

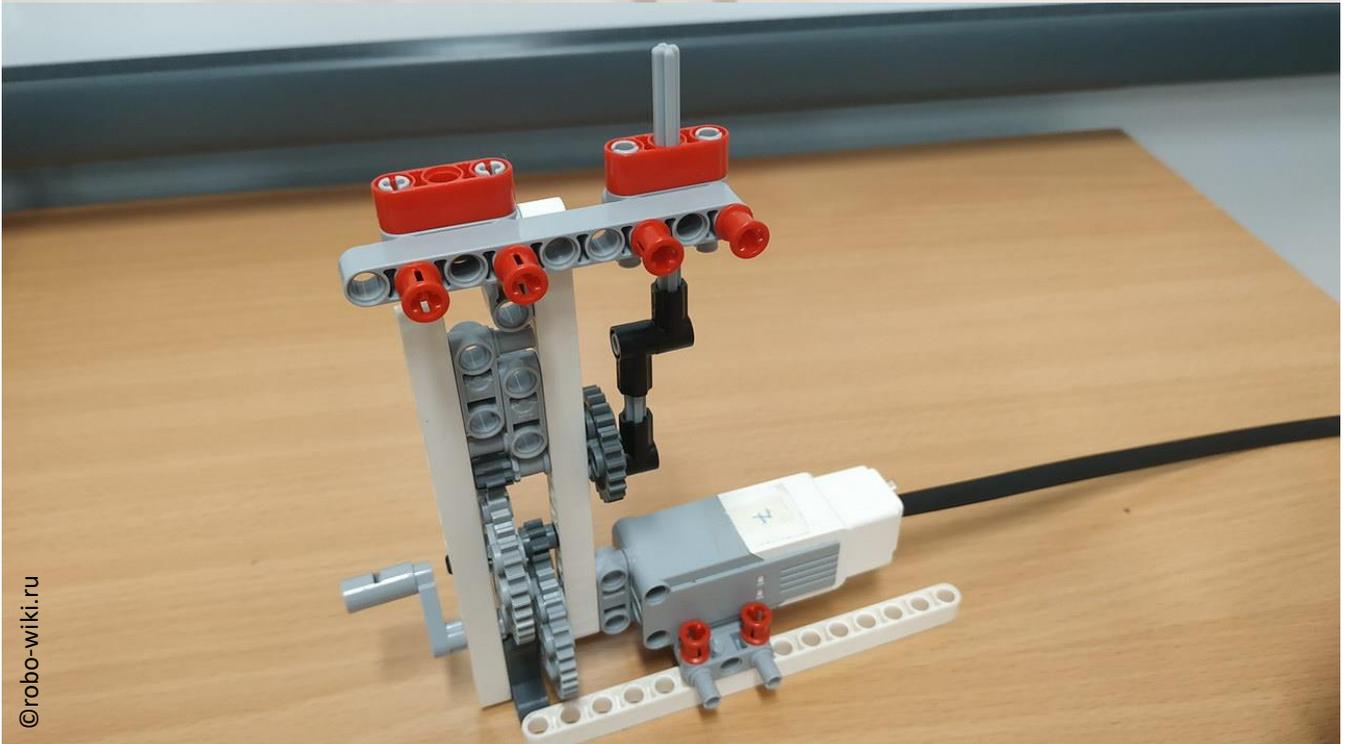
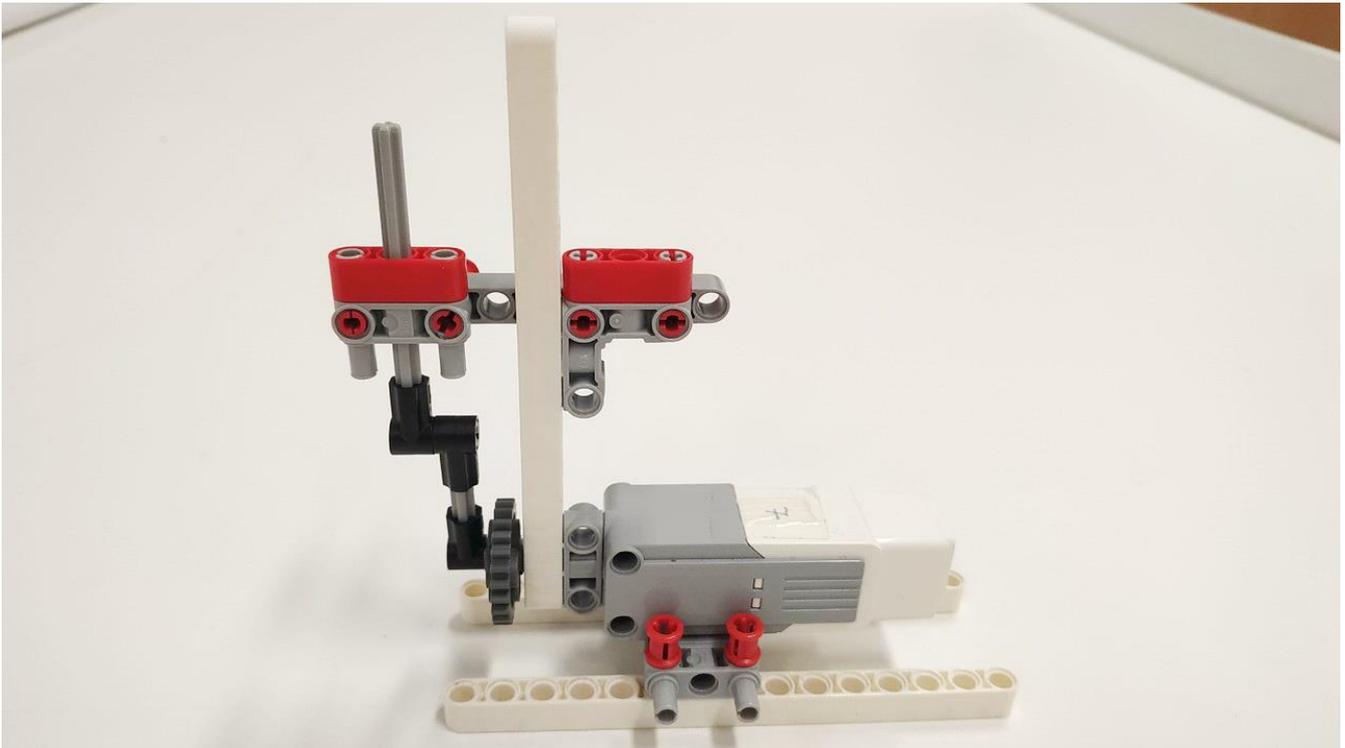


Моторные механизмы

Кривошипно-шатунный механизм. Маятник Капицы

Версия документа: 1.0

Внешний вид:



©robo-wiki.ru



Оборудование: базовый набор Lego Mindstorms Education EV3.

Механизмы: зубчатая передача, кривошипно-шатунный механизм.

Описание. В первой части этой работы ты узнаешь, что такое кривошипно-шатунный механизм (КШМ), когда его начали использовать в технике, из каких узлов состоит данный механизм в двигателе внутреннего сгорания.

Во второй части нужно собрать КШМ по инструкции и пронаблюдать за его работой.

В третьей части ты узнаешь, что такое маятник Капицы, а в четвертой - как кривошипно-шатунный механизм можно использовать для создания высокочастотных колебаний обратного маятника.

Содержание

Часть 1. Теория. Кривошипно-шатунный механизм	стр. 3
Часть 2. Сборка кривошипно-шатунного механизма.....	стр. 10
Часть 3. Теория. Маятник Капицы.....	стр. 15
Часть 4. Эксперимент с маятником Капицы.....	стр. 18



Часть 1. Теория. Кривошипно-шатунный механизм

Первые КШМ

Первые упоминания об использовании кривошипно-шатунного механизма можно отнести ко временам Древнего Рима. Машина для распиливания каменных блоков передавала вращение от водяного колеса с помощью зубчатой передачи на кривошипно-шатунный механизм, который преобразовывал вращательное движение в возвратно-поступательное движение полотна пилы. Также такие устройства могли использоваться на древних лесопилках.

