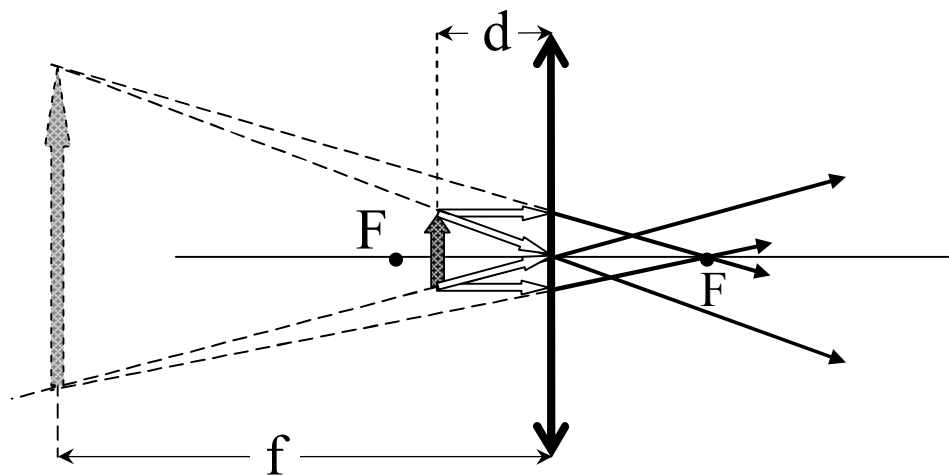


О. Н. Урюпин К. О. Урюпина

К ЕГЭ ГОТОВ!



Ф И З И К А

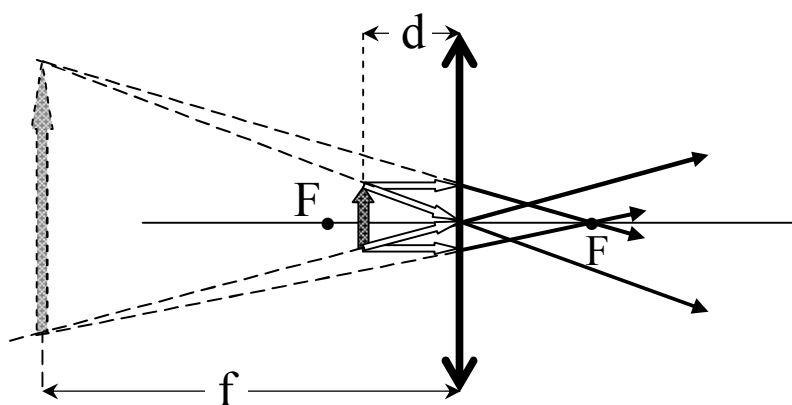
ЧАСТЬ IV

*Оптика. Атомная
и ядерная физика*

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный университет
технологии и дизайна»

О. Н. Урюпин К. О. Урюпина

К ЕГЭ ГОТОВ!



Ф И З И К А

Часть IV

Оптика. Атомная и ядерная физика

Утверждено Редакционно-издательским советом
университета в качестве учебного пособия

Санкт-Петербург

2013

УДК 53
ББК 22.3я73
У73

Рецензенты:

доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей
и экспериментальной физики Российского государственного педагогического
университета им. А. И. Герцена

В. М. Грабов;

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики Санкт-
Петербургского государственного университета технологии и дизайна

Е. П. Романова

Урюпин, О.Н.

У73 К ЕГЭ готов! Физика. Ч. IV. Оптика. Атомная и ядерная физика:
учеб. пособие /О. Н. Урюпин, К. О. Урюпина. – СПб.: ФГБОУВПО
«СПГУТД», 2013. – 119 с.

ISBN 978-5-7937-0886-9

Учебное пособие по физике является четвертой частью и адресовано слушателям факультета довузовского образования, абитуриентам и выпускникам школ для подготовки к сдаче Единого государственного экзамена. Оно также может быть полезно студентам технических специальностей 1-го и 2-го курсов для проверки уровня остаточных знаний по электродинамике перед изучением соответствующего вузовского курса.

Включает краткое, но емкое изложение теоретических основ оптики, атомной и ядерной физики. Кроме того, в него включено большое количество практических заданий различного уровня сложности, выстроенных с учетом плавного нарастания умений и навыков, необходимых для их решения, с одной стороны, и с учетом требований Единого государственного экзамена – с другой.

УДК 53

ББК 22.3я73

ISBN 978-5-7937-0886-9

© ФГБОУВПО «СПГУТД», 2013

© Урюпин О. Н., 2013

© Урюпина К. О., 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

Введение	6
Раздел XIV. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА	8
124. Что такое свет	8
125. Прямолинейное распространение света	10
126. Преломление света	11
127. Прохождение луча через треугольную призму.	15
128. Отражение света	16
129. Изображение в плоском зеркале	17
130. Полное внутреннее отражение.	18
131. Линзы	19
132. Фокус линзы.	21
133. Оптическая сила линзы	23
134. Построение изображения в собирающей линзе	24
135. Построение изображения в рассеивающей линзе	26
136. Формула тонкой линзы	28
137. Линейное увеличение линзы	28
138. Оптическая система линз	29
139. Человеческий глаз и коррекция зрения	30
Раздел XV. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА.	32
140. Интерференция света	32
141. Дифракция света	35
142. Дифракционная решетка.	36
143. Дисперсия света	37
144. Спектральный анализ	38
145. Поляризация света.	39
Раздел XVI. КВАНТОВАЯ ОПТИКА.	40
146. Кванты света	40
147. Фотоэлектрический эффект	42
148. Законы внешнего фотоэффекта.	43

149. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта . . . . .	. 44
150. Давление света . . . . .	. 45
Раздел XVII. АТОМНАЯ ФИЗИКА . . . . .	. 45
151. Ядерная модель атома . . . . .	. 45
152. Опыты Резерфорда. . . . .	. 46
153. Постулаты Бора . . . . .	. 48
154. Элементы квантовой механики. . . . .	. 49
155. Лазер. . . . .	. 49
Раздел XVIII. ЭЛЕМЕНТЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. . . . .	. 51
156. Постулаты специальной теории относительности . . . . .	. 51
157. Относительность промежутков времени . . . . .	. 51
158. Относительность длины тел. . . . .	. 52
159. Релятивистский закон сложения скоростей. . . . .	. 53
160. Зависимость массы от скорости . . . . .	. 54
161. Основной закон релятивистской динамики . . . . .	. 55
162. Связь между массой и энергией . . . . .	. 55
Раздел XIX. ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА . . . . .	. 56
163. Состав ядра атома . . . . .	. 56
164. Ядерные силы . . . . .	. 57
165. Энергия связи атомных ядер. . . . .	. 57
166. Виды радиоактивных излучений . . . . .	. 58
167. Экспериментальные методы регистрации ионизирующих излучений . . . . .	. 60
168. Закон радиоактивного распада. . . . .	. 60
169. Ядерные реакции . . . . .	. 61
170. Деление ядер урана . . . . .	. 62
171. Цепные ядерные реакции . . . . .	. 63
172. Термоядерные реакции . . . . .	. 64
Раздел XX. ЗАДАЧИ . . . . .	. 65
173. Прямолинейное распространение света . . . . .	. 65
174. Преломление света . . . . .	. 66
175. Отражение света. . . . .	. 69
176. Изображение в плоском зеркале . . . . .	. 70

177. Полное внутреннее отражение . . . . .	.71
178. Линзы . . . . .	.72
179. Оптическая сила линзы . . . . .	.75
180. Построение изображения в линзах. . . . .	.76
181. Формула тонкой линзы. Линейное увеличение линзы . . . . .	.77
182. Оптические приборы . . . . .	.78
183. Интерференция света . . . . .	.79
184. Дифракция света . . . . .	.81
185. Дисперсия света . . . . .	.82
186. Спектральный анализ . . . . .	.82
187. Поляризация света. . . . .	.83
188. Кванты света . . . . .	.84
189. Законы внешнего фотоэффекта . . . . .	.86
190. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта . . . . .	.88
191. Давление света . . . . .	.89
192. Ядерная модель атома . . . . .	.90
193. Постулаты Бора . . . . .	.91
194. Лазер . . . . .	.93
195. Постулаты специальной теории относительности . . . . .	.94
196. Относительность промежутков времени . . . . .	.95
197. Относительность длины тел . . . . .	.95
198. Релятивистский закон сложения скоростей. . . . .	.96
199. Зависимость массы от скорости . . . . .	.97
200. Основной закон релятивистской динамики. . . . .	.98
201. Связь между массой и энергией . . . . .	.98
202. Состав ядра атома и ядерные силы . . . . .	.99
203. Энергия связи атомных ядер . . . . .	.100
204. Виды радиоактивных излучений . . . . .	.101
205. Экспериментальные методы регистрации ионизирующих излучений . . . . .	.102
206. Закон радиоактивного распада. . . . .	.102
207. Ядерные реакции . . . . .	.103
208. Деление ядер урана. Цепные ядерные реакции . . . . .	.104
209. Термоядерные реакции . . . . .	.105
210. Задачи повышенного и высокого уровней сложности . . . . .	.105
211. Справочные данные . . . . .	.115
212. Ключи к задачам . . . . .	.117
Заключение . . . . .	.118

ВВЕДЕНИЕ

Пособие по оптике, атомной и ядерной физике является заключительной частью серии учебных пособий по подготовке к Единому государственному экзамену по физике, ориентированных на изучение физики не только на факультете довузовской подготовки, но и при самоподготовке абитуриентов, а также при повторении и закреплении изученных ранее материалов непосредственно перед экзаменом. Особо полезным данная серия окажется для тех, кто в силу различных причин, не имея достаточной школьной подготовки для сдачи ЕГЭ по физике, должен в сжатые сроки освоить большой объем теоретических знаний и получить необходимые для успешной сдачи экзамена навыки по их практическому применению при решении задач различного уровня сложности. Кроме того, у студентов 1-го и 2-го курсов появляется возможность проверить свои остаточные знания и умения решать физические задачи перед изучением соответствующих разделов вузовского курса по общей физике и восстановить знания по выявленным проблемным разделам.

Деление серии пособий на традиционные части по механике, молекулярной физике и термодинамике, электричеству, оптике, атомной и ядерной физике обеспечивает оптимальную последовательность изучения теоретического курса в сочетании с выполнением посильных практических заданий, выстроенных с учетом нарастания сложности. Основным отличием от традиционных аналогичных пособий является постоянное стимулирование учащихся к использованию наблюдений физических процессов и явлений в окружающей действительности для лучшего понимания теоретических основ физики. Для активного включения обучающихся в познавательный процесс авторам представляется необходимым обращение к учащимся о проведении простейших наглядных физических экспериментов в домашних условиях, сопровождаемое ёмкими объяснениями их физической сущности. Комплексный экспериментально-теоретический подход к построению данного курса повышает, по мнению авторов, интерес к изучению физики и является наиболее эффективным в сложившихся экономических реалиях нынешней системы финансирования образования.

Предлагаемое учебное пособие по оптике, атомной и ядерной физике состоит из теоретических разделов и более 300 заданий различного уровня сложности по темам курса физики: геометрическая оптика; волновая оптика; квантовая оптика; атомная физика; ядерная физика; элементарные частицы. В теоретических разделах кратко, ясным и доступным языком изложены основные физические понятия и законы.

Тестовые задания для развития умений и навыков в решении физических задач структурированы и выстроены с учетом непрерывного плавного повышения трудности. Каждое задание предполагает выбор правильного ответа из 4-х предлагаемых, что полностью соответствует государственным стандартам. Оригинальное построение заданий, по мнению авторов, должно способствовать сохранению длительного интереса учащихся к решению физических задач. При включении графических заданий авторами использовался ступенчатый подход постепенного усложнения при необходимости использования результатов решения предыдущего задания для выполнения последующего. Тестовые задания целесообразно выполнять параллельно с изучением теоретических вопросов с целью оперативно применять полученные теоретические знания на практике и быстро выявлять возможные пробелы в знаниях.

Задачи повышенного и высокого уровня сложности выделены в отдельный раздел пособия. Такие задания являются преимущественно комплексными физическими задачами, для решения которых требуется освоение нескольких разделов электродинамики и магнетизма. Поэтому такие задания следует выполнять по окончании изучения теоретических разделов и выполнения тестовых заданий, когда учащиеся приобретают устойчивые навыки в решении базовых физических задач и оказываются подготовленными к качественному переходу на более высокий уровень освоения умений и навыков в анализе физических процессов и решении задач повышенного и высокого уровня сложности.

Требуемые для решения задач физические константы и величины сведены в таблицы, дополнены некоторыми полезными сведениями и приведены в конце сборника. Умение пользоваться этим разделом для поиска требуемых физических констант и величин является необходимым условием успешной подготовки к Единому государственному экзамену и последующему освоению курса общей физики в университете.

Авторы надеются, что данное пособие окажется интересным и полезным не только для учащихся, но и для широкого круга любителей физики.

Раздел XIV. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

124. Что такое свет

В предыдущей части пособия Вы познакомились с электромагнитными волнами, которые, в зависимости от своего диапазона, распределены по шкале электромагнитных волн (*табл. 1*).

Таблица 1

Название диапазона	Границы длин волн λ , м	Частотный диапазон ν , Гц
Сверхдлинный	$> 10^4$	$< 2 \cdot 10^4$
Радиодиапазон:	$10^4 - 1$	$2 \cdot 10^4 - 10^9$
Длинные	$10^4 - 10^3$	
Средние	$10^3 - 10^2$	
Короткие	$10^2 - 10$	
Ультракороткие (УКВ)	$10 - 0,5$	
Сверхвысокочастотный (СВЧ)	$0,5 - 10^{-3}$	$10^9 - 3 \cdot 10^{11}$
Инфракрасный	$10^{-3} - 8 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{11} - 4 \cdot 10^{14}$
ВИДИМЫЙ СВЕТ:	$8 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{14} - 8 \cdot 10^{14}$
Красный	$7,8 \cdot 10^{-7} - 6,2 \cdot 10^{-7}$	$3,9 \cdot 10^{14} - 4,8 \cdot 10^{14}$
Оранжевый	$6,2 \cdot 10^{-7} - 5,9 \cdot 10^{-7}$	$4,8 \cdot 10^{14} - 5,1 \cdot 10^{14}$
Желтый	$5,9 \cdot 10^{-7} - 5,6 \cdot 10^{-7}$	$5,1 \cdot 10^{14} - 5,4 \cdot 10^{14}$
Зеленый	$5,6 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-7}$	$5,4 \cdot 10^{14} - 6 \cdot 10^{14}$
Голубой	$5 \cdot 10^{-7} - 4,8 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{14} - 6,3 \cdot 10^{14}$
Синий	$4,8 \cdot 10^{-7} - 4,5 \cdot 10^{-7}$	$6,3 \cdot 10^{14} - 6,7 \cdot 10^{14}$
Фиолетовый	$4,5 \cdot 10^{-7} - 3,8 \cdot 10^{-7}$	$6,7 \cdot 10^{14} - 7,9 \cdot 10^{14}$
Ультрафиолетовый	$4 \cdot 10^{-7} - 10^{-8}$	$8 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{16}$
Рентгеновский	$10^{-8} - 10^{-12}$	$3 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{20}$
γ – излучения	$< 10^{-12}$	$> 3 \cdot 10^{20}$

Единственным, передающим зрительную информацию диапазоном электромагнитных волн, является **видимый свет**, который в свою очередь поделен на семь основных цветов, специально выделенных в *табл. 1*. Изучите по этой таблице физические характеристики у различных видов видимого излучения. Определите, как меняется цвет излучения при увеличении длины волны, и что происходит с цветом при увеличении частоты излучения.

Итак, приведенная таблица демонстрирует, что видимый свет – это электромагнитные волны, имеющие длины волн от $4 \cdot 10^{-7}$ м до $8 \cdot 10^{-7}$ м. Однако длительное изучение световых явлений показало, что имеются световые явления, которые нельзя объяснить волновой природой света, поэтому изучение световых явлений выделилось в специальный раздел физики, называемый ОПТИКА.

Начнем изучение света с анализа имеющегося у Вас личного опыта. Что приходится делать, если Вам в глаза попадает яркий свет? Конечно, прищуриваться или совсем закрывать глаза. Из этого простого примера можно сформулировать научный вывод: **свет передает воздействие одного тела на другое**. Здесь одно тело – это источник света (солнце, лампа, прожектор), а другое – глаза человека. Из изученного в первой части данного пособия материала Вам известны два способа передачи воздействия одного тела на другое, т. е. передачи энергии:

- 1) с переносом вещества (удар, сила давления);
- 2) без переноса вещества (волна).

На базе этих способов воздействия и формировались представления о природе света:

- 1) **Корпускулярная теория** (И. Ньютон): свет – поток частиц (вещества). Эта теория объясняла прямолинейное распространение света с резкой тенью, но не могла объяснить отсутствие взаимодействия двух пересекающихся пучков света. Дело в том, что световые лучи от различных источников в случае пересечения не взаимодействуют и после пересечения продолжают распространяться независимо друг от друга.
- 2) **Волновая теория** (Х. Гюйгенс): свет – поток волн. Эта теория объясняла отсутствие взаимодействия двух пересекающихся пучков света, но не могла объяснить прямолинейное распространение света с резкой тенью.

К настоящему времени обе теории удалось объединить в **квантовой электродинамике** – курсе, который выходит за рамки пособия. В основе квантовой электродинамики лежит представление о том, что электромагнитное поле обладает также и дискретными (прерывными) свойствами, носителями которых являются кванты поля – фотоны. Квантовая электродинамика не только качественно, но и количественно объясняет эффекты взаимодействия любого, даже видимого излучения с веществом.

Однако исторически сохранилось **понятие корпускулярно-волнового дуализма света**, сформированное на базе перечисленных теорий и в дальнейшем обобщенное в важнейшее универсальное свойство природы, заключающееся в том, что всем микрообъектам присущи одновременно и корпускулярные и волновые характеристики. Дуализм света, однако, не надо понимать буквально, как одновременное распространение и частиц и волн.

Распространяется свет, который в зависимости от внешних условий проявляется либо как дискретно поступающая энергия (частица), либо как непрерывно поступающая энергия (волна).

Рассмотрев природу света, мы можем перейти к последовательному изучению его свойств.

125. Прямолинейное распространение света

Мы уже рассматривали последствия попадания яркого света в глаз человека. Но от яркого света можно защитить глаза, прикрыв их непрозрачным предметом, причем этот предмет может находиться на достаточно удаленном расстоянии. К примеру, это может быть тучка на небе, расположенная в сотнях метров от человека, но обеспечивающая наличие тени. Из этого примера можно сделать научный вывод о том, что **в однородной среде (например, в воздухе) свет распространяется прямолинейно**, т. е. по прямым линиям.

Проведите за своим письменным столом эксперимент. Включите настольную лампу (желательно освещающую стол прямым световым потоком), выключите остальные осветительные приборы в комнате, положите на стол чистый лист белой бумаги и прямо под лампой расположите карандаш (или авторучку). Приподнимите карандаш на несколько миллиметров над листом бумаги. Вы увидите четкую тень от карандаша на белом листе бумаги. Теперь плавно поднимайте карандаш до осветительной лампочки и следите за изменением затененной области. По мере поднятия карандаша площадь тени будет увеличиваться, но при этом тень будет бледнеть. Причина увеличения затененной площади ясна – это увеличение расстояния от предмета, создающего тень (карандаша) до экрана (листа бумаги) и в соответствии с прямолинейным распространением света затененная область должна увеличиваться. Но почему теневая область при этом бледнеет? Неужели нарушается принцип прямолинейности распространения света и он «заворачивает» под карандаш? Нет, конечно. Просто толщина карандаша меньше размера лампочки, поэтому в данном эксперименте ее нельзя принимать за точечный источник света (Вспомните определение материальной точки из первой части пособия!). Это приводит к тому, что отдельные зоны лампочки прямолинейно направляют свет под карандаш и создают в этой области некоторую неполную освещенность. Следовательно, лучше всего изучать геометрическую оптику на примерах с точечными источниками света и в соответствии с критерием

$$D \ll \sqrt{\ell \lambda}, \quad (1)$$

где D – линейный размер препятствия, создающего тень; ℓ – расстояние от препятствия до экрана; λ – длина световой волны.

Критерий (1) обеспечивает условия пренебрежимости волновых явлений при распространении света. Классическими доказательствами прямолинейности распространения света служат солнечные и лунные затмения.

Сформулированный ими закон **прямолинейного распространения света** является основополагающим для построения геометрической (лучевой) оптики. В рамках такого рассмотрения введем понятие **светового луча** – линии, указывающей направление распространения световой энергии и перпендикулярной к волновой поверхности. На практике световой луч совпадает с узким световым пучком, к примеру, от лазерной указки.

Теперь разберем подробнее понятие однородности среды. Прежде всего, свет может распространяться только в оптических (прозрачных) средах, а оптически однородной называется среда с постоянной плотностью. Поэтому если слои воздуха имеют разную температуру, то лучи, проходя через границы слоев, преломляются, создавая видимое искажение изображений реальных предметов.

Пора сформулировать **понятие геометрической оптики** как раздела оптики, изучающего законы распространения световой энергии в прозрачных средах на основе представления о световом луче. Первый закон геометрической оптики мы уже рассмотрели – это закон прямолинейного распространения света.

126. Преломление света

Теперь рассмотрим преломление света на границе двух оптических сред. Для начала вспомним, что **в вакууме свет распространяется со скоростью $c = 3 \cdot 10^8$ м/с**, а в других средах скорость уменьшается с соответствии с уравнением

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}, \quad (2)$$

где c – скорость света в вакууме, v – скорость света в любой другой среде, ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды, μ – относительная магнитная восприимчивость среды.

Из уравнения (2) видно, что скорость света в любой среде всегда меньше скорости света в вакууме. Это различие приводит к преломлению направления луча на границе двух сред. Учитывая, что относительная магнитная восприимчивость практически всех оптических сред близка к единице $\mu \approx 1$, изменением этой величины можно пренебрегать. Тогда основным параметром, определяющим изменение скорости света в данной среде остается относительная диэлектрическая проницаемость, которая для воздуха и большинства газов при нормальных условиях также близка к единице $\epsilon_{\text{газов}} \approx 1$.

Остается ввести **абсолютный показатель преломления среды n** как отношение скорости света в вакууме к скорости света в данной среде:

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\varepsilon\mu} \approx \sqrt{\varepsilon}. \quad (3)$$

Для практических целей, когда преломление происходит на границе конкретных двух сред, более удобно пользоваться не абсолютными показателями преломления n_1 и n_2 , а **относительным показателем преломления** второй среды относительно первой n_{21} :

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (4)$$

где v_1 и v_2 – скорости света соответственно в первой и второй средах; n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления первой и второй среды соответственно.

Оптическая среда, имеющая более высокий показатель преломления, называется **оптически более плотной средой**. Чем плотнее оптическая среда, тем в соответствии с (4) в такой среде ниже скорость распространения света. Для примера, абсолютный показатель преломления воздуха равен $n = 1,0003$ и показывает, во сколько раз скорость света в воздухе меньше скорости света в вакууме.

При прохождении светового луча через границу двух оптических сред дальнейший ход луча зависит от **угла падения луча**. Этот угол, обозначаемый нами $\angle \alpha$, отсчитывается от перпендикуляра к границе двух сред до направления падающего луча. Если $\angle \alpha = 0^\circ$, т. е. падающий луч перпендикулярен границе двух сред, то луч, проходя через границу сред, не преломляется и сохраняет свое направление движения (рис. 1, а).

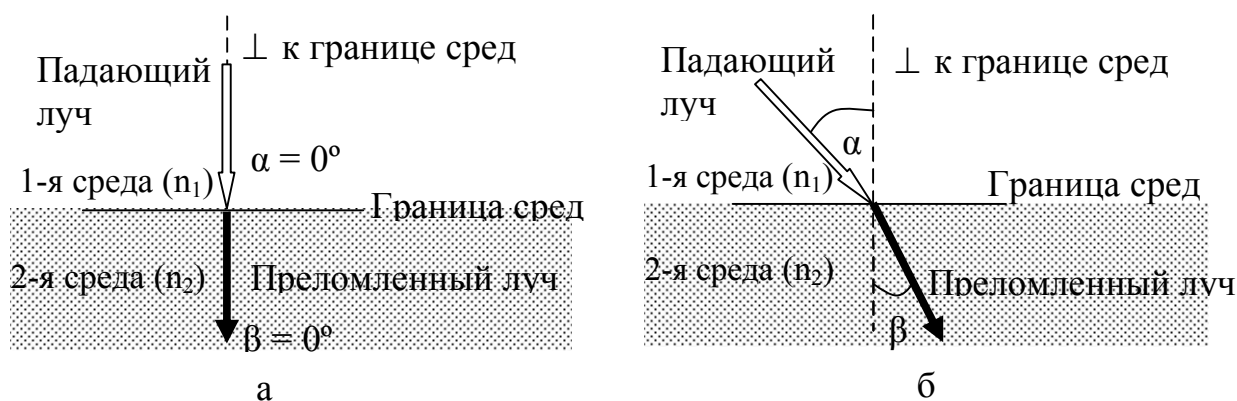


Рис. 1. **Преломление лучей** на границе двух сред для случая перпендикулярного падения луча (а) и падения луча под углом к границе двух сред (б) при условии $n_1 < n_2$

Из рис. 1 ясно, что **падающий луч** – это луч, достигающий границы сред через первую среду, а **преломленный луч** – это луч, прошедший во вторую среду через границу сред. А что такое угол $\angle \beta$? Это **угол преломления**,

отсчитываемый от перпендикуляра к границе двух сред к преломленному лучу (*рис. 1*). Кроме того, *рис. 1* изображен на плоском листе бумаги, следовательно, все перечисляемые здесь объекты: падающий луч, преломленный луч, перпендикуляр к границе двух сред, угол падения и угол преломления лежат в одной плоскости. Осталось разобраться с количественным соотношением величин углов α и β . Оказывается, отношение синусов этих углов напрямую связано с показателями преломления сред:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (5)$$

Если первая среда – воздух, то выражение (5) упрощается, так как $n_{\text{воздуха}} \approx 1$:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21} = \frac{n_2}{n_B} \approx n_2. \quad (6)$$

Вот теперь можно окончательно сформулировать **закон преломления света**:

Луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости, а отношение $\sin \alpha$ к $\sin \beta$ есть величина постоянная, равная относительному показателю преломления для данных двух сред.

Как же этот закон применять при решении задач? Первое, чему надо научиться – это построение хода луча при его переходе из менее плотной среды (к примеру, воздуха) в более плотную среду (к примеру – стекло). Пример такого перехода изображен на *рис. 1*. Хорошо видно, что при наклонном падении луча угол падения $\angle \alpha$ всегда будет больше угла преломления $\angle \beta$. Второе, что надо учитывать – это обратимость хода светового луча. Это значит, что для построения хода луча из оптически более плотной среды в менее плотную, необходимо просто перевернуть *рис. 1* сверху вниз, изменив лишь направление хода лучей. Результат такого преобразования представлен на *рис. 2*, на котором хорошо видно, что при переходе наклонного луча из оптически более плотной среды в оптически менее плотную угол преломления всегда больше угла падения.

Теперь мы с легкостью можем изобразить ход луча через плоскопараллельную пластину с оптической плотностью, превышающей плотность окружающей среды. Для этого достаточно соединить изображения *рис. 1* и *2*. Результат представлен на *рис. 3*. Для случая, когда луч падает на пластину перпендикулярно ее поверхности, направление луча сохраняется и выходящий луч является продолжением входящего луча (*рис. 3, а*). Для случая, когда луч падает наклонно на поверхность пластины (*рис. 3, б*),

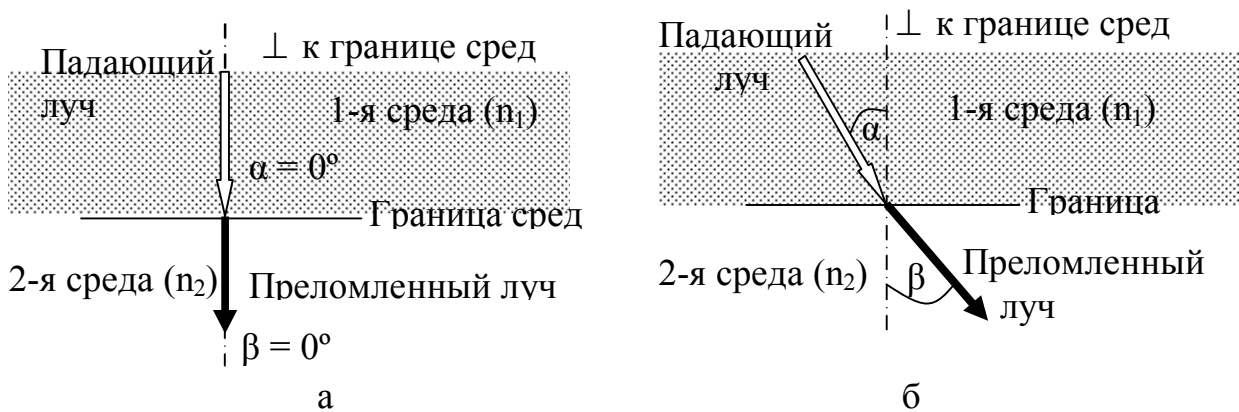


Рис. 2. **Преломление лучей** на границе двух сред для случая перпендикулярного падения луча (а), и падения луча под углом (б) к границе двух сред **при условии $n_1 > n_2$**

углы α_1 и β_2 равны между собой; поэтому обозначим их далее в уравнении за α . Также равны углы β_1 и α_2 , поэтому в уравнении смещения луча обозначим их β :

$$a = \frac{d \sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta}, \tag{7}$$

где a – величина смещения луча, d – толщина пластины, $\alpha = \alpha_1 = \beta_2$, $\beta = \beta_1 = \alpha_2$. Выражение (7) показывает, что выходящий из плоскопараллельной пластины луч идет параллельно входящему лучу, но оказывается смещенным относительно начального направления входящего луча на величину a .

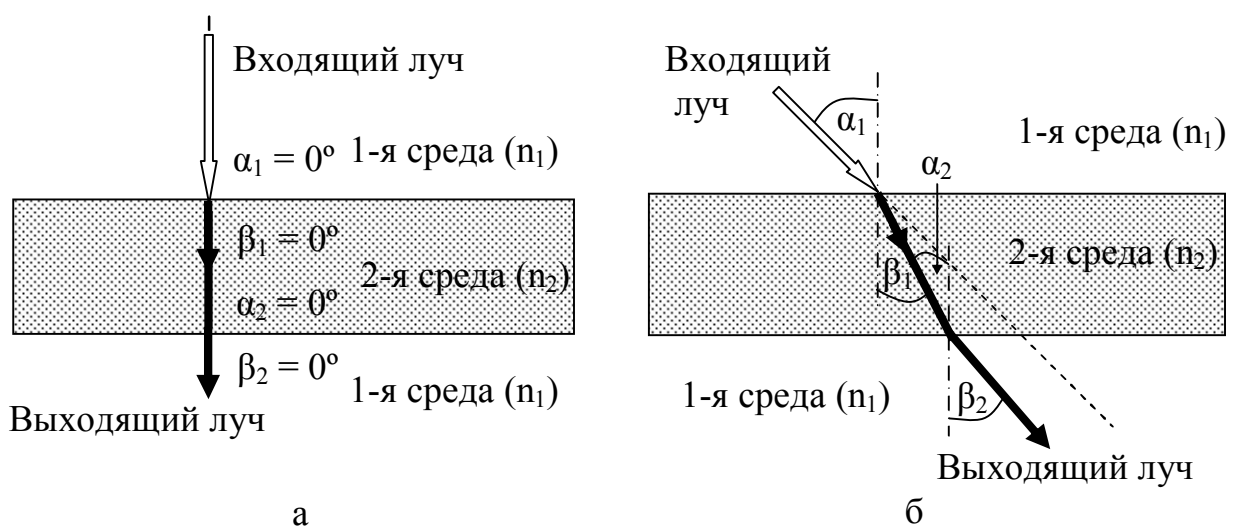


Рис. 3. Прохождение луча через плоскопараллельную пластину с оптической плотностью, выше плотности окружающей среды для перпендикулярного луча (а) и наклонного луча (б)

127. Прохождение луча через треугольную призму

Более сложная картина наблюдается в случае, когда прозрачная пластина имеет конусную форму. В этом случае нарушается равенство углов $\alpha_1 \neq \beta_2$ и $\alpha_2 \neq \beta_1$. Рассмотрим ход луча в такой пластине на примере треугольной призмы, имеющей при вершине преломляющий угол $\angle \varphi$ (рис. 4). Для того чтобы исключить возможное проявление волновых свойств света, направим в призму монохромный луч, имеющий строго определенный цвет, например, синий. Проходя через призму луч, как и в случае плоскопараллельной пластины, претерпит два преломления, связанных с уже изученными нами процессами. Рассмотрим подробнее ход луча в призме.

Если луч падает перпендикулярно к грани призмы, то на входе в призму он, естественно, не преломляется (рис. 4, а). Однако дойдя до грани, через которую луч покидает призму, он претерпевает преломление, переходя из оптически более плотной среды в среду менее плотную.

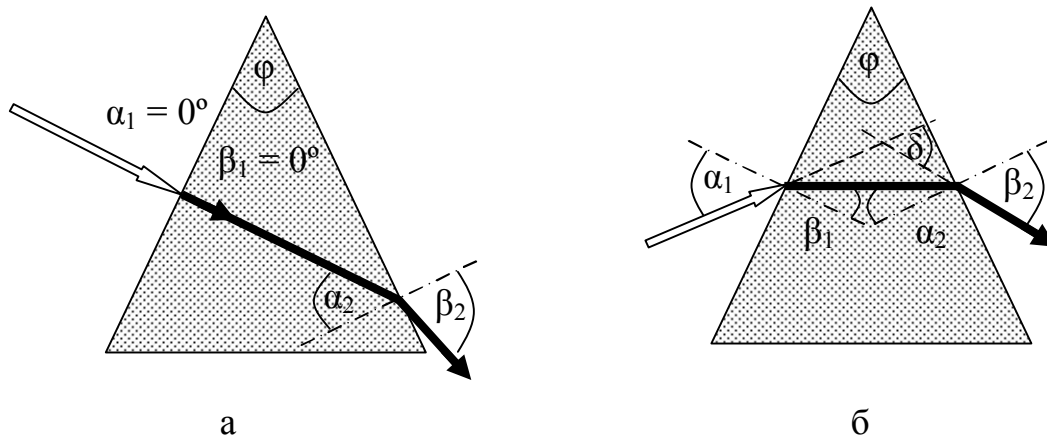


Рис. 4. Прохождение луча через призму с оптической плотностью, выше плотности окружающей среды для перпендикулярного луча (а) и наклонного луча (б)

Луч, наклонно падающий на грань призмы, претерпевает два преломления (рис. 4, б), последовательно отклоняясь в обоих случаях в сторону основания призмы. Эти преломления следует рассматривать независимо друг от друга с учетом знаний, полученных при изучении хода луча через плоскопараллельную пластину. Для правильного построения хода луча следует помнить, что при каждом преломлении луч обязательно пересекает границу оптических сред и перпендикуляр к этой границе, восстановленный в точке падения луча.

