

РЕФЕРАТЫ

НОВЫЙ МЕТОД ФОТОГРАФИРОВАНИЯ В ИНФРАКРАСНЫХ ЛУЧАХ

Доступная в настоящее время экспериментальному исследованию инфракрасная часть спектра оптических источников простирается примерно до 0,4 м.м. По происхождению это, — по преимуществу, ротационные и ротационно-колебательные спектры молекул; первые дают волны порядка десятков и сотен микронов, вторые — порядка одного или нескольких микронов. Для теории строения молекул и определения характера внутримолекулярных связей изучение инфракрасных спектров представляет исключительный интерес. Оно ведется, главным образом тепловыми методами: болометром, термоэлементом или микро-радиометром. В последнее время начинают пользоваться и фотоэлементами.

Таким образом, приемы исследования инфракрасной части спектра довольно разнообразны и уже достигли большого совершенства. Хуже других разработан фотографический метод; здесь продвижение на каждую десятую долю микрона в сторону длинных волн дается с большим трудом, и до появления реферируемых работ Черни¹ и Вилленберга² дело не продвинулось далее 1,7 μ . Между тем фотографический метод придает исследованиям документальный характер и при достаточной разработке в значительной мере освобождает от применения громоздких измерительных инструментов.

Помимо изучения спектров фотографирование в инфракрасных лучах имеет значение и для ландшафтных съемок. В запыленном воздухе и иных мутных средах происходит сильное рассеяние коротких видимых лучей; дали кажутся завуалированными, в их детали не поддаются съемке. Однако, по известному закону Релея, рассеяние идет обратно пропорционально четвертой степени длины волны и, например, для инфракрасных лучей с $\lambda = 1200$ м μ будет в 81 раз меньше, чем для фиолетовых лучей с $\lambda = 400$ м μ ; первые проходят почти полностью там, где для вторых среда практически совершенно непрозрачна. На рис. 1 и 2 приведены две фотографии, взятые из книжки Ангерера³, первая из них снята в видимых лучах, вторая — в инфракрасных. Отчетливость далее на второй фотографии несравненно выше; распределение интенсивностей тени на снимках, конечно, несколько различно.



Рис. 1. Фотография в видимых лучах. Дали затуманены.



Рис. 2. Фотография в инфракрасных лучах. Вдали видны горы.

При фотографировании в инфракрасных лучах до сего времени применяли один из следующих приемов: а) сенсibilизация фотографических пластин, б) метод снятия вуалей, в) метод тушения свечения фосфоресцирующих экранов.

В первом из перечисленных случаев применяют главным образом пластинки, сенсibilизированные дицианином. Фотографии получаются высокого качества, однако, пластинки непрочны (краски-сенсibilизаторы быстро разлагаются), экспозиции продолжительны, порядка нескольких часов, и активная спектральная область ограничивается ближайшим инфракрасным участком, обрываясь около $\lambda = 1 \mu$.

При втором методе⁵ чувствительную фотографическую пластинку обрабатывают слабым раствором одной из красок, сильно поглощающей активные синие и фиолетовые лучи и сравнительно хорошо пропускающей инфракрасные, например раствором малахитовой зеленой; затем вуалируют пластинку, продержав ее 10—12 сек. при освещении порядка десятых долей люкса, вследствие чего она засвечивается, однако, благодаря краске, лишь в поверхностном слое. При наложении на такую пластинку инфракрасного спектра в местах освещения вуаль снимается, и образуется позитивное изображение спектра. Время экспозиции исчисляется несколькими десятками минут, воспроизводимая фотографированием область спектра простирается до $\lambda = 1,1 \mu$.

