

Л.С. КОНОВАЛЕЦ, кандидат педагогических наук, доцент, НГПУ им. К.Минина (Мининский университет), Нижний Новгород e-mail: KLC28@mail.ru

ПРОБЛЕМНОЕ ОБУЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ ФИЗИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

L.S.Konovalets

PROBLEM TEACHING STUDENTS PHYSICS USING MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES

В статье исследуются возможности реализации проблемного обучения студентов педагогических вузов на всех видах учебных занятий по физике с использованием современных информационных средств. Даются основные методические рекомендации по проблемному изложению лекционного материала с применением компьютерных презентаций, частично – поискового метода в процессе решения физических задач и исследовательского – в ходе лабораторного эксперимента с использованием компьютерных моделей.

Ключевые слова: проблемное обучение, физика, компьютерные презентации, виртуальный эксперимент.

This paper investigates the feasibility of problem-based learning pedagogical students in all kinds of learning experiences in physics using modern media. Provides basic guidelines for the problematic presentation of the lecture material with the use of computer presentations, partly - the search method in the process of solving physical problems and research - in a laboratory experiment, using computer models.

Key words: problem-based learning, physics, computer presentations, virtual experiment.

В дидактике выделяют три вида обучения: объяснительно-иллюстративное, проблемное и компьютерное. При соединении последних двух открываются новые возможности, связанные с их взаимопроникновением и дополнением друг друга.

Проблемное обучение включает в себя проблемное изложение, частично-поисковый и исследовательский методы.

Современные информационные технологии позволяют использовать компьютер в качестве мультимедийного средства, инструмента вычислений и графической визуализации.

Мы рассмотрим возможности реализации проблемного обучения студентов педагогических вузов на всех видах учебных занятий по физике с использованием современных информационных средств.

Схема, иллюстрирующая реализацию проблемного обучения на различных видах занятий в условиях применения современных компьютерных технологий, представлена на рисунке 1.

Проблемное изложение изучаемого материала осуществляется, как правило, на лекциях, когда необходимо повысить познавательную активность обучаемых. При этом использование компьютера в качестве средства графической визуализации материала, мультимедийного средства и инструмента вычислений позволяет создать компьютерные презентации, направленные на реализацию проблемного обучения. В качестве проблемного парадокса могут служить данные, получаемые на глазах у студентов вычислительным экспериментом, например, рассогласованием между предполагаемым результатом и проведённым расчётом. Также в презентацию могут входить слайды, иллюстрирующие посредством графической наглядности или мультимедийными средствами некоторые парадоксальные моменты излагаемого учебного материала.

Частично-поисковый метод применяется на практических занятиях в процессе решения задач с использованием компьютерных моделей при проведении виртуального эксперимента.

Частично-поисковый метод предполагает более высокую познавательную активность и состоит в решении студентом задачи после изучения им рассматриваемого явления на компьютерной модели. С её помощью обучаемый получает ответ на вопрос данной задачи и анализирует его. Поскольку ответ уже известен, а аналитическое решение, подтверждающее данный результат, студенту приходится найти самостоятельно, задание является частично - поисковым.

