

Министерство науки и высшего образования российской федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра теории и методики профессионального образования

Составитель
А. А. Мальшин

ФИЗИКА

Методические указания
к лабораторным работам № 5, 6
для студентов 1 курса (2 семестр) специальности СПО
18.02.12 Технология аналитического контроля
химических соединений

Рекомендовано цикловой методической комиссией
математических и естественнонаучных дисциплин
в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2018

Рецензенты:

Кабачевская Е. В. – доцент, зав. кафедрой теории и методики профессионального образования

Ощепкова Е. А. – председатель цикловой методической комиссии математических и естественнонаучных дисциплин

Мальшин Анатолий Александрович

Физика: методические указания к лабораторным работам № 5, 6 [Электронный ресурс] для студентов 1 курса (2 семестр) специальности СПО 18.02.12 Технология аналитического контроля химических соединений очной формы обучения / сост. А. А. Мальшин; КузГТУ. – Электрон. издан. – Кемерово, 2018.

В методических указаниях приведено содержание лабораторных работ по дисциплине «Физика».

© КузГТУ, 2019

© Мальшин А. А.,
составление 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Методические рекомендации студентам</i>	<i>3</i>
<i>Лабораторная работа 5 Определение показателя преломления стекла интерференционным методом</i>	<i>4</i>
<i>Лабораторная работа 6 Явление внешнего фотоэффекта</i>	<i>9</i>
<i>Вопросы для самоподготовки</i>	<i>15</i>
<i>Список литературы</i>	<i>16</i>

Методические рекомендации студентам

В лабораторный практикум включены лабораторные работы по разделу физики «Оптика», «Квантовая физика» предусмотренные рабочей программой дисциплины «Физика» для специальности СПО 18.02.12 Технология аналитического контроля химических соединений.

При выполнении лабораторного практикума студент получает элементарные навыки проведения эксперимента, учится самостоятельно анализировать физические явления, сопоставлять выводы теории и экспериментальные результаты, выделять главное, понимать роль идеализации, рассчитывать погрешности измерений.

Рекомендации студентам по организации самостоятельной работы в лабораториях включают следующие положения:

1. На каждое занятие согласно графику выполнения лабораторных работ студент должен приходить подготовленным. На самостоятельную работу студентам для подготовки к выполнению каждой лабораторной работы отводится около 4 часов.

2. Подготовка включает изучение содержания лабораторной работы, проработку теоретического материала по учебникам и учебным пособиям для самостоятельной работы, заготовку краткого конспекта отчёта предстоящей работы. Конспект отчёта содержит название и цель работы, рисунок установки, поясняющий идею метода, рабочие формулы и таблицы для занесения в них измеряемых и вычисляемых величин. Конспект отчёта может быть выполнен как в рукописном, так и в электронном варианте.

3. Для выполнения работы необходимо получить допуск, объяснив суть используемого метода, устройство установки, уметь определять цену деления измерительного прибора, знать последовательность измерений, уметь обрабатывать результаты измерений, оценивать их погрешность, знать порядок измерений, алгоритм вычислений искомых величин и их погрешностей, а также ожидаемый характер исследуемых зависимостей.

4. Результаты эксперимента и отчёт, содержащий вывод о проделанной работе, подписываются преподавателем.

Лабораторная работа 5

Определение показателя преломления стекла интерференционным методом

1. *Цель работы:* получение интерференционной картины методом деления амплитуды и определение показателя преломления стекла.

2. *Подготовка к работе:* прочитать в учебниках [1] § 179–181; [2] 19.1–19.4; ответить на вопросы самоподготовки 1–5. Для выполнения работы необходимо знать: а) понятие когерентности волн и методы их получения; б) понятие оптической разности хода волн; в) условия возникновения максимумов и минимумов в интерференционной картине; г) ход лучей в стеклянной пластинке и вывод рабочей формулы.

3. *Описание экспериментальной установки и методика проведения работы*

Из лазера 1 (рис. 2.1) световой пучок падает на короткофокусную линзу 2 и, становясь расходящимся, освещает плоскопараллельную стеклянную пластину 3, находящуюся на подставке оптической скамьи.

