

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
национальный исследовательский технологический университет

МИСиС

Кафедра Физики

В.А. СТЕПАНОВА

ФИЗИКА

Оптика. Атомная и ядерная физика

Компьютерный лабораторный практикум

Под редакцией профессора Д.Е. Капуткина

Москва 2010

Р е ц е н з е н т

доктор физ. - мат. наук, профессор С.Д.Прокошкин

В лабораторном практикуме приведены описания четырех лабораторных работ с использованием компьютерных моделей (разработанных фирмой ФИЗИКОН) по разделам "Оптика. Атомная и ядерная физика". Виртуальные лабораторные работы поставлены таким образом, что соответствуют натурным экспериментам лабораторных работ, выполняемых на базе оборудования фирмы RHYWE. Соответствие работ отражено в их нумерации: лабораторные работы с использованием компьютерных моделей имеют нумерацию с буквой "к". В каждой работе дана методика виртуального эксперимента, содержащая краткое теоретическое введение и описание компьютерной модели.

Содержание работ соответствует учебной программе курса «Физика».

Предназначено для студентов всех специальностей.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
Введение	5
Лабораторная работа № 3 - 02к. Моделирование оптических приборов.	12
Лабораторная работа № 3 - 06к. Внешний фотоэффект.	21
Лабораторная работа № 3 - 07к. Определение постоянной Ридберга по спектру излучения атомарного водорода.	27
Лабораторная работа № 3 - 12к. Кольца Ньютона.....	33

ПРЕДИСЛОВИЕ

Преподавание курса общей физики в техническом вузе, наряду с усвоением фундаментальных знаний и законов, подкрепленных натурным лабораторным практикумом, ставит также цель привить студентам навыки и умение моделировать физические процессы и явления. Поэтому комплексный подход в использовании виртуального и натурального лабораторных практикумов по физике является методически обоснованным. Не заменяя традиционные формы обучения, применение компьютерных моделей в физическом практикуме дает новые технологии для процесса обучения. Компьютерные модели являются наглядным представлением экспериментов, достоверно отражают физические законы, а диапазон регулируемых параметров позволяет получать достаточное количество исследуемых состояний.

В настоящий лабораторный практикум вошли описания четырех лабораторных работ с использованием компьютерных моделей (разработанных фирмой ФИЗИКОН), выполняемых студентами 2-ого курса всех специальностей МИСиС в соответствии с учебными планами по курсу "Физика" по разделам "Оптика. Атомная и ядерная физика". Виртуальные лабораторные работы поставлены таким образом, что соответствуют натурным экспериментам лабораторных работ, выполняемых на базе оборудования фирмы RHYWE. Соответствие работ отражено в их нумерации: лабораторные работы с использованием компьютерных моделей имеют нумерацию с буквой "к". Например, лабораторная работа № 1-05к "Свободные колебания (математический маятник)" соответствует лабораторной работе № 1-05 "Математический маятник" в практикуме кафедры физики НИТУ "МИСиС".

Описание каждой работы включает в себя разделы: 1.Цель работы. 2.Методика виртуального эксперимента (с краткой теорией и описанием компьютерных моделей). 3.Порядок выполнения работы. 4.Обработка результатов измерений. 5.Контрольные вопросы для самопроверки. 6.Список литературы.

В некоторых лабораторных работах идея использования компьютерных моделей принадлежит Ю.В.Тихомирову и Б.К. Лаптенкову (фирма "Физикон").

ВВЕДЕНИЕ

Для подготовки и выполнения виртуальных лабораторных работ, в которых используются компьютерные модели, разработанные фирмой «Физикон», необходимо на рабочем столе компьютера дважды щелкнуть левой кнопкой мыши, когда её указатель расположен на ярлыке «зелёное дерево» с надписью ФИЗИКА. В открывшемся окне находятся папки с описанием лабораторных работ и сборник компьютерных моделей «ОТКРЫТАЯ ФИЗИКА 1.1».

Открытие папки «ФИЗИКА. Лабораторный практикум с компьютерными моделями», в которой есть описание лабораторных работ с нумерацией №. -..к (например, 2-16к), позволяет подготовиться к лабораторным работам.

Для выполнения лабораторной работы (для запуска виртуальной лабораторной работы) необходимо дважды щелкнуть левой кнопкой мыши, когда её маркер расположен над эмблемой сборника компьютерных моделей «Открытая физика 1.1.» на рабочем столе. После этого на экране появится начальная картинка этого сборника, окно которой изображено на рисунке 1.

Далее необходимо выбрать раздел, указанный в лабораторной работе; для этого дважды щелкнете левой кнопкой мыши, установив её маркер над названием раздела, в котором расположена данная модель. В разделе «Электричество и магнетизм» вы увидите картинку, изображено на рисунке 2.

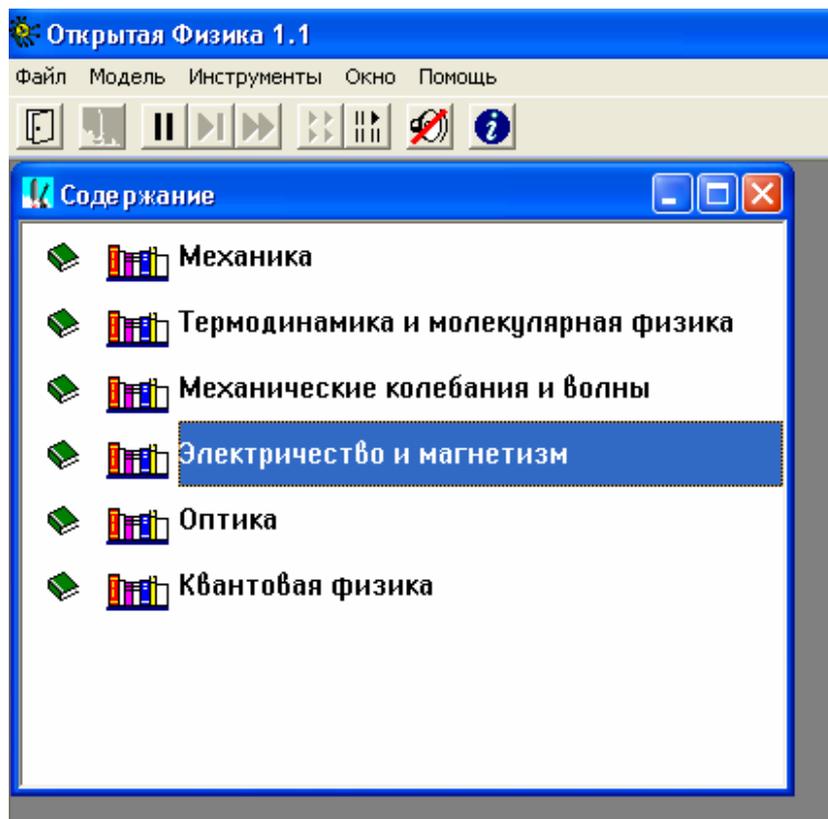


Рис.1. Содержание "Сборника компьютерных моделей «Открытая физика 1.1.».

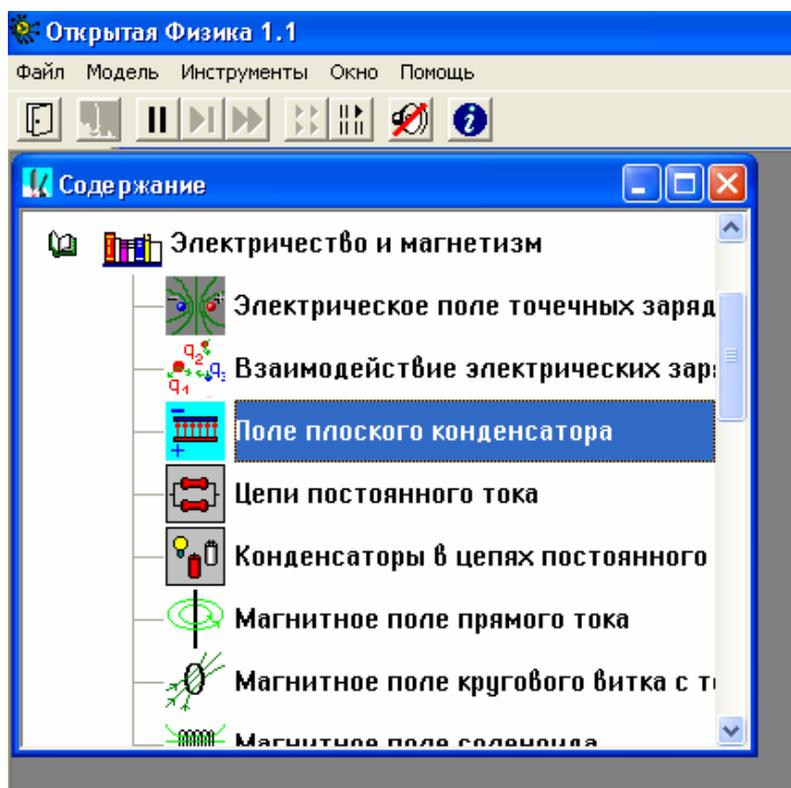


Рис.2. Окно раздела "Электричество и магнетизм" в "Сборнике компьютерных моделей «Открытая физика 1.1.».

