

Физический смысл адиабатных процессов.

Петр Иванович Дубровский, инженер.
Санкт-Петербург, Российская Федерация.
e-mail: d-pi@yandex.ru

Аннотация:

Статья является необходимым и достаточным доказательством правоты постулатов и взглядов на суть теплоты и строение микромира, предлагаемых электромагнитной (квантовой) теорией теплоты (ЭТТ) [1].

Описан эксперимент по определению реальной величины показателя адиабаты для воздуха и гелия и приведены основные результаты этого эксперимента. Разъяснён физический смысл адиабатных процессов с точки зрения ЭТТ.

Теоретически обоснованы с позиций ЭТТ:

- полученные в ходе проведенного эксперимента величины показателя адиабаты,
- основные законы термодинамики (Бойля-Мариотта, Гей-Люссака, Шарля),
- величины отношений C_p/C_V для реальных газов, которые получаются при использовании метода Клемана-Дезорма.

1. Современные взгляды на суть адиабатных процессов.

Хорошо известно, что при сжатии газа повышаются его давление и его температура. Соответственно, при расширении газа температура и давление падают. Если при этом газ не обменивается тепловой энергией с окружающим пространством, включая ёмкость, в которой этот газ содержится, то такие процессы сжатия и расширения называются адиабатными (адиабатическими).

Современная теоретическая физика (статистическая физика, молекулярно-кинетическая теория, статистическая механика, физическая кинетика) до сих пор объясняет изменение давления и температуры газов работой, которая совершается над газами при их сжатии или которую совершает сам газ при расширении. Считается, что изменение температуры при адиабатных процессах $\Delta T = T_1 - T_2$ вызвано работой A , произведенной над газом:

$$A = C_V(T_1 - T_2). \quad (1)$$

Характер изменения величин давления и температуры газов при адиабатных процессах в современной теоретической физике математически описывается потенциальной функцией, часто называемой адиабатой Пуассона:

$$p V^\gamma = \text{const} \quad (2)$$

основанием которой является занимаемый газом определенной массой объём V , а показателем – так называемый показатель адиабаты γ :

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V}, \text{ где} \quad (3)$$

C_p и C_V - теплоёмкости газа соответственно при постоянном давлении и постоянном объёме.

p – давление газа,

V – объем, занимаемый газом,

T – абсолютная температура газа.

Из уравнения (2) следует, что для идеальных газов, теплоёмкости которых считаются постоянными, что характер изменения давления при адиабатных процессах определяется уравнением:

$$p = \frac{const}{V^\gamma} = const V^{(-\gamma)}, \quad (4)$$

а характер изменения температуры – уравнением:

$$T = \frac{const}{V^{(\gamma-1)}} = const V^{(1-\gamma)}. \quad (5)$$

Величину показателя адиабаты γ в «классической теории» принято обосновывать количеством неких «степеней свободы» у газообразных молекул. При этом отмечается, [11], цитирую: «...классическая теория не смогла правильно описать некоторые явления. Например, независимость теплоёмкости C_V от температуры опровергается опытом. Согласовать классическую теорию с экспериментом удалось, только предположив, что некоторые степени свободы в определённом диапазоне температур не возбуждаются, «вымораживаются». Например, согласие с опытом при $T = 300$ К достигается, если считать, что не возбуждаются колебания молекул.»

Современная теоретическая физика определяет величину γ для идеальных одноатомных газов, равной $5/3$, $7/5$ – для двухатомных и $4/3$ – для трёхатомных. На практике считается, что величина показателя адиабаты определенным образом зависит от химического состава, исходного давления и температуры газа, но в общем приведенные в различных справочниках величины показателя адиабаты соответствуют теоретическим. Так, например, для гелия (He) $\gamma = 1,660$, а для сухого воздуха при температурах от 0 до 200°C γ лежит в пределах от 1,403 до 1,398.

Современные представления о теплоте (фундаментом которых так или иначе является «классическая молекулярно-кинетическая теория») основаны на весьма наивных взглядах двухвековой давности, согласно которым теплота есть хаотическое движение молекул, атомов и ионов. Еще раньше, на заре становления физики, за теплоту принимали, по теории Георга Шталя, некое вещество «флогистон», потом – некий невидимый бесцветный и невесомый газ «теплород» (le calorique), «магматический газ» (fluide igné), как его называл Антуан де Лавуазье.

В данной статье **максимально кратко** представлены доказательства в пользу взглядов ЭТТ, основанной на том, что теплота имеет ту же природу, что и свет, то есть представляет собой исключительно электромагнитное излучение, которое, как и «магматический газ» де Лавуазье, действительно невесомо, не имеет запаха и невидимо человеческим глазом – за исключением электромагнитных волн светового диапазона. При этом ЭТТ вовсе не отрицает передвижений газообразных молекул, например, конвекции, или проявления закона Архимеда, вследствие которого горячий или лёгкий газ всегда поднимается вверх. Все эти явления – лишь следствие физических процессов, происходящих с газовыми молекулами при излучении и поглощении квантов теплового электромагнитного излучения (в нижнем инфракрасном, инфракрасном, световом и ультрафиолетовом частях спектра) и легко объясняются законами механики Ньютона.

2. Экспериментальное определение зависимости давления газа от занимаемого им объема при адиабатных процессах.

Лет 25 назад я принимал участие в исследовании трубчатых дизель-молотов, предназначенных для погружения свай, и был немного удивлён тому, что характер изменения давления в рабочей камере существенно отличался от теоретической адиабаты Пуассона. Тогда я так и не смог найти логичного объяснения этому. С тех пор мне не удалось найти в открытой печати ни одного описания эксперимента по определению зависимости давления и температуры газа от занимаемого им объема (или степени сжатия газа), хотя, как я полагаю, такие эксперименты не могли не проводиться. Возможно, результаты этих экспериментов не публиковались по причине существенного расхождения с теоретической адиабатой Пуассона из вполне понятного опасения экспериментаторов прослыть полными невеждами.

В российских вузах эксперименты по определению характера зависимости давления газа и температуры от занимаемого им объема при адиабатных процессах не проводят. Ограничиваются тем, что студентов на лабораторных работах обучают «остроумному» методу Клемана-Дезорма, который, как принято считать, «легко и просто» позволяет определять величину показателя адиабаты [7], [9], [11].

Однако, при этом, сами преподаватели отмечают, что **исследуемый адиабатный процесс**, цитирую [11], «...*строго говоря, не является адиабатическим, так как стеклянный сосуд, используемый в лабораторной работе, не теплоизолирован.*» И поэтому это квазиадиабатное «...*расширение воздуха ... следует производить быстро, ... в течение двух секунд.*» А почему именно двух секунд? Почему не больше и не меньше?

Но самым большим недостатком метода Клемана-Дезорма следует считать тот факт, что и сам характер зависимости давления и температуры от объема газа, и величина показателя адиабаты определяются не методом прямых, непосредственных измерений, а на основе выводов «классической» молекулярно-кинетической теории (МКТ). То есть налицо парадоксальная с точки зрения методологии познания ситуация – не теория строится на основе результатов опытов, экспериментов, а результаты экспериментов пытаются загнать в прокрустово ложе «классической» МКТ.

Поэтому я решил поставить опыт, позволяющий построить диаграмму зависимости давления газа от занимаемого им объема, методом непосредственных измерений, исходя из своих финансовых возможностей.

С этой целью в исправный пневмоцилиндр, используемый в пневмоприводах, поочередно устанавливался манометр или тензометрический преобразователь (датчик) давления. Объем газа внутри цилиндра изменялся перемещением поршня.

По величине хода поршня, измеряемого линейкой или штангенциркулем, определялся занимаемый газом объем, а с манометра (визуально) или с тензометрического преобразователя давления (посредством АЦП, установленным в компьютер) снимались показания о величине давления газа.

При проведении экспериментов использовались пневмоцилиндры фирмы Festo (www.festo.com) DSW-40-50P и DSW-32-50P с ходом поршня – 50 мм и диаметром поршня, соответственно, 40 и 32 мм (см. фото 1) Для цилиндра было изготовлено специальное приспособление (см. фото 1), позволяющее закрепить его и создавать давление на шток посредством винта, имеющего шаг резьбы 1 мм, чтобы можно было

легко определять объем газа (степень сжатия) внутри полости цилиндра. Максимальное разрешенное давление в цилиндре – 10 bar (примерно 10 атм.). Степень сжатия газа

$$n = \frac{V}{V_0} \quad (6)$$

определяется как отношение текущего объема в замкнутой полости цилиндра V к начальному объему V_0 .



Фото 1 Пневмоцилиндр DSW-40-50P с установленным в нем преобразователем давления в специально изготовленном станке и мультиметр UT-30C с термодатчиком.

(см. примечание * в конце статьи)

В качестве регистраторов величины давления газа использовался преобразователь давления Д2,5 № 330483 производства фирмы «Орлэкс» [6] (см. фото 2) и манометр ДМ-15-100-1-G от фирмы Meter. (www.meter.ru, см. фото 2).

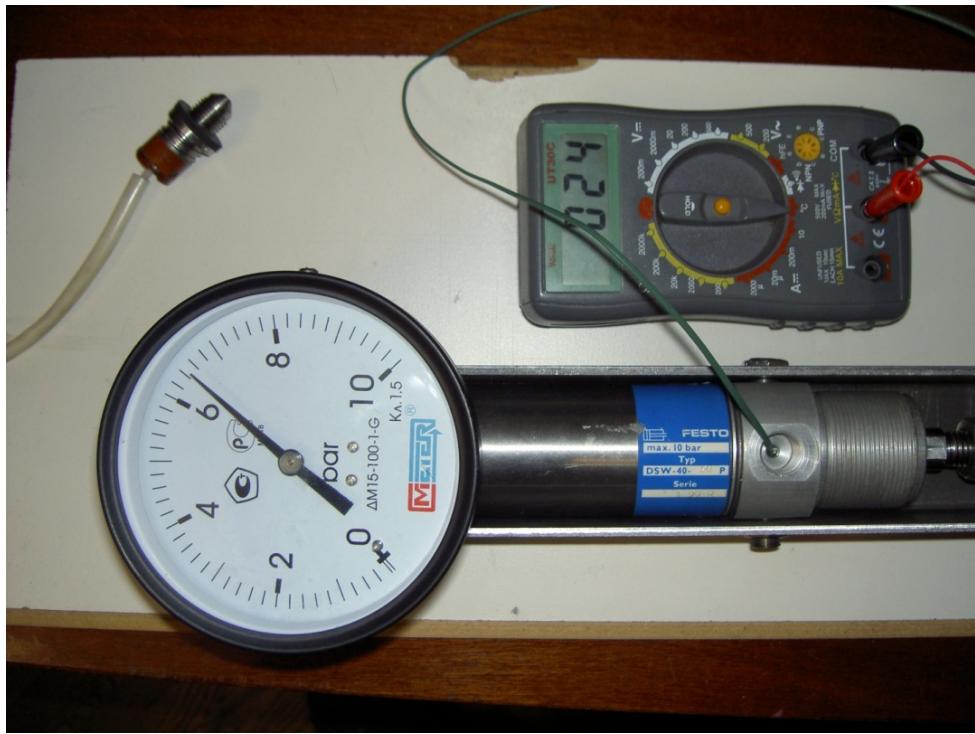


Фото 2 В пневмоцилиндр установлен манометр ДМ-15-100-1-G
Слева вверху виден преобразователь давления Д2,5 производства фирмы «Орлэкс».