Третий метод — метод гашения фосфоресценции. Возбужденный фосфор, люминесцирующий в обычных условиях несколько часов под влиянием лучей, не принадлежащих к области возбуждения (в том числе и под влиянием лучей инфракрасных), изменяет временной ход излучения. В некоторых случаях наблюдается кратковременная вспышка фосфоресценции, в течение которой фосфор отдает почти всю энергию возбуждения; вследствие этого по окончании вспышки на ярком фоне фосфора образуется более или менее контрастное потемнение мест, освещавшихся инфракрасными лучами (процесс носит название высвечивания). В других случаях имеет место непосредственное гашение фосфоресценции инфракрасными лучами, причем темновой контраст наступает без предварительной вспышки.

При фотографировании по этому методу фосфоресцирующее вещество наносит на экран, имеющий размеры фотографической пластинки. Возбужденный предварительным освещением фосфор ставят в спектрограф на место фотографической пластинки. После непродолжительной экспозиции, длящейся от нескольких секунд до нескольких минут, на фосфоресцирующем экране вырисовываются потухшие места, соответствующие инфракрасным полосам исследуемого спектра. Контактным печатанием с экрана получают на пластинке позитивную фотографию. Метод чувствительнее двух предыдущих и пригоден до $\lambda = 1,7 \mu$, однако нуждается в дальнейшем усовершенствовании.

Таким образом даже наиболее чувствительный третий метод дает фотографию спектров не далее $1,7 \mu$. Дальнейшее продвижение в сто-

рону длинных волн наталкивается, как указывает Черни, на затруднения, в известной мере, принципиального характера. Опираясь на закон черного излучения, Черни вычислил следующую таблицу:

ТАБЛИЦА I

Спектральная область λ	Число квантов черного излучения	Эквивалентное расстояние	Число эквивалентных молекул	Число квантов в спектре источника
$< 1 \mu$	$3,0 \cdot 10^0$	3330 <i>км</i>	$5,5 \cdot 10^3$	$0,4 \cdot 10^{16}$
$1-1,5 \mu$	$1,9 \cdot 10^7$	1,36 "	$5,8 \cdot 10^{10}$	$1,4 \cdot 10^{16}$
$1,5-2$ "	$4,0 \cdot 10^{10}$	29 <i>м</i>	$1,5 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{16}$
$2-2,5$ "	$3,6 \cdot 10^{12}$	3 "	$1,6 \cdot 10^{16}$	$1,3 \cdot 10^{16}$
$2,5-3$ "	$7,0 \cdot 10^{13}$	71 <i>см</i>	$3,7 \cdot 10^{17}$	$1,0 \cdot 10^{18}$
$3-4$ "	$2,4 \cdot 10^{15}$	12 "	$1,7 \cdot 10^{19}$	$1,4 \cdot 10^{18}$

Второй столбец таблицы дает число квантов, принадлежащих к спектральным участкам, указанным в первом столбце, падающих при температуре лаборатории 20°C с обеих сторон в течение секунды на 1 см^2 фотографической пластинки.

Третий столбец приведен в целях наглядности; в нем указывается, на каком расстоянии от пластинки следует поместить горелку Нернста, чтобы число квантов видимого света, падающих в секунду от горелки на 1 см^2 пластинки, оказалось равным числу квантов черного излучения, указанному во втором столбце. Из сопоставления цифр второго и третьего столбца видно, что уже при комнатной температуре на фотографическую пластинку, чувствительную к излучению с длиной волны 2μ , падает столь мощный поток квантов, что пластинка должна почернеть сама собой в весьма незначительный промежуток времени.

Употребляя свежеприготовленные пластинки, мы все же можем надеяться получить фотографию сравнительно далекой инфракрасной части спектров сильных источников. В пятом столбце таблицы дается число квантов, падающих ежесекундно через щель спектрографа на 1 см^2 фотографической пластинки от горелки Нернста при средних условиях съемки; эти числа значительно превосходят соответствующие числа второго столбца.

Наконец, в четвертом столбце даны числа, показывающие количество молекул атмосферного воздуха, которые в нормальных условиях ежесекундно ударяются об 1 см^2 поверхности фотографической пластинки, обладая энергией, соответствующей величинам квантов областей спектра, указанных в первом столбце. Из рассмотрения табл. 1 вытекает, что для фотографирования областей, лежащих дальше 2μ , следует выбирать такой процесс, при котором темновое изменение пластинки оказывалось бы исключенным. Подобный прием был указан Черни и в дальнейшем разработан его сотрудником Вилленбергом.

