

Условие

Задача 10-2 Адиабатное и изотермическое сжатие

Оборудование: Шприц одноразовый 50 – 60 мл с ценой деления не более 1мл/дел, манометр с верхним пределом измерения 300-600 мм. рт. ст. и ценой деления 1 – 2 мм. рт. ст., трубка пластиковая длиной 3 – 5 см и внутренним диаметром $d = 5\text{мм}$ для соединения манометра и шприца, термометр для определения температуры воздуха в кабинете, барометр (один на кабинет), линейка ученическая, штангенциркуль.

В данной задаче Вам предстоит исследовать процессы адиабатного и изотермического сжатия и определить силу трения поршня о стенки шприца.

Примечание. Температуру и давление атмосферного воздуха, при необходимости, Вы можете узнать у организаторов.

Адиабатный и изотермический процесс можно описать уравнением

$$pV^\gamma = \text{const}$$

где γ – показатель адиабаты. Для изотермического процесса $\gamma = 1$.

Часть 1. Адиабатное и изотермическое сжатие

1.1 Установите поршень шприца на отметке 50 мл. Соедините шприц с манометром с помощью пластиковой трубки. Соединение должно быть герметичным. Произведите сжатие воздуха в шприце, быстро переместив поршень на отметку 45 мл (или вблизи данной отметки), и одновременно наблюдайте за показаниями манометра. При достаточно быстром сжатии стрелка манометра сначала отклонится в диапазон 80 – 90мм.рт.ст., а затем опуститься в область 70мм.рт.ст.

1.2 Укажите, какое из двух значений давления соответствует адиабатному процессу, а какое – изотермическому.

1.3 Получите экспериментальные данные зависимости давления воздуха в шприце от его объёма для: а) адиабатического сжатия, б) изотермического сжатия.

Примечание. Так как адиабатический процесс должен протекать очень быстро, то вы не сможете за один ход поршня получить значения давления и объёма для нескольких экспериментальных точек. Для получения параметров каждой экспериментальной точки Вам необходимо будет выполнять отдельное сжатие. Каждое сжатие начинайте с установки поршня на отметку 50мл. При исследовании адиабатического процесса, наибольшее сжатия выполняйте до отметки 36 мл.

Внимание!!! Очень важно!!!

При исследовании процессов сжатия нельзя допускать, чтобы стрелка манометра значительно выходила за верхний предел измерения. В противном случае для установки стрелки манометра на «ноль» необходима будет дополнительная коррекция, что затруднит Вам работу. Поэтому, при исследовании адиабатического процесса, наибольшее сжатия выполняйте до отметки 36 мл.

Решение

Задача 10-2

Часть 1. Адиабатное и изотермическое сжатие

Проще и точнее можно исследовать процесс изотермического сжатия. При измерениях необходимо проявлять терпение каждый раз при изменении объема необходимо дождаться установления теплового равновесия. В таблице 1 приведены результаты измерения показаний манометра Δp от объема газа в шприце V' . Для вычисления всего объема, занимаемого газом, к показаниям по шкале шприца следует добавить объем соединительной трубки, который

составляет $v_0 = 2,5 \text{ см}^3$.

Таблица 1.

V	p	V+Vo
58	20	60,5
56	44	58,5
55	61	57,5
53	84	55,5
51	113	53,5
50	125	52,5
48	162	50,5
46	194	48,5
45	210	47,5
43	250	45,5
41	298	43,5

