

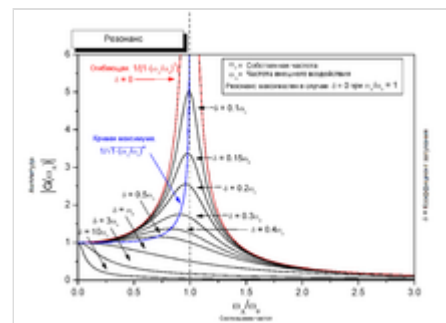
Резонанс

Материал из Википедии — свободной энциклопедии

Резо́нанс (фр. *résonance*, от лат. *resono* «откликаюсь») — частотно-избирательный отклик колебательной системы на периодическое внешнее воздействие, который проявляется в резком увеличении амплитуды стационарных колебаний при совпадении частоты внешнего воздействия с определёнными значениями, характерными для данной системы^[1].

Если потерь энергии нет, резонансу отвечают, формально, бесконечная амплитуда и равенство частоты воздействия ω_d собственной частоте ω_0 системы. При наличии потерь резонанс менее выражен и возникает при частоте ниже ω_0 (отстройка от ω_0 увеличивается с ростом потерь).

Под действием резонанса колебательная система оказывается особенно отзывчивой на действие внешней силы. Степень отзывчивости в теории колебаний описывается величиной, называемой добротностью. При помощи резонанса можно выделить и/или усилить даже весьма слабые периодические колебания.



Эффект резонанса для разных частот внешнего воздействия и коэффициентов затухания



Раскачивание человека на качелях — типичный пример резонанса. Нагруженное колебание, маятник, имеет собственную частоту колебаний, свою резонансную частоту и сопротивляется давлению с большей или меньшей скоростью.

Явление резонанса впервые было описано Галилео Галилеем в 1602 г. в работах, посвященных исследованию маятников и музыкальных струн.^{[2][3]}

Содержание

Механика

Струна

Электроника

СВЧ

Оптика

Акустика

Астрофизика

См. также

Примечания

Литература

Ссылки

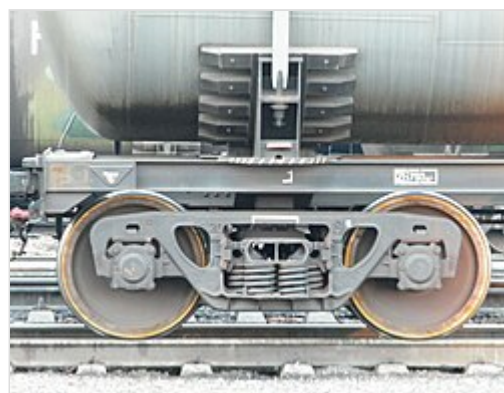
Механика

Наиболее известная большинству людей механическая резонансная система — это обычные качели. Если подталкивать качели в определённые моменты времени в соответствии с их резонансной частотой, размах движения будет увеличиваться, в противном случае движения будут затухать. Резонансную частоту такого маятника с достаточной точностью в диапазоне малых смещений от равновесного состояния можно найти по формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}},$$

где g — это ускорение свободного падения (9,8 м/с² для поверхности Земли), а L — длина от точки подвешивания маятника до центра его масс. (Более точная формула довольно сложна и включает эллиптический интеграл.) Важно, что резонансная частота не зависит от массы маятника. Также важно, что раскачивать маятник нельзя на кратных частотах (*высших гармониках*), зато это можно делать на частотах, равных долям от основной (*низших гармониках*).

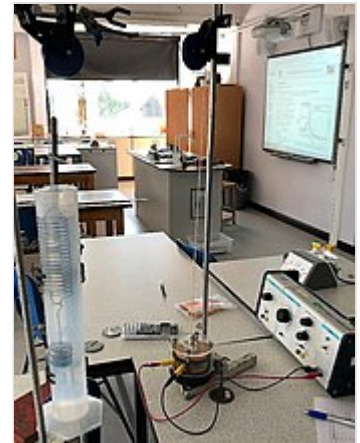
Резонансные явления могут приводить как к разрушению, так и к увеличению устойчивости механических систем.



Чтобы избежать механического резонанса, устанавливаются две параллельные пружины с разной жёсткостью. В подвеске вагонной тележки использовано два комплекта пружин.

В основе работы механических резонаторов лежит преобразование потенциальной энергии в кинетическую и наоборот. В случае простого маятника, вся его энергия содержится в потенциальной форме, когда он неподвижен и находится в верхних точках траектории, а при прохождении нижней точки на максимальной скорости, она преобразуется в кинетическую. Потенциальная энергия пропорциональна массе маятника и высоте подъёма относительно нижней точки, кинетическая — массе и квадрату скорости в точке измерения.

Другие механические системы могут использовать запас потенциальной энергии в различных формах. Например, пружина запасает энергию сжатия, которая, фактически, является энергией связи её атомов.



