

# Молекулярная физика и термодинамика. Часть 4.



*«Одна лошадиная сила - это сила,  
которую развивает лошадь ростом  
в 1 метр и весом в 1 килограмм»*



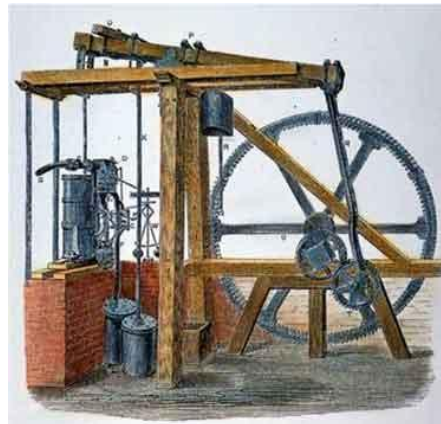
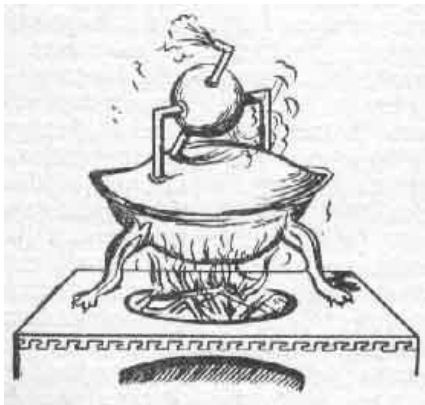
## Принцип действия тепловых двигателей. Коэффициент полезного действия (КПД) тепловых двигателей

Запасы внутренней энергии разного вида можно считать практически неограниченными.

Но для решения практических задач располагать запасами энергии еще недостаточно. Необходимо еще уметь за счет энергии приводить в движение станки на фабриках и заводах, средства транспорта, тракторы и другие машины, вращать роторы генераторов электрического тока и т. д. Человечеству нужны **двигатели** - устройства, способные совершать работу.

Большая часть двигателей на Земле - это тепловые двигатели.

**Тепловые двигатели** - это устройства, превращающие внутреннюю энергию топлива в механическую.



## Транспортные средства с тепловыми двигателями



Пароход (1807)



Паровоз (1825)



Автомобиль (1885)



Подводная лодка (1897)



Самолёт (1903)



Вертолёт (1907)



Тепловоз (1950)



Атомная подводная лодка (1954)

Ракета (1961)

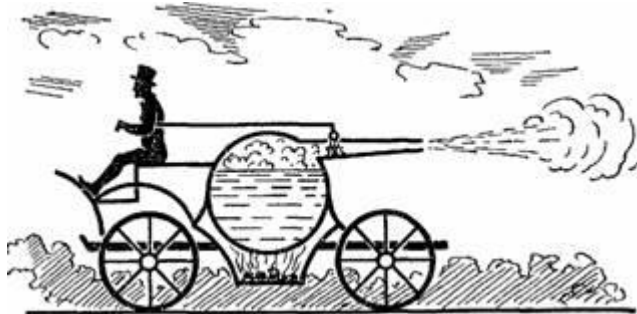


## Паровая машина

Паровая машина- тепловой двигатель внешнего сгорания, преобразующий энергию пара в механическую работу возвратно-поступательного движения поршня, а затем во вращательное движение вала. В более широком смысле паровая машина — любой двигатель внешнего сгорания, который преобразовывает энергию пара в механическую работу.

Для привода паровой машины необходим паровой котёл.

Расширяющийся пар давит на поршень или на лопатки паровой турбины, движение которых передаётся другим механическим частям. Одно из преимуществ двигателей внешнего сгорания в том, что из-за отделения котла от паровой машины можно использовать практически любой вид топлива — от кизяка до урана.



Считается, что идея использования силы пара для превращения ее в энергию движения принадлежит **Герону Александрийскому**, жившему в I веке нашей эры и создавшему эолипил - "шар Эола" - первую паровую турбину.

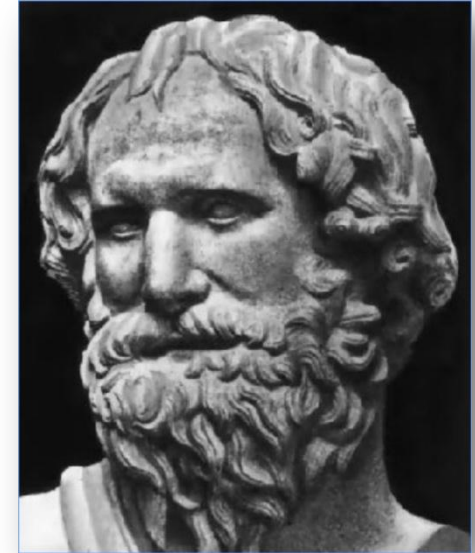


Это был металлический шар, вращающийся под давлением пара. К сожалению движущая сила нагретого воздуха и водяного пара использовалась здесь только лишь для демонстрации забавной игрушки. Герон часто использовал энергию пара в своих изобретениях: для реализации раздвижных автоматических дверей в храмах, двигающих руками статуй богов и так далее. Он оставил много чертежей, по которым можно собрать реально действующие механизмы. Его изобретения, опередившие свое время, смогли по достоинству оценить лишь в средневековье.

Интересно, что в середине XVIII столетия эолипил «переизобрел» венгерский ученый Янош Сегнер, от которого оно и получило свое имя "сегнерово колесо". Понятно, что такое колесо вращается под действием реактивной силы потока пара, выбрасываемого из загнутых трубок-сопел.

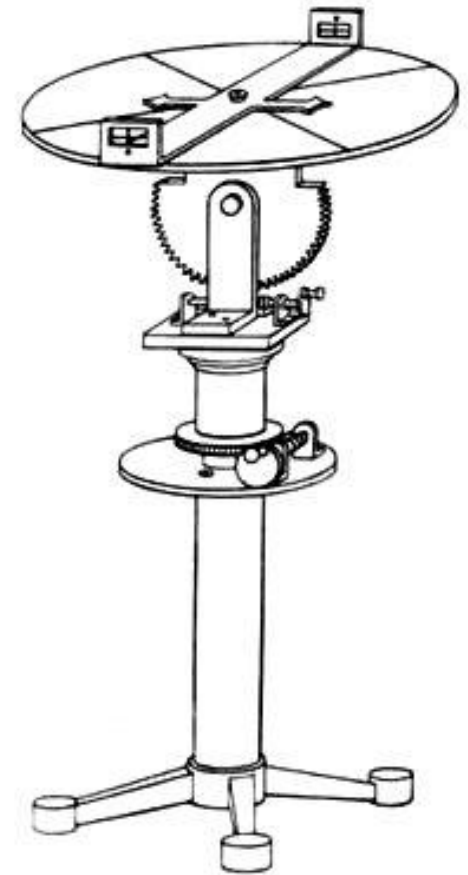
**Герон Александрийский**— греческий математик и механик. Герон жил в Египте в городе Александрия и поэтому стал известен как Герон Александрийский. Время его жизни отнесено ко второй половине первого века н. э. на том основании, что он приводит в качестве примера лунное затмение 13 марта 62 г. н. э.

