

Сегодня среда, 9 июля 2014 г.

***ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА В
ГАЗАХ И ЖИДКОСТЯХ***

Лекция 8

Содержание лекции:

- * **Диффузия**
- * **Внутреннее трение. Вязкость**
- * **Теплопроводность газов**

В кинетической теории газов мы рассматривали газы, находящиеся в состоянии равновесия. Однако беспорядочность теплового движения молекул газа, непрерывные столкновения между ними приводят к постоянному перемешиванию частиц и изменению скоростей и энергий. В результате этого, в газе возникают потоки энергии, вещества, а также импульса упорядоченного движения частиц. Эти потоки, характерные для неравновесных процессов, объединенных общим названием **явлений переноса**.

Рассмотрение неравновесных систем – сложная задача. В случае разреженных газов эта задача весьма упрощается.

Газ *разрежен*, если выполняются условия:

- Большую часть времени молекулы находятся далеко друг от друга и не взаимодействуют между собой. Время между соударениями гораздо меньше времени, затрачиваемого на соударения.
- Вероятность тройного столкновения пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью сближения двух молекул.
- Среднее расстояние между молекулами велико по сравнению с длиной волны де Бройля молекулы.

При незначительных отклонениях системы от положения равновесия рассмотрение движения молекул газа возможно в рамках МКТ.

В качестве примеров неравновесной задачи рассмотрим явления переноса: *внутреннее трение*, *теплопроводность* и *диффузия* в газах.

