

Основные понятия и законы теплотехники

1. Структура курса термодинамика и теплопередача.
2. Основные проблемы дисциплины.
3. Основные понятия и определения.
4. Аналитическое выражения первого закона термодинамики.
5. Второй закон термодинамики.

***Один опыт я ставлю выше, чем тысячу мнений,
рожденных только воображением.***

*Математику уже за то любить следует, что она ум в
порядок приводит.*

*Ежели ты хорошее сделаешь с трудом, труд минется, а
хорошее останется, а ежели сделаешь что худое с
услаждением, услаждение минется, а худое останется.*

Кто малого не может, тому и большее невозможно.

1. Структура курса

термодинамика и теплопередача

Согласно учебного плана дисциплина относится к вариативной части блока 1 и на её изучение отводится 3 з. е. (108 ч.) в т. ч.

аудиторные занятия (контактная работа):

- по очной форме обучения- 18/36 (лек./лаб.);
- по заочной форме обучения- 4/4 (лек./лаб.);

самостоятельная работа:

- по очной форме обучения – 54 час.
- по заочной форме обучения – 100 час.

Форма промежуточной аттестации – **диф. зач.**

Цель изучения дисциплины: формирование у студентов совокупности знаний по методам получения, преобразования, передачи и использования теплоты.

Задачи: изучение основных законов термодинамики и тепломассообмена, термодинамических процессов и циклов, свойств рабочих тел, основ расчета теплообменных аппаратов, горения, энергосбережения, вторичных энергоресурсов, возобновляемых источников энергии, теплоэнергетических и холодильных установок, теплоснабжения, связи теплоэнергетических и теплоиспользующих установок с проблемой защиты окружающей среды.

Планируемые результаты

(ОПК-6): способность самостоятельно или в составе группы осуществлять научную деятельность, реализуя специальные средства и методы получения нового знания

(ПСК-1.2) способность проводить теоретические и экспериментальные научные исследования по поиску и проверке новых идей совершенствования автомобилей и тракторов.

Основная литература:

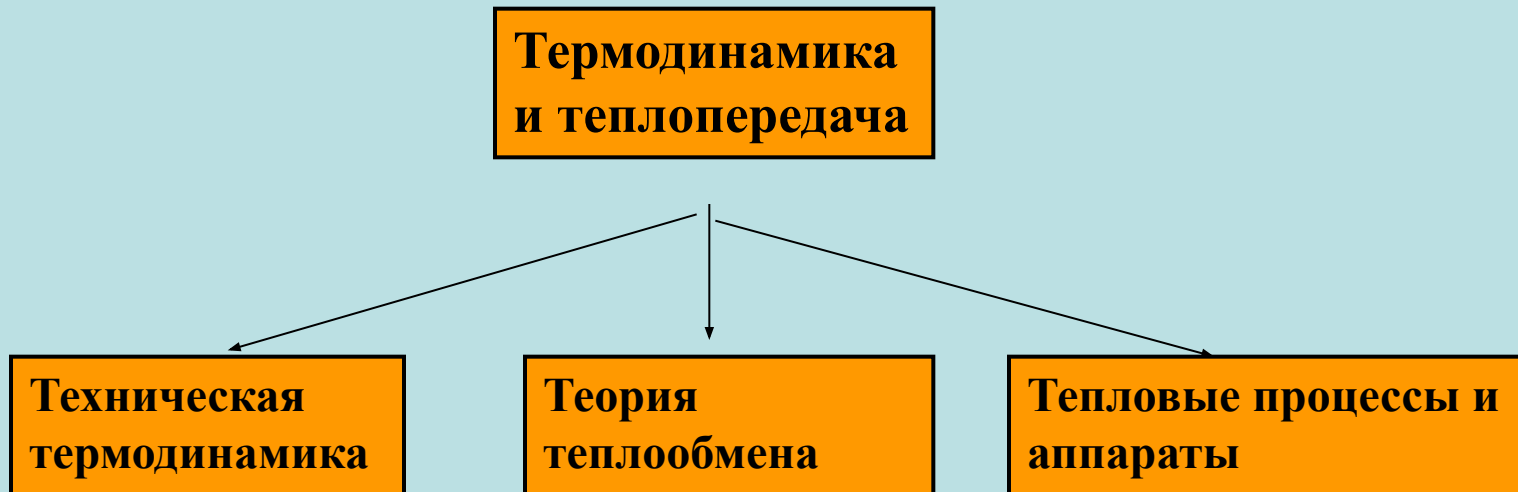
- .Рудобашта С.П. Теплотехника: Учебник. – М.: КолосС, 2010.
- .Теплотехника: учебник/под ред. М.Г. Шатрова. - М.:Академия, 2011. - 288с.
- 3.Круглов Г. А. Теплотехника:[учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Агроинженерия"]/Г. А. Круглов, Р. И. Булгакова, Е. С.Круглова — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург [и др.]: ЛАНЬ, 2012 .— 208 с.
- Кудинов В. А. Теплотехника: Учебное пособие / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, Е. В. Стефанюк. - М.: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 424 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-905554-80-3

