

Лекция №1

Основные понятия и методы МКТ вещества и газа

Филимонова Л.В. 09.02.06



ВВЕДЕНИЕ

При объяснении свойств вещества, при отыскании законов, которым подчиняются различные превращения его, можно пользоваться одним из трех методов, применяемых в настоящее время в физике. Эти методы построения физической теории называют:

- *молекулярно-кинетическим методом,*
- *методом статистической механики,*
- *термодинамическим методом.*

Молекулярно-кинетический метод (МКМ)

- Основывается на модельном представлении о строении вещества: из атомов и молекул находящихся в непрерывном движении.
- Детально анализируется поведение *отдельно* взятой молекулы на основе законов классической механики.
- Выводы, полученные применительно к отдельной молекуле, переносятся в дальнейшем на совокупность большого количества молекул.

Преимущества:

1. Ясная картина механизма рассматриваемого явления,
2. Проникновение непосредственно в сущность различных процессов природы.

Недостаток – приближенный характер полученных соотношений и их чрезвычайное усложнение при попытке более строгого рассмотрения вопроса.

Метод статистической механики (МСМ)

- Поведение отдельной молекулы не рассматривается.
- Применим к большой совокупности частиц, движение каждой из которых подчиняется законам классической механики, но одновременно является событием случайным в том смысле, что скорости движения и соударения молекул подчиняются законам теории вероятностей.
- Основан на модельных атомно-молекулярных представлениях о строении макротел и математической статистике.
- Рассматриваются в конечном итоге лишь средние значения величин, характеризующих движение частиц, и с их помощью определяются макрохарактеристики систем.

Достоинства: Позволяет вскрывать атомно-молекулярный механизм процессов в макросистемах, строго обосновывать выводы термодинамики, устанавливать границы их применимости, решать задачи, неразрешимые методами термодинамики (например, вывод уравнения состояния макросистем).

Недостатки:

1. Зависимость ее выводов от особенностей положенной в ее основу конкретной атомно-молекулярной модели вещества.
2. Большая сложность.

Термодинамический метод (ТМ)

- Полностью исключает рассмотрение механизмов изучаемых процессов.
- В качестве основы термодинамических выводов используются наиболее общие законы природы, к-е называют **началами**.
- Начала не обосновываются логически, являются обобщением человеческого опыта и подтверждаются практической деятельностью человека.
- Используя методы матанализа, можно, опираясь на основные законы термодинамики, получить очень большое количество соотношений между различными свойствами вещества, к-е будут столь же точны, сколь точны основные законы термодинамики.

Достоинства: простота и широта практического применения.

Недостатки:

1. Не дает возможности количественно охарактеризовать свойства вещества: точно устанавливая соотношение между величинами, не дает возможности определить их величину, что требует использования МКТ.
2. Не дает возможности найти уравнение состояния, знание которого необходимо для большинства расчетов.
3. Не вскрывает атомно-молекулярный механизм и, следовательно, первопричину рассматриваемых процессов

Вопрос:

Какой метод наиболее удобный и чаще применяемый?

Ответ

- В случаях, когда не требуется вскрывать механизм процесса, а необходимо вычислить только его конечный результат, предпочитают пользоваться методами термодинамики.
- В практической деятельности, используя *определенные экспериментально* значения одних свойств вещества, находят с помощью строгих термодинамических соотношений значения других свойств вещества. Этим объясняется широкое использование термодинамических расчетов в различных отраслях техники.

Вывод:

Наиболее полный и надежный результат получают на пути согласованного решения задачи, полученного с одновременным применением разных методов.

ТЕОРИИ

```
graph TD; A[ТЕОРИИ] --> B[динамические]; A --> C[статистические]; B --- D[устанавливают однозначные связи между всеми, входящими в данную теорию физическими величинами]; C --- E[определяют степень вероятности того, что та или иная физическая величина имеет конкретное значение и вычисляет их средние значения];
```

динамические

устанавливают однозначные связи между всеми, входящими в данную теорию физическими величинами

статистические

определяют степень вероятности того, что та или иная физическая величина имеет конкретное значение и вычисляет их средние значения

Общность этих типов теорий проявляется в использовании понятия *СОСТОЯНИЯ физической системы*.

Так, в классической механике координаты и импульсы частиц системы полностью определяют ее состояние.

