильтры. Мы укажем здесь несколько вариантов таких светофильтров, изготовление которых доступно внутри лаборатории.

На рис. 115 изображены кривые светофильтров из заграничных красителей для выделения четырех ярких линий видимого спектра ртутной лампы: 579 мμ, 546 мμ, 436 мμ и 406 мμ. Все они имеют полосу пропускания в области красных лучей, но благодаря тому, что в спектре ртутной лампы красные лучи отсутствуют (почти совершенно), эта полоса не портит монохроматизации. По существу эти монохроматизирующие излучение светофильтры согласно второй из приведенных нами ранее классификаций являются не монохроматическими, а субтрактивными. Рецепты этих четырех светофильтров следующие:

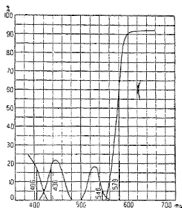


Рис. 115. Фильтры для выделения линий ртутной лампы.

Для линии 579 мμ:

1. Диодфлуоресцеин (Diodfluorescein) . . . 3,0 Н
2. Тартрацин (Tartrazin) 3,0 Н

Для линии 546 мμ:

1. Нафталин зеленый (Naphtalingrün) . . . 2,0 Н
2. Тартрацин (Tartrazin) 3,0 Н

Для линии 436 мμ:

1. Сине-зеленая для фильтров (Filterblaugrün) 3,0 Н
2. Диодфлуоресцеин (Diodfluorescein) . . . 0,5 Н

Для линии 406 мμ:

1. Фуксин (Fuxin) 3,2 Н
2. Берлинская лазурь 0,4 Н

Кроме того, из вышеприведенных светофильтров для выделения линий ртутной лампы пригодны следующие:

1. Для линии 546 мμ — светофильтр . . . M54
Пропускает 15% этой линии и 3% линии 579 мμ.

2. Для линии 436 мμ — светофильтр M44

Пропускает 25% этой линии и 12% линии 406 мμ.

Жидкие светофильтры для этих линий могут быть получены с большим пропусканием, чем желатиновые, например:

Для линии 436 мμ:

1. Виктория синий В (Victoriablau В) . . . 0,15 г
2. C_2H_5OH 100 см³

При толщине слоя в 0,5 см пропускает 30% от линии 436 мμ и следы остальных.

1. Родамин В (Rhodamin В) 0,0075 г
2. С-роокислый хинин 2 г
3. H_2SO_4 (нормальный раствор) 6 см³
4. Вода 94 см³

При толщине слоя в 1 см пропускает 38% от линии 436 мμ, следы линии 406 мμ и 366 мμ и красные лучи.

Для линии 406 мμ:

1. Диамантфуксин (Diamantfuxin) 1,12 г
2. Тр-фенилметан 1,2 г
3. Вода 100 см³

При толщине слоя в 0,5 см пропускает от линии 406 мμ 13,5%, от линии 579 мμ — 0,2% и от линии 546 мμ — 0,02%.

1. Диамантфуксин (Diamantfuxin) 0,03 г
2. Хлористо-золотородный хинин 4,0 г
3. C_2H_5OH (96%) 100 см³

При толщине слоя в 1 см пропускает: 34% от линии 406 мμ, следы от линии 436 мμ и красные лучи.

Для линии 366 мμ:

1. Диамантфуксин (Diamantfuxin) 0,03 г
2. Воды 100 см³

При толщине слоя в 1 см пропускает 31% от линии 366 мμ и красные лучи.

Для линии 313 мμ:

1. K_2CrO_4 0,0243 г
2. Нитрозодиметиланилин 0,00188 г
3. Воды 100 см³

При толщине слоя: 1 см пропускает: от линии 313 $\text{м}\mu$ — 30%, от линии 302 $\text{м}\mu$ — 19%, от линии 436 $\text{м}\mu$ — следы и немного красных и желтых.

Для линии 254 $\text{м}\mu$:

Двойной фильтр из паров Cl и Br при давлении около 6—7 ат в толстостенных кварцевых сосудах.

Монохроматические фильтры для инфракрасной области. Веществ, имеющих узкие полосы пропускания в области инфракрасных лучей, очень мало, поэтому изготовление монохроматических светофильтров в этой области возможно лишь путем комбинации двух веществ. Эти вещества должны быть из разных классов (1-го и 2-го) классификации Гибсона. Приведем ряд примеров. Фильтр для выделения смежных с видимыми инфракрасных лучей может быть получен из очень тонкого эбонита ($d \approx 0,5 \text{ м}\mu$), принадлежащего к 1-му классу, — граница пропускания его лежит около 0,8—0,9 μ , и какого-либо вещества 2-го класса, например масла (рис. 29), с границей пропускания около 1,75 μ , или целлюлозы (рис. 28), граница которой лежит около 3,0 μ и т. д. Если нужно сдвинуть пропускаемую область дальше в сторону длинных волн, то можно взять эбонит в большей толщине, в качестве же второго фильтра взять кварц (около 5 μ) и т. д.

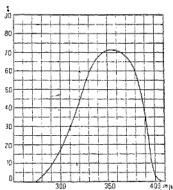


Рис. 116. Черное увиолевое стекло.

Во всяком случае благодаря тому, что веществ, пропускающих инфракрасные лучи, довольно много, скомбинировать монохроматический светофильтр в области 1,0—15,0 μ всегда возможно.