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

- .Электронная документация ИС «СтройКонсультант» - электронный сборник нормативных документов по строительству, действующих на территории Российской Федерации www.stroykonsultant.com.
- .Справочная система «ТЕХЭКСПЕРТ» - электронная справочная система нормативно-технической информации www.tehekspert.ru, www.apic.ru, www.rusklimat.ru, www.euroclimat.ru, www.aircon.ru, www.tepljholod.ru.
- . Программное средство учебного назначения «Сушильные установки» (часть 1, 2) МЭИ, www.RosTeplo.ru, www.teplohimprom.ru, www.teploblok.ru.
- .Электронная документация Министерства образования РФ, энергосбережение в системе образования (нормативная документация, методические материалы, примеры энергосберегающих мероприятий). www.biosafety.ru, www.tehdoc.ru/hvgiene.htm.

Термодинамика и теплопередача

Термодинамика и теплопередача – наука, которая изучает методы получения, преобразования, передачи и использования теплоты, а также принципы действия и конструктивные особенности тепловых машин, аппаратов и устройств.



2. Основные проблемы дисциплины

- парниковый эффект
- тепловое и химическое
загрязнение окружающей
среды.
- озоновые дыры.

Основные источники загрязнения окружающей среды



Промышленные
производства



Энергетические
установки



Транспорт



Сельское
хозяйство



Коммунально-бытовой
сектор



Парниковый эффект Атмосфера



Тепловое загрязнение

Вызывается сбросом в водоемы подогретых вод ТЭС и АЭС. Приводит к массовому развитию сине – зеленых водорослей, так называемому цветению воды, уменьшению количества кислорода и отрицательно влияет на флору и фауну водоемов



2. Химическое загрязнение биосферы.

Основные источники загрязнения атмосферы

промышленность

бытовые котельные

транспорт

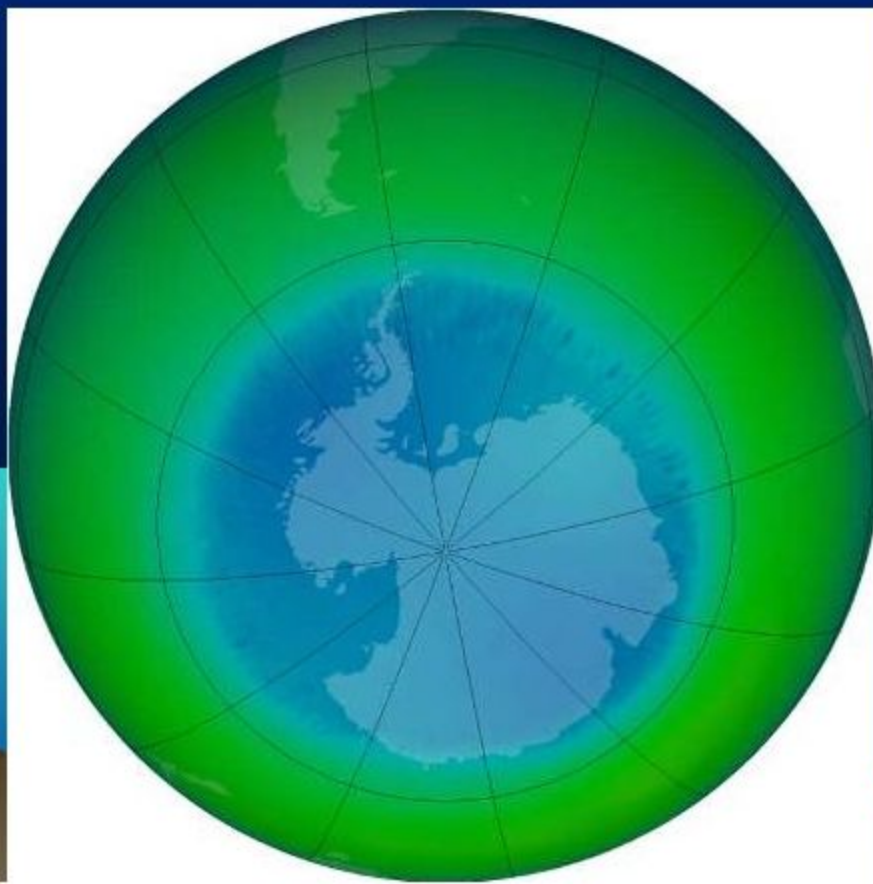


Основные вредные примеси пирогенного происхождения:

Оксид углерода, сернистый ангидрид, серный ангидрид, сероводород и сероуглерод, оксиды азота, соединения фтора, соединения хлора, аэрозольное загрязнение атмосферы.

