УДК 534.242

Портнов Юрий Алексеевич, канд. физ.-мат. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, portnovyura@yandex.ru

ЯВЛЕНИЕ РЕЗОНАНСА В УЧЕБНИКАХ ПО ФИЗИКЕ

Аннотация. В статье рассматривается определение явления резонанса. Показано, что классическое определение резонанса не отражает всех тонкостей данного явления. На примерах механических и электромагнитных колебаний показано, что при резонансе возникает уменьшение потерь энергии. Как следствие, предлагается новое определение резонанса, отражающее суть внутренних процессов, происходящих при данном явлении.

Ключевые слова: резонанс, механические колебания, электромагнитные колебания.

Portnov Yuriy A., Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, portnovyura@yandex.ru

THE PHENOMENON OF THE RESONANCE IN THE TEXTBOOKS

Abstract. The article deals with the definition of the phenomenon of resonance. It is shown that the classical definition of resonance does not reflect all the subtleties of this phenomenon. On examples of mechanical and electromagnetic oscillations it is shown that at resonance there is a decrease in energy losses. As a consequence, a new definition of resonance is proposed – reflecting the essence of the internal processes occurring at a given phenomenon.

Key words: resonance, mechanical oscillations, electromagnetic oscillations.

В процессе развития целостной физической картины явление резонанса было скромно отодвинуто на задний план и ныне является всего лишь подтемой в разделе вынужденных колебаний. Всё это привело к тому, что данное явление было определено лишь по внешнему признаку, что привело к появлению трудностей в объяснении данного явления. Вот как определяют данное явление в литературе.

Резонанс – резкое возрастание амплитуды колебаний при приближении периода гармонической внешней силы к периоду собственных колебаний [1]–[4].

Резонанс – случай совпадения частоты вынуждающей силы с собственной частотой колебаний [2].

Резонанс (фр. *resonance*, от лат. *resono* – откликаюсь) – резкое возрастание амплитуды установившихся вынужденных колебаний при приближении частоты внешнего гармонического воздействия к частоте одного из собственных колебаний системы [3].

Резонанс – явление появления максимума амплитуды вынужденных колебаний при частоте вынуждающей силы, удовлетворяющей соотношению $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$ [5].

Резонанс – явление, при котором зависимость амплитуды вынужденных колебаний от частоты вынуждающей силы приводит к тому, что при некоторой определенной для данной системы частоте амплитуда колебаний достигает максимального значения [6]–[10].

Как видно из определений, данное явление, прежде всего, формируется на основе возрастания амплитуды колебаний при совпадении некоторых частот. Но данные определения не объясняют всей сущности резонанса, что отчасти привело к таким утверждениям, что будто на основе резонанса можно выиграть при получении энергии, которая возникает при «резком возрастании амплитуды». Цель данной статьи, прежде всего, направлена на развенчание мифа о возможности получение избытков энергии, а также формулирование нового определения резонанса.

Для этого рассмотрим колебательный контур – цепь, содержащую активное сопротивление, индуктивность и ёмкость. Если считать ток квазистационарным, то его величина и направление в один и тот же

момент времени в разных точках цепи одинаковы. В результате мы можем записать уравнение $i = i_A \cos(\omega t)$. Однако напряжение на сопротивлении, индуктивности и ёмкости будет иметь различную фазу, то есть различное направление в фазовом пространстве, если рассмотреть эту ситуацию с точки зрения векторных диаграмм. Амплитудное напряжение в этом случае будет представлять собою векторную сумму напряжений на каждом элементе. А полное сопротивление цепи будет найдено по формуле:

$Z = \sqrt{(X_L - X_C)^2 + R^2}$. При этом явление, возникающее тогда, когда полное сопротивление цепи становится минимальным ($X_L = X_C$), называют резонансом. Сдвиг фаз между ЭДС и током становится равным нулю, а само значение ЭДС – равным значению напряжения на сопротивлении. Напряжение на катушке и конденсаторе могут быть сколь угодно велики, даже превысить значение ЭДС цепи, но они не оказывают влияния на саму цепь. То есть электрическая цепь начинает работать так, как если бы катушки и конденсатора не было бы. Потребляемая мощность цепи $P = UI \cos(\varphi)$, при отсутствии сдвига фаз $\varphi = 0$, примет минимальное значение. Отсюда можно сделать вывод, что колебательный контур при резонансе не тратит энергии цепи на поддержание колебаний, но и не даёт дополнительной энергии.

