

Онлайн-школа «Фоксфорд»




**М.А.ПЕНКИН**

# Урок 15

Термодинамика с элементами механики

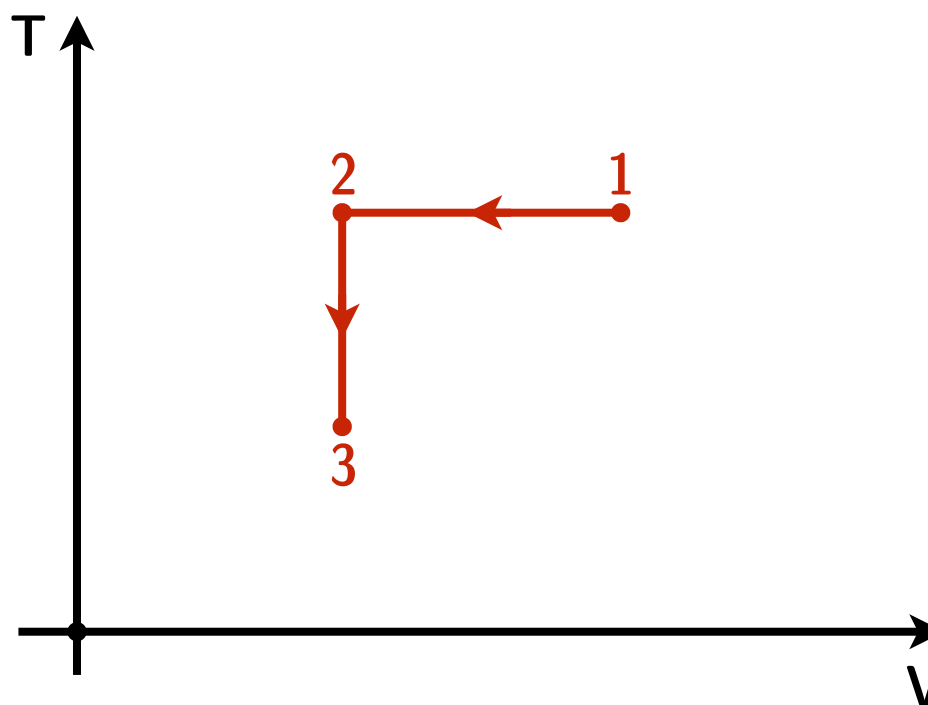
Курс подготовки к вузовским  
олимпиадам 11 класса



№1. Внутренняя энергия  $U$  неидеального газа зависит от его температуры  $T$  и объёма  $V$  по формуле  $U = cT - a/V$ , где  $c$  и  $a$  – известные константы. Такой газ нагревается сначала в изохорном процессе, а затем охлаждается в изобарном процессе до первоначальной температуры. Объём газа в конечном состоянии в  $k$  раз ( $k > 1$ ) меньше начального, а внутренняя энергия в конечном состоянии меньше, чем в начальном на величину  $\Delta U$  ( $\Delta U > 0$ ). В результате всего процесса от газа отвели суммарное количество теплоты  $Q$  ( $Q > 0$ ).