Чтобы увидеть дальнейшие пункты содержания данного раздела, надо щелкнуть левой кнопкой мыши, установив ее маркер на кнопку со стрелкой вниз, расположенной в правом нижнем углу внутреннего окна.

Прочитав надписи во внутреннем окне, установите маркер мыши над надписью требуемой компьютерной модели и дважды коротко нажмите левую кнопку мыши. Например, для компьютерной модели «Электромагнитная индукция» в разделе "Электричество и магнетизм" окно будет выглядеть так:

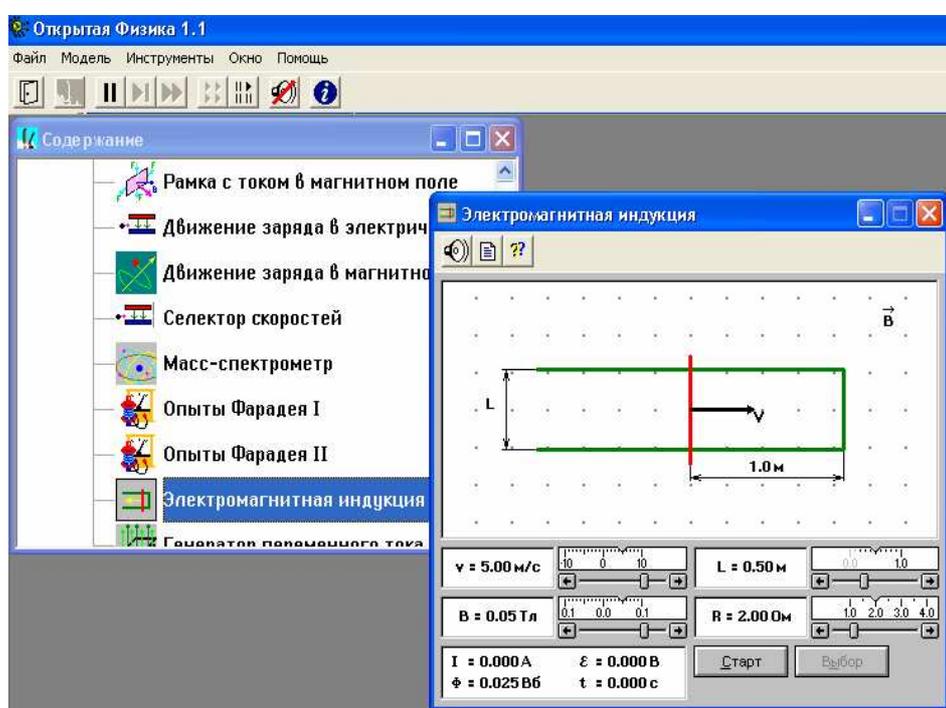


Рис.3. Окно компьютерной модели «Электромагнитная индукция» в разделе "Электричество и магнетизм".

Кнопки вверху картинке (под параметрами панели инструментов) являются служебными. Предназначение каждой кнопки проявляется, когда маркер мыши располагается над нею в течение 1-2 секунд (без нажатия кнопок мыши). Очень важными являются следующие кнопки: кнопка с двумя вертикальными чертами «||», которая служит для остановки эксперимента, и рядом расположенные кнопки – для шага «▶|» и для продолжения «▶▶▶» работы.

В появившемся внутреннем окне компьютерной модели сверху также расположены служебные кнопки. Кнопка с изображением страницы служит для вызова кратких теоретических сведений из соответствующего раздела курса «Общая физика», которому соответствует компьютерная модель. Перемещать окна можно, зацепив мышью заголовок окна (имеющий синий фон).

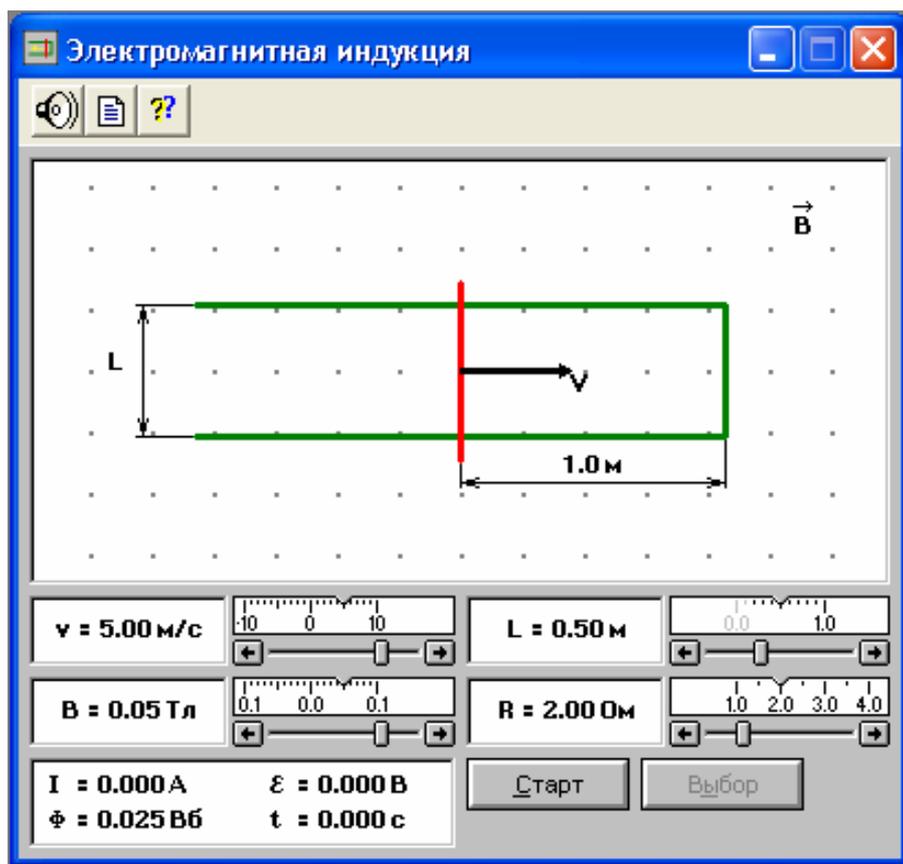


Рис.4. Окно компьютерной модели «Электромагнитная индукция» в режиме "Выбор".

Перед выполнением лабораторной работы **внимательно рассмотрите окно модели, найдите все регуляторы и другие элементы, которые позволяют изменять задаваемые параметры величин для виртуального эксперимента.**

Например, компьютерная модель «Электромагнитная индукция» (рис.4) позволяет устанавливать величину длины перемычки L и её сопротивление R , величину и направление скорости движения перемычки v и индукции магнитного поля B , в котором расположен замкнутый контур. В модели есть две кнопки - "Старт" и "Выбор". При нажатой кнопке "Выбор" задают параметры величин для виртуального эксперимента и

при этом в левом нижнем углу окна модели (рис.4) регистрируется величина магнитного потока Φ , пронизывающего замкнутый контур. Нажатие кнопки "Старт" запускает виртуальный эксперимент, в процессе которого в левом нижнем углу окна модели появляются значения тока I , э.д.с. ε и времени t . По окончании эксперимента магнитный поток равен нулю (рис.5).

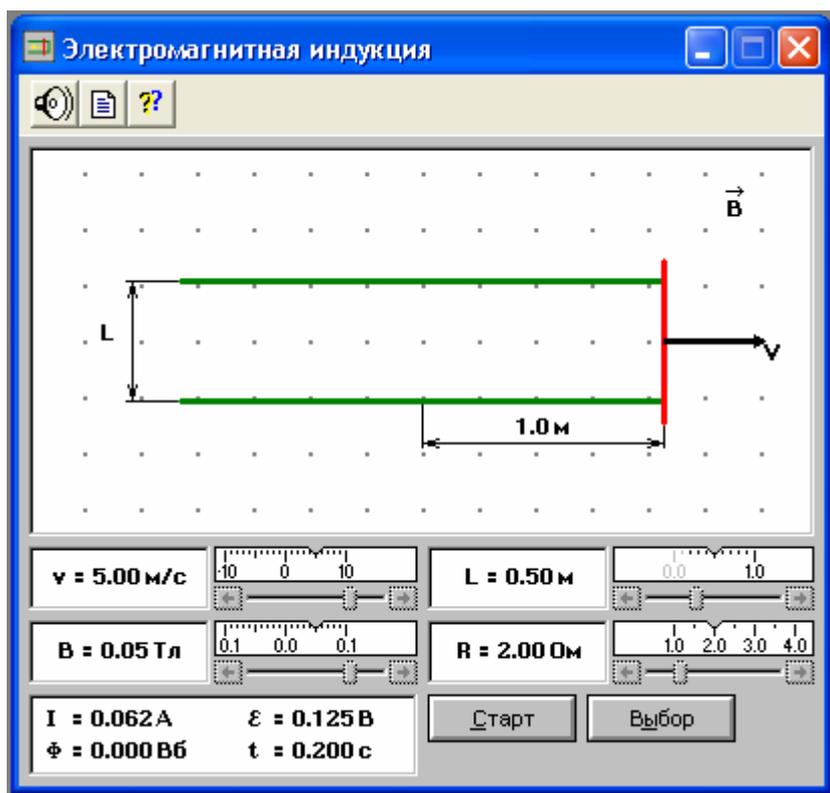


Рис.5. Окно компьютерной модели «Электромагнитная индукция» в режиме "Старт".