Уже в самом начале проведения эксперимента довольно большой неожиданностью для меня была высокая скорость теплообмена газа внутри цилиндра с самим цилиндром. При перемещении поршня винтом я не мог добиться скорости движения поршня больше 3 мм/сек, которой, судя по получаемым результатам, явно не хватало для того, чтобы процессы сжатия и разряжения газа можно было считать адиабатными. По моей субъективной оценке, процесс можно было считать адиабатным, если он протекал менее чем за одну десятую доли секунды. Поэтому 1,5...2 секунды теплообмена газа со стеклянным баллоном в методе Клемана-Дезорма уже целиком и полностью отвергают возможность получения каких-либо достоверных результатов для адиабатных процессов.

В ходе экспериментов, с целью оценки достоверности получаемых результатов, было решено проверить работу всего оборудования на соответствие закону Бойля-Мариотта.

Для этого мной был собственноручно изготовлен и установлен в специально просверленное отверстие в полость цилиндра датчик температуры (см. фото 3). Датчик представляет собой измерительный мост из двух миниатюрных платиновых терморезисторов 700-102AAB-B00 производства фирмы Honeywell размером $2,1 \times 2,3 \times 0,9$ мм с $R_0 = 1000$ Ом и временем отклика в воздухе 2,0 сек и двух специально подобранных постоянных резисторов с сопротивлениями 999 и 1000 Ом. Датчики 700-102AAB-B00 размещались внутри пневмоцилиндра, постоянные резисторы – снаружи.

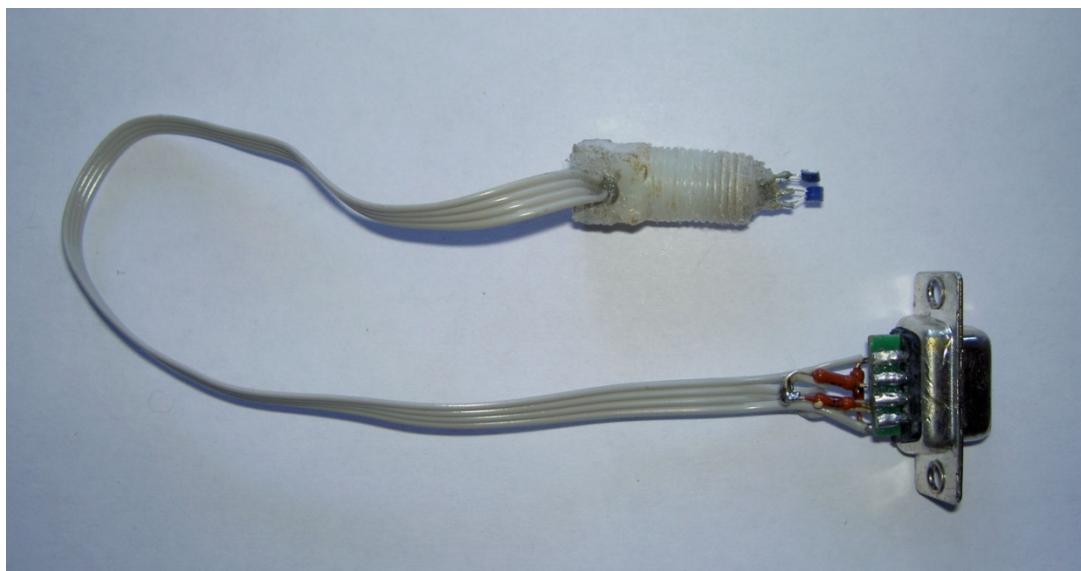


Фото 3. Мостовой датчик температуры, изготовленный на основе платиновых терморезисторов 700-102AAB-B00.

Очевидно, что при требуемых для адиабатных процессов высоких скоростях их протекания непосредственное измерение температуры было невозможно – ввиду длительного для этой цели времени отклика (2,0 сек), а также учитывая, что даже у этих миниатюрных платиновых терморезисторов их теплоёмкость сопоставима с теплоёмкостью исследуемого объема газа. Но для качественного контроля температуры газа при проверке соответствия закону Бойля-Мариотта он подошёл в самый раз.

Контроль температуры позволил установить, что уже при скорости движения поршня 0,2...0,5 мм/сек процесс сжатия газа происходил практически изотермически, судя по тому, что колебания температуры не превышали 0,3% от её абсолютной величины.

Проверка на соответствие закону Бойля-Мариотта проводилась в диапазоне абсолютных давлений от 0 до 8,5 атм. Она позволила:

во-первых, проверить качество работы всего оборудования. Соответствие величины давления закону Бойля-Мариотта при измерении манометром ДМ-15-100-1-G не превышало $\pm 4\%$, преобразователем давления Д2,5 – $\pm 1\%$.

Во-вторых, уточнить полный объём газа внутри исследуемой полости цилиндра, изначально неверно мной определенный путём заполнения полости цилиндра водой и последующего измерения объёма этой воды.

В-третьих, убедиться в том, что газ не травит ни через места присоединения манометра и термодатчика, ни через уплотнение поршня.

В ходе проведения эксперимента неоднократно проводились различные дополнительные проверки оборудования. Например, на предмет обнаружения травления стыки обмазывались мыльной пеной (способ старых газопроводчиков), цилиндр оставлялся в сжатом состоянии на неделю (при этом давление не падало), полностью опускался в воду (пузырей не выходило) и т.д.

Показания с термодатчика и с преобразователя давления снимались измерительной станцией (см. фото 4) в составе:

- процессорной платы PCISA C400-R фирмы iEi на базе процессора Celeron-400 ULV, с Compact Flash на 4 Гб в качестве жесткого диска,
- платы АЦП PCI-9114A Rev.A2 HG (High Gain) от фирмы AdLink [5],
- объединительной платы IP-5SA,
- клавиатуры, мыши, монитора и высококачественного блока питания, 5В от которого использовались для питания преобразователя давления и мостового датчика температуры (через постоянный резистор 8,2 кОм).

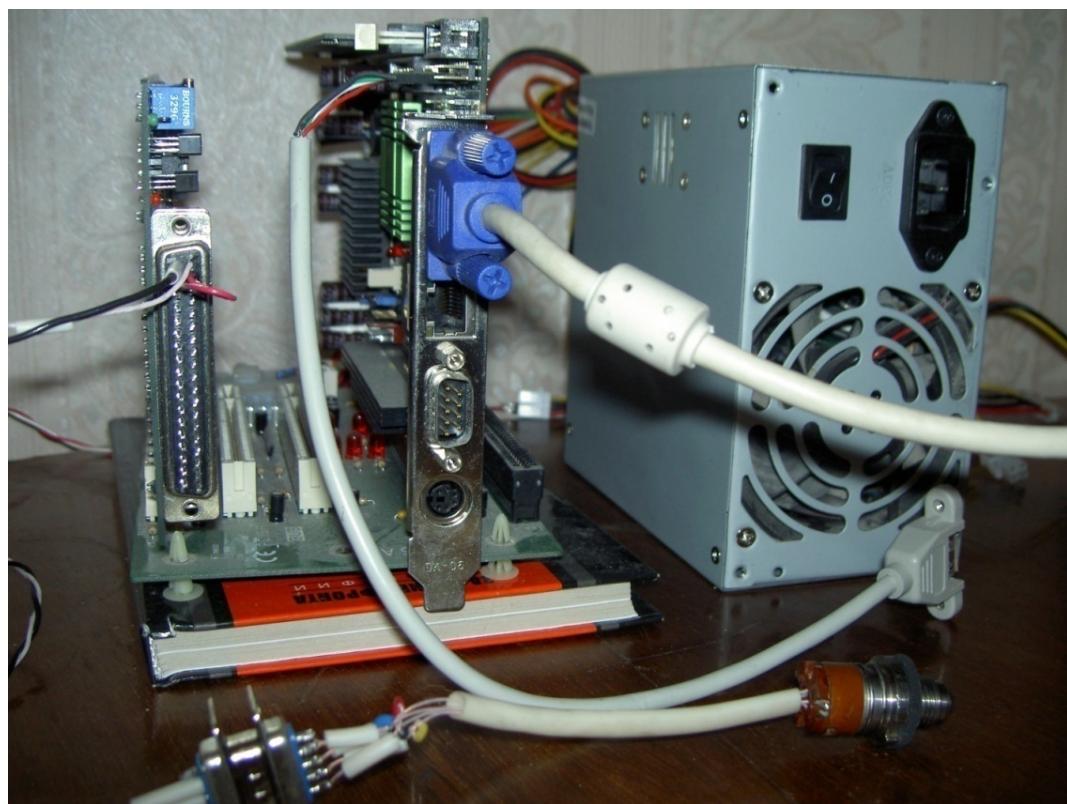


Фото 4. Измерительная станция с АЦП PCI-9114A-HG.

Для определения характера изменения величины давления при адиабатных процессах сжатия и разряжения я резко нажимал на поршень с разной силой, используя свой вес, либо быстро вытаскивал шток, перемещая поршень в обратном направлении. При этом фиксировались величина перемещения поршня относительно исходного положения и предельная (максимальная или минимальная) величина давления газа. При использовании манометра величина давления фиксировалась на видео, при использовании преобразователя давления Д2,5 – 16-разрядным АЦП PCI-9114А. Максимальная частота дискретизации этого АЦП – 250 кГц. Для уменьшения флюктуаций отсчётов 100, 250 (иногда 1000) снятых при такой частоте показаний программно усреднялись. Такой подход обеспечивал качественную съёмку отсчётов с временным интервалом в 0,001 сек.

Аналогичное оборудование и подобный подход уже использовались мной ранее в системе мониторинга напряженного состояния тоннеля метро между станциями «Площадь Мужества» и «Лесная» в Санкт-Петербурге, построенном фирмой Impregilo S.p.A.

Разумеется, существуют определенные претензии к чистоте проведения данного эксперимента, которые, однако, не ставят вопрос о достоверности его основных результатов. Воздух использовался не сухой, а при естественной влажности. Вероятно, при экспериментах с гелием, в цилиндре был не чистый гелий, а гелиево-воздушная смесь, получившаяся при нагнетании в полость цилиндра гелия из воздушного шарика. Кроме того, после долгих (1,5 года) экспериментов с охлаждением пневмоцилиндров в морозильной камере холодильника (-18°C) и кипячении на газовой плите (+100°C и выше), уплотнение поршней начало приходить в негодность.