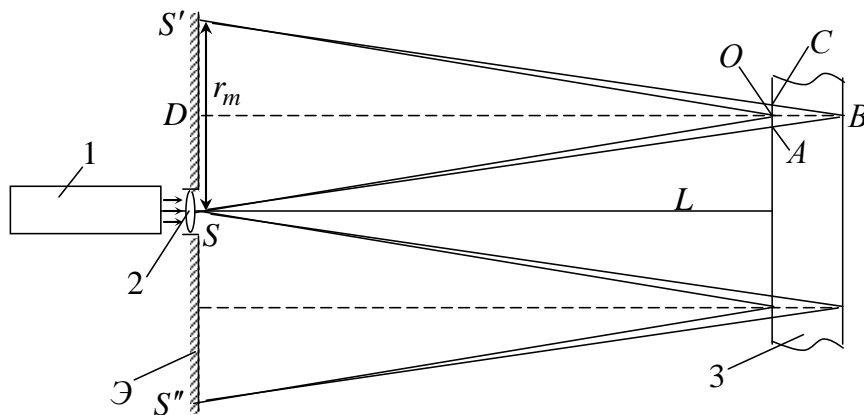


Рис. 2.1. Схема получения интерференционной картины:
 A, O, C – точки пересечения лучей с передней гранью пластины; B – точка пересечения лучей с задней гранью пластины; S – задний фокус линзы 2; S', S'' – точки, лежащие на темном кольце радиуса r_m

Отражаясь от передней и задней поверхности стекла, световые волны становятся когерентными и интерферируют между собой. На экране Э, поставленном перед пластиной, наблюдается интерференционная картина (ИК) в виде чередующихся светлых и темных колец, называемых полосами равного наклона.

Оптическая разность хода лучей $SABCS'$ и SOS' на рис. 2.2 равна

$$\Delta = 2(AB)n - 2(MO) \pm \lambda / 2.$$

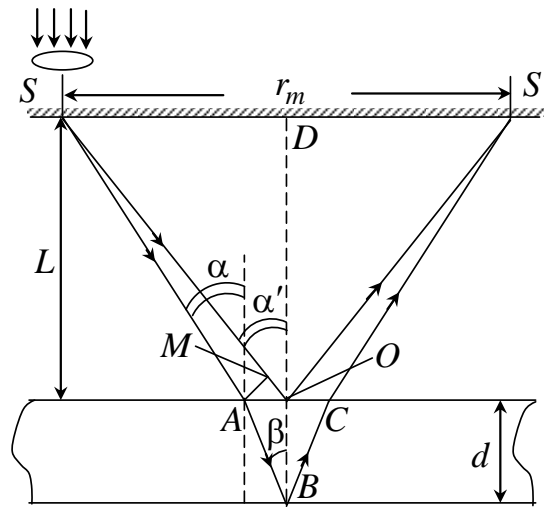


Рис. 2.2. К выводу выражения, связывающего показатель преломления пластины с величиной радиуса темного кольца

Здесь n – показатель преломления; $\lambda / 2$ – скачок разности хода при отражении луча SO от оптически более плотной среды (стекла).

Если d – толщина пластины, α и β – углы падения и преломления, то $(AB) = d / \cos \beta$, $(AO) = d \tan \beta$, $(MO) = (AO) \sin \alpha$. Используя закон преломления $\sin \alpha = n \sin \beta$, выражение можно переписать в виде

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \mp \lambda / 2.$$

Темные кольца наблюдаются, если разность хода Δ равна

$$\Delta = (2m \mp 1)\lambda / 2,$$

где $m = 1, 2, 3 \dots$ – интерференционный порядок.

Таким образом, каждому темному кольцу соответствует свое значение m . Это значение связано с величиной разности оптических путей двух световых волн, результатом интерференции которых является данное кольцо.

Сравнивая предыдущие формулы, условие наблюдения темных колец представим в виде

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = m\lambda.$$

Используем это уравнение для получения выражения для радиуса темного кольца. Для центральной части ИК угол падения α мал, поэтому можно принять, что $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$. Используя ΔSOD , и что $\alpha' \approx \alpha$, получим $\sin \alpha \approx r_m / 2L$, где L – расстояние от источника S до пластины; r_m – радиус m -го темного кольца. Получим по формуле приближенных вычислений:

$$2d \left(n^2 - \frac{1}{2} \frac{r_m^2}{(2L)^2} \right) \approx m\lambda$$

Здесь использовано то, что $n\sqrt{1-x} \approx n \cdot \left(1 - \frac{1}{2}x \right)$, когда $x \ll 1$.