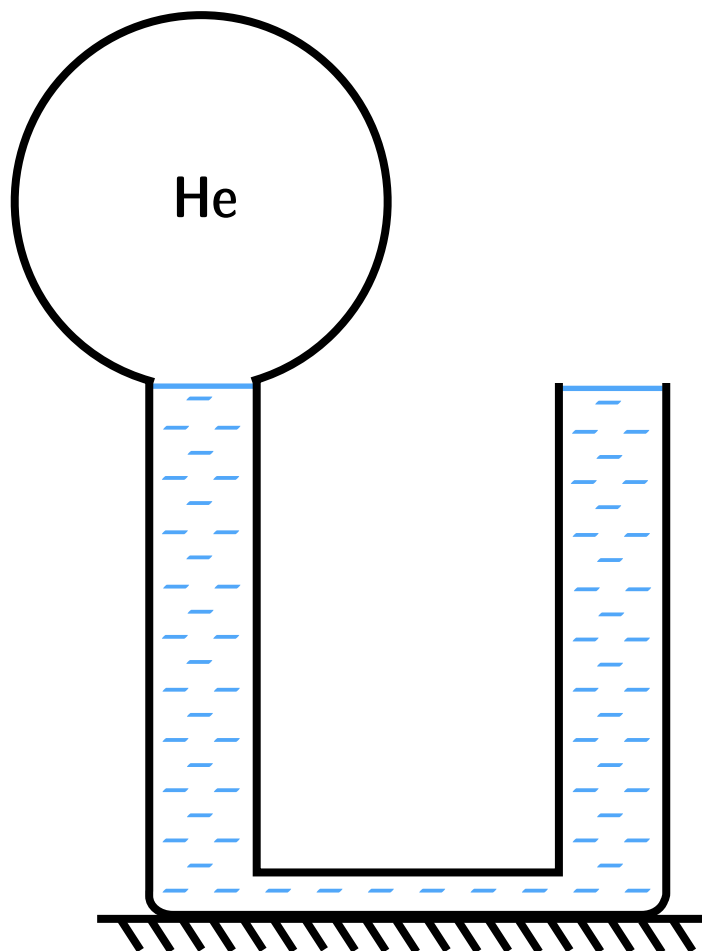
1. Найти начальный объём газа.
2. Найти конечное давление газа.


№2. Газ фотонов из начального состояния 1 сжимают в изотермическом процессе 1–2, а затем охлаждают в изохорном процессе 2–3. Во всём процессе перехода 1–2–3 над газом совершена работа  $A$ , а его температура и объём уменьшились в два раза. Какое количество теплоты было отведено от газа фотонов в процессе перехода 1–2–3?



Указание: в пустом сосуде переменного объёма  $V$ , температура стенок  $T$ , возникает равновесный газ фотонов, которые излучаются и поглощаются стенками сосуда. Внутренняя энергия этого газа  $U = aT^4V$ , где  $a = \text{const}$ . Давление газа фотонов определяется его температурой  $p = aT^4/3$ .

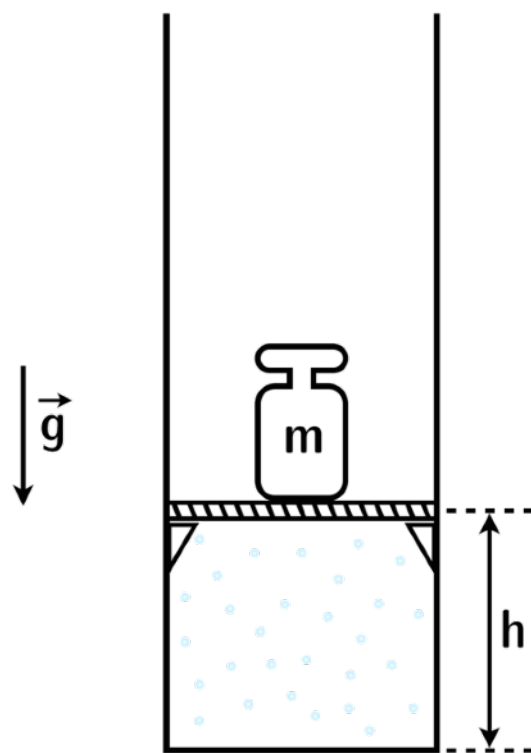
№3. U-образная трубка расположена вертикально и заполнена жидкостью. Один конец трубки открыт в атмосферу, другой конец – соединён с сосудом объёмом  $V_0$ , заполненным гелием. Объём всей трубки равен  $V_0$ . Гелий медленно нагревают, и он медленно вытесняет всю жидкость из трубки. Какое количество теплоты получил гелий к моменту, когда вся жидкость вытекла из трубки? Атмосферное давление  $p_0$ , длина трёх колен трубки одинакова, добавочное давление создаваемое столбом жидкости в вертикальном колене равно  $p_0/8$ .