Финансовые ограничения тоже отразились на точности эксперимента. Считаю, что более рационально было бы измерять перемещение штока цилиндра не штангенциркулем, а показания с прецизионного датчика линейных перемещений, к примеру, выпускаемых той же самой фирмой Honeywell (стоимость 12 000 – 18 000 руб) записывать на компьютер с АЦП.

Однако методика проведения эксперимента, позволяющая путём непосредственных измерений определить величину показателя адиабаты, значительно предпочтительнее метода Клемана-Дезорма или ещё более экзотических методов.

Например, на кафедре экспериментальной физики СПбГПУ родился новый, «резонансный» метод измерения показателя адиабаты воздуха, при котором показатель адиабаты **вычисляется** по неким собственным частотам колебаний поршня в трубке с якобы адиабатно сжимаемым воздухом (!!!!). Налицо вновь явное пренебрежение основными принципами методологии познания. Неужели настолько сложно просто сжать в цилиндре газ, измеряя при этом его давление и определяя его объём?

Предвосхищая критику со стороны злопыхателей о качестве проведения эксперимента, хочу сказать следующее. По моему мнению, Гей-Люссак, экспериментально открывший два из трёх основных законов термодинамики, как истинный учёный, за весь комплект используемого мной оборудования продал бы душу Мефистофелю быстрее, чем это сделал доктор Фауст. Лично я бы, пожалуй, заложил бы свою душу за возможность поставить несколько из задуманных мной экспериментов в прекрасно оснащённой лаборатории.

Результаты эксперимента

При исследовании адиабатного сжатия и разряжения воздуха, находящегося в начале процесса при атмосферном давлении и температуре от -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$, показатель адиабаты, полученный путем аппроксимирования результатов, равнялся **1,29**, (не выходя за рамки $1,27\dots1,31$) существенно отличающийся от общепринятой величины **1,40** [4]. Для гелия при тех же условиях показатель адиабаты получился равным **1,32** ($1,30\dots1,34$), тогда как общепринятый равен **1,66** [4].

3. Теоретическое объяснение изменения давления при адиабатном процессе.

Согласно разрабатываемой мной на протяжении последних 5 лет электромагнитной теории теплоты (ЭТТ, ранее я называл её квантовой, КТТ, [1]), никакого хаотичного теплового движения молекул, как это представляет «классическая» молекулярно-кинетическая теория газов (МКТ), не существует. Разумеется, как я уже отмечал ранее, газовые молекулы перемещаются в пространстве, но их перемещение носит не хаотичный, а строго закономерный характер, определяемый основными физическими законами – законами Ньютона.

Согласно ЭТТ, соседние газовые молекулы не мечутся хаотично в пространстве, периодически сталкиваясь, непостижимым образом обмениваясь при этом теплотой, а оказывают давление друг на друга своими электрическими и магнитными полями, напряженность которых зависит от температуры молекулы. Таким образом, можно считать, что газовые молекулы занимают в пространстве некий объём, границы которого определяют главную эквипотенциальную поверхность всех полей, индуцируемых той или иной молекулой.

Два века назад опытным путём было установлено, что при одинаковых давлении и температуре, в равных объёмах газа содержится одинаковое число газовых молекул (1811 год, закон Авогадро). Отсюда следует, что при одинаковых условиях даже различные по химическому составу и массе газовые молекулы занимают в пространстве одинаковый объём.

Такое видение позволяет легко объяснить атмосферное давление и характер его изменения по высоте, а также возникновение в атмосфере Земли, где газовые молекулы имеют вес (вследствие действия силы всемирного притяжения), силы Архимеда, заставляющей более лёгкие и более «горячие» молекулы подниматься вверх. Как известно, на космических кораблях, в условиях невесомости закон Архимеда не действует. МКТ в своей расчётной схеме хаотического движения молекул силу всемирного притяжения вообще никак не учитывает и внятно объяснить, почему более быстрые молекулы поднимаются вверх, не в состоянии. Р. Фейнман, Р. Лейтон и М. Сэндз, например, утверждают, цитирую: «любая пара молекул будет двигаться в произвольно выбранном направлении столь же охотно, как и в любом другом» [3]. Почему же более лёгкие газы поднимаются вверх?

Согласно ЭТТ, агрегатное состояние вещества определяется текущим распределением электронов атомов, входящих в состав молекулы, по энергетическим уровням («оболочкам»). Существует три основных электронных уровня – газообразующий, гидрогенный («жидкостной») и кристаллообразующий. Газовые молекулы имеют общее молекулярное ядро, состоящее из одного или нескольких атомов, © Дубровский П.И., 2012 *Физический смысл адиабатных процессов* 8

объединенных общей газообразующей «оболочкой» в которой не может находиться более двух электронов.

Молекула реального газа гелия (He), лучше всех других подходящего на роль «идеального» газа, представлена на рис. 1. Она имеет одноатомное молекулярное ядро, в состав которого входит два протона и два нейтрона, и два электрона, которые при нормальных условиях располагаются на газообразующем уровне – вращаясь по замысловатым траекториям вокруг молекулярного ядра, они создают вокруг него так называемое «электронное облако» идеальной сферической формы.

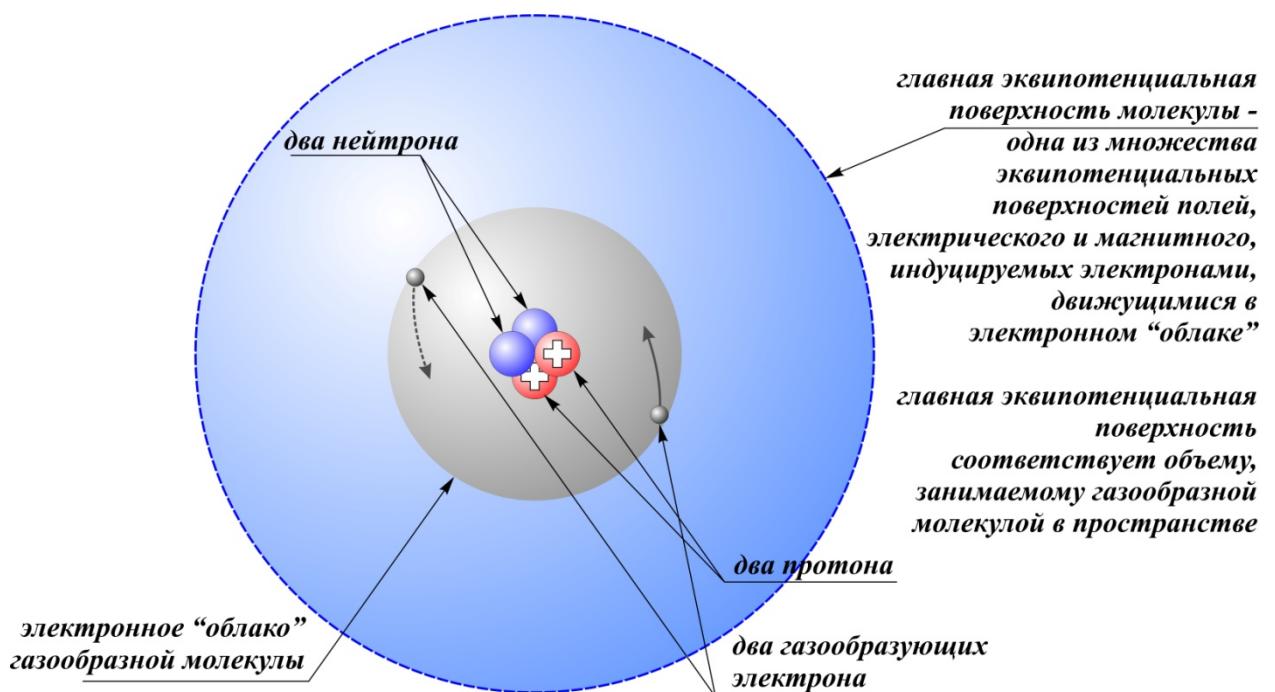


Рис. 1. Газообразная молекула He (гелия) согласно электромагнитной теории теплоты.

Это «электронное облако» индуцирует электрическое и магнитное поля, которые, взаимодействуя с электрическими и магнитными полями, индуцируемыми «электронными облаками» соседних молекул, заставляют газообразные молекулы отталкиваться друг от друга. Явление отталкивания материальных тел, заряженных одноимёнными электрическими зарядами или являющимися постоянными магнитами (при соответствующем расположении полюсов магнитов), хорошо известно. Именно силы отталкивания, возникающие между газообразными молекулами, имеющие полевую природу (электрическое и магнитное поля) и приводят ко всем хорошо известным свойствам газов: занимать весь предоставленный объём, рассеиваться в вакууме (космическом пространстве), обладать упругостью, создавать, вследствие действия силы притяжения к Земле, атмосферное давление, передавать звуковые волны и т.д.и т.п.

Представим цилиндр с поршнем, наполненный молекулами «идеального» газа (см. рис. 2 слева). Приложив к штоку поршня некоторую силу F , т.е. попросту надавив на поршень, мы можем уменьшить объём газа в n раз – например, вдвое, как это показано на рис. 2 справа.

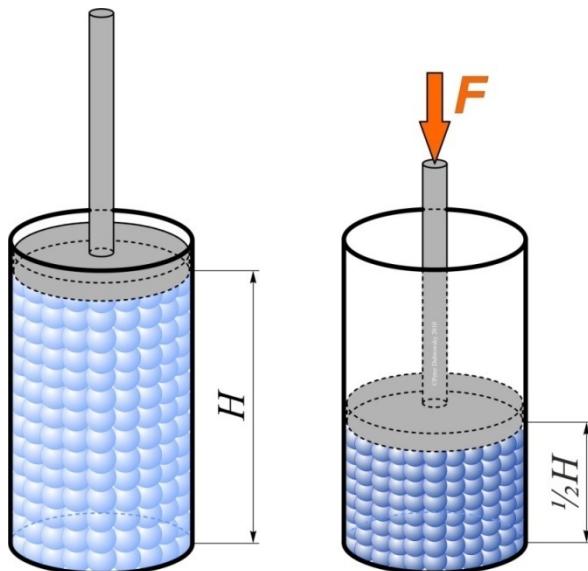


Рис. 2. Адиабатное сжатие газа согласно электромагнитной теории теплоты. Голубыми «шариками» изображены главные эквипотенциальные поля молекул.

Вследствие сжатия газовые молекулы уплотнились, уменьшились расстояния между молекулярными ядрами, сократились в размерах главные эквипотенциальные поверхности полей молекул. Характер уплотнения молекул наглядно изображен на рис. 2. Может показаться, будто бы на рисунке справа просто-напросто внутри цилиндра с поршнем не нарисована половина молекул. Но присмотритесь повнимательнее – слева в каждом ряду молекул на рисунке – 9, а справа – уже 11. Я не ошибся. При уменьшении объема вдвое расстояние между молекулами уменьшается всего на одну пятую часть (приблизительно) – см. рис. 3.