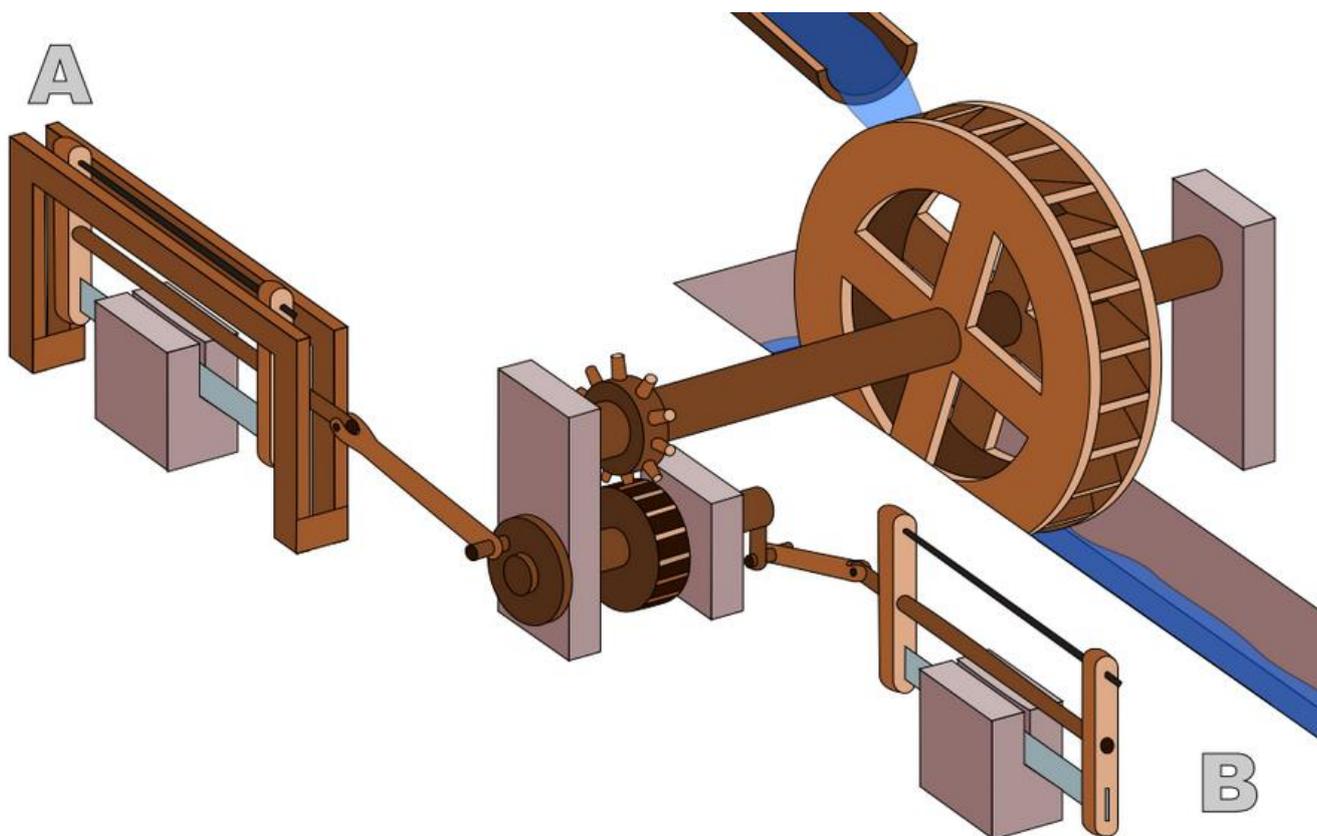


Схема водяного древнеримского распиловочного станка с КШМ

Большого распространения такие машины не получили – деревянные части из-за большого количества трущихся деталей быстро изнашивались и требовали частого ремонта, а рабский труд был намного дешевле и не требовал большой квалификации рабочих.

В XVI веке кривошипно-шатунный механизм появился на деревянных самопрямках. Самопрялка – это ручной станок для прядения нити из шерсти, состоящий из двух катушек. В самопрямке для скручивания нити использовался принцип ременной передачи. Раньше большую катушку приходилось раскручивать рукой. К самопрямке добавили педаль. Нажимая ногой на педаль, работник смог раскручивать катушку без использования рук. Этот механизм упростил работу и позволил за то же время производить больше пряжи. В данном устройстве



возвратно-поступательное движение педали передавалось через деревянный шатун на кривошип и преобразовывалось во вращательное движение большой катушки (шкива).

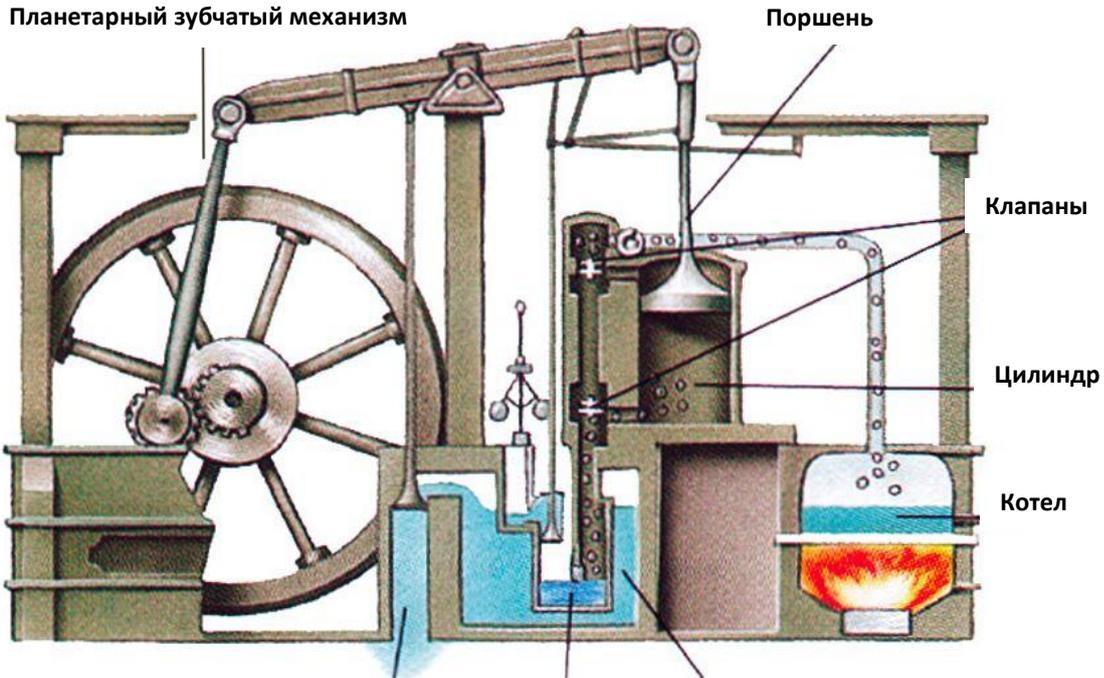


Самопрялка с педалью и КШМ позволяла освободить руки и сделать работу более производительной

КШМ в паровых машинах

Начиная с начала XVIII века большую популярность среди изобретателей и ученых начинают получать паровые машины. Первый паровой двигатель для водяного насоса построил в 1705 году английский изобретатель Томас Ньюкомен для выкачивания воды из глубоких шахт.

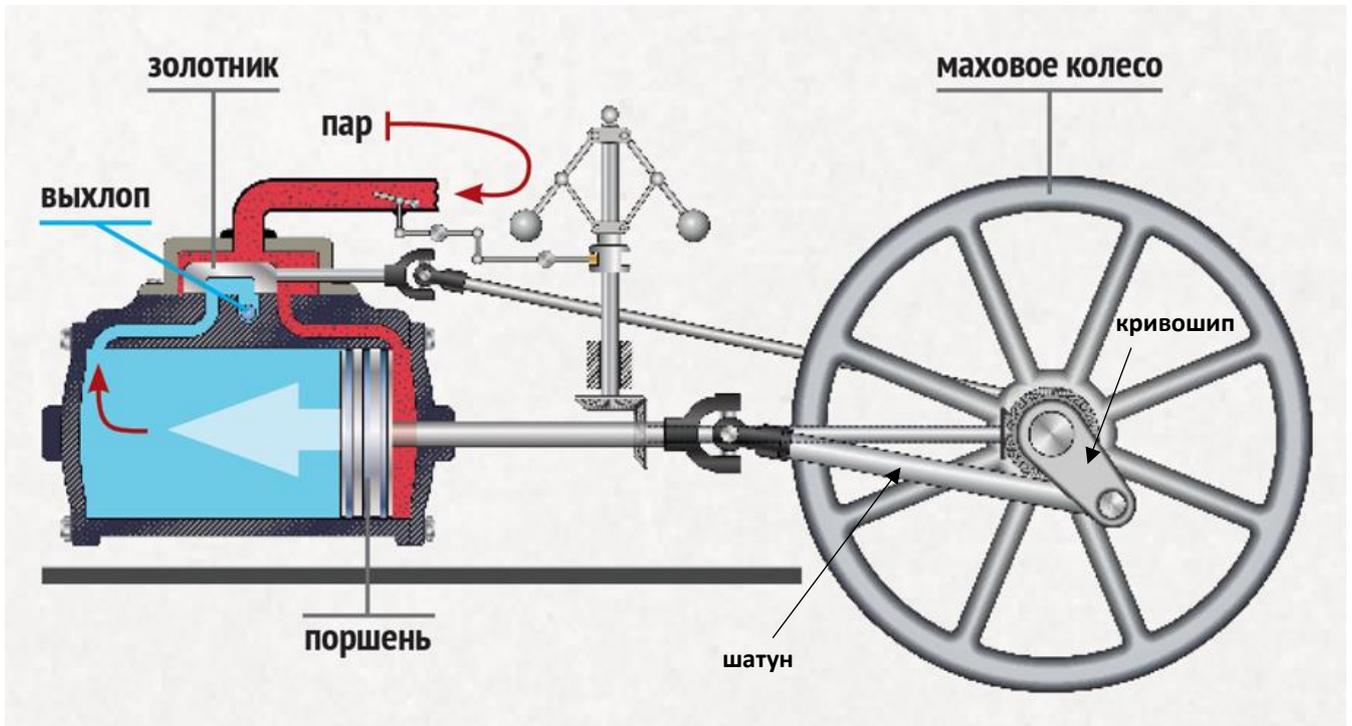
Позднее устройство парового двигателя было усовершенствовано шотландским инженером и механиком Джеймсом Уаттом (1736-1819). Кстати, именно Джеймс Уатт ввел в оборот термин «лошадиная сила», а его именем назвали единицу мощности Ватт. Паровая машина Уатта получила сложную систему связанных тяг, а планетарная зубчатая передача преобразовывала возвратно-поступательное движение поршня во вращательное движение маховика (большого тяжелого колеса). Данная паровая машина получила широкое распространение на ткацких фабриках, в металлургии, при строительстве первых паровозов для железных дорог XVIII века.



