

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики

Физический факультет

Теоретический минимум курса физики по разделу «Оптика»

- А.Кудлис
 - А.В.Смирнов
 - Н.Н.Хвастунов
 - В.И.Шоев
 - А.А.Зинчик
 - М.П.Коробков
-

ИТМО

28 ноября 2025 г.

Основные величины и единицы СИ (Оптика)

Вектор Пойнтинга (\vec{S})	Вт/м ²
Время (t)	с
Длина волны (λ)	м
Диэлектрическая проницаемость (ε)	1 (безразмерная)
Интенсивность (I)	Вт/м ²
Магнитная индукция (\vec{B})	Тл
Магнитная постоянная (μ_0)	Гн/м
Магнитная проницаемость (μ)	1 (безразмерная)
Напряженность магнитного поля (\vec{H})	А/м
Напряженность электрического поля (\vec{E})	В/м (или Н/Кл)
Плотность тока проводимости (\vec{j})	А/м ²
Показатель преломления (n)	1 (безразмерная)
Поток излучения (Φ_e)	Вт
Скорость света (c)	м/с
Фокусное расстояние (f)	м
Циклическая частота (ω)	рад/с
Электрическая индукция (\vec{D})	Кл/м ²
Электрическая постоянная (ε_0)	Ф/м
Энергетическая освещенность (E_e)	Вт/м ²
Энергетическая светимость (M_e)	Вт/м ²
Энергетическая сила излучения (I_e)	Вт/ср
Энергетическая яркость (L_e)	Вт/м ² ·ср

1. Электромагнитные волны

1. Электромагнитные волны

NB! 1. Приведите уравнения Максвелла в дифференциальной форме

Ответ:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}; \quad \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \quad \nabla \cdot \vec{D} = \rho; \quad \nabla \cdot \vec{B} = 0,$$

где \vec{j} – ток проводимости, \vec{D} – вектор электрического смещения, \vec{E} – вектор напряженности электрического поля, \vec{B} – вектор магнитной индукции, ρ – плотность свободного заряда.

NB! 2. Приведите материальные уравнения для стационарных электрического и магнитного полей в линейной, однородной изотропной среде без дисперсии и потерь.

Ответ:

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}$$

где \vec{D} – вектор электрического смещения, \vec{E} – вектор напряженности электрического поля, \vec{B} – вектор магнитной индукции, \vec{H} – вектор напряженности магнитного поля, ϵ, μ – диэлектрическая и магнитная проницаемости, ϵ_0, μ_0 – диэлектрическая и магнитная постоянные.

NB! 3. Приведите волновое уравнение для вектора напряженности электрического поля в однородной среде при отсутствии источников.

Ответ: $\nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$, где $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0}}$, $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$. Уравнение описывает распространение электромагнитных волн со скоростью v в однородной среде с проницаемостями ϵ и μ при отсутствии источников ($\rho = 0, \vec{j} = 0$).

NB! 4. Приведите уравнение для вектора напряженности \vec{E} электрического поля плоской бегущей монохроматической электромагнитной волны, распространяющейся в направлении оси z . Запишите связь между векторами напряженности электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} полей в этой волне.

Ответ: Для плоской волны, распространяющейся вдоль оси z уравнение будет иметь вид:

$$E(z,t) = E_0 \cos(\omega t - kz + \varphi_0),$$

где E_0 – амплитуда колебаний, ω – угловая частота ($\omega = 2\pi\nu$), k – волновое число ($k = 2\pi/\lambda$), φ_0 – начальная фаза.

$$\sqrt{\epsilon \epsilon_0} E = \sqrt{\mu \mu_0} H, \quad \vec{E} \perp \vec{H},$$

где ϵ, μ – диэлектрическая и магнитная проницаемости, ϵ_0, μ_0 – диэлектрическая и магнитная постоянные.

5. Дайте определения волновой поверхности и волнового фронта.

Ответ: **Волновая поверхность** – геометрическое место точек волны, в которых колебания совершаются в одинаковой фазе (синфазно). **Волновой фронт** – граница между возмущенной и не возмущенной областями среды.

2. Основные понятия фотометрии

6. Дайте определение волнового вектора.

Ответ: Волновой вектор – вектор \vec{k} , направление которого перпендикулярно волновому фронту бегущей волны, а абсолютное значение равно волновому числу $|\vec{k}| = k = 2\pi/\lambda = \omega/v$, где ω – циклическая частота, v – скорость волны, λ – длина волны.

NB! 7. Дайте определение вектора Пойнтинга.

Ответ: Вектора Пойнтинга – векторная физическая величина, характеризующая перенос энергии электромагнитной волной и равная плотности потока энергии электромагнитной волны. Вектор Пойнтинга равен векторному произведению напряжённости электрического поля \vec{E} на напряжённость магнитного поля \vec{H} электромагнитной волны $\vec{S} = [\vec{E}, \vec{H}]$

NB! 8. Дайте определение интенсивности электромагнитной волны.