Происхождения озоновой дыры.

- В последние годы этот слой стал заметно тоньше, а над Антарктидой он стал так тонок, что это место и назвали озоновой дырой.



ПЕРВАЯ УГРОЗА НА ЗЕМЛЕ

Озоновая дыра диаметром свыше 1000 км впервые была обнаружена в 1985 в над Антарктидой группой британских учёных. Каждый август она появлялась, к декабрю или январю прекращая своё существование.



Над Северным полушарием в Арктике образовывалась другая дыра меньших размеров.

Последствия образования озоновых дыр

- Ослабление озонового слоя усиливает поток солнечной радиации на землю и вызывает у людей рост числа раковых образований кожи. Также от повышенного уровня излучения страдают растения и животные.

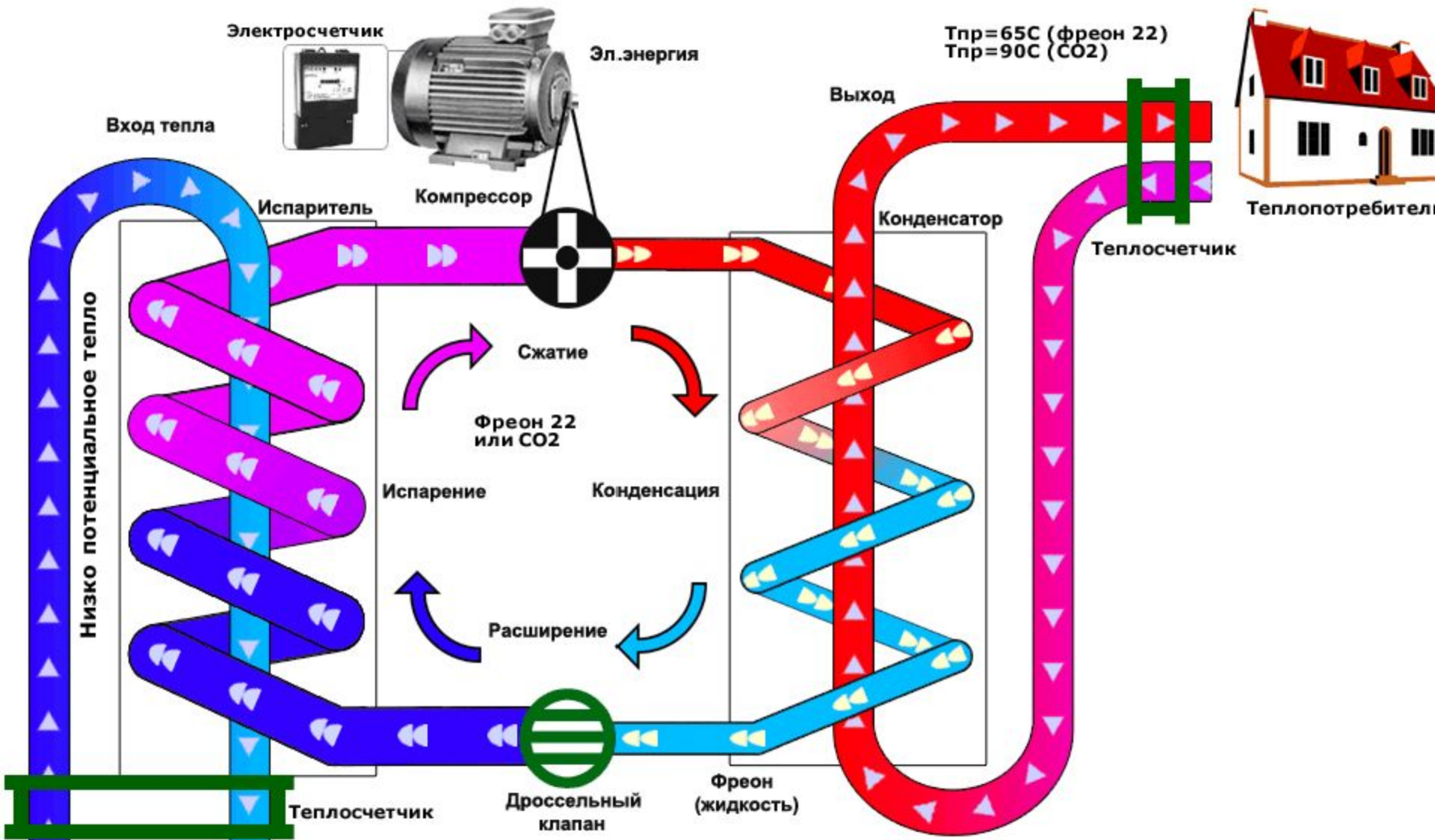


Некоторые пути решения

Энергоэффективный дом



Принципиальная схема работы теплового насоса (ТНУ)