Угол отклонения луча от первоначального направления после прохождения через призму $\angle \delta$ можно вычислить, зная угол падения луча на внешнюю грань призмы $\angle \alpha_1$, угол преломления $\angle \beta_2$ и преломляющий угол $\angle \varphi$:

$$\angle \delta = \angle \alpha_1 + \angle \beta_2 - \angle \varphi. \quad (8)$$

Прохождение лучей через плоскопараллельную пластину и треугольную призму являются частными случаями прохождения светового луча через неоднородную оптическую среду. Наличие любой неоднородности оптической среды между наблюдателем и объектом наблюдения ведет к появлению искажения изображений наблюдаемых предметов. Пример такого искажения Вы можете увидеть, опустив чайную ложку в стакан с водой и рассматривая смещение изображения ложки на границе вода - воздух. При этом ложка, как и любой предмет, находящийся под слоем воды, кажется приближенным к наблюдателю. Это же явление при вертикальном взгляде на дно водоемов уменьшает кажущуюся глубину в 1,33 раза по сравнению с реальной глубиной, что по величине соответствует относительному показателю преломления воды. Общая закономерность приближения объектов, наблюдаемых из оптически менее плотной среды (например, воздуха) через слой оптически более плотной среды (например, воды) для случая, когда взгляд перпендикулярен границе раздела двух сред, имеет следующий вид:

$$\frac{H}{H - \Delta h} = n_{21}, \quad (9)$$

где H – толщина оптически более плотной среды с показателем преломления n_{21} , Δh – кажущееся уменьшение расстояния до объекта.

128. Отражение света

Однако не все среды способны пропускать свет. Именно это свойство некоторых материалов позволяет человеку создавать комфортные условия по освещенности объектов, не допуская их избыточного засвечивания. Что же происходит на границе оптически прозрачной среды с оптически непрозрачной средой? Все определяется качеством непрозрачной поверхности. Если поверхность шероховата, то наблюдается диффузное (рассеянное) отражение, не создающее преимущественного направления распространения рассеянных лучей. Если поверхность гладкая (зеркальная), луч света, достигнув такой поверхности, отразится в определенном направлении. Взгляните на *рис. 5*. На нем представлены простейшие случаи падения светового луча на непрозрачную гладкую поверхность перпендикулярно к поверхности (*рис. 5, а*) и наклонно к ней (*рис. 5, б*). $\angle \gamma$ – угол отражения луча от зеркальной поверхности, равен углу падения луча $\angle \alpha$.

Все сказанное позволяет сформулировать **закон отражения света** от зеркальной поверхности:

Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости, а угол отражения равен углу падения $\angle \gamma = \angle \alpha$.

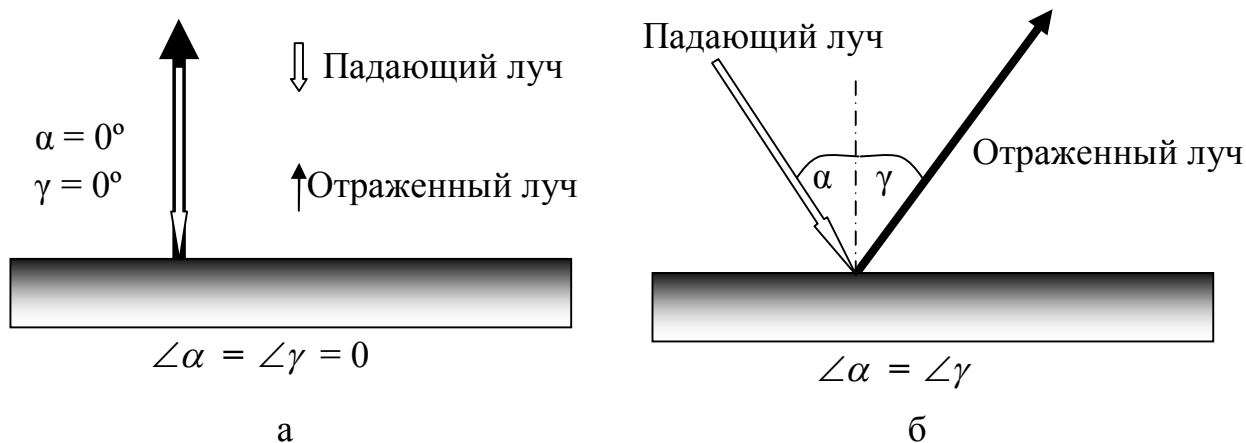


Рис. 5. Отражение луча от зеркальной поверхности при разных углах падения луча

Надеемся, что применение этого закона для решения задач не вызовет у Вас затруднений, поэтому перейдем к построению изображений в зеркале.

129. Изображение в плоском зеркале

Вы много раз видели себя в зеркале и настолько к этому привыкли, что не замечаете искажений, которые оно вносит. А обнаружить их очень легко. Напишите на листе бумаги крупную цифру 5 (ведь для всех она мила и приятна, когда появляется в дневнике или зачетке), возьмите этот лист и подойдите с ним к зеркалу. Вы увидите в нем свое привычное изображение с листом бумаги. Поверните лист цифрой к зеркалу и ... О, ужас! Цифра в зеркале не читается! Напрямую с листа читается нормально, а в зеркале не читается! В чем причина? Давайте разберемся.

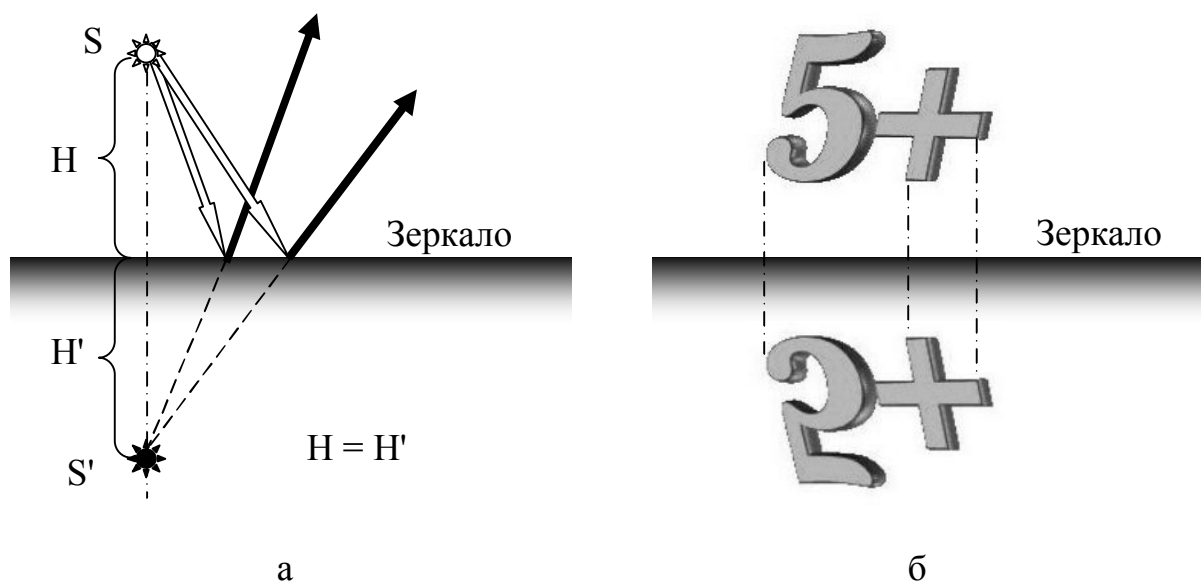


Рис. 6. Изображение в плоском зеркале точечного источника света (а) и протяженного предмета (б)

Для начала рассмотрим изображение точечного источника света в плоском зеркале (*рис. 6, а*). Над плоским зеркалом расположен точечный источник света S , лучи от которого падают на зеркальную поверхность под разными углами и отражаются в соответствии с законом отражения. Из *рис. 6, а* видно, что отраженные лучи представляют собой рассеивающийся пучок, поэтому не могут создать изображение источника света. Пересекаются лишь продолжения отраженных лучей, формируя в зеркале **мнимое изображение** реального источника света S' , расположенное «в зазеркалье» на таком же расстоянии от зеркальной поверхности, как и сам источник. **Мнимым называют изображение предмета, если оно образуется пересечением продолжений лучей или одного из лучей с продолжением любого другого луча.** На практике мнимое изображение никогда не удастся получить на непрозрачном экране (листе бумаги). Если такой экран поставить там, где наблюдается мнимое изображение, то на экране никакого изображения не будет.

Теперь не составит труда построить изображение протяженного предмета в зеркале. Если каждую точку такого предмета построить согласно правилу, изложенному для точечного источника, т. е. на таком же расстоянии от зеркальной поверхности, как и сама точка, то получится мнимое зеркальное изображение предмета (*рис. 6, б*). Именно этот принцип следует применять при решении задач на построение изображений в зеркале. При этом зеркальную поверхность можно продлить на то расстояние, на которое это необходимо для удобства построения.

130. Полное внутреннее отражение

Мы с Вами рассмотрели последовательно преломление света в прозрачных средах и отражение света на границе оптической среды с непрозрачной средой. Однако в реальности на границе двух оптически прозрачных сред наблюдается не только преломление, но и отражение света. Это легко наблюдать в солнечный день в городских кварталах по солнечным бликам от оконных стекол. Такое явление, думаю, видели все. Оно является доказательством преломления части световых лучей и одновременного отражения другой части лучей, падающих на границу двух оптических сред. Такой общий случай представлен на *рис. 7, а*.

Особый случай возникает, когда луч выходит из оптически более плотной среды в оптически менее плотную (*рис. 7, б*). Постепенное увеличение угла падения α при переходе от 1-го указанного луча ко 2-му приводит к особому состоянию, когда угол преломления β , увеличиваясь, достигает $\beta_0 = 90^\circ$, т. е. преломленный луч не проникает во вторую среду, а скользит вдоль границы раздела двух сред. Такой угол падения α_0 **называется предельным углом полного отражения.** На основании закона преломления света можно написать:

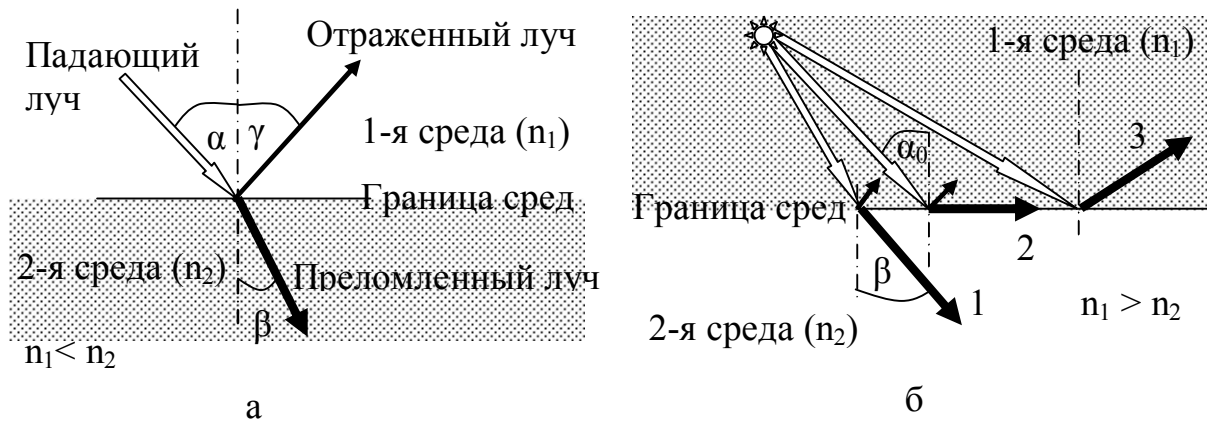


Рис. 7. Ход лучей на границе двух оптических сред

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin \beta_0} = \frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \sin \alpha_0 = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (10)$$

Для случая, когда луч выходит в воздушную среду, выражение (10) можно упростить, так как $n_2 \approx 1$:

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} \approx \frac{1}{n_1}. \quad (11)$$

Используя выражение (11) легко определить предельный угол полного отражения для воды ($\alpha_0^{\text{воды}} = 48,5^\circ$) или любого другого оптического материала.

При дальнейшем увеличении угла падения (переход к лучу 3) падающий луч начнет полностью отражаться от границы двух сред и возвращаться в первую среду. Такое явление называется **полным внутренним отражением**. Этим явлением объясняется блеск бриллиантов, образование миражей, блеск капель на солнце и т. д. Это явление используется в полевых биноклях, в которых применяются стеклянные равнобедренные прямоугольные призмы (рис. 8) с предельным углом полного отражения $\alpha_0^{\text{стекла}} = 42^\circ$. На рис. 8, а видно, что угол падения лучей на наклонную грань призмы равен 45° , что превышает $\alpha_0^{\text{стекла}}$, а на рис. 8, б углы падения лучей на основание призмы еще больше. Условия полного внутреннего отражения надо обязательно учитывать при построении оптических приборов и решении оптических задач.

131. Линзы

Мы изучили оптические устройства с плоскими гранями - призмы, пластины, которые не меняют размеров предметов при наблюдении за ними с использованием данных приборов. Однако не всегда удается получить качественную плоскую грань изделия. Что будет, если хотя бы одна из граней окажется криволинейной? Получится совершенно новый оптический прибор с необычными свойствами. Он начнет искажать размеры предметов. Многие из

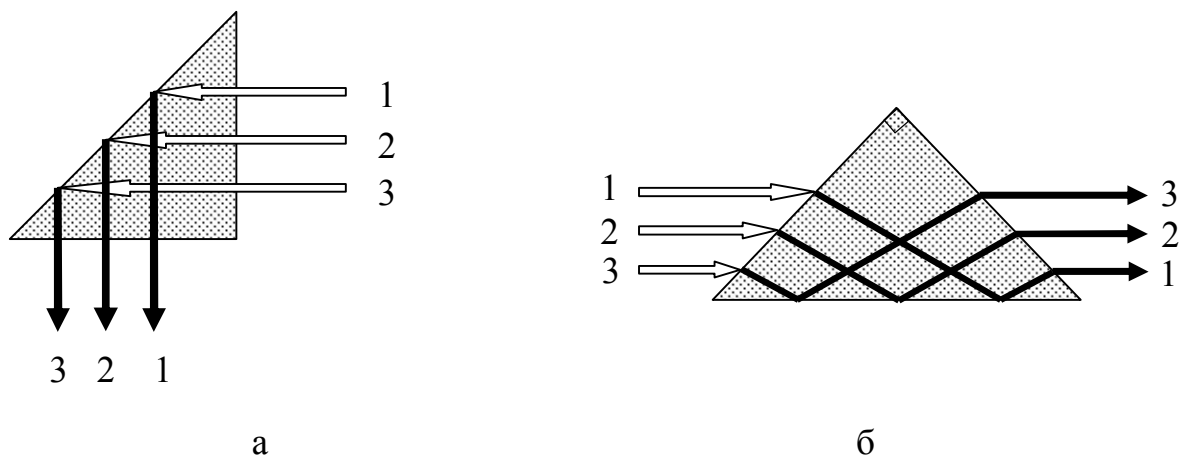
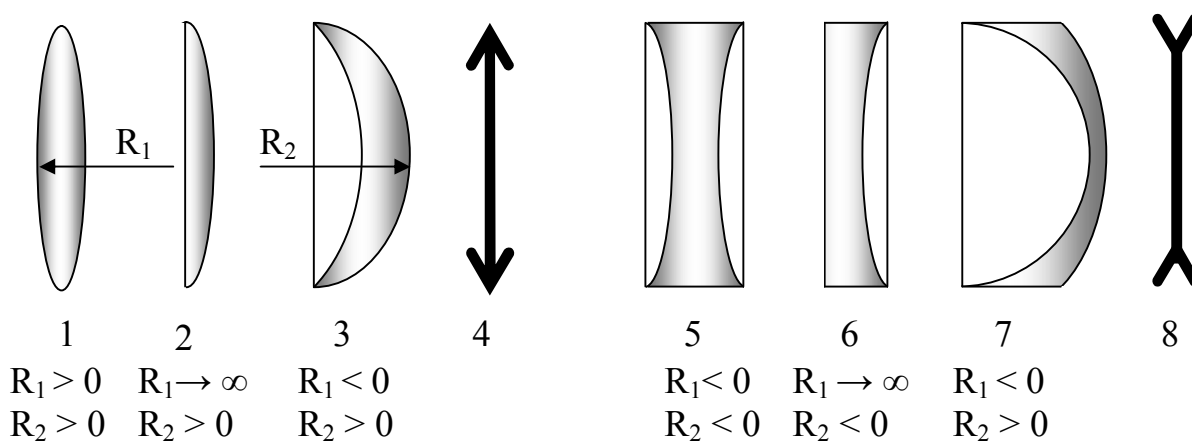


Рис. 8. Поворотная (а) и оборотная (б) призмы

Вас бывали в «комнате смеха», в которой собраны зеркала, искажающие истинные пропорции человеческого тела. Такие зеркала обязательно имеют участки криволинейной поверхности. Рассмотрим прохождение лучей через криволинейные поверхности оптических приборов на примере прохождения лучей через **сферические линзы**. Такая линза – это **прозрачное тело, ограниченное хотя бы одной сферической поверхностью**. Поперечный разрез основных типов линз представлен на *рис. 9*.



а – собирающие линзы

б – рассеивающие линзы

Рис. 9. Поперечный разрез различных типов оптических линз (1–3, 5–7) и графическое обозначение линз на оптических схемах (4, 8)

Собирающие линзы представлены на *рис. 9, а*. Хорошо видно, что у всех таких линз середина толще, чем края. Это главный внешний отличительный признак собирающих линз. По дополнительному внешнему признаку они делятся на выпуклые (1, 2) и выпукло-вогнутые (3) линзы. Основное свойство собирающих линз – после падения параллельных лучей на линзу собирать преломленные в линзе лучи в одной определенной точке. При построении

оптических схем собирающие линзы всегда обозначаются специальным знаком, изображенном на *рис. 9, а* номером (4).

На *рис. 9, б* представлены типы рассеивающих линз. Хорошо видно, что у всех таких линз края толще, чем середина. Это главный внешний отличительный признак рассеивающих линз. По дополнительному внешнему признаку они делятся на вогнутые (4, 5) и вогнуто-выпуклые (6) линзы. Основное свойство рассеивающих линз – после падения параллельных лучей на линзу рассеивать преломленные в линзе лучи таким образом, что продолжения рассеянных (преломленных) лучей собираются в одной определенной точке. При построении оптических схем рассеивающие линзы всегда обозначаются специальным знаком, изображенном на *рис. 9, б* номером (8).

Линзы любых типов образуются двумя сферическими поверхностями с различными радиусами. Для поверхностей, выпуклых со своей стороны линзы, радиус считается положительным, а для вогнутых поверхностей – отрицательным (*рис. 9*).

Для дальнейшего детального рассмотрения свойств оптических линз **будем рассматривать свойства только тонких линз – линз, толщина которых пренебрежимо мала по сравнению с любым из радиусов кривизны ее поверхности.** Такое упрощение позволит **срединную точку линзы назвать оптическим центром, а всякую прямую, проходящую через эту точку – оптической осью линзы.** Луч света, идущий вдоль любой из оптических осей (проходящий через оптический центр), проходит линзу не преломляясь, т. е. не меняя своего направления. Оптических осей у линзы бесконечное множество, но есть одна, которая называется **главной оптической осью.** Она единственная, которая **проходит через центры сферических поверхностей, образующих линзу.** Остальные оси называют побочными осями. Обычно на рисунке главная оптическая ось располагается горизонтально и перпендикулярно к линзе, а побочные оси располагаются к линзе наклонно.

132. Фокус линзы

Теперь рассмотрим основное свойство линз – собирать лучи или их продолжения в определенной точке. Что же это за точка?

Если на собирающую линзу направить поток лучей, параллельный главной оптической оси (*рис. 10, а*), то на некотором расстоянии за линзой они соберутся в одной точке. Эта **точка F называется главным фокусом линзы,** а расстояние от нее до центра линзы **OF называют фокусным расстоянием.** У собирающей линзы оно всегда положительно. Кроме того, у собирающей линзы с каждой стороны имеется свой главный фокус, но фокусные расстояния с обеих сторон у одной линзы одинаковы, независимо от различия в кривизне поверхностей линзы.

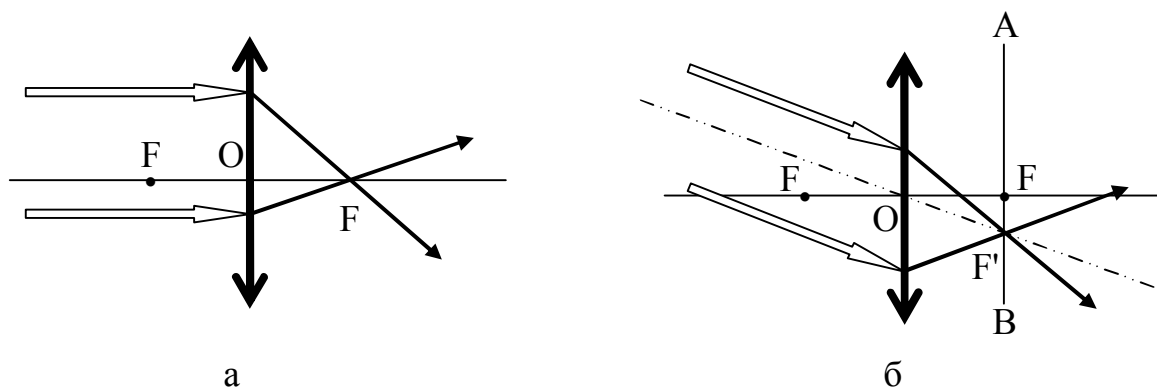


Рис. 10. Положение главного фокуса F собирающей линзы (а) и одного из ее побочных фокусов F' (б)

Если на собирающую линзу направить поток лучей, параллельный побочной оптической оси (рис. 10, б), то на некотором расстоянии за линзой они соберутся в одной точке. Эта точка F' называется **побочным фокусом линзы** и всегда располагается на фокальной плоскости линзы АВ, проходящей через точку главного фокуса. Определяющим фактором успешного решения задач на построение хода лучей в подобном случае является нахождение точки пересечения побочной оптической оси (на рис. 10, б показана прерывистой линией), параллельной указанным в задаче лучам и перпендикуляра АВ, восстановленного из главного фокуса линзы. Эта точка пересечения и будет побочным фокусом линзы F' для данных лучей. Останется провести преломленные лучи из точек падения лучей на линзу через найденный побочный фокус (рис. 10, б).

Если на рассеивающую линзу направить поток лучей, параллельный главной оптической оси (рис. 11, а), то преломившись в линзе они будут рассеиваться таким образом, что продолжения рассеянных (преломленных) лучей соберутся в точке **главного мнимого фокуса F** . Мнимым фокус

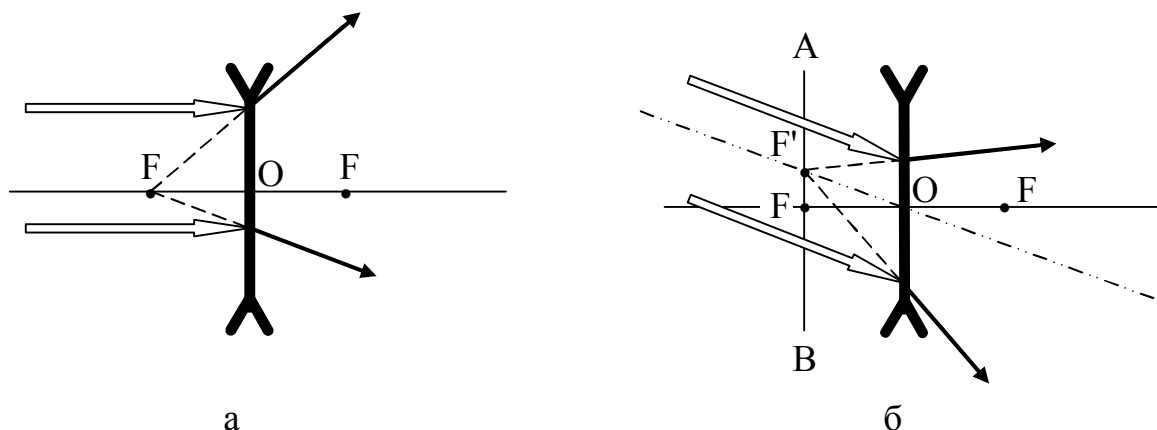


Рис. 11. Положение главного мнимого фокуса F рассеивающей линзы (а) и одного из ее побочных мнимых фокусов F' (б)

рассеивающей линзы назван потому, что в нем пересекаются лишь продолжения лучей, а не сами лучи. Расстояние от главного мнимого фокуса F до центра линзы OF называют **фокусным расстоянием**. В отличие от собирающей линзы **фокусное расстояние рассеивающей линзы всегда отрицательно**. Так же, как и у собирающей линзы, рассеивающая имеет два главных мнимых фокуса F , фокусные расстояния OF с обеих сторон у одной рассеивающей линзы одинаковы, независимо от различия в кривизне поверхностей линзы, но оба отрицательны по знаку.

Если на рассеивающую линзу направить поток лучей, параллельный побочной оптической оси (*рис. 11, б*), то, преломившись в линзе, они начнут рассеиваться и не соберутся в одной точке. Однако если построить продолжение преломленных линзой лучей в пространстве перед линзой (*на рис. 12, б – пунктирные линии*), то эти продолжения соберутся в **побочным мнимым фокусе линзы F'** , расположенном на фокальной плоскости AB , проходящей через точку главного мнимого фокуса.

Определяющим фактором успешного решения задач на построение хода лучей в рассеивающей линзе является нахождение точки пересечения побочной оптической оси (*на рис. 11, б показана прерывистой линией*), параллельной указанным в задаче лучам, и перпендикуляра AB , восстановленного из главного мнимого фокуса линзы, находящегося с той же стороны, с которой лучи падают на линзу. Эта точка пересечения и будет побочным мнимым фокусом линзы F' для данных лучей. Останется провести пунктирными прямыми линиями из точки F' продолжения рассеянных лучей до места падения лучей на линзу, а затем продолжить эти линии сплошной прямой с противоположной стороны линзы (*рис. 11, б*).

133. Оптическая сила линзы

Вокруг нас постоянно находится большое количество людей, носящих очки. Всем известно, что очки представляют собой две специально подобранные линзы, закрепленные в оправе. И Вы не раз слышали выражение «сильные очки». Сила очков в линзах, а в чем же сила линзы? Вот это нам и предстоит узнать.

Оптической силой линзы D называют величину, обратную фокусному расстоянию линзы OF . Учитывая, что длину фокуса линзы F отсчитывают от оптического центра линзы O и измеряют в метрах, можно записать $OF = F$. Тогда

$$D = \frac{1}{OF} = \frac{1}{F}. \quad (12)$$

У собирающей линзы фокусное расстояние всегда положительно $OF = F > 0$, поэтому и оптическая сила собирающей линзы (12) всегда положительна

$$D_{\text{собирающей линзы}} > 0. \quad (13)$$

У рассеивающей линзы фокусное расстояние всегда отрицательно $OF = F < 0$, поэтому и оптическая сила рассеивающей линзы (12) всегда отрицательна

$$D_{\text{рассеивающей линзы}} < 0. \quad (14)$$

Оптическая сила любой линзы измеряется в диоптриях (дптр).

Оптическая сила линзы определяется показателем преломления и радиусами сферических поверхностей, образующих линзу

$$D = \frac{1}{F} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (15)$$

где n – показатель преломления материала линзы, R_1 и R_2 – радиусы кривизны поверхностей, образующих линзу.

При решении задач на расчет оптической силы линзы следует обязательно учитывать, что радиусы выпуклых поверхностей на линзе любой формы считаются положительными, а вогнутых поверхностей – отрицательными (см. рис. 9). Именно соотношение радиусов кривизны с учетом их знака задает знак оптической силы конкретной линзы, так как показатель преломления не может быть меньше единицы. Если радиус вогнутой поверхности линзы будет меньше, чем выпуклой (15), то линза будет иметь отрицательную оптическую силу и называться рассеивающей (14).

134. Построение изображения в собирающей линзе

Теперь воспользуемся полученными знаниями хода лучей в линзе для построения изображения светящейся точки (источника света) при помощи собирающей линзы. На рис. 12 рассмотрены два случая расположения источника света относительно линзы – на главной оптической оси (а) и произвольно (б), требующие знания особенностей построения в каждом из этих случаев. На этих и последующих рисунке d – расстояние от объекта до линзы, а f – расстояние от линзы до изображения предмета.

Для начала построения изображения точечного источника света, расположенного на главной оптической оси (рис. 12, а), необходимо от

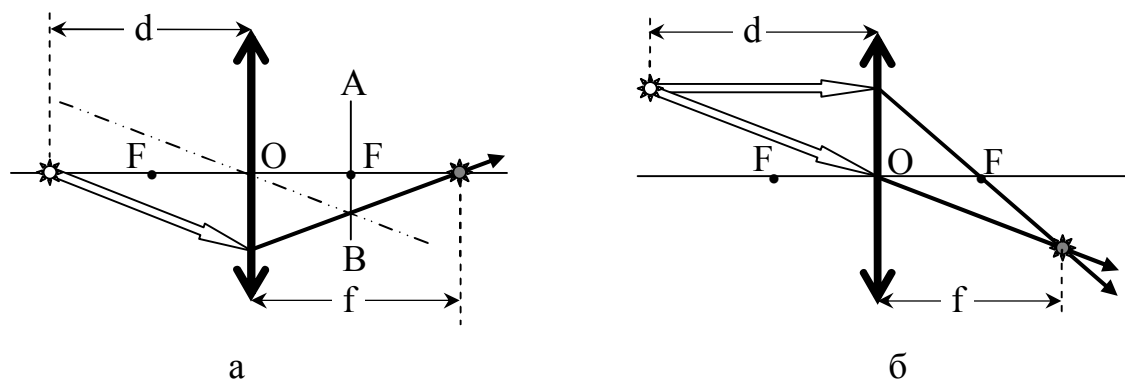


Рис. 12. Построение изображения точки в собирающей линзе

источника света к линзе провести любой падающий луч. После этого параллельно лучу провести побочную оптическую ось, показанную на *рис. 12, а* прерывистой линией, построить фокальную плоскость – восстановить перпендикуляр AB в точке фокуса F , и найти побочный фокус линзы – точку пересечения побочной оптической оси и фокальной плоскости. Теперь необходимо провести преломленный луч из точки падения луча на линзу через побочный фокус до главной оптической оси. Точка пересечения преломленного луча с главной оптической осью и будет местом изображения источника света в данном случае. Для корректности получения изображения необходимо дополнить *рис. 12, а* вторым лучом, идущим без преломления вдоль главной оптической оси. Это требование связано только с тем, что действительное изображение получается исключительно при пересечении лучей, а это необходимо графически показать при решении задачи. Помните, что изображение объекта, находящегося на главной оптической оси линзы, всегда будет на ней же и располагаться.

Для начала построения изображения точечного источника света, расположенного произвольно относительно главной оптической оси (*рис. 12, б*), необходимо от источника света к линзе провести падающий луч, параллельный главной оптической оси и, преломив его на линзе, продолжить преломленный луч, проведя его через фокус линзы. Затем без преломления провести луч от источника света через центр линзы до пересечения с первым преломленным лучом. В точке пересечения двух этих лучей и будет расположено действительное изображение источника света. Для того, чтобы его увидеть, необходимо в этом месте расположить экран.

Для построения изображения предмета, расположенного за фокусом линзы (*рис. 13, а*), ничего нового предпринимать не надо. Сравните *рис. 12, б* и *13, а*. В чем их отличие? Только в форме предмета и его изображения. Следовательно, для построения верхней точки предмета необходимо действовать, как описано выше для произвольно расположенной точки. Но закончить построение требуется восстановлением перпендикуляра из

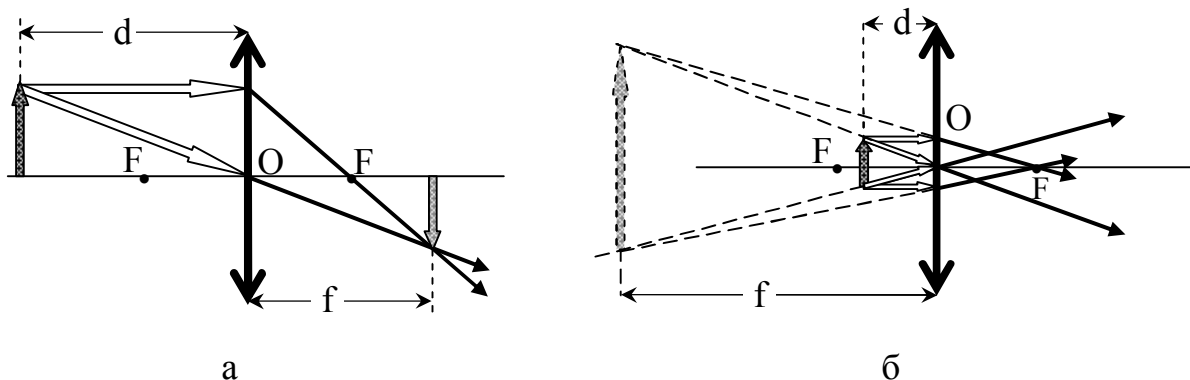


Рис. 13. Построение изображения предмета в собирающей линзе

найденной точки пересечения лучей на главную оптическую ось для оформления изображения предмета. Изображение получилось действительным, перевернутым и уменьшенным по сравнению с самим предметом. В более сложных случаях, когда тело расположено произвольно (или не касается главной оптической оси), аналогичные построения необходимо провести для обоих концов тела.

Теперь, имея опыт построения изображений, разберем особый случай, показанный на *рис. 13, б*. Здесь предмет находится ближе к линзе, чем её фокус. В таких случаях говорят, что предмет находится между фокусом и линзой. Такое расположение предмета не дает в собирающей линзе действительного изображения, так как лучи, исходящие из одного конца предмета (к примеру – верхнего), после преломления расходятся. Поэтому точку пересечения надо искать на продолжениях преломленных лучей (показаны пунктирными линиями). Предмет не опирается на главную оптическую ось, поэтому требуется провести построение для верхнего и нижнего концов тела в отдельности. Пересеклись только продолжения лучей, поэтому изображение будет мнимым, прямым и увеличенным, а мнимые изображения обычно показывают пунктиром (*рис. 13, б*). Даже если поместить экран в найденную точку, изображение предмета на нем не появится. Еще одно важное явление заключается в том, что изображение находится по ту же сторону, что и предмет, поэтому расстояние от линзы до изображения f имеет отрицательный знак. **При мнимых изображениях всегда $f < 0$.**

У собирающих линз имеется еще одна особая точка – двойной фокус $2F$ – точка, расположенная от линзы на расстоянии в два раза больше фокусного. Если предмет разместить в этой точке, то его изображение всегда будет действительным, перевернутым, равным по размеру самому предмету и располагаться на расстоянии $2F$ от линзы.

