

«Роль моделей и аналогий в преподавании физики образовательных учреждений»

Дмитриенко Татьяна Анатольевна
учитель физики
МБОУ СОШ № 2
г. Красноармейска

1. Физика в школе – зачем это надо?
2. Роль моделей и аналогий в преподавании физики
 1. Основные модели механики
 1. Модель материальной точки
 2. Модель абсолютно упругого и неупругого тела
 3. Модель маятника. Гармонические колебания
 4. Модель замкнутой системы
 5. Модель движения в однородном потенциальном поле
 2. Модели вещества
 1. Модель идеального газа
 2. Модель кристаллической решетки
 3. Модели электричества
 1. Модель проводимости
 2. Модель эквипотенциальных поверхностей и силовых линий электрического поля
 3. Модель колебательного контура
 4. Модели оптики
 1. Модель светового луча и тонкой линзы
 2. Волновая модель света: явление интерференции, дифракции
 5. Атомная физика
 1. Модель атома Резерфорда
 2. Модель атома Бора
 3. Модель магнетизма
 4. Модель взаимодействия излучения с веществом
3. Единство законов природы и методы физических исследований.

Физика как наука о природе решает три важные задачи: 1) обнаружить явления; 2) исследовать явления; 3) объяснить их природу, а также установить определенные закономерности в их протекании и указать пути их практического использования. Как решаются в физике эти задачи? Какие методы используются при этом? Известны два метода физических открытий: экспериментальный и теоретический.

МЕТОДЫ ФИЗИЧЕСКИХ ОТКРЫТИЙ

Экспериментальный

- Наблюдение
- Эксперимент
- Измерение

Теоретический

- Формулирование гипотез
- Мысленный эксперимент
- Моделирование
- Метод аналогий

Кроме экспериментального и теоретического методов научных открытий, в физике широко используются так называемые *всеобщие методы*. Это анализ, синтез, абстрагирование, обобщение, индукция, дедукция, аналогия, классификация. При помощи анализа исследователь может разделить целостный предмет на составные части (признаки, свойства) с целью их всестороннего изучения. Метод синтеза позволяет ученому соединить ранее выделенные им части предмета в единое целое. Использование метода моделирования позволяет изучить физический объект на основе его идеальной копии (модели), замещающей оригинал с определенных сторон, которые интересуют исследователей в первую очередь. Большую помощь оказывает физикам и метод аналогий, поскольку позволяет на основе сходства объектов по одним признакам делать выводы об их сходстве по другим признакам. При помощи абстрагирования исследователь может отвлечься от ряда несущественных для исследования свойств физического явления, что, безусловно, упрощает задачу.

Человек познает мир разными методами, однако в любом из них есть три взаимосвязанных этапа: наблюдение, эксперимент и моделирование. Эта универсальная связка настолько устойчива и необходима в нашей деятельности, что подобна воздуху, которым мы дышим и не замечаем его присутствия, пока он есть.

Чрезвычайно важным является то, что наша триада является основным инструментом образования и развития личности. В школе много разных предметов, все по-своему интересно и, конечно же, необходимы. Физика среди них занимает особое место. Об этом много рассуждали, спорили, в разные времена внимание общества к этой науке то усиливалось, то ослабевало, однако суть проблемы остается неизменной – физика есть фундаментальная наука, во многом определяющая развитие нашей цивилизации.

Мы живем в двойственном мире, естественном и созданном человеком. Язык окружающего мира не всегда понятен и однозначен. Последствия наших действий в значительной степени зависят от знаний о мире, возможности понимать его законы. Физика за более чем 2000-летнюю историю развития накопила много полезных сведений и эффективных методов узнавания нового. Наблюдение, эксперимент и моделирование использовались во всех физических исследованиях, проведенных ранее, и будут использоваться впредь. И не только в физике, но и в других науках.

Поэтому физические методики изучения мира, отшлифованные веками, имеют универсальную ценность.

Физическая модель понимается как идеальный образ в нашем сознании объекта, явления или процесса окружающего мира, созданный для их изучения. Процесс познания заключается в движении от чувственных образов к совокупности моделей разной степени сложности и соответствия реальности. Необходимость использования моделей обусловлена сложностью и многообразием окружающего мира, ограниченностью чувственных возможностей человека. Физическая модель может быть представлена как совокупность целостной системы физических понятий, подчиняющейся физическим законам. В ряде случаев эта модель может быть воссоздана в виде натурной, уменьшенной или увеличенной копии реального объекта. Это будет натурная модель. Если определенные характеристики объекта или процесса описываются математически, и ряд физических моделей правильно описывается одним и тем же математическим аппаратом, возникает понятие «математической» модели.

Физические модели заменяют нам реальные объекты и процессы, позволяют рассматривать разнообразные предельные ситуации – высокие температуры, давления, скорости, ускорения.

Отличие реальных объектов, явлений, процессов от их моделей огромно. Примером может служить модель молекулы воды, состоящая из трех шариков и соединительных металлических спиц. Эта модель во много раз больше, чем реальная молекула. Она демонстрирует только структурную особенность этой молекулы: взаимное расположение атомов кислорода и водорода, их пространственную конфигурацию. Никаких физических и химических свойств в данной модели не заложено.

В физике существует такое понятие, как натурное моделирование процесса или ситуации. Например, уменьшенная копия самолета (сделанная пропорционально настоящему) изучается в аэродинамической трубе. При этом фиксируется поведение самолета при разных условиях эксплуатации и нагрузках. Моделируемые условия подобны тем, в которых самолет может попасть в реальной ситуации. Здесь используется термин «подобный». Существует теория подобия, разработанная для случаев, когда очень сложно сконструировать материальную модель в масштабе 1:1. Иногда легче изучать физические тела, явления в малом масштабе, чтобы понять суть изучаемого явления или оптимизировать конструкцию будущего самолета.

Так, действие эффекта «крыла» или закона Бернулли не сильно отличается для игрушечного самолета и гигантского воздушного судна. А если связать полет самолета и движение теннисного шарика в вертикальном потоке воздуха, то можно понять, что это не так-то просто, хотя закон Бернулли работает в обоих случаях.

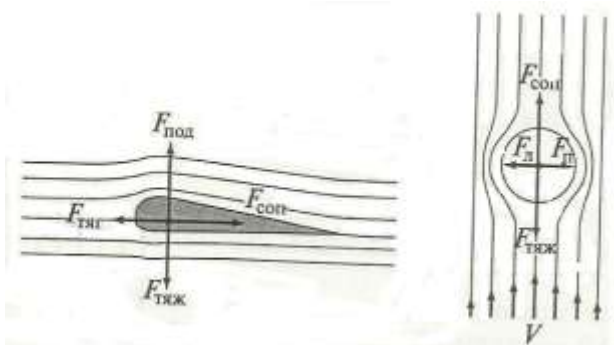


Рис.1

На рис.1 в левой части изображено сечение крыла в горизонтальном потоке воздуха, причем крыло значительно меньше размеров потока. Указаны направления движения однородного потока воздуха относительно крыла, направление подъемной силы и силы тяжести, а также уравновешенные силы тяги и лобового сопротивления.

В правой части изображен теннисный шарик в вертикальной струе воздуха, сравнимой по размерам сечения с шариком. Поток воздуха имеет радикально неоднородное поле скоростей. Центр висящего в нем шарика находится на оси потока, указаны действующие на шарик сила лобового

сопротивления, компенсирующая силу тяжести, и одинаковые по величине силы давления воздуха, действующие на шарик в горизонтальном направлении.

Казалось бы, что общего между этими явлениями? Но для физики эти ситуации имеют общую модель. Это позволяет увидеть существенные характеристики явления, обнаружить закономерности процесса обтекания разными потоками воздуха тел различной формы.

Главное положение нашей модели- неразрывность потока воздуха. Воздух здесь выступает как сплошная среда. Существенным в обтекании модели крыла самолета и шарика является распределение скорости в пограничных к поверхности тел областях потока. Для левого рисунка скорость воздуха над крылом больше чем под крылом, и это возникает в связи с особой формой крыла, которая формирует разные пути, пройденные верхним и нижним воздушными потоками, а время их прохождения одинаково. Симметричное расположение шарика относительно оси потока обеспечивает равенство горизонтальных аэродинамических сил и стационарное равновесие шарика.

Рассмотрим рисунки, которые покажут нам на модели сходство этих двух явлений.

