

(m — целое число), то все лучи будут находиться в фазе. Возникнет сильное отражение, называемое *интерференционным отражением*. При заданном m условие (36.9) может выполняться только для определенных длин волн. Поэтому при освещении рассматриваемой системы плоскостей белым светом интерференционное отражение

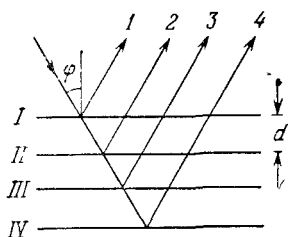


Рис. 146.

будет наблюдаться лишь для некоторых (а при $d < \lambda$ — для одной) сравнительно узких спектральных линий. Система плоскостей, таким образом, приобретает свойство *избирательного отражения*. При этом, так как разность хода зависит от угла падения, цвет избирательно отраженного света будет меняться с изменением угла падения.

Отметим также, не входя ни в какие подробности, что надлежащей комбинацией диэлектрических слоев с различными показателями преломления удастся осуществить на поверхности стекла *многослойные покрытия* (пленки) с высокими коэффициентами отражения (до 98—99% для определенных длин волн). Такие покрытия применяются, например, в зеркалах интерферометров Фабри — Перо. Следует, однако, иметь в виду, что отражающие многослойные пленки в белом свете окрашены, так как интерференционное условие сильного отражения точно выполняется только для какой-либо одной длины волны.

§ 37. Стоячие световые волны

1. При интерференции монохроматических волн, распространяющихся навстречу друг другу, образуются *стоячие волны* (см. т. III, § 140). В этом случае, как видно из формулы (26.12), ширина полосы Δx равна $\lambda/2$, т. е. расстоянию между соседними пучностями или узлами. В случае электромагнитных волн пучности (узлы) электрического вектора E совпадают с узлами (пучностями) магнитного вектора B . Таким образом, в стоячей волне электрическое и магнитное поля можно *пространственно разделить* и исследовать свойства и действия этих полей в отдельности. Моменты прохождения электрического и магнитного полей через максимум в стоячей волне не совпадают, а сдвинуты относительно друг друга на половину периода световых колебаний. Получение стоячих световых волн наталкивается на трудности, связанные с малостью длины волны. Эти трудности впервые были преодолены О. Винером (1862—1927) в 1890 г.

Стеклянная пластинка P (рис. 147), покрытая тонким фоточувствительным слоем толщиной $\sim \frac{\lambda}{20} - \frac{\lambda}{30}$, приводилась в соприкос-

новение с хорошим металлическим зеркалом M , образуя с ним очень малый угол α (порядка $1'$ или меньше). Пластика освещалась монохроматическими лучами, нормальными к поверхности зеркала. В результате отражения от зеркала в воздушном клине между зеркалом и фотослоем образовывались стоячие световые волны. Их пучности обнаруживались в фотослое после его проявления в виде равноотстоящих почерневших полос, параллельных ребру воздушного клина. Расстояние между этими полосами равно $\lambda/(2 \sin \alpha)$. Полосы можно видеть глазом, если угол α взять достаточно малым. В опытах Винера расстояние между полосами составляло 1—2 мм. По этим данным можно было оценить длину световой волны. Удалось также показать, что для красного света длина волны примерно вдвое больше, чем для синего.

Выдвигалось возражение, что при интерпретации опыта не было учтено *обратное отражение света* от фотослоя. Чтобы снять это возражение, Винер заполнял пространство между фотослоем и металлическим зеркалом бензолом, показатель преломления которого близок к показателю преломления желатины фотослоя. Тем самым устранялось влияние отражения от фотослоя. Оказалось, что при этом вид интерференционных полос не менялся.

Главное значение опытов Винера состоит в том, что они позволили установить, какой вектор производит фотохимическое действие: электрический или магнитный. Опыты показали, что первый слой почернения получается на расстоянии $\lambda/4$ от поверхности металлического зеркала. Здесь поэтому находится пучность вектора, вызывающего фотографическое действие. Но при отражении электромагнитной волны от металла на его поверхности получается узел электрического вектора (см. т. III, § 45). Первая пучность электрического вектора находится на расстоянии $\lambda/4$ от поверхности металлического зеркала — там же, где наблюдается почернение фотографического слоя. Отсюда следует, что фотографическое (и вообще фотохимическое) действие производится электрическим, а не магнитным полем световой волны.

