

НОВЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

СВЕТОФИЛЬТРЫ ДЛЯ БЛИЖНЕЙ ИНФРАКРАСНОЙ ЧАСТИ СПЕКТРА

А. А. Ильина

Участок инфракрасного спектра, примыкающий к видимой области и простирающийся от 0,75 до 2 μ , в последнее время привлекает к себе внимание многих исследователей. Появление фотографических пластинок, сенсibilизированных вплоть до 1,2 μ , и фотоэлементов (кислородно-серебряно-цезиевые из фотоэлементов эмиссионного типа, серно-таллиевые и серно-серебряные — из фотоэлементов вентильного типа), чувствительных в той же области, значительно упростило технику эксперимента и вызвало ряд интересных применений. Таковы применения, связанные с инфракрасной фотографией, спектроскопией, спектрофотометрией и т. д. *). Эти применения создали потребность в соответствующих светофильтрах: в одних случаях нужно отфильтровать видимую часть спектра и пропустить только инфракрасные лучи, в других, наоборот, полностью задержать всю инфракрасную часть, включая область, прозрачную для стеклянной оптики, т. е. как раз 0,75 — 2 μ , наконец, — в чисто практических применениях важно иметь возможность пропускать узкие участки спектра, не пользуясь монохроматорами, т. е. иметь в своём распоряжении так называемые монохроматические светофильтры.

К сожалению, в области ближнего инфракрасного рецептура светофильтров разработана не так подробно, как в других спектральных интервалах, и поэтому всякое новое указание на возможность применения того или иного вещества в качестве светофильтра встречается с большим интересом.

Как и в большинстве вопросов современной физической оптики, пионером здесь был Р. Вуд⁵, который ещё в 1909 г. сделал свои известные фотографии ландшафтов в инфракрасных лучах и для этой цели воспользовался фильтром, состоявшим из кюветки кобальтового стекла,

*) По поводу инфракрасной фотографии имеется книга Кларка¹. О биологических применениях см. в УФН статью Эггерта^{1а}. О калориметрических и спектрофотометрических приложениях см. в работе Стирнса². Кое-что по этому вопросу можно найти в недавно вышедшем сборнике «Оптика в военном деле»³. См. также новое издание книги Стронга о технике физического эксперимента⁴.

наполненной раствором двухромовокислого калия. Впоследствии им же был построен твёрдый фильтр, состоящий из двух кобальтовых стёкол и заклеенной между ними желатиновой плёнки, окрашенной метил-оранжем (пропускает от $0,68\mu$, максимум около $0,8\mu$).

В дальнейшем, в связи с потребностями аэрофотографии, с одной стороны, и киносъёмки*, — с другой, некоторыми фирмами были

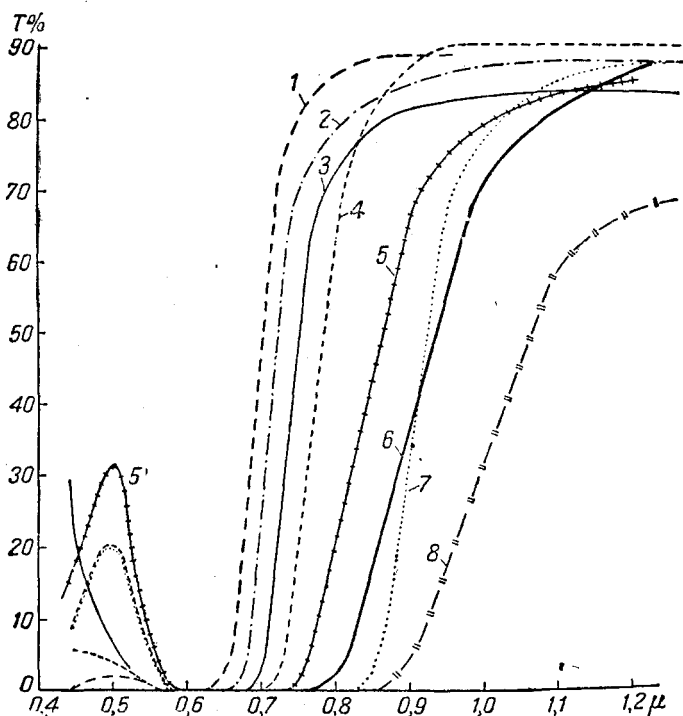


Рис. 1. Спектры пропускания некоторых органических красителей.