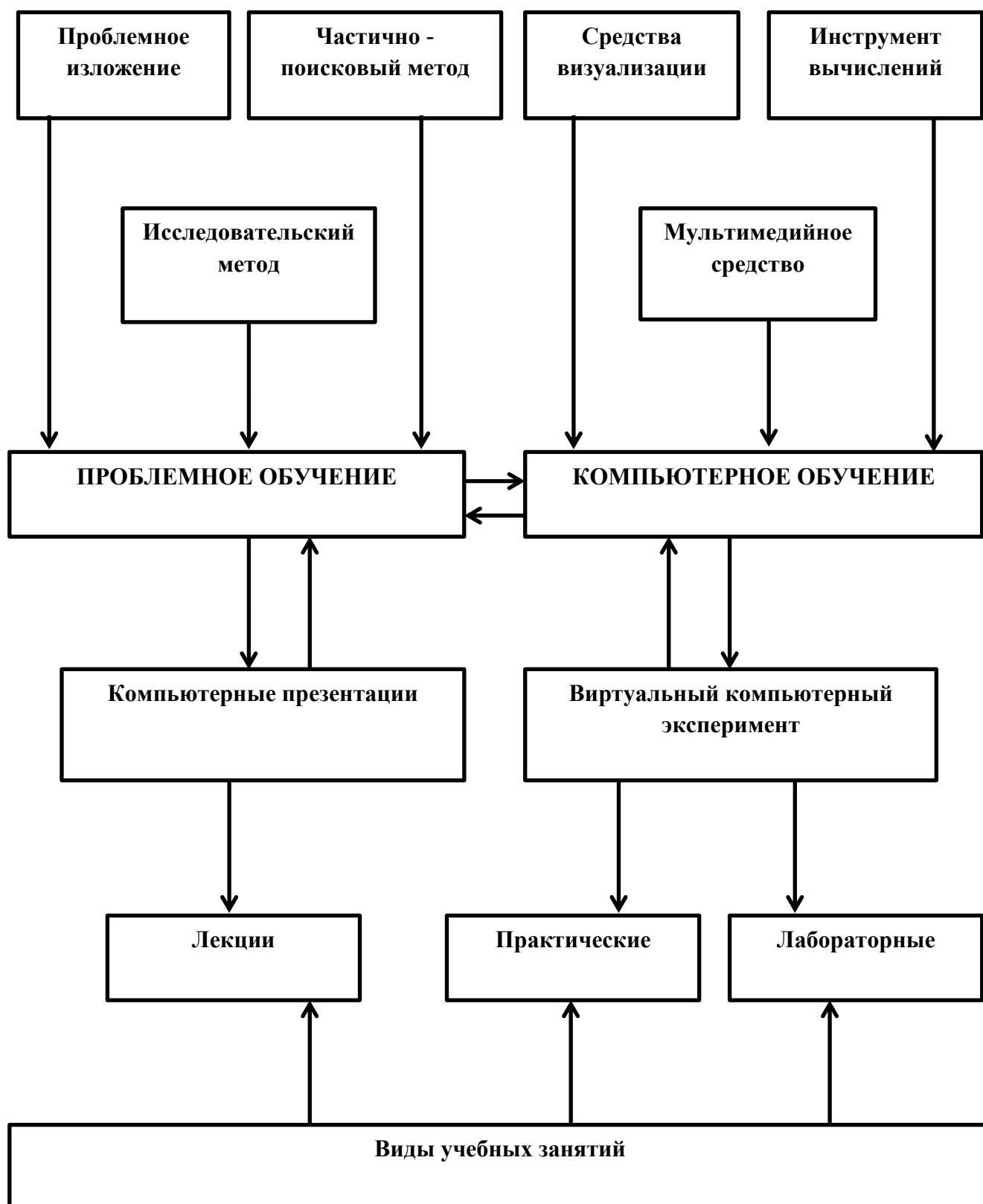


Рисунок 1 – Блок-схема реализации проблемного обучения на различных видах занятий с использованием компьютерных средств

Исследовательский метод проблемного обучения реализуется на лабораторных занятиях при проведении компьютерного эксперимента. Используя такие средства компьютерного обучения, как графическая визуализация, вычислительные и мультимедийные возможности, студенты проводят виртуальный компьютерный эксперимент. Он здесь является не просто способом, позволяющим повернуть действия обучаемых в нужном направлении, а представляет собой учебное научное исследование наряду с проведением реальных опытов. При этом этапы компьютерного эксперимента отражают процесс научного исследования, а деятельность по компьютерному моделированию становится предметом специального усвоения. Остановимся на каждом из описанных элементов блок-схемы рисунка 1 подробно.

Проблемное изложение предполагает создание и разрешение проблемной ситуации. Проблемная ситуация – это состояние интеллектуального затруднения, при котором появилась мотивация разрешить проблему, но имеющихся знаний не достаточно, но они могут быть приобретены (генерированы) в течение данного занятия. В основе проблемной ситуации стоит проблемный вопрос, который должен быть посильным для обучаемых, но не слишком легким, так как не вызовет интеллектуального затруднения [14].

Новые возможности активной формы проведения лекций по физике, а именно: проблемное изложение лекционного материала, появляются при использовании компьютерных презентаций.

Преподаватель должен построить презентацию так, чтобы разбить исходную проблему на подпроблемы, каждая из которых является трамплином для следующей. Последовательность слайдов при этом будет вести обучаемых по пути разрешения проблемной ситуации.

Приведем пример проблемного изложения с использованием компьютерной презентации на лекции по теме «Реальные газы». Перед студентами ставится проблема: описать поведение реальных газов, к которым неприменима модель идеального газа.

Поскольку для разрешения проблемы необходима актуализация знаний, то первые слайды презентации раскрывают признаки идеализации данной модели. При этом также необходимо напомнить о характере сил межмолекулярного взаимодействия, которые необходимо учитывать.

Модель идеального газа:

- Молекулы- материальные точки.
- Потенциальная энергия взаимодействия молекул равна нулю.
- Соударения абсолютно упругие.

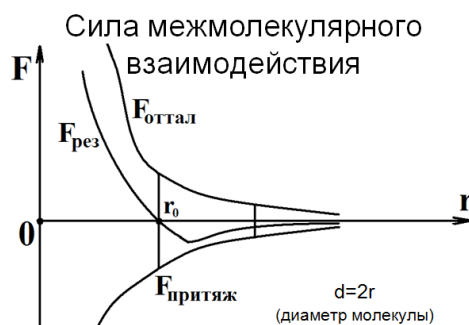
$$pV = \nu RT$$


Рисунок 2 – Слайды для актуализации знаний о модели идеального газа

Далее, следуя рассуждениям нидерландского физика Ван-дер-Ваальса, преподаватель приводит студентов к необходимости учета собственного объема молекул и дополнительного давления из-за сил притяжения между ними. В результате получают уравнение состояния реальных газов, представленное на следующем слайде:

$$p + \frac{a}{V^2} \quad V - b = RT.$$

Для исследования полученного уравнения необходимо построить график изотермы в координатах $p(V)$:

$$p = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V^2}.$$

При этом необходимо поддерживать мотивацию студентов в течение всего поиска, иначе интерес ребят может потухнуть из-за рутинных операций. Поэтому на следующем слайде показан график, построенный по данным уравнению для углекислого газа в системе EXEL.

