

ЗАЧЕТ ПО ТЕРМОДИНАМИКЕ

Программа зачета

Идеальный газ. Термодинамические параметры газа. Температура. Изопроцессы. Газовые законы. Уравнение состояния идеального газа. Закон Дальтона.

Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия и способы ее изменения. Работа при изменении объема газа. Первое начало термодинамики. Теплоемкость. Внутренняя энергия ид. газа с различным числом атомов в молекуле. Теплоемкость ид. газа при постоянном объеме и постоянном давлении. Адиабатический процесс. Уравнение адиабаты идеального газа.

Второе начало термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Квазистатический процесс. Второе начало термодинамики в формулировках Клаузиуса и Томсона, их эквивалентность. Тепловая машина, ее КПД. Теорема Карно. Равенство Клаузиуса. Энтропия. Изознтропийность адиабатического процесса.

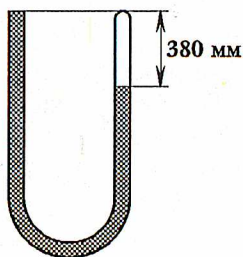
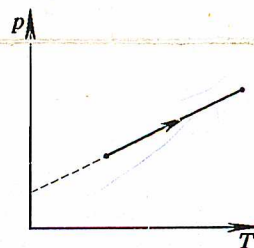
Молекулярно-кинетическая теория идеального газа. Основное уравнение МКТ ид. газа. Связь между температурой и средней кинетической энергией молекул. Степени свободы. Равномерное распределение энергии по степеням свободы системы. Внутренняя энергия ид. газа с различным числом атомов в молекуле (вычисление). Длина свободного пробега молекул в газе. Истечение газа через маленькое и большое отверстия.

Фазовые переходы. Насыщенный пар. Двухфазная система газ-жидкость, ее поведение при изменении объема и температуры. Критическая температура. Кипение. Влажность воздуха.

Поверхностное натяжение. Коэффициент поверхностного натяжения. Краевой угол. Смачивание и несмачивание. Капиллярные явления.

Вопросы, рекомендованные для обсуждения на зачете
(буквой "у" отмечены вопросы, обсуждавшиеся на уроке, знаком "!" - вопросы повышенной трудности, рекомендуемые для школьников, отмеченных тем же знаком)

1у На рисунке в координатах $p - T$ изображен процесс, происходящий с некоторым количеством идеального газа. Сжимается или расширяется газ в этом процессе ?

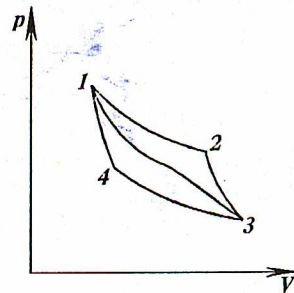


2у В запаянную с одного конца U-образную трубку налита ртуть так, что в правом запаянном колене остался воздух. Уровень ртути в открытом колене совпадает с краем трубки. Разность между уровнями равна 380 мм. Как нужно изменить температуру воздуха, запертого в трубке, чтобы уровни ртути сравнялись ? Атмосферное давление равно 760 мм рт. ст.

3у В каком процессе газ при расширении получит большее количество теплоты - если он расширялся изобарически или если давление паростало прямо пропорционально объему ? Объем в обоих процессах увеличивается на одну и ту же величину.

4. В каком процессе газ при расширении совершит большую работу - если он расширялся изотермически или адиабатически ? Объем в обоих процессах увеличивается на одну и ту же величину.

5. Цикл 1-2-3-4-1 представляет собой цикл Карно. Найдите его КПД, если КПД цикла 1-2-3-1 равен η_1 , а КПД цикла 1-3-4-1 равен η_2 . Процесс 1-3 произвольный, но один и тот же для обоих циклов.



