Теор. Минимум. «Оптика»

1. Уравнения Максвелла в интегральной форме

$$\oint_l \vec{E}^* d\vec{l} = -\frac{d}{dt}\iint_S \vec{B}d\vec{S}$$

Циркуляция вектора электрического поля E по замкнутому контуру l определяется скоростью изменения магнитного потока через поверхность S ограниченную данным контуром.

$$\oint_l \vec{H}d\vec{l} = \frac{d}{dt}\iint_S \vec{D}d\vec{S} + \iint_S \vec{j}d\vec{S}$$

Циркуляция вектора магнитного поля H по замкнутому контуру l определяется суммой скорости изменения потока вектора электрического смещения и плотности тока j через поверхность S ограниченную данным контуром.

$$\oiint_S \vec{B}d\vec{S} = 0$$

Поток вектора индукции магнитного поля B через замкнутую поверхность S равен нулю.

$$\oiint_S \vec{D}d\vec{S} = \iiint_V \rho dV$$

Поток вектора электрического смещения D через замкнутую поверхность S определяется алгебраической суммой зарядов находящихся внутри объема V, ограниченного этой поверхностью.

2. $rot\vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{j}$ Ротор вектора напряженности магнитного поля H определяется суммой скорости изменения вектора электрического смещения D и вектора плотности тока j.

$rot\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ Ротор вектора напряженности электрического поля определяется скоростью изменения магнитного поля B, взятого с обратным знаком.

$div\vec{D} = \rho$ Дивергенция вектора электрического смещения D равна объемной плотности заряда ρ.

$div\vec{B} = 0$ Дивергенция вектора магнитной индукции B равна нулю.

3. Уравнения Максвелла в интегральной форме

$$\oint_l \vec{E}^* d\vec{l} = -\frac{d}{dt}\iint_S \vec{B}d\vec{S}$$

Циркуляция вектора электрического поля E по замкнутому контуру l определяется скоростью изменения магнитного потока через поверхность S ограниченную данным контуром.

$\oint_l \vec{H}d\vec{l} = \frac{d}{dt}\iint_S \vec{D}d\vec{S}$ Циркуляция вектора магнитного поля H по замкнутому контуру l определяется скоростью изменения потока вектора электрического смещения.

$$\oiint_S \vec{B}d\vec{S} = 0$$

Поток вектора индукции магнитного поля B через замкнутую поверхность S равен нулю.

$\oiint_S \vec{D}d\vec{S} = 0$ Поток вектора электрического смещения D через замкнутую поверхность S равен нулю.

4. $rot\vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ Ротор вектора напряженности магнитного поля H определяется скоростью изменения вектора электрического смещения D.

$rot\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ Ротор вектора напряженности электрического поля определяется скоростью изменения магнитного поля B, взятого с обратным знаком.

$div\vec{D} =$ 0 Дивергенция вектора электрического смещения D равна нулю.

$div\vec{B} = 0$ Дивергенция вектора магнитной индукции B равна нулю

5. Волновое уравнение $\Delta E - \frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$, где $\Delta \equiv \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$, v — фазовая скорость.

6. Самой простой гармонической электромагнитной волной является волна с постоянной амплитудой колебаний в любой точке наблюдения. Такие волны называются плоскими. Для плоской волны, распространяющейся вдоль оси z уравнение будет иметь вид: $E(z,t)=E_0\cos(\omega t-kz+\varphi_0)$, где к – волновое число (модуль волнового вектора), ω – циклическая частота, E_0 – амплитуда.

7. **Волновой вектор** — вектор, направление которого перпендикулярно фазовому фронту бегущей волны, а абсолютное значение равно волновому числу.

$k \equiv \frac{\omega}{V} = \frac{2\pi}{\lambda}$. где к – волновое число (модуль волнового вектора), ω – циклическая частота, V – скорость электромагнитной волны, λ - длина волны.

8. Геометрическое место точек, до которых доходят колебания к данному моменту времени, называется фронтом волны или волновым фронтом.