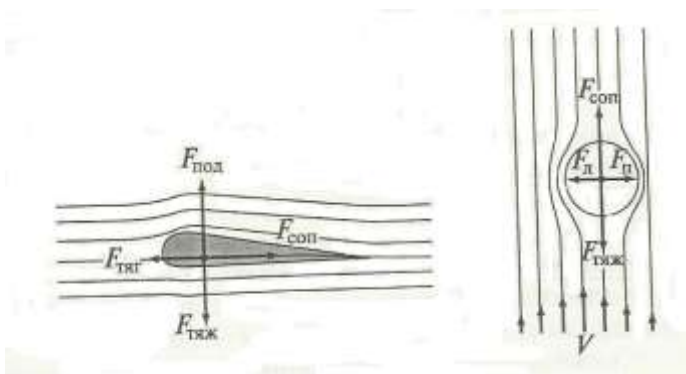


Рис.2

В левой части рисунка 2 повторяет рисунок 1. В правой части центр шарика смещен относительно оси потока, указаны действующая на шарик сила лобового сопротивления, компенсирующая силу тяжести и разные по величине аэродинамические силы, действующие на шарик в горизонтальном направлении.

Легко заметить, что разница в рисунках практически отсутствует, если один из них повернуть на 90^0 .

Согласно закону Бернулли известно, что с той стороны, где скорость потока воздуха или жидкости вдоль объекта выше, возникает пониженное давление. Разность давлений приводит к возникновению подъемной силы для крыла и силы, смещающей относительно центра потока теннисный шарик.

Основные модели механики

Модель появляется тогда, когда в физических явлениях выделяется и отбрасывается то несущественное, что мешает их пониманию и применению. Нам необходимо для этого освоить такие процедуры, как *абстрагирование, обобщение и идеализация*. Покажем на примере, как это реализуется на практике.

Технология проста: после фиксации своих наблюдений за явлением мы должны выделить главное и существенное. Частности и разные несущественные детали просто отбрасываются. Правильность наших действий в «очищении» появится, когда начнется использование модели и она будет давать сбои. Это является критерием необходимости дальнейшего совершенствования модели.

Для описанных выше ситуаций были несущественными, например, температура воздуха, его влажность, цвет шарика и модели крыла. Построение моделей предполагает не только упрощение ситуаций. В задачах аэродинамики воздушные потоки рассматриваются как сплошная и непрерывная среда. Движение отдельных молекул в потоке воздуха не учитывается. Обоснованием такого приближения являются малые величины импульса и, соответственно, кинетической энергии каждой из молекул по сравнению с аналогичными величинами, характеризующими поток воздуха в целом.

Действительно, число соударяющихся с телом молекул по порядку величины близко к числу Авогадро – $6,022 \cdot 10^{23}$, импульс отдельной молекулы, например, азота при нормальной (293 К) температуре имеет порядок 10^{-20} . Произведение этих двух величин дает импульс макроскопической величины, который передается телу и, в конечном итоге, создается давление газа на его поверхность.

Очень важным вопросом в обсуждении моделей всегда является вопрос об области применимости модели.

Определенной идеализацией является непрерывность (ламинарность) течения газа при встрече с разнообразными препятствиями. Фактически мы работаем с некоторым идеальным объектом – сплошной средой, обладающей такими свойствами, что в некоторых ситуациях эта идеальная среда имитирует реальную при рассмотрении и анализе явления. Это справедливо для потоков, движущихся с небольшими (порядка 10-100 м/с) скоростями. В обтекающем препятствие газе с большими скоростями (более 100 м/с) образуются вихри, которые формируют турбулентные области потока, и для учета этих эффектов нужна другая физическая модель.

Важным моментом в выборе и применение модели является масштабный фактор. Размеры предмета, который находится в потоке скорость потока и вязкость среды определяют условия, которые должны быть выполнены для подобия физических явлений, происходящих с моделью и реальным объектом. Физическое подобие является обобщением хорошо известного и понятного геометрического подобия. Например, для двух любых подобных треугольников с острым углом 30° отношение длин малого катета и гипотенузы равно 2. В физике все или только некоторые комбинации размерных физических параметров могут так же, как и отношение катетов, давать безразмерные комбинации. Такие комбинации называются критериями подобия и определяют границы применимости физической модели. Пример: в гидроаэромеханике есть безразмерный параметр $Re = \rho v l / \eta$, называемый числом Рейнольдса, где ρ – плотность жидкости, v – скорость течения, l – характерный линейный размер, η – коэффициент вязкого трения жидкости или газа. Число Рейнольдса характеризует соотношение между силами инерции и силами трения в потоке жидкости или газа. Для тел разных размеров, например, самолета и его уменьшенной в 10 раз копии – модели условия обтекания воздухом будут одинаковы, если скорости обтекания модели будут в 10 раз больше. Число Рейнольдса характеризует и переход от ламинарного течения к турбулентному. Критическое значение Re для потока воды в гладких трубах 1100-1200, однако, оно сильно зависит от условий втекания и состояния внутренней поверхности трубы. Пример из практики: трубы начинают «петь» в случае возникновения турбулентности в потоке воды, которая вызывается сильной деформацией прокладки крана.

1. Модель материальной точки

Вопрос о моделях в физике можно начать детально обсуждать (и выяснять все принципиальные моменты) на примере материальной точки. Этот наипростейший идеальный объект в то же время обладает глубочайшей фундаментальностью, эффективен и широко распространен. В описании движения материального тела как целого, нахождения его скорости, ускорения, координат достаточно рассмотреть идеальный эквивалент – безразмерно малую точку с массой, равной массе тела. Движение материальной точки обычно соответствует движению центра тяжести тела. При этом размерами и другими видами движения в ряде случаев можно пренебречь.

На рисунке 3 изображено движение брошенного вверх с вращением, под некоторым углом к горизонту, школьного треугольника. В левой части рисунка изображен треугольник в разные моменты времени его полета. В правой части изображена баллистическая траектория движения центра тяжести треугольника.

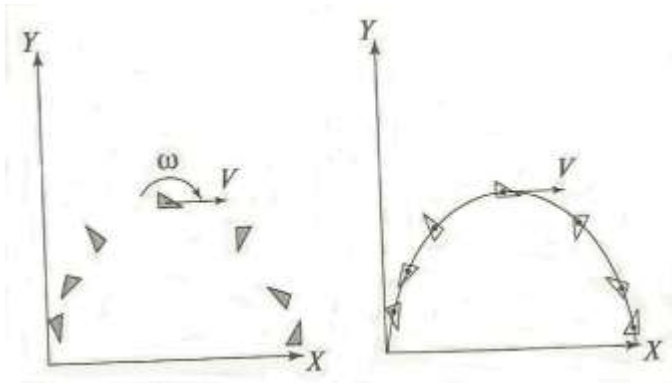


Рис.3

На рисунках видно, как отличаются по сложности эти два движения. Нахождение траектории движения тела как цельного объекта, превращенного в материальную точку, сильно упрощается. В принципе, любую механическую задачу можно свести к движению системы материальных точек. Условия применимости: тело можно считать материальной точкой, если пройденный этим телом путь намного больше его размеров.

2. Модели абсолютно упругого и неупругого тела

Механическое взаимодействие двух тел, происходящих с полным переходом кинетической и потенциальной энергий друг в друга, соответствует абсолютно упругому взаимодействию. Данная модель применяется для описания взаимодействия двух тел, в котором изменением внутренней энергии тел при столкновении можно пренебречь. Это возможно в ситуациях, когда значение кинетической или потенциальной энергий значительно больше изменений внутренней энергии.

Пример: шарик, брошенный с некоторой высоты на твердую упругую плиту, в идеальной ситуации будет скакать бесконечно долго с одинаковой амплитудой, каждый раз возвращаясь точно в точку, из которой начал свое движение. Такое движение называют периодическим и незатухающим. В реальной практике такой ситуации быть не может, к ней можно только приблизиться. В процессе деформации часть энергии преобразуется в тепло. Это есть своеобразный «насос», который отсасывает энергию в реальной ситуации и не работает в модели.

На рисунке 4 изображены положения падающего с высоты h шарика. В левой части шарик после каждого удара подскакивает на высоту 70% от предыдущей. В правой части рисунка изображено упругое соударение шарика. В нижней части рисунка приведены графики изменения кинетической и потенциальной энергий в зависимости от времени.