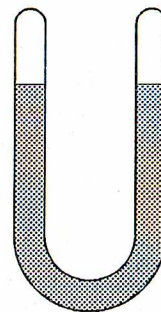
6у Оцените длину свободного пробега молекул газа. Размер каждой молекулы d , их концентрация n , среднеквадратичная скорость движения v .

7! Оцените силу торможения спутника, летящего в верхних слоях атмосферы. Давление воздуха на высоте орбиты 10^{-4} Па, температура 1300 К.

8. В сосуде содержится смесь газообразных азота и водорода. Молекулы какого из газов движутся быстрее? Во сколько раз?

9. Из сосуда через маленькое отверстие в стенке вытекает за время τ половина газа. За какое время вытекла бы половина этого же газа, если бы все размеры сосуда (в том числе и размеры отверстия) были в 2 раза больше?

10. Оба колена U-образной трубки запаяны сверху. В трубку налита вода, причем, когда трубка расположена вертикально, уровни воды в коленах совпадают. Как, наклоняя трубку, определить, остался в ней воздух или нет? Могли в одном колене воздух остаться, а в другом - нет?



11. Ртуть кипит при температуре $+367^\circ\text{C}$. Можно ли ртутным термометром измерить температуру $+500^\circ\text{C}$?

12. В двух одинаковых баллонах находится воздух - в одном баллоне сухой, в другом - влажный. Температура и давление в баллонах одинаковы. Какой из баллонов тяжелее?

13у Как изменяется абсолютная и относительная влажность воздуха при его нагревании?

14! В капилляре медицинского термометра, у самого баллончика с ртутью, имеется сужение. Эта особенность конструкции делает градусник максимальным термометром - при изменении температуры он всегда показывает максимальную температуру процесса, а чтобы понизить столбик ртути, градусник необходимо "стряхнуть". Объясните.

15. Оцените массу капли воды, капающей из медицинской пипетки. Коэффициент поверхностного натяжения воды $0,073\text{ Дж/м}^2$.

16. Слепить фигурку из сухого песка нельзя, а из мокрого можно. Почему? Будет ли держаться фигурка из песка, если ее слепить под водой?

Задачи, выданные школьникам

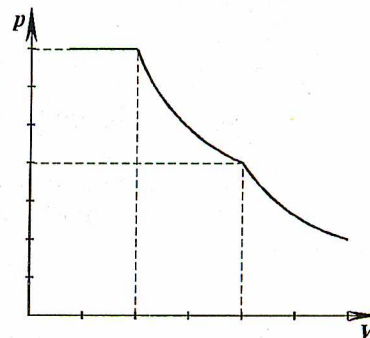
1. Горизонтально расположенный теплоизолированный сосуд разделен на две части подвижным поршнем. В левой части сосуда находится $m_1 = 3\text{ г}$ водорода при температуре $T_1 = 300\text{ К}$, в правой - $m_2 = 16\text{ г}$ кислорода при температуре $T_2 = 400\text{ К}$. Поршень слабо проводит тепло, и температура в сосуде постепенно выравнивается. Найдите количество теплоты, которое отдаст кислород к тому моменту, когда поршень перестанет двигаться.

Ответ. $Q \approx 1,09\text{ кДж}$

2. Смесь газов, состоящую из $m_1 = 100\text{ г}$ азота и неизвестного количества кислорода, подвергают изотермическому сжатию при температуре $T = 74,4\text{ К}$. Зависимость давления смеси от ее объема показана на рисунке (в условных единицах). Найдите массу кислорода m_2 .

Указание. $74,4\text{ К}$ - это температура кипения жидкого азота при нормальном давлении; кислород кипит при более высокой температуре.

Ответ. $m_2 = (8/21)m_1 \approx 38\text{ г}$



3. В капилляре, опущенном вертикально в воду на глубину l , вода поднялась на высоту h . Нижний конец капилляра закрывают, вынимают капилляр из воды и снова открывают. Найдите высоту столба воды, оставшейся в капилляре. Смачивание полное.