Монохроматические фильтры для ультрафиолетовой области. Значительные трудности представляет изготовление монохроматических светофильтров для выделения участков спектра в области ультрафиолетовых лучей. Мы укажем лишь несколько таких светофильтров. Для выделения смежной с видимыми области с длиной волны 400—300 $\text{м}\mu$ может быть взято черное увиолевое стекло Шотта или Института стекла (см. кривую на рис. 116). Оно годится также для выделения ртутной линии 366 $\text{м}\mu$.

Для выделения узкой области около 315 $\text{м}\mu$ очень хороший результат дает тонкий слой серебра, осажденный или на белом

увиолетовом стекле или на пластинке кварца. Тонкий слой серебра проще всего получить испарением в вакууме или с помощью катодного распыления. На рис. 117 даны кривые пропускания тонких пленок серебра на кварце при толщинах в 48,6 м μ , 79 м μ и 100,4 м μ . Интересно отметить, что в пределах до 150 м μ поглощение в серебре вполне подчиняется закону Буге для всех длин волн. Область 200—260 м μ может быть выделена с помощью двойного фильтра из паров брома и хлора, взятых в кварцевых плоско-параллельных кюветах.

Наконец, укажем еще один фильтр типа Христиансена, предложенный Коном и Фрагштейном и по существу являющийся монохроматором, так как нагреванием область его пропускания можно смещать. Приводим краткое описание этого фильтра.

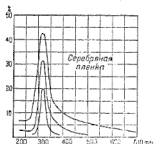


Рис. 117. Пропускание серебряной пленки.

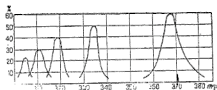


Рис. 118. Христиансеновский фильтр для ультрафиолетовых лучей.

Кварцевый сосуд с прозрачными плоско-параллельными стенками помещается в термостат, температура которого может регулироваться. В сосуд помещается порошок аморфного (плавленого) кварца в смеси бензола (56%) и алкоголя (44%). При такой смеси точка пересечения дисперсионных кривых кварца и жидкости при комнатной температуре (20° С) находится при $\lambda = 330$ м μ . Повышение температуры смещает точку пересечения в сторону коротких волн; при возрастании температуры с 20 до 50° С смещение равно 80 м μ . На рис. 118 приведены кривые пропускания этого фильтра при различных температурах¹.

Укажем также рецепт жидкого фильтра для выделения ультрафиолетовых лучей в области 300—320 м μ (в частности ртутной линии 313 м μ). Смешанный раствор из 1,75-молярного $\text{NiSO}_4 +$

¹ В 1935 г. акад. С. Н. Вавиловым и Е. М. Брумбергом предложен монохроматический фильтр, основанный на нарушении явления полного внутреннего отражения. Он может быть применен как без видимой области, так и для ультрафиолетовых лучей. Этот фильтр описан в Докл. Акад. Наук СССР за 1935 г.

+ 0,5-молярного CoSO_4 в слое толщиной в 3 см пропускает 72% ртутной линии 313 мμ, 80% линии 250 мμ и дальше без заметного ослабления пропускает лучи до 230 мμ. Слой в 1 см 0,025-молярного раствора кислого фталевокислого калия пропускает 85% линии 313 мμ и меньше 0,1% — линии 302 мμ. Комбинация обоих растворов дает монохроматический фильтр.

Монохроматические фильтры для выделения весьма узких спектральных пучков. Для выделения очень узких спектральных областей абсорбционные светофильтры не очень удобны, — гораздо лучший результат можно получить с помощью светофильтров типа Вуда. На рис. 119 изображен непрерывный спектр, снятый через светофильтр Вуда.



Рис. 119. Фильтры Вуда для желтой линии ртути.

§ 3. Фотографические светофильтры

Светофильтры, применяемые в фотографии, могут быть разбиты на три группы:

1) светофильтры защитные, для проявления фотоэмульсий пропускающие небольшую область видимого спектра, к которой нечувствительна данная эмульсия;

2) светофильтры для улучшения цветопередачи фотоэмульсий, сдвигающие область ее наибольшей чувствительности в сторону длинных волн, — по нашей классификации светофильтры компенсационные;

3) светофильтры для трехцветной фотографии, позволяющие фотографировать в трех основных цветах.

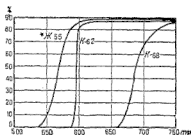


Рис. 120. Фильтры *Ж55 и т. д.

1. *Защитные светофильтры.* Нормальная фотоэмульсия нечувствительна к длинным волнам видимого спектра. Воспользовавшись этим, можно применять для проявления красный светофильтр 1-го класса по Гибсону, граница пропускания которого является смежной с длинноволновой границей чувствительности фотоэмульсии. На рис. 120 приведены кривые пропускания светофильтров этого типа для различных эмульсий. Светофильтр *Ж55 для работы

с бумагой, К62 для работы с нормальной эмульсией и К68 для работы с ортохроматической эмульсией. Их рецепты:

*Ж55:

- | | |
|----------------------------|-------|
| 1. Эозин Н | 0,5 Н |
| 2: Мандариноранж | 1,0 Н |

К68:

- | | |
|---|-------|
| 1. Кристалловiolet (Kristallviolet) . . . | 2,0 Н |
| 2. Аурамин (Auramin) | 4,0 Н |

Для К62 рецепт приведен выше.

