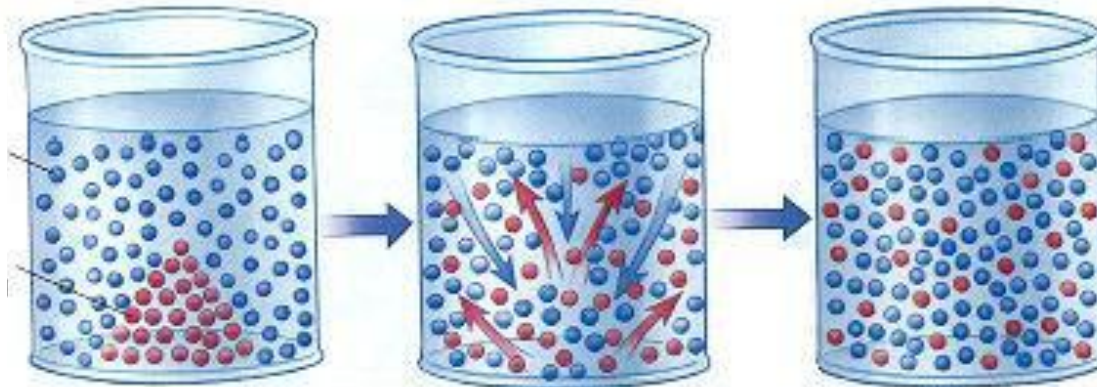


Явления переноса (диффузия)

- Стационарный процесс переноса диффузии, закон Фика (диффузия)
- Характерные значения коэффициента диффузии
- Зависимость коэффициента диффузии от давления и температуры
- Самодиффузия и взаимная диффузия
- Нестационарные процессы диффузии
- Течение газов при малых давлениях

Перенос вещества (Диффузия)

- Процессы переноса, происходящие в веществе, в каждой точке которого термодинамические параметры состояния не зависят от времени, называются **стационарными**.
- **Диффу́зия** — процесс взаимного проникновения молекул или атомов одного вещества между молекулами или атомами другого, приводящий к самопроизвольному выравниванию их концентраций по всему занимаемому объёму.