Существенно, что любая механическая величина выражается через координаты и импульсы (энергия, момент импульса и пр.).

Закон распределения

- Представление о закономерностях особого типа, в к-х связи между величинами неоднозначны, ввел Дж. К. Максвелл в 1859 г.
- При рассмотрении систем, состоящих из огромного числа частиц, нужно ставить задачу совсем иначе, чем в механике Ньютона. Максвелл ввел в физику понятие вероятности.
- Все макроскопические тела (газ в сосуде) – это системы, состоящие из огромного числа молекул. Очевидно, в принципе невозможно не только проследить за изменением импульса или положения одной из таких молекул на протяжении большого интервала времени, но и точно определить импульсы и координаты всех молекул в данный момент.
- Из макроскопических условий, в к-х находится газ, не вытекают с необходимостью конкретные значения импульсов и координат молекул. Для молекулы импульс и координата – это случайные величины, к-е в одних и тех же условиях могут принимать различные значения, определяемые вероятностью события.

- Дж. К Максвеллу удалось решить задачу определения количественных закономерностей, которые позволят вычислить статистические средние величины, характеризующие движение молекул.
- Значение статистического закона распределения молекул по импульсам в том, что он показывает подчинение случайного поведения молекул вероятностному закону.
- Статистические законы – это не законы случайного, они, как и любые законы природы, выражают необходимые связи в природе. Существенное отличие стат-х законов от динамических заключается в учете случайного (флуктуаций).

Состояние системы

- ▶ В статистической механике (как теперь называют МКТеорию) состояние представляет собой вероятностную характеристику системы: оно определяется статистическими распределениями физических величин, задаваемыми в той или иной форме.
- ▶ В динамических теориях состояние задается значениями самих ФВ.
- ▶ В стат-х теориях по известному состоянию однозначно определяются не сами ФВ, а вероятности того, что их значения лежат внутри тех или иных интервалов. Однозначно определяются средние значения ФВ, что и составляет главную задачу стат-й теории. В статистической механике по известной функции распределения находится среднее значение любой ФВ, зависящей от импульсов и координат частиц.

- ▶ Один из важнейших динамических элементов статистических теорий – однозначная связь состояний.
- ▶ Статистическая закономерность не позволяет однозначно определить, что именно произойдет, но она совершенно однозначно предсказывает, чего произойти не может. Так, вероятность процессов с нарушением законов сохранения равна нулю

II. Элементы молекулярно-кинетической теории.

Основные положения МКТ вещества и газа.
Термодинамическая система.
макросостояние, макропроцесс. Понятие «состояние» и параметры состояния.
Давление и температура с молекулярной точки зрения. Основное уравнение МКТ и его следствия. Модель идеального газа.
Уравнение состояния идеального газа.
Газовые законы (з-н Авогадро, з-н Дальтона).

§2. Основные положения МКТ вещества и газа.

- Молекулярная физика изучает те свойства вещества, к-е обусловлены его молекулярным строением. В ней рассматриваются превращения вещества, связанные с изменением энергии его молекул.
- Учение о мельчайших частицах, из которых построено вещество возникло еще задолго до н.э. Древнегреческие философы Анаксагор и Демокрит считали, что любое вещество состоит из мельчайших неделимых частиц – атомов. Разнообразие веществ обусловлено различным соединением этих атомов.
- Существенный прогресс атомистической теории в 18-м веке обязан М.В. Ломоносову. Он значительно расширил круг вопросов, объясняемых с атомистических позиций. Так, тепловые явления он объяснял как результат движения мельчайших частиц вещества, отрицая существование невесомых тепловых материй.

Явления, подтверждающие идеи МКТ:

- Высокая сжимаемость газов свидетельствует о наличии больших **расстояний между молекулами** газа.
- Стремление газа занять любой сколь угодно большой предоставленный ему объем свидетельствует о том, что **молекулы** газа **движутся** независимо друг от друга.
- Взаимное проникновение соприкасающихся газов – диффузия газов – показывает, что **молекулы** одного газа **движутся в «пустотах»** между молекулами второго газа.
- Смешение жидкостей, растворение твердых тел в жидкостях также объясняется перемешиванием молекул разных сортов. При этом объем смеси может отличаться от суммы объемов несмешанных веществ, что свидетельствует о **различной компактности молекулярных систем**. К этому же кругу вопросов относится и испарение жидкостей и твердых тел.

