

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И УПРАВЛЕНИЯ



Кафедра «Самолетостроение»



Нужны умные, образованные люди; по мере приближения человечества к лучшей жизни число этих людей будет увеличиваться, пока они не составят большинства.

Антон Павлович Чехов

Русский писатель, прозаик, драматург. Классик мировой литературы. По профессии врач. Почётный академик Императорской Академии наук.
(1860-1904)



Необходимость исследования теплоотдачи при большой скорости движения газа диктуется, главным образом, развитием авиационной и ракетной техники

Зависимость температуры обшивки от числа Маха

Число Маха	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	5,0	10,0
Высота полета 0 м							
Скорость полета, м/с	340,3	510	681	851	1021	1701	3403
Скорость полета, км/ч	1225	1837	2450	3062	3675	6125	12250
Температура торможения, К	346	418	519	648	807	1729	6051
Повышение температуры, К	58	130	231	360	519	1441	5763
Высота полета 11-25 км							
Скорость полета, м/с	295,0	442	590	737	885	1475	2950
Скорость полета, км/ч	1062	1593	2124	2655	3186	5310	10620
Температура торможения, К	250	314	390	487	606	1300	4550
Повышение температуры, К	43	97	173	270	389	1083	4333

Примечание:

Интервал температур плавления дюралюминия 510-640°C

375 °C

534 °C

Демонстрируется видеоролики: - «Гипер-авиация» – 3 мин.;
- «Российская ракета Циркон» - 3 мин.;



**Лекция № 1
по дисциплине**

«Термодинамика и теплопередача»

**«Термодинамика как наука.
Основные понятия
термодинамики»**

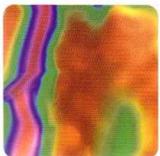
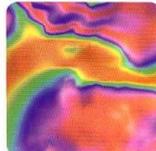
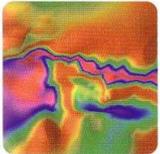


Министерство образования
и науки РФ рекомендует

Учебник

Техническая термодинамика и теплопередача

В. А. Кудинов,
Э. М. Карташов, Е. В. Стефанюк



В.А.Кудинов Э.М. Карташов

ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

ВЫСШАЯ ШКОЛА

Г. А. Мухачев
В. К. Шукин
**ТЕРМО·
ДИНАМИКА
И ТЕПЛО·
ПЕРЕДАЧА**





**Данные
аттестации студентов группы АСВсд-31 по дисциплине
"Термодинамика и теплопередача" 144(56) зима 2016 год**

№	Фамилия ИО	Дни занятий																	Пропуски зан.			Оценки								
		03.09	08.09	10.09	10.09	22.09	29.09	06.10	08.10	13.10 ДВС	13.10	20.10	22.10	27.10 ИТУ	27.10 Расч.	10.11 ИР	18.11 ИР	24.11	02.12 ИР	08.12 Задачи	16.12 ИР	Иссл.	22.12	Всего	%	Балл	Кол-во	Ср.балл	Рейтинг	
1	Елисеев Сергей Александр.				5		5		5						5	5		5	5		5			0	0,0	5,0	8	5,0	10,0	
2	Карягина Диана Андреевна				5		5		5						5	5		5	5		5			0	0,0	5,0	8	5,0	10,0	
3	Мусорова Елена Сергеевна				5		5		5						5	5		5	5		5			0	0,0	5,0	8	5,0	10,0	
4	Сельцов Евгений Викторов.				5		5		5						5	5		5	5		5			0	0,0	5,0	8	5,0	10,0	
5	Филиппов Дмитрий Анатол.				5		5		5						5	5		5	5		5			0	0,0	5,0	8	5,0	10,0	
6	Медведев Владимир Альбер.				5		5		5			н			5	5		5	5		5			1	4,3	4,8	8	5,0	9,8	
7	Блишков Иван Александрович				5		5		5		н				4	5		5	5		5			1	4,3	4,8	8	4,9	9,7	
8	Денежкин Андрей Владимир.				5		5		5					н	н	5	5		5	5		5		2	8,7	4,6	8	5,0	9,6	
9	Кудряшов Павел Владимир.				5		5		5					н	5	5	н	5	5		5			2	8,7	4,6	8	5,0	9,6	
10	Спирина Елена Анатольевна				5		5		5			н			5	5		5	5	н	5			2	8,7	4,6	8	5,0	9,6	
11	Ястребов Денис Владимирович				5		5		5					н	н	5	5		5	5		5		2	8,7	4,6	8	5,0	9,6	
12	Чернышов Иван Андреевич				5	н	5		н	5				н	2	5		5	5	н	н	5		5	21,7	3,9	8	4,6	8,5	
13	Андреева Ольга Константи.		н	н	5	н	н	н	н	н	н	5			5	5		5	5		5			9	39,1	3,0	7	4,4	7,4	
14	Евсеев Антон Владимирович			н	н	н		5	н	н	5	5			5	5	н	н	н	н	н	н	4	11	47,8	2,6	6	3,6	6,2	
15	Гафурова Чулпан Котдусовна	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	5	5		5	5		5			5			12	52,2	2,4	6	3,8	6,1	
16	Анчиков Дмитрий Александр.				5	н		2	н	н	4				2	н	н	н	5	н	н	2		8	34,8	3,3	6	2,5	5,8	
17	Сахабутдинов Ильнар Исмагил				н	5		н	н		н	5			2	н	2	н	н	2	н	н	2		9	39,1	3,0	6	2,3	5,3
18	Чванов Дмитрий Викторович				2		н	н	н	н	2				2	2		2	2		н	н		6	26,1	3,7	6	1,5	5,2	
19	Тукаева Камилла Асхатовна	н	н	н	н	н		н	н	5		н	5	н	н	н	н	2	5	н	н	н	5	5	15	65,2	1,7	6	3,4	5,1
20	Червяков Дмитрий Сергеевич		н	н	2	н	н	н		н	н				2	2		2	2	н		2		8	34,8	3,3	6	1,5	4,8	
21	Широков Владимир Алексеев.			н	5		н	н		н	н		н		н	н	н	н	2	2	н	н	2	13	56,5	2,2	4	1,4	3,5	
22	Найвирт Михаил Владимир.			н	н	н		н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	23	100,0	0,0	0	0	0,0	