Ответ: Интенсивность электромагнитной волны – среднее по модулю значение плотности потока энергии за время, во много раз превышающее период колебаний: $I = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \langle E^2 \rangle$. Для монохроматической волны $I = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \frac{E_0^2}{2}$, где E – напряжённость электрического поля, ϵ_0 – электрическая постоянная, ϵ – диэлектрическая проницаемость, μ_0 – магнитная постоянная, μ – магнитная проницаемость, E_0 – амплитуда электрического вектора электромагнитной волны.

2. Основные понятия фотометрии

9. Дайте определение энергии излучения.

Ответ: Энергия излучения – энергетическая фотометрическая величина, равная энергии, переносимой излучением.

10. Дайте определение потока излучения.

Ответ: Поток излучения – энергетическая фотометрическая величина, равная отношению средней энергии $\langle Q_e \rangle$, переносимой излучением, ко времени переноса Δt , значительно превышающему период электромагнитных колебаний: $\Phi_e = \frac{\langle Q_e \rangle}{\Delta t}$.

11. Дайте определение энергетической силы излучения.

Ответ: Энергетическая сила излучения – энергетическая фотометрическая величина, характеризующая пространственно-угловую плотность потока излучения. Количество определяется отношением потока излучения $d\Phi_e$, распространяющегося от источника излучения, внутри малого телесного угла $d\Omega$, содержащего рассматриваемое направление, к этому углу: $I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$.

12. Дайте определение энергетической светимости.

Ответ: Энергетическая светимость – энергетическая фотометрическая величина, характеризующая свечение точки поверхности и равная отношению среднего потока излучения Φ_e , исходящего (излучённого или отражённого) от элемента поверхности, который содержит данную точку, в полусферу (в телесный угол $\Omega = 2\pi$ ср), к площади ΔS этого элемента: $M_e = \frac{\langle \Phi_e \rangle}{\Delta S}$ или $M_e = \frac{d\Phi_e}{dS}$. Измеряется в $\text{Вт}/\text{м}^2$.

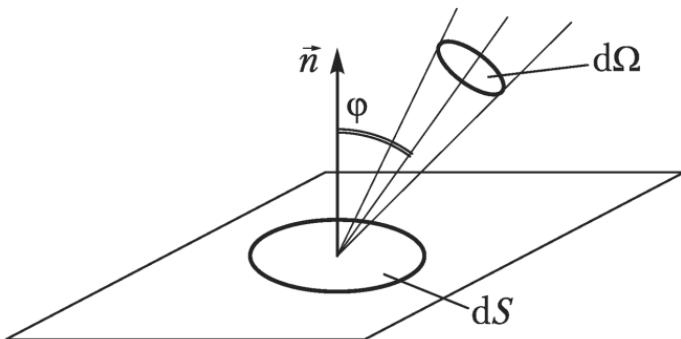
3. Элементы геометрической оптики

13. Дайте определение спектральной плотности энергетической светимости.

Ответ: Спектральная плотность энергетической светимости по длине волны – энергетическая фотометрическая величина, равная отношению среднего значения энергетической светимости $\langle M_e \rangle$ в рассматриваемом узком интервале длин волн к ширине $\Delta\lambda$ этого интервала: $M_{e,\lambda} = \frac{\langle M_e \rangle}{\Delta\lambda}$ или $M_{e,\lambda} = \frac{dM_e}{d\lambda}$.

14. Дайте определение энергетической яркости.

Ответ: Энергетическая яркость – энергетическая фотометрическая величина, характеризующая поверхностно-пространственную плотность потока излучения, испускаемого поверхностью: $L_e = \frac{d^2\Phi_e}{d\Omega dS \cos\varphi}$, где Φ_e – поток излучения, dS – площадь поверхности, излучающей в заданном направлении, $d\Omega$ – заполненный излучением элементарный телесный угол, φ – угол между перпендикуляром к участку dS и наблюдаемым направлением излучения.



Направление оси телесного угла $d\Omega$, в котором распространяется световой поток, излучаемый точкой на поверхности dS .

15. Дайте определение энергетической освещенности.

Ответ: Энергетическая освещенность – энергетическая фотометрическая величина, характеризующая облучение в точке поверхности и равная отношению среднего потока излучения $\langle \Phi_e \rangle$, падающего на малый участок поверхности, который содержит данную точку, к площади ΔS этого участка: $E_e = \frac{\langle \Phi_e \rangle}{\Delta S}$ или $E_e = \frac{d\Phi_e}{dS}$.

3. Элементы геометрической оптики

NB! 16. Сформулируйте принцип Ферма.

Ответ: Принцип Ферма: путь распространения реального луча света между двумя точками A и B есть такой путь, для прохождения которого свету требуется экстремальное время по сравнению с временем прохождения любых других путей между этими точками.