Откуда следует

$$r_m^2 = 8n^2 L^2 - m4n\lambda L^2 / d$$

Из рис. 2.1 и 2.2 видно, что кольцу большего радиуса соответствует и большее значение угла падения α . С увеличением же угла падения α , согласно уравнению, уменьшается интерференционный порядок m кольца. Следовательно, самый большой интерференционный порядок m_0 имеет то кольцо, которое находится в центре ИК. Ее центру соответствует $\alpha = 0$. При этом угле падения $2dn = m_0\lambda$, и в самом центре ИК находится темное кольцо с самым большим номером

$$m_0 = \frac{2dn}{\lambda}.$$

Кроме него в центральном темном пятне скрыты темные кольца с номерами от m_0 до k , а первое наблюдаемое имеет номер $m_1 = k - 1$, второе – $m_2 = k - 2$, ..., N -е – $m_N = k - N$.

Запишем уравнение для минимума $(k - N)$ -го порядка

$$r_{k-N}^2 = 8n^2 L^2 - (k - N)4n\lambda L^2 / d$$

и для минимума k -го порядка

$$r_k^2 = 8n^2 L^2 - k4n\lambda L^2 / d.$$

Разность квадратов радиусов колец равна

$$r_{k-N}^2 - r_k^2 = N4n\lambda L^2 / d.$$

Таким образом, квадрат радиуса кольца *линейно* зависит от его номера N $r_{k-N}^2 = r_k^2 + CN$, где $C = 4n\lambda L^2 / d$.

Введем сокращенные обозначения для радиусов темных колец: $r_N = r_{k-N}$. Тогда уравнение примет вид

$$r_N^2 = r_k^2 + CN.$$

Если результаты измерений радиусов колец представить графически как $r_N^2 = f(N)$, то по точкам графика, в соответствии с зависимостью, можно провести усредняющую прямую. Используя прямую, можно найти значение C как тангенс угла наклона прямой к оси N :

$$C = \frac{\Delta r_N^2}{\Delta N}.$$

После чего показатель преломления можно определить по формуле

$$\langle n \rangle = \frac{d}{4\lambda L^2} C.$$

4. Выполнение работы

4.1. Включите лазер.

4.2. На экран укрепите с помощью прищепок лист миллиметровой бумаги. Сделайте в нем отверстие, совпадающее с центром лазерного луча. Сориентируйте пластину 3 так, чтобы луч, отражаясь от нее, попадал в центр отверстия на бумаге. Получите ИК в виде концентрических колец.

4.3. Перерисуйте ИК на бумагу (или сфотографируйте цифровой камерой).

4.4. Пронумеруйте наблюдаемые темные кольца в порядке возрастания их радиусов: $N = 1, 2, 3 \dots$

4.5. Измерьте диаметры колец по горизонтали D_1 и по вертикали D_2 .

4.6. Найдите средние значения их радиусов $\langle r_N \rangle = \frac{D_1 + D_2}{4}$, а затем квадратов $\langle r_N^2 \rangle$.

4.7. Постройте график зависимости r_N^2 от номера кольца N .

4.8. Из него определите тангенс угла наклона графика, равный значению C , и по формуле $\langle n \rangle = \frac{d}{4\lambda L^2} C$ найдите показатель преломления $\langle n \rangle$.

4.9. Продолжив прямую до пересечения с вертикальной осью, найдите r_k^2 . По формуле

$$k = m_0 \left(1 - \frac{r_k^2}{8n^2 L^2} \right),$$

вычислите значение интерференционного порядка кольца, за которым все последующие кольца были пронумерованы.

4.10. Все результаты измерений и вычислений занесите в табл. 2.1.

Таблица 2.1

*Результаты измерений диаметров темных колец
и полученные значения величин: C , $\langle n \rangle$, m_0 , k*

N	D_1	D_2	$\langle r_N \rangle$	$\langle r_N \rangle^2$	C	$\langle n \rangle$	m_0	k
	м	м	м	м ²	м ²			
1								
2								
3								
4								
5								
6								

4.11. Сделайте вывод о том, почему ИК наблюдается, именно в виде колец.

Лабораторная работа 6

Явление внешнего фотоэффекта

1. *Цель работы:* исследовать зависимость фототока от величины задерживающего напряжения и частоты падающего излучения; определить работу выхода фотоэлектронов, красную границу фотокатода.