Герона относят к величайшим инженерам за всю историю человечества. Он первым изобрёл прототип теодолита («диоптру»), скорострельный самозаряжающийся арбалет, паровую турбину, автоматические декорации, прибор для измерения протяжённости дорог (древний одометр) и др. Первым начал создавать программируемые устройства (вал со штырьками с намотанной на него верёвкой).



**Диоптра** была прообразом современного теодолита. Главной ее частью служила линейка с укрепленными на ее концах визирами. Эта линейка вращалась по кругу, который мог занимать и горизонтальное, и вертикальное положение, что давало возможность наметить направления, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. Для правильности установки прибора к нему присоединялись отвес и уровень.

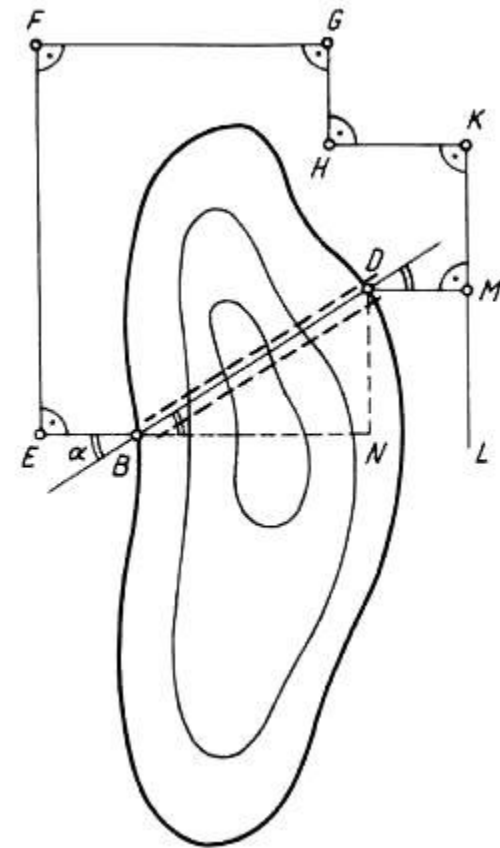
Пользуясь этим прибором и вводя в употребление прямоугольные координаты, Герон мог решать на местности различные задачи: измерить расстояние между двумя точками, когда одна из них или обе они недоступны наблюдателю, провести прямую, перпендикулярную к недоступной прямой линии, найти разность уровней между двумя пунктами, измерить площадь простейшей фигуры, даже не вступая на измеряемую площадку.



Еще во времена Герона одним из шедевров античной инженерии считался **водопровод** на острове Самос, созданный по проекту Эвпалина и проходивший по тоннелю. Вода по этому тоннелю подавалась в город из источника, находившемся по другую сторону горы Кастро. Известно было, что в целях ускорения работы тоннель рыли одновременно с обеих сторон горы, что требовало высокой квалификации от инженера, руководившего стройкой.

Водопровод работал многие века и удивлял современников Герона.

Долго считалось, что древние греки не обладали необходимой технологией для постройки такого сложного объекта. Изучив найденный в 1814 году труд Герона "О диоптре" ученые получили документальное подтверждение существования тоннеля. И лишь в конце XIX века немецкая археологическая экспедиция действительно обнаружила легендарный тоннель Эвпалина.