После выполнения лабораторной работы необходимо поочередно (начиная с компьютерной модели) закрыть все окна на рабочем столе. Для закрытия окна надо нажать мышью кнопку с крестом в верхнем правом углу данного окна.

При **обработке результатов эксперимента** используют метод определения постоянной величины из графика линейной функции $y = f(x)$ (рис.6) в случае, если постоянная величина k является коэффициентом пропорциональности, т.е. когда

$$y = kx \quad (1)$$

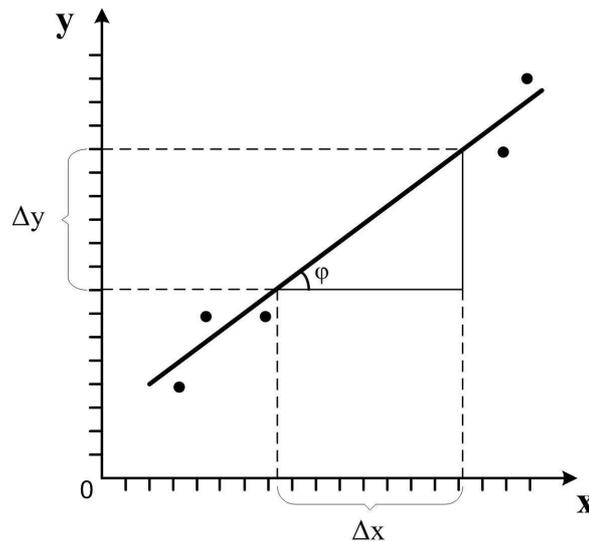


Рис.6. График линейной функции $y = f(x)$.

Используя экспериментальные данные, отмечают их точками (при однократных измерениях, или отмечают область возможных значений при многократных измерениях) в системе координат YOX и проводят прямую с некоторой достоверностью, если точки не лежат точно по прямой, или прямо по экспериментальным точкам, если они укладываются в прямую. Далее *отмечают в средней части этой прямой область*, граничные точки которой дают в проекции на оси абсцисс и ординат численные значения интервалов Δx и Δy , по которым вычисляют постоянную величину k по формуле

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (2)$$

где $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ - это *отношение приращения функции к соответствующему приращению аргумента*.

Иногда в литературе такой метод определения постоянной величины k излагают как *метод определения постоянной величины по тангенсу угла наклона линейной функции к оси абсцисс*. Действительно, из рисунка 6 видно, что отношение $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ - это отношение противолежащего катета угла φ к прилежащему катету этого угла, что является тангенсом угла φ , т.е.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (3)$$

При такой методике определения постоянной угол φ также необходимо отмечать в средней части прямой линии.

Для примера рассмотрим лабораторную работу 1-05к, в которой по экспериментальным данным строят график зависимости квадрата периода колебаний математического маятника от его длины нити $T^2 = f(L)$. Из графика определяют значение ускорения свободного падения g , используя формулу $g = 4\pi^2 \frac{\Delta L}{\Delta(T^2)}$, где $\frac{\Delta L}{\Delta(T^2)}$ -

отношение изменения длины математического маятника к соответствующему изменению квадрата периода колебаний этого маятника.

Лабораторная работа № 3-02к

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Компьютерные модели «Зрительная труба Кеплера» и «Микроскоп»

в сборнике компьютерных моделей «Открытая физика»

раздел «Оптика»

Цель работы

Компьютерное моделирование оптических приборов зрительной трубы Кеплера и микроскопа; подтверждение законов геометрической оптики.

Методика виртуального эксперимента

1. **Зрительная труба Кеплера** представляет собой оптическую систему, предназначенную для наблюдения удалённых предметов. Если лучи от предмета приходят в трубу в виде параллельных пучков, то оптическая система трубы называется телескопической.

На рисунке 41 представлена оптическая схема зрительной трубы Кеплера. Она состоит из длиннофокусного объектива 1 и окуляра 2 – линзы с меньшим фокусным расстоянием. Второй главный фокус F_1 объектива совпадает с первым главным фокусом F_2 окуляра, благодаря чему падающий на объектив параллельный пучок лучей выходя из окуляра также параллельным пучком. Как показано на рисунке 1, объектив 1 зрительной трубы образует обратное действительное изображение G бесконечно удалённого предмета, которое рассматривается в окуляр 2.

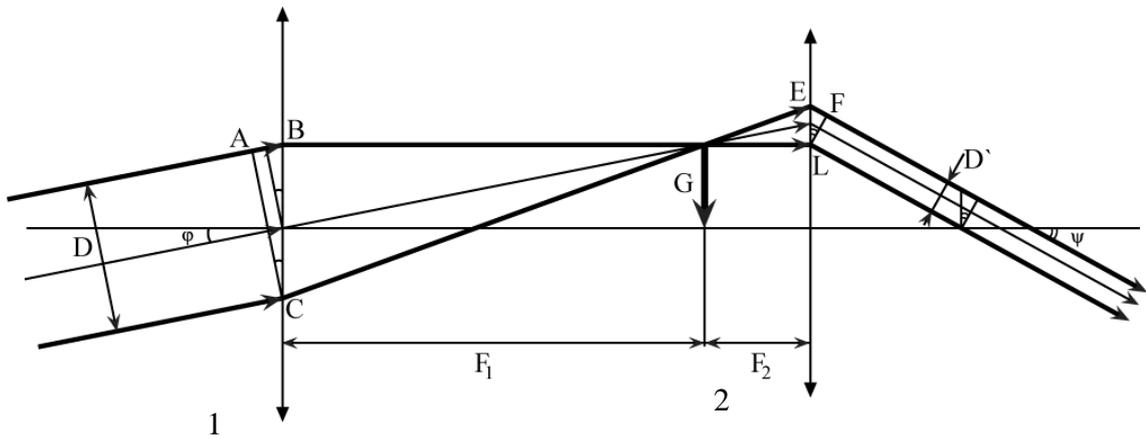


Рис.41. Ход лучей в зрительной трубе Кеплера.

Увеличение трубы Γ является *угловым увеличением* и равно отношению

$$\Gamma = \frac{\operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg} \varphi}, \quad (1)$$

где ψ – угол, под которым предмет наблюдается в трубу (согласно правилу знаков, этот угол отрицательный); φ – угол, под которым предмет виден невооружённым глазом (если глаз поместить вместо объектива трубы на оптической оси).

Ширина параллельного пучка лучей D , входящих в объектив, обычно равна диаметру объектива. Ширина пучка D' , выходящего из окуляра, определяется диаметром выходного зрачка системы. Выходной зрачок является изображением входного зрачка, даваемого окуляром.

Из анализа рисунка 41 получаем для увеличения Γ расчетные формулы:

$$\Gamma = -\frac{F_1}{F_2}, \quad (2)$$

$$\Gamma = -\frac{D}{D'}, \quad (3)$$

где F_1 и F_2 - фокусные расстояния объектива и окуляра; D и D' - ширина входящего и выходящего параллельного пучка лучей, соответственно.

Соотношение (2) показывает, во сколько раз увеличиваются угловые размеры изображения в сравнении с угловыми размерами предмета при наблюдении через трубу.

Линейное увеличение β определяют из соотношений геометрической оптики:

$$\Gamma\beta = 1. \quad (4)$$

Из уравнений (2) - (4) следует, что *линейное увеличение β* можно вычислить как

$$\beta = -\frac{F_2}{F_1} = -\frac{D'}{D}. \quad (5)$$

Так как $D' < D$, то зрительная труба даёт уменьшение линейных размеров наблюдаемых объектов.

2. Микроскоп предназначен для наблюдения мелких предметов, не различимых глазом. На рисунке 42 показана оптическая схема микроскопа.

