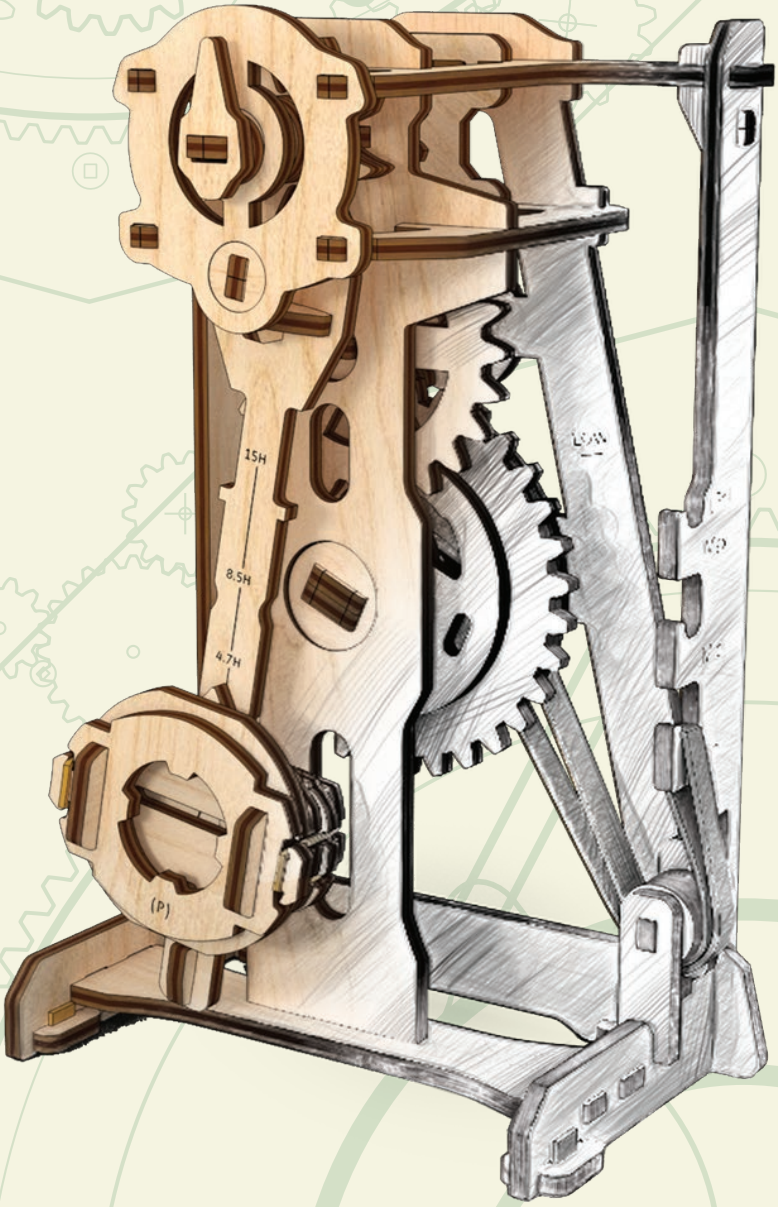
STEM LAB by UGEARS

МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

МАЯТНИК



Справочник юного механика

§1 Вступление

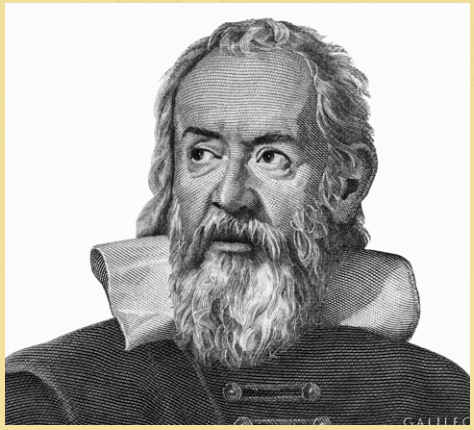
Петер Хенляйн
Родился: 1479 г. Нюрнберг, Германия
Изобретатель карманных часов.

Как молодой юноша раскачал мир

Жизнь современного человека невозможно представить без часов. Наверняка каждый из вас когда-нибудь задумывался, как устроен старый будильник, и хотя бы раз пытался починить или разобрать ходики. Сколько же внутри различных винтиков, зубчатых колес, пружинок. Разберешь часы — и вот на столе множество различных мелких деталей.

Какая же из них самая главная? В самом начале XVI века нюрнбергский слесарь Питер Хенлейн создал часы, которые состояли только из зубчатых колес и заводной пружины. Устройство было очень простым, но точность таких часов не превышала 1/2 часа за сутки. Кроме того, они то спешили, то отставали. Ход их зависел от многих причин, и в первую очередь, от натяжения пружины и трения в зубчатых колесах. Часам тех времен не хватало регулятора хода, не хватало «сердца». «Сердце» в часы вложили великие ученые XVII века Галилео Галилей и Христиан Гюйгенс.

Галиле́о Галиле́й
Родился: 15 февраля 1564 г., Пиза, Италия
Итальянский физик, механик, астроном, философ, математик, оказавший значительное влияние на науку своего времени. Он первым использовал телескоп для наблюдения небесных тел и сделал ряд выдающихся астрономических открытий. Галилей — основатель экспериментальной физики. Своими экспериментами он убедительно опроверг умозрительную метафизику Аристотеля и заложил фундамент классической механики.



Христиа́н Гю́йгенс ван Зёйлихем
Родился: 14 апреля 1629 г., Гаага, Нидерланды
Нидерландский механик, физик, математик, астроном и изобретатель. Первый иностранный член Лондонского королевского общества, член Французской академии наук с момента её основания и её первый президент. Один из основоположников теоретической механики и теории вероятностей

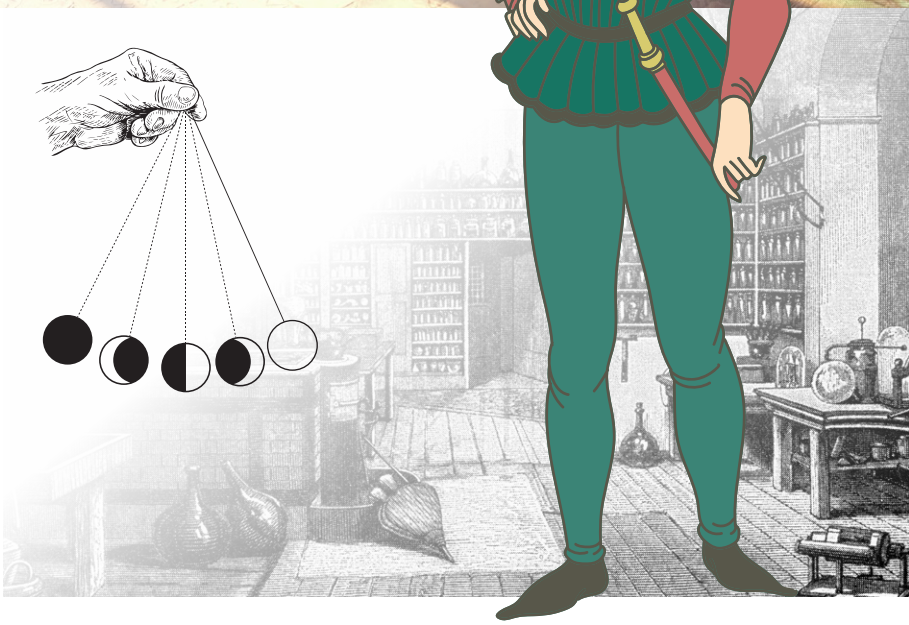
§2 Историческая справка

Arched windows in the building near Pisa tower (Italy)

Все началось с маятника. Считается, что он был изобретен в городе Пиза

Девятнадцатилетний юноша Галилей в 1584 году учился на медицинском факультете и был обязан посещать богослужения в Пизанском соборе.

Согласно приданию, однажды его заинтересовало интересное явление – огромные бронзовые люстры, подвешенные на длинных цепях к потолку здания, раскачивались от ветра с одинаковой продолжительностью размаха, хотя при этом амплитуда* становилась все меньше и меньше. Так как точных приборов для измерения времени тогда ещё не существовало, юноша нашел другой выход: стал измерять время размаха люстры ударами собственного пульса. Считая пульс в течение каждого размаха люстры, юный исследователь вскоре убедился: когда колебания люстры затухали, то есть размах становился меньше, продолжительность их не менялась. Вернувшись домой, Галилей первым делом решил провести эксперимент: стал раскачивать разные предметы, попадавшиеся ему под руку, например, ключ от двери, камешки, пустую чернильницу и другие, пытаясь имитировать колебания люстры. В итоге он смастерил простейший маятник – небольшой грузик, подвешенный на тонкой нитке. Отведенная в сторону и затем отпущенная гирька долго совершала колебательное движение.