Явления переноса в газах

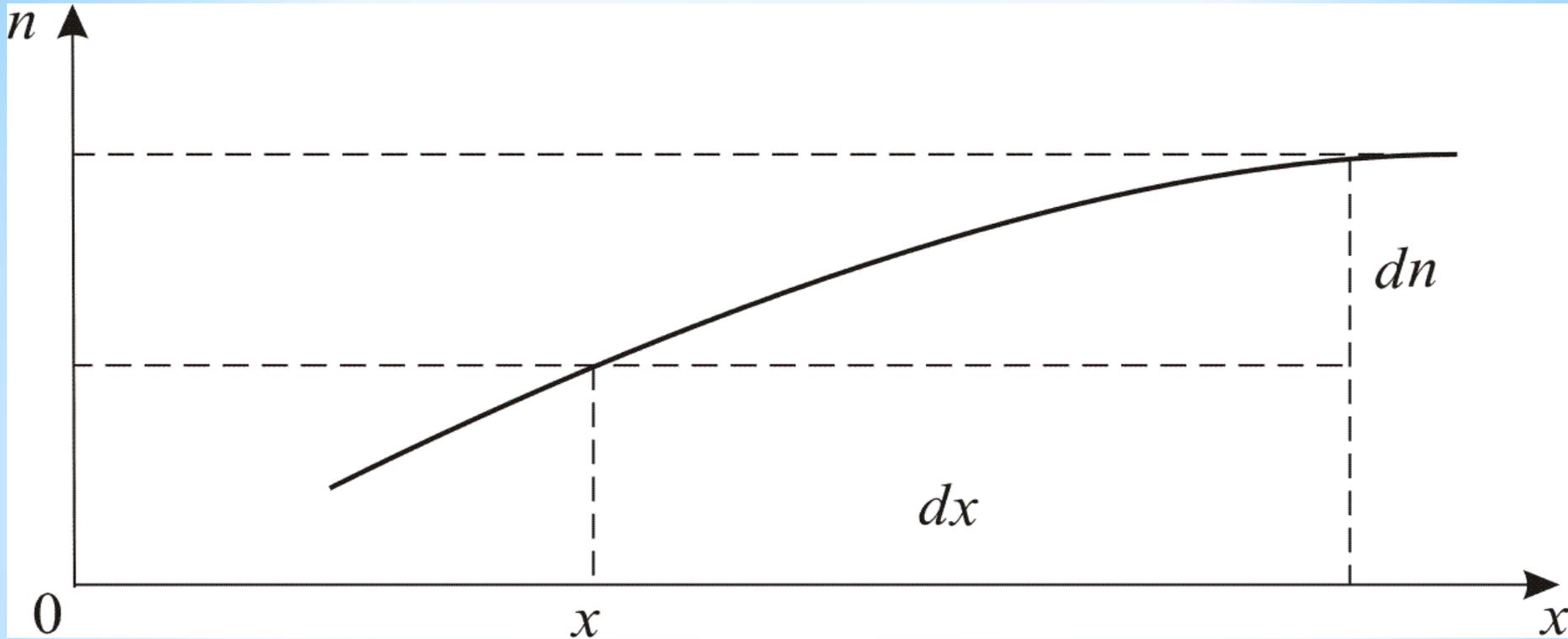
Диффузия

Диффузия – взаимное проникновение соприкасающихся веществ друг в друга вследствие теплового движения частиц вещества.

Диффузия происходит в направлении уменьшения концентрации вещества и ведет к его равномерному распределению по занимаемому объему. Т. е. при диффузии переносится масса (концентрация).

Имеет место в газах, жидкостях и твердых телах.

Для количественного описания неоднородности используется понятие *градиента физической величины*.