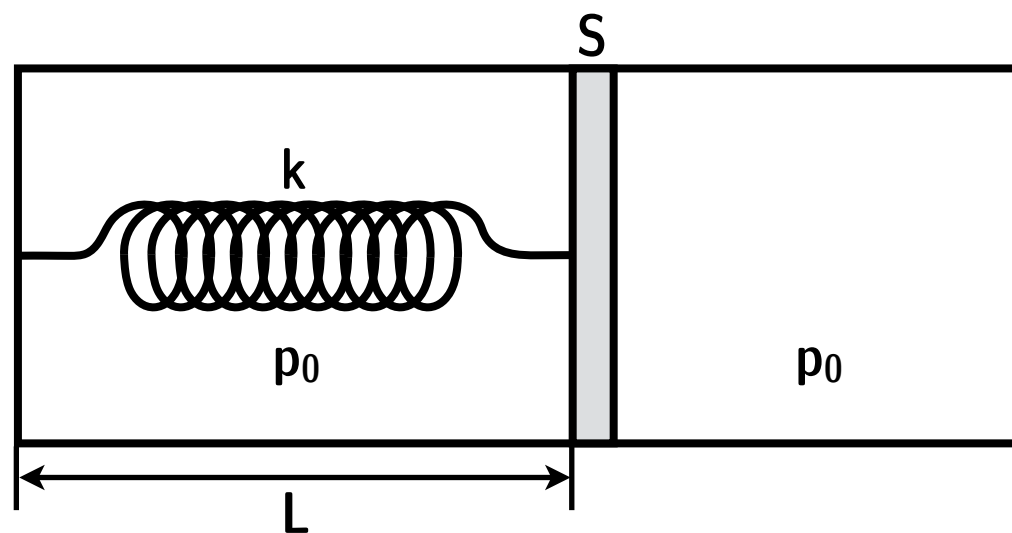
№4. В гладком вертикальном цилиндре под подвижным поршнем массой  $M$  находится идеальный одноатомный газ. Ему медленно подводят количество теплоты  $Q$ , в результате чего поршень поднимается. На какую высоту  $\Delta h$  он поднимется? Площадь цилиндра составляет  $S$ . Атмосферное давление равно  $p_0$ .


№5. В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде на высоте  $h = 80$  см от его дна закреплены небольшие выступы, на которых лежит тонкий поршень площадью  $S = 400$  см<sup>2</sup>. На поршне стоит гиря массой  $m = 35$  кг, а под поршнем находится одноатомный идеальный газ, давление которого составляет  $0,9p_0$ , где  $p_0 = 100$  кПа – внешнее атмосферное давление.



Какое количество теплоты следует медленно подвести к газу, чтобы поршень оказался на высоте  $3h$  от дна сосуда? Считать, что поршень герметично закрывает сосуд. Массой поршня и трением в системе пренебречь.

№6. В горизонтальном цилиндре с гладкими стенками под массивным поршнем с площадью  $S$  находится одноатомный идеальный газ. Поршень соединён с основанием цилиндра пружиной с жёсткостью  $k$ . В начальном состоянии расстояние между поршнем и основанием цилиндра равно  $L$ , а давление газа в цилиндре равно внешнему атмосферному давлению  $p_0$ . Какое количество теплоты  $Q$  передано затем газу, если в результате поршень медленно переместился вправо на расстояние  $b$ ?