У исследователя сразу же возник вопрос: как влияют на период размаха маятника длина подвеса гирьки и ее вес? Удлиняя нить маятника, он установил, что колебания его замедляются. Маятник, имеющий длину нити 100 см, колебался с периодом около 2 сек. Если длина подвески увеличивалась вчетверо и составляла 400 см, то период качания маятника становился равным 4 сек. То есть, с увеличением длины маятника вчетверо, он колеблется в два раза медленнее. При увеличении длины маятника в девять раз, его период, то есть продолжительность одного полного колебания, увеличивалась в три раза. При этом размах колебаний маятника не имел никакого значения. Когда же Галилей попробовал определить влияние веса маятника на период колебаний, результат наблюдений оказался самым неожиданным: гирька и легкая пробка на нитях равной длины колебались так же дружно, как двигаются ноги марширующих солдат. Вес маятника, как оказалось, вовсе не влияет на период его колебаний.

*Амплитуда- для механического колебания тела, максимальное значение отклонения от положения равновесия.

В результате исследований ученый установил главный закон колебания маятника — независимость периода колебания при малых амплитудах.

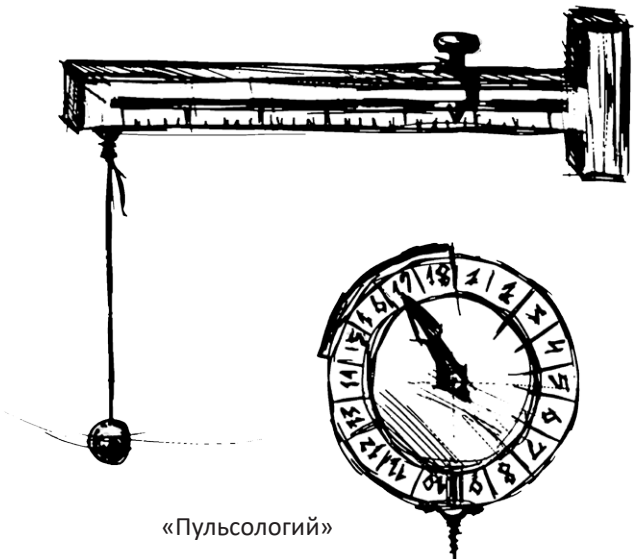
В итоге Галилей пришел к выводу, что его открытие может пригодиться врачам, чтобы считать пульс. Соединив маятник с обычным счетчиком, молодой ученый изобрел прибор который назвал «Пульсологий».

Отсчёт времени он по-прежнему вёл по собственному пульсу

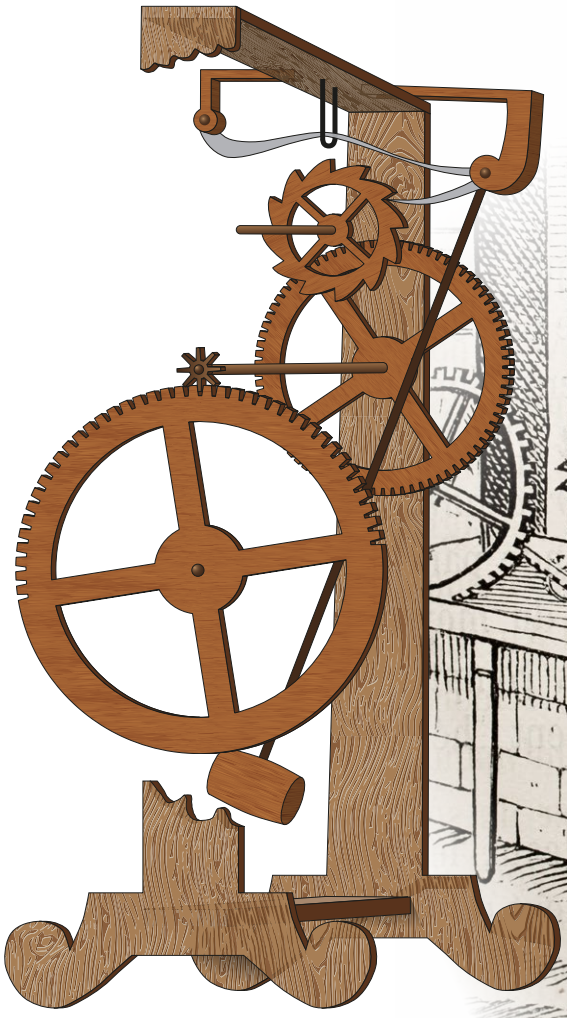
Можно предположить, что Галилей неоднократно размышлял над тем, как применить маятник для создания точных часов, но к разработке механизма приступил только в возрасте более 70 лет, уже после того как ослеп.

По указаниям Галилея, разработку часов продолжили его сын Винченцо и ученик Вивиани, но неизвестно, удалось ли им изготовить часы - остались только чертежи, на основе которых впоследствии изготовили модель часов.

Спусковой механизм часов Галилея состоял из двух скоб, закреплённых на оси маятника, храпового колеса со штифтами и пружины со штифтом, которая в разогнутом состоянии не давала колесу возвращаться.



«Пульсологий»



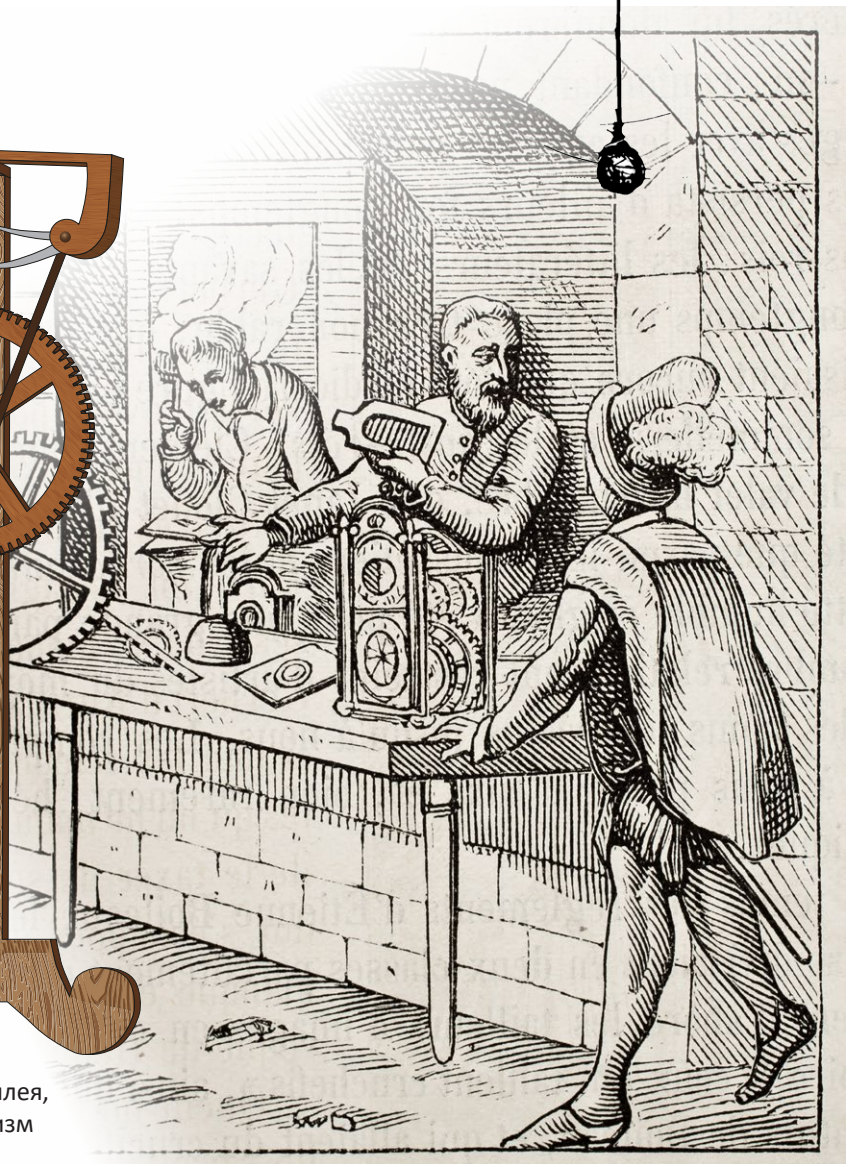
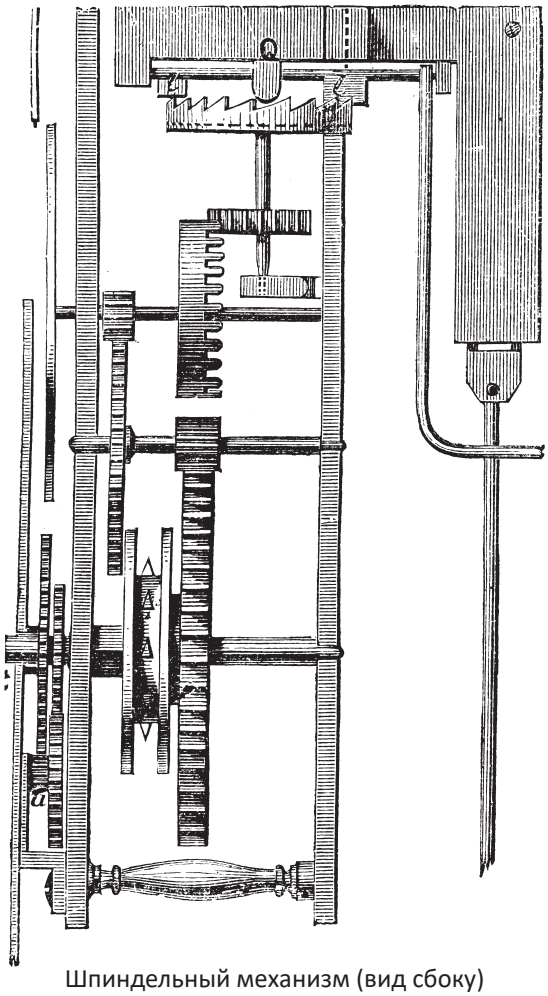