Школьный резонансный
массовый эксперимент

Струна

Струны таких инструментов, как лютя, гитара, скрипка или пианино, имеют основную резонансную частоту, напрямую зависящую от длины, массы и силы натяжения струны. Длина волны первого резонанса струны равна её удвоенной длине. При этом, её частота зависит от скорости v , с которой волна распространяется по струне:

$$f = \frac{v}{2L}$$

где L — длина струны (в случае, если она закреплена с обоих концов). Скорость распространения волны по струне зависит от её натяжения T и массы на единицу длины ρ :

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

Таким образом, частота главного резонанса может зависеть от свойств струны и выражается следующим отношением:

$$f = \frac{\sqrt{\frac{T}{\rho}}}{2L} = \frac{\sqrt{\frac{T}{m/L}}}{2L} = \sqrt{\frac{T}{4mL}},$$

где T — сила натяжения, ρ — масса единицы длины струны, а m — полная масса струны.

Увеличение натяжения струны и уменьшение её массы (толщины) и длины увеличивает её резонансную частоту. Помимо основного резонанса, струны также имеют резонансы на высших гармониках основной частоты f , например, $2f$, $3f$, $4f$ ^[4], и т. д. Если струне придать колебание коротким воздействием (щипком пальцев или ударом молоточка), струна начнёт колебания на

всех частотах, присутствующих в воздействующем импульсе (теоретически, короткий импульс содержит **все** частоты). Однако частоты, не совпадающие с резонансными, быстро затухнут, и мы услышим только гармонические колебания, которые и воспринимаются как музыкальные ноты.

Электроника

В электрических цепях резонансом называется такой режим пассивной цепи, содержащий катушки индуктивности и конденсаторы, при котором ее входное реактивное сопротивление или ее входная реактивная проводимость равны нулю. При резонансе ток на входе цепи, если он отличен от нуля, совпадает по фазе с напряжением.

В электрических цепях резонанс возникает на определённой частоте, когда индуктивная и ёмкостная составляющие реакции системы уравновешены, что позволяет энергии циркулировать между магнитным полем индуктивного элемента и электрическим полем конденсатора.

Механизм резонанса заключается в том, что магнитное поле индуктивности генерирует электрический ток, заряжающий конденсатор, а разрядка конденсатора создаёт магнитное поле в индуктивности — процесс, который повторяется многократно, по аналогии с механическим маятником.

Электрическое устройство, состоящее из ёмкости и индуктивности, называется **колебательным контуром**. Элементы колебательного контура могут быть включены как последовательно (тогда возникает резонанс напряжений), так и параллельно (резонанс токов). При достижении резонанса, импеданс последовательно соединённых индуктивности и ёмкости минимален, а при параллельном включении — максимален. Резонансные процессы в колебательных контурах используются в элементах настройки, электрических фильтрах. Частота, на которой происходит резонанс, определяется величинами (номиналами) используемых элементов. В то же время, резонанс может быть и вреден, если он возникает в неожиданном месте по причине повреждения, недостаточно качественного проектирования или производства электронного устройства. Такой резонанс может вызывать паразитный шум, искажения сигнала, и даже повреждение компонентов.

Приняв, что в момент резонанса индуктивная и ёмкостная составляющие импеданса равны, резонансную частоту можно найти из выражения

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \Rightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}},$$

где $\omega = 2\pi f$; f — резонансная частота в герцах; L — индуктивность в генри; C — ёмкость в фарадах. Важно, что в реальных системах понятие резонансной частоты неразрывно связано с полосой пропускания, то есть диапазоном частот, в котором реакция системы мало отличается от реакции на резонансной частоте. Ширина полосы пропускания определяется добротностью системы.

В электронных устройствах также применяются различные электромеханические резонансные системы.

СВЧ

В СВЧ электронике широко используются объёмные резонаторы, чаще всего цилиндрической или тороидальной геометрии с размерами порядка длины волны, в которых возможны добротные колебания электромагнитного поля на отдельных частотах, определяемых граничными условиями. Наивысшей добротностью обладают сверхпроводящие резонаторы, стенки которых изготовлены из сверхпроводника, и диэлектрические резонаторы с модами шепчущей галереи.

Оптика

В оптическом диапазоне самым распространённым типом резонатора является резонатор Фабри-Перо, образованный парой зеркал, между которыми в резонансе устанавливается стоячая волна. Применяются также кольцевые резонаторы с бегущей волной и оптические микрорезонаторы с модами шепчущей галереи.

Акустика

Резонанс — один из важнейших физических процессов, используемых при проектировании звуковых устройств, большинство из которых содержат резонаторы, например, струны и корпус скрипки, трубка у флейты, корпус у барабанов.

Для акустических систем и громкоговорителей резонанс отдельных элементов (корпуса, диффузора) является нежелательным явлением, так как ухудшает равномерность амплитудно-частотной характеристики устройства и верность звуковоспроизведения. Исключением являются акустические системы с фазоинвертором, в которых намеренно создаётся резонанс для улучшения воспроизведения низких частот.