В некоторых случаях, когда эмульсия оцувствлена далеко в область красных лучей, невозможно приготовить красный светофильтр, пропускающий достаточную для проявления и вместе с тем не вуалирующую фдтоэмульсию долю светового потока. Тогда можно воспользоваться провалом чувствительности в области зеленых лучей ($\lambda \approx 530 \text{ м}\mu$), имеющимся у многих панхроматических эмульсий, и применить для проявления монохроматический светофильтр с максимумом пропускания в области этих зеленых лучей, например светофильтр, приготовленный по следующему рецепту:

- | | |
|--|-------|
| 1. Нафтолгрюн (Naphтолgrün) | 3,0 Н |
| 2. Виктория синий (Victoriablau) . . . | 1,0 Н |
| 3. Корифосфин (Coryphosphin) | 2,0 Н |

Но надо сказать, что новейшие сенсibilизаторы для фотоэмульсий, такие, как неоцианин, криптоцианин и др., настолько сильно оцувствляют фотоэмульсию по всему видимому спектру, что не остается места в спектре для изготовления фильтра для проявления. С такими эмульсиями приходится работать в полной темноте.

2. *Светофильтры для улучшения цветопередачи.* Нормальная фотоэмульсия, имеющая максимум чувствительности около 360—400 $\text{м}\mu$ и нечувствительная к области спектра, начиная с желто-зеленых лучей, т. е. к области, в которой глаз имеет максимальную чувствительность, передает естественные цвета, конечно, совершенно иначе, чем их воспринимает глаз. Для улучшения цветопередачи эмульсию оцувствляют возможно дальше в область красных лучей. Но одного оцувствления для этих целей мало, ибо остается непомерно большая чувствительность в области синих лучей. Для компенсации излишней чувствительности в коротких лучах применяют желтые светофильтры, что приближает кривую чувствительности эмульсии к кривой видимости.

Для изготовления подобных желтых фильтров пригодны очень многие красители. Наибольшее распространение имеет тартрацин — главным образом благодаря своей стойкости.

Зачастую светофильтры применяются при фотографировании для получения всевозможных специальных эффектов, например на снимках на неохроматических пластинках с красным фильтром прекрасно выходят облака, дневные снимки в инфракрасных лучах, благодаря совершенно черному небу, дают полную иллюзию ночных снимков и т. д.

Однако в некоторых случаях фотографирование в красных и инфракрасных лучах преследует совсем другую цель. Широко известно, что наибольшую прозрачность атмосферная дымка имеет в длинных волнах, причем сама она, благодаря закону Рэлея, с которым нам уже пришлось столкнуться, рассеивает сильнее всего синие лучи. Поэтому, когда мы фотографируем на обыкновенной эмульсии, далекие предметы выходят плохо, так как свет от них беден синими лучами, а фон, находящийся перед ними, наоборот, богат. Пластика, таким образом, вуалируется дымкой. Если очувствит эмульсию к красным лучам и чем дальше, тем лучше, и возможно больше поглотит фильтром короткие лучи, то увеличится чувствительность пластинки к лучам от далеких предметов, в то же время уменьшится вуалирующее действие дымки.

Таким образом повышается „дальность действия“ фотоаппарата.

Пару лет назад в Америке был получен снимок в лучах 700—800 $m\mu$, на котором видна снеговая горная вершина, находившаяся на расстоянии 533 км от фотоаппарата. Снимок был сделан с аэроплана с высоты 7 000 м и он охватывал большую часть штата Калифорния.

3. *Фильтры для трехцветной фотографии.* Для трехцветной фотографии обычно пользуются светофильтрами, разработанными Гюблем. Мы приводим несколько улучшенный их вариант. Улучшение заключается в том, что для зеленого и синего фильтров, без ухудшения их кривых в зеленой и синей областях спектра, устранено пропускание в области красных лучей; у синего фильтра пропускание даже несколько увеличено. Кривые этих светофильтров изображены на рис. 121. Как мы видим, этими

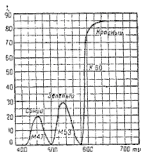


Рис. 121. Фильтры для трехцветной фотографии.

светофильтрами можно пользоваться как монохроматическими, делящими спектр на три части. Рецепты этих светофильтров следующие:

Красный (K60):

- | | |
|--|-------|
| 1. Бенгальская роза (Rose bengale) | 1,5 Н |
| 2. Тартрацин (Tartrazin) | 2,0 Н |

Зеленый (M53):

- | | |
|---|-------|
| 1. Патент синий (Patent blau) | 0,7 Н |
| 2. Тартрацин (Tartrazin) | 2,5 Н |
| 3. Сине-зеленый для фильтров (Filterblaugrün) . . | 1,0 Н |

Синий (M47):

- | | |
|---|--------|
| 1. Родамин кислый (Säurerhadamin) | 1,0 Н |
| 2. Патент синий (Patentblau) | 1,0 Н |
| 3. Сине-зеленый для фильтров (Filterblaugrün) . . | 1,25 Н |

§ 4. Светофильтры для двуцветной пирометрии

Наряду с весьма распространенным методом определения температуры по яркости свечения, на котором основан пирометр Курльбаум-Хольборна, в настоящее время начинает приобретать все большее распространение метод так называемой двуцветной пирометрии. Напомним вкратце, в чем он состоит. Этим методом определяется цветная температура источника, равная температуре черного, при которой он создает такое же цветовое ощущение, как и данный источник.

Таким образом для источников с непрерывным спектром и не слишком резко выраженной селективностью излучения в пределах видимого спектра данной цветной температуре будет соответствовать вполне определенное отношение энергий в двух разных участках спектра. Обычно для получения большей точности выбирают достаточно удаленные участки спектра, например в красных и синеголубых. В пирометрии этот метод принято называть методом *красно-синего отношения* (du rapport rouge-bleu; red-blue ratio). Наиболее простым способом выделения спектральных участков в красных и синих лучах для этого метода являются, без сомнения, светофильтры. В качестве приемника, определяющего это отношение, можно воспользоваться фотопластинкой, фотоэлементом или глазом. Мы укажем светофильтры для этих трех случаев.