Рисунок маятниковых часов Галилея, включающих спусковой механизм (прибл.1637г.)

Старые часы
со шпиндельным механизмом

Его величество Механические Часы!

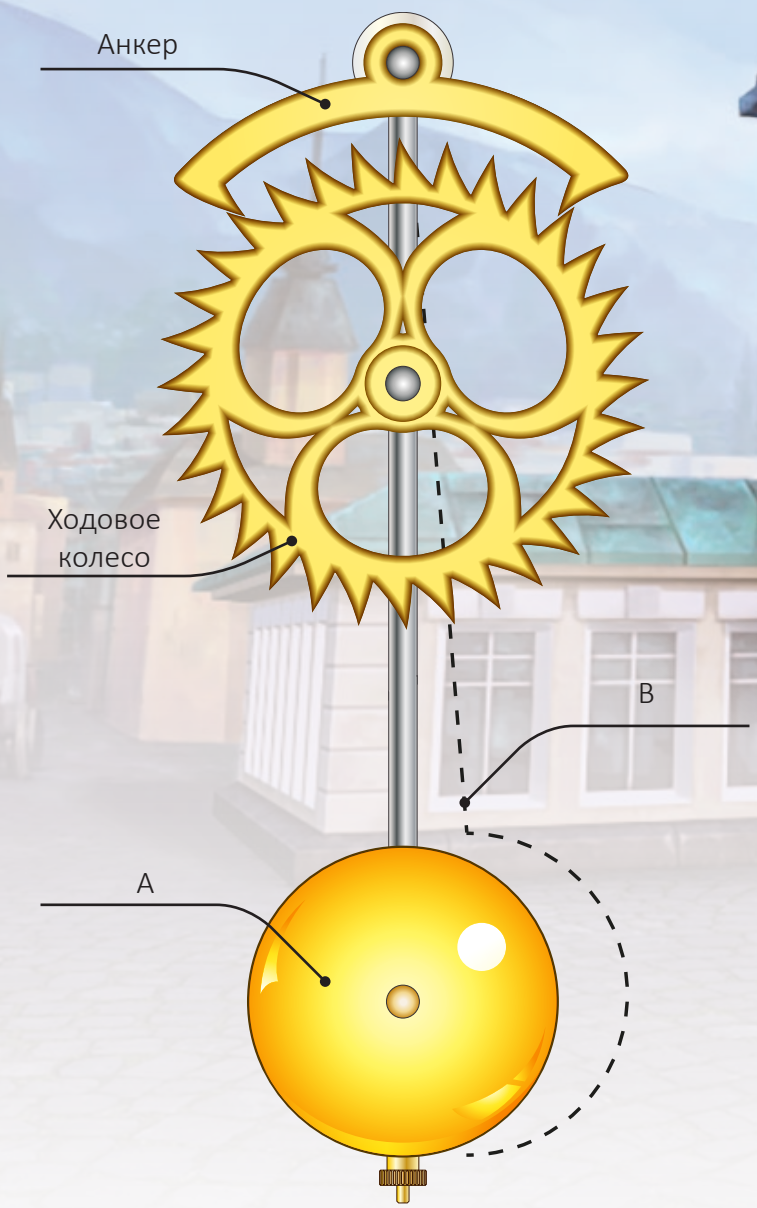
В 1657 году Христиа́н Гю́йгенс издал описание устройства изобретённых им часов с маятником. Часы Гюйгенса обладали хорошей точностью, и учёный далее неоднократно, на протяжении почти 40 лет, обращался к своему изобретению, совершенствуя его и изучая свойства маятника. В своих часах Гюйгенс использовал шпиндельный механизм, который был не таким совершенным, как механизм Галилея. В частности, он мог работать только в случае применения маятника с большой амплитудой колебаний. Добиться стабильного хода часов с большой амплитудой колебаний маятника, которая необходима для работы шпиндельного механизма, было невозможно. Это заставило мастеров искать способы использования колебаний с малой амплитудой. Таким средством стал анкерный механизм.



Шпиндельный механизм (вид сбоку)

Анкерный механизм

Колесо с косыми зубьями (его ещё называют ходовым колесом) жёстко скреплено с зубчатым барабаном, через который перекинута цепь с гирей. К маятнику приделана перекладина (анкер), на концах которой укреплены пластинки, изогнутые по окружности с центром на оси маятника. Изобретение в 1670 году анкерного спускового механизма, приписывают Роберту Гуку.



Шпиндельный механизм (фронтальный вид)

Анкер даёт возможность ходовому колесу провернуться только на один зуб за каждую ½ периода маятника. А – вилка маятника до поворота на один зуб, В - вилка маятника после поворота на один зуб.

Первые часы с анкерным механизмом были изготовлены английским часовщиком Уильямом Клементом в 1671 году, оспаривавшим приоритет изобретения анкерного механизма у Роберта Гука.

А усовершенствовал анкерный механизм в 1715 году англичанин Джордж Грэхем, который изобрёл анкерный механизм, имеющий значительно меньшие потери энергии, чем механизм Клемента. Использование нового механизма позволило Грэхему создать часы, точность хода которых достигала 0,1 секунды. Механизм Грэхема применяли почти двести лет, вплоть до 1890 года.

Конечно, история развития часов не остановилась на Джордже Грэхеме – другие мастера тоже совершенствовали механизмы (только анкерных механизмов было изобретено более двухсот!).

В XIX веке появились электрические часы, в которых колебаниями маятника руководит электрическая схема, в середине XX века пришли электронные часы, в основе которых – подсчет числа колебаний кварцевого резонатора в электронной схеме.

Сегодня механические маятниковые часы по точности не могут конкурировать с электронными как приборы для измерения времени. Но они сохраняют эстетическую ценность, и их история, как часть истории человеческой цивилизации, всегда будет оставаться источником вдохновляющих примеров.

§3 Что это за механизм и где применяется

Метроно́м (от греч. μέτρον «мера» + νόμος «закон») — прибор, отмечающий короткие промежутки времени равномерными ударами. В основном используется музыкантами как точный ориентир темпа при исполнении музыкального произведения на репетиции. В последние десятилетия также иногда используется во время концертных выступлений — например, для синхронизации с одновременно звучащей записью или электронными инструментами.

