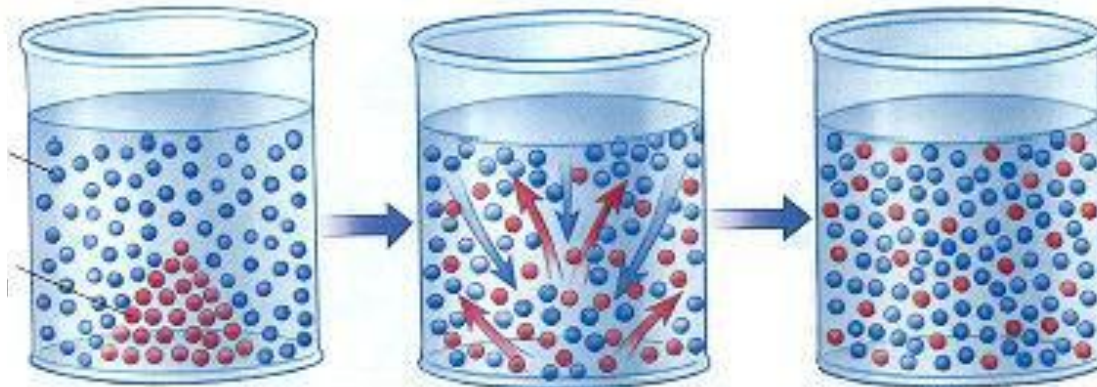


# Явления переноса (диффузия)

- 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**.
- **Диффузия** — процесс взаимного проникновения молекул или атомов одного вещества между молекулами или атомами другого, приводящий к самопроизвольному выравниванию их концентраций по всему занимаемому объёму.

