**ЛЕКЦИЯ 5 (АИ 2 курс)**

**ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА**

План

1. Естественный и поляризованный свет.

2. Поляризация света при отражении и преломлении на границе двух диэлектриков.

3. Двойное лучепреломление.

4. Призма Николя. Закон Малюса.

5.Искусственная поляризация света.

6. Оптически активные вещества. Вращение плоскости поляризации.

7. Применение поляризации.

**1.**

Свет представляет собой электромагнитные колебания , распространяющиеся в виде электромагнитных волн. Электромагнитная волна характеризуется вектором напряженности электрического поля  и вектором индукции магнитного поля . Эти векторы расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях и колеблются в одинаковых фазах.



*Рисунок 1.7 Электромагнитная волна*

Колебания этих векторов происходят перпендикулярно направлению распространения колебаний – к лучу. Поэтому электромагнитные волны относятся к типу поперечных волн.

В большинстве случаев воздействие световых волн (физиологическое, фотохимическое, люминесценция, фотоэффект) определяется вектором напряженности электрического поля, так как большинство явлений, наблюдаемых в веществе под действием света, связаны с воздействием на электроны. И говоря о колебаниях в световом луче, будем понимать колебания вектора , который называют световым вектором.

Электромагнитные волны, излучаемые светящимся телом, - результат тех отдельных волн, которые испускаются его атомами. Вследствие того, что атомы беспрерывно изменяют свою пространственную ориентацию, изменяется с большой частотой и направление колебаний вектора  - результирующей световой волны.

Если в световой волне колебания вектора  происходят по всевозможным направлениям в плоскости, перпендикулярной направлению распространения (к лучу), то свет называют естественным. Если колебания вектора  происходят только в одном направлении, перпендикулярном лучу, то свет называется плоскополяризованным. Плоскость, проходящая через направление колебаний вектора  и через луч, называется плоскостью поляризации.

Если колебания в каком – либо направлении ослаблены, то свет называют частично поляризованным.



 а б

*Рисунок 2.7 Естественный (а) и поляризованный (б) свет.*

Прибор, превращающий естественный свет в поляризованный, называют поляризатором, а прибор, определяющий направление колебаний (гасящий поляризованную волну), - анализатором.

Глаз человека не отличает естественный свет от поляризованного. Зрительное ощущение вызывает только интенсивность света I. Интенсивность электромагнитной волны пропорциональна квадрату амплитудного значения напряженности электрического поля , т.е. . Степень поляризации световой волны:

  , (1.7)

где Imax и Imin − максимальная и минимальная интенсивности света, соответствующие двум взаимно перпендикулярным составляющим вектора ; Р − степень поляризации. Для естественного света Imax = Imin и Р = 0, для плоскополяризованного Imin = 0 и Р = 1. Полностью поляризованный свет в природе встречается редко, чаще − частично поляризованный.

**2.**

Один из способов получения поляризованного света состоит в использовании явления отражения и преломления света на поверхности диэлектрика. Пусть на черное зеркало (в этом зеркале устранено отражение от второй поверхности) падает естественный свет. Световые колебания, происходящие в одной плоскости, можно разложить по правилу параллелограмма на 2 колебания, происходящие в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Следовательно, естественный луч света можно представить как луч, в котором колебания происходят в двух взаимно перпендикулярных направлениях, например в плоскости чертежа, которую считаем совпадающей с плоскостью падения (условно отмечают черточками) и с плоскостью перпендикулярной (отмечаются точками). Эти два вида колебаний по – разному отражаются от зеркала из диэлектрика.

Если угол α падения света на границе раздела двух диэлектриков с показателями преломления n1 и n2 не равен 0, то отраженный и преломленный лучи оказываются частично поляризованными.

В отраженном луче преобладают колебания, перпендикулярные плоскости падения, в преломленном луче – колебания, параллельно плоскости падения. Степень поляризации зависит от угла падения α.

Закон Брюстера: При угле падения, удовлетворяющем условию

 , (2.7)

где n2,1 – показатель преломления второй среды относительно первой, отраженный луч полностью поляризован, а преломленный луч поляризован частично. Угол αполн называют углом Брюстера или углом полной поляризации.

Из закона Брюстера и закона преломления света  следует, что при падении луча на диэлектрик под углом полной поляризации луч, отраженный под этим углом, и луч преломленный взаимно перпендикулярны.