Микроскоп состоит из двух линз: короткофокусного объектива I и окуляра II, фокусное расстояние которого больше, чем у объектива. Предмет Y располагается вблизи первого фокуса F_1 объектива так, что действительное увеличенное обратное изображение – Y' получается вблизи первого фокуса F_2 окуляра – между ним и окуляром. Окуляр действует как лупа, давая мнимое изображение –Y'' на *расстоянии наилучшего зрения d_0* ($d_0 = 0,25$ м) от глаза, который находится непосредственно за окуляром. Лучи 1 и 2 позволяют получить изображение –Y'. Лучи 1' и 2', попадая в систему глаза, сходятся на сетчатке глаза, где дают изображение, соответствующее мнимому изображению –Y'', даваемому окуляром как лупой. Без участия глаза изображения не видно, а из окуляра выходит расходящийся пучок лучей. *Расстояние Δ между вторым фокусом объектива и первым фокусом окуляра называется оптическим интервалом Δ*

$$\Delta = F_2 - F_1. \quad (6)$$

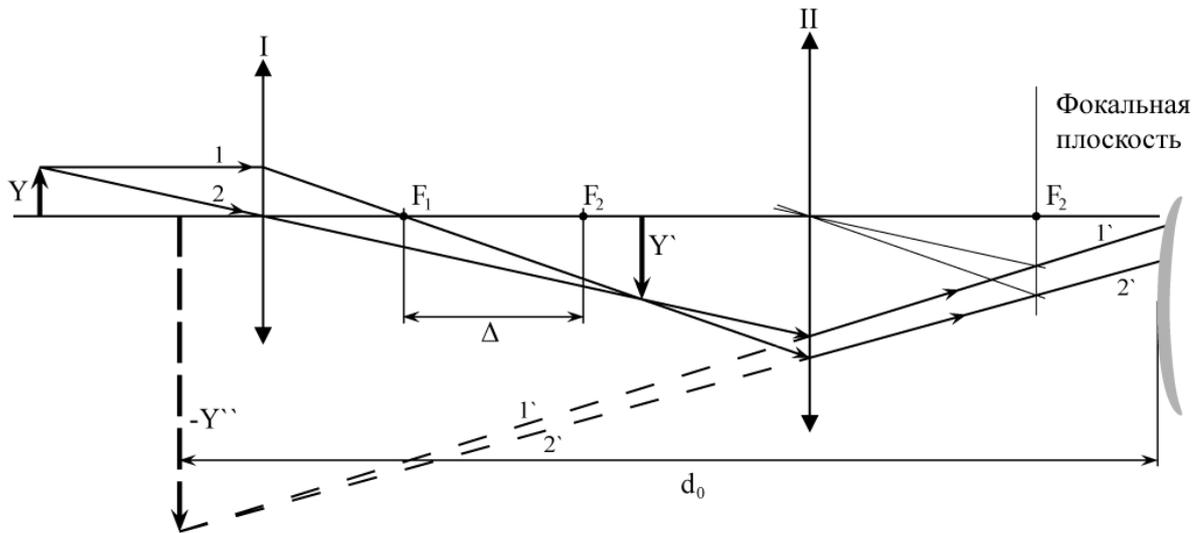


Рис.42. Ход лучей в микроскопе.

Если предмет Y поместить на расстоянии d_1 от объектива микроскопа, его изображение Y' будет находиться от объектива на расстоянии f_1 , удовлетворяющем уравнению

$$\frac{1}{F_{об}} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}. \quad (7)$$

Изображение предмета будет увеличено при этом в $k_{об}$ раз, где

$$k_{об} = \frac{f_1}{d_1}. \quad (8)$$

Окуляр располагают относительно изображения Y' так, чтобы оно рассматривалось через него как через лупу. Окончательное изображение Y'' будет мнимым и будет отстоять от окуляра на расстоянии f_2 . Если расстояние d_2 от окуляра до промежуточного изображения Y' подобрано так, что оно удовлетворяет уравнению

$$\frac{1}{F_{ок}} = \frac{1}{d_2} - \frac{1}{f_2}, \quad (9)$$

то увеличение изображения Y' , даваемое окуляром, при этом окажется равным

$$k_{ок} = \frac{f_2}{d_2}. \quad (10)$$

Увеличение микроскопа Γ вычисляется как произведение увеличений объектива и окуляра:

$$\Gamma = k_{об} k_{ок}. \quad (11)$$

В случае, когда F_1 и F_2 много меньше оптического интервала Δ , увеличение микроскопа выражается простой формулой:

$$\Gamma = \frac{d_0 \Delta}{F_1 F_2}. \quad (12)$$

Откройте поочередно компьютерные модели «Зрительная труба Кеплера» и «Микроскоп». Внимательно рассмотрите модели, найдите все регуляторы и другие элементы эксперимента. (Если вы забыли, как работать с системой компьютерного моделирования, прочитайте ВВЕДЕНИЕ ещё раз). Изменяя фокусные расстояния линз, наблюдайте за ходом лучей и изменением размеров получающегося в этих оптических приборах изображения.

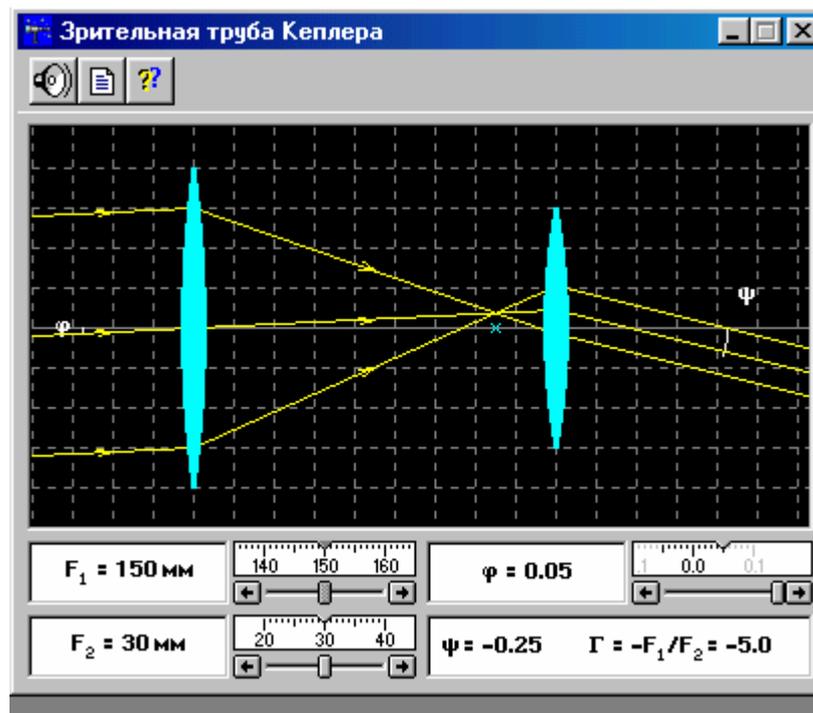


Рис. 43. Окно компьютерной модели «Зрительная труба Кеплера».

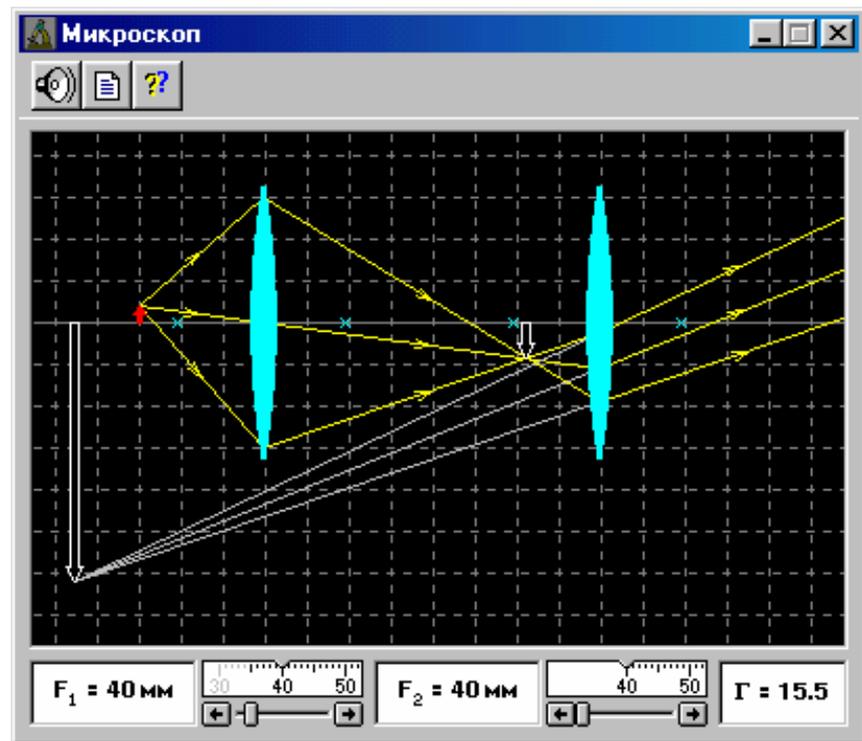


Рис. 44. Окно компьютерной модели «Микроскоп».

Перед измерениями определите размер масштабной клеточки окна оптических приборов, используемых в данной работе (для обеих моделей он одинаков). Для этого откройте модель «Зрительная труба Кеплера», установите фокусные расстояния F_1 и F_2 такими, чтобы расстояние между линзами 1 и 2 было равно целому числу клеточек. Сумма фокусных расстояний ($F_1 + F_2$) равна расстоянию между линзами 1 и 2; разделив это расстояние на число клеточек, можно определить размер масштабной клеточки (смотрите рис.43).

Порядок выполнения работы и обработки результатов

Эксперимент 1. «Зрительная труба Кеплера»

1. Запустите, дважды щелкнув мышью, виртуальный эксперимент «Зрительная труба Кеплера».
2. Подведите маркер мыши к движку регулятора F_1 , нажмите левую кнопку мыши и, удерживая её в нажатом состоянии, двигайте движок до установки значения F_1 , взятого из таблицы 1 для вашего варианта.