Сущность метода состоит в том, что под влиянием инфракрасных лучей с освещенных мест испаряется часть жидкости, покрывающей тончайшим слоем столь же тонкую целлюлоидную мембрану (порядка десятых долей микрона). Мембрана находится в закрытом откачанном сосуде, наполненном парами жидкости, насыщающими пространство; вследствие этого испарения слоя жидкости в отсутствии освещения не происходит; равным образом, образовавшаяся вследствие освещения неравномерность толщины слоя не сглаживается. На рис. 3 показано устройство установки и расположение ее частей. Здесь Z — металлический цилиндр, P — круглая пластина с квадратным окном, прикрытым пластинкой S из каменной соли (5×5 см), R — кольцо, на которое вставляется защитная крышка K .

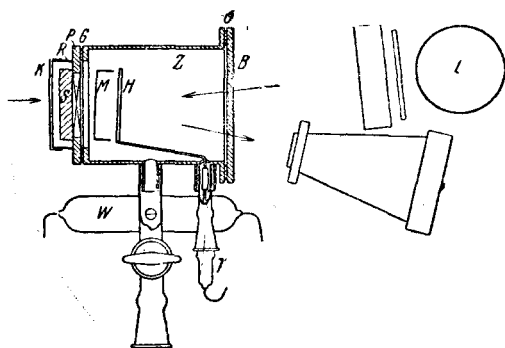


Рис. 3.

Исследуемый инфракрасный спектр падает внутрь камеры слева по стрелке, через окошко. $S.M$ — кольцо, на которое натянута целлюлоидная мембрана, получаемая из цапонового лака. С левой стороны мембрана зачернена тонким слоем сажи почти полностью поглощающим инфракрасные лучи, с правой же стороны она покрыта слоем керосина (фракция, кипящая от 260 до 280°C). Вследствие чрезвычайной тонкости керосинового слоя, стекание его идет очень медленно, так что практически им можно пренебречь. H — подвижная нагревательная спираль, с помощью которой из небольшой пробирки выпаривается нужная порция керосина, оседающая на мембране. При окончании выпаривания с помощью приспособления T спираль выводится из поля зрения. W — манометр сопротивления, B — широкая стеклянная пластинка, G — прокладка. Стеклоанное окно B служит для наблюдения, а также для фотографирования мембраны. Справа внизу на рис. 4 изображена обычная фотографическая камера. При фотографировании мембраны она освещалась лампой L 200 W , тепловое излучение которой задерживалось водой и шоттовским светофильтром BG 9.

За изменением толщины слоя керосина следят по изменению его интерференционных цветов. Другой метод состоит в наблюдении потемнения мест, с которых произошло испарение, наступающее вследствие обожания микроскопических неровностей мембраны.

За изменением толщины слоя керосина следят по изменению его интерференционных цветов. Другой метод состоит в наблюдении потемнения мест, с которых произошло испарение, наступающее вследствие обожания микроскопических неровностей мембраны.

Весьма важным для успешности фотографирования оказался выбор испаряющегося вещества. В первоначальной работе Черни употреблял для этой цели слой подвергавшихся возгонке кристалликов антрацена. Однако употребление твердого порошка не дает достаточной чувстви-

тельности. Кроме того, с течением времени происходит перекристаллизация вещества (мелкие кристаллики возгоняются, крупные растут), вследствие чего чувствительный слой становится крупнозернистым, неспособным к воспроизведению деталей.

Неоднородный состав керосина также представляет некоторые неудобства, вследствие неравномерного испарения различных его фракций, однако, этот недостаток оказался наименьшим из зол, так как многочисленные испытания целого ряда других веществ, вследствие весьма разнообразных причин, неизменно приводили к отрицательным результатам.