2. *Подготовка к работе:* прочитать в учебниках [1] §§182 - 184; [2] 20.1 20.3; ответить на вопросы самоподготовки 6 – 10. Для выполнения работы необходимо знать: а) сущность явления внешнего фотоэффекта и его законы; б) уравнение Эйнштейна для фотоэффекта; в) работу выхода электронов и красную границу фотоэффекта; г) почему фотоэлектроны выходят из металлического фотокатода с различной скоростью; д) методику определения в работе максимальной кинетической энергии фотоэлектронов, работы выхода и частоты красной границы фотоэффекта.

3. Описание экспериментальной установки

Схема установки приведена на рис. 3.1.

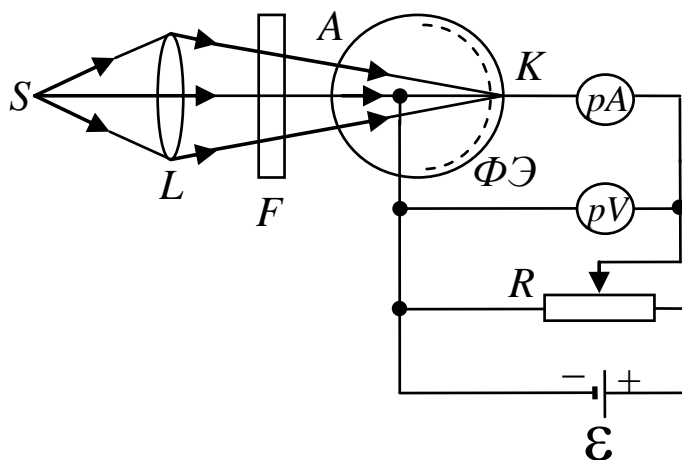


Рис. 3.1. Схема экспериментальной установки:
 S – источник света; L – линза; F – светофильтр;
 $\Phi Э$ – фотоэлемент; pA – микроамперметр;
 pV – милливольтметр; R – потенциометр;
 \mathcal{E} – источник напряжения; A – анод; K – катод

Свет от лампы накаливания S с помощью линзы L фокусируется внутри вакуумного фотоэлемента $\Phi Э$. Он представляет собой стеклянный баллон сферической формы, на внутреннюю

поверхность которого нанесено сурьмяно-цезиевое покрытие, выполняющее роль фотокатода. С противоположной стороны от катода находится маленький круглый металлический электрод – анод. Работа выхода фотоэлектронов из катода низкая ($\sim 1,8$ эВ), поэтому его можно использовать во всей видимой области спектра. Частоту (или длину волны) падающего на фотокатод света можно менять с помощью селективных светофильтров F .

Между катодом и анодом прикладывается напряжение, величину которого можно регулировать потенциометром R . Сила фототока и напряжение измеряются чувствительными микроамперметром pA и милливольтметром pV соответственно.

4. Теоретические основы эксперимента

Фотоэффект принадлежит к числу явлений, в которых проявляются корпускулярные свойства света. Столкновение фотонов с электронами вещества приводит к выбиванию электронов. Энергетический баланс этого взаимодействия для вылетающих электронов описывается уравнением Эйнштейна

$$h\nu = A + T_{\max},$$

где A – работа выхода электрона из фотокатода; T_{\max} – максимальная кинетическая энергия электрона после выхода из катода;

произведение $h\nu$ определяет энергию фотона частотой ν (h – постоянная Планка).

При освещении даже монохроматическим светом энергия фотоэлектронов оказывается неодинаковой. Электроны в веществе, располагаясь по уровням разрешенных зон, обладают разными энергиями. Под работой выхода A понимают энергию, необходимую для удаления электрона с самых верхних заполненных уровней. Энергия, которую нужно затратить, чтобы удалить электроны с ниже расположенных уровней, превосходит A , и кинетическая энергия таких электронов оказывается меньше. Кроме того, электроны могут терять часть своей энергии на пути к поверхности фотокатода. Уравнением Эйнштейна определяет кинетическую энергию только наиболее быстрых фотоэлектронов (выбитых с верхних уровней зоны проводимости).