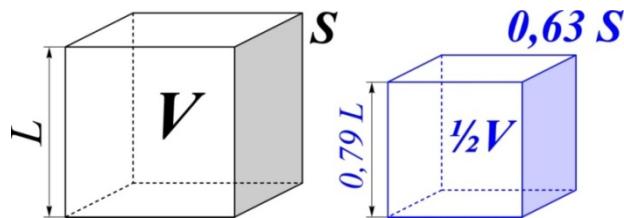


Рис. 3. Изменение соотношений длины ребра и площади грани куба при уменьшении его объема вдвое.

То есть, при уменьшении объема в n раз расстояние между центрами газовых молекул R сокращается в $\sqrt[3]{n}$ раз:

$$R = \frac{R_0}{\sqrt[3]{n}} \quad (7)$$

Теперь определим, в какой пропорции увеличиваются силы отталкивания между отдельными газовыми молекулами (см. рис. 4). Существует экспериментально установленная универсальная формула для всех полевых взаимодействий, в т.ч. и для электрического, и для магнитного, и для гравитационного:

$$F = k \frac{x_1 x_2}{R^2}, \quad \text{где} \quad (8)$$

k – соответствующий данному полю и принятой системе единиц коэффициент пропорциональности,

x_1 и x_2 – «заряды» материальных тел, индуцирующих то или иное поле, R – расстояние между материальными телами.

Для гравитационного поля, например, этой формулой описывается закон всемирного тяготения:

$$F_{\text{тяготения}} = k_g \frac{m_1 m_2}{R^2}, \text{ где}$$

k_g – гравитационная постоянная, являющаяся, по своей сути, тем же самым коэффициентом пропорциональности, а m_1 и m_2 – масса тел («гравитационный заряд»).

Согласно закона Кулона, величина силы взаимодействия двух точечных зарядов прямо пропорциональна произведению модулей этих зарядов q_1 и q_2 и обратно пропорциональна квадрату расстояния R между ними:

$$F_{\text{Кулона}} = k_{\text{эл.}} \frac{q_1 q_2}{R^2}$$

Аналогичное соотношение действует и для магнитного поля, например, для тел, являющихся постоянными магнитами.

$$F_{\text{магн.}} = k_{\text{магн.}} \frac{h_1 h_2}{R^2}$$

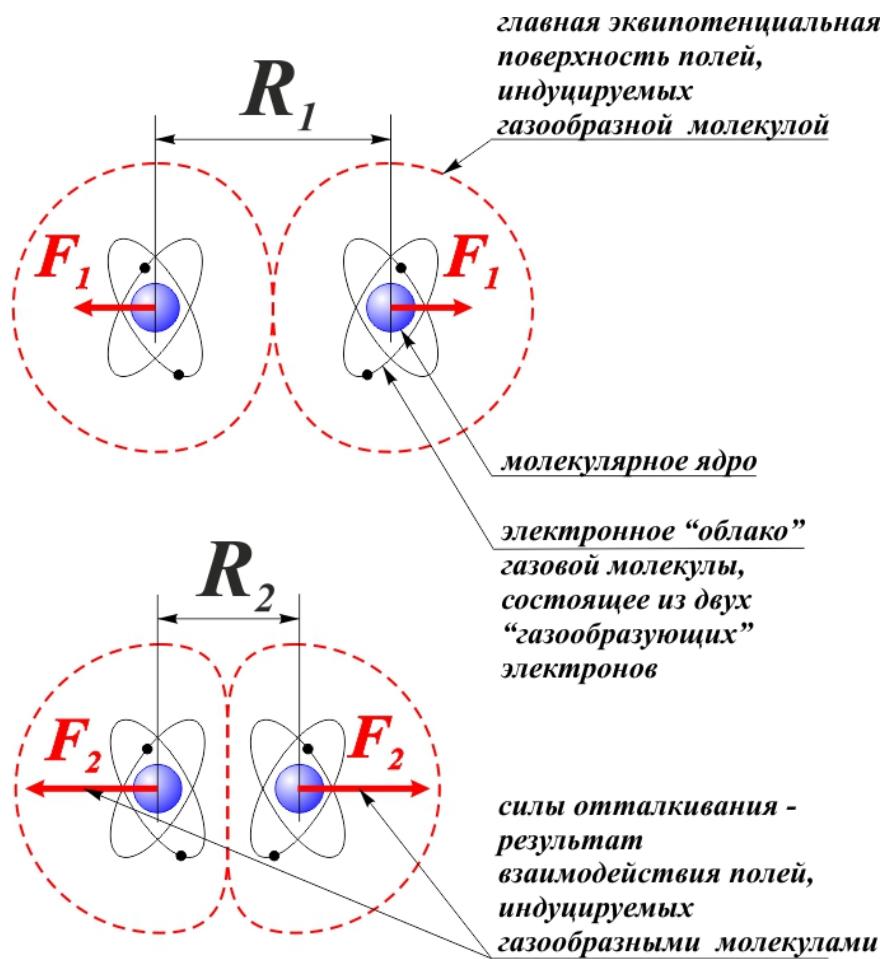


Рис. 4. Увеличение сил отталкивания между отдельными газовыми молекулами при сжатии газа.

Основным полем, определяющим поведение газовых молекул, в настоящее время я считаю электрическое поле, так как силы, создаваемые гравитационным полем, на

несколько порядков меньше, а силы, создаваемые индуцированным вращающимися электронами магнитным полем, скорее всего, компенсирует друг друга вследствие разнонаправленности движения самих электронов. Поэтому можно было бы рассматривать поведение газовых молекул лишь на основе взаимодействия их электрических полей.

Но, единство характера всех полевых взаимодействий (см. формулу (8)) позволяет определить величину силы взаимодействия полей соседних молекул \mathbf{f} по одной формуле:

$$\mathbf{f} = k_p \frac{x_1 x_2}{R^2}, \quad (9)$$

в которой под обозначением x_1 и x_2 ($x_i = \mathbf{q}_i \pm \mathbf{h}_i - \mathbf{m}_i$) мы будем понимать условную сумму всех типов «зарядов», индуцирующих соответствующие поля – и электрического, и разносторонне направленного магнитного, и пытающегося им противостоять гравитационного, а под k_p – некий усредненный коэффициент для всех этих взаимодействий. Такой подход вполне возможен при приведении единиц измерения массы (выступающей в роли гравитационного «заряда»), электрического и магнитного зарядов к некоей действительно **единой** системе измерений.

Тогда до сжатия газа (см. рис. 4, вверху), любые две соседние молекулы отталкивались друг от друга с силой:

$$\mathbf{f}_1 = k_p \frac{x_1 x_2}{R_1^2}, \quad (10)$$

а после сжатия (см. рис. 4, внизу), – с силой:

$$\mathbf{f}_2 = k_p \frac{x_1 x_2}{R_2^2}. \quad (11)$$

Таким образом, при уменьшении объёма в n раз сила взаимодействия (отталкивания) между отдельными молекулами увеличится в:

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{k_p \frac{x_1 x_2}{R_2^2}}{k_p \frac{x_1 x_2}{R_1^2}} = \frac{R_1^2}{R_2^2} = \frac{R_1^2}{\left(\frac{R_1}{\sqrt[3]{n}}\right)^2} = n^{2/3} \quad (12)$$

то есть в $\sqrt[3]{n^2}$ раз.

Во сколько же раз в этом случае возрастёт давление газа? Чтобы правильно ответить на этот вопрос, вспомним, что же такое давление. Это величина усилия на единицу площади.

$$\mathbf{p} = \frac{\mathbf{F}}{S} \quad (13)$$

Очевидно, что усилие, создаваемое газовыми молекулами на единицу площади поверхности, равно сумме всех усилий, создаваемому каждой отдельно взятой молекулой \mathbf{f}_i , оказывающей давление на эту единичную площадь:

$$\frac{\mathbf{F}}{S} = \sum_0^\mu \mathbf{f}_i, \text{ где} \quad (14)$$

μ – количество молекул, оказывающих давление на единичную площадь (см. рис. 5)

Для упрощения понимания физического смысла адиабатных процессов в газах предположим, что все молекулы имеют некоторую для определенной массы газа величину «заряда» x_{cp} , индуцирующего различные поля. Эта величина «заряда» характеризует потенциальную способность молекулы к электромагнитному излучению. Её можно считать определенным мерилом температуры молекулы.

Очевидно, что газовые молекулы стремятся занять и занимают в пространстве такое положение, что все силы, действующие на них с разных сторон, уравновешиваются.

При условии, что все газовые молекулы имеют одинаковую температуру, определяемую равенством «зарядов» x_{cp} , все межмолекулярные силы взаимодействия равны $f_i = \text{const}$. Тогда газовые молекулы занимают в пространстве такое положение, при котором все расстояния между любыми соседними молекулами равны $R_i = \text{const}$.

Тогда из уравнений (13) и (14) следует:

$$p = \mu f \quad (15)$$

После сжатия, как мы определили (см уравнение (12)), усилие каждой отдельной газовой молекулы на внутреннюю поверхность цилиндра увеличилось в $\sqrt[3]{n^2}$ раз. Но, помимо этого, увеличилось и количество молекул, оказывающих давление на ту же самую площадь внутренней поверхности цилиндра (см. рис. 5).

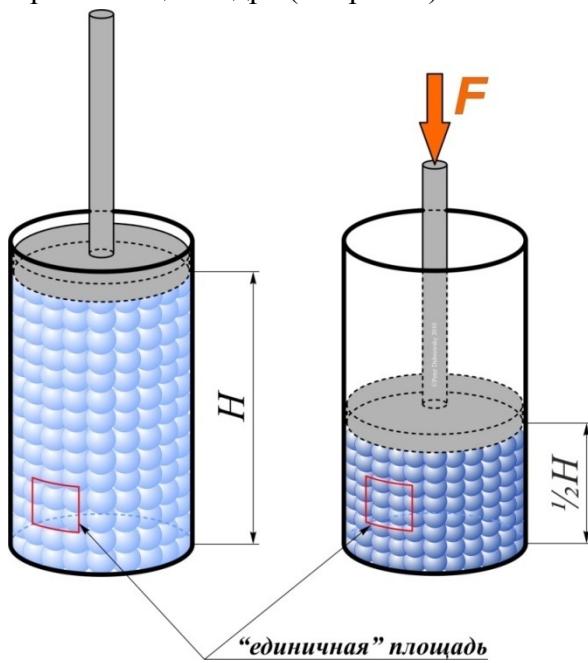


Рис. 5. При сжатии газа увеличивается не только силы отталкивания между соседними молекулами, но и количество молекул, оказывающих давление на единицу площади.