"Музыкальные хронометры" появились в конце XVII века. Наиболее удачным стал метроном венского музыкаль¬ного мастера И. Н. Мельцеля, созданный в 1810-е гг. Стук этого метронома обыграл Людвиг ван Бетховен во второй части Восьмой симфонии (1812 г.).

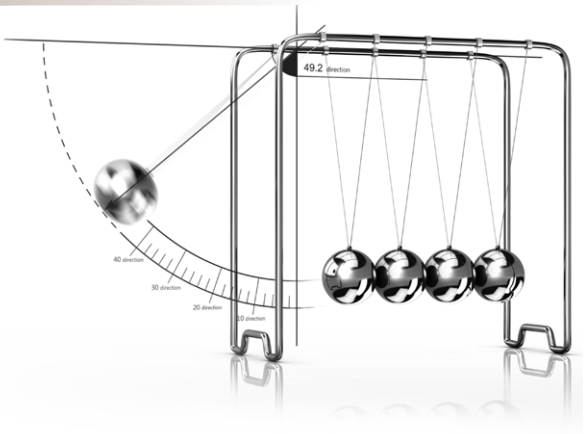
Обычно метроном состоит из деревянного корпуса пирамидальной формы, одна из граней которого срезана; на этом срезе находится маятник с грузиком. Позиция грузика влияет на частоту ударов метронома: чем выше грузик, тем реже удары, и, соответственно, чем грузик ниже, тем удары чаще. За маятником расположена шкала, по которой устанавливается частота ударов.

Кроме механических, существуют и электронные метрономы. Для удобства они часто совмещаются в одном корпусе с тюнерами.

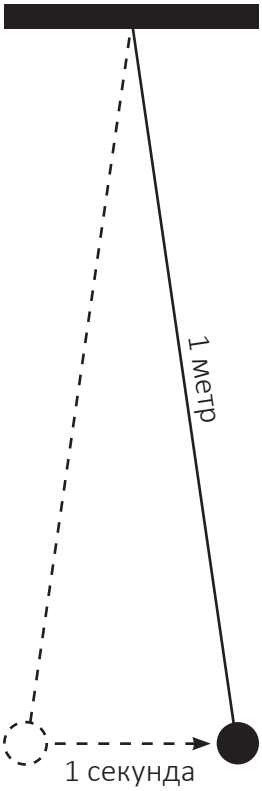
Также метроном может использоваться во время физических упражнений, лабораторных исследований, в качестве музыкального инструмента («Симфоническая поэма для 100 метрономов» Дьёрдя Лигети, Сюита из музыки к фильму «Мёртвые души» Альфреда Шнитке).

Механический метроном

Колыбе́ль Ньютона (маятник Ньютона) — названная в честь Исаака Ньютона механическая система, предназначенная для демонстрации преобразования энергии различных видов друг в друга: кинетической в потенциальную и наоборот. В отсутствие противодействующих сил (трения) система могла бы действовать вечно, но в реальности это недостижимо.



Секундный маятник — маятник, период колебаний которого составляет точно 2 секунды; одна секунда для отклонения от одного крайнего положения до другого и одна секунда для возвращения обратно. Частота такого маятника составляет ½ Гц*



Груз маятника подвешен на оси так, что он может свободно качаться. Колебания маятника совершаются под действием силы тяжести, силы упругости и силы трения.

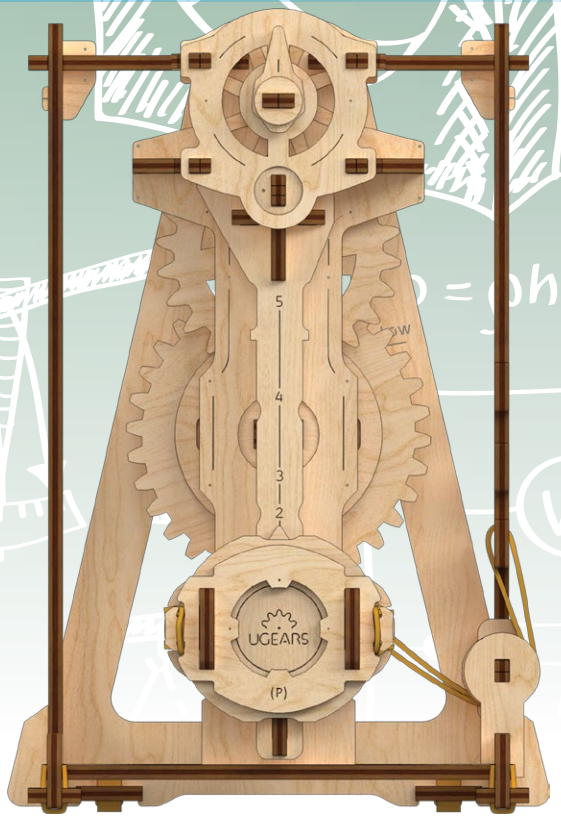
Во многих случаях силой трения можно пренебречь, а от сил упругости (либо сил тяжести) абстрагироваться, заменив их связями. После того как маятник смещается в сторону от положения равновесия, благодаря силе земного притяжения он возвращается обратно к положению равновесия. Время одного полного цикла качания маятника, то есть время, затрачиваемое маятником на движение от одного крайнего положения до возврата в то же положение, называется периодом колебаний.

Длительность периода качания маятника зависит от его длины, а также, в незначительной степени, от распределения груза (расположение момента инерции относительно собственного центра масс) и амплитуды (размаха) качания маятника.

Механи́ческие часы́ — часы, использующие маятник, который периодом колебаний измеряет время в течение суток, месяца, года и который приводится в движение гиревым, пружинным или электрическим источником энергии с электромеханическим преобразователем. В качестве меры времени используются инерционные свойства колебательной системы в виде классического и пружинного маятника, при регулировании длинного маятника или спиральной пружины в виде балансового регулятора (+/-).

* Частота 1Гц означает- одно колебание в секунду

§4 Физика и механика на примере STEM-модели «Маятник»



Основные термины и понятия

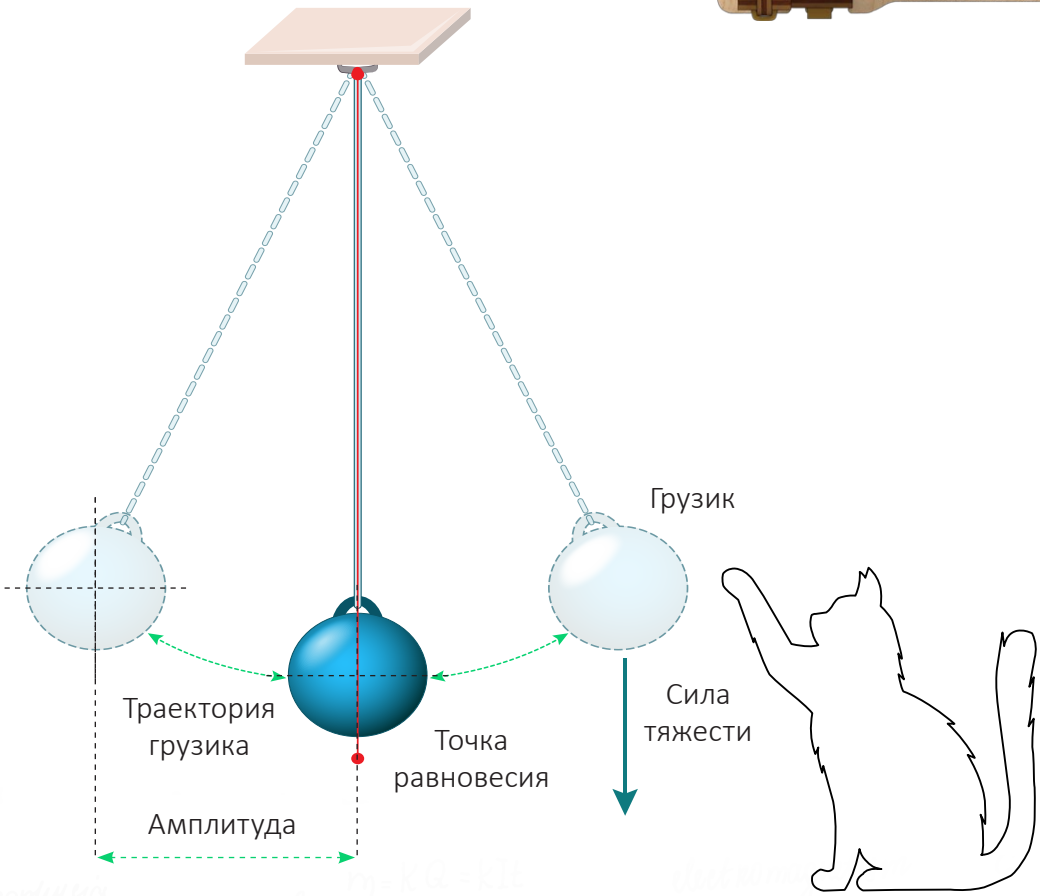
Колебания — Один из видов движения, которые точно или приблизительно повторяются через определённые интервалы времени.

