

Современные учебные пособия по физике в качестве домашнего задания предлагают выполнить учащимся домашний лабораторный эксперимент, способствующий не только развитию интереса к изучаемому предмету, но и развитию логики, мышления, изобретательских навыков и умений.

Огромную роль в изучении физики в среднеобразовательных школах играют высшие учебные заведения, предоставляя лаборатории, где учащиеся могут проводить различного рода исследования, экспериментально убедиться в выполнении законов физики, а также самостоятельно определять данные для работы различных устройств и приспособлений. Преподаватели высших учебных заведений проводят межшкольные факультативы по предмету, оказывают консультации при подготовке учащихся к олимпиадам и конференциям различного уровня. Но самое главное, что учащиеся школ могут почувствовать себя студентами в течение нескольких дней, погружаясь в атмосферу обучения физике не как школьному предмету, а значимой и весомой дисциплины, влияющей на жизнедеятельность человека.

Наглядность также является одним из аспектов привлечения внимания учащихся для заинтересованности в изучении предмета. Большое количество педагогов, да и обычных интернет-пользователей, своими силами воссоздают лабораторные опыты или эксперименты. В социальной сети TikTok особую популярность имеют видео, в которых обычные студенты технических университетов простым доступным языком объясняют физические явления. Показывают, каким способом их можно воссоздать и как они влияют на жизнь человека, как работают механизмы и где они применяются.

Таким образом, можно говорить о том, что в современном мире созданы все условия для заинтересованности учащихся в обучении физике. А то, что профильные классы с углубленным изучением физики, технические специальности в университетах, появление различных обучающих видео в социальных сетях получает большое распространение, говорит о том, что созданы все условия для успешного изучения физики.

## **К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ**

***В. Ф. Малишевский, А. А. Луцевич***

*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова БГУ», г. Минск, Республика Беларусь*

В технике колебания выполняют либо определенные функциональные обязанности (колесо, маятник, колебательный контур, генератор колебаний и т. д.), либо возникают как неизбежное проявление физических свойств (вибрации машин и сооружений, неустойчивости и вихревые потоки при движении тел в газах и т. д.). Поэтому обобщение и систематизация знаний по колебательным системам в преподавании курса физики в высшей школе являются необходимыми составляющими для более глубокого их изучения студентами.

В курсе общей физики особо выделяются колебания двух видов – механические и электромагнитные и их электромеханические комбинации. Это обусловлено той исключительной ролью, которую играют гравитационные и электромагнитные взаимодействия в масштабах, характерных для жизнедеятельности человека [1].

Любая физическая система, которая способна совершать колебательное движение (колебательная система), может быть описана физической величиной, отклонение которой от равновесного значения зависит от времени по периодическому (почти периодическому) закону. В случае механических колебательных систем такими величинами являются смещение из положения равновесия (координата), скорость и ускорение; в случае электрических колебательных систем – это заряд, сила тока и напряжение.

Любую колебательную систему, физические характеристики  $f(t)$  которой независимо от природы колебаний можно определить в результате решения линейного однородного дифференциального уравнения второго порядка, имеющего вид:  $\ddot{f}(t) + \omega_0^2 f(t) = 0$ , где  $\omega$  – циклическая частота колебаний, которая зависит только от свойств колебательной системы, называют гармоническим осциллятором.

Для механических колебательных систем (пружинный и математический маятники)  $f(t) = x(t)$ : ( $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$  – пружинный маятник,  $\omega_0^2 = \frac{g}{l}$  – математический маятник). Колебания физического маятника происходят под действием возвращающего момента силы тяжести относительно точки подвеса:

$$\vec{M} = [\vec{l} \times m\vec{g}].$$

При малых углах отклонения  $\alpha$  физического маятника от положения устойчивого равновесия колебания являются гармоническими и  $f(t) = \alpha(t)$ .

Для электрических колебательных систем:

$$f(t) = q(t) \text{ или } I = I(t): (\omega_0^2 = \frac{1}{LC}).$$

Решение этих уравнений как для механических, так и для электрических колебательных систем имеет вид:  $f(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ , где  $A$  – амплитуда колебаний,  $\varphi_0$  – начальная фаза колебаний. Причем  $A$  и  $\varphi_0$  зависят только от способа возбуждения колебаний (начального состояния колебательной системы).