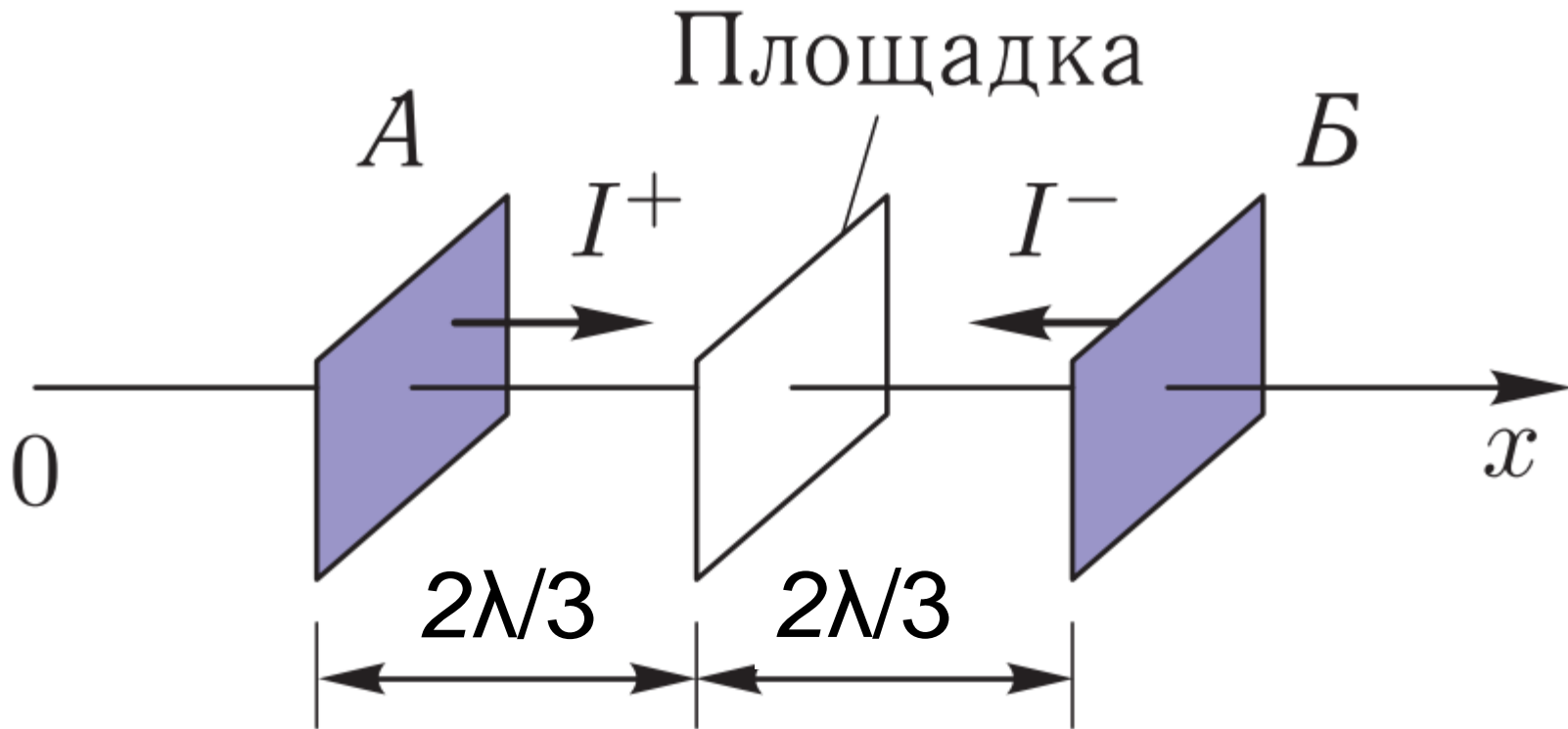


# Явления переноса

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

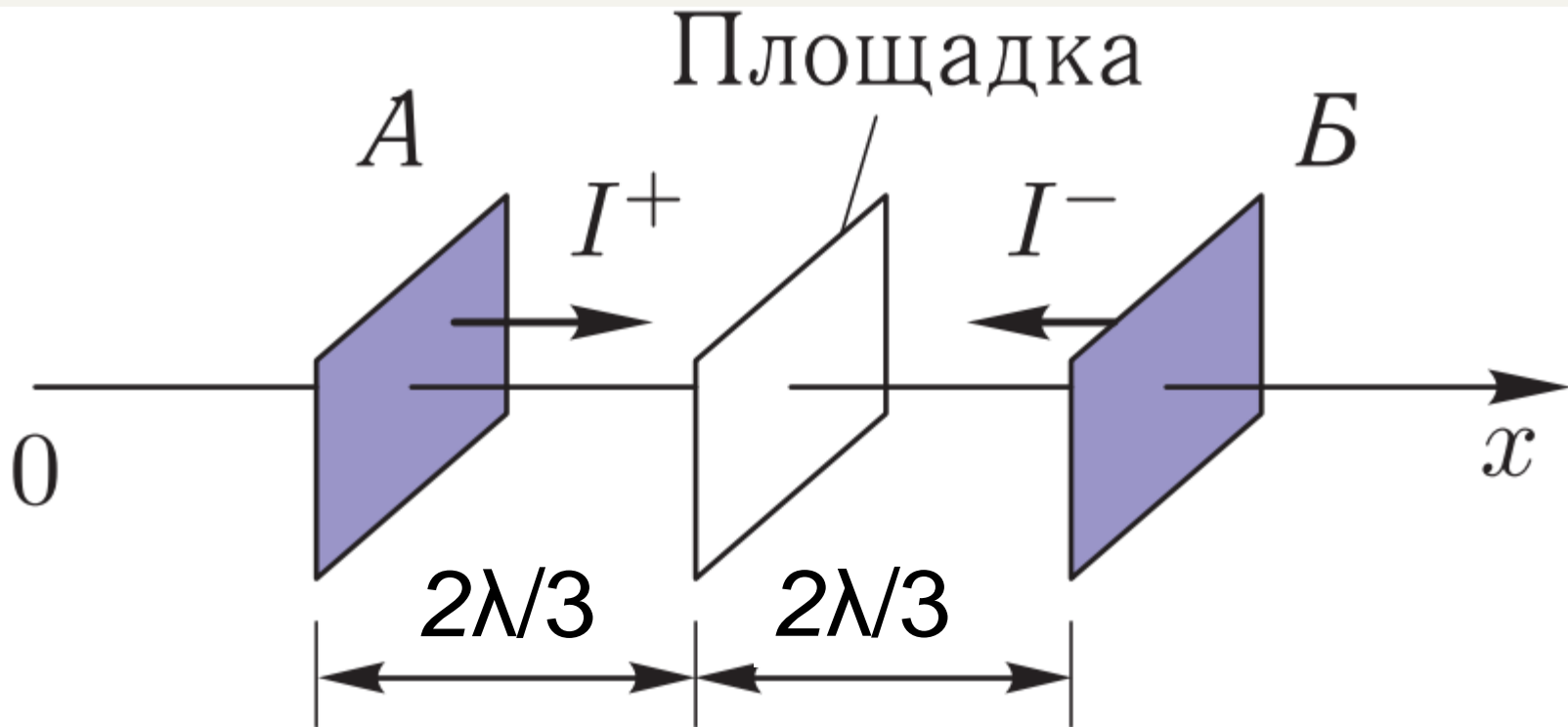
# Перенос вещества (Диффузия)