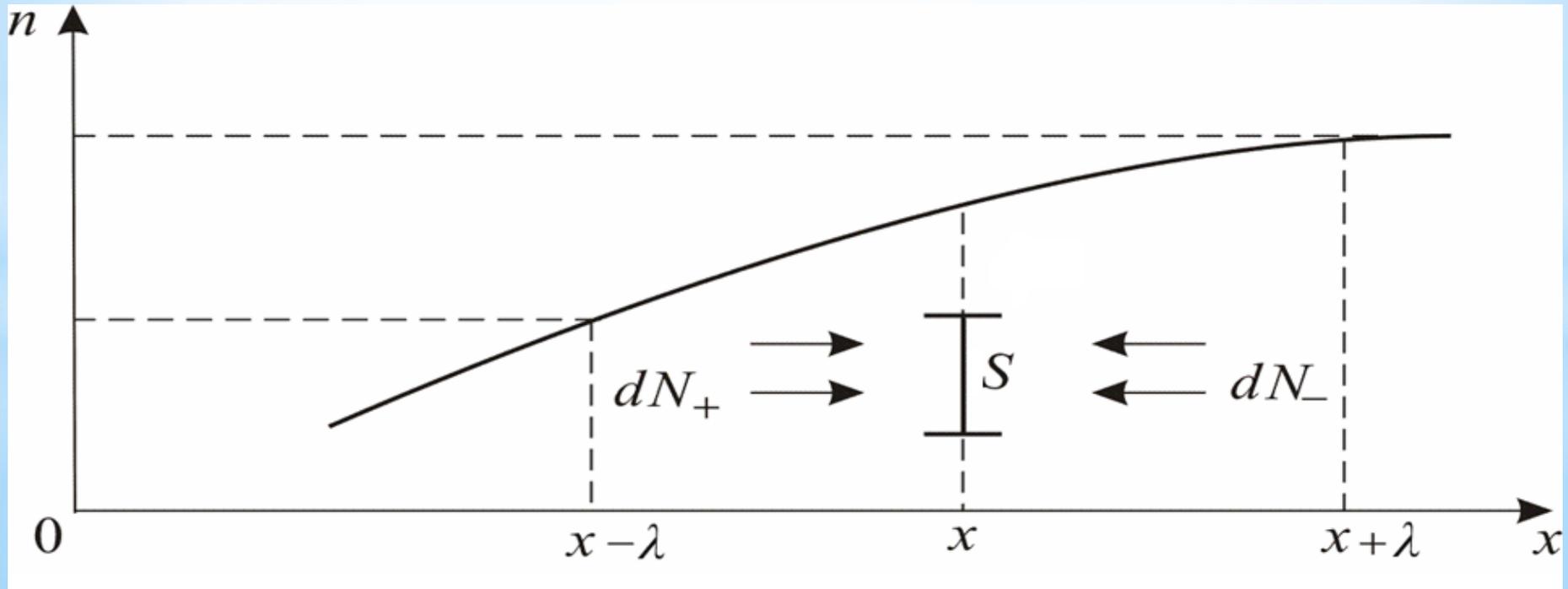


$$\text{grad } n = \frac{dn}{dx} \vec{\mathbf{i}} + \frac{dn}{dy} \vec{\mathbf{j}} + \frac{dn}{dz} \vec{\mathbf{k}} \quad \text{— в общем случае;}$$

$$\text{grad } n = \frac{dn}{dx} \quad \text{— для одномерной задачи.}$$

Найдем поток молекул примеси, направленных от мест с большей концентрацией к местам с меньшей концентрацией.

Пусть в плоскости с координатой x находится единичная площадка S , перпендикулярная оси x .



Подсчитаем число молекул, проходящих через площадку в направлении слева направо (N_+) и справа налево (N_-) – за время t :

$$N'_+ = \frac{1}{6} n' \langle v \rangle S \quad N'_- = \frac{1}{6} n'' \langle v \rangle S$$

Через поверхность S , будут пролетать молекулы, претерпевшие последнее соударение на различных расстояниях от S .

$$n' = n (x - \lambda) \quad n'' = n (x + \lambda)$$

$$N = N_1' - N_1''$$

$$N = \frac{1}{6} \langle v \rangle S [n(x - \lambda) - n(x + \lambda)]$$

Ввиду малости λ :

$$n(x - \lambda) - n(x + \lambda) = -\frac{dn}{dx} 2\lambda$$

$$N = -\left(\frac{1}{3} \langle v \rangle \lambda\right) \frac{dn}{dx} S$$

Исходя из молекулярно-кинетических представлений, удалось прийти к правильной зависимости N от dn/dx , и получить выражение для коэффициента диффузии D :

$$N = -D \frac{dn}{dx} S$$

$$D = \left(\frac{1}{3} \langle v \rangle \lambda \right) \text{ - коэффициент диффузии}$$

$$[D] = \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$J = -D \operatorname{grad} n$$

уравнение Фика

J - диффузионный поток (количество молекул, проходящих при диффузии через единичную площадку, перпендикулярную направлению наискорейшего изменения концентрации в единицу времени).

Адольф Евгений Фик

(1829-1901)

Немецкий физик и физиолог. В 1855 году он представил закон диффузии Фика. В 1870 году он был первым, кто измерил сердечный выброс, используя то, что сейчас называется принципом Фика.



Внутреннее трение. Вязкость

Вязкость – свойство текучих тел оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой.

Пусть в покоящемся газе вверх, перпендикулярно оси x движется пластинка со скоростью v_0 , причём $v_0 \ll v_T$ (v_T – скорость теплового движения молекул).

Весь газ делится как бы на тончайшие слои, скользящие вверх тем медленнее, чем дальше они от пластинки.

Каждая молекула газа в слое принимает участие в двух движениях: тепловом и направленном.