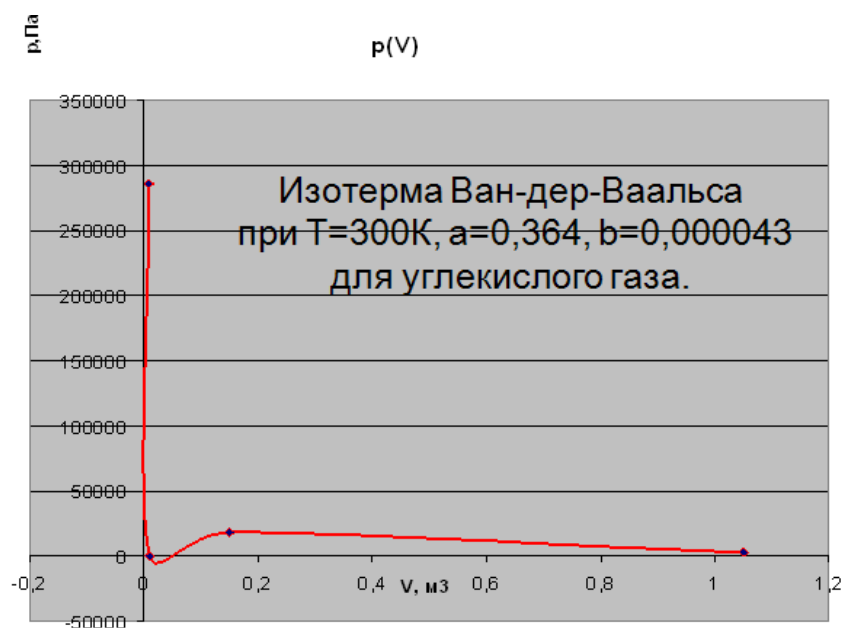


Рисунок 3 – Слайд, иллюстрирующий исследование на компьютере поведения графика изотермы реального газа

Следующий вопрос, который должны выяснить студенты: правильно ли описывает график поведение газа?

На графике есть участок, на котором с возрастанием объема увеличивается давление, который не может быть реализован на практике. Также у обучаемых появляется сомнение в реальности участка графика с отрицательным давлением. Еще один проблемный вопрос касается волнообразного характера данной зависимости. Для разрешения последнего вопроса уравнение переписывается в следующем виде:

$$pV^3 - RT - pbV^2 + aV - ab = 0.$$

При этом студенты вспоминают, что уравнение третьей степени относительно V имеет три корня. Если они все действительные, то получается волнообразный участок.

Если один корень действительный, а два – комплексно-сопряженные, то при данном p будет только одно значение объема V , так как физический смысл имеет только действительный объем.

Как же идут изотермы в этом случае?

Начиная с некоторой температуры, своей для каждого газа, которая называется критической T_k , при которой все корни одинаковы, изотермы будут монотонно убывающими. При $T > T_k$ волнообразного участка на графике не должно быть.

Также остается вопрос, как реализуется переход между двумя убывающими участками графика. Естественно предположить, что этим ветвям соответствуют два агрегатных состояния вещества: при больших объемах и малых давлениях – газ, при малых объемах и большом давлении – жидкость.

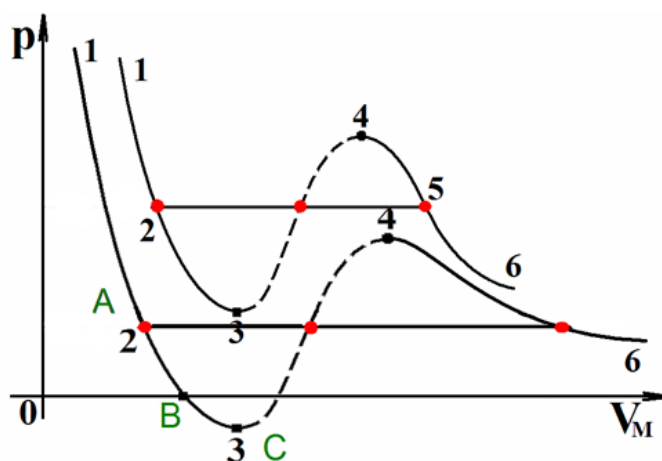


Рисунок 4 – Слайд для рассуждений о совпадениях и различиях изотерм газа Ван-дер-Ваальса с экспериментом

Частично-поисковый и исследовательский методы предполагают более высокую познавательную активность обучающихся в процессе решения поставленной преподавателем проблемы [19].

На практических занятиях по физике со студентами мы предлагаем использовать частично-поисковый метод, реализуемый в процессе решения задач с использованием компьютерных моделей программы «Открытая физика 2.6». Он состоит в решении студентом физической задачи после того, как он создает на экране дисплея модель рассматриваемого явления в оболочке «Открытая физика 2.6». С помощью неё он получает ответ на вопрос данной задачи, анализирует его, однако аналитическое решение, подтверждающее данный результат, обучаемому приходится найти самостоятельно. С этой точки зрения задание остается частично-поисковым. Приведем конкретные примеры.

Задача на расчёт токов в электрических цепях по правилам Кирхгофа: выбор компьютерной модели в оболочке «Открытая физика 2.6» и проведение расчётов.

На схеме представлена цепь постоянного тока (рисунок 5). ЭДС ε_1 источника с внутренним сопротивлением $r_1 = 1,2$ Ом равна 10 В, а ЭДС ε_2 источника с $r_2 = 1$ Ом равна 8 В. Сопротивления R_1 , R_2 , R_3 равны 6 Ом, 1 Ом и 3 Ом соответственно. Какой ток показывают амперметры?