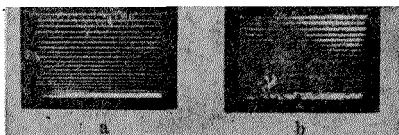


Рис. 4.

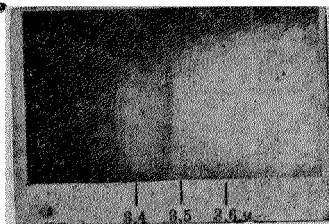


Рис. 5.

Как указывалось выше, благодаря медленности стекания жидкости, вертикальное положение мембраны не ведет к искажению изображения. Гораздо вреднее для результатов съемки оказывается действие поверхностного натяжения, стремящегося при сокращении поверхности выровнять углубления, образующиеся в жидком слое в результате испарения.

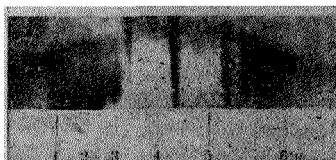


Рис. 6.



Рис. 7.

Для уменьшения вредного влияния этого фактора слой жидкости следует брать возможно тоньше, дисперсию спектрографа, наоборот, возможно больше.

Для определения способности чувствительных мембран к воспроизведению деталей на мембрану проектировалось изображение решетки с щелями переменной ширины от 0,20 до 0,01 мм. Рис. 4 дает увеличенную при репродукции в 2,7 раза фотографию решетки. Слева обычная фотография, справа фотография в инфракрасных лучах. Оказалось, что в последнем случае два штриха воспроизводились как отдельные, если

расстояние между ними достигало 0,09 м.м. Таким образом чувствительная мембрана действует, как крупнозернистая пластинка с величиной зерна около 50 μ .

На рис. 5, 6 и 7 приводятся фотографии, полученные по описанному методу. Рис. 5 — спектр полос HCl; спектр воспроизведен до 3,6 μ . Рис. 6 — спектр абсорбции нафталина, на фотографии спектр простирается до 6,5 μ ; экспозиция несколько секунд. Рис. 7 показывает возможность получить фотографии слабо нагретых предметов; на нем дана фотография колбы с водой при 90° C; экспозиция 30 сек.

Приведенные результаты показывают, что новый метод превосходит во много раз все методы, практиковавшиеся до сего времени как по чувствительности, так и по ширине охватываемого спектрального участка.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. M. Czerny, Zs. f. Phys. **53**, 1, 1929.
2. H. Willenberg, Zs. f. Phys., **74**, 663, 1932.
3. Augerer, Grundlagen der wissenschaftlichen Photographie.
4. Mc. Lennan, Proc. Roy. Soc. (A), **100**, 200, 1921.
5. A. Terenin, Zs. f. Phys. **23**, 294, 1924.
6. P. Lenard, Handb. d. Experimentalphysik, **23**, 2-я половина, 751, 1928.

В. Левшин, Москва.

К ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕОРИИ МЕТАЛЛА *

Примерно, пять лет назад электронная теория металла вырвалась, наконец, из противоречий, которые душили ее и еще так недавно казались неустраняемыми. При этом замечательно, что внезапное разрешение этих противоречий обязано не каким-либо новым физическим представлениям о природе металла (физическая картина металла осталась прежней), а всего лишь измененным формам подсчета.

Можно различать четыре этапа в развитии наших представлений о металле:

1. Впервые Друде высказал гипотезу электронного газа. Ричардсон приписал этому „газу“ максвелловское распределение по скоростям. Развитие этой точки зрения привело к блестящему совпадению теории и опыта в отношении термоионной эмиссии (эффект Ричардсона) и закона Видемана-Франца. Однако, сразу же возникли затруднения в вопросе о теплоемкости металлов.

2. Дальнейшие работы, стремившиеся преодолеть эти и некоторые другие затруднения, развивались все, примерно, в одном и том же напра-

* Kronig and Penny, Quantum Mechannics of Elektron in Crystal Lattices. Proceed. of Royal Soc., A. **130**, p. 499, 1931.