9. ***Показателем преломления*** среды n называется отношение скорости света в вакууме c к фазовой скорости света v в данной среде $n = \frac{c}{v}$. Также он может быть выражен через диэлектрическую ε и магнитную μ проницаемости среды $n = \sqrt{\varepsilon\mu}$.

10. **Вектор Пойнтинга** (также *вектор Умова — Пойнтинга*) — вектор плотности потока энергии электромагнитного поля.

$$\vec{S} = w\vec{V} = \left[\vec{E} \times \vec{H}\right]$$

где **E** и **H** — векторы напряжённости электрического и магнитного полей соответственно. w – обьемная плотность энергии, V – скорость электромагнитной волны.

11. Модуль среднего по времени значения плотности потока энергии световой волны носит название интенсивности света в данной точке. Единицы измерения: Вт/м^2.

$$I = E_m H_m \left\langle \cos^2(\omega t - kr + \alpha)\right\rangle = \frac{E_m H_m}{2}.$$

$$I = \frac{1}{2}E_m H_m = \frac{n}{2}\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}E_m^2 = \frac{n}{2}\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}A^2$$

12. Двухлучевая интерференция

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\delta$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\delta.$$

A_1, A_2, I_1 и I_2 – амплитуды и интенсивности двух интерферирующих волн. δ - разность фаз.

13. Разность фаз $\Delta\varphi$ и разность хода Δ двух волн с одинаковой длиной волны λ связаны соотношением: $\Delta\varphi = 2\pi\,\Delta/\lambda$.

14. Условие максимума интерференции: разность хода Δ интерферирующих волн равна целому числу длин волн ($\Delta = m\lambda$). Разность фаз $\Delta\varphi$ интерферирующих волн равна четному числу π ($\Delta\varphi = m\pi$, m = 0, 2, 4,…).

15. Условие минимума интерференции: разность хода Δ интерферирующих волн равна нечетному числу полуволн ($\Delta = (2m+1)\,\lambda/2$). Разность фаз $\Delta\varphi$ интерферирующих волн равна нечетному числу π ($\Delta\varphi = m\pi$, m = 1, 3, 5,…).

16. Видность интерференционной картины V определяется формулой $V = \dfrac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$, где I_{max} – интенсивность в максимуме интерференционной картины, I_{min} - интенсивность в минимуме интерференционной картины. Максимальное значение V=1 для максимально контрастной картины, минимальное – 0.

17. Ширина интерференционной полосы Δy на примере схемы Юнга.

$$\Delta y = \frac{L}{d}\lambda.$$

где L – расстояние от щелей до экрана, d – расстояние между щелями, λ - длина волны.

18. Если разность фаз двух колебаний изменяется очень медленно, то говорят, что

колебания остаются когерентными в течение некоторого времени $\tau_{ког}$. Это время называют *временем когерентности*.
Расстояние $l_{ког} = c\,\tau_{ког}$ называется длиной когерентности (c — скорость распространения волны).

19. Разность хода Δ при интерференции в тонких пленках $\Delta = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}$, где *h* – толщина пленки, *n* – показатель преломления, *a* – угол падения света.

20. Вид интерференционной картины в случае плоскопараллельной пластины зависит от формы падающего излучения. Для плоской волны максимумов и минимумов не будет, поскольку разность хода в каждой точке одинакова. Для расходящегося пучка при нормальном падении будет система темных и светлых колец. При падении плоской волны на клин, интерференционная картина состоит из одинаковых по ширине темных и светлых полос. При падении плоской волны на сферическую линзу, лежащую на пластине интерференционная картина состоит из темных и светлых колец, ширина которых убывает с ростом их радиуса.

21. Принцип Гюйгенса Френеля. Каждый элемент волнового фронта можно рассматривать как центр вторичного возмущения, порождающего вторичные сферические волны, а результирующее световое поле в каждой точке пространства будет определяться интерференцией этих волн.

