Дата **20.03.2023 г**. Группа ТЭК 1/1. Курс 1. Семестр 4

Дисциплина: Физика

Тема занятия: Колебания и волны

Цель занятия:

-*методическая* - совершенствование методики проведения лекционного занятия;

- *учебная* – сформировать представление об электрическом токе, силе тока, сопротивлении, законе Ома;

- *воспитательная* – формирование стремления к овладению знаний, активности, самостоятельности суждения.

Вид занятия: Лекция

Интеграционные связи: тема взаимосвязана с предыдущими темами дисциплины «Физика»

Список литературы по теме:

1.Мякишев Г.Я. Физика: учеб. для 10 кл. общеобразоват. организаций: базовый и углубл. уровни / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н Сотский; под ред. Н.А. Парфентьевой. – 9 изд.,стер. – М.: Просвещение, 2022. – 432 с.: ил. – (Классический курс)

2.Мякишев Г.Я. Физика: учеб. для 11 кл. общеобразоват. организаций: базовый и углубл. уровни / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М.Чаругин; под ред. Н.А. Парфентьевой. – 10 изд.,стер. – М.: Просвещение, 2022. – 432 с.: ил. – (Классический курс)

3.Рымкевич А.П. Задачник: сборник для учащихся общеобразовательных учреждений. – М., «Дрофа» 2008.

Тема: Колебания и волны

1. Свободные и вынужденные колебания
2. Гармонические колебания
3. Амплитуда, период, частота и фаза колебаний
4. Превращения энергии при гармонических колебаниях

Введение

До сих пор при изучении физики мы придерживались определенной последовательности. При изучении **механики** рассматривалось механическое движение: изменение положения тел (или их частей) относительно друг друга в пространстве с течением времени. При изучении **термодинамики** и молекулярной физики мы ознакомились с тепловыми процессами, а затем перешли к изучению **электродинамики.** Еще предстоит ознакомиться с такими важными процессами, как переменный ток, электромагнитные волны (радиоволны) и т. д. Для того чтобы в этих процессах хорошо разобраться, надо вернуться к механике и сначала рассмотреть механические колебания, а затем закончить изучение электродинамики.

Что общего между колебаниями маятника и разрядом конденсатора через катушку индуктивности? И механические, и электромагнитные колебания подчиняются совершенно **одинаковым количественным законам**. Это обнаруживается, если интересоваться не тем, что колеблется (груз на пружине или электрический ток в цепи), а тем, как совершаются колебания. Одинаковым количественным законам подчиняются и волновые процессы различной природы.

В современной физике выделился специальный раздел — **физика колебаний**. В нем колебания различной природы рассматриваются с единой точки зрения. Физика колебаний занимается исследованием вибраций машин и механизмов, ее выводы лежат в основе электротехники переменных токов и радиотехники.

1. Свободные и вынужденные колебания

Колебательные движения, или просто колебания, широко распространены в природе. Заставить предмет колебаться, т. е. совершать повторяющиеся движения, очень просто.

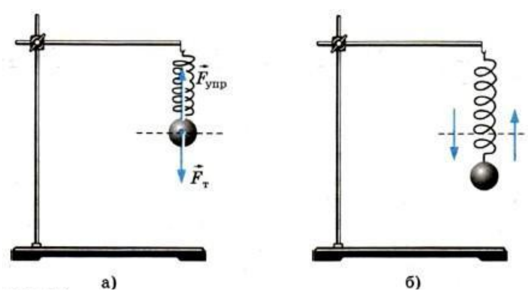

Рисунок 1

Подвесим пружину к штативу. К нижнему свободному концу пружины прикрепим металлический шарик. Пружина растянется, и сила упругости $\vec{F}_{упр}$ уравновесит силу тяжести $\vec{F}_{Т}$, действующую на шарик (рис.1,а). Если теперь вывести шарик из положения равновесия, слегка оттянув его вниз, и отпустить, то он начнет совершать движения — вверх-вниз, вверх-вниз и т. д. (рис.1, б). Такого рода движения, при которых тело поочередно смещается то в одну, то в другую сторону, и называются ***колебаниями.*** С течением времени колебания постепенно ослабевают (затухают), и, в конце концов, шарик остановится.