3. Установите аналогичным образом F_2 и φ .
4. Запишите в таблицу 2 значение $\Gamma_T = -\frac{F_1}{F_2}$, взятое из нижнего правого окна схемы зрительной трубы Кеплера.
5. Используя рисунки (41 и 43) и масштаб одной клеточки, определите расстояния BC (в мм) и EL (в мм). Вычислите D и D' по формулам ($D = AC = BC \cos \varphi$) и ($D' = FL \cos \psi$) и запишите эти значения в таблицу 2.
6. Рассчитайте величину углового увеличения Γ_3 по формуле ($\Gamma_3 = -\frac{D}{D'}$) и запишите это значение в таблицу 2.
7. Сравните полученное значение Γ_3 со значением Γ_T .
8. Устанавливая вторые значения F_1 и F_2 , взятые из таблицы 1 для вашего варианта, повторите измерения по п.п. 2-7, записывая результаты измерений в таблицу 2.
9. Оцените погрешность измерений и сделайте выводы.

Таблица 1.

Значения фокусных расстояний и угла φ (не перерисовывать).

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_1 , мм	100	110	120	130	140	150	155	160	165	170
	105	115	125	135	145	155	175	165	170	175
F_2 , мм	20	22	24	26	28	30	31	34	35	36
	21	23	25	27	29	32	33	35	37	38
φ	0,00	0,01	0,02	0,03	-0,01	-0,02	0,01	-0,03	0,00	-0,04

Таблица 2

Результаты измерений и расчетов

Γ_T	D, мм	D', мм	Γ_3	$\Delta \Gamma_3$

Эксперимент 2. «Микроскоп»

1. Запустите, дважды щелкнув мышью, виртуальный эксперимент «Микроскоп».

2. Подведите маркер мыши к движку регулятора фокусного расстояния объектива микроскопа, нажмите левую кнопку мыши и, удерживая её в нажатом состоянии, перемещайте движок до установки F_1 , взятого из таблицы 1 для вашего варианта.
3. Установите аналогичным образом фокусное расстояние окуляра F_2 и запишите эти значения в таблицу 2.
4. С помощью установленного масштаба клеточки измерьте расстояния (в мм) d_1 , d_2 , f_1 , f_2 и запишите их значения в таблицу 2.
5. По формулам (8), (10) и (11) рассчитайте $k_{об}$, $k_{ок}$ и Γ и запишите эти значения в таблицу 2.
6. Рассчитайте по формуле (12) теоретическое значение оптического интервала Δ_T по параметрам, указанным в нижней части окна и $d_0 = 0,25$ м.
7. Измерьте с помощью масштабной клеточки оптический интервал микроскопа и запишите полученное значение интервала в таблицу 2 (графа Δ_3).
8. Сопоставьте полученные экспериментальные значения оптического интервала и увеличения микроскопа с указанными в окошке опыта значениями и сделайте анализ опыта.
9. Устанавливая вторые значения F_1 и F_2 , взятые из таблицы 1 для вашего варианта, повторите измерения по пунктам 2-8, записывая результаты измерений в таблицу 2.
10. Оценку погрешности измерений и сделайте выводы.

Таблица 3.

Значения фокусных расстояний (не перерисовывать).

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_1 , мм	35	39	43	47	51	55	54	59	62	63
	37	41	45	49	53	57	58	61	64	65
F_2 , мм	40	42	44	46	48	50	49	52	52	54
	41	43	45	47	49	51	50	53	54	55

Результаты измерений и расчетов

F_1 , мм	F_2 , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	f_1 , мм	f_2 , мм	$k_{об}$	$k_{ок}$	Γ	Δ_3 , мм

Библиографический список*Основной*

Савельев И. В. Курс общей физики: В 4 кн. М: АСТ: Астрель, 2006. Кн. 5.

Капуткин Д.Е., Шустиков А.Г. Физика. Обработка результатов измерений при выполнении лабораторных работ. (№ 805). М.: МИСиС. «Учеба». 2007.

Дополнительный

Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976.

Контрольные вопросы

1. Что называют линзой? Дайте определение основных характеристик линзы (оптический центр, оптические оси, фокусы, фокальная плоскость).
2. Покажите на рисунке, какие лучи используют для построения изображений в тонких линзах.
3. Постройте действительные (уменьшенное, увеличенное и неизменное по размеру) и мнимое изображения стрелки АВ, расположенной своим основанием на главной оптической оси собирающей линзы.
4. Напишите формулу тонкой линзы, пояснив физический смысл величин в неё входящих, и дайте определение увеличения линзы.
5. Задача. Плосковыпуклая линза с радиусом кривизны $R = 30$ см и показателем преломления $n = 1,5$ дает действительное изображение предмета с увеличением $\Gamma=2$. Найти расстояние от предмета до линзы и расстояние от линзы до изображения. (Рисунок обязателен).

Лабораторная работа № 3-06к

ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ

Компьютерная модель «Фотоэффект»
в сборнике компьютерных моделей «Открытая физика»
раздел «Квантовая физика»

Цель работы

На компьютерной модели внешнего фотоэффекта подтверждение закономерностей внешнего фотоэффекта; определение красной границы фотоэффекта, работы выхода электронов из фотокатода и постоянной Планка.

Методика виртуального эксперимента

В данной работе используется компьютерная модель, основанная на методе изучения закономерностей внешнего фотоэффекта на установке, в которой два электрода (катод К из исследуемого металла и анод А) в вакуумной трубке подключены к батарее так, что с помощью потенциометра можно изменять значение и знак подаваемого на электроды напряжения, величина которого измеряется вольтметром (V). Ток, возникающий в электрической цепи при освещении катода монохроматическим светом (через кварцевое окошко), измеряется включенным в цепь амперметром (A). Этот ток называют фототоком.

Сила фототока I прямо пропорциональна числу фотоэлектронов N , долетающих до анода за единицу времени

$$I = \frac{Ne}{t}, \quad (1)$$

где N - число фотоэлектронов, достигших анода за время t , e - заряд электрона.

По теории Эйнштейна, *каждый квант падающего света поглощается только одним электроном, поэтому число вырванных фотоэлектронов должно быть пропорционально интенсивности света.* Согласно закону сохранения энергии, **уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта**

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}, \quad (2)$$

где $h\nu$ - энергия падающего на металл фотона, $A_{\text{вых}}$ - работа выхода электрона из металла, $\frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$ - максимальная кинетическая энергия некоторых вылетевших фотоэлектронов.

Минимальная частота $\nu_{\text{кр}}$ (или максимальная длина волны $\lambda_{\text{кр}}$), при которой еще наблюдается фотоэффект, т.е. для которой энергия падающего на катод фотона равна работе выхода,

$$h\nu_{\text{кр}} = A_{\text{вых}} \quad \text{или} \quad \lambda_{\text{кр}} = \frac{hc}{A_{\text{вых}}} \quad (3)$$

называется красной границей фотоэффекта.

Запирающим (или задерживающим) напряжением называется минимальное тормозящее напряжение между анодом вакуумной лампы (фотоэлемента) и фотокатодом, при котором отсутствует ток в цепи этой лампы, т.е. фотоэлектроны не долетают до анода. При таком напряжении кинетическая энергия электронов у катода равна потенциальной энергии электронов у анода, откуда следует выражение:

$$U_{\text{зан}} = \frac{E_{\text{к.макс}}}{e} = \frac{h\nu - A_{\text{вых}}}{e}. \quad (4)$$

Откройте компьютерную модель «Фотоэффект». Внимательно рассмотрите модель, найдите все регуляторы и другие элементы. (Если вы забыли, как работать с системой компьютерного моделирования, прочитайте ВВЕДЕНИЕ ещё раз).

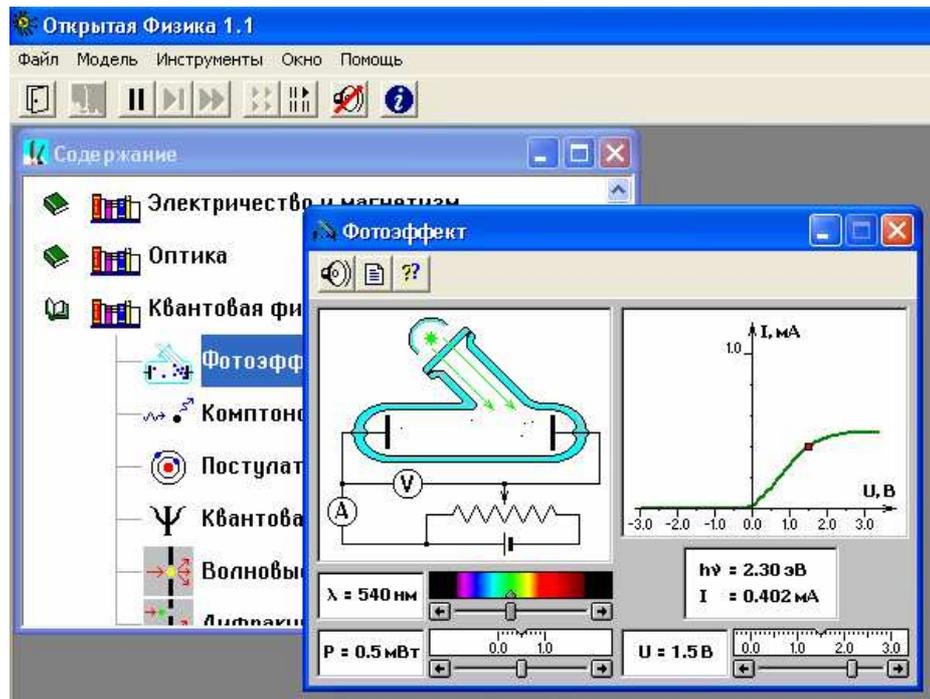


Рис. 45. Окно компьютерной модели «Фотоэффект».