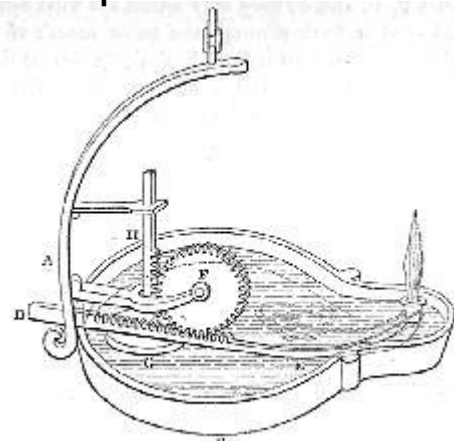




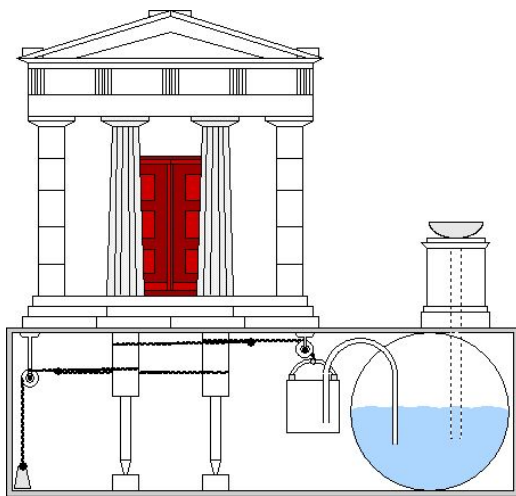
## Изобретения Герона Александрийского



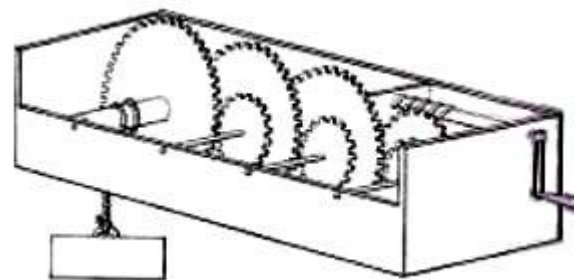
*Одометр*



*Масляная лампа*

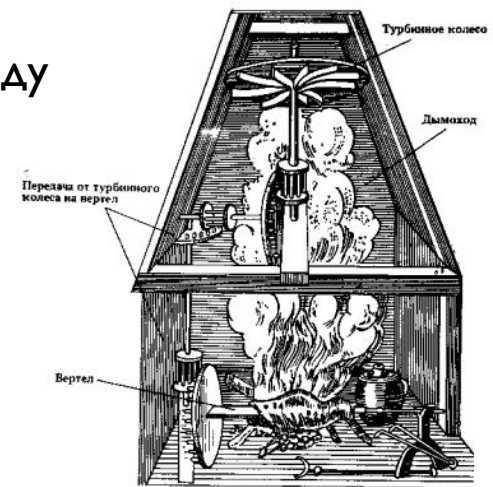


*«Магическое» открывание дверей в храме*

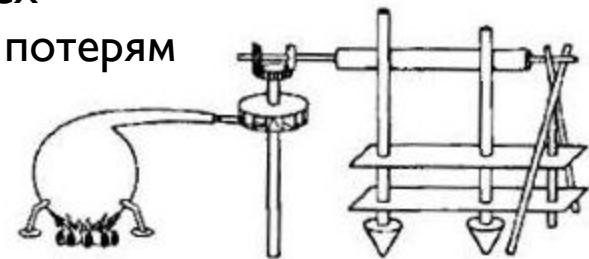


*«Барулк» (редуктор)*

Реальная **паровая турбина** была изобретена намного позже, в средневековом Египте, арабским философом, астрономом и инженером XVI века **Таки ад-Дином Мухаммедом** (англ.). Он предложил метод вращения вертела посредством потока пара или дыма, направляемого на лопасти, закреплённые по ободу колеса.



Подобную машину предложил в 1629 году итальянский инженер **Джованни Бранка** для вращения цилиндрического анкерного устройства, которое поочерёдно поднимало и отпускало пару пестов в ступах. Паровой поток в этих ранних паровых турбинах был не концентрированным, и большая часть его энергии рассеивалась во всех направлениях, что приводило к значительным потерям энергии.



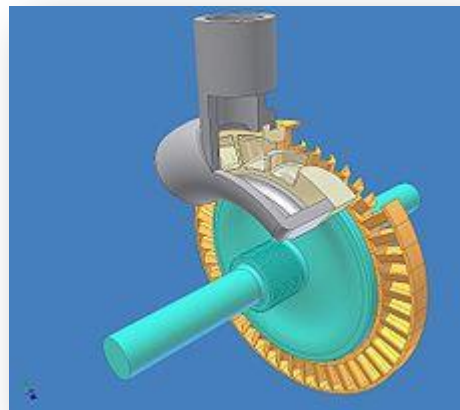
**Паровая турбина** — тепловой двигатель, в котором энергия пара преобразуется в механическую работу.

Примерно 86 % электроэнергии, производимой в мире, вырабатывается с использованием паровых турбин.

В лопаточном аппарате паровой турбины потенциальная энергия сжатого и нагретого водяного пара преобразуется в кинетическую, которая в свою очередь преобразуется в механическую работу — вращение вала турбины.

Пар от парокотельного агрегата поступает через направляющие аппараты на криволинейные лопатки, закрепленные по окружности ротора, и, воздействуя на них, приводит ротор во вращение.

Паровая турбина состоит из двух основных частей. Ротор с лопатками — подвижная часть турбины. Статор с соплами — неподвижная часть



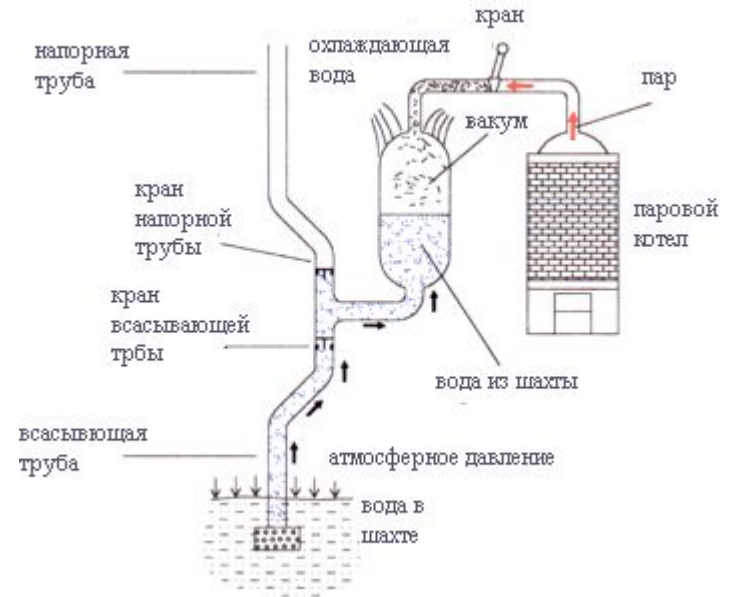
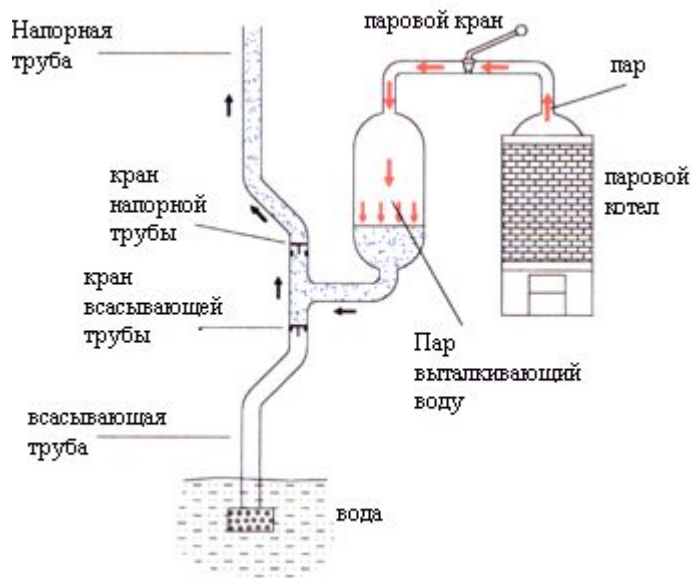
В 17 веке в Англии началась **промышленная революция**. На производстве стали применять первые станки, производительность труда сильно росла. Вместо древесного угля, получаемого из древесины, начали применять каменный уголь, количество которого было значительно больше.

Шахтеры быстро выработывали верхние пласты угля и уходили все глубже и глубже в землю. К концу 17 века глубина шахт уже достигала 200 метров. Все острее вставала проблема по **откачке воды**. Для подъема воды в это время использовались лошади. Численность лошадей на некоторых шахтах достигала 500 голов. Вопрос о внедрении новых способов для откачки воды созрел. Негласный закон изобретателей гласит: «изобретение, появляется тогда, когда в нем есть необходимость». В конце 17 века в Англии была острая потребность в машине по откачке воды из шахты и она появилась.

В 1698 году **Томас Севери** зарегистрировал первый патент на устройство «для подъема воды и для получения движения всех видов производства при помощи движущей силы огня...»

