
Лекции по физике.

Оптика

Поляризация света. Законы
теплового излучения

Поляризация света

- Согласно теории Максвелла, свет представляет собой поперечные электромагнитные колебания. Возможны различные типы таких колебаний в зависимости от ориентации **светового вектора** – вектора напряжённости электрического поля E

Поляризация света

- Если в волнах, составляющих световой пучок с одинаковой вероятностью встречаются различные направления светового вектора то такой свет называется **естественным**
- Если в световом пучке существует направление преимущественной ориентации светового вектора, то такой свет называется **частично поляризованным**

Поляризация света

- Из естественного света можно выделить волны, в которых колебания светового вектора происходят в одной плоскости. Такой свет называют **плоскополяризованным** или **линейно поляризованным**
- При сложении двух линейно-поляризованных колебаний в общем случае получается эллиптически поляризованная волна, частным случаем которой является циркулярно поляризованное колебание

Поляризация света

- В эллиптически поляризованной волне конец светового вектора описывает эллипс
- При циркулярной (круговой) поляризации конец светового вектора описывает окружность. Циркулярно поляризованную волну можно представить как сумму двух линейно поляризованных колебаний одинаковой амплитуды происходящих в перпендикулярных друг другу плоскостях и сдвинутых по фазе на угол $\pm\pi/2$

Поляризация света

- Различают правую и левую круговую и эллиптическую поляризации. В первом случае конец светового вектора вращается по часовой стрелке, а во втором случае против часовой стрелки

Поляризация света

- Степенью поляризации называется величина:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

где I_{\max} и I_{\min} – соответственно максимальная и минимальная интенсивности линейно поляризованных компонент волны

- Для естественного и циркулярно-поляризованного света $P=0$, а для плоскополяризованного $P=1$

Поляризация света

- Естественно поляризованный свет можно преобразовать в поляризованный с помощью **поляризаторов** – устройств, пропускающих колебания, имеющие преимущественное направление светового вектора
- В поляризаторах используют два эффекта:
 1. Различие коэффициентов пропускания
 2. Различие в отражении/преломлении колебаний с различной поляризацией

Поляризация света

- В качестве поляризаторов можно использовать естественные анизотропные кристаллы: исландский шпат, турмалин и др.
- В кристалле исландского шпата показатель преломления лучей с разной поляризацией различен (**двулучепреломление**), поэтому при прохождении сквозь кристалл происходит их пространственное разделение

Поляризация света

- Чтобы разделить лучи с разным состоянием поляризации используют не просто двулучепреломляющие кристаллы, а их комбинации – **поляризационные призмы**
- **Призма Николя** состоит из двух склеенных между собой кристаллов исландского шпата, определённой формы и кристаллографической ориентации. Один из лучей выводится в сторону благодаря полному внутреннему отражению от прослойки, соединяющей кристаллы

Поляризация света

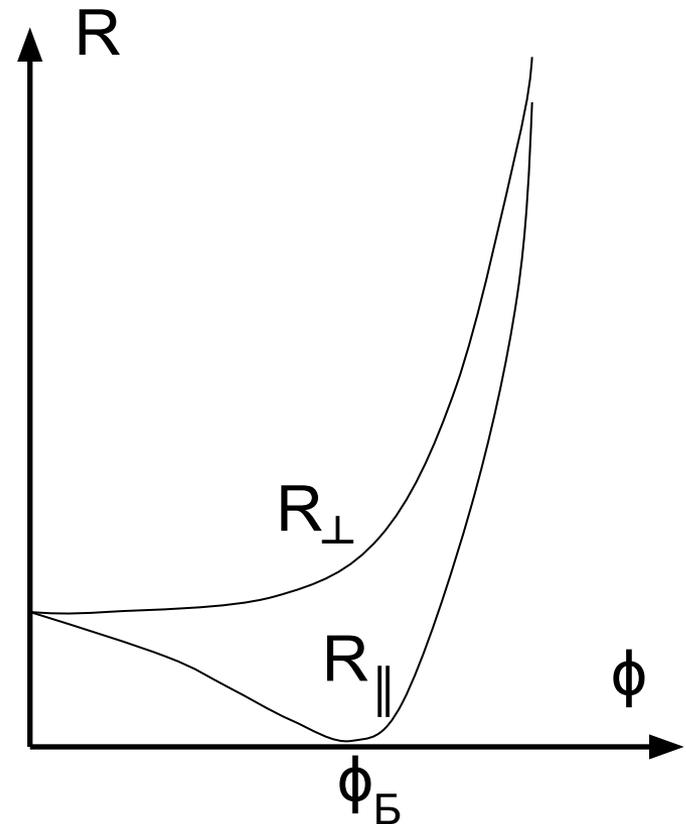
- Кристаллы турмалина действуют иначе чем исландский шпат. Они имеют различный коэффициент поглощения лучей разной поляризации (**дихроизм**). Поэтому после прохождения кристалла интенсивность одного из лучей оказывается выше чем другого
- Можно изготовить полимерные материалы, обладающие таким же свойством

Изменение состояния поляризации при отражении/преломлении

- Установлено, что соотношение интенсивностей отражённых/преломлённых лучей на границе двух диэлектриков различно для волн различной поляризации
- Различают луч, поляризованный в **плоскости падения** и перпендикулярно к ней. В первом случае световой вектор лежит в плоскости, проходящей через перпендикуляр к поверхности раздела двух сред и падающий луч