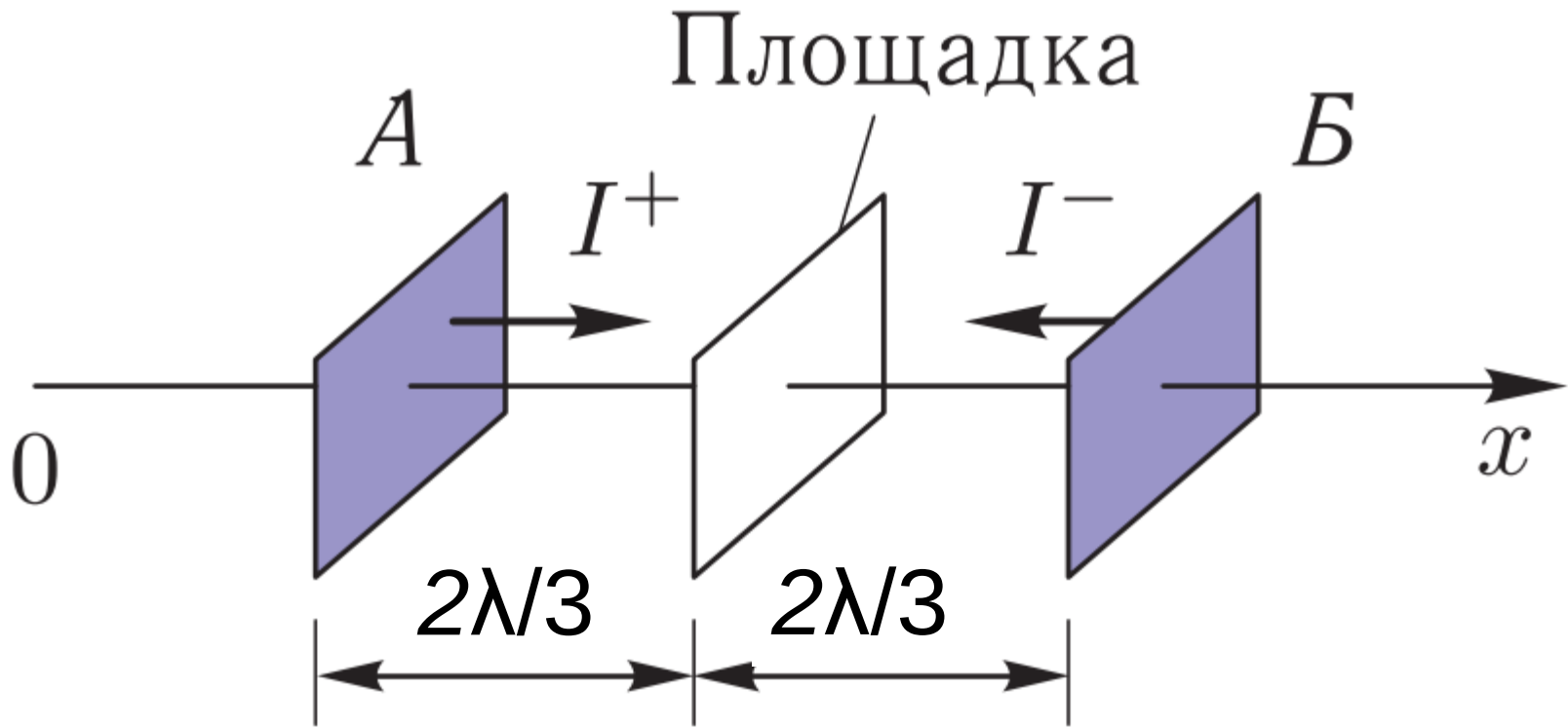


Явления переноса

Явление	Переносимая величина	Основной закон и уравнение переноса	Коэффициент переноса	Связь между коэффициентами переноса
Диффузия	Количество вещества, или масса, или число молекул	Закон Фика. $J = -D \frac{dn}{dx}$ $m = -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \Delta S \Delta t$	$D = \frac{1}{3} \lambda \langle v \rangle$	$D = \frac{\eta}{\rho}$
Вязкость	Импульс упорядоченного движения слоёв	Закон Ньютона $F = \eta \left \frac{dv}{dx} \right S$	$\eta = \frac{1}{3} \rho \langle v \rangle \lambda$	$\eta = D \rho$
Теплопроводность	Количество теплоты (энергия)	Закон Фурье $q = -\chi \frac{dT}{dx} S$	$\chi = \frac{1}{3} \langle v \rangle \lambda \rho C_v$	$\chi = \eta C_v$

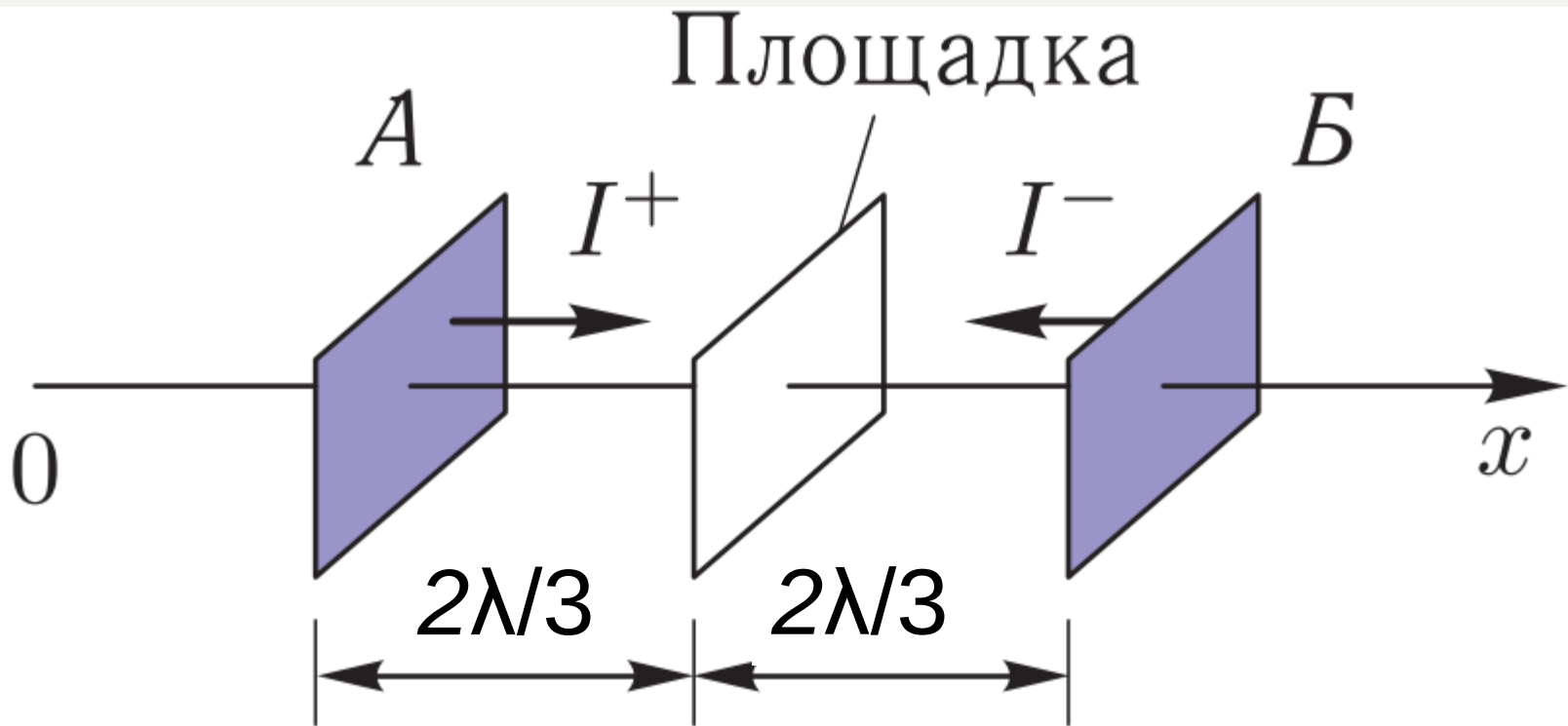
Перенос вещества (Диффузия)

