

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 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.

№2 2. Приведите материальные уравнения для стационарных электрического и магнитного полей в линейной, однородной изотропной среде без дисперсии и потерь.

Ответ:

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}$$

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.

№3 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 $v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \varepsilon_0 \mu \mu_0}}$, $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$. Уравнение описывает распространение электромагнитных волн со скоростью v в однородной среде с проницаемостями ε и μ при отсутствии источников ($\rho = 0, \vec{j} = 0$).

№4 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.

$$\sqrt{\varepsilon \varepsilon_0} E = \sqrt{\mu \mu_0} H, \quad \vec{E} \perp \vec{H},$$

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: $I = \sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0}{\mu\mu_0}} \langle E^2 \rangle$. Для монохроматической волны $I = \sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0}{\mu\mu_0}} \frac{E_0^2}{2}$, 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. Количественно 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.

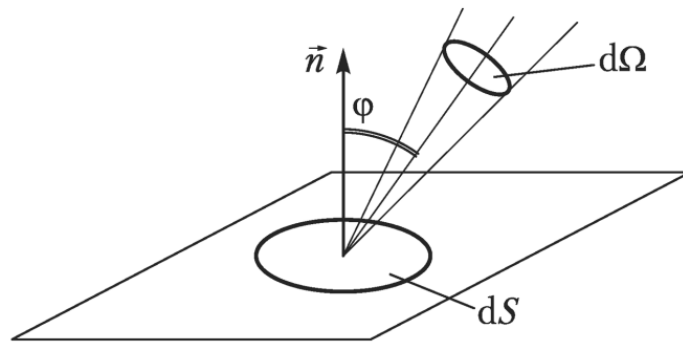
Ответ: Энергетическая светимость – энергетическая фотометрическая величина, характеризующая свечение точки поверхности и равная отношению среднего потока излучения Φ_e , исходящего (излучённого или отражённого) от элемента поверхности, который содержит данную точку, в полусферу (в телесный угол $\Omega = 2\pi$ 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 Вт/м².

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.

№18. *Сформулируйте закон прямолинейного распространения света.*

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

№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.

№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.

№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.

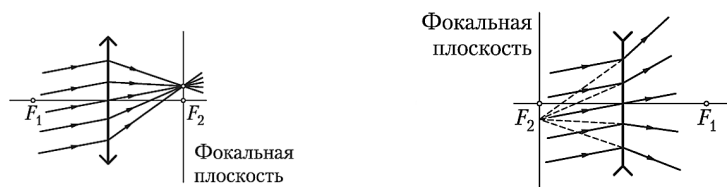
25. *Дайте определение линзы.*

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

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 аберрации 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 аберраций: астигматизм, дисторсия, кома, сферическая аберрация, хроматическая аберрация.

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, накладываются 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 $\ell_{\text{ког}} = v \tau_{\text{ког}}$, 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: $V = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}}$, 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.

- ВВ!** 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 : $\Delta\varphi = 2m\pi$.

- ВВ!** 41. *Приведите условие минимума интерференции через разность хода и разность фаз.*

Ответ: Разность хода Δ интерферирующих волн равна нечетному числу длин полуволен $\lambda/2$: $\Delta = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}$. 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 плёнки, 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 полуволены 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

- ВВ!** 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.

- ВВ!** 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.

- ВВ!** 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.

- ВВ!** 52. *Что называется дифракцией Френеля?*

Ответ: Дифракцией Френеля называют такие дифракционные задачи, в которых нельзя пренебрегать 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: $r_m = \sqrt{b m \lambda}$, 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 нормальном падении лучей на дифракционную решетку.*

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 нормальном падении лучей на дифракционную решетку.*

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.

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, создаваемая 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 волны 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.

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

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 обыкновенным, а другой – необыкновенным.

80. *Дайте определение обыкновенного луча.*

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

81. *Дайте определение необыкновенного луча.*

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

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

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

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

Ответ: **Фазовая пластинка** – это пластинка, 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-поляризованного 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 колеблется 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.

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. $v_{\text{ф}} = \frac{\omega}{k}$, 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. $v_{\text{гр}} = \frac{d\omega}{dk}$, где k — волновое число; ω — циклическая частота колебаний.

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

Ответ:

$$v_{\text{гр}} = v_{\text{ф}} + k \frac{\partial v_{\text{ф}}}{\partial k},$$

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.

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.

В! 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.