22. Интеграл Фраунгофера

$$U(x,y,z) = \frac{e^{ikz}}{i\lambda z} e^{\frac{ik\left(x^2+y^2\right)}{2z}} \int\limits_{-\infty}^{\infty}\int\limits_{-\infty}^{\infty} u(x',y',0)\exp\left(\frac{-ik\left[xx'+yy'\right]}{z}\right)dx'dy'$$

Распределение комплексной амплитуды U(x,y,z) в дальней зоне на расстоянии z от отверстия на котором происходит дифракция. к – волновое число, λ - длина волны. u(x’,y’,0) - распределение комплексной амплитуды в плоскости отверстия.

23. Решение для узкой щели $I_\varphi = I_0 \dfrac{\sin^2(\pi b \sin\varphi/\lambda)}{(\pi b \sin\varphi/\lambda)^2}$,

24. При дифракции Фраунгофера света с длиной волны λ на узкой щели шириной b положение минимумов дифракции определяется формулой: b sinθ = mλ, где m = 0, ±1, ±2 и т.д. θ – угол дифракции.

25. При дифракции Фраунгофера света с длиной волны λ, на круглом отверстии диаметром D, распределение интенсивности будет зависеть от угла дифракции θ следующим образом:

$$I(\theta) = I_0 \left[\frac{2J_1\left(\frac{kD\sin\theta}{2}\right)}{\frac{kD\sin\theta}{2}} \right]^2$$

, где k=2π/λ, I_0 – интенсивность падающего света, J_1 – функция Бесселя первого порядка.

26. При дифракции Фраунгофера света с длиной волны λ на дифракционной решетке с периодом d положение максимумов дифракции определяется формулой: d sinθ = mλ, где m = 0, ±1, ±2 и т.д. θ – угол дифракции.

27. Разрешающая сила R дифракционной решетки определяется минимальной разностью длин волн δλ, при которой две близкие линии в спектре воспринимаются раздельно $R = \dfrac{\lambda}{\delta\lambda}$
λ – средняя длина волны для двух разрешаемых линий.

28. **Линейная поляризация** электромагнитного излучения — разновидность поляризации волн, при которой вектор электрического или магнитного поля совершает колебания в плоскости.

29. Закон Малюса $I = I_0 \cos^2\theta$ определяет соотношение интенсивностей линейно поляризованного света до (I_0) и после (I) поляризатора, если направление поляризации поляризатора составляет угол θ с плоскостью поляризации падающего света

30.Степень поляризации света P определяется формулой $P = \dfrac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$ где I_{max} и I_{min} это максимальная (I_{max}) и минимальная (I_{min}) интенсивности частично поляризованного света, который пропускается анализатором. Максимальное значение P = 1 для полностью поляризованного света, минимальное – 0 для неполяризованного света.

31.Эллиптическая поляризация электромагнитного излучения — это одно из состояний поляризации, при которой направление вектора электрического поля **E** вращается с постоянной скоростью в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны, описывая своим концом эллипс. Частным случаем эллиптическая поляризации является циркулярная, когда эллипс превращается в окружность.

32. *Луч обыкновенный* (англ. ordinary ray) - *луч*, показатель преломления которого не зависит от направления распространения в однородной среде. *Луч необыкновенный* (англ.

extraordinary ray) - *луч*, показатель преломления которого меняется в зависимости от направления распространения в среде.

33. Полуволновая пластина обеспечивает разность фаз для двух ортогональных поляризаций равную π. Используется для поворота плоскости поляризации без потерь интенсивности. Четверть волновые пластина обеспечивает разность фаз для двух ортогональных поляризаций равную $\pi/2$. Используется для преобразования линейно поляризованного света в циркулярно-поляризованный и наоборот.
34. Угол падения света, при котором отражённый луч полностью поляризован, называется углом Брюстера. При падении под углом Брюстера отражённый и преломлённый лучи взаимно перпендикулярны.

$\mathrm{tg}\,\theta_{бр} = n_2 / n_1$. n1 – показатель преломления среды, из которой падает волна. n2 - показатель преломления среды, в которую волна проходит.