Закон Фика



Пусть концентрация газа $n(x)$ изменяется вдоль одной координатной оси. Будем считать, что характерный масштаб, на котором происходит изменение концентрации, намного превышает длину свободного пробега.

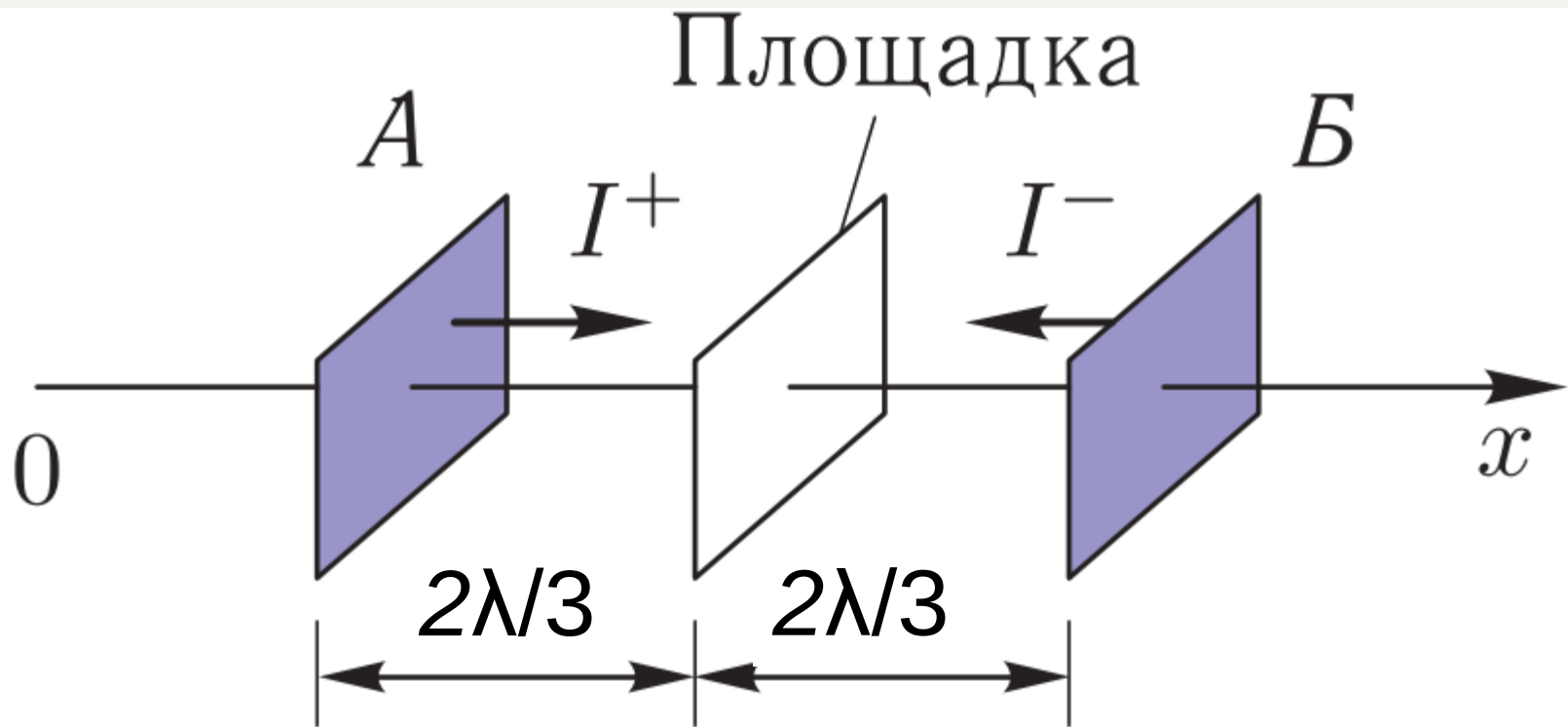
Перенос вещества (Диффузия)