Явления, подтверждающие идеи МКТ:

- ▶ Давление газа на стенки сосуда (или на поверхность тела, введенного в газ), объясняется ударами молекул газа.
- ▶ Повышение давления при увеличении плотности газа связано с увеличением относительного числа молекул, бомбардирующих поверхности, ограничивающие газ.
- ▶ Увеличение давления с повышением температуры объясняется увеличением скорости движения молекул, что приводит к учащению их столкновений со стенками и к увеличению «силы» удара.
- ▶ Прихотливое движение мельчайших твердых частиц, взвешенных в жидкости или газе, - броуновское движение – объясняется неуравновешенностью ударов, испытываемых броуновской частицей со стороны молекул жидкости (газа). В силу малости размеров и масс молекул их толчки могут привести в движение лишь очень легкие броуновские частицы.

Однако все эти качественные соображения не дают еще возможности судить о том, одинаковы ли молекулы вещества по массам и другим свойствам или же они представляют собой «осколки» веществ произвольных размеров.

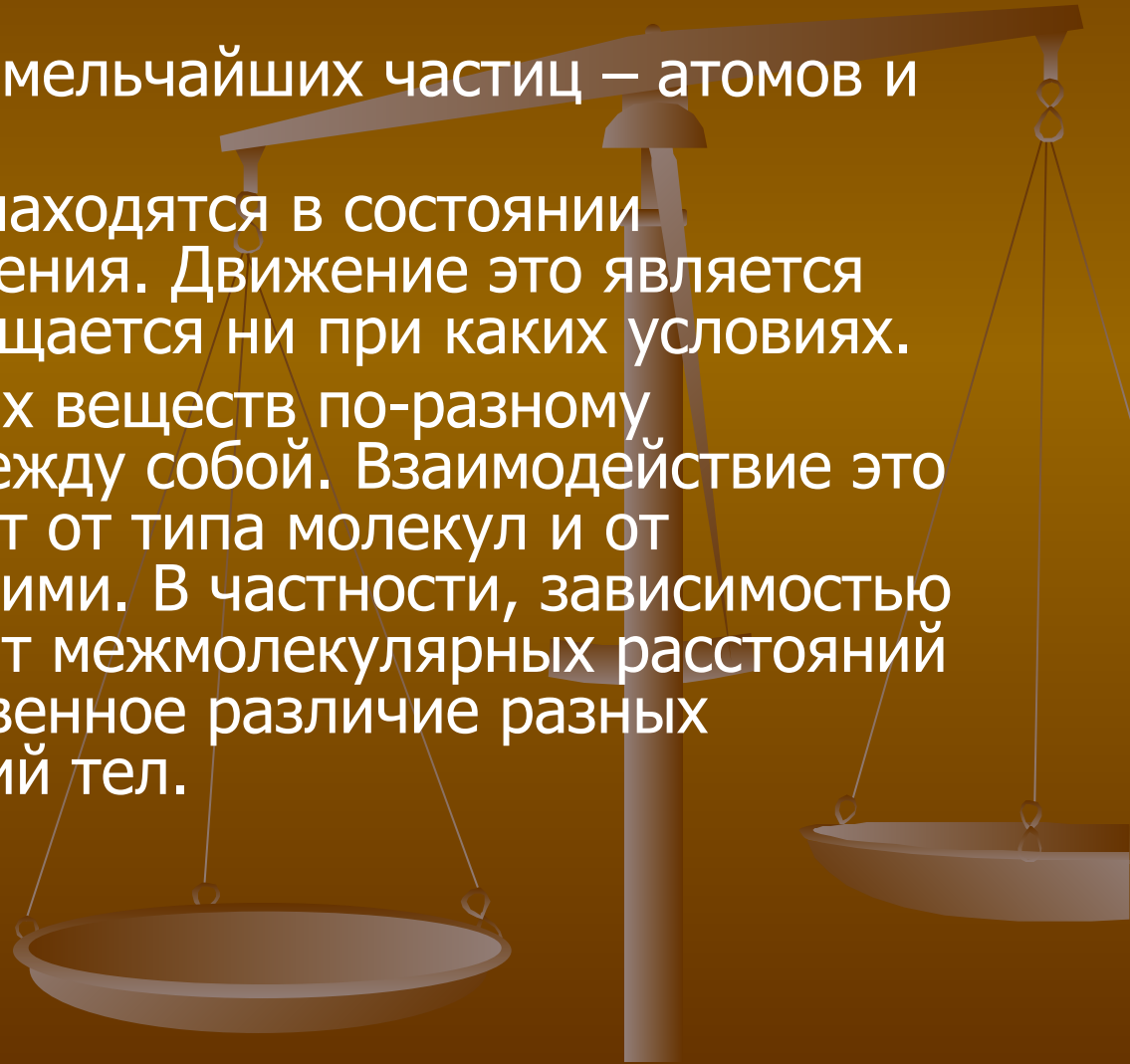
Ответ на этот вопрос был получен впервые с помощью химических исследований.