Тепло водоемов, грунтовых вод, техногенное тепло и т.д.



Новейшее время



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)



3. Основные понятия и определения

Исторически термодинамика возникла как наука, изучающая переход теплоты в механическую работу, что диктовалось необходимостью дать теоретические основы работы тепловых машин

ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ ***МОЖНО***

***рассматривать как совокупность
беспорядочно движущихся молекул-
шариков, имеющих пренебрежимо
малый собственный объем и не
взаимодействующих друг с другом на
расстоянии.***

ТЕХНИЧЕСКАЯ
Базируется на трёх основных законах (началах)
ТЕРМОДИНАМИКА
термодинамики и уравнении состояния:

I закон термодинамики - закон превращения и сохранения энергии;

II закон термодинамики – устанавливает условия , необходимые для превращения тепловой энергии в механическую в системах, состоящих из большого количества частиц;

III закон термодинамики – утверждает, что абсолютный нуль температуры недостижим.

Термодинамика – раздел физики, изучающий общие свойства макроскопических систем, находящихся в состоянии термодинамического равновесия, и процессы перехода между этими состояниями

Объектом исследования является **термодинамическая система**.

Изолированная система - система не взаимодействующая с окружающей средой.

Адиабатная (теплоизолированная) система – имеет адиабатную оболочку, которая исключает обмен теплотой с окружающей средой.

Однородная система – система, имеющая во всех своих частях одинаковый состав и физические свойства.

Гомогенная система – однородная система по составу и физическому строению (лед, вода, газы).

Гетерогенная система – система, состоящая из нескольких гомогенных частей (фаз) с различными физическими свойствами, отделенных одна от другой видимыми поверхностями раздела (лед и вода,

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Термодинамической системой называется совокупность макроскопических тел, которые могут обмениваться энергией между собой и окружающей средой.

Термодинамические системы, которые не обмениваются с внешней средой ни энергией, ни веществом называются **замкнутыми (изолированными)**.

Параметры состояния не всегда имеют определенные значения (одинаковые во всех точках системы). Состояние, в котором хотя бы один из параметров не имеет определенного значения, называется **неравновесным**.

Состояние термодинамической системы будет **равновесным**, если все параметры состояния имеют определенные значения, не изменяющиеся с течением времени.

Любое изменение в термодинамической системе, связанное с изменением хотя бы одного из ее термодинамических параметров, называется

термодинамическим процессом

Основа термодинамического метода – определение состояния термодинамической системы – совокупности макроскопических тел, которые взаимодействуют и обмениваются энергией как между собой, так и с другими телами (внешней средой).

Параметры состояния

Удельный объем – величина, определяемая отношением объема вещества к его массе.

$$v = V / m , [m^3/kg] ,$$

Плотность вещества – величина, определяемая отношением массы к объему вещества.

$$\rho = m / V , [kg/m^3] , v = 1 / \rho ; \rho = 1 / v ; v \cdot \rho = 1 .$$

Давление – с точки зрения молекулярно-кинетической теории есть средний результат ударов молекул газа, находящихся в непрерывном хаотическом движении, о стенку сосуда, в котором заключен газ.

$$P = F / S ; [Pa] = [N/m^2]$$

Внесистемные единицы давления:

$$1 \text{ кгс/м}^2 = 9,81 \text{ Па} = 1 \text{ мм.водн.ст.}$$

$$1 \text{ ат. (техн.атмосфера)} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 98,1 \text{ кПа.}$$

$$1 \text{ атм. (физическая атмосфера)} = 101,325 \text{ кПа} = 760 \text{ мм.рт.ст.}$$

