



Разрушенный  
Египетский мост

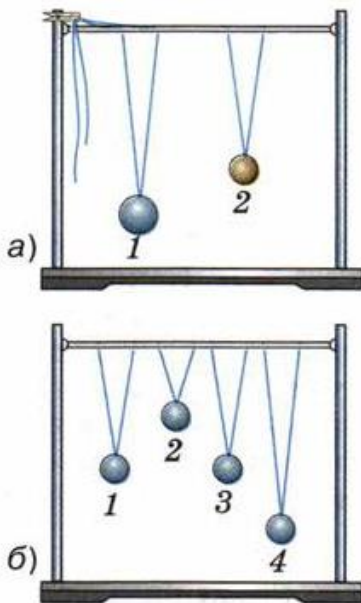
Приведём исторический факт, имеющий непосредственное отношение к теме данного параграфа.

В 1908 г. в Петербурге сильно раскачался и в результате этого обрушился так называемый Египетский мост через реку Фонтанку, когда по нему проходил маршевым шагом (т. е. «в ногу») кавалерийский эскадрон.

Почему именно в описанном случае вынужденные колебания моста достигли такой большой амплитуды? Можно ли было предотвратить аварию?

Для ответа на эти вопросы рассмотрим, как зависит *амплитуда вынужденных колебаний от частоты изменения вынуждающей силы*.

На рисунке 68, а изображены два маятника, висящие на общем шнуре. Длина маятника 2 неизменна, этой длине соответствует определённая частота свободных колебаний (т. е. собственная частота маятника). Длину маятника 1 можно менять, подтягивая свободные концы нитей. При изменении длины маятника 1 соответственно меняется его собственная частота.



**Рис. 68.** Демонстрации зависимости амплитуды вынужденных колебаний маятников от частоты изменения вынуждающей силы

Если отклонить маятник 1 от положения равновесия и предоставить его самому себе, то он будет совершать свободные колебания. Это вызовет колебания шнура, в результате чего на маятник 2 через его точки подвеса будет действовать вынуждающая сила, периодически меняющаяся по модулю и направлению с такой же частотой, с какой колеблется маятник 1. Под действием этой силы маятник 2 начнёт совершать вынужденные колебания.

Если постепенно уменьшать длину маятника 1, то частота его колебаний, а значит, и частота изменения вынуждающей силы, действующей на маятник 2, будет увеличиваться,



Египетский мост,  
построенный заново  
в 1954—1956 гг.

приближаясь к собственной частоте маятника 2. При этом амплитуда *установившихся вынужденных колебаний* маятника 2 будет возрастать. Она достигнет наибольшего значения, когда длины маятников сравняются, т. е. когда частота  $\nu$  вынуждающей силы совпадёт с собственной частотой  $\nu_0$  маятника 2. Маятники будут колебаться в одинаковых фазах.

Дальнейшее уменьшение длины маятника 1 приведёт к тому, что частота вынуждающей силы станет больше собственной частоты маятника 2. При этом амплитуда его колебаний начнёт уменьшаться.

На основании этого опыта можно сделать следующий вывод: амплитуда *установившихся вынужденных колебаний* достигает своего наибольшего значения при условии, что частота  $\nu$  вынуждающей силы равна собственной частоте  $\nu_0$  колебательной системы. В этом заключается явление, называемое *резонансом*.

Резонанс можно пронаблюдать также на опыте, показанном на рисунке 68, б. На нём изображены четыре маятника, подвешенные к общему шнуру. Маятники 1 и 3 имеют одинаковую длину. Под действием свободных колебаний маятника 3 остальные маятники совершают вынужденные колебания. При этом амплитуда колебаний маятника 1 значительно больше амплитуд маятников 2 и 4. В данном случае *маятник 1 колеблется в резонанс с маятником 3*.