Ответ. $x = 2l$, если $l > h$; $x = l + h$, если $l < h$.

ЗАЧЕТ ПО ТЕРМОДИНАМИКЕ

Программа зачета

Идеальный газ. Термодинамические параметры газа. Температура. Изопроцессы. Газовые законы. Уравнение состояния идеального газа. Закон Дальтона.

Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия и способы ее изменения. Работа при изменении объема газа. Первое начало термодинамики. Теплоемкость. Внутренняя энергия ид. газа с различным числом атомов в молекуле. Теплоемкость ид. газа при постоянном объеме и постоянном давлении. Адиабатический процесс. Уравнение адиабаты идеального газа.

Второе начало термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Квазистатический процесс. Второе начало термодинамики в формулировках Клаузиуса и Томсона, их эквивалентность. Тепловая машина, ее КПД. Теорема Карно. Равенство Клаузиуса. Энтропия. Изэнтропийность адиабатического процесса.

Молекулярно-кинетическая теория идеального газа. Основное уравнение МКТ ид. газа. Связь между температурой и средней кинетической энергией молекул. Степени свободы. Равномерное распределение энергии по степеням свободы системы. Внутренняя энергия ид. газа с различным числом атомов в молекуле (вычисление). Длина свободного пробега молекул в газе. Истечение газа через маленькое и большое отверстия.

Фазовые переходы. Насыщенный пар. Двухфазная система газ-жидкость, ее поведение при изменении объема и температуры. Критическая температура. Кипение. Влажность воздуха.

Задачи, выданные школьникам заранее. Нужно проверить наличие у школьника записанных решений этих задач, после чего спросить (подробно !) решение одной из них.

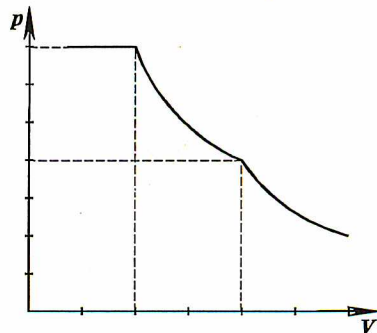
1. Горизонтально расположенный теплоизолированный сосуд разделен на две части подвижным поршнем. В левой части сосуда находится $m_1 = 3$ г водорода при температуре $T_1 = 300$ К, в правой - $m_2 = 16$ г кислорода при температуре $T_2 = 400$ К. Поршень слабо проводит тепло, и температура в сосуде постепенно выравнивается. Найдите количество теплоты, которое отдаст кислород к тому моменту, когда поршень перестанет двигаться.

Ответ. $Q \approx 1,09$ кДж

2. Смесь газов, состоящую из $m_1 = 100$ г азота и неизвестного количества кислорода, подвергают изотермическому сжатию при температуре $T = 74,4$ К. Зависимость давления смеси от ее объема показана на рисунке (в условных единицах). Найдите массу кислорода m_2 .

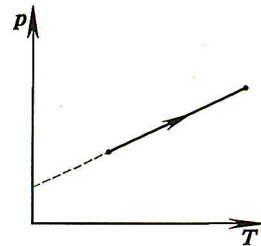
Указание. $74,4$ К - это температура кипения жидкого азота при нормальном давлении; кислород кипит при более высокой температуре.

Ответ. $m_2 = (8/21)m_1 \approx 38$ г

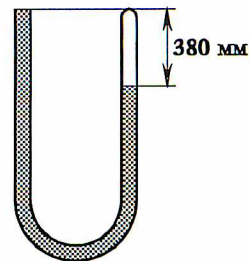


Вопросы первого уровня. Как правило, не требуют обсуждения, школьники должны отвечать на них уверенно и вполне самостоятельно. Проверяется умение применять основные понятия и законы термодинамики. Большинство этих вопросов разбирались на уроках. Перед тем, как задавать вопрос, рекомендуется попросить школьника сформулировать соответствующие законы или понятия термодинамики. Если школьник решает эти задачи уверенно, после 2-3 вопросов переходить ко второму уровню. Если вопросы вызывают трудности, ко второму уровню не переходить !