*Рисунок 3.7 Отражение и преломление естественного света.*

Степень поляризации преломленного света может быть значительно повышена. Для этого вместо одной пластинки пользуются системой одинаковых стеклянных пластинок, расположенных друг за другом так, что свет, выходящий из первой пластинки, падает под углом Брюстера на вторую, из второй - на третью и т.д. Такая система пластин, называемая стеклянной стопой, позволяет путем многократных отражений и преломлений добиться того, чтобы свет, прошедший сквозь стопу, был практически полностью поляризован. Так, например, если для одной стеклянной пластинки степень поляризации преломленного луча составляет ~ 15 %, то после преломления на стопе из 8 − 10 пластинок вышедший свет оказывается практически полностью поляризованным (Р ≈1).

**3.**

В природе существуют кристаллы (исландский шпат), которые дают двойное преломление. Это явление объясняется следующим образом. Кристаллы – тела анизотропные, их физические свойства, например скорость распространения световых колебаний, различны в различных направлениях. Но особенностью кристалла является то, что в нем можно выделить оптическую ось. Она характеризуется следующим: свойства кристалла одинаковы во всех направлениях, которые составляют с оптической осью кристалла равные углы. Это свойство справедливо для любого угла. Необходимо отметить, что оптическая ось не есть определенная линия, а только определенное направление. Плоскость, проходящую через падающий луч и оптическую ось кристалла, называют главным сечением кристалла.

Скорость распространения света в кристалле зависит от угла φ между направлением колебаний и направлением главной оси кристалла: .

Если луч света идет вдоль оптической оси кристалла, то все его колебания перпендикулярны оптической оси (φ=900) и, следовательно, распространяются с одной и той же скоростью. Луч в этом случае не раздваивается и двойного изображения нет.

Если луч света падает на кристалл под некоторым углом φ к его оптической оси, то можно разложить колебания в падающем луче на два взаимно перпендикулярных колебания: колебания, происходящие в плоскости сечения, и колебания, происходящие в плоскости, перпендикулярной главному сечению. Колебания, перпендикулярные главному сечению кристалла (означаются точками), распространяются в кристалле с той же скоростью, что и колебания луча, идущего вдоль оптической оси, так как при любом угле падения они составляют с осью кристалла угол 900.

Колебания, расположенные в плоскости главного сечения кристалла (обозначаются черточками), распространяются с другой скоростью, так как они составляют с осью кристалла другой угол, равный 900-φ.



*Рисунок 4.7 Двойное лучепреломление.*

Так как скорость распространения колебаний в кристалле зависит от угла φ, то колебания, перпендикулярные главному сечению, и колебания, лежащие в плоскости главного сечения, распространяются в кристалле с различной скоростью и, следовательно, имеют различный показатель преломления. Но при различных показателях преломления и углы преломления различны. В этом случае луч света раздваивается и дает двойное изображение. Лучи, колебания в которых перпендикулярны плоскости главного сечения, называют обыкновенными; лучи, колебания которых расположены в плоскости главного сечения, - необыкновенными.

Лучи обыкновенные и необыкновенные являются лучами поляризованными; обыкновенный луч поляризован в плоскости главного сечения, а необыкновенный луч – в плоскости, перпендикулярной плоскости главного сечения.

Меняя направление луча, падающего на поверхность кристалла, можно убедиться в том, что пространственного разделения падающего луча на два не происходит в двух случаях: луч падает параллельно оптической оси (рис. 5.7а) и перпендикулярно оптической оси (рис. 5.7б).

*I*ест

*о*

*е*

*е*

*о*

*I*ест

*I*ест

*I*ест

*а*

*в*

*а*

*в*

*а*

*б*

*в*

*Рисунок 5.7 Схемы пространственного разделения луча*

Во всех иных случаях падения луча на кристалл происхо­дит пространственное разделение луча, даже при перпендикулярном падении луча на поверхность кристалла (рис. 5.7в).

Обыкновенный и необыкновенный лучи имеют следующие свойства:

1. Обыкновенный и необыкновенный лучи имеют одинаковую интенсив­ность , равную  ( - интенсивность падающего естественного луча).

2. Оба луча, обыкновенный и необыкновенный, полностью поляризованы во взаимно перпендикулярных плоскостях.

3. Обыкновенный луч подчиняется закону преломления света. Он лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, восстановленным к поверхности кристалла в точке падения луча. Для этого луча при любом угле падения соблюдается закон преломления

.

Необыкновенный луч не лежит в плоскости падения луча и не подчиняется закону преломления. При изменении угла падения луча на кристалл для необыкновенного луча

.

Даже при нормальном падении луча на кристалл необыкновенный луч преломляется.

4. Пространственное разделение луча внутри кристалла обусловлено анизотропией − различием скоростей распространения света по разным направлениям . Это приводит к различию показателей преломления: .