135. Построение изображения в рассеивающей линзе

Перейдем к построению изображения в рассеивающей линзе. Рассмотрим случай расположения точечного источника света на главной оптической оси (*рис. 14, а*). Первый луч проведем от источника света к линзе под любым удобным углом. Затем параллельно лучу проведем побочную ось через центр линзы O . После этого построим фокальную плоскость AB и найдем побочный фокус F' . Далее приложим линейку к точке побочного фокуса и к месту падения первого луча на линзу. Так как между двумя точками можно провести только одну прямую, проведем по линейке сплошной линией преломленный луч и пунктиром продолжение этого луча до побочного фокуса. Изображение источника света окажется в точке пересечения продолжения преломленного луча и главной оптической оси. Закончим построение проведением луча от источника света до линзы вдоль главной оптической оси.

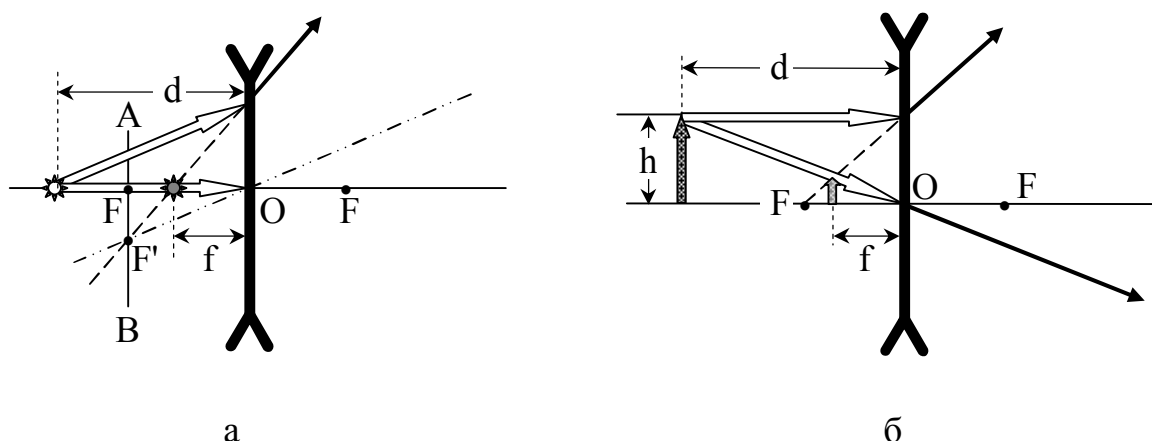


Рис. 14. Построение изображений в рассеивающей линзе

Изображение получится мнимым, так как находится в месте пересечения этого луча с продолжением преломленного луча.

Построение изображения предмета в рассеивающей линзе (рис. 14, б) следует начинать с проведения из верхней точки предмета до линзы луча, параллельного главной оптической оси. Затем следует приложить линейку к точке фокуса и к месту падения луча на линзу. После этого провести по линейке сплошной линией преломленный луч и пунктиром продолжение этого луча до фокуса. Следующим действием провести луч из верхней точки предмета через центр линзы без преломления. Изображение верхней точки окажется в месте пересечения последнего луча и продолжения преломленного луча. Если тело, как в случае на рис. рис. 14, б, опирается на главную оптическую ось, то из найденной точки изображения на главную оптическую ось опускаем перпендикуляр. Изображение получилось мнимым, прямым, уменьшенным.

Если тело имеет произвольную форму, проводим дополнительно, аналогично описанному выше, построение изображения нижней или боковой точки предмета и, соединяя найденные изображения точек последовательно, прорисовываем изображение предмета в целом.

Изучение способов построения изображений в линзах целесообразно закончить самостоятельным изучением зависимости размеров изображения от местоположения предмета относительно линзы, меняя его от тройного фокусного до половины фокусного расстояния: $3F > d > 0,5F$.

В заключение несколько слов о параметрах d и f . Расстояние d от линзы до предмета всегда **при любых линзах и изображениях** положительно $d > 0$. Расстояние f от линзы до изображения положительно только при действительных изображениях предметов. В остальных случаях – отрицательно.

136. Формула тонкой линзы

А зачем нам эти знания о знаках параметров? Так подумают некоторые из Вас. Это оказывается необходимо, чтобы уметь без построения определить местоположение изображения предмета относительно линзы. Не будем решать тривиальную геометрическую задачу, желающие могут это сделать сами, используя хотя бы *рис. 13, а*, а покажем конечную зависимость между F , d и f :

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} = D. \quad (16)$$

Выражение (16) называется уравнением тонкой линзы. Это уравнение справедливо для любой линзы и для любого вида изображения. Из этого уравнения следует, что при изменении расстояния от линзы до предмета, автоматически будет меняться расстояние от линзы до изображения этого предмета таким образом, что уравнение (16) всегда останется справедливым. **Главное условие успешного применения** этого уравнения для решения задач – **правильная подстановка в уравнение значений величин с учетом их знака.**

137. Линейное увеличение линзы

Теперь взгляните еще раз на *рис. 14, б*. Хорошо видно как сильно отличается высота предмета h от его изображения. При удалении предмета от рассеивающей линзы высота его изображения будет уменьшаться. При этом в любом положении предмета треугольник, образованный лучом, направленным в оптический центр линзы, главной оптической осью линзы и предметом подобен треугольнику, образованному тем же лучом, той же осью и изображением предмета. Поэтому из подобия треугольников следует

$$\frac{f}{d} = \frac{H}{h} = \Gamma, \quad (17)$$

где Γ – **линейное увеличение линзы**, h – **высота предмета**, H – **высота его изображения**, отсчитываемые с учетом знака проекции на вертикальную ось.

В рассмотренном случае изображение мнимое, прямое ($\Gamma > 0$) и уменьшенное ($\Gamma < 1$). Можно утверждать, что **для всех рассеивающих линз $1 > \Gamma > 0$.**

Для собирающих линз возникает многообразие значений линейного увеличения Γ . В случае, указанном на *рис. 13, а*, изображение действительное, перевернутое ($\Gamma < 0$) и уменьшенное ($|\Gamma| < 1$). Поэтому для *рис. 14, а* справедливо $-1 < \Gamma < 0$. В случае, указанном на *рис. 14, б*, изображение мнимое, прямое ($\Gamma > 0$) и увеличенное ($\Gamma > 1$). Поэтому для *рис. 14, б* справедливо $\Gamma > 1$. В других случаях расположения предмета возможны иные значения увеличения собирающих линз.

138. Оптическая система линз

Часто для практических целей используются сложные оптические системы. Одна из таких систем, разработанная для объектива представлена на рис. 15. Видно, что оптическая система состоит из нескольких как собирающих, так и рассеивающих линз, расположенных последовательно на

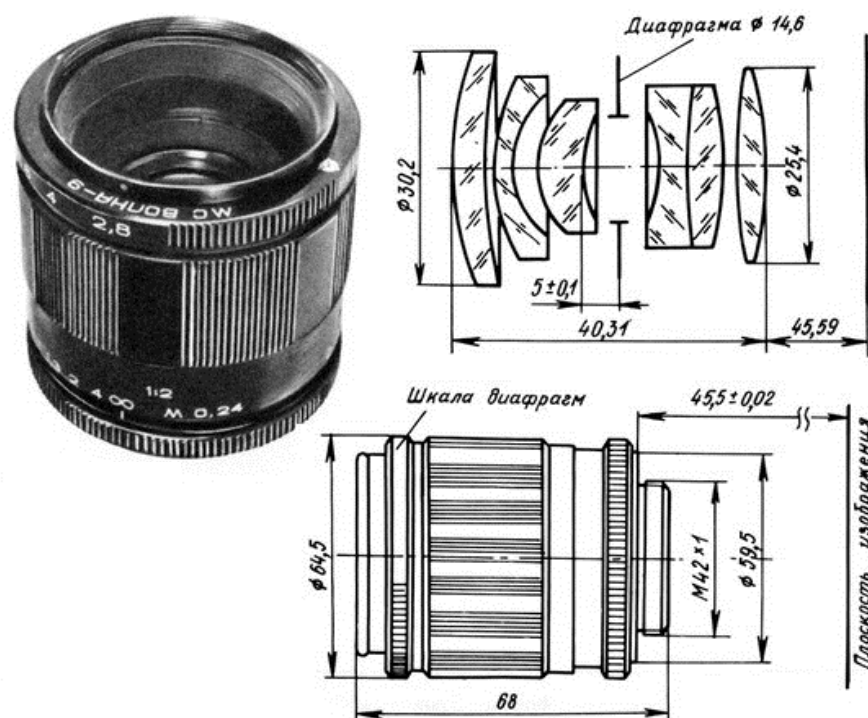


Рис. 15. Оптическая схема объектива

общей главной оптической оси. В системе имеются плотно прилегающие линзы и линзы, расположенные с небольшим зазором. Почему их все не прижимают вплотную? Потому что учитывают особенности взаимодействия оптических стекол, влияющие на положение заднего и переднего фокусов оптической системы. Так называются точки, расположенные соответственно за оптической системой и перед ней, в которых собираются лучи, падающие на вход в систему параллельно главной оптической оси, после преломления их в оптической системе.

Простейший случай создания оптической системы – использование двух линз. В этом случае расчет заднего фокуса системы проводят в соответствии с уравнением

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} - \frac{\ell}{F_1 F_2}, \quad (18)$$

где F – задний фокус оптической системы из двух линз, F_1 – главный фокус первой линзы, расположенной на входе в оптическую систему, F_2 – главный

фокус второй линзы, расположенной на выходе из оптической системы, ℓ – расстояние между линзами.

Это уравнение справедливо для любых сочетаний собирающих и рассеивающих линз, имеющих общую главную оптическую ось. Если $F_1 \neq F_2$ и между линзами имеется зазор ℓ , то система имеет два главных фокуса, расположенных на разных фокусных расстояниях от оптического центра системы $OF_{\text{передний}} \neq OF_{\text{задний}}$. Для близко расположенных линз $F_1 \approx \ell$ можно пренебречь величиной зазора (18), тогда оптическая сила D всей оптической системы равна сумме оптических сил линз.

$$\frac{1}{F} \approx \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} \Rightarrow D \approx D_1 + D_2. \quad (19)$$

Примером двухлинзовой оптической системы служит простейший телескоп-рефрактор, дающий существенное угловое увеличение удаленных объектов. Величина углового увеличения Γ рассчитывается как отношение фокусного расстояния объектива F_1 к фокусному расстоянию окуляра F_2

$$\Gamma = \frac{F_1}{F_2}. \quad (20)$$

Поэтому максимальное увеличение для такого телескопа достигается использованием длиннофокусного объектива и короткофокусного окуляра.

В заключение напомним, что угловое увеличение лупы прямо пропорционально её оптической силе

$$\Gamma_{\text{лупы}} = 0.25D. \quad (21)$$

139. Человеческий глаз и коррекция зрения

Наиболее распространенными оптическими приборами являются очки. Чтобы понять принцип их работы, надо разобраться в получении изображения в человеческом глазе.

Упрощенная схема человеческого глаза представлена на *рис. 16*. Пройдя роговицу, свет через зрачок попадает на хрусталик – эластичную двояковыпуклую линзу, оптическая сила которой может меняться усилиями глазных мышц за счет деформации. За хрусталиком свет проходит через стекловидное тело и попадает на сетчатку, имеющую напротив хрусталика желтое пятно, обладающее наибольшей чувствительностью к свету. Преломляющая система глаза, состоящая из роговицы, водянистой влаги, хрусталика и стекловидного тела, в целом может рассматриваться как двояковыпуклая линза со средним фокусным расстоянием 15 мм.

Фокус нормально напряженного глаза лежит на сетчатке. Однако встречаются люди, у которых фокус глаза лежит перед сетчаткой (*рис.16*). Такие люди, которых называют близорукими, смутно видят удаленные предметы. Это связано либо с растягиванием глазного яблока по продольной оси, либо с уменьшением радиуса кривизны роговицы или хрусталика. Для

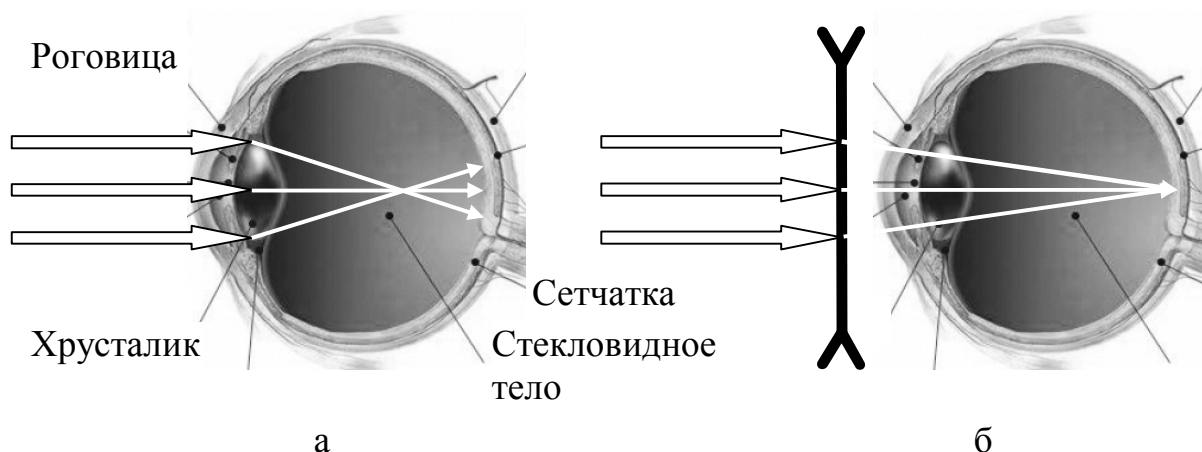


Рис. 16. Глазное яблоко близорукого человека (а) и исправление его зрения очками с рассеивающими линзами (б)

коррекции зрения близоруких людей используются рассеивающие линзы (рис. 16, б), применение которых позволяет подобрать очки, обеспечивающие размещение заднего фокуса всей оптической системы линза-глаз на желтом пятне сетчатки глаза. Если фокус глаза лежит за сетчаткой, то для нормализации зрения требуется использование собирающих линз (рис. 17). Очки с такими линзами необходимы дальноруким людям, дефект зрения у которых возникает за счет сжатия глазного яблока по продольной оси или большего радиуса кривизны роговицы или хрусталика. Подбирать очки и в этих случаях необходимо индивидуально, чтобы обеспечить размещение заднего фокуса всей оптической системы линза-глаз на желтом пятне сетчатки глаза.

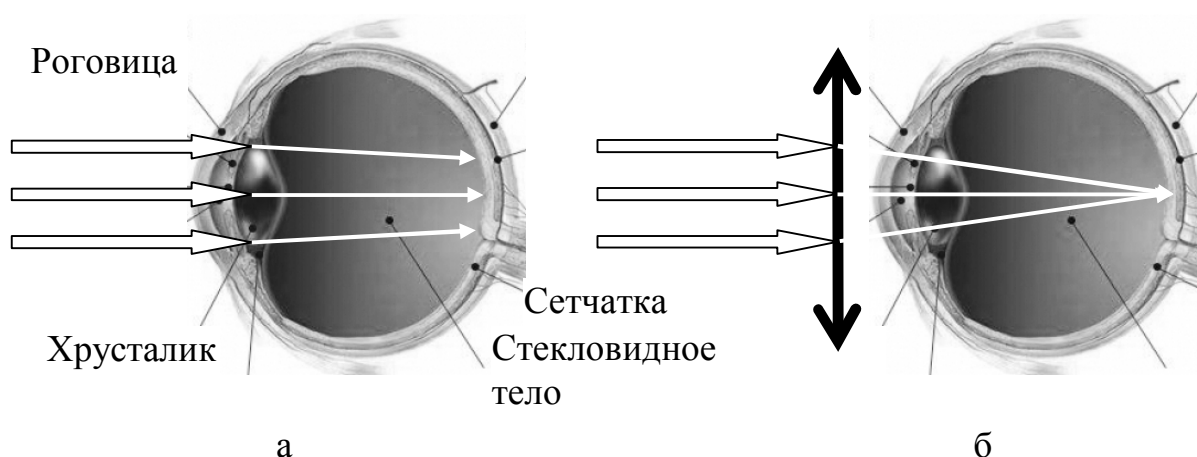


Рис. 17. Глазное яблоко дальнорукого человека (а) и исправление его зрения очками с собирающими линзами (б)

Для нормального глаза расстояние наилучшего зрения принимается равным 25 см – именно на таком расстоянии рекомендуется держать книгу при чтении. Для нормального восприятия объектов на различных расстояниях важным фактором является аккомодация глаза – его способность к самостоятельному изменению оптической силы. Однако с возрастом эта способность снижается, поэтому большинство пожилых людей имеют очки для наблюдения близко расположенных предметов («для близости»), а другие – для далеко расположенных («для дали»).

Вот на этом, пожалуй, мы и остановимся в изучении геометрической оптики. Заинтересовавшиеся этим разделом могут обратиться к материалам и печатным изданиям, перечисленным в конце пособия. А нам пора разобраться, действительно ли свет – это волна.

Раздел XV. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

Изложение материала в этом разделе предполагает знание основных понятий, освоенных при изучении разделов механических, звуковых и электромагнитных волн, размещенных в I и III частях нашего пособия. Поэтому просим всех, приступающих к изучению волновой оптики, повторить сведения, относящиеся к понятиям амплитуды, частоты, длины волны и фазы колебаний.

140. Интерференция света

Чтобы доказать волновую природу света, надо рассмотреть такие явления, которые не могут быть объяснены с точки зрения геометрической оптики. Поэтому начнем мы с понятия **интерференции** – явление **взаимного усиления или ослабления как минимум двух волн при их наложении друг на друга при одновременном распространении в пространстве.**

Вы, наверное, слышали выражение «девятый вал»? Художник Айвазовский даже назвал так свое знаменитое произведение, посвященное борьбе человека с разгулом стихии. Да Вы и сами неоднократно наблюдали на море-океане чередование волн различной величины. Ветер всегда производит на поверхности главных волн ряд второстепенных, а на поверхности последних — ряд более мелких — третьестепенных и т. д. Слияние (сложение) амплитуды волн всех степеней и дает такую волну, как «девятый вал». Следовательно, к образованию «девятого вала» приводит наложение морских волн различной высоты, т. е. интерференция волн.

Возможно ли подобное при распространении света? Чтобы обнаружить интерференцию, недостаточно одного источника света, ведь должно происходить наложение как минимум двух волн, да еще для визуального наблюдения интерференции света необходимо получить на экране устойчивую

интерференционную картину. Это возможно только при использовании двух когерентных источников света, простейший способ получения которых - разделение одного светового пучка на два при помощи шторки с двумя неподвижными щелями (рис.18, а). Именно такой эксперимент провел Т. Юнг в 1800 г. и получил на экране картину, аналогичную изображенной на рис. 18, а. Чтобы представить сложность и точность эксперимента достаточно сказать, что щели в шторках А и В были примерно по 1 мкм. Что за картина получается на экране (рис. 18, а)? От двух узких щелей наблюдается чередование нескольких светлых (белых) и темных (черных) полос. Если бы свет вел себя как частицы или лучи, то на экране возникла бы картина, аналогичная рис. 18, б - наблюдались бы две светлые полосы, каждая из которых соответствовала бы своей щели. Следовательно, наблюдаемая на рис. 18, а картина не может быть объяснена законами геометрической оптики, но хорошо объясняется теорией распространения волн (**волновой теорией**) и называется **интерференционной картиной**.

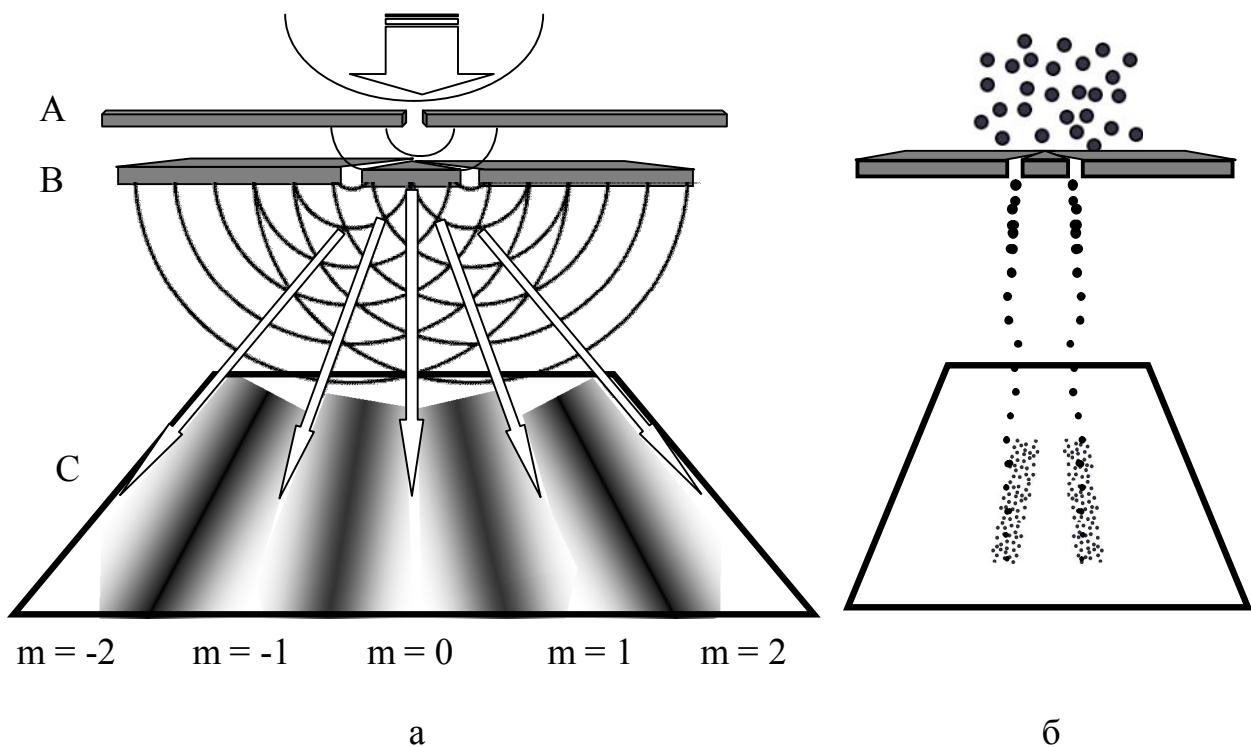


Рис. 18. Результат падения света через две щели на матовый экран – интерференционная картина (а) и результат падения мелкой дроби через две щели на мягкое покрытие стола (б)

Каким же образом формируется интерференционная картина? Прежде всего оговорим, что расстояние от шторки В до экрана С значительно превосходит расстояние между щелями d , $BC \gg d$. Тогда, в общем случае, световые волны, исходящие из разных щелей, достигают одной и той же точки экрана, пройдя разное расстояние ℓ , т. е. имея небольшую разность хода Δ

$$\Delta = n_1 \ell_1 - n_2 \ell_2, \quad (22)$$

где n_1, n_2 – показатели преломления среды на пути соответствующего луча (в данном случае между шторкой B и экраном C $n_1 = n_2 = n$, но возможны случаи, когда $n_1 \neq n_2$), ℓ_1 – геометрическая длина пути первой волны от первой щели до экрана, ℓ_2 – геометрическая длина пути второй волны от второй щели до экрана, $n\ell_i$ – оптическая длина пути соответствующей волны.

Становится ясно, что максимальное усиление света на экране возможно при совпадении фаз у обеих волн в момент касания экрана. Так как из щелей шторки B волны выходят в одинаковой фазе (они когерентны), то выполнение условия максимального усиления возможно только при разности хода Δ , равной целому числу волн. Отсюда, используя (22), получаем **условие максимального усиления света на экране (условие интерференционного максимума)**:

$$\Delta = n_1 \ell_1 - n_2 \ell_2 = m\lambda, \quad (23)$$

где λ – длина когерентных волн, создающих интерференционную картину, m – множитель, показывающий количество целого числа волн в разности хода.

Из *рис. 18, а* видно, что к центральной светлой полосе волны из обеих щелей приходят вообще без разности хода ($m = 0 \Rightarrow \Delta = m\lambda = 0$), поскольку она расположена симметрично, относительно самих щелей и $\ell_1 = \ell_2$. Теперь попробуйте сами разобраться в остальных значениях m , приведенных на *рис. 18, а*.

Наиболее темные полосы на экране соответствуют максимальному ослаблению света, что возможно только в случае, когда волны, создающие интерференционную картину, в момент касания экрана находятся в противофазе. Это возможно, только при разности хода, кратному половине длины волны. Отсюда, используя (22), получаем **условие максимального ослабления света на экране (условие интерференционного минимума)**:

$$\Delta = n_1 \ell_1 - n_2 \ell_2 = (2m - 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (24)$$

Из *рис. 18, а* видно, что при $m = 0 \Rightarrow \Delta = (2m - 1) \frac{\lambda}{2} = - \frac{\lambda}{2}$, т. е.

интерференционный минимум появляется на экране левее соответствующего интерференционного максимума.

В общем случае картина интерференции света зависит от разности фаз падающих на экран (или попадающих в глаз) волн. Так как в случаях отличия разности хода лучей от нуля $m \neq 0$ величина $\Delta \sim \lambda$, то для лучей с различной длиной волны, т. е. разного цвета (*табл. 1*), интерференционные минимумы и максимумы на экране не будут совпадать и при использовании сплошного спектра появится радужность окраски интерференционной картины. Вспомните про радужную окраску мыльных пузырей, которые Вы так любили пускать в детстве – вот классической случай проявления

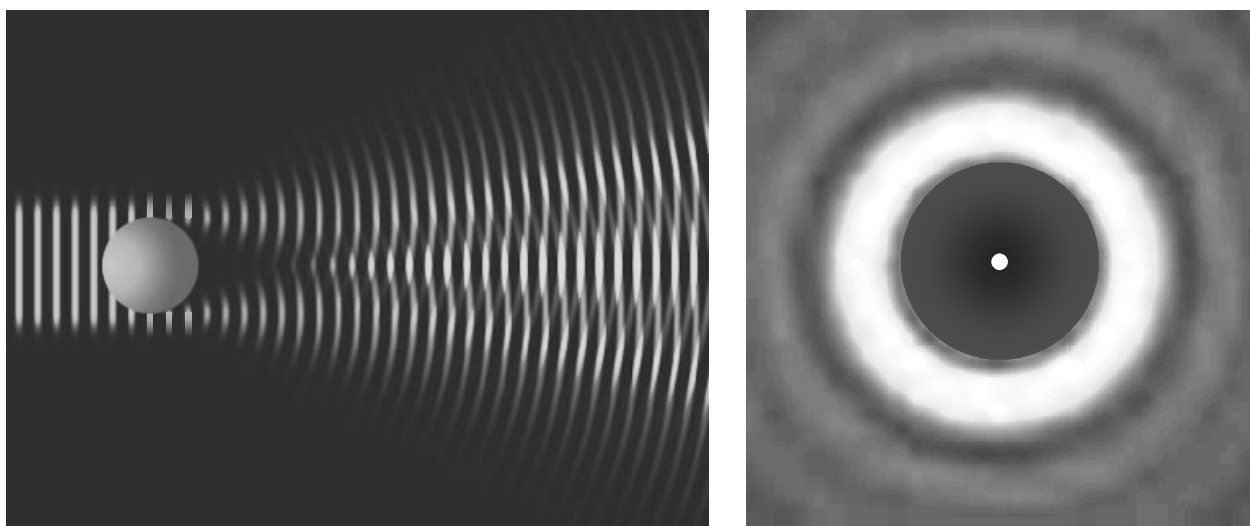
интерференции света при отражении световых волн сплошного спектра от внешней и внутренней поверхности мыльных пленок, создающих пузырь.

Как можно интерференцию поставить на службу человеку? Прежде всего использовать способность тонких прозрачных пленок, нанесенных на линзы, гасить отраженные лучи за счет интерференции волн, отраженных от внешней и внутренней поверхностей пленки. Это называется просветление оптических приборов – увеличение проходящего через линзу светового потока при той же внешней освещенности.

141. Дифракция света

Дифракция света - это огибание световыми волнами препятствий, т. е. отклонение от прямолинейного распространения света.

В начале изложения оптики мы уже проводили эксперимент с тенью карандаша при его приближении к лампе и наблюдаемые явления объяснили протяженностью источника света. А если взять точечный источник света и на пути луча поставить препятствие, какую картину мы увидим на экране? Взгляните на *рис. 19, а*. Области чередования светлых и темных полос – это области распространения световой волны, характеризующейся максимумами и минимумами интенсивности света. Диаграмма показывает, как точки на границе двух сред могут действовать в качестве источников расходящихся сферических волн (принцип Гюйгенса-Френеля), которые, взаимно пересекаясь, интерферируют и образуют на экране дифракционную картину, показанную на *рис. 19, б* (в центре - светлое пятно Пуассона).



а

б

Рис. 19. Огибание когерентным потоком света шарообразного препятствия (а) и дифракционная картина на экране (б)

От препятствий другой формы будет наблюдаться, естественно, иная дифракционная картина. К примеру, от волоска или тонкой проволоки –

чередование светлых и темных полос со светлой полосой посередине. Срединное положение светлых участков на дифракционных картинах можно объяснить только волновой природой света. В общем случае дифракция наблюдается при распространении света в среде с резко выраженными неоднородностями (препятствиями прохождению света). Однако даже при наличии таких препятствий дифракцию не так просто обнаружить. Дело в том, что дифракция наблюдается на расстояниях ℓ при условии

$$\ell \approx \frac{D^2}{4\lambda}, \quad (25)$$

где D - линейные размеры препятствия (для шара, к примеру - его диаметр), λ - длина падающей на препятствие волны. К примеру, препятствие размером 1 см даст дифракционную картину на расстоянии более 10 м. Именно поэтому и стараются для наблюдений выбирать препятствие малых размеров.

Объяснение физического механизма дифракции основано, как уже отмечалось, **на принципах Гюйгенса-Френеля:**

а) каждая точка фронта световой волны является источником вторичных волн, а фронты вторичных волн огибаются поверхностью нового (следующего) фронта волны;

б) источники вторичных волн, расположенные на поверхности фронта первичной волны, являются когерентными, поэтому вторичные волны интерферируют между собой.

142. Дифракционная решетка

Удалось ли поставить на службу человеку такое трудно наблюдаемое явление, как дифракция? Безусловно, дифракция используется для проверки качества поверхности изделий, но наибольшее распространение получила дифракционная решетка. Это чувствительный элемент оптического прибора, предназначенного для измерения длин волн, который состоит из нескольких тысяч штрихов, нанесенных на одном миллиметре стеклянной плоскопараллельной пластины (рис. 20, а). Каждая **дифракционная решетка характеризуется периодом решетки d** , складывающимся из a – ширины пропускающей свет щели и b – ширины непрозрачных промежутков, **$d = a + b$** .

Если на решетку падает плоская монохроматическая волна, то образующиеся в щелях вторичные источники света по принципу Гюйгенса-Френеля создают вторичные волны, направленные во все стороны и способные интерферировать. Для уменьшения расстояния ℓ между решеткой и экраном устанавливается собирающая линза (рис. 20, б), обеспечивающая сбор параллельных лучей, соответствующих различным направлениям, в различных точках фокальной плоскости линзы. Интерференция параллельных

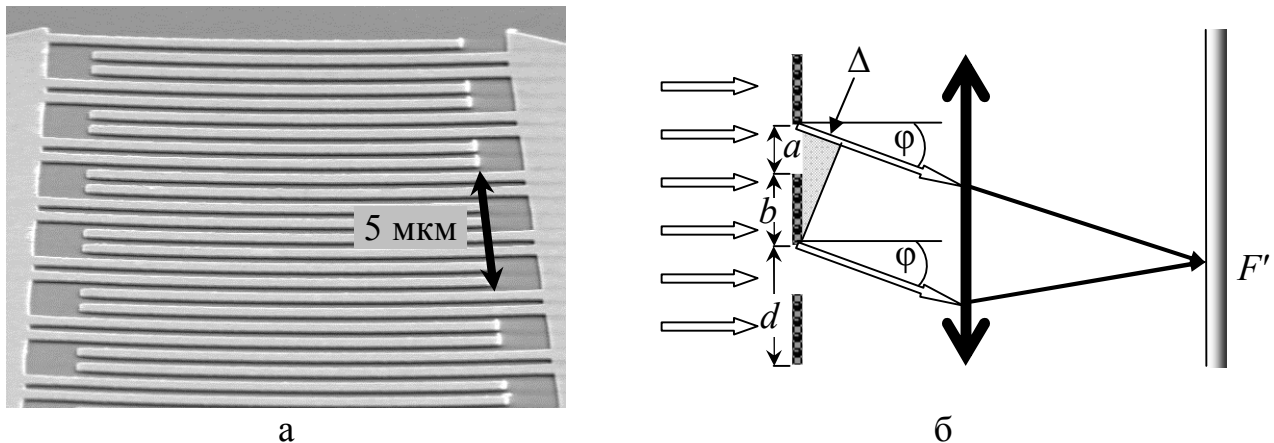


Рис. 20. Дифракционная решетка (а) и ход лучей от решетки до экрана (б)

лучей в зависимости от соотношения фаз приводит к усилению или ослаблению света, и в фокальной плоскости линзы образуется дифракционная картина. В затененном треугольнике стороны угла при вершине взаимно перпендикулярны к сторонам $\angle \varphi$, поэтому разность оптического хода показанных лучей равна $\Delta = (a+b)\sin\varphi$. **Главные максимумы интенсивности** света при дифракции на решетке образуются при определенных углах φ , удовлетворяющих условию

$$\Delta = d\sin\varphi = m\lambda, \quad (26)$$

где Δ - оптическая разность хода между лучами, идущими от одинаковых точек соседних щелей, λ - длина падающей волны, $m = 0, 1, 2, 3 \dots$ - порядок главного максимума.

Главные минимумы на дифракционной решетке проявляются под углами, при которых свет полностью гасится при интерференции, и это условие совпадает с условием ослабления света на отдельной щели

$$b\sin\varphi = m\lambda. \quad (27)$$

Из (26) и (27) видно, что положение максимумов и минимумов интенсивности, кроме случая $m = 0$, зависит от длины волны, следовательно, белый (солнечный) свет на дифракционной решетке должен разлагаться в спектр на составляющие цвета. Чем больше длина волны, тем больше образующаяся на решетке разность оптического хода (26), тем дальше располагается соответствующий главный максимум от центрального максимума ($m = 0$). Ширина спектра зависит от постоянной решетки и увеличивается при уменьшении d .

143. Дисперсия света

А можно ли разложить белый свет в спектр без дифракционной решетки? Думаю, каждый ответит утвердительно - ведь раду, которая возникает при преломлении солнечного света в капельках воды, парящих в

атмосфере, наблюдали все. При этом слабее всего отклоняется красный свет – на $137^{\circ}30'$, а сильнее всего фиолетовый – на $139^{\circ}20'$. Получается, что **показатель преломления света зависит от цвета** или, другими словами, **от длины волны** (частоты колебаний). Это явление и **называется дисперсией света**.