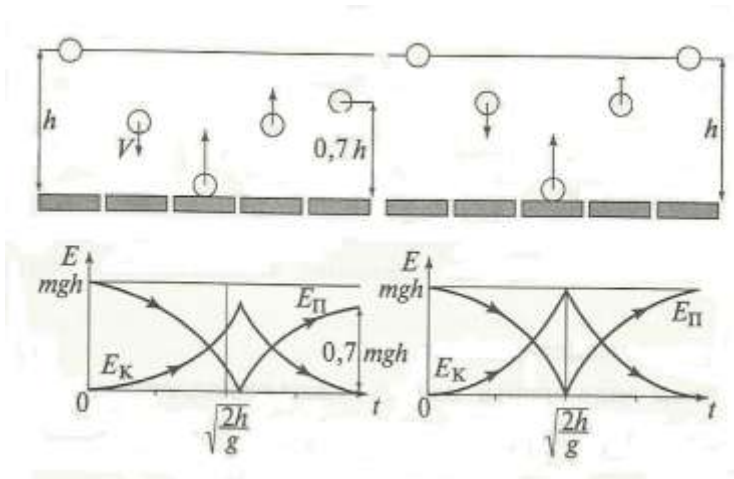


Рис.4

Границы применимости такой модели связаны со свойствами вещества, из которого сделан шарик, и поверхности. Если мы говорим о стальном шарике с большим коэффициентом упругости, то для 1-2 ударов можно использовать модель абсолютно упругого взаимодействия. Для большого количества ударов модель необходимо корректировать, вводя коэффициент потерь и отказываясь от модели абсолютно упругого тела.

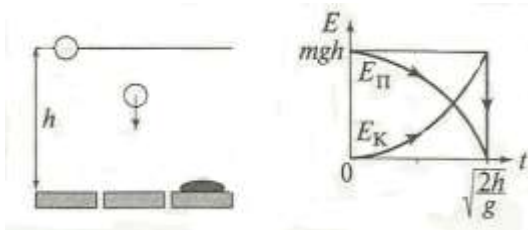


Рис. 5

Противоположностью к такой модели является модель абсолютно неупругого тела. На твердую упругую плиту с некоторой высоты падает шарик из мягкого пластилина (см. рис.5). Шарик из пластилина падает с высоты h и прилипает к плите. В правой части рисунка приведен график изменения кинетической и потенциальной энергий. Это полностью неупругое соударение, для которого во время удара кинетическая энергия шарика полностью переходит во внутреннюю. Совершается такое преобразование в одном направлении, обратное невозможно.

В приведенных примерах принципиально разных идеальных процессов есть общая особенность – оба процесса являются предельными, происходит полный переход одного вида энергии в другой.

3. Модель маятника. Гармонические колебания.

Математический маятник конструируется из двух идеальных объектов: материальной точки и тонкой нерастяжимой и невесомой нити длиной l . Предполагается, что в процессе колебания отсутствуют силы трения и любые деформации у всех движущихся частей маятника: точки подвеса, нити и самой материальной точки. Это популярная и удобная модель для изучения и понимания колебательных процессов. Реальный лабораторный маятник приближается к математическому, если длина нерастяжимой нити значительно (в 10 и более раз) превосходит размеры подвешенного груза и максимальную амплитуду колебаний. В таких условиях колебания маятника являются гармоническими, период колебаний определяется формулой Гюйгенса: $T=2\pi \sqrt{l/g}$, l – длина маятника, g – ускорение свободного падения.

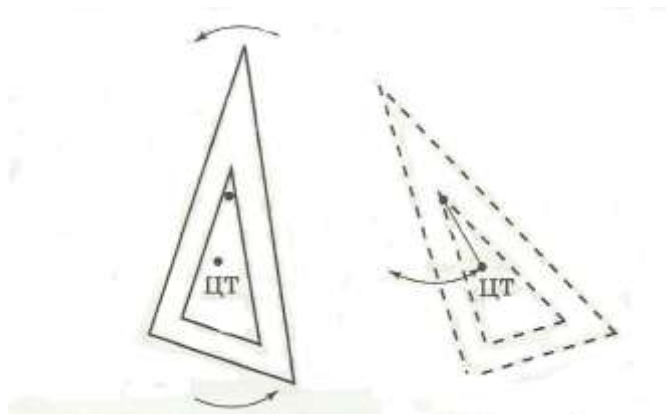


рис.6

В левой части рисунка 6 изображено колебание реального физического тела – школьного треугольника. В правой части показано колебательное движение центра тяжести треугольника.

4. Модель замкнутой системы

Совокупность физических объектов, полностью изолированная от воздействия других тел, является замкнутой системой. В таких системах должны выполняться законы сохранения энергии, импульса и момента импульса. Примеры: Солнечная система, маятник в поле тяжести Земли, упругий шарик, отскакивающий от массивной плиты, два сталкивающихся бильярдных шара, и другие. Наглядной геометрической моделью замкнутой системы может служить окружность, шар или тор (бублик). Перемещение материальной точки по окружности, поверхности шара или тора в любом направлении завершается ее возвращением в исходную точку.

В перечисленных случаях изолированность систем различна. опыты с падающим с высоты стальным шариком, упруго отскакивающим от твердой и массивной плиты, можно проводить в воздухе или в вакууме. Результаты наблюдений будут различны, число отскоков в воздухе будет меньше, чем в вакууме. В обоих случаях часть механической энергии переходит в тепло в результате деформации, при падении в воздухе энергия расходуется на работу против сил трения.

Таким образом, полной изоляции любой системы от окружения достичь невозможно. Однако при малых сторонних возмущениях систему считают приближенно изолированной.

Это, как правило, значительно упрощает решение физических задач, связанных с эволюцией системы. Таким образом, мы избегаем неоправданного роста сложности решаемых задач. Проблема выбора приближения состоит в определении той границы, в пределах которой воздействия можно считать несущественными, малыми.

Вероятно, полностью соответствует таким требованиям только одна система – эта наша Вселенная, взятая целиком. А простое приближение к замкнутой системе демонстрирует хороший походный термос, который может сохранять тепло до двух суток. В масштабе одного часа этот термос есть замкнутая система.

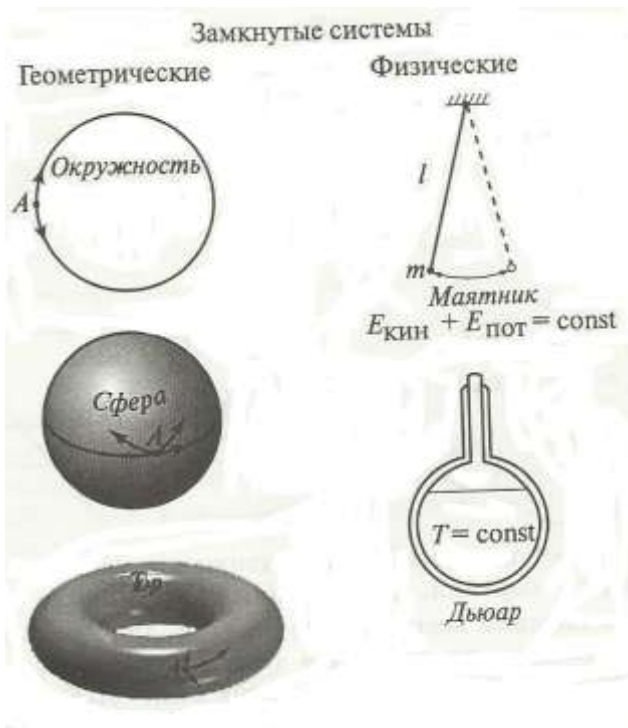


Рис.7

На рисунке 7 изображены примеры геометрических (слева) и физических (справа) замкнутых систем. Геометрические: одномерная – окружность; двумерные – сфера и тор. Движение точки в каждой из систем с указанным вектором скорости через некоторое время приводит к ее возврату в исходное положение. В физических системах, энергетически замкнутых, в которых нет входа и выхода для энергии, полная энергия системы сохраняется постоянной. Примерами служат идеальный математический маятник, а также идеальный сосуд Дьюара для сжиженных газов – азота, кислорода.