17. Дайте определения луча, точки падения и плоскости падения.

Ответ: Луч – прямая, сонаправленная волновому вектору. Луч перпендикулярен волновому фронту. Точка падения – точка пересечения падающего луча с поверхностью раздела сред. Плоскость падения – плоскость, проходящая через падающий луч и перпендикулярная поверхности раздела сред в точке падения луча.

3. Элементы геометрической оптики

NB! 18. *Сформулируйте закон прямолинейного распространения света.*

Ответ: Закон прямолинейного распространения света – в однородной среде свет распространяется вдоль прямой линии, перпендикулярной волновому фронту.

NB! 19. *Сформулируйте закон отражения.*

Ответ: Закон отражения – падающий и отражённый лучи лежат в одной плоскости с нормалью к отражающей поверхности в точке падения; угол отражения равен углу падения.

NB! 20. *Сформулируйте закон преломления.*

Ответ: Закон преломления – падающий и преломлённый лучи лежат в одной плоскости с нормалью к преломляющей поверхности в точке падения; закон Снелла: угол преломления α_2 связан с углом падения α_1 следующим соотношением: $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$, где n_1 – абсолютный показатель преломления той среды, из которой свет падает на преломляющую поверхность; n_2 – абсолютный показатель преломления той среды, в которой свет преломляется. Углы падения и преломления отсчитываются от нормали к границе раздела.

21. *Сформулируйте закон независимого распространения лучей.*

Ответ: Закон независимого распространения лучей – отдельные лучи не влияют друг на друга и распространяются независимо. Если в какой-либо точке два луча сходятся, то освещённости, создаваемые ими, складываются.

NB! 22. *Сформулируйте закон полного внутреннего отражения.*

Ответ: Закон полного внутреннего отражения – отражение луча без его преломления при переходе света из оптически более плотной среды с показателем преломления n_1 в оптически менее плотную среду с показателем преломления $n_2 < n_1$. Полное внутреннее отражение наблюдается при углах падения, значения которых превышают предельный угол полного отражения, определяемый выражением: $\sin \alpha = \frac{n_2}{n_1}$.

23. *Приведите формулы Френеля для амплитудных коэффициентов отражения r и пропускания t при нормальном падении света на границу раздела двух сред.*

Ответ:

$$r = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}, \quad t = \frac{2n_1}{n_1 + n_2},$$

где n_1, n_2 – показатели преломления сред.

24. *Дайте определение оптической системы.*

Ответ: Оптическая система – совокупность оптических деталей (линз, призм, зеркал и т. п.), скомбинированных между собой определённым образом для получения оптических изображений или для углового преобразования светового потока, идущего от источника света.

25. *Дайте определение линзы.*

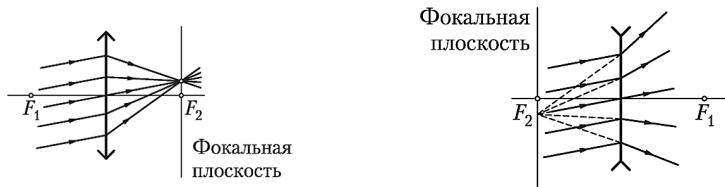
Ответ: Линза – Прозрачное тело, ограниченное двумя поверхностями, преломляющими световые лучи, способное формировать оптическое изображение предметов. По оптическим свойствам линзы делятся на собирающие и рассеивающие.

3. Элементы геометрической оптики

26. Дайте определения собирающей и рассеивающей линзам.

Ответ: Собирающая линза – линза, которая преобразует параллельный пучок лучей в сходящийся.

Рассеивающая линза – линза, которая преобразует параллельный пучок лучей в расходящийся пучок



Собирающая и рассеивающая линзы.

27. Как определяется фокусное расстояние тонкой линзы?

Ответ: Для тонкой линзы фокусное расстояние равно расстоянию от оптического центра до главного фокуса и, если показатели преломления сред по обе стороны линзы одинаковы, то оно рассчитывается по следующей формуле: $\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$, где n – относительный показатель преломления материала линзы; R_1, R_2 – радиусы кривизны сферических поверхностей линзы (если поверхность линзы выпуклая, то $R_i > 0$, если вогнутая, то $R_i < 0$, а если плоская, то $R = \infty$).

NB! 28. Приведите формулу тонкой линзы.

Ответ: $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$, где расстояние от предмета до линзы a всегда берётся со знаком “плюс”; расстояние от линзы до изображения b берётся со знаком “плюс” для действительного изображения и со знаком «минус» — для мнимого; фокусное расстояние f берётся со знаком «плюс» для собирающей линзы и со знаком «минус» для рассеивающей линзы.

NB! 29. Дайте определение оптической силы линзы.