Экспериментально дисперсию света на стеклянной призме изучил И. Ньютон. Он направил узкий белый луч на боковую грань призмы в темной комнате (рис. 21, а) и обнаружил на противоположной стене полосу света с радужным чередованием цветов, т. е. в результате дисперсии света белый свет разлагается в спектр. При попытке разложения выделенного из спектра красного луча на второй призме (рис. 21, б), никакого вторичного спектра обнаружено не было. Собрав линзой, вышедшие из первой призмы лучи, Ньютон получил на экране обычное белое пятно.

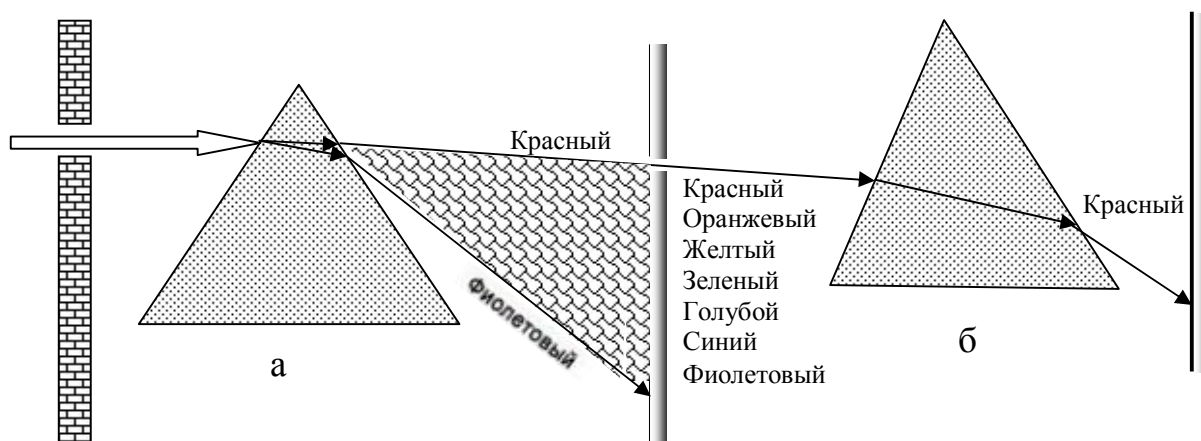


Рис. 21. опыты Ньютона по изучению дисперсии света: а - разложение белого света в спектр; б - попытка разложения красного света в спектр

Из проведенных экспериментов Ньютон сформировал следующие выводы:

- а) белый свет состоит из цветных лучей;
- б) белый свет разлагается на призме в спектр из-за различного показателя преломления у цветных лучей;
- в) при соединении всех цветных лучей спектра вновь образуется белый свет.

Остается только добавить, что в соответствии с уравнением (3) отличие показателей преломления лучей различной цветности доказывает различие скорости света этих лучей в стекле (оптической среде, плотнее вакуума).

Спектральный анализ

Используя явление дисперсии света, были разработаны методы определения химического состава различных веществ. Дело в том, что любое

твердое тело, разогретое до 500 °С, начинает светиться темно красным светом и при дальнейшем разогреве достигает белого каления, когда **спектр излучения становится сплошным - включающим все цвета радуги**. Для примера сравните цвет спирали электронагревателя и цвет нити накала в электролампе. **Такие спектры называются непрерывными (сплошными)** и характерны для твердых тел и жидкостей.

Те, кто имеет дома газовую плиту, могут провести простой эксперимент – зажечь конфорку, установить минимальный уровень огня и слегка посолить огонь обыкновенной солью. Цвет огня сразу изменится на желтый! Это пары натрия, содержавшегося в соли, показали свой спектр излучения, который состоит из одной узкой желтой линии, расположенной в определенном месте на эталоне сплошного спектра. Аналогичные **линейчатые спектры имеют тела в газообразном (атомарном) состоянии**. Т. е. при **разогреве** или пропускании электрических разрядов разреженные атомарные газы дают спектр из отдельных узких цветных линий, расположенных в различных точках эталона сплошного спектра. **Атомы каждого химического элемента излучают свой индивидуальный спектр** – неповторимый набор цветных линий, которые используют для определения состава материала, как используют отпечатки пальцев человека для идентификации личности.

Если же **тела состоят из молекул**, особенно многоатомных молекул, то их спектры излучения называются **полосатые спектры** и образуют группы близко расположенных спектральных линий – светящиеся полосы, разделенные темными промежутками.

Индивидуальность спектров и легла в основу создания **спектрального анализа - метода исследований химического состава веществ по их спектрам**.

Спектральный анализ, кроме спектров испускания, использует также **спектры поглощения** – результат разогрева атомов или молекул падающим белым светом, из которого поглощаются только те линии, которые атомы имеют в своих спектрах излучения (**правило обращения спектральных линий**). При наблюдении спектров поглощения виден сплошной спектр с темными линиями на тех местах, на которых располагаются линии спектра излучения данного атома. Спектральный анализ является точным и чувствительным методом определения химического состава материалов.

145. Поляризация света

О том, что электромагнитные волны – это поперечные волны, Вы уже знаете (см. ч. III, с. 78), но изучение видимой части спектра электромагнитных волн позволяет доказать это конкретным экспериментом. Достаточно иметь точечный источник света и две пластины **поляроида – материала, пропускающего световые волны с колебаниями, лежащими в одной плоскости**. Примером естественного поляроида является турмалин –

анизотропное прозрачное кристаллическое вещество зеленоватой окраски. Световая волна, прошедшая через первую пластину турмалина (рис.22), гасится во втором кристалле турмалина, повернутом на 90° относительно первого. Однако если убрать первый кристалл, то свет проходит через второй турмалин и достигает экрана. Если же первый кристалл вращать вокруг светового луча, то на экране будет усиливаться световое пятно, максимум которого придется на угол поворота 90° .

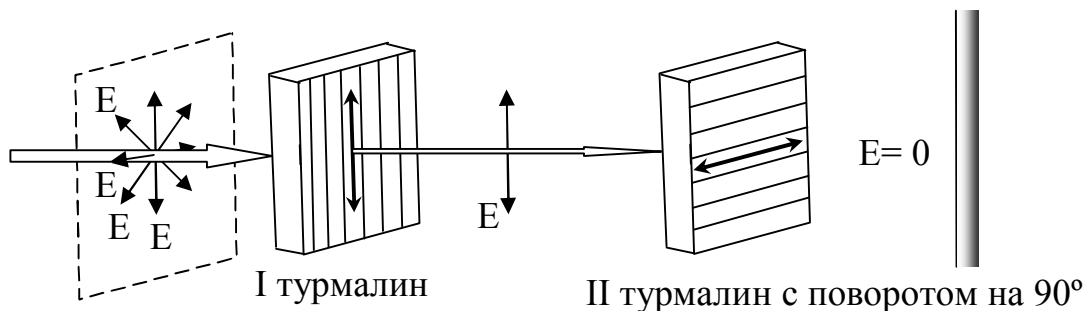


Рис. 22. Поляризация света при пропускании луча через поляризатор

Такие результаты можно объяснить, лишь предположив, что в первом кристалле турмалина происходит поляризация света – вектора напряженности электрического поля E и магнитной индукции B гасятся за исключением единственного для каждого вектора направления. При этом условие $E \perp B \perp v$ сохраняется. **Входящая в кристалла турмалина световая волна называется неполяризованной, а выходящая из кристалла – плоскополяризованной.**

Другие виды поляризации выходят за рамки нашего пособия, и о них можно узнать в дополнительной литературе. Остается отметить, что человеческие глаза не воспринимают наличие поляризации света, поэтому в отличие от пчёл мы – «дальтоники поляризации».

Раздел XVI. КВАНТОВАЯ ОПТИКА

146. Кванты света

В квантовой оптике свет рассматривается как поток особых частиц – фотонов (квантов света). **Квант света (он же фотон) – элементарная частица, существующая только в движении со скоростью света (Фотон и квант света – синонимы, чтобы вы к этому привыкли, мы в дальнейшем будем чередовать использование этих названий).** Ничего более простого, чем фотон, не существует, поэтому, как и при изучении электромагнитного поля, просто опишем свойства квантов света.

Основные характеристики фотона:

1) **Масса покоя $m_0 = 0$.** Это значит, что кванты света не могут существовать без движения, а в случае остановки «исчезают». (Как это происходит, рассмотрим ниже.)

2) **Энергия, переносимая фотоном,** может быть вычислена как

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda_0}, \quad (28)$$

где $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка, являющаяся константой – коэффициентом пропорциональности; ν – частота световой электромагнитной волны, рассматриваемой здесь как поток (переносчик) квантов света; λ_0 – длина этой световой электромагнитной волны в вакууме, c – скорость света в вакууме.

3) **Импульс фотона p ,** или его количество движения mv (в вакууме – mc), можно вычислить как

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda_0}. \quad (29)$$

4) **Масса при движении кванта света** зависит от его скорости и частоты электромагнитной волны. Используя (28) и (29), легко получить

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}. \quad (30)$$

5) **Фотон не имеет электрического заряда $q_{\text{фотона}} = 0$.**

Исходя из приведенных свойств, можно сделать вывод, что фотон – это «сгусток энергии», движущийся в пространстве. Возьмем у этого «сгустка энергии» воображаемое интервью:

– **Когда рождается фотон?**

– Фотон создается при испускании энергии атомом. При этом энергия атома уменьшается на величину энергии фотона.

– **Что делает фотон?**

– Фотон переносит энергию от одного атома к другому.

– **Когда гибнет фотон?**

– Фотон перестает существовать, когда он поглощается каким либо атомом. При этом энергия атома увеличивается на энергию фотона.

– **Как соотносятся квантовые и волновые свойства света?**

– Как Вы помните, квантовая электродинамика сняла противоречия между корпускулярной и волновой теориями распространения света. Квантовые и волновые свойства взаимно дополняют друг друга. Квантовые свойства света определяют энергию, импульс и массу каждого фотона, а волновые – описывают закономерности распределения фотонов в пространстве, т. е. определяют число фотонов в различных точках пространства.

147. Фотоэлектрический эффект

Самым известным доказательством существования фотонов является **фотоэлектрический эффект** – появление электрического тока при взаимодействии света с веществом. Различают внешний и внутренний фотоэффекты.

Внешний фотоэффект – это поглощение квантов света, сопровождаемое вылетом электронов за пределы освещаемого тела.

Внутренний фотоэффект происходит, когда электроны остаются внутри вещества и создают в нем фототок.

Подробнее для наглядности рассмотрим внешний фотоэффект. На *рис. 23*. представлена схема проведения исследования внешнего фотоэффекта и полученные экспериментальные зависимости фототока от приложенного напряжения. С аналогичной электрической схемой вы знакомились при изучении тока в вакууме (ч. III, с.46). Здесь же вместо подогрева применяется освещение катода – иной метод активации электронов. Соответственно другими оказываются и закономерности этого явления.

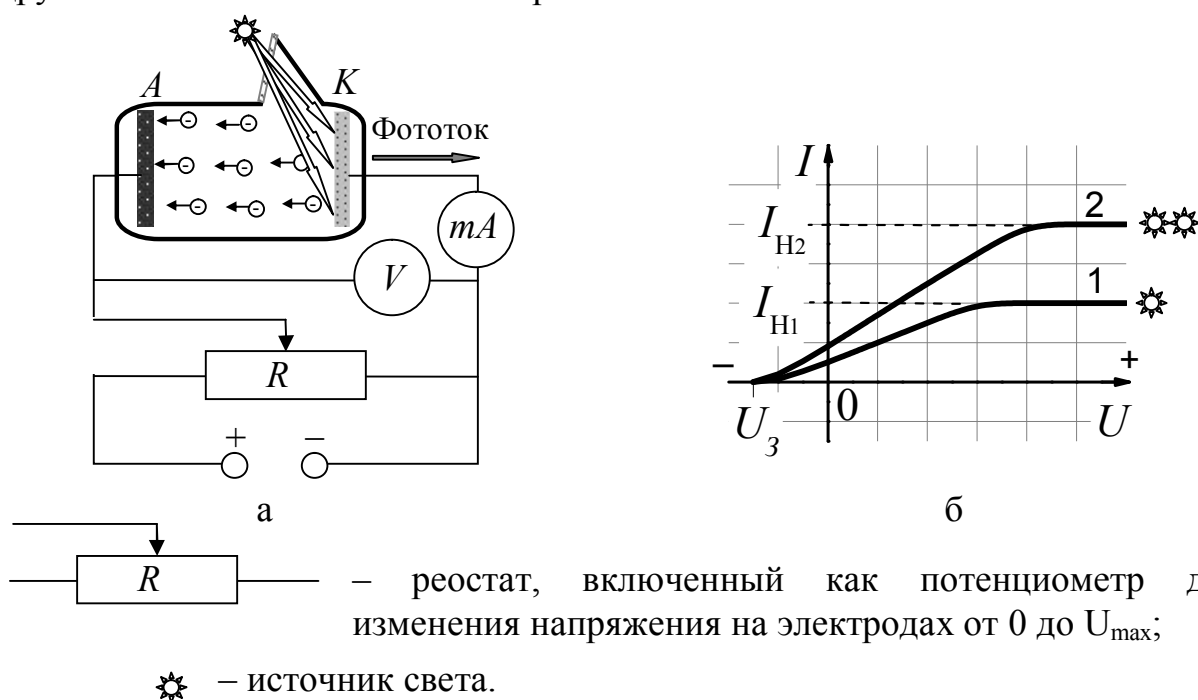


Рис. 23. Схема проведения исследования внешнего фотоэффекта (а) и полученные экспериментальные зависимости вольтамперных характеристик (ВАХ) для фототока в вакууме (вакуумном фотоэлементе) (б)

Фотоэффект можно наблюдать и без вакуума, но получить правильные вольтамперные характеристики при этом не удастся, так как на результатах измерений скажется появление дополнительных носителей тока из воздуха. Обозначения на *рис. 23* традиционные A – анод, K – катод, изготовленный из цинковой пластинки. В обычном случае при отсутствии освещения

электрический ток через миллиамперметр не идет даже при наличии разности напряжений между анодом и катодом – в вакууме нет свободных носителей тока. Если же через прозрачное окно осветить катод, то возникнет электрический ток, следовательно, в вакууме появляются свободные носители – электроны, вылетающие с поверхности цинка при его освещении. Такие носители назвали фотоэлектронами, а направленное движение фотоэлектронов в электрическом поле – фототоком.

148. Законы внешнего фотоэффекта

Теперь рассмотрим *рис. 23, б*. Здесь все очень похоже на ВАХ тока в вакууме. Если плавно увеличивать напряжение между анодом и катодом, то при определенном **напряжении насыщения** U_H фототок перестает расти, достигая значения **фототока насыщения** I_H . Следовательно, при напряжении U_H все электроны, вылетевшие с катода, достигают анода и ток насыщения равен по величине

$$I_H = e \cdot n, \quad (31)$$

где e – величина заряда электрона, n – число электронов, вылетевших из катода за 1 с. Если усилить освещенность катода, к примеру, добавив еще одну такую же лампу, то фототок насыщения (31) возрастет $I_{H_1} < I_{H_2}$ (*рис. 23, б*).

Эти исследования позволили сформулировать **первый закон фотоэффекта:**

количество фотоэлектронов, вырываемых за 1 с с поверхности катода, и сила фототока прямо пропорциональны освещенности катода.

Попробуем теперь снять напряжение между катодом и анодом ($U = 0$), но сохраним освещенность катода. Миллиамперметр покажет небольшой ток, идущий по цепи, следовательно, некоторые фотоэлектроны достигают анода. Если плавно увеличивать обратное напряжение (подавать плюс на катод), то **при определенном запорном напряжении**

$$U_3 = \frac{m_e v_{\max}^2}{2e}, \quad (32)$$

где m_e – масса электрона, e – заряд электрона, v_e^2 – максимальная начальная скорость движения электронов, **фототок прекратится** $I = 0$. Изменение интенсивности света не сказывается на величине запорного напряжения. Дальнейшее увеличение обратного напряжения никаких изменений не вызовет, тока не будет.

Проведение более сложных экспериментов показало, что **скорость фотоэлектронов возрастает с увеличением частоты света, не зависит от освещенности и определяется поверхностью металла. Это утверждение назвали вторым законом фотоэффекта.**

При плавном увеличении частоты света, падающего на катод, было обнаружено, что фототок появляется при достижении определенной частоты света, которая для каждого материала катода различна. Эти результаты легли в основу **третьего закона фотоэффекта: Каждый металл имеет порог фотоэффекта (красную границу) – наименьшую частоту света ν_{\min} , при которой возможен фотоэффект.**

149. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

Экспериментально законы фотоэффекта открыли и сформулировали, но для их теоретического объяснения понадобился гений Эйнштейна, которому удалось разобраться в механизме фотоэффекта. Последуем за Эйнштейном и воспользуемся результатами его гениальной работы:

- 1) чтобы вырвать электрон из металла, необходимо совершить работу (По аналогии: чтобы оторвать у соседа пуговицу, тоже надо совершить работу.);
- 2) электрон, вырываясь из металла, совершает работу выхода $A_{\text{ВЫХ}}$, которая, как любая работа, измеряется в Дж. (По аналогии: равносильно работе человека по вылезанию из болотной трясины.);
- 3) чтобы вырваться из металла, электрон должен «поймать» фотон и поглотить его энергию $h\nu$. Электрон сможет вырваться из металла, если $h\nu \geq A_{\text{ВЫХ}}$. Если $h\nu < A_{\text{ВЫХ}}$, электрон останется в металле (По аналогии: если энергия, с которой Вы отрываете соседу пуговицу, больше энергии, с которой она была пришита, пуговица оторвется. Если же Ваша энергия меньше – пуговица останется на месте. Аналогию с болотной трясиной продумайте самостоятельно.);
- 4) если $h\nu \geq A_{\text{ВЫХ}}$, то энергия $E = h\nu - A_{\text{ВЫХ}}$ становится кинетической энергией электрона, с которой он начинает свое движение к аноду, поэтому

$$h\nu - A_{\text{ВЫХ}} = \frac{m_e v_{\text{max}}^2}{2} \quad \text{или} \quad h\nu = A_{\text{ВЫХ}} + \frac{m_e v_{\text{max}}^2}{2}. \quad (33)$$

Уравнение (33) носит название уравнение Эйнштейна для фотоэффекта (По аналогии: кинетическая энергия, с которой пуговица соседа отлетает от его одежды определяется разностью энергий пришивания и отрывания пуговицы.);

- 5) Минимальная энергия фотона, при которой начнется фотоэффект, определяется из (33) для случая $\frac{m_e v_{\text{max}}^2}{2} = 0$

$$\text{и } h\nu_{\min} = A \Rightarrow \nu_{\min} = \frac{A}{h}. \quad (34)$$

Минимальная частота световой волны ν_{\min} называется красной

границей фотоэффекта. (По аналогии: человек вылез из болотной трясины, но нет сил двигаться дальше.);

- б) используя уравнения (31) – (34), можно записать уравнение Эйнштейна для фотоэффекта в иной форме, полезной для решения некоторых задач

$$h\nu = A_{\text{ВЫХ}} + eU_3 \quad \text{или} \quad h\nu = h\nu_{\text{min}} + eU_3. \quad (35)$$

Применение фотоэффекта, на основе которого работают фотоэлементы, весьма разнообразно. Фотосопротивления и фотореле используют и в быту, и на транспорте, и в космосе.

150. Давление света

Давление света можно рассматривать с квантовой и электромагнитной точек зрения.

С точки зрения квантовой оптики, давление света – это следствие передачи импульса \vec{p} (29) от фотона к атомам поверхности, на которую падает свет. Величина светового давления очень мала, поэтому обнаружить его достаточно сложно. Действие импульса фотона \vec{p} аналогично давлению газа на поверхность тел, которое нами подробно изложено во II части пособия (ч. II, с. 12). Давление света на идеально отражающую зеркальную поверхность в два раза превышает давление на абсолютно поглощающую поверхность, называемую абсолютно черным телом (как и должно быть в соответствии с законом сохранения импульса). Следовательно, существование давления света является прямым доказательством того, что фотоны обладают импульсом, а закон сохранения импульса справедлив не только для вещества в обычном состоянии, но и для квантов света.

С точки зрения электромагнитной природы света, давление света – это результат действия силы Лоренца (ч. III, с.58) на электроны, находящиеся на освещенной поверхности тела и колеблющиеся под действием электромагнитной волны.

Уравнения, описывающие закономерности давления света на поверхность тел, впервые были получены именно на основе электромагнитной теории света, а затем подтверждены исходя из квантовых представлений.

В заключение напомним про **химическое действие света – фотосинтез** и почернение фотослоя, за счет расщепления молекул под действием света.

Раздел XVII. АТОМНАЯ ФИЗИКА

151. Ядерная модель атома

Ядерная (планетарная) модель атома – это модель структуры атома, в которой весь **положительный заряд сосредоточен в ядре, окруженном облаком отрицательно заряженных электронов.**

Диаметр ядра очень мал и примерно равен $d_{\text{ЯДРА}} \approx 10^{-15} - 10^{-14}$ м. Однако за диаметр самого атома принимают диаметр электронного облака, которое значительно (в десятки тысяч раз!) превосходит диаметр ядра и составляет $d_{\text{ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛАКА}} \approx 10^{-10}$ м.

Почему эту модель иногда называют планетарной? Согласно данной модели в центре атома находится тяжелое положительно заряженное ядро, вокруг которого, как планеты вокруг солнца, движутся по своим орбитам электроны.

Атом электрически нейтрален, следовательно, количество положительных зарядов в атоме должно быть равно количеству отрицательных зарядов или, другими словами, сумма всех зарядов атома равна нулю $\sum q_{i \text{ В АТОМЕ}} = 0$.

Как же удалось установить структуру столь малых размеров? Это был долгий путь поиска, ошибок и догадок, но в основу современной модели атома легли результаты опытов Резерфорда.

152. Опыты Резерфорда

Резерфорд изучал особенности прохождения альфа-частиц через тонкую золотую фольгу. Золотую фольгу Вы неоднократно видели на шпильях и куполах соборов, а вот альфа-частицу увидеть Вам явно не удавалось. **Альфа-частица** – это ядро атома гелия, т. е. частица, положительно заряженная удвоенным зарядом электрона и имеющая массу $6,7 \cdot 10^{-27}$ кг. Такие частицы с огромной скоростью $v = \frac{c}{15}$ и энергией примерно $6,5 \cdot 10^{-13}$ Дж непрерывно испускают, к примеру ядра урана. Этим и воспользовался Резерфорд (*рис. 24*).

Он поместил кусочек радиоактивного вещества (излучатель альфа-частиц) в свинцовый контейнер (найдите его на *рис. 24* и обозначьте цифрой 1). Вылетающие из контейнера альфа-частицы (обозначьте цифрой 2 на *рис. 24*) Резерфорд направил на тонкую золотую фольгу (обозначьте цифрой 3). Попадая на фольгу, альфа-частицы рассеивались и, разлетаясь в разные стороны, попадали на экран (обозначьте его цифрой 4), вызывая вспышки (сцинтилляции, которые обозначьте цифрой 5). Резерфорд визуально подсчитал, что за секунду из излучателя в одну тысячную грамма вылетает 130 000 альфа-частиц.

Наблюдения показали также, что большинство альфа-частиц при рассеянии проходят через фольгу и слабо отклоняются от начального направления. Однако встречаются редкие случаи (примерно один на две тысячи), когда частицы отражаются от фольги в обратном направлении (выделите их на *рис. 24* цветом). Эти случаи отражения потрясли Резерфорда, так как по тогдашним представлениям это было так же правдоподобно, как отскок пушечного ядра обратно от куска папиросной бумаги.

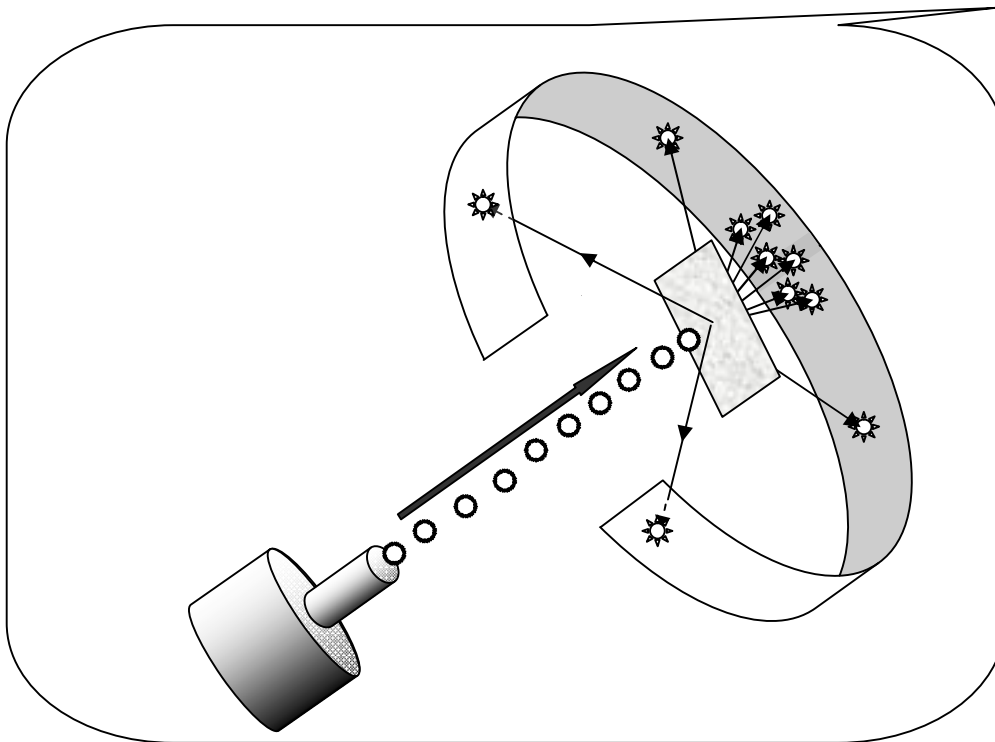


Рис. 24. Схема опытов Резерфорда

Отклонение альфа-частиц в опытах Резерфорда нельзя объяснить влиянием электронов – их масса слишком мала, чтобы оказывать существенное влияние на движение тяжелых альфа-частиц. Следовательно, отражения от золотой фольги вызваны взаимодействием с положительно заряженными частицами, имеющими массу, значительно превосходящую массу альфа-частиц.

Анализируя полученные результаты, **Резерфорд выдвинул модель существования положительно заряженного атомного ядра, окруженного облаком электронов.** В рамках такой модели можно достаточно просто объяснить отражения альфа-частиц от золотой фольги. Масса электрона меньше массы альфа-частицы в 2000 раз, поэтому электронное облако не создает трудностей для дальнейшего движения частиц. **При прохождении на большом расстоянии от ядра атома золота, расположенного в фольге, альфа-частица слабо отклоняется от начального направления,** так как силы взаимодействия быстро убывают с увеличением расстояния. Однако **при прохождении на малом расстоянии от ядра атома золота альфа-частица сильно отклоняется от начального направления,** так как силы взаимодействия быстро возрастают с уменьшением расстояния. Соотношения размеров ядер атомов и расстояний между ними определяет вероятность того или иного отклонения альфа-частиц. Наименее вероятным событием является

отражение альфа-частицы от золотой фольги в обратном направлении, которое возможно только в случае прямого попадания частицы на ядро атома золота, значительно превосходящее альфа-частицу по массе.

Выдвинутая модель, однако, вступала в противоречия с известными на тот момент законами электромагнетизма. Так, в частности, отрицательные электроны должны были со временем падать на положительное ядро в результате электростатического притяжения или электромагнитного излучения при движении электронов с центростремительным ускорением по орбитам вокруг ядра.

Для снятия противоречий с классическими представлениями об электромагнитных взаимодействиях и объяснения стабильности существования атомов по модели Резерфорда, пришлось прибегнуть к постулатам.

153. Постулаты Бора

Что такое постулат? Это утверждение, принимаемое в рамках научной теории за истинное и играющее в данной теории роль аксиомы. Надеемся, что с аксиомами в математике Вы уже сталкивались, пришло время познакомиться с аксиомами в физике.

Постулаты Бора не отвергали законов классической физики, но в своей основе противоречили ей.

Первый постулат можно сформулировать так: **В атоме существуют стационарные состояния, соответствующие стационарным орбитам, по которым движутся электроны.**

Что тут нового?

- 1) В стационарном состоянии атом в целом и его электроны в частности не излучают электромагнитных волн (не излучают энергию);
- 2) Каждому стационарному состоянию атома соответствует определенное значение энергии;
- 3) Каждому стационарному состоянию атома соответствуют определенные стационарные орбиты его электронов.

Второй постулат говорит о том, что **при переходе из стационарного состояния с большей энергией в другое стационарное состояние с меньшей энергией атом испускает один квант света**, энергия которого равна разности энергий в стационарных состояниях атома:

$$h\nu_{12} = E_1 - E_2. \quad (36)$$

Если атом поглотит фотон, то он перейдет в стационарное состояние с большей энергией (займет более высокий уровень энергии). Но в соответствии с первым постулатом набор стационарных орбит строго определен, поэтому атом может поглощать фотоны только с такими частотами, с которыми он их излучает. Это согласуется с правилом обращения спектральных линий, рассмотренным нами ранее.

154. Элементы квантовой механики

Если учесть, что уравнение (29) является универсальным для любых материальных объектов, то движение электрона можно описать не только импульсом и энергией, но и частотой или длиной волны де Бройля:

$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda_B}$. Тогда из постулатов Бора можно сформулировать правило

квантования орбит: **на длине окружности каждой стационарной орбиты радиуса r должно укладываться целое число длин волн де Бройля, соответствующих движению электрона:**

$$\frac{2\pi r}{\lambda_B} = n, \quad (37)$$

а момент импульса электрона при переходе с одной орбиты на другую меняется дискретно

$$L = m_e v r = n\hbar, \quad (38)$$

где n – главное квантовое число (совпадает с номером уровня энергии), $n = 1, 2, 3, \dots$, $\hbar = h/2\pi = 1.05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, v – скорость электрона на орбите, r – радиус орбиты.

Если учесть, что энергия электрона в атоме складывается из его кинетической энергии и потенциальной энергии кулоновского взаимодействия, используя (36) – (38) можно получить для частоты излучения при переходе атома на другой стационарный уровень

$$\nu_{mn} = RZ^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (39)$$

где R – константа (постоянная Ридберга); Z – порядковый номер атома; m, n ($m > n$) – энергетические состояния атома, меняющиеся при изменении орбит электронов.

Совокупность излучательных квантовых переходов, описываемых уравнением (39), с нижних уровней энергии на верхние образует спектр поглощения атома или молекулы. Совокупность переходов с верхних уровней на нижние – их спектр испускания.

Лазер

Открытие законов квантовой оптики и ядерной физики существенно сказалось на техническом перевооружении человечества и привело к созданию лазеров. **Лазер – это квантовый оптический генератор.** Прежде чем двинуться дальше и разобраться в механизме работы лазеров, попробуем ответить на простой вопрос: **"Зачем он нужен, этот лазер?"**

1) *Предпосылки.* Вы, конечно, помните, принципы радиосвязи (ч. III. с. 80). Для передачи информации по радио и телевидению

необходим, прежде всего, колебательный контур – генератор несущей частоты электромагнитной волны, создающий через усилитель и антенну когерентные волны. **При уменьшении длины волны объем информации, которую можно разместить на несущей волне, увеличивается.** Так как частота колебаний световой волны в миллион раз больше частоты УКВ, то **по световому каналу связи можно передавать одновременно в миллион раз больше информации.** Кроме того, по законам дифракции наименьший размер сфокусированного пятна равен длине волны, поэтому в отличие от радиоволн **световую волну можно сфокусировать на площади в 1 мкм.**

- 2) *Проблемы.* **Всё сказанное выше** хорошо, интересно и правильно, но **относится только к когерентным волнам.** А **обычные источники света** (солнце, лампы, свечи) **излучают** не когерентные волны, а «**световой шум**» – набор гармонических колебаний, имеющих различные частоты, фазы которых хаотично изменяются во времени.
- 3) *Вывод.* Для использования новых возможностей света **необходимо создать новый вид источника** – квантовый оптический генератор, **который бы излучал когерентные световые волны** и обеспечил работу оптических линий связи (куда без них интернету!?) и точную фокусировку луча (лазерный скальпель). Конечно, у лазеров могут быть и другие применения, но надеемся, теперь Вам ясно, зачем нужен лазер.

Осталось кратко рассмотреть принцип его работы.

Во-первых, необходимо **создать** внутри лазера **активную среду** – состояние газа или кристалла, при котором **число атомов на более высоком энергетическом уровне больше числа атомов на уровне с меньшей энергией** (в естественных условиях это никогда не выполняется). Активная среда создается получением материалов с нужными свойствами.

Во-вторых, необходимо **создать обратную связь** – управлять излучением атомов при помощи части световой энергии, остающейся внутри лазера. Это достигается при помощи непрозрачного и полупрозрачного зеркал, ограничивающих по торцам активную среду.

В-третьих, **усиление света** в активной среде **должно быть выше порогового значения**, определяемого коэффициентом отражения полупрозрачного зеркала.

При выполнении всех трех условий кванты света, перемещаясь по активной среде между зеркалами, формируют излучение вдоль оси активной среды и через полупрозрачное зеркало выпускают наружу когерентные световые волны. Оказывается, что в лазере всё просто!

Раздел XVIII. ЭЛЕМЕНТЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

156. Постулаты специальной теории относительности

Специальная теория относительности Эйнштейна – это новое учение о пространстве и времени, пришедшее на смену старым классическим представлениям. К моменту создания специальной теории относительности стало ясно, что скорость света во всех инерциальных системах отсчета одинакова и Эйнштейну пришлось отказаться от классических представлений о пространстве и времени, чтобы примирить принцип относительности Галилея и законы Максвелла. Получалось, что имевшиеся на тот момент классические представления о пространстве и времени оказывались несправедливыми при больших скоростях по причине невозможности мгновенно передавать сигналы из одной (•) в другую. Требовалось разработать принципиально новые подходы к пониманию процессов, происходящих при скоростях, сравнимых со скоростями света.

В основу своей теории Эйнштейн положил два постулата:

- ✓ **Главный постулат: все процессы природы протекают одинаково в любой инерциальной системе отсчета.** Это означает, что во всех инерциальных системах физические законы имеют одинаковую форму.
- ✓ **Второй постулат: Скорость света в вакууме одинакова для всех инерциальных систем отсчета.** Она не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приемника светового сигнала.

157. Относительность промежутков времени

Конечность скорости света привела к открытию относительности одновременности событий и отказу от представления об абсолютном времени, текущем независимо от материи и её движения. Посмотрите на уравнение

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (40)$$

где τ_0 – промежуток времени некоего события в системе отсчета, неподвижной относительно происходящего события (к примеру – вспышка для космонавта в скоростной ракете, несущейся мимо Земли), τ – промежуток времени этого события в системе отсчета, относительно которой происходящие события движутся со скоростью v (к примеру – эта вспышка в ракете для наблюдателя на Земле), c – скорость света. Сравним, исходя из уравнения (40), промежутки времени τ и τ_0 для двух крайних случаев.

