

ференции в тонких пленках определяется следующими условиями, выраженным через оптическую разность хода.

Условие максимума:

$$2k \frac{\lambda}{2} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2}. \quad (19.4)$$

Условие минимума:

$$(2k+1) \frac{\lambda}{2} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2}. \quad (19.5)$$

Анализируя выражения (19.4) и (19.5), приходим к выводам:

- 1) если на тонкую пленку падает монохроматическое излучение (например, $\lambda = 6,7 \cdot 10^{-7}$ м – красный цвет), то она в отраженном свете будет либо красной (19.4), либо темной (19.5);
- 2) если на тонкую пленку падает белый свет (сложный), то она будет иметь окраску, соответствующую λ , для которой выполняется условие (19.4).

Однородная окраска при угле падения α наблюдается в том случае, когда толщина пленки всюду одинакова, в противном случае постоянной окраски не будет и только части пленки, имеющие одинаковую толщину, будут казаться окрашенными в один цвет.

Интерференционная картина наблюдается и в проходящем свете, но так как в проходящем свете нет потери полуволны, то вся картина интерференции изменится на обратную.

19.3.* Полосы равной толщины. Кольца Ньютона

Полосы равной толщины. Интерференционные полосы в воздушном клине можно наблюдать, если положить одну плоскопараллельную стеклянную пластину на другую, а под один из концов верхней пластины положить небольшой предмет таким образом, чтобы между ними образовался воздушный клин (рис. 19.4). В этом случае разность хода лучей определяется формулами (19.4) и (19.5). Допустим, что лучи 1–4 падают на клин нормально ($\sin \alpha = 0$) и показатель преломления воздуха $n = 1$, тогда

$$\delta = 2d + \lambda/2. \quad (19.6)$$

На границе, где стеклянные пластины соприкасаются, $d \approx 0$ и $\delta = \lambda/2$, поэтому наблюдается темная полоса (минимум).

Первая светлая полоса ($k=1$) возникает при $\delta = \lambda$, так как $\delta = 2k(\lambda/2) = 2 \cdot 1 \times (\lambda/2) = \lambda$, поэтому $\delta = 2d + \lambda/2 = \lambda$. Отсюда получим, что в этом месте толщина воздушного клина $d = \lambda/4$. Именно такой воздушный промежуток проходит параллельно грани соприкосновения, и светлая полоса имеет вид прямой линии. Вторая светлая полоса находится там, где толщина воздушного клина достигает значения $d = 3/4 \lambda$, так как при этом $\delta = 2 \cdot 2(\lambda/2) = 2d + \lambda/2$.

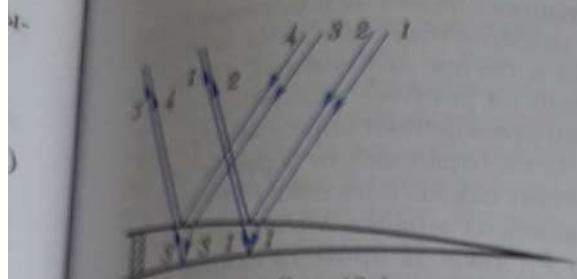


Рис. 19.4

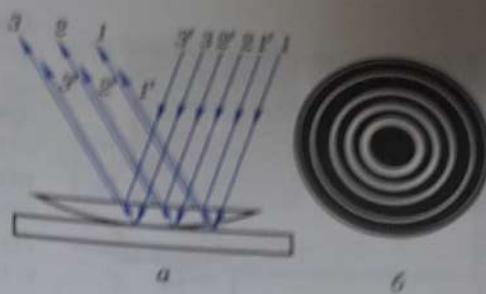


Рис. 19.5

Эти полосы, каждой из которых соответствует своя вполне определенная толщина клина или параллельной пластинки, называют *полосами равной толщины*. Полосы равной толщины могут быть прямыми линиями, концентрическими окружностями и иметь любую другую форму в зависимости от расположения точек, соответствующих $d = \text{const}$. Угол клина должен быть очень малым, иначе полосы равной толщины ложатся друг на друга и их нельзя различить.