Позднее, в 1892 г., Друде (1863—1906) и Нернст (1864—1941) повторили опыт Винера, заменив фотографический слой тонкой пленкой флуоресцирующего вещества. Айвс в 1933 г. сделал то же самое с фотоэлектрическим слоем. Оказалось, что флуоресценция и фотоэффект вызываются также электрическим полем. Этого

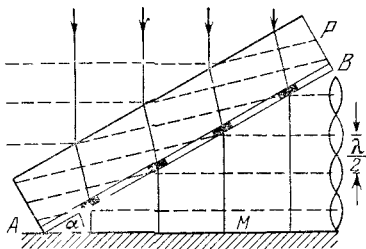


Рис. 147.

и следовало ожидать с точки зрения электронных представлений о строении вещества.

Действительно, действие света на вещество сводится к силам, с которыми на электроны действуют электрические и магнитные поля. Первая сила равна eE , вторая $\frac{e}{c} [vB]$, где v — скорость электрона. Магнитная сила много меньше электрической, так как $v \ll c$. Таким образом, во всех действиях электрический вектор световой волны является более важным, чем магнитный. Поэтому его нередко называют *световым вектором*.

2. Винер исследовал также стоячие световые волны в поляризованном свете. При отражении от прозрачной среды под определенным углом отраженный свет оказывается линейно поляризованным (см. § 65). Про такой свет теперь говорят, что он *поляризован перпендикулярно к плоскости падения*. Со времен Френеля (1821 г.) до конца XIX века во всех эфирных теориях света обсуждался вопрос, как направлен световой вектор: параллельно плоскости поляризации или перпендикулярно к ней. Опыт Винера и должен был решить этот вопрос.

Винер изменил постановку своего предыдущего опыта, заставив линейно поляризованный свет отражаться от металлического зеркала под углом 45° . Тогда угол между направлениями распространения падающей и отраженной волн будет 90° . Поэтому при интерференции этих волн расстояние между соседними пучностями или узлами стоячей волны окажется равным $\lambda/\sqrt{2}$, как это видно из формулы (26.12). Если световой вектор перпендикулярен к плоскости падения, то колебания в падающей и отраженной волнах будут параллельными. Тогда возникнет интерференция этих волн и на фотографической пластинке, наклоненной к поверхности металлического зеркала, получатся такие же темные и светлые полосы, как и в первом опыте Винера. Если же световой вектор параллелен плоскости падения, то интерференция невозможна, так как в этом случае колебания в падающем и отраженном свете будут взаимно перпендикулярны (см. § 26, пункт 5).

Опыт показал, что полосы получают, когда свет поляризован перпендикулярно к плоскости падения. Если же он поляризован в плоскости падения, то получается равномерное почернение пленки. Отсюда следует, что *световой вектор лежит в плоскости поляризации*. А так как предыдущими опытами доказано, что он является электрическим вектором, то последний также лежит в плоскости поляризации.

3. На явлении стоячих волн основан метод *цветной фотографии*, разработанный Липпманом (1845—1922) в 1891 г. Стеклопластинка покрыта с одной стороны толстым слоем мелкозернистой сухой фотографической эмульсии высокой чувствительности. Пластинка составляет стенку сосуда, в который наливается ртуть.

Эмульсионная пластинка должна быть обращена внутрь сосуда, чтобы фотографический слой находился в контакте с ртутью. Пластинка освещается снаружи нормально падающими лучами определенной длины волны. При отражении света от поверхности ртути в толще эмульсии образуются стоячие волны, которые и экспонируют фотопластинку. После этого пластинка вынимается, проявляется и фиксируется. В местах пучностей электрического вектора выделяются тонкие слои металлического серебра, находящиеся на расстоянии $\lambda/2$ друг от друга. Получится плоскостойкая среда из отражающих параллельных плоскостей, подобная той, которая изображена на рис. 146.