Сначала рассмотрим ситуацию с ракетой, неподвижной относительно Земли, скорость ракеты $v = 0$, следовательно, знаменатель в (40) равен

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{1 - \frac{0}{c^2}} = \sqrt{1} = 1, \text{ и } \tau = \tau_0.$$

Вывод. Для взаимно неподвижных тел **во всех инерциальных системах промежутки времени одинаковы.** Этот вывод можно распространить на все случаи, с которыми мы сталкиваемся на Земле, **когда $v \ll c$.**

Теперь рассмотрим противоположную ситуацию, когда мимо Земли пролетает ракета со скоростью света $v = c$. В этом случае знаменатель в (40) равен

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{1 - \frac{c^2}{c^2}} = \sqrt{1 - 1} = 0$$

и время $\tau \rightarrow \infty$. Что значит $\tau \rightarrow \infty$? Это значит, что время на ракете, летящей со скоростью света мимо Земли, для наблюдателя на Земле остановится. Этот случай уже ни на что не распространяешь.

Однако ясно, что для скоростей, близких к скорости света $v \approx c$, $\tau \gg \tau_0$. Рассмотрим это на наглядном примере. Пусть на ракете, летящей мимо Земли со скоростью $v = 0,995c$, космонавт по своим часам подал трехсекундный сигнал ($\tau_0 = 3$ с). Наблюдатель на Земле по своим часам обнаружит, что длительность этого сигнала составляет 30 секунд ($\tau = 30$ с, получите этот результат сами из уравнения (40)). Следовательно, для наблюдателя с Земли все процессы, происходящие в такой ракете, покажутся в 10 раз медленнее, чем для космонавта, потому что на Земле будет проходить в 10 раз больше времени, по сравнению с событием в ракете. Отсюда возникает парадокс близнецов, один из которых улетел на такой ракете и вернулся по часам на ракете через 2 года полетов. На Земле его будет встречать брат-близнец, постаревший на 20 лет. **Этот эффект называется релятивистским замедлением времени.**

158. Относительность длины тел

Как это относительность длины, могут возмутиться некоторые. Неужели короткий может быть длиннее длинного? Может. Взгляните на выражение (41), описывающее зависимость длины тела от скорости движения объекта относительно неподвижного наблюдателя

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (41)$$

где l_0 – длина тела в системе отсчета, неподвижной относительно наблюдателя (например, размеры тела для космонавта в скоростной ракете, несущейся мимо Земли), l – длина тела в системе отсчета, в которой мимо наблюдателя со скоростью v движется объект наблюдения (например, размеры тела

космонавта для наблюдателя на Земле), c – скорость света. Используя тот же подход, что и ранее, рассмотрим сначала ситуацию с неподвижной ракетой ($v = 0$). Из выражения (41) получим

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = l_0 \sqrt{1 - \frac{0}{c^2}} = l_0 \sqrt{1} = l_0 \Rightarrow l = l_0.$$

Вывод. Для взаимно неподвижных тел **во всех инерциальных системах длина тела одинакова.** Этот вывод можно распространить на все случаи, с которыми мы сталкиваемся на Земле, **когда $v \ll c$.**

Теперь рассмотрим противоположную ситуацию, когда мимо Земли пролетает ракета со скоростью света $v = c$. В этом случае из (41) получим

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = l_0 \sqrt{1 - \frac{c^2}{c^2}} = l_0 \sqrt{1 - 1} = 0 \Rightarrow l = 0.$$

Что значит $l = 0$? Это значит, что наблюдатель на Земле не сможет разглядеть тело,двигающееся мимо Земли со скоростью света.

При скоростях ракеты, близких к скорости света $v \approx c$, $l \ll l_0$.

Рассмотрим это на наглядном примере. Пусть на ракете, летящей мимо Земли со скоростью $v = 0,995c$, космонавт ростом 2 м и шириной плеч 50 см лежит на боку вдоль направления движения. Наблюдатель на Земле, измеряя своим прибором рост космонавта, обнаружит, что его рост 20 см (получите этот результат сами из уравнения (41)), а измеряя ширину плеч, получит 50 см, так как уравнение (41) справедливо только для длин тел, т. е. для размеров в направлении движения. Космонавт наблюдателю покажется шире, чем выше!!! Если в следующей ракете, летящей с такой же скоростью, космонавт того же роста и той же ширины плеч будет стоять лицом к наблюдателю на Земле, то при измерении роста наблюдатель получит результат 2 м, а при измерении ширины плеч – 5 см. **Это явление называется лоренцевым сокращением длины.**

159. Релятивистский закон сложения скоростей

Получив выражения для длины и интервала времени можно перейти к записи выражения для скоростей и релятивистскому правилу их сложения. Рассмотрение этого закона проведем на простейшем случае.

В ракете, пролетающей мимо Земли со скоростью v , перемещается космонавт со скоростью u_0 в направлении движения ракеты. Как вычислить значения скорости космонавта, которые должен получить наблюдатель, находящийся на Земле? Обозначив скорость космонавта относительно Земли за u_k , необходимо провести вычисления по релятивистскому закону

$$v_K = \frac{v_0 + v}{1 + \frac{v_0 v}{c^2}}. \quad (42)$$

Если скорость ракеты v и космонавта v_0 много меньше скорости света, то знаменатель в (42) стремится к 1, и тогда получаем знакомый случай классического сложения скоростей $v_K = v_0 + v$.

Если обе скорости равны скорости света $v_0 = v = c$, то из (42) получим

$$v_K = \frac{v_0 + v}{1 + \frac{v_0 v}{c^2}} = \frac{c + c}{1 + \frac{cc}{c^2}} = \frac{2c}{2} = c;$$

v_K равна скорости света и никак не может превысить её. В промежуточных случаях результат расчета v_K будет варьироваться от 0 до c . Обобщая полученные нами результаты, можно сформулировать общий вывод специальной теории относительности: **скорость света c является максимальной скоростью для перемещения материальных объектов.**

160. Зависимость массы от скорости

Как!? Удивятся некоторые, неужели и масса не абсолютна, а зависит от скорости? Да, и это особенно печально для тех, кто мечтает избавиться от лишнего веса. Выражение (42) описывает зависимость массы тела от скорости движения объекта относительно неподвижного наблюдателя

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (43)$$

где m_0 – масса в системе отсчета, неподвижной относительно наблюдателя (к примеру – масса тела для космонавта в скоростной ракете, несущейся мимо Земли), m – масса тела, движущегося мимо наблюдателя со скоростью v (к примеру – масса тела космонавта для наблюдателя на Земле), c – скорость света.

Рассмотрим конкретные примеры. Если ракета неподвижна, $v = 0$, то из выражения (43) получаем $m = m_0$ (докажите это сами). Вывод: для взаимно неподвижных тел **во всех инерциальных системах масса тела одинакова.** Этот вывод можно распространить на все случаи, с которыми мы сталкиваемся на Земле, **когда $v \ll c$.**

Теперь рассмотрим противоположную ситуацию, когда мимо Земли пролетает ракета со скоростью света $v = c$. В этом случае из (43) получим $m \rightarrow \infty$ (получите это самостоятельно). Что значит $m \rightarrow \infty$? Это значит, что при достижении скорости света тело начинает обладать бесконечно большой массой, следовательно, ускорение тела стремится к нулю, $a \rightarrow 0$, и дальнейшего увеличения скорости не наблюдается. Получается, чем быстрее

Вы будите бегать перед наблюдателем, тем большей ему будет казаться ваша масса. Так что согласно специальной теории относительности сбросить вес скоростным бегом не удастся (☺).

161. Основной закон релятивистской динамики

Используем полученные в уравнении (43) сведения об изменении массы при изменении скорости тел для записи импульса тела, движущегося мимо наблюдателя со скоростью v ,

$$\vec{p} = m\vec{v} = \frac{m_0\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (44)$$

Надеемся, в уравнении (44) нет ничего для Вас нового. Теперь, используя главный постулат специальной теории относительности, запишем второй закон Ньютона в импульсной форме

$$\frac{\square \vec{p}}{\square t} = \vec{F}. \quad (45)$$

Это выражение (45) и есть **основной закон релятивистской динамики**. Только в отличие от классической динамики Ньютона импульс тела \vec{p} описывается здесь выражением (44).

162. Связь между массой и энергией

Полная энергия физического тела пропорциональна его массе. Это утверждение записывается **уравнением Эйнштейна** для закона взаимосвязи массы и энергии

$$E = mc^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (46)$$

Из (46) следует, что **наименьшим значением энергии E_0 тело будет обладать при скорости $v = 0$.** Такая энергия называется **энергией покоя**

$$E_0 = mc^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{0}{c^2}}} = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1}} = m_0c^2 \quad \Rightarrow \quad E_0 = m_0c^2 \quad (47)$$

Раз масса и энергия взаимосвязаны (46), (47), следовательно, **изменение энергии тела ведет к изменению его массы**

$$\square m = \frac{\square E}{c^2}. \quad (48)$$

Получается, чем выше энергия тела, тем больше его масса, однако, чтобы обнаружить изменение массы, необходимо, чтобы $\Delta E \sim c^2$. Так что тех, кто

собирается подзаработать, покупая товар на вес зимой, а продавать его летом, в надежде на выигрыш в массе, ждет разочарование. А вывод (48) нам придется учитывать при изучении следующего раздела – ядерной физики.

Раздел XIX. ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

163. Состав ядра атома

В предыдущем разделе мы выяснили, что энергетический уровень атома определяется уровнем энергий его электронов. А что же ядра? Могут ли с ними происходить какие-то изменения? Прежде чем ответить на поставленные вопросы, давайте познакомимся с составом ядер.

Ядра атомов состоят из положительно заряженных протонов и не имеющих заряда нейтронов. Протон – элементарная частица, имеющая массу $m_p = 1836m_{\text{ЭЛЕКТРОНА}}$ и положительный электрический заряд, равный по величине заряду электрона $q_{\text{ПРОТОНА}} = |e|$. Количество протонов в атоме обозначается Z и совпадает с его атомным номером в таблице Менделеева. Если два атома отличаются количеством протонов, то это атомы разных химических веществ, так как имеют различные номера в периодической таблице.

Нейтрон – элементарная частица, имеющая массу примерно равную массе протона $m_n \approx m_p$ и не имеющая электрического заряда. Количество нейтронов в атоме обозначается N .

Обе частицы имеют **общее название – нуклоны.** Количество нуклонов в атоме обозначается A и равно сумме количества протонов и нейтронов $A = Z + N$. Соответственно масса ядра атома M_A складывается из массы протонов Zm_p и массы нейтронов Nm_n : $M_A = Zm_p + Nm_n$. Плотность ядерного вещества неимоверно высока $\rho_{\text{ЯДРА}} = \frac{M_A}{V_A} = 1,3 \cdot 10^8 \text{ кг/мм}^3$. Чтобы представить такую

ужасающую плотность, предположим невероятное – нам удалось собрать и плотно упаковать ядра некоторых атомов, попавшихся под руку. Получился 1 мм³ – булавочная головка. Какова будет масса такой булавочной головки из ядер атомов? 130 тысяч тонн!!! Если эту «фитньюлку» положить на поверхность, она создаст давление 10¹³ атмосфер, т. е. пройдет насквозь через любые тела к центру Земли. Этот пример показывает насколько «рыхлые» тела окружают нас с Вами, ведь плотность самого тяжелого металла – ртути составляет всего $\rho_{\text{РТУТИ}} = 1,36 \cdot 10^5 \text{ кг/мм}^3$. Эта «рыхлость» для плотноупакованных одноатомных материалов демонстрирует соотношение объема атома и объема ядра этого атома.

Если два атома отличаются только количеством нейтронов, то это атомы одного и того же химического элемента, так как имеют один номер в таблице Менделеева. Такие атомы называются **изотопами**. Следовательно,

изотопы имеют ядра с одинаковым числом протонов, но разным числом нейтронов. Масса и радиоактивные свойства атомов у изотопов различны, несмотря на общий порядковый номер в Периодической таблице.

164. Ядерные силы

Надеемся, Вы помните из предыдущей части пособия, что **положительные заряды (читай – протоны!) отталкиваются друг от друга тем сильнее, чем ближе находятся**. И эти силы отталкивания значительно превосходят силы гравитационного притяжения протонов друг к другу. Почему же ядра атомов сохраняются длительное время, если электростатические силы разрывают их на отдельные нуклоны? Физики нашли простой ответ – раз ядра атомов существуют, значит, существуют доселе неизвестные силы, которые удерживают в них нуклоны. Назвали эти силы ядерными. Следовательно, **ядерные силы – это силы, действующие между нуклонами в атомном ядре**.

Как у любого нового явления, не сводимого к ранее известным, сформулируем свойства ядерных сил:

- 1) Это **особый вид сил** (не сводится к ранее известным).
- 2) Это **короткодействующие силы** с радиусом действия $r \leq 2 \cdot 10^{-15}$ м. Поэтому каждый нуклон взаимодействует ядерными силами с ограниченным числом ближайших соседей, а не со всеми нуклонами в ядре.
- 3) Эти силы **не зависят от наличия электрического заряда**. Ядерные силы между протонами равны ядерным силам между нейтронами и равны силам взаимодействия пары протон – нейтрон.
- 4) Это **нецентральные силы**, т. к. они зависят не только от расстояния между нуклонами, но и от ориентации спинов относительно линии, соединяющей нуклоны (спин можно представить как направление вращения нуклона вокруг своей оси).
- 5) Эти силы **имеют обменный характер**, то есть взаимодействие нуклонов связано с обменом между ними особой элементарной частицей, названной π -мезоном.

165. Энергия связи атомных ядер

Раз ядерные силы работают в ядре, значит, для удаления из ядра одного нуклона, необходимо совершить работу против ядерных сил. Эта работа и будет равна энергии связи нуклона в ядре.

Энергия связи НУКЛОНА в ядре численно равна работе, которую нужно совершить для удаления нуклона из ядра без сообщения ему кинетической энергии. Иногда её называют **удельная энергия связи**.

Энергия связи ВСЕГО АТОМНОГО ядра ОТРИЦАТЕЛЬНА и численно равна работе, которую надо совершить для **расщепления ядра на составляющие его нуклоны** без сообщения им кинетической энергии.

Получается, что энергия связи атомных ядер – это разность между суммой энергий протонов и нейтронов в ядре и их энергией в свободном состоянии. Отсюда возникает важное следствие – если расщепить атом на отдельные нуклоны, то энергия связи этого ядра станет равна нулю, т. е. она должна выделиться в каком-то виде при расщеплении атома. Вот она – атомная энергия!

$$\Delta E_{\text{связи}} = \sum E_{\text{нуклонов в ядре}} - \sum E_{\text{свободных нуклонов}} \quad (49)$$

Так как энергия ниоткуда не возникает и никуда не исчезает, а лишь перераспределяется между телами, следовательно, энергия связи атомных ядер должна проявить себя после распада ядра на величину $\Delta E_{\text{связи}}$. И это проявление согласно (48) обнаружилось! Оказалось, что существует разность между суммарной массой всех нуклонов в свободном состоянии и массой ядра. Эту разность назвали дефектом массы ΔM :

$$\Delta M = \sum m_{\text{свободных нуклонов}} - M_{\text{ядра}} = (Zm_p + Nm_n) - M_{\text{ядра}}. \quad (50)$$

Используя (48) – (50) можно написать

$$\Delta M = \frac{\Delta E_{\text{связи}}}{c^2}. \quad (51)$$

Из уравнения (51) следует, что **дефект массы служит мерой изменения энергии связи атомных ядер.**

166. Виды радиоактивных излучений

Мы выяснили, что ядра атомов в общем случае имеют сложную структуру. Но, оказывается, что ядра атомов некоторых химических элементов проявляют нестабильность и могут превращаться в ядра других химических элементов, сопровождая превращение различными видами излучения. Такое свойство назвали радиоактивностью. Различают **два вида радиоактивности**:

искусственная – радиоактивность изотопов, полученных в результате ядерных реакций;

естественная радиоактивность – самопроизвольное превращение ядер изотопов в ядра другого химического элемента, которое сопровождается α -, β - и γ -излучениями.

Что такое α -излучение? Данное излучение несет положительный заряд и состоит из положительно заряженных частиц, несущих удвоенный заряд электрона. Следовательно α -излучение – это поток ядер гелия, которые обозначаются в ядерных реакциях ${}^2_4\text{He}$, где 2 – количество протонов в α -частице, а 4 – количество нуклонов в ней. Ядра гелия и α -частицы – синонимы

в ядерной физике. Испускание α -частиц принято называть α -распадом – процессом спонтанного освобождения от избыточного числа протонов.

Что такое β -излучение? Это поток быстрых электронов с энергией порядка $E \sim 10$ МэВ, т. е. со скоростями, близкими к скорости света $v \approx c$. Испускание β -частиц принято называть β -распадом – процессом спонтанного освобождения ядер изотопов от избыточного числа нейтронов.

Что такое γ -излучение? Это жесткое высокочастотное электромагнитное излучение (см. табл. 1) с наибольшей проникающей способностью, возникающее при переходе ядра из возбужденного состояния в энергетически более низкое.

Как различить эти виды излучения? Надо использовать различие их электрических свойств и поместить излучение от радиоактивного источника в магнитное поле. Тогда сила Лоренца на α - и β -излучения будет действовать в противоположных направлениях, а на γ -излучение не подействует (рис. 25). Масса электронов значительно меньше массы α -частиц, поэтому в общем магнитном поле радиус траектории движения электронов (β -излучение) будет значительно меньше радиуса траектории α -частиц. Проверьте правильность изображения процесса на рис. 25 и при необходимости исправьте его.

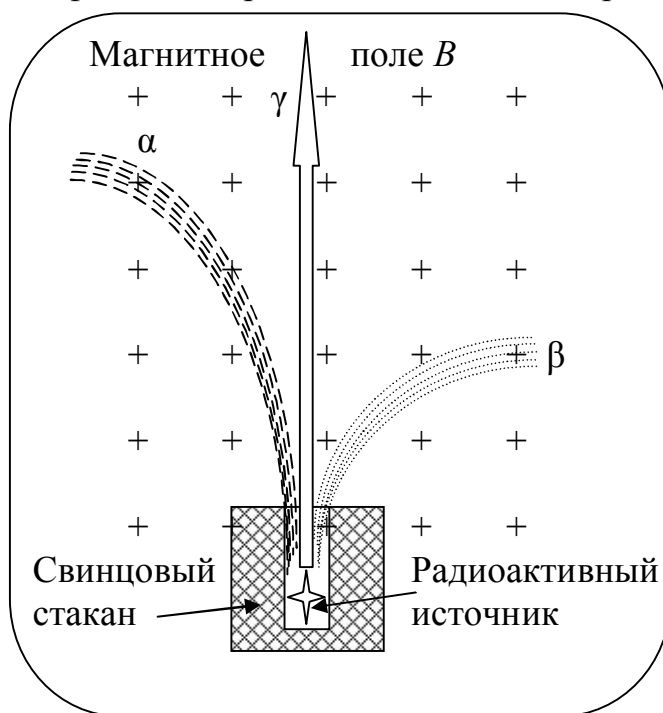


Рис. 25. Схема разделения радиоактивного излучения магнитным полем

α -, β - и γ -излучения обладают также некоторыми общими свойствами:

- 1) химическим действием (пример – почернение фотослоя);
- 2) ионизацией тел при проходе через них (ионизация газа и жидкостей);
- 3) возбуждением люминесценции ряда твердых и жидких тел.

Перечисленные свойства легли в основу разработанных методов регистрации этих излучений.

167. Экспериментальные методы регистрации ионизирующих излучений

На *рис. 25* показаны траектории всех видов радиоактивного излучения, но ведь траекторию электрона или α -частицы не увидишь даже под микроскопом. Как же обнаружить радиоактивные излучения и определить их направление? Для этого существует несколько методов:

- 1) **стинтилляционный счетчик**. Его работа основана на возбуждении люминесценции покрытий экрана – появлении вспышек света на экране при попадании на него частиц. В основном используется для **определения числа α -частиц**, так как электроны вызывают очень слабые визуально трудноразличимые вспышки;
- 2) **счетчик Гейгера**. Его работа основана на ионизации разряженных газов пролетающими через них частицами, и регистрацией кратковременного тока, вызванного движением ионов в электрическом поле. Позволяет точно подсчитать количество любых ионизирующих частиц;
- 3) **камера Вильсона**. Работа этой объемной камеры основана на ионизации газа влетающими в камеру частицами, осаждении на ионах капель пересыщенного пара и фотофиксации траекторий частиц. Позволяет измерять массу, энергию и заряд частиц;
- 4) **пузырьковая камера**. Работа этой объемной камеры основана на испарении перегретой жидкости влетающими в камеру частицами и появлении пузырьков пара на траектории частиц, которые фотографируются. Имея более плотное рабочее вещество, чем камера Вильсона, позволяет наблюдать столкновение частиц и вызываемые этим реакции;
- 5) **метод толстослойных фотоэмульсий**. Данный метод основан на почернении фотослоя при взаимодействии с частицами и имеет высокую тормозящую способность, позволяющую суммировать события за длительный период времени.

168. Закон радиоактивного распада

При любых видах радиоактивных распадов **из распадающегося (материнского) ядра образуется дочернее ядро другого элемента**. При этом образование новых ядер подчиняется законам сохранения электрического заряда и числа нуклонов.

Так при α -распаде дочернее ядро $({}_{Z-2}^{A-4}Y)$ всегда будет иметь на 4 нуклона и на 2 протона меньше, чем материнское $({}_{Z}^AX)$



При β -распаде дочерное ядро (${}^A_{Z+1}Y$) всегда будет иметь столько же нуклонов, сколько материнское (A_ZX), но на 1 протон больше



Электрон не входит в состав материнского ядра, а рождается при β -распаде (53). Массовое число электрона равно нулю, так как он не содержит ни одного нуклона.

Так как изменение числа протонов меняет номер в Периодической таблице, то при α -распаде порядковый номер дочерного элемента уменьшается на 2, а при β -распаде - увеличивается на 1. Это правило смещения важно использовать при определении результатов радиоактивных распадов, которые во многих случаях, претерпевая множественные распады, заканчиваются устойчивыми ядрами свинца.

Кроме того, всякое радиоактивное вещество характеризуется периодом полураспада – временем T , в течении которого распадается половина всех ядер данного элемента, существовавших к началу отсчета времени T , а следовательно, половина всех существовавших атомов данного вещества. Чем меньше период T , тем интенсивнее протекает распад. К примеру, для урана $T \approx 4,5 \cdot 10^9$ лет, а для радия $T \approx 1600$ лет. По истечении некоего времени t число атомов, оставшихся нераспавшимися, составит

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}, \quad (54)$$

где N_0 – число радиоактивных атомов, в момент начала отсчета времени t , N – число радиоактивных атомов, в момент окончания отсчета времени t .

Уравнение (54) называется основным закон радиоактивного распада.

Используя этот закон можно рассчитать число радиоактивных атомов через определенный период. К примеру, имеется 3000 атомов радия. Через 1600 лет их останется 1500, а через 4800 лет их останется

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}} = 3000 \cdot 2^{-\frac{4800}{1600}} = 3000 \cdot 2^{-3} = \frac{3000}{2^3} = \frac{3000}{8} = 375.$$

Основной закон радиоактивного распада является статистическим законом, т. е. законом, справедливым для расчета средних значений при большом количестве распадающихся атомов.

169. Ядерные реакции

Чем ядерные реакции отличаются от радиоактивного распада? При распаде ядро не взаимодействует ни с другими элементарными частицами, ни с другими ядрами. Это самопроизвольный процесс, который можно изучать, но нельзя остановить или ускорить (52), (53).

Ядерные реакции – это изменение ядер при обязательном взаимодействии с элементарными частицами или с другими ядрами. В большинстве случаев для проведения ядерных реакций используются такие элементарные частицы, как протоны больших энергий, получаемые на ускорителе, или нейтроны, причем медленные, тепловые нейтроны, которые более эффективны для проведения ядерных реакций, так как легче захватываются ядром.

Примером ядерной реакции с применением нейтрона 1_0n служит следующая запись



Ядерную реакцию при взаимодействии α -частицы с ядром можно записать в следующем виде:

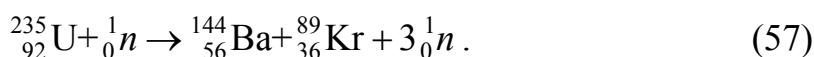


Однако у ядерных реакций и радиоактивного распада, кроме различий, имеются и общие свойства – оба процесса протекают при соблюдении законов сохранения электрического заряда и числа нуклонов. Поэтому в реакциях (55) и (56) соблюдается равенство сумм верхних индексов (числа нуклонов) правой и левой частей записи, а также равенство сумм нижних индексов (числа протонов) правой и левой частей. Численные значения общего количества нуклонов и общего количества протонов, участвующих в реакциях (55) и (56), определите самостоятельно.

170. Деление ядер урана

Теперь познакомимся с особым видом ядерных реакций – **делением ядер тяжелых элементов**, которые неустойчивы из-за относительно малой удельной энергии связи. Чтобы началось деление таких ядер, необходимо затратить энергию, называемую энергией активации. Эту энергию в ядро вносит нейтрон и **ядро, захватив нейтрон, сначала возбуждается, а затем легко делится на две части (два осколка) с одновременным испусканием двух или трех нейтронов, γ -излучения и выделением существенной энергии.**

Для наглядности приведем пример одного из возможных вариантов деления ядра урана



Нуклоны, за исключением высвободившихся нейтронов, распределяются между осколками ${}^{144}_{56}\text{Ba}$ и ${}^{89}_{36}\text{Kr}$, кинетическая энергия которых составляет примерно 90 % выделяющейся энергии. При делении 1 г урана ${}^{235}_{92}\text{U}$ выделяется 80 ГДж энергии, тем самым потенциальная энергия связи будущих осколков в основном переходит в их кинетическую энергию, поэтому они

разлетаются с огромными скоростями. Осколки, образующиеся при делении ядра урана, в свою очередь являются радиоактивными и подвергаются цепочке β -распадов, при которых постепенно в течение длительного времени выделяется дополнительная энергия.

Механизм деления ядра урана выглядит достаточно просто и называется капельной моделью. В спокойном состоянии ядро имеет форму шара, но, захватив протон, оно возбуждается, деформируется, приобретает форму гантели, в которой силы отталкивания между тяжелыми концами «гантели» со временем начинают преобладать. Тогда ядро разделяется на две части, которые разлетаются в разные стороны, что сопровождается высвобождением нескольких нейтронов, так как **относительное число нейтронов, приходящихся на один протон, уменьшается с уменьшением атомного номера ядра.**

171. Цепные ядерные реакции

При делении ядер урана, как мы выяснили, разлетаются не только осколки ядра, но и освобожденные нейтроны. Могут ли высвободившиеся нейтроны проникнуть в какое либо соседнее ядро урана? Безусловно. При этом они станут «виновниками» деления этого ядра с появлением еще нескольких свободных нейтронов. Получается, что для деления одного ядра урана потребляется один нейтрон, а высвобождается два или три, которые, проникая в ядра, приводят к делению еще нескольких ядер урана. **Начинается лавинообразное нарастание числа делений, и каждый нейтрон деления взаимодействует с соседним ядром. Этот процесс называется цепной ядерной реакцией деления.**

Единственным условием возникновения цепной реакции является размножение нейтронов. Поэтому **цепная реакция начинается, когда коэффициент размножения нейтронов $k > 1$.** Температура в активной зоне при этом достигает 10^8 (100 млн) градусов. При таких значениях практически неважно, по какой шкале мы отмеряем температуру – по Цельсию или по Кельвину.

Как можно помешать возникновению цепной реакции? Необходимо уменьшить коэффициент размножения нейтронов до $k \leq 1$, что остановит даже начавшуюся цепную реакцию. Для этого используют:

- 1) замедлители – атомы неделящихся веществ (к примеру – висмута), в которых «застревают» нейтроны, помещая их между атомами урана;
- 2) теплоносители – вещества, уносящие тепло из активной зоны деления урана и снижающие активность нейтронов;
- 3) потерю нейтронов – выход нейтронов без столкновений с ядрами урана из активной зоны, уменьшая объем урана в активной зоне до значения, меньше критического.

Критическим объемом назван наименьший объем урана, при котором начинается цепная ядерная реакция.

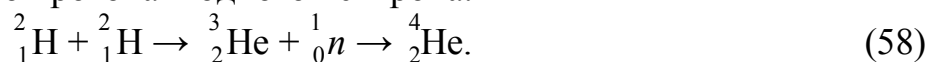
В современных атомных электростанциях используется управляемая цепная реакция, при которой коэффициент размножения нейтронов $k \approx 1$, что стабилизирует скорость протекания процесса деления ядер урана.

172. Термоядерные реакции

Термоядерные реакции – это особый вид ядерных реакций, являющихся синтезом легких ядер в более тяжелые.

Термоядерные реакции отличаются от цепных ядерных реакций так же, как строительство блочного дома отличается от его разрушения.

Примером термоядерной реакции может служить процесс образования ядра гелия из двух ядер водорода ${}^2_1\text{H}$, называемых дейтерием, так как такие ядра состоят из одного протона и одного нейтрона.



Определим условия возникновения термоядерной реакции. Для сближения ядер дейтерия на такие малые расстояния, на которых начинают работать ядерные силы притяжения, необходимо преодолеть потенциальный барьер электрического отталкивания между протонами. Для этого необходимо оба ядра дейтерия направить навстречу друг другу с огромными скоростями, чтобы их кинетическая энергия оказалась выше потенциальной энергии отталкивания. Единственно возможный путь достижения этого – разогрев водорода до очень высоких температур порядка $T = 10^7 \div 10^8$ К. Именно такая температура имеется на Солнце, поэтому на нем непрерывно происходят термоядерные реакции. Следовательно, **главное условие начала термоядерной реакции – создание высокой температуры в активной зоне**, что при взрыве водородной бомбы удается достичь предварительным взрывом небольшой атомной (урановой) бомбы (при этом происходит разогрев водорода до требуемых температур).

При термоядерной реакции выделяется в 3-5 раз больше энергии, чем при делении ядер урана той же массы.

В последние годы ведутся научные работы, направленные на создание управляемой термоядерной реакции. Чем привлекает к себе внимание эта работа? В случае её успешного выполнения из 1 л обычной водопроводной воды удастся выделить энергию, равную сгоранию 350 л бензина. Не правда ли, заманчиво заправлять автомобиль речной водой?

Вот на этой мажорной ноте счастливого ожидания скорого энергетического изобилия мы и закончим изучение теоретических основ физики. Теперь Вы смело можете приступить к решению как простых, так и сложных, комплексных задач, требующих знаний по всем разделам физики.

Удачи на экзамене!

Раздел XX. ЗАДАЧИ

173. Прямолинейное распространение света

- 1) Чтобы длина тени от предмета была равна длине самого предмета, солнце должно находиться на угловой высоте
 - 1) 90° ;
 - 2) 60° ;
 - 3) 45° ;
 - 4) 30° .

- 2) Посередине между лампой накаливания и экраном, параллельно экрану, поместите карандаш и медленно поверните его на 180° в плоскости экрана. Наблюдаемое явление вызвано
 - 1) колебаниями карандаша при повороте;
 - 2) протяженностью карандаша;
 - 3) объемностью лампы накаливания;
 - 4) протяженностью нити накаливания.

- 3) Посередине между лампой накаливания и экраном, параллельно экрану, помещен карандаш, который медленно вращается в плоскости экрана. Наиболее резкая тень от карандаша наблюдается при
 - 1) совпадении направления нити накаливания и длины карандаша;
 - 2) неподвижности карандаша;
 - 3) перпендикулярности направления нити накаливания и длины карандаша;
 - 4) при абсолютной параллельности карандаша и экрана.

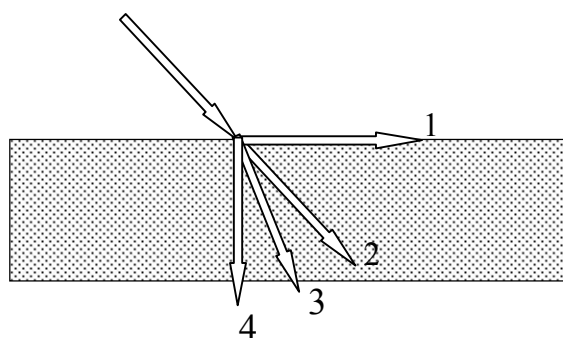
- 4) Посередине между лампой накаливания и экраном, параллельно экрану, помещен карандаш, который медленно вращается в плоскости экрана. Самая размытая тень от карандаша наблюдается при
 - 1) совпадении направления нити накаливания и длины карандаша;
 - 2) неподвижности карандаша;
 - 3) перпендикулярности направления нити накаливания и длины карандаша;
 - 4) при сильном наклоне карандаша относительно экрана.

- 5) Непрозрачный предмет дает тень без полутени если
- | | |
|--------------|------------------------------------------------------|
| 1) А, Б и Г; | А. Источник точечный; |
| 2) А, Б и В; | Б. Расстояние от источника до предмета очень велико; |
| 3) А и Б; | В. Источник яркий; |
| 4) А или Б. | Г. Источник излучает свет определенного цвета. |
- 6) Спортсмен на освещенной трассе подбегает к очередному фонарю. Сравнивая скорость спортсмена и скорость его тени можно утверждать, что
- 1) скорость выше у спортсмена;
 - 2) скорости одинаковы;
 - 3) скорость выше у его тени;
 - 4) зависит от длины спортсмена.
- 7) Чтобы получить тень максимальной длины от тела, расположенного посередине комнаты и освещенного одноламповым бра, необходимо:
- 1) положить предмет на самую длинную сторону;
 - 2) установить предмет на самую короткую сторону;
 - 3) самую длинную сторону расположить вертикально;
 - 4) расположить предмет в неустойчивом равновесии, чтобы наибольшая диагональ заняла вертикальное положение.

174. Преломление света

- 8) Луч света из воздуха падает на границу воздух-стекло. Преломленный луч обозначен номером

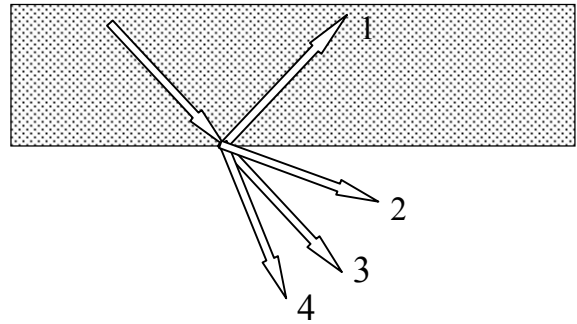
- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3;
- 4) 4.



- 9) Падающий луч и перпендикуляр к границе раздела двух сред
- 1) всегда лежат на одной прямой;
 - 2) всегда лежат в одной плоскости;
 - 3) всегда перпендикулярны друг к другу;
 - 4) никогда не пересекаются.

