

Кинетика процессов массопередачи

Продолжим аналогию процессов теплопередачи и массопередачи.

В теплопередаче мы шли по пути определения тепловой нагрузки Q , движущей силы $\Delta t_{\text{ср}}$ и, самое главное и сложное – коэффициента теплопередачи K . Этот коэффициент характеризует кинетику передачи теплоты. Чтобы его найти, начали изучать **механизм переноса** теплоты.

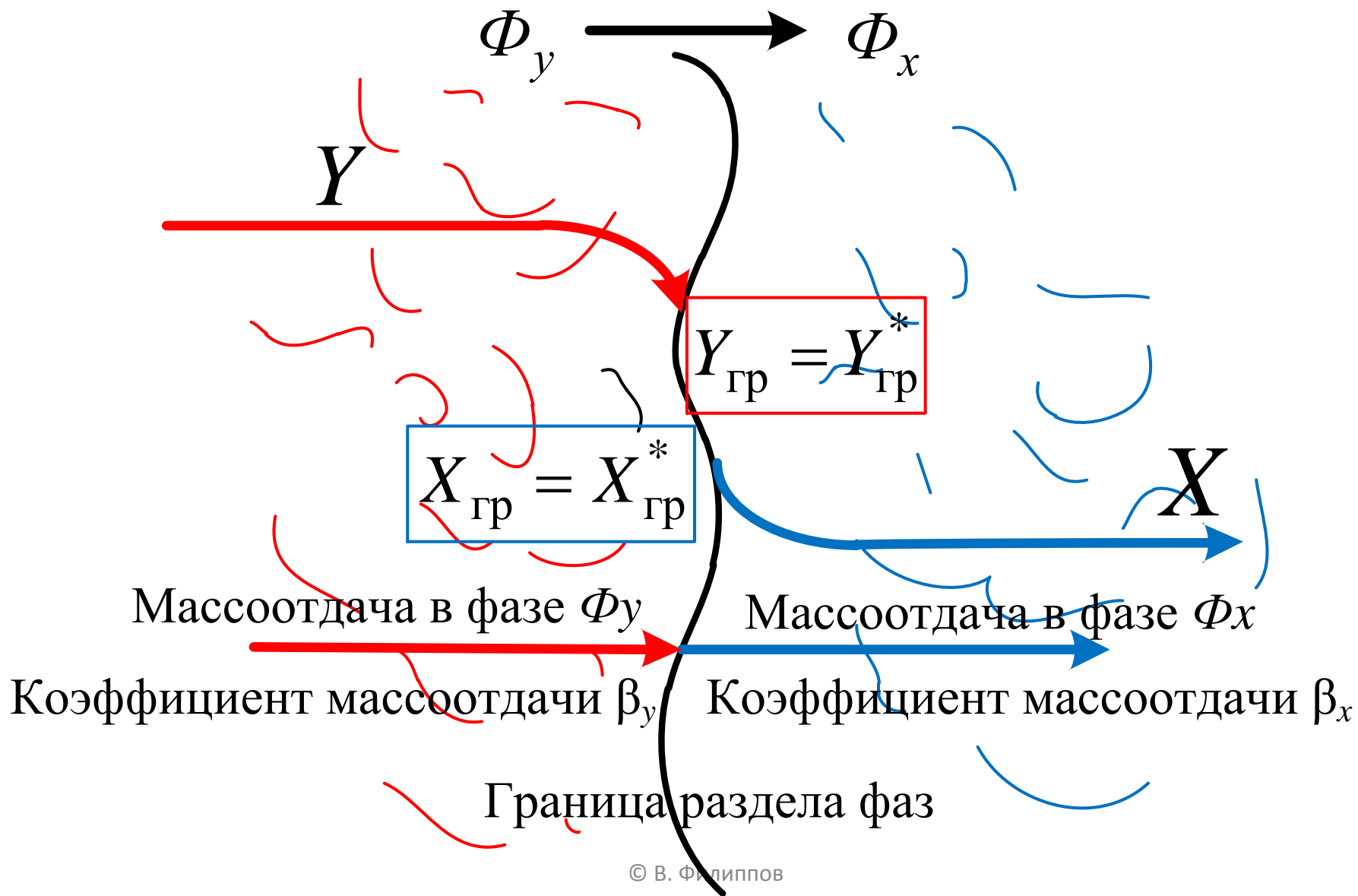
В массопередаче мы уже знаем, как находить нагрузку на колонну M (кг/с), как вычислять среднюю движущую силу. На очереди нахождение коэффициента массопередачи K_y или K_x , которые характеризуют **кинетику переноса вещества**. Поэтому на очереди — механизм переноса вещества из одной фазы в другую.