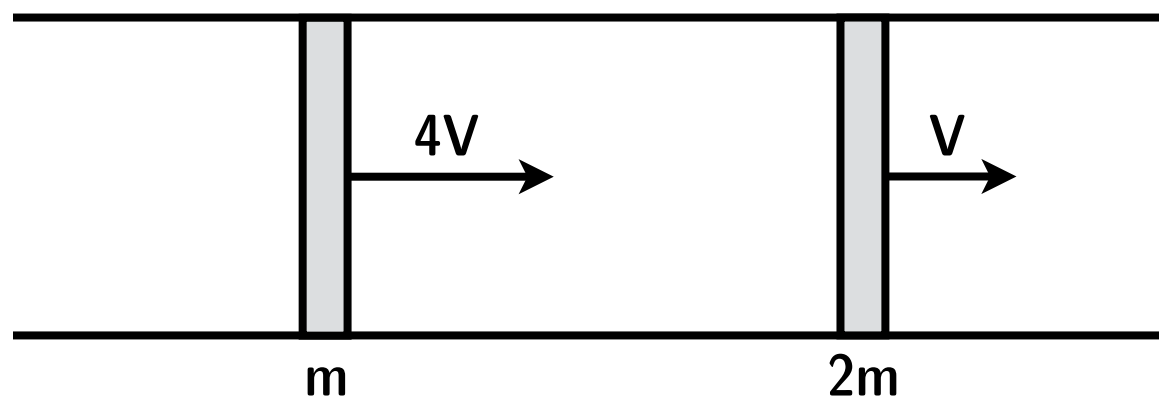
№7. Теплоизолированный цилиндр разделен подвижным теплопроводным поршнем на две части. В одной части цилиндра находится гелий, а в другой — аргон. В начальный момент температура гелия равна  $T = 300 \text{ К}$ , а аргона —  $3T$ . При этом объемы, занимаемые газами, одинаковы. Какую температуру будут иметь газы в цилиндре после установления теплового равновесия, если поршень перемещается без трения? Теплоёмкостью сосуда и поршня пренебречь. массой поршня пренебречь.

№8. Теплоизолированный горизонтальный цилиндр с гладкими стенками делится не проводящим теплоту поршнем на два объёма, в которых находятся по одному молю гелия при температуре  $T_0$ . В левой части цилиндра на некоторое время включается нагреватель. Поршень перемещается. В конечном состоянии температуры в левой и правой частях сосуда отличаются в два раза. Найдите количество теплоты  $Q$ , переданного нагревателем газу. Известно, что давление  $p$  и объём  $V$  газа в правой части цилиндра связаны соотношением  $p^3 \cdot V^5 = \text{const}$  (адиабатный процесс).


№9. В вакуумной теплоизолированной камере находятся два масляных пузыря одинакового размера, один из которых наполнен аргоном, а другой азотом до давления  $p_0$  каждый. После того, как пузыри лопаются, в камере устанавливается давление  $p_0/30$ . Найти отношение объёма пузыря  $V_0$  к объёму камеры  $V$ , если начальная температура аргона составляет 60% от начальной температуры азота. Измерением поверхностной энергии плёнок при разрыве пузырей пренебречь.



№10. В закреплённой длинной гладкой горизонтальной трубе между двумя поршнями с массами  $m$  и  $2m$  находится  $\nu$  моль идеального одноатомного газа, масса которого много меньше массы поршней. Наружное давление на поршни пренебрежимо мало. В начальный момент времени температура газа равна  $T_0$ , а скорости поршней направлены в одну сторону и равны  $4V$  и  $V$ .



В некоторый момент их скорости сравнялись по величине. Полагая, что газ между поршнями всё время остаётся равновесным, определите температуру газа в этот момент. Теплопроводностью и теплоёмкостью поршней и трубы пренебречь.



№11. Внутри откачанной до глубокого вакуума установки находится герметичный теплоизолированный цилиндрический сосуд, заполненный идеальным одноатомным газом. Сосуд закрыт сверху теплонепроницаемым поршнем, на котором стоит гиря. Объём, занимаемый газом, равен  $V$ . Температура газа равна  $T$ . Масса поршня в два раза больше массы гири. Гирю с поршня снимают.

1. Найдите объём и температуру газа в новом положении равновесия.
2. Какое количество теплоты следует медленно подвести к газу, чтобы нагреть его до первоначальной температуры? Какой объём при этом будет занимать газ?
3. Какое количество теплоты следует медленно отвести от газа, чтобы сжать его до первоначального объёма? Какую температуру при этом будет иметь газ?



[mapenkin.ru](http://mapenkin.ru)

ПРЕЗЕНТАЦИЮ ПОДГОТОВИЛ  
Михаил Александрович **ПЕНКИН**

 [/penkin](#)

 [/mapenkin](#)

 [fmicky@gmail.com](mailto:fmicky@gmail.com)