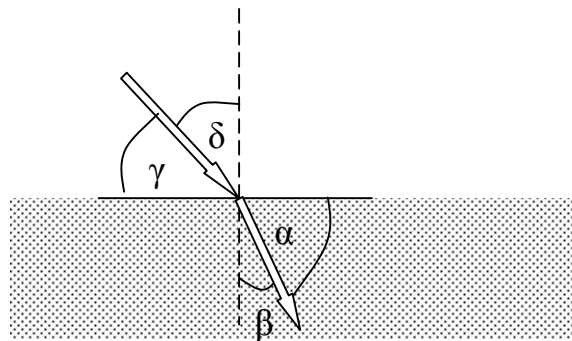
10) Луч света из стекла падает на границу стекло-воздух. Преломленный луч обозначен номером

- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3;
- 4) 4.



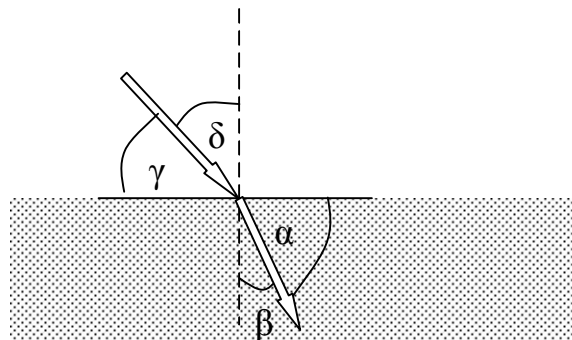
11) Какой буквой обозначен угол падения на рисунке?

- 1) α ;
- 2) β ;
- 3) γ ;
- 4) δ .



12) На рисунке угол преломления обозначен буквой

- 1) α ;
- 2) β ;
- 3) γ ;
- 4) δ .



13) Почему облако на небе не прозрачно для солнечного света?

- 1) лучи отражаются от облака;
- 2) облако состоит из непрозрачных для этих лучей капель воды;
- 3) лучи, многократно преломляясь и отражаясь в каплях воды, рассеиваются;
- 4) энергия солнечных лучей полностью поглощается каплями воды.

14) В законе преломления света утверждается, что

$$1) v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}};$$

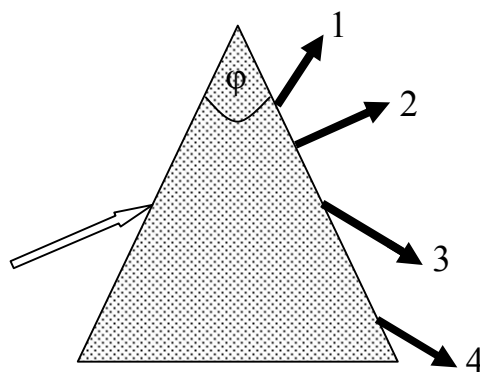
$$3) n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon\mu} \approx \sqrt{\epsilon};$$

$$2) \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1};$$

$$4) n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

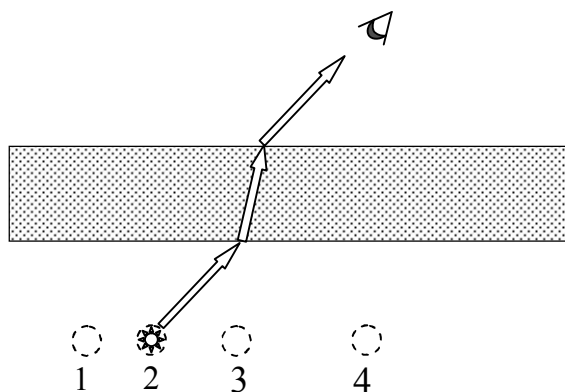
15) Продолжение падающего на призму луча обозначено номером:

- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3;
- 4) 4.



16) Луч от источника света проходит через стеклянную пластину и попадает в глаз наблюдателя. Видимое изображение источника имеет номер:

- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3;
- 4) 4.



17) Параллельные монохроматические лучи падают на грань трехгранной призмы под некоторым углом α . После прохождения через призму лучи

- 1) останутся параллельными;
- 2) будут расходящимися;
- 3) будут сходящимися;
- 4) сохранят свое направление.

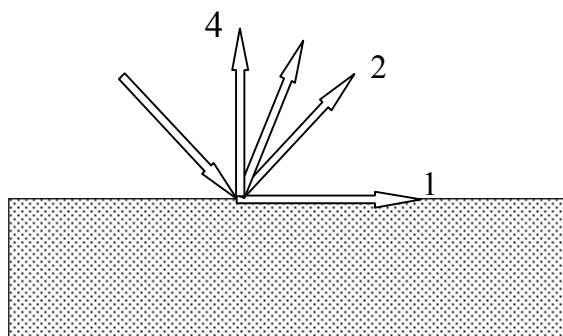
18) При вертикальном взгляде на дно водоемов кажущаяся глубина

- 1) уменьшается в 1,33 раза;
- 2) увеличивается в 1,33 раза;
- 3) совпадает с истинной глубиной;
- 4) зависит от скорости течения.

175. Отражение света

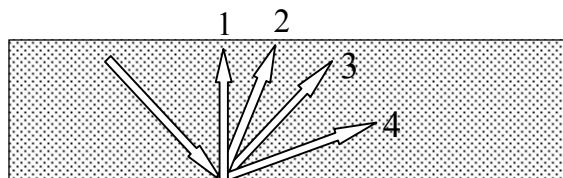
19) Луч света из воздуха падает на зеркальную поверхность. Отраженный луч обозначен номером

- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3;
- 4) 4.



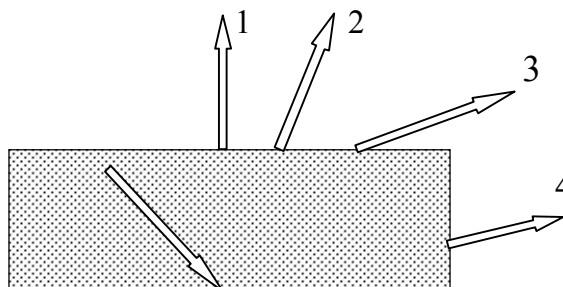
20) Луч света из стекла падает на зеркальную поверхность. Отраженный луч обозначен номером

- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3;
- 4) 4.



21) Луч света из стекла падает на зеркальную поверхность. Отраженный луч выходит из стекла под номером

- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3;
- 4) 4.



22) Падающий и отраженный лучи составляют прямой угол при угле падения

- 1) 30° ;
- 2) 45° ;
- 3) 60° ;
- 4) 90° .

23) Луч под прямым углом падает на зеркальную поверхность. На какой угол отклониться отраженный луч, если зеркало повернуть на 30° ?

- 1) 0° ;
- 2) 30° ;
- 3) 60° ;
- 4) 90° .

24) В соответствии с законом отражения света

1) $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$;

3) $n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$;

2) $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$;

4) угол падения равен углу отражения.

25) Угол падения солнечного луча на зеркальную поверхность увеличился на 8° . Угол между падающим лучом и отраженным

1) возрос на 8° ;

3) уменьшился на 8° ;

2) возрос на 16° ;

3) уменьшился на 16° .

176. Изображение в плоском зеркале

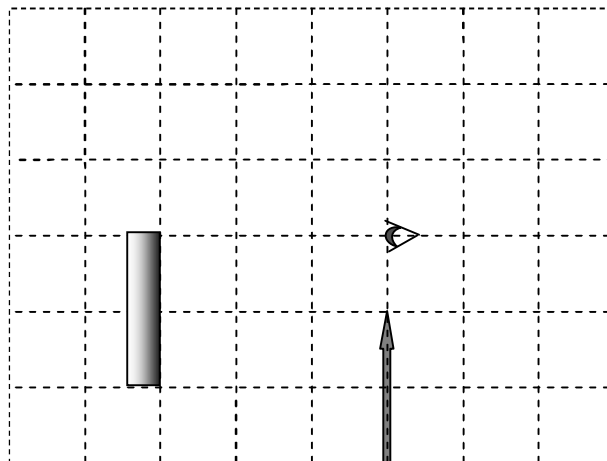
26) Какая часть изображения стрелки в зеркале видна глазу?

1) видно полное изображение стрелки;

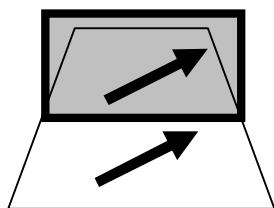
2) изображение стрелки не видно;

3) видна верхняя половина изображения стрелки;

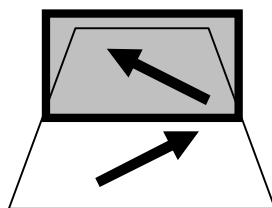
4) видна нижняя половина изображения стрелки.



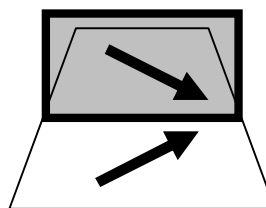
27) На каком рисунке правильно показано изображение стрелки в зеркале?



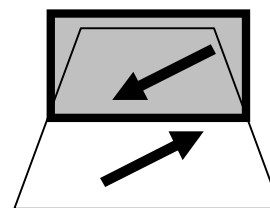
1)



2)



3)



4)

28) Если Вы приближаетесь к зеркалу со скоростью $0,5$ м/с, то ваше изображение приближается к Вам со скоростью

1) $0,25$ м/с;

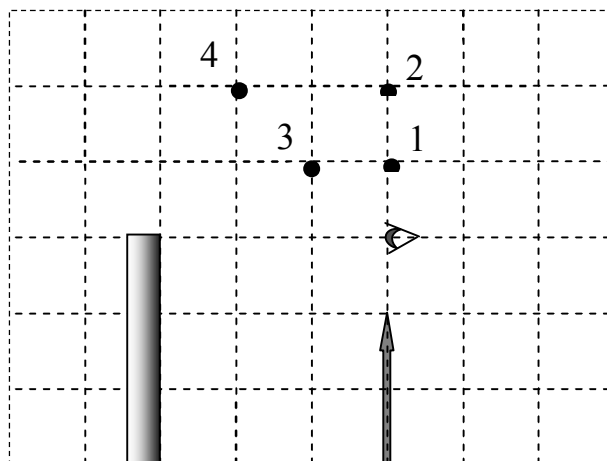
2) $0,5$ м/с;

3) $0,75$ м/с;

4) 1 м/с.

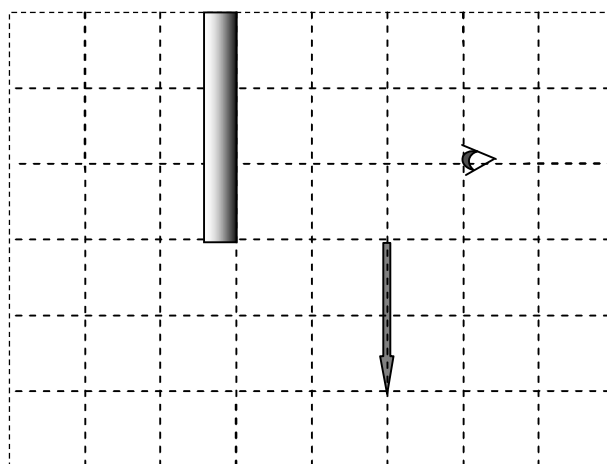
29) В какую точку наблюдателю следует переместить глаз, чтобы увидеть полностью изображение стрелки в зеркале?

- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3;
- 4) 4.



30) На сколько клеток по вертикали следует переместить глаз наблюдателя, чтобы увидеть полностью изображение стрелки в зеркале?

- 1) на одну вверх;
- 2) на две вверх;
- 3) на одну вниз;
- 4) на две вниз.



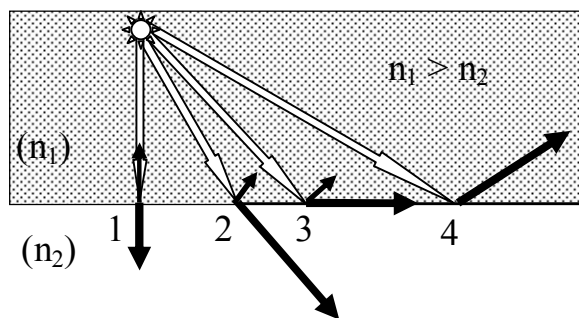
31) Тело положили на расстоянии 8 см от зеркала. Расстояние от тела до его изображения в этом зеркале равно

- 1) 4 см ;
- 2) 8 см;
- 3) 12 см;
- 4) 16 см.

177. Полное внутреннее отражение

32) Случай полного внутреннего отражения наблюдается в точке

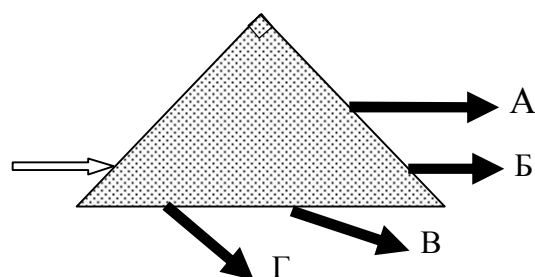
- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3;
- 4) 4.



33) Полное внутреннее отражение возникает

- 1) когда луч выходит из оптически менее плотной среды в оптически более плотную;
- 2) когда луч выходит из оптически более плотной среды в оптически менее плотную;
- 3) когда падающий луч отражается от границы двух сред и возвращается в первую среду;
- 4) когда падающий луч проходит через границу двух сред и проникает во вторую среду.

34) Луч света падает на стеклянную призму с предельным углом полного отражения $\alpha_0^{\text{стекла}} = 42^\circ$. Определите продолжение входящего луча:



- 1) А;
- 2) Б;
- 3) В;
- 4) Г.

35) Предельный угол полного внутреннего отражения определяется из выражения

- 1) $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$;
- 2) $\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$;
- 3) $a = \frac{d \sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta}$;
- 4) $\angle \delta = \angle \alpha_1 + \angle \beta_2$.

178. Линзы

36) Линзы бывают

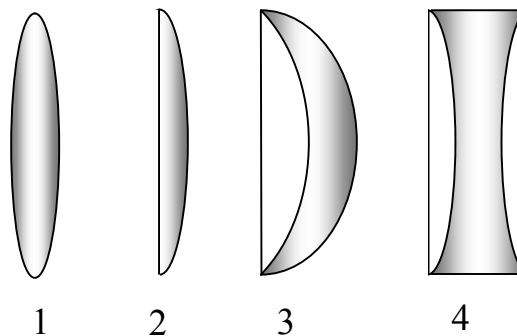
- | | |
|----------------|----------------------------|
| 1) А, Б, В, Г; | А. Рассеивающе-собирающие; |
| 2) А, Б, В; | Б. Рассеивающие; |
| 3) А, Б; | В. Собирающие; |
| 4) Б, В. | Г. Собирающе-рассеивающие. |

37) Линзы бывают

- | | |
|----------------|----------------------|
| 1) А, Б, В, Г; | А. Выпукло-вогнутые; |
| 2) А, Б, В; | Б. Двояковыпуклые; |
| 3) А, Б; | В. Двояковогнутые; |
| 4) Б, В. | Г. Плосковогнутые. |

38) Двояковогнутая линза изображена под номером

- 1) 1; 3) 3;
2) 2; 4) 4.



39) В собирающих линзах

- 1) середина толще, чем края;
2) имеется хотя бы одна сферическая поверхность;
3) края толще, чем середина;
4) должно быть две сферические поверхности.

40) Тонкая линза

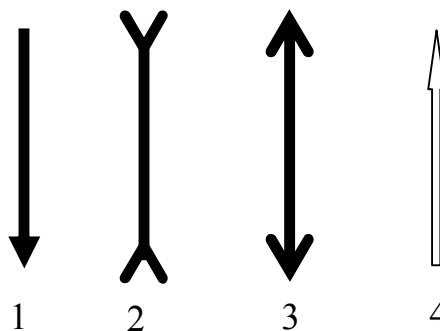
- 1) имеет хотя бы один малый радиус кривизны;
2) имеет два малых радиуса кривизны;
3) имеет толщину много меньше её радиусов;
4) имеет радиусы много меньше её толщины.

41) Фокусное расстояние

- 1) рассеивающей линзы всегда положительно;
2) собирающей линзы всегда положительно;
3) собирающей линзы всегда отрицательно;
4) у рассеивающей и собирающей линз всегда отрицательно.

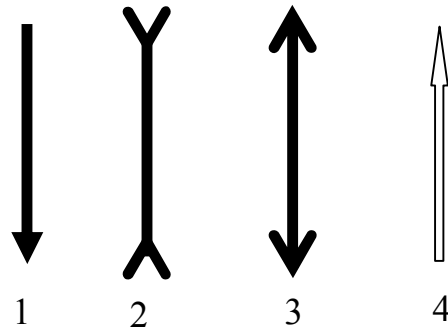
42) Собирающая линза в оптических схемах изображается как

- 1) 1; 3) 3;
2) 2; 4) 4.



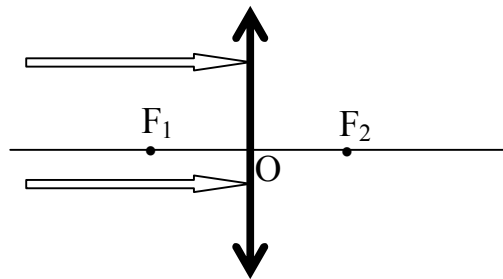
43) Двояковогнутая линза в оптических схемах изображается как

- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3;
- 4) 4.



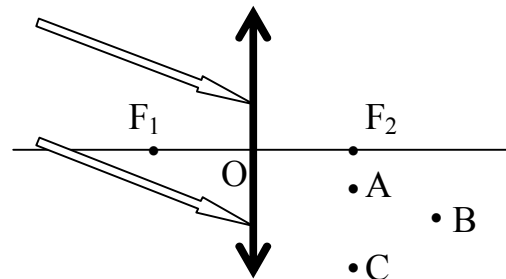
44) Пересекутся

- 1) лучи в $(\bullet)F_1$;
- 2) лучи в $(\bullet)F_2$;
- 3) продолжения лучей в $(\bullet)F_1$;
- 4) продолжения лучей в $(\bullet)F_2$.



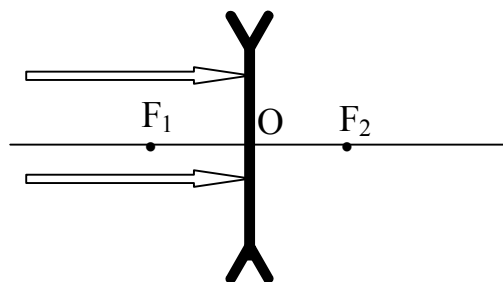
45) Пересечение лучей произойдет

- 1) в $(\bullet)A$;
- 2) в $(\bullet)F_2$;
- 3) в $(\bullet)B$;
- 4) в $(\bullet)C$.



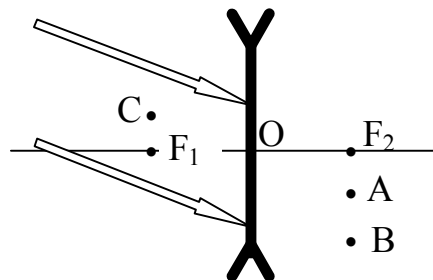
46) Пересекутся

- 1) лучи в $(\bullet)F_1$;
- 2) лучи в $(\bullet)F_2$;
- 3) продолжения лучей в $(\bullet)F_1$;
- 4) продолжения лучей в $(\bullet)F_2$.



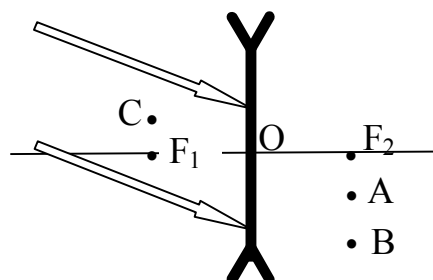
47) Пересечение лучей произойдет

- 1) в (•)A;
- 2) в (•)B;
- 3) в (•)C;
- 4) ни в одной из указанных точек.



48) Пересечение продолжения лучей произойдет

- 1) в (•)A;
- 2) в (•)B;
- 3) в (•)C;
- 4) ни в одной из указанных точек.



179. Оптическая сила линзы

49) Оптическая сила линзы измеряется

- 1) в метрах;
- 2) в Ньютонах;
- 3) в диоптриях;
- 4) показателем преломления стекла линзы.

50) Оптическая сила линзы, определяется как

- 1) $D = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$;
- 2) $D = \frac{1}{F} = (n - 1)(R_1 + R_2)$;
- 3) $D = \frac{1}{F} = (n + 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$;
- 4) $D = \frac{1}{F} = (n + 1)(R_1 - R_2)$.

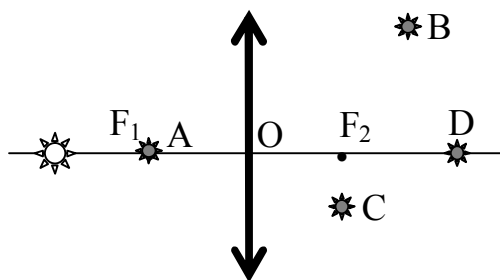
51) Линзы одинаковой формы изготовлены из разных материалов с показателями преломления $n_1 = 1,5$ и $n_2 = 2$. Оптическая сила первой линзы D_1 будет

- 1) в 3 раза больше;
- 2) в 2 раза больше;
- 3) одинакова;
- 4) в 2 раза меньше.

180. Построение изображения в линзах

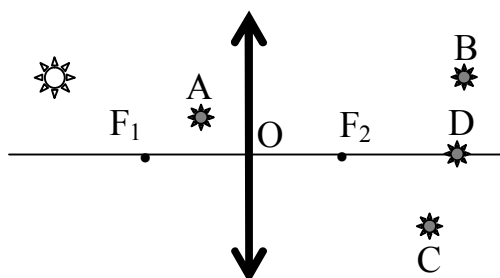
52) Изображение точечного источника света расположится в

- 1) (•)A;
- 2) (•)B;
- 3) (•)C;
- 4) (•)D.



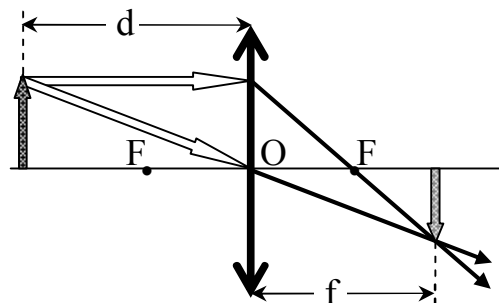
53) Изображение точечного источника света расположится в

- 1) (•)A;
- 2) (•)B;
- 3) (•)C;
- 4) (•)D.



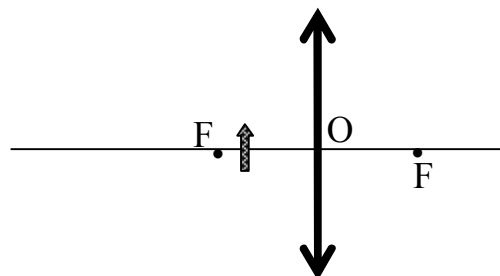
54) Изображение этого предмета

- | | |
|----------------|--------------------|
| 1) А, Б, В, Г; | А. Прямое; |
| 2) Б, В, Г; | Б. Действительное; |
| 3) В, Г; | В. Уменьшенное; |
| 4) Г. | Г. Перевернутое. |



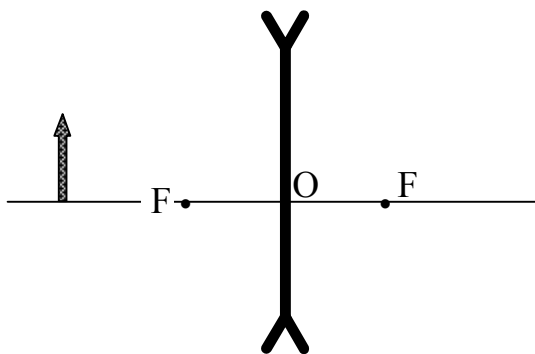
55) Изображение этого предмета будет

- | | |
|----------------|--------------------|
| 1) А, Б, В, Г; | А. Прямое; |
| 2) Б, В; | Б. Действительное; |
| 3) А, Б; | В. Уменьшенное; |
| 4) А. | Г. Перевернутое. |



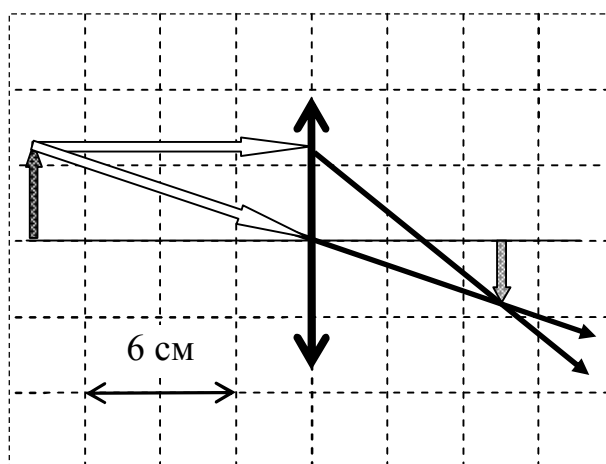
56) Изображение этого предмета будет

- | | |
|----------------|--------------------|
| 1) А, Б, В, Г; | А. Прямое; |
| 2) Б, Г; | Б. Действительное; |
| 3) А, В; | В. Уменьшенное; |
| 4) А. | Г. Перевернутое. |



57) Фокусное расстояние линзы равно

- 1) 10,5 см;
- 2) 7,5 см;
- 3) 4,5 см;
- 4) 1,5 см.



181. Формула тонкой линзы. Линейное увеличение линзы

58) Определить расстояние от собирающей линзы с фокусным расстоянием 4 см до изображения предмета, расположенного на расстоянии 8 см от линзы.

- | | | | |
|-----------|----------|----------|----------|
| 1) 16 см; | 2) 8 см; | 3) 4 см; | 4) 2 см. |
|-----------|----------|----------|----------|

59) Определить построением расстояние от рассеивающей линзы с фокусным расстоянием -4 см до изображения предмета, расположенного на расстоянии 8 см от линзы.

- | | | | |
|-------------|-------------|---------------|-------------|
| 1) -8 см; | 2) -4 см; | 3) $-2,7$ см; | 4) -2 см. |
|-------------|-------------|---------------|-------------|

60) Изображение предмета на экране получено при помощи собирающей линзы и составило 6 см. Высота самого предмета 3 см. Что находится ближе к линзе?

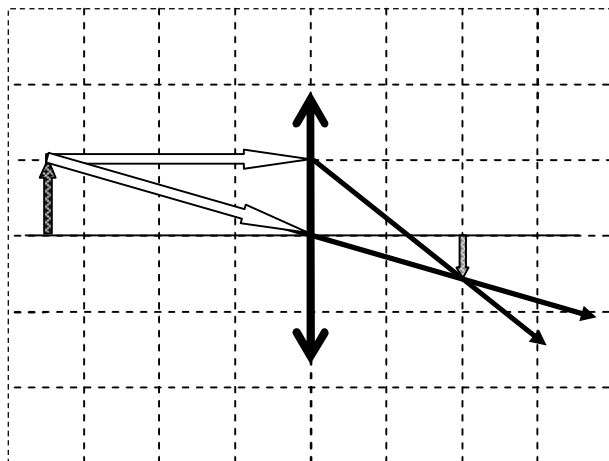
- | | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| 1) предмет; | 3) экран; |
| 2) изображение предмета; | 4) экран с изображением предмета. |

61) Изображение предмета, высота которого 4 см, получено при помощи собирающей линзы. Его высота на экране составила 6 см. Определить линейное увеличение линзы.

- 1) 0,7; 2) 1; 3) 1,5; 4) 2.

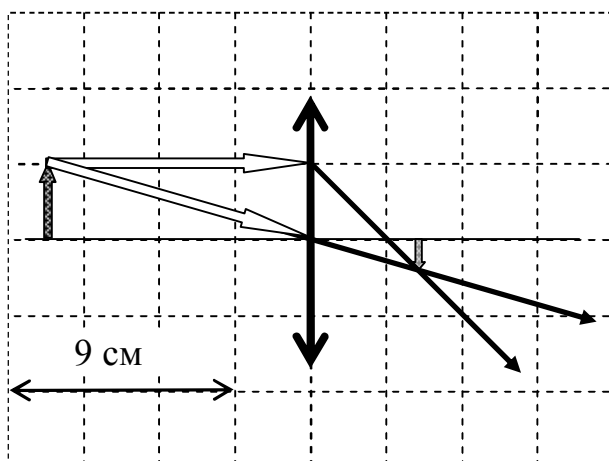
62) Линейное увеличение линзы составило

- 1) 0,5;
2) 0,57;
3) 0,6;
4) 2.



63) На каком расстоянии надо расположить предмет от линзы, чтобы получить $\Gamma = 1$?

- 1) 9 см;
2) 4,5 см;
3) 6 см;
4) 3 см.



182. Оптические приборы

64) Определить угловое увеличение телескопа-рефрактора, если он состоит из объектива с фокусным расстоянием 100 м и окуляра с фокусным расстоянием 5 см.

- 1) 2000; 2) 500; 3) 20; 4) 5.

65) Определить угловое увеличение лупы, если её фокусное расстояние 2,5 см.

- 1) 6,25 2) 10; 3) 25; 4) 40.

66) В системе двух линз задний и передний фокусы совпадают, если

- | | |
|----------------|-----------------------------------------------|
| 1) А, Б, В, Г; | А. Линзы плотно прижаты; |
| 2) Б, В; | Б. Между линзами есть зазор; |
| 3) А, Г; | В. Линзы одинаковые; |
| 4) А. | Г. Имеются и собирающая и рассеивающая линзы. |

67) Расчет заднего фокуса системы двух линз проводят в соответствии с уравнением

1) $\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1 - \ell} + \frac{1}{F_2}$;	3) $\frac{1}{F} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$;
2) $\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1 + \ell} + \frac{1}{F_2}$;	4) $\frac{1}{F} = (n + 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$.

68) Если фокус глаза лежит за сетчаткой, то для нормализации зрения требуется использование

- 1) рассеивающих линз;
- 2) линзы не требуются;
- 3) собирающих линз;
- 4) комбинация разных линз.

69) Людей, у которых фокус глаза лежит перед сетчаткой называют

- | | |
|-------------------|--------------------------|
| 1) дальнозоркими; | 3) близорукими; |
| 2) слепыми; | 4) с нормальным зрением. |

70) Для нормального глаза расстояние наилучшего зрения принимается равным

- | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1) 25 мм; | 2) 20 см; | 3) 25 см; | 4) 35 мм. |
|-----------|-----------|-----------|-----------|

183. Интерференция света

71) Чтобы обнаружить интерференцию света достаточно

- | | |
|----------------------------|------------------------------------------|
| 1) одного источника света; | 3) двух когерентных источников; |
| 2) двух источников; | 4) двух когерентных источников и экрана. |

72) Условие интерференционного максимума определяется

- 1) геометрической разностью хода лучей от двух источников света;
- 2) оптической суммой хода лучей от двух источников света;
- 3) оптической разностью хода лучей от двух источников света;
- 4) геометрической суммой хода лучей от двух источников света.

73) Условие интерференционного минимума

- 1) $\Delta = n_1 \ell_1 - n_2 \ell_2 = (2m - 1) \frac{\lambda}{2}$;
- 2) $\Delta = \ell_1 - \ell_2 = (2m - 1) \frac{\lambda}{2}$;
- 3) $\Delta = \ell_1 - \ell_2 = m\lambda$;
- 4) $\Delta = n_1 \ell_1 - n_2 \ell_2 = m\lambda$.

74) Известно, что плотность энергии w_e световой волны прямо пропорциональна квадрату напряженности электрического поля (ч. III, стр. 28). Плотность энергии в точке интерференционного максимума, полученного от двух когерентных волн с одинаковой амплитудой, равна

- 1) $4w_e$;
- 2) $2w_e$;
- 3) w_e ;
- 4) 0.

75) Две когерентные световые волны, имеющие частоту $\nu = 6 \cdot 10^{14}$ Гц и движущиеся со скоростью $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, создают интерференционную картину на экране. Максимум интерференции будет наблюдаться в точках, где разность хода волн от разных источников составит

- 1) $5 \cdot 10^{-7}$ м, 10^{-6} м и т.д.;
- 2) $1,8 \cdot 10^{-7}$ м, $2 \cdot 10^{-7}$ м и т.д.;
- 3) $2 \cdot 10^6$ м, 10^6 м и т.д.;
- 4) $0,5 \cdot 10^{-7}$ м, 10^{-7} м и т.д.

76) В предыдущей задаче интерференционная картина будет

- 1) иметь переливы света от зеленого до темно-красного;
- 2) иметь переливы света от зеленого до светло-фиолетового;
- 3) монохромной;
- 4) зеленого цвета.

184. Дифракция света

77) На пути светового луча имеется препятствие – тонкая проволока. Дифракционная картина на экране будет иметь в центре

- | | |
|-------------------|--------------------|
| 1) светлую точку; | 3) светлую полосу; |
| 2) тёмную точку; | 4) темную полосу. |

78) Свет от источника с длиной волны λ падает на щель, шириной a . Если на экране за щелью появляется чередование светлых и темных полос, то

- 1) $a \ll \lambda$; 2) $\lambda \ll a$; 3) $a = \lambda$; 4) не зависит от соотношения a и λ .

79) На экране наблюдается круглое светлое пятно от луча, проходящего через круглое отверстие диафрагмы в непрозрачной ширме. Если плавно уменьшать диафрагму, то размер пятна на экране будет

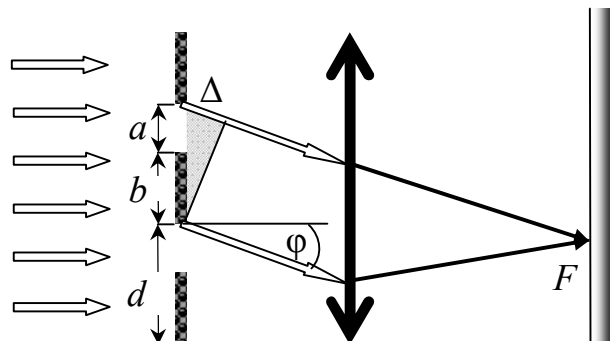
- 1) возрастать;
- 2) уменьшаться, а затем появится картина чередующихся светлых и темных колец;
- 3) уменьшаться;
- 4) возрастать, и затем появится картина чередующихся светлых и темных колец.

80) Дифракционная решетка, состоящая из десяти тысяч штрихов имеет прозрачные промежутки в 0,3 мкм, а непрозрачные – 0,2 мкм. Период такой решетки равен

- 1) 0,5 мкм; 2) 0,1 мкм; 3) 0,05 м; 4) 0,01 м.

81) Δ – разность оптического хода показанных на рисунке лучей. Если на экране в (\bullet) F наблюдается максимум интенсивности, то Δ равно

- 1) $\Delta = (a+b)\sin\varphi$;
- 2) $\Delta = (a+b)\cos\varphi$;
- 3) $\Delta = (b-a)\sin\varphi$;
- 4) $\Delta = d\cos\varphi$.