1. На рисунке в координатах $p - T$ изображен процесс, происходящий с некоторым количеством идеального газа. Сжимается или расширяется газ в этом процессе ?



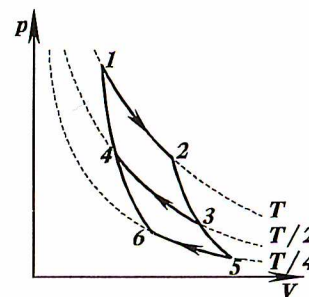
2. В запаянную с одного конца U-образную трубку налита ртуть так, что в правом запаянном колене остался воздух. Уровень ртути в открытом колене совпадает с краем трубки. Разность между уровнями равна 380 мм. Как нужно изменить температуру воздуха, запертого в трубке, чтобы уровни ртути сравнялись? Атмосферное давление равно 760 мм рт. ст.



3. В каком процессе газ при расширении получит большее количество теплоты - если он расширялся изобарически или если давление нарастало прямо пропорционально объему? Объем в обоих процессах увеличивается на одну и ту же величину.

4. В каком процессе газ при расширении совершит большую работу - если он расширялся изотермически или адиабатически? Объем в обоих процессах увеличивается на одну и ту же величину.

5. Температура холодильника машины Карно в два раза меньше температуры нагревателя (цикл 1-2-3-4). Температуру холодильника уменьшают еще в два раза (цикл 1-2-5-6). Во сколько раз изменятся при этом: КПД машины; количество тепла, получаемое за один цикл от нагревателя; работа, совершаемая машиной за один цикл; количество тепла, отдаваемое холодильнику за один цикл?



6. Что такое энтропия? Как изменяется энтропия идеального газа при его изотермическом расширении? Изобарическом расширении?

7. Найдите молярную теплоемкость при постоянном объеме двумерного идеального газа (одноатомного и двухатомного).

8. Оцените длину свободного пробега молекул газа. Размер каждой молекулы d , их концентрация n , среднеквадратичная скорость движения v .

9. В сосуде содержится смесь газообразных азота и водорода. Молекулы какого из газов движутся быстрее? Во сколько раз?

10. В стенке сосуда с газом сделали отверстие, маленькое по сравнению с длиной свободного пробега молекул. Оказалось, что 1% имеющегося в сосуде газа вытекает через него за время τ . За какое время вытек бы 1% этого же газа, если бы все размеры сосуда (в том числе и размеры отверстия) были в 2 раза больше?

11. В двух одинаковых баллонах находится воздух - в одном баллоне сухой, в другом - влажный. Температура и давление в баллонах одинаковы. Какой из баллонов тяжелее?

12. Как изменится абсолютная и относительная влажность воздуха, если температура на улице повысится? Тот же вопрос, если воздух заключен в герметичную банку.

13. На кухне сушится белье. На улице идет холодный осенний дождь. Быстрее или медленнее будет сохнуть белье, если открыть на кухне форточку?

Вопросы второго уровня. Сложные, как правило, содержат парадокс. Требуют обсуждения. Не рекомендуется задавать эти вопросы "в лоб", преподавателям следует заранее продумать последовательность вводных вопросов, постепенно подводящих школьника к сути проблемы. Проверяется умение школьника думать и осмысленно обсуждать сложные физические ситуации.

1. Оцените силу торможения спутника, летящего в верхних слоях атмосферы. Давление воздуха на высоте орбиты 10^{-4} Па, температура 1300 К.