Ответ: Оптическая сила линзы – скалярная физическая величина, характеризующая преломляющую способность осесимметричных линз и систем таких линз и обратная фокусному расстоянию системы. Оптическая сила тонкой линзы, у которой поверхности одинаковые, равна отношению абсолютного показателя преломления среды n , окружающей линзу, к фокусному расстоянию f линзы: $\Phi = \frac{n}{f}$. Оптическая сила измеряется в диоптриях.

30. Дайте определение aberrации оптической системы.

Ответ: Аберрация оптической системы – искажение изображения, формируемого оптической системой. Проявляется в том, что оптические изображения не вполне отчётливы, не точно соответствуют геометрии объектов или оказываются окрашенными. Виды aberrаций: астигматизм, дисторсия, кома, сферическая aberrация, хроматическая aberrация.

4. Интерференция света

4. Интерференция света

NB! 31. *Дайте определение интерференции света.*

Ответ: Интерференция света – явление усиления или ослабления амплитуды (интенсивности) результирующей волны в зависимости от соотношения между фазами складывающихся в пространстве двух (или нескольких) когерентных волн.

NB! 32. *Чему равна интенсивность результирующей волны в рассматриваемой точке пространства при наложении двух когерентных гармонических волн одинаковой частоты при совпадении направлений поляризации колебаний в волнах?*

Ответ: $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi$, где I_1, I_2 – интенсивности интерферирующих волн; φ – разность фаз между колебаниями в рассматриваемой точке.

NB! 33. *Дайте определение монохроматической волны.*

Ответ: Монохроматическая волна – гармоническая волна, имеющая строго фиксированную частоту колебаний (длину волны, волновое число).

NB! 34. *Дайте определение когерентных волн.*

Ответ: Когерентные волны – волны, разность фаз которых постоянна во времени: $(\omega_2 t - k_2 x_2 + \varphi_{02}) - (\omega_1 t - k_1 x_1 + \varphi_{01}) = \text{const}$, где ω_1, ω_2 – частоты колебаний, k_1, k_2 – волновые числа, $\varphi_{01}, \varphi_{02}$ – начальные фазы. Для монохроматических когерентных волн $\omega_1 = \omega_2$.

NB! 35. *Дайте определение времени когерентности.*

Ответ: Время когерентности – время, за которое изменение разности фаз волн, складывающихся в данной точке пространства, не превышает π .

36. *Дайте определение длины когерентности.*

Ответ: Длина когерентности – максимальная оптическая разность хода лучей, при которой ещё возможна интерференция; расстояние, на которое распространяется волна за время когерентности $\ell_{\text{kog}} = v\tau_{\text{kog}}$, где v – скорость волны.

NB! 37. *Дайте определение оптической разности хода и запишите связь оптической разности хода с разностью фаз.*

Ответ: Оптическая разность хода – физическая величина, равная разности оптических путей двух лучей. Разность фаз двух волн и оптическая разность хода связаны между собой следующим соотношением: $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta$, $\varphi_1 - \varphi_2$ – разность фаз, Δ – оптическая разность хода.

38. *Дайте определение видности интерференционной картины.*

Ответ: Видность интерференционной картины – количественная характеристика качества интерференционной картины, отражающая степень контрастности чередующихся светлых и тёмных полос (максимумов и минимумов). Видность определяется как отношение разности интенсивностей максимумов и минимумов к сумме этих интенсивностей: $V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$, где I_{\max} – интенсивность в максимуме интерференционной картины, I_{\min} – интенсивность в минимуме интерференционной картины.

4. Интерференция света

39. Дайте определение ширины интерференционной полосы. Чему равна ширина интерференционной полосы в опыте Юнга?

Ответ: Ширина интерференционной полосы – расстояние между соседними интерференционными минимумами интенсивности. Ширина интерференционной полосы в опыте Юнга $\Delta = \frac{\ell}{d} \lambda_0$, где ℓ – расстояние от преграды с двумя отверстиями до экрана; d – расстояние между щелями; λ_0 – длина волны в вакууме. В среде следует брать $\lambda = \lambda_0/n$, где n – показатель преломления среды.

NB! 40. Приведите условие максимума интерференции через разность хода и разность фаз.

Ответ: Разность хода Δ интерферирующих волн равна целому числу длин волн λ : $\Delta = m\lambda$. Разность фаз $\Delta\varphi$ интерферирующих волн равна четному числу π : $\Delta\varphi = 2m\pi$.

NB! 41. Приведите условие минимума интерференции через разность хода и разность фаз.

Ответ: Разность хода Δ интерферирующих волн равна нечетному числу длин полуволн $\lambda/2$: $\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$. Разность фаз $\Delta\varphi$ интерферирующих волн равна нечетному числу π : $\Delta\varphi = (2m + 1)\pi$.

42. Дайте определение интерференционным полосам равной толщины.

Ответ: Интерференционные полосы равной толщины – интерференционная картина, в которой каждая интерференционная полоса, соответствующая данному порядку интерференции, обусловлена светом, прошедшим через те места пленки, где её оптическая толщина имеет одно и то же значение.