$$1 \text{ ат.} = 0,968 \text{ атм.}$$

$$1 \text{ мм.рт.ст.} = 133,32 \text{ Па.}$$

$$1 \text{ бар} = 0,1 \text{ МПа} = 100 \text{ кПа} = 10^5 \text{ Па.}$$

Температура – мера нагретости тела

$$T = t + 273,15$$

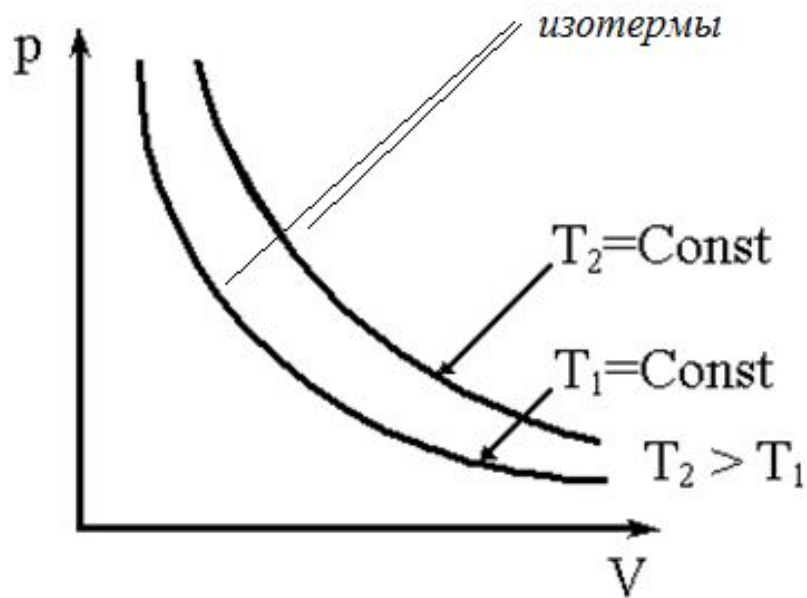


Роберт Бойль
1627-1691
английский
химик,
физик и теолог

Эдм Мариотт
1620-1684
французский
физик



Закон Бойля-Мариотта



При постоянной массе газа и неизменной температуре произведение давления p на объем V газа постоянно

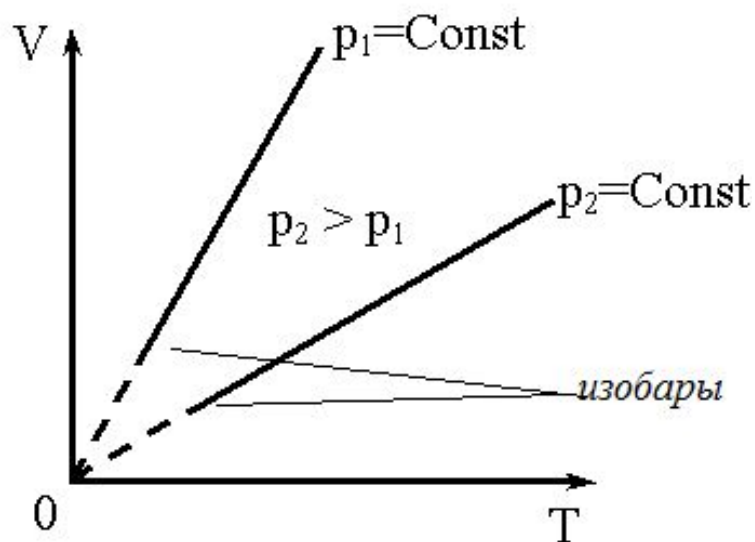
при $T = \text{Const}$, $m = \text{Const}$
 $pV = \text{Const}$ - уравнение изотерм

Термодинамический процесс, протекающий при постоянной температуре, называется
изотермическим процессом



Жозеф Луи Гей-Люссак
1778-1850
французский химик и
физик

Закон Гей-Люссака



При постоянном давлении газа и неизменной массе отношение объема газа V к его температуре T остается величиной постоянной

при $P=Const$, $m=Const$

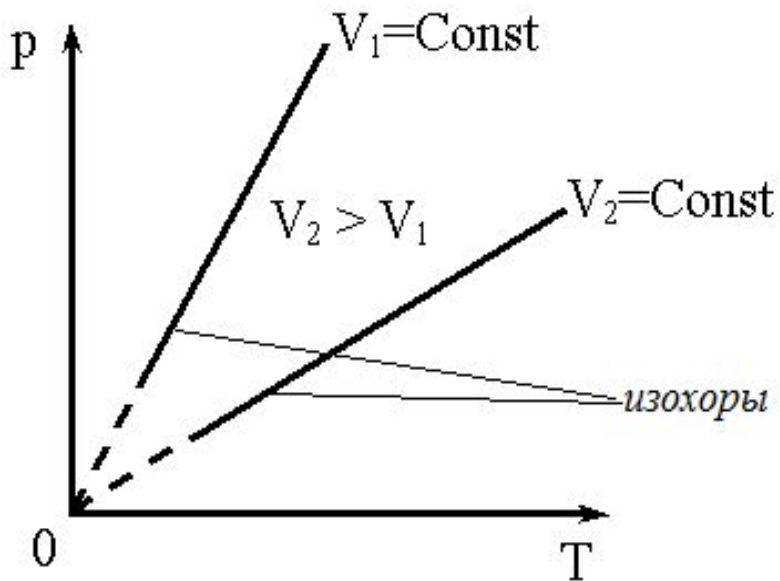
$$\frac{V}{T} = Const \text{ уравнение изобар}$$