82) Главные минимумы ослабления света на экране при его прохождении через отдельную щель проявляются при выполнении условия

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1) $d\sin\varphi = m\lambda$; | 3) $b\sin\varphi = m\lambda$; |
| 2) $d\cos\varphi = m\lambda$; | 4) $b\cos\varphi = m\lambda$. |

185. Дисперсия света

83) Разложение белого света в спектр называется

- | | |
|----------------|--------------------|
| 1) дифракцией; | 3) интерференцией; |
| 2) дисперсией; | 4) поляризацией. |

84) Спектр белого света состоит из

- | | |
|-----------------|----------------------|
| 1) семи лучей; | 3) семи светов; |
| 2) семи цветов; | 4) семи преломлений. |

85) Самую длинную волну в видимом спектре света имеет

- | | |
|---------------------|------------------|
| 1) красный свет; | 3) зелёный свет; |
| 2) фиолетовый свет; | 4) белый свет. |

86) Дисперсия света обусловлена

- 1) постоянством скорости света;
- 2) отличием показателей преломления лучей различной цветности;
- 3) одинаковостью показателей преломления лучей различной цветности;
- 4) наличием интерференции света.

87) При соединении всех цветных лучей спектра образуется

- | | |
|----------------|-----------------|
| 1) белый свет; | 3) чёрный свет; |
| 2) яркий свет; | 4) слабый свет. |

186. Спектральный анализ

88) Тела в газообразном состоянии дают

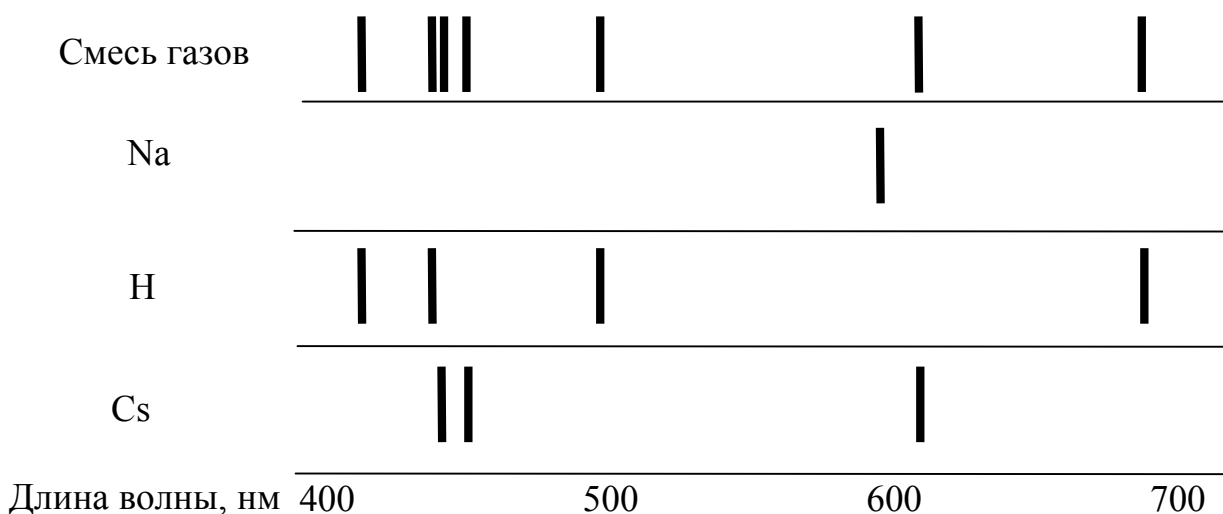
- | | |
|------------------------|----------------------|
| 1) непрерывный спектр; | 3) полосатый спектр; |
| 2) линейчатый спектр; | 4) точечный спектр. |

89) При наблюдении спектров поглощения видны

- 1) узкие цветные линии;
- 2) группы светящихся полос;
- 3) темные линии на сплошном спектре;
- 4) группы светящихся точек.

90) На рисунке приведены спектр поглощения газовой смеси и спектры поглощения некоторых веществ. Определите состав газовой смеси:

- 1) натрий с водородом;
- 2) цезий с натрием;
- 3) водород с цезием;
- 4) натрий, водород и цезий.



187. Поляризация света

91) Поляризация света служит доказательством

- 1) продольности световой волны;
- 2) непрерывности световой волны;
- 3) поперечности световой волны;
- 4) дискретности световой волны.

92) Поляроид – это материал, предназначенный для

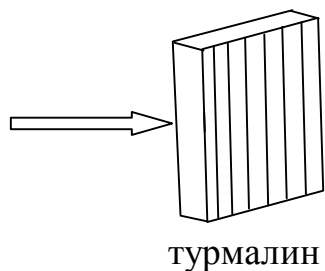
- 1) рассеивания световых волн;
- 2) преломления световых волн;
- 3) пропускания любых световых волн;
- 4) пропускания строго определенных световых волн.

93) После прохождения поляроида колебания в световой волне

- 1) разнонаправлены;
- 2) однонаправлены;
- 3) перевернуты;
- 4) отсутствуют.

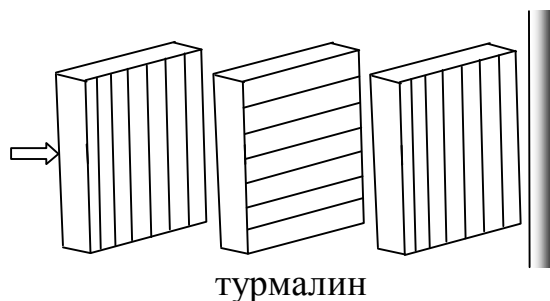
94) На рисунке приведен кристалл турмалина, расположенный на пути узкого светового потока, идущего от источника к экрану. На экране будет наблюдаться

- 1) светлое пятно;
- 2) светлая вертикальная полоса;
- 3) световой поток на экран не попадет;
- 4) светлая горизонтальная полоса.



95) На рисунке приведены три кристалла турмалина, расположенные на пути узкого светового потока, идущего от источника к экрану. На экране будет наблюдаться

- 1) светлое пятно;
- 2) светлая вертикальная полоса;
- 3) световой поток на экран не попадет;
- 4) светлая горизонтальная полоса.



188. Кванты света

96) Фотон...

- 1) это воображаемая частица;
- 2) существует только в покое;
- 3) существует только в движении;
- 4) нет такой частицы.

97) Энергия, переносимая фотоном, может быть вычислена как

- 1) $\frac{hc}{\lambda_0}$;
- 2) $\frac{h}{\lambda_0}$;
- 3) $\frac{h\nu}{c}$;
- 4) $\frac{\varepsilon}{c^2}$.

98) Квант света создается

- 1) при испускании атома;
- 2) при поглощении энергии атомом;
- 3) при испускании энергии атомом;
- 4) при поглощении атома.

99) Кванты света переносят

- 1) электроны от одного атома к другому;
- 2) энергию от одного атома к другому;
- 3) протоны от одного атома к другому;
- 4) любые элементарные частицы от одного атома к другому.

100) Наибольшими импульсами будут обладать фотоны, излученные в диапазоне

- 1) инфракрасного света;
- 2) красного света;
- 3) фиолетового света;
- 4) ультрафиолетового света.

101) Во сколько раз отличается импульс кванта света, переносимого волной с $\lambda_1 = 500$ нм, от импульса фотона, переносимого волной с $\lambda_2 = 600$ нм?

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1) больше в 1,2 раза; | 3) меньше в 1,2 раза; |
| 2) больше в 1,44 раза, | 4) меньше в 1,44 раза. |

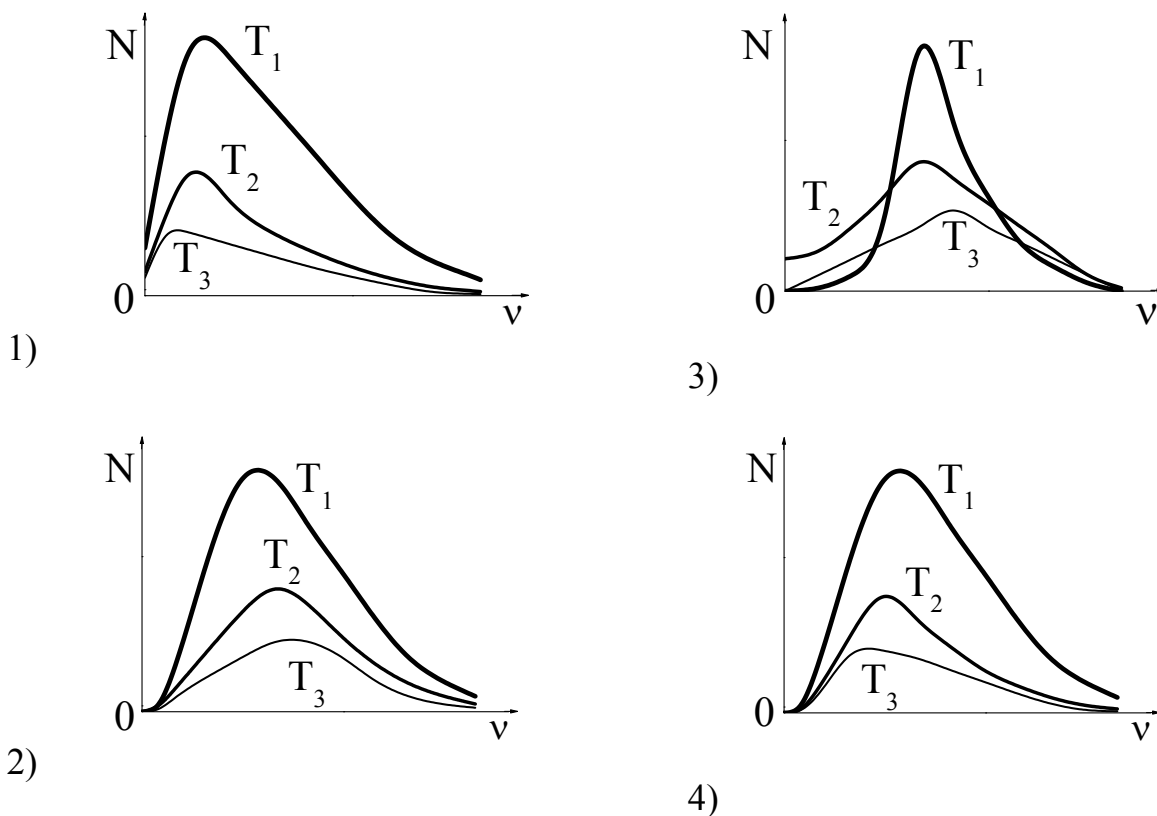
102) Квант света движется с энергией 8 эВ. Чему равен его импульс?

- 1) $5,3 \cdot 10^{-33}$ кг·м/с;
- 2) $2,7 \cdot 10^{-8}$ кг·м/с;
- 3) $1,3 \cdot 10^{-19}$ кг·м/с;
- 4) $2 \cdot 10^{-11}$ кг·м/с.

103) Квант света при движении

- 1) переносит положительный электрический заряд;
- 2) переносит отрицательный электрический заряд;
- 3) не переносит электрического заряда;
- 4) знак переносимого заряда зависит от направления движения.

104) Четыре ученика провели самостоятельные исследования зависимости мощности излучения различных абсолютно черных тел от частоты излучения при трёх температурах и получили результаты, приведенные на графиках. Какой из учеников правильно провёл эксперимент, если $T_1 > T_2 > T_3$?



189. Законы внешнего фотоэффекта

105) Различают следующие виды фотоэффекта

- | | |
|----------------|----------------------|
| 1) А, Б, В, Г; | А. Внутренний; |
| 2) Б, В, Г; | Б. Вынужденный; |
| 3) Б, Г; | В. Внешний; |
| 4) А, В; | Г. Самопроизвольный. |

106) Количество фотоэлектронов, вырываемых за 1с с поверхности катода

- 1) прямо пропорционально освещенности катода;
- 2) обратно пропорционально освещенности катода;
- 3) прямо пропорционально напряжению между катодом и анодом;
- 4) обратно пропорционально напряжению между катодом и анодом.

107) Если угол падения света от стабильного источника на площадку фотокатода медленно уменьшается со временем, то максимальный импульс фотоэлектронов

- 1) быстро растёт со временем;
- 2) не зависит от времени;
- 3) медленно падает со временем;
- 4) быстро падает со временем.

108) При установлении напряжения насыщения между анодом и катодом

- 1) фотоэлектроны прекращают покидать катод;
- 2) фотоэлектроны прекращают достигать анода;
- 3) образуется облако фотоэлектронов;
- 4) все фотоэлектроны достигают анода.

109) Фототок - это...

- 1) поток фотонов от катода к аноду;
- 2) поток фотоэлектронов от катода к аноду;
- 3) поток фотоэлектронов от анода к катоду;
- 4) поток фотонов от анода к катоду.

110) Скорость фотоэлектронов при фотоэффекте

- 1) возрастает с увеличением освещённости;
- 2) уменьшается с уменьшением частоты света;
- 3) возрастает с уменьшением частоты света;
- 4) уменьшается с увеличением освещённости.

111) Фототок прекратится при

- 1) запорном напряжении;
- 2) токе насыщения;
- 3) напряжении насыщения;
- 4) обнулении внешнего напряжения.

112) При увеличении частоты света, падающей на фотокатод, скорость фотоэлектронов возросла в 1,5 раза. Теперь фототок прекратится, если начальное запорное напряжение

- 1) увеличить в 1,5 раза;
- 2) уменьшить в 1,5 раза;
- 3) увеличить в 2,25 раза;
- 4) уменьшить в 2,25 раза.

113) Красная граница фотоэффекта – это...

- 1) запорное напряжение;
- 2) наибольшая частота, при которой возможен фотоэффект;
- 3) напряжение насыщения;
- 4) наименьшая частота, при которой возможен фотоэффект.

190. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

114) Работу выхода электрона из металла при фотоэффекте совершают

- 1) фотон;
- 2) сам электрон;
- 3) атом металла;
- 4) другие ближайшие электроны.

115) Чтобы вырваться из металла, электрон должен

- 1) поглотить квант света;
- 2) испустить фотон;
- 3) пропустить квант света;
- 4) перейти в фотон.

116) Фотоэлектрон, вырвавшийся из металла, имеет кинетическую энергию E_1 . Энергия поглощенного им фотона E_2 была

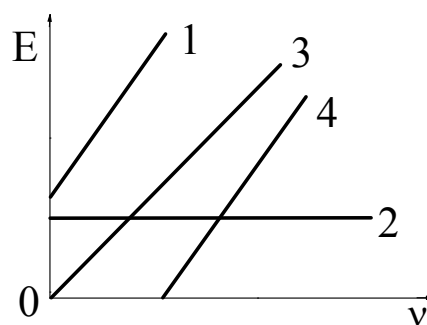
- 1) $E_2 > E_1$;
- 2) $E_2 < E_1$;
- 3) $E_2 = E_1$;
- 4) $E_2 \geq E_1$.

117) Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта правильно записано в

- 1) $h\nu = A_{\text{ВЫХ}} - eU_3$;
- 2) $A_{\text{ВЫХ}} = h\nu + \frac{m_e v_{\text{max}}^2}{2}$;
- 3) $h\nu + A_{\text{ВЫХ}} = \frac{m_e v_{\text{max}}^2}{2}$;
- 4) $h\nu = A_{\text{ВЫХ}} + \frac{m_e v_{\text{max}}^2}{2}$.

118) Четыре ученика построили зависимости максимальной кинетической энергии фотоэлектронов от частоты падающего на фотокатод излучения. Какой из учеников построил правильную зависимость?

- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3;
- 4) 4.



119) Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов при уменьшении частоты падающего света в 2,5 раза

- 1) увеличится в 2,5 раза;
- 2) уменьшится в 2.5 раза;
- 3) увеличится более чем в 2,5 раза;
- 4) уменьшится более чем в 2,5 раза.

120) На пленку натрия, расположенную на вольфрамовом электроде падает поток света с энергией фотонов 5,2 эВ. Фотоэлектроны вылетают с поверхности натрия, имея максимальную энергию 3,1 эВ. Определить работу выхода фотоэлектронов.

- 1) 8,3 эВ;
- 2) 2,1 эВ;
- 3) 5,2 эВ;
- 4) 3,1 эВ.

121) На катод из бромистого серебра падает поток света с энергией фотонов 8 эВ. Фотоэлектроны вылетают с поверхности катода, имея максимальную энергию 5 эВ. Определить необходимое запирающее напряжение.

- 1) 8 В;
- 2) 3 В;
- 3) 5 В;
- 4) 13 В.

191. Давление света

122) Сравните давление света на белую глянцевую и матовую черную поверхности

- 1) давление света будет одинаковым;
- 2) давление света на чёрную поверхность будет в 2 раза больше;
- 3) давление света на белую поверхность будет в 2 раза больше;
- 4) соотношение зависит от частоты света.

123) В каком направлении будет отталкиваться плоская пластина, если свет падает на её поверхность под углом $\alpha > 0$ и поглощается?

- 1) в направлении падения света;
- 2) в направлении, противоположном направлению падения света;
- 3) по нормали к поверхности в сторону, противоположную источнику света;
- 4) по нормали к поверхности в сторону источника света.

124) В каком направлении будет отталкиваться плоская пластина, если свет падает на её поверхность под углом $\alpha > 0$ и отражается?

- 1) в направлении падения света;
- 2) в направлении, противоположном направлению падения света;
- 3) по нормали к поверхности в сторону, противоположную источнику света;
- 4) по нормали к поверхности в сторону источника света.

192. Ядерная модель атома

125) Ядерная (планетарная) модель атома – это модель, в которой весь положительный заряд атома

- | | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| 1) сосредоточен в ядре; | 3) сосредоточен вне ядра; |
| 2) распределён вокруг ядра; | 4) распределён равномерно а атоме. |

126) За диаметр атома принимают диаметр

- 1) самого ядра;
- 2) электронного облака вокруг атома;
- 3) одного протона;
- 4) как сумму диаметров всех протонов.

127) Согласно ядерной модели атома в центре атома находится

- 1) сосредоточение всех протонов;
- 2) тяжелое положительно заряженное ядро;
- 3) сосредоточение всех нейтронов;
- 4) тяжелое отрицательно заряженное ядро.

128) В основу современной модели атома легли результаты опытов

- | | |
|----------------|--------------|
| 1) Резерфорда; | 3) Томпсона; |
| 2) Столетова; | 4) Бора. |

129) Опыты Резерфорда удалось объяснить рассеянием

- 1) ядер атомов гелия электростатическим полем зарядов ядер атомов мишени;
- 2) α -частиц поверхностью мишени;
- 3) α -частиц электростатическим полем заряда электронов;
- 4) ядра атома гелия силами Лоренца, создаваемыми с участием магнитного поля движущихся электронов.
- 5)

- 130)** Наименее вероятным событием в опытах Резерфорда является
- 1) отражение альфа-частицы под острым углом к мишени;
 - 2) прохождение сквозь золотую фольгу без рассеяния;
 - 3) преломление альфа-частицы;
 - 4) отражение альфа-частицы в обратном направлении.
- 131)** Вероятность того или иного отклонения альфа-частиц определяется
- 1) быстрым убыванием сил взаимодействия с увеличением расстояния;
 - 2) соотношением размеров ядер атомов и расстояний между ними;
 - 3) быстрым возрастанием сил взаимодействия с увеличением расстояния;
 - 4) количеством прямых попаданий α -частицы на ядро атома мишени.
- 132)** Так как в опытах Резерфорда на углы более 100° отклонялась одна α -частица из 20 000, то Резерфорд сделал вывод, что
- 1) скорость электронов в атоме в тысячи раз больше скорости α -частиц, летящих к мишени;
 - 2) наибольшее количество α – частиц поглощается мишенью;
 - 3) площадь сечения атомов мишени на несколько порядков больше площади сечения их ядер;
 - 4) масса атома мишени в десятки тысяч раз больше массы α -частицы.
- 133)** В ядре нейтрального атома алюминия ${}_{15}^{31}\text{Al}$ содержится
- | | |
|------------------|-------------------|
| 1) 15 нейтронов; | 3) 15 электронов; |
| 2) 16 протонов; | 4) 0 электронов. |
- 134)** Электронная оболочка в нейтральном атоме фтора ${}_{9}^{19}\text{F}$ содержит
- | | |
|-----------------|-------------------|
| 1) 9 нейтронов; | 3) 19 электронов; |
| 2) 19 протонов; | 4) 9 электронов. |

193. Постулаты Бора

- 135)** В стационарном состоянии атом в целом и его электроны в частности
- 1) не излучают электромагнитных волн;
 - 2) атом в целом не излучает, а электроны излучают энергию, так как движутся;
 - 3) электроны не излучают, а атом в целом излучает энергию, так как колеблется около положения равновесия;
 - 4) излучают электромагнитные волны.

136) Каждому стационарному состоянию атома соответствуют

- 1) определенное значение энергии атома, но неопределенные стационарные орбиты его электронов;
- 2) определенные стационарные орбиты его электронов, но неопределенное значение энергии атома;
- 3) определенное значение энергии атома и определенные стационарные орбиты его электронов;
- 4) неопределенное значение энергии атома, но неопределенные стационарные орбиты его электронов;

137) При переходе из стационарного состояния с большей энергией в другое стационарное состояние с меньшей энергией атом

- 1) испускает или поглощает один квант света;
- 2) поглощает один квант света;
- 3) испускает один квант света;
- 4) присоединяет к себе электрон.

138) Потенциальная кулоновская энергия взаимодействия электрона с ядром имеет минимальное значение

- 1) в возбужденном состоянии атома;
- 2) в стационарном состоянии атома;
- 3) в ионизированном состоянии атома;
- 4) в основном состоянии атома.

139) Потенциальная кулоновская энергия взаимодействия электрона с ядром имеет максимальное значение

- 1) в любом возбужденном состоянии атома;
- 2) в любом стационарном состоянии атома;
- 3) в любом ионизированном состоянии атома;
- 4) в любом основном состоянии атома.

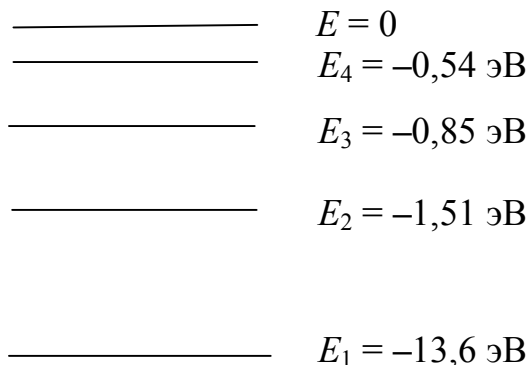
140) Потенциальная кулоновская энергия взаимодействия электрона с ядром равна нулю

- 1) в возбужденном состоянии атома;
- 2) в стационарном состоянии атома;
- 3) в ионизированном состоянии атома;
- 4) в основном состоянии атома.

141) Атом фтора находится в стационарном состоянии с некоторой энергией E_1 . Минимальная энергия, необходимая для ионизации атома, равна

- 1) $2E_1$;
- 2) $-E_1$;
- 3) E_1 ;
- 4) 0.

142) На рисунке приведен энергетический спектр атома водорода, который находится в стационарном состоянии с энергией E_3 . Для возбуждения данного атома его следует облучить фотонами с энергией



- 1) А, Б, В, Г; А. $\geq 0,85$ эВ;
- 2) А, Г; Б. 0,85 эВ;
- 3) Б, В; В. 0,31 эВ;
- 4) А, В. Г. $\geq 0,31$ эВ.

194. Лазер

143) Лазер излучает

- 1) световой шум;
- 2) световые волны различных частот;
- 3) когерентные световые волны;
- 4) световые волны, частота которых плавно меняется со временем.

144) Лазер - это

- 1) квантовый оптический генератор;
- 2) квантовый генератор;
- 3) оптический излучатель;
- 4) генератор.

145) Работа лазера возможна, если выполняются следующие условия:

- 1) А, Б, В; А. Внутри лазера создана активная среда;
- 2) А, Б; Б. Создана обратная связь;
- 3) А, В; В. Усиление света в активной среде выше
- 4) Б, В. порогового значения.

146) Как определить число фотонов, излучаемых за 1 с лазером со средней мощностью N , если излучаются световые волны с длиной волны λ ?

- 1) $\frac{N\lambda}{hc}$; 2) $\frac{N}{h\lambda}$; 3) $\frac{N\lambda}{c}$; 4) $\frac{N}{\lambda}$.

195. Постулаты специальной теории относительности

147) Во всех инерциальных системах физические законы имеют

- 1) своеобразную форму;
- 2) одинаковую форму;
- 3) уникальную форму;
- 4) специфическую форму.

148) Какой объект может двигаться со скоростью больше скорости света?

- 1) любой материальный объект;
- 2) любой нематериальный объект;
- 3) любой объект;
- 4) ни один из объектов.

149) Два космических объекта летят навстречу друг другу со скоростями 100 000 км/с каждый. Если первый объект выпустит световой сигнал в направлении движения, то относительно второго объекта сигнал будет двигаться со скоростью

- 1) 200 000 км/с;
- 2) 100 000 км/с;
- 3) 300 000 км/с;
- 4) 400 000 км/с.

150) Тестируя систему контроля в неподвижной ракете перед стартом, прибор настроили так, чтобы лазерный луч попадал точно в приёмник сигнала. Для правильной работы в условиях полёта со скоростью $v = 0.8c$ положение приёмника следует

- 1) рассчитать и изменить, передвинув вперёд по ходу движения ракеты;
- 2) рассчитать и изменить, передвинув назад по ходу движения ракеты;
- 3) оставить на месте;
- 4) рассчитывать и изменять в процессе полета с учётом влияния гравитации.

196. Относительность промежутков времени

151) Для взаимно неподвижных тел

- 1) во всех инерциальных системах промежутки времени одинаковы;
- 2) во всех неинерциальных системах промежутки времени одинаковы;
- 3) во всех системах отсчёта промежутки времени одинаковы;
- 4) в системах отсчёта, движущихся со скоростями, близкими к скорости света, промежутки времени постоянны.

152) Наблюдение спектра натрия проводилось одновременно в Земной лаборатории и на ракете, движущейся от Земли со скоростью $v = 0,95c$. Сравнение полученных результатов наблюдений

- 1) обнаружило смещение спектральной линии;
- 2) не выявило различий;
- 3) обнаружило уширение спектральной линии;
- 4) обнаружило искривление спектральной линии.

153) Если ракета летит мимо Земли со скоростью $0,9c$, то для наблюдателя на Земле секундная вспышка на ракете будет видна в течение

- 1) $0,9$ с; 2) $1,9$ с; 3) 2 с; 4) $2,3$ с.

197. Относительность длины тел

154) Длина тел

- 1) постоянна;
- 2) меняется пропорционально габаритам тел;
- 3) относительна;
- 4) растёт с ростом температуры.

155) Длина тела от скорости движения объекта относительно неподвижного наблюдателя зависит как

1) $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$;

3) $l = \frac{l_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$;

2) $l = l_0 \sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}$;

4) $l = \frac{l_0}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}}$.

156) Для взаимно неподвижных тел в инерциальных системах длина тела

- 1) тем больше, чем больше скорость системы;
- 2) тем больше, чем меньше скорость системы;
- 3) не зависит от скорости;
- 4) бесконечна, если система движется со скоростью света.

157) Если ракета длиной 40 м летит мимо Земли со скоростью $0,8c$, то для наблюдателя на Земле, взгляд которого перпендикулярен скорости ракеты, её длина составит

- | | |
|----------|----------|
| 1) 24 м; | 3) 32 м; |
| 2) 50 м; | 4) 36 м. |

198. Релятивистский закон сложения скоростей

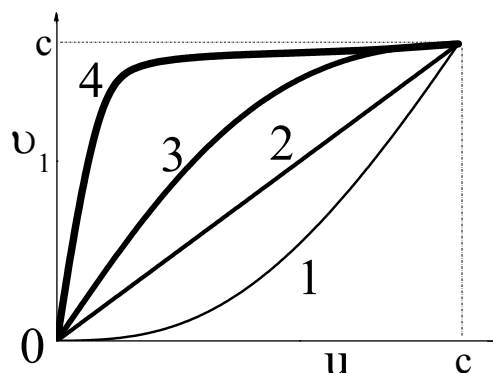
158) Две частицы разлетаются в противоположные стороны со скоростями соответственно $0,4c$ и $0,7c$ относительно наблюдателя. Скорость первой частицы в системе отсчета, связанной со второй, равна

- | | |
|--------------|-------------|
| 1) $0,86c$; | 3) $1,1c$; |
| 2) $0,3c$; | 4) c . |

159) Две частицы приближаются к регистрирующему прибору с противоположных сторон со скоростью $0,707c$. Какова относительная скорость частиц?

- | | |
|---------------|---------------|
| 1) $0,707c$; | 3) $0,943c$; |
| 2) $0,95c$; | 4) $1,414c$. |

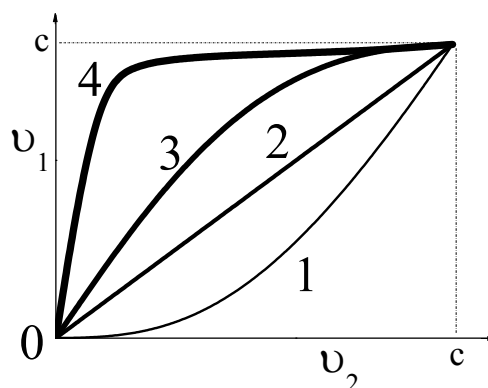
160) Две частицы разлетаются в противоположные стороны с одинаковыми (по величине) скоростями относительно наблюдателя. На каком из графиков правильно отражена зависимость изменения модуля скорости первой частицы относительно скорости второй?



- | | |
|-------|-------|
| 1) 1; | 3) 3; |
| 2) 2; | 4) 4. |

161) Две частицы разлетаются с одинаковыми скоростями относительно Земли. На каком из графиков правильно отражена зависимость изменения модуля скорости первой частицы от скорости второй частицы?

- 1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4.



199. Зависимость массы от скорости

162) Для взаимно неподвижных тел

- 1) во всех неинерциальных системах масса тел одинакова;
- 2) во всех инерциальных системах масса тел одинакова;
- 3) во всех системах отсчёта масса тел одинакова;
- 4) в системах отсчёта, движущихся со скоростями, близкими к скорости света, масса тел быстро растёт.

163) Масса тела зависит от скорости движения объекта относительно неподвижного наблюдателя как

1) $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}}$;

3) $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$;

2) $m = m_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$;

4) $m = m_0 \sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}$.

164) Масса покоя α -частиц составляет 4 а.е.м. Как изменится масса этой частицы, если она будет двигаться со скоростью $0,8c$?

- 1) 3,2 а.е.м.; 2) 4,8 а.е.м.; 3) 6,7 а.е.м.; 4) 8,4 а.е.м.

165) При какой скорости масса электрона увеличится в 2 раза?

- 1) $2c$; 2) $0,87c$; 3) $0,67c$; 4) $0,5c$.

200. Основной закон релятивистской динамики

166) Основной закон релятивистской динамики это

$$1) \vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}};$$

$$3) E = mc^2;$$

$$2) \frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F};$$

$$4) v_K = \frac{v_0 + v}{1 + \frac{v_0 v}{c^2}}.$$

201. Связь между массой и энергией

167) Полная энергия физического тела пропорциональна

1) его объёму;

3) его массе;

2) его силе;

4) его работе.

168) Энергия покоя любого физического тела записывается как

$$1) W = W_K + W_{II};$$

$$3) W = \frac{kx^2}{2} + mgh + \frac{mv^2}{2};$$

$$2) E = m_0 c^2;$$

$$4) E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

169) Полная энергия любого физического тела записывается как

$$1) W = W_K + W_{II};$$

$$3) W = \frac{kx^2}{2} + mgh + \frac{mv^2}{2};$$

$$2) E = m_0 c^2;$$

$$4) E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

170) Уравнение Эйнштейна для расчета полной энергии тела можно использовать для

1) движущихся макроскопических систем;

2) любых неподвижных систем;

3) любых движущихся систем;

4) любых систем.

171) Какой массе соответствует энергия, равная 4500 ГДж.

- 1) 0,5 кг; 2) 50 г; 3) 50 мг; 4) 0,5 мг.

172) Мощность солнечного неселективного излучения составляет $3,6 \cdot 10^{26}$ Вт.
Масса Солнца ежесекундно уменьшается на

- 1) 4 Мт; 2) 400 т; 3) 4 т; 4) 40 кг.

202. Состав ядра атома и ядерные силы

173) Ядро атома состоит из

- 1) протонов; 3) электронов;
2) нейтронов; 4) нуклонов.

174) Плотность ядерного вещества примерно равна

- 1) 10^8 кг/мм³; 3) 10^5 кг/мм³;
2) 10^{-5} кг/мм³; 4) 10^{-8} кг/мм³.

175) Масса нейтрона примерно равна массе

- 1) электрона; 3) протона;
2) атома; 4) ядра.

176) Если два атома отличаются только количеством нейтронов, то это

- 1) два иона; 3) два изотопа;
2) два протона; 4) два нуклона.

177) Где правильно указано количество протонов в ядре атома углерода?

- 1) $A = 6$; 2) $Z = 6$; 3) $A = 12$; 4) $Z = 12$.

178) Где правильно указано количество нейтронов в ядре атома кислорода?

- 1) $A = 16$; 2) $N = 16$; 3) $A = 8$; 4) $N = 8$.

179) Ядерные силы – это силы

- 1) короткодействующие;
2) среднедействующие;
3) длиннодействующие;
4) слабодействующие.

180) Найдите неверное продолжение фразы: Ядерные силы

- 1) не зависят от наличия электрического заряда;
- 2) имеют обменный характер;
- 3) действуют между частицами внутри атома;
- 4) это нецентральные силы.

181) Ядерные силы работают

- 1) в ядре;
- 2) между нейтронами;
- 3) между протонами;
- 4) в атоме.

203. Энергия связи атомных ядер

182) Энергии связи нуклона в ядре равна

- 1) работе ядерных сил для удаления из ядра одного нуклона;
- 2) работе против ядерных сил для удаления из ядра одного нуклона;
- 3) ядерным силам, удаляющим один нуклон из ядра;
- 4) работе против ядерных сил, удаляющих из ядра один нуклон.

183) Энергия связи атомного ядра

- 1) положительна;
- 2) нейтральна;
- 3) отрицательна;
- 4) периодически меняет знак.

184) энергия связи атомных ядер – это

- 1) разность между суммой энергий нейтронов в ядре и их энергией в свободном состоянии;
- 2) разность между суммой энергий протонов в ядре и их энергией в свободном состоянии;
- 3) разность между суммой энергий протонов и нейтронов в ядре и их энергией в свободном состоянии;
- 4) разность между суммой энергий протонов, нейтронов и электронов и их энергией в свободном состоянии;

185) Дефект массы связан с энергией связи уравнением

- 1) $\Delta M = \Delta E_{\text{связи}}$;
- 2) $\Delta M = \Delta E_{\text{свс}} c^2$;
- 3) $\Delta M = \frac{\Delta E_{\text{связи}}}{c}$;
- 4) $\Delta M = \frac{\Delta E_{\text{связи}}}{c^2}$.

204. Виды радиоактивных излучений

186) Что такое α -излучение?