Колебания бывают механические, электромагнитные, химические, термодинамические и различные другие. Несмотря на такое разнообразие, все они имеют между собой много общего и поэтому описываются одними и теми же уравнениями.

Чтобы тело совершало свободные колебания, необходимо вывести его из состояния равновесия.

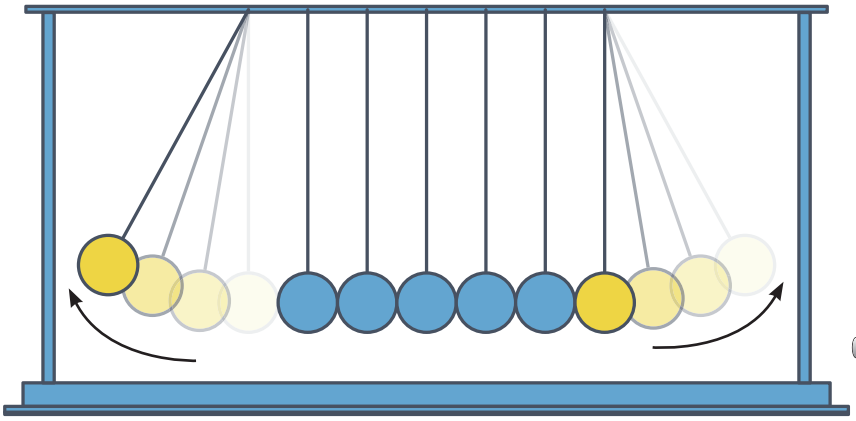
Рассмотрим основные типы колебаний:

Вынужденными колебаниями называются колебания, происходящие под действием внешней периодической силы. При установившихся вынужденных колебаниях частота колебаний всегда равна частоте внешней Периодически действующей силы.

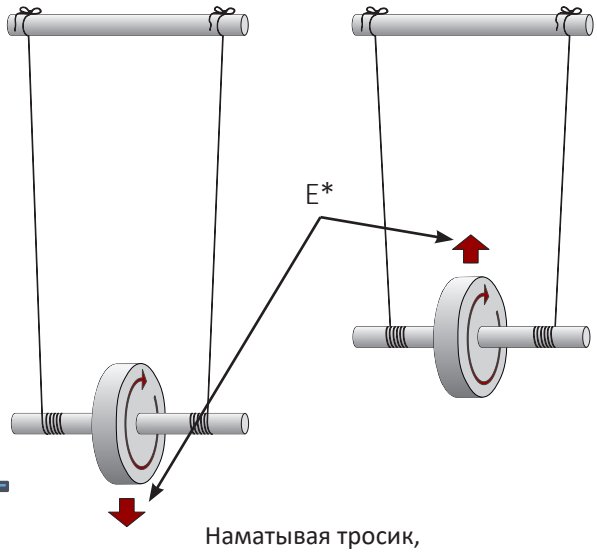


Кот вынуждает «колебаться» маятник

Свободными колебаниями называются колебания, происходящие благодаря начальному запасу энергии, приданному колеблющемуся телу.

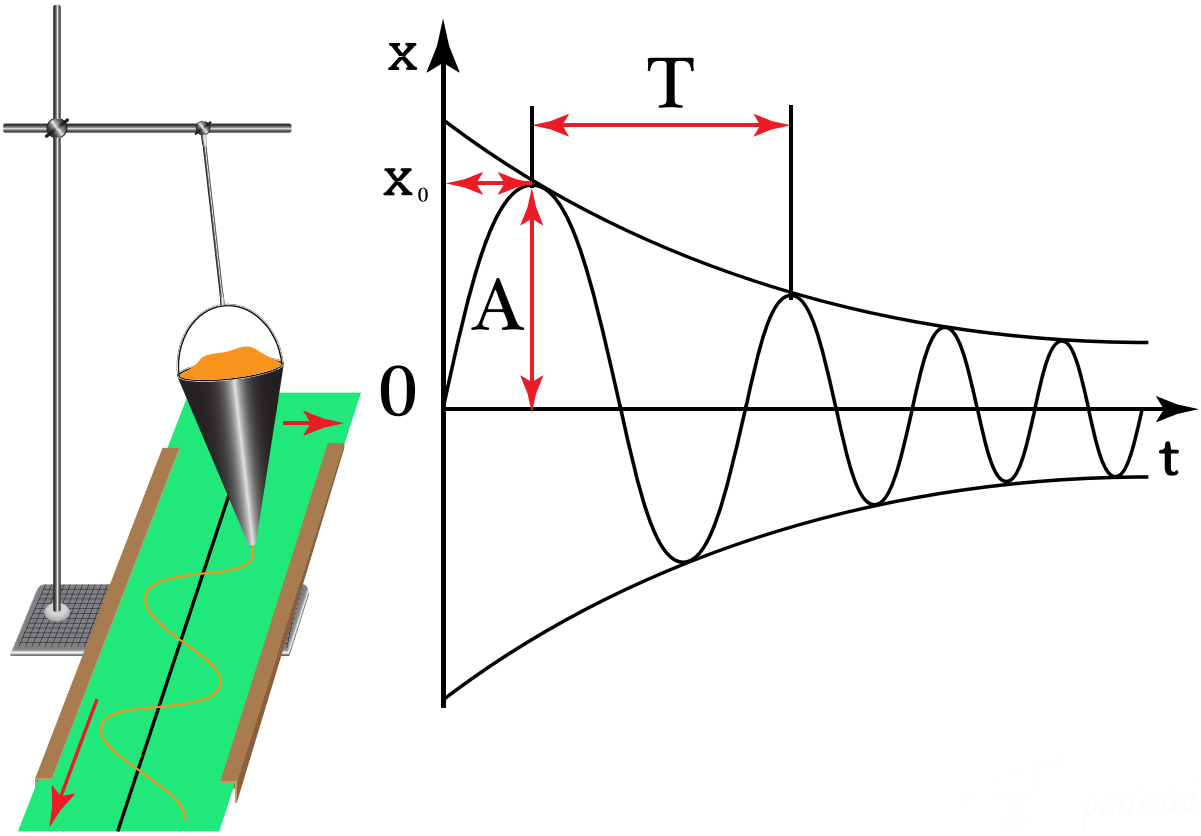


Отклоняясь, шарик накапливает энергию



Наматывая тросик,
диск маятника накапливает энергию.

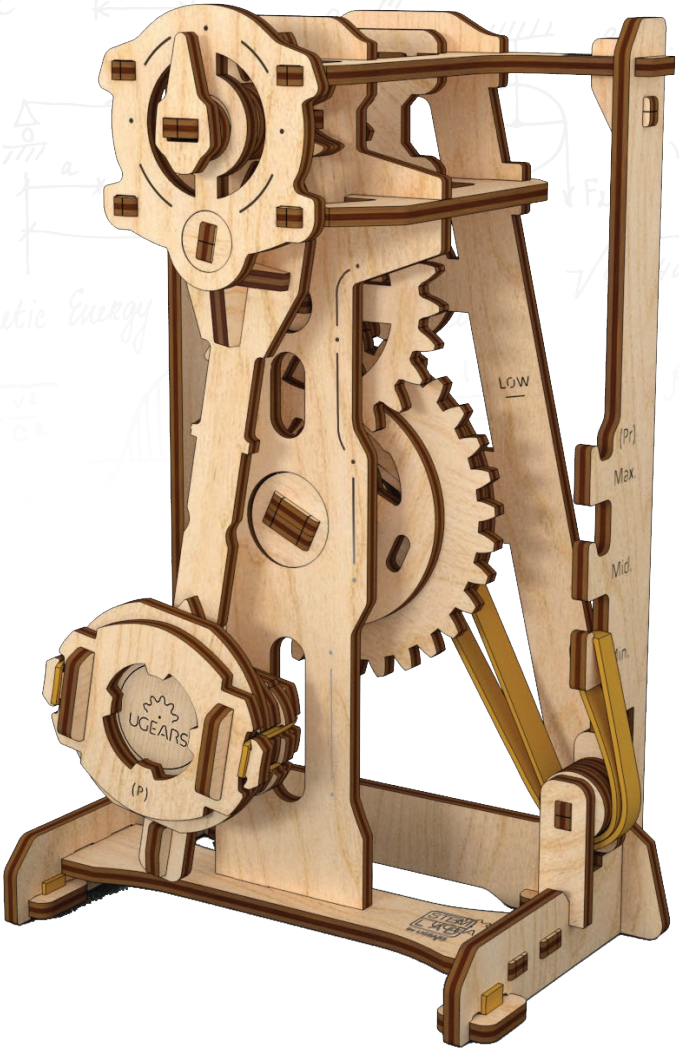
Затухающими называются **колебания**, энергия и амплитуда которых уменьшается с течением времени. Затухание свободных механических колебаний связано с убыванием механической энергии за счет действия сил сопротивления и трения.



