**6. Явления переноса в газах. Длина свободного пробега. Вязкость: уравнение вязкости, физический смысл входящих в него величин.**

***Явления переноса обусловлены хаотическим движением молекул газа, которые, переходя из одних точек пространства в другие, переносят присущие им импульс, энергию и массу.*** К таким явлениям относятся: **внутреннее трение или вязкость** (обусловленная переносом импульса), **теплопроводность** (обусловленная переносом энергии) и **диффузия** (обусловленная переносом массы вещества).

*Определяющую роль в явлениях переноса играют столкновения молекул в процессе их хаотического движения*, вследствие чего все явления переноса протекают со скоростями, существенно меньшими скорости теплового движения.

**Эффективным диаметром**  *молекул газа называют минимальное расстояние, на которое сближаются при столкновении центры молекул.* При увеличении температуры газа эффективный диаметр молекул несколько уменьшается, однако в первом приближении можно считать величиной постоянной для данного газа.

Величина  **= (d(эф))^2**

называется **эффективным сечением взаимодействия молекул**, и определяет сечение, внутри которого нельзя пренебречь силами отталкивания молекул.

***Средняя длина*** ***свободного пробега молекул газа*** *– это среднее расстояние, которое молекулы пробегают между двумя последовательными столкновениями.* Её величина определяется **концентрацией молекул газа** и **эффективным сечением их взаимодействия.** При достаточно высоком давлении газа средняя длина свободного пробега много меньше размеров сосуда и определяется формулой:

**λ = 1/[sqrt(2)\*\*n]**

Пробег

где n = N/V - **концентрация молекул** (число молекул в единице объема), которая может быть определена из **уравнения состояния идеального газа**():

**n = P/(kT) (1.1)**

*При значительном разрежении (вакуум)* средняя длина свободного пробега вместо формулы (1.1) будет определяться характерным размером сосуда L:

- ***среднеарифметическая скорость теплового движения молекул газа.***

**〈v〉=sqrt(8kT/πm0)=sqrt(8RT/πμ)**

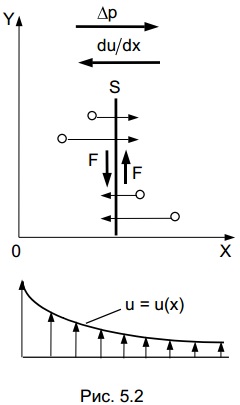
***Скорость***

**Явления переноса возникают при нарушении равновесия в системе и стремятся привести систему в равновесное состояние.** *Они вызваны неодинаковыми значениями какой-либо величины в различных частях системы.* Так, внутреннее трение вызвано разными скоростями течения слоев газа, теплопроводность - разностью температур, диффузия - переменной концентрацией частиц вещества.

Неоднородность в пространстве значений величины может быть задана с помощью ее **градиента** - *вектора, характеризующего изменение этой величины при перемещении на единичную длину и направленного в сторону наиболее быстрого возрастания рассматриваемой величины.* При записи уравнений переноса будем полагать, что изменение этой величины происходит только вдоль одной из координат, например, вдоль оси ОХ.

***Вязкость*** *– возникновение сил внутреннего трения на границе между смежными слоями движущейся среды (жидкости или газа), которые стремятся выровнять скорости слоев.*

*На рис.5.2* показан поток газа, распространяющийся вдоль оси ОY, скорость движения которого (упорядоченная скорость) изменяется непрерывно от слоя к слою по закону u = u(x).



Выделим площадку S, параллельную слоям потока газа.

*Импульс* ***Δ****р, переносимый за счет хаотического движения молекул из одного слоя в другой через площадку S за время , запишется*

***Δр=* -η\* (du/dx)\* S ,**

(1.2) где du, dx – *градиент скорости упорядоченного движения слоев жидкости или газа.*

Знак минус в уравнении (1.2) обусловлен тем, что *перенос импульса осуществляется в сторону уменьшения скорости u упорядоченного движения слоев газа*, а градиент направлен в сторону увеличения скорости u.

Перенос импульса обусловливает возникновение на границе слоев сил внутреннего трения F (см. рис.5.2). Величина **F=dp/ d** определяется формулой Ньютона:

F= **η** \*|du/dx|\* S (1.3)

*Поскольку сила трения направлена вдоль поверхности, разделяющей слои газа, то направления силы трения и градиента скорости всегда взаимно перпендикулярны (рис.5.2).* Поэтому уравнение (1.3) определяет только величину (модуль) силы трения.

***Коэффициент вязкости (динамическая вязкость) газа*** определяется формулой

**η =1/3\*ρ (1.4)**

где **ρ** – плотность газа. Из уравнения **(1.4)** следует, что ***коэффициент вязкости численно равен силе внутреннего трения, действующей на единицу площади поверхности соприкасающихся слоев газа при единичном градиенте скорости.***

При движении с постоянной скоростью u тел сферической формы радиусом r в жидкости (газе) для определения силы внутреннего трения F можно использовать формулу Стокса:

**F= 6πηur**