

# ФИЗИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

Лекции Веретимус Н.К. и Веретимус Д.К.

# Литература:

- Глаголев К.В., Морозов А.Н. Физическая термодинамика: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. – 368 с./Под ред. Л.К.Мартинсона, А.Н.Морозова.
- Иродов И.Е. Физика макросистем. Основные законы. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001
- Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том II. Термодинамика и молекулярная физика. — М.: Наука, 1975—1990.

# Лекция № 10

## **МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СТРОЕНИИ ТЕЛ**

# *Статистический и термодинамический методы описания макроскопических тел*

Объектом изучения являются системы, состоящие из очень большого числа частиц, например, газ. Как правило, это **макросистемы, состоящие из микрочастиц.**

**Макросистема** – система, имеющая массу, сравнимую с массой окружающих нас предметов и тел.

**Микрочастица** – частица, масса которой сравнима с массой атомов.

Методы описания макросистем основаны на применении *законов классической механики* (затруднительно из-за большого числа взаимодействующих частиц — требуется составление и решение большого числа Д.У., описывающих движение каждой микрочастицы; необходимо точно знать характер взаимодействия частиц, их начальные координаты и скорости и т.д.), *статистической физики* и *начал термодинамики*.

**Статистический метод** описания основывается на применении *законов теории вероятностей*, а в качестве основной применяемой величины выступает *функция распределения* знания характера соударения микрочастиц, их начальных условий движения и точного решения уравнений динамики для всех микрочастиц.

**Молекулярная (статистическая) физика** изучает те свойства вещества, которые обусловлены его молекулярным строением.

Использует **статистический** метод, интересуясь движением не отдельных молекул, а лишь такими **средними** величинами, которые характеризуют движение совокупности молекул.

### *Основные положения*

1. Все тела состоят из молекул.
2. Все молекулы находятся в непрерывном хаотическом движении.
3. Между молекулами существуют силы притяжения и отталкивания.

**Молекула** – наименьшая частица вещества, сохраняющая все его химические свойства.

*Термодинамический метод* – наиболее общий метод описания макросистем, независимо от конкретной физической природы их микрочастиц.

**Термодинамический метод** заключается в описании поведения систем с помощью основных постулатов (законов), которые называются *началами термодинамики* (3 начала термодинамики).

**Термодинамика** – постулативная наука. Ее не интересуют конкретные представления о строении системы (вещества) и физическая природа самой теплоты. При таком подходе используют понятия и физические величины, относящиеся к системе в целом. Например, идеальный газ в состоянии равновесия характеризуют объемом  $V$ , давлением  $p$  и температурой  $T$ .

$$V = [\text{м}^3], \quad p = [\text{Па}] \quad (\text{паскаль}),$$

$$T = [\text{К}] \quad (\text{кельвин}).$$

**Термодинамика** – раздел физики, исследующий превращение некоторых видов энергии.

Подразделяют *равновесную термодинамику* и *неравновесную термодинамику* или *термодинамику необратимых процессов*.

**Термодинамическая система** – тело или несколько тел. Между ними или другими телами происходит перетекание энергии и вещества. Для описания изменений такой системы тел кроме законов механики требуется применение законов термодинамики.

**Изолированная система** – нет перетекания энергии (вещества) через стенки системы.

**Замкнутая термодинамическая система** – нет обмена энергией с внешней средой путем совершения работы.

**Адиабатная термодинамическая система (адиабатически изолированная система)** – система, которая не обменивается теплом с термодинамическими телами.

Состояние макросистемы характеризуют **термодинамическими параметрами** (наиболее распространенные *термодинамические параметры* – давление  $p$ , объем  $V$ , абсолютная температура  $T$ , концентрация  $n$ , плотность  $\rho$  и др.)

В большинстве термодинамических задач *трех параметров достаточно для описания состояния* термодинамической системы.

**Равновесное**                    **или**                    **состояние**  
**термодинамического**                    **равновесия**  
**термодинамической системы** – *если при*  
*сохранении внешних условий параметры*  
*состояния являются установившимися и не*  
*изменяются во времени, а также*  
*отсутствуют всякие потоки (энергии,*  
*вещества, импульса, частиц и т.д.).*

Мы рассматриваем такие равновесные  
системы.