5. Модель движения в однородном потенциальном поле

Данная модель подходит для работы с ситуациями, когда тяжелое тело брошено под углом к горизонту вблизи Земли, или заряженная частица влетает в поле плоского конденсатора. В этом случае мы имеем одну и ту же зависимость координаты от начальной точки движения, вектора скорости и величины ускорения. Для падения вблизи Земли ускорение свободного падения всегда примерно постоянно $g = 9,8 \text{ м/с}^2$, и влиянием воздуха на движение тела мы пренебрегаем (тело достаточно массивно, чтобы сопротивление было существенным). Для заряженной частицы нужно учитывать тип заряда, его величину и напряженность поля. Главное, что надо знать про эту модель – то, что тела в однородном поле двигаются по параболе.

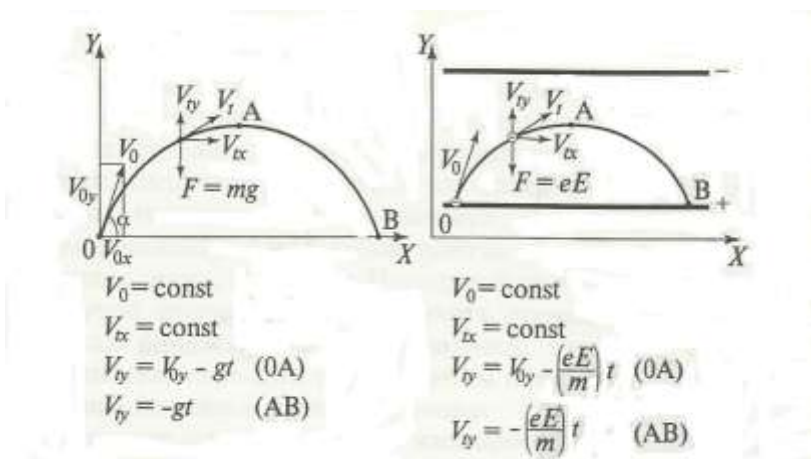


Рис. 8

На рисунке 8 представлено сравнение двух механически подобных процессов: движение тела, брошенного под углом к горизонту, в поле тяжести, и движение заряженной частицы, влетевшей в однородное электрическое поле с вектором скорости, направленным под углом к вектору напряженности электрического поля. В нижней части приведены формулы, демонстрирующие сходство рассматриваемых процессов.

Как видно на рисунках, эти траектории описываются одной закономерностью.

Граница применимости данной модели определяется по-разному для гравитационного и электрических полей. В первом случае важным является соотношение массы и линейного размера тела, а также скорость движения тела. Проиллюстрируем это на примере одинаковых листов, сделанных из разных материалов: один бумажный, а другой стальной. Если их сбросить с высоты 2-х метров, то стальной будет падать почти не ощущая влияния воздуха, а бумажный будет кувиркаться в падении. Со скоростью то же самое: если тело успевает в атмосфере разогнаться при падении до скорости 50 м/с, то сила тяжести и сила сопротивления выравниваются и ускорение становится равным нулю.

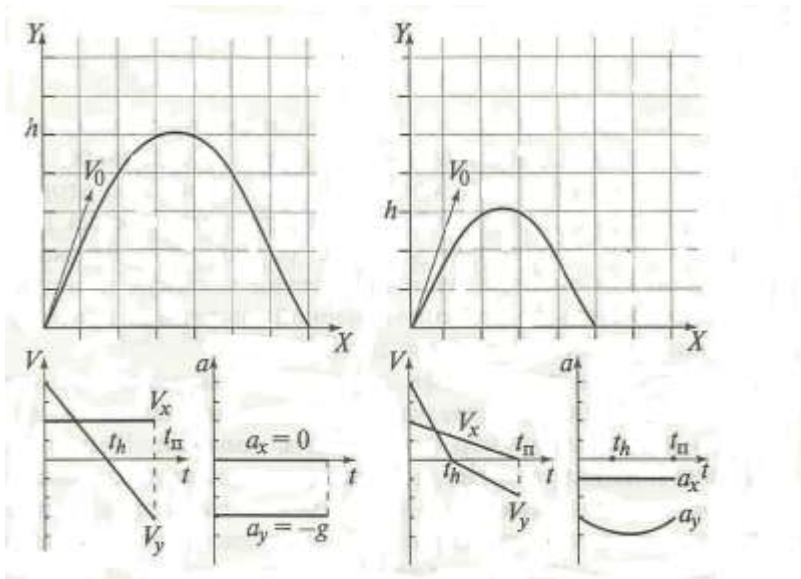


Рис.9

Рисунок 9 демонстрирует различие движений тела, брошенного под углом к горизонту в поле тяжести. Слева, в верхней части, показана идеальная баллистическая траектория для движения тела в безвоздушном пространстве. Справа движение происходит в условиях, подобных земным – движущееся тело испытывает воздействие сил трения. В нижней части рисунка изображены графики зависимостей скорости и ускорения от времени.

При наличии сопротивления воздуха ускорение меняется нелинейно и постепенно доходит до нуля с увеличением скорости.

Модели вещества

1. Модель идеального газа

Данная модель интересна тем, что использует сразу несколько идеализаций, уже описанных ранее. Во-первых, молекулы представляются как материальные точки. Во-вторых, их взаимодействия друг с другом и со стенками сосуда рассматриваются как абсолютно упругие соударения. Кроме этого, потенциальная энергия взаимодействия молекул между собой значительно меньше их кинетической энергии и поэтому данным взаимодействием можно пренебречь.

Модель идеального достаточно проста и в то же время достаточно богата, чтобы с ее помощью можно было изучать широкий спектр физических явлений. Например, такие явления, как сжатие и расширение газа при постоянной температуре, нагревание и охлаждение газа при

постоянном давлении, или изменение объема при нагревании газа могут быть описаны и объяснены этой моделью с достаточно высокой степенью точности.






Молекулы — 100 пм	Межъядерные расстояния, пм (10^{-12} м)	Идеальный газ
 O ₂	120,7	
 N ₂	109,4	
 H ₂	74,1	
 H ₂ O	97,1 (O–H)	
 CO ₂	112,8 (C–O)	

Рис.10

На рисунке 10 слева представлена таблица с изображением моделей молекул: двухатомных кислород, азот, водород; трехатомных – вода и углекислый газ. Атомы изображены в виде шаров, с указанием масштаба и геометрии молекул. Справа точками изображены модели молекул идеального газа, с векторами скоростей. В этом случае важны процессы обмена энергией молекул друг с другом и со стенками сосуда.

2. Модель кристаллической решетки

Представление внутреннего устройства физических тел в виде кристаллической решетки характерно для большого класса твердых тел: металлов, диэлектриков, полупроводников.

Стабильная кристаллическая структура предполагает жесткие связи между атомами и определенность их положений в решетке. Атомы совершают малые, по сравнению с межатомными расстояниями, колебания около этих позиций.

Кинетическая энергия колебательного движения атомов намного меньше потенциальной. Свойства кристаллов определяются симметрией решетки и характером связей.

Нагревание кристалла приводит к увеличению амплитуд колебаний атомов, их кинетическая энергия возрастает, связи разрываются и кристалл плавится.

Модель кристаллической решетки традиционно используемая в учебной и научной литературе, представляет собой материальные точки, расположенные в узлах к решетки. Структурный анализ позволяет определить координаты этих точек и симметрию их расположения. Каждая точка находится в потенциальном поле остальных атомов решетки. Равновесное положение выделенного атома соответствует минимуму потенциальной энергии.