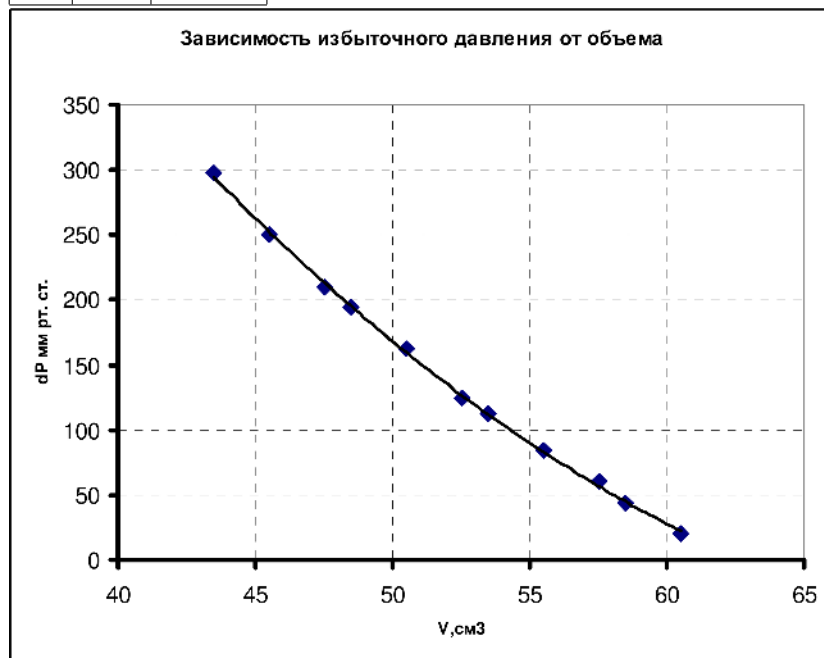


График полученной зависимости приведен на рисунке. Определить визуально, является ли данная зависимость гиперболической невозможно. Для проверки указанного закона можно использовать несколько методов. Главной проблемой анализа зависимости является то, что нам неизвестно значение давления газа, ведь мы фактически измеряем только его изменение. Конечно, в первом приближении можно воспользоваться известным атмосферным давлением, но вполне возможно, что есть некоторый постоянный сдвиг показаний. Поэтому представим давление газа в виде некоторого постоянного значения P_0 и измеренного избыточного давления Δp . В этом случае уравнение закона Бойля записывается в виде