Еще проще можно заставить шарик колебаться, если подвесить его на нити. В положении равновесия нить вертикальна и сила тяжести $\vec{F}_{Т}$, действующая на шарик, уравновешивается силой упругости $\vec{F}_{упр}$ нити (рис. 2, а).

Если шарик отклонить и затем отпустить, то он начнет качаться направо-налево, налево-направо (рис.2, б) до тех пор, пока колебания не затухнут. Шарик, подвешенный на нити, — это простейший маятник.

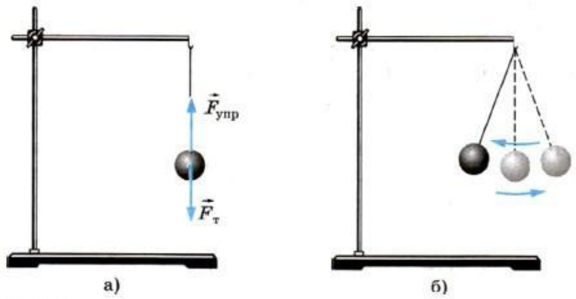

Рисунок 2

Нужно иметь в виду, что шарик, подвешенный на нити, будет представлять собой маятник лишь в том случае, если на него действует сила тяжести Земли. Создающий эту силу земной шар входит в колебательную систему, которую мы для краткости называем просто маятником.

Вообще же обычно маятником называют подвешенное на нити или закрепленное на оси тело, которое может совершать колебания под действием силы тяжести. При этом ось не должна проходить через центр тяжести тела. Маятником можно назвать линейку, подвешенную на гвоздь, люстру, коромысло рычажных весов и т. д.

Что же является наиболее характерным признаком колебательного движения? Прежде всего, это то, что при колебаниях движения тела повторяются или почти повторяются. Так, маятник, совершив один цикл колебаний, т. е. проделав путь от крайнего левого положения до крайнего правого и обратно, вновь совершает такой же цикл. Если движение повторяется точно, то его называют **периодическим.**

Колебания бывают свободными, затухающими и вынужденными.
Наибольшее значение имеют вынужденные колебания.

Механические колебания — это движения, которые точно или приблизительно повторяются через определенные интервалы времени.

Повторяются движения поршней в двигателе автомобиля, поплавка на волне, ветки дерева на ветру, нашего сердца. Все это различные примеры колебаний.

Группу тел, движение которых мы изучаем, называют в механике *системой тел* или просто *системой*. Напомним, что силы, действующие между телами системы, называют *внутренними*.

Внешними силами называют силы, действующие на тела системы со стороны тел, не входящих в нее.

Самым простым видом колебаний являются свободные колебания. **Свободными колебаниями** называются колебания в системе под действием внутренних сил, после того как система выведена из положения равновесия и предоставлена затем самой себе.

Колебания груза, прикрепленного к пружине, или груза, подвешенного на нити, — это примеры свободных колебаний. После выведения системы из положения равновесия создаются условия, при которых груз колеблется без воздействия внешних сил.

Однако с течением времени колебания затухают, так как на тела системы всегда действуют силы сопротивления. Под действием внутренних сил и сил сопротивления система совершает **затухающие колебания**.

Для того чтобы колебания не затухали, на тела системы должна действовать периодически изменяющаяся сила. Постоянная сила не может поддерживать колебания, так как под действием этой силы может измениться только положение равновесия, относительно которого происходят колебания.

Вынужденными колебаниями называются колебания тел под действием внешних периодически изменяющихся сил.