В компьютерной модели можно с помощью движков менять длину волны λ падающего на фотокатод света, мощность падающего света (иначе говоря, интенсивность света), величину и знак напряжения U электростатического поля между электродами вакуумной лампы. Компьютерная модель фиксирует численные значения энергии фотона ($h\nu$), падающего на фотокатод, и величину фототока I .

Установив маркером мыши любое значение длины волны падающего на фотокатод света, понаблюдайте процессы движения электронов при разных значениях мощности излучения. Затем сделайте те же наблюдения при определенной мощности для разных длин волн.

Зацепите мышью движок реостата регулятора интенсивности (мощности) облучения фотокатода и установите его на максимум. Аналогичным образом установите нулевое напряжение между анодом и фотокатодом и минимальную длину волны падающего на фотокатод света. Наблюдайте движение электронов в фотоэлементе, изменяя напряжение до **запираания фототока (показания тока $I = 0$).**

Порядок выполнения работы

1. Запустите, дважды щелкнув мышью, виртуальный эксперимент «Фотоэффект».
2. Установите нулевое напряжение между анодом и фотокатодом. Зацепив мышью, перемещайте метку на спектре, постепенно увеличивая длину волны падающего на фотокатод света λ . Добейтесь полного отсутствия фототока (показания тока $I = 0$). Зафиксируйте (перемещая щелчками по стрелке движка) самую большую длину волны (она будет равна $\lambda_{кр}$), при которой фототок еще присутствует. Запишите в тетрадь значение длины волны красной границы фотоэффекта ($\lambda_{кр}$).
3. Для определения связи запирающего напряжения с длиной волны падающего света необходимо сначала установить минимальную длину волны.
4. Затем установите движком значение запирающего напряжения $U = U_{зап i}$ из таблицы 1 для вашего варианта (в которой i - это номер измерения).
5. Перемещая мышью метку на спектре, установите такое максимальное значение длины волны $\lambda = \lambda_1$, при котором прекращается фототок (при визуальном наблюдении движения электронов вы видите, что электроны не долетают до анода, а движутся обратно к катоду), при это амперметр показывает ток $I = 0$.
6. Значения λ_1 и $U_{зап i}$ занесите в таблицу 2.
7. Повторите измерения (пункты 3 – 6) для трех других значений $U_{зап}$ из таблицы 1 для вашего варианта.

Таблица 1.

Значения запирающего напряжения (не перерисовывать).

Вариант Значения $U_{зап i}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{зап 1}, В$	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,1	-0,3
$U_{зап 2}, В$	-0,3	-0,4	-0,5	-0,8	-0,7	-0,7	-0,8	-0,9	-0,2	-0,6
$U_{зап 3}, В$	-0,6	-0,8	-0,7	-0,9	-0,9	-0,8	-0,9	-1,0	-0,3	-0,9
$U_{зап 4}, В$	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2	-1,0	-0,9	-1,0	-1,1	-0,4	-1,2

Результаты измерений

Номер измерения i	1	2	3	4
$U_{\text{зап } i}, \text{ В}$				
$\lambda_i, \text{ нм}$				
$1/\lambda_i, 10^6 \text{ м}^{-1}$				

Обработка результатов измерений

1. Вычислите численное значение работы выхода материала фотокатода, используя формулу (3) и экспериментально установленную длину волны красной границы фотоэффекта. Используя таблицу 3, определите из какого материала изготовлен катод вакуумной лампы (обратите внимание на размерность работы выхода в таблице).

2. Вычислите и запишите в таблицу 2 обратные длины волн.

3. Постройте график зависимости модуля напряжения запирающего ($U_{\text{зап}}$) от обратной длины волны ($1/\lambda$): $(U_{\text{зап}}) = f(1/\lambda)$.

4. Определите численное значение постоянной Планка, используя график и формулу
$$h = \frac{e \Delta(U_{\text{зап}})}{c \Delta\left(\frac{1}{\lambda}\right)}$$
, в которой e – заряд электрона, c – скорость света в

вакууме, $\frac{\Delta(U_{\text{зап}})}{\Delta\left(\frac{1}{\lambda}\right)}$ – отношение приращения функции к соответствующему приращению

аргумента.

5. Запишите ответы и проанализируйте ответы и график.

Значения работы выхода для некоторых материалов

Материал	калий	литий	платина	рубидий	серебро	цезий	цинк
$A_{\text{вых}}, \text{ эВ}$	2.2	2.3	6.3	2.1	4.7	2.0	4.0

Библиографический список

Основной

Савельев И. В. Курс общей физики: В 5 кн. М: АСТ: Астрель, 2006. Кн. 5.

Капуткин Д.Е., Шустиков А.Г. Физика. Обработка результатов измерений при выполнении лабораторных работ. (№ 805). М.: МИСиС. «Учеба». 2007.

Дополнительный

Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.5. М.: Физматлит, 2002.

Контрольные вопросы

1. Что такое фотон? Напишите формулу вычисления энергии фотона.
2. Что называют внешним фотоэффектом? Перечислите условия, при которых возможен внешний фотоэффект. Напишите уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта и поясните физический смысл входящих в него величин. Что называют работой выхода и красной границей фотоэффекта?
3. Объясните принцип действия электрической схемы наблюдения внешнего фотоэффекта в данной работе. Нарисуйте и поясните вольт - амперную характеристику вакуумного фотоэлемента. Отличаются ли вольт – амперные характеристики различных материалов? (Ответ поясните).
4. Дайте определение фототока. От чего зависит величина фототока?
5. Поясните физический смысл запирающего (задерживающего) напряжения. Изменится ли величина запирающего напряжения, если: а) не меняя источник монохроматического излучения, изменить материал фотоэлемента? б) не меняя материал фотоэлемента, изменять монохроматическое излучение?
6. Задача. Найти длину волны λ света, вырывающего из металла электроны, которые полностью задерживаются разностью потенциалов $U = 3$ В. Фотоэффект начинается при частоте света $\nu_0 = 6 \cdot 10^{14}$ Гц. Найти работу выхода электрона из этого металла.

Лабораторная работа № 3-07к

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ РИДБЕРГА ПО СПЕКТРУ ИЗЛУЧЕНИЯ АТОМАРНОГО ВОДОРОДА

Компьютерная модель «Постулаты Бора»
в сборнике компьютерных моделей «Открытая физика»
раздел «Квантовая физика»

Цель работы

Знакомство с планетарной и квантовой моделями атома при моделировании процесса испускания и поглощения электромагнитного излучения атомом водорода; подтверждение закономерностей формирования линейчатого спектра излучения атомарного водорода и определение постоянной Ридберга.

Методика виртуального эксперимента

В данной работе используется компьютерная модель, основанная на постулатах Бора.

- **Первый постулат Бора:** в атоме существуют стационарные (не изменяющиеся во времени) состояния, характеризующиеся определёнными значениями энергии, в которых он не излучает энергии.
- **Второй постулат Бора:** при переходе электрона с одной орбиты на другую излучается или поглощается один фотон с энергией $h\nu$, равной разности энергий соответствующих стационарных состояний:

$$h\nu = E_n - E_m, \quad (1)$$

где E_n и E_m – соответственно энергии стационарных состояний атома до (E_n) и после (E_m) излучения или поглощения.

Набор возможных дискретных частот (2) квантовых переходов определяет *линейчатый спектр атома*

$$\nu = \frac{E_n - E_m}{h}. \quad (2)$$

Связь длины волны λ с её частотой ν определяется формулой

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, \quad (3)$$

где c – скорость света в вакууме.

Спектры излучения и поглощения атомов состоят из отдельных спектральных линий. Экспериментально установлено, что спектр излучения атома водорода состоит из серии линий, длины волн которых вычисляются по обобщенной формуле Бальмера:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_0^2} - \frac{1}{n_i^2} \right), \quad (4)$$

где λ – длина волны спектральной линии в спектре атома водорода; R – постоянная Ридберга (для длины волны табличное значение постоянной Ридберга $R = 1.1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$); n_0 и n_i – целые числа, означающие номер уровня, на который переходит электрон (n) и номер уровня, с которого переходит электрон (n_i). *Фиксированное число n_0 определяет серию, число n_i определяет отдельные линии соответствующей серии и принимает значения для этой серии $n_i = n_0 + 1, n_0 + 2, n_0 + 3$ и т.д..*

***Спектральной серией** называется совокупность линий излучения, соответствующих переходу электрона в атоме водорода на один и тот же нижний уровень энергии:*

Серия	Лаймана	Бальмера	Пашена	Брэкета
Переходы	$n_i \rightarrow n_0 = 1$	$n_i \rightarrow n_0 = 2$	$n_i \rightarrow n_0 = 3$	$n_i \rightarrow n_0 = 4$

В компьютерной модели номер энергетического уровня в атоме водорода обозначен как орбита; например, для первого энергетического уровня $n = 1$ это будет орбита 1.