Процесс, протекающий при постоянном давлении ($p=Const$), называется
изобарным



Жан Александр Шарль
1746-1823
французский физик и
изобретатель

Закон Шарля

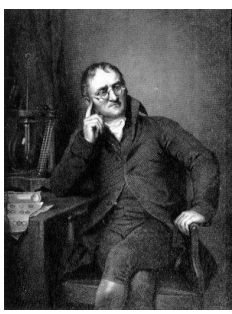


**При постоянных объемах и
массе газа отношение давления
газа к его температуре
постоянно**

$$V = \text{Const}, m = \text{Const}$$

$$\frac{p}{T} = \text{Const} \text{ уравнение изохор}$$

**Процесс, протекающий при
 $V = \text{Const}$, называется
ИЗОХОРНЫМ**



Джон Дальтон
1766-1844
английский физик

Закон Дальтона: давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений p_1, p_2, \dots, p_n входящих в нее газов

Парциальное давление — давление, которое производил бы газ, входящий в состав газовой смеси, если бы он один занимал объем, равный объему смеси при той же температуре

Закон Авогадро

СРЕДНЯЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ поступательного движения одной молекулы идеального газа равна

$$\langle w_k \rangle = \bar{w}_k = \frac{W_k}{N} = \frac{m_0 \bar{V}_{KB}^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad \begin{array}{l} k \approx 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} - \\ \text{Постоянная Больцмана} \end{array}$$

Термодинамическая температура является мерой средней кинетической энергии поступательного движения молекул идеального газа

$$pV = \frac{2}{3} W_k \quad \text{Подставляем} \quad W_k = \langle w_k \rangle N \quad \longrightarrow \quad pV = \frac{2}{3} \langle w_k \rangle N$$

$$\text{Делим почленно на } V, \text{ и учитывая, что: } n = \frac{N}{V} \quad \langle w_k \rangle = \frac{3}{2} kT \quad \longrightarrow \quad p = nkT$$

При одинаковых условиях (при одинаковых давлениях и температуре) различные идеальные газы содержат в равных объемах одно и то же количество молекул

$$\downarrow$$
$$\frac{N}{V} = \frac{p}{kT}$$

закон Авогадро

УРАВНЕНИЕ МЕНДЕЛЕЕВА – КЛАПЕЙРОНА

уравнение состояния идеального газа

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \text{ или } pV = \nu RT$$

m – масса газа, μ – молярная масса газа (масса одного моля),

$m/\mu = \nu$ – количество вещества (молей)

Согласно **закону Авогадро**: 1 моль любого вещества содержит одно и то же число молекул (число Авогадро) $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ и 1 моль идеального газа занимает при нормальных условиях объем $V = 22,4$ дм³ = $22,4 \cdot 10^{-3}$ м³

$R\mu$ – универсальная газовая постоянная **8.31 Дж/моль К**

$$R = kN_A$$

$$N = \nu N_A$$

4. Аналитическое выражение первого закона термодинамики

ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИЕЙ вещества называется энергия U , зависящая от термодинамического состояния системы (вещества) (т.е. является функцией состояния термодинамической системы) и включает в себя энергию всех видов внутренних движений в теле (системе).

Для идеального газа учитывается только кинетическая энергия теплового поступательного и вращательного движения

$$U = N \langle w_k \rangle = \nu N_A \langle w_k \rangle = \frac{i}{2} kT \nu N_A = i \frac{\nu RT}{2}$$

$$U = i \frac{\nu RT}{2}$$

Работа в термодинамике.

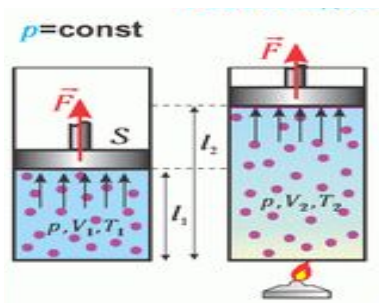
Обмен энергией осуществляется двумя способами:
путем совершения **РАБОТЫ** и путем **ТЕПЛООБМЕНА**

Энергия, передаваемая при этом термодинамической системе внешними телами, называется **работой**, совершаемой над системой.