1. *Фотографическая пирометрия методом красно-синего отношения.* Фотографический метод двуцветной пирометрии сводится

к фотографическому фотометрированию источника в двух различных цветах; отношение полученных яркостей $\frac{B_{\lambda_{T_1}}}{B_{\lambda_{T_2}}}$ и определит температуру источника. Поэтому фотографическая пирометрия требует применения всех предосторожностей, которые применяются при фотографической фотометрии и о которых уже говорилось выше.

Как мы видели, точность, получаемая при фотографическом методе, совсем невелика, поэтому следует избегать его. Однако в ряде случаев, когда интенсивность источника очень мала, фотографический метод является единственно применимым, ибо он позволяет компенсировать малую интенсивность источника длительной экспозицией. В частности, в астрономии для определения температуры большинства звезд приходится прибегать к фотографической пирометрии, хотя надо заметить, что успехи в изготовлении фотозлементов позволяют применять и эти приборы для определения температуры звезд, правда, пока самых ярких. Как уже говорилось, наибольшая точность при двуцветной пирометрии получается при достаточно большом расстоянии по спектру между участками, в которых производятся измерения. Поэтому важно иметь эмульсию, чувствительность которой простирается достаточно далеко в область красных лучей.

Прекрасный результат для этих целей дает эмульсия, очувствленная дицианином, чувствительность которой простирается до 700 мμ, причем совершенно ясно, что „провал“ кривой чувствительности в области 530 мμ в этом случае никакого мешающего действия оказывать не будет. Для этой эмульсии рекомендуется светофильтры типа M45 и *O59, кривые которых изображены на рис. 122.

Рецепты этих светофильтров:

M45:

1. Виктория синий (Victoriablau) . . . 2,0 Н
2. Берлинская лазурь 1,5 Н

*O59:

1. Конго красный (индикатор) 3,0 Н

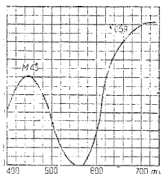


Рис. 122. Фильтры для пирометра (M45 и O59).

2. *Пирометрия методом красно-синего отношения с помощью фотоэлемента.* Значительно большая точность получается при пользовании в качестве приемника фотоэлементом. За последнее время этот метод получил большое применение при определении температуры нити ламп накаливания. При современных фотоэлементах со средней чувствительностью 30—40 микроампер на люмен при измерении температуры ламп не нужно

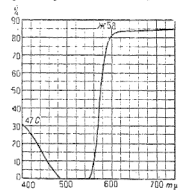


Рис. 123. Фильтры для пирометра (47С и Ж58).

никакого усилителя, — совершенно достаточно хорошего гальванометра с чувствительностью 10^{-8} А. При работе с серно-калиевым (КС) фотоэлементом, спектральная кривая которого была приведена раньше, вполне хороший результат дают светофильтры типа 47С и Ж58 (кривые их приведены на рис. 123). При температуре источника 2 000—3 000°К отношение фототоков при этих красном и синем фильтрах по-

лучается $\frac{i_{кр}}{i_{син}} = \frac{2}{1}$ и $\frac{1}{10}$ соответственно. После аккуратной градуировки схемы яркостным пирометром

точность последующего пирометрирования этим методом можно оценить в 2—3%.
Значительно более пригоден для этих целей меднозакисный фотоэлемент, так как он значительно чувствительнее к красным лучам. Поэтому он позволяет, оставив без изменений синий светофильтр, заменить красный Ж58 на К60.

47С:

1. Берлинская лазурь 1,5 Н
2. Толуидин синий (Toluidinblau) . . 0,75 Н
3. Эозин (Eosin) 0,75 Н
4. Виктория синий (Victoriablau) . . 0,5 Н

Ж58:

1. Нафтолгрюн (Naphтолgrün) 1,5 Н
2. Эозин (Eosin) 1,0 Н
3. Метанил желтый (Metanilgelb) . . 0,5 Н

3. *Визуальная пирометрия методом красно-синего отношения.* Мы не будем особо останавливаться на светофильтрах для визуаль-

ной пирометрии методом красно-синего отношения, потому что два достаточно удаленных по спектру светофильтра, например типа М44 и К62, будут для этой цели вполне пригодны.

Опишем одно видоизменение этого метода, позволяющее построить чрезвычайно простой и портативный пирометр. Метод пирометрии красно-синего отношения был основан на том, что определялось отношение энергий в двух светофильтрах с совершенно определенными эффективными длинами волн и точно известными пропусканиями. Полученное отношение является функцией температуры тела. Можно изменить метод, закрепив постоянное отношение энергий и добиваясь его изменением пропускания одного или обоих светофильтров; тогда соотношение пропусканий будет функцией температуры.

При визуальном пирометрировании этот метод может быть осуществлен весьма просто. Если мы посмотрим кривые некоторых зеленых красок, имеющих также полосу пропускания в области красных, то увидим, что с концентрацией их поглощение в зеленой области растет быстрее, чем в красной. А так как толщина слоя вполне эквивалентна концентрации, то изготовленный из таких красок клин будет менять цвет от конца со слабым пропусканием к плотному концу, переходя из зеленого в красный. Этот момент изменения цвета будет существенно зависеть от спектрального распределения энергии источника, т. е. от его температуры.