Вычислим поток частиц через единичную площадку, перпендикулярную оси. Поток частиц, находящихся слева от площадки и движущихся в положительном направлении координатной оси будет равен частоте ударов о стенку А:

$$I^+ = \frac{n(x - l_X) \langle v \rangle}{4}$$

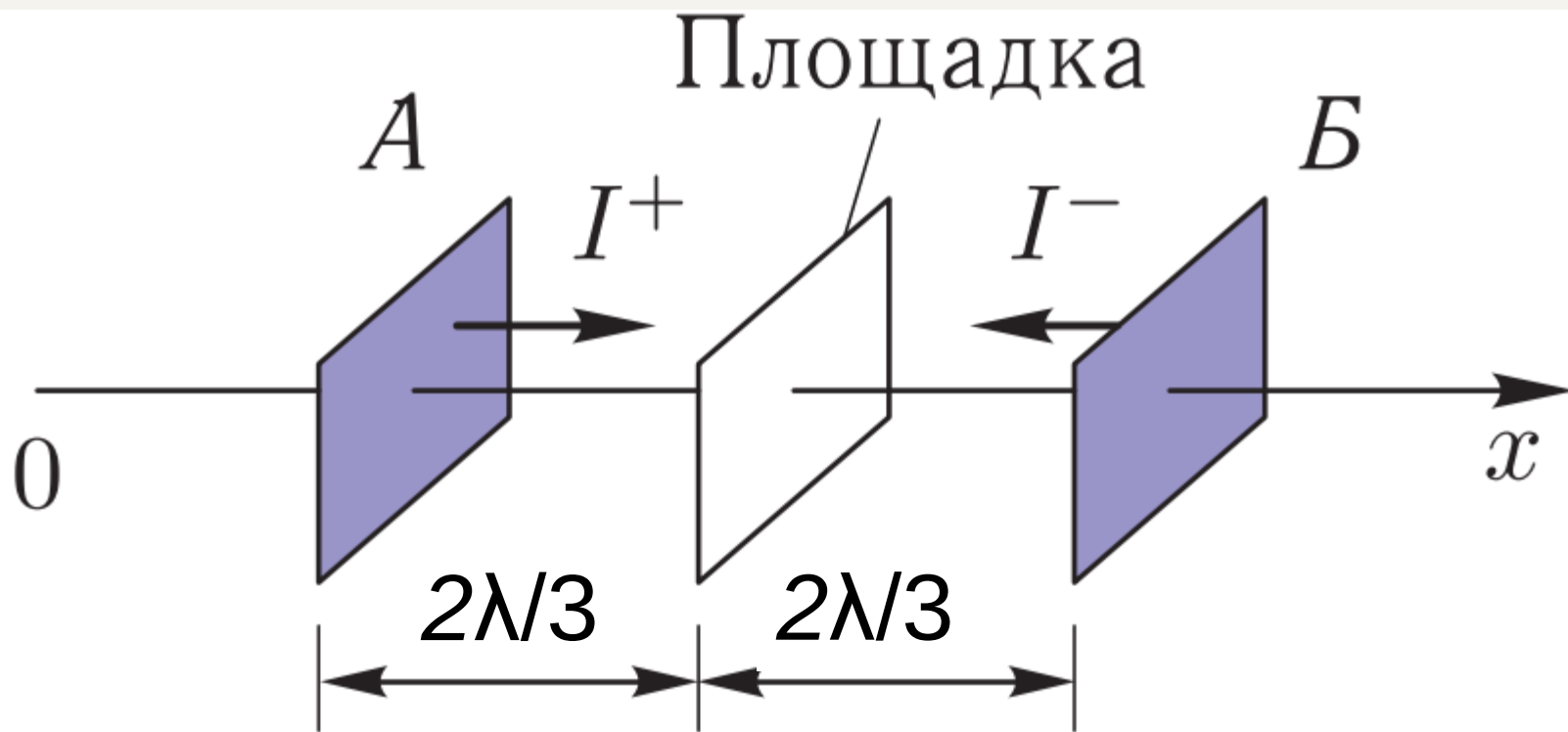
Перенос вещества (Диффузия)



Поток частиц, находящихся справа от площадки и движущихся в отрицательном направлении координатной оси, будет равен частоте ударов о стенку Б:

$$I^- = \frac{n(x + l_X) \langle v \rangle}{4}$$

Диффузия (Закон Фика)