## 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.

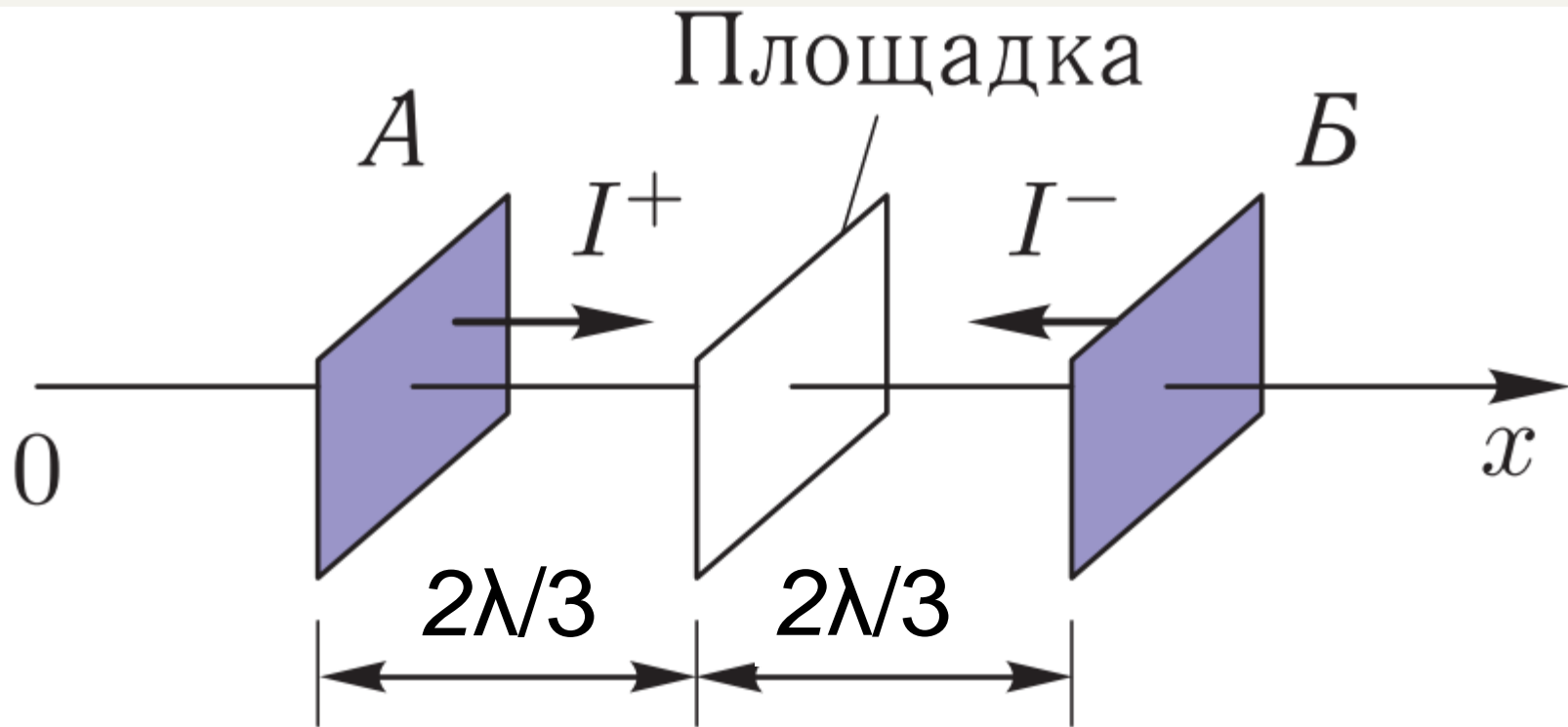
# Перенос вещества (Диффузия)