35. Формулы Френеля для s и p поляризации

$$r_s = \frac{n_1 \cos\theta_i - n_2 \cos\theta_t}{n_1 \cos\theta_i + n_2 \cos\theta_t},$$

$$t_s = \frac{2n_1 \cos\theta_i}{n_1 \cos\theta_i + n_2 \cos\theta_t},$$

$$r_p = \frac{n_2 \cos\theta_i - n_1 \cos\theta_t}{n_2 \cos\theta_i + n_1 \cos\theta_t},$$

$$t_p = \frac{2n_1 \cos\theta_i}{n_2 \cos\theta_i + n_1 \cos\theta_t}.$$

где
n_1— показатель преломления среды, из которой падает волна,
n_2— показатель преломления среды, в которую волна проходит,
θ_i— угол падения,
θ_t— угол преломления
r_s,t_s,r_p и t_p – амплитудные коэффициенты отражения (r) b пропускания (t) для s и p поляризации.

Угол падения связан с углом преломления законом Снеллиуса:

$n_1\sin(\theta_i) = n_2\sin(\theta_t)$

Вопросы к теорминимуму.

1. Уравнения Максвелла в интегральной форме (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)
2. Уравнения Максвелла в дифференциальной форме (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)
3. Уравнения Максвелла в интегральной форме для случая отсутствия токов и зарядов (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)
4. Уравнения Максвелла в дифференциальной форме для случая отсутствия токов и зарядов (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)
5. Волновое уравнение (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)
6. Уравнение плоской ЭМ волны (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)
7. Волновое число и волновой вектор (Определение. Направление. Формула)
8. Волновой фронт (Определение. Примеры (сферический и плоский ВФ))
9. Показатель преломления среды (формула 1 через скорость света и фазовую скорость, формула 2 через проницаемости)
10. Вектор Пойнтинга (формула без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)
11. Интенсивность ЭМ излучения (Размерность. Выражение через квадрат амплитуды.)
12. Двухлучевая интерференция (Формула 1 через амплитуды и формула 2 через интенсивности)
13. Связь разности хода и разности фаз (формула, с объяснением физического смысла всех членов)
14. Условие максимума через разность хода и разность фаз (формула, с объяснением физического смысла всех членов)
15. Условие минимума через разность хода и разность фаз (формула, с объяснением физического смысла всех членов)
16. Видность интерференционной картины (формула, с объяснением физического смысла всех членов)
17. Ширина интерференционной полосы на примере схемы Юнга (ШИП выражается через параметры схемы. Без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)
18. Время и длина когерентности (Определение. Формула без вывода.)
19. Разность хода при интерференции в тонких пленках (Формула через толщину и показатель преломления пленки. Без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)
20. Вид интерференционной картины в случае плоскопараллельной пластины, клина, сферической линзы, лежащей на пластине (Словесное описание или эскиз. Особенности картин.)
21. Принцип Гюйгенса Френеля (Определение, примеры для отверстия, экрана)
22. Интеграл Фраунгофера (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)
23. Решение интеграла Фраунгофера для узкой щели (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)
24. Условие минимумов при дифракции на щели (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)
25. Вид решения для круглого отверстия (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)

26. Условие максимумов при дифракции на решетке (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)
27. Разрешающая способность диф. решетки (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)
28. Линейная поляризация(определение)
29. Закон Малюса (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)
30. Степень поляризации (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)
31. Эллиптическая поляризация(определение)
32. Двулучепреломление в кристаллах. Обыкновенный и необыкновенный луч. (Определение, причины нарушения законов геом. оптики.)
33. Полуволновые и четверть волновые пластины (принцип работы с примерами)
34. Формулы Френеля для s и p поляризации (без вывода, но объяснением физического смысла всех членов)
35. Что называется углом Брюстера?
36. Как связан угол Брюстера с показателями преломления среды, из которой падает волна и показателем преломления среды, в которую волна проходит.