Паровая машина Джеймса Уатта

Нужно сказать, что паровыми машинами занимались в те времена очень многие изобретатели. Так, в Российской Империи свою двухцилиндровую паровую машину изобрел инженер Иван Иванович Ползунов (1728-1766).

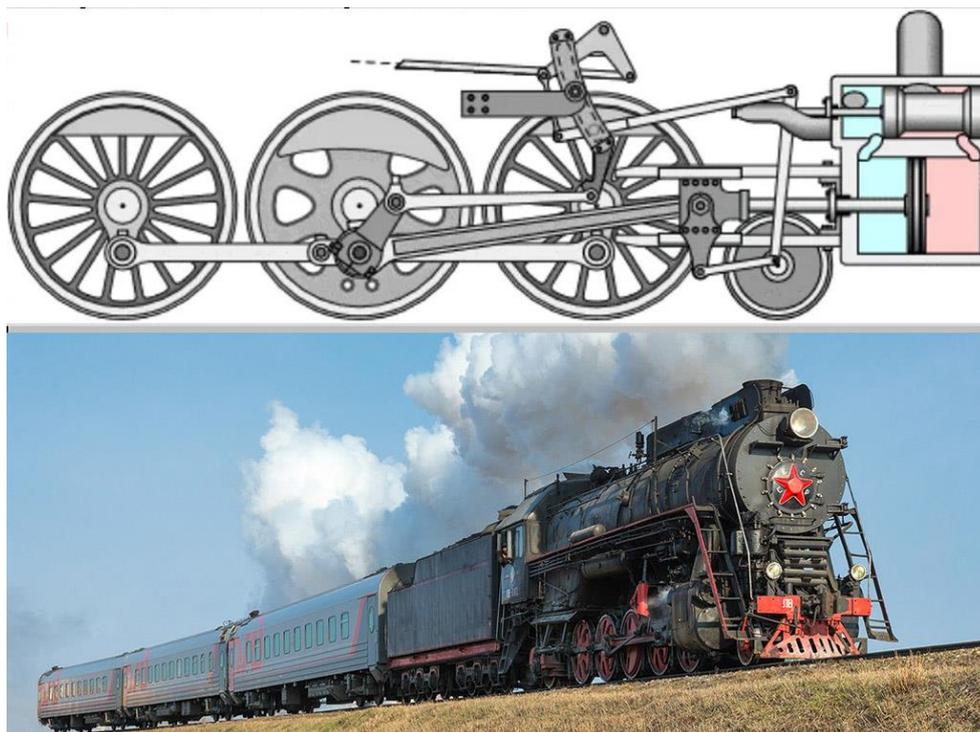
В XIX веке паровую машину Уатта упростили, заменив сложный планетарный механизм на кривошипно-шатунный механизм.



Паровая машина с кривошипно-шатунным механизмом



Паровая машина с КШМ нашла широкое применение при строительстве первых автомобилей на паровой тяге и паровозов, перевозящих грузы по железной дороге.



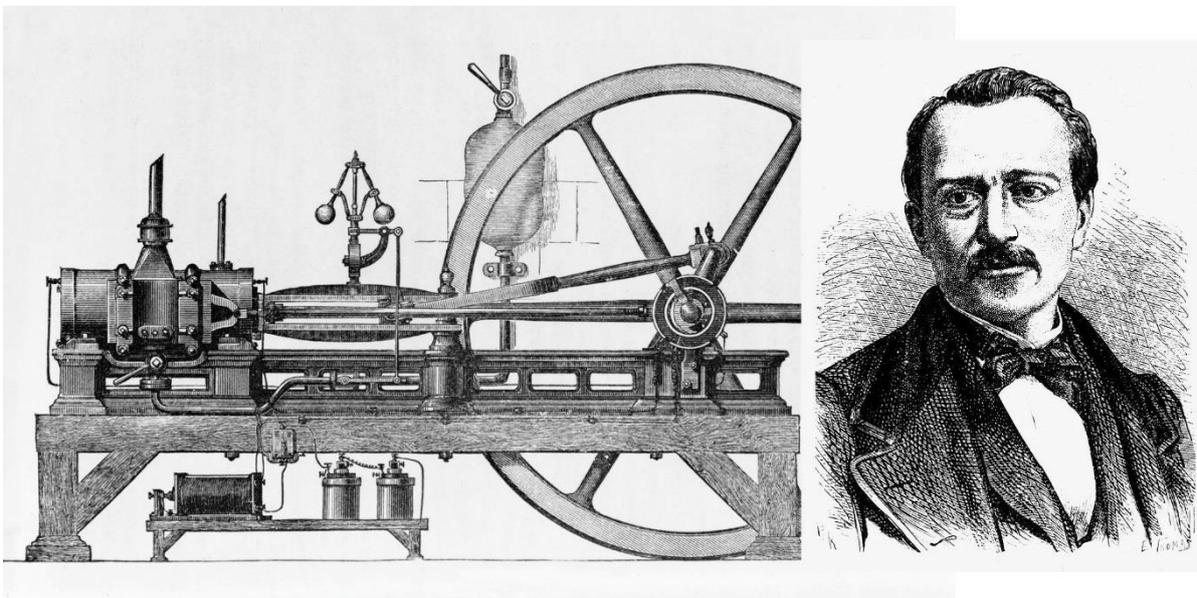
Кривошипно-шатунный механизм паровоза

КШМ в двигателях внутреннего сгорания

До этого мы рассматривали использование кривошипно-шатунного механизма в паровых двигателях. В паровом двигателе топливо сгорает в печи (вне цилиндра) и нагревает водяной котел, и уже водяной пар в цилиндре толкает поршень.

В двигателе внутреннего сгорания топливная смесь (воздух + газ, или воздух + бензин и т.д.) поджигается внутри цилиндра и продукты горения толкают поршень. Сокращенно такие двигатели называют ДВС.

Первый одноцилиндровый ДВС на газовом топливе построил в 1860 году в Париже французский изобретатель Жан Ленуар.



Двигатель внутреннего сгорания Жана Ленуара (внешне очень похож на паровую машину)

Однако широкое применение двигатели внутреннего сгорания нашли в конце XIX века после получения керосина и бензина из нефти. Появление жидкого топлива позволило создать экономичные двигатели небольшой массы, которые можно было использовать для привода транспортных машин.

В 1881-1885 гг. российский изобретатель Огнеслав Костович сконструировал и построил в России восьмицилиндровый двигатель мощностью 59 кВт.



Двигатель внутреннего сгорания Огнеслава Костовича



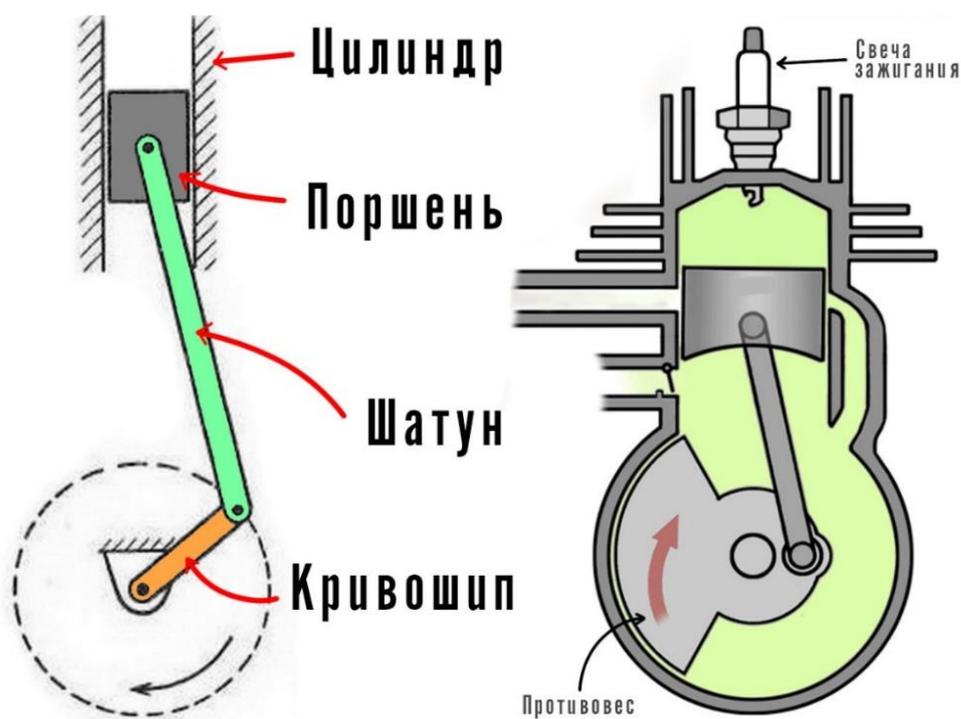
В 1897 г. немецким инженером Рудольфом Дизелем был спроектирован и построен первый двигатель с воспламенением от сжатия. Это был компрессорный двигатель, работающий на керосине, впрыскиваемом в цилиндр при помощи сжатого воздуха.