$$I = -D \frac{dn}{dx}$$

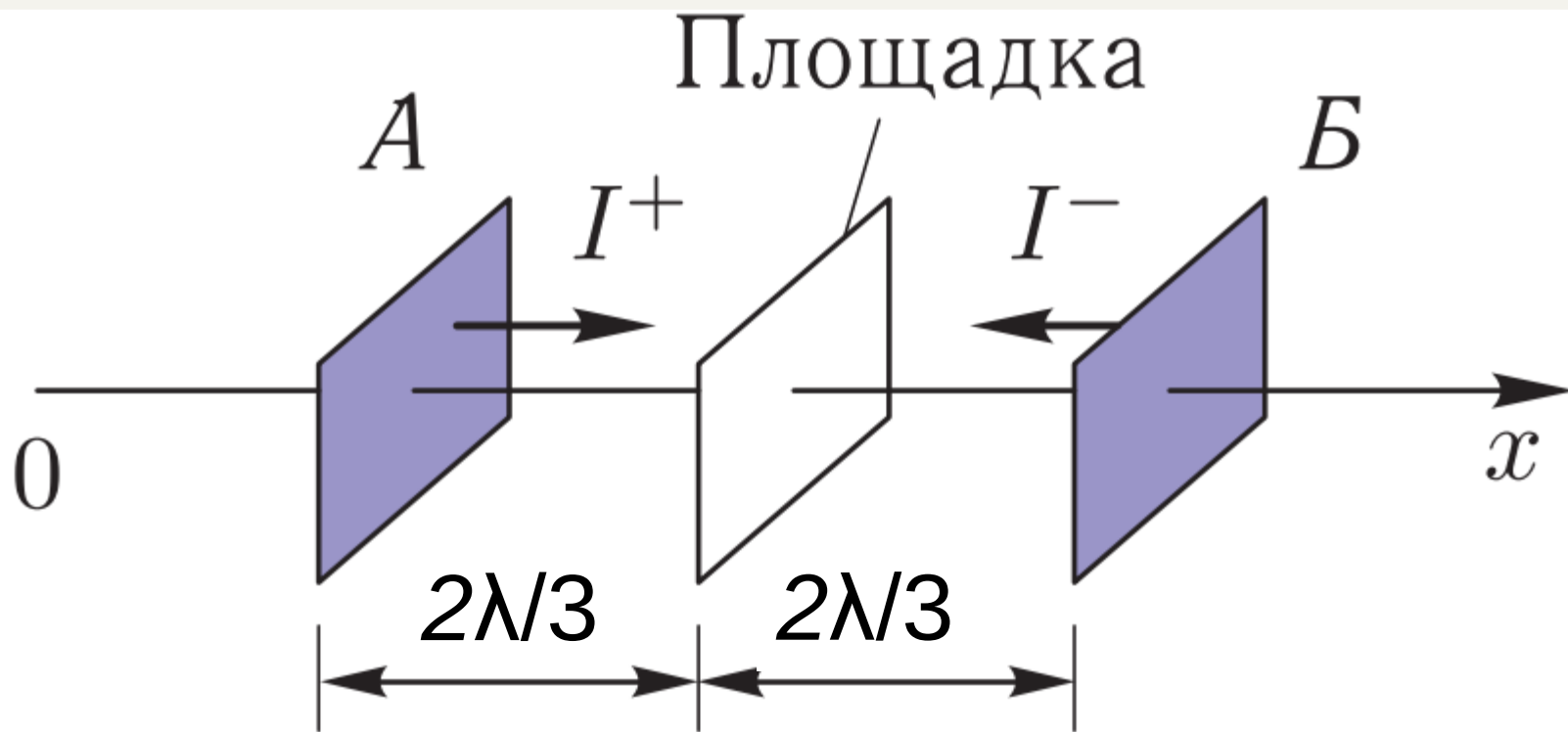
$$D = \frac{1}{3} \lambda \langle v \rangle$$

Коэффициент диффузии

Явления переноса

- Закон Фика (диффузия)
- Закон Фурье (теплопроводность)
- Закон Ньютона (вязкость)
- Характерные значения коэффициентов переноса (коэффициента диффузии, коэффициента теплопроводности, коэффициента вязкости) для различных агрегатных состояний при нормальных условиях

Диффузия (Закон Фика)



$$I = -D \frac{dn}{dx}$$

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

Коэффициент диффузии

Коэффициент диффузии

Коэффициент диффузии газов и паров в воздухе

- Водяной пар: $0,21 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$
- Эфир этиловый : $0,08 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$

Коэффициент диффузии водных растворов в чистой воде

- Аммиак: $1,23 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$
- Спирт этиловый : $0,80 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$

Твердое тело $\sim 10^{-17} \text{ м}^2/\text{с}$

Перенос внутренней энергии

Теплопроводность (Закон Фурье)

Теплопроводность – перенос теплоты (энергии теплового движения микрочастиц) от более нагретых тел (или частей одного тела) к менее нагретым, приводящий к выравниванию температуры.