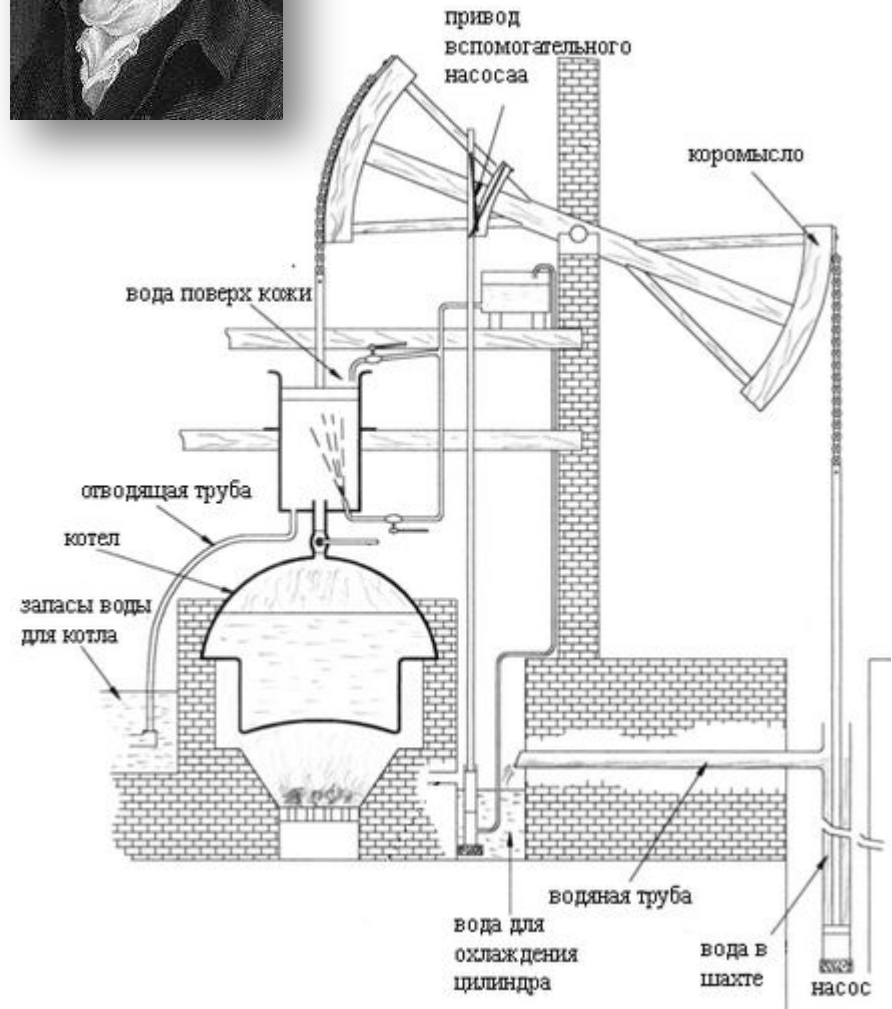


# Паровой насос Томаса Севери



Паровой насос Томаса Севери состоял из парового котла и рабочего цилиндра. У машины было два рабочих цикла: цикл всасывания и цикл выталкивания.

В 1712 году английский кузнец **Томас Ньюкомен** продемонстрировал свой «атмосферный двигатель». Первым применением двигателя Ньюкомена была откачка воды из глубокой шахты. В шахтном насосе коромысло было связано с тягой, которая спускалась в шахту к камере насоса. Возвратно-поступательные движения тяги передавались поршню насоса, который подавал воду вверх. Именно двигатель Ньюкомена стал первым паровым двигателем, получившим широкое практическое применение, с которым принято связывать начало промышленной революции в Англии.



В 1769 г. **Джеймс Уатт (Ватт)** – шотландский изобретатель, получил английский патент на «способы уменьшения потребления пара и вследствие этого – топлива в огневых машинах». В 1774 г. построил первую свою паровую машину простого действия, которая оказалась более чем в 2 раза эффективнее лучших машин Ньюкомена.



Решение, предложенное Уаттом, заключалось в следующем: надо добавить второй цилиндр, называемый теплообменником, и соединить его с первым. Отработанный пар будет конденсироваться в теплообменнике, а первый цилиндр будет все время оставаться горячим — это сэкономит количество потребляемого топлива.

Ввёл первую единицу мощности – лошадиную силу (позднее его именем была названа другая единица мощности – ватт).

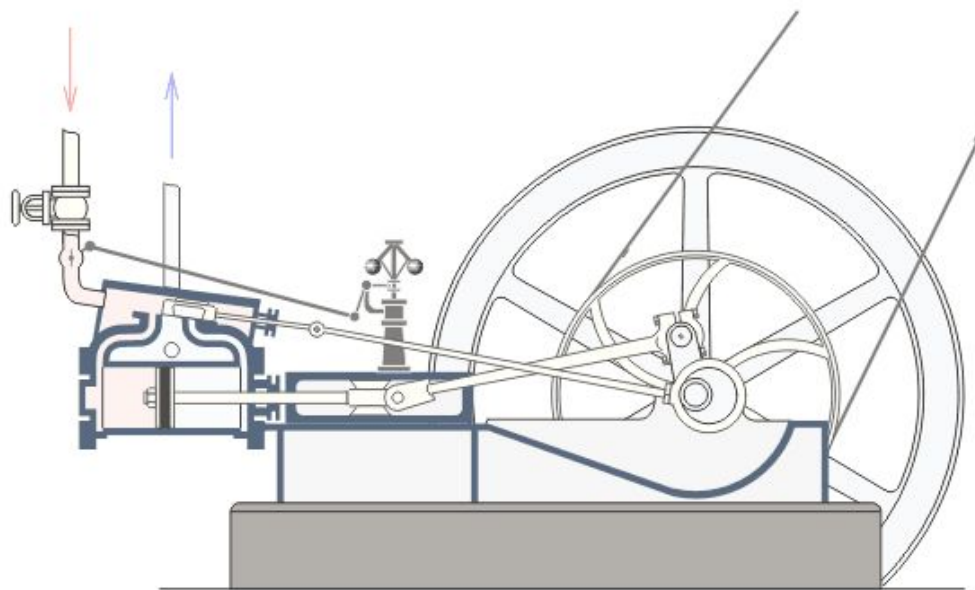


Пони, конечно, относится к семейству лошадиных, но термин от этого не становится более точным. Он был придуман упоминаемым шотландским инженером Джеймсом Уаттом, который известен тем, что повысил эффективность паровых двигателей и дал своё имя единице мощности — Ватт. Уатт работал с пони, которые поднимали уголь из шахты, и рассчитал, сколько работы может сделать 1 пони за минуту. Потом он произвольно добавил к результату 50% и то, что получилось, назвал «одной лошадиной силой».