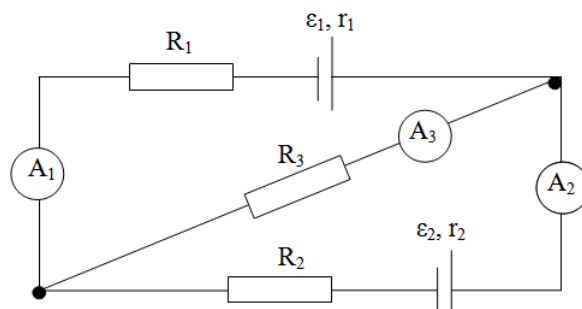
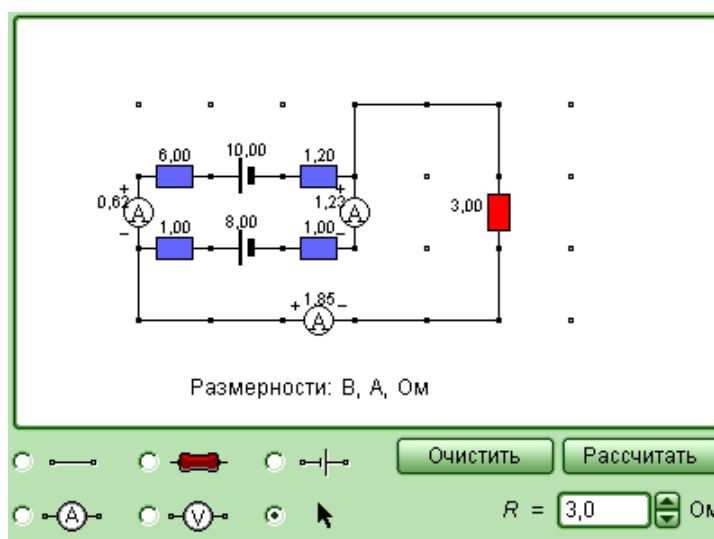


Рисунок 5 – Схема электрической цепи

Оболочка «Открытая физика 2.6» позволяет создавать на экране дисплея различные модели электрических разветвлённых цепей постоянного тока, включающие в себя источники тока, резисторы, амперметры и вольтметры. Можно изменять (в определённых пределах) ЭДС источников и сопротивления резисторов. Для активации соответствующего элемента схемы сначала нажимаем клавишу со стрелкой, а затем кликаем мышкой на выбранный элемент схемы (источник или резистор).

После этого даём команду «Рассчитать», и компьютер выполняет расчёт токов и напряжений на различных участках цепи. Для тестирования модели сконструируем на экране приведённую выше схему и посмотрим на результат компьютерного расчёта силы тока на различных участках цепи (рисунок 6).

Рисунок 6 – Сконструированная схема электрической цепи в оболочке «Открытая физика 2.6»



Аналитическое решение

В разветвлённой цепи всегда можно выделить некоторое количество замкнутых контуров. На разных участках выделенного контура могут протекать различные токи. Это первое правило Кирхгофа (следствие закона сохранения электрического заряда). В рассматриваемой цепи можно выделить два контура (рисунок 7).

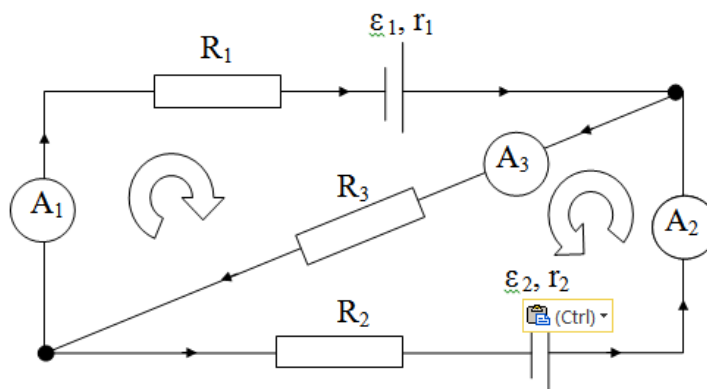


Рисунок 7 – Распределение токов и выбранные обходы контуров цепи

Второе правило Кирхгофа является следствием обобщённого закона Ома: алгебраическая сумма произведений сопротивления каждого участка, любого замкнутого контура разветвлённой цепи постоянного тока, на силу тока на этом участке равна алгебраической сумме ЭДС вдоль этого контура.

Первое и второе правила Кирхгофа, записанные для всех независимых узлов и контуров разветвлённой цепи, дают в совокупности необходимое и достаточное число алгебраических уравнений для расчёта электрической цепи.

Для цепи, изображённой на рисунке 6, студент пишет систему уравнений (см. таблицу) для определения трёх неизвестных токов I_1 , I_2 и I_3 . Таким образом, правила Кирхгофа сводят расчёт разветвлённой электрической цепи к решению системы линейных алгебраических уравнений приведенных ниже.

Объект моделирования	Параметры	
	Величина	Значение
Разветвлённая цепь постоянного тока, состоящая из источников постоянного тока, резисторов и амперметров	ε_1 ε_2	10 В 8 В
Расчётные формулы	r_1 r_2 R_1 R_2 R_3 I_1 I_2	1,2 Ом 1 Ом 6 Ом 1 Ом 3 Ом ? ?
$U = I R$ $I_1 + I_2 - I_3 = 0$ $I_1 r_1 + I_3 R_3 + I_1 R_1 = \varepsilon_1$ $I_2 r_2 + I_3 R_3 + I_2 R_2 = \varepsilon_2$		
Результаты: $I_1 = 0,62 \text{ A}$; $I_2 = 1,23 \text{ A}$; $I_3 = 1,85 \text{ A}$.		

Сравнивая результаты своего аналитического расчета со значениями, даваемыми компьютерной моделью, студенты могут убедиться в правильности своих действий.

Задача на определение оптической силы системы из двух линз с помощью компьютерной модели и по результатам проведенных расчетов.

Дана система двух линз (рисунок 8). Рассчитайте общее линейное увеличение системы. Расстояние от точечного предмета S до первой (рассеивающей) линзы $d_1 = 123$ мм, от предмета до второй (собирающей) линзы $l = 173$ мм. Оптическая сила первой линзы $D_1 = 13$ дптр, второй линзы $D_2 = 19$ дптр.