1 — прямой тёмнозелёный, 2 — диамин прочно-фиолетовый ВВН, 3 — метиленовый синий ВВ, 4 — безосвето-прочный синий 4GL, 5 — кубовый яркозелёный, 6 — нафтол зелёный В, 7 — гачза-зелёный (в видимой части кривая совпадает с 5), 8 — индантрен чёрный ВВ. Кривые 1, 2, 3 для окрашенных ацетатных плёнок, 6, 7 — для желатиновых, 4, 5, 8 — для целлофановых плёнок.

выпущены чёрные фильтры, прозрачные для инфракрасных лучей. Таковы в частности фильтры Корнинга и Агфа (их оптические характеристики можно найти в каталогах). Поскольку эти фильтры мало рас-

*) Применение фотоплёнки, чувствительной к ближней инфракрасной области в комбинации с соответствующим фильтром, позволяет заменить очень дорогостоящие съёмки ночных сцен съёмками на полном солнечном свете.

пространены в наших физических лабораториях, мы на них останавливаться не будем и рассмотрим, на основании литературных данных, те фильтры, которые легко могут быть осуществлены каждым исследователем в лабораторной обстановке.

Остановимся прежде всего на фильтрах, ограничивающих пропускание со стороны коротких длин волн. Так же как и в ультрафиолете, эта задача решается проще, чем обратная: известно большое число веществ, резко увеличивающих своё пропускание при переходе к более длинным волнам. Например, очень многие органические красители (имеющие зелёную, синюю, фиолетовую или чёрную окраску) дают чрезвычайно резкое возрастание прозрачности в крайнем красном

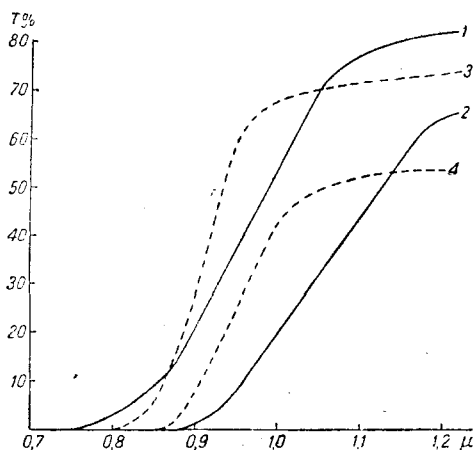


Рис. 2. Спектры пропускания чёрных стёкол;
1 — КС-12 (2 мм); 2 — то же 5 мм, 3 — КС-13 (3 мм), 4 — то же 8 мм.

и ближнем инфракрасном участках спектра. Ещё в 1913 г. Пфунд⁸ указал на хорошее пропускание в ближнем инфракрасном некоторых красителей, как, например: цианин (подъём кривой пропускания от 0,66 μ), метил-грюн (0,68 μ), янус-грюн (от 0,7 μ), нафтол-грюн (от 0,76 μ) и т. д. В качестве иллюстрации мы приводим на рис. 1 серию спектров пропускания органических красителей*). Вообще говоря, рассмотрение имеющихся данных по спектрам пропускания органических красителей показывает, что только в редких случаях их граница пропускания лежит за 0,8 μ, и подыскать краситель с границей пропускания при $\lambda > 0,85 \mu$ и с достаточным крутым подъёмом кривой очень трудно.

На рис. 2 приведены спектры пропускания чёрных стёкол КС-12 и КС-13. Из сравнения этих кривых с кривыми пропускания органи-

*) С любезного разрешения авторов мы заимствуем эти кривые из подготовленной к печати работы Э. Шпольского, С. Хлудова и С. Баранова⁹.