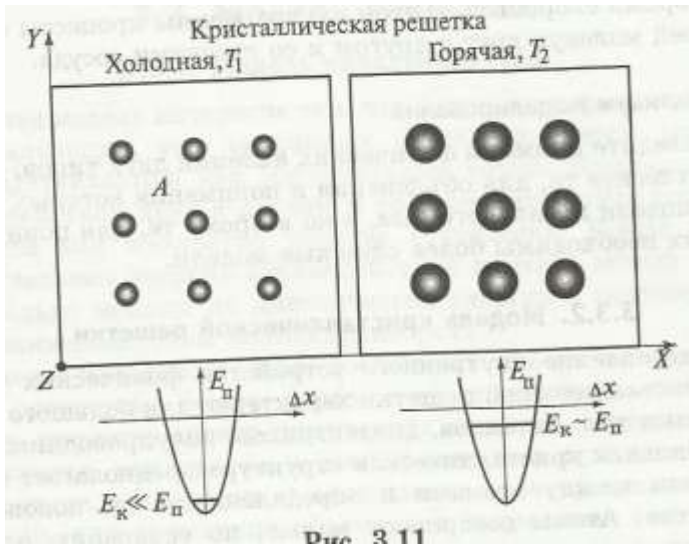


Рис.11

Рисунок 11 иллюстрирует наглядные модели кристаллической решетки при различных температурах. Слева изображен фрагмент охлажденной кристаллической решетки с атомами в виде шаров небольшого диаметра, находящихся в небольших «сферах смещения», соответствующих малым, по сравнению с межатомным расстоянием, амплитудам тепловых колебаний. Ниже решетки для выделенного атома представлен график зависимости потенциальной энергии от величины смещения от положения равновесия. Указано энергетическое состояние атома, при котором $E_k \ll E_n$ справа изображен фрагмент разогретой кристаллической решетки, в состоянии предплавления, со сравнимыми с межатомными расстояниями, амплитудами тепловых колебаний. Диаметры «сфер смещений» сравнимы с межатомными расстояниями. Ниже решетки для выделенного атома приведен график зависимости потенциальной энергии от величины смещения от положения равновесия. Указано энергетическое состояние атома, при котором $E_k \sim E_n$.

Наглядной механической моделью двумерного кристалла может быть плоская ячеистая кассета-матрица с шариками в каждой ячейке. Плоскость кассеты горизонтальна. Температура имитируется хаотическим смещением кассеты по горизонтали. В состоянии с малой кинетической энергией шарики колеблются около положения равновесия у дна ячейки. Если кинетическая энергия шариков большая, то они могут преодолеть барьер, отделяющий их соседней ячейки, и решетка разрушается.

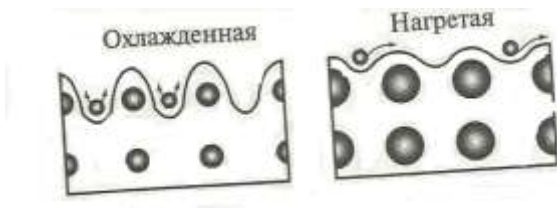


Рис.12

На рисунке 12 (слева) показана наглядная механическая модель двумерной охлажденной кристаллической решетки: поверхность с периодически расположенными глубокими ямочками, в каждой из которых находятся шарики-атомы. Эти атомы совершают малые, по сравнению с межатомными расстояниями, колебания относительно положения равновесия и не могут перескакивать из ямки в ямку. Кинетическая энергия колебательного движения атома меньше потенциальной, решетка устойчива.

Справа представлена модель двумерной нагретой кристаллической решетки: поверхность с периодически расположенными неглубокими ямочками, в каждой из которых находятся шарики-атомы. В нагретом состоянии атомы совершают колебания относительно положения равновесия, амплитуды которых сравнимы с межатомными расстояниями. Атомы могут перескакивать из ямки в ямку, их кинетическая энергия становится сравнимой с потенциальной и решетка разрушается.

Модели электричества

1. Модель проводимости

В этой модели будут использованы элементы предыдущих модельных конструкций. Явление проводимости свойственно не только металлам. Электрические токи идут через жидкости с примесями, газ, если есть свободные носители заряда и сила, побуждающая их к упорядоченному движению – электродвижущая сила (ЭДС).

Простейший случай: металлический проводник подсоединен к источнику тока и по нему двигаются электроны. Каждый проводник обладает сопротивлением. Объяснение этого явления возможно, если мы включаем в данную модель представления о кристаллической решетке металла. Электроны проводимости в металлах являются единственными носителями зарядов. В процессе движения по кристаллической решетке они сталкиваются с атомами вещества, находящимися в узлах решетки. Происходит передача части кинетической энергии электрона атому, что в целом повышает внутреннюю энергию тела. Это приводит к разогреву проводника, по которому идет ток.

Модель становится более универсальной, если учитывать кулоновское взаимодействие электронов проводимости между собой. Отталкивание отрицательно заряженных свободных электронов приводит к их перемещению на границы проводника. Это означает, что ток в проводнике протекает в поверхностном слое. Предсказанный моделью эффект является частным случаем более сложного явления затухания электромагнитных волн в проводящих средах – скин-эффекта (от англ. Skin – кожа, оболочка).

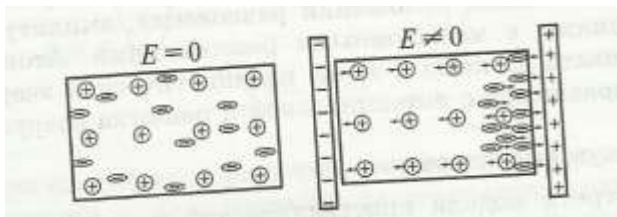


Рис.13

Рисунок 13 иллюстрирует модель металлического проводника. Слева – модель плоской кристаллической структуры металла с однородным распределением электронов между положительно заряженными ионами остова решетки. Кулоновские силы, действующие на заряженные частицы, уравновешены. Справа – модель кристаллической структуры металла, помещенного в электрическое поле. Распределение электронов между положительно заряженными ионами остова решетки становится неоднородным. Кулоновские силы, действующие на заряженные частицы, не уравновешены. Наблюдается поляризация системы зарядов, электроны скапливаются у поверхности вблизи положительного электрода. Область применения данной модели: низкие температуры и небольшие токи.

2. Модель эквипотенциальных поверхностей и силовых линий электрического поля.

В электростатике вводится понятие эквипотенциальной поверхности и силовой линии, что позволяет наглядно представить действие поля на заряженные тела.

Электрическое поле в графическом виде представляется набором векторов в каждой точке. Эти векторы задают силу, действующую на единичный заряд, помещенный в эту точку. Заряды перемещаются под действием силы Кулона из одной точки пространства в другую по некоторой траектории. Касательный вектор к этой траектории в каждой точке определяет направление силы, действующей на заряд.

При перемещении заряда перпендикулярно силовым линиям работа не совершается. Совокупность разнообразных перемещений такого рода образует поверхность, которую называют эквипотенциальной. Наглядный физический смысл такой поверхности иллюстрируется идеально горизонтальной плоскостью в поле тяготения. В любой точке такой плоскости потенциальная энергия тяготения одинакова, эквивалентна. Перемещение любого тела по плоскости без учета сил трения происходит без совершения работы.

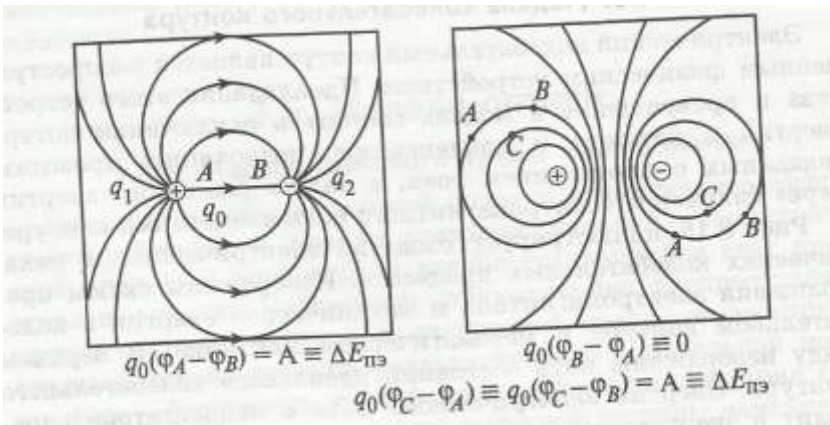


Рис.14

В левой части рисунка 14 изображена схема из двух разноименных зарядов с силовыми линиями электрического поля. На одной из силовых линий указаны две точки, А и В.

Движение заряда вдоль силовой линии от А к В приводит к изменению энергии системы. Справа изображена система из двух разноименных зарядов с линиями эквипотенциальных поверхностей электрического поля. На двух линиях указаны три точки, А, В и С. Движение по эквипотенциальной от А к В не приводит к изменению энергии системы. При переходе с одной эквипотенциальной линии на другую, от точки А к точке С или от точки В к точке С, совершается работа. В нижней части рисунка приведены формулы, определяющие изменение энергии через величину заряда и разность потенциалов.

Область применения этой модели электрического поля ограничивается масштабом, где закон Кулона не применим $\sim 10^{-14}$ м. другое ограничение модели связано с релятивистскими эффектами. Скорость движения зарядов должна быть значительно меньше скорости света.