## Паровые машины с возвратно-поступательным движением

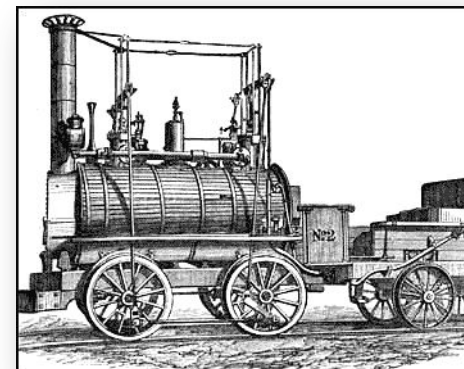
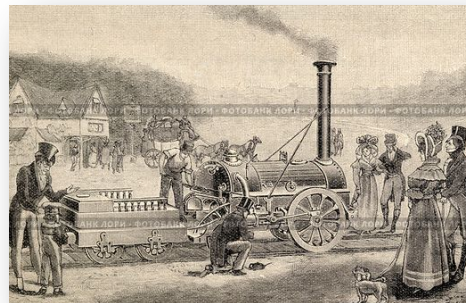
Двигатели с возвратно-поступательным движением используют энергию пара для перемещения поршня в герметичной камере или цилиндре. Возвратно-поступательное действие поршня может быть механически преобразовано в линейное движение поршневых насосов или во вращательное движение для привода вращающихся частей станков или колёс транспортных средств.



В 1788 году **пароход**, построенный Джоном Фитчем, уже осуществлял регулярное сообщение по реке Делавэр между Филадельфией (штат Пенсильвания) и Берлингтоном (штат Нью-Йорк). Он поднимал на борт 30 пассажиров и шёл со скоростью 7—8 узлов.



21 февраля 1804 года на металлургическом заводе Пенидаррен в Мертир-Тидвиле в Южном Уэльсе демонстрировался первый самоходный железнодорожный **паровой локомотив**, построенный Ричардом Тревитиком. А в 1814 году Стефенсон спроектировал свой первый локомотив, предназначенный для буксировки вагонеток с углём для рудничной рельсовой дороги.

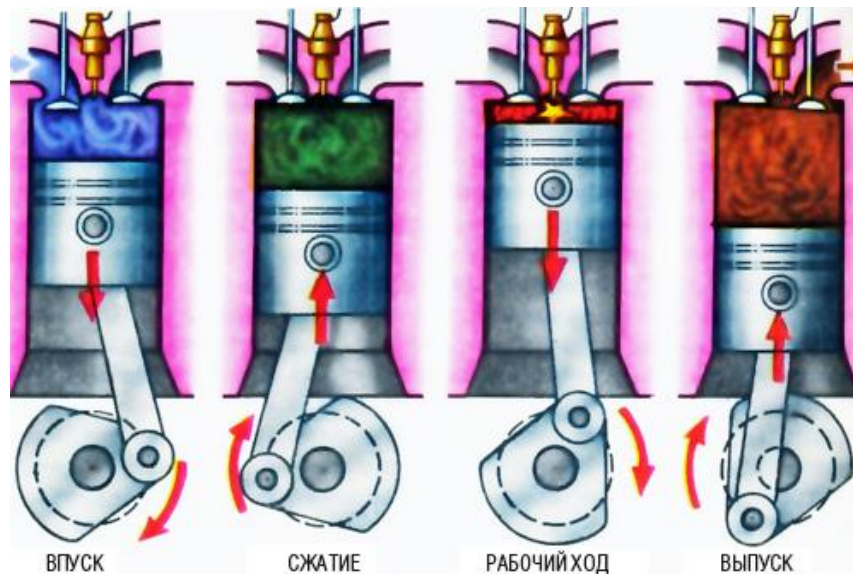


## Двигатель внутреннего сгорания

Двигатель внутреннего сгорания — тепловой двигатель, который преобразовывает теплоту сгорания топлива в механическую работу.

По сравнению с паровой машиной двигатель внутреннего сгорания:

- принципиально проще
- компактнее
- легче
- экономичнее
- требует газообразное и жидкое топливо лучшего качества.

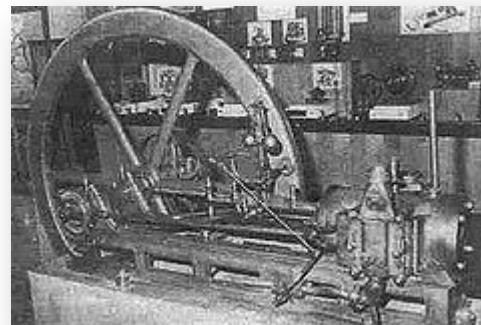
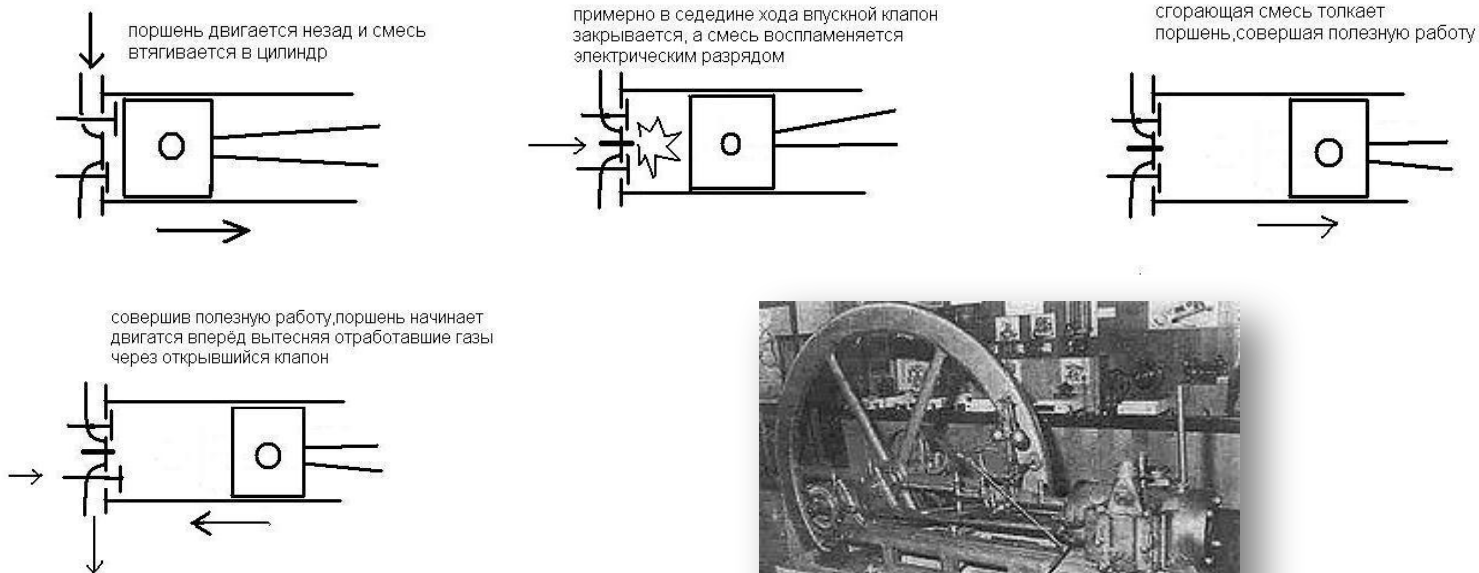