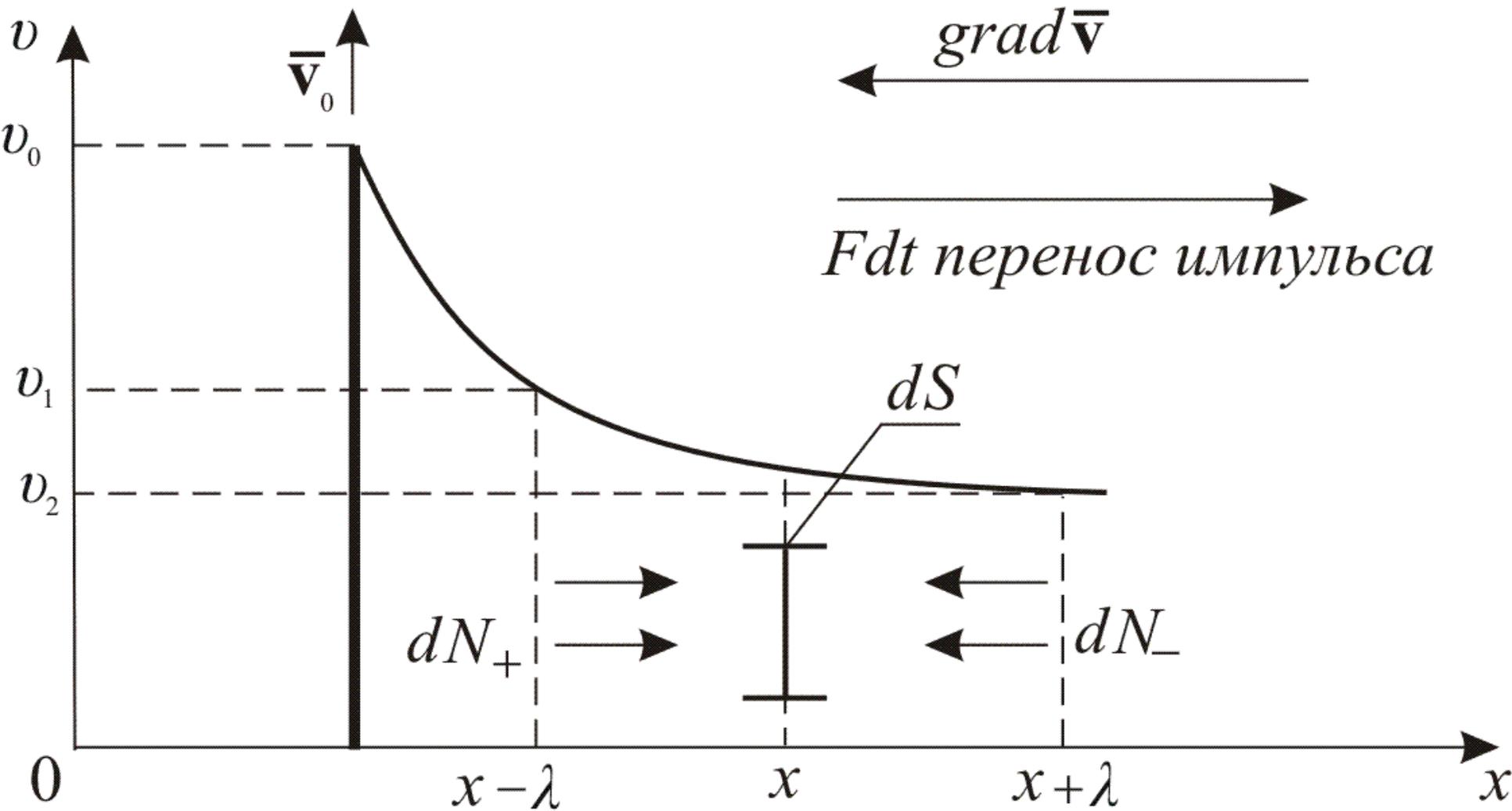
Т.к. направление теплового движения хаотически меняется, в среднем вектор тепловой скорости равен нулю.

При направленном движении слой молекул будет дрейфовать с постоянной скоростью v . Таким образом средний импульс отдельной молекулы в слое определяется только дрейфовой скоростью v :

$$p_0 = m_0 v.$$

Так как молекулы участвуют в тепловом движении, они будут переходить из слоя в слой. При этом они будут переносить с собой добавочный импульс, который будет определяться молекулами того слоя, куда перешла молекула.