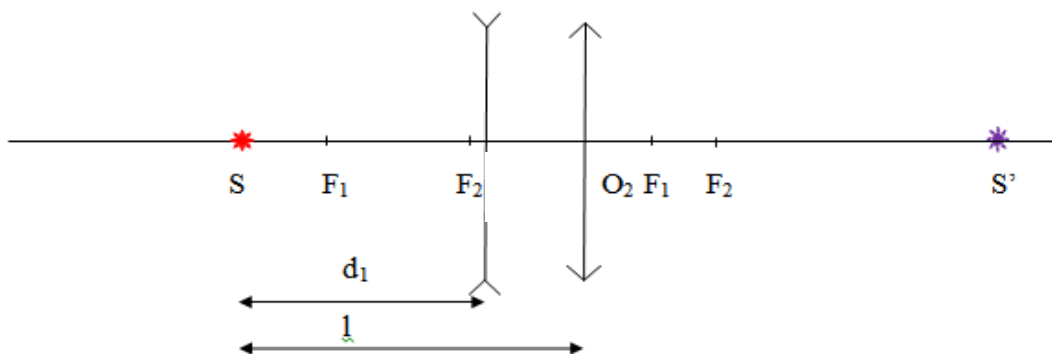


Рисунок 8 – К задаче определения оптической силы системы из двух линз

С

Сначала студентам необходимо выбрать компьютерную модель, позволяющую вычислить положения первого и второго изображений и определить линейное увеличение системы из двух линз, а также каждой линзы в отдельности. На дисплее должен высвечиваться ход двух произвольных лучей от точечного объекта, испытывающих преломление в обеих линзах.

Компьютерная модель в курсе «Открытая физика 2.6» позволяет изучать такую систему. Положения обеих линз относительно предмета можно изменять либо с помощью соответствующих клавишей, либо с помощью мышки. В широких пределах можно изменять оптические силы ($D = f^{-1}$) обеих линз. Компьютер вычисляет положения первого и второго изображений и определяет линейное увеличение системы из двух линз и каждой линзы в отдельности. Точечный предмет располагается на общей оптической оси линз. На дисплее высвечивается ход двух произвольных лучей, испытывающих преломление в обеих линзах (рисунок 9). Протестировав модель по результатам приведённого выше расчёта и убедившись в её корректности, учащиеся могут начать виртуальное исследование.

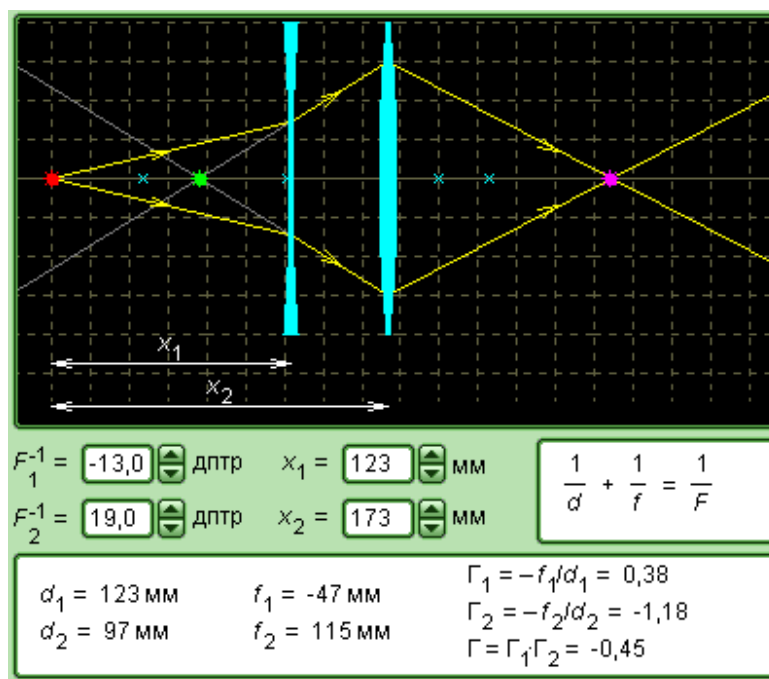


Рисунок 9 – К компьютерной модели хода лучей в системе из двух линз

После проведения компьютерного моделирования студентам необходимо самим построить ход лучей в системе из двух линз и провести аналитическое решение.

Аналитическое решение

Изображение предмета, даваемое первой линзой, служит предметом (действительным или мнимым) для второй линзы, которая строит второе изображение и т. д.

Расчёт оптической системы из двух или нескольких линз сводится к последовательному применению формулы тонкой линзы.

Общее линейное увеличение системы из двух линз равно произведению линейных увеличений каждой линзы: $\Gamma = \frac{f}{d}$, где f – расстояние от линзы до изображения, d – расстояние от источника до линзы.

Построим ход лучей в системе линз (рисунок 10).

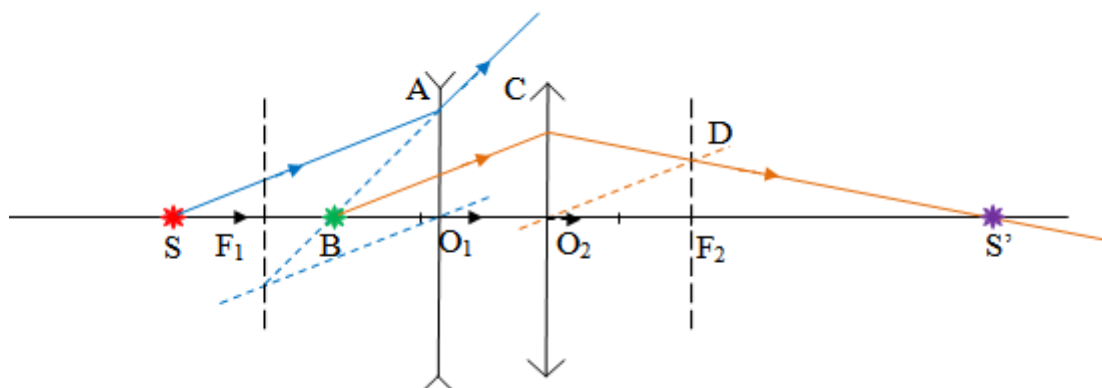


Рисунок 10 – Схема хода лучей в системе из двух линз

Из формулы тонкой линзы выразим f_1 для рассеивающей линзы:

$$\frac{1}{d_1} - \frac{1}{f_1} = -\frac{1}{F_1} = -D_1 \quad f_1 = \frac{1}{D_1 + 1/d_1} \quad f_1 = \frac{1}{13 + (1/0,123)} = 0,047 \text{ (м)} .$$

Найдём линейное увеличение рассеивающей линзы: $\Gamma_1 = \frac{0,047}{0,123} = 0,38$.