Осветим теперь со стороны эмульсии так обработанную пластинку нормально падающим светом. Малая часть света отразится от слоя I , остальная часть пройдет прямо. От второго слоя отразится столь же малая часть, и т. д. Получится столько же отраженных пучков, сколько металлических слоев отложилось в толще эмульсии. Интенсивность каждого пучка мала, но их число велико. Если длины волн освещающего света и света, применявшегося при экспонировании, в точности одинаковы, то каждый последующий отраженный пучок будет запаздывать по фазе относительно предыдущего на 2π . В этом случае произойдет интерференционное усиление пучков, так что результирующая интенсивность отраженного света окажется большой. Если же каждый пучок будет сдвинут по фазе относительно предыдущего на $\pm 2\pi/N$, где N — общее число пучков, то произойдет их взаимное гашение. Вообще, интенсивно будут отражаться только такие длины волн, которые равны длине волны света, применявшегося при экспонировании, или очень близки к ней. Поэтому при освещении пластинки белым светом она в отраженном свете будет казаться окрашенной в соответствующий цвет.

Спектральная область $\delta\lambda$ отраженного света тем уже, чем толще слой эмульсии, чем больше число отложившихся слоев металлического серебра. Если на эмульсию подышать, то она немного разбухнет, расстояния между металлическими слоями увеличатся, что вызовет смещение цвета в красную сторону. При увеличении угла падения φ условие интерференционного усиления $2d \sin \varphi = \lambda$ будет выполняться для более коротких волн. Поэтому при наклоне пластинки ее цвет меняется в сторону фиолетового конца спектра.

Для получения цветных фотографий предметов при экспонировании пластинки надо получать цветное изображение фотографируемого предмета на светочувствительном слое, как во всяком фотоаппарате. Липпмановские цветные фотографии получаются высокого качества в чистых спектральных цветах, например при фотографировании спектров. Смешанные цвета, как правило, дают плохие результаты. Метод Липпмана не получил распространения. Современная техническая цветная фотография основана на прин-

ципе светофильтров — использовании соответствующих красящих пигментов, вводимых в эмульсию фотопластинок.

Нейхаусс в конце 90-х годов прошлого века на опыте убедился в слоистой структуре пленок Липпмана. Была получена по методу Липпмана фотография в красном свете. После этого пленка была отделена от стекла и произведен поперечный разрез ее. Затем была получена микрофотография одного из разрезов пленки с увеличением в 1000 раз. На микрофотографии было видно около десяти темных полос, чередовавшихся со светлыми. Темные полосы получились в местах отложения металлического серебра. Расстояние между серединами темных полос получилось ≈ 350 нм. Необходимо заметить, что никакой микроскоп не позволяет различить детали предмета, много меньшие длины световой волны. Успех опыта отчасти определялся тем, что пленка заметно разбухла при обработке до ее разрезания. Кроме того, разрез производился в каком направлении.

§ 38. Излучение Вавилова — Черенкова

1. Интерференция света — отнюдь не редкое явление, как это может показаться с первого взгляда. По существу все, что связано с распространением света в веществе, относится к классу явлений интерференции. Действительно, световая волна, падая на среду, возбуждает электрические колебания в атомах и молекулах. Вследствие этого эти частицы начинают излучать вторичные электромагнитные волны, также воздействующие на атомы и молекулы среды. Падающая волна и возбужденные ею вторичные волны интерферируют, и этой интерференцией определяются все особенности распространения света в среде.

Действие линзы и вогнутого зеркала можно рассматривать также как интерференционный эффект. Действительно, возмущения от точечного источника, если они попадают на различные участки линзы, в дальнейшем распространяются по различным путям вдоль лучей к фокусу. Так как оптические длины всех лучей от источника до фокуса одинаковы, то возмущения приходят в фокус в *одинаковых* фазах и при наложении усиливают друг друга. Этим интерференционным эффектом и объясняется фокусирующее действие линзы. Если бы при своем распространении световые возмущения строго следовали законам лучевой (геометрической) оптики, то в фокусе получилась бы бесконечная интенсивность светового поля. То обстоятельство, что этого не происходит, связано с отступлениями от геометрической оптики и прежде всего с дифракцией.

2. Рассмотрим более интересный пример. Допустим, что в прозрачной однородной среде движется электрон или какая-либо другая заряженная частица с постоянной скоростью V . Своим