Опыт показывает, что в равных объемах газа при одинаковых давлениях и температурах находится одинаковое число молекул (**закон Авогадро**).

- ▶ В 1909 г. **Перрен** измерил число Авогадро, т.е. число молекул в одном моле. Т.о., удалось «пересчитать» молекулы и определить их массу.
- ▶ Дальнейшие опыты позволили измерить скорости газовых молекул и их диаметры.
- ▶ Применение электронного микроскопа и электронного микропроектора позволило в последние годы сфотографировать отдельные крупные молекулы органических веществ. В настоящее время изучены и отдельные части атома и его ядра.

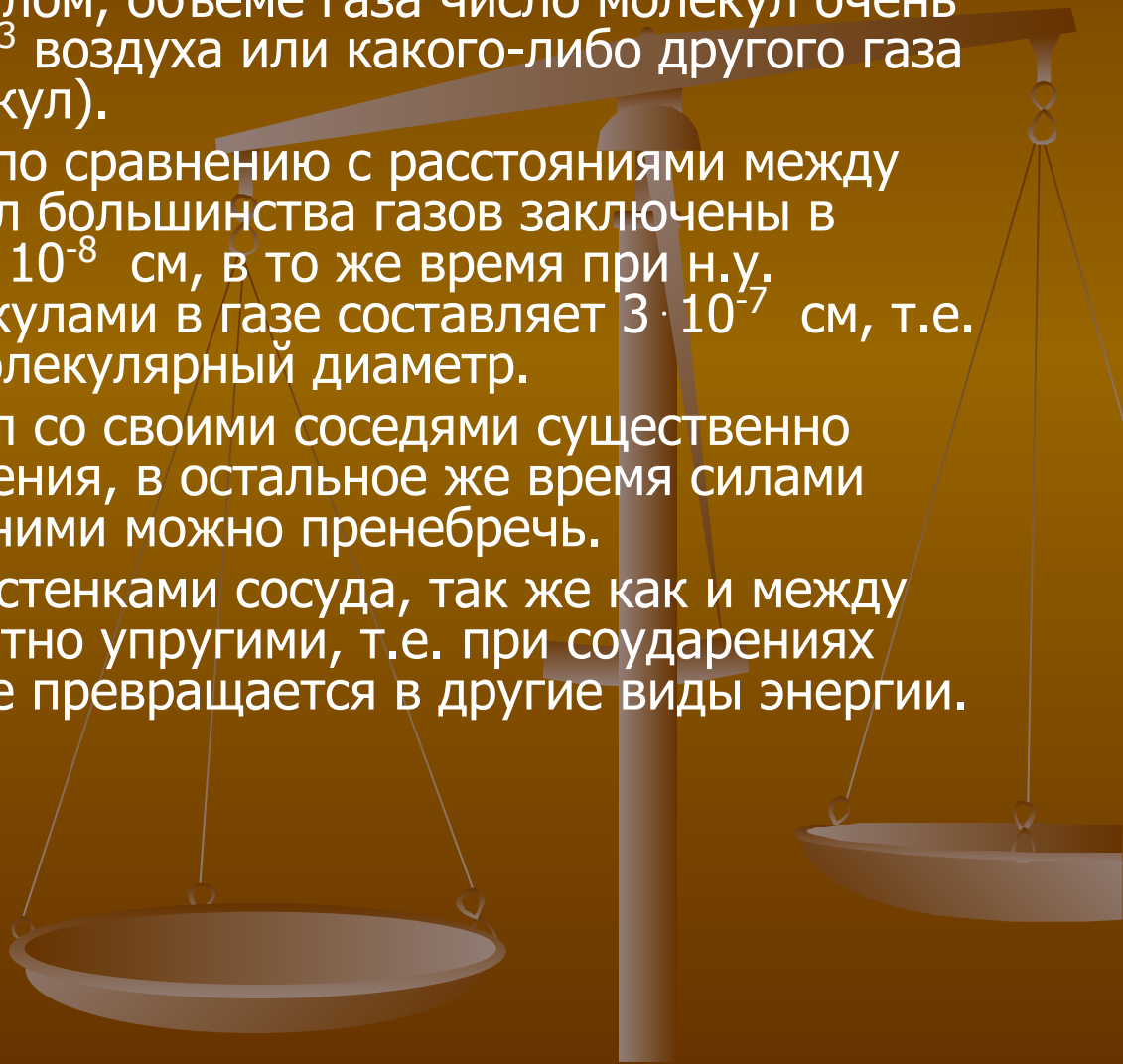
Основные положения современной МКТ вещества