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:

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

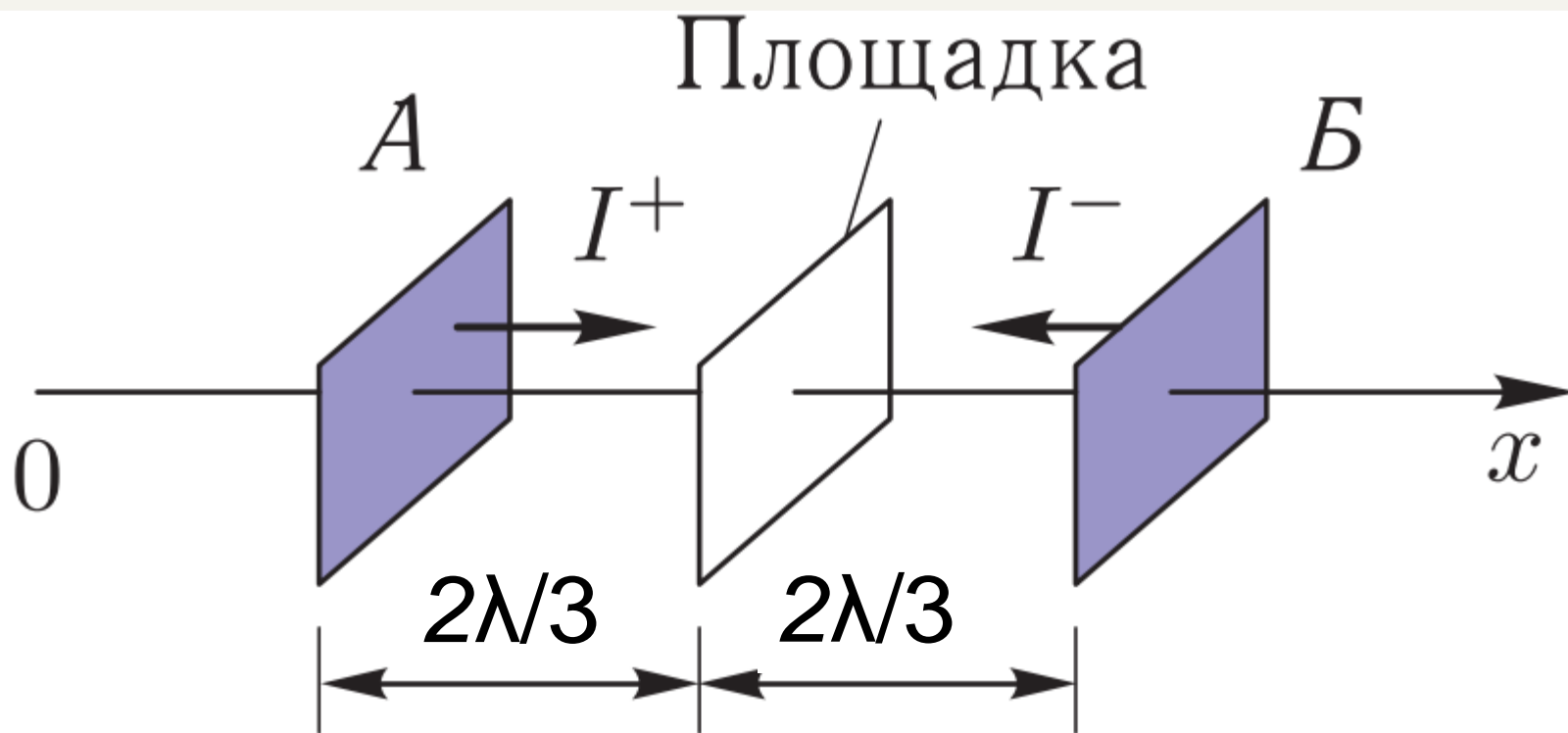
# Перенос вещества (Диффузия)