Допустим, что если до сжатия на «единичную» площадь оказывало давление $a \times a$ молекул, то очевидно, после сжатия газа в n раз число этих молекул стало $\sqrt[3]{n}a \times \sqrt[3]{n}a = \sqrt[3]{n^2}a^2$. Таким образом количество газовых молекул, оказывающих давление на «единичную» площадь, увеличилось в $\sqrt[3]{n^2}$ раз:

$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{\sqrt[3]{n^2} \times a^2}{a^2} = \sqrt[3]{n^2} \quad (16)$$

Если обозначить через m количество молекул внутри воображаемой емкости кубической формы (см. рис. 3), а через μ_S – количество молекул, соприкасающихся со стенкой площадью S , будет справедливо следующее выражение:

$$\mu = \frac{\mu_S}{S} = \frac{m^{2/3}}{S} = \frac{m^{2/3}}{L^2} = \frac{m^{2/3}}{(R\sqrt[3]{m})^2} = \frac{1}{R^2} \quad (17)$$

Можно вывести аналогичное соотношение и для криволинейных форм ёмкостей, но при этом при дальнейших рассуждениях придётся учитывать, что давление газов (как и жидкостей) всегда нормально (перпендикулярно) к плоскости поверхности.

Если количество молекул, оказывающих давление на единицу площади поверхности, увеличилось в $\sqrt[3]{n^2}$ раз, и сила давления каждой молекулы на поверхность тоже увеличилось в $\sqrt[3]{n^2}$ раз, то давление газа при его сжатии в n раз увеличивается в $\sqrt[3]{n^2} \times \sqrt[3]{n^2} = \sqrt[3]{n^4} = n^{4/3}$ раз (используем конечные результаты уравнений (12) и (16)):

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\mu_2 f_2}{\mu_1 f_1} = n^{4/3} \quad (18)$$

Вывод по главе 3.

Таким образом, используя элементарную логику и простейшие математические операции, мы получили, что теоретический показатель адиабаты для одноатомных идеальных газов равен $4/3$, что значительно лучше соответствует результатам описанного в главе 1 эксперимента, чем общепринятый ныне в теоретической физике (МКТ) показатель адиабаты для идеальных одноатомных газов, равный $5/3$.

4. Теоретическое объяснение изменения температуры при адиабатном процессе.

В современной теоретической физике считается, что электроны, входящие в состав атомов и молекул, при переходе с одного энергетического уровня на другой, излучают кванты электромагнитного излучения. Электромагнитное излучение газообразных молекул определенного спектра частот мы видим в виде света, как, например, излучение Солнца, пламя костра, голубое свечение атмосферы Земли. Часть электромагнитного излучения в инфракрасном диапазонах недоступно нашему зрению, зато прекрасно видно в тепловизорах и приборах ночного видения.

Электромагнитная теория теплоты (ЭТТ) утверждает, что все материальные тела, и твёрдые, и жидкые, и газообразные, постоянно излучают тепловую энергию в виде квантов электромагнитного излучения. Все молекулы, входящие в состав материальных тел, постоянно обмениваются тепловой энергией в виде электромагнитного излучения в ультрафиолетовом, световом, инфракрасном и нижнем инфракрасном диапазонах. Каждая молекула (которую тоже можно считать материальным телом) имеет свою собственную температуру, определяемую энергетическими уровнями, на которых расположены входящие в состав этой молекулы электроны. Мощность потока электромагнитного излучения всех электронов молекулы в единицу времени определяет её температуру. Температура каждой отдельно взятой молекулы не постоянна. При испускании кванта тепловой (электромагнитной) энергии, молекула «остыдает», при захвате – «нагревается». Очевидно, что наиболее «горячими», то есть обладающими наибольшей потенциальной энергией излучения являются газообразные молекулы.

Температура материального тела (то есть суммарная мощность электромагнитного излучения в единицу времени) зависит от температуры каждой отдельно взятой молекулы, входящей в его состав. При этом следует помнить, что молекулы, находящиеся «в глубине» материального тела, обмениваются квантами тепловой энергии друг с другом. А тепловое электромагнитное излучение, которое характеризует температуру тела, происходит лишь с поверхности данного тела.

На практике определить температуру каждой отдельно взятой молекулы в конкретный момент времени невозможно. Поэтому тут на помощь должна прийти статистическая физика с предположением, что, вероятнее всего, температура группы молекул идеального газа соответствует закону нормального распределения (распределению Гаусса), а мы для обоснования тех или иных закономерностей должны воспользоваться понятием «средняя температура молекул». Обладая такой средней температурой, каждая молекула будет излучать тепловое электромагнитное излучение некоей усреднённой величины.

Исходя из этих соображений, ЭТТ предлагает следующую формулу для определения температуры материального тела:

$$T = k_T \tau \mu = k_T \frac{\tau}{R^2}, \text{ где} \quad (19)$$

k_T – коэффициент пропорциональности, соответствующий принятой системе единиц.

R – расстояние между соседними молекулами (центрами соседних молекул),

μ – количество газовых молекул, соприкасающихся с плоской единичной площадью реальной или воображаемой емкости, т.е. количество молекул, оказывающих на реальную или воображаемую стенку давление посредством индуцируемых полей и создающих на эту стенку поток теплового электромагнитного излучения,

τ – усредненная мощность теплового электромагнитного излучения одной молекулой в сторону воображаемой или реальной стенки.

Полагаю, что 99,99% людей, мало-мальски знакомых с физикой не хуже уровня средней школы, на вопрос, что происходит с газом при его адиабатном сжатии, ответят – «он нагревается». Это же очевидно. Но этот ответ, как ни парадоксально это звучит, в корне неверен. Как же так, спросите Вы, ведь совершенно очевидно, что температура газа повышается? Миллионы термометров не могут врать.

Но давайте посмотрим еще раз на рис. 3. Допустим, в кубе содержится m молекул. Согласно ЭТТ, **при адиабатном сжатии температура каждой отдельно взятой газовой молекулы, т.е. потенциальная тепловая энергия молекулы остаётся прежней**. Каждая отдельно взятая молекула продолжает излучать в единицу времени то же самое количество тепловой энергии e , что и раньше. Интересно, но при адиабатном сжатии или адиабатном расширении газа остаётся прежней и общая сила теплового излучения этих m газовых молекул $Q = m e$. Но ведь термометр показывает, что температура газа изменилась! Всё верно. Дело в том, что **меняется «плотность» излучения**.

Ведь что такое термометр или датчик температуры? Это материальное тело, которое при повышении своей температуры меняет свои свойства. Например, жидкость в термометре при повышении своей температуры (и температуры стеклянной трубки, в которой эта жидкость заключена), расширяется. Терморезистор при нагревании провода (и подложки!) увеличивает свое сопротивление. То есть, при измерении температуры происходит теплообмен между термометром и телом, температуру которого измеряют.

В случае с газами, при их адиабатном сжатии, пропорционально степени сжатия n (в степени 2/3) увеличивается плоскостная плотность молекул расположения μ . Вследствие чего увеличивается «плотность», «насыщенность» потока излучения на стеклянную колбу термометра или на терморезистор, вследствие чего их температура повышается. Таким образом, **видимое повышение температуры при адиабатном сжатии происходит исключительно за счёт уплотнения газовых молекул, а вовсе не из-за того, что, как утверждает МКТ, «над газом совершили положительную работу по сжатию».**

Посмотрим на изображение на рис. 6. Слева обозначена твердотельная стенка емкости, в которой содержится газ. Атомы выстроены в кристаллическую решётку. Справа изображён газ, пунктиром изображены главные эквипотенциальные поля. Предположим, что газ и стенка находятся в состоянии термодинамического равновесия, то есть действующие температуры стенки и газа равны.

Условно разобьём и стенку и газ на слои. Пусть толщина слоя определяется тем, что треть всей мощности теплового электромагнитного излучения данного слоя уходит в слой справа, треть – в слой слева, треть – передаётся атомам и молекулам этого же самого слоя. Толщина слоя для стенки и для газа может быть абсолютно различна, это могут быть тысячи, миллионы, миллиарды или секстиллионы молекул. Вероятно, толщина такого

слоя находится в прямой пропорциональной зависимости от величины удельной теплопроводности того или иного вещества.

Теоретически, газообразные молекулы излучают тепловые кванты равномерно в любом направлении, в отличие от кристаллических тел. (В кристаллах же, как показывает опыт, теплопроводность в разных направлениях кристаллической решётки может существенно отличаться.) На рис. 6 кванты теплового излучения показаны волнообразными стрелками. Разумеется, частота и энергия квантов могут быть различны.

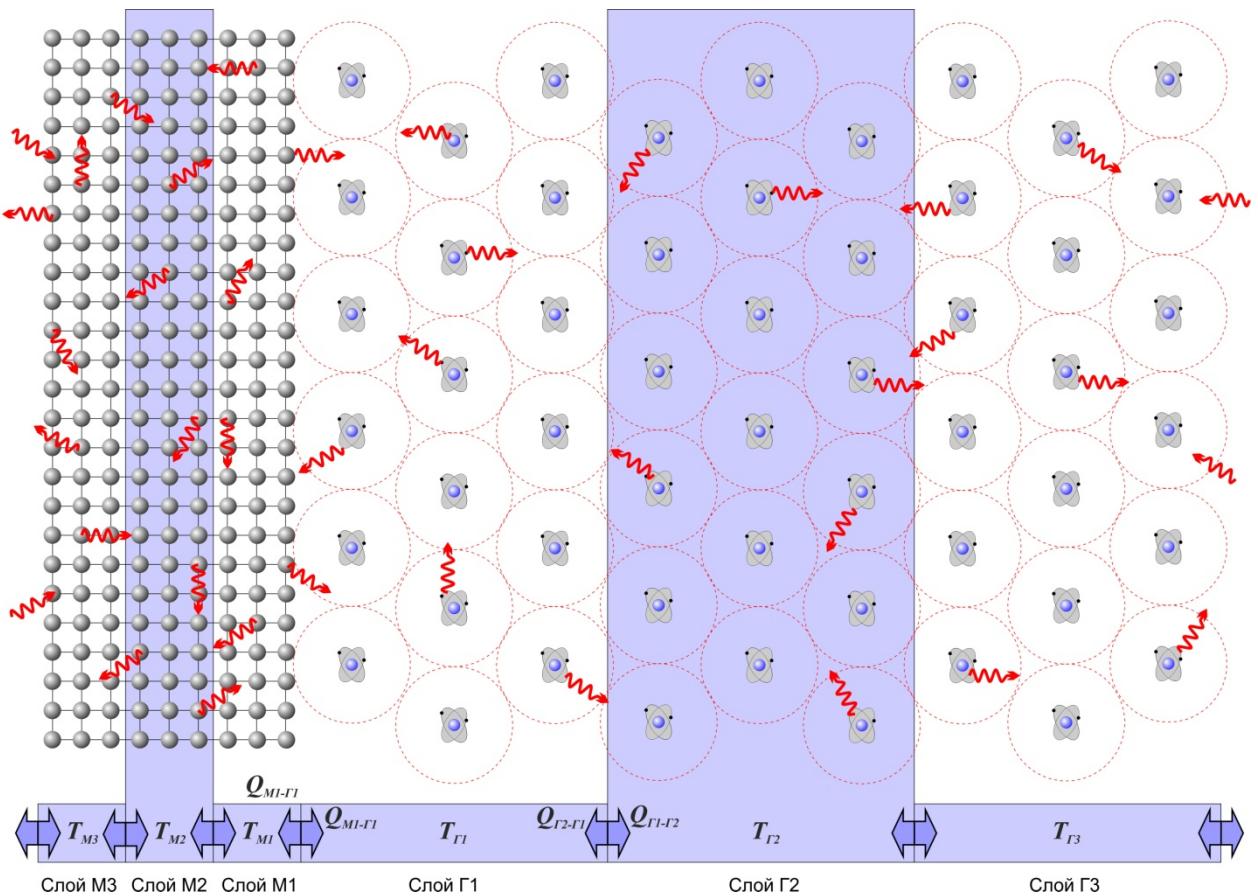


Рис. 6. Обмен потоками электромагнитного излучения (тепловой энергией) между слоями молекул в твердом теле (стенке цилиндра) и слоями газообразных молекул.