Для измерения энергии вылетевших фотоэлектронов пользуются, как правило, методом задерживающего потенциала. На анод фотоэлемента прикладывается *отрицательный* по отноше-

нию к катоду потенциал. Электроны, энергия которых удовлетворяет условию $T < eU$ (e – заряд электрона), заворачиваются электрическим полем и возвращаются назад в катод. Поэтому при увеличении обратного напряжения U анодный ток падает. При некотором значении $U = -U_3$ (потенциал запираания) даже наиболее быстрые фотоэлектроны не могут достичь анода, и анодный ток прекращается. Максимальная кинетическая энергия T_{\max} электронов с зарядом $-e$ связана с запирающим потенциалом U_3 очевидным соотношением:

$$T_{\max} = eU_3.$$

На опыте обычно исследуется зависимость силы тока I в фотоэлементе от величины задерживающего напряжения U (рис. 3.2).

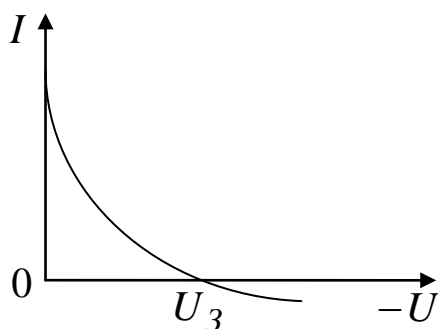


Рис. 3.2. Зависимость фототока от задерживающего напряжения на фотоэлементе

Форма кривой $I = I(U)$ зависит от материала и толщины фотослоя, формы электродов и условий освещения. Поэтому важно знать не саму кривую, а лишь точку пересечения её с осью абсцисс, когда задерживающее напряжение U равно запирающему потенциалу. Точное измерение этого потенциала наталкивается на целый ряд экспериментальных трудностей. Как показывает опыт, кривая $I(U)$ подходит к оси абсцисс под небольшим углом, а в некоторых случаях даже заходит в область отрицательных значений I , как это изображено на рис. 3.2. Такой ход кривой связан: а) с наличием обратного фотоэффекта – фотоэффекта с анода; б) с ионными токами в фотоэлементе; в) из-за несовершенства вакуума в нём. Наконец, в электрической цепи, собран-

ной из различных проводников, существует контактная разность потенциалов, которая также искажает зависимость I от U .

Из сказанного следует, что для определения величины запирающего потенциала необходимо правильно экстраполировать получаемую токовую зависимость к нулю. Для применяемого в работе фотоэлемента типа сферического конденсатора с фотокатодом на внутренней поверхности стеклянного баллона справедливо соотношение:

$$\sqrt{I} \sim (U_3 - U),$$

где U – текущее обратное напряжение. При $U = U_3$ сила тока равна нулю.

Заменим кинетическую энергию электронов в уравнении Эйнштейна работой электрического поля, получим:

$$h\nu = A + eU_3 \quad \text{или} \quad eU_3 = h\nu - A.$$

Из этого соотношения вытекает идея работы. Нужно исследовать зависимость фототока от величины задерживающего напряжения U , и из графика \sqrt{I} от U определить потенциал записания U_3 . Это надо сделать, освещая фотоэлемент светом разной частоты ν , и затем построить зависимость $T_{\max} = eU_3$ от частоты ν , которая, согласно уравнению Эйнштейна, должна иметь вид прямой линии (рис. 3.3).

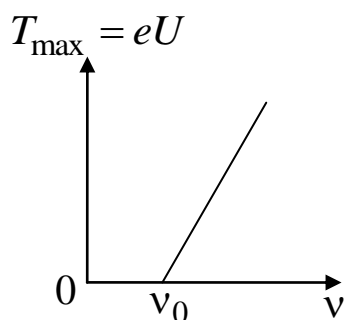


Рис. 3.3. Зависимость максимальной кинетической энергии фотоэлектрона от частоты света

По наклону прямой на графике можно определить постоянную Планка:

$$\frac{dT_{\max}}{d\nu} = h.$$

Прямая пересечёт ось частот ν , где $T_{\max} = 0$, в точке, равной частоте красной границы фотоэффекта:

$$\nu_0 = \frac{A}{h}.$$

5. Порядок выполнения работы

5.1. Подвиньте осветитель с лампочкой вплотную к стойке светофильтра.

5.2. Включите электрическую цепь тумблером K , при этом должна засветиться лампа накаливания S и на анод A фотоэлемента будет подано отрицательное напряжение от источника ε (см. рис. 3.1).

5.3. С помощью потенциометра R установите нулевое напряжение на фотоэлементе.

5.4. Поставьте перед фотоэлементом синий светофильтр, пропускающий свет на длине волны 436 нм.