2. Гармонические колебания

Зная, как связаны между собой ускорение и координата колеблющегося тела, можно на основе математического анализа найти зависимость координаты от времени.

Ускорение — вторая производная координаты по времени. Мгновенная скорость точки представляет собой производную координаты точки по времени. Ускорение точки — это производная ее скорости по времени, или вторая производная координаты по времени.

$$a_x = -\frac{k}{m}x. \qquad \textbf{(3.10)}$$

Это уравнение можно записать так:

$$x'' = -\frac{k}{m}x, \qquad \textbf{(3.11)}$$

где x'' — вторая производная координаты по времени. Согласно уравнению при свободных колебаниях координата *x* изменяется со временем так, что вторая производная координаты по времени прямо пропорциональна самой координате и противоположна ей по знаку.

Из курса математики известно, что вторые производные синуса и косинуса по их аргументу пропорциональны самим функциям, взятым с противоположным знаком. Все это позволяет с полным основанием утверждать, что *координата тела, совершающего свободные колебания, меняется с течением времени по закону синуса или косинуса*. На рисунке 3 показано изменение координаты точки со временем по закону косинуса.

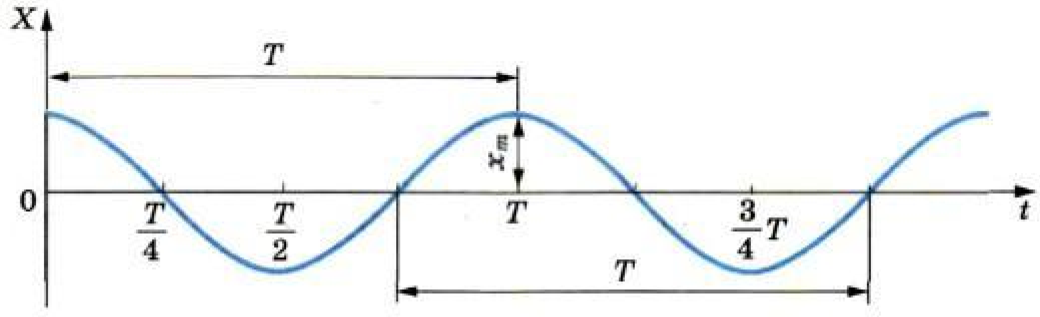

Рисунок 3

Периодические изменения физической величины в зависимости от времени, происходящие по закону синуса или косинуса, называются **гармоническими колебаниями**.

Вначале мы будем рассматривать гармонические изменения координаты. В дальнейшем ознакомимся с гармоническими изменениями других величин.

3. Амплитуда, период, частота и фаза колебаний

Амплитудой гармонических колебаний называется модуль наибольшего смещения тела от положения равновесия.

Амплитуда может иметь различные значения в зависимости от того, насколько мы смещаем тело от положения равновесия в начальный момент времени, или от того, какая скорость сообщается телу. Амплитуда определяется начальными условиями, а точнее энергией, сообщаемой телу. Но максимальные значения модуля синуса и модуля косинуса равны единице. Поэтому решение уравнения (3.11) не может выражаться просто синусом или косинусом. Оно должно иметь вид произведения амплитуды колебаний x_m на синус или косинус.

Решение уравнения, описывающего свободные колебания. Запишем решение уравнения (3.11) в следующем виде:

$$x = x_m \cos\sqrt{\frac{k}{m}}t. \qquad (3.12)$$

В этом случае первая производная принимает вид

$$x' = -\sqrt{\frac{k}{m}}x_m \sin\sqrt{\frac{k}{m}}t,$$

а вторая производная будет равна:

$$x'' = -\frac{k}{m}x_m \cos\sqrt{\frac{k}{m}}t = -\frac{k}{m}x.$$

Мы получили уравнение (3.11). Следовательно, функция (3.12) есть решение исходного уравнения (3.11). Решением этого уравнения будет также функция $x = x_m \sin\sqrt{\frac{k}{m}}t.$

Обозначим постоянную величину $\sqrt{\frac{k}{m}}$, зависящую от свойств системы, через ω_0:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}. \qquad (3.13)$$

$$x = x_m \cos \omega_0 t. \qquad \mathbf{(3.14)}$$

Само же уравнение (3.11) принимает вид

$$x'' = -\omega_0^2 x. \qquad (3.15)$$

График зависимости координаты тела от времени согласно (3.14) представляет собой косинусоиду (см. рис. 3).