ческих красителей видно, что чёрные стёкла имеют гораздо меньшее пропускание в максимуме и более растянутый подъём кривой. Гораздо труднее подыскать светофильтры, пропускающие видимую часть спектра и поглощающие всю инфракрасную часть, или имеющие крутой спад кривой в длинноволновую сторону. Нечто подобное дают различные соли меди и никеля. На рис. 3 даны спектры поглощения стёкол, окра-

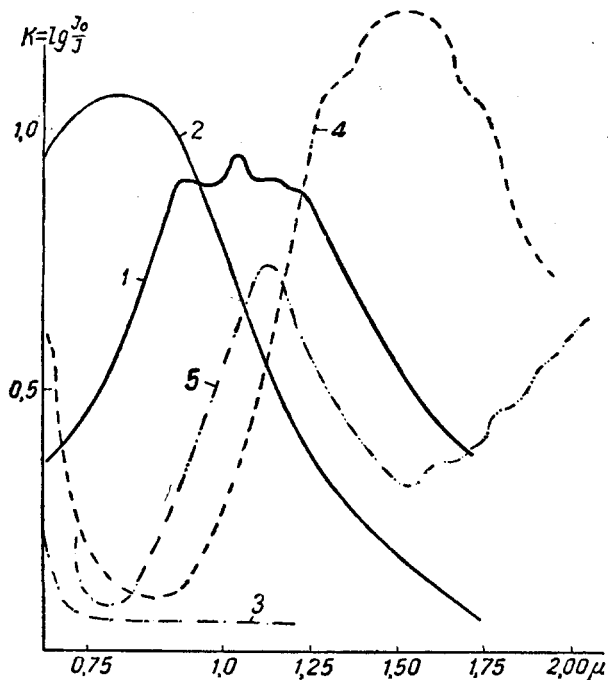


Рис. 3. Поглощение окрашенных стёкол:

1 — стекло с закисью железа, 2 — стекло, окрашенное медью (зелёное), 3 — стекло с солями хрома, 4 — кобальтовое стекло, 5 — никелевое стекло (фиолетовое).

шенных солями различных металлов, а на рис. 4 — спектры поглощения водных растворов тех же солей (по работе Дрейша⁶). Теплозащитные стёкла (зеленоватые стёкла, содержащие закись железа) отсекают длинноволновое излучение, но имеют пологую кривую в ближнем инфракрасном. Очень трудно, однако, подобрать фильтр, пропускающий, например, 0,7 μ и не пропускающий длины волн, большие 0,8 μ. Длины волн, большие 1,2 μ, обычно убирают с помощью 5—6 см воды.

Узкими полосами поглощения в ближнем инфракрасном обладают урановые и дицимвые стёкла. Последние часто применяются в современной спектрофотометрии для градуировки и проверки спектрофо-

тометрических установок. В небольшой работе А. Пфунда⁷, опубликованной в 1939 г., имеется описание нескольких новых светофильтров для ближней инфракрасной области, спектральные характеристики которых достаточно интересны. В этой работе

указано прежде всего несколько веществ, поглощающих красные и инфракрасные лучи вплоть до 0,85 μ . На рис. 5 приведен спектр пропускания ванадил-сульфата (VO) (SO₄). В насыщенном растворе это вещество имеет густосинюю окраску. Такой раствор был измерен в слое 1 см по отношению к воде (кривая А). На том же рисунке дана кривая пропускания светофильтра, составленного из двух стеклянных пластинок и 1,5-миллиметрового слоя насыщенного раствора ванадил-сульфата. В обоих случаях поглощение красной и ближней инфракрасной области спектра до 0,9, резкий подъем кривой при переходе к более длинным волнам и достаточное пропускание в максимуме делает это вещество очень ценным*). Пфунд указывает, что через светофильтр, составленный из ванадил-сульфата и красного сигнального фильтра Корнинга, диск солнца совершенно не просматривался.