1. Все тела состоят из мельчайших частиц – атомов и молекул.
2. Атомы и молекулы находятся в состоянии непрерывного движения. Движение это является вечным и не прекращается ни при каких условиях.
3. Молекулы различных веществ по-разному взаимодействуют между собой. Взаимодействие это существенно зависит от типа молекул и от расстояний между ними. В частности, зависимостью молекулярных сил от межмолекулярных расстояний объясняется качественное различие разных агрегатных состояний тел.



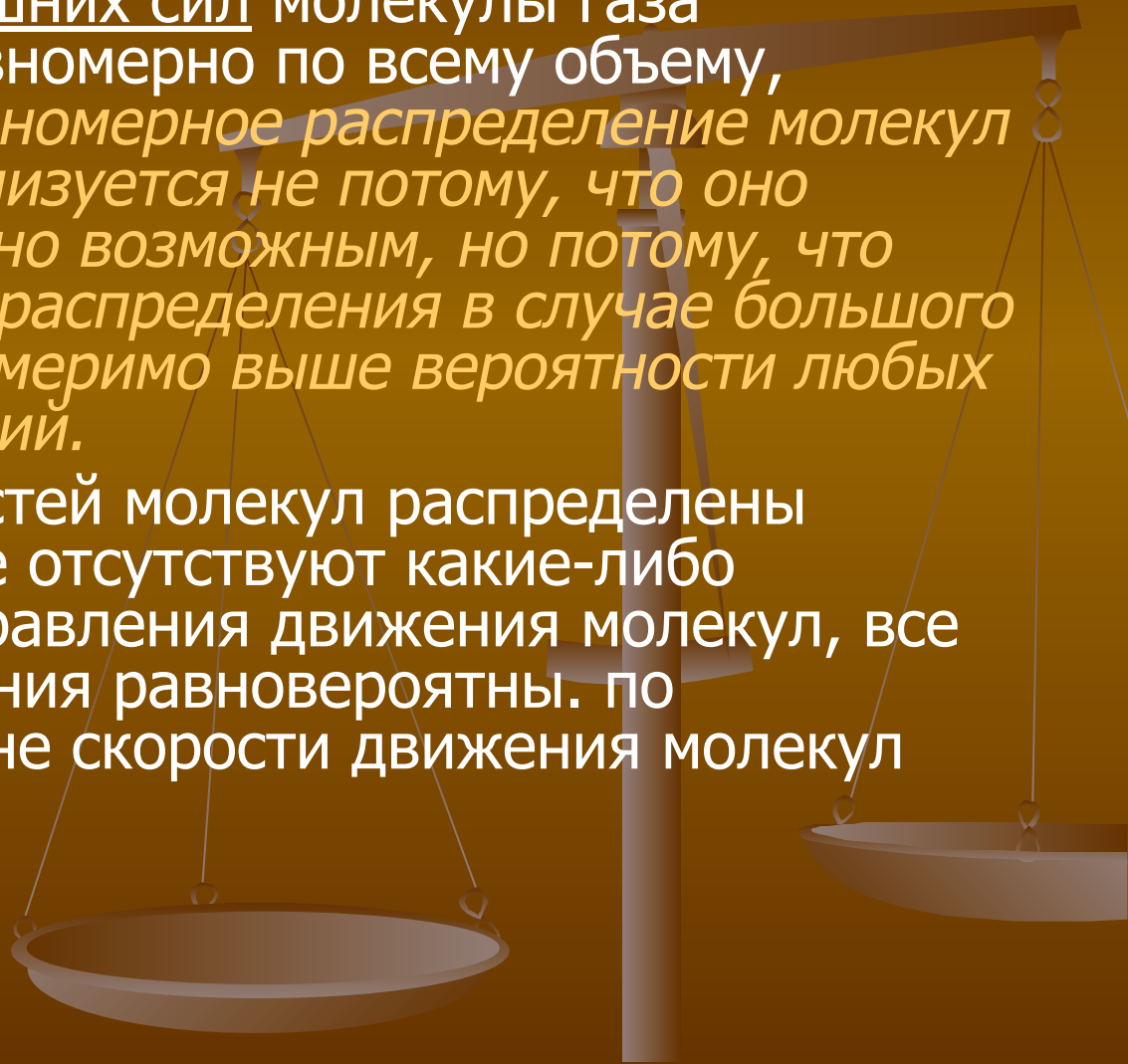
Дополнительно для МКТ газа

1. В любом, даже очень малом, объеме газа число молекул очень велико. (При н.у. в 1 мм^3 воздуха или какого-либо другого газа содержится $3 \cdot 10^{16}$ молекул).
2. Размеры молекул малы по сравнению с расстояниями между ними. Диаметры молекул большинства газов заключены в пределах от $2 \cdot 10^{-8}$ до $3 \cdot 10^{-8}$ см, в то же время при н.у. расстояние между молекулами в газе составляет $3 \cdot 10^{-7}$ см, т.е. в 10 раз превосходит молекулярный диаметр.
3. Взаимодействие молекул со своими соседями существенно только в момент соударения, в остальное же время силами взаимодействия между ними можно пренебречь.
4. Соударения молекул со стенками сосуда, так же как и между собой, являются абсолютно упругими, т.е. при соударениях кинетическая энергия не превращается в другие виды энергии.



Дополнительно для МКТ газа

- При отсутствии внешних сил молекулы газа распределяются равномерно по всему объему, занятому газом. *Равномерное распределение молекул газа по объему реализуется не потому, что оно является единственно возможным, но потому, что вероятность такого распределения в случае большого числа молекул неизмеримо выше вероятности любых других распределений.*