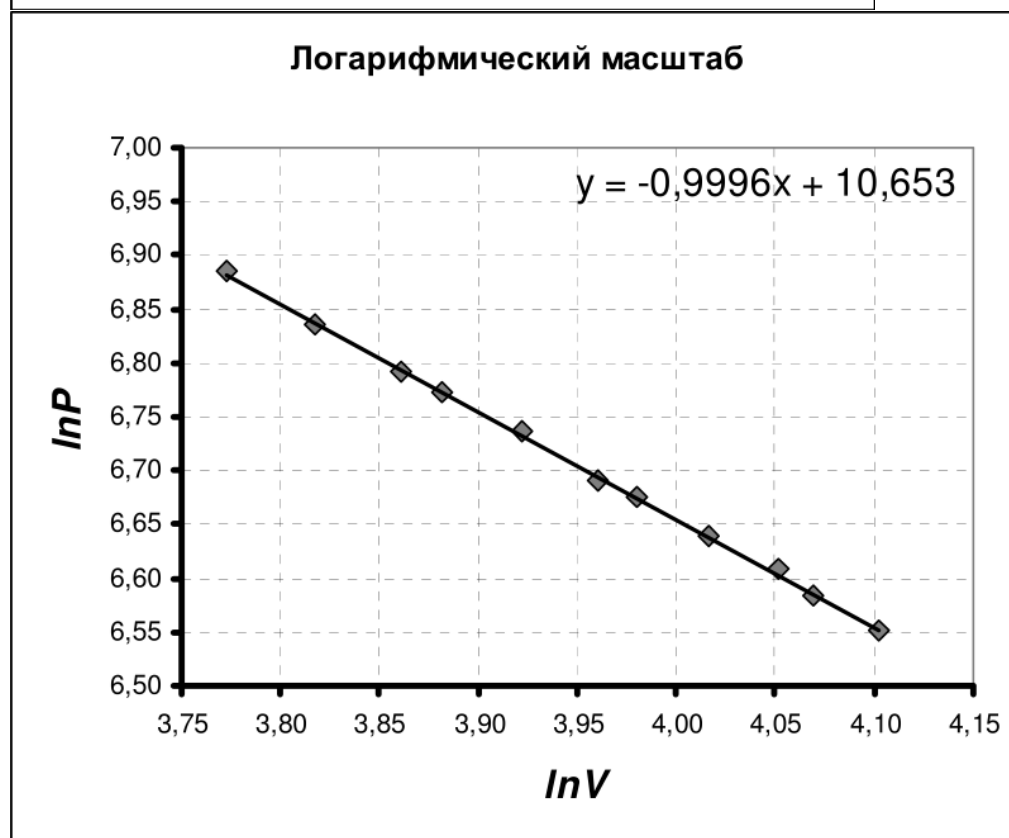
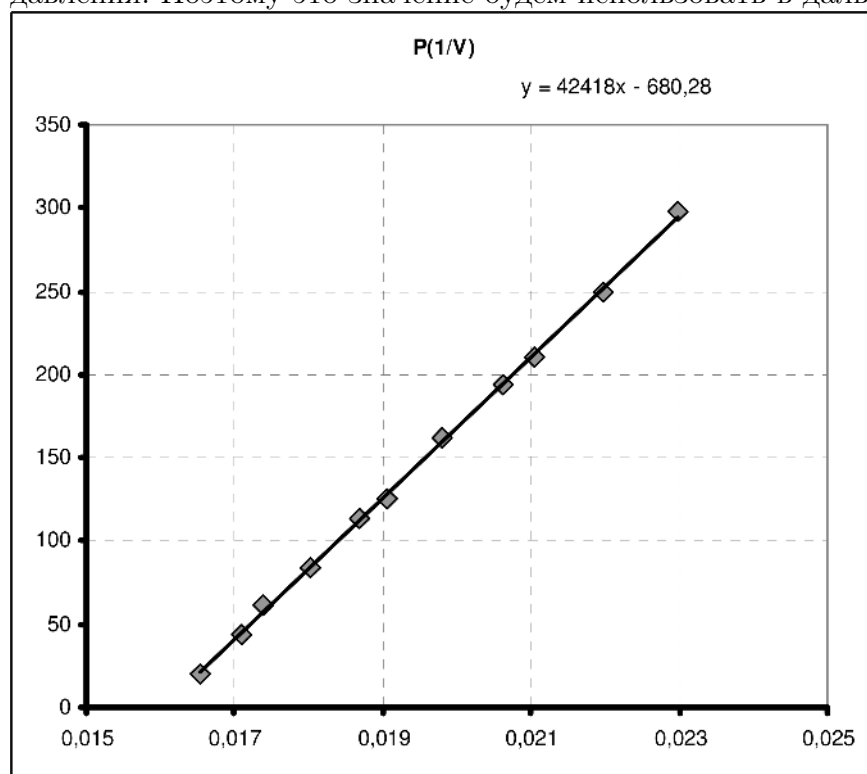
$$(P_0 + \Delta p)V = A, \quad (1)$$

Где A - некоторая постоянная. Из этого уравнения выразим измеренное избыточное давление

$$\Delta p = \frac{A}{V} - P_0 \quad (2)$$

График зависимости Δp от $1/V$ показан на рисунке. Во-первых, зависимость линейная; во-

вторых по этому графику можно найти, что $P_0 = 680 \text{ Торр}$, что отличается от атмосферного давления. Поэтому это значение будем использовать в дальнейшем.



Вторая возможность проверить выполнение закона Бойля — построить зависимость давления (с учетом найденного значения P_0) от объема в логарифмическом масштабе (см. рис). Полученная зависимость очень близка к линейной, причем коэффициент наклона практи-

чески равен 1. Можно также проверить выполнение условия постоянства произведения PV . Для приведенных данных отклонение этого произведения от среднего значения не превышает 0,5%.

«Адиабатный» процесс изучать гораздо сложнее, при быстром нажатии поршня следует внимательно фиксировать значение максимального давления, которое достаточно резко падает. Кроме того, при такой методике измерений, когда необходимо следить за давлением, а только потом измерять объем, начинает сказываться существенная погрешность шкалы объема. В таблице 2. приведены измеренные значения максимального «адиабатного» давления P_1 , установившегося «изотермического» давления P_2 и объема газа.