Перемешивание молекул разных слоёв приводит к выравниванию дрейфовых скоростей разных слоёв, что и проявляется макроскопически как действие сил трения между слоями.



$$N = \frac{1}{6} n \langle v \rangle S$$

Через площадку S в единицу времени переносится
ИМПУЛЬС

$$p = N(m_0 u_1 - m_0 u_2).$$

$$p = \frac{1}{6} n \langle v \rangle S m_0 (u_1 - u_2)$$

Здесь $u_1 = u(x - \lambda)$ и $u_2 = u(x + \lambda)$.

$$p = \frac{1}{6} n \langle v \rangle S m_0 [u(x - \lambda) - u(x + \lambda)]$$

Переносимый через площадку S в единицу времени импульс равен:

$$p = -\left(\frac{1}{3} \rho \lambda \langle v \rangle\right) \frac{du}{dx} S$$

или

$$p = -\eta \frac{du}{dx} S$$

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \lambda \langle v \rangle = D\rho$$

- коэффициент динамической вязкости (вязкость).

$$[\eta] = \text{кг}/(\text{м} \cdot \text{сек})$$

$$F = -\eta \frac{du}{dx} S$$

- закон вязкого течения (уравнение Ньютона)

F – величина силы внутреннего трения

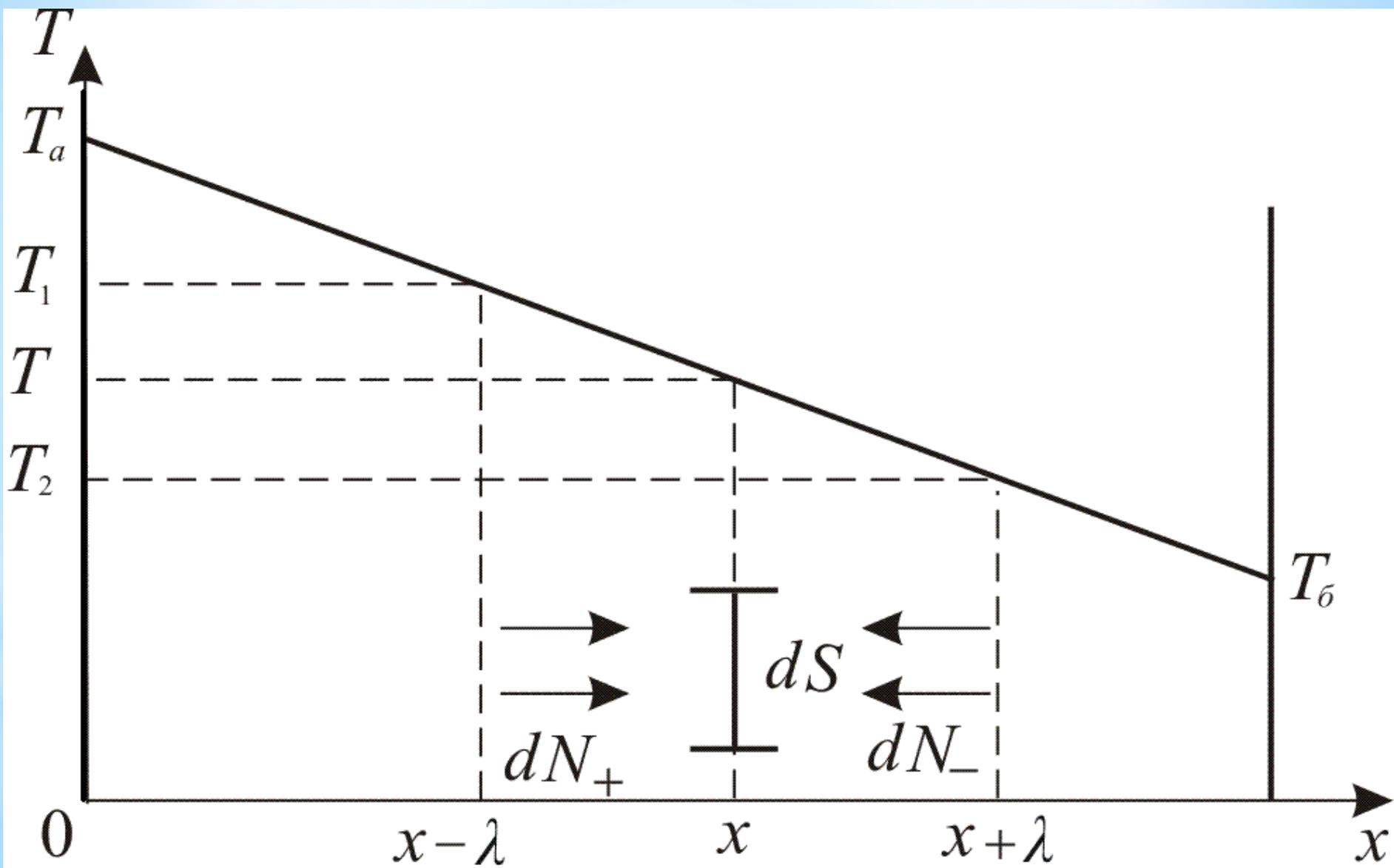
S – площадь соприкосновения слоев.