Существует две модели переноса вещества через подвижную границу раздела – Льюиса и Уитмена (простая), Ландау и Левича (сложная). В обеих моделях считается, что на границе раздела фазы находятся в равновесии, т.е.

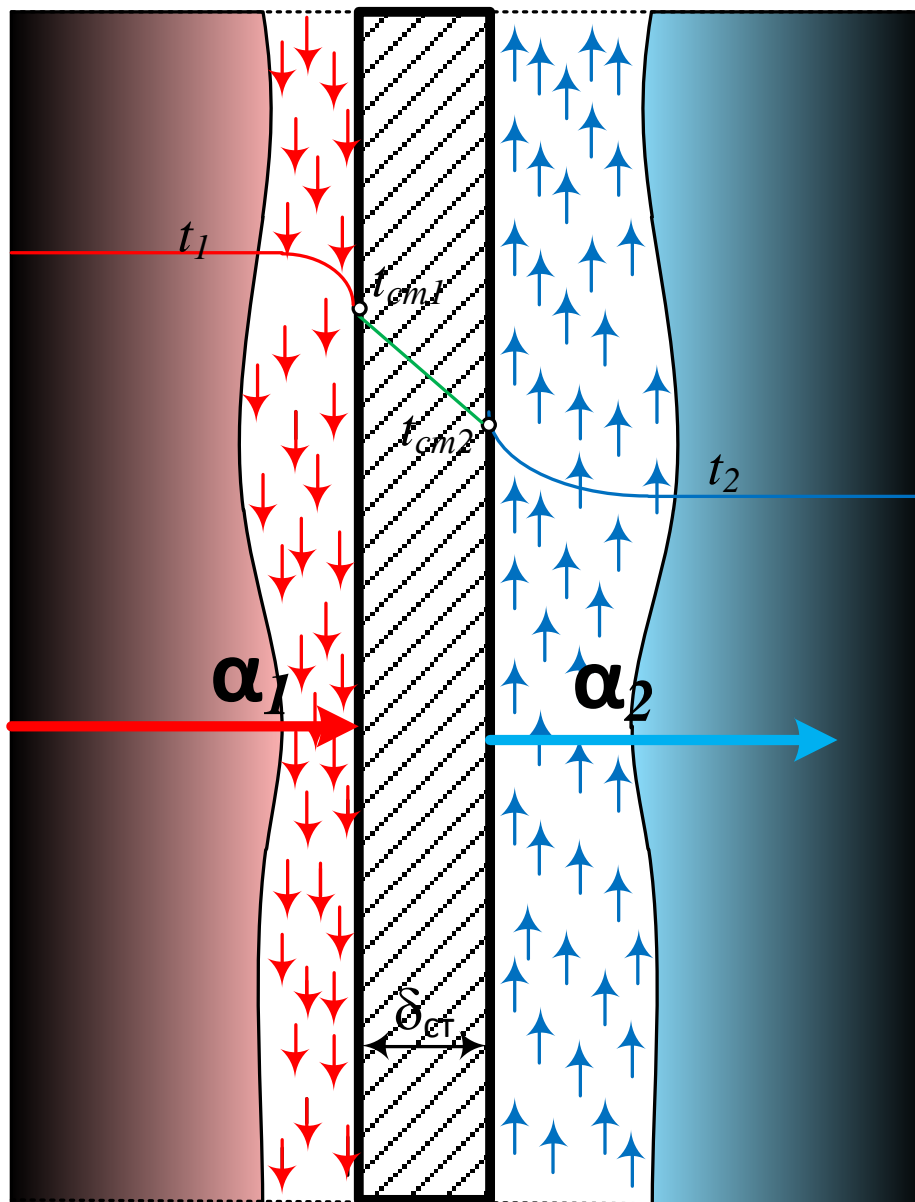
$$Y_{\text{гр}} = Y_{\text{гр}}^*$$

$$X_{\text{гр}} = X_{\text{гр}}^*$$

Механизм переноса вещества



Сравним с механизмом теплопередачи



Способы переноса вещества

В теплопередаче нас интересовал вопрос – а как может распространяться теплота? Мы дали ответ на этот вопрос: существует три способа передачи теплоты:

- теплопроводность;
- конвекция;
- тепловой излучение.

Похожий вопрос – а как по фазе может передвигаться вещество?

В ядре потока работает **турбулентная конвекция** – суммарный перенос вещества конвекцией и **диффузией**.

А вот у границы раздела вклад конвекции ослабевает и остаётся одна **диффузия**.

Молекулярная диффузия описывается **первым законом Фика**

$$M = -DF \frac{dc}{dn},$$

M – кг/с; F – площадь; dc/dn – градиент концентрации; D – коэффициент молекулярной диффузии, м²/с.

