

Лекция 1.

Макросистемы и макропараметры.

Попель Петр Станиславович

Введение

- **Задача:** Найти способ описания систем, состоящих из огромного числа частиц
- **Главная идея:** параметры, описывающие состояние такой системы, должны быть усредненными характеристиками движения и взаимодействия всех образующих ее частиц.
- **Большая радость:** Мы уже знаем эти параметры: это температура, давление и объем!

План лекции:

- 1. Основные термины.
- 2. Объем, давление, температура.
- 3. Идеальный газ.
- 4. Вывод основного уравнения молекулярно-кинетической теории для давления идеального газа.

1. Основные термины:

- **Макросистема** (макроскопическая система)- система, состоящая из огромного числа частиц.
- **Термодинамические параметры** (макропараметры)- физические величины, характеризующие не отдельные частицы макросистемы, а всю макросистему в целом.
- **Основные термодинамические параметры** - объем, давление и температура системы.
- **Термодинамическое состояние макросистемы** (макросостояние) определяется набором ее термодинамических параметров.

1. Основные термины:

- Термодинамическое состояние макросистемы является **равновесным**, если:
 - а) термодинамические параметры в любой точке системы не изменяются с течением времени;
 - б) в системе отсутствуют **потоки** частиц, тепла, зарядов и др;
 - в) для поддержания такого состояния не требуется никаких внешних воздействий на систему.
- **Термодинамический процесс (макропроцесс)** – любое изменение термодинамического состояния.
- **Изопроцесс** – термодинамический процесс, в ходе которого один из термодинамических параметров остается постоянным.

Молекулярная физика.

Лекция 1

5
08/04/2023

1. Основные термины:

- Флуктуации – самопроизвольные отклонения состояния системы от термодинамического равновесия или самопроизвольные отклонения хода процесса от естественного направления.
- Чем больше частиц в макросистеме, тем меньше в ней относительная величина флуктуаций.

2. Объем, давление, температура

Объем V – скалярная физическая величина, равная размеру области пространства, занятого макросистемой (в Международной системе единиц измеряется в м^3).

Давление p – скалярная физическая величина, равная нормальной проекции силы, с которой частицы системы действуют на какую-либо поверхность, отнесенной к единице ее площади:

$$p = \frac{dF_n}{dS}$$

В Международной системе единиц давление измеряется в Паскалях:

$$1 \text{ Па} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2}$$

2. Объем, давление, температура

Температура T – термодинамический параметр, который всегда одинаков у тел, находящихся в состоянии теплового равновесия.

Тепловое равновесие – состояние, которое самопроизвольно устанавливается со временем, если две макросистемы привести в контакт, позволив обмениваться теплом, но изолировать от внешней среды.

Температура характеризует интенсивность теплового движения частиц системы и пропорциональна средней кинетической энергии поступательного движения одной частицы :

$$T = \frac{2}{3k} \langle \varepsilon \rangle, \quad \text{или} \quad \langle \varepsilon \rangle = \frac{3}{2} k T .$$

Здесь $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана.
Молекулярная физика.

3. Идеальный газ

- **Идеальный газ** – это макросистема, состоящая из частиц, которые:
 - а) не взаимодействуют на расстоянии;
 - б) взаимодействуют только при столкновениях, причем продолжительность столкновения значительно меньше времени, в течение которого частица свободно движется до следующего столкновения;
- Столкновения частиц идеального газа считаются абсолютно упругими, т.е. в ходе каждого столкновения суммарная кинетическая энергия сталкивающихся частиц не изменяется.
- Реальные газы подчиняются законам идеальных газов при не слишком низких температурах и не слишком высоких давлениях.

4. Вывод основного уравнения молекулярно-кинетической теории для давления идеального газа

- Основные допущения:
 1. Молекулы движутся только вдоль трех взаимно перпендикулярных направлений.
 2. Поскольку все направления движения молекул равновероятны, то в каждом направлении движется $1/6$ всех молекул.
 3. Все молекулы движутся с одинаковой по модулю скоростью V .
 4. Столкновения молекул со стенками сосуда происходят по законам абсолютно упругого удара, т.е. кинетическая энергия молекул при этом не изменяется.