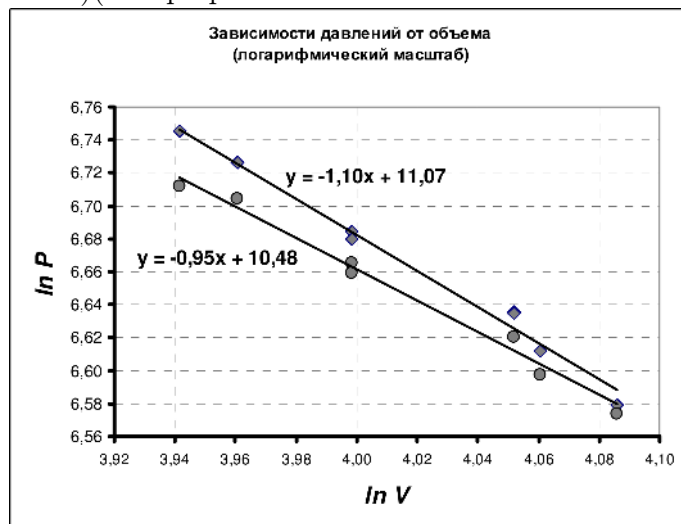
Таблица 2.

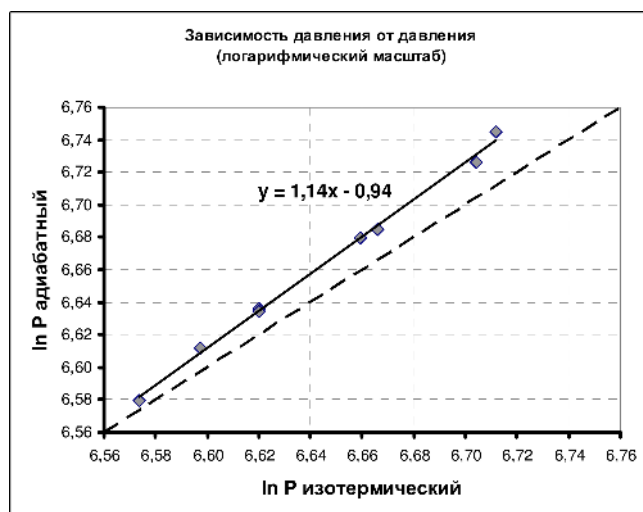
P1	P2	V+dv	ln(v)	ln(P1)	ln(P2)
170	142	51,5	3,942	6,745	6,712
154	136	52,5	3,961	6,726	6,704
120	105	54,5	3,998	6,685	6,666
116	100	54,5	3,998	6,680	6,659
82	70	57,5	4,052	6,636	6,620
81	70	57,5	4,052	6,635	6,620
64	53	58	4,060	6,612	6,597
40	36	59,5	4,086	6,579	6,574

Наиболее очевидный способ проверки уравнений процессов – построение зависимостей $P(V)$ в логарифмическом масштабе и нахождение коэффициентов наклона графиков (показателей степеней). Однако при таком подходе сказывается указанная неточность измерения объема. Но ведь у нас есть возможность вообще обойтись без измеренных значений объема! Действительно, запишем уравнения процессов:

$$\begin{cases} P_1 V^\gamma = const \\ P_2 V = const \end{cases} \Rightarrow P_1 = B P_2^\gamma. \quad (3)$$

Откуда следует, что коэффициент наклона графика зависимости $\ln P_1$ от $\ln P_2$ также равен показателю степени γ . На рисунке показаны графики предложенных зависимостей. Зависимости давлений от объема. Зависимость давления от давления (логарифмический масштаб) (логарифмический масштаб).





Как видно, действительно вторая зависимость имеет заметно меньший разброс точек. Однако найденной значение показателя степени не совпадает с показателем адиабаты. По-видимому, это связано с тем, что процесс не является адиабатным - теплообмен со стенками шприца играет заметную роль.