3. Модель колебательного контура

Электрический колебательный контур является распространенным физическим устройством. Идеализация этого устройства и превращение в модель состоит в исключении потерь энергии в катушке и конденсаторе, подводящих проводах, связанных с протеканием тока, а также рассеяния энергии через излучение электромагнитного поля элементами контура.

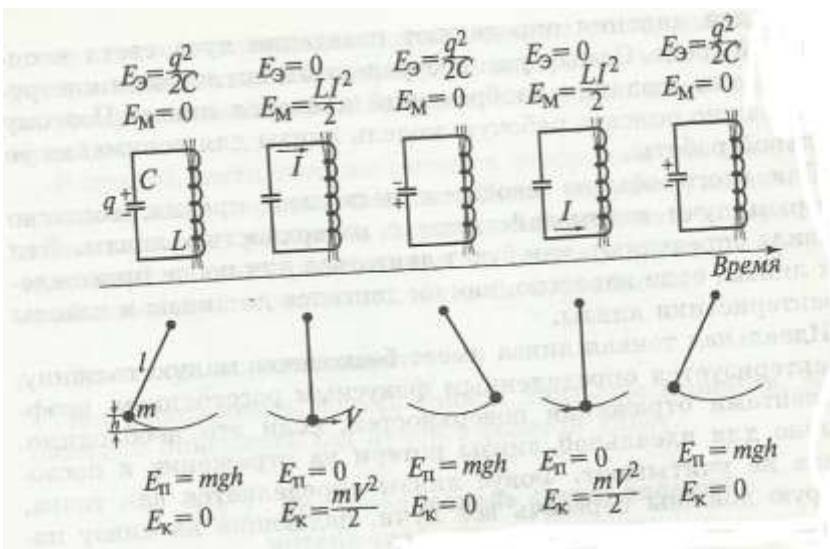


Рис.15

Рисунок 15 иллюстрирует сходство электрических и механических колебательных процессов. Изображены схемы превращения электромагнитной и механической энергии в колебательном контуре и математическом маятнике. В верхнем ряду изображены пять состояний идеального колебательного контура. Энергия электрического поля в конденсаторе переходит в энергию

магнитного поля катушки и обратно. Выше изображений контура приведены формулы для электрической и магнитной энергии в изображенных состояниях. Ниже ряда контуров изображены пять фаз колебаний идеального математического маятника, аналогичных фазам колебаний в контуре, с указанием формул для величин кинетической и потенциальной энергий.

Модели оптики

1. Модель светового луча и тонкой линзы

Изучение световых явлений привело к построению эффективно работающей модели световых явлений - геометрической оптике. В этой модели распространяющийся свет представлен лучами. Наблюдение прямолинейно распространяющихся световых пучков в однородной среде, отражения и преломления на границе раздела привело к идеальной модели луча - бесконечно тонкой линии. Реальная ситуация распространения световых пучков конечной ширины заменяется рассмотрением световых лучей - линий. Такое видение света накладывает определенные ограничения на круг явлений, которые могут быть описаны с помощью этого приближения. Мы можем эффективно использовать модель для объяснения ряда простых оптических явлений. К ним относятся отражение и преломление света.

Эти два явления определяют поведение луча в оптической среде. Самым распространенным оптическим инструментом для создания изображений является линза. Поэтому очень важно описать рабочую модель линзы для понимания ее реальной работы.

Для этого обычно вводится несколько правил, согласно которым лучи взаимодействуют с поверхностью линзы. Эти правила определяют, как будет двигаться луч после прохождения линзы, если известно, как он двигался до линзы и каковы характеристики линзы.

Идеальная тонкая линза имеет бесконечно малую толщину, характеризуется определенным фокусным расстоянием, коэффициентами отражения поверхностей, если это необходимо. Обычно для идеальной линзы потери на отражение и поглощение не учитывают. Фокус линзы определяется как точка, которую должны пересечь все лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси.

Хорошим приближением к идеальной линзе является линза с большим фокусным расстоянием F и малой толщиной d , причем $d \ll F$. Радиус кривизны линзы предполагается большим, соответственно, кривизна образующих линзу поверхностей - малой. Для такой линзы легко строится ход преломляющих лучей, изображение предмета. Анализ подобных треугольников, полученных при пересечении лучей света, позволяет нам вывести все соотношения для фокусного расстояния, увеличения линзы и соотношения размеров изображения и предметов.

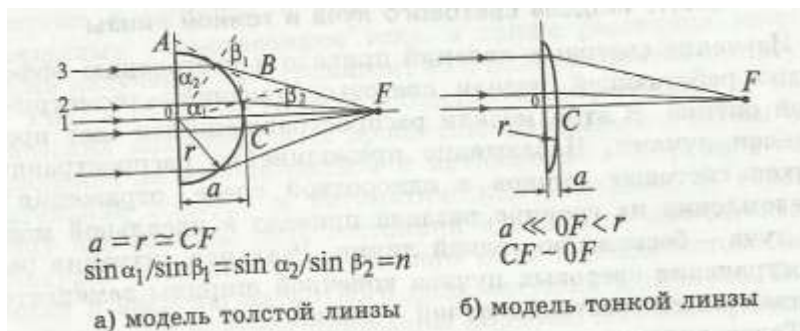


Рис.16

В левой части рисунка 16 представлено изображение хода пяти лучей в толстой плосковыпуклой линзе. Ниже рисунка указаны: соотношения между радиусом кривизны сферической поверхности, являющимися одновременно толщиной линзы, и расстоянием по осевому пучку от поверхности линзы до точки фокуса линзы; закон преломления для двух внеосевых лучей. В правой части того же рисунка изображен ход трех лучей в тонкой плосковыпуклой линзе. Ниже рисунка указаны соотношения между радиусом кривизны сферической поверхности, толщиной линзы и расстоянием по осевому пучку от сферической поверхности линзы до точки фокуса линзы.

2. Волновая модель света: явления интерференции, дифракции

Свет рассматривается как коротковолновый (100нм-100мкм) диапазон электромагнитных волн. Многие оптические явления определяются взаимодействием с веществом электрической составляющей электромагнитного поля.

Источник света возбуждает периодические изменения – волны напряженности электрического поля, которые распространяются в вакууме или веществе. Наглядная модель-аналогия – волны на поверхности воды, где амплитуда отклонения поверхности воды от равновесного положения сопоставляется с амплитудой изменения напряженности электрического поля. Математическое описание волны реализуется с помощью тригонометрических функций, например: $E = E_0 \cos(\omega t + \alpha)$, где E , E_0 – мгновенная и максимальная векторные амплитуды поля, ω – циклическая частота, t – время, α – начальная фаза. Для линейно поляризованного света модель упрощается, векторы напряженности электрического поля заменяют на скалярные величины.

Использование модели для описания явлений интерференции заключается в нахождении эффекта взаимного усиления или ослабления нескольких волн при их наложении в заданной точке пространства. Дифракция как эффект огибания первичной волной некоторого препятствия связана с нахождением условий наложения вторичных волн. Эти волны вводятся в результате использования принципа Гюйгенса-Френеля. Наглядной иллюстрацией модели интерференции является наложение двух и более волн на поверхности воды. Возникающая при этом «рябь» и есть интерференция. Размещение преграды на пути волн приводит к возникновению явления дифракции. Применимость модели для описания дифракционных явлений определяется соотношением характерных размеров преграды a и длины волны λ : $a > \lambda$.

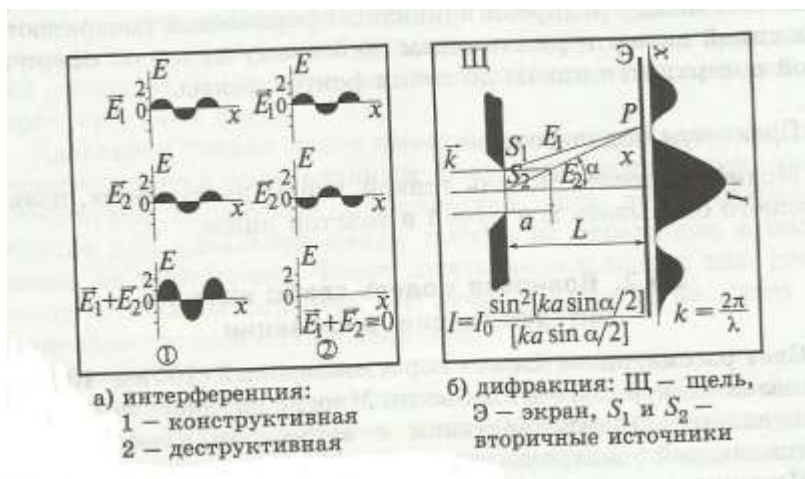


Рис.17

На рисунке 17 в левой части представлено графическое сложение двух синусоидальных электромагнитных волн: столбец 1 – волны синфазные, интерференция конструктивная; столбец 2 – волны противофазные, интерференция деструктивная. Показана только электрическая составляющая. В правой части рисунка приведено изображение схемы к явлению дифракции плоского волнового фронта на щели, с указанием вторичных источников и параметров, определяющих вид дифракционной картины на экране. Ниже схемы дифракции приведена формула, описывающая распределение интенсивности света на экране за щелью.