Откройте компьютерную модель «Постулаты Бора». Внимательно рассмотрите модель, найдите все регуляторы и другие элементы виртуального эксперимента. (Если вы забыли, как работать с системой компьютерного моделирования, прочитайте ВВЕДЕНИЕ ещё раз). Подводя маркер к любому уровню энергии электрона в окне модели и нажимая левую кнопку мыши, понаблюдайте за происходящим в окне модели: при каких переходах электрона атом излучает энергию (свет) и когда поглощает? Зарисуйте необходимое в свой конспект лабораторной работы

В данной модели можно устанавливать номер орбиты от 1 по 6. Компьютерная модель фиксирует энергетические переходы электрона в атоме: направленная вверх стрелочка характеризует поглощение энергии атомом, а разность численных значений энергии – это энергия поглощенного при этом кванта света; направленная вниз стрелочка характеризует излучение энергии атомом, а разность численных значений энергии – это энергия излученного при этом кванта света. В нижнем поле окна модели фиксируется численное значение длины волны λ излученного или поглощенного кванта света. Подсчет стрелочек, направленных вверх или вниз, позволяет определить число спектральных линий в спектре поглощения или излучения, соответственно. На рисунке 1 представлены три линии излучения и три линии поглощения. В этой модели обязательно использование кнопки «Сброс», которая очищает окно планетарной модели.

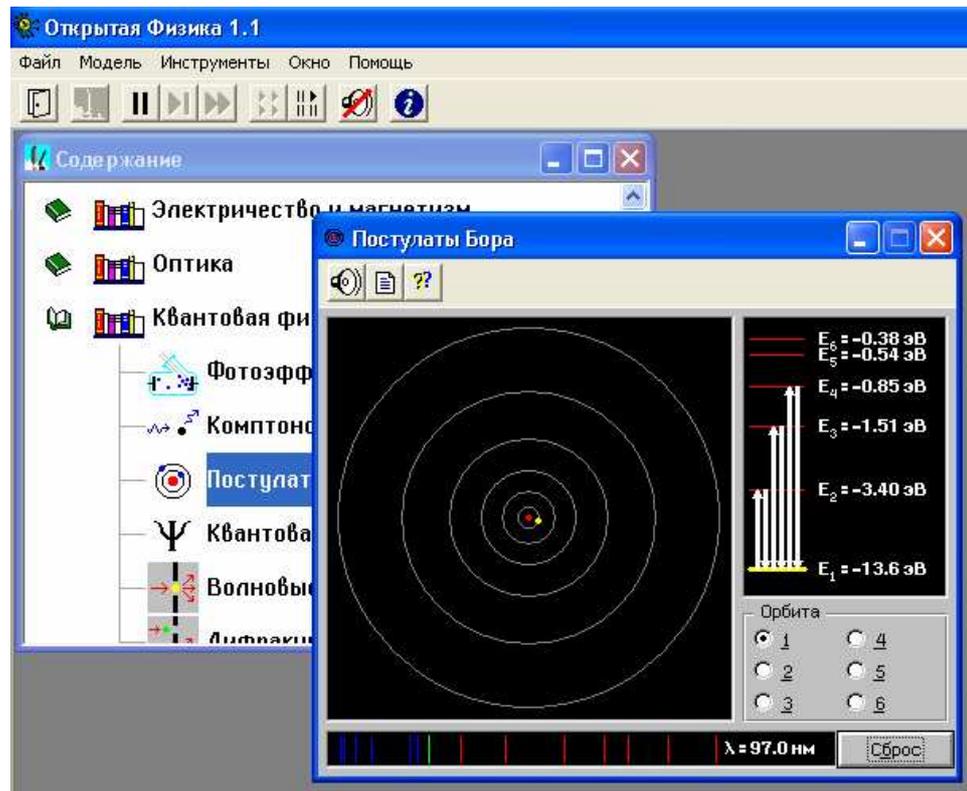


Рис. 46. Окно компьютерной модели «Постулаты Бора».

Порядок выполнения работы

1. Запустите, дважды щелкнув мышью, виртуальный эксперимент «Постулаты Бора».
2. Нажмите мышью кнопку «Сброс».
3. Подведите маркер мыши к уровню энергии электрона с номером n_0 (в модели это соответствует номеру орбиты) указанным в таблице 1 для вашего варианта. и нажмите левую кнопку мыши; при этом в нижнем поле будет указана длина волны поглощенного кванта света, а справа сверху – значение энергии электрона на соответствующем энергетическом уровне.
4. Последовательно переходите с уровня $n_i = n_0 + i$ на уровень n_0 . Для этого маркером мыши (см. пункт 3) отмечайте сначала орбиту n_i , а затем орбиту n_0 . При каждом переходе наблюдайте и зарисуйте мигающие стрелки на модели атома водорода (в левом верхнем поле изображена планетарная модель атома), а также стрелки в правом поле (значения энергии электрона на соответствующей энергетической орбите n_i) и

отметки в нижнем поле, соответствующие длинам волн спектральных линий в данной серии.

5. Запишите в таблицу 2 величину главного квантового числа n_0 для нижнего уровня энергии данной серии, название серии, длины волн λ_i отдельных спектральных линий при переходе электрона на соответствующий энергетический уровень $n_i = n_0 + i$.

Таблица 1.

Номер нижнего уровня (не перерисовывать).

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_0	1	2	3	4	2	1	3	1	4	2

Таблица 2

Результаты измерений.

Серия _____ $n_0 =$

Номер линии i	n_i	λ_i , мкм	$1/\lambda_i$, мкм ⁻¹
1			
2			
3			
4			
5			

Обработка результатов измерений

1. Вычислите и запишите в таблицу 2 обратные длины волн.
2. Определите, переходу между какими квантовыми состояниями электрона в атоме водорода соответствует каждая линия излучения. Запишите в таблицу значения n_i .
3. Постройте график зависимости обратной длины волны ($1/\lambda_i$) от обратного квадрата главного квантового числа $\left(\frac{1}{n_i^2}\right)$ для данной спектральной серии.

4. Определите из графика численное значение постоянной Ридберга

$$R = \frac{\Delta(1/\lambda)}{\Delta(1/n^2)},$$

где $\frac{\Delta(1/\lambda)}{\Delta(1/n^2)}$ - отношение приращения функции к соответствующему приращению

аргумента.

5. Запишите ответ и проанализируйте график.

Библиографический список

Основной

Савельев И. В. Курс общей физики: В 5 кн. М: АСТ: Астрель, 2006. Кн. 5.

Капусткин Д.Е., Шустиков А.Г. Физика. Обработка результатов измерений при выполнении лабораторных работ. (№ 805). М.: МИСиС. «Учеба». 2007.

Дополнительный

Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976.

Контрольные вопросы

1. Опишите планетарную модель атома. Сформулируйте и запишите постулаты Бора.
2. На примере атома водорода охарактеризуйте спектр поглощения и спектр излучения атома. Запишите для атома водорода формулы вычисления длин волн излучения: ультрафиолетовой области спектра, видимой области и для первой серии инфракрасной области спектра.
3. Запишите обобщенную формулу Бальмера и поясните физический смысл величин в этой формуле.
4. Атом водорода находится в состоянии $n = 6$. Сколько линий содержит его спектр излучения? Ответ поясните рисунком.
5. Задача. Определите длину волны спектральной линии, соответствующей переходу электрона в атоме водорода с шестой орбиты на вторую. Какая это линия и в какой серии?

Лабораторная работа № 3-12к

КОЛЬЦА НЬЮТОНА

Компьютерная модель «Кольца Ньютона»
в сборнике компьютерных моделей «Открытая физика»
раздел «Оптика»

Цель работы

Знакомство с моделированием явления интерференции света в тонких плёнках на примере изучения полос равной толщины в схеме колец Ньютона; определение радиуса кривизны линзы.