- Направления скоростей молекул распределены хаотично, т.е. в газе отсутствуют какие-либо избирательные направления движения молекул, все направления движения равновероятны. по абсолютной величине скорости движения молекул могут быть любыми.



Тепловое движение

Опр. 1. Хаотическое движение молекул тела наз. ***тепловым движением.***

1. Тепловое движение будем характеризовать средней кинетической энергией одной молекулы $E_{\text{кин}}$,
2. Взаимодействие между молекулами – потенциальной энергией взаимодействия $E_{\text{пот}}$.

В случае достаточно разреженных газов энергией межмолекулярного взаимодействия можно пренебречь. Это означает, что *физические свойства разреженных газов не должны зависеть от их химической природы (от масс молекул).*

Основными понятиями термодинамики и статистической физики

- Опр.2. Под *термодинамической системой* (ТС) понимается совокупность макроскопических тел любой физико-химической природы, к-е взаимодействуют и обмениваются энергией (возможен теплообмен) как между собой, так и с другими телами (внешней средой).
- Тела, не входящие в систему, называются *внешними*.
- ТС считается *изолированной*, если она не взаимодействует с внешними телами, и *неизолированной* — в противоположном случае.
- Понятие «изолированная» система — одна из важнейших **абстракций** термодинамики.
- Реальные макросистемы можно считать изолированными лишь в некотором приближении.

Основными понятиями термодинамики и статистической физики

- Одно и то же вещество в зависимости от **состояния** может обладать различными свойствами.
- Пример: физические свойства сильно сжатого газа отличаются от свойств этого газа при нормальных условиях.
- Для характеристики состояния вводят специальные ФВ, называемые **параметрами состояния**.
- Наиболее часто в качестве параметров состояния выбирают три величины:
 1. удельный объем вещества,
 2. его температуру и
 3. давление, которое это вещество оказывает.