5. Если свет падает перпендикулярно оптической оси кристалла, то, не разделяясь пространственно, он фактически делится на два луча − обыкновенный и необыкновенный: лучи идут по одному направлению, но с разными скоростями.

6. Обыкновенный и необыкновенный лучи остаются пространственно разделенными и после выхода из кристалла: они распространяются параллельно друг другу и параллельно падающему лучу.

7. После выхода из кристалла, если не принимать во внимание поляризацию во взаимно перпендикулярных плоскостях, обыкновенный и необыкновенный лучи ничем не отличаются друг от друга.

 8. Обыкновенный и необыкновенный лучи по-разному поглощаются в некоторых кристаллах. Это явление носит название дихроизма.

**4.**

Устройства, служащие для получения поляризованного света, называют поляризационными призмами. Поляризационная призма может служить и анализатором. Поляризационную призму Николя часто называют просто николь. Показатель преломления канадского бальзама 1,549. Показатель преломления исландского шпата для обыкновенных лучей 1,658. Для необыкновенных лучей показатель преломления различен для различных направлений (для лучей, идущих параллельно длинным ребрам призмы 1,515).

Пусть естественный луч падает на нижнюю грань призмы в плоскости главного сечения (плоскости чертежа) под таким углом, что преломленные лучи, раздвоившись, идут почти параллельно продольным ребрам.

*I*ест

*е*

*А*

*В*

680

900

*Рисунок 6.7. Ход лучей в призме Николя*

Необыкновенный луч (е), дойдя до слоя канадского бальзама, вступает в него как в тело, более преломляющее, и продолжает путь, не отклоняясь, так как слой канадского бальзама очень тонок. Обыкновенный луч (о) встречает слой бальзама как среду менее преломляющую, и так как угол падения его больше предельного угла преломления, то этот луч испытывает полное отражение и поглощается зачерненной гранью призмы. Из призмы выходит один необыкновенный луч, колебания в котором параллельны главному сечению.

 Интенсивность света, прошедшего через поляризатор равна: .

|  |  |
| --- | --- |
| а) | d22 |
| б) | d23*Рисунок 7.7 Прохождение света через два поляризатора, расположенные под разными углами плоскостей поляризации.* |

Закон Малюса: если на анализатор падает поляризованный луч, плоскость поляризации которого составляет угол α с плоскостью поляризации анализатора, то интенсивность прошедшего сквозь анализатор луча равна:

 , (3.7)

где I0 – интенсивность луча, прошедшего поляризатор, I – интенсивность луча, выходящего из анализатора, без учета потерь в анализаторе в результате поглощения и рассеяния света.

Если , то будет полное затмение поля зрения.

**5.**

Фотоупругость

Оптическая разность хода ΔL, возникающая в разных точках деформированной пластинки, зависит от разности показателей преломления (nо–nе), которая, в свою очередь, зависит от величины напряжения σ в этой точке.

Таким образом, условие максимума интерференции в любой точке пластинки запишется следующим образом:

 .

Отсюда можно найти:

 , (6.7)

где k − порядок интерференционной полосы.

При наблюдении деформированной пластинки в монохроматическом свете на ее поверхности видна система темных и светлых полос. Каждая светлая полоса − геометрическое место точек, имеющих одинаковое напряжение σ = const. При освещении пластинки белым светом она приобретает причудливую разноцветную окраску. Каждая интерференционная линия одного цвета (изохромата) соответствует при этом одинаково деформированным местам пластинки.

Следовательно, по расположению интерференционных полос можно судить о распределении напряжений и их величине внутри пластинки. На этом основывается оптический метод исследования напряжений. Для этой цели изготавливают модели из плексигласа, целлулоида или другого прозрачного изотропного вещества, измеряют на них напряжения, а затем делают соответствующий пересчет на проектируемую конструкцию.

Ячейка Керра

Возникновение двойного лучепреломления в газах, жидкостях и в аморфных твердых телах (диэлектриках) под воздействием сильного однородного электрического поля называется эффектом Керра. Это явление впервые было обнаружено шотландским физиком Д. Керром в 1875 году.

–

+

*I*П

*I*А

*Рисунок 8.7 Схема ячейки Керра*

Схема установки для исследования эффекта Керра в жидкостях изображена на рис. 8.7. Установка состоит из ячейки Керра, помещенной между скрещенными поляризатором и анализатором. Ячейка Керра представляет собой сосуд с жидкостью, в которую введены пластины конденсатора. При подаче на пластины напряжения между ними возникает практически однородное электрическое поле. Под его действием жидкость приобретает свойства одноосного кристалла с оптической осью, ориентированной вдоль поля.