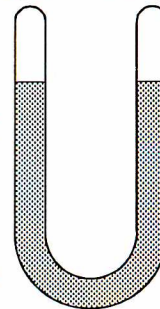
Указание для преподавателя. Школьник должен внятно объяснить, почему в данных условиях можно для оценки считать, что спутник движется в газе практически неподвижных молекул (сравнить скорость молекул газа и первую космическую скорость). Обязательно спросить, можно ли таким же способом найти силу сопротивления тела, движущегося в плотных слоях

атмосферы (сравнить размер тела и длину свободного пробега молекул газа, объяснить, в чем важность такого сравнения).

2. Что больше - число ударов молекул воздуха (в секунду) об пол комнаты или об ее потолок ?

Указание для преподавателя. Есть два эффекта - давление воздуха у потолка чуть-чуть меньше, чем у пола (аэростатика), а температура - больше (из-за конвекции). Школьник должен осознать эти факты и сообразить, что число ударов молекул пропорционально p/\sqrt{T} . Обе причины, таким образом, приводят к уменьшению числа ударов молекул об потолок. Перед тем, как задавать вопрос, можно попросить школьника найти (оценить) число ударов молекул о стенку сосуда.

3. Оба колена U-образной трубки запаяны сверху. В трубку налита вода, причем, когда трубка расположена вертикально, уровни воды в коленах совпадают. Как, наклоняя трубку, определить, остался в ней воздух или нет ? Мог ли в одном колене воздух остаться, а в другом - нет ?



4. Ртуть кипит при температуре $+367^\circ\text{C}$. Можно ли ртутным термометром измерить температуру $+500^\circ\text{C}$? Стекло, из которого сделан термометр, при такой температуре еще не размягчается.

Возможный план обсуждения. Первое, что должен осознать школьник: температура кипения ртути, сообщенная ему - это температура кипения при постоянном (атмосферном) давлении. А в термометре ртуть нагревается при постоянном объеме, давление паров при этом нарастает, и никакого кипения при 367°C не начнется.

Если, осознав **только** это, школьник радостно заявит, что измерить 500°C можно, необходимо спросить - верно ли, что можно измерить любую температуру, при которой стекло еще не размягчается (например, 2000°C) ? Если ученик и тут не заметит подвоха, нужно спросить, помнит ли он, что такое критическая температура. Школьник должен нарисовать фазовую p - V диаграмму системы жидкость-газ и объяснить, почему температуру выше критической (для ртути она равна 1460°K) измерить ртутным термометром никак невозможно.

После этого нужно указать школьнику (и показать на фазовой диаграмме), что граница раздела между ртутью и ее парами может исчезнуть и при температуре, намного меньшей критической (если в процессе нагревания мы выйдем из области двухфазных состояний через ограничивающий ее колокол в область жидкости или газа). Возникающие здесь вопросы: какая опасность грозит ртути в реальном термометре - превратиться в жидкость или в газ ? (Сообщить школьнику - критический объем ртути равен $48\text{ см}^3/\text{моль}$, молярная масса 200 г/моль . Отсюда легко получить критическую плотность $4,2\text{ г/см}^3$. Школьник должен сообразить, что почти весь объем реального термометра занимает жидкая ртуть, плотность которой ($13,6\text{ г/см}^3$) примерно в три раза больше критической. Это означает, что вещество в термометре занимает объем, втрое меньший критического, и при изохорическом нагревании рано или поздно перейдет в жидкое состояние. Впрочем, этот результат очевиден и без всяких вычислений - при нагревании столбик ртути в термометре поднимается, а не опускается). Следующий вопрос - как с помощью фазовой диаграммы рассчитать конструкцию термометра на заданную температуру (меньшую критической).

В заключение можно спросить школьника - как сделать термометр, в котором столбик ртути при повышении температуры будет опускаться, а не подниматься. (Нужно, чтобы объем термометра был больше, чем критический объем заключенной в нем ртути, например, за счет дополнительного резервуара наверху капилляра).