В нашем курсе уже было две величины, имеющие такую же размерность. Это кинематический коэффициент вязкости ν и коэффициент температуропроводности a . В этом сходство этих трёх величин. Но есть и различие. Коэффициент молекулярной диффузии — свойство двух веществ. Того, которое диффундирует, и того, в котором идёт диффузия.

Например, коэффициент молекулярной диффузии аммиака в воде

$$D = 18 \times 10^{-10} \frac{\text{м}^2}{\text{с}},$$

а в воздухе в 10 000 раз больше:

$$D = 18 \times 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

В теплопередаче нам мешал тепловой пограничный слой, который зависел от коэффициента температуропроводности a .

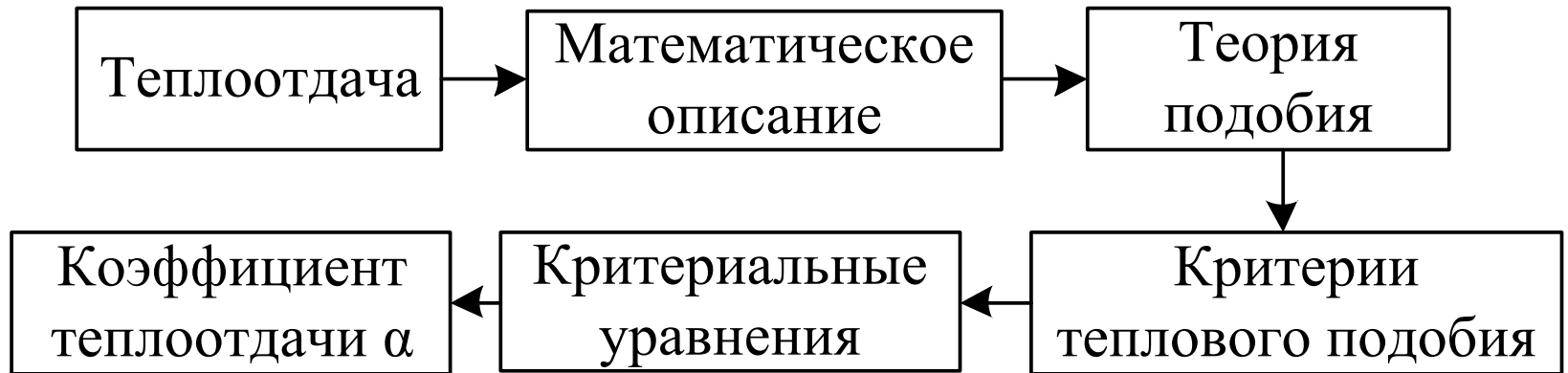
В массопередаче нам мешает его аналог — диффузионный пограничный слой.

Вспомним путь изучения объекта в

теплопередаче: теплоотдача \rightarrow коэффициент

теплопередачи $\alpha \rightarrow$ коэффициент теплопередачи

K.



Таким же путём мы пойдём и теперь. Первая задача – получить математическое описание конвективного массопереноса в движущейся среде.

Дифференциальное уравнение конвективного массообмена

Для его вывода составляется материальный баланс элементарного параллелепипеда, через грани которого вещество проходит как за счёт молекулярной диффузии, так и за счёт конвекции. В результате получается

$$w_x \frac{\partial c}{\partial x} + w_y \frac{\partial c}{\partial y} + w_z \frac{\partial c}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right)$$

Критерии диффузионного подобия

Диффузионный критерий Нуссельта

$$Nu' = \frac{\beta l}{D}$$

Диффузионный критерий Фурье

$$Fo' = \frac{\tau D}{l^2}$$

Диффузионный критерий Пекле $Pe' = \frac{wl}{D}$

Диффузионный критерий Прандтля

$$Pr' = \frac{\nu}{D} = \frac{\mu}{\rho D}$$

Согласно теории подобия должна существовать зависимость

$$Nu' = A (Pr')^m (Re)^n$$

Её конкретный вид приведён в литературе

Зависимость коэффициентов массоотдачи и массопередачи

Точно такой же вопрос нас интересовал в теплопередаче. Там был получен такой ответ