Поток энергии через единичную площадку в единицу времени равен q

$$\frac{dQ}{dSdt} = q = -\frac{1}{3} \lambda \langle v_T \rangle n \frac{i}{2} k \frac{dT}{dx}$$

$$q = -\chi \frac{dT}{dx}$$

$$\chi = \frac{1}{3} \lambda \langle v_T \rangle \rho C_{V_{уд}}$$

коэффициент теплопроводности

Виды теплопередачи

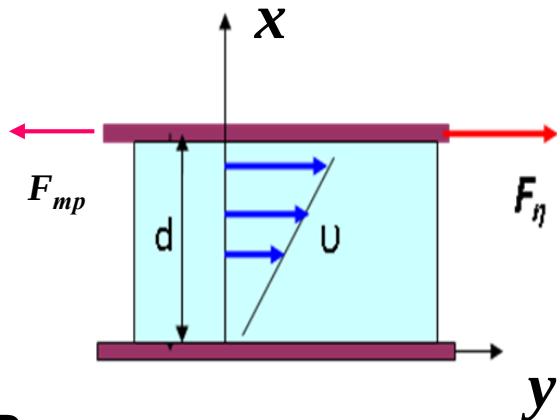
Теплопроводность — передача энергии от одного тела к другому или от одной части тела к другой при непосредственном контакте (при теплопроводности не происходит переноса вещества).

Конвекция — перенос энергии потоками жидкости или газа (при конвекции происходит перенос вещества).

Излучение — передача энергии посредством распространения электромагнитных волн.

Перенос импульса

Вязкость (Закон Ньютона)



Коэффициент вязкости

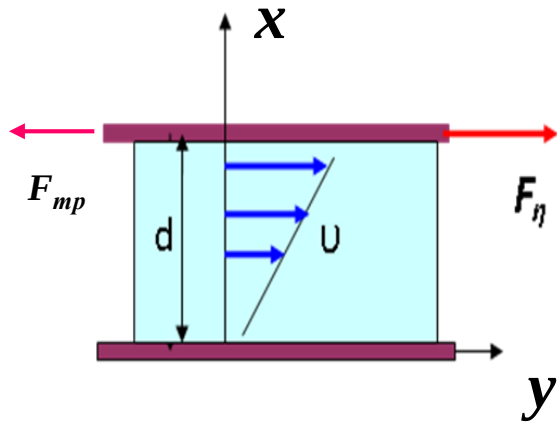
$$j_u = -\eta \frac{\partial u}{\partial x} \quad \eta = -\frac{1}{3} \langle v \rangle \ell \rho$$

Вязкость, или внутреннее трение в газах, обуславливается переносом импульса молекул поперек направления движения слоев газа, имеющих различные скорости.

В результате теплового движения молекулы перелетают из одного слоя газа в другой, перенося при этом свой импульс упорядоченного движения из одного слоя в другой. В результате обмена молекулами между слоями, движущимися с различными скоростями, импульс упорядоченного движения быстрее движущегося слоя уменьшается, а медленнее движущегося — увеличивается.

Перенос импульса

Вязкость (Закон Ньютона)



$$j_u = -\eta \frac{\partial u}{\partial x}$$

Вязкость – это процесс переноса импульса в направлении, перпендикулярном упорядоченному, направленному течению жидкости (или газа).

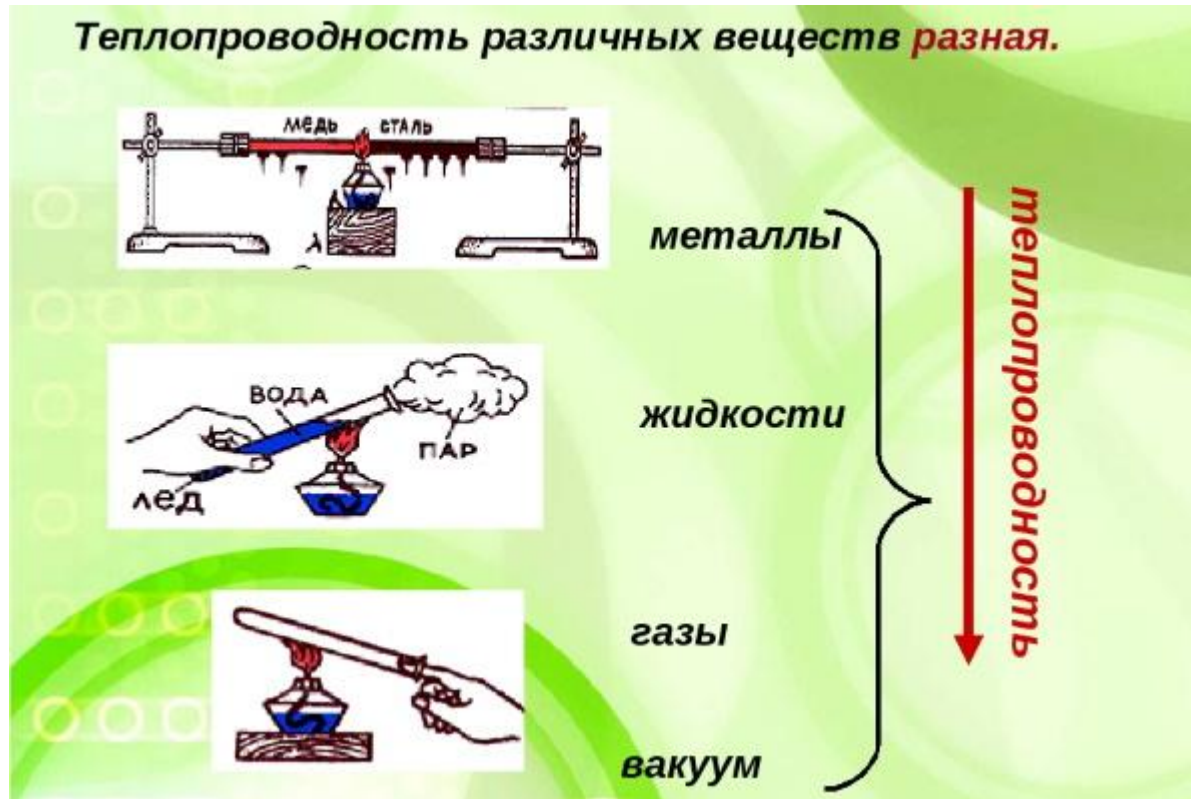
$$\eta = \frac{1}{3} \langle v \rangle \lambda \rho$$