Е. А. Выродов
~ 1999 год

ЗАЧЕТ ПО ТЕРМОДИНАМИКЕ

Программа зачета

Идеальный газ. Термодинамические параметры газа. Температура. Изопрцессы. Газовые законы. Уравнение состояния идеального газа. Закон Дальтона.

Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия и способы ее изменения. Работа при изменении объема газа. Первое начало термодинамики. Теплоемкость. Внутренняя энергия ид. газа с различным числом атомов в молекуле. Теплоемкость ид. газа при постоянном объеме и постоянном давлении. Адиабатический процесс. Уравнение адиабаты ид. ального газа.

Второе начало термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Квазистатический процесс. Второе начало термодинамики в формулировках Клаузиуса и Томсона, их эквивалентность. Тепловая машина, ее КПД. Теорема Карно. Равенство Клаузиуса. Энтропия. Изоэнтропийность адиабатического процесса.

Молекулярно-кинетическая теория идеального газа. Основное уравнение МКТ ид. газа. Связь между температурой и средней кинетической энергией молекул. Степени свободы. Равномерное распределение энергии по степеням свободы системы. Внутренняя энергия ид. газа с различным числом атомов в молекуле (вычисление). Длина свободного пробега молекул в газе. Истечение газа через маленькое и большое отверстия.

Фазовые переходы. Насыщенный пар. Двухфазная система газ-жидкость, ее поведение при изменении объема и температуры. Критическая температура. Кипение. В ажность воздуха.

Поверхностное натяжение. Коэффициент поверхностного натяжения. Краевой угол. Смачивание и несмачивание. Капиллярные явления.

Задачи, выданные школьникам заранее. Нужно проверить наличие у школьника записанных решений этих задач, после чего спросить (подробно!) решен е одной из них.

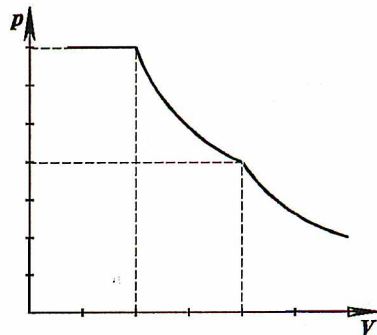
1. Горизонтально расположенный теплоизолированный сосуд разделен на две части подвижным поршнем. В левой части сосуда находится $m_1 = 3$ г водорода при температуре $T_1 = 300$ К, в правой - $m_2 = 16$ г кислорода при температуре $T_2 = 400$ К. Поршень слабо проводит тепло, и температура в сосуде постепенно выравнивается. Найдите количество теплоты, которое отдаст кислород к тому моменту, когда поршень перес36 анет двигаться.

Ответ. $Q \approx 1,09$ кДж

2. Смесь газов, состоящую из $m_1 = 100$ г азота и неизвестного количества кислорода, подвергают изотермическому сжатию при температуре $T = 74,4$ К. Зависимость давления смеси от ее объема показана на рисунке (в условных единицах). Найдите массу кислорода m_2 .

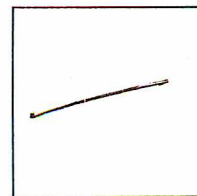
Указание. 74,4 К - это температура кипения жидкого азота при нормальном давлении; кислород кипит при более высокой температуре.

Ответ. $m_2 = (8/21)m_1 \approx 38$ г

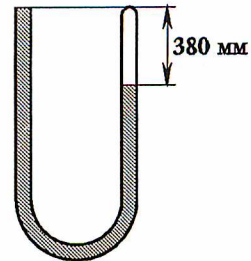


Вопросы первого уровня. Как правило, не требуют обсуждения, школьники должны отвечать на них уверенно и вполне самостоятельно. Проверяется умение применять основные понятия и законы термодинамики. Большинство этих вопросов разбирались на уроках. Перед тем, как задавать вопрос, рекомендуется попросить школьника сформулировать соответствующие законы или понятия термодинамики. Если школьник решает эти задачи уверенно, после 2-3 вопросов переходить ко второму уровню. Если вопросы вызывают трудности, ко второму уровню не переходить!