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}.$$

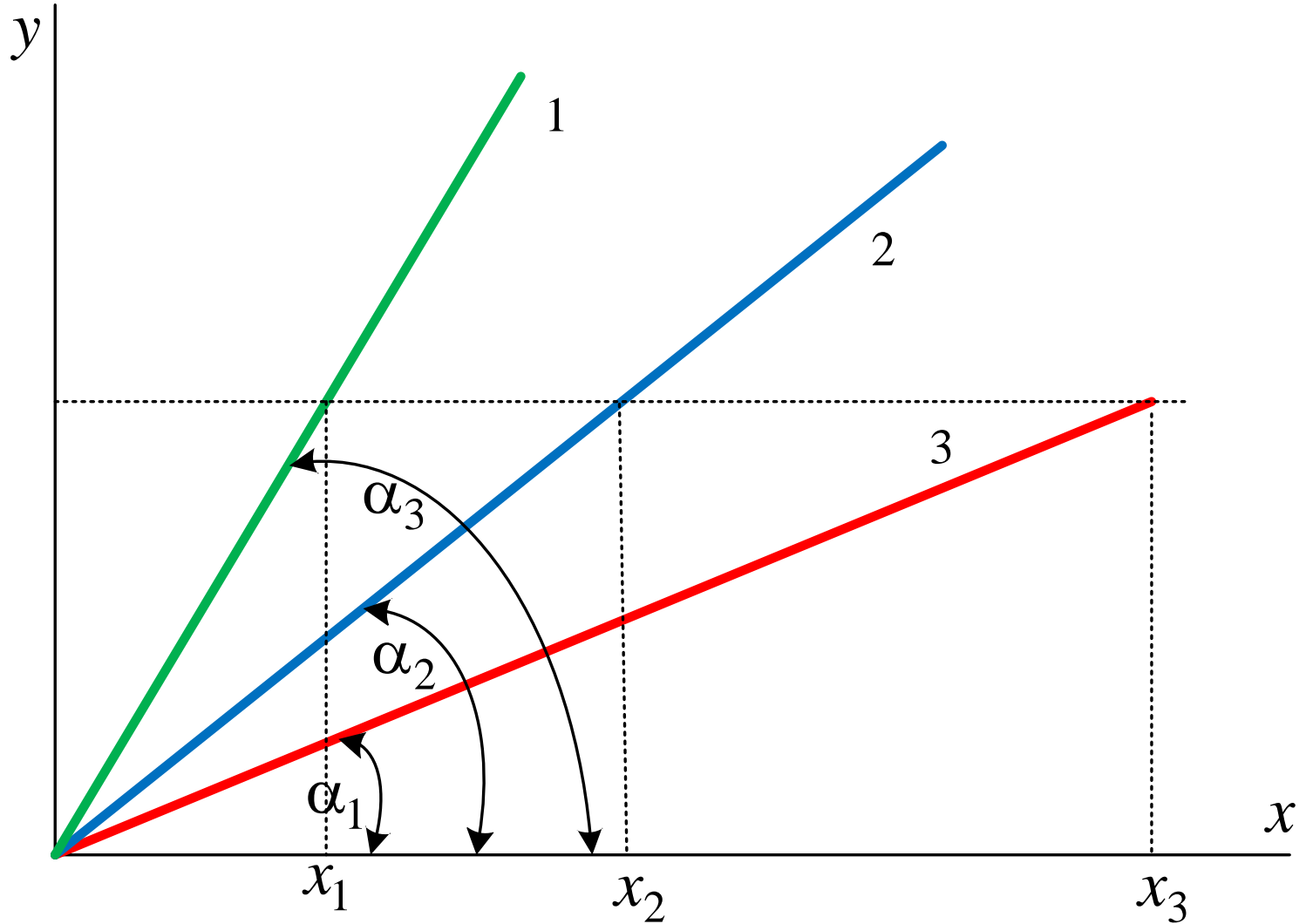
В массопередаче нет стенки. Поэтому уравнение примет вид

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}}$$

$$K_x = \frac{1}{\frac{1}{m\beta_y} + \frac{1}{\beta_x}}$$

В теплопередаче коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 обычно величины одного порядка.

Иная ситуация в массопередаче и **особенно в процессах абсорбции**: коэффициенты массоотдачи β_x и β_y как правило значительно отличаются друг от друга. Это определяется растворимостью газа в жидкости.



Три линии равновесия для трёх газов ($T, P - \text{const}$). Какой газ лучше растворим в жидкости?

$$\operatorname{tg}\alpha_3 > \operatorname{tg}\alpha_2 > \operatorname{tg}\alpha_1$$

Это значит, что

$$m_3 > m_2 > m_1$$

Таким образом, если газ хорошо растворим в жидкости, то m имеет маленькое значение и

$$K_y \approx \beta_y$$

Т.е. для хорошо растворимых газов главная задача – обеспечить подвод молекул целевого компонента к границе жидкой фазы. Т.е. лимитирующей стадией процесс является массоотдача в газовой фазе.

Если же газ плохо растворим в жидкости, то m велико и

$$K_x \approx \beta_x$$

В этом случае лимитирующей стадией процесса будет массоотдача в жидкой фазе.