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)



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

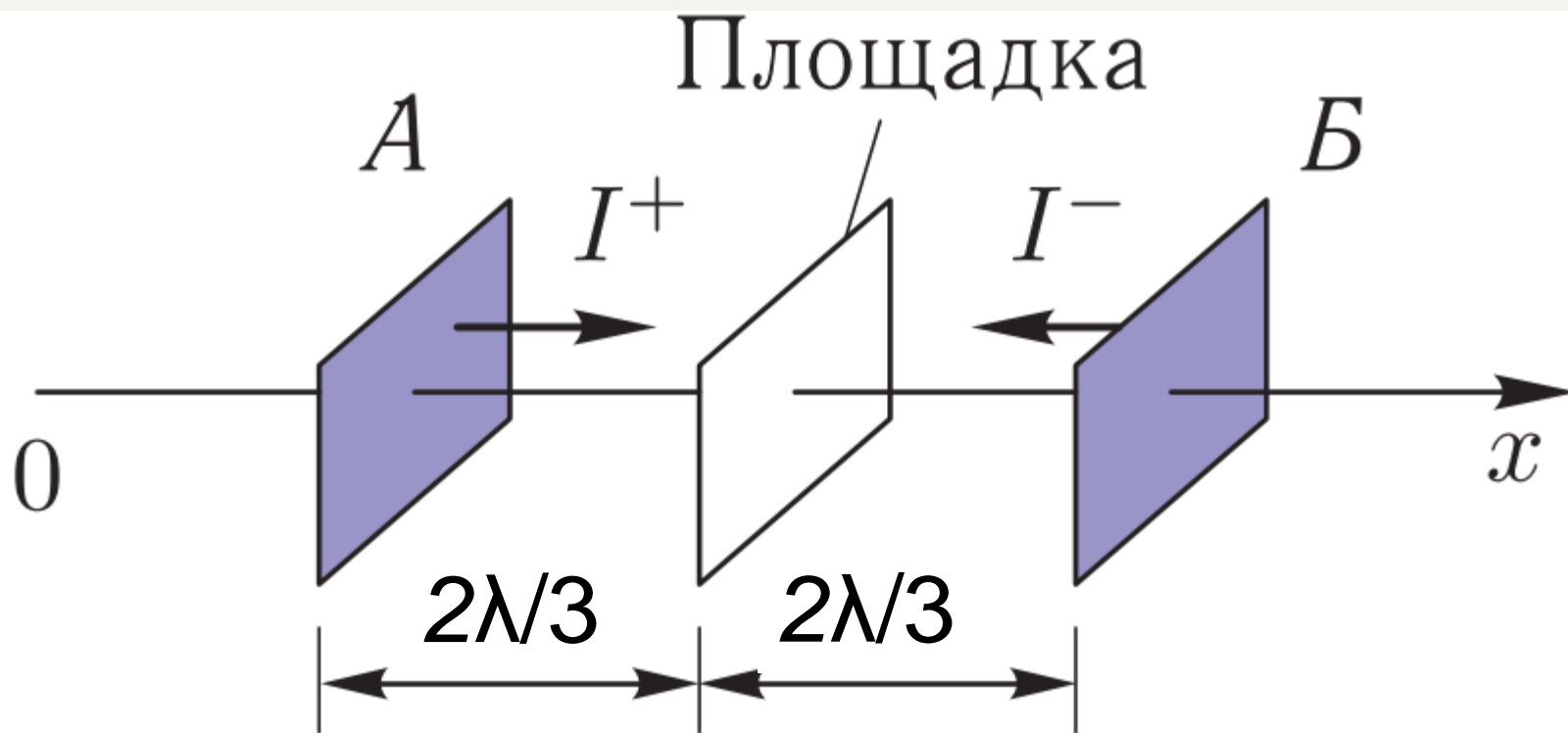
$$D = \frac{1}{3} \lambda \langle v \rangle$$