Если изменяется **хотя бы один** из параметров состояния, то изменяется и состояние вещества.

Т.о., состояние вещества определяется совокупностью значений параметров состояния.

Основными понятиями термодинамики и статистической физики

- Опр.3. **Термодинамическими параметрами** называются макроскопические физические величины, совокупность которых полностью описывает (задает) свойства макроскопической системы в целом. Каждой совокупности термодинамических параметров соответствует определенное **макроскопическое состояние** системы.
- Обычно вводят **минимальное число** термодинамических параметров, полностью описывающих состояние системы. Это число аналогично числу **степеней свободы** в механике.
- Так для идеального газа массой m достаточно ввести два макропараметра — давление и объем. Другие параметры (температура, плотность и т. д.) будут функциями выбранных двух.

Основными понятиями термодинамики и статистической физики

- Опр.4. Параметры, не зависящие от способа перевода системы в рассматриваемое состояние, называются **функциями состояния**. К таким функциям относится, например, внутренняя энергия системы. Функции состояния имеют особо важное значение для термодинамики.
- Опр.5. Состояние системы называется **стационарным**, если параметры системы с течением времени не изменяются, и **нестационарным** — в противоположном случае.
- Опр.6. Стационарное состояние может быть **неравновесным**, если неизменность параметров поддерживается какими-либо внешними воздействиями и **равновесным**, если все параметры системы неизменны и эта неизменность поддерживается в системе самопроизвольно.

В термодинамике постулируется:
изолированные системы с течением времени неизбежно и самопроизвольно переходят в равновесное состояние (состояние теплового равновесия) и никогда из него самопроизвольно выйти не могут.



Основными понятиями термодинамики и статистической физики

- Опыт убеждает в том, что параметры состояния не являются независимыми друг от друга, но связаны между собой определенной функциональной зависимостью: $F(p, V, T) = 0$. Это означает, что заданным значениям каких-либо двух параметров соответствует вполне определенное значение третьего параметра. Написанное выше ур-е наз. *уравнением состояния*.
- Опр.7. Макроскопические параметры, характеризующие равновесное состояние системы, не являются независимыми. Закон, выражающий зависимость между параметрами термодинамической системы в условиях равновесия, называется *уравнением состояния*.

Основными понятиями термодинамики и статистической физики

- Опр.8. Всякое изменение в ТС, связанное с изменением хотя бы одного из ее макропараметров, называется **термодинамическим процессом**. В результате термодинамического процесса система переходит из **одного** макросостояния в **другое**.
- Подходящим воздействием систему можно вернуть обратно в исходное состояние. Второй процесс по отношению к первому (прямому) называют *обратным*.
- Вместе прямой и обратный процесс называют *круговым* или *циклическим*. В результате циклического процесса система возвращается в исходное состояние.

Основными понятиями термодинамики и статистической физики

- Опр.9. **Процесс** называется **равновесным** или **статическим**, если любое промежуточное состояние системы является равновесным.
- Следовательно, равновесный термодинамический процесс состоит из бесконечно близких равновесных состояний, последовательно сменяющих друг друга.
- Понятие «равновесный процесс» — одна из важнейших **абстракций** термодинамики.
- Реальные процессы в макросистемах можно приближенно считать равновесными лишь при выполнении некоторых условий.

Задание к практике

1. Ответить на вопросы к практическому занятию №1 из «Методических указаний для практических занятий по ОиЭФ. Раздел МКТ и термодинамика» / Филимонова Л.В.
2. Разобрать примеры решения задач.



Задание к следующ. лекции

Подготовить ответы на вопросы:

- Опытные законы идеального газа (Бойля-Мариотта, Гей-Люссака). Изопроцессы и их диаграммы.
- Давление с кинетической точки зрения. Основное уравнение МКТ (1-я форма).
- Тепловое движение. Температура. Измерение температур.
- Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Клайперона-Менделеева.
- Следствия основного уравнения МКТ и уравнения состояния идеального газа.



УСЛОВИЯ «автомата»: **5** или **4**»

1. Посещение не менее 80% аудиторных часов.
2. Участие в обсуждении материала не реже 2-х раз в месяц.
3. Самостоятельное решение задач их пособия (д/з или у доски).
4. Подготовка сообщения «Жизнь физика» или презентации по физической тематике.
5. Прочие заслуги