Кольца Ньютона. Полосы равной толщины можно получить, если положить плосковыпуклую линзу с большим радиусом кривизны ($R = 10 - 100$ м) на плоскую параллельную пластинку (рис. 19.5, а). В этом случае полосы равной толщины имеют вид колец, которые называют *кольцами Ньютона* (рис. 19.5, б).

Если на линзу падает монохроматический свет, то волны, отраженные от верхней и нижней границ этой воздушной прослойки, интерферируют между собой и их разность хода зависит от толщины этого воздушного клина. В отраженном свете при этом наблюдается следующая картина: в центре — черное пятно, окруженное чередующимися концентрическими светлыми и темными интерференционными кольцами убывающей ширины (см. рис. 19.5, б). В проходящем свете картина обратная: все светлые кольца заменяются темными, а в центре — светлое пятно.

19.4. Использование интерференции в науке и технике

Интерференция широко используется в различных областях науки и техники. В настоящее время этalon длины установлен, как определенное число (избранных) длин световых волн. Используя интерференцию, можно определить длины волн, показатели преломления, микроскопические размеры тел, микронеровности на поверхности деталей.

Интерференция в рентгеновской области электромагнитных излучений является основой рентгеноструктурного анализа кристаллических решеток твердых растворов, сплавов и чистых веществ. Для этих целей служат различные по конструкции приборы, называемые *интерферометрами*. В каждом интерферометре измеряемый параметр является переменной величиной, а все остальные — постоянные.

Интерферометр Майкельсона.* Первый интерферометр был предложен А. Майкельсоном. Принцип действия интерферометра Майкельсона (рис. 19.6) до сих пор широко применяется в различных типах этих приборов. Прибор состоит из двух зеркал M_1 и M_2 и полупрозрачной посеребренной пластинки P_1 .

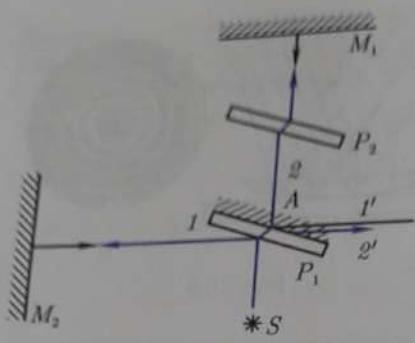


Рис. 19.6

Свет от источника S падает на пластинку P_1 , погнутую углом 45° и разделяется на два луча, поэтому он относится к группе двулучевых. Пути лучей, как видно из рисунка, различны, вследствие чего они приобретают определенную разность хода. Луч 1 , отражаясь от зеркала M_2 , частично проходит сквозь пластинку P_1 (луч $1'$). Луч 2 , отражаясь от зеркала M_1 , дважды проходит сквозь стеклянную пластинку P_2 , параллельную P_1 . Пластинка P_2 отличается от пластинки P_1 тем, что она не покрыта слоем серебра. Луч 2 частично отражается от пластинки P_1 (луч $2'$). Лучи $1'$ и $2'$ когерентны. Результат их интерференции зависит от оптической разности хода луча 1 от точки A до зеркала M_2 и луча 2 от точки A до зеркала M_1 . Из-за наличия пластинки P_2 их оптические пути одинаковы, поэтому ее называют **компенсатором**. Таким образом, оптическая разность хода лучей $1'$ и $2'$ равна $\delta = 2n_1(l_1 - l_2)$, где l_1 и l_2 — расстояния от точки A до соответствующих зеркал; n_1 — показатель преломления воздуха. Если $l_1 = l_2$, то наблюдается максимум интерференции. Смещение одного из зеркал на расстояние $\lambda/4$ даст разность хода лучей $\lambda/2$, что приводит к возникновению минимума. Таким образом, по изменению интерференционной картины можно судить о малых перемещениях одного из зеркал и использовать интерферометр для точных измерений длины. Помещая вместо одного из зеркал какую-либо деталь, можно по форме полос или колец контролировать качество ее обработки.

Просветление оптики. Особое место в применении интерференции занимает просветленная оптика. При прохождении света через линзы или призмы от каждой из поверхностей световой поток частично отражается. В сложных оптических системах, где много линз или призм, проходящий световой поток уменьшается значительно; кроме того, появляются блики. Так, было установлено, что в перископах подводных лодок отражается до 50 % входящего в него света. Для устранения этих дефектов оптических систем и применяется метод просветленной оптики. Сущность метода заключается в том, что оптические поверхности покрываются тонкими пленками, создающими интерференционные явления.