43. Дайте определение интерференционным полосам равного наклона.

Ответ: Интерференционные полосы равного наклона – интерференционная картина, в которой каждая интерференционная полоса, соответствующая данному порядку интерференции, обусловлена светом, падающим на плоскопараллельную пластинку под определённым углом. Лучи, падающие на пластинку под разными углами падения, дают разные интерференционные полосы — каждой полосе соответствует свой угол падения.

44. Чему равна оптическая разность хода двух интерферирующих лучей при интерференции в тонких пленках?

Ответ: $\Delta = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2}$, где n – показатель преломления материала пленки, α – угол падения лучей на пленку, h – толщина пленки. Добавка $\lambda/2$ учитывает потерю полуволны при отражении.

45. Дайте определение колец Ньютона.

Ответ: Кольца Ньютона – интерференционная картина, которая наблюдается при интерференции лучей, прошедших (или отражённых) через оптическую систему, состоящую из выпуклой линзы, касающейся стеклянной пластины.

46. Приведите выражение для определения радиусов светлых колец Ньютона при плотном прилегании линзы к пластине.

5. Дифракция света

Ответ: $r_m = \sqrt{(2m+1) \frac{R\lambda}{2n}}$, где m — номер кольца, $m = 1, 2, 3, \dots$; R — радиус кривизны линзы; n — показатель преломления среды между линзой и стеклянной пластинкой; λ — длина волны в вакууме.

47. *Приведите выражение для определения радиусов темных колец Ньютона при плотном прилегании линзы к пластине.*

Ответ: $r_m = \sqrt{\frac{mR\lambda}{n}}$, где m — номер кольца, $m = 1, 2, 3, \dots$; R — радиус кривизны линзы; n — показатель преломления среды между линзой и стеклянной пластинкой; λ — длина волны в вакууме.

5. Дифракция света

NB! 48. *Дайте определение дифракции света.*

Ответ: **Дифракция света** — совокупность явлений, связанных с поведением волны на неоднородностях среды, в которой волна распространяется. Явление огибания волнами препятствий, встречающихся на их пути, или в более широком смысле — любое отклонение от законов геометрической оптики при распространении волн.

NB! 49. *Сформулируйте принцип Гюйгенса.*

Ответ: **Принцип Гюйгенса** — каждая точка, до которой дошла волна, является центром вторичных сферических волн; для определения волнового фронта распространяющейся волны в последующие моменты времени достаточно построить огибающую этих вторичных сферических волн.

NB! 50. *Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля.*

Ответ: **Принцип Гюйгенса-Френеля** — возмущение в некоторой точке можно рассматривать как результат интерференции элементарных вторичных когерентных волн, излучаемых каждой точкой некоторой волновой поверхности. Интерференция когерентных вторичных волн препятствует возникновению обратных по направлению вторичных волн.

51. *Дайте определение дифракционной картины.*

Ответ: **Дифракционная картина** — результат интерференции волн, испускаемых бесконечным числом вторичных источников.

NB! 52. *Что называется дифракцией Френеля?*

Ответ: **Дифракцией Френеля** называют такие дифракционные задачи, в которых нельзя пренебречь кривизной волновых поверхностей падающей и дифрагировавшей волн (либо только дифрагировавшей волны).

53. *Дайте определение зоны Френеля.*

Ответ: **Зона Френеля** — область волнового фронта, такая, что разность фаз волн, испускаемых вторичными источниками на границах этой области, равна π (разность хода $\lambda/2$). Излучение от соседних зон Френеля взаимно гасится.

5. Дифракция света

54. Приведите выражения для определения радиусов зон Френеля в случае сферической и плоской волн.

Ответ: Для сферической волны радиус зоны с номером m : $r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b}}m\lambda$. Для плоской волны: $r_m = \sqrt{bm\lambda}$, где a — расстояние от источника до волновой поверхности, b — расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения

NB!

55. Дайте определение дифракции Фраунгофера.

Ответ: Дифракция Фраунгофера — дифракция плоских волн (кривизной волнового фронта можно пренебречь). Источник света и точка наблюдения бесконечно удалены от препятствия, на котором происходит дифракция.

NB!

56. Приведите условие минимумов при дифракции света на щели (дифракция Фраунгофера).

Ответ: $b \sin \varphi = m\lambda$, где φ — угол дифракции, отсчитываемый от внешней нормали к фронту падающей волны, b — ширина щели, m — порядок дифракции.

NB!

57. Приведите условие максимумов при дифракции света на щели (дифракция Фраунгофера).

Ответ: $b \sin \varphi = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$, где φ — угол дифракции, отсчитываемый от внешней нормали к фронту падающей волны, b — ширина щели, m — порядок дифракции.

58. Приведите распределение интенсивностей при дифракции Фраунгофера на узкой длинной щели.