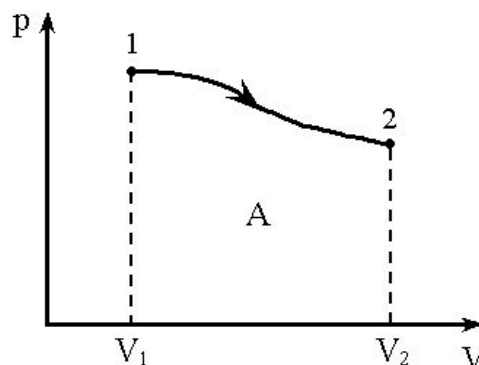
Работу над системой производят внешние силы по изменению **объема**

Если $p = \text{const}$

$$A = p\Delta V = p(V_2 - V_1)$$



Если в процессе изменения объема происходит изменение давления



$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

Количество теплоты

Теплообмен происходит между телами или частями одного и того же тела, нагретыми до различной температуры

Энергия (Q или ΔQ), передаваемая системе внешними телами путем теплообмена (без совершения работы), называется **ТЕПЛОТОЙ**

(**КОЛИЧЕСТВОМ ТЕПЛОТЫ (Дж)**), получаемой системой от внешней среды

ТЕПЛОЕМКОСТЬЮ тела (вещества) называется физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо подвести к телу, чтобы увеличить его температуру на один градус

$$C^* = \frac{\delta Q}{dT} \text{ Дж/К}$$

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ вещества – теплоемкость единицы массы вещества

$$c = \frac{C^*}{m} = \frac{1}{m} \frac{\delta Q}{dT} \text{ Дж/кг[К]}$$

Молярная теплоемкость C_μ
теплоемкость одного моля вещества

$$C_\mu = \frac{\delta Q}{\frac{m}{\mu} dT} \quad \text{[Дж/(моль К)]}$$

В зависимости от вида процесса изменения состояния вещества различают теплоемкость при **постоянном давлении C_v** и при **постоянном объеме C_p**

Первое начало термодинамики

$$Q = \Delta U + A$$

количество теплоты, сообщенное системе, расходуется на изменение внутренней энергии системы и на совершение системой работы против внешних сил

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ – это закон сохранения и превращения энергии в термодинамических процессах

Для изменения состояния системы, вызванного сообщением ей бесконечно малого количества теплоты δQ

$$\delta Q = dU + \delta A$$

Если к системе **подводится** теплота, то **$\delta Q > 0$**

Если от системы **отводится** теплота, то **$\delta Q < 0$**

Если **система совершает работу** над внешними телами, то **$\delta A > 0$**

Если же **над системой** внешние силы совершают работу, то **$\delta A < 0$**

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ $\delta Q = dU + \delta A$ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИЗОПРОЦЕССАМ В ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗАХ

Для изохорного процесса ($V = \text{Const}$) работа равна нулю, поскольку $dV = 0 \Rightarrow \delta A = pdV = 0$

$$\delta Q = dU$$

В изохорном процессе количество теплоты, переданное системе, идет на увеличение ее внутренней энергии, т.е. на **увеличение температуры** для 1 моля вещества:

$$dU_{\mu} = \frac{i}{2} R dT \quad \longrightarrow \quad C_V = \frac{i}{2} R$$

Для изотермического процесса ($T = \text{Const}$) $dU = 0$

$$\delta Q = \delta A = pdV$$

В изотермическом процессе все тепло, получаемое системой, расходуется на **совершение системой работы**.

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ $\delta Q = dU + \delta A$

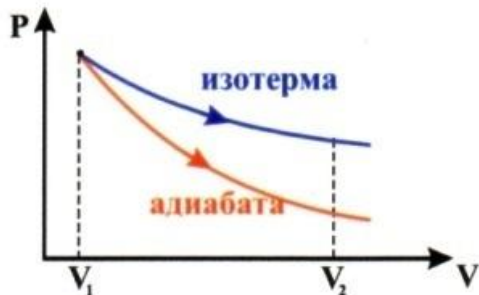
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИЗОПРОЦЕССАМ В ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗАХ

$$\delta Q = \delta A = -dU$$

АДИАБАТНЫМ называется, термодинамический процесс, при котором система не обменивается теплом с окружающей средой, т.е. $\delta Q = 0$.