Следовательно, законы, которым подчиняются колебательные процессы, не зависят от физической природы колебаний и являются универсальными. Поэтому возможен общий, «внепредметный», подход к математическому описанию колебательных процессов, основанный на их общих свойствах и закономерностях. В результате появилась теория колебаний и волн, которая, основываясь на математических и физических моделях, устанавливает общие свойства колебательных и волновых процессов в реальных системах, не интересуясь деталями их поведения, обусловленного их природой (физической, химической и др.), и определяет связь между параметрами системы и её колебательными (волновыми) характеристиками. Благодаря общности закономерностей результаты, полученные при исследовании колебаний и волн, например в механике, могут быть перенесены в электродинамику, оптику или радиотехнику.

Изучение любого волнового или колебательного процесса в каждом конкретном случае начинается с идеализации реальной системы, т. е. с построения модели и написания для неё соответствующих уравнений (дифференциальных, в частных производных, дифференциально-разностных и др.). Идеализации одних и тех же систем могут быть различными в зависимости от того, какое явление исследуется.

Справедливость принятых идеализаций оценивается путём сравнения результатов теории, построенной на основании данной модели, с результатами анализа более общей модели или с поведением реальной системы – экспериментом.

К примеру, когда речь идёт только о нахождении условий раскачивания качелей при периодическом изменении их длины, модель может быть совсем простой – линейный осциллятор с периодически изменяющейся собственной частотой. Когда же необходимо ответить на вопрос об амплитуде установившихся колебаний таких качелей, нужно уже учитывать нелинейность (зависимость частоты колебаний качелей от амплитуды колебаний), в результате чего приходим к модели физического маятника, т. е. нелинейного осциллятора с периодически изменяемым параметром.

Понятия и представления теории колебаний и волн относятся либо к явлениям (резонанс, автоколебания, синхронизация, самофокусировка и т. д.), либо к моделям (линейная и нелинейная системы, система с сосредоточенными параметрами или система с распределёнными параметрами, система с одной или несколькими степенями свободы и др.).

Затухание колебаний – уменьшение амплитуды колебаний с течением времени, обусловленное потерей энергии колебательной системой. Потери энергии колебаний в механических системах обусловлены её превращением во внутреннюю энергию вследствие трения и излучением упругих волн в окружающую среду; в электрических системах – омическими потерями в них и излучением электромагнитных волн в окружающее пространство. Уравнение затухающих гармонических колебаний в общем случае является неоднородным линейным уравнением второго порядка с постоянными коэффициентами и имеет вид:

$$\ddot{f}(t) + 2\gamma\dot{f}(t) + \omega_0^2 f(t) = 0.$$

Для механических и электрических колебательных систем это уравнение имеет вид:  $\ddot{x}(t) + 2\gamma\dot{x}(t) + \omega_0^2 x(t) = 0$  и  $\ddot{q}(t) + 2\gamma\dot{q}(t) + \omega_0^2 q(t) = 0$  соответственно.

Циклическая частота колебаний рассчитывается по таким же формулам, как и для свободных колебаний ( $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$ ,  $\omega_0^2 = \frac{g}{l}$ ,  $\omega_0^2 = \frac{mgl}{I}$  и  $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ ). Коэффициент затухания характеризует диссипативные процессы в колебательной системе. В первом случае:  $\gamma = \frac{\mu}{2m}$ , где  $\mu$  – коэффициент сопротивления. Во втором случае:  $\gamma = \frac{R}{2L}$ , где  $R$  – активное (омическое) сопротивление контура.

Закон затухания колебаний определяется свойствами колебательной системы. В линейных системах затухание колебаний происходит по экспоненте:  $A(t) = A_0 \exp(-\gamma t)$ , где  $t$  – время,  $\gamma$  – коэффициент затухания системы.

Затухание колебаний практически можно считать закончившимся, если амплитуда колебаний уменьшилась до  $\sim 1\%$  ее начального значения. Время  $t$ , в течение которого это произойдет, определяется из условия  $\exp(-\gamma t) = 0,01$  или  $\gamma t = 4,6$ .

На основе сложившихся представлений теории колебаний можно связать те или иные явления в конкретной системе с её характеристиками, фактически не решая задачи всякий раз заново. Например, преобразование одних видов энергии в другие в слабо нелинейной системе (будь то волны на воде, электромагнитные колебания в ионосфере или колебания пружинного маятника) возможно только в случае, когда выполнены определенные резонансные условия между собственными частотами подсистемы.