Теплопроводность газов

Теплопроводность – один из видов переноса энергии от более нагретых частей тела к менее нагретым, приводящий к выравниванию температуры.

Процесс передачи теплоты происходит вследствие хаотического теплового движения молекул или атомов.

Выравнивание температуры происходит потому, что выравниваются энергии теплового движения молекул. *Переносимой величиной в этом явлении является энергия.* Энергия переносится в форме теплоты.



Через газ в направлении оси x будет идти поток тепла. Хаотично двигаясь, молекулы будут переходить из одного слоя газа в другой, перенося с собой энергию. Это движение молекул приводит к перемешиванию молекул, имеющих различную кинетическую энергию

$$\bar{E}_k = \frac{m_0 v_{кв}^2}{2} = \frac{i}{2} kT.$$

Введём следующие упрощения:

- 1) $\langle v \rangle = \text{const}$ (среднеарифметическая скорость).
- 2) концентрация молекул в соседних слоях одинакова (Это упрощение даёт ошибку $\approx 10\%$).

Количество молекул через площадку S за единицу времени:

$$N = \frac{1}{6} \langle v \rangle n S$$

Средняя энергия этих молекул E_k – соответствует значению энергии в том месте, где они испытывают последнее результирующее столкновение.

Для одной молекулы газа:

$$\bar{E}_{k_1} = \frac{i}{2} kT_1.$$

Здесь T_1 – температура в том месте, где произошло столкновение данной молекулы с другой.

Для потока тепла через площадку S в положительном направлении оси x получается:

$$Q = N(\bar{E}_{k_1} - \bar{E}_{k_2})$$

$$Q = \frac{1}{6} n \langle v \rangle S \left(\frac{i}{2} k T_1 - \frac{i}{2} k T_2 \right) =$$
$$= \frac{1}{6} n \langle v \rangle S \frac{i}{2} k (T_1 - T_2)$$

$$T_1 - T_2 = T(x - \lambda) - T(x + \lambda) = -\frac{dT}{dx} 2\lambda$$

$$Q = -\frac{1}{6} n \langle v \rangle S \frac{i}{2} k \frac{dT}{dx} 2\lambda =$$

$$= -\frac{1}{3} \langle v \rangle \lambda \left(\frac{i}{2} kn \right) \frac{dT}{dx} S$$

$$Q = -\chi \frac{dT}{dx} S$$

- закон Фурье

$$\chi = \frac{1}{3} \langle v \rangle \lambda \rho c_v$$

*- коэффициент
теплопроводности*

Жан Батист Жозеф Фурье

(1768-1830)



Французский математик и физик, иностранный почетный член Петербургской АН (1829). Свои методы (ряды и интегралы Фурье) он использовал в теории распространения тепла. Но вскоре они стали исключительно мощным инструментом математического исследования самых разных задач — особенно там, где есть волны и колебания. А этот круг чрезвычайно широк — астрономия, акустика, теория приливов, радиотехника и др.



Конец лекции