Очевидно, что при термодинамическом равновесии температура всех слоев – и газовых ($\Gamma_1 \dots \Gamma_n$), и твердотельных («металлических» – $M_1 \dots M_n$) одинакова $T_{Mn} = \dots = T_{M3} = T_{M2} = T_{M1} = T_{\Gamma 1} = T_{\Gamma 1} = \dots = T_{\Gamma n}$. Соответственно, поток электромагнитного излучения (мощность тепловых потоков) того или иного слоя в одном и обратном направлениях тоже равны: $Q_{Mn-M(n+1)} = Q_{M(n+1)-Mn} = \dots = Q_{M3-M2} = Q_{M2-M3} = Q_{M2-M1} = Q_{M1-M2} = Q_{M1-\Gamma 1} = Q_{\Gamma 1-M1} = Q_{\Gamma 1-\Gamma 2} = Q_{\Gamma 2-\Gamma 1} = \dots = Q_{\Gamma(n+1)-\Gamma n} = Q_{\Gamma n-\Gamma(n+1)}$. Равны и мощности этих тепловых потоков на единицу площади.

Согласно ЭТТ, при сжатии газа средняя температура газовых молекул осталась прежней, т.е. каждый моль (или другое количество, например, m) молекул продолжает испускать то же самое количество квантов теплового электромагнитного излучения за тот же период времени. Но!!! Газовые молекулы уплотнились (см. рис. 5). Вследствие этого увеличивается плотность потока тепловой энергии со стороны газа на окружающие этот газ твёрдые или жидккие материальные тела, тогда как плотность обратного теплового

потока остаётся прежней (см. рис. 7). Это и приводит к нагреванию (именно к нагреванию) цилиндрической колбы с подкрашенной жидкостью термометра, подложки и платинового элемента температурного датчика, на основании которых мы судим о «нагревании» газа.

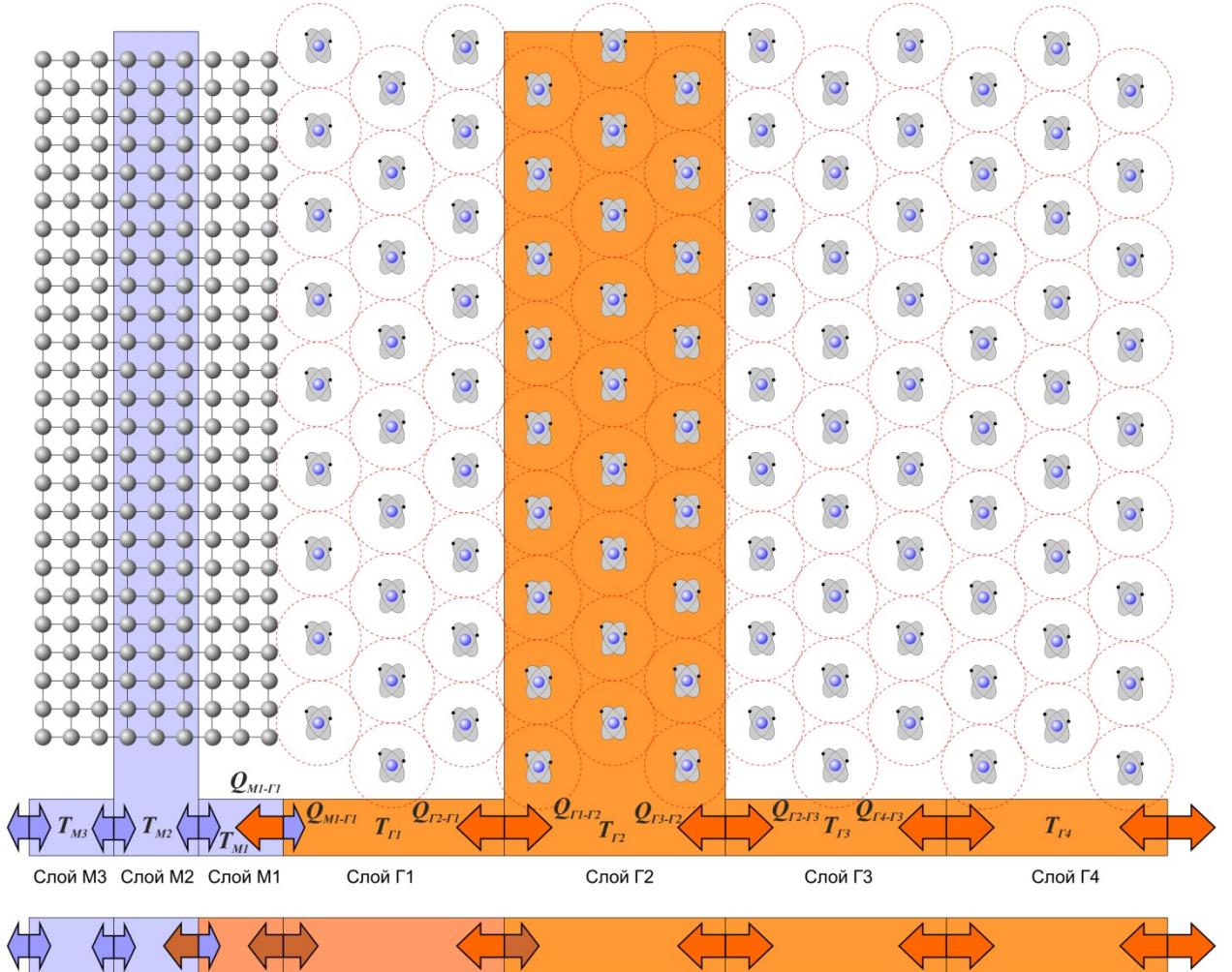


Рис. 7. Обмен потоками электромагнитного излучения между слоями молекул в твердом теле и слоями газообразных молекул при нарушении термодинамического равновесия.

Процесс теплообмена между адиабатно сжатым газом и окружающими его материальными телами будет идти до тех пор, пока тепловые потоки между всеми условными температурными слоями не станут равны, т.е. температура всех материальных тел не уравновесится.

При сжатии газа в n раз, количество газовых молекул, излучающих тепло на единицу площади стенки цилиндра увеличилось в $\sqrt[3]{n^2}$ раз. Вероятно, во столько же раз должна увеличиться и видимая температура газа – та температура, которую мы определяем градусником или температурным датчиком? Единственный правильный ответ на этот вопрос может дать только серия качественно проведенных экспериментов.

Тем не менее попробуем определить теоретическую зависимость действующей температуры газообразного тела от занимаемого им объёма при адиабатных процессах.

Для этого составим отношение действующих температур некой массы газа \mathbf{m} после завершения процесса адиабатного сжатия \mathbf{T}_2 и до его начала \mathbf{T}_1 :

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{k_T \tau_2 R_1^2}{k_T \tau_1 R_2^2} \quad (20)$$

Соотношение между средним расстоянием между молекулами \mathbf{R} , объёмом, занимаемым газом \mathbf{V} и количеством молекул \mathbf{m} , выражается следующими уравнениями:

$$\mathbf{R} = \sqrt[3]{\frac{\mathbf{V}}{\mathbf{m}}}, \quad (21)$$

$$\mathbf{V} = \mathbf{m} \mathbf{R}^3 \quad (22)$$

$$\mathbf{m} = \frac{\mathbf{V}}{\mathbf{R}^3} \quad (23)$$

Так как было решено воспользоваться усредненными параметрами для всех газовых молекул, то $\mathbf{x}_1 = \mathbf{x}_2 = \mathbf{x}$. Тогда:

$$\mathbf{p} = \mu f = \frac{1}{R^2} k_p \frac{x^2}{R^2} = k_p \frac{x^2}{R^4} \quad (24)$$

Для определенной массы идеального газа должно выполняться условие Клапейрона (уравнение Менделеева-Клапейрона, основное уравнение состояния идеального газа):

$$\frac{pV}{T} = \mathbf{const} \quad (25)$$

В ЭТТ основное уравнение состояния идеального газа принимает следующий вид:

$$\frac{pV}{T} = k_p \frac{x^2}{R^4} \times V \left/ k_T \frac{\tau}{R^2} \right. = \frac{k_p}{k_T} \times \frac{x^2 (m R^3)}{\tau R^2} = k \frac{x^2 m R}{\tau} = \mathbf{const} \quad (26)$$

Из уравнения (26), учитывая, что $k = \frac{k_p}{k_T} = \mathbf{const}$ и $\mathbf{m} = \mathbf{const}$, следует:

$$\frac{x^2 R}{\tau} = \mathbf{const} \quad (27)$$

Из этого уравнения следует, что будет справедливо следующее соотношение между средним тепловым потоком электромагнитного излучения от каждой молекулы τ , её средним суммарным электрическим и магнитным «зарядом» \mathbf{x} и расстоянием между соседними молекулами \mathbf{R} :

$$\tau = \theta x^2 R, \quad \text{где} \quad (28)$$

θ – некая постоянная ($const$), некий коэффициент соответствия.

Подставим полученное для τ выражение (28) в уравнение (20):

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{k_T \tau_2 R_1^2}{k_T \tau_1 R_2^2} = \frac{\theta x_2^2 R_2 R_1^2}{\theta x_1^2 R_1 R_2^2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (29)$$

А теперь – в получившееся выражение (29) подставим выражение (21):

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{R_1}{R_2} = \sqrt[3]{\frac{m}{m}} \sqrt[3]{\frac{V_1}{V_2}} = \sqrt[3]{\frac{V_1}{V_2}} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{-\frac{1}{3}} \quad (30)$$

Откуда следует, что, согласно ЭТТ, действующая температура газообразного материального тела при адиабатных процессах обратно пропорциональна кубическому корню от занимаемого этим газом объёма.

$$T = \text{const} V^{-\frac{1}{3}}$$

Выводы по главе 4

Согласно ЭТТ, при действительно адиабатных процессах средняя температура газовых молекул не изменяется. **Истинное нагревание и охлаждение газа происходит лишь при изохорных процессах, в остальных случаях, при любом изменении объёма, действующая температура газообразного тела изменяется и из-за многократного увеличения или уменьшения плотности газообразного тела.** Для твёрдых тел и для жидкостей этот эффект, в силу понятных причин, не наблюдается.