Файл Главная Общий доступ Вид

Копировать Вставить Вырезать Скопировать путь Вставить ярлык Переместить Копировать в Упорядочить Удалить Переименовать Создать папку Создать элемент Простой доступ Создать Открыть Свойства Журнал Выделить все Снять выделение Обратить выделение

Буфер обмена Упорядочить Создать Открыть Выделить

Компьютер > ПОПОВ Н А (Е:) > Учебные дисциплины > Термодинамика и теплопередача > Отчеты ТИТ 2015

Имя Дата изменения Тип Размер

Otchet_po_Laboratornoy_3_TIT_EVSEEV_A_V.docx	09.12.2015 17:30	Документ Micros...	134 КБ
Otchet_po_PZ_4 Кирилловой Т.Н. гр.АСв-св-31.docx	12.11.2015 12:26	Документ Micros...	325 КБ
Trifonov ACVcv31 Otchet_po_PZ.docx	25.12.2015 19:36	Документ Micros...	327 КБ
акимова.docx	04.10.2015 22:58	Документ Micros...	126 КБ
Анчиков Д.А Зад 1.docx	18.09.2015 13:55	Документ Micros...	355 КБ
Аттестация АСВ сд31 ТИТ 1.xlsx	22.12.2015 9:47	Лист Microsoft Of...	23 КБ
ГОТОВОЕ на ПЗ 4.docx	17.12.2015 23:24	Документ Micros...	512 КБ
Евсеев А.В. Зад 1.docx	23.09.2015 21:19	Документ Micros...	355 КБ
Задание на ПЗ 1 (1) Самойлова.docx	12.11.2015 10:59	Документ Micros...	111 КБ
Задание на ПЗ 1 (1)в.docx	23.09.2015 21:44	Документ Micros...	110 КБ
Задание на ПЗ 1 Кудряшов.docx	23.09.2015 21:34	Документ Micros...	128 КБ
Задание на ПЗ 1..docx	18.09.2015 13:27	Документ Micros...	354 КБ
Задание на ПЗ 1.docx	18.09.2015 13:46	Документ Micros...	125 КБ
Задание на ПЗ 1.docx — Просмотр документов.html	09.12.2015 20:47	Файл "HTML"	74 КБ
Задание на ПЗ 1.Ильнар.docx	18.09.2015 13:30	Документ Micros...	354 КБ
Задание на ПЗ 1спирина.docx	18.09.2015 13:50	Документ Micros...	124 КБ
Задание на ПЗ 2 (1).docx	05.10.2015 0:44	Документ Micros...	3 230 КБ
Задание на ПЗ 2 .docx	04.10.2015 23:27	Документ Micros...	3 228 КБ
Задание на ПЗ 2 1 (1).docx	22.10.2015 21:53	Документ Micros...	1 974 КБ
Задание на ПЗ 2 Самойлова.docx	12.11.2015 11:04	Документ Micros...	3 477 КБ
Задание на ПЗ 3 (1)готовое.docx	17.12.2015 23:15	Документ Micros...	3 896 КБ
Задание на ПЗ 3 (Байгарова).docx	22.10.2015 22:28	Документ Micros...	3 890 КБ
Задание на ПЗ 3 Самойлова.docx	12.11.2015 10:59	Документ Micros...	4 719 КБ
Задание на ПЗ 11.docx	24.09.2015 2:05	Документ Micros...	141 КБ
Задание на ПЗ 41 (Додонова).docx	24.10.2015 23:31	Документ Micros...	509 КБ
Задание на ПЗ Анчиков.docx	03.12.2015 11:53	Документ Micros...	266 КБ
Задание на ПЗ Гафурова.docx	03.12.2015 11:57	Документ Micros...	267 КБ
Задание на ПЗ по ТИТ Теплопроводность стационарного режима(Спирина...)	09.12.2015 14:09	Документ Micros...	181 КБ
ЛН ТИТ Меркулов Е.А.гр. АСВсв-31.docx	25.12.2015 19:16	Документ Micros...	1 001 КБ
Лабараторная работа №3.docx	09.12.2015 20:11	Документ Micros...	134 КБ
Лабораторная 1 Гафурова.doc	09.12.2015 13:54	Документ Micros...	1 208 КБ
Лабораторная 1 ТИТ Теплопроводность Медведев.doc	12.11.2015 11:12	Документ Micros...	1 208 КБ
Лабораторная 2 ТИТ Теплоемкость воздуха 2015 Гафурова.docx	09.12.2015 16:49	Документ Micros...	45 КБ
Лабораторная 2 ТИТ Теплоемкость воздуха 2015 гр.АСВсд-31.docx	03.12.2015 10:11	Документ Micros...	107 КБ
Лабораторная 2 ТИТ Теплоемкость воздуха 2015 Тукаева.docx	09.12.2015 16:49	Документ Micros...	45 КБ
Лабораторная 3 ТИТ Конвективный теплообмен 1.docx	20.12.2015 10:57	Документ Micros...	433 КБ



1. Цели и задачи изучения дисциплины

Целями дисциплины «Термодинамика и теплопередача» является подготовка студентов к эффективной эксплуатации сложного теплотехнического оборудования авиационного завода, а также к разработке технологических операций связанных с нагревом и охлаждением авиационной техники.



В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- - термодинамические процессы происходящие в газах, парах и их смесях;
- - циклы тепловых двигателей;
- - основные положения теории подобия при изучении процессов теплоотдачи;
- - конструкцию теплообменных аппаратов и их классификацию;
- - методы подбора и расчета электрооборудования в зависимости от нагрузки;
- - конструкцию и принцип работы тепловых машин;

уметь

- - разрабатывать простейшие схемы теплообменных аппаратов ;
- - рассчитывать термодинамические параметры потоков газов и жидкостей;
- - определять термодинамические параметры окружающей среды по диаграммам состояния;

владеть:

- - навыками эксплуатации и обслуживания теплотехнического технологического оборудования;
- - навыками использования устройств сбора, обработки и отображения информации для контроля и измерения термодинамических параметров.



Порядок изучения дисциплины

Раздел Термодинамика – 16 часов;

Раздел Теплопередача – 16 часов.