Первый практически пригодный газовый **двигатель внутреннего сгорания** был сконструирован французским механиком **Этьеном Ленуаром** (1822—1900) в 1860 году. Мощность двигателя составляла 8,8 кВт (12 л. с.). Двигатель представлял собой одноцилиндровую горизонтальную машину двойного действия, работавшую на смеси воздуха и светильного газа с электрическим искровым зажиганием от постороннего источника. Использовался как лодочный двигатель.



Зарабатывал на жизнь в Париже официантом, но все его увлечения были устремлены на изобретательство, конструирование приборов и агрегатов. Ему пришла мысль соединить пары бензина с воздухом и использовать эту смесь как движущую силу при работе двигателя. Именно эта идея оказалась решающей для дальнейшего развития двигателя внутреннего сгорания.

В 1857-1858 гг. изобретатель собрал свой двигатель. Его мощность составляла 1,5 л.с. при 1000 об/мин. К.п.д. этого двигателя была всего 4%. Он работал на каменноугольном газе. По своей компоновке двигатель Ленуара был подобен горизонтальной паровой машине двойного действия: рабочий процесс протекал в цилиндре по обе стороны поршня. Проходя полхода, поршень всасывал газовоздушную смесь. Затем она поджигалась электрической искрой, и результирующий взрыв на оставшемся отрезке пути поршня производил полезную работу. То же самое происходило и по другую сторону поршня.

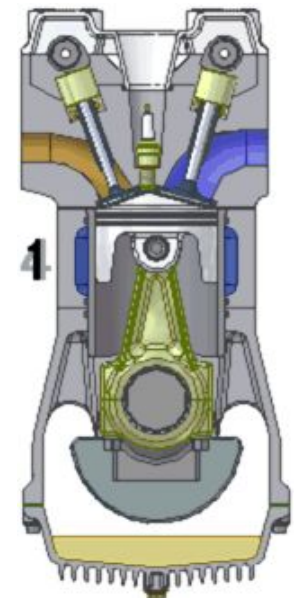
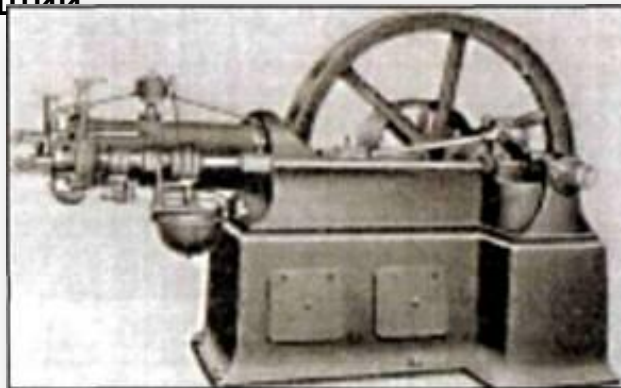


Познакомившись с двигателем Ленуара, немецкий конструктор **Николаус Аугуст Отто** создал в 1863 двухтактный атмосферный двигатель внутреннего сгорания.

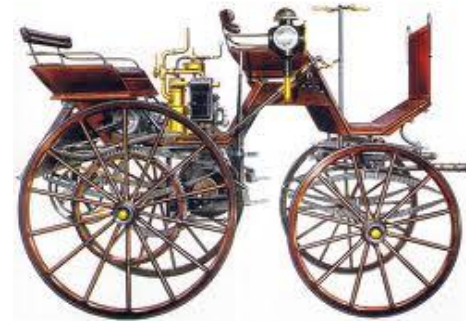
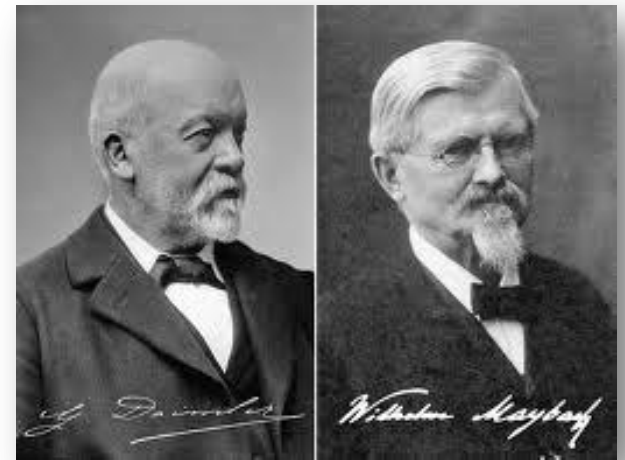
Основная идея Отто состояла в том, что перед зажиганием смесь необходимо подвергать сжатию, а взрыв выгоднее всего производить в крайнем верхнем положении поршня.

В 1876 он построил более совершенный **четырёхтактный газовый двигатель внутреннего сгорания.**

Четырёхтактный принцип сегодня известен, в основном, как цикл Отто, а четырёхтактный двигатель, использующий свечи зажигания, часто называется двигателем Отто.



Постепенно небольшая фирма Отто расширялась. В 1872 г. она превратилась в «Акционерное общество газомоторной фабрики Отто-Дойц», в котором вскоре пересеклись судьбы талантливых изобретателей, предопределивших судьбу автомобиля — **Готлиба Даймлера и Вильгельма Майбаха**. Именно Даймлер и Майбах, приглашенные работать к Отто, а впоследствии основавшие собственную фирму, внесли наибольший вклад в создание компактного двигателя внутреннего сгорания, работающего на жидком топливе и пригодного для применения на транспорте.



В 1886 году была создана трёхколесная самоходная повозка с бензиновым двигателем. В этом же году её создатель — **Карл Бенц** получил патент на это изобретение. Первый в мире трёхколесный автомобиль был запущен в серийное производство. Через семь лет Карл Бенц создает свой четырёхколесный автомобиль.