Почему амплитуда установившихся колебаний, вызванных вынуждающей силой, достигает наибольшего значения именно при совпадении частоты изменения этой силы с собственной частотой колебательной системы? Дело в том, что в этом случае направление вынуждающей силы в любой момент времени совпадает с направлением движения колеблющегося

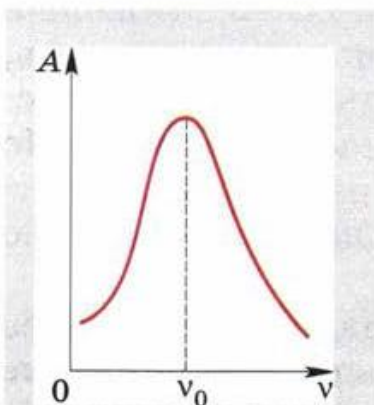


График зависимости  
амплитуды  
вынужденных  
колебаний от частоты  
вынуждающей силы



При подталкивании качелей в направлении их движения энергия колебательной системы пополняется

тела. Таким образом создаются наиболее благоприятные условия для пополнения энергии колебательной системы за счёт работы вынуждающей силы. Например, чтобы сильнее раскачать качели, мы подталкиваем их таким образом, чтобы направление действующей силы совпадало с направлением движения качелей.

Следует помнить, что понятие резонанса применимо только к вынужденным колебаниям.

Вернёмся теперь к случаю с обрушенным мостом. Очевидно, мост раскачался до большой амплитуды потому, что частота периодически действующей на него вынуждающей силы (ударов копыт идущих «в ногу» лошадей) случайно совпала с собственной частотой этого моста. Аварию можно было бы предотвратить, если бы перед входом на мост была отдана команда идти не «в ногу».

Резонанс играет большую роль в самых разнообразных явлениях, причём в одних — полезную, в других — вредную. Его необходимо учитывать, в частности, в тех случаях, когда с помощью наименьшей периодической силы нужно получить определённый размах вынужденных колебаний. Например, тяжёлый язык большого колокола можно раскачать, действуя сравнительно небольшой силой с частотой, равной собственной частоте языка. Но мы не достигнем желаемого результата, действуя не в резонанс, даже прикладывая большую силу.

Примерами вредного проявления резонанса могут служить слишком сильное раскачивание железнодорожного вагона при случайном совпадении его собственной частоты колебаний на рессорах с частотой ударов колёс на стыках рельсов, сильное раскачивание пароходов на волнах и многие другие явления.

В тех случаях, когда резонанс может нанести ущерб, принимают меры к тому, чтобы не допустить его возникновения. Например, многие заводские станки, отдельные части которых совершают периодические движения, устанавливаются на массивном фундаменте, препятствующем возникновению колебаний всего станка.

### Вопросы

**1.** С какой целью и как проводился опыт с двумя маятниками, изображённый на рисунке 68, *а*? **2.** В чём заключается явление, называемое резонансом? **3.** Какой из маятников, изображённых на рисунке 68, *б*, колеблется в резонанс с маятником 3? По каким признакам вы это определили? **4.** К каким колебаниям — свободным или вынужденным — применимо понятие резонанса? **5.** Приведите примеры, показывающие, что в одних случаях резонанс может быть полезным явлением, а в других — вредным.



### УПРАЖНЕНИЕ 26

1. Маятник 3 (см. рис. 68, *б*) совершает свободные колебания.
  - а) Какие колебания — свободные или вынужденные — будут совершать при этом маятники 1, 2 и 4?
  - б) Каковы собственные частоты маятников 1, 2 и 4 по сравнению с частотой колебаний маятника 3?
2. Вода, которую мальчик несёт в ведре, начинает сильно расплёскиваться. Мальчик меняет темп ходьбы (или просто «сбивает ногу»), и расплёскивание прекращается. Почему так происходит?
3. Собственная частота качелей равна 0,5 Гц. Через какие промежутки времени нужно подталкивать их, чтобы раскачать как можно сильнее, действуя относительно небольшой силой?