К затухающим колебаниям, строго говоря, неприменимо понятие периода или частоты. Однако, если затухание мало, то можно условно пользоваться понятием периода  $T_1$  как промежутка времени между двумя последующими максимумами колеблющейся величины (тока, напряжения, размаха колебаний маятника и т. д.). «Период»  $T_1$  увеличивается по мере увеличения потерь энергии в системе.

Для приведённых выше простейших случаев соответствующая этому условному «периоду» частота затухающих колебаний  $\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1} \approx \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$ , где  $\omega_0$  – циклическая частота собственных колебаний в отсутствии потерь энергии в системе. Скорость затухания колебаний часто характеризуют декрементом затухания  $\delta = \gamma T_1$ , определяющим уменьшение амплитуды собственных колебаний за один "период", или величиной  $d = \delta/\pi$ , называемой просто затуханием. Затухание связано с добротностью колебательной системы  $Q$  соотношением  $d = 1/Q$ .

В нелинейных системах отношение потерь энергии за период к полной энергии колебаний не остаётся постоянным, а изменяется с изменением амплитуды колебаний. Поэтому закон затухания колебаний оказывается не экспоненциальным.

Простейший с точки зрения закона затухания колебаний случай – это нелинейная механическая система, сила трения в которой постоянна (не зависит от скорости), а ее направление противоположно скорости (сухое трение). Такая сила трения возникает в системах, движение которых связано со скольжением, например, при колебаниях крутильного маятника с осью, установленной в подшипниках скольжения.

Вынужденные колебания – колебания, существующие в системе под действием переменной внешней силы. Наличие внешней силы – необходимое условие возбуждения и существования вынужденных колебаний.

Наиболее просты вынужденные колебания в линейных системах. Так, при действии периодической внешней силы на линейную систему возбуждаются колебания, которые являются суперпозицией собственных (нормальных) колебаний и вынужденных колебаний. По истечении некоторого промежутка времени в результате диссипации собственные колебания затухают и в системе устанавливаются вынужденные колебания, имеющие ту же частоту, что и внешняя сила.

Вынужденные колебания представляют собой гармонические колебания с частотой внешней силы, амплитуда которых  $X_0$  определяется амплитудой и частотой внешней силы и параметрами системы, а фаза  $\varphi$  – только частотой внешней силы и параметрами системы. Наибольшего значения амплитуда вынужденных колебаний достигает при приближении частоты внешней силы к значению частоты собственных колебаний системы, когда наступает резонанс.

При периодической, но негармонической внешней силе вынужденные колебания в линейной системе представляют собой суперпозицию колебаний, соответствующих отдельным гармоническим составляющим внешней силы.

Физические величины, характеризующие и механические, и электромагнитные колебания, можно свести в таблицу [2, с. 112], которая содержит систематизированную информацию о моделях конкретных колебательных систем и их физических характеристиках.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луцевич, А. А. Физика / А. А. Луцевич, С. В. Яковенко. – Минск : Вышэйшая школа, 2000. – 495 с.
2. Малишевский, В. Ф. Основы электродинамики / В. Ф. Малишевский, А. А. Луцевич. – Минск : ИВЦ Минфина, 2018. – 142 с.

## ЦЕЛЕПОЛАГАНИЕ НА УРОКЕ ФИЗИКИ НА ОСНОВЕ ТАКСОНОМИИ БЛУМА

*А. С. Мусницкая*

*Государственное учреждение образования «Средняя школа № 18  
имени Евфросинии Полоцкой г. Полоцк», г. Полоцк, Витебская область,  
Республика Беларусь*

*Если вы идете без цели, то нет смысла выбирать дорогу.*

*© Ральф Эмерсон*

Цель – один из элементов сознательной деятельности и поведения человека. Цель урока – это его результаты, достичь которых мы планируем, используя дидактические, методические и психологические приемы. Без понимания цели школьники остаются пассивными участниками образовательного процесса.

Таксономия Блума – это система учебных целей, которую разработали ученые Чикагского университета во главе с психологом Б. Блумом [1].

Блум разделил образовательные цели на три сферы:

Когнитивная сфера – «Знаю». Это знания, понимание и критическое мышление. К когнитивной сфере относится все, что связано с процессом получения знаний.

Аффективная сфера – «Чувствую». Эта сфера связана с чувствами и эмоциями. Главная цель аффективной сферы – формирование эмоционального отношения к явлениям окружающего мира.