Для собирающей линзы: $d_2 = l - d_1 + f_1 \quad d_2 = 0,173 - 0,123 + 0,047 = 0,097 \text{ (м)}$.

Пользуясь формулы тонкой линзы, выразим f_2 : $f_2 = \frac{1}{D_2 - 1/d_2} \quad f_2 = \frac{1}{19 - 1/0,097} = 0,115 \text{ (м)}$.

Найдём линейное увеличение собирающей линзы: $\Gamma_2 = -\frac{0,115}{0,097} = -1,18$.

Общее увеличение системы: $\Gamma = \Gamma_1 \cdot \Gamma_2 = 0,38 \cdot -1,18 = -0,45$.

Коэффициент увеличения получился отрицательным, следовательно, изображение перевёрнутое.

Так как расхождений в аналитическом и компьютерном расчётах нет, то с помощью этой модели учащийся может легко проверить правильность построения и точность своих расчётов.

В лабораторном практикуме по физике мы также предлагаем использовать компьютерные модели оболочки «Открытая физика 2.6». Однако виртуальный эксперимент здесь играет роль не только средства, позволяющего найти верное аналитическое решение задачи, а представляет собой учебное научное исследование наряду с проведением натурального эксперимента. При этом все этапы виртуального эксперимента отражают процесс научного исследования в современной физике, а деятельность по компьютерному моделированию становится предметом специального усвоения.

Схема проведения виртуального эксперимента, на наш взгляд, должна включать в себя следующие этапы [11]:

- составление плана эксперимента;
- выбор компьютерной модели и её тестирование;
- проведение виртуального исследования;
- анализ результата.

План эксперимента, чётко отражающий последовательность работы учащегося с компьютерной моделью, составляет сам обучаемый на основе кратких методических указаний и корректируется преподавателем. Выбор и тестирование компьютерной модели, то есть проверка её корректности, обеспечивающая надёжность получаемых результатов, проводится с помощью тестового набора исходных данных, для которых конечный результат уже известен (например, определён другими способами). Такая проверка проводится подбором тестового примера с исходными данными, полученными на основе реального эксперимента с физическими приборами.

После тестирования, когда студенты убедились в корректности выбранной модели, они переходят непосредственно к проведению виртуального исследования. Полученные выводы часто способствуют проведению дополнительной серии экспериментов, а подчас и к изменению условий задачи. Приведём конкретные примеры.

Фотоэффект: тестирование компьютерной модели по результатам натурального эксперимента

Проведение натурального опыта Столетова по фотоэффекту с использованием нескольких фотофильтров для источника света позволяет сравнить результат с тем, который получается на компьютерной модели явления при плавном изменении частоты падающего излучения (рисунок 11). Фотоэлемент представляет собой стеклянную колбу с двумя электродами: фотокатодом и анодом. При освещении фотокатода с его поверхности испускаются электроны, поток которых в электрическом поле между катодом и анодом создаёт фототок.

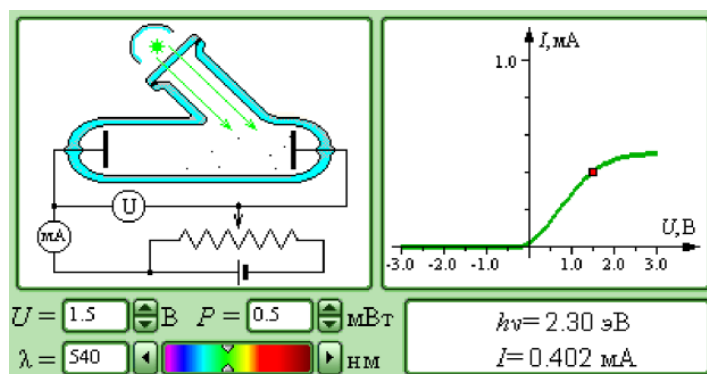


Рисунок 11 – Компьютерная модель для изучения фотоэффекта

Электроды подключены к источнику так, что величину и полярность напряжения между ними можно изменять с помощью потенциометра.

Вольтметр (V) и миллиамперметр (mA) служат для измерения напряжения и фототока между электродами. Это позволяет снимать вольтамперные характеристики (ВАХ) фотоэлемента. Величина фототока становится равной нулю при отрицательном напряжении на аноде, которое называется *задерживающим напряжением* U_z . По величине U_z можно определить максимальную энергию фотоэлектронов: $\frac{1}{2}mv^2 = eU$, где m и e – масса и заряд электрона соответственно. Используя данное соотношение и уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, получаем зависимость задерживающего напряжения от частоты: $U_z = \frac{h\nu}{e} - \frac{A}{e}$, где ν – частота света, A – работа выхода электрона из вещества фотокатода, h – постоянная Планка. Как видно из данного выражения, зависимость является линейной. Это позволяет, построив экспериментальную прямую $U_z(\nu)$, экстраполировать её до пересечения с осями координат и определить значения работы выхода и красной границы фотоэффекта.