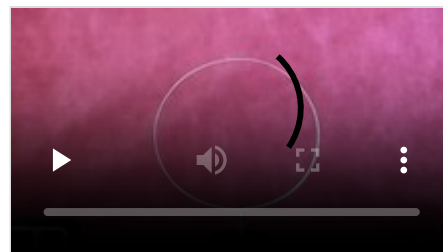
Астрофизика

Орбитальный резонанс в небесной механике — это ситуация, при которой два (или более) небесных тела имеют периоды обращения, которые относятся как небольшие натуральные числа. В результате эти небесные тела оказывают регулярное гравитационное влияние друг на друга, которое может стабилизировать их орбиты.

См. также

- Резонатор
- Колебания
- Добротность

- Колебательный контур
- Диссипативная структура
- Оптический резонанс
- Антирезонанс



Видеоурок: резонанс

Примечания

1. Резонанс // Физическая энциклопедия / Гл. ред. А. М. Прохоров. — Москва: Большая Российская энциклопедия, 4. — С. 308. — 704 с. — ISBN 5-85270-087-8.
2. *Andrea Frova and Mariapia Marenzana*. Thus spoke Galileo: the great scientist's ideas and their relevance to the present day (https://books.google.com/books?id=1P6fF-bE4CAC&pg=PA133&dq=Galileo+pendulum+resonance&lr=&as_drrb_is=q&as_minm_is=0&as_miny_is=&as_maxm_is=0&as_maxy_is=&as_brr=0&ei=XLB9SpCUCZ-qkASVvdiWCg#v=onepage&q=Galileo%20pendulum%20resonance&f=false) (англ.). — Oxford University Press, 2006. — P. 133—137. — ISBN 978-0-19-856625-0.
3. *Stillman Drake, Noel M. Swerdlow, and Trevor Harvey Levere*. Essays on Galileo and the history and philosophy of science (https://books.google.com/books?id=sp8_hrI2MoC&pg=PA41&dq=galileo+1602+pendulum&as_brr=3&ei=VLR9StjtKoaskATQ5JiyCg#v=onepage&q=galileo%201602%20pendulum&f=false) (англ.). — University of Toronto Press, 1999. — P. 41—42. — ISBN 978-0-8020-7585-7.
4. В реальных физических ситуациях (например, при колебаниях массивной и жесткой струны) частоты высших резонансных колебаний (обертонов) могут заметно отклоняться от величин, кратных частоте основного тона — такие обертоны называются негармоническими, см. также Кривые Рейлсбека.

Литература

- *Richardson LF* (1922), Weather prediction by numerical process, Cambridge.
- *Bretherton FP* (1964), Resonant interactions between waves. *J. Fluid Mech.*, 20, 457—472.
- *Бломбергсен Н.* Нелинейная оптика, М.: Мир, 1965. — 424 с.
- *Захаров В. Е.* (1974), Гамильтонов формализм для волн в нелинейных средах с дисперсией, *Изв. вузов СССР. Радиофизика*, 17(4), 431—453.
- *Арнольд В. И.* Потеря устойчивости автоколебаний вблизи резонансов, *Нелинейные волны* / Ред. А. В. Гапонов-Грехов. — М.: Наука, 1979. С. 116—131.
- *Kaup PJ, Reiman A and Bers A* (1979), Space-time evolution of nonlinear three-wave interactions. Interactions in a homogeneous medium, *Rev. of Modern Phys.*, **51**(2), 275—309.
- *Haken H* (1983), *Advanced Synergetics. Instability Hierarchies of Self-Organizing Systems and devices*, Berlin, Springer-Verlag.
- *Филлипс О.М.* Взаимодействие волн. Эволюция идей, Современная гидродинамика. Успехи и проблемы. — М.: Мир, 1984. — С. 297—314.
- *Журавлёв В. Ф., Климов Д. М.* Прикладные методы в теории колебаний. — М.: Наука, 1988.
- *Сухоруков А. П.* Нелинейные волновые взаимодействия в оптике и радиофизике (<http://www.webcitation.org/6OoAwcru1>). — Москва: Наука, 1988. — 230 с. — ISBN 5-02-013842-8.
- *Брюно А. Д.* Ограниченная задача трёх тел. — М.: Наука, 1990.
- *Широносков В. Г.* Резонанс в физике, химии и биологии. — Ижевск: Издательский дом

«Удмуртский университет», 2000. — 92 с. (<http://ikar.udm.ru/sb/sb22.htm>)

- Резонанс (<http://musenc.ru/html/r/rezonans.html>) // Музыкальная энциклопедия. — М.: Советская энциклопедия, 1978. — Т. 4. — С. 585—586. — 976 с.

Ссылки

- Демонстрация явления резонанса на примере вынужденных колебаний пружинного маятника (<https://www.youtube.com/watch?feature=plpp&v=093CzGsstv0>)
-

Источник — <https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Резонанс&oldid=137350277>

Эта страница в последний раз была отредактирована 20 апреля 2024 в 11:00.

Текст доступен по лицензии Creative Commons «С указанием авторства — С сохранением условий» (CC BY-SA); в отдельных случаях могут действовать дополнительные условия.

Wikipedia® — зарегистрированный товарный знак некоммерческой организации «Фонд Викимедиа» (Wikimedia Foundation, Inc.)