Коэффициент вязкости

Явления переноса

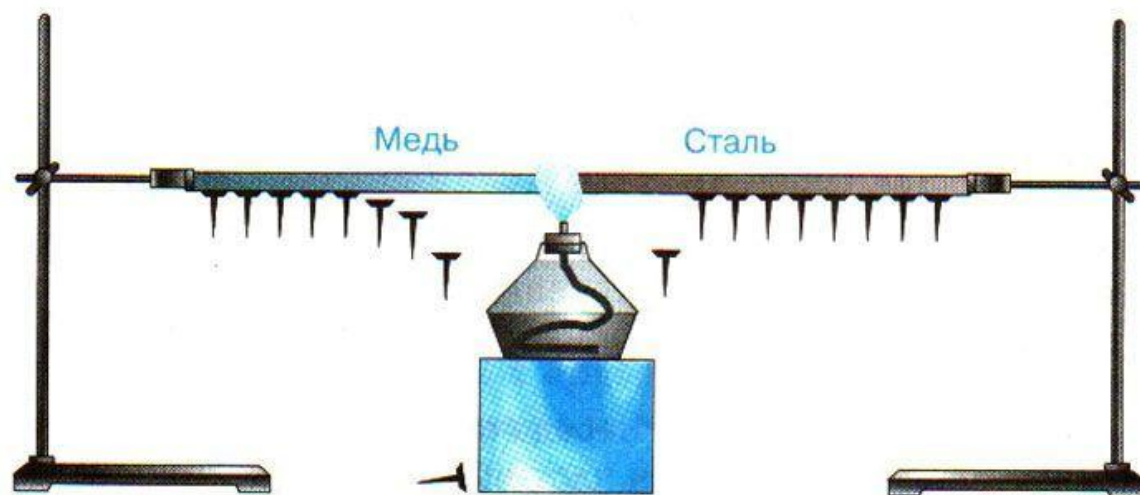
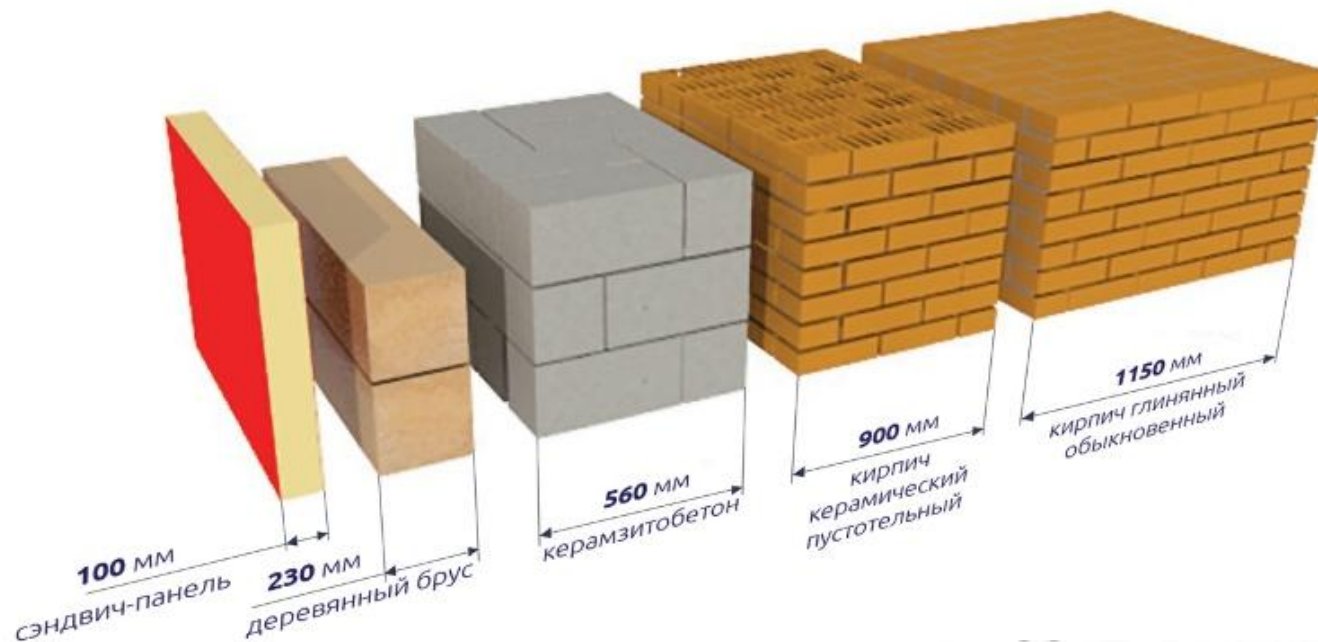
Явление	Переносимая величина	Основной закон и уравнение переноса	Коэффициент переноса	Связь между коэффициентами переноса
Диффузия	Количество вещества, или масса, или число молекул	Закон Фика. $J = -D \frac{dn}{dx}$ $m = -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \Delta S \Delta t$	$D = \frac{1}{3} \lambda \langle v \rangle$	$D = \frac{\eta}{\rho}$
Вязкость	Импульс упорядоченного движения слоёв	Закон Ньютона $F = \eta \left \frac{dv}{dx} \right S$	$\eta = \frac{1}{3} \rho \langle v \rangle \lambda$	$\eta = D \rho$
Теплопроводность	Количество теплоты (энергия)	Закон Фурье $q = -\chi \frac{dT}{dx} S$	$\chi = \frac{1}{3} \langle v \rangle \lambda \rho C_v$	$\chi = \eta C_v$