4. Вывод основного уравнения молекулярно-кинетической теории для давления идеального газа

По определению, давление газа P равно

$$P = \frac{F_n}{S}$$

Причем, согласно второму закону Ньютона,

$$F = \frac{dp}{dt},$$

где dp - изменение импульса стенки за время dt .

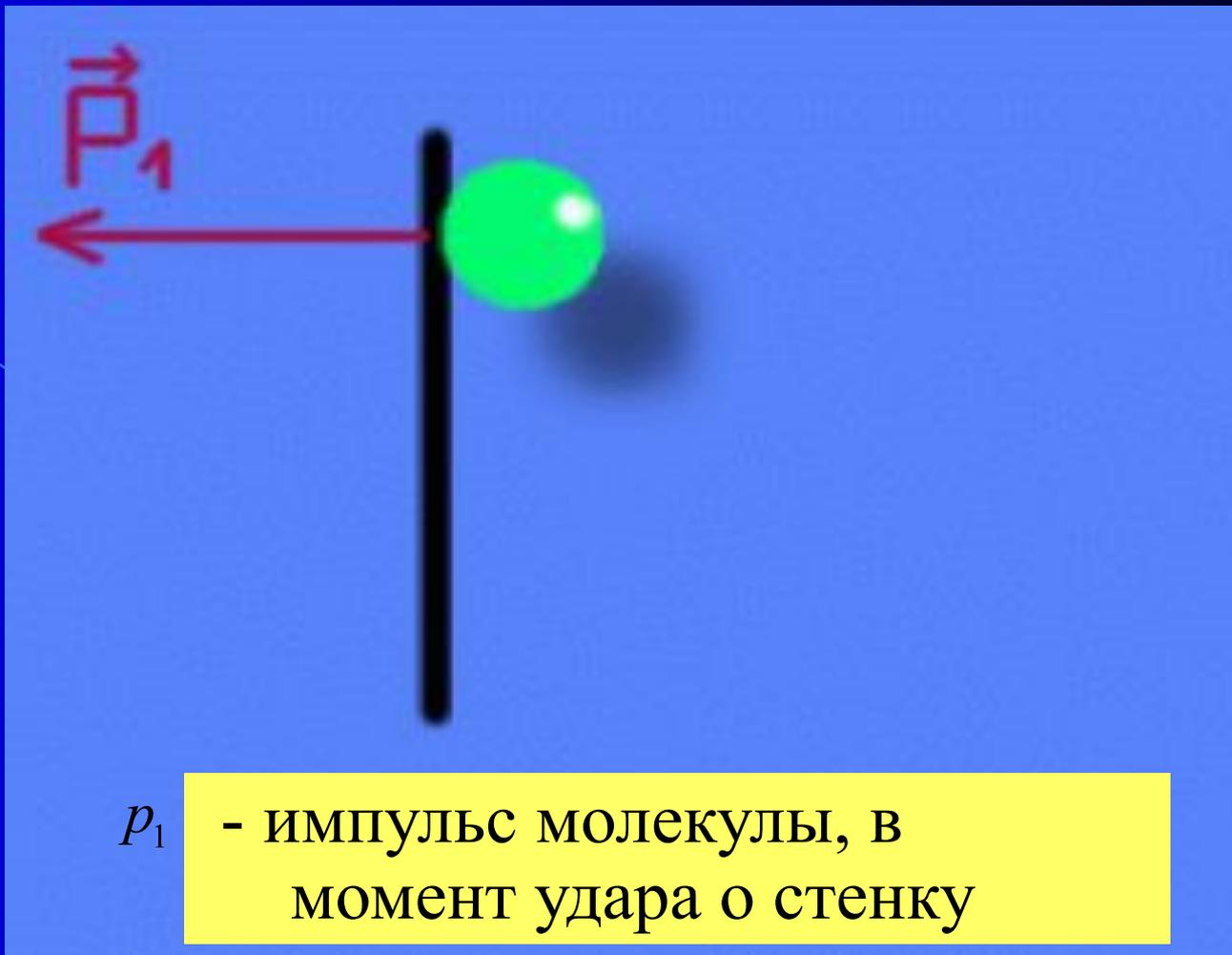
Следовательно, давление газа на стенку равняется изменению импульса p 1 ед. ее площади за 1 секунду.

