

Лекция 12. Дифракция и поляризация

Дифракция на системе щелей

Дифракционная решётка состоит из большого числа одинаковых щелей, разделённых непрозрачными промежутками. Дифракционные картины, создаваемые каждой щелью, совпадают по виду и интерферируют друг с другом. Суммарная картина наблюдается как результат интерференции когерентных волн, выходящих из всех щелей решётки.

Пусть ширина каждой щели равна b , ширина непрозрачной прослойки между щелями — a . Тогда полный период решётки $d = a + b$. Это расстояние между центрами двух соседних щелей. Также $d = \frac{1}{N_0}$, где N_0 — число щелей на единицу длины решётки (пространственная плотность щелей).

Разность хода между волнами, идущими из двух соседних щелей под углом θ к нормали, равна:

$$\Delta = d \sin \theta$$

Условия наблюдения дифракционной картины:

- **Главные максимумы (интерференционные пики)** наблюдаются, когда волны от всех N щелей приходят в фазе:

$$d \sin \theta = m\lambda, \quad m \in \mathbb{Z}$$

- **Главные минимумы** для одной щели возникают, если края щели создают волны в противофазе:

$$b \sin \theta = m\lambda$$

Это определяет подавление интенсивности для каждой отдельной щели. При этом даже если выполняется условие максимума решётки, максимум может исчезнуть, если θ также соответствует минимуму одиночной щели.

- **Дополнительные минимумы** (между главными максимумами) появляются при:

$$d \sin \theta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$$

Их физическая природа связана с частичной компенсацией амплитуд от разных щелей. Между каждыми двумя соседними главными максимумами находится $N - 1$ дополнительных минимума.

Интенсивность в направлении главного максимума в N^2 раз превышает интенсивность от одной щели:

$$I_{\max} = N^2 I_1$$

где I_1 — интенсивность от одной щели в направлении главного максимума. Это происходит

потому, что амплитуды складываются:

$$A_{\max} = NA_1 \Rightarrow I \propto A^2$$

Фазовые сдвиги при интерференции можно учесть, считая колебания от первой щели:

$$A_1(t) = A_0 \cos \omega t$$

От второй щели:

$$A_2(t) = A_0 \cos(\omega t - \Delta\varphi)$$

От k -й щели:

$$A_k(t) = A_0 \cos(\omega t - (k-1)\Delta\varphi)$$

Эти колебания можно представить как сумму комплексных экспонент:

$$\sum_{k=1}^N A_0 e^{i(\omega t - (k-1)\Delta\varphi)} = A_0 e^{i\omega t} \sum_{k=0}^{N-1} e^{-ik\Delta\varphi}$$

Это конечная геометрическая прогрессия, которая может быть просуммирована. Таким образом можно получить зависимость амплитуды и интенсивности от угла θ .

Центральный (нулевой) максимум наблюдается при $\theta = 0$ и не зависит от длины волны λ . Поэтому он содержит все длины волн и выглядит белым на экране при освещении белым светом.

Поляризация света

Свет — это электромагнитная волна, в которой переменные электрическое и магнитное поля колеблются перпендикулярно направлению распространения. При этом электрическое поле играет основную роль при взаимодействии с веществом, поэтому его направление называют направлением поляризации.

Если вектор электрического поля сохраняет своё направление при распространении, такая волна называется линейно или плоско-поляризованной. Поляризация — это проявление поперечной природы световых волн.

Поляризатор — это устройство, преобразующее неполяризованный свет в поляризованный. Анализатор — прибор, позволяющий проверить, поляризован ли свет.

Явление, при котором степень поглощения света зависит от направления колебаний электрического поля, называется дихроизмом.

Поляроид — это полимерная плёнка, содержащая ориентированные кристаллы дихроичного вещества. Он пропускает колебания только в одном направлении и поглощает в перпендикулярном, эффективно действуя как поляризатор.

Закон Малюса: Если на анализатор падает линейно-поляризованный свет, и угол между

направлениями поляризации и пропускания анализатора равен φ , то:

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

где I_0 — интенсивность падающего света, I — интенсивность прошедшего через анализатор.

Угол Брюстера: при падении света на границу двух сред под некоторым углом, отражённый свет становится полностью поляризованным. Этот угол определяется из условия:

$$\tan \theta_B = \frac{n_2}{n_1}$$

Формулы Френеля: описывают амплитуды отражённых и преломлённых волн при падении под произвольным углом на границу двух диэлектриков. Они позволяют рассчитать степень поляризации отражённого света.

Степень поляризации света определяется как:

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

где I_{\max} и I_{\min} — максимальная и минимальная интенсивности при вращении анализатора.

Эффект Керра: в сильных электрических полях в некоторых веществах возникает искусственная двойная лучепреломляемость. Свет, проходящий через такое вещество, становится частично поляризованным.