Коэффициент теплопроводности



- Медь: $389 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$
- Вода: $0,569 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$
- Воздух: $0,22 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

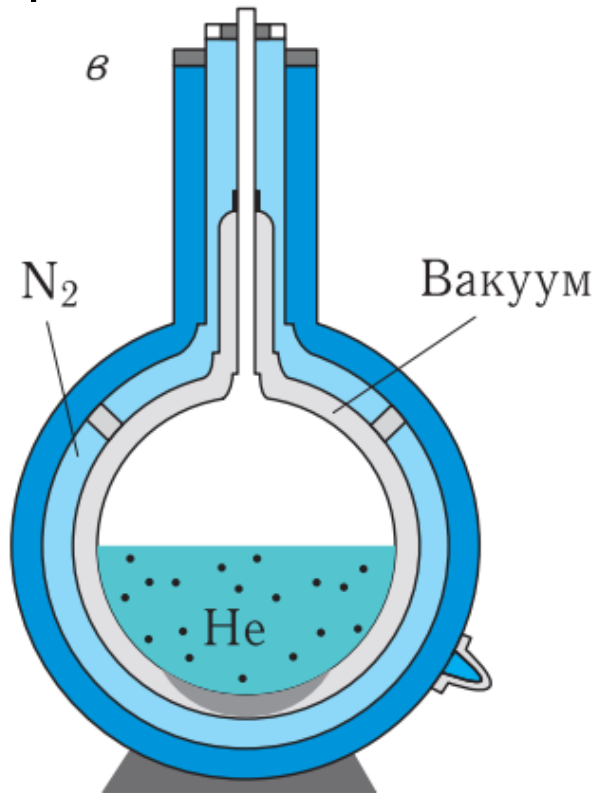
Коэффициент теплопроводности



Вещество	Коэффициент теплопроводности Вт/(м*град)
Алюминий	209,3
Железо	74,4
Золото	312,8
Латунь	85,5
Медь	389,6
Ртуть	29,1
Серебро	418,7
Сталь	45,4

Сосуд Дьюара

Дж. Дьюар в 1892 г. изобрел сосуд, представлявший собой стеклянную колбу с двойными стенками, из пространства между которыми был выкачан воздух. Для уменьшения потерь на излучение обе внутренние поверхности колбы были покрыты серебром, хорошо отражавшим тепловое излучение.



- Вакуумную полость откачивают до давления 10^{-2} Па, а поверхности полости полируют.
- Это позволяет снизить потери от испарения до нескольких процентов в сутки.

Коэффициент вязкости

Коэффициент вязкости жидкости

- Вода: $8,90 \cdot 10^{-4}$ кг/(м·с) или Па·с
- Эфир этиловый : $0,08 \cdot 10^{-4}$ кг/(м·с) или Па·с

Коэффициент вязкости газов

- Воздух: $1,78 \cdot 10^{-5}$ кг/(м·с) или Па·с