При колебаниях движения тела периодически повторяются. Промежуток времени **T**, за который система совершает один полный цикл колебаний, называется **периодом колебаний**.

Знаю период, можно определить **частоту колебаний**, т. е. число колебаний в единицу времени, например за секунду. Если одно колебание совершается за время Т, то число колебаний за секунду

$$\nu = \frac{1}{T}. \qquad (3.16)$$

В Международной системе единиц (СИ) *частота колебаний равна единице, если за секунду совершается одно колебание*. Единица частоты называется *герцем* (сокращенно: Гц) в честь немецкого физика Г. Герца.

Число колебаний за 2π с равно:

$$\omega_0 = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}. \qquad (3.\ 17)$$

Величина ω_0 — циклическая, или круговая, частота колебаний. Если в уравнении (3.14) время t равно одному периоду, то $\omega_0 T = 2\pi$. Таким образом, если в момент времени $t = 0$ $x = x_m$, то и в момент времени $t = T$ $x = x_m$, т. е. через промежуток времени, равный одному периоду, колебания повторяются.

Частоту свободных колебаний называют **собственной частотой колебательной системы.**

Собственная частота колебаний тела, прикрепленного к пружине, согласно уравнению (3.13) равна:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Она тем больше, чем больше жесткость пружины k, и тем меньше, чем больше масса тела m. Это легко понять: жесткая пружина сообщает телу большее ускорение, быстрее меняет скорость тела. А чем тело массивнее, тем медленнее оно изменяет скорость под влиянием силы. Период колебаний равен:

$$\boxed{T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.} \qquad (3.18)$$

Период колебаний тела на пружине и период колебаний маятника при малых углах отклонения не зависят от амплитуды колебаний.

Модуль коэффициента пропорциональности между ускорением a_τ и смещением x в уравнении (3.10), описывающем колебания маятника, представляет собой, как и в уравнении (3.11), квадрат циклической частоты. **Следовательно, собственная частота колебаний математического маятника при малых углах отклонения нити от вертикали зависит от длины маятника и ускорения свободного падения:**

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}. \qquad (3.19)$$

Период же этих колебаний равен:

$$\boxed{T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.} \qquad (3.20)$$

Эта формула была впервые получена и проверена на опыте голландским ученым Г. Гюйгенсом — современником И. Ньютона. Она справедлива только для малых углов отклонения нити.

Период колебаний возрастает с увеличением длины маятника. От массы маятника он не зависит. Зависимость периода колебаний от ускорения свободного падения также можно обнаружить. *Чем меньше g, тем больше период колебаний маятника и, следовательно, тем медленнее идут часы с маятником*. Так, часы с маятником в виде груза на стержне отстанут за сутки почти на 3 с, если их поднять из подвала на верхний этаж Московского университета (высота 200 м). И это только за счет уменьшения ускорения свободного падения с высотой.

Зависимость периода колебаний маятника от значения g используется на практике. Измеряя период колебаний, можно очень точно определить g. Ускорение свободного падения меняется с географической широтой. Но и на данной широте оно не везде одинаково. Ведь плотность земной коры не всюду одинакова. В районах, где залегают плотные породы, ускорение g несколько большее. Это учитывают при поисках полезных ископаемых.