Необходимо отметить, что надо подбирать краски с полосами пропускания в таких цветах спектра, смену которых глаз отличает особенно отчетливо. Такими парами являются синий и желтый и зеленый и красный. Осуществить клин с переходом из синего в желтый трудно из-за отсутствия подходящих красок, с переходом же из зеленого в красный, наоборот, весьма просто. На рис. 124 показаны кривые оптических плотностей такого пирометрического клина в слабой и плотной его частях, соответствующих температурам 1100 и 2000°С.

Рецепт этого пирометрического клина следующий:

1. Бриллиант-патент-синий (Brilliantpatentblau). . . 20/0-ный
раствор — 8 см³
2. Метанил желтый (Metanilgelb) 20/0-ный
раствор — 6 см³
3. Виктория синий (Victoriablau) 20/0-ный
раствор — 2 см³
4. Фуксин 20/0-ный
раствор — 0,25 см³

Соответствующим подбором толщины в плотной части можно сделать так, чтобы клин был пригоден для измерений в соответствующем диапазоне температур. На рис. 125 показан ход опти-

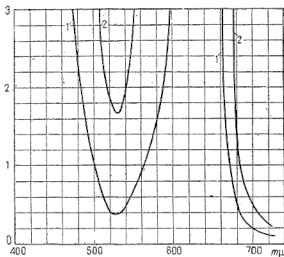


Рис. 124. Кривая поглощения пирометрического клина.

ческой плотности по длине клина для двух областей спектра $\lambda = 530 \text{ мμ}$ и $\lambda = 690 \text{ мμ}$ для клина с диапазоном от 900 до 2100° С.

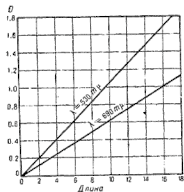


Рис. 125. Плотность пирометрического клина по длине.

Точность работы с таким клиновым пирометром для человека с нормальной кривой чувствительности глаза оценивается некоторыми авторами до 3—5° С. К такой оценке необходимо отнестись с некоторой осторожностью, так как она, несомненно, слишком оптимистична, но точность в 10—20° С на нем получить легко, даже в производственных условиях.

Весь пирометр такого типа имеет вид клина в рамке, на которой нанесена градусная шкала и по которой ходит подвижной глазок для наблю-

дения. Особенно удобный и компактный вид приобретает этот прибор тогда, когда клин сделан не в виде прямолинейного, а в виде кругового. В условиях производств, в которых приходится иметь много дела с печами, например для закалки, отжига и т. п., такой клиновой пирометр благодаря своей компактности, дешевизне и простоте обращения, бесспорно, исключительно удобен. Не очень большая его точность может быть легко повышена навыком и привычкой работы с ним.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Е. Кримтсен*, Фотометрические фильтры, Справочник Ф.-Х. В. Т. Э. т. VIII, стр. 10.
2. *Н. Т. Федоров*, Колориметрия, Справочник Ф.-Х. В. Т. Э., т. IX, стр. 364.
3. *R. Danis and R. Gibson*, Фильтры для имитации солнечного и дневного света и определения цветной температуры, „Miscellaneous Publications“ № 14.
4. *К. А. Вектман и Честная*, Рецептúra желатиновых светофильтров для выделения линий видимого спектра ртутной лампы, „Журнал техн. физ.“, т. III, стр. 466, 1933 г.
5. *Хр. Винтер*, Светофильтры для кварцевой ртутной лампы (даны рецепты для линий в области 313—579 мμ) Справочник Т. Э., т. IX, стр. 257.
6. *D. Oldenberg*, „Ztschr. Phys.“, 29, стр. 398, 1924.
Описан способ изготовления двойного фильтра $\text{Cl} - \text{Br}$ для выделения ртутной линии 253,7 мμ.
7. *А. Гюбль*, Свойства и применение фотографических фильтров, „Вестник фотографии“ № 84, 1915.
8. *A. Hübl*, Die Dreifarbenphotographie, Berlin 1912.
9. *A. Hübl*, Die photographische Lichtfilter, III Auflage, Berlin 1927.
10. *A. Hnatek*, Die Absorption einer Reihe von Anilinfarben und die Selektion einzelner Teile des Spektrums durch Gelatinefilter, „ZS wiss. Phot.“, 15, S. 133, 1915.
11. *L. A. Jones*, Light filters for the isolation of narrow spectral regions, „J. Opt. Soc. Amer.“, 16, p. 259, 1928.
12. *H. L. J. Bäckström*, Ein Lichtfilter für das mittlere Ultraviolett, „Naturwiss.“, 21, S. 562, 1933.
13. *F. Sounders*, An ultraviolet lightfilter, „J. Opt. Soc. Amer.“, 16, p. 362, 1928.
14. *Е. Ангерер*, Научная фотография, Ленинград, изд. Кубуч, 1933.

Дополнение

СВЕТОФИЛЬТРЫ РАЗЛИЧНЫХ ФИРМ

Ряд иностранных фирм выпускает наборы готовых светофильтров для различных целей. Фирма Шотта (Schott, Jena) изготавливает очень хорошие стеклянные светофильтры в виде хорошо шлифованных пластинок, обычно размером 10×10 см.

По своим спектральным кривым эти светофильтры весьма разнообразны, но все же, конечно, не так, как желатиновые, прокрашенные анилиновыми красками. В Америке разнообразные стеклянные фильтры, особенно для ультрафиолетовых лучей, изготавливаются фирмой Корнинг (Corning). Наборы желатиновых светофильтров выпускаются фирмами Колак (фильтры Рэттен), Лифа и др. Наборы желатиновых светофильтров Рэттен чрезвычайно разнообразны, в них включены светофильтры, отвечающие почти всем требованиям, могущим встретиться в лабораторной работе. Кроме того, по специальному заказу эта фирма изготавливает светофильтры, удовлетворяющие почти любым требованиям. Светофильтры Лифа обладают тем недостатком, что они заклеиваются покровным стеклом при еще сыром желатиновом студне. Студень, закрытый стеклом с двух сторон, так и остается сырым, а это очень сильно повышает способность красок к выцветанию. Поэтому во всех тех случаях, когда во время работы на светофильтр падает сколько-нибудь значительный световой поток, фильтры Лифа надо применять с большой осторожностью.