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

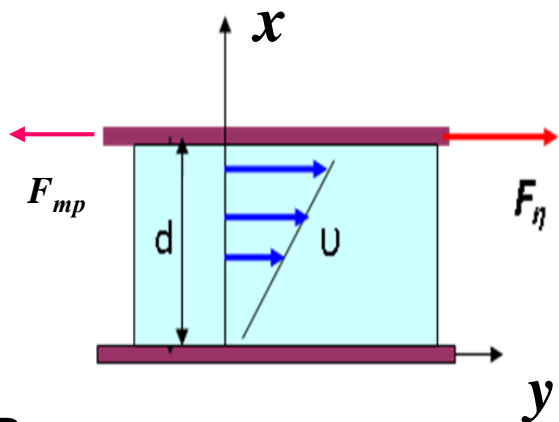
**Теплопроводность** — передача энергии от одного тела к другому или от одной части тела к другой при непосредственном контакте (при теплопроводности не происходит переноса вещества).

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

**Излучение** — передача энергии посредством распространения электромагнитных волн.

# Перенос импульса

## Вязкость (Закон Ньютона)



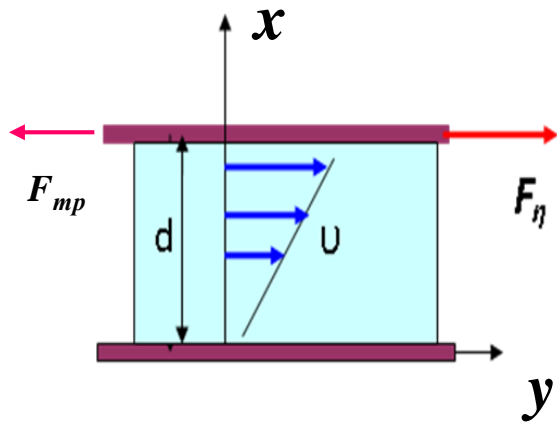
Коэффициент вязкости

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

**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

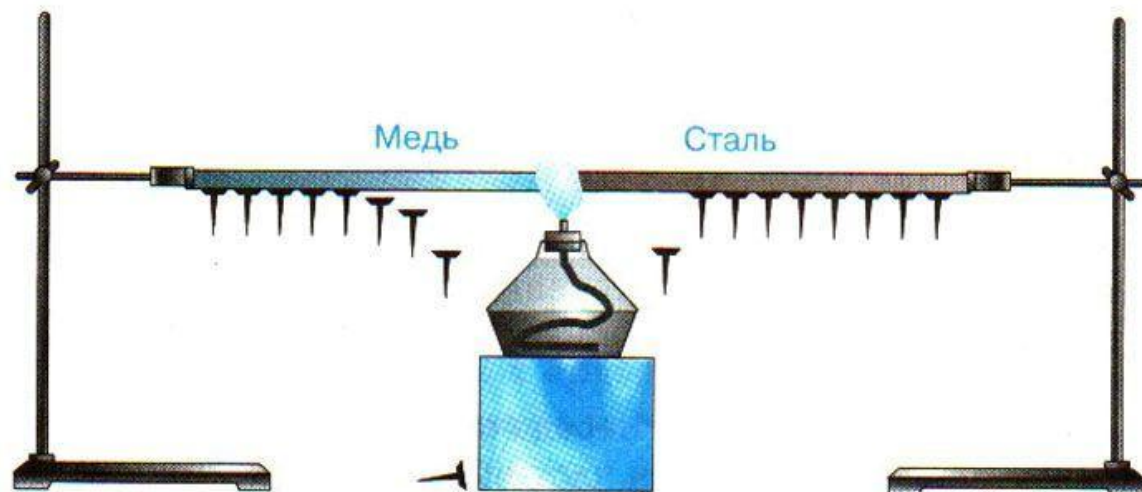