Рудольф Дизель и его двигатель внутреннего сгорания

Все эти ДВС имели схожие черты и использовали кривошипно-шатунный механизм для преобразования возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение коленвала.

Давайте посмотрим на схему устройства современного двигателя внутреннего сгорания.





Поршень совершает **возвратно-поступательное движение** вдоль цилиндра – он ходит вверх и вниз.

Шатун – деталь, связывающая кривошип и поршень.

Кривошип – условная деталь, которая связывает шатун с коленвалом.

Противовес снижает вибрации при вращении коленвала.

Блок цилиндров – корпус, в котором находятся цилиндры двигателя.

Поршневой палец – цилиндрическая деталь, ось вращения шатуна относительно поршня.

Коленвал (коленчатый вал) – ось вращения ступенчатой формы.

Верхняя мертвая точка – крайнее верхнее положение поршня, где меняется направление его движения.

Нижняя мертвая точка – крайнее нижнее положение поршня, где меняется направление его движения.

Ход поршня – расстояние между крайними положениями поршня. Равно удвоенному радиусу кривошипа.



Блок цилиндров, поршень с шатуном и коленвал

Видео:

1. Старинная русская прялка с кривошипно-шатунным механизмом <https://youtu.be/odHEGyzd8CI>
2. Принцип работы паровой машины с КШМ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f0/Steam_engine_in_action.gif
3. Паровая машина. Джеймс Уатт <https://youtu.be/u94tBrdWQWM>
4. Противовесы (наглядный пример) <https://youtu.be/Ofg21LDNxdU>

Литература:

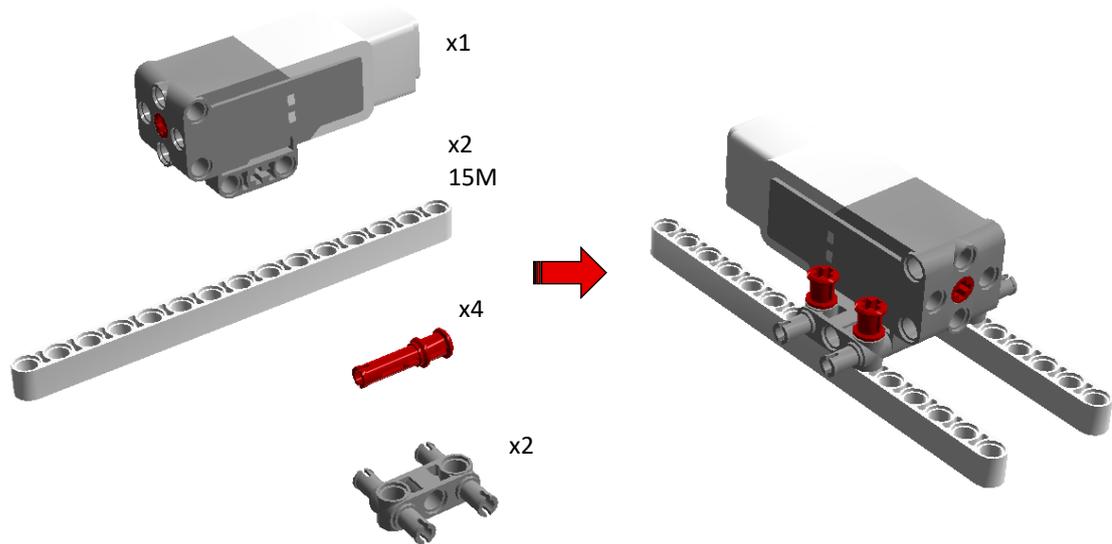
1. КИНЕМАТИКА И ДИНАМИКА КРИВОШИПНОШАТУННОГО МЕХАНИЗМА ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ <http://window.edu.ru/resource/807/65807/files/dinamika.pdf>



Часть 2. Сборка кривошипно-шатунного механизма

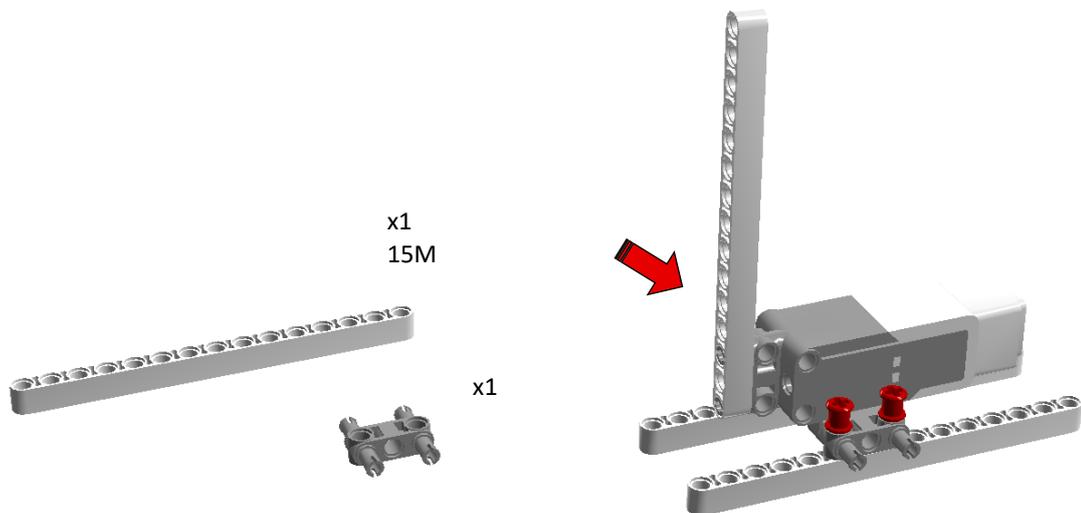
Начнем сборку с установки балок на средний мотор. Они будут выполнять роль опоры

1



С помощью детали с штифтами закрепи балку на 15 модулей на среднем моторе

2





<p>3</p>	<p>На вал среднего мотора установи ось длиной 4 модуля</p> <p>x1 4M</p>
<p>4</p>	<p>Установи на ось зубчатое колесо. Закрепи на зубчатом колесе серый штифт, который будет выполнять роль кривошипа</p> <p>x1 x1 z24</p>
<p>5</p>	<p>Собери шатун</p> <p>x2 x1 3M</p>



6

Закрепи один конец шатуна на зубчатом колесе

x1

7

Собери «поршень» - деталь, которая будет совершать возвратно-поступательное движение относительно «цилиндра»

x1

x1
7M

x1

8

Соедини поршень с шатуном

x1



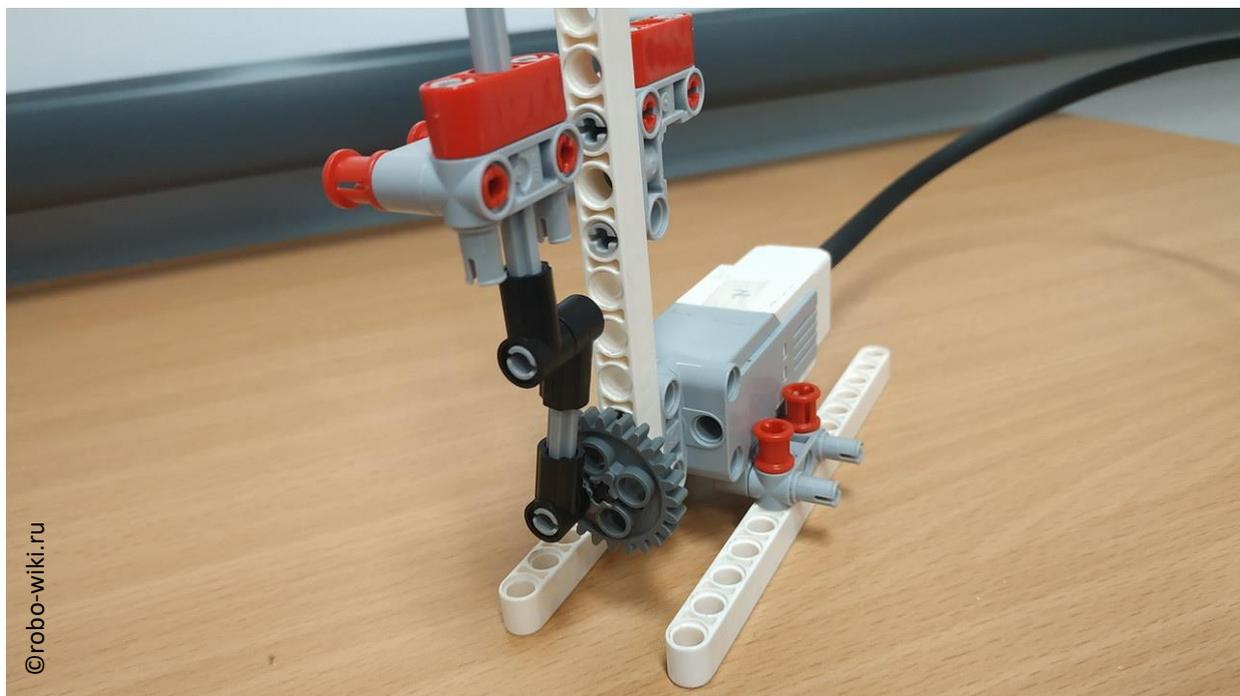
<p>9</p>	<p>Собери «блок цилиндров»</p>
<p>10</p>	<p>Установи две трехмодульные балки на «блок цилиндров»</p>
<p>11</p>	<p>Установи «блок цилиндров» на нужной высоте так, чтобы шатун в верхней мертвой точке не задевал его</p>