Многие наши лаборатории располагают наборами светофильтров Шотт и Рэттен, поэтому мы здесь приведем некоторые интересные типы светофильтров этих фирм (рис. 126—143 — светофильтры Шотта, рис. 144—162 — светофильтры Рэттен). Приводимые кривые заимствованы нами прямо из фирменных данных, поэтому для светофильтров Шотта дано пропускание (в десятых долях по отношению к полному пропусканию), а для рэттеновских — оптическая плотность. Надо отметить, что в отдельных случаях у выпускаемых светофильтров наблюдаются некоторые расхождения в кривых по сравнению с фирменными данными, но эти отклонения редки и не очень велики.

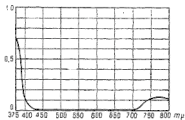


Рис. 126. Фильтр UG1 толщиной 2 мм (фильтр для ультрафиолетовых лучей — максимум пропускания около 365 мμ — 0,75; граница пропускания около 300 мμ).

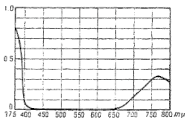


Рис. 127. Фильтр UG 2 толщиной 1 мм (фильтр для ультрафиолетовых лучей — максимум пропускания около 360 мμ — 0,88; границы пропускания — около 300 мμ).

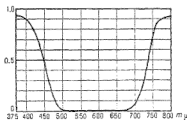


Рис. 128. Фильтр BG 1 толщиной 2 мм.

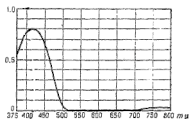


Рис. 129. Фильтр BG 4 толщиной 2 мм.

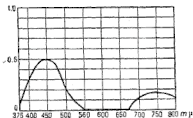


Рис. 130. Фильтр BG 6 толщиной 1 мм.

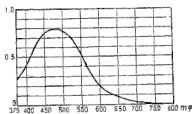


Рис. 131. Фильтр BG 7 толщиной 1 мм.

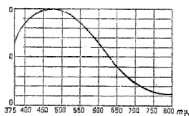


Рис. 132. Фильтр BG 8 толщиной 2 мм.

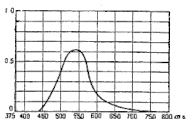


Рис. 133. Фильтр GG 1 толщиной 2 мм.

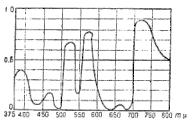


Рис. 134. Фильтр UG 3 толщиной 1 мм.

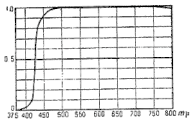


Рис. 135. Фильтр GG 3 толщиной 2 мм.

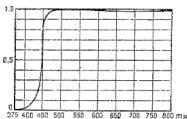


Рис. 136. Фильтр GG 5 толщиной 2 мм.

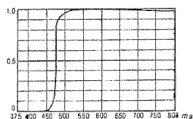


Рис. 137. Фильтр GG 7 толщиной 2 мм.

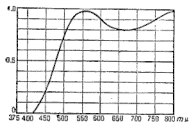


Рис. 138. Фильтр GG 10 толщиной 1 мм.

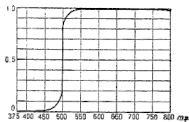


Рис. 139. Фильтр GG 11 толщиной 2 мм.

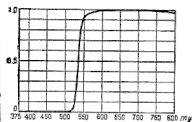


Рис. 140. Фильтр OG 1 толщиной 2 мм.

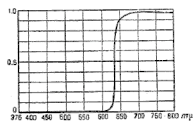


Рис. 141. Фильтр OG 2 толщиной 2 мм.

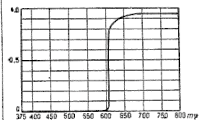


Рис. 142. Фильтр RG 1 толщиной 2 мм.

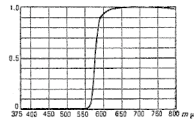


Рис. 143. Фильтр RG 2 толщиной 2 мм.

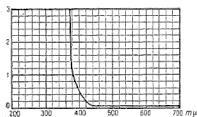


Рис. 144. Фильтр № 2 эскулия.

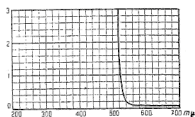


Рис. 145. Фильтр № 16 флавацен Т.

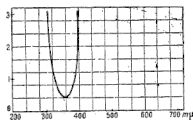


Рис. 146. Фильтр № 18 А для ультрафиолетовых лучей.

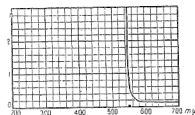


Рис. 147. Фильтр № 22 E2.

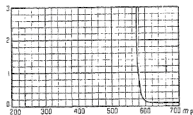


Рис. 148. Фильтр № 24.

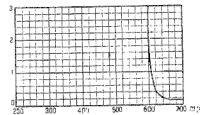


Рис. 149. Фильтр № 29 F.

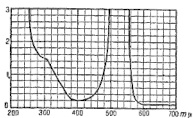


Рис. 150. Фильтр № 30 бенгальская роза.