Для очной формы обучения дисциплина «Термодинамика и теплотехника» изучается в 5 семестре и имеет следующие виды занятий:

- лекции - 24 часа;
- практические и семинарские занятия - 16 часов;
- лабораторных занятий – 8 часов.

Для очно-заочной (вечерней) формы обучения дисциплина «Термодинамика и теплотехника» изучается в 5 семестре и имеет следующие виды занятий:

- лекции – 16 часа;
- практические и семинарские занятия – 16 часов.

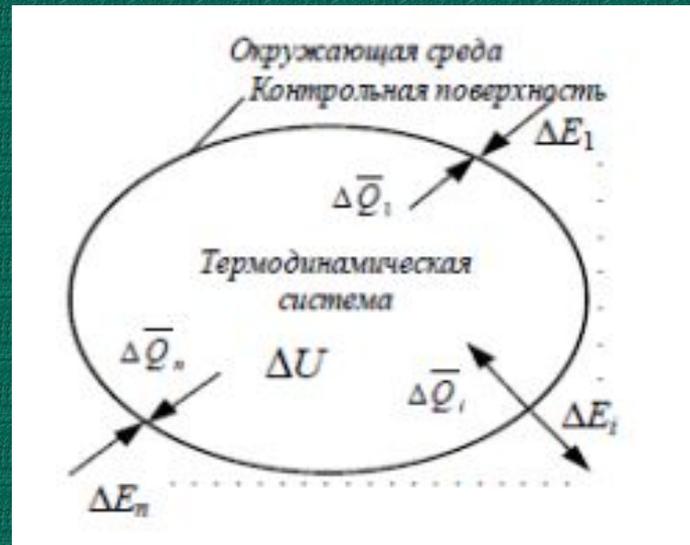


2. Первый закон термодинамики. Основные понятия и определения



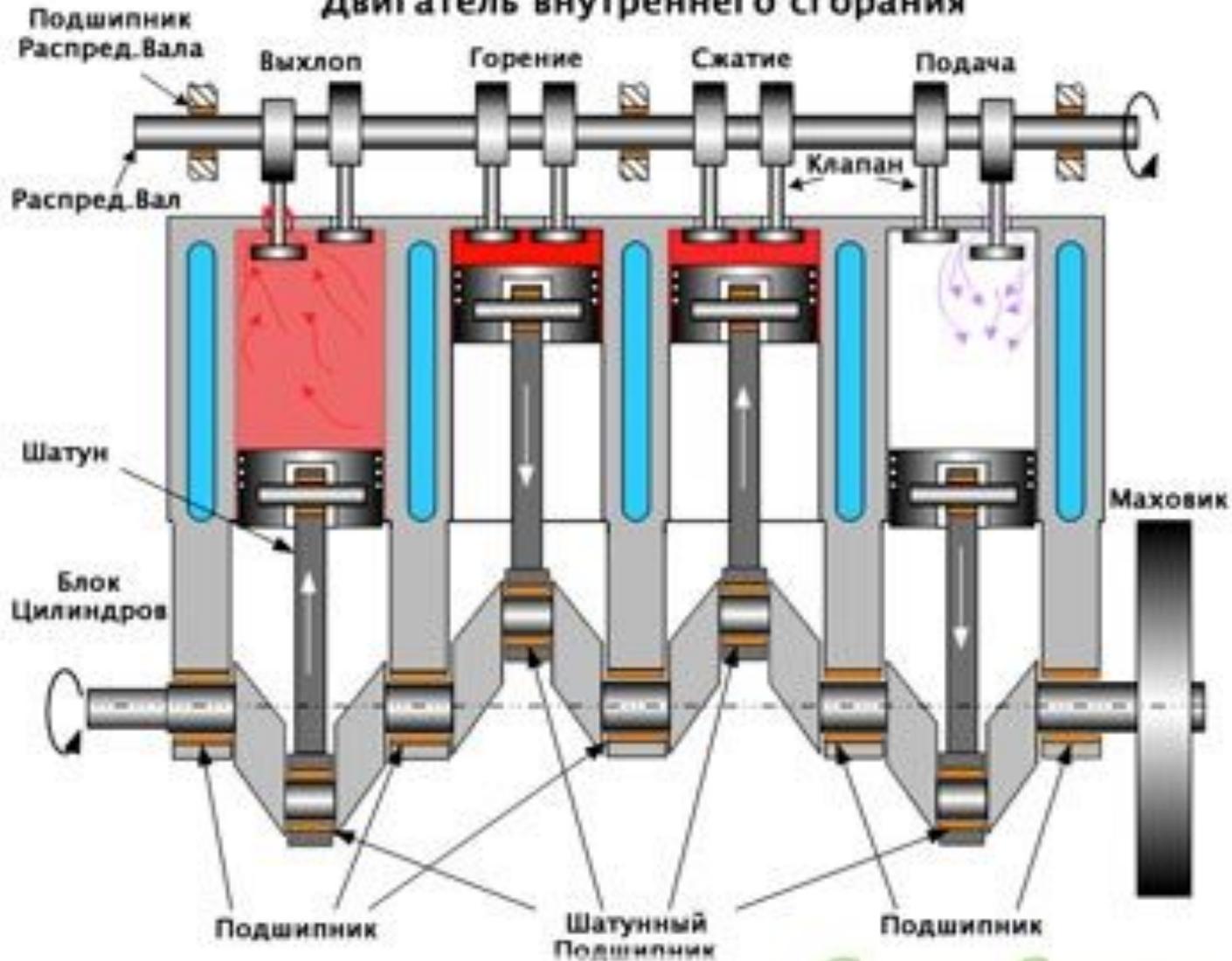
2.1. Термодинамическая система и окружающая среда

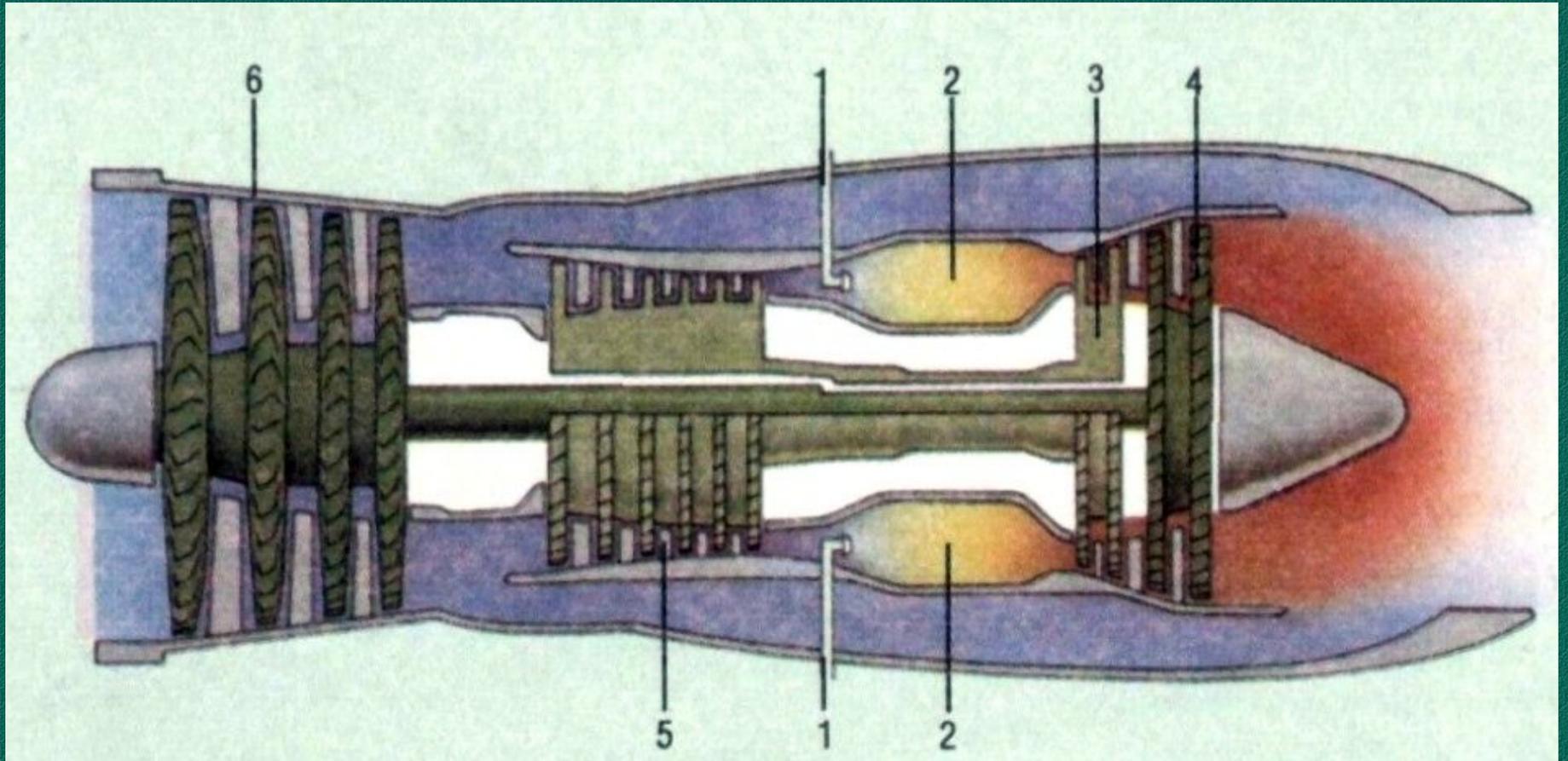
Термодинамической системой называется совокупность материальных тел, являющихся объектом изучения и находящихся во взаимодействии с окружающей средой. Рабочее тело, - тело, посредством которого производится взаимное превращение теплоты и работы.





Двигатель внутреннего сгорания







Термодинамическая система и окружающая среда

Термодинамические системы бывают:

- *изолированными, полуизолированными и неизолированными;*
- *физически однородными, гомогенными (лед, вода, пар), гетерогенными (лед и вода, вода и пар и др.).*

Рабочее тело — тело, посредством которого производится взаимное превращение теплоты и работы.



Основные термодинамические параметры состояния

Каждое состояние термодинамической системы характеризуется определенными физическими величинами.

Внутренние характеризуют внутреннее состояние системы (давление, температура, объем и др.). Бывают *Интенсивными* — это те параметры, величины которых не зависят от массы тела (давление, температура, удельный объем, удельная теплоемкость). *Экстенсивными* — это те параметры, величины которых зависят от количества вещества в системе (объем, масса и др.).

Внешние параметры характеризуют положение системы (координаты) во внешних силовых полях и ее скорость. Бывают *термические* (давление, температура, объем) и *калорические* (удельная энергия, удельная теплоемкость, удельные скрытые теплоты фазовых переходов).



Для характеристики конкретных условий, в которых находится данная система, необходимо знать такие внутренние параметры состояния, как удельный объем, абсолютное давление, абсолютная температура и др.



Удельный объем v ($\text{м}^3/\text{кг}$) — это объем единицы массы, т.е. величина, определяемая отношением объема к его массе:

$$v = \frac{V}{m}, \quad (1.1)$$

где V — объем произвольного количества вещества (м^3);
 m — масса этого вещества (кг).

Величина, обратная удельному объему, называется плотностью ρ ($\text{кг}/\text{м}^3$). Плотность — это масса вещества, содержащегося в единице объема:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1}{v}. \quad (1.2)$$



Давление — величина, определяемая отношением силы (нормальной составляющей силы), действующей на поверхность, к площади этой поверхности ($\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$):

$$p = \frac{F_n}{S}, \quad (1.3)$$

где F_n — нормальная составляющая силы (Н); S — площадь поверхности, нормальной к действующей силе (м^2).

Согласно Международной системе единиц (СИ) удельное давление измеряют в ньютонах на один квадратный метр ($\text{Н}/\text{м}^2$). Эта единица измерения давления называется паскалем (Па). Один мегапаскаль равен 10^6 Па ($1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$).

До настоящего времени в технике используется также «старая» единица измерения удельного давления — техническая атмосфера (ат), представляющая собой силу в 1 кгс, действующую на 1 см^2 площади.

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс}/\text{см}^2 = 10^4 \text{ кгс}/\text{м}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Н}/\text{м}^2 = 0,981 \text{ бар};$$

$$1 \text{ бар} = 1,01972 \text{ кгс}/\text{см}^2.$$

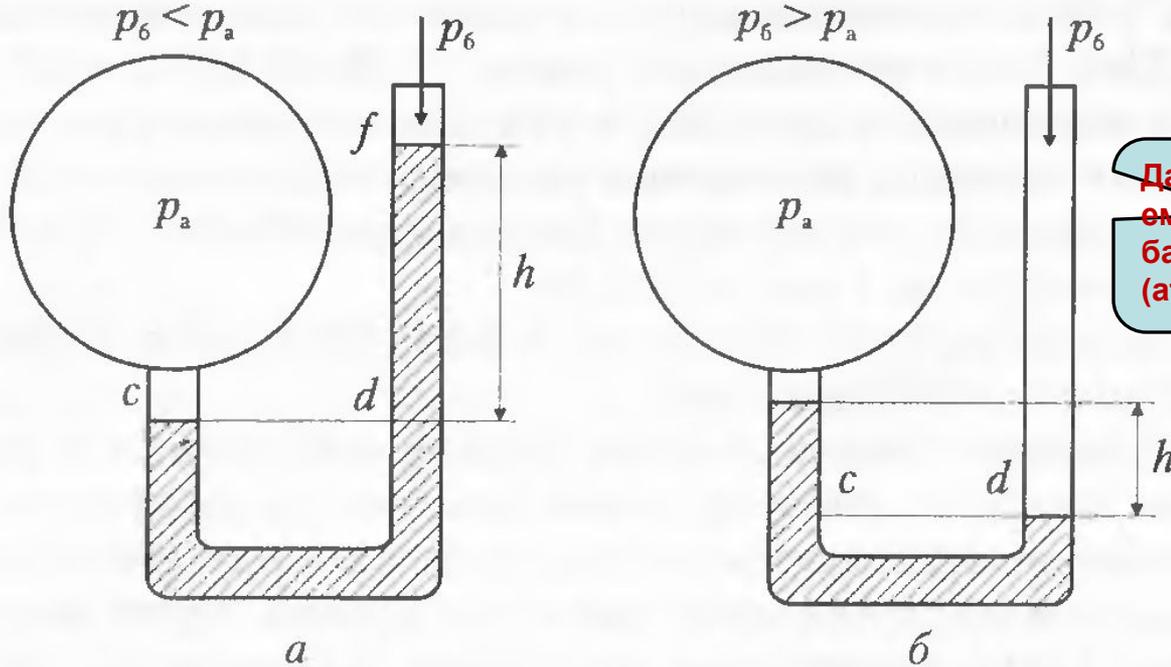


Различают давления атмосферное, избыточное и разрежение (вакуум). *Атмосферным* называется давление атмосферного воздуха на уровне моря. За единицу атмосферного давления принимается давление столба ртути высотой 760 мм (одна физическая атмосфера обозначается «атм»). Таким образом, $1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.}$

Давление, которое больше атмосферного, называется *избыточным*, а которое меньше — *разрежением*. Для измерения избыточного давления применяют манометры, атмосферного давления — барометры, разрежения — вакуумметры.



Давление газа в емкости p_a больше барометрического (атмосферного) p_b



Давление газа в емкости p_a меньше барометрического (атмосферного) p_b

Рис. 1.1. Измерение давления газа

$$F = F_1 + F_2,$$

$$p_a S = p_b S + \rho g h S,$$

$$p_a = p_b + \gamma h,$$

$$p_M = p_a - p_b.$$

Манометрическое давление определяет избыток давления среды над атмосферным.



В технике применяется достаточно большое число единиц измерения давления. Соотношения между ними приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Единица измерения	Бар	Паскаль, Па (Н/м ²)	Физическая атмосфера, атм	Техническая атмосфера, ат (кгс/см ²)	Миллиметры ртутного столба, мм рт. ст.	Миллиметры водного столба, мм вод. ст.
1 бар	1	10 ⁵	0,987	1,02	750	10200
1 Н/м ²	10 ⁻⁵	1	—	—	—	—
1 атм	1,013	101300	1	1,033	760	10330
1 ат	0,981	98100	0,968	1	735,6	10000
1 мм рт. ст.	0,00133	133	0,001316	0,00136	1	13,6
1 мм вод. ст. (1 кгс/м ²)	9,81 · 10 ⁻⁵	9,81	9,68 · 10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	0,0736	1



В технике применяется достаточно большое число единиц измерения давления. Соотношения между ними приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Единица измерения	Бар	Паскаль, Па (Н/м ²)	Физическая атмосфера, атм	Техническая атмосфера, ат (кгс/см ²)	Миллиметры ртутного столба, мм рт. ст.	Миллиметры водного столба, мм вод. ст.
1 бар	1	10 ⁵	0,987	1,02	750	10200
1 Н/м ²	10 ⁻⁵	1	—	—	—	—
1 атм	1,013	101300	1	1,033	760	10330
1 ат	0,981	98100	0,968	1	735,6	10000
1 мм рт. ст.	0,00133	133	0,001316	0,00136	1	13,6
1 мм вод. ст. (1 кгс/м ²)	9,81 · 10 ⁻⁵	9,81	9,68 · 10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	0,0736	1



В настоящее время используются две температурные шкалы.

1. Международная практическая температурная шкала Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), в которой за основные реперные точки принимаются точка таяния льда ($t_0 = 0^{\circ}\text{C}$) при нормальном атмосферном давлении ($p_0 = 760$ мм рт. ст.) и точка кипения воды при том же давлении ($t_{\text{к}} = 100^{\circ}\text{C}$). Разность показаний термометра в двух этих точках, деленная на 100, представляет собой 1°C .

2. Термодинамическая шкала температур, основанная на втором законе термодинамики. Началом отсчета здесь является температура $T = 0 \text{ К} = -273,15^{\circ}\text{C}$. Измерение температур в каждой из этих двух шкал может производиться как в Кельвинах (К), так и в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) в зависимости от принятого начала отсчета.

Между температурами, выраженными в Кельвинах и градусах Цельсия, имеется соотношение

$$T \text{ К} = 273,15 + t^{\circ}\text{C}. \quad (1.5)$$



Температура тела (T , К) — величина, характеризующая степень нагретости тела. Она представляет собой меру средней кинетической энергии поступательного движения молекул. Чем больше средняя скорость движения молекул, тем выше температура тела.

Взаимосвязь между средней кинетической энергией поступательного движения молекул $mw^2/2$ и абсолютной температурой идеального газа T описывается соотношением

$$T = \frac{2}{3k} \cdot \frac{mw^2}{2},$$

где m — масса молекулы; w — средняя квадратичная скорость поступательного движения молекул; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана.



Термодинамический процесс

Под термодинамическим процессом понимается совокупность последовательных состояний, через которые проходит термодинамическая система при ее взаимодействии с окружающей средой.

Состояние термодинамической системы может быть равновесным и неравновесным.

Равновесным называется такое состояние системы, при котором во всех точках ее объема все параметры состояния и физические свойства одинаковы (давление, температура, удельный объем и др.).

Неравновесными называются такие процессы, при протекании которых система не находится в состоянии равновесия. Процесс перехода системы из неравновесного состояния в равновесное называется *релаксацией*, а время перехода в состояние равновесия — *временем релаксации*.



Термодинамический процесс

В технической термодинамике для исследования равновесных термо-динамических процессов наиболее часто применяют систему координат p v . В этой системе координат вертикаль изображает *изохорный* процесс, горизонталь — *изобарный*, кривая вида гиперболы — *изотермический* (рис. 1.2).

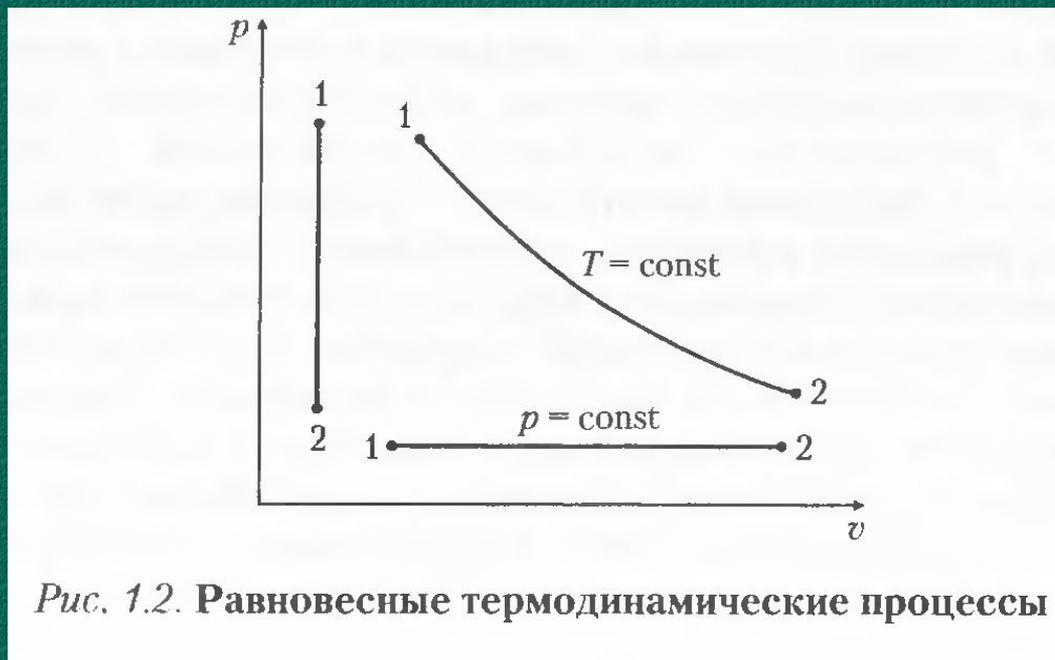


Рис. 1.2. Равновесные термодинамические процессы



Уравнения состояния

Уравнение, устанавливающее связь между давлением, температурой и удельным объемом среды постоянного состава, называется *термическим уравнением состояния*. Общий вид этого уравнения

$$f(p, v, T) = 0. \quad (1.6)$$

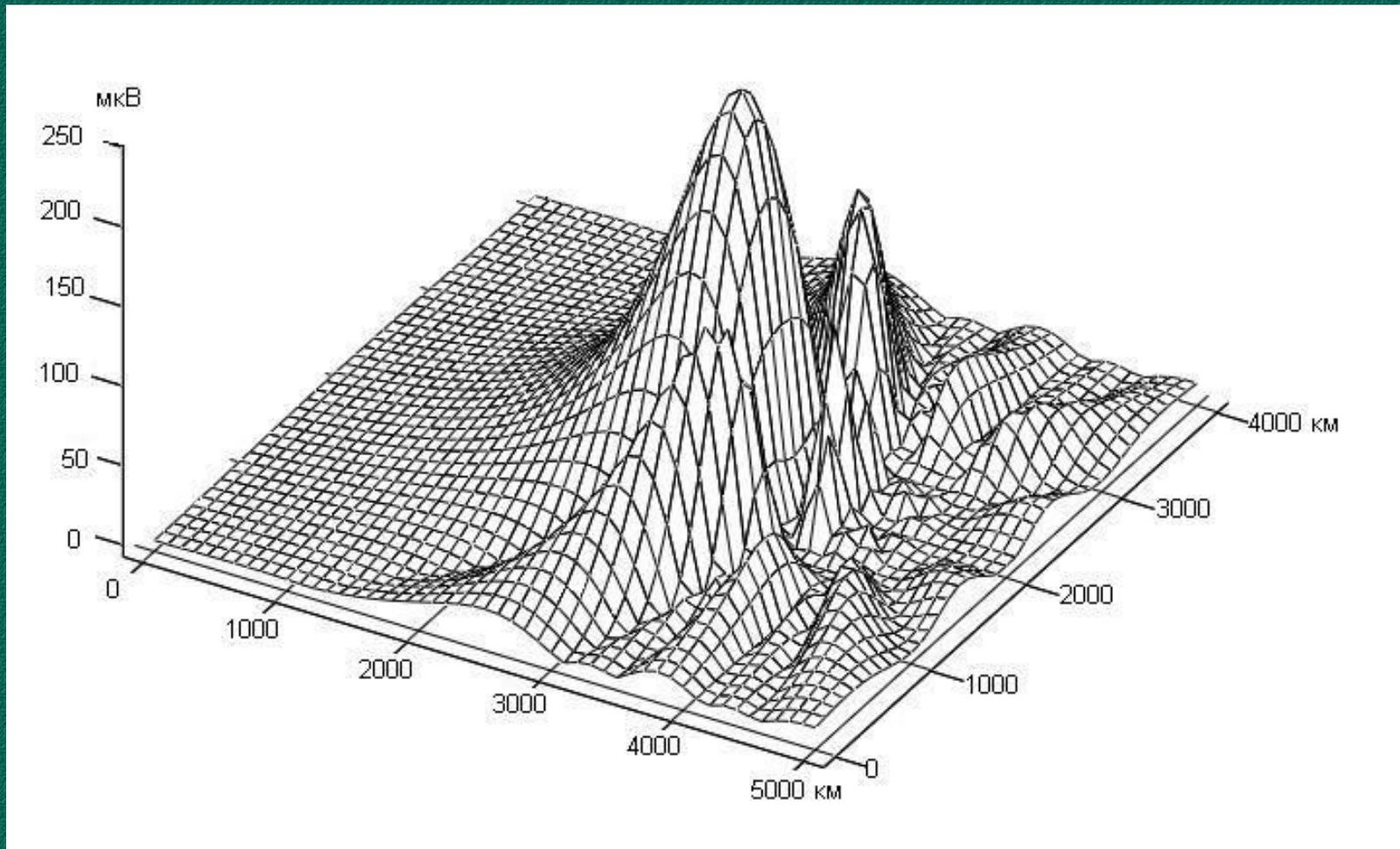
Уравнение состояния идеального газа впервые было получено Клапейроном в 1834 г, путем объединения уравнений законов Бойля—Мариотта и Гей-Люссака: $pv/T = \text{const}$. Обозначая константу через R , получаем

$$pv = RT,$$

где R — удельная газовая постоянная, отнесенная к массе газа, равной 1 кг (Дж/кг·К).

Умножая обе части уравнения на молекулярную массу μ , получаем

$$pV_\mu = R_\mu T,$$





Молярной массой химически однородного вещества называется величина, равная отношению массы вещества к числу его молей:

$$\mu = m/N,$$

где μ — молярная масса; m — масса; N — число молей вещества. Единица измерения молярной массы в системе СИ — кг/моль.

Молярным объемом называется величина, определяемая отношением объема, занимаемого N молями вещества, к числу этих молей

$$V_{\mu} = V/N.$$

Единица измерения молярного объема в системе СИ — м³/моль.



Молярной массой химически однородного вещества называется величина, равная отношению массы вещества к числу его молей:

$$\mu = m/N,$$

где μ — молярная масса; m — масса; N — число молей вещества. Единица измерения молярной массы в системе СИ — кг/моль.

Молярным объемом называется величина, определяемая отношением объема, занимаемого N молями вещества, к числу этих молей

$$V_{\mu} = V/N.$$

Единица измерения молярного объема в системе СИ — м³/моль.



Объем одного моля газа при нормальных физических условиях ($T_0 = 273,15$ К, $p_0 = 101\,332$ Па) $V_\mu = \mu v = 22,4146 \cdot 10^{-3}$ м³/моль. Подставляя эту величину в (1.9), получаем

$$R_\mu = \frac{p_0 V_\mu}{T_0} = 8,3143 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}). \quad (1.9a)$$

Отсюда уравнение состояния для одного моля идеального газа будет иметь вид

$$pV_\mu = 8,3143T. \quad (1.10)$$

Уравнение (1.10) было выведено Д. И. Менделеевым в 1874 г. и называется уравнением состояния Клапейрона—Менделеева.



Уравнения состояния реальных газов

Реальные газы отличаются от идеальных тем, что их молекулы имеют конечные собственные объемы и связаны между собой силами взаимодействия, имеющими электромагнитную и квантовую природу. При уменьшении расстояния между ними силы взаимодействия переходят в силы отталкивания, достигающие очень больших значений.

В связи с этим возникла необходимость в разработке уравнения состояния, которое точно описывало бы состояние реального газа. Одно из таких уравнений было получено Боголюбовым и Майером:

$$pv = RT \left[1 - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{i}{i+1} \cdot \frac{B_i}{v^i} \right],$$



Уравнения состояния реальных газов

Уравнение Ван-дер-Ваальса, которое является частным случаем общего уравнения Майера-Боголюбова, было получено в 1873 г. и имеет вид:

$$RT = \left(p + \frac{a}{v^2} \right) (v - b),$$

Оно качественно отражает состояние реальных веществ в жидком и газообразном состоянии. Для одного моля газа уравнение Ван-дер-Ваальса записывается в виде

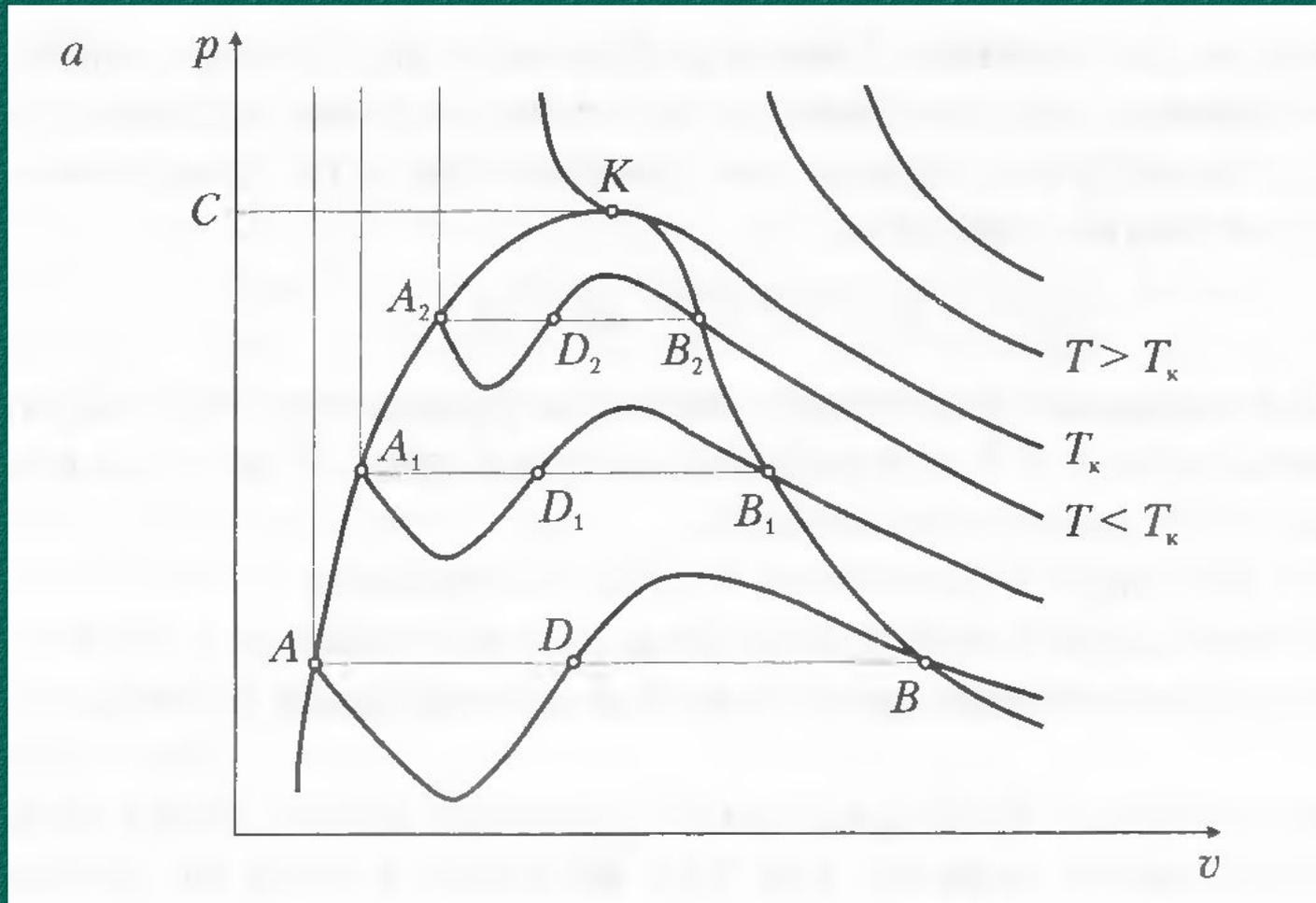
$$8,314T = \left(p + \frac{a}{v^2} \right) (v - b).$$

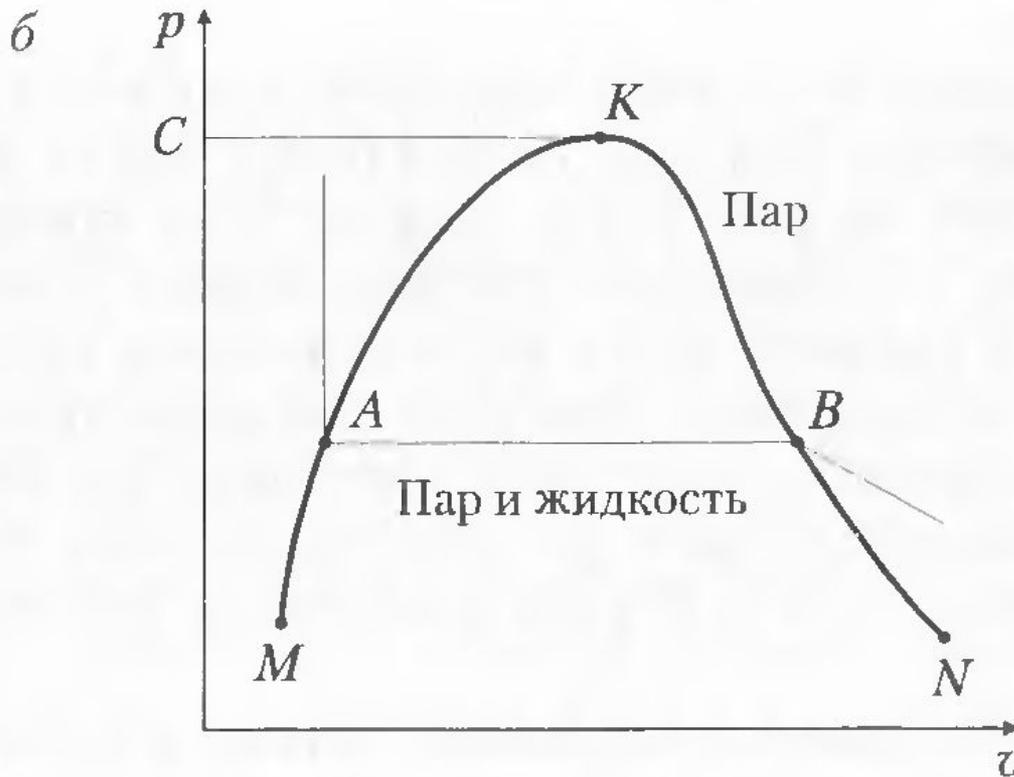
Если в уравнении Ван-дер-Ваальса раскрыть скобки, то получим уравнение третьей степени относительно удельного объема газа

$$pv^3 - (bp + RT)v^2 + av - ab = 0.$$



Изотермы, найденные по уравнению Ван-дер-Ваальса





МК- кривая кипящей жидкости;
НК – кривая сухого пара

$$\left[p + \frac{a}{v^2} \right] (v - b) = RT \left[1 - \frac{C}{vT^{(3+2m)/2}} \right],$$

где a и b – постоянные уравнения Ван-дер-Ваальса; C , m – постоянные, определяемые на основе опытов.



7. Энергия. Внутренняя энергия

$$E = mc^2,$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

В термодинамике полная энергия макросистемы равна

$$E = E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}} + U,$$

где $E_{\text{кин}}$ — кинетическая энергия системы; $E_{\text{пот}}$ — потенциальная энергия системы во внешних силовых полях; U — внутренняя энергия.

$$E_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2}.$$



Задание на самостоятельную работу

1. Повторить материал по конспекту.
2. По учебнику проработать материал на стр. 13 - 29.
3. Знать основные термины и определения термодинамики. Планируется автоматизированный опрос.

Литература: В.А. Кудинов и др. Техническая термодинамика и теплопередача. – М. Издательство Юрайт, 2011 – 506 с.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