Ответ: $I(\varphi) = I_0 \frac{\sin^2 \left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi \right)}{\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi \right)^2}$, где φ — угол дифракции, отсчитываемый от внешней нормали к фронту падающей волны, b — ширина щели, I_0 — интенсивность в центре дифракционной картины.

NB!

59. Что называют дифракционной решеткой?

Ответ: Дифракционная решетка — оптический прибор, представляющий собой систему из большого числа регулярно расположенных параллельных равноотстоящих щелей в преграде или штрихов, нанесённых на оптическую поверхность.

NB!

60. Приведите условие главных дифракционных максимумов при нормальному падении лучей на дифракционную решётку.

Ответ: $d \sin \varphi = m\lambda$, где d — период дифракционной решетки; φ — угол между нормалью к дифракционной решетке и направлением на максимум; m — порядок дифракционного максимума

61. Приведите условие побочных дифракционных минимумов при нормальному падении лучей на дифракционную решётку.

Ответ: $d \sin \varphi = \pm \frac{k}{N} \lambda$, где d — период дифракционной решетки; φ — угол между нормалью к дифракционной решетке и направлением на минимум, $k = 1, \dots, N - 1$ — целое число, N — полное число штрихов (периодов) решётки.

5. Дифракция света

62. Приведите выражение, описывающее распределение интенсивности света при дифракции Фраунгофера на одномерной дифракционной решетке.

Ответ: $I = I_0 \frac{\sin^2 \gamma}{\gamma^2} \frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2 \beta}$, где $\gamma = \frac{\pi b \sin \varphi}{\lambda}$, $\beta = \frac{\pi d \sin \varphi}{\lambda}$, I — интенсивность, создаваемая дифракционной решеткой в точке, положение которой определяется значением угла φ ; I_0 — интенсивность, созданная одной щелью в середине дифракционной картины, φ — угол между нормалью к дифракционной решетке и направлением на точку наблюдения; b — ширина одной щели; d — период дифракционной решетки.

NB!

63. Сформулируйте критерий Рэлея.

Ответ: Критерий Рэлея — изображение двух одинаковых точечных источников света ещё можно видеть раздельно, если центральный максимум дифракционной картины от одного источника совпадает с минимумом первого порядка дифракционной картины от второго источника.

64. Приведите критерий Рэлея для оптической системы с круглой диафрагмой в случае когерентного излучения источников.

Ответ:

$$\frac{d}{\ell} = \frac{1.22\lambda}{D},$$

где d — расстояние между источниками излучения; ℓ — удаление источников от оптической системы; λ — длина волн света; D — диаметр диафрагмы; 1.22 — численный фактор для круглой апертуры.

65. Дайте определение разрешающей способности оптического прибора.

Ответ: Разрешающая способность оптического прибора — способность спектрального прибора раздельно давать изображение двух близких спектральных линий. Количественно оценивается величиной: $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$, где $\Delta\lambda$ — абсолютное значение минимальной разности длин волн двух ближайших спектральных линий, при которой эти линии регистрируются раздельно.

66. Дайте определение углового разрешения.

Ответ: Угловое разрешение — угловое расстояние между двумя точками, при уменьшении которого их изображения сливаются и перестают быть различимыми.

67. Дайте определение угловой дисперсии.

Ответ: Угловая дисперсия — физическая величина, показывающая, на какой угол $d\varphi$ веществом или спектральным оптическим прибором будут разведены две волны с длинами волн, отличающимися на $d\lambda$. Количественная характеристика: $D = \frac{d\varphi}{d\lambda}$. Для дифракционной решетки $D = \frac{m}{d \cos \varphi}$, где d — период дифракционной решетки, m — порядок спектра, φ — угол дифракции.

68. Дайте определение предела разрешения оптического прибора.

Ответ: Предел разрешения оптического прибора — наибольшее линейное (угловое) расстояние между двумя точками, меньше которого их изображения сливаются и перестают быть различимыми. Угловой предел: $\Delta\varphi = 1.22 \frac{\lambda}{D}$, линейный предел: $\delta = 1.22 \frac{\lambda f}{D}$, где D — диаметр входного зрачка оптической системы, f — фокусное расстояние.

6. Поляризация света

NB! 69. Приведите выражение для разрешающей способности дифракционной решётки.

Ответ: $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN$, где $\Delta\lambda$ — минимальная разность длин волн линий, видимых раздельно при разложении света в спектр на данной дифракционной решётке; m — порядок спектра; N — число штрихов (щелей) решётки.

6. Поляризация света

NB! 70. Дайте определение понятия поляризации света.

Ответ: Поляризация света — это характеристика электромагнитной волны, описывающая ориентацию и закон изменения во времени вектора электрического поля \vec{E} в плоскости, перпендикулярной направлению распространения данной волны.

NB! 71. Дайте определение естественного света.