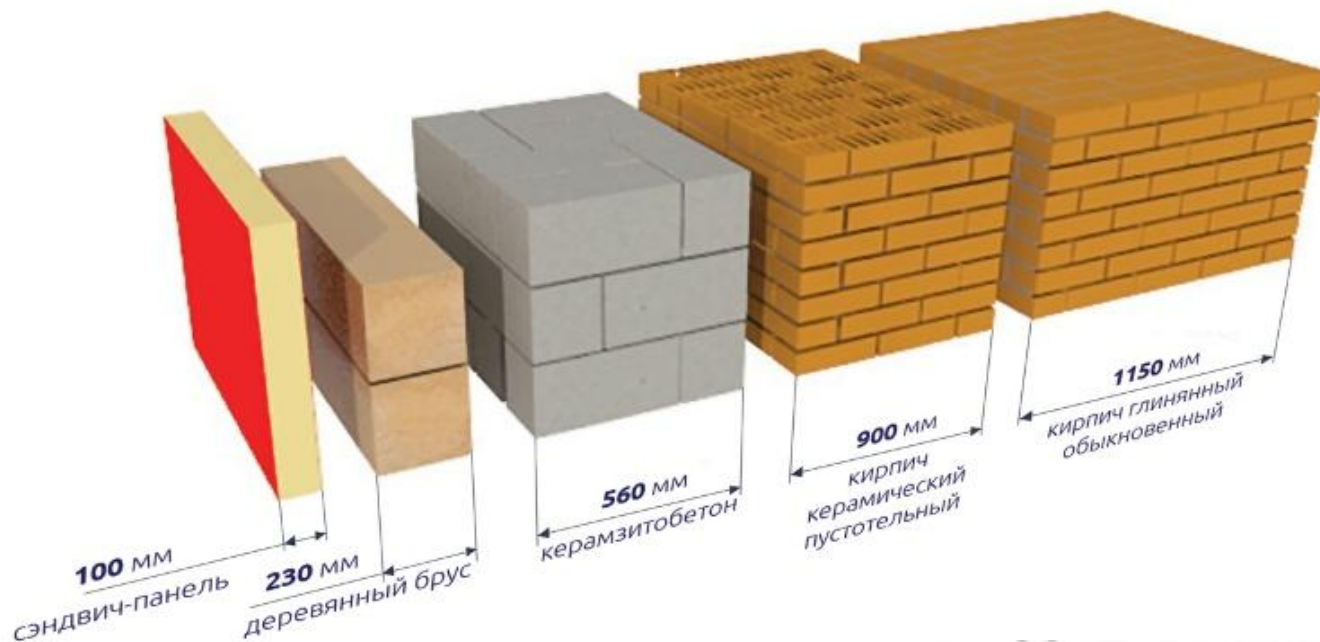
Явление	Переносимая величина	Основной закон и уравнение переноса	Коэффициент переноса	Связь между коэффициентами переноса
Диффузия	Количество вещества, или масса, или число молекул	<p><b>Закон Фика.</b></p> $J = -D \frac{dn}{dx}$ $m = -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \Delta S \Delta t$	$D = \frac{1}{3}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

# Коэффициент теплопроводности



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

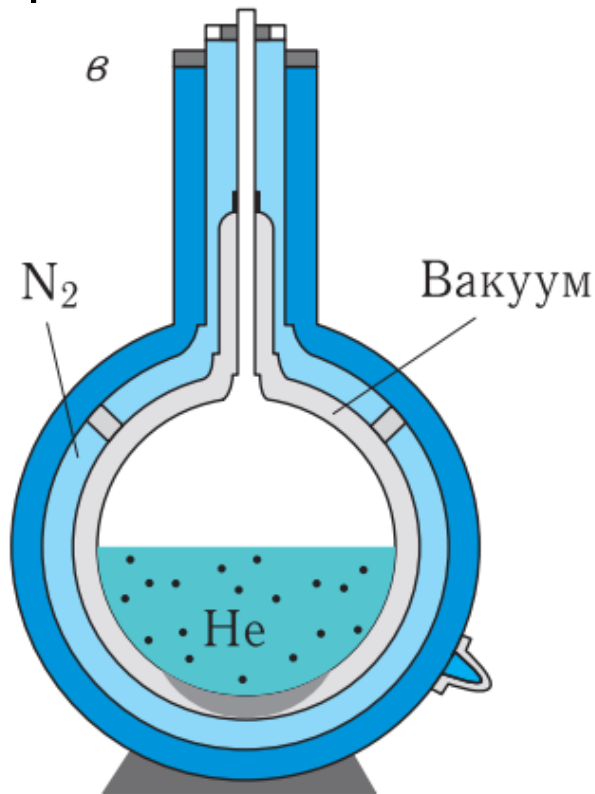
# Коэффициент теплопроводности



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