Изменение состояния поляризации при отражении/преломлении

- Коэффициент отражения света, поляризованного перпендикулярно плоскости падения монотонно увеличивается с увеличением угла падения
- Коэффициент отражения света, поляризованного в плоскости падения достигает нуля при падении под **углом Брюстера ϕ_B**



Поляризация света

- Величина угла Брюстера определяется соотношением:

$$\operatorname{tg}\phi_{\text{Б}} = n$$

где n – относительный показатель преломления двух сред

- Изменение состояния поляризации при отражении/преломлении используется для создания поляризаторов света
- **Стопа Столетова** представляет собой 8-10 стеклянных пластинок устанавливаемых под углом Брюстера. Она даёт практически полную поляризацию падающего и прошедшего лучей

Закон Малюса

- Если на пути луча естественного света установить два поляризатора и исследовать зависимость интенсивности I прошедшего света от угла α между осями поляризаторов, то можно получить закон Малюса:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

где I_0 – интенсивность падающего света

Искусственная оптическая анизотропия

- Явление **искусственной оптической анизотропии** заключается в том, что оптически изотропные вещества становятся анизотропными в результате внешних воздействий: сжатия/растяжения, наложения электрического (**эффект Керра**) и магнитного полей

Вращение плоскости поляризации

- Некоторые вещества (сахар, кварц, скипидар и др.), называемые **оптически активными** обладают способностью поворачивать плоскость поляризации проходящего сквозь них света
- Величина угла поворота ϕ пропорциональна расстоянию d , пройденному светом в веществе и концентрации C раствора в случае растворов. Коэффициент пропорциональности α называется удельным вращением

Вращение плоскости поляризации

- Для кристаллов и чистых жидкостей:

$$\phi = \alpha d$$

- Для растворов:

$$\phi = \alpha C d$$

- Разделяют **право-** и **лево-вращающие** оптически активные вещества
- Под действием магнитного поля оптически неактивные вещества могут становиться оптически активными. Это явление называется **эффектом Фарадея**

Применение поляризации света

- Исследования в поляризованном свете имеют большое техническое значение
- На моделях деталей из материалов с искусственной анизотропией можно выявлять участки на которые приходится наибольшая нагрузка
- Поляризационные устройства позволяют управлять световыми потоками, записывать информацию, проводить оптические исследования и измерения физических параметров

поляризация света

Тепловое излучение

- Нагретые тела излучают электромагнитные волны. При достаточно высокой температуре тел (свыше $500\text{ }^{\circ}\text{C}$) наблюдается их свечение в видимом диапазоне
- Для каждого вещества характерна своя зависимость мощности излучения с единичной площади, отнесённая к частотному интервалу от частоты (или длины волны) – **спектральная плотность энергетической светимости R**

Тепловое излучение

- Эта величина зависит также от температуры $R(\nu, T)$
- Каждое вещество обладает также характерной для него способностью поглощать падающее излучение. Это свойство характеризуется величиной **спектральной поглощательной способности** $A(\nu, T)$, показывающей какая доля мощности излучения падающего на единицу площади поглощается телом. Эта мощность так же должна быть отнесена к малому спектральному интервалу в пределах которого производится облучение

Тепловое излучение

- Как и $R(\nu, T)$ $A(\nu, T)$ зависит от частоты и температуры
- **Абсолютно чёрное тело** поглощает всё падающее на него излучение. Для него $A(\nu, T)=1$
- Моделью абсолютно чёрного тела может служить небольшое отверстие в теле, содержащем замкнутую полость

Законы теплового излучения

- В замкнутой системе нагретые тела должны находиться в равновесии со своим излучением. Из этого факта следует, что между способностью тел излучать и поглощать свет должно существовать фундаментальное соотношение (**закон Кирхгофа**):

$$\frac{R(\nu, T)}{A(\nu, T)} = r(\nu, T)$$

где $r(\nu, T)$ - спектральная плотность энергетической светимости абсолютно чёрного тела

Законы теплового излучения

- Согласно закону Стефана-Больцмана интегральная энергетическая светимость абсолютно чёрного тела R_e пропорциональна четвёртой степени его термодинамической температуры:

$$R_e = \sigma T^4$$

- где σ - постоянная Стефана-Больцмана
- Функция $r(\nu, T)$ – имеет максимум, положение которого зависит от температуры тела

Законы теплового излучения

- Согласно **закону смещения Вина** зависимость длины волны λ_{\max} , соответствующей максимуму функции $r(\nu, T)$, от температуры тела описывается формулой:

$$\lambda_{\max} = b/T$$

где b – постоянная Вина

Законы теплового излучения

- Используя термодинамический подход можно получить следующую формулу для функции $r(\nu, T)$ (**Формула Рэля-Джинса**):

$$r(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{(1)} kT$$

- Эта формула показывает, что интегральная излучательная способность $R_e = \infty$ т.к. интеграл от (1) расходится

Законы теплового излучения

- Выражение (1) находится в противоречии с опытными данными и с законом Стефана-Больцмана. Этот результат получил название «ультрафиолетовой катастрофы» т.к. он показал, что в рамках классической физики невозможно объяснить законы теплового излучения

тепловое излучение

КОНЕЦ ЛЕКЦИИ