Ответ: Естественный свет — световая волна, у которой электрический и магнитный векторы быстро и беспорядочно изменяют направления колебаний, причём все направления колебаний перпендикулярны световым лучам и равноправны.

72. Дайте определение частично поляризованного света.

Ответ: Частично поляризованный свет — световая волна, у которой одно из направлений колебаний электрического вектора оказывается преимущественным, но не исключительным. Частично поляризованный свет можно рассматривать как смесь естественного света и полностью поляризованного света или как свет, у которого две взаимно перпендикулярные компоненты (проекции) электрического вектора совершают колебания с изменяющейся во времени разностью фаз.

73. Дайте определение степени поляризации света.

Ответ: Степень поляризации света — скалярная физическая величина, характеризующая меру поляризации частично поляризованного света и равная отношению интенсивности поляризованной составляющей оптического излучения I_P к полной его интенсивности

$$P = \frac{I_P}{I_P + I_E}$$

где I_E — интенсивность естественной составляющей оптического излучения.

NB! 74. Дайте определение линейно поляризованного света.

Ответ: Линейно поляризованный свет — световая волна, у которой электрический вектор в произвольной точке луча совершает колебания в определённом направлении, фиксированном в пространстве, а проекция конца электрического вектора на плоскость, перпендикулярную направлению распространения волны, движется по прямой. Линейно поляризованный свет является полностью поляризованным светом.

75. Дайте определение эллиптически поляризованного света.

Ответ: Эллиптически поляризованный свет — световая волна, у которой электрический вектор упорядоченно движется в пространстве таким образом, что проекция конца

6. Поляризация света

электрического вектора на плоскость, перпендикулярную направлению распространения волны, описывает эллипс. Эллиптически поляризованный свет является полностью поляризованным светом.

76. Дайте определение идеального поляризатора.

Ответ: Идеальный поляризатор – устройство, способное поляризовать или изменять поляризацию волны. Поляризатор свободно пропускает волны, у которых колебания параллельны вполне определённой плоскости. Эту плоскость называют главной плоскостью поляризатора.

NB!

77. Сформулируйте закон Малюса.

Ответ: Закон Малюса: – интенсивность линейно поляризованного света после его прохождения через поляризатор пропорциональна квадрату косинуса угла φ между плоскостями поляризации падающего света и поляризатора: $I = I_0 \cos^2 \varphi$, где I – интенсивность света, прошедшего через поляризатор; I_0 – интенсивность поляризованного света, падающего на поляризатор, φ – угол между плоскостью поляризации падающей волны и главной плоскостью поляризатора.

78. Дайте определение оптической анизотропии.

Ответ: Оптическая анизотропия – различие оптических свойств среды в зависимости от направления распространения в ней оптического излучения (света) и его поляризации. Оптическая анизотропия проявляется в двойном лучепреломлении, изменении эллиптичности поляризации света и во вращении плоскости поляризации, происходящем в оптически активных веществах.

79. Дайте определение двойного лучепреломления.

Ответ: Двойное лучепреломление – разделение одного светового луча на два при прохождении через оптически анизотропную среду. Появляющиеся два луча линейно поляризованы, причём во взаимно перпендикулярных плоскостях. Один из лучей называют обычным, а другой – необычным.

80. Дайте определение обычного луча.

Ответ: Обычный луч – луч, образующийся при двойном лучепреломлении в однокристалле и подчиняющийся обычным законам преломления. Обычный луч лежит в плоскости падения и удовлетворяет закону Снеллиуса. Обычный луч линейно поляризован, электрический вектор обычного луча направлен перпендикулярно главной плоскости кристалла.

81. Дайте определение необычного луча.

Ответ: Необычный луч – луч, образующийся при двойном лучепреломлении в однокристалле и не подчиняющийся обычным законам преломления. Необычный луч не лежит в плоскости падения и не удовлетворяет закону Снеллиуса. Необычный луч линейно поляризован, его электрический вектор лежит в главной плоскости кристалла.

82. Дайте определения оптической оси и главной плоскости одноосного кристалла.

7. Взаимодействие света с веществом

Ответ: **Оптическая ось кристалла** – направление в кристалле, по которому луч света распространяется, не испытывая двойного лучепреломления. **Главная плоскость однородного кристалла** – плоскость, проходящая через луч и пересекающую его оптическую ось кристалла.

83. *Дайте определение фазовой (волновой пластинки).*

Ответ: **Фазовая пластина** – это пластина, вырезанная из двулучепреломляющего материала (анизотропного кристалла) так, что его оптическая ось лежит в плоскости пластины. Свет при этом распространяется перпендикулярно оптической оси. Полуволновые фазовые пластины используются для вращения плоскости поляризации линейно-поляризованного излучения. Четвертьволновые фазовые пластины служат для преобразования линейно-поляризованного излучения в циркулярно-поляризованное или эллиптически-поляризованное в линейное при фиксированной ориентации.