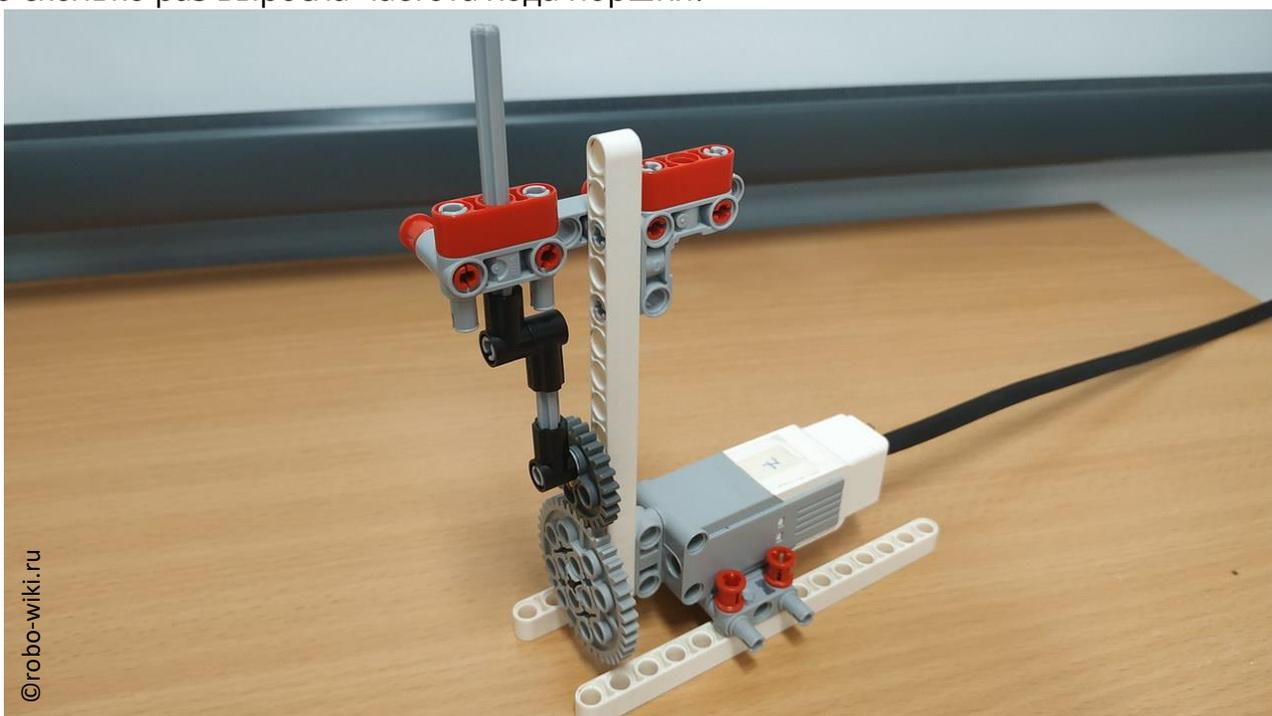
12

Соедини средний мотор с блоком EV3 с помощью кабеля. Порт «А» используется по умолчанию для соединения со средним мотором

Задача 1. Запрограммируй средний мотор. Пронаблюдай, как работает механизм на 100% мощности мотора.



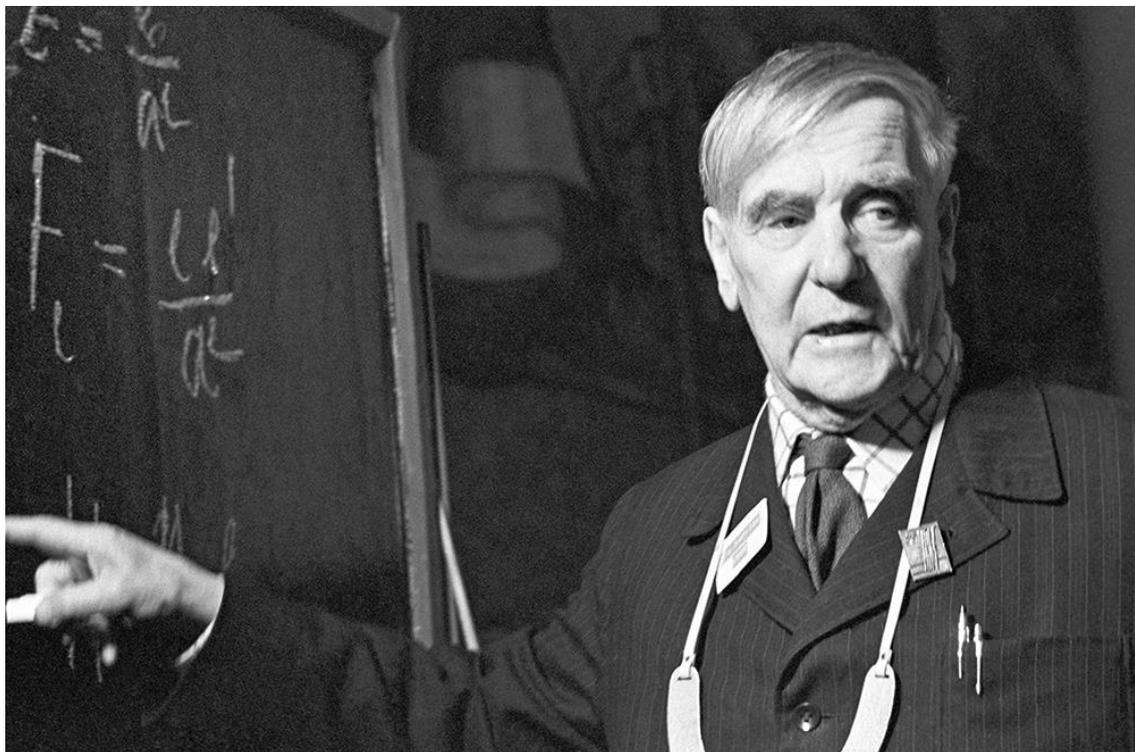
Задача 2. Установи повышающую зубчатую передачу. Пронаблюдай, как работает механизм на 100% мощности среднего мотора. Что изменилось в работе установки? Во сколько раз выросла частота хода поршня?





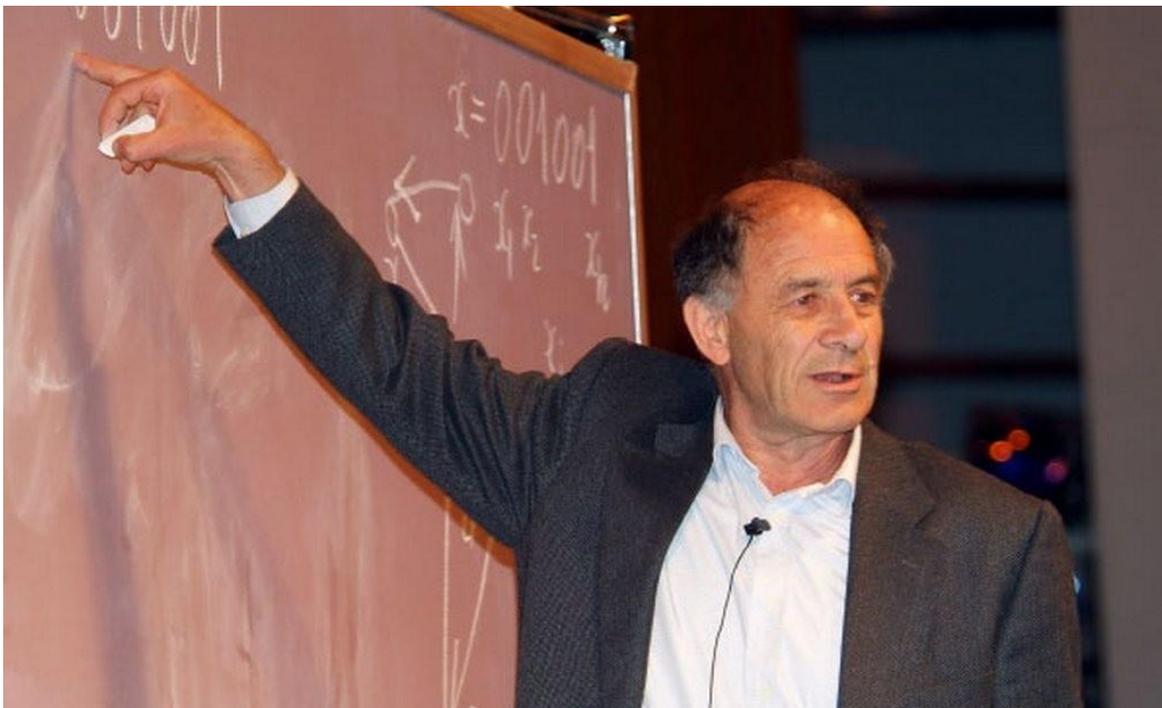
Часть 3. Теория. Маятник Капицы

Обычный маятник, если перевернуть его кверху ногами, неустойчив. Для него крайне трудно найти верхнюю точку равновесия. Но если совершать быстрые вертикальные возвратно-поступательные колебания, то положение такого маятника становится устойчивым.



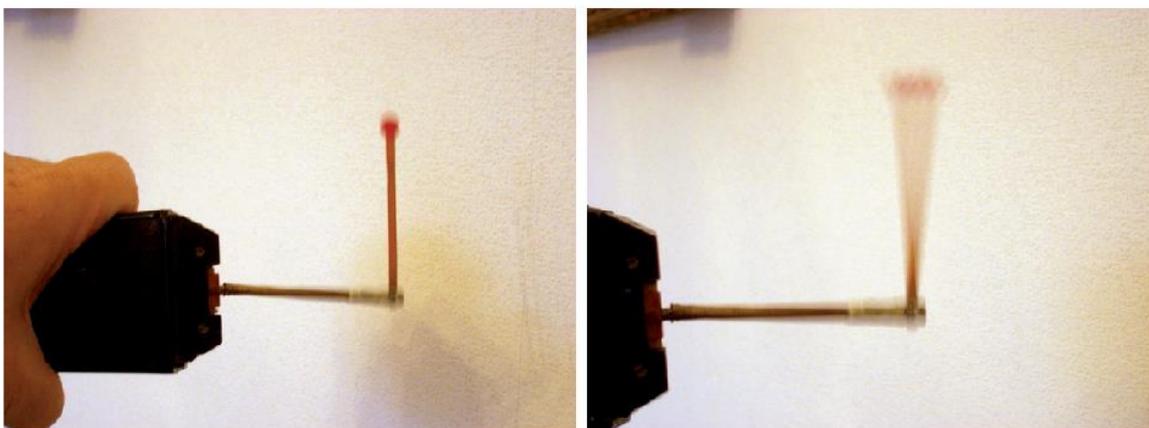
Петр Леонидович Капица

Советский академик и нобелевский лауреат по физике Петр Леонидович Капица (1894 - 1984) использовал модель маятника с вибрирующим подвесом для построения новой теории, которая описывала эффекты стабилизации тел или частиц. Работа Капицы по стабилизации маятника была опубликована в 1951 году, а сама модель получила название "маятник Капицы". Более того, было открыто новое направление в физике - вибрационная механика. Данная модель позволила наглядно показать возможности высокочастотной электромагнитной стабилизации пучка заряженных частиц в ускорителях.



Владимир Игоревич Арнольд

Другой советский математик и академик Владимир Игоревич Арнольд (1937-2010), который был заместителем Капицы, вспоминал его слова: *"Он (Капица - примечание) сказал: "Вот смотрите - когда придумывается какая-то физическая теория, то прежде всего надо сделать маленький какой-нибудь прибор, на котором его наглядно можно было-бы продемонстрировать кому угодно. Например, Будкер и Векслер хотят делать ускорители на очень сложной системе. Но я посмотрел, что уравнения, которые говорят об устойчивости этого пучка, означают, что если маятник перевернут кверху ногами, он обычно неустойчив, падает. Но если точка подвеса совершает быстрые вертикальные колебания, то он становится устойчивым. В то время как ускоритель стоит много миллионов, а этот маятник можно очень легко сделать. Я его сделал на базе швейной электрической машинки, он вот здесь стоит". Он нас отвел в соседнюю комнату и показал этот стоящий вертикально маятник на базе швейной машинки"*.

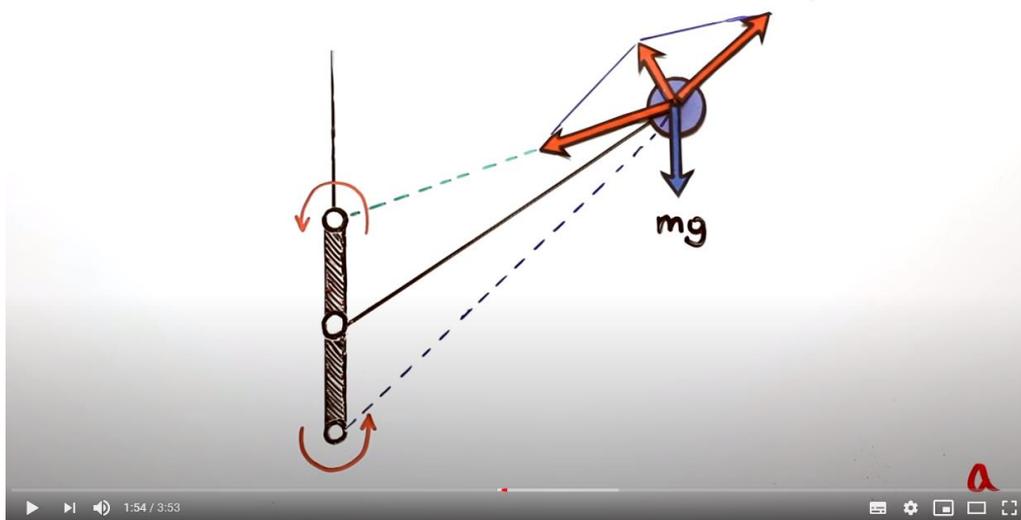


Демонстрация динамической стабилизации перевернутого маятника с помощью электробритвы

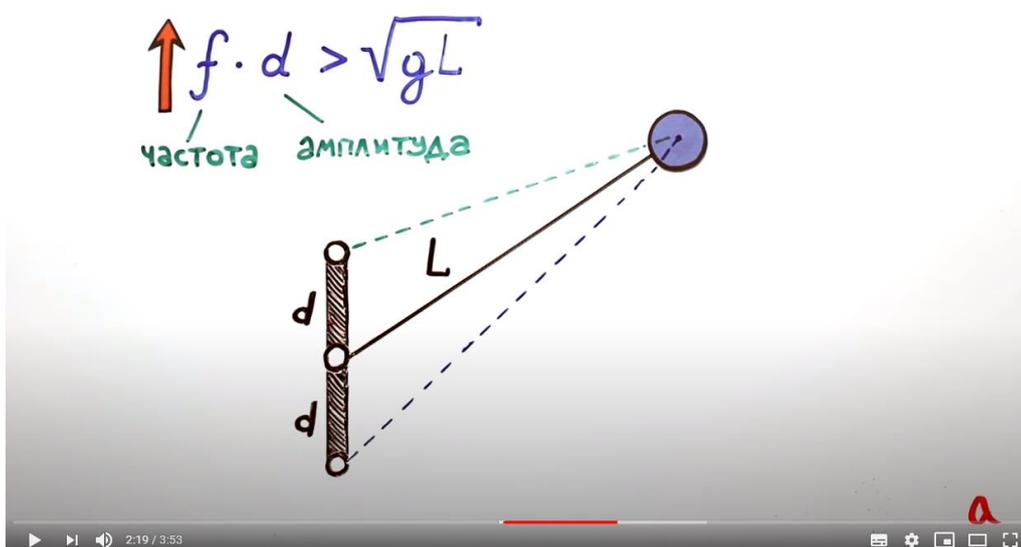
У математика Арнольда не было своей швейной машинки, и он огорчился. Но у него была электробритва "Нева", из которой и был собран перевернутый маятник. К сожалению, в первой конструкции маятник падал. Тогда Арнольд вывел формулу и



увидел, что длина маятника не должна быть больше 12 сантиметров. Известный математик укоротил подвес до 11 сантиметров и все получилось.



Давайте посмотрим, какие силы действуют на "маятник Капицы". После прохождения верхней мертвой точки подвес маятника начинает тянуть грузик вниз. После прохождения нижней мертвой точки подвес толкает грузик вверх. Так как углы между векторами сил в верхней и нижней точке разные, то сумма их векторов дает силу, направленную к оси вертикальных колебаний маятника. Если эта сила больше силы тяжести, то верхнее положение маятника становится устойчивым.



А эта формула описывает взаимосвязь частоты вибраций подвеса, амплитуды колебаний и длины жесткого подвеса.

Видео:

1. GetAClass. Маятник Капицы <https://youtu.be/jsBnFHdsSjc>
2. Маятник Капицы: диалог академика Арнольда и Капицы, вывод формулы https://youtu.be/u_-KCEhA1bU



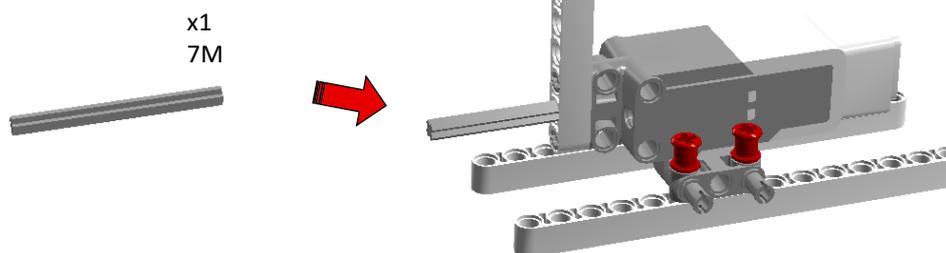
Часть 4. Эксперимент с маятником Капицы

Сейчас вы попробуйте построить маятник, используя ту конструкцию, которую собрали для кривошипно-шатунного механизма.

Чтобы увеличить частоту, нужно увеличить скорость вращения выходного вала. Для этого нужно собрать многоступенчатую повышающую зубчатую передачу.

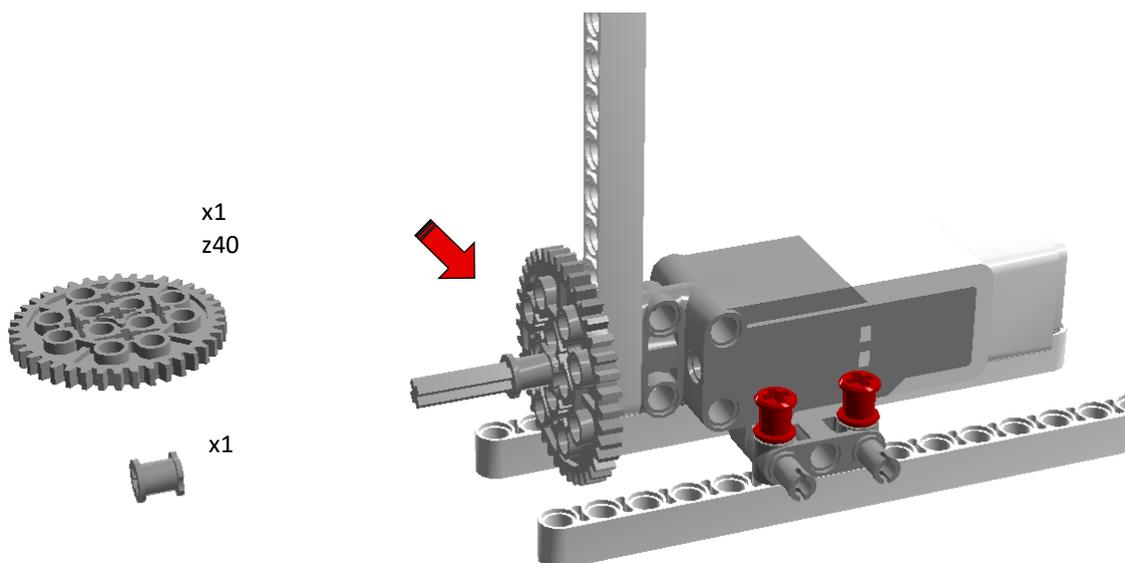
Установи ось на 7 модулей на вал среднего мотора

1



Установите зубчатое колесо на 40 зубчиков

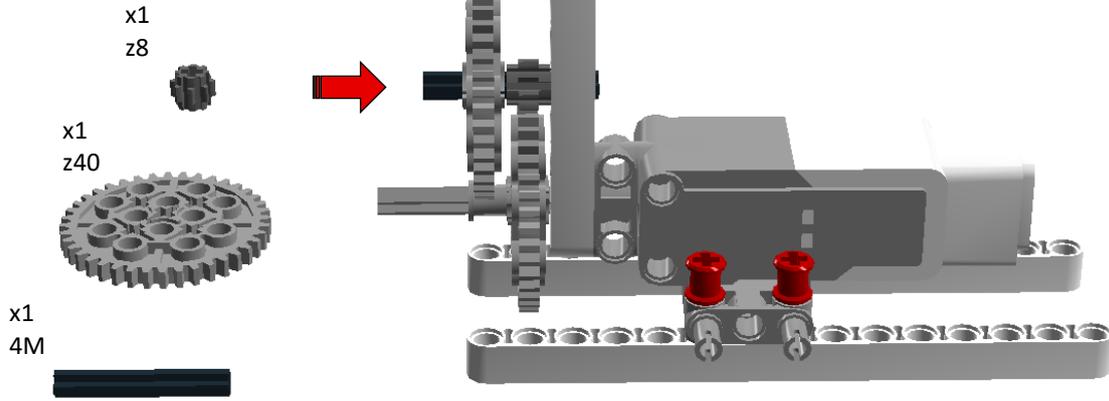
2





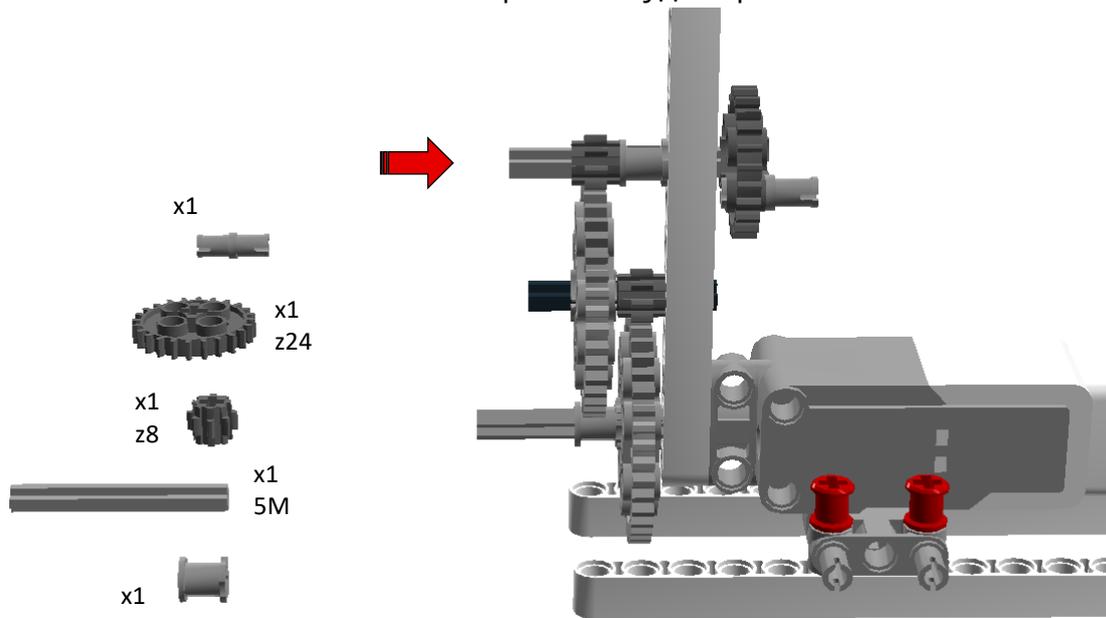
3

Установи еще два зубчатых колеса



4

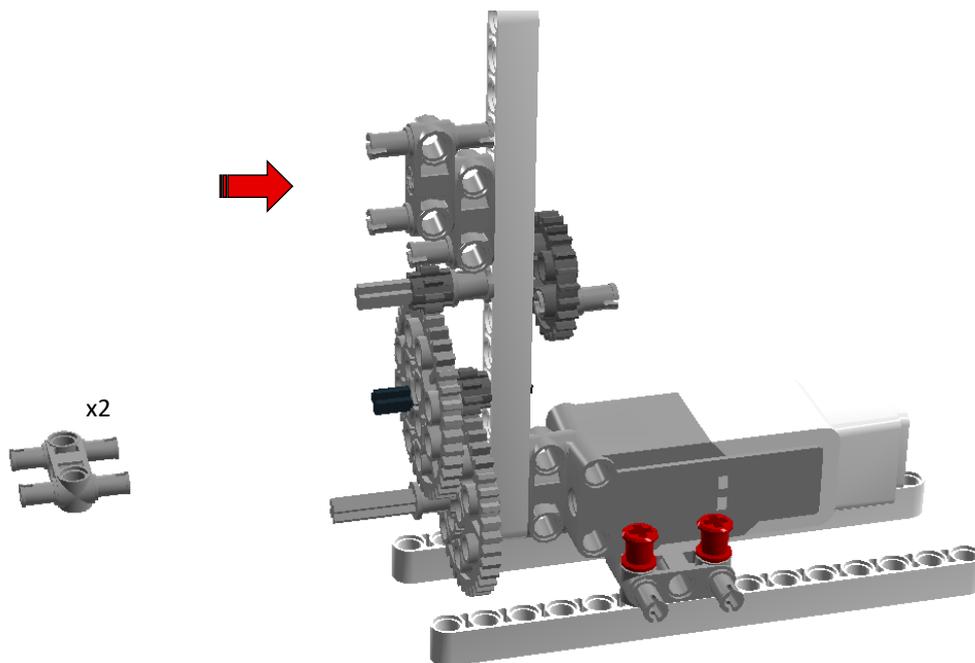
Установи третью ось. На последнем зубчатом колесе закрепи серый штифт – это будет кривошип





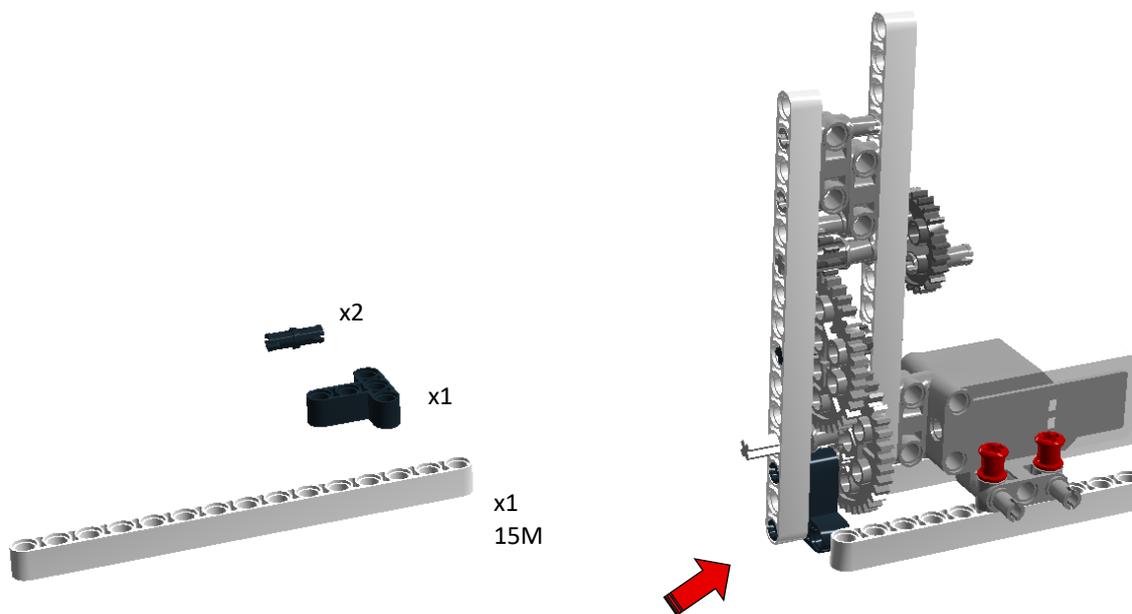
5

Установи две балки с штифтами



6

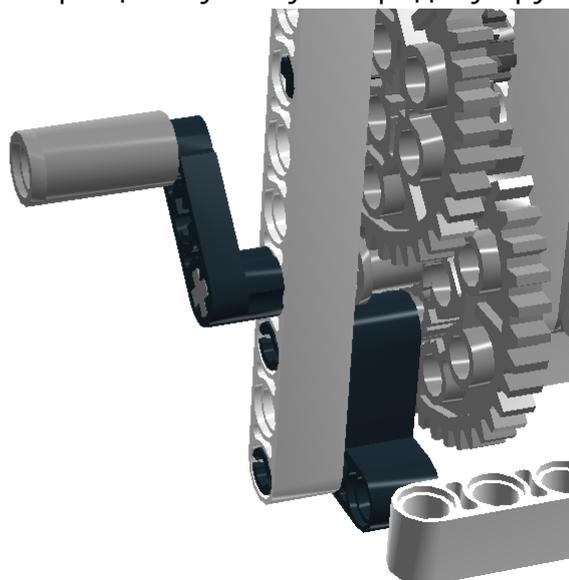
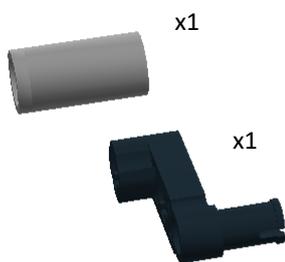
Установи вторую вертикальную балку для создания корпуса мультипликатора





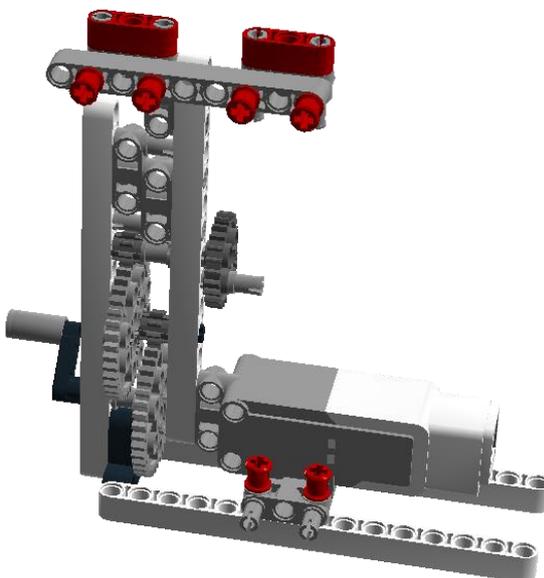
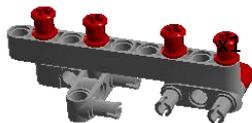
Установи ручку на ведущий вал, чтобы вращать зубчатую передачу вручную

7



Установи «блок цилиндров»

8





Установи импровизированные «шатун» и «поршень»

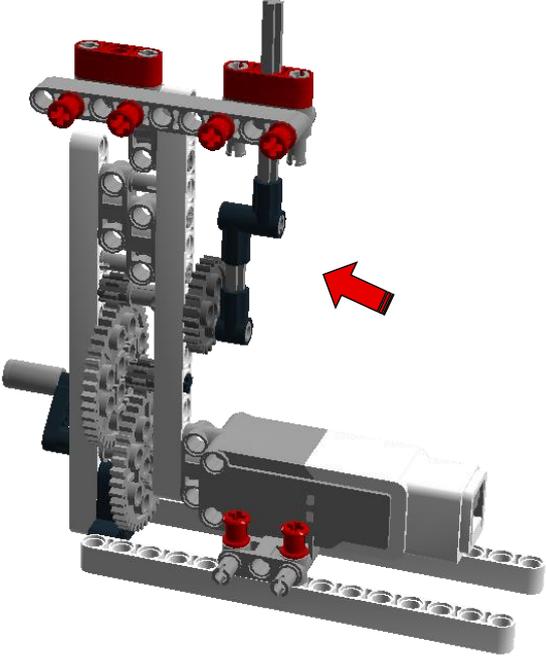
9

x1
«шатун»



x1
«поршень»





Установи черный фиксатор с серым штифтом на конец поршня

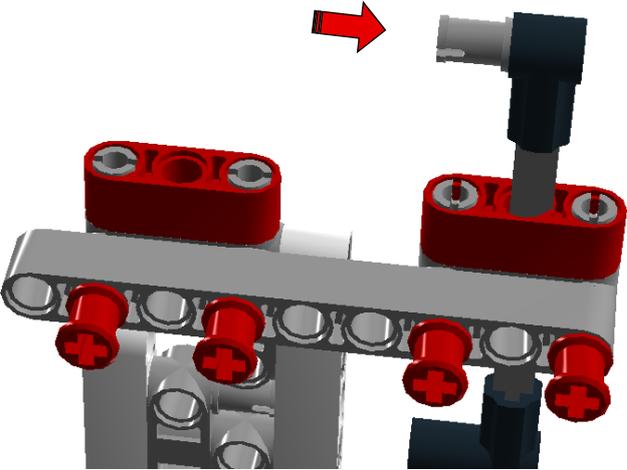
10

x1



x1





Собери маятник из обычной оси (грузик использовать не будем)

11

x1





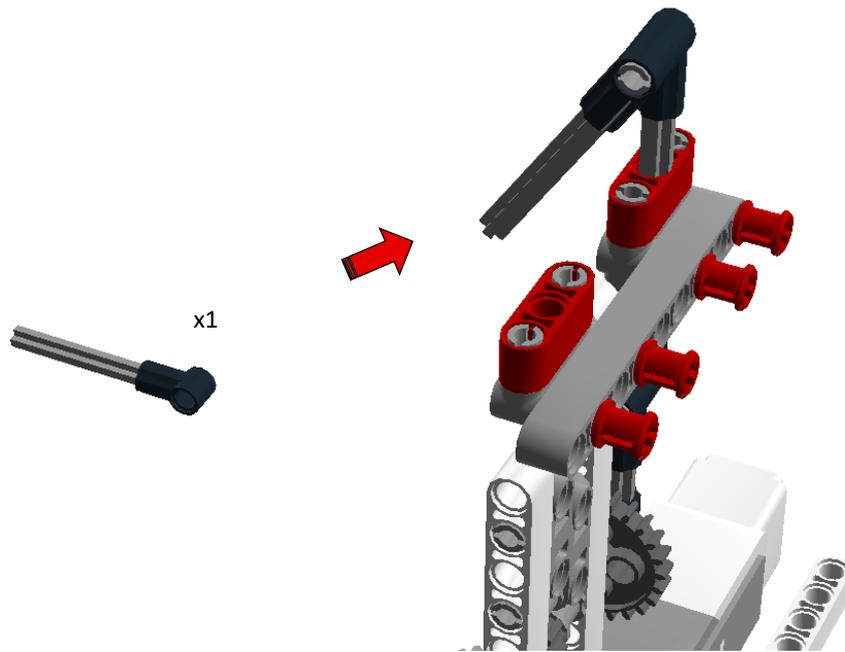






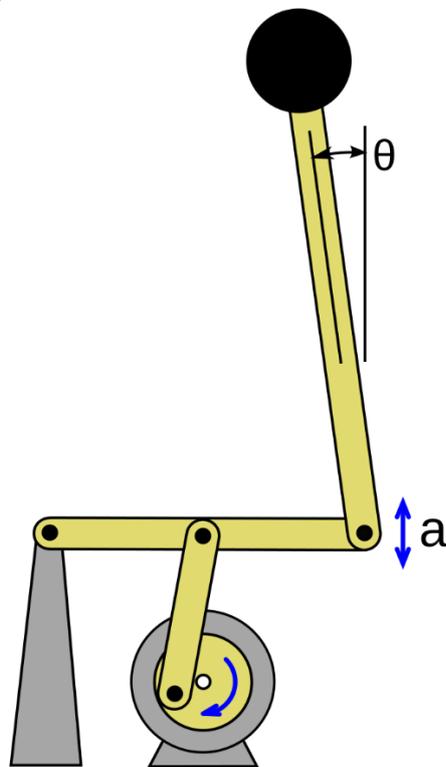
Установи маятник на «поршень». Модель готова, можно испытывать!

12



Задача 1. Найди максимально длинный подвес, при котором у маятника будет верхнее состояние равновесия. Грузик использовать не будем.

Задача 2. Попробуй построить модель маятника Капицы, используя эту схему кривошипно-шатунного механизма. Как и в прошлой модели тебе понадобится повышающая передача для увеличения частоты колебаний.



Мотор крутит кривошип, который через шатун и горизонтально расположенный рычаг передает вибрацию на перевернутый маятник