Где:
A- амплитуда колебаний.
T- период колебаний
t- шкала времени
x_0- значение амплитуды

* E – накапливаемая энергия

Автоколебания – колебания, которые возникают не за счет периодического внешнего воздействия, а в результате имеющейся у таких систем способности самой регулировать поступление энергии от постоянного источника.



В автоколебательной системе можно выделить три характерных элемента – колебательная система, источник энергии и устройство обратной связи между колебательной системой и источником.

В качестве колебательной системы может быть использована любая механическая система, способная совершать собственные затухающие колебания (например, маятник настенных часов).

Собранная Вами модель относится к классу автоколебательных систем.

Источником энергии может служить энергия деформация пружины или потенциальная энергия груза в поле тяжести.

В нашем случае – это энергия натянутой резинки

Величины которые характеризует колебания:

Одно полное колебание произошло, если тело возвратилось в начальное положение и начало новый колебательный цикл в первоначальном направлении. Колебательное движение периодично, и его характеризуют:

1. период колебаний;
2. частота.

Период колебаний — время, за которое тело совершает одно полное колебание.
Период колебаний обозначается буквой T и измеряется в секундах.
Период колебаний вычисляется по формуле:

$$T = \frac{t}{N}$$

Где:
t — время движения;
n — число колебаний.

Частота колебаний — число полных колебаний тела за одну секунду.
Частота измеряется в герцах (Гц) и обозначается греческой буквой ν (читается «ню»).
Частота вычисляется по формуле

$$\nu = \frac{N}{t}$$

Где:
n — число колебаний;
t — время движения.
Гц – это одно колебание в секунду. Примерно с такой частотой бьется человеческое сердце. Слово «герц» по-немецки означает «сердце».

Период и частота колебаний связаны между собой обратно пропорциональной зависимостью:

$$T = \frac{l}{\nu}$$

Единица измерения названа так в честь известного немецкого физика Генриха Герца (1857...1894).

Основные типы энергии, встречаемые при колебательных движениях:

Амплитуда - А - Размах колебания, наибольшее отклонение колеблющегося тела от положения равновесия. Смотри иллюстрацию ниже - «Преобразование энергии в маятнике».

Энергия - Е - одно из основных свойств материи - мера её движения, а также способность производить работу.
Каждое тело в любом его состоянии может обладать одновременно различными видами энергии, в том числе тепловой, механической, электрической, химической, внутриядерной, а также потенциальной энергией различных физических полей (гравитационного, магнитного, электрического). Сумма всех видов энергии, которыми обладает тело, представляет собой полную его энергию.

Кинетическая энергия – E(k) - энергия, которой обладают только движущиеся тела, называют **кинетической** энергией. Если тело находится в состоянии покоя, его **кинетическая энергия** равна нулю. **Кинетическая энергия** тела (Екин) зависит от массы тела (m) и от скорости его движения (υ).

Потенциальной энергией - E(p) - называют энергию, которая определяется взаимным положением взаимодействующих тел или частей одного и того же тела. То есть, если тело поднято над землей, то оно обладает возможностью падая, произвести какую-либо работу.
Потенциальная энергия – зависит от высоты на которое поднято тело по отношению к плоскости над которой оно поднято.

Полная механическая энергия - Е - это сумма потенциальной и кинетической энергий.

$$E=E_{(k)}+E_{(p)}$$

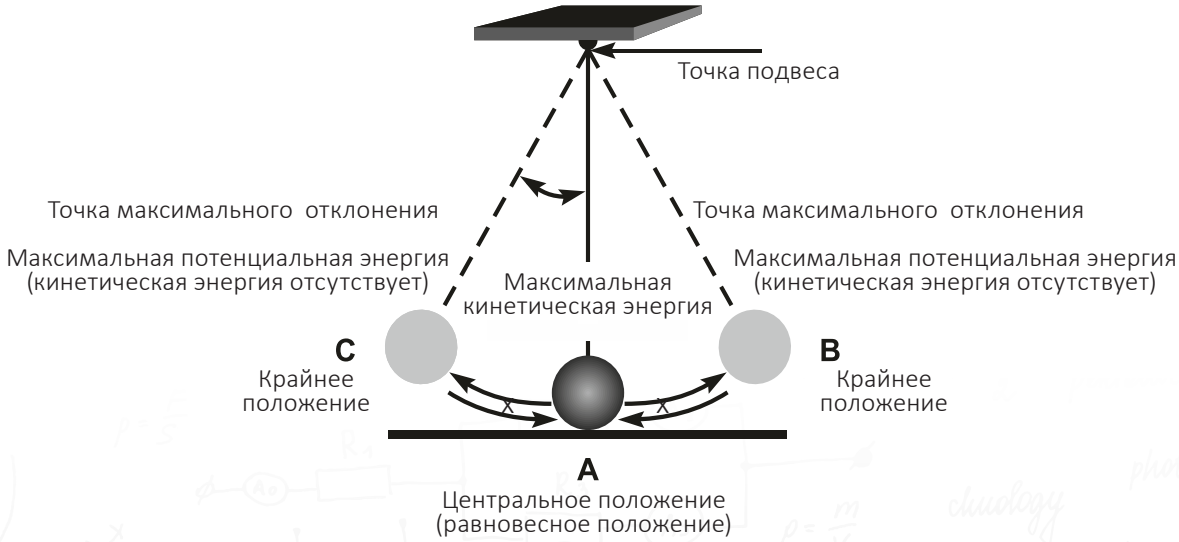
Преобразование энергии при колебательном движении

Колебания маятника возможны благодаря начальному запасу механической энергии, которая придается ему при выведении из положения равновесия.

При колебаниях маятника:

- в положении равновесия (А) скорость и, следовательно, кинетическая энергия тела максимальны.
- потенциальная энергия маятника максимальна, когда кинетическая энергия (скорость) равна нулю.

При движении маятника из положения равновесия в положение с максимальным смещением (точки С и В) кинетическая энергия превращается в потенциальную энергию. При перемещении из положения с максимальным смещением в положение равновесия потенциальная энергия переходит в кинетическую.



«Преобразование энергии в маятнике».

Смещение (x) - отклонение колеблющейся точки от положения равновесия в данный момент времени [м].

§5 Как устроен и как работает механизм

ПРИНЦИП РАБОТЫ

Примером механической автоколебательной системы может служить часовой механизм с анкерным ходом (рис. «Маятник с анкерным механизмом»)

Ходовое колесо с косыми зубьями (A) жестко скреплено с зубчатым барабаном (B), усилие на который передается от резинки (C). Верхушка маятника представляет собой «анкер»- якорь (D).