В той же статье при-

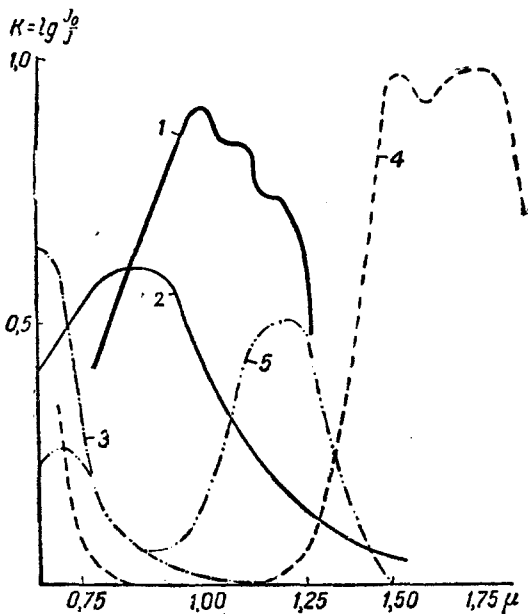


Рис. 4. Поглощение растворов неорганических солей:

- 1 — FeSO₄ 5 мм (1 м);
- 2 — CuSO₄ 0,72 мм (0,5 м);
- 3 — Cr₂(SO₄)₃ 10 мм;
- 4 — CoCl₂ в HCl 0,9 мм (0,5 м);
- 5 — Ni Cl₂ 2 мм (1 м).

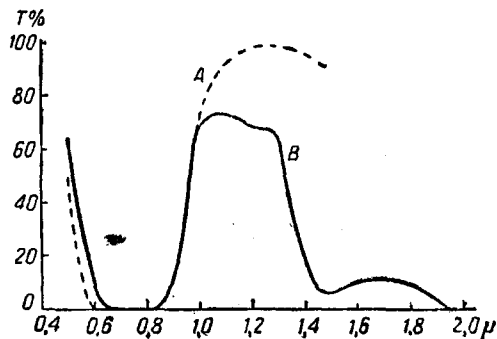


Рис. 5.

- А — пропускание раствора (VO) (SO₄) (по отношению к воде), В — то же по отношению к воздуху.

*) Пропускание ванадил-сульфата в зелёной и синей части спектра может быть легко убрано с помощью почти любого тёмнокрасного фильтра.

водятся спектры пропускания некоторых других веществ, интересные тем, что границы их прозрачности сдвинуты ещё дальше в сторону длинных волн. Эти спектры изображены на рис. 6. Кривая *A* представляет пропускание целлулоида (0,58 мм), окрашенного милори-синим, *B* — пропускание бутилфталата меди (неизвестной концентрации), растворённого в CCl_4 . Кривая *C* относится к бутылочному зелёному стеклу (это стекло содержит большой процент меди) в слое 1,2 мм. Кривая *D* — фильтр из основного карбоната свинца. Это вещество ра-

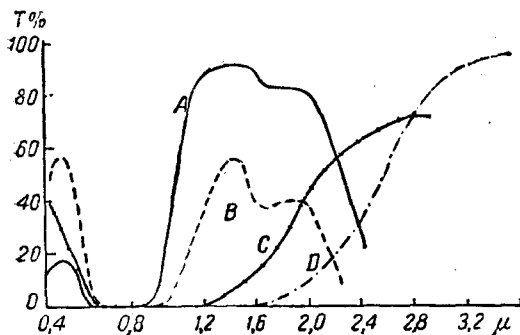


Рис. 6.

A — краситель милори-синий, *B* — бутилфталат меди, *C* — зелёное бутылочное стекло, *D* — плёнка свинцовых белил.

тем наносилось в виде тонкого слоя на стекло. После высушивания и отделения от стекла (подробности смотри в статье Пфунда) полученная плёнка была укреплена на картонной рамке и измерена. Кривые *C* и *D* интересны лишь тем, что они начинают свой подъём при длинах волн, больших 1 μ, однако, возрастание прозрачности идёт так медленно, что эти фильтры, конечно, оставляют желать лучшего.

Тем же автором ранее¹⁰ были опубликованы данные по светофильтрам из порошков ZnO и MgO (отрезающие лучи $\lambda < 1 \mu$) и металлических плёнок¹¹. Особенно интересна плёнка селена, дающая довольно резкий подъём пропускания от 1 μ.