Обычно толщина просветляющей пленки $d = \lambda/4$ падающего света. Тогда отраженный свет имеет разность хода, равную $\lambda/2$, что соответствует условию минимума при интерференции. Таким образом достигается четкое изображение, уничтожаются блики. Просветляющие покрытия наносятся на поверхности линз и призм путем химической обработки (травление в кислоте), путем нанесения пленок фторидов при испарении в вакууме или механически.

19.5. Дифракция света

Дифракция. Свет представляет собой волновой процесс и для него при определенных условиях должно наблюдаться явление **дифракции** (отклонение от

витамина D в организме человека. Излучение в интервале 0,32 – 0,28 мкм вызывает загар, а в интервале 0,28 – 0,25 мкм оказывает бактерицидное действие. Большие дозы могут вызвать повреждение глаз и ожог кожи.

Ультрафиолетовое излучение очень сильно поглощается земной атмосферой, поэтому его исследование производится в высокогорных районах. Для регистрации этого излучения используются обычные фотоматериалы и различные люминофоры, преобразующие ультрафиолетовое излучение в видимое.

Инфракрасное излучение. Инфракрасное излучение было открыто английским ученым В. Гершелем в 1800 г. и занимает спектральную область между красным концом видимого света и коротковолновым радиоизлучением в диапазоне длин волн от 0,76 мкм до 1 – 2 мм. Это излучение несет большую энергию, вызывая сильное нагревание тел, на которые оно попадает, поэтому его часто называют **тепловым**.

Источниками инфракрасного излучения являются лампы накаливания с вольфрамовой нитью, электрическая угольная дуга и различные газоразрядные лампы. Мощным естественным источником является Солнце, около 50 % излучения его лежат в инфракрасной области.

Инфракрасные лучи проникают в поверхностные ткани человека и животных и оказывают положительное влияние на течение всех биологических процессов. Это излучение широко используется в сельском хозяйстве при устройстве парников. Лучи, отражаясь от парника, вызывают дополнительное нагревание почвы (**парниковый эффект**). Инфракрасное излучение применяют для сушки материалов, овощей, фруктов. Созданы приборы, в которых инфракрасное изображение объекта преобразуется в видимое. Инфракрасные локаторы и дальномеры обнаруживают объекты в темноте, если их температура выше температуры окружающей среды. Инфракрасные лазеры используют для наземной и космической связи.

19.16. Рентгеновские лучи. Их природа и свойства

Рентгеновские лучи. В 1895 г. В. Рентген, наблюдая процессы в газоразрядных трубках, открыл загадочные лучи, которые теперь называют **рентгеновскими лучами**.

Они были обнаружены благодаря их способности вызывать свечение флуоресцирующих веществ. Эти лучи вызывали зеленоватое свечение стекла газоразрядной трубки в том месте, где на него падал поток быстрых электронов из катода. Рентгеновские лучи способны проникать через тела, непрозрачные для обычного света, например черную бумагу, картон, тонкие слои металла. Они вызывают покраснение фотографической пластиинки и потерю заряда электроскопа вследствие ионизации воздуха.

Дифракция рентгеновских лучей. Возникло предположение, что рентгеновские лучи – это электромагнитные волны, которые излучаются при резком торможении электронов. Подтверждением этого предположения могло бы быть явление дифракции, присущее всем видам волн. Однако попытки получить диф-



В. Рентген

ракционную картину на узких щелях с помощью рентгеновских лучей потерпели неудачу. В 1912 г. М. Лауз для наблюдения дифракции рентгеновских лучей предложил использовать кристаллы. Кристаллы представляют собой упорядоченную структуру, характеризующуюся межплоскостными расстояниями (расстояниями между узлами кристаллической решетки) порядка нескольких нанометров, и являются естественной пространственной дифракционной решеткой. Опыты, проведенные М. Лауз и другими физиками, показали, что *рентгеновские лучи — это электромагнитные волны, длины которых соответствуют размеру атома, т.е. от $8 \cdot 10^{-8}$ до $1 \cdot 10^{-12}$ м*. Ясно, что обнаружить дифракцию рентгеновских лучей на плоских узких щелях нельзя, так как получить щель такого размера практически невозможно.