1. На рисунке в координатах $p - T$ изображен процесс, происходящий с некоторым количеством идеального газа. Сжимается или расширяется газ в этом процессе?



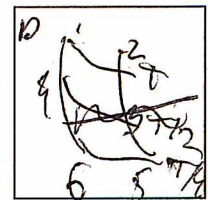
2. В запаянную с одного конца U-образную трубку налита ртуть так, что в правом запаянном колене остался воздух. Уровень ртути в открытом колене совпадает с краем трубки. Разность между уровнями равна 380 мм. Как нужно изменить температуру воздуха, запертого в трубке, чтобы уровни ртути сравнялись? Атмосферное давление равно 760 мм рт. ст.



3. В каком процессе газ при расширении получит большее количество теплоты - если он расширялся изобарически или если давление нарастало прямо пропорционально объему? Объем в обоих процессах увеличивается на одну и ту же величину.

4. В каком процессе газ при расширении совершит большую работу - если он расширялся изотермически или адиабатически? Объем в обоих процессах увеличивается на одну и ту же величину.

5. Температура холодильника машины Карно в два раза меньше температуры нагревателя (цикл 1-2-3-4). Температуру холодильника уменьшают еще в два раза (цикл 1-2-5-6). Во сколько раз изменятся при этом: КПД машины; количество тепла, получаемое за один цикл от нагревателя; работа, совершаемая машиной за один цикл; количество тепла, отдаваемое холодильнику за один цикл?



6. Как изменяется энтропия идеального газа при его изотермическом расширении? Изобарическом расширении?

7. Найдите молярную теплоемкость при постоянном объеме двумерного идеального газа (одноатомного и двухатомного).

8. Оцените длину свободного пробега молекул газа. Размер каждой молекулы d , их концентрация n , среднеквадратичная скорость движения v .

9. Оцените силу торможения спутника, летящего в верхних слоях атмосферы. Давление воздуха на высоте орбиты 10^{-4} Па, температура 1300 К.

Указание для преподавателя. Школьник должен внятно объяснить, почему в данных условиях можно для оценки считать, что спутник движется в газе практически неподвижных молекул (сравнить скорость молекул газа и первую космическую скорость). Обязательно спросить, можно ли таким же способом найти силу сопротивления тела, движущегося в плотных слоях атмосферы (сравнить размер тела и длину свободного пробега молекул газа, объяснить, в чем важность такого сравнения).

10. В сосуде содержится смесь газообразных азота и водорода. Молекулы какого из газов движутся быстрее? Во сколько раз?

11. В стенке сосуда с газом сделали отверстие, маленькое по сравнению с длиной свободного пробега молекул. Оказалось, что 1% имеющегося в сосуде газа вытекает через него за время τ . За какое время вытек бы 1% этого же газа, если бы все размеры сосуда (в том числе и размеры отверстия) были в 2 раза больше?

12. В двух одинаковых баллонах находится воздух - в одном баллоне сухой, в другом - влажный. Температура и давление в баллонах одинаковы. Какой из баллонов тяжелее?

13. Как изменится абсолютная и относительная влажность воздуха, если температура на улице повысится? Тот же вопрос, если воздух заключен в герметичную банку.

14. Мыльный пузырь протыкают тонкой соломинкой (при этом он не лопается). Из пузыря начинает медленно выходить воздух. Как будет изменяться скорость выхода воздуха по мере сдувания пузыря?

15. Слепить фигурку из сухого песка нельзя, а из мокрого можно. Почему? Будет ли держаться фигурка из песка, если ее слепить под водой?