5.5. Плавно увеличивая напряжение, снимите зависимость показаний микроамперметра μA от величины тормозящего напряжения. Особенно аккуратно нужно проводить измерение U вблизи потенциала запираения, когда сила тока стремится к нулю. Результаты измерений силы фототока I и задерживающего напряжения U занесите в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Результаты измерения фототока при разном напряжении и на разных частотах падающего света

Задерживающее напряжение U , мВ	Цвет светофильтра		
	синий	зелёный	жёлтый
	$\nu = 6,88 \cdot 10^{14}$ Гц	$\nu = 5,49 \cdot 10^{14}$ Гц	$\nu = 5,18 \cdot 10^{14}$ Гц
	I , мкА	I , мкА	I , мкА
U_1			
U_2			

Задерживающее напряжение U , мВ	Цвет светофильтра		
	синий	зелёный	жёлтый
	$\nu = 6,88 \cdot 10^{14}$ Гц	$\nu = 5,49 \cdot 10^{14}$ Гц	$\nu = 5,18 \cdot 10^{14}$ Гц
	I , мкА	I , мкА	I , мкА
U_3			
...			
U_n			

5.6. Проведите аналогичные измерения для других светофильтров: зелёного ($\lambda = 546$ нм) и жёлтого ($\lambda = 579$ нм).

5.7. Для каждой частоты падающего света постройте график зависимости силы фототока от задерживающего напряжения в координатах (\sqrt{I}, U) и определите величину запирающего потенциала U_3 путём экстраполяции полученной прямой линии до её пересечения с осью абсцисс.

5.8. Рассчитайте максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов, выбиваемых из катода светом разной частоты. Результаты занесите в табл. 3.2.

5.9. Графически изобразите зависимость $T_{\max} = eU_3$ от частоты излучения ν (см. рис. 3.3). Проведя линию до пересечения с осью частот, найдите красную границу фотоэффекта из сурьмяно-цезиевого катода и работу выхода фотоэлектронов из него:

$$A = h\nu_0$$

Таблица 3.2

Результаты определения запирающего потенциала, максимальной энергии фотоэлектронов, красной границы, работы выхода материала катода и величины постоянной Планка

Частота ν , 10^{14} Гц	U_3 , В	T_{\max} , эВ	ν_0 , Гц	A , эВ	$h_{\text{экс}}$, Дж·с
5,18					
5,49					
6,88					

5.10. По тангенсу наклона графика $T_{\max}(\nu)$ к оси абсцисс рассчитайте постоянную Планка:

$$h_{\text{экс}} = \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta \nu} = \frac{T_{\max}}{\nu - \nu_0}$$

5.11. Сделайте вывод о результатах работы, сравнив свои значения работы выхода и постоянной Планка с табличными значениями.

Вопросы для самоподготовки

1 Почему в опыте наблюдают интерференционную картину в отраженном, а не в проходящем свете?

2 Вычислите максимальную разность хода в пластине, сравните ее с длиной цуга когерентности для многомодового лазера.

3 Почему не наблюдается интерференции солнечного света в оконном стекле?

4 Расскажите об одном из случаев применения интерференции в тонких пленках:

5 Можно ли наблюдать интерференционную картину от двух независимых многомодовых лазеров? Одномодовых лазеров?

6 Каковы основные положения квантовой теории света?

7 Как проявляется взаимодействие фотонов с электронами вещества?

8 Какое явление называется внешним фотоэффектом? Каковы его закономерности?

9 8. Объясните законы внешнего фотоэффекта с точки зрения квантовой природы света.

10 Каково практическое использование явления внешнего фотоэффекта?

Список литературы

1. Фирсов, А. В. Физика для профессий и специальностей технического и естественно-научного профилей [Электронный ресурс] : учебник для использования в учебном процессе образовательных учреждений СПО на базе основного общего образования с получением среднего общего образования / А. В. Фирсов ; под ред. Т. И. Трофимовой. – Москва: Академия, 2017. – 352 с. – Режим доступа: <http://academia-moscow.ru/reader/?id=227482#copy>. – Загл. с экрана.

2. Дмитриева, В. Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля [Электронный ресурс] : учебник для использования в учебном процессе образовательных учреждений СПО на базе основного общего образования с получением среднего общего образования / В. Ф. Дмитриева. – Москва: Академия, 2017. – 448 с. – Режим доступа: <http://academia-moscow.ru/reader/?id=213496#copy>. – Загл. С экрана.