Рентгеновская трубка. Получают рентгеновские лучи в специальных приборах, называемых **рентгеновскими трубками** (рис. 19.24). Рентгеновская трубка представляет собой стеклянный баллон, давление в котором порядка 0,1 МПа. Источником электронов служит катод, выполненный из вольфрама в виде спирали. Поток электронов, испускаемых раскаленным катодом при термоэлектронной эмиссии, ускоряется в сильном электрическом поле, созданном источником высокого напряжения. Ускоренный поток электронов падает на массивный анод, расположенный под углом порядка 45° . Такая геометрия анода позволяет управлять направлением распространения лучей. Электроны в поле приобретают кинетическую энергию $E_k = mv^2/2 = eU$. Попав на анод, они тормозятся при движении в веществе анода.

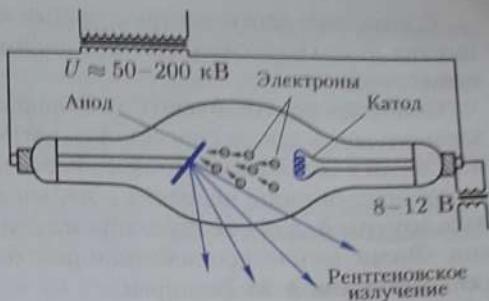


Рис. 19.24

В результате торможения быстрых электронов возникает тормозное рентгеновское излучение.

Тормозное рентгеновское излучение имеет сплошной непрерывный спектр, так как электроны, бомбардирующие анод, имеют различные скорости. При их торможении возникают лучи различных длин волн.

Максимальная энергия рентгеновского излучения не может превышать энергии электрона, которую тот получил в ускоряющем поле.

Применение рентгеновских лучей. В науке и технике широко используются такие свойства рентгеновских лучей, как их большая проникающая способность, действие на фотопластинки, способность вызывать ионизацию в веществе, сквозь которое они проходят.

Так, **рентгеновская дефектоскопия** — способ определения наличия, места нахождения и размеров внутренних дефектов в материалах и изделиях — основана на различии ослабления рентгеновских лучей при их прохождении сквозь участки изделия различной плотности и протяженности. В рентгеновской дефектоскопии наиболее распространенным является фотографический метод с получением изображения на рентгеновской пленке.

С помощью рентгеноструктурного анализа исследуют атомную структуру вещества путем изучения картины дифракции и рассеяния рентгеновских лучей веществом.

Свойство рентгеновских лучей в различной степени поглощаться разными элементами, а также способность вызывать свечение люминесцирующих экранов легли в основу их широкого использования в медицине для просвечивания различных органов человека с целью диагностики, для лечения злокачественных опухолей, для обнаружения в теле различных включений, например осколов. Физиологическое действие рентгеновских лучей впервые исследовал русский академик А. М. Бехтерев.



КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Характеристическое рентгеновское излучение имеет линейчатый спектр. Частоты его линий характеризуют вещества анода.

Рентгеновское излучение используют в медицине и технике, научных исследованиях.



Вопросы для самоконтроля и повторения

1. Что означает монохроматичность световых волн? 2. Что происходит при явлении интерференции света? 3. При каких условиях наблюдается максимальное усиление, максимальное ослабление в интерференционной картине от двух когерентных источников?
4. При каких условиях можно наблюдать дифракционную картину? 5. Что представляет собой дифракционная решетка? 6. При каких условиях наблюдаются главные максимумы при нормальном падении монохроматического света на решетку? 7. Что можно наблюдать при освещении дифракционной решетки белым светом? 8. У каких волн можно наблюдать явление поляризации? 9. Что доказывает явление поляризации света? 10. Как можно объяснить дисперсию света? 11. Какие существуют линии спектров излучения?
12. *Чем отличается призматический спектр от дифракционного? 13. *Какой вид имеют спектры светящегося газа и от чего они зависят? 14. Расскажите о методе спектрального анализа. 15. Какими свойствами обладают и какое биологическое действие на живые организмы оказывает ультрафиолетовое излучение? 16. Расскажите об инфракрасном излучении и его свойствах. Каковы природа и свойства рентгеновских лучей?



Примеры решения задач