Свойства механических колебаний используются в устройствах большинства электронных весов. Взвешиваемое тело кладут на платформу, под которой установлена жесткая пружина. В результате возникают механические колебания, частота которых измеряется соответствующим датчиком. Микропроцессор, связанный с этим датчиком, переводит частоту колебаний в массу взвешиваемого тела, так как эта частота зависит от массы.

Полученные формулы (3.18) и (3.20) для периода колебаний свидетельствуют о том, что период гармонических колебаний зависит от параметров системы (жесткости пружины, длины нити и т. д.)

Обычно колебания тела, прикрепленного к пружине, или колебания маятника мы возбуждаем, выводя тело маятника из положения равновесия и затем отпуская его. Смещение от положения равновесия максимально в начальной момент. Поэтому для описания колебаний удобнее пользоваться формулой (3.14) с применением косинуса, чем формулой (3.23) с применением синуса.

Но если бы мы возбудили колебания покоящегося тела кратковременным толчком, то координата тела в начальный момент была бы равна нулю, и изменения координаты со временем было бы удобнее описывать с помощью синуса, т. е. формулой

$$x = x_m \sin \omega_0 t, \qquad (3.24)$$

так как при этом начальная фаза равна нулю.

Если в начальный момент времени (при t — 0) **фаза** колебаний равна φ, то уравнение колебаний можно записать в виде

$$x = x_m \sin (\omega_0 t + \varphi).$$

Колебания, описываемые формулами (3.23) и (3.24), отличаются друг от друга только фазами. Разность фаз, или, как часто говорят, сдвиг фазу этих колебаний составляет $\frac{\pi}{2}$. На рисунке 4 показаны графики зависимости координат от времени для двух гармонических колебаний, сдвинутых по фазе на $\frac{\pi}{2}$. График 1 соответствует колебаниям, совершающимся по синусоидальному закону: x = $x_m \sin \omega_0 t$, а график 2 — колебаниям, совершающимся по закону косинуса:

$$x = x_m \cos \omega_0 t = x_m \sin\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right).$$

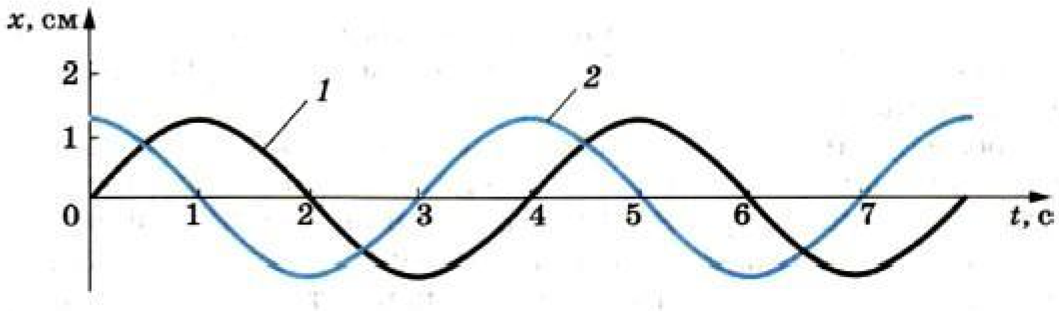

Рисунок 4

Для определения разности фаз двух колебаний надо в обоих случаях колеблющуюся величину выразить через одну и ту же тригонометрическую функцию — косинус или синус.

Контрольные вопросы

1. Какие колебания называют свободными?

2.Какие колебания называют гармоническими?

3. Задача. В Санкт-Петербурге в Исаакиевском соборе висел маятник Фуко, длина которого была равна 98 м. Чему был равен период колебаний маятника?

Задание для самостоятельной работы:

1. Краткий конспект лекции (основные определения и формулы)

2.Письменно ответить на контрольные вопросы.

4.Фотографию работы прислать в личном сообщении ВК https://vk.com/id139705283

На фотографии вверху должна быть фамилия, дата выдачи задания, группа, дисциплина. Например: «Иванов И.И, **20.03.2023 г.,** группа ТЭК 1/1, Физика».