Атомная физика

1. Модель атома Резерфорда

Модель атома, предложенная Резерфордом, состоит из компактного положительно заряженного ядра и электронов, двигающихся вокруг ядра по круговым орбитам.

Рисунок иллюстрирует модель атома водорода, предложенную Н.Бором. в левой части его размещено изображение планетарной модели атома водорода: точечное ядро с круговыми (боровскими) орбитами движения электронов. Размеры радиусов орбит изображены с масштабной единицей, равной первому радиусу, и пропорциональны квадратам целых чисел: 1, 4, 9,16, 25. На одной из орбит ($n + 4$) точкой изображен электрон, с указанием силы кулоновского взаимодействия (F_k) и скорости v_4 .



Рис. 18

В правой части рисунка 18 дана таблица атомных величин: размеры ядра, радиусы орбит электронов в атоме водорода, сила кулоновского взаимодействия электрона с ядром на орбите с радиусом r_n , скорость его движения по орбите v_n , полная энергия электрона на орбите E_n , значение величин постоянной Планка, массы электрона, заряда электрона и коэффициента пропорциональности в системе СИ ($k = 1/4\pi\epsilon_0$, где ϵ_0 – электрическая постоянная). модель привлекательна своей простотой и наглядностью, однако есть неустранимое, в рамках классических представлений, противоречие. Движение электрона по круговой орбите является ускоренным, что приводит к излучению электромагнитных волн.

Уносимая излучением энергия уменьшает кинетическую энергию электрона, приводя к сближению его с ядром.

Однако атом устойчив, электрон не «падает» на ядро. Противоречие планетарной модели Резерфорда было устранено Бором путем введения трех постулатов.

2. Модель атома Бора

Водородный атом Бора есть та же планетарная система ядро-электрон с набором круговых орбит. Постулаты: движение электрона по осбым стационарным орбитам происходит без излучения; переход с одной стационарной орбиты на другую совершается с излучением или поглощением порции энергии – кванта электромагнитного поля (фотона); момент импульса движущегося электрона принимает дискретные значения, пропорциональные ряду целых чисел 1, 2, 3, ..., n.



Рис.19

На рисунке 19 приведено схематическое изображение возможных изменений состояний атома водорода путем переходов с орбиты на орбиту. Указаны номера состояний (орбит).

Переходы сгруппированы по сериям: Лаймана – переходы на первую орбиту с вышележащих орбит, Бальмера – переходы на вторую, Пашена – переходы на третью. В правой части рисунка изображен энергетический спектр состояний атома водорода и переходы, сгруппированные по сериям (Лаймана, Бальмера, Пашена): с нижних состояний вверх (испускание энергии). Связанные состояния атома характеризуются отрицательными значениями энергии, свободные, после процесса ионизации – положительными.

Ниже левого и правого рисунков в шкале длин волн изображен схематический оптический спектр испускания двух серий атома водорода – Лаймана и Бальмера. Относительная яркость спектральных линий внутри серии пропорциональна высоте отрезков, отображающих отдельные спектральные линии.

При этом разность значений энергии разных уровней определяет энергию излученного кванта. Эта энергия пропорциональна классической частоте излученной атомом электромагнитной волны. Значения энергии каждого уровня вычисляются с использованием постулатов Бора и оказываются пропорциональными обратному квадрату целого числа. Спектр излучения дискретен, группируется в серии линий, образованные переходами с верхних уровней на общий нижний уровень. Отрыв электрона и разрушение атома происходит в результате поглощения им энергии, соответствующей переходу на предельно верхнюю орбиту с бесконечно большим значением n . В этой ситуации энергия верхнего уровня стремится к нулевому значению.

3. Модель магнетизма

Природа магнитного поля связана с движением электронов. Микроскопические модели магнетизма основываются на моделях атома и макроскопических магнитных эффектах, связанных с протеканием электрического тока в проводниках. Орбитальное движение электрона в атоме аналогично току по замкнутому контуру. Такой ток создает магнитное поле, эквивалентное полю витка с током. Возникает элементарный магнитик, микроскопический соленоид из одного витка, с определенной ориентацией полюсов.

В условиях беспорядочной ориентации векторов индукции отдельных соленоидов суммарное поле макроскопического образца будет равно нулю. Если внешним полем сориентировать большое количество элементарных соленоидов, возникает макроскопическая намагниченность. В ферромагнитных материалах эта намагниченность сохраняется, получают постоянные магниты.

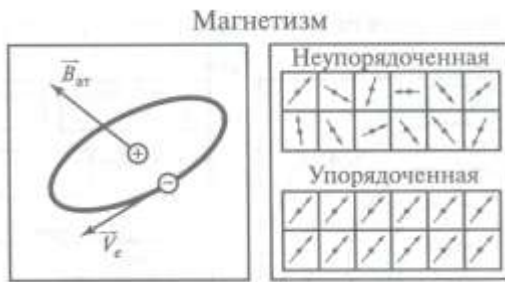


Рис.20

Рисунок 20 иллюстрирует простейшие модели магнетизма. В левой части рисунка изображена модель атома Бора с выделенной круговой орбитой одного из электронов. Указано направление движения электрона (V_e) и возникающее в результате этого движения магнитное поле с вектором индукции ($B_{ат}$) в области ядра атома. Справа изображены два фрагмента плоской кристаллической структуры с упорядоченной и неупорядоченной системой векторов магнитной индукции элементарных атомных «магнетиков».

Воздействие температуры на упорядоченную структуру приводит к нарушению согласованной ориентации и уменьшению макроскопической намагниченности. При некоторых условиях система переходит в полностью неупорядоченное состояние, макроскопическая намагниченность исчезает. В модели присутствует и зависимость макроскопической намагниченности от магнитных свойств отдельного атома. Структура электронных оболочек атома определяет возможность появления магнитного поля отдельного атома и разделения элементов таблицы Менделеева на магнитные и немагнитные.

4. Модель взаимодействия излучения с веществом

В основе модели лежит представление о свете как потоке квантов электромагнитного поля – фотонов. Взаимодействие излучения с веществом представляется как совокупный эффект действия отдельных атомов. Модель разрабатывается для объяснения светового давления и внешнего фотоэффекта. Значимыми характеристиками фотонов для данной модели являются импульс и энергия. Наглядная механическая модель фотона – идеально упругий невесомый шарик, обладающий некоторой энергией и импульсом, пропорциональными частоте излучения.

Световое давление. Направление падающего потока перпендикулярно поверхности. Фотон взаимодействует с идеальной зеркальной поверхностью, полностью отражается. Вектор импульса p меняет знак на противоположный $-p$. Модуль вектора $p = 2\pi/\lambda$ сохраняется. Модуль изменения импульса равен $2p$. Это вариант упругого взаимодействия. Если же свет освещает полностью поглощающую поверхность, то фотоны поглощаются, импульс целиком передается телу, изменение импульса оказывается равным p . В данной ситуации реализуется вариант неупругого взаимодействия.

Сила, возникающая в результате воздействия фотона на тело, пропорциональна изменению импульса. Общее давление, оказываемое потоком фотонов, определяется суммарным воздействием N фотонов, падающих на единичную площадку.

Силы светового давления невелики. Вблизи орбиты Земли световое давление излучения Солнца составляет 4,3 – 4,5 мкПа. Наблюдение светового давления в лабораторных условиях возможно в условиях высокого вакуума.