Молекулярная физика.

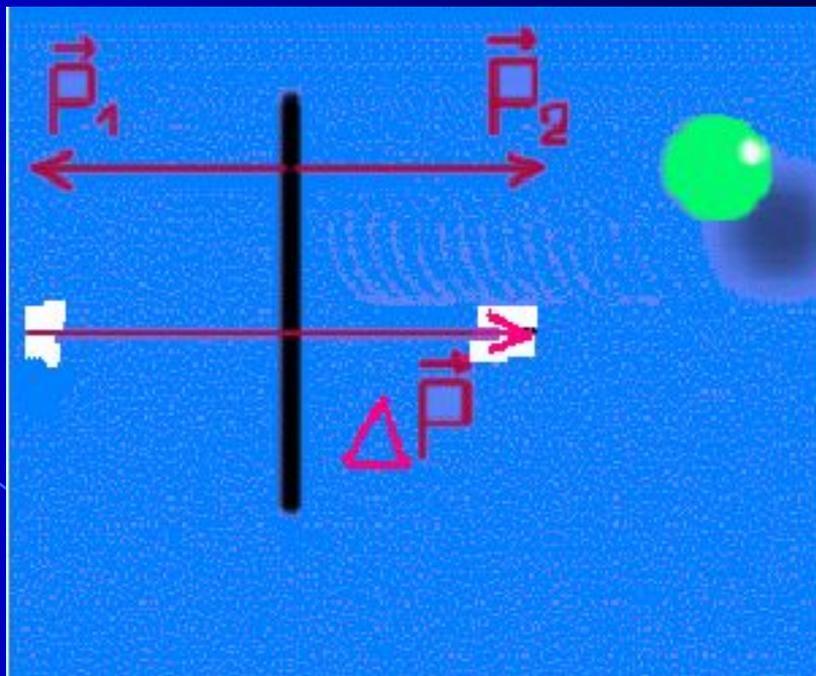
Лекция 1

11
08/04/2023

4. Вывод основного уравнения молекулярно-кинетической теории для давления идеального газа



4. Вывод основного уравнения молекулярно-кинетической теории для давления идеального газа



\vec{p}_2 - импульс молекулы в момент отскока от стенки ;

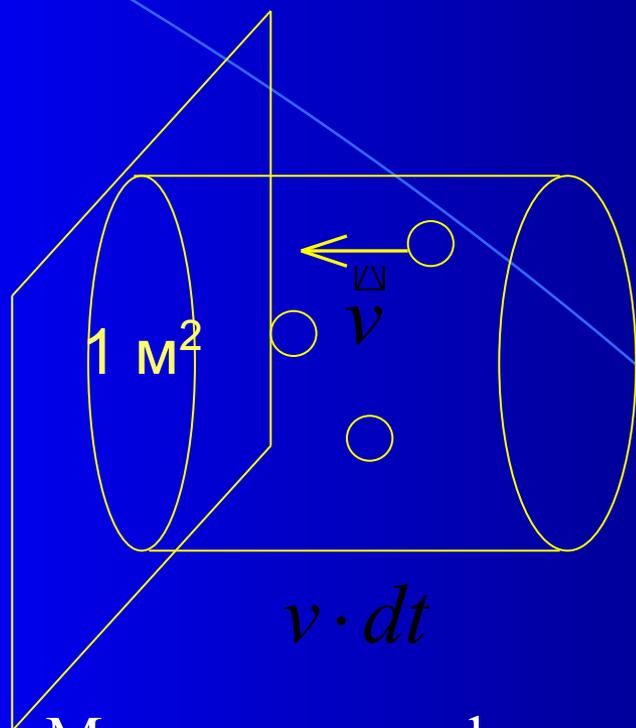
$$|\vec{p}_2| = |\vec{p}_1| = p$$

$\Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$ - изменение импульса молекулы при ударе о стенку

$$|\Delta p| = 2p$$

4. Вывод основного уравнения молекулярно-кинетической теории для давления идеального газа