Теоретически, в вопросе характера изменения действующей температуры идеального газообразного материального тела при адиабатном процессе ЭТТ пришла к тому же соотношению, что и МКТ для идеальных многоатомных газов. Действительно, подставив в уравнение (5) значение $\gamma = 4/3$, получим:

$$T = \frac{\text{const}}{V^{(\gamma-1)}} = \text{const} V^{(1-\gamma)} = \text{const} V^{-\frac{1}{3}}$$

Единственно правильный ответ на вопрос, насколько справедливы представленные теоретические размышления, могут дать только несколько серий экспериментов в нормально оснащенной лаборатории с использованием самого передового оборудования, организовать проведение которых, как я полагаю, вполне по силам РАН или Министерству образования и науки.

5. Теоретический вывод классических газовых законов – законов Бойля-Мариотта, Гей-Люссака и Шарля.

При теоретическом выводе классических законов термодинамики используются те же обозначения, что и ранее:

p – давление газа,

V – объём газа,

T – абсолютная температура газа,

m – количество молекул,

f – сила взаимодействия (отталкивания) между двумя соседними газовыми молекулами,

R – расстояние между соседними молекулами (центрами соседних молекул),

μ – количество газовых молекул, соприкасающихся с единичной площадью емкости (оказывающих на неё давление посредством своих полей и создающих поток теплового излучения на соседние материальные тела).

Все классические газовые законы справедливы для постоянного количества газа, т.е. при условии $m = \text{const}$.

Согласно ЭТТ, формулы изменения давления, температуры и объёма принимают следующий вид:

- **давления** (уравнение (24)):

$$p = k_p \frac{x^2}{R^4}$$

откуда:

$$p = p_0 \frac{x^2 R_0^4}{x_0^2 R^4} \quad (31)$$

- **температуры** (уравнение (19)):

$$T = k_T \frac{\tau}{R^2}$$

откуда:

$$T = T_0 \frac{\tau R_0^2}{\tau_0 R^2} \quad (32)$$

- **объёма** (уравнение (22)):

$$V = mR^3$$

откуда:

$$V = V_0 \frac{R^3}{R_0^3} \quad (33)$$

5.1 Теоретический вывод закона Бойля-Мариотта.

Суть закона в математической форме: $pV = \text{const}$ при $T = \text{const}$

При постоянной температуре $T = T_0$. Таким образом, из уравнения (32) следует:

$$\frac{\tau R_0^2}{\tau_0 R^2} = 1$$

Подставим в это уравнение значения τ и τ_0 из выражения (28). Получим:

$$\frac{\tau R_0^2}{\tau_0 R^2} = \frac{\theta x^2 R R_0^2}{\theta x_0^2 R_0 R^2} = \frac{x^2 R_0}{x_0^2 R} = 1 \quad (34)$$

Подставляя в произведение pV выражения (31) и (33), с учётом полученного уравнения (34), получаем:

$$pV = p_0 \frac{x^2 R_0^4}{x_0^2 R^4} \times V_0 \frac{R^3}{R_0^3} = p_0 V_0 \frac{x^2 R_0}{x_0^2 R} = p_0 V_0 = \text{const},$$

что и требовалось доказать.

5.2 Теоретический вывод закона Гей-Люссака.

Суть закона в математической форме: $\frac{V}{T} = \text{const}$ при $p = \text{const}$

При постоянном давлении $p = p_0$. Таким образом, из уравнения (31) следует:

$$\frac{p}{p_0} = \frac{x_0^2 R^4}{x^2 R_0^4} = 1 \quad (35)$$

Подставим в отношение V/T выражения (33) и (32). Получим:

$$\frac{V}{T} = \frac{V_0 \frac{R^3}{R_0^3}}{T_0 \frac{\tau R_0^2}{\tau_0 R^2}} = \frac{V_0}{T_0} \times \frac{R^3 \tau_0 R^2}{R_0^3 \tau R_0^2} = \frac{V_0}{T_0} \times \frac{\tau_0 R^5}{\tau R_0^5} \quad (36)$$

Подставим в это уравнение значения τ и τ_0 из выражения (28). Учитывая равенство (35), получим:

$$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} \times \frac{\theta x_0^2 R_0 R^5}{\theta x^2 R R_0^5} = \frac{V_0}{T_0} \times \frac{x_0^2 R^4}{x^2 R_0^4} = \frac{V_0}{T_0} = \text{const},$$

что и требовалось доказать.

5.3 Теоретический вывод закона Шарля (второго закона Гей-Люссака).

Суть закона в математической форме: $\frac{p}{T} = \text{const}$ при $V = \text{const}$

При постоянном объёме $V = V_0$. Так как количество молекул m остаётся неизменным, при постоянном объёме, расстояния между ними остаются прежними $R = R_0$. Таким образом, подставив в отношение p/T выражения (31) и (32), получим:

$$\frac{p}{T} = \frac{p_0 \frac{x^2 R_0^4}{x_0^2 R^4}}{T_0 \frac{\tau R_0^2}{\tau_0 R^2}} = \frac{p_0}{T_0} \frac{x^2 R_0^4}{x_0^2 R^4} \frac{\tau_0 R^2}{\tau R_0^2} = \frac{p_0}{T_0} \frac{q^2 \tau_0 R_0^2}{q_0^2 \tau R^2} = \frac{p_0}{T_0} \frac{q^2 \tau_0}{q_0^2 \tau} \quad (37)$$

Подставим в получившееся выражение (37) значения τ и τ_0 из выражения (28).

$$\frac{p}{T} = \frac{p_0}{T_0} \frac{x^2 \theta x_0^2 R_0}{x_0^2 \theta x^2 R} = \frac{p_0}{T_0} \frac{x^2 x_0^2}{x_0^2 x^2} = \frac{p_0}{T_0} = \text{const},$$

что и требовалось доказать.

Вывод по главе 5

ЭТТ представляет полное теоретическое обоснование основных, классических газовых законов термодинамики, открытых экспериментально более двух веков тому назад.

6. Метод Клемана-Дезорма с позиций электромагнитной теории теплоты.

Осталось прояснить лишь один вопрос, касающийся величины показателя адиабаты γ . В физических справочниках приводятся совершенно отличные от результатов моего эксперимента величины показателей адиабаты, вроде как тоже полученные опытным путём:

- для сухого воздуха при $+20^{\circ}\text{C}$ – **1,400** (в моём эксперименте – **1,29**),
- для гелия при $+20^{\circ}\text{C}$ – **1,660** (в моём эксперименте – **1,32**).

К сожалению, в справочниках не принято указывать метод определения тех или иных физических величин, в частности, показателя адиабаты, что, на мой взгляд, в корне неправильно, так как отсутствие этой информации не позволяет оценить достоверность опубликованных данных.

Насколько можно судить, основным способом определения величины γ до сих пор является метод Клемана-Дезорма. Во всяком случае, в подавляющем большинстве российских вузов студентов физических факультетов обучают именно этому методу.

Суть метода Клемана-Дезорма заключается в определении отношения C_p/C_V , которое, как полагают и равно показателю адиабаты γ . Сам метод я излагаю по одному из немногих толковых описаний этого метода, данному Д.В. Сивухиным в своём «Курсе общей физики» [2], среди множества других, (например [7], [8], [9], список можно продолжить):

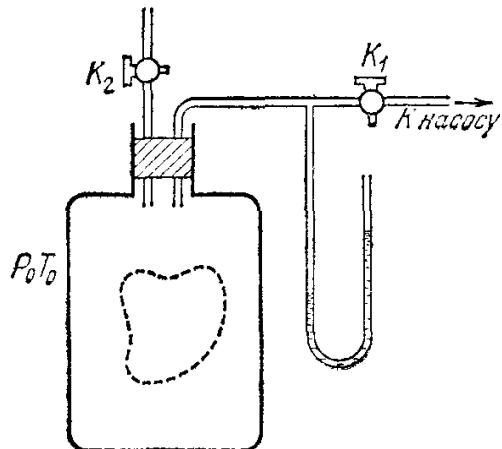


Рис. 8. Определение показателя адиабаты методом Клемана-Дезорма

В стеклянный баллон объёмом несколько литров с помощью насоса нагнетается небольшая порция того же газа и кран K_1 (см. рис. 1) закрывается. Спустя некоторое время температура газа вследствие теплообмена в баллоне сравняется с температурой окружающего воздуха. После этого водяным манометром меряют давление газа в баллоне. Состояние газа характеризуется давлением P_1 и температурой T_1 .

Затем на короткое время открывают кран K_2 . Часть газа выйдет из баллона, его давление сравняется с атмосферным P_0 . Температура газа при этом понизится. После закрывания крана K_2 газ в баллоне медленно нагревается вследствие теплообмена, пока его температура вновь не сравняется с температурой окружающего воздуха T_0 . Давление газа в этот момент равно P_2 .

Таким образом, в моменты снятия отсчётов параметры, характеризующие состояние газа внутри баллона, имеют следующие значения:

$$\begin{aligned} 1 \text{ состояние} & - P_1 \quad T_0 \quad V_1, \\ 2 \text{ состояние} & - P_0 \quad T \quad V_2, \\ 3 \text{ состояние} & - P_2 \quad T_0 \quad V_2, \end{aligned}$$

Переход газа, из состояния 1 в состояние 2, по мнению авторов метода, совершается адиабатически, поэтому соответствующие изменения давления и объёма связаны уравнением адиабаты. Поэтому, основываясь на идеях молекулярно-кинетической теории (МКТ), можно вывести следующее уравнение:

$$\gamma P(V_2 - V_1) + V(P_0 - P_1) = 0$$

Решая это уравнение относительно γ , опять же, пользуясь положениями и формулами МКТ, получаем:

$$\gamma = \frac{P_1 - P_0}{P_1 - P_2} \quad (38)$$

Полный вывод уравнения (38) на основании МКТ дан в [2].

Должен отметить, что авторы этого метода Клеман-Дезорм и его тест Дезорм проявили творческий подход и отменную смекалку при его разработке, достойные всяческого уважения.

Основным недостатком этого метода следует считать тот факт, что определение показателя адиабаты производится не прямым способом. Этот метод определяет не показатель адиабаты, а некое отношение C_p/C_V (это отношение я буду называть «показатель Клемана-Дезорма»), которое, согласно ЭТТ, вовсе не равно показателю адиабаты, о чём свидетельствуют результаты прямых измерений величин давления при адиабатном сжатии и расширении.

Другим недостатком этого метода является то, что считающийся адиабатным процесс выпускания газа из баллона таковым не является, так как происходит слишком медленно. Например, в методическом руководстве Иркутского университета [7] сказано, цитирую: «теперь откроем кран на 1-2 секунды». Мой опыт при проведении описанного в части 1 статьи эксперимента свидетельствует о том, что для получения адиабатного процесса он должен длиться не дольше одной десятой доли секунды, а лучше – сотые или даже тысячные доли секунды (в этом случае не следует забывать о том, что возможно краткосрочное повышение давления из-за возникновения ударной волны).