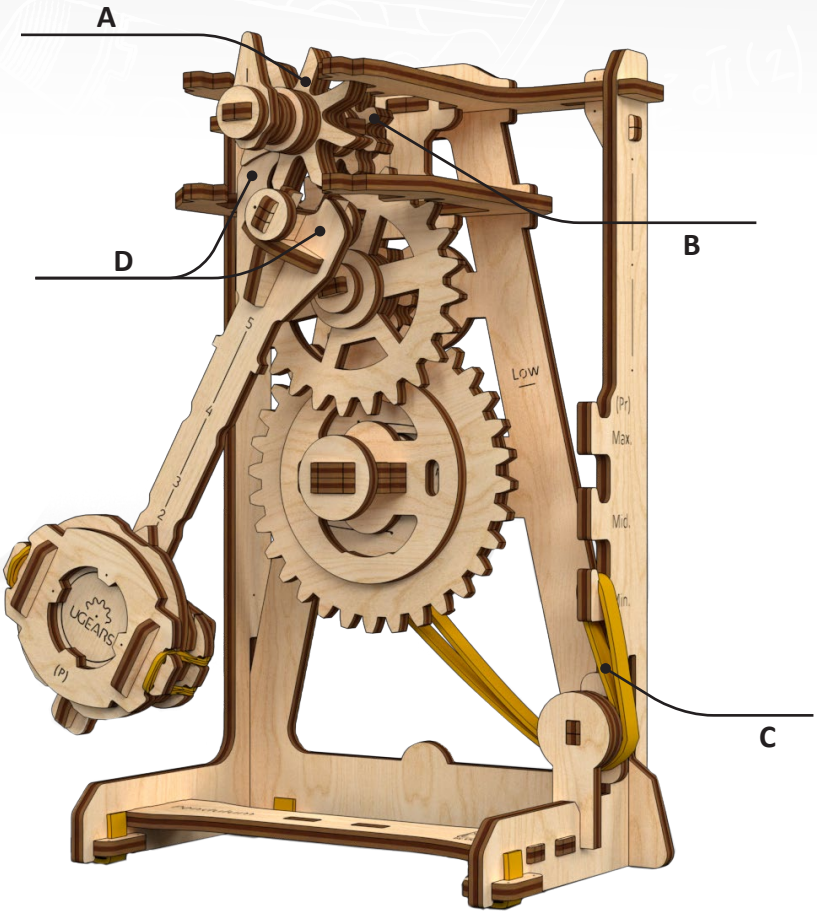
В настенных, напольных и башенных ручных часах применяется гиря в качестве источника энергии. В наручных часах (а раньше в карманных часах) источником энергии служит пружина, а маятником – балансир (E)– маховик, скрепленный со спиральной пружиной (F).

Балансир совершает крутильные колебания вокруг своей оси.

Колебательной системой в часах является маятник или балансир. Источником энергии – поднятая вверх гиря или заведенная пружина. Устройством, с помощью которого осуществляется обратная связь, является анкер, позволяющий ходовому колесу повернуться на один зубец за один полупериод.

Обратная связь осуществляется взаимодействием анкера с ходовым колесом. При каждом колебании маятника зубец ходового колеса толкает анкерную вилку в направлении движения маятника, передавая ему некоторую порцию энергии, которая компенсирует потери энергии на трение. Таким образом, потенциальная энергия гири (или закрученной пружины) постепенно, отдельными порциями передается маятнику.

Механические автоколебательные системы широко распространены в окружающей нас жизни и в технике. Автоколебания совершают паровые машины, двигатели внутреннего сгорания, электрические звонки, струны смычковых музыкальных инструментов, воздушные столбы в трубах духовых инструментов, голосовые связки при разговоре или пении и т. д.



Маятник с анкерным механизмом

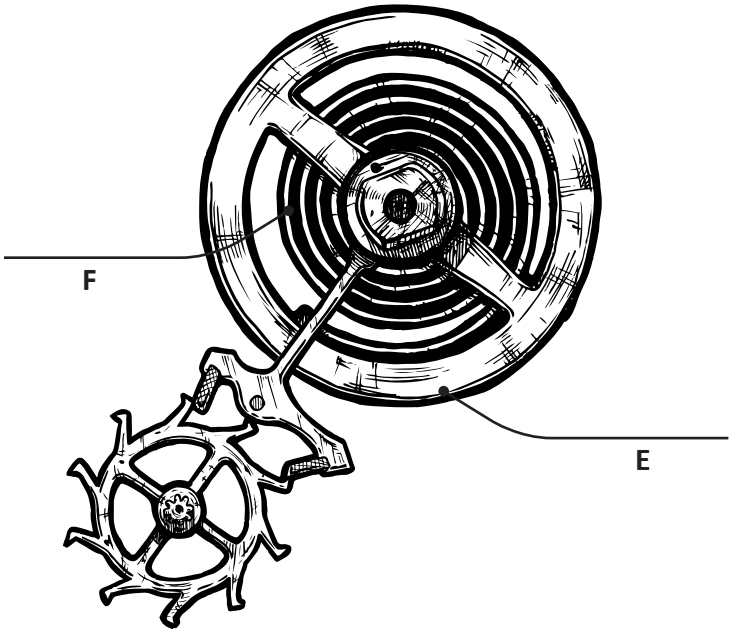
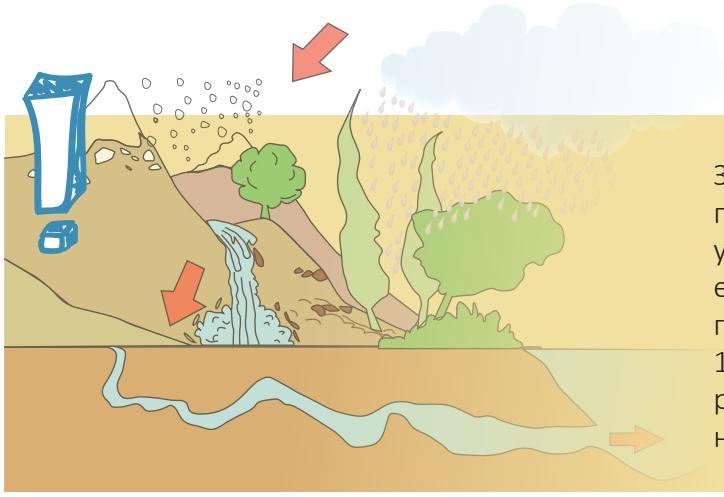


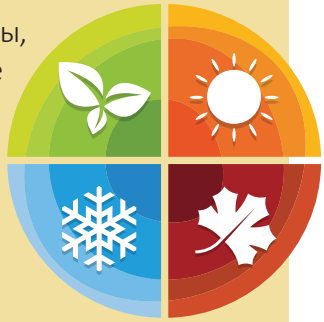
Рисунок 4. Часовой механизм с маятником

ИНТЕРЕСНЫЕ ФАКТЫ

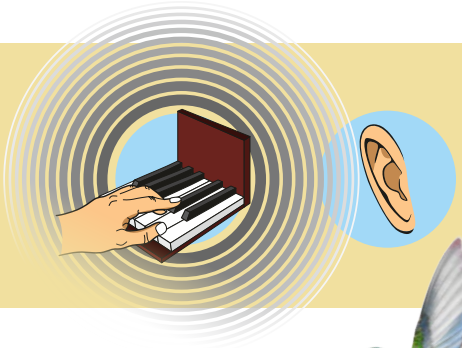
Колебания – один из самых распространенных процессов в природе и технике.
Колеблются крылья насекомых и птиц в полете, высотные здания и высоковольтные провода под действием ветра, маятник заведенных часов и автомобиль на рессорах во время движения, уровень реки в течение года и температура человеческого тела при болезни.

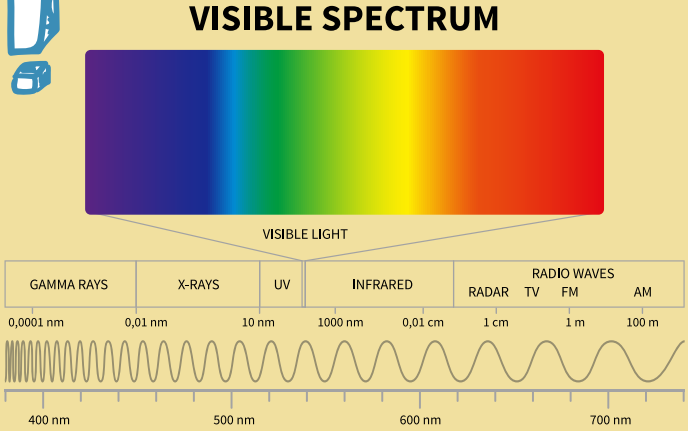


Землетрясения – колебания почвы, приливы и отливы – изменение уровня морей и океанов, вызываемое притяжением Луны и достигающее в некоторых местностях 18 метров, биение пульса – периодические сокращения сердечной мышцы человека и т.д.