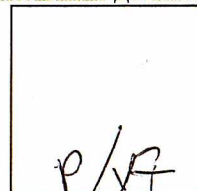
Вопросы второго уровня. Сложные, как правило, содержат парадокс. Требуют обсуждения. Не рекомендуется задавать эти вопросы “в лоб”, преподавателям следует заранее продумать последовательность вводных вопросов, постепенно подводящих школьника к сути проблемы. Проверяется умение школьника думать и осмысленно обсуждать сложные физические ситуации. 45

1. Что больше - число ударов молекул воздуха (в секунду) об пол комнаты или об ее потолок ?

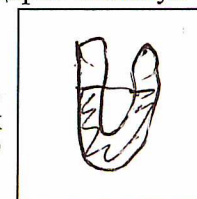
Указание для преподавателя. Есть два эффекта - давление воздуха у потолка чуть-чуть меньше, чем у пола (аэростатика), а температура - больше (из-за конвекции). Школьник должен

осознать эти факты и сообразить, что число ударов молекул пропорционально

Обе причины, таким образом, приводят к уменьшению числа ударов молекул об потолок. Перед тем, как задавать вопрос, можно попросить школьника найти (оценить) число ударов молекул о стенку сосуда.



2. Оба колена U-образной трубки запаяны сверху. В трубку налита вода, причем, когда трубка расположена вертикально, уровни воды в коленах совпадают. Как, наклоняя трубку, определить, остался в ней воздух или нет ? Мог ли в одном колене воздух остаться, а в другом - нет ?



3. Ртуть кипит при температуре $+367^{\circ}\text{C}$. Можно ли ртутным термометром измерить температуру $+500^{\circ}\text{C}$? Стекло, из которого сделан термометр, при такой температуре еще не размягчается.

Возможный план обсуждения. Первое, что должен осознать школьник: температура кипения ртути, сообщенная ему - это температура кипения при постоянном (атмосферном) давлении. А в термометре ртуть нагревается при постоянном объеме, давление паров при этом нарастает, и никакого кипения при 367°C не начнется.

Если, осознав **только** это, школьник радостно заявит, что измерить 500°C можно, необходимо спросить - верно ли, что можно измерить любую температуру, при которой стекло еще не размягчается (например, 2000°C) ? Если ученик и тут не заметит подвоха, нужно спросить, помнит ли он, что такое критическая температура. Школьник должен нарисовать фазовую p - V диаграмму системы жидкость-газ и объяснить, почему температуру выше критической (для ртути она равна 1460°K) измерить ртутным термометром никак невозможно.

После этого нужно указать школьнику (и показать на фазовой диаграмме), что граница раздела между ртутью и ее парами может исчезнуть и при температуре, намного меньшей критической (если в процессе нагревания мы выйдем из области двухфазных состояний через ограничивающий ее колокол в область жидкости или газа). Возникающие здесь вопросы: какая опасность грозит ртути в реальном термометре - превратиться в жидко бить или в газ ? (Сообщить школьнику - критический объем ртути равен $48\text{ см}^3/\text{моль}$, молярная масса 200 г/моль . Отсюда легко получить критическую плотность $4,2\text{ г/см}^3$. Школьник должен сообразить, что почти весь объем реального термометра занимает жидкая ртуть, плотность которой ($13,6\text{ г/см}^3$) примерно в три раза больше критической. Это означает, что вещество в термометре занимает объем, втрое меньший критического, и при изохорическом нагревании рано или поздно перейдет в жидкое состояние. Впрочем, этот результат очевиден и без всяких вычислений - при нагревании столбик ртути в термометре поднимается, а не опускается). Следующий вопрос - как с помощью фазовой диаграммы рассчитать конструкцию термометра на заданную температуру (меньшую критической).

В заключение можно спросить школьника - как сделать термометр, в котором столбик ртути при повышении температуры будет опускаться, а не подниматься. (Нужно, чтобы объем термометра был больше, чем критический объем заключенной в нем ртути, например, за счет дополнительного резервуара наверху капилляра).