Такая система называется теплоизолированной

Работа в адиабатном процессе совершается за счет убыли внутренней энергии системы



$$pV^\gamma = \text{Const}$$

Уравнение адиабаты
Уравнение Пуассона

$$\gamma = \frac{C_p^*}{C_v^*} = \frac{c_{\mu p}}{c_{\mu v}} = \frac{c_p}{c_v} = \frac{i+2}{i}$$

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ $\delta Q = dU + \delta A$ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИЗОПРОЦЕССАМ В ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗАХ

Для изобарного процесса ($p = \text{const}$)

$$\delta Q = dU + p dV$$

$$\delta Q = \frac{m}{\mu} c_{\mu p} dT, \quad \delta A = p dV = \frac{m}{\mu} R dT \quad \longrightarrow \quad R = \frac{\delta A}{\frac{m}{\mu} dT}$$

Физический смысл R : численно равна работе, совершаемой одним молем идеального газа при его изобарном нагревании на один градус

Уравнение Майера : $c_{\mu p} - c_{\mu v} = R$

$$C_p = \frac{i}{2} R + R = \frac{i+2}{2} R.$$

5. Второй закон термодинамики

- Французская академия наук с 1755 г. «раз и навсегда» объявила что не принимает на рассмотрение проекты **«вечных двигателей»**
- Двигатель, который позволял бы получать работу без энергетических затрат называется **вечным двигателем первого рода.**
- Двигатель полностью превращающий в работу всю полученную от горячего источника теплоту, называется **вечным двигателем второго рода**

Три основные части любого теплового двигателя

Нагреватель

Передает количество теплоты Q_1
рабочему телу

Q_1

рабочее
тело

Совершает работу

$$A = Q_1 - Q_2$$

Q_2

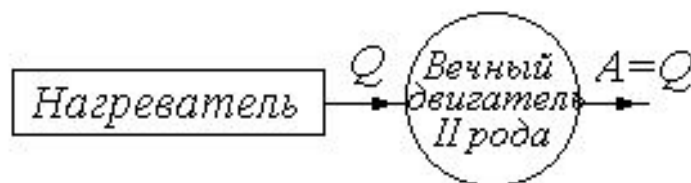
холодильник

Потребляет часть полученного
количества теплоты Q_2

Определения II закона термодинамики

1. Формулировка Клаузиуса: *теплота самопроизвольно не может переходить от тела с меньшей температурой к телу с большей температурой*

2. Формулировка Томсона (Кельвина): *невозможен такой периодический процесс единственным результатом которого было бы превращение теплоты в работу вследствие охлаждения тела*



Теорема Карно

3. Формулировка Карно (II закона термодинамики):

Теорема Карно: КПД обратимых машин, работающих при одинаковых температурах нагревателей и холодильников, равны друг другу и не зависят от природы рабочего тела, а определяются только температурами нагревателя и холодильника

$$\eta_k = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

к.п.д. тепловой машины всегда меньше 1!

для повышения к.п.д. тепловой машины нужно **увеличивать** температуру нагревателя и **уменьшать** температуру холодильника

4. Формулировка ВТОРОГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ на основе понятия энтропии: ЭНТРОПИЯ замкнутой (теплоизолированной) системы не может убывать при любых происходящих в ней процессах

$$\Delta S \geq 0$$

**ЗАКОН ВОЗРАСТАНИЯ
ЭНТРОПИИ**

неравенство Клаузиуса

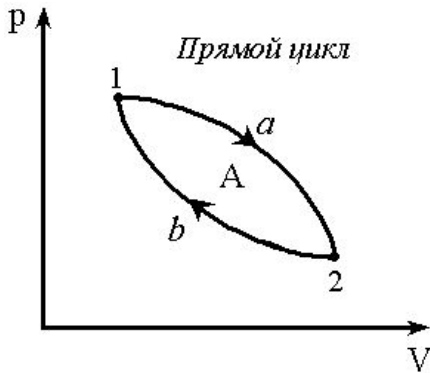
$$\frac{\delta Q}{T} = dS$$

Энтропией S называется функция состояния системы и характеризует направление протекания процессов в термодинамической системе

Если система замкнутая (теплоизолированная), то изменение энтропии для

- *обратимого кругового процесса равно нулю $\Delta S=0$*
 - *необратимого - $\Delta S>0$*

Круговые процессы



$A > 0$, то цикл называется прямым



$A < 0$, то цикл называется обратным

Круговым процессом (или циклом) называется процесс, при котором система, пройдя через ряд промежуточных состояний, возвращается в исходное

РАБОТА, равно как и **ТЕПЛОТА** — является функцией **процесса**, который происходит с системой

Термодинамический процесс называется **ОБРАТИМЫМ**, если после его завершения в окружающей среде не произошло никаких изменений — физическая абстракция!

Все реальные процессы являются необратимыми!