Фотоэффект. Световой поток падает на поверхность металла. Энергия фотона $E = h\nu$, где h – постоянная Планка. Фотон взаимодействует с электроном проводимости, полностью передает ему энергию. Электрон с дополнительным запасом энергии преодолевает потенциальный барьер удерживающего поля кристаллической решетки и вылетает. Часть энергии фотона, оставшаяся после затрат на работу выхода, остается у вылетевшего электрона (фотоэлектрона) в виде кинетической энергии. Все три величины – энергия фотона, работа выхода и кинетическая энергия фотоэлектрона связана уравнением Эйнштейна $h\nu = A + T_k$. возможность выбивания фотоэлектронов определяется частотой падающего излучения и работой выхода. Количество выбитых фотоэлектронов зависит от плотности потока электронов.

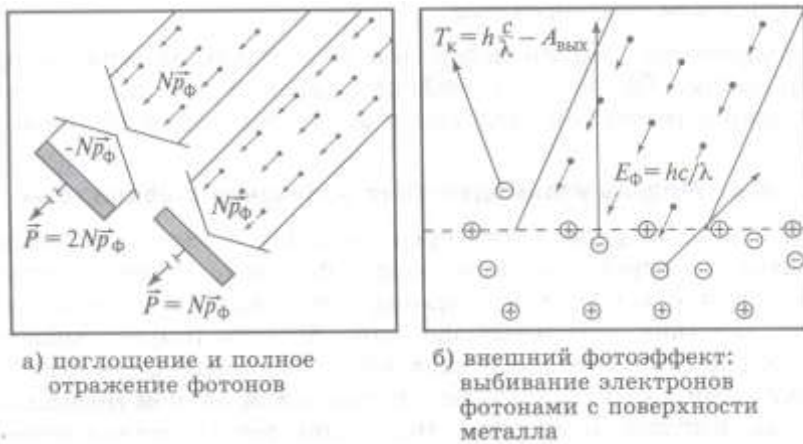


Рис.21

На рисунке 21 слева изображена схема передачи импульса потока пластин единичной площади с полностью отражающей (идеальное зеркало) и полностью поглощающей (абсолютно черное тело) поверхностью. Указаны соответствующие импульсы, переданные пластинам.

В первой части представлено схематическое изображение процесса выбивания электронов с поверхности металла – внешний фотоэффект. Стрелками изображены направления импульсов падающих фотонов и выбитых из металла электронов. Соотношение длин стрелок качественно соответствует соотношению величин импульсов.

Моделирование в физике является основой понимания сути явлений и процессов окружающего мира. Простейший пример: довольно трудно описать словами траекторию полета чайки, ловко выхватившей рыбу из воды. Но это очень легко показать, сделав соответствующее движение рукой. Представить физику без разнообразных моделей просто невозможно, более того такой физики нет и не будет!

В физике, как и в других науках, любое исследование тесно связано с моделированием. Иногда это работа с уменьшенной копией реального предмета, например моделью самолета в аэродинамической трубе. В других ситуациях физические процессы различной природы имеют много общих закономерностей и одинаковое математическое описание. Это позволяет моделировать одно явление с помощью другого. Наглядные модели электромагнитных волн, их периодичность в пространстве, поперечность и другие свойства прекрасно демонстрируются с помощью механических волн в упругом шнуре.

Сложные процессы и явления трудно реализовать в виде реального физического явления в лаборатории, и в этом случае используют математические модели. Любой физический процесс характеризуется физическими величинами, связанными друг с другом по определенным законам. Эти законы описываются математическими формулами и уравнениями. Физики теоретики сначала досконально изучают полученные ранее результаты наблюдений и экспериментов и конструируют теоретическую модель. Обычно это удачно подобранные или выведенные математические уравнения, описывающие исследуемый процесс. Дополнительно уравнения сопровождаются некоторыми условиями для физических величин. Условия могут быть в виде постулатов, ограничений на численные значения и требований к характеру изменений рассматриваемых величин. Далее теоретики находят решения уравнений, анализируют их, проводят численные оценки, сравнивают их с известными экспериментальными данными и убеждаются в правильности или неправильности своей модели.

Физика в современной российской школе все еще остается одной из важнейших учебных дисциплин. Конечно, проблем с ее изучением много: надо показывать опыты, выполнять лабораторные работы, создавать и приобретать лабораторное оборудование, учебные фильмы. Современные компьютеры, Интернет привнесли много нового и интересного в физику. Обучающие программы с «живыми» (анимационными) физическими моделями, компьютерные видеофильмы, автоматизированные лабораторные установки могли бы превратить физику в фантастическую компьютерную игру, где возможны любые чудеса. Однако физика настолько разнообразна и вездесуща, что любые, самые современные обучающие программы и учебники не могут охватить всего разнообразия физических явлений и эффектов настоящая физика – наука живая, она всегда вокруг нас, ее лабиринты таинственны, загадки разнообразны. И здесь каждому нужны универсальные способности: умение наблюдать и видеть главное, размышлять и строить гипотезы, изобретать способы и методы их опытной проверки, уметь анализировать происходящее и делать выводы.

Наша задача состоит в том, чтобы помочь ученику овладеть языком физики, понять суть, основные законы и принципы этой науки, освоить универсальные методы исследований окружающего мира. Начальное физическое образование необходимо не только будущему физику-профессионалу, но и любому культурному человеку, который может думать, эффективно и правильно действовать, достоверно прогнозировать свое будущее.

Физика – одна из наиболее развитых наук, в ней накоплен большой опыт глубокого изучения природы, сделаны открытия, дающие людям энергию, возможность поговорить друг с другом на любом расстоянии, работать в космосе. Самые смелые мечты фантастов со временем становятся реальностью благодаря открытиям физиков.

В процессе наблюдения физических явлений, размышлений над их природой и работы в лаборатории можно научиться главному в жизни – двигаться вперед и осваивать новое. Это замечательное качество можно приобрести в любой науке, однако наиболее эффективно такое универсальное обучение происходит только в физике.

Наш мир сложен, изучается разными науками, и поэтому не только физики удивляют человечество открытиями.

Природа и ее законы едины, взаимосвязь явлений и процессов объединяет не только науки, но и людей. Методы физических исследований, физические модели проникли в химию, биологию и медицину, технологии, экономику и политику. Эта факт, доказанный нашей действительностью.

Литература

1. Физический энциклопедический словарь. / Гл. ред. А.М. Прохоров. Ред. кол. Д.М. Алексеев, А.М. Бонч-Бруевич, А.С. Боровик-Романов и др. – М.: Сов. Энциклопедия, 1984.
2. Лабораторный практикум по общей физике: учеб. пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. институтов, под ред. Гершензона Е.М. – М.: Просвещение, 1985.
3. Лабораторные занятия по физике: учебное пособие, под ред. Гольдина Л.Л. – М.: Наука, 1983.
4. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы, часть 1, под ред. А.А. Покровского – М.: Просвещение, 1967.
5. Анциферов Л.И., Пищеков И.М. Практикум по методике и технике физического эксперимента. – М.: Просвещение, 1984.
6. Каменецкий С.Е., Солодухин Н.А. Модели и аналогии в курсе физики в средней школе: Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1982.
7. Тарасов Л.В. Физика в природе: Кн. Для учащихся. – М.: Просвещение, 1988
8. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. физическая оптика. – Изд-во Моск. Ун-та, 1998.
9. Физический факультатив. Сост. Тихомирова В.А., Черноуцан А.И. (Приложение к журналу «Квант», № 3/2001). – М.: Бюро Квантум, 2001.
10. Лаборатория «Кванта». Сост. Тихомирова В.А., Черноуцан А.И. (Приложение к журналу «Квант», № 3/2000). – М.: Бюро Квантум, 2001.
11. Квант: приложение к журналу «Физика и спорт». М.: Бюро Квантум, 2000.
12. Квант: приложение к журналу, Лаборатория «Кванта» - М.: Бюро Квантум, 2000.
13. Липкин А.И. Основания современного естествознания. Модельный взгляд на физику, синергетику, химию. – М.: «Вузовская книга», 2001.
14. Энциклопедия для детей, т.16: Физика, под ред. В.А.Володина. – М.: Аванта+, 2000.
15. Энциклопедия: Современное естествознание в 10 т. Т. 3, 4. - М.: Просвещение, 2000.
16. Углубленное изучение физики в 10-11 классах: Кн. для учителя / О.Ф. Кабардин, С.И. Кабардина, В.А. Орлов. - М.: Просвещение, 2002.