В той же работе Пфунда имеется несколько интересных замечаний и о фильтрах обратного типа. Прежде всего Пфунд обращает внимание на то, что светофильтры из водных растворов солей меди, заметно поглощающие красные лучи, начиная уже с 0,6 μ, могут всё же пропускать кое-что в ближнем инфракрасном. Например, кривая пропускания CuSO_4 (рис. 7), пройдя минимум у 0,9 μ, уже значительно поднимается к 1,05 μ, где вода имеет полосу пропускания. Если принять во внимание большую интенсивность излучения лампы накаливания

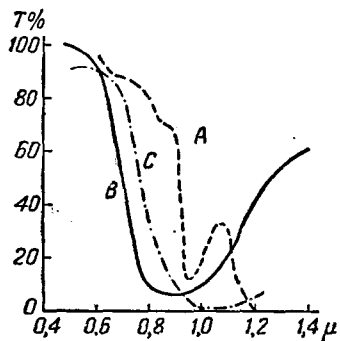


Рис. 7.

A — пропускание 5 см слоя воды, *B* — раствор CuSO_4 по отношению к воде, *C* — $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_6$ в растворе по отношению к воде.

около 1μ , то из этого следует что, вопреки мнению, весьма распространённому среди экспериментаторов, раствор CuSO_4 не гарантирует поглощения ближней инфракрасной части спектра. Далее Пфунд приводит спектр пропускания соединения $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ (соль Мора), полоса поглощения которого, как можно видеть из рис. 8, сдвинута

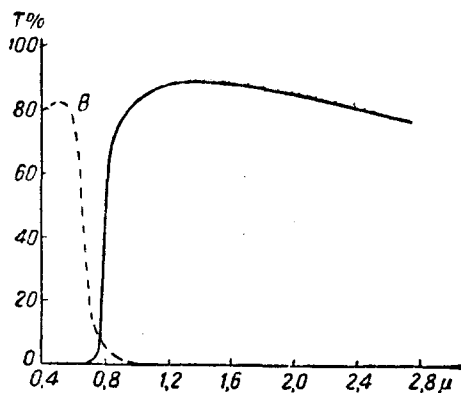


Рис. 8.

Пропускание: А — иода в CCl_4 , В — раствора $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ (18 мм) в воде.

в сторону более длинных волн по сравнению с CuSO_4 . Наилучший тепловой фильтр, рекомендуемый Пфундом, состоит из насыщенного раствора $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2^*$, к которому прибавлено немного CuSO_4 . Почти полное поглощение у $1,05 \mu$ и высокое пропускание в видимой части делает этот фильтр уникальным. Пропускание 18-миллиметрового слоя этого раствора можно видеть на рис. 7, где дана также кривая пропускания раствора иода в CCl_4 (слой 5 мм). Для испытания оба раствора последовательно были поставлены перед элементом, освещаемым лампой «Мазда» 100 W. В том случае, когда перед термоэлементом ставился раствор иода в CCl_4 , отклонение гальванометра достигало 215 мм; применение второго светофильтра (имеющего пропускание 89% в инфракрасной области) снижало отклонение гальванометра до 1,1 мм. Такая пара дополнительных или скрещённых светофильтров может быть очень полезной, например, при изучении инфракрасной флуоресценции.

*) Химически чистая соль растворялась в дистиллированной воде, предварительно прокипячённой и затем охлаждённой; этот раствор сохранялся в большой стеклянной трубке с краном на нижнем конце. Сверху наливался слой минерального масла, предохраняющий этот раствор от окисления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Clark, Photography by Infrared.
 - 1а. Эггерт, У. Ф. Н., 1935.
 2. Stearns J. O. S. A., 33, 97, 1943.
 3. Оптика в военном деле, т. I, 1946.
 4. J. Strong, Procedures in Experimental Physics. New York, 1945.
 5. Р. Вуд, Физическая оптика, стр. 455 и след.
 6. Th. Dreisch, Z. Physik., 40, 714, 1927.
 7. A. H. Pfund, J. O. S. A., 29, 56, 1939.
 8. A. H. Pfund. Z. Wiss. Phot., 12, 341, 1913.
 9. Э. Шпольский, С. Хлудов и С. Баранов. Спектры пропускания прозрачных окрашенных плёнок (в печати).
 10. A. H. Pfund, Phys. Rev., 36, 71, 1930.
 11. A. H. Pfund, J. O. S. A., 23, 374, 1933.
-