По закону сохранения импульса, изменение импульса молекулы при столкновении со стенкой равно импульсу, который молекула передает стенке.

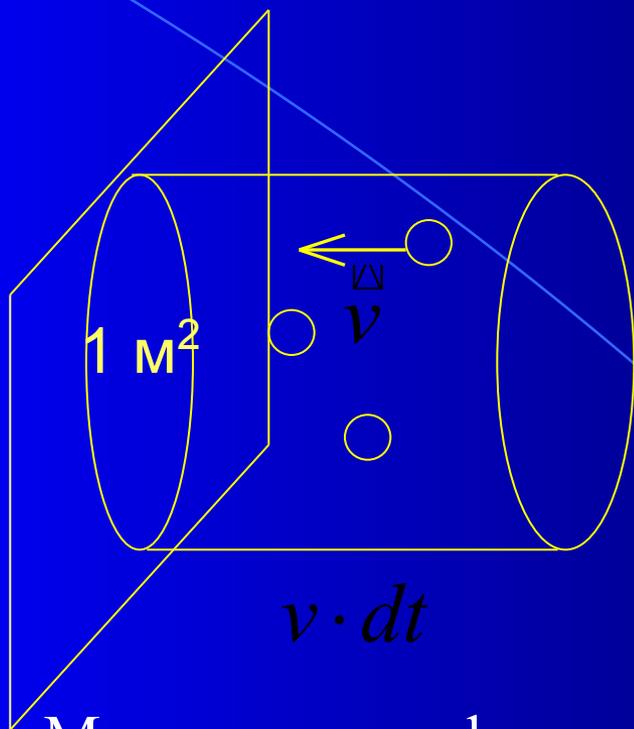


За время dt об единичную площадку стенки ударятся все молекулы, которые:

- находятся внутри изображенного цилиндра;
- летят по направлению к стенке

4. Вывод основного уравнения молекулярно-кинетической теории для давления идеального газа

Если n – концентрация молекул (их число в единице объема), то в цилиндре объемом $v \cdot dt \cdot 1$ находится $n \cdot v \cdot dt$ молекул. Из них $1/6$ летит по направлению к стенке. Все они за время dt столкнутся со стенкой и передадут ей импульс:



$$dp = 2mv \cdot \frac{1}{6} \cdot n \cdot v dt$$

Следовательно, на единичную площадку в направлении нормали к ней будет действовать сила

$$P = \frac{dp}{dt} = \frac{1}{3} mv \cdot n \cdot v$$

4. Вывод основного уравнения молекулярно-кинетической теории для давления идеального газа

Если вспомнить, что $mv^2/2 = \varepsilon$,

где ε - кинетическая энергия поступательного движения молекулы (мы пока полагаем, что она у всех молекул одинакова), то выражение для давления можно переписать в виде:

$$P = \frac{2}{3} n \varepsilon$$

Для того, чтобы учесть различие в скоростях движения молекул газа, заменим в последнем выражении кинетическую энергию одной молекулы ее средним значением и получим:

$$P = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon \rangle .$$

Основное уравнение
молекулярно-кинетической
теории для давления
идеального газа

4. Вывод основного уравнения молекулярно-кинетической теории для давления идеального газа

$$P = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon \rangle .$$

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории для давления идеального газа:

Давление идеального газа равняется $2/3$ средней кинетической энергии поступательного движения молекул, содержащихся в 1 ед. его объема.

**Спасибо
за
внимание!**

