

Важное значение имеет исследование слоя Кнудсена при установлении граничных условий для ур-ний газодинамики на поверхности, на к-рой происходит испарение или гетерогенная реакция. В этом случае слой Кнудсена связывает континуальные процессы диффузии или течения компонент, справедливые вне кнудсеновского слоя, с физ. процессами конденсации, испарения

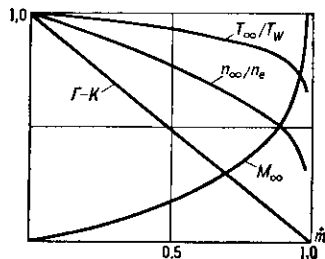


Рис. 8. Зависимость параметров пара от массы испаряющегося материала;  $T_{\infty}$ ,  $n_{\infty} = \rho_{\infty}/m$  — температура и числовая плотность молекул пара над испаряющей поверхностью (на границе слоя Кнудсена),  $n_e$  — числовая плотность насыщенного пара при температуре поверхности  $T_w$ ,  $M_{\infty}$  — число Маха нормального к стенке потока на границе слоя Кнудсена,  $m$  — масса испаренного материала, отнесенная к массе, которую испариза бы стенка, если бы молекулы не возвращались на неё в результате столкновений в слое Кнудсена;  $G-K$  — величина  $n_{\infty}/n_e$ , вычисленная по формуле Герца — Кнудсена.

и превращения молекул на поверхности. Анализ течения в кнудсеновском слое показывает, напр., что даже при предельно сильном испарении, когда на границе кнудсеновского слоя нормальная к поверхности скорость газа становится равной скорости звука, часть молекул возвращается на поверхность. Темп-ра испаряющегося газа может быть существенно меньше темп-ры испаряющей стенки, а результаты, следующие из рассмотрения слоя Кнудсена, существенно отличаются от предсказываемых приближенной ф-лой Герца — Кнудсена (рис. 8). При сильном испарении в свой газ касательная к поверхности скорость всегда равна нулю, а при конденсации произвольна и определяется внешним по отношению к кнудсеновскому слою течением. В течении Куэтта с перекоденсацией газа с одной стенки на другую все изменения параметров газа происходят в тонких слоях Кнудсена, в то время как во всем остальном течении при произвольно большом расстоянии между пластинами все параметры газа постоянны.

Выше предполагалось, что при  $Kn \ll 1$  справедливы ур-ния Навье — Стокса и что отступления от классич. газодинамики вызваны лишь изменениями граничных условий, обусловленными явлениями в слое Кнудсена. Однако имеется круг явлений, для к-рых даже при  $Kn \ll 1$  ур-ния Навье — Стокса оказываются несправедливыми.

Из кинетич. теории газов следует, что в медленных течениях (т. е. если число  $Re \ll 1$  и число  $M \ll 1$ , то  $Kn = M/Re \ll 1$ ) при наличии большого перепада темп-ры ( $\Delta T/T$ ) имеют место напряжения в газе, обусловленные градиентами темп-ры, соизмеримые с классич. напряжениями, обусловленными градиентами скоростей. Вследствие этих напряжений даже около равномерно нагретых тел возникает движение газа (термострессовая конвекция). Это движение газа отличается от гравитационной естественной конвекции тем, что оно имеет место в отсутствие массовых сил, и от термофореза, к-рый возникает около тел с неравномерно нагретой поверхностью. Аналогичные явления обусловлены градиентами концентраций в смесях газов.

