

Вакуум (от латинского *vacuum* - пустота) - среда, содержащая газ при давлениях существенно ниже атмосферного. Вакуум характеризуется соотношением между средней длиной свободного пробега λ молекул газа и размером d , характерным для каждого конкретного процесса или прибора. Таким размером могут быть расстояния между стенками вакуумной камеры, диаметр вакуумного трубопровода, расстояние между электродами электроракуумного прибора и т. и. Величина λ равна отношению средней скорости молекулы к числу Z столкновений, испытываемых ею за единицу времени: эту величину можно также выразить через диаметр молекулы d_m и число молекул n в единице объема:

$$\lambda = 1/\sqrt{2}n d_m \quad (1)$$

(для электронов λ_v в 5-6 раз больше). В зависимости от величины отношения λ/d различают низкий ($\lambda/d \ll 1$), средний ($\lambda/d \approx 1$), высокий ($\lambda/d \gg 1$) вакуум. В низком вакууме преобладают столкновения молекул друг с другом, в высоком вакууме преобладают столкновения молекул со стенками камеры. В обычных вакуумных установках и приборах ($d=10$ см) низкому вакууму соответствуют давления $p > 10^2$ Па (1 мм рт. ст.), среднему вакууму - от 10^3 до 10^{-1} Па $1-10^{-3}$ мм рт. ст.), высокому вакууму - $p < 10^{-1}$ Па (10^{-3} мм рт. ст.; табл. 1). В порах или каналах диаметром ~ 1 мкм высокому вакууму соответствует давление начиная с десятков и сотен мм рт. ст., а в камерах для имитации космического пространства (объемом в десятки м³) граница между средним и высоким вакуумом порядка 10^5 мм рт. ст.

Табл. 1. Характеристики различных степеней вакуума ($d \sim 10$ см)

Диапазон давлений, Па (мм рт. ст.)	Вакуум			
	низкий	средний	высокий	сверхвысокий
	10^5-133 (750-1)	$133-1,33 \cdot 10^{-1}$ ($1-10^{-3}$)	$1,33 \cdot 10^{-1}-1,33 \cdot 10^{-3}$ ($10^{-3}-10^{-7}$)	$\ll 1,33 \cdot 10^{-6}$ (10^{-8})
Число молекул в 1 м ³	$10^{23}-10^{22}$	$10^{22}-10^{19}$	$10^{19}-10^{16}$	$\leq 10^{16}$
Режим <u>течения газа</u>	вязкостный	переходный к молекулярному	<u>молекулярный</u>	молекулярный

Понятие сверхвысокого вакуума связывается не с величиной отношения λ/d , а со временем τ , необходимым для образования мономолекулярного слоя газа на поверхности твердого тела в вакууме, которое оценивается по формуле:

$$\tau = \eta \cdot 10^{-6} / p \quad (2)$$

где η - коэффициент захвата частицы поверхностью. Сверхвысоким вакуумом называют область давлений $p < 10^{-8}$ мм рт. ст., когда $\tau \gg$ нескольких минут. Основные составляющие воздуха, за исключением H₂O, CO₂ и He, при комнатной температуре - газы, они находятся при температуре T выше критической $T_{кр}$ и не могут быть переведены в конденсированное состояние повышением давления. При $T \ll T_{кр}$ все атмосферные газы, кроме H, He, Ne, переходят в жидкое состояние (таблица 2).

Таблица 2. Некоторые параметры атмосферных газов при $p=10^5$ Па (750 мм рт. ст.) и $T=273$ К

Газ	$T_{кр}$, К	λ , (м) * 10^8	\bar{v} , (м/с) * 10^{-2}	Число молекул, ударяющихся о поверхность N, (м ⁻² с ⁻¹ * 10^{-27})	Объем в сухом атмосферном воздухе, %
H	33,2	11,04	16,93	11,23	$5 \cdot 10^{-5}$
He	5,23	17,53	12,01	7,969	$5,2 \cdot 10^{-4}$
Ne	12,42	12,42	5,355	3,550	$1,8 \cdot 10^{-3}$
N ₂	126	5,99	4,542	3,011	78,08
O ₂	155	6,33	4,252	2,819	20,95
A	151	6,20	3,805	2,523	0,93
CO ₂	304	3,88	3,624	2,403	0,033
K	209	4,85	2,629	1,743	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Xe	290	3,47	2,099	1,392	$8,7 \cdot 10^{-6}$

Свойства газа в низком вакууме определяются частыми столкновениями между молекулами газа, сопровождающимися обменом энергией. Поэтому течение газа в низком вакууме носит вязкостный характер, а явления переноса (теплопроводность, внутреннее трение, диффузия) характеризуются плавным изменением (или постоянством) градиента переносимой величины. Например, температура газа в пространстве между горячей и холодной стенками в низком вакууме изменяется постепенно, и температура газа у стенки близка к температуре стенки. Условие равновесия для газа, находящегося в двух

сообщающихся сосудах при различных температурах, - равенство давлению в этих сосудах. При прохождении электрического тока в низком вакууме определяющую роль играет ионизация молекул в объеме между электродами.

В высоком вакууме поведение газа определяется столкновениями его молекул со стенками или другими твердыми телами. Движение молекул между соударениями с твердыми поверхностями происходит по прямолинейным траекториям (молекулярный режим течения). Явления переноса характеризуются возникновением скачка переносимой величины на границах: например, во всем пространстве между горячей и холодной стенками примерно 1/2 молекул имеет скорость, соответствующую температуре холодной стенки, а остальные - скорость, соответствующую температуре горячей стенки, то есть средняя температура газа во всем пространстве одинакова и отлична от температуры как горячей, так и холодной стенок. Количество переносимой величины (теплота) прямо пропорционально p . Условие равновесия газа, находящегося в сообщающихся сосудах при различных температурах: $n_1 T_1 = n_2 T_2$, где n_1 и n_2 - концентрации газа в сосудах. Прохождение тока в высоком вакууме возможно в результате электронной эмиссии с электродов. Ионизация молекул газа имеет существенное значение только в тех случаях, когда длина свободного пробега электронов становится значительно больше расстояния между электродами. Такое увеличение может быть достигнуто при движении заряженных частиц по сложным траекториям, например в магнитном поле.

Достижимая степень разрежения определяется равновесием между скоростью откачки и скоростью выделения газа в откачиваемом объеме. Последнее может происходить за счет проникновения газа извне через течи, сквозь толщу материала стенок путем диффузии, а также в результате выделения газа, адсорбированного на стенках аппаратуры или растворенного в них.