- 1) поток ядер водорода;
- 2) поток быстрых электронов;
- 3) жесткое электромагнитное излучение;
- 4) поток ядер гелия.

187) Что такое β -излучение?

- 1) поток ядер водорода;
- 2) поток быстрых электронов;
- 3) жесткое электромагнитное излучение;
- 4) поток ядер гелия.

188) Что такое γ -излучение?

- 1) поток ядер водорода;
- 2) поток быстрых электронов;
- 3) жесткое электромагнитное излучение;
- 4) поток ядер гелия.

189) В перпендикулярном однородном магнитном поле от прямолинейного направления сильнее отклоняется

- 1) α -излучение;
- 2) β -излучение;
- 3) γ -излучение;
- 4) все излучения отклоняются одинаково.

190) Наиболее слабо с перпендикулярным однородным магнитным полем взаимодействует

- 1) α -излучение;
- 2) β -излучение;
- 3) γ -излучение;
- 4) все излучения взаимодействуют одинаково.

205. Экспериментальные методы регистрации ионизирующих излучений

191) Если работа прибора основана на возбуждении люминесценции покрытий экрана – появлении вспышек света на экране при попадании на него частиц, то это

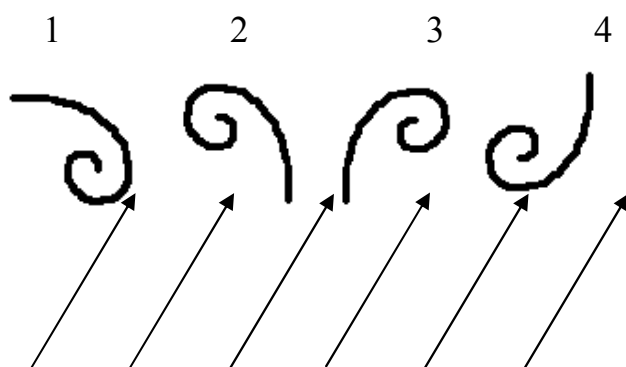
- 1) камера Вильсона;
- 2) метод толстослойных фотоэмульсий;
- 3) стинтилляционный счетчик;
- 4) счетчик Гейгера.

192) Если работа прибора основана на ионизации разряженных газов пролетающими через них частицами, и регистрацией кратковременного тока, вызванного движением ионов в электрическом поле, то это

- 1) камера Вильсона;
- 2) метод толстослойных фотоэмульсий;
- 3) стинтилляционный счетчик;
- 4) счетчик Гейгера.

193) В камере Вильсона при наличии магнитного поля, ориентированного согласно рисунку, были зафиксированы треки отдельных частиц. Какие треки соответствуют движению α -частиц?

- 1) А, В, Г; А. 1;
- 2) А, Б, В; Б. 2;
- 3) Б; В. 3;
- 4) А, Г. Г. 4.



Направление вектора магнитной индукции

206. Закон радиоактивного распада

194) При любых видах радиоактивных распадов образование новых ядер подчиняется законам сохранения

- 1) А, Б, В, Г; А. Электрического заряда;
- 2) А, Б, В; Б. Числа протонов;
- 3) А, Б; В. Числа электронов;
- 4) А, Г. Г. Числа нуклонов.

195) При α -распаде дочерное ядро всегда будет иметь

- | | |
|-------------|----------------------------|
| 1) А, В; | А. На два протона меньше; |
| 2) А, В, Г; | Б. На один протон больше; |
| 3) Б, Г; | В. На два нуклона меньше; |
| 4) А, Г | Г. На два нейтрона меньше. |

196) При β -распаде дочерное ядро всегда будет иметь

- | | |
|----------|----------------------------|
| 1) Б, В; | А. На два протона меньше; |
| 2) А, В; | Б. На один протон больше; |
| 3) Б, Г; | В. На два нейтрона больше; |
| 4) А, Г. | Г. На один нейтрон меньше. |

197) Период полураспада вещества 10 лет – это время, в течение которого

- 1) ядра вещества распадаются наполовину;
- 2) протоны в ядрах вещества распадаются наполовину;
- 3) распадается половина всех ядер вещества;
- 4) электроны в половине атомов падают на ядра.

198) Если период полураспада вещества составляет 100 лет, то какая доля начального количества атомов распадется через 200 лет?

- 1) 100 %; 2) 75 %; 3) 50 %; 4) 25 %.

199) Было получено 100 тыс. атомов радиоактивного изотопа с периодом полураспада 20 мин. Какое количество нераспавшихся атомов останется через час?

- 1) $5 \cdot 10^4$; 2) $0,125 \cdot 10^5$; 3) $2,5 \cdot 10^4$; 4) $12,5 \cdot 10^2$.

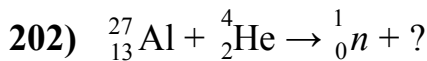
207. Ядерные реакции

200) Радиоактивный натрий ${}_{11}^{24}\text{Na}$ подвергается одному β -распаду. При этом образуется изотоп

- 1) ${}_{2}^{4}\text{He}$; 2) ${}_{12}^{24}\text{Mg}$; 3) ${}_{10}^{20}\text{Ne}$; 4) ${}_{11}^{23}\text{Na}$.

201) При облучении атомов бора ${}_{5}^{10}\text{B}$ α -частицами первично образуется изотоп

- 1) ${}_{7}^{13}\text{N}$; 2) ${}_{6}^{12}\text{C}$; 3) ${}_{4}^{10}\text{Be}$; 4) ${}_{2}^{4}\text{He}$.



- 1) ${}_{15}^{30}\text{P}$; 2) ${}_{11}^{23}\text{Na}$; 3) ${}_{15}^{32}\text{P}$; 4) ${}_{11}^{24}\text{Na}$.

203) При радиоактивном превращении ядра марганца ${}_{25}^{56}\text{Mn}$ в ядро железа ${}_{26}^{56}\text{Fe}$ происходит

- 1) α -распад; 3) полураспад;
2) β -распад; 4) γ -излучение.

208. Деление ядер урана. Цепные ядерные реакции

204) Энергию активации в ядро урана вносит

- 1) протон; 3) электрон;
2) нейтрон; 4) γ -излучение.

205) При делении 1 г урана ${}_{92}^{235}\text{U}$ выделяется энергия равная

- 1) 80 ГДж; 2) 80 МДж; 3) 80 кДж; 4) 80 Дж.

206) С уменьшением атомного номера ядра относительное число нейтронов, приходящихся на один протон

- 1) возрастает; 3) уменьшается;
2) не меняется; 4) уменьшается на половину.

207) Если коэффициент размножения нейтронов $k > 1$ при делении ядер урана, то

- 1) ядерная реакция плавно замедляется;
2) ядерная реакция плавно ускоряется;
3) начинается цепная ядерная реакция;
4) ядерная реакция останавливается.

208) При делении ядра урана ${}_{92}^{235}\text{U}$ сумма зарядов в ядрах-осколках может быть равна

- 1) А, Б, В, Г; А. 93;
2) А, Б; Б. 92;
3) Б; В. 91;
4) Г. Г. 90.

209. Термоядерные реакции

209) В процессе термоядерных реакций происходит

- 1) деление ядер;
- 2) полураспад ядер;
- 3) синтез ядер;
- 4) излучение ядер.

210) Для синтеза ядер необходимо их сблизить на расстояния менее чем

- 1) 10^{-14} м;
- 2) 10^{-10} м;
- 3) 10^{-8} м;
- 4) 10^{-5} м.

211) При синтезе ядер их сближению препятствует

- 1) электронная оболочка атома;
- 2) кулоновское отталкивание ядер;
- 3) наличие между ядрами нейтронов;
- 4) неправильная форма ядер.

212) Из двух ядер водорода ${}^2_1\text{H}$ при термоядерной реакции можно получить

- 1) одно ядро гелия;
- 2) два ядра гелия;
- 3) одно ядро дейтерия;
- 4) одно ядро трития.

210. Задачи повышенного и высокого уровней сложности

213) Определить абсолютный показатель преломления оптически плотного стекла, если при падении света под углом в 60° угол преломления составил 30° .
(Ответ: 1,73)

214) Найти угол преломления светового луча в стекле с коэффициентом преломления 1,5, если падающий луч наклонен относительно пластины на 60° . Ответ округлите до двух значащих цифр.
(Ответ: 19°)

215) Луч света падает на прозрачную плоскопараллельную пластину с показателем преломления 1,74 под некоторым углом, для которого $\sin\alpha = 0,87$. Смещение вышедшего из пластины луча оказалось равным 2 см. Определить толщину пластины.
(Ответ: 3,5 см)

216) Определить угол падения луча света на стеклянную пластину, если угол между отраженным лучом и преломленным лучом составляет 90° . Ответ округлите до двух значащих цифр.
(Ответ: 56°)

- 217) Луч света падает перпендикулярно к боковой грани призмы с показателем преломления 1,73 так, что преломляющий угол составляет 30° . Определить угол отклонения луча от первоначального направления при выходе луча из призмы. (Ответ: 30°)
- 218) Монохромный луч перпендикулярно падает на боковую грань призмы и выходит из неё отклоненным на 30° . Найти преломляющий угол призмы, если показатель преломления стекла 1,67. (Ответ: 32°)
- 219) На дне водоёма глубиной 2 м горизонтально лежит осколок зеркала. На каком расстоянии от места входа в воду луч, отраженный от осколка, вновь выйдет в воздух? (Ответ: 2,5 м)
- 220) Свая, высотой 3 м, оказалась залита водой и в солнечный день отбрасывает тень длиной 1,22 м на дно водоема. Определить угол падения солнечных лучей на поверхность водоёма. (Ответ: 30°)
- 221) Легкий надувной круглый плот радиусом 4 м неподвижен на водной поверхности озера, имеющего ровное дно и глубину 2,63 м. Найти радиус полной тени от плота на дне озера при рассеянном освещении. (Ответ: 1 м)
- 222) Солнечный луч, отражаясь от вертикального зеркала под углом γ , падает на противоположную стену. Определить закон движения солнечного зайчика для двух случаев колебательного движения зеркала: 1) $x(t) = a\sin(\omega t)$; 2) $y(t) = b\sin(\omega t)$.
(Ответ: $y(t) = 2atg\gamma \cdot \sin(\omega t)$; $y(t) = \text{const}$)
- 223) На поверхности воды плавает легкий круглый диск, под центром которого на глубине 8,8 см подвешен точечный источник света. Определить минимальный радиус диска, при котором ни один луч света не выйдет из воды. (Ответ: 10 см)
- 224) На поверхности воды плавает лёгкий прямоугольный плот с размерами $2,28 \times 3,72 \text{ м}^2$. Определить глубину тени под плотом в облачную погоду. (Ответ: 1 м)
- 225) Пловец погрузился в бассейне под воду на глубину 1 м и при взгляде вверх обнаружил, что над ним висит лампа, расстояние до которой ему кажется в 5 раз больше, чем столб воды над ним. Определить истинное расстояние от поверхности воды до лампы. (Ответ: 3 м)

- 226) На экране, находящемся за собирающей линзой, удалось получить изображение предмета с увеличением в 2,5 раза. Найти расстояние от линзы до экрана, если расстояние от предмета до линзы больше её фокусного расстояния на 8 см. (Ответ: 60 см)
- 227) Изображение, которое в три раза больше предмета, получено на экране при помощи линзы, расстояние до предмета от которой на 8 см превышает её фокусное расстояние. Найти расстояние от экрана до линзы. (Ответ: 96 см)
- 228) Линза дает действительное изображение предмета, увеличенное в полтора раза по сравнению с предметом, на расстоянии 20 см от линзы. Найти фокусное расстояние линзы и построить изображение предмета. (Ответ: 8 см)
- 229) Найти высоту изображения, если фокусное расстояние собирающей линзы равно 20 см, расстояние от предмета до фокуса 10 см, а высота предмета 2 см. (Ответ: 8 см; 0,8 см)
- 230) Получено пятикратное увеличение предмета, расположенного на расстоянии 12 см от собирающей линзы. Найти фокусное расстояние линзы. (Ответ: 10 см; 15 см)
- 231) Стеклолинза с оптической силой 4 дптр погружена в воду. Найти фокусное расстояние линзы в воде, если показатель преломления стекла равен 1,6. (Ответ: 0,75 м)
- 232) Изображение предмета, полученное на матовом стекле при помощи объектива с расстояния 3 м, имеет высоту 60 мм, а с расстояния 7 м – высоту 20 мм. Найти фокусное расстояние объектива. (Ответ: 1 м)
- 233) Найти действительную высоту дерева, если при фотографировании через объектив с фокусным расстоянием 2,5 см с расстояния 50 метров высота дерева на пленке оказалась равной 5 мм. (Ответ: 10 м)
- 234) Тонкая стеклолинза, опущенная в спирт, имеет в нем фокусное расстояние 0,7 м. Определить оптическую силу линзы на воздухе, если показатель преломления стекла 1,7. (Ответ: 5 дптр)

- 235) Вначале на экране получили изображение с четырехкратным увеличением предмета, затем, передвинув экран на 15 см дальше от линзы, перемещая предмет, добились резкого изображения с двукратным увеличением. На каком расстоянии от линзы первоначально располагался экран? (Ответ: 37,5 см)
- 236) Предмет расположен в 15 см от линзы с фокусным расстоянием 10 см, а за линзой, в фокальной плоскости, расположено зеркало. Найти расстояние от линзы до изображения. (Ответ: 5 см)
- 237) Имеется линза с фокусным расстоянием 30 см. Найти увеличение линзы, если предмет установлен в 0,9 см от линзы. Построить оптическую схему получения изображения предмета. (Ответ: 0,5)
- 238) В воду на глубину 17,6 см погружен точечный источник света, который образует светлое пятно на поверхности воды. Над жидкостью, параллельно её поверхности, устанавливают собирающую линзу с фокусным расстоянием 1,6 см и получают уменьшенное изображение светлого пятна на экране, расположенном параллельно линзе в 10 см от поверхности воды. Определить радиус изображения на экране. (Ответ: 5 см)
- 239) На каком расстоянии от линзы с фокусным расстоянием 45 см следует поместить предмет, чтобы получить изображение, в 3 раза больше самого предмета? (Ответ: 0,9 м)
- 240) На каком расстоянии от линзы с оптической силой 7 дптр надо поместить предмет для получения резкого изображения, если экран закреплен на расстоянии 20 см от линзы? Дать оптическую схему получения изображения предмета. (Ответ: 0,5 м)
- 241) Получено изображение предмета, расположенного на расстоянии 75 см от собирающей линзы с фокусным расстоянием 0,25 м. Определить расстояние от линзы до полученного изображения. Построить оптическую схему получения данного изображения. (Ответ: 37,5 см)
- 242) Мнимое изображение светящейся точки, полученное при помощи линзы с оптической силой -4 дптр, находится в два раза ближе к линзе, чем сама точка. Определить положение светящейся точки, если она лежит на главной оптической оси. (Ответ: 25 см)

- 243) Определить расстояние от центра линзы до точки пересечения лучей сходящегося светового пучка после преломления в линзе с оптической силой -3 дптр, если продолжения лучей пересекаются на главной оптической оси за линзой на расстоянии 20 см от её оптического центра.
(Ответ: $0,5$ м)
- 244) Предмет занимает положение, соответствующее положению диагонали квадрата площадью 100 см^2 , расположенного одной из сторон на главной оптической оси линзы с фокусным расстоянием $0,5$ м. Построить изображение предмета и найти длину его изображения, если ближняя к линзе сторона квадрата расположена в плоскости двойного фокуса.
(Ответ: 13 см)
- 245) Абсолютно упругое тело движется прямолинейно и горизонтально со скоростью 4 м/с и, ударившись вдоль оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием 20 см, упруго отскакивает от неё. Линза, установленная вертикально на абсолютно гладкой поверхности, после удара приходит в движение. Сколько времени имеется для наблюдения мнимого изображения упругого тела?
(Ответ: $0,1$ с)
- 246) Имеется центрированная система из двух тонких линз с фокусным расстоянием 3 см каждая, в 4 см перед которой расположен предмет. Найти местоположение изображения предмета при расстоянии между линзами 3 см.
(Ответ: 12 см)
- 247) Имеется центрированная система из двух тонких линз с фокусным расстоянием 3 см каждая, в 4 см перед которой расположен предмет. Найти местоположение изображения предмета при расстоянии между линзами $6,8$ см.
(Ответ: -1 см)
- 248) Определить, как меняется длина волны света с частотой $4,13 \cdot 10^{14}$ Гц при переходе из вакуума в алмаз.
(Ответ: с 726 до 300 нм)
- 249) Определить диапазон длин волн зеленого света, если его частотный диапазон составляет $5,4 \cdot 10^{14} - 6 \cdot 10^{14}$ Гц. Ответ округлить до двух значащих цифр.
(Ответ: $500 - 560$ нм)
- 250) Световой пучок с длиной волны в вакууме $0,6$ мкм вертикально падает на покровное стекло толщиной 10 мкм. Определить показатель преломления стекла, если в стекле укладывается 25 длин волн данного пучка.
(Ответ: $1,5$)

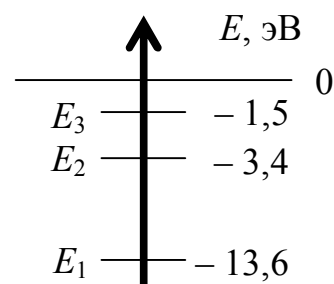
- 251) Два полупрозрачных зеркала, параллельных друг другу, стоят на пути световых волн длиной 800 нм. Найти минимальное расстояние между зеркалами для наблюдения первого минимума интерференции световых волн. (Ответ: 200 нм)
- 252) Мыльная пленка, представляющая из себя тонкий слой воды, устойчивость которого обеспечивается молекулами мыла, не влияющими на оптические свойства воды, заполнила вертикально расположенную квадратную рамку со сторонами в 1 см. Опираясь на одну из сторон, пленка, подчиняясь действующим на нее силам, приняла форму клина с углом при вершине $8 \cdot 10^{-4}$ рад. При освещении светом с длиной волны 700 нм, падающим на пленку перпендикулярно рамке, за счет частичного отражения света от её поверхностей образуется интерференционная картина, состоящая из 30 горизонтальных полос. Определить показатель преломления воды. (Ответ: 1,33)
- 253) Два покровных квадратных стеклышка со стороной 2 см лежат друг на друге. На нижнем стекле по верхней стороне вдоль боковой грани нанесена очень узкая полоска клея. На верхнее стекло, перпендикулярно к его поверхности, падает свет с длиной волны 750 нм, и вдоль стеклянного клина на 5 мм длины образуется 10 интерференционных полос. Пренебрегая прогибом стекла определить толщину клея. (Ответ: 16 мкм)
- 254) На экране, находящемся в 20 м от точечного источника света с длиной волны 490 нм, напротив источника наблюдается третий интерференционный максимум. Определить высоту, на которой источник света подвешен над зеркальной поверхностью, расположенной между источником света и экраном. (Ответ: $3,5 \cdot 10^{-4}$ м)
- 255) Дифракционная решетка с периодом 10 мкм освещается параллельным пучком света с длиной волны $4,5 \cdot 10^{-7}$ м, который падает перпендикулярно поверхности решетки. Определить расстояние между максимумами первого и второго порядков, наблюдаемых на экране, расположенном в фокальной плоскости собирающей линзы с фокусным расстоянием 8 см, находящейся между решеткой и экраном. (Ответ: 3,6 мм)

- 256) Если на дифракционную решетку падает свет с длиной волны λ_1 , то между спектрами k_1 порядка образуется угол φ_1 . Как выразить угол φ_2 между спектрами k_2 порядка для случая, когда на эту же решётку падает свет с другой длиной волны λ_2 ? (Ответ: $2\arcsin\left(\frac{k_2\lambda_2}{k_1\lambda_1}\sin\frac{\varphi_1}{2}\right)$)
- 257) Свет от газоразрядной лампы падает на решётку с периодом 10 мкм перпендикулярно её поверхности. На расстоянии 1,25 м от решётки расположен экран, на котором расстояние между двумя самыми яркими зелеными спектральными линиями равно 13,5 см. Определить содержимое газоразрядной трубки, если наиболее интенсивные зеленые линии у криптона имеют длину волны 557 нм, у ртути – 546 нм, у неона – 540 нм. (Ответ: неон)
- 258) Определить энергию фотона, летящего в световом потоке с длиной волны 495 нм. (Ответ: 2,5 эВ)
- 259) Найти максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности цинка излучением с длиной волны 238 нм и определить их максимальную кинетическую энергию. (Ответ: 600 км/с; 1эВ)
- 260) Работа выхода электронов из металла равна $2 \cdot 10^{-19}$ Дж. Найти длину волны света, которым освещается поверхность этого металла, если фотоэлектроны имеют кинетическую энергию $8,3 \cdot 10^{-20}$ Дж. (Ответ: 700 нм)
- 261) Какую длину волны необходимо выбрать для освещения вольфрама, покрытого цезием, чтобы кинетическая энергия фотоэлектронов оказалась равной $1,8 \cdot 10^{-19}$ Дж? Ответ округлите до двух значащих цифр. (Ответ: 500 нм)
- 262) При освещении фотоэлемента монохромным светом с некоторой частотой ток в цепи прекращается при потенциале на аноде $-1,6$ В. При освещении этого же фотоэлемента светом с частотой в 1,5 раза больше, чем в первом случае, ток прекратился при потенциале на аноде $-4,8$ В. Найти работу выхода для фотокатода. (Ответ: 4,8 эВ)

- 263) При освещении фотоэлемента монохромным светом с длиной волны 619 нм ток в цепи прекращается при некотором запирающем напряжении U . При освещении этого же фотоэлемента светом с длиной волны, больше чем в первом случае на 25 %, запирающее напряжение уменьшается на 0,4 В. Рассчитать постоянную Планка. (Ответ: $6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с)
- 264) На плоский вольфрамовый электрод, покрытый торием, направляют излучение с длиной волны 90 нм. Определить максимальное расстояние от поверхности электрода, на которое может удалиться фотоэлектрон, если электрод создает задерживающее однородное электрическое поле с напряженностью 7,4 В/см. (Ответ: 15 мкм)
- 265) Ультрафиолетовый поток с длиной волны 0,33 мкм и мощностью 10 мВт падает на фотокатод. Найти силу фототока, если КПД фотодиода 6 %. (Ответ: 160 мкА)
- 266) Изолированный металлический шар ёмкостью 1 мкФ, находящийся в сухом помещении, вначале заземляют, затем отключают заземление, длительно облучают квантами света с энергией 6 эВ и после прекращения облучения вновь заземляют. Определить количество теплоты, выделившейся при втором заземлении, если работа выхода электронов из металла 1 эВ. (Ответ: 12,5 мкДж)
- 267) На плоскую пластину с работой выхода 2,2 эВ падает поток монохромного света мощностью 640 мВт со скоростью 10^{18} фотонов в секунду. Определить максимально достижимый потенциал на пластине при длительном освещении. (Ответ: 1,8 В)
- 268) Какое запирающее напряжение необходимо приложить к фотоэлементу, чтобы задержать электроны, испускаемые вольфрамом, покрытым натрием, если фотокатод освещается потоком ультрафиолета с длиной волны 200 нм. (Ответ: 4 В)
- 269) Найти работу выхода электронов из вольфрама, наибольшую скорость фотоэлектронов и наибольшую кинетическую энергию, если наибольшая длина волны, при которой происходит фотоэффект, для вольфрама равна 0,247 мкм, а вольфрам освещается световым потоком с длиной волны 165 нм. (Ответ: 5 эВ; 4700 км/с; 62 эВ)
- 270) Определить число квантов, излучаемых лазером за одну секунду, если он потребляет 4,5 Вт электроэнергии, излучает свет с длиной волны 0,44 мкм, а его КПД – 10 %. (Ответ: 10^{18} с⁻¹)

- 271) Найти работу выхода электрона из металла, если квант света с длиной волны 309 нм, падая на поверхность металла, создает фотоэлектрон, который описывает окружность диаметром 6 мм в однородном магнитном поле с индукцией 1 мТл. (Ответ: 3,2 эВ)
- 272) Найти модуль импульса одного γ -кванта, который образовался при распаде π^0 -мезона (π^0 -мезон имеет массу 135 МэВ и обычно быстро распадается на два γ -кванта) в системе отсчета, которая была связана с π^0 -мезоном. (Ответ: $3,6 \cdot 10^{-20}$ кг·м/с)
- 273) Попав в некоторую оптическую среду, световой поток, создаваемый фотонами с энергией $2,2 \cdot 10^{-19}$ Дж, приобрел длину волны 500 нм. Определить абсолютный показатель преломления среды. (Ответ: 1,8)
- 274) Плоская пластина площадью 1 см^2 подвержена воздействию потока протонов с концентрацией 10^{19} м^{-3} , который полностью поглощается пластиной. Определить давление, оказываемое протонами на пластину, если сила тока протонов равна 1 мА. (Ответ: 65 пПа)
- 275) Найти для экспериментального спутника массой 1 т ускорение, которое создается силой давления солнечных лучей мощностью 600 Вт/м^2 , падающих перпендикулярно на поверхность солнечного отражателя с габаритами $50 \times 50 \text{ м}$. (Ответ: 10^{-5} м/с^2)
- 276) Найти длину волны, излучаемой атомами некоторого вещества при переходе атомов с энергетического уровня E_4 на уровень E_1 , если имеется следующая информация о спектре излучения атомов: поглощение волны с $\lambda_{13} = 100 \text{ нм}$ приводит к переходу атомов из состояния E_1 в состояние E_3 ($E_1 \rightarrow E_3$); освещение волной с $\lambda_{24} = 470 \text{ нм}$ приводит к переходу $E_2 \rightarrow E_4$, а переход состояния атомов $E_3 \rightarrow E_2$ сопровождается излучением с $\lambda_{32} = 620 \text{ нм}$. (Ответ: 95 нм)
- 277) Электрон, поглотив фотон с энергией 14,9 эВ, вылетел из невозбужденного атома водорода. Определить скорость, с которой электрон вылетел из атома, если энергия ионизации атома водорода равна 13,5 эВ. (Ответ: 700 км/с)

278) Электрон, после столкновения с покоящимся атомом, энергетический спектр которого представлен на рисунке, приобрёл дополнительную энергию, и его импульс стал равен $2 \cdot 10^{-24}$ кг·м/с. Найти кинетическую энергию электрона до столкновения, если процесс не сопровождался испусканием света.



(Ответ: 3,6 эВ)

279) На сколько нейтронов больше содержится в атоме висмута ${}^{209}_{83}\text{Bi}$, чем в атоме индия ${}^{127}_{53}\text{I}$?

(Ответ: 52)

280) На сколько нейтронов и на сколько протонов больше содержится в атоме сурьмы ${}^{122}_{51}\text{Sb}$, чем в атоме ${}^{39}_{19}\text{K}$?

(Ответ: 51; 32)

281) Скорость α -частицы, вылетевшей при α -распаде из покоящегося ядра урана ${}^{238}_{92}\text{U}$, равна $2 \cdot 10^4$ км/с. Найти кинетическую энергию дочерного ядра.

(Ответ: 3,7 эВ)

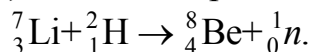
282) В лаборатории получили два радиоактивных элемента, первый из которых имеет период полураспада 6 суток, а второй – 4. Изначально атомов первого элемента было получено в 2 раза меньше, чем второго. Во сколько раз будет отличаться количество атомов этих элементов через 24 суток?

(Ответ: первых будет в 2 раза больше)

283) Автономный атомный электрогенератор с КПД = 22,5 % за 1 год израсходовал 70 г ${}^{239}_{94}\text{Pu}$. Определить электрическую мощность генератора, если при α -распаде одного ядра плутония выделяется 5 МэВ энергии.

(Ответ: 1 кВт)

284) Найти энергию, которая выделится при ядерной реакции



(Ответ: 15 МэВ)

211. Справочные данные

Таблица 1. **Физические константы**

Наименование константы	Численное значение
Число π	$\pi = 3,14$
Скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8$ м/с
Постоянная Планка	$h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ Дж/с
Заряд электрона	$e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона	$m_e = 9,1095 \cdot 10^{-31}$ кг = = $5,486 \cdot 10^{-4}$ а.е.м.
Масса покоя нейтрона	$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$ кг = = 1,00866 а.е.м.
Масса покоя протона	$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг = = 1,00728 а.е.м.
1 а.е.м.	$1,66057 \cdot 10^{-27}$ кг
1 электронвольт	1 эВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж

Таблица 2. **Показатель преломления некоторых веществ**

Вещество	n	Вещество	n
Стекло	1,5	Спирт	1,36
Вода	1,33	Алмаз	2,42

Таблица 3. **Работа выхода электронов из некоторых веществ**

Вещество	A, Эв	Вещество	A, Эв
Цинк	4,2	Торий на вольфраме	2,62
Цезий на вольфраме	1,36	Натрий на вольфраме	2,1

Таблица 4. **Относительная атомная масса некоторых изотопов**

Изотоп	Формула изотопа	Масса нейтрального атома	Примечание
Дейтерий	${}^2_1\text{H}$	2,01410	Для нахождения массы ядра необходимо вычесть суммарную массу электронов
Литий	${}^7_3\text{Li}$	7,01601	
Бериллий	${}^8_4\text{Be}$	8,00531	

212. Ключи к задачам с 1 по 212 (начало)

Таблица 6

1	3	22	2	43	2	64	1	85	1	106	1	127	2	148	2	169	4
2	4	23	3	44	2	65	2	86	2	107	2	128	1	149	3	170	4
3	1	24	4	45	1	66	4	87	1	108	4	129	1	150	3	171	3
4	3	25	2	46	3	67	1	88	2	109	2	130	4	151	1	172	1
5	4	26	3	47	4	68	3	89	3	110	2	131	2	152	2	173	4
6	3	27	3	48	3	69	3	90	3	111	1	132	3	153	4	174	1
7	4	28	4	49	3	70	3	91	3	112	3	133	4	154	3	175	3
8	3	29	1	50	1	71	4	92	4	113	4	134	4	155	1	176	3
9	2	30	2	51	4	72	3	93	2	114	2	135	1	156	3	177	2
10	2	31	4	52	4	73	1	94	1	115	1	136	3	157	1	178	4
11	4	32	4	53	3	74	1	95	3	116	1	137	3	158	1	179	1
12	2	33	3	54	2	75	1	96	3	117	4	138	4	159	3	180	3
13	3	34	1	55	4	76	4	97	1	118	4	139	3	160	3	181	1
14	2	35	2	56	3	77	1	98	3	119	4	140	3	161	2	182	2
15	3	36	4	57	3	78	4	99	2	120	2	141	2	162	2	183	3
16	1	37	1	58	2	79	2	100	4	121	3	142	4	163	3	184	3
17	1	38	4	59	3	80	1	101	1	122	3	143	3	164	3	185	4
18	1	39	1	60	1	81	1	102	2	123	1	144	1	165	2	186	4
19	2	40	3	61	3	82	3	103	3	124	3	145	1	166	2	187	2
20	2	41	2	62	2	83	2	104	4	125	1	146	1	167	3	188	3
21	3	42	3	63	3	84	2	105	4	126	2	147	2	168	2	189	2

окончание табл. 6

190	3	193	1	196	3	199	2	202	1	205	1	208	3	211	2		
191	3	194	4	197	3	200	2	203	2	206	3	209	3	212	1		
192	4	195	4	198	2	201	1	204	2	207	3	210	1				

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вы познакомились с основами научных представлений по оптике, атомной и ядерной физике. Не надо думать, что изложенные в этой книге материалы и приведенные в ней задачи охватывают весь круг вопросов, изучаемых современной наукой в этих направлениях.

Оптические исследования начались в глубокой древности, и уже к началу XIV века в научных трактатах давалось правильное объяснение явления радуги. Начальные представления волновой оптики были заложены в XVII веке. С тех пор оптические исследования значительно продвинули развитие науки в целом и оптики в частности.

В настоящее время, кроме перечисленных в этом пособии разделов оптики ведутся интенсивные исследования по голографии, интегральной оптике, кристаллооптике, нелинейной оптике, оптическому распознаванию образов, по созданию оптического компьютера, радиометрии, фотометрии и фотонике.

Также интенсивное развитие исследований в настоящее время наблюдается и в атомной и в ядерной физике. Поражают темпы перехода ядерной физики из раздела фундаментальных исследований к практическому применению. Первые научные работы по исследованию структуры атомов и ядер различных химических элементов были проведены в начале XX века, а уже в середине этого же века заработала первая атомная электростанция.

В современной ядерной физике выделяются следующие основные направления исследований:

- поиск новых сверхтяжелых ядер;
- исследование свойств ядерной материи в экстремальных условиях - в области мультифрагментации и полного развала ядра на нейтроны и протоны;
- исследование формы и свойств атомных ядер;
- исследование атомных ядер вблизи от границ нейтронной и протонной стабильности;
- изучение новых типов радиоактивного распада;
- кварк-глюонная структура нуклона и изменение его свойств в ядерной материи.

Об особенностях каждого из этих направлений исследований Вы можете узнать из дополнительной литературы, а, для более глубокого изучения оптики, атомной и ядерной физики рекомендуем воспользоваться следующей литературой:

1. Бутиков, Е. И. Физика: учеб. пособие: в 3 кн. Электродинамика. Оптика/ Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев. – М.: Физматлит, 2008.

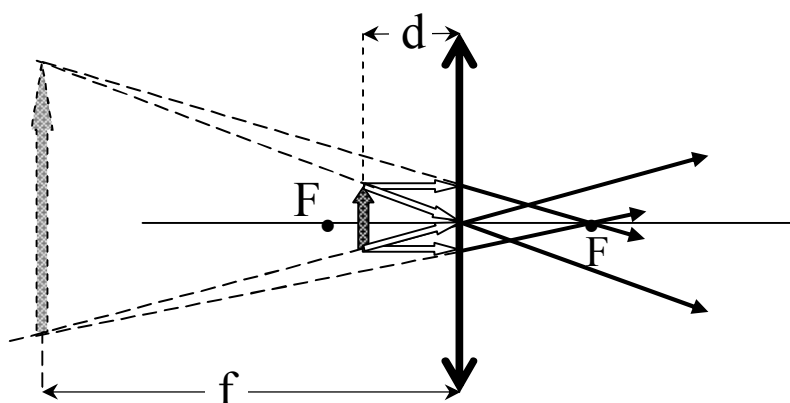
2. Ландсберг, Г.С. Элементарный учебник физики. Т.3. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика: учеб. пособие./ Г. С. Ландсберг — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 656 с.

Учебное издание

Урюпин Олег Николаевич

Урюпина Ксения Олеговна

К ЕГЭ ГОТОВ!



Ф И З И К А
Часть IV

*Оптика. Атомная и ядерная
физика*

Учебное пособие

Оригинал-макет подготовлен авторами

Подписано в печать 01.09.2013 г. Формат 60x84 1/16. Печать трафаретная.

Усл. печ. л. 7,4. Тираж 100 экз. Заказ 211

Сайт: <http://www.sutd.ru> E-mail: physicsutd@mail.ru

Отпечатано в типографии ФГБОУВПО «СПГУТД»

191028, Санкт-Петербург, ул. Моховая, 26