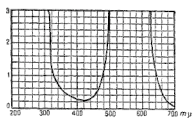


Рис. 151. Фильтр № 34 D (светлый).

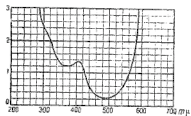


Рис. 152. Фильтр № 44.

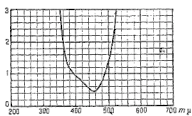


Рис. 153. Фильтр № 47 А.

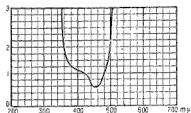


Рис. 154. Фильтр № 49 G4.

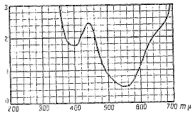


Рис. 155. Фильтр № 52 нафтол-грюн 2.

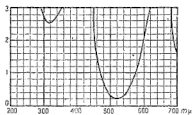


Рис. 156. Фильтр № 60 Р.

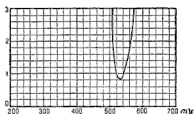


Рис. 157. Фильтр № 62.

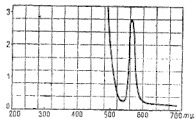


Рис. 158. Фильтр № 77 монохроматический для ртутной лампы.

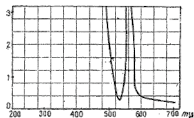


Рис. 159. Фильтр № 77 А монохроматический для ртутной лампы.

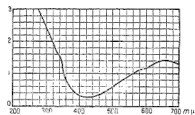


Рис. 160. Фильтр № 79 приводящий ацетиленовое пламя к дневному свету.

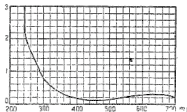


Рис. 161. Фильтр № 78 с голубой фотометрический.

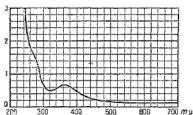


Рис. 162. Фильтр № 86 В желтый фотометрический.

ИМЕННОЙ И ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛИ

Абсорбционные полосы 9

Абсорбция 7,10

Ализарин 53,58,59

Алиа бордо 53,54,58

— **виолет** 53,61

— **диазочерный** 53,61

— **зеленый** 53,59,60

— **котехин** 53,59

— **медносиний** 53,60,75

— **прочносиний** 53,60

— **синий** 53,61

— **темнозеленый** 53,60

— **чистоголубой** 54,60

Анилиноблаз 53,56

Анилиновые краски 42

Аномальная дисперсия 10

Араго 20

Аристалвиолет 55

Аурамин 50,52,92

Бенгальская роза 94

Бензоехт синий 75

Бер 14

Берлинская лазурь 62,95,80,85,86

87,95,96

Био 20

Бриллиант-лапа-фуксин 53,54,58

Бриллиант-патент-синий 85,97

Бугэ 12

Викториагрюн 50,52

Виктория синяя 80,85,92,95,96,97

Вода 39

Вращательная дисперсия 20

Вуд 23,91

Выравнивающий светофильтр 75

Газовый светофильтр 42

Гибсон 38,77,84,91

Годамин 49

Гольдберг 29

Гюбль 14,45,64,65

Демкина 28

Денситометр 33

Диамантрот 64,69,80,89

Диамантфуксин 88

Дисперсия 10,20

Диэлектрик 7

Дункельротгрюн 46

Дэвисон 77

Желатин 61,64

Жидкий светофильтр 42

Закон Био 23

— **поглощения** 11

Защитный светофильтр 91

Зоергрюн 46

Золото 19

Интегральное пропускание 16

Инфракрасные лучи 9,34,39,89

Иои 8

Кварц 39,40

Кед-Адамс 23

Кениг 14,26

Классификация светофильтров 38

Кодак 98

Коллоидальный раствор 19

Компенсационный светофильтр 41

Кон 20,90

Конго 49,52

Конго красный 53,56,58,85,95

Конгорот 53,55,58 85,95

Корифосфин 85,92

Коэффициент полезного действия

светофильтра 15

— **пропускания** 78

Кривая светофильтра 101—106

Кристаллвиолет 46,52,53,92

Кристаллопосо 46

Кубик Люммера-Бродхуна 24

Лиф 98
Лоури 81
Люммер 24

Мандариноранж 53,58,92
Мартенс 26
Медный купорос 40
Метанил желтый 53,54,59,96,97
Метилвиолет 53,56,85
Метилгрюн 53,57,85,86
Метилблау 46,52
Метиленовая голубая 53
Метил желтый 85
Метиловая голубая 53,54,55,56
Ми 18
Мигающий фотометр 79
Молекула 7
Монохром 20
Монохроматический пучок света 11
 — **фильтр** 41,83
Монохроматор 29,34,83

Нафтагрюн 58,75,80
Нафталингрюн 51,52,87
Нафтолгельб 50,52
Нафтолгрюн 46,51,52,53,86,96
Нафтол зеленый 75,80,85
Нафтолоранж 46,49,52
Неабсорбиционный светофильтр 18
Нейтрально серая 75
Нейтральный светофильтр 73,74
Нейтральрот 53,55,56
Необходимая цветность 66
Необыкновенный луч 23
Непроводник 7
Нигрозин 53,56
Нормальная дисперсия 10

Обыкновенный луч 23
Объективная светометрия 31,34
Оптическая плотность 14,69
Осветитель 28
Осциллятор 8

Патентблау 46,51,94
Патент синий 46,51,86,94
Пирометрический клин 98
Поглощение света 8
Показатель абсорбции 10
 — **преломления** 10,68
Полосы абсорбции 9
Полушерство синяя 61
Поляризация 8
Проводник 7