Вольтамперные характеристики фотоэлемента учащиеся снимают на виртуальной установке. Длину волны света, который направляется на катод фотоэлемента, можно изменять с помощью ползунка. Для проверки корректности компьютерной модели учащиеся сравнивают измеренные виртуальные величины с полученными в натурном эксперименте (между осветителем и фотоэлементом устанавливаются по очереди несколько светофильтров на известную длину волны). Затем по результатам виртуального эксперимента строят график (рисунок 12), по которому определяют красную границу фотоэффекта, постоянную Планка и работу выхода.

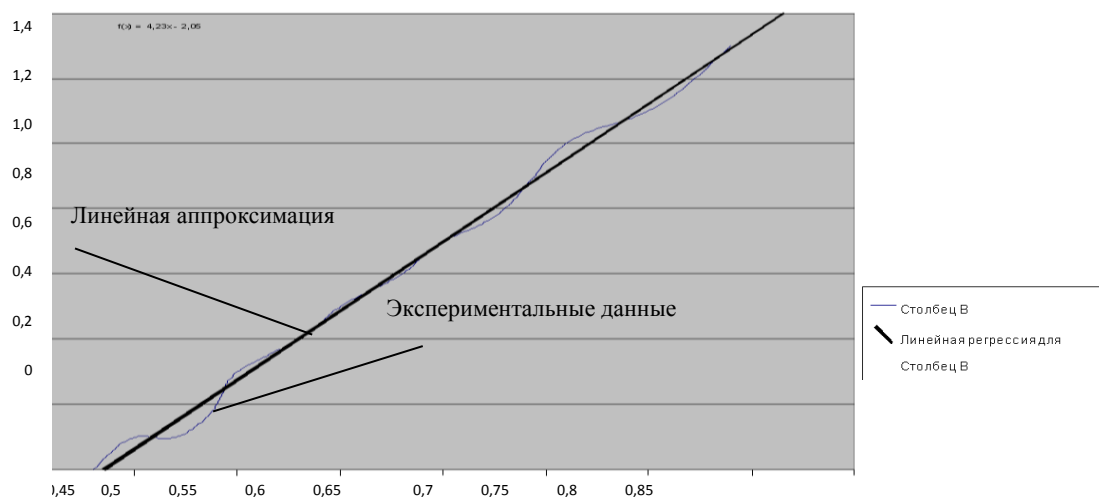


Рисунок 12 – Экспериментальная зависимость $U_3(v)$

Определение максимумов интенсивности света, прошедшего через дифракционную решётку: выбор и тестирование компьютерной модели по результатам реального физического эксперимента

За решёткой расположена собирающая линза. Найдите расстояние между 1-м и –4-м главными максимумами, наблюдаемыми в её фокальной плоскости. Период решётки $d = 2,5 \cdot 10^{-5}$ м, длина волны $\lambda = 400$ нм, фокусное расстояние линзы $f = 0,5$ м.

Аналитический расчёт

Объект моделирования	Параметры	
	Величины	Значения
Дифракционная решётка	d	$2,5 \cdot 10^{-5}$ м
	λ	400 нм
	f	0,5 м
	m_1	1
	m_2	–4
$\nu_{m1} - \nu_{m2} = \Delta\nu$		?
Расчётные формулы		Результаты
$d \sin \Theta_m = m \lambda$ $y_m = m \lambda / (d \cdot f)$ $\Delta y = (m_1 - m_2) \lambda / (d \cdot f)$		$y_1 = 0,08$ (м) $y_{(-4)} = -0,032$ (м) $\Delta y = 0,048$ (м)

Простейшая дифракционная решетка представляет собой систему узких параллельных щелей, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга. Определим, какие параметры важны для выбора и тестирования компьютерной модели. Она должна допускать изменение периода решетки d и длины световой волны λ , позволять выбирать номер m с помощью щелчка мышью на выбранном главном максимуме (на дисплее (рисунок 13) должна высвечиваться координата y_m выбранного на экране максимума, расположенного в фокальной плоскости линзы).

Убедившись, что модель функционирует верно, студенты проводят виртуальный эксперимент. Несложно найти разность между двумя интересующими нас максимумами.

Обратим внимание на то, что масштабы по горизонтали и вертикали отличаются приблизительно в 5 раз. Поэтому изображаемые на экране углы θ_m сильно преувеличены.

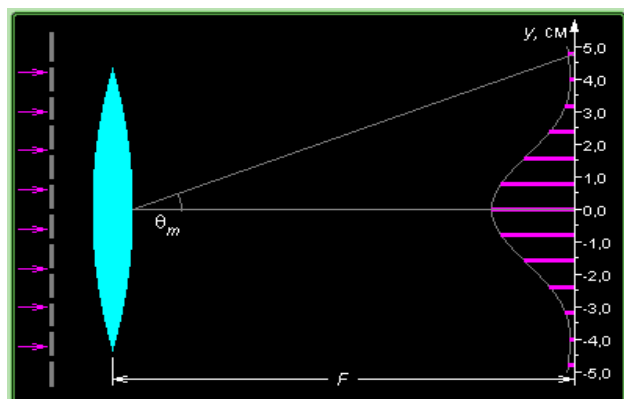


Рисунок 13 – Ход лучей в компьютерной модели дифракционной решетки

Анализ результатов

Результат компьютерных вычислений совпадает с аналитическим. Студенты также проводят тестирование данной модели с помощью реального физического эксперимента.

Экспериментальная установка

В работе используется лазер, дающий узкий пучок света с малым углом расхождения (порядка 10 – 15 угловых минут). Установка собирается на оптической скамье. Схема установки и элементы представлены на рисунке 14.

