**Тема урока: Свободные колебания. Динамика свободных колебаний**

**1 Свободные колебания. Пружинный маятник**

***Свободные колебания*** совершаются под действием внутренних сил системы после того, как система была выведена из положения равновесия.

Амплитуда колебаний - это модуль максимального значения колеблющейся величины.

Период колебаний Т- это минимальный промежуток времени за который процесс полностью повторяется

Частота колебаний n - это число колебаний за единицу времени

Циклическая частота - это число колебаний за время равное 2п секунд

**Для того, чтобы свободные колебания совершались по гармоническому закону, необходимо, чтобы сила, стремящаяся возвратить тело в положение равновесия, была пропорциональна смещению тела из положения равновесия и направлена в сторону, противоположную смещению** ([см. §2.1](https://physics.ru/courses/op25part1/content/chapter2/section/paragraph1/theory.html)):

|  |
| --- |
| *F* (*t*) = *ma* (*t*) = –*m* ω2 *x* (*t*). |

В этом соотношении ω – круговая частота гармонических колебаний. Таким свойством обладает упругая сила в пределах применимости [закона Гука](https://physics.ru/courses/op25part1/content/chapter1/section/paragraph12/theory.html):

|  |
| --- |
| *F*упр = –*kx*. |

Силы любой другой физической природы, удовлетворяющие этому условию, называются ***квазиупругими***.

Таким образом, груз некоторой массы *m*, прикрепленный к пружине жесткости *k*, второй конец которой закреплен неподвижно (рис. 2.2.1), составляют систему, способную в отсутствие трения совершать свободные гармонические колебания. Груз на пружине называют ***линейным гармоническим осциллятором***.

|  |
| --- |
| https://physics.ru/courses/op25part1/content/chapter2/section/paragraph2/images/2-2-1.gif |
| Рисунок 2.2.1.  Колебания груза на пружине. Трения нет |

Круговая частота ω0 свободных колебаний груза на пружине находится из второго закона Ньютона:

|  |
| --- |
| https://physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980797085-1.gif |

откуда

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | https://physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980797085-2.gif | |

Частота ω0 называется ***собственной частотой*** колебательной системы.

Период *T* гармонических колебаний груза на пружине равен

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | https://physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980797105-3.gif | |

При горизонтальном расположении системы пружина–груз сила тяжести, приложенная к грузу, компенсируется силой реакции опоры. Если же груз подвешен на пружине, то сила тяжести направлена по линии движения груза. В положении равновесия пружина растянута на величину *x*0, равную

|  |
| --- |
| https://physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980797115-4.gif |

и колебания совершаются около этого нового положения равновесия. Приведенные выше выражения для собственной частоты ω0 и периода колебаний *T* справедливы и в этом случае.

Строгое описание поведения колебательной системы может быть дано, если принять во внимание математическую связь между ускорением тела *a* и координатой *x*: **ускорение является второй производной координаты тела *x* по времени *t***:

|  |
| --- |
| https://physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980797155-5.gif |

Поэтому второй закон Ньютона для груза на пружине может быть записан в виде

|  |
| --- |
| https://physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980797165-6.gif |

или

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | --- | | https://physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980797165-7.gif | | (\*) |

где https://physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980797175-8.gif

Все физические системы (не только механические), описываемые уравнением (\*), способны совершать свободные гармонические колебания, так как решением этого уравнения являются гармонические функции вида

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | *x* = *x*m cos (ω*t* + φ0). | |

Уравнение (\*) называется ***уравнением свободных колебаний***. Следует обратить внимание на то, что физические свойства колебательной системы **определяют только собственную частоту колебаний ω0 или период *T***. Такие параметры колебательного процесса, как амплитуда *x*m и начальная фаза φ0, определяются способом, с помощью которого система была выведена из состояния равновесия в начальный момент времени.

Если, например, груз был смещен из положения равновесия на расстояние Δ*l* и затем в момент времени *t* = 0 отпущен без начальной скорости, то *x*m = Δ*l*, φ0 = 0.

Если же грузу, находившемуся в положении равновесия, с помощью резкого толчка была сообщена начальная скорость https://physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980797235-9.gif то , https://physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980797235-11.gif

|  |  |
| --- | --- |
| Таким образом, амплитуда *x*m свободных колебаний и его начальная фаза φ0 определяются ***начальными условиями***. | |
|  |
|  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |
| --- |
|  |

2 Математический маятник

Математическим маятником называют тело небольших размеров, подвешенное на тонкой нерастяжимой нити, масса которой пренебрежимо мала по сравнению с массой тела. В положении равновесия, когда маятник висит по отвесу, сила тяжести уравновешивается силой натяжения нити При отклонении маятника из положения равновесия на некоторый угол φ появляется касательная составляющая силы тяжести Fτ = –mgsin φ (рис. 2.3.1). Знак «минус» в этой формуле означает, что касательная составляющая направлена в сторону, противоположную отклонению маятника.

Рисунок 2.3.1.

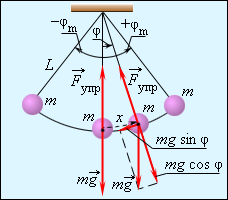


Рисунок 2.3.1.

Математический маятник. φ – угловое отклонение маятника от положения равновесия, x = lφ – смещение маятника по дуге

Математический маятник. φ – угловое отклонение маятника от положения равновесия, x = lφ – смещение маятника по дуге

Если обозначить через x линейное смещение маятника от положения равновесия по дуге окружности радиуса l, то его угловое смещение будет равно φ = x / l. Второй закон Ньютона, записанный для проекций векторов ускорения и силы на направление касательной, дает:

Это соотношение показывает, что математический маятник представляет собой сложную нелинейную систему, так как сила, стремящаяся вернуть маятник в положение равновесия, пропорциональна не смещению x, а

Только в случае малых колебаний, когда приближенно можно заменить на математический маятник является гармоническим осциллятором, т. е. системой, способной совершать гармонические колебания. Практически такое приближение справедливо для углов порядка 15–20°; при этом величина отличается от не более чем на 2 %. Колебания маятника при больших амплитудах не являются гармоническими.

Для малых колебаний математического маятника второй закон Ньютона записывается в виде

https://physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980799067-9.gif

Таким образом, тангенциальное ускорение aτ маятника пропорционально его смещению x, взятому с обратным знаком. Это как раз то условие, при котором система является гармоническим осциллятором. По общему правилу для всех систем, способных совершать свободные гармонические колебания, модуль коэффициента пропорциональности между ускорением и смещением из положения равновесия равен квадрату круговой частоты:

https://physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980799077-10.gif

Эта формула выражает собственную частоту малых колебаний математического маятника.

Следовательно,

https://physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980799077-11.gif

Закрепление:

1 Что называют свободными колебаниями?

2 Перечислить основные характеристики свободных колебаний?

3 Что называют пружинным маятником?

4 Чему равен период пружинного маятника?

5 Что называют математическим маятником?

6 Чему равен период математического маятника?

Ответы на домашнее задание оставьте на моей электронной почте [leyla.alkhuvatova@mail.ru](mailto:leyla.alkhuvatova@mail.ru) Пишите ответы указав дату дня и свои инициалы!