Интересным также является само происхождение слова «автомобиль». Первая повозка с механическим двигателем называлась «вуатюоотомобиль», т.е. если дословно переводить «коляска самодвижущаяся». По прошествии времени от этого слова осталось только «отомобиль», а потом и вовсе преобразовалось в автомобиль. Что образовано от греческого слова «ауто» — сам и от латинского «мобилис» — передвижной.





В 1890 году Готлиб Даймлер основал компанию своего имени — «Даймлер-Моторен-Гезельшафт», решив выпускать созданный четырьмя годами ранее им самим и принимавшим активное участие Вильгельмом Майбахом четырёхколёсный автомобиль.



После ряда не очень удачных попыток, которые всё же нашли своих восторженных покупателей, конструктору В. Майбаху в 1901 году удалось создать успешный образец. По настоянию консула Австро-Венгерской империи в Ницце и, по совместительству, главы представительства «Даймлер» во Франции Эмиля Еллинека автомобиль был назван в честь Девы Марии Милосердной (фр. Maria de las Mercedes (от латинского «merces» — «дары»)), так же в честь которой были названы все его дети, в числе которых была небезызвестная дочь консула Мерседес.



**Дизельный двигатель** — поршневой двигатель внутреннего сгорания, работающий по принципу самовоспламенения распыленного топлива от воздействия разогретого при сжатии воздуха. В 1890 году немецкий инженер и изобретатель Рудольф Дизель предложил способ практической реализации этого принципа.

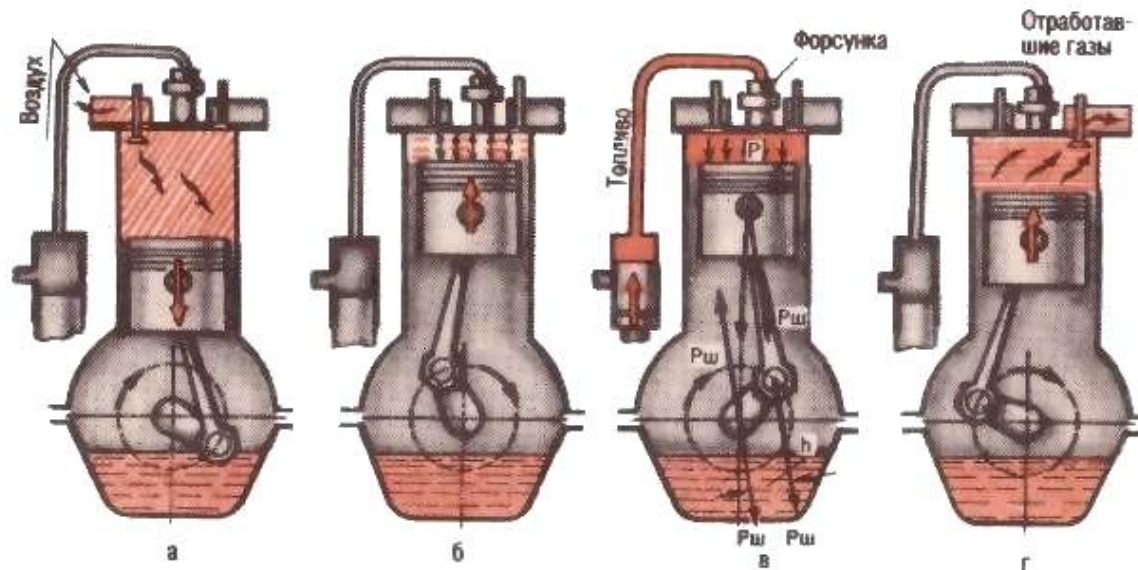
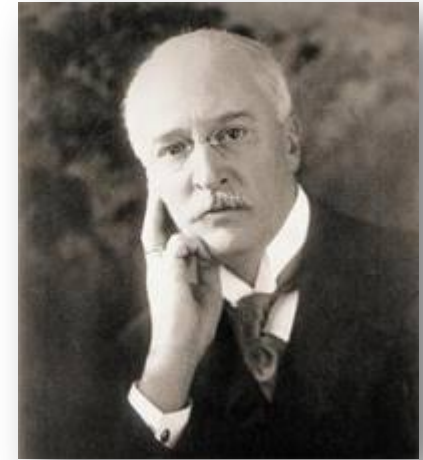


Рисунок. 1. Схема рабочего процесса четырехтактного дизеля:  
а - впуск; б - сжатие; в - рабочий ход; г - выпуск.

## Тепловые двигатели и термодинамика

Второй закон термодинамики, так же как и первый, был сформулирован на основе опыта познания природы человеком. В частности, он базируется на том факте, что теплота в самопроизвольном процессе переходит от горячих тел к холодным. Второй закон утверждает, что все реальные самопроизвольные процессы являются необратимыми.

Как указывалось ранее, второй закон термодинамики можно формулировать при помощи разных утверждений.

- Природа стремится к переходу от менее вероятных состояний к более вероятным (Л. Больцман).
- Теплота не может переходить сама собой от более холодного тела к более нагретому (Р. Клаузиус).
- Невозможно построить периодически действующую машину, все действия которой сводились бы к поднятию некоторого груза и охлаждению теплового источника (М. Планк).

В тепловых двигателях нельзя преобразовать в работу всю теплоту, полученную системой от источника теплоты. Это означает, что нельзя построить тепловой двигатель, работающий при наличии только одного источника теплоты. Такой воображаемый двигатель, способный превращать в работу всю теплоту, полученную из окружающей среды, В. Освальд назвал вечным двигателем второго рода.

Второй закон термодинамики можно записать так:  
«Вечный двигатель второго рода невозможен».

Таким образом, переход теплоты в работу может быть осуществлен только частично. Оставшаяся доля теплоты должна быть передана другому источнику с более низкой температурой. Следовательно для осуществления несамопроизвольного процесса получения работы в тепловом двигателе необходимы два источника теплоты, имеющие разные температуры.

**Людвиг Больцман (1844 — 1906)** — австрийский физик-теоретик, основатель статистической механики и молекулярно-кинетической теории. Член Австрийской академии наук, член-корреспондент Петербургской академии наук и ряда других.

Став известным теоретиком, Больцман с 1895 г. работал в Вене в должности профессора теоретической физики.



Спокойно вести научную и педагогическую работу Больцману не удавалось, поскольку в это время профессором философии Венского университета был Э. Мах, который в своих лекциях отрицал атомистические представления. В 1900 г. Больцман отправился преподавать в Лейпциг, однако там столкнулся с сопротивлением другого анти-атомиста В. Оствальда.