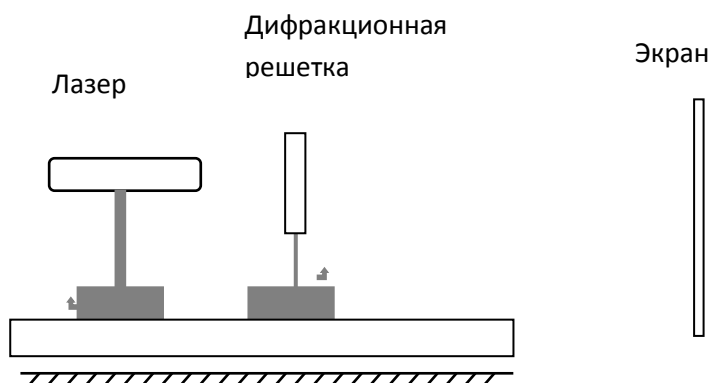


Рисунок 14 – Схема установки реального физического эксперимента

В качестве объекта дифракции используется дифракционная решетка с периодом $d=1/100 \text{ мм} = 10^{-5} \text{ м}$.

Измеряется расстояние r от дифракционной решетки до экрана.

На экране, где наблюдается дифракционная картина, можно определить расстояние от середины центрального максимума до середины 1,2,3,4-го максимумов: $x_1, x_2, x_3 \dots$ по обе стороны от центрального.

Таким образом, в данной статье мы показали деятельность студентов на учебных занятиях по физике использованием проблемного изложения материала, частично-

поискового метода при решении физических задач и исследовательского метода при проведении лабораторного эксперимента. Здесь студенты не только усваивают конкретный материал по дисциплине, но и учатся решать учебные проблемы в условиях компьютерного обучения. Это приобретает особую зависимость для студентов педвузов, т. к. будущие учителя получают наглядный урок, как работать с учениками в школе при использовании информационных технологий и проблемного обучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев, В.И. Эвристика для творческого саморазвития / В.И. Андреев. - Казань, 1994. - 237 с.
2. Бутиков, Е.И. Лаборатория компьютерного моделирования / Е.И. Бутиков // Компьютерные инструменты в образовании. - 1999. - №5. - С. 26.
3. Григорьев, С.Г. Учебник - шаг на пути к системе обучения "Информатизации образования". / С.Г. Григорьев, В.В. Гриншкун // Проблемы школьного учебника: сб. научн. тр. - М.: ИСМО РАО, 2005. - С. 219-222.
4. Гриншкун, В.В. Образовательные электронные издания и ресурсы: учебно-методическое пособие для студентов педагогических вузов и слушателей системы повышения квалификации работников образования / В.В. Гриншкун, С.Г. Григорьев. - Курск: КГУ, М.: МГПУ, - 2006. - 98 с.
5. Дергачева, Л.М. Активизация учебной деятельности школьников при изучении информатики на основе использования дидактических игр: автореф. дис. ... канд. пед. наук. / Л.М. Дергачева. - М., 2006. - 25 с.
6. Дидактические основы компьютерного обучения: Межвузовский сборник научных трудов. - Л.: ЛГПИ, 1989. - 202 с.
7. Долгая, Т.И. Мультимедийные технологии в коллективной форме работы учащихся при обучении физике (на основе применения электронной интерактивной доски): автореф. дис. ... канд. пед. наук / Т.И. Долгая. - М., 2010. - 24 с.
8. Ермаков, Д. Обучение решению проблемных задач / Д. Ермаков // Народное образование. - 2004. - № 9. - С. 38- 43.
9. Живая физика. Комплекты компьютерных экспериментов: методические рекомендации / под ред. В.В. Бронфман, С.М. Дунина. - М.: ИНТ, 2001. - 238 с.
10. Ильина, Т. А. Проблемное обучение понятие и содержание / Т. А. Ильина // Вестник высшей школы. - 1976. - № 2. - С. 39 - 48.
11. Коновалец, Л.С. Виртуальный эксперимент с использованием компьютерных моделей/ Л.С. Коновалец // Физика – Первое сентября. - 2013. - № 12. - С. 21 - 23.
12. Козел, С.М. Физика. 10-11: пособие для учащихся и абитуриентов / С.М. Козел. - М.: Мнемозина, 2010. - 138 с.
13. Король, А.Д. Диалоговый подход к организации эвристического обучения / А.Д. Король // Педагогика. - 2007. - №9. - С.18 - 25.
14. Лернер, И. Я. Проблемное обучение / И. Я. Лернер. - М.: Знание, 1974. - 64 с.
15. Матюшкин, А. М. Актуальные вопросы проблемного обучения / А. М. Матюшкин. - М.: Просвещение, 1968. - 186 с.
16. Махмутов, М. И. Организация проблемного обучения в школе: книга для учителей / М. И. Махмутов. - М.: Просвещение, 1977. - 240 с.
17. Оконь, В. Основы проблемного обучения / В. Оконь. - М.: Просвещение, 1968. - 208 с.
18. Телегин, А.А. Совершенствование методической системы обучения учителей разработке образовательных электронных ресурсов по информатике: дис. ... канд. пед. наук. / А.А. Телегин. - М., - 2006. - 172 с.

19. Тихонов, А.Н. Информационные технологии и телекоммуникации в образовании и науке / А.Н. Тихонов // Материалы международной научной конференции, ФГУ ГНИИ ИТТ "Информика". - М.: ЭГРИ, 2007. – С. 222.
20. Хуторской, А. В. Дидактическая эвристика. Теория и технология креативного обучения / А. В. Хуторской. - М.: МГУ, 2003. - 416 с.

© Коновалец Л.С., 2014