Для большей наглядности того, как меняется состояние газа при методе Клемана-Дезорма, предлагаю провести теоретический расчёт по формулам ЭТТ. Представим реальную картину – пусть у нас имеется наполненный гелием при комнатных условиях при температуре 26,85°C (300 Кельвинов) стеклянный сосуд (см. рис. 8) объёмом 1 литр. При таких условиях в сосуде должно находиться около $2,68 \cdot 10^{22}$ газовых молекул.

Посредством насоса закачаем в него еще немного гелия из другой ёмкости (какой-нибудь секстилион с небольшим количеством молекул, до количества $2,80 \cdot 10^{22}$ штук) и подождём, пока температура газа сравняется с комнатной, получив состояние газа № 1 (см. таблицу 1). Давление внутри баллона в этом случае повыситься всего на 0,02 атм. Да-да, именно так – это вполне реальная картина. При использовании водяного манометра такое

давление соответствует примерно 20 см водяного столба – вряд ли кто-либо использовал при экспериментах по методу Клемана-Дезорма более длинные стеклянные трубы.

После этого переведём газ в состояние № 2, для чего теоретически «откроем кран K_2 » на пару секунд и потом закроем его. При этом из сосуда вылетит некоторая часть молекул, вследствие чего давление в сосуде уменьшится. Согласно выражения (31):

$$p_2 = p_1 \frac{x_2^2 R_1^4}{x_1^2 R_2^4} \quad (39)$$

Определим параметры газа при состоянии № 2. Теоретически, при адиабатных процессах ни масса газовых молекул, ни электрический заряд газовой электронной оболочки, ни магнитный заряд молекулы не изменяются: $x_1 = x_2$.

Учитывая, что $R_i = \sqrt[3]{\frac{V_i}{m_i}}$, а при переходе из состояния № 1 в состояние № 2 емкость, в которой содержится исследуемый газ, остаётся прежней, то и объём, занимаемый газом, остаётся прежним: $V_1 = V_2$. Таким образом, уравнение (39) получает следующий вид:

$$p_2 = p_1 \frac{R_1^4}{R_2^4} = p_1 \frac{\left(\sqrt[3]{\frac{V_1}{m_1}}\right)^4}{\left(\sqrt[3]{\frac{V_2}{m_2}}\right)^4} = p_1 \frac{m_2^{3/4}}{m_1^{3/4}}$$

откуда:

$$m_2 = m_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{4/3} = 2,800 \times 10^{22} \times \left(\frac{1,0000}{1,0200}\right)^{4/3} = 2,727 \times 10^{22}$$

Очень важен вопрос, какая же должна получиться температура газа в состоянии № 2. Как можно видеть, современная теоретическая физика обходит этот очень важный вопрос стороной – у Д.В. Сивухина значится, что в состоянии № 2 газ внутри баллона имеет некую неопределенную температуру T .

Согласно ЭТТ,

$$T_i = k_T \frac{\tau_i}{R_i^2}$$

Отсюда:

$$T_2 = T_1 \frac{\tau_2 R_1^2}{\tau_1 R_2^2} \quad (40)$$

Подставим в это выражение значения τ и τ_0 из уравнения (28). Учитывая, что при полнейшем отсутствии теплообмена, при 100%-но адиабатном процессе величина «заряда» x у газовых молекул не меняется, получим:

$$T_2 = T_1 \frac{\theta x_2^2 R_2 R_1^2}{\theta x_1^2 R_1 R_2^2} = T_1 \frac{R_1}{R_2}$$

Таким образом:

$$T_2 = T_1 \frac{R_1}{R_2} = 300,00 \times \frac{3,293 \times 10^{-9}}{3,322 \times 10^{-9}} = 297,37$$

Теоретически определить давление газа внутри баллона после его изохорного нагревания до комнатной температуры (состояние № 3) не представляет труда. Согласно закона Шарля (второго закона Гей-Люссака):

$$p_3 = p_2 \frac{T_3}{T_2} = 1,0000 \times \frac{300,00}{297,37} = 1,0084$$

Все основные показатели газа в баллоне при его исследовании методом Клемана-Дезорма для удобства проверки сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

**Теоретическое изменение основных показателей газа
при определении отношения C_p/C_V методом Клемана-Дезорма.**

Состояние газа (по Д.В.Сивухину)	Давление p (атм)	Число молекул m (штук)	Температура газа T (Кельвинов)	Расстояние между молекулами R (метров)
№ 1	1,0200	$2,800 \cdot 10^{22}$	300,00	$3,293 \cdot 10^{-9}$
№ 2	1,0000	$2,727 \cdot 10^{22}$	297,37	$3,322 \cdot 10^{-9}$
№ 3	1,0088	$2,727 \cdot 10^{22}$	300,00	$3,322 \cdot 10^{-9}$

Таки образом, получаем:

$$\gamma = \frac{P_1 - P_0}{P_1 - P_2} = \frac{1,0200 - 1,0000}{1,0200 - 1,0088} = 1,792$$

Такая величина показателя Клемана-Дезорма, равная 1,792 – максимально возможная. Она теоретически получается для абсолютно идеального газа при полнейшем отсутствии теплообмена, т.е. при 100%-но адиабатном процессе при переходе из состояния № 1 в состояние № 2. Напомню, что идеальным с точки зрения ЭТТ является одноатомный газ с главной эквипотенциальной поверхностью идеально сферической формы.

Реально полученные для инертных газов величины имеют значения на 0,12...0,13 меньше (~1,66...1,67). Объясняется это, в первую очередь, теплообменом между газом внутри баллона и самим баллоном, во время, как уже отмечалось, излишне длительного процесса перехода газа из состояния № 1 в состояние № 2.

Более низкие измеренные величины показателя Клемана-Дезорма (отношения C_p/C_V) у двухатомных и многоатомных газов объясняются эллиптической формой главной эквипотенциальной поверхности, а также более интенсивным теплообменом. Дело в том, что согласно ЭТТ, каждый газ в тепловых диапазонах электромагнитного излучения инфракрасном имеет свои спектры излучения и поглощения, точно так же, и по тем же самим причинам, что и в световом и ультрафиолетовом диапазонах. Разумеется, интенсивность теплообмена между газами зависит от частот квантов теплового излучения. То есть тепловое излучение, испускаемое одним газом, например, азотом, может быть практически прозрачно для гелия или неона и наоборот.

7. Общие выводы.

1. Электромагнитная теория теплоты (ЭТТ) нашла свое подтверждение в проведенном мной опыте по непосредственному измерению величин давления при быстром (практически адиабатном) сжатии и разряжении, тогда как МКТ не согласуется с этими результатами.

2. ЭТТ прекрасно согласуется с экспериментально открытыми законами – законом Авогадро, законом Бойля-Мариотта, законом Гей-Люссака и законом Шарля и даёт всем этим законам полное теоретическое обоснование.

3. ЭТТ объясняет результаты, получаемые при исследовании газов по методу Клемана-Дезорма.

4. Модель газа, принятая в ЭТТ, максимально наглядно объясняет распространение звука в газах, а теоретически выведенная на основании этой модели формула определения скорости звука в газах полностью совпадает с эмпирической ([1]). В отличие от МКТ – ведь в хаотических средах распространение гармонических колебаний с сохранением их частотно-амплитудной характеристики невозможно. Так, например, до сих пор никому не удалось разработать математическую модель распространения гармонических колебаний давления звуковой частоты без искажений через хаотическую среду, предлагаемую МКТ.

5. Модель газа, принятой в ЭТТ, позволяет дать полное теоретическое обоснование возникновению силы Архимеда в газах, чего невозможно сделать посредством модели газа в МКТ.

Все эти выводы свидетельствуют о преимуществе ЭТТ перед нынешними официально признанными взглядами теоретической физики (МКТ) и позволяют более глубоко, более полно и более верно представить строение микромира и понять суть физических процессов и явлений, а также дать этим явлениям ясное и понятное теоретическое обоснование.**

© Дубровский Петр Иванович,
Санкт-Петербург, 2007 - июль 2012 г.г.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Дубровский П.И. Основы квантовой теории теплоты (КТТ). «Доклады независимых авторов», Vol.10, изд. «ДНА», Россия-Израиль, 2008, printed in USA, Lulu Inc., ID 4605283, ISBN 978-0-557-02807-8
- [2] Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том II. Термодинамика и молекулярная физика. Москва, Издательство «Наука», 1975.
- [3] Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндз М. Фейнмановские лекции по физике. Том 3. Излучение, волны, кванты, Том 4. Кинетика, теплота, звук. Москва, Издательство «Мир», 1977.
- [4] Физические величины: Справочник. А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский и др.; Под. ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – Москва, Энергоатомиздат, 1991.

- [5] PCI-9114 Series Datasheet © Adlink Technology:
http://www.adlinktech.com/PD/marketing/Datasheet/PCI-9114Series/PCI-9114Series_Datasheet_en_1.pdf
- [6] Информацию о характеристиках преобразователя давления Д2,5 от фирмы «Орлэкс» можно найти здесь:
http://www.orlex.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=90&Itemid=9
- [7] Глазунов О.О., Алексеева Л.И., Васильева Н.П. «Методические рекомендации по проведению лабораторной работы «Определение показателя адиабаты воздуха», издано в Иркутском государственном университете (именно так написано в оригинале), 1999. (<http://www.physdep.isu.ru/kosm/method/obsh/lab/2-8.pdf>)
- [8] Бланк лабораторной работы № 13 «Определение показателя адиабаты методом Клемана и Дезорма» кафедры физики Тульского Государственного университета. (http://physics.tsu.tula.ru/students/metodich_files/LAB13-blank.doc)
- [9] Лабораторная работа «Определение показателя адиабаты воздуха» (<http://physolymp.fml31.ru/olymp/files/f434.pdf>)
- [10] Методическое руководство для проведения лабораторной работы 1.03 «Исследование показателя адиабаты воздуха резонансным методом» Кафедра экспериментальной физики Физико-математического факультета СПбГПУ.
(http://physics.spbstu.ru/forstudents/labpractice/physics/Lab_1_08_Phys.pdf)
- [11] «Механика и термодинамика: лабораторный практикум по физике для 1, 2 курса технических специальностей всех форм обучения.» Сост. В.Г. Дубровский и др. Новосибирский государственный технический университет; - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009.
(<http://pitf.ftf.nstu.ru/resources/labs/5>)

Примечания:

- * Температура, показанная UT-30C, действительно минус 1°C – только что эта «экспериментальная установка» была вытащена из холодильника, где находилась несколько часов, несмотря на мягкое недовольство жены. На корпусе пневмоцилиндра видна изморозь.
- ** Например, в школьных учебниках по физике пишут, что существуют три способа передачи тепла: излучение, конвекция и теплопроводность. МКТ со своих позиций пытается кое-как объяснить лишь один из этих способов – теплопроводность, никак не касаясь двух других. ЭТТ, основываясь на том, что теплота – это электромагнитное излучение, на основании своих моделей (рис. 6 и рис. 7) и расчётных схем готова разъяснить физический смысл конвекции и теплопроводности, а также предоставить теоретическое обоснование этим процессам.