84. *Дайте определение естественного вращения плоскости поляризации.*

Ответ: **Вращение плоскости поляризации** – поворот плоскости поляризации вокруг направления луча при прохождении линейно поляризованного света через оптически активное вещество. В оптически активных кристаллах и чистых жидкостях угол поворота плоскости поляризации φ пропорционален толщине ℓ слоя вещества, через который проходит свет: $\varphi = \alpha\ell$, где α – удельное вращение вещества (постоянная вращения вещества).

NB!

85. *Дайте определение угла Брюстера.*

Ответ: **Угол Брюстера** – угол падения луча на границу раздела двух изотропных диэлектриков, при котором отражённый луч будет полностью линейно поляризован. Электрический вектор в отражённом луче в случае полной поляризации колебается перпендикулярно к плоскости падения.

NB!

86. *Приведите закон Брюстера.*

Ответ: **Закон Брюстера** – тангенс угла полной поляризации (угла Брюстера) равен относительному показателю преломления двух диэлектриков:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{Бр}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

87. *Дайте определение стопы Столетова.*

Ответ: **Стопа Столетова** – поляризационное устройство, состоящее из нескольких параллельных пластин из прозрачного диэлектрика. Свет падает на стопу под углом Брюстера; на поверхность каждой из пластин стопы он падает также под углом Брюстера и степень поляризации прошедшего света повышается от пластины к пластине.

7. Взаимодействие света с веществом

NB!

88. *Дайте определение поглощения света.*

Ответ: **Поглощение света** – уменьшение энергии световой волны при её распространении в веществе. Поглощение света происходит вследствие преобразования энергии световой волны во внутреннюю энергию вещества.

7. Взаимодействие света с веществом

NB! 89. *Приведите закон Бугера—Ламберта.*

Ответ: Закон Бугера-Ламберта: при линейном поглощении зависимость интенсивности света I в веществе от пути ℓ , пройденного световой волной в веществе

$$I = I_0 e^{-\alpha \ell},$$

где I_0 — интенсивность света, падающего на поверхность вещества, α — линейный коэффициент поглощения.

NB! 90. *Дайте определение рассеяния света.*

Ответ: Рассеяние света — преобразование света веществом, сопровождающееся изменением направления распространения световой волны и проявляющееся как несобственное свечение вещества. Рассеяние света происходит в оптически неоднородной среде.

91. *Дайте определение молекулярного рассеяния света.*

Ответ: Молекулярное рассеяние света — рассеяние, обусловлено флуктуациями плотности, возникающими в процессе хаотического теплового движения молекул.

92. *Дайте определение рэлеевского рассеяния света.*

Ответ: Рэлеевское рассеяние света — рассеяние излучения на частицах или неоднородностях среды, размеры которых меньше длины волны излучения. Интенсивность рассеянного света:

$$I \sim \frac{I_0}{\lambda^4} (1 + \cos^2 \varphi),$$

где I_0 — интенсивность падающего света, λ — длина волны, φ — угол рассеяния.

NB! 93. *Дайте определение фазовой скорости.*

Ответ: Фазовая скорость — скорость распространения фазы гармонической волны в определённом направлении. У монохроматического излучения фазовая скорость совпадает со скоростью распространения волновой поверхности. $v_\Phi = \frac{\omega}{k}$, где k — волновое число; ω — циклическая частота колебаний.

NB! 94. *Дайте определение групповой скорости.*

Ответ: Групповая скорость — скорость распространения характерной точки на огибающей волнового пакета. Она совпадает со скоростью переноса энергии волновым пакетом. $v_{gp} = \frac{d\omega}{dk}$, где k — волновое число; ω — циклическая частота колебаний.

NB! 95. *Приведите связь между групповой и фазовой скоростями.*

Ответ:

$$v_{gp} = v_\Phi + k \frac{\partial v_\Phi}{\partial k},$$

где k — волновое число.

NB! 96. *Дайте определение нормальной дисперсии.*

Ответ: Нормальная дисперсия — явление, при котором показатель преломления вещества увеличивается с ростом частоты света (уменьшением длины волны): $\frac{dn}{d\lambda} < 0$. Нормальная дисперсия наблюдается в прозрачных средах.

7. Взаимодействие света с веществом

97. Дайте определение аномальной дисперсии.

Ответ: Аномальная дисперсия – явление, при котором показатель преломления вещества уменьшается с ростом частоты света (уменьшением длины волны): $\frac{dn}{d\lambda} > 0$. Наблюдается вблизи полос поглощения света.

NB! 98. Приведите выражение для давления, оказываемого светом при падении на поверхность.

Ответ:

$$p = \frac{I}{v} (1 + \rho) \cos^2 \alpha = w (1 + \rho) \cos^2 \alpha,$$

где I – интенсивность волны; v – скорость волны; w – среднее значение объёмной плотности энергии волны; ρ – коэффициент отражения излучения; α – угол падения.