Возникающая разность показателей преломления  пропорциональна квадрату напряженности поля Е:

  ,

где  – коэффициент пропорциональности.

На пути l (длина пластины конденсатора) между обыкновенным и не­обыкновенным лучами возникает оптическая разность хода

  ,

где В − постоянная Керра, зависящая от природы вещества, его температуры и длины волны света в вакууме.

Эффект Керра объясняется различной поляризуемостью молекул вещества по различным направлениям. Это явление практически безинерционно, т.е. переход вещества из изотропного состояния в анизотропное при включении поля (и обратно) происходит приблизительно за с. Поэтому ячейка Керра служит идеальным световым затвором и применяется в быстропротекающих процессах (в звукозаписи, воспроизводстве звука, скоростной фото- и киносъемке и т.д.), в оптической локации, связи и т.д.

**6.**

Некоторые кристаллы и растворы органических соединений при прохождении сквозь них поляризованного луча поворачивают плоскость его поляризации. Это можно проследить на следующем опыте.

При наблюдении источника света сквозь 2 николя, плоскости поляризации которых взаимно перпендикулярны, поле зрения будет темное, так как второй николь не пропустит колебаний, прошедших через первый.

Поставим между николями тонкую кварцевую пластинку, вырезанную перпендикулярно оптической оси. Поле зрения станет светлее. Но поворотом одного из николей на некоторый угол поле зрения снова можно сделать темным.

Этот опыт показывает, что при прохождении сквозь кварцевую пластинку свет остался поляризованным, но плоскость его поляризации повернулась на некоторый угол φ. Само явление получило название вращения плоскости поляризации. Вещества, вращающие плоскость поляризации, называют оптически активными. К их числу принадлежит, например, раствор сахара.

В твердых телах угол φ поворота плоскости поляризации пропорционален длине пути светового луча в теле:

 , (4.7)

где α – вращательная способность (удельное вращение), зависящая от рода вещества, температуры и длины волны.

Для растворов угол поворота плоскости поляризации равен:

 , (5.7)

где с – концентрация оптически активного вещества. Величина α зависит от природы оптически активного вещества и растворителя, температуры и длины волны света. Явление вращения плоскости поляризации нашло применение для определения концентрации какого – либо активного вещества в растворе. Так как угол поворота пропорционален концентрации оптически активного вещества и толщине слоя, то, можно определить концентрацию. На этом принципе основано устройство прибора для определения концентрации сахара в растворе – сахариметра.

Оптически неактивные вещества приобретает способность вращать плоскость поляризации под действием магнитного поля. Это явление было обнаружено М. Фарадеем и получило название эффекта Фарадея. Этот эффект имеет огромное значение для науки, так как в нем обнаруживается связь между оптическими и электромагнитными процессами.

**7.**

Применение поляризованного света необычайно широко:

1. В дефектоскопии, когда конструкторы и архитекторы, разрабатывая проекты новых машин и сооружений и рассчитывая отдельные узлы, должны знать, как распределится нагрузка в данном узле, в каких частях она будет наибольшей. С этой целью изготовляется точная модель детали из целлулоида и просматривается в поляризованном свете. Подвергая модель различным нагрузкам, мы ясно увидим на целлулоиде все узлы напряжений и легко можем определить, где нужно усилить конструкцию или, наоборот, облегчить.

2. Геологи, исследуя в поляризованном свете различные минералы и изделия, могут безошибочно отличить природные от искусственных, поддельные от настоящих.

3. Фотографы, выполняя репродукции с картин в застекленных рамах, могут легко уничтожить мешающие им блики от стекла, надевая на объектив поляризационный фильтр.

4. Водителям автомашин в ночное время очень мешают вести машину слепящие фары встречных машин. Надев поляризационные очки, водитель избавляется от этих помех.

5. Поляризационные очки используют для разделения картинок предназначенных для левого и правого глаза в стереокино (направление поляризации линзы левого и правого глаза ортогонально).

6. Поляризационный бинокль помогает капитанам кораблей вести корабль по правильному курсу, уничтожая при наблюдении мешающие световые блики на морских волнах.

7. Применяя поляризованный свет в стекольной промышленности, легко проверить правильность и равномерность закалки стекла.



8. Поляризованный свет используют в быстродействующих затворах (выдержка <1 мс) благодаря магнитооптическому эффекту Фарадея.

9. Поляризованный свет используют также в жидкокристаллических дисплеях, принцип работы которого основан на вращении плоскости поляризации и изменении интенсивности световой волны в соответствии с законом Малюса.