Теперь рассмотрим явление резонанса в механической цепи. Пусть на некоторую материальную точку действуют несколько сил: сила упругости (возвращающая сила в положение равновесия) $-kx$, сила трения $-\beta\dot{x}$ и внешняя сила вынуждающих колебаний $F \cos(\omega t)$. Уравнение колебаний материальной точки будет иметь вид: $m\ddot{x} + \beta\dot{x} + kx = F \cos(\omega t)$. Решением такого уравнения будет:

$$x(t) = \frac{F \cos(\omega t - \varphi)}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \omega^2\gamma^2}}.$$

Здесь величины $\omega_0 = k / m$ – собственная частота колебаний;
 $\gamma = \beta / m$ – коэффициент затухания; $\varphi = \arctan(\omega\gamma / (\omega_0^2 - \omega^2))$ – сдвиг фаз колебаний, который всегда положителен и подразумевает, что частота колебаний материальной точки будет отставать от частоты колебаний вынуждающей силы. При резонансе значение сдвига фаз будет равно нулю, а амплитуда колебаний принимает максимальное значение. Мощность – произведение силы на скорость колебаний, а так как скорость опережает перемещение на угол $\pi / 2$, то сила будет совпадать по направлению со скоростью. Следовательно, потребляемая мощность, так же как в случае электрического резонанса, при резонансе будет минимальна.

Таким образом, при резонансе электрическом и механическом не возникает излишек энергии вследствие возрастания амплитуды, и само возрастание амплитуды не является определяющим и единственным признаком резонанса. Для устранения подобных недоразумений целесообразно в определении резонанса дать отражение энергетических отношений колеблющегося тела и вынуждающей силы. Например, в такой форме:

резонанс – явление, при котором поддержание колебаний требует минимума энергии, что возникает при совпадении частот колебаний вынуждающей силы и собственных колебаний.

Список литературы

1. Кошкин, Н.И. Элементарная физика: справочное пособие / Н.И. Кошкин, Е.Н. Васильчикова. – М.: Столетие, 1996. – 307 с.
2. Яворский, Б.М. Основы физики. В 2 т. Т. 2 / Б.М. Яворский, А.А. Пинский. – М.: Физматлит, 2000. – 576 с.

3. Мякишев, Г.Я. Физика: учебник 11 класса / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев. – М.: Просвещение, 2005. – 382 с.
4. Генденштейн, Л.Э. Физика. 10 класс. В 2 ч. Ч. 1 / Л.Э. Генденштейн, Ю.И. Дик. – М.: Мнемозина, 2009. – 352 с.
5. Фриш, С.Э. Курс общей физики. В 2 т. Т. 1 / С.Э. Фриш, А.В. Тиморева. – М.: Физматлит, 1962. – 468 с.
6. Савельев, И.В. Курс общей физики. В 3 т. Т. 1 / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1970. – 508 с.
7. Геворкян, Р.Г. Курс физики: учеб. пособие / Р.Г. Геворкян. – М.: Высш. школа, 1979. – 656 с.
8. Калашников, Н.П. Основы физики : учеб. пособие. В 3 т. Т. 1 / Н.П. Калашников, М.А. Смандырев. – М.: Дрофа, 2001. – 531 с.
9. Калашников, Э.Г. Электричество : учеб. пособие / Э.Г. Калашников. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1977. – 591 с.
10. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. В 3 т. Т. 3. Электричество / Д.В. Сивухин. – М.: Наука, 1977. – 704 с.

References

1. Koshkin N.I., Vasilchikova E.N. *Elementarnaya fizika* (Elementary physics), Moscow, Stoletie, 1996, 307 p.
2. Yavorskiy B.M., Pinskiy A.A. *Osnovi fiziki* (Fundamentals of physics), Moscow, Fiziko-matematicheskaya literatura, 2000, 576 p.
3. Myakishhev G.Y., Buhovcev B.B. *Fizika 11 klass* (Physics grade 11), Moscow, Prosvyashenie, 2005, 382 p.
4. Gendenshteyn L.E., Dik Ju.I. *Fizika 10 klass* (Physics grade 10), Moscow, Mnemozina, 2009, 352 p.
5. Frish S.E., Timoreva A.V. *Kurs obshey fiziki* (The General physics course), Moscow, 1962, 468 p.

6. Savelev I.V. *Kurs obshey fiziki* (The General physics course), Moscow, Nauka, 1970, 508 p.
7. Gevorkyan R.G. *Kurs fiziki* (Physics course), Moscow, Visshaya shkola, 1979, 656 p.
8. Kalashnikov N.P., Smondyrev M.A. *Osnovi fiziki* (Fundamentals of physics), Moscow, Drofa, 2001, 531 p.
9. Kalashnikov E.G., *Elektrichestvo* (Electricity), Moscow, Nauka, 1977, 591 p.
10. Sivuxin D.V., *Obshiy kurs fiziki* (The General physics course), Moscow, Nauka, 1977, 704 p.