**Истечение струй.** Важным объектом исследований являются струи, истекающие в вакуум или область с низким давлением. Если истечение струи происходит из форкамеры с достаточно высоким давлением, то в струе течение может проходить все режимы от сплошной среды до свободномолекулярного. Вдоль струи темп-ра и плотность падают, а скорость увеличивается. В струях выражены релаксационные явления: по

мере понижения плотности вдоль струи темп-ра (энергия) внутр. степеней свободы молекул начинает отставать от темп-ры (тепловой энергии) поступат. степеней свободы и затем стабилизируется (замораживается). Далее замораживаются скорость течения и «продольная» темп-ра (разброс в продольных скоростях молекул). В струях смесей газов разные газы ведут себя различно, что позволяет использовать струи разреженного газа для разделения газов и изотопов. При охлаждении газа в струе может происходить конденсация газа и образование *кластеров*, что широко используется в технологии. Т. к. условия образования кластеров для разных газов различны, то в струях смесей газов можно выделять кластеры разных газов, получать многослойные кластеры. Путём разгона молекул разл. газов в струе гелия получают почти «монохроматич.» пучки молекул без теплового разброса, т. е. условия, близкие к абс. нулю темп-ры. Это позволяет лазерными методами исследовать свойства молекул, не затухающие процессами теплового движения и столкновения молекул.

**Экспериментальные исследования.** Для эксперим. исследования течений разреженного газа создаются *аэродинамические трубы* низкой плотности (вакуумные трубы), откачка газа в к-рых производится диффузионными, бустерными или криогенными вакуумными насосами. В соплах таких труб из-за низкой плотности возникает толстый пограничный слой, поэтому для получения невозмущенного пограничным слоем ядра потока требуются сопла больших размеров. Для исследования законов взаимодействия молекул между собой и с поверхностями используются молекулярные пучки (см. *Молекулярное течение*). Специфичны и методы диагностики потоков разреженного газа. Наряду с высокочувствительными весами, датчиками давления и потоков тепла (болометры) большое распространение получила диагностика потока электронными пучками, рентгеновскими лучами, лазерные методы, использующие флуоресценцию и рассеяние света молекулами.

Вакуумные трубы позволяют не только изучать явления в разреженных газах, но и исследовать детали мн. явлений в континуальной области. Разреженность газа, увеличение длины пробега молекул позволяют «растянуть» течение, как бы посмотреть на него в увелич. стекле. Так, ударную волну или кнудсеновский слой, имеющие при нормальных условиях толщину порядка  $10^{-5}$  см, можно растянуть до размеров, приемлемых для исследования их структуры. Струи, истекающие в вакуум, являются удобным инструментом для изучения релаксационных процессов, определения констант скоростей хим. реакций, времён релаксации и т. п. Законы движения разреженного газа в каналах лежат в основе явлений в тонких капиллярах пористых тел. Процессы, имеющие место при обтекании и испарении тел в разреженном газе, являются элементами дисперсных двухфазных течений. Явления в кнудсеновском слое определяют характер гетерогенных, в частности каталитич., реакций, испарения.

Лит.: Коган М. Н., Динамика разреженного газа, М., 1967; Шахов Е. М., Метод исследования движений разреженного газа, М., 1974; Баранцев Р. Г., Взаимодействие разреженных газов с обтекаемыми поверхностями, М., 1975; Коган М. Н., Галкин В. С., Фридрихс О. Г., О напряжениях, возникающих в газах вследствие неоднородности температуры и концентраций. Новые типы свободной конвекции, «УФН», 1976, т. 119, с. 111; Лифшиц Е. М., Пятаевский Л. П., Физическая кинетика, М., 1979; Гудман Ф., Вахман Г., Динамика рассеяния газа поверхностью, пер. с англ., М., 1980; Белоцерковский О. М., Ерофеев А. И., Яницкий В. Е., О нестационарном методе прямого статистического моделирования течений разреженного газа, «Ж. вычисл. матем. и матем. физ.», 1980, т. 20, с. 1174; Берд Г., Молекулярная газовая динамика, пер. с англ., М., 1981. М. Н. Коган.

**ДИНАМИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ** — см. *Вязкость*.

**ДИНАМИЧЕСКАЯ ГОЛОГРАФИЯ** — область *голографии*, в к-рой рассматриваются преобразования когерентных волн (пучков), происходящие в самом процессе их записи. В обычной (статич.) голографии процесс записи приводит к возникновению в регистрирующей