Пропускание растворов 44
Пунцовая 54,58,75

Рапидфилтргельб 50,52
Рапидфилтргрюн 50,52
Рассеяние 8
Резованское колебание 9
Релей 18
Рецепты светофильтров 85
Родамин 46,52,88,94
Розбенгале 46,49,59,94
Раттен 48

Сафранин экстра 53,55
Светлота 78
Светопрочная желтая 53,54,59
Светопрочный оранжевый 53,54,59
Светофильтр 14
 — **Вуда** 21,91
 — **выравнивающий** 75
 — **газовый** 42
 — **жидкий** 42
 — **защитный** 91
 — **компенсационный** 41
 — **монохроматический** 41
 — **неабсорбиционный** 18
 — **субтрактивный** 41
 — **субъективный** 24
 — **твердый** 42
 — **фотографический** 91
 — **фотометрический** 81
Свободные электроны 7
Сернистый хинин 88
Синезеленая для фильтров 86,87,94
Синяя для фильтров 86
Спектр 9,11
Спектрограмма 33
Спектроконденсограф 30
Спектрофотометрия 31
Спектрофотометр Кенига-Мартенса 26,31
 — **Люммера-Бродхуна** 24,36
Стекло 39
Субтрактивный светофильтр 41
Субъективный светофильтр 24
Сульфон кислото-голубой 53,60
 — **цианит** 53,61

Тартрация 46,53,75,82,85,86,87

Твердый светофильтр 42
Термоэлектрический спектрофотометр 36
Типы светофильтров 42,73

Толуидинблау 46,51,52
 Толуидиновая голубая 53,57
 Толуидин синий 96
 Тушь 74

Феносефранин 46
 Фильтр 101—106
 Фильтрблаугрюн 51
 Фильтрблау 46
 Фильтргрюн 50,52
 Фильтррот 46
 Флуорит 39,40
 Флюоресция 53,55
 Формула Бера 14
 — Буга 12
 — Вина 16
 Формула Гюбля 14
 — Паяка 16
 Фокельмонокхроматор 22
 Фотографическая пирометрия 94
 — фотометрия 32
 Фотографический светофильтр 91
 Фотометрический клин 69

Фотометрический светофильтр 73
 Фотоэлектрическая спектрофото-
 метрия 32
 Фотозлемент 35,81,82
Фрагштейн 20,90
 Фуксин 48,49,52,53,85,87,97

Хлористый натрий 40
 Хризондин 53,57,62,82
 Христиансен 20
 Хроматическая aberrация 22

Цветная температура 77
 — фотография 93
 Цветность 66
 Целлулоид 39

Шотт 98

Эбонит 39
 Электрическая поляризация 8
 Эозин 53,57,82,85,86,92,96
 Эритрозин 53,57,86

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
Глава I. Абсорбционные светофильтры	
§ 1. Абсорбция	7
§ 2. Закон зависимости абсорбции от толщины слоя	11
§ 3. Коэффициент полезного действия светофильтра	15
Литература	17
Глава II. Неабсорбционные светофильтры	
§ 1. Светофильтры, основанные на явлении многократного рассеяния	18
§ 2. Светофильтры, основанные на вращательной дисперсии	20
§ 3. Светофильтр Вуда	21
§ 4. Фокальмонохроматор	22
Литература	23
Глава III. Методика исследования светофильтров (спектрофотометрия)	
§ 1. Субъективные спектрофотометры	24
§ 2. Объективная спектрофотометрия	31
Литература	37
Глава IV. Классификации и некоторые виды светофильтров	
§ 1. Классификации	38
§ 2. Типы светофильтров	42
§ 3. Анилиновые краски	45
Литература	63
Глава V. Желатиновые светофильтры и фотометрические клинья	
§ 1. Желатиновые светофильтры	64
§ 2. Изготовление фотометрических клиньев	69
Литература	72

Глава VI. Типы и рецептура светофильтров для разных целей

§ 1. Фотометрические светофильтры	73
§ 2. Светофильтры для монохроматизации излучения различных источников	83
§ 3. Фотографические светофильтры	91
§ 4. Светофильтры для двуцветной пирометрии	94
Литература	99

Дополнение. Светофильтры различных фирм	100
---	-----

Именной и предметный указатели	107
--	-----

*ОБЪЕДИНЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО НКТП СССР*

ПЕЧАТАЮТСЯ:

А. ЭНГЕЛЬ и М. ШТЕНБЕК

**ФИЗИКА И ТЕХНИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА
В ГАЗАХ т. II.**

Перевод с немецкого Д. Канаскова, Э. Рейхруделя,
Г. Тягунова

под редакцией проф. Н. А. Капцова

— ☐ —

А. МИТЧЕЛЛ и М. ЗЕМАНСКИЙ

**РЕЗОНАНСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ВОЗБУЖДЕННЫЕ
АТОМЫ**

Перевод с английского В. и М. Фабрикант

— ☐ —

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ:

Д. РОЖАНСКИЙ

ФИЗИКА ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

— ☐ —

В. ГАЙТЛЕР

КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

перевод с английского

под редакцией проф. И. Е. Тамма

☐ —

ОПЕЧАТКИ

<i>Стр.</i>	<i>Строка</i>	<i>Напечатано</i>	<i>Должно быть</i>
13	2 снизу	$M_{x\lambda}$	$M_{x\lambda}$
25	5 снизу	излучаемый	изучаемый
52	Таблица, 1 и 2 строка 2 столбца	Rapidfiltergrün	Rapidfiltergrün
86	Рис. 113 подпись	K67	*K67

В. Гинзбург, Светофильтры. Заказ 325.