Методика виртуального эксперимента

В данной работе используется компьютерная модель, основанная на явлении интерференции света при отражении световой волны от верхней и нижней поверхностей тонкого клина. На рисунке 47 схематично изображена интерференция света от стеклянного клина (пластинка переменной толщины), находящегося в воздухе. На клин (у которого угол между боковыми гранями мал) падает плоская волна, направление которой совпадает с параллельными лучами 1 и 2. Лучи, отразившиеся от нижней и верхней поверхностей пластинки, не будут параллельны между собой. В этом случае лучи, отразившиеся от верхней и нижней поверхностей клина пересекутся еще до линзы (на пунктирной линии), где будут интерферировать. Таким образом, интерференционную картинку в результате интерференции света от клина можно наблюдать без линзы. Поскольку разность хода для лучей, отразившихся от различных участков клина, неодинакова, освещенность экрана будет неравномерной – на экране появятся светлые и темные полосы, которые получили название **полосы равной толщины** – это *интерференционные полосы, возникающие в результате интерференции от мест одинаковой толщины.*

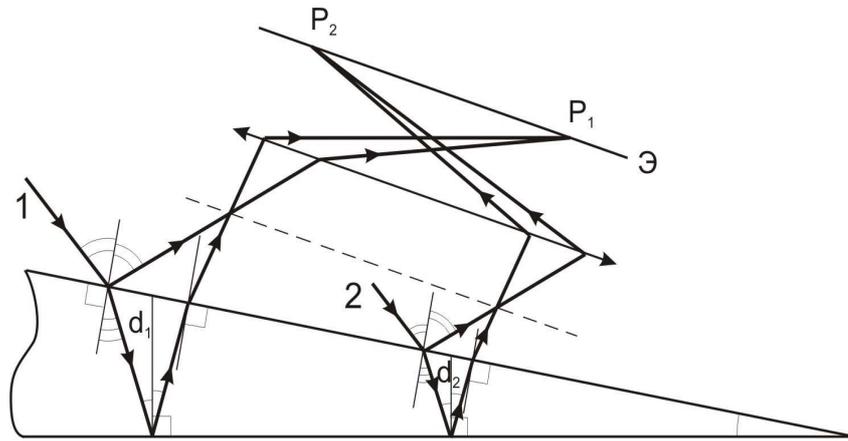


Рис. 47. Пример получения полос равной толщины при интерференции света от стеклянного клина.

Кольца Ньютона наблюдаются при отражении света от воздушного зазора, образованного плоскопараллельной пластинкой и соприкасающейся с ней плосковыпуклой линзой с большим радиусом кривизны. Если на линзу падает пучок монохроматического света, то световые волны, отражённые от верхней и нижней поверхностей воздушной прослойки, будут интерферировать между собой. При этом образуются интерференционные полосы, имеющие форму концентрических светлых и тёмных колец, убывающей ширины.

На рисунке 48 схематично показана связь радиуса r_3 третьего по счету от центра кольца Ньютона с радиусом линзы R (d_3 - это диаметр третьего кольца).

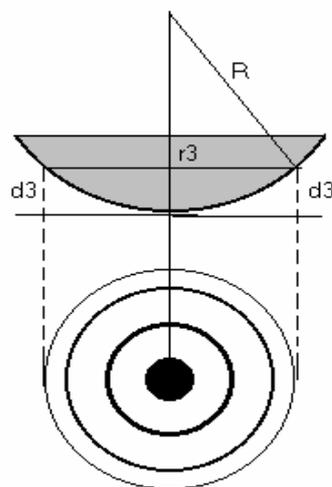


Рис.48. Интерференционные полосы - кольца Ньютона.

Радиус m -ого тёмного кольца Ньютона вычисляется по формуле

$$r_m^2 = mR\lambda, \quad (1)$$

где λ – это длина волны падающего на линзу света, R – радиус линзы. Эта формула позволяет определить радиус кривизны линзы

$$R = \frac{r^2}{m\lambda}. \quad (2)$$

Вследствие деформации стекла, а также наличия на стекле пылинок невозможно добиться плотного примыкания линзы и пластины в одной точке. Поэтому при определении радиуса кривизны линзы пользуются другой формулой (3), в которую входит комбинация из двух значений радиусов интерференционных колец r_m и r_n , что позволяет исключить возможный зазор в точке контакта линзы и стеклянной пластины:

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m - n)\lambda}. \quad (3)$$

Откройте компьютерную модель «Кольца Ньютона». Внимательно рассмотрите модель найдите все регуляторы и другие элементы эксперимента. (Если вы забыли, как работать с системой компьютерного моделирования, прочитайте ВВЕДЕНИЕ ещё раз).

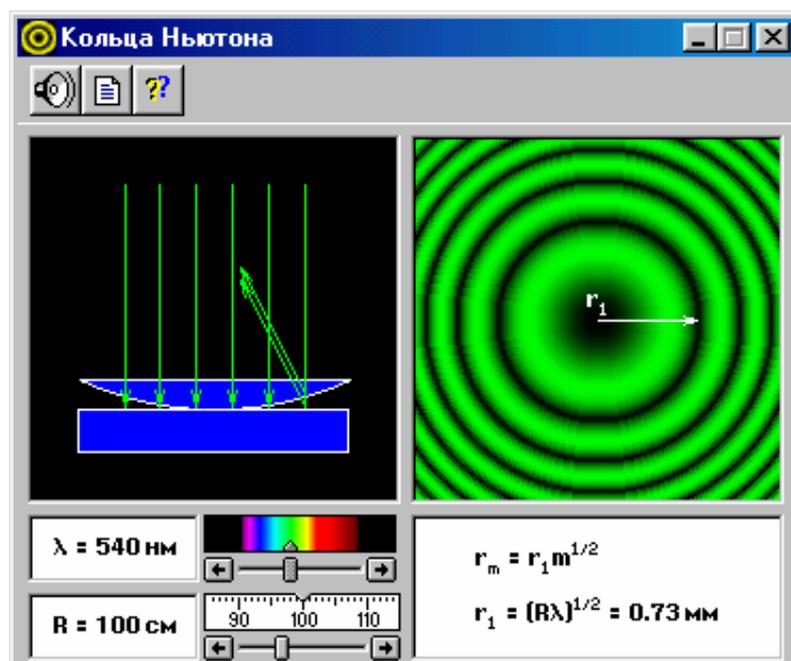


Рис. 49. Окно компьютерной модели «Кольца Ньютона».

Установив маркером мыши любую длину волны; не меняя ее, изменяйте значение радиуса линзы и наблюдайте интерференционную картину. Затем понаблюдайте за интерференционной картиной при неизменном значении радиуса линзы, меняя длину волны.

ВНИМАНИЕ! В этой компьютерной модели ошибка – лучи, отраженные от верхней и нижней поверхностей воздушного зазора (клина) не могут быть параллельными.

Порядок выполнения работы

1. Запустите, дважды щелкнув мышью, виртуальный эксперимент «Кольца Ньютона».
2. Зацепите мышью движок регулятора длины волны монохроматического света и установите первое значение длины волны λ_1 из таблицы 1 для вашего варианта. Аналогичным образом установите первое значение радиуса кривизны линзы R_1 .
3. Запишите значения длины волны, радиуса кривизны линзы и указанное в правом нижнем прямоугольнике окна опыта значение $r_{1(1)}$ в таблицу 2.
4. Установите мышью вторые значения радиуса R_2 кривизны линзы и длины волны λ_2 из таблицы 1; выполните измерения пункта 3 (записав $r_{1(2)}$).

Таблица 1.

Значения длины волны и установочного радиуса кривизны линзы

(не перерисовывать).

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
λ_1 , нм	400	420	440	450	460	500	510	520	540	560
R_1 , см	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
λ_2 , нм	570	580	600	620	640	660	680	700	710	720
R_2 , см	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50

Результаты измерений и расчетов

$\lambda_1 = \text{_____}$ $R_1 = \text{___}$ $r_{1(1)} =$				$\lambda_2 = \text{___}$ $R_2 = \text{_____}$ $r_{1(2)} =$			
r_3	r_5	r_4	r_6	r_3	r_5	r_4	r_6
$R_{11}^* =$		$R_{12}^* =$		$R_{21}^* =$		$R_{22}^* =$	

Обработка результатов измерений

1. По формуле (4) рассчитайте значения радиусов 3, 4, 5 и 6-ого тёмных колец Ньютона и запишите эти значения в таблицу 2.
2. По формуле (3) для $m_1 = 3$ и $n_1 = 5$ и $m_2 = 4$ и $n_2 = 6$ рассчитайте радиусы кривизны линзы R_{11}^* и R_{12}^* и запишите эти значения в таблицу 2.
3. Проанализируйте полученные результаты и оцените погрешность проведённых измерений.

Библиографический список

Основной

Савельев И. В. Курс общей физики: В 4 кн. М: АСТ: Астрель, 2006. Кн. 5.

Капуткин Д.Е., Шустиков А.Г. Физика. Обработка результатов измерений при выполнении лабораторных работ. (№ 805). М.: МИСиС. «Учеба». 2007.

Дополнительный

Ландсберг Г.С.. Оптика. М.: Наука, 1976.

Контрольные вопросы

1. Что такое «Интерференция света»? Поясните это явление на примере полос равной толщины (плоскопараллельная пластинка) и полос равного наклона (клин).
2. Запишите условия максимума и минимума интенсивности при интерференции света и поясните физический смысл величин, входящих в эти формулы. Как эти условия используются при выводе формул расчета радиусов темных и светлых колец Ньютона?
3. Почему при наблюдении колец Ньютона в отраженном свете в центре всегда будет темное пятно?
4. Как изменится интерференционная картина колец Ньютона, если:
а) воздушный зазор между линзой и пластинкой заполнить водой вместо воздуха;
б) наблюдение проводить в проходящем свете при воздушном зазоре?
5. Задача. Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 600$ нм, падающим по нормали к поверхности пластинки. Найти толщину воздушного слоя между линзой и стеклянной пластинкой в том месте, где наблюдается четвертое темное кольцо в отраженном свете.