Звук – это колебания плотности и давления воздуха, радиоволны – периодические изменения напряженностей электрического и магнитного полей, видимый свет – тоже электромагнитные колебания, только с несколько иными длиной волны и частотой.



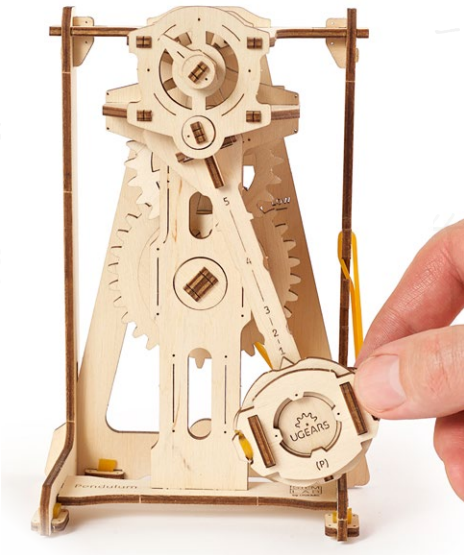


Смена бодрствования и сна, труда и отдыха, зимы и лета... Даже наше каждодневное хождение на работу и возвращение домой попадает под определение колебаний, которые трактуются как процессы, точно или приближенно повторяющиеся через равные промежутки времени.
Специальный раздел физики – теория колебаний – занимается изучением закономерностей этих явлений. Знать их необходимо судо- и самолетостроителям, специалистам промышленности и транспорта, создателям радиотехнической и акустической аппаратуры.

§6 Лабораторные занятия

Проведите интересное исследование и выясните, как зависит период и частота колебаний маятника от положения грузика. Выясните, что является амплитудой.

Определение амплитуды, частоты и периода колебаний . Зависимость периода колебаний от положения грузика.



Собранный маятник

Цель: Исследовать, как зависит период колебаний от положения грузика. Научиться определять амплитуду колебаний и период за разными формулами. Развивать логическое мышление.

Оборудование: маятник, секундомер, блокнот с ручкой.

Теоретическое обоснование эксперимента:

Собранный маятник устанавливаем его на поверхности. Маятник отклоняют от положения равновесия. Измеряют время и количество колебаний. Для точности эксперимент проводят несколько раз. За методом среднего арифметического определяют среднее время tc. Период колебаний исчисляют по формуле:

$$T_c = \frac{t_c}{N} \quad (1)$$

Подготовка к эксперименту:

Устанавливаем маятник.

Фиксируем положение грузика.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ:

***Задание 1.* Определение колебаний маятника.**

1. Отклоните маятник от положение равновесия на 2-3 см. Вычислите время, за которое маятник выполнит 10 полных колебаний.
2. Не изменяя условий. Повторите эксперимент 2-3 раза.
3. Вычислите средний интервал времени, за который происходит 10 полных колебаний.

$$T_c = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$$

4. Определите период колебаний по формуле (1).

***Задание 2.* Исследования как позиция грузика влияет на частоту ударов.**

1. Фиксируя грузик в одном из положений. Вычислите количество колебаний за 10 с.
2. Рассчитайте частоту ударов по формуле:

$$\nu = \frac{N}{t}$$

3. Повторите эксперимент несколько раз меняя положение грузика на шкале маятника.
4. Сравните значение частоты от положения грузика.

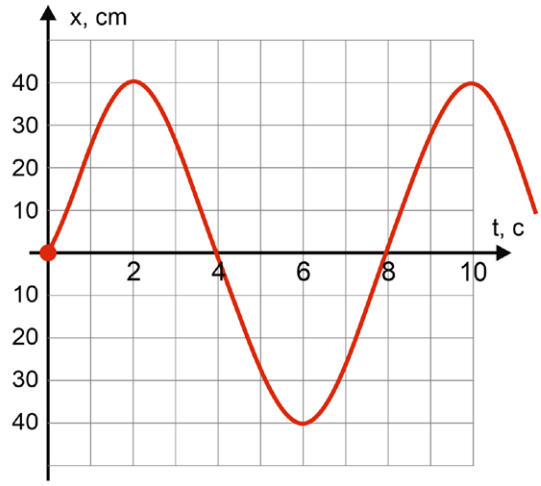
Задание 3. **Так же можно повторить эксперимент, изменяя массу грузика.**

Модель «Маятник» – это спусковой анкерный механизм часов. Амплитуда движения маятника постоянна и не зависит от натяжения резинки и от положения груза. Меняется только частота и период колебаний.

Задание 4. **Определить амплитуду и период колебания, график которого изображен на рисунке.**

Варианты ответов

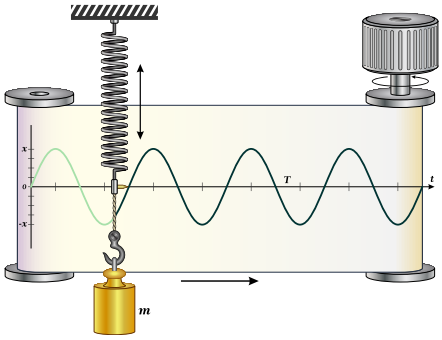
☐ 1. 10 см
☐ 2. 20 см
☐ 3. 40 см
☐ 4. 2 с
☐ 5. 4 с
☐ 6. 6 с
☐ 7. 8 с
☐ 8. 10 с



Задание 5. **Как изменится период колебаний пружинного маятника, если массу тела увеличить в 4 раза?**

Варианты ответов

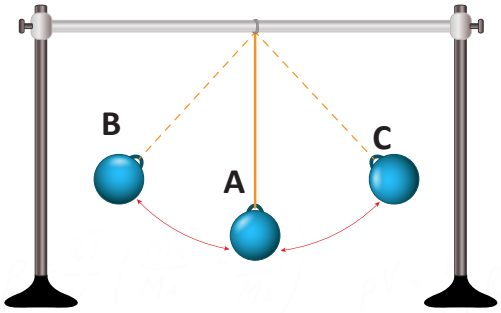
☐ 1. увеличится в 2 раза
☐ 2. уменьшится в 2 раза
☐ 3. увеличится в 4 раза
☐ 4. уменьшится в 4 раза
☐ 5. увеличится в 16 раз
☐ 6. уменьшится в 16 раз



Задание 6. **В каких точках потенциальная энергия маятника максимальная?**

Варианты ответов

☐ 1. AC
☐ 2. AB
☐ 3. ABC
☐ 4. BC



ВЫВОДЫ:

Во время проведение экспериментов научились измерять амплитуду, период и частоту колебаний.

Было установлено, что:

— период и частота колебаний практически не зависят от амплитуды.
— период и частота колебаний не зависит от массы грузика.
— период и частота колебаний зависит от положения грузика.

Тест

1. Колебания маятника происходят под действием сил…
☐ а) тяжести и упругости;
☐ б) трения и сопротивления;
☐ в) тяжести и трения.

2. Чтобы колебания не угасали минимальным должно быть…
☐ а) трение;
☐ б) тяжение;
☐ в) упругость.

3. В точке равновесия максимальным есть…
☐ а) скорость;
☐ б) амплитуда;
☐ в) масса.

4. Причиной угасаний есть …
☐ а) сила трения;
☐ б) сила тяготения;
☐ в) сила тока.

5. Максимальное отклонение от положення равновесия…
☐ а) амплитуда;
☐ б) период;
☐ в) частота колебаний.

6. В какой точке потенциальная энергия маятника максимальная?
☐ а) в точке максимального отклонения;
☐ б) в точке равновесия;
☐ в) во всех точках одинаковая.

7. Время за которое маятник делает одно полное колебание…
☐ а) период;
☐ б) частота;
☐ в) амплитуда.

8. Механические волны - это…
☐ а) колебание, которое распространяется в упругой среде;
☐ б) колебание маятника;
☐ в) периодически повторяющийся процесс.

9. Период колебаний маятника зависит от…
☐ а) длины маятника;
☐ б) массы грузика;
☐ в) частоты колебаний.

10. Кто первым провел эксперименты с маятником
☐ а) Галилео Галилей;
☐ б) Христиáн Гю́йгенс;
☐ в) Исаак Ньютон.

Поздравляем, Вы сделали это!
Спасибо, что Вы прошли этот путь с нами и надеемся, что это путешествие во времени было интересным.