5 сентября 1906 года Больцман покончил с собой в гостиничном номере, повесившись на оконном шнуре. Самоубийство Больцмана связывают с депрессией, вызванной тем, что идеи развиваемой им статистической физики в то время не находили понимания в физическом сообществе.

**Эрнст Мах** (1838- 1916) — австрийский физик и философ. Маху принадлежит ряд важных физических открытий. Первые работы Маха посвящены изучению процессов слуха и зрения. Мах изучал оптические явления, аэродинамические процессы, сопровождающие сверхзвуковое движение тел. Он открыл и исследовал процесс возникновения ударной волны. С именем Маха назван ряд величин и понятий: число Маха, конус Маха, интерферометр Маха — Цендера



**Вильгельм Фридрих Оствальд** (1853- 1932) — латыш, балтийский немец, физико-химик и философ, лауреат Нобелевской премии по химии 1909 года. Член-корреспондент Петербургской академии наук . Оствальд — автор «энергетической» теории, одной из разновидностей «физического» идеализма. Оствальд считал единственной реальностью энергию, рассматривал материю как форму проявления энергии.



**Термодинамические циклы** являются моделями процессов, происходящих в реальных тепловых машинах для превращения тепла в механическую работу.

Цикл Карно назван в честь французского военного инженера **Сади Карно**, который впервые его исследовал в 1824 году.

Отец Сади Карно был знаменитым генералом и военным министром при Наполеоне Бонапарте. Сади Карно учился в знаменитой Политехнической школе и после ее окончания в 1814 году отправился добровольцем на фронт под командованием Наполеона Бонапарта.

Уйдя в отставку, занялся теоретическим обоснованием принципов работы паровых машин, Карно стал одним из пионеров термодинамики предложил свою знаменитую модель идеального двигателя. Свои идеи Сади Карно опубликовал в 1824 году в форме фундаментального трактата «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу».



Пусть тепловая машина состоит из нагревателя с температурой  $T_H$ , холодильника с температурой  $T_X$  и рабочего тела. Тогда коэффициент полезного действия тепловой машины Карно равен

$$\eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} = \frac{T_H - T_X}{T_H}$$

где  $Q_H$  - количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя при изотермическом расширении,

$Q_X$  - количество теплоты, которое рабочее тело отдало холодильнику при изотермическом сжатии.

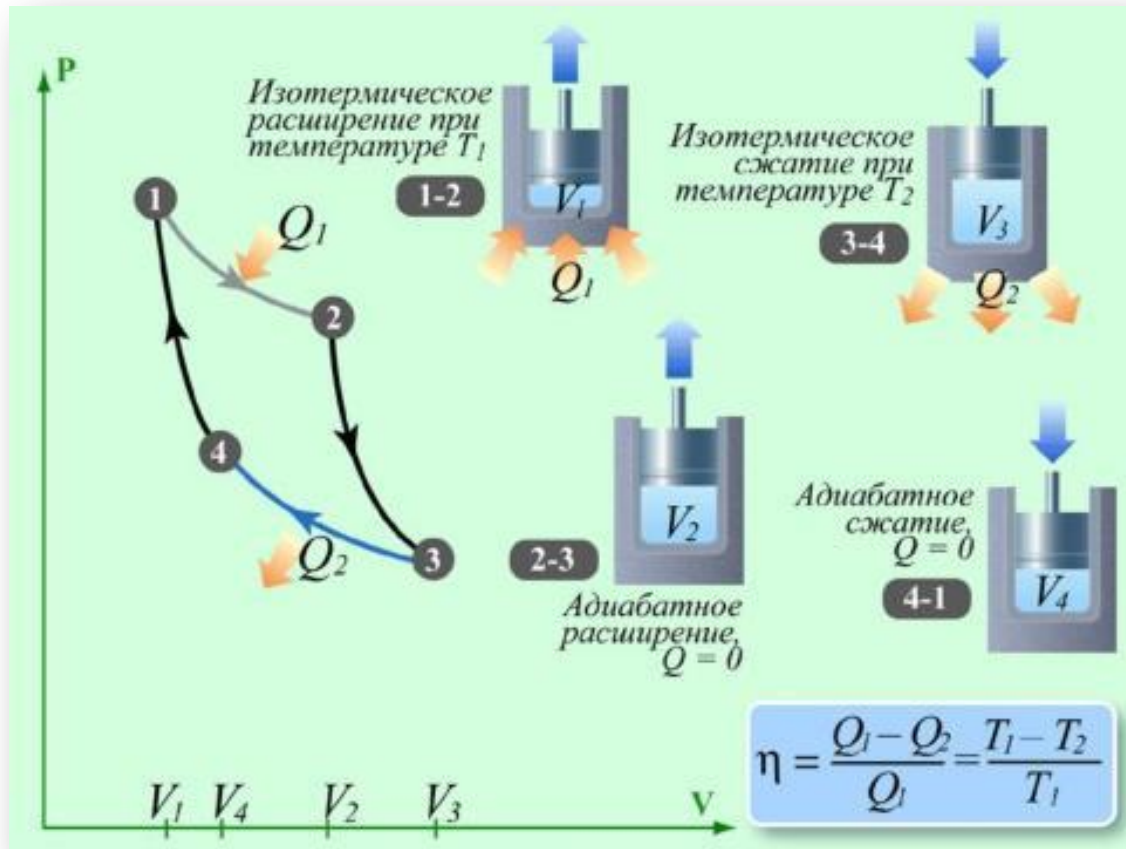
Из последнего выражения видно, что КПД тепловой машины Карно зависит только от температур нагревателя и холодильника. Кроме того, из него следует, что КПД может составлять 100 % только в том случае, если температура холодильника равна абсолютному нулю.

Можно показать, что никакая тепловая машина с теми же температурами нагревателя и холодильника не может обладать бóльшим КПД, чем тепловая машина Карно.



## Цикл Карно

Цикл Карно — идеальный термодинамический цикл. Тепловая машина Карно, работающая по этому циклу, обладает максимальным КПД из всех машин, у которых максимальная и минимальная температуры осуществляемого цикла совпадают соответственно с максимальной и минимальной температурами цикла Карно. Состоит из 2 адиабатических и 2 изотермических процессов.



*- Что такое одна лошадиная сила?  
- Это усилие, которое предпринимает К.  
Собчак, чтобы казаться красивой,  
умной и стильной одновременно.*



Спасибо за  
внимание!



**Почему троечники  
преуспевают больше,  
чем отличники?**