# ***НУЛЕВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ***

**Нулевое начало термодинамики.**  
Классическая термодинамика утверждает, что *изолированная термодинамическая система (предоставленная себе самой) стремится к состоянию термодинамического равновесия и после его достижения не может самопроизвольно из него выйти.*

Свойства систем, находящихся в состоянии термодинамического

равновесия. 1. Если две термодинамические системы, имеющие тепловой контакт, находятся в состоянии термодинамического равновесия, то и совокупная термодинамическая система находится в состоянии термодинамического равновесия.

2. Если какая-либо термодинамическая система находится в термодинамическом равновесии с двумя другими системами, то и эти две системы находятся в термодинамическом равновесии др. с другом.

## *Заключение.*

*Статистические и макроскопические методы работают вместе.*

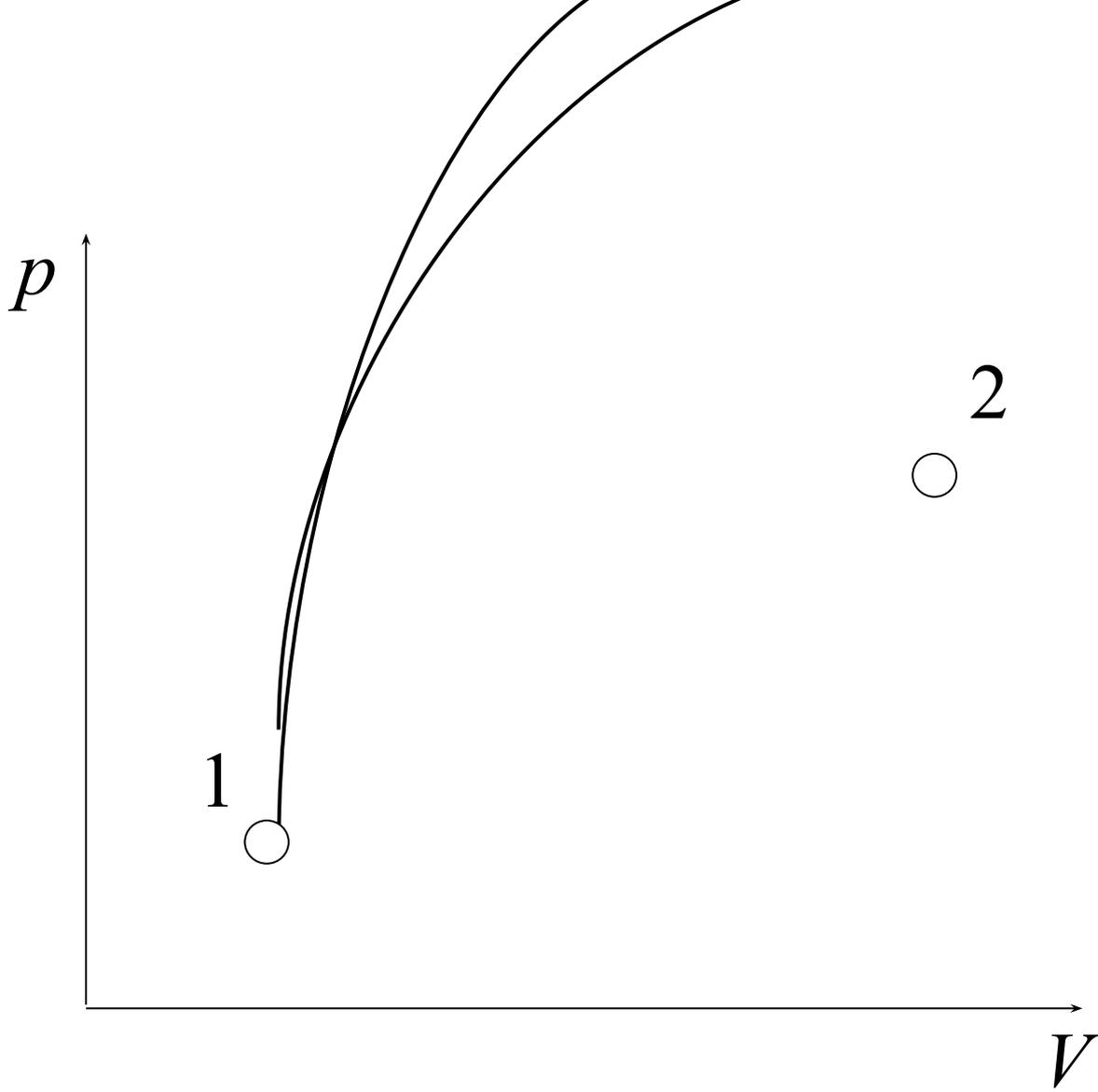
*Статистический метод использует параметры состояния. А термодинамический метод часто не работает без знания строения системы.*

# *Термодинамические процессы*

При изменении параметров состояния макросистемы в ней происходит **термодинамический процесс.**

Переход из одного термодинамического состояния в другое – **термодинамический процесс.**

*Состояние системы можно изобразить точкой на термодинамических плоскостях ( $pV$ ,  $pT$ ,  $TV$ ). Т.к. параметры состояния взаимосвязаны, для изображения состояния достаточно двух параметров. Линия изображает процесс.*



**Обратимый процесс** – процесс, который может происходить через те же состояния как в прямой, так и в обратной последовательности (направлении); причем если такой процесс проведен сначала в прямом, а затем в обратном направлении и система вернулась в исходное состояние, ни в ней, ни в окружающей среде не возникает никаких остаточных изменений.

Равновесный процесс является обратимым.

**Квазистатические (квазиравновесные) процессы** *представляют собой непрерывную последовательность равновесных состояний системы.*

Процессы перехода из одного состояния в другое будем рассматривать, как бесконечно медленные (можно сказать, что процесс проходит через последовательность равновесных состояний) – **квазистатический процесс.**

**Круговой или циклический** – термодинамический процесс, в ходе которого система возвращается в исходное состояние.

# *Внутренняя энергия и температура термодинамической системы*

Система в данном состоянии обладает внутренней энергией.

**Внутренняя энергия  $U$**  тела складывается из кинетической энергии хаотического движения молекул тела и всех видов энергии их взаимодействия.

*Внутренняя энергия  $U$  – функция состояния*, т.е. ее значения зависят только от термодинамических параметров в данном состоянии (в данный момент времени), но не от способа перехода в это состояние.

**Температура** – величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макросистем. Если при установлении теплового контакта между телами одно из тел передает энергию другому посредством теплопередачи, то считают, что температура первого тела больше, чем второго.

*Температура – функция внутренней энергии системы и обычно возрастает с увеличением внутренней энергии.*

**Теплопередача** – передача энергии от одного тела к другому без переноса вещества и совершения механической работы.

Свойства температуры термодинамических систем, находящихся в состоянии

1. ~~Равновесия~~ ~~Если две~~ равновесные термодинамические системы находятся в тепловом контакте и имеют одинаковую температуру, то совокупная термодинамическая система находится в состоянии термодинамического равновесия при той же температуре.

2. Если какая-либо равновесная термодинамическая система имеет одну и ту же температуру с двумя другими системами, то эти три системы находятся в термодинамическом равновесии при одной и той же температуре.

Любой метод измерения температуры требует установление температурной шкалы. Для этого используют некоторые особые точки.

По международному соглашению температурную шкалу строят по одной реперной точке – *тройной точке воды* ( $T_{\text{тр}}$ ). В *термодинамической шкале температур* (*шкале Кельвина*)

$$T_{\text{тр}} = 273,16 \text{ К.}$$

$$1 \text{ К} = 1^\circ \text{ С.}$$

При таком значении  $T_{\text{тр}}$  интервал между точками плавления льда и кипения воды  $\approx 100$  кельвин.

$$T_{\text{пл}} = 273,15 \text{ К}; T_{\text{к}} = 373,15 \text{ К}.$$

$$t = T - 273,15.$$

Здесь  $t$  – температура по шкале Цельсия,  $T$  – температура по шкале Кельвина.

Температуру  $T = 0$  называют *абсолютным нулем*, ему соответствует

$$t = -273,15^{\circ} \text{С}.$$

В дальнейшем мы выясним физический смысл температуры  $T$ .

*Температура* — это *одна из макроскопических характеристик макросистемы*. Она не имеет смысла для систем, состоящих из нескольких молекул (впрочем, при определенной договоренности условно говорят о температуре даже одной частицы).

# *Теплота и работа*

Передача энергии от одного тела к другому путем совершения работы одного тела над другим всегда связана с изменением внешних условий, с перемещением тела в целом или его отдельных макроскопических частей.

*Работа есть мера переданной от одного тела к другому механической энергии.*

Работа, совершенная телом, считается положительной; работа, полученная телом — отрицательной.

Передача энергии от одного тела к другому посредством теплового обмена между телами не связана с изменением внешних условий и перемещением тел.

**Количество теплоты  $\delta Q$**  – величина переданной от одного тела к другому энергии теплового движения молекул посредством теплообмена между телами.

**Три основных способа теплообмена:** конвекция; теплопроводность; излучение.

Теплота, полученная телом, считается положительной, отданная телом – отрицательной.

# *Идеальный газ*

Простейшей моделью макросистемы, рассматриваемой статистической физикой, является **идеальный газ**:

1. молекулы идеального газа не взаимодействуют (практически не взаимодействуют) друг с другом;

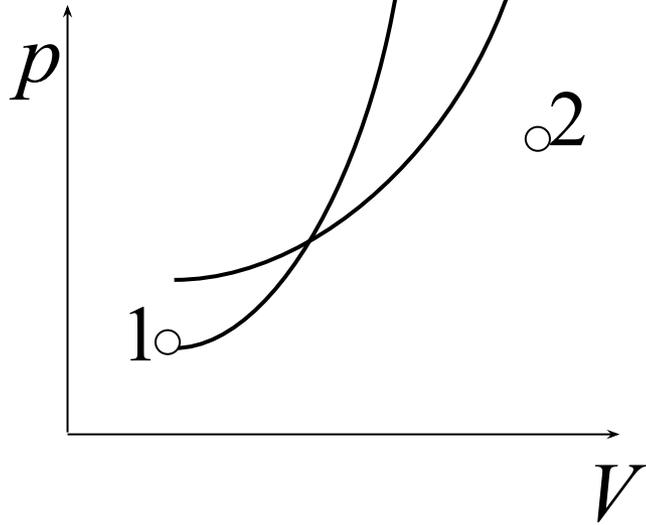
2. в равновесном состоянии движения молекул полностью хаотично. Это позволяет в грубом приближении считать, что все молекулы движется только в направлениях  $x, y$  и  $z$ .

Т.е. если в единице объема имеется  $n$  молекул, то в каждом из этих направлений движутся по  $n/3$  молекул, или  $n/6$  в одну сторону.

Только в простейшем случае (для идеального газа) знаем связь параметров состояния.

**Уравнение состояния идеального газа**  
(уравнение Менделеева-Клапейрона).

# ***ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ***



Система совершает процесс, во время которого она в общем случае совершает работу  $A$ , получает количество теплоты  $Q$ ,

внутренняя энергия системы изменяется на  $\Delta U$ .

**Первое начало термодинамики:**  
*количество теплоты  $Q$ , сообщенное макросистеме, идет на приращение  $\Delta U$  её внутренней энергии и на совершение системой работы  $A$  над внешними телами*

$$Q = \Delta U + A, \quad (10.1)$$

где  $\Delta U = U_2 - U_1$

Здесь  $U_1$  и  $U_2$  – внутренняя энергия системы в состояниях 1 и 2 соответственно.

Если  $Q < 0$ , то тепло отводится от системы;  
 $A < 0$  – работа производится *над* системой.

Приращение внутренней энергии  $\Delta U$  может иметь любой знак, в частности, быть равным нулю.

Рассмотрим элементарный процесс, для которого  $\delta Q$  – количество теплоты, поступающее в систему на элементарном участке процесса.

**Первое начало термодинамики для  
элементарного процесса (в  
дифференциальной форме):**

$$\delta Q = dU + \delta A, \quad (10.2)$$

где  $\delta Q$  и  $\delta A$  – элементарные значения  
теплоты и работы соответственно, теплота  
и работа являются функциями процесса;  $dU$   
